



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ
ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ»**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΕΤΡΕΛΗ Β. ΝΙΚΟΛΑΟΥ

Διπλωματούχου Αγρονόμου Τοπογράφου Μηχανικού Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ :

ΕΥΣΤΡΑΤΙΟΣ ΔΟΥΚΑΚΗΣ

Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2012



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

**«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ
ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΗΣ
ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ»**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΕΤΡΕΛΗ Β. ΝΙΚΟΛΑΟΥ

Διπλωματούχου Αγρονόμου Τοπογράφου Μηχανικού Ε.Μ.Π.

**ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ :**

1. Ε. ΔΟΥΚΑΚΗΣ, Αν. Καθ. Ε.Μ.Π.
2. Μ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ, Καθ. Ε.Μ.Π.
3. Κ. ΜΟΥΤΖΟΥΡΗΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.

**ΕΠΤΑΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ
ΕΠΙΤΡΟΠΗ :**

1. Ε. ΔΟΥΚΑΚΗΣ, Αν. Καθ. Ε.Μ.Π.
2. Μ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ, Καθ. Ε.Μ.Π.
3. Κ. ΜΟΥΤΖΟΥΡΗΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.
4. Β. ΝΑΚΟΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.
5. Α. ΣΤΑΜΟΥ, Καθ. Ε.Μ.Π.
6. Κ. ΜΕΜΟΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.
7. Δ. ΚΟΥΤΣΟΓΙΑΝΝΗΣ, Καθ. Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2012

«Η έγκριση της Διδακτορικής Διατριβής από την Ανώτατη σχολή των Αγρονόμων
Τοπογράφων Μηχανικών του Ε.Μ. Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των
γνώμών του συγγραφέα (Ν.5343/1932, Άρθρο 202)»

Αφιερώνεται στους γονείς μου,
Βασίλη και Χρυσούλα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	11
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	13
EXTENDED ABSTRACT	15
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	23
1. ΑΙΤΙΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ	29
1.1 Η κατάσταση του κλίματος και επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.....	29
1.2 Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας.....	30
1.2.1 Πως ορίζεται η στάθμη της θάλασσας.....	30
1.2.2 Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, προβλέψεις και σενάρια, αιτίες και επιπτώσεις στο ανθρώπινο και φυσικό περιβάλλον.....	30
1.3 Οι παράκτιες ζώνες και πως επηρεάζονται από τις κλιματικές αλλαγές και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.....	31
1.3.1 Ορισμός της παράκτιας ζώνης.....	31
1.3.2 Βιογεωφυσικά αποτελέσματα και κοινωνικό-οικονομικές επιδράσεις στις παράκτιες ζώνες.....	32
1.4 Οι μηχανισμοί υποχώρησης της ακτής.....	33
1.5 Οι ελληνικές ακτές.....	35
1.5.1 Πως επηρεάζονται οι παράκτιες περιοχές στην Ελλάδα από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.....	35
1.5.2 Οι χρήσεις γης στις παράκτιες περιοχές της Ελλάδας.....	38
1.5.3 Αιτίες μετακίνησης της ακτογραμμής στον ελληνικό χώρο.....	39
1.5.4 Οι επιπτώσεις στις ελληνικές ακτές από τη μετακίνηση της ακτογραμμής.....	40
1.5.5 Οι κυματικές καταιγίδες και πως επηρεάζουν τις ελληνικές ακτές.....	41
1.5.6 Σύνοψη.....	42
2. ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	45
2.1 Οι 10 παράκτιες περιοχές.....	45
2.1.1 Τα γενικά χαρακτηριστικά των περιοχών της μελέτης.....	45
2.1.2 Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των περιοχών της μελέτης.....	52
2.2 Η μετακίνηση της ακτογραμμής στις περιοχές μελέτης.....	57
3. ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ. ΤΟ ΦΙΛΤΡΟ ΚΑΛΜΑΝ. Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ BINNING	59
3.1 Θεωρητική ανάλυση των υπαρχουσών μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής και οι αβεβαιότητες των προβλέψεων τους.....	59
3.1.1 Αρχικά στοιχεία.....	59
3.1.2 Εισαγωγή.....	59
3.1.3 Σφάλματα στη διαδικασία προσδιορισμού της ακτογραμμής.....	61

3.1.4	Ο καθορισμός μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής.....	62
3.1.4.1	Ο υπολογισμός του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.....	64
3.1.5	Παρουσίαση των μεθόδων.....	69
3.1.5.1	Οι καθιερωμένες μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής.....	69
3.1.5.2	Νέες μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής ακτογραμμής.....	74
3.2	Νέα πρόταση για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής. Το φίλτρο Kalman.....	76
3.2.1	Η πρόταση της διατριβής και η πρωτοτυπία της.....	76
3.2.2	Η γενική περιγραφή του φίλτρου Kalman.....	76
3.2.3	Το φίλτρο Kalman στη μελέτη της δυναμικής των παράκτιων περιοχών.....	83
3.3	Η μέθοδος ομαδοποίησης (Binning).....	88
3.3.1	Θεωρητική ανάλυση της διαδικασίας της ομαδοποίησης.....	88
3.3.2	Υπολογιστική διαδικασία.....	88
4.	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΙΣ 10 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	95
4.1	Εισαγωγή.....	95
4.2	Ανάλυση των αποτελεσμάτων.....	97
4.2.1	Περιοχή μελέτης : 1_LIT.....	97
4.2.2	Περιοχή μελέτης : 7_KAT.....	105
4.2.3	Περιοχή μελέτης : 8_BAR.....	110
4.2.4	Περιοχή μελέτης : 4_NES.....	116
4.2.5	Περιοχή μελέτης : 6_BAR.....	122
4.2.6	Περιοχή μελέτης : 9_THE.....	129
4.2.7	Περιοχή μελέτης : 10_NES.....	138
4.2.8	Περιοχή μελέτης : 2_KAT.....	150
4.2.9	Περιοχή μελέτης : 5_KAT.....	155
4.2.10	Περιοχή μελέτης : 3_KAT.....	160
4.3	Σύνοψη συμπερασμάτων.....	165
5.	ΤΟ ΦΙΛΤΡΟ KALMAN. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ...	167
5.1	Εισαγωγή.....	167
5.2	Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων.....	168
5.2.1	Περιοχή μελέτης : 1_LIT.....	168
5.2.2	Περιοχή μελέτης : 7_KAT.....	177
5.2.3	Περιοχή μελέτης : 8_BAR.....	186
5.2.4	Περιοχή μελέτης : 4_NES.....	195
5.2.5	Περιοχή μελέτης : 6_BAR.....	205
5.2.6	Περιοχή μελέτης : 9_THE.....	217
5.2.7	Περιοχή μελέτης : 10_NES.....	228
5.2.8	Περιοχή μελέτης : 2_KAT.....	244
5.2.9	Περιοχή μελέτης : 5_KAT.....	250
5.2.10	Περιοχή μελέτης : 3_KAT.....	256

5.3 Εφαρμογές με πρόσφατη γεωπληροφορία.....	262
5.3.1 Περιοχή μελέτης : 1_LIT.....	262
5.3.2 Περιοχή μελέτης : 7_KAT.....	265
5.3.3 Περιοχή μελέτης : 8_BAR.....	268
5.3.4 Περιοχή μελέτης : 4_NES.....	270
5.3.5 Περιοχή μελέτης : 6_BAR.....	273
5.3.6 Συμπεράσματα.....	275
5.4 Σύγκριση των προβλέψεων του μοντέλου με την ακτογραμμή του έτους 2009.....	278
5.4.1 Γενική περιγραφή.....	278
5.4.2 Περιοχή μελέτης : 1_LIT.....	280
5.4.3 Περιοχή μελέτης : 7_KAT.....	283
5.4.4 Περιοχή μελέτης : 6_BAR.....	285
5.4.5 Περιοχή μελέτης : 10_NES.....	289
5.5 Υπολογισμός του δείκτη προσαρμογής του μοντέλου.....	293
5.5.1 Γενική περιγραφή.....	293
5.5.2 Μεθοδολογία.....	293
6. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ (BINNING).....	299
6.1 Οι περιοχές μελέτης.....	299
6.1.1 Περιοχή μελέτης : 1_LIT.....	299
6.1.2 Περιοχή μελέτης : 7_KAT.....	302
6.1.3 Περιοχή μελέτης : 8_BAR.....	308
6.1.4 Περιοχή μελέτης : 4_NES.....	308
6.1.5 Περιοχή μελέτης : 6_BAR.....	308
6.1.6 Περιοχή μελέτης : 9_THE.....	314
6.1.7 Περιοχή μελέτης : 10_NES.....	326
6.1.8 Περιοχή μελέτης : 2_KAT.....	334
6.1.9 Περιοχή μελέτης : 5_KAT.....	339
6.1.10 Περιοχή μελέτης : 3_KAT.....	344
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	349
7.1 Συμπεράσματα.....	349
7.1.1 Η τοποθέτηση του θέματος.....	349
7.1.2 Η σπουδαιότητα και επικαιρότητα του θέματος.....	349
7.1.3 Επισκόπηση ερευνητικού πεδίου. Στοιχεία μεθοδολογιών.....	350
7.1.4 Η χρήση του φίλτρου Kalman στα πλαίσια δημιουργίας του μοντέλου πρόβλεψης.....	352
7.2 Τελικό συμπέρασμα - προτάσεις.....	354
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	361
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB.....	369
ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ.....	379

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η διατριβή αυτή, πραγματοποιήθηκε στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ) και συγκεκριμένα στον Τομέα Τοπογραφίας, στο Εργαστήριο της Ανώτερης Γεωδαισίας, υπό την καθοδήγηση του Αναπληρωτή Καθηγητή Ευστράτιου Δουκάκη. Τον ευχαριστώ θερμά για την καθοδήγηση, ενθάρρυνση, ηθική συμπαράσταση και συνεχή εποπτεία σε όλα τα στάδια της διατριβής. Ευχαριστίες οφείλω επίσης στο μέλος της συμβουλευτικής μου επιτροπής Καθηγητή Μιχάλη Σακελλαρίου, από τον Τομέα Έργων Υποδομής και Αγροτικής Ανάπτυξης και το Εργαστήριο Δομικής Μηχανικής, για την υποστήριξη και την αμέριστη βοήθεια που μου πρόσφερε όπως επίσης και για την παροχή γεωτεχνικών χαρτών του Ι.Γ.Μ.Ε., χρονολογίας έκδοσης 1989 και κλίμακας 1:500.000. Ακόμη, ευχαριστώ τον Καθηγητή Κωνσταντίνο Μουτζούρη, Διευθυντή του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων Ε.Μ.Π., μέλος της συμβουλευτικής μου επιτροπής, για τις συμβουλές και παρατηρήσεις του.

Τέλος, ευχαριστώ θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή Δημήτριο Δεληκαράογλου και τη Λέκτορα Ελισάβετ Τελειώνη για τη βοήθειά τους στα αρχικά στάδια της διατριβής.

Θα ήταν παράλειψη να μην εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στη συνάδελφο Αιμιλία Τσακίρη για την πολύτιμη αρωγή της σε πλήθος επιστημονικών και τεχνολογικών θεμάτων, όπως επίσης και στο Μαθηματικό Γιώργο Χαλκή για τις πολύτιμες συμβουλές του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους και φίλους Διονύση και Δημήτρη Λάμπρου για τη βοήθεια και στήριξή τους.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, στους φίλους μου και στη Μάρθα που μου συμπαράσταθηκαν κατά την περίοδο αυτή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παράκτια ζώνη με μεγάλη οικολογική σημασία και αξία, είναι ιδιαίτερη ευάλωτη στη μελλοντική εξέλιξη της ακτογραμμής. Από τη μελλοντική πρόσχωση ή υποχώρηση της ακτογραμμής εξαρτώνται αξίες ακινήτων γης, παράκτιες περιουσίες, οδικά δίκτυα και δημόσια έργα, η βιοποικιλότητα της κάθε παράκτιας περιοχής και το πιο σημαντικό από όλα, ανθρώπινες ζωές. Η υποχώρηση της ακτογραμμής και η απώλεια εδαφών μπορεί να πλήξει άμεσα το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων της συγκεκριμένης παράκτιας περιοχής αλλά ακόμα και να κινδυνεύσουν οι ίδιοι στην περίπτωση εκδήλωσης ενός επεισοδιακού καιρικού φαινομένου (π.χ. μιας κυματικής καταιγίδας).

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι η εκτίμηση της μελλοντικής μετακίνησης της ακτογραμμής μέσω της δημιουργίας και της χρήσης ενός μαθηματικού μοντέλου. Χρησιμοποιώντας πρωτογενή δεδομένα από 10 παράκτιες περιοχές της χώρας μας, εφαρμόστηκαν οι 10 πλέον διαδεδομένες στατιστικές και μη μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής. Ακολούθησε σύγκριση των αποτελεσμάτων με σκοπό την αξιολόγηση των υπαρχουσών μεθόδων, όσον αφορά την προσαρμογή τους με βάση τις ιδιομορφίες των ελληνικών ακτών. Στη συνέχεια, σύμφωνα με τη γενική περιγραφή και ανάλυση του φίλτρου Kalman [4], [62], δημιουργήθηκε ένα καινούργιο μοντέλο προσαρμόζοντας το φίλτρο σε παράκτια δεδομένα. Το μοντέλο που προέκυψε, δομήθηκε έτσι ώστε να περιλαμβάνει τα αποτελέσματα δράσης των σημαντικότερων παραγόντων που επιδρούν στην εξέλιξη της ακτογραμμής, χρησιμοποιώντας μια προσαρμοσμένη μορφή ενός μαθηματικού φίλτρου, όπως είναι το φίλτρο Kalman. Το φίλτρο Kalman επιλέχθηκε να προσαρμοστεί στα δεδομένα της παρούσας διατριβής και να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικό εργαλείο μελέτης της παράκτιας δυναμικής σε σχέση με τις υπάρχουσες μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, έτσι ώστε να προκύψουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα πρόβλεψης των μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής, με μικρότερες αβεβαιότητες, μέσω ενός πληρέστερου μαθηματικού εργαλείου. Πρόσθετα στην όλη παραπάνω διαδικασία μοντελοποίησης της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής, χρησιμοποιήθηκε και η μέθοδος «ομαδοποίησης διατομών» Binning [54], με σκοπό τον εντοπισμό τμημάτων σε κάθε ακτή με διαφοροποιημένους ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τη γενικότερη τάση μεταβολής, που υπολογίζεται σε κάθε περίπτωση. Οι 10 μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής σε συνδυασμό με την προσαρμοσμένη μορφή του φίλτρου Kalman αλλά και τη μέθοδο Binning, εφαρμόστηκαν σε κάθε μία από τις 10 παράκτιες περιοχές της διατριβής, με διαφορετικούς συνδυασμούς των διαθέσιμων πρωτογενών δεδομένων αλλά και των αβεβαιοτήτων τους.

Είναι γεγονός πως οι παράκτιες ζώνες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην πιθανή εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων (π.χ. κυματικές καταιγίδες, έντονη διάβρωση, κατολισθήσεις κ.α.). Βέβαια, το συγκεκριμένο μοντέλο δεν ενσωματώνει στη διαδικασία πρόβλεψης του την πιθανή εκδήλωση και δράση ακραίων καιρικών φαινομένων ή καταστροφών. Η πρόβλεψη που είναι ικανό να προσφέρει, αποτελεί μια εκτίμηση της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής, στηριζόμενη στη σύνθετη δράση ενός μεγάλου πλήθους παραγόντων.

Η μεγάλη σπουδαιότητα και αξία των παράκτιων περιοχών και οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών, επικαιροποιούν το θέμα της παρούσας διατριβής. Ιδιαίτερα στην περίπτωση της χώρας μας, όπου το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού αλλά και η πλειοψηφία των χρήσεων γης συγκεντρώνονται στις παράκτιες περιοχές της, η δημιουργία ενός μοντέλου προσδιορισμού της μελλοντικής εξέλιξης της

ακτογραμμής, κρίνεται ιδιαίτερος σημαντική. Μέσω αυτού του μοντέλου είναι δυνατόν να εκτιμηθούν μελλοντικές δυσάρεστες εξελίξεις και καταστάσεις για τα παράκτια συστήματα και να γίνει αποτελεσματικότερος χωροταξικός σχεδιασμός για τη μελλοντική ανάπτυξη τους, με βάση τις προβλεπόμενες θέσεις των ακτογραμμών. Γνωρίζοντας τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής, η πολιτεία θα είναι ικανή να θεσπίσει μέτρα και στρατηγικές προστασίας περιοχών που είναι ήδη ανεπτυγμένες οικιστικά και οι οποίες θα κινδυνέψουν στο μέλλον από πιθανή υποχώρηση της ακτογραμμής. Τέτοιου είδους μέτρα και στρατηγικές «ήπιας» προστασίας των παράκτιων περιοχών θα μπορούσαν να σχεδιαστούν, να εφαρμοστούν και να αποδώσουν μόνο υπό την προϋπόθεση ότι οι εκτιμήσεις για τις μελλοντικές θέσεις της ακτογραμμής είναι σχετικά ακριβείς. Με βάση τα παραπάνω, είναι προφανής η μεγάλη σημασία και χρησιμότητα ενός αξιόπιστου μοντέλου πρόβλεψης της εξέλιξης της ακτογραμμής στη διαδικασία χάραξης πολιτικών προστασίας των παράκτιων περιοχών.

EXTENDED ABSTRACT

All model simulations agree that the temperature in Greece will increase in the range of 1°C to 2°C by the year 2030. In general, mean sea level in Mediterranean is expected to rise at the rate of 5 cm/decade. In particular, sea level will rise about 50cm by the year 2100 (with an uncertainty range of 20-86cm). Delta Nile, Venice and Thessaloniki appear to be the more sensitive areas in Mediterranean [44], [59] and [67].

The scope of the current dissertation is the estimation of the future coastline displacements, according to specific, climate change scenarios. The final, expected outcome would be the creation and use of a model, able to determine the future evolution of the shoreline. In order to achieve that, statistical and non-statistical methods were used in order to compute the shoreline change rate of 10 coastal areas of Greece. Furthermore, in the same 10 areas, the known mathematical filter Kalman was originally adjusted and tested using coastal data (shoreline positions), for the first time in this particular dissertation. Finally, the Binning method gave the opportunity to detect and group certain parts of each shoreline of the study, according to different computed change rates [54].

Based on all the above, shoreline change rates with prediction errors were computed using different mathematical methods and tools and shorelines were categorized and studied intensively allowing the better comprehension of the processes of coastal evolution.

Introduction

The generated model comprises the action results of the most important factors that influence coastal evolution combined with a number of secondary factors. A very important parameter of the whole process of modeling coastal dynamics and shoreline evolution is also the integration of the predictions that are produced by the available climate-change models.

It is a fact that coastal zones are particularly vulnerable to extreme weather events, such as storm surges, intense erosion and landslides [43]. It must be mentioned that the model which was created on this particular study, is not capable of incorporating on its prediction procedure the possible action of extreme weather events or unexpected catastrophes. The actual capability of the model is to produce a reliable estimation of the future position of the shoreline, based on the observed, combined action of a large number of factors.

Using the available geo-information it is possible to test the reliability of the mathematical model. If the predicted/computed positions of the shoreline coincide with the actual positions in pre-determined dates, then it is proved that the model and particularly, the prediction algorithm, can determine with accuracy the future evolution of the shoreline. The amount of computations and the complexity of the designed model depend directly upon the volume of the available data and the wanted accuracy of the projections. The more historical shorelines are available in a coastal area, the larger is the number of calculations that are needed in order to describe the dynamic evolution of the shoreline. That way though, more data means more complete description of the prehistory of the particular coastal area. The combination of large amplitude of information and data, the computation of shoreline change rates using different statistical (and non-statistical) methods and the adjusted Kalman filter and finally the whole Binning process, were carried out using mathematical tools and

programs such as the MATLAB [28]. Through these programs the shoreline change rates were computed for the 10 coastal areas of Greece that were selected in the current study, using 10 statistical and non-statistical methods and the adjusted Kalman filter. These computed shoreline change rates and their prediction errors, consist the primary information and tool for any further study concerning the coastal evolution.

Materials and Methods

In this present study, 10 coastal areas of Greece were chosen in order to model their coastal dynamics, by calculating shoreline change rates (accretion or recession). All the above shorelines were categorized according to the calculated change rates and the projected land losses or damages on infrastructure.

The examination of the partial subjects of the dissertation present certain interest and challenge since coastal systems can be described as chaotic with a numerous factors that influence the shoreline movements. Also, the dynamic of each coastline can be characterized as a particular complex process with certain local distinctiveness. Until today, the shoreline movement as a phenomenon has not been yet described by a total, reliable mathematical model. Therefore, because of the complexity of the evolution process of the shoreline and the great physical importance of all the changes that undergo in all coastal systems, the creation and use of a model that could provide reliable predictions concerning shoreline change rates is considered to be crucial. The coastal zones in general, with great ecological and economical value, are rather vulnerable in climate changes, rise of sea levels and shoreline movements (especially in cases of erosion and losses of land) [42] and [43]. It is obvious that upon the future accretion or erosion of a coast depend real estate values, coastal properties, roads and public infrastructures [37], the bio-diversity of each area and the most important of all, human lives. The shoreline recession can distress directly the standard of living of the general population or even set their lives in jeopardy, especially in cases of periodic, extreme weather events such as a storm surge [43].

The great importance and value of coastal areas in combination with the imminent climate changes (global warming, sea level rise and increased extreme weather events), underline the subject of the present dissertation. Especially in Greece, where the largest part of the population and the vast majority of all the land uses are accumulated in its coastal areas, the creation and application of a model that is able to predict shoreline evolution, is rather important. Such a model would become a useful tool and would offer the opportunity to authorities to plan with great efficiency any layouts of future development, according to the predicted, future position of the shoreline, on every coastal area. Also, the knowledge of the trend of shoreline movements and its evolution would allow the government to establish measures and protection strategies for all the coastal areas that are already developed and populated and which will face future hazards and land losses because of the shoreline recession. Actions of this kind and protection strategies of light intervention with minimum effects for the environment (in opposition to “hard” protection measures such as sea walls, dikes or other structures) can be proved successful and viable only if the predictions of the future positions of the shoreline produced by the model are relatively accurate. The assessment of the shoreline movement is a complex, parametrical problem and many attempts were made worldwide during the last years in order to describe it in the best possible way and find realistic solutions. The consequences of the rapid climate change have been intensively studied and also how

human intervention (development in coastal areas) effect upon the evolution of each coastline [59].

In the present dissertation, the rates of change of the shoreline positions for every single one of the 10 chosen coastal areas have been calculated using the following procedure: At first, using aerial photographs taken at different time periods and topographic maps, the shoreline of the study area was digitized at these different time periods. The result of that process was a graphic design which included the positions of several historical shorelines (the same shoreline at different time periods) [49]. Afterwards, one of these historical shorelines (the oldest available) was used as the starting point of the study and a certain number of cross sections were designed, perpendicular to that starting shoreline (parallel to each other every 10, 20, 50 or even 100 meters, according to the morphology of each coastline). These cross sections intersected the rest of the historical shorelines in certain points. Measuring the distances between these points along the cross sections, produced the necessary data (shoreline positions) in order to calculate rates of change of the shoreline positions and therefore the historical retreat of the shoreline. In the majority of the 10 coastal areas, the time span of the study ranged around the years 1945 to 2000 (the historical retreat was calculated in most cases for this time period of 55 to 60 years). The rates of change that resulted from the above procedure were used later on in order to make predictions of the future shoreline positions for the year 2050, for all 10 coastal areas of Greece.

The 10 known statistical (and non-statistical) methods that are used worldwide to calculate the rates of shoreline change are presented synoptically below [38], [39], [45] and [57]:

1. End Point Rate (EPR) [33], [34], [36], [52] and [54]
2. Average of rates (AOR) [38] and [50]
3. Minimum Description Length (MDL) [33] and [45]
4. Jackknifing (JK) [54] and [38]
5. Ordinary Least Squares (OLS) [45], [46], [52], [53], [55], [57] and [66]
6. Reweighted Least Squares (RLS) [48]
7. Weighted Least Squares (WLS) [65]
8. Reweighted Weighted Least Squares (RWLS) [54]
9. Least Absolute Deviation (LAD) [72]
10. Weighted Least Absolute Deviation (WLAD) [54] and [73]

The above 10 methods were tested in the present study using original data taken from the 10 coastal areas of Greece, and their results were compared to each other (and with the results of the Kalman filter applications) offering useful conclusions about possible advantages or disadvantages of each method. Also, in order to identify parts in the 10 coastal areas of the study which are characterized by different change rates from the main trend of the main shoreline, or even appear stable (no recession or accretion), the grouping of adjacent cross-sections was used [54]. The “Binning” method of grouping cross-sections and the further analytical procedure using statistical tools (Student’s test) [54] is capable of improving the ratio between “signal and noise”, increasing the number of available information.

Results and Discussion

The known Kalman filter is theoretically an estimation of the linear problem of the least squares, where the instant state of a linear dynamic system is estimated (using the “state vector”), which is disrupted by “white” noise [31], [62] and [80]. The measurements are related in a linear way to the dynamic state of the system but there are “infected” by “white” noise. The estimator is statistically the best by any integrand of the square error of the estimation ($f(\varepsilon^2) = \min$).

Practically, the Kalman filter is a unique tool for the control of complicated procedures such as the flow of a river or the movement of boats, airplanes and satellites [80]. It can provide a static characterization of a dynamic problem since it uses in the circulation of probabilities, all the variables that is assigned to compute. The most important aspect though is that the Kalman filter provides predictions about the future, dynamic state of a system, incorporating the effect of all the previous observations [62] and [80]. It must be mentioned that the modification and the application of a mathematical “feedback” filter such as the Kalman filter, in cases of low-dynamic systems like coastal areas, using as original data the measured distances along cross-sections, is presented for the first time in the current dissertation.

The “escalating” equations of the measurements incorporate every time the new measurement in the a priori estimation, in order to produce a new, improved a posteriori estimation of the parameters. That way, the more available data (positions of the historical shorelines in our case) are available, the more complete and accurate will be the produced estimation vector.

The main equations that are used for the modified Kalman filter (which is proposed in the current study) are presented below [4] and [80]:

The a priori estimation of the state vector:

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{x}}_k^- &= \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}_{k-1} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{k-1} \\ \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-} &= \mathbf{A}\Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_{k-1}}\mathbf{A}^T + \mathbf{Q}\end{aligned}$$

The a posteriori estimation of the state vector:

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K}_k (\mathbf{z}_k - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}_k^-)$$

The gain matrix:

$$\mathbf{K}_k = \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-} \mathbf{H}^T (\mathbf{H}\Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-} \mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1}$$

The variability matrix:

$$\Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k} = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}) \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-}$$

The estimation for the state vector at the moment k-1:

$$\hat{\mathbf{x}}_{k-1}, \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_{k-1}}$$

It is obvious, based on the above 5 equations and the analysis of chapters 3, 4 and 5 of the current study, that the burden of computations in the case of Kalman filter is seriously increased in comparison to the 10 statistical methods of estimating shoreline change rate. Still, according to the application results of the original Kalman filter in cases of dynamic measurement systems, the particular method produced reliable

results, using primordial data with such high levels of “noise” that the volume and complexity of computations is not taken in consideration (especially since all statistical computations are carried out by computers). Therefore, comparing and combining the predicted (by the Kalman filter) shoreline positions with actual measurements, it is possible to produce new, corrected position estimators. Based on these experimental results and the quality of the predictions, the method of the adapted Kalman filter can be characterized as a statistical tool which undoubtedly improves the quality of the results and offers a better estimation of the future position of the shoreline. During the Kalman filter process, every time that new measurements are made, the validity of the prediction model is tested and in the same time the kinematic parameters of the coastal area, in reference to the time of the last measurements, are computed. Consequently, the prediction model of the future positions of the shoreline on each coastal area will have to be evaluated and tested, considering the reliability of each prediction. In general, that particular test is implemented in cases where the solution improvement of the vector of the unknown determinative parameters is required, using new additional measurements, without combining and “re-correcting” old and new measurements, all together again [31].

The proposed modification of the Kalman filter that is presented on the current dissertation, is aiming to improve the quality and reliability of the future shoreline position predictions, in comparison to the 10 known statistical (and non-statistical) existing methods that are used worldwide. The Kalman filter offers the opportunity for more precise computations of shoreline change rates, with lesser errors, approximating better the physical reality and coastal evolution by modelling the dynamics of coastal systems and incorporating the uncertainties of the original available data.

The modified Kalman filter in comparison to the 10 statistical and non-statistical) methods, is a mathematical tool which presents certain advantages concerning its structure and the reliability of its final predictions:

- The Kalman filter is characterized by a far more complete mathematical configuration concerning low dynamic systems such as the coastal ones, in comparison to the 10 known methods.
- In the Kalman filter method it is possible to check the intermediate stages of the prediction process – including “a priori/a posteriori” predictions for every observation time interval [4], [62] and [80].
- The uncertainties of the original data are being incorporated in the shoreline change rates that are computed by the modified Kalman filter.
- The produced results present “endurance” and are rather “robust” as far as concerning the existence of severe outliers in the original measurements.
- Despite the addition or abstraction of the available geo-information, the estimations that are produced by the Kalman filter are not considerably effected and vary upon a mean, statistical value, on each case.

Additionally, one of the most important advantages of the modified Kalman filter is that it can trace the possible discrepancy between the estimated and the actual shoreline position on every coastal area.

The circular, computational process of the Kalman filter offers the opportunity to compute every time an a priori estimator before each measurement and subsequent to that, a corrected a posteriori estimator, which incorporates the new observation with

its uncertainties [62]. That way, measurements with high observation errors (such as measured positions of historical shorelines of the year 1945 or even 1960) when they are incorporated in the model, they considerably effect the whole computational process concerning the corrected vector estimators, degrading the reliability and quality of the final prediction. Still, the Kalman filter is capable of incorporating all measurements and produce a relatively reliable prediction, regardless to the size and eminence of the partial position uncertainties. In fact, whenever an original measurement is followed by high uncertainties or an outlier appears on the middle of the distribution of the values, the Kalman filter may incorporate the current problematic value. The a posteriori estimator that is computed for that particular time interval may present decreased reliability, but in the next intervals and given the fact that the following measurements will have lesser uncertainties, the new, vector estimators will be piecemeal improved, regaining the reliability and the accuracy of the filter predictions. All the above conclude that the Kalman filter displays a relative flexibility and adaptability concerning the existence of possible uncertainties in the original data, contrary to the 10 known statistical methods where the quality and reliability of the resulted predictions of shoreline positions are severally influenced by primal errors.

Accordingly to the magnitude of the “noise” on the measurements but also through the comparison of the estimated shoreline change rates, the 10 available methods were evaluated. Some of them were poorly rated (at least according to the particularities and the nature of Greek coastal data) and considered as completely inappropriate for the estimation of shoreline change rates. Their results either were followed systematically by large uncertainties or even worst, the calculated shoreline change rates presented high deviations from the mean value of all the other estimations of the 10 methods. The AER, RLS, LAD and WLAD were judged as the most inappropriate methods, taking into consideration the specific nature and amount of the original available data for the 10 coastal areas of the study. As far as the EPR, AOR, WLS and RWLS methods, despite the considerable uncertainties or deviations of the calculated shoreline change rates in many cases, there were certain applications and specific coastlines where relatively reliable results were produced, which could be used for further studies. In the majority of the coastal areas that were examined in the current dissertation, the methods that constantly produced reliable results and estimated shoreline change rates with minimum uncertainties (“noise” over the signal) were the OLS [73] and JK.

In conclusion, the change rates that are calculated through the use of the Kalman filter combined with the statistical method of the OLS, constitute the best possible estimation with the lowest uncertainties of the future shoreline positions in all 10 coastal areas of the study. Furthermore, the application of the Binning method in every one of the 10 coastal areas of the study offers the opportunity to calculate partial change rates for certain sub-areas of each shoreline [54]. That way, these sub-areas with similar statistical “behavior” can be grouped and points on every shore can be identified where the general trend of accretion or recession changes. With the use of the Binning method and the grouping of neighboring sections along the coastline it is easier to build a more precise and detailed profile for each shoreline. Consequently, costal planning can be organized with greater effectiveness regarding protection strategies, with priority to parts of each coast where the greater land losses are estimated by the prediction models. Reliable shoreline change rates calculated by the mathematical models (such as the modified Kalman filter algorithm), combined with the advantages of the Binning method, constitute a rather complete and useful

mechanism of studying coastal dynamics and shoreline evolution that was tested in the 10 Greek coastal areas of the current dissertation.

If reliable estimations about future movements of the Greek shoreline can be computed then it will be possible for the officials to create an integrated and viable protection strategy of the coasts. Because of the rapid climate change and the increased coastal hazards, the land losses in Greece are expected to increase over the following years, constituting such a protection policy urgent and essential [43].

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ακτές παγκοσμίως παρουσιάζουν σημαντική συγκέντρωση πληθυσμών, χρήσεων γης και δραστηριοτήτων. Πρόσθετα, χαρακτηρίζονται ως περιοχές μεγάλης οικολογικής σημασίας και φυσικής ομορφιάς, οι οποίες επηρεάζονται άμεσα από τις κλιματικές αλλαγές και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Με βάση τα παραπάνω, γίνεται σαφές πως οι μελέτες που έχουν γίνει όσον αφορά τις κλιματικές αλλαγές στη Μεσόγειο και την Ελλάδα παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον.

Αρκετοί επιστήμονες υποστηρίζουν ότι ήδη παρατηρούνται τα αποτελέσματα υπερθέρμανσης του πλανήτη και αλλαγής του κλίματος τόσο στη Μεσόγειο όσο και την Ελλάδα [44]. Ειδικότερα για την περίπτωση της χώρας μας, αναμένεται αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στον αιώνα που διανύουμε σε υπερδιπλάσιο βαθμό από αυτήν που παρατηρήθηκε τον προηγούμενο αιώνα. Η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να είναι της τάξης των 4° C στα επόμενα 100 χρόνια [70]. Επίσης, αναμένεται μείωση των βροχοπτώσεων σε σχέση με τις βροχοπτώσεις των τελευταίων ετών και αύξηση της συχνότητας και της έντασης εκδήλωσης των ακραίων καιρικών φαινομένων (όπως είναι οι κυματικές καταιγίδες) στις επόμενες δεκαετίες. Αντίστοιχα με την αύξηση της θερμοκρασίας, θα αυξηθούν και οι χρονικές περίοδοι καύσωνα και πολύ υψηλής θερμοκρασίας. Αντίστοιχα, παρά τη γενικότερη τάση μείωσης των βροχοπτώσεων, ο αριθμός των περιπτώσεων ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης και πλημμυρών αναμένεται να αυξηθεί τα προσεχή χρόνια. Τέλος, αναμένεται άνοδος της στάθμης της θάλασσας μέχρι και 1m, με μέση τιμή προβλέψεων περίπου 0.5m, ανάλογη με την αναμενόμενη παγκόσμια άνοδο. Παρά την αβεβαιότητα των μοντέλων εκτιμάται ότι θα υπάρξει αξιοσημείωτη μείωση των καλοκαιρινών κατακρημνίσεων που συμφωνεί με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις για τη Μεσόγειο [70].

Όλες οι επιπτώσεις οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω, θα έχουν σοβαρές συνέπειες σε πολλούς τομείς της χώρας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία προβλημάτων στην οικονομία, καθώς ενδέχεται να παρουσιαστεί μείωση των εσόδων από διάφορες πηγές που θα πληγούν, ενώ παράλληλα θα χρειαστούν σημαντικά ποσά για την κάλυψη ελλείψεων που θα δημιουργηθούν και αποκαταστάσεων ζημιών που θα προκληθούν εξαιτίας της εκδήλωσης ακραίων καιρικών φαινομένων. Επομένως, κρίνεται απαραίτητο να υιοθετηθούν δέσμες μέτρων προστασίας και διαχείρισης της παράκτιας ζώνης στον ελληνικό χώρο που θα ευνοούν την αιεφόρο ανάπτυξη, με σεβασμό στο περιβάλλον. Η παράκτια ζώνη με μεγάλη οικολογική σημασία και αξία, είναι ιδιαίτερη εύαλωτη στη μελλοντική εξέλιξη της ακτογραμμής. Είναι προφανές πως από τη μελλοντική πρόσχωση ή υποχώρηση της ακτογραμμής εξαρτώνται αξίες ακινήτων γης, παράκτιες περιουσίες, οδικά δίκτυα και δημόσια έργα, η βιοποικιλότητα της κάθε παράκτιας περιοχής και το πιο σημαντικό από όλα, ανθρώπινες ζωές. Από την υποχώρηση της ακτογραμμής και την απώλεια εδαφών μπορεί να πληγεί άμεσα το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων της συγκεκριμένης παράκτιας περιοχής αλλά ακόμα και να κινδυνεύσουν οι ίδιοι στην περίπτωση εκδήλωσης ενός επεισοδιακού καιρικού φαινομένου (π.χ. μιας κυματικής καταιγίδας).

Αντικείμενο της παρούσας διατριβής είναι η εκτίμηση της μελλοντικής μετακίνησης της ακτογραμμής μέσω της δημιουργίας και της χρήσης ενός μαθηματικού μοντέλου. Το μοντέλο που προέκυψε, δομήθηκε έτσι ώστε να περιλαμβάνει τα αποτελέσματα δράσης των σημαντικότερων παραγόντων που επιδρούν στην εξέλιξη της ακτογραμμής, χρησιμοποιώντας μια προσαρμοσμένη μορφή ενός μαθηματικού φίλτρου, του φίλτρου Kalman. Το φίλτρο Kalman επιλέχθηκε να προσαρμοστεί στα δεδομένα της παρούσας διατριβής και να

χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτικό εργαλείο μελέτης της παράκτιας δυναμικής σε σχέση με τις υπάρχουσες μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής. Άλλωστε, τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 γνωστών στατιστικών και μη μεθόδων στην παρούσα διατριβή, χρησιμοποιώντας πρωτογενή δεδομένα από παράκτιες περιοχές της Ελλάδας, συνοδεύονταν σε πολλές περιπτώσεις από υψηλές αβεβαιότητες ή κρίνονταν εντελώς ανακριβή και μη ρεαλιστικά (υπολογίζονταν ρυθμοί μεταβολής αντίθετοι με την καταγεγραμμένη ιστορική μεταβολή της εκάστοτε ακτογραμμής). Οι υψηλές αυτές αβεβαιότητες και η αναξιπιστία των 10 μεθόδων σε αρκετές περιπτώσεις αποτέλεσαν και το βασικό κίνητρο έτσι ώστε να διερευνηθεί μια εναλλακτική μέθοδος μοντελοποίησης των μετακινήσεων της ακτογραμμής, μέσω της προσαρμογής του φίλτρου Kalman. Το συγκεκριμένο φίλτρο επιλέχθηκε εξαιτίας της μαθηματικής του δομής, της δυνατότητας υπολογισμού επί μέρους ρυθμών μεταβολής ανά χρονικό διάστημα παρατήρησης (πριν και μετά από κάθε καινούργια μέτρηση) αλλά και της δυνατότητας του να χρησιμοποιεί δεδομένα ενσωματώνοντας τις αβεβαιότητες τους στην κυκλική, υπολογιστική του διαδικασία. Τελικός σκοπός της θεωρητικής προσαρμογής και χρησιμοποίησης του φίλτρου Kalman ήταν να προκύψουν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα πρόβλεψης των μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής, με μικρότερες αβεβαιότητες, μέσω ενός πληρέστερου μαθηματικού εργαλείου.

Είναι γεγονός πως οι παράκτιες ζώνες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην πιθανή εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων (π.χ. κυματικές καταγίδες, έντονη διάβρωση, κατολισθήσεις κ.α.). Βέβαια, το συγκεκριμένο μοντέλο δεν ενσωματώνει στη διαδικασία πρόβλεψης του την πιθανή εκδήλωση και δράση ακραίων καιρικών φαινομένων ή καταστροφών. Η πρόβλεψη που είναι ικανό να προσφέρει, αποτελεί μια εκτίμηση της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής, στηριζόμενη στη σύνθετη δράση ενός μεγάλου πλήθους παραγόντων.

Οι ψηφιοποιημένες ιστορικές ακτογραμμές για κάθε περιοχή μελέτης, οι οποίες προκύπτουν από αεροφωτογραφίες διαφόρων χρονολογιών, χάρτες/διαγράμματα (χάρτες Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1:5.000, διαγράμματα καθορισμού αιγιαλού και παραλίας κλίμακας 1:500), ορθοφωτοχάρτες ορθοφωτογραφίες (ορθοφωτοχάρτες του Υπουργείου Γεωργίας κλίμακας 1:5.000) και δορυφορικές εικόνες, αποτελούν και τα πρωτογενή στοιχεία που χρησιμοποιούνται στη διατριβή. Με τη χρήση της παραπάνω διαθέσιμης γεωπληροφορίας, είναι δυνατόν να ελεγχθεί η αξιοπιστία του συγκεκριμένου μοντέλου εκτίμησης της μετακίνησης της ακτογραμμής. Στην περίπτωση που οι υπολογιζόμενες θέσεις των ακτογραμμών ταυτίζονται με τις πραγματικές θέσεις των ακτογραμμών σε προκαθορισμένες χρονολογίες, τότε αποδεικνύεται πως το μοντέλο/αλγόριθμος πρόβλεψης παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα και έγκυρους προσδιορισμούς της μελλοντικής εξέλιξης της ακτογραμμής, συνδυάζοντας ένα πλήθος στοιχείων. Μία σειρά εφαρμογών, με σκοπό τη βαθμονόμηση του μοντέλου και τη διερεύνηση της αξιοπιστίας των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής, εκτελέστηκε στο 5^ο κεφάλαιο. Σε αυτήν την ενότητα, η ψηφιοποιημένη πρόσφατη ακτογραμμή του έτους 2009, η οποία προέκυψε μέσω ενδεικτικής εκτίμησης από ορθοφωτογραφίες σε ψηφιακή μορφή της εταιρείας ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. (διαδικτυακά, σε γεωδαιτικό σύστημα ΕΓΣΑ '87), συγκρίθηκε σε συγκεκριμένες περιπτώσεις ακτών, με την υπολογιζόμενη θέση της ακτογραμμής για την ίδια χρονολογία, όπως αυτή προέκυψε από το προσαρμοσμένο φίλτρο Kalman. Με βάση τις παρατηρούμενες αποκλίσεις μεταξύ πραγματικής θέσης της ακτογραμμής και της προβλεπόμενης για το έτος 2009 (η πρόβλεψη αυτή προέκυψε χρησιμοποιώντας όλες τις υπόλοιπες διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές πριν από το 2009), προέκυψαν συμπεράσματα για το βαθμό προσέγγισης του

μοντέλου (δείκτης προσαρμογής «δ») στη φυσική εξέλιξη της ακτογραμμής. Σε περιπτώσεις ακτών παρατηρήθηκε συστηματικότητα στις αποκλίσεις μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής ακτογραμμής για το 2009 ενώ σε άλλες παρατηρήθηκε σημαντική προσέγγιση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικότητας (δηλ. ικανοποιητική προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα και ρεαλιστική μοντελοποίηση της μετακίνησης της ακτογραμμής).

Ο όγκος των υπολογισμών και η πολυπλοκότητα του μοντέλου που σχεδιάστηκε, εξαρτώνται άμεσα από τον όγκο των διαθέσιμων στοιχείων και την επιδιωκόμενη ακρίβεια των προβλέψεων. Όσες περισσότερες ιστορικές ακτογραμμές είναι διαθέσιμες σε μια περιοχή, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο όγκος των υπολογισμών που απαιτούνται για να περιγραφεί η δυναμική εξέλιξη της ακτογραμμής, αλλά συγχρόνως, τόσο πληρέστερα περιγράφεται και η προϊστορία της συγκεκριμένης περιοχής. Ο συνδυασμός ενός μεγάλου πλήθους πληροφοριών, ο υπολογισμός ρυθμών μεταβολής με διάφορες εφαρμοσμένες στατιστικές και μη, μεθόδους αλλά και μέσω του προσαρμοσμένου στη μελέτη, φίλτρου Kalman, έγινε με τη χρήση μαθηματικών εργαλείων και προγραμμάτων (περιβάλλον MATLAB) [28]. Μέσω αυτών των προγραμμάτων προέκυψαν και οι ζητούμενοι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής σε 10 περιοχές μελέτης, οι οποίοι αποτελούν και τη βάση του προσδιορισμού της μελλοντικής εξέλιξης της ακτογραμμής. Οι συγκεκριμένες 10 περιοχές επιλέχθηκαν έτσι ώστε να αποτελούν αντιπροσωπευτικά δείγματα παράκτιων συστημάτων του ελλαδικού χώρου. Ειδικότερα, επιλέχθηκαν αμμώδεις ακτές με ήπιες κλίσεις (Βαρθολομιά Ηλείας, Κατερίνη), ακτές σε δέλτα ποταμών, τμήματα προστατευόμενων περιοχών και βιοτόπων μεγάλης φυσικής και οικολογικής σημασίας (Δέλτα του Νέστου) αλλά και ακτές με τις οποίες συνορεύουν σημαντικές γεωργικές εκτάσεις με φαινόμενα καθίζησης (πεδιάδα Θεσσαλονίκης) ή ακτές στις οποίες υπάρχουν ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις και τουριστικές δραστηριότητες (ακτές ανατολικά της Κατερίνης). Αποφεύχθηκαν τμήματα ακτών στα οποία είναι κατασκευασμένα λιμενικά έργα καθώς σε αυτά τα σημεία η ακτογραμμή παρουσιάζεται διαχρονικά σταθερή (ειδικά στις περιπτώσεις που έχουν κατασκευαστεί λιμενοβραχίονες ή παραθαλάσσια τείχη) και οι ρυθμοί μεταβολής είναι μηδενικοί. Επίσης, ο γεωγραφικός προσανατολισμός των 10 ακτών που επιλέχθηκαν, ποικίλει (η ακτή στο Δέλτα του Νέστου έχει νότιο προσανατολισμό, οι ακτές στην Κατερίνη και στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης ανατολικό και νοτιοανατολικό προσανατολισμό κλπ.) έτσι ώστε η κάθε παράκτια περιοχή της μελέτης να εμφανίζει διαφορετικά χαρακτηριστικά ως προς τους ανέμους, τους κυματισμούς και το βαθμό που επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες.

Η μεγάλη σπουδαιότητα και αξία των παράκτιων περιοχών και οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών, επικαιροποιούν το θέμα της παρούσας διατριβής. Ιδιαίτερα στη χώρα μας, όπου το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού αλλά και η πλειοψηφία των χρήσεων γης συγκεντρώνονται στις παράκτιες περιοχές της, η δημιουργία ενός μοντέλου προσδιορισμού της μελλοντικής εξέλιξης της ακτογραμμής, κρίνεται ιδιαίτερος σημαντική. Μέσω του συγκεκριμένου μοντέλου, θα είναι δυνατόν να εκτιμηθούν μελλοντικές δυσάρεστες εξελίξεις και καταστάσεις για τα παράκτια συστήματα και να γίνει αποτελεσματικότερος χωροταξικός σχεδιασμός για τη μελλοντική ανάπτυξη τους, με βάση πάντα τις προβλεπόμενες θέσεις των ακτογραμμών. Γνωρίζοντας τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής, η πολιτεία είναι ικανή να θεσπίσει μέτρα και στρατηγικές προστασίας περιοχών που είναι ήδη ανεπτυγμένες οικιστικά και οι οποίες θα κινδυνέψουν στο μέλλον από πιθανή υποχώρηση της ακτογραμμής. Τέτοιου είδους μέτρα και στρατηγικές «ήπιας» προστασίας των παράκτιων περιοχών θα μπορούσαν να σχεδιαστούν, να

εφαρμοστούν και να αποδώσουν μόνο υπό την προϋπόθεση ότι οι εκτιμήσεις για τις μελλοντικές θέσεις της ακτογραμμής είναι σχετικά ακριβείς. Με βάση τα παραπάνω, είναι προφανής η μεγάλη σημασία και χρησιμότητα ενός αξιόπιστου μοντέλου πρόβλεψης της εξέλιξης της ακτογραμμής στη διαδικασία χάραξης πολιτικών προστασίας των παράκτιων περιοχών.

Η διατριβή αποτελείται από επτά κεφάλαια και οργανώνεται σε τρεις ενότητες και ένα παράρτημα. Η πρώτη ενότητα προσδιορίζει το εισαγωγικό πλαίσιο της έρευνας και περιλαμβάνει τα δύο πρώτα κεφάλαια. Ειδικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο εξετάζονται τα αίτια μετακίνησης της ακτογραμμής. Γίνεται ανάλυση θεμάτων όπως είναι οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον σε παγκόσμια κλίμακα. Πρόσθετα, εξετάζονται τα χαρακτηριστικά των ακτών και των παράκτιων συστημάτων και πώς επηρεάζονται αυτά από τις κλιματικές αλλαγές και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Επίσης, μελετώνται οι μηχανισμοί υποχώρησης της ακτογραμμής και η σημασία προστασίας των ακτών, όπως επίσης και συγκεκριμένες στρατηγικές προστασίας – προσαρμογής. Τέλος, παρουσιάζονται οι εκτιμώμενες κλιματικές αλλαγές στον ελληνικό χώρο και πώς επηρεάζουν αυτές τις ελληνικές ακτές όπως επίσης και οι αιτίες μετακίνησης της ακτογραμμής σε συνδυασμό με τις δραστηριότητες και τις χρήσεις γης στον ελληνικό χώρο. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι 10 παράκτιες περιοχές που εξετάζονται στη διατριβή με παράλληλη παράθεση των γενικών, φυσικών χαρακτηριστικών τους, όπως επίσης και δορυφορικές εικόνες και χάρτες (γεωλογικοί και χρήσεων γης) όπου φαίνονται εντοπισμένες οι συγκεκριμένες περιοχές. Αναφέρονται τα γεωλογικά χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής σε συνδυασμό με το φαινόμενο της διάβρωσης, όπως επίσης και τεκτονικοί χάρτες με εντοπισμένες τις σεισμογενείς περιοχές σε σχέση με τις παράκτιες περιοχές μελέτης. Ακόμα, γίνεται εισαγωγή στον τρόπο προσέγγισης του ζητήματος της μετακίνησης της ακτογραμμής στις περιοχές που εξετάστηκαν στη διατριβή και αναφέρονται τα «εργαλεία» αλλά και οι νέες μέθοδοι που θα χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία μοντελοποίησης της δυναμικής των παράκτιων συστημάτων.

Τα επόμενα τέσσερα κεφάλαια συγκροτούν τη δεύτερη ενότητα, στην οποία περιλαμβάνεται αφενός η θεωρητική ανάλυση των μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής και αφετέρου η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων και των αβεβαιοτήτων πρόβλεψης των παραπάνω μεθόδων για 10 παράκτιες περιοχές της Ελλάδας, οι οποίες εξετάστηκαν στην παρούσα διατριβή. Ειδικότερα, στο κεφάλαιο 3 παρουσιάζεται η θεωρητική ανάλυση των 10 στατιστικών και μη μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής, όπως επίσης και του φίλτρου Kalman, η οποία αποτελείται από τη γενική περιγραφή του φίλτρου αλλά και από την ανάλυση του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman στη μελέτη της δυναμικής των παράκτιων περιοχών. Επίσης, παρουσιάζεται η μεθοδολογία Binning [54] (ομαδοποίηση διατομών). Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων στις 10 παράκτιες περιοχές της διατριβής, στο κεφάλαιο 5 ακολουθεί η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων του φίλτρου Kalman και στο κεφάλαιο 6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μεθόδου «ομαδοποίησης» (Binning). Στην τρίτη και τελευταία ενότητα της διατριβής (κεφάλαιο 7) παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις που προέκυψαν από τη μελέτη των υπαρχουσών μεθόδων (στατιστικών και μη) υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, τη μέθοδο «ομαδοποίησης» αλλά και από την προσαρμογή και χρήση του φίλτρου Kalman στα πλαίσια δημιουργίας του μοντέλου πρόβλεψης. Όσον αφορά το προσαρμοσμένο στην παρούσα διατριβή φίλτρο Kalman, παρουσιάζεται αναλυτικά η θεωρητική δομή του σε περιβάλλον MATLAB

(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ). Στο τέλος της διατριβής παρατίθεται η ελληνική και η ξένη βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε, όπως επίσης και ηλεκτρονικές διευθύνσεις στο διαδίκτυο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΑΙΤΙΑ ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ

Η διαρκής μετακίνηση της ακτογραμμής σε κάθε παράκτια περιοχή αποτελεί το αθροιστικό αποτέλεσμα δράσης διαφόρων παραγόντων. Σημαντικές αιτίες που προκαλούν το συγκεκριμένο φαινόμενο αποτελούν η άνοδος της στάθμης της θάλασσας σε συνδυασμό με τις επερχόμενες κλιματικές αλλαγές. Πρόσθετα, αιτίες όπως η διάβρωση και οι ανθρώπινες δραστηριότητες επιδρούν σημαντικά στους μηχανισμούς των ακτών, προκαλώντας μετακίνηση της ακτογραμμής, ανάλογα και με τα φυσικά χαρακτηριστικά και τη γεωμορφολογία της κάθε περιοχής.

1.1 Η κατάσταση του κλίματος και επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον.

Διαχρονικά, κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ανθρώπινης ιστορίας, οι κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούσαν στην επιφάνεια της γης κατείχαν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση και την ανάπτυξη του πολιτισμού και της οικονομικής ζωής των ανθρώπων. Ανάλογα με τα επίπεδα θερμοκρασίας, τη βροχόπτωση και μία σειρά άλλων κλιματολογικών παραγόντων, οι άνθρωποι κάθε περιοχής καθόρισαν τον τρόπο ζωής τους, τις καθημερινές τους ανάγκες και τον πολιτισμό τους.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του ανθρώπινου πληθυσμού έχει επιλέξει σαν χώρο κατοικίας και εργασίας του παραθαλάσσιες ή παραποτάμιες περιοχές. Οι περιοχές αυτές προσφέρουν ένα μεγάλο πλήθος πλεονεκτημάτων και κινήτρων για ανάπτυξη καθώς σε αυτές παρουσιάζεται ηπιότερο κλίμα, πιο εύφορα εδάφη και περισσότερες φυσικές ομορφιές. Έτσι, υπάρχουν καλύτερες προϋποθέσεις για την ανάπτυξη των πρωτογενών τομέων της οικονομίας (γεωργία, αλιεία, κ.λ.π.), των δευτερογενών (εμπόριο, βιομηχανία κ.λ.π.) αλλά και των τριτογενών (τουρισμός, υπηρεσίες κ.λ.π.). Στις μέρες μας, σε παγκόσμιο επίπεδο, οι μεγαλύτερες μητροπόλεις είναι παράκτιες πόλεις οι οποίες αυξάνουν συνεχώς το μέγεθος τους καθώς όλο και περισσότεροι άνθρωποι μεταναστεύουν προς αυτές. Είναι χαρακτηριστικό πως περίπου το 66% του παγκόσμιου πληθυσμού κατοικεί σε απόσταση μερικών μόνο χιλιομέτρων από τη θάλασσα και αυτό ακριβώς συνεπάγεται ότι οι πιο ζωτικές και συνάμα οι πιο εντατικές για την επιβίωση του ανθρώπου δραστηριότητες θα επηρεαστούν δραστικά από την άνοδο στη στάθμη της θάλασσας [71], [78].

Οι παράκτιες περιοχές εξαιτίας της φύσης τους αλλά και της αλληλεπίδρασης τους με την θάλασσα, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις κλιματολογικές αλλαγές που συμβαίνουν στον πλανήτη. Τα παράκτια φυσικά οικοσυστήματα αντιδρούν συχνά βίαια στις αλλαγές κλίματος, όσο μικρές και αν είναι αυτές, με αποτέλεσμα να επηρεάζονται άμεσα και οι ανθρώπινες δραστηριότητες [90]. Με βάση τα παραπάνω γίνεται σαφές το πόσο σημαντικά εξαρτάται ο ανθρώπινος πολιτισμός από τις μελλοντικές πιθανές κλιματολογικές αλλαγές (αύξηση στη μέση θερμοκρασία του εδάφους και των ωκεανών, το λιώσιμο των πάγων και του χιονιού και την αύξηση στη στάθμη της θάλασσας παγκοσμίως [59], [77]) και τη συμπεριφορά-αντίδραση των ωκεανών και των θαλασσών σε παγκόσμιο επίπεδο εξαιτίας των αλλαγών αυτών.

Η θερμοκρασία αρχικά αναμενόταν να αυξηθεί από 1,8 έως 4°C μέχρι το 2100 [88], προκαλώντας άνοδο του επιπέδου των ωκεανών από 18 έως 59 εκατοστά (αρχικές εκτιμήσεις). Πλέον, σύμφωνα με τις τελευταίες προβλέψεις, αναμένεται αύξηση από 1,1 έως 6,4°C με αντίστοιχη πιθανή άνοδο του επιπέδου των ωκεανών της τάξης των 28 έως 43 εκατοστών και εξαφάνιση του Αρκτικού θαλάσσιου πάγου κατά το καλοκαίρι μέχρι το έτος 2050 [59], [60]. Παράλληλα, οι βροχοπτώσεις και

τα κύματα καύσωνα αναμένονται να εκδηλώνονται πιο συχνά και οι κυκλώνες να είναι περισσότερο σφοδροί [59], [60].

Συγκρίνοντας τα «παλαιοκλιματικά» στοιχεία, οι εμπειρογνώμονες καταγράφουν ότι την τελευταία φορά που η θερμοκρασία στις πολικές περιοχές είχε αυξηθεί περισσότερο σε σχέση με την σημερινή κατάσταση και για μεγάλο χρονικό διάστημα, ήταν πριν από περίπου 125.000 χρόνια, ενώ η στάθμη των θαλασσών είχε αυξηθεί από 4 έως 6 μέτρα. Πριν από δύο εκατομμύρια χρόνια περίπου, κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς περιόδου, υπήρξαν αρκετές μεμονωμένες παγετώνιες και ενδιάμεσες μεσοπαγετώνιες περιόδους, κατά τις οποίες οι πάγοι επεκτάθηκαν και οπισθοχώρησαν [14]. Στην πρώτη περίπτωση η στάθμη της θάλασσας χαμήλωνε, ενώ στη δεύτερη ανυψωνόταν με την τήξη των παγετώνων [29]. Κατά την περίοδο 9.000 με 5.500 χρόνια πριν, η μ. σ. θ. ανήλθε κατά 122 μέτρα περίπου. Το επίπεδο της θάλασσας μετά το τέλος αυτής της περιόδου παραμένει περίπου στα σημερινά επίπεδα [14], [56].

1.2 Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας.

1.2.1 Πως ορίζεται η στάθμη της θάλασσας.

Ως στάθμη της θάλασσας ενός συγκεκριμένου τόπου, ορίζεται ουσιαστικά η μέση στάθμη της θάλασσας (μ.σ.θ), η οποία υπολογίζεται ως ο μέσος όρος των στιγμιαίων σταθμών της επιφάνειας της θάλασσας στον τόπο αυτό για μια μεγάλη χρονική διάρκεια. Συνήθως ως μ.σ.θ. λαμβάνεται ο μέσος όρος των ωριαίων υψών κατά τη διάρκεια ενός έτους, επειδή έτσι περιέχεται όλος ο αριθμός των επιδράσεων των έλξεων Σελήνης και Ηλίου (που ο μέσος όρος τους θα είναι μηδέν) και προσδιορίζεται από την ανάλυση στοιχείων που έχουν καταγραφεί από τοπικούς σταθμούς μέτρησης (παλιρροιογράφους) με ακρίβεια λίγων εκατοστών [2]. Ο προσδιορισμός της μ.σ.θ. γίνεται σήμερα με τεχνητούς δορυφόρους με ικανοποιητική ακρίβεια. Ο πρώτος καθαρά ωκεανογραφικός δορυφόρος ήταν ο Sea Sat A που άρχισε να λειτουργεί τον Ιούλιο του 1978 και για το πολύ μικρό χρονικό διάστημα που λειτούργησε (έως τον Οκτώβριο του ίδιου έτους) έδωσε πολύτιμα στοιχεία για τις θάλασσες [5]. Ο δορυφόρος Topex / Poseidon, γάλλο-αμερικανικής κατασκευής, υπέδειξε μια άνοδο του μέσου επιπέδου της θάλασσας κατά 2,5mm ανά έτος από το 1993 [5]. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι βοηθούν σημαντικά στην παρατήρηση των κινήσεων των ωκεανών και των διαταραχών που συμβαίνουν σε αυτούς. Θεωρητικά, ένα αρχείο πολλών παρατηρήσεων των υψών της θάλασσας σε έναν τόπο αποτελεί θεμελιώδη βάση για τον προσδιορισμό της μ.σ.θ., εφόσον είναι συνεχές και διαρκεί περίπου 19 χρόνια [74]. Έτσι εξαλείφονται οι διαφορές στα ύψη των παλιρροιών που προκαλούν οι επιδράσεις της Σελήνης και του Ήλιου.

1.2.2 Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, προβλέψεις και σενάρια, αιτίες και επιπτώσεις στο ανθρώπινο και φυσικό περιβάλλον.

Η μελλοντική στάθμη της θάλασσας εξαρτάται από τρεις κύριους παράγοντες [5]:

1. Από τη συνολική ποσότητα του νερού που γεμίζει τις ωκεάνιες λεκάνες.
2. Από τη θερμοκρασία των ωκεάνιων στρωμάτων.
3. Από το σχήμα του ωκεάνιου βυθού.

Παράλληλα, υπάρχουν και κάποιοι δευτερεύοντες παράγοντες όπως είναι η μεταφορά χιονιού και πάγου από την ξηρά στην θάλασσα και η αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών ή ακόμα και η μορφολογία των ωκεάνιων βυθών (μικρή επίδραση στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας).

Το σταδιακό λιώσιμο των πάγων και η εξάτμιση νερού στην ατμόσφαιρα εξαιτίας της θέρμανσης του πλανήτη θα επιφέρουν μεγάλες επιπτώσεις στο κλίμα και θα επηρεάσουν άμεσα το επίπεδο στάθμης της θάλασσας [84]. Υπάρχουν εκτιμήσεις (όσον αφορά το λιώσιμο των πάγων σε σχέση με την παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας) για άνοδο της στάθμης της θάλασσας από 75 έως 112cm μέχρι το έτος 2100 (σύμφωνα με το μοντέλο GISS). Ειδικότερα, άλλα σενάρια προβλέπουν άνοδο της στάθμης της θάλασσας της τάξης των 144cm, των 216cm ή ακόμα και των 345cm έως το έτος 2100 [79]. Γενικά, ανάλογα με τους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη στη σύνταξη κάθε σεναρίου, προκύπτουν και ανάλογες προβλέψεις με τις αβεβαιότητες τους.

Ένα μετριοπαθές σενάριο το οποίο προσμετρά και την αναλογία χιονιού και πάγου, προβλέπει άνοδο της τάξης των 144.4cm έως το έτος 2100 [79]. Μάλιστα, σύμφωνα με την WCC μπορούμε να έχουμε άνοδο της στάθμης της θάλασσας της τάξης των 10 ιντσών τα επόμενα 50 χρόνια και συνολική άνοδο της τάξης των 26 ιντσών πάνω από τα τωρινά επίπεδα μέχρι το έτος 2100. Τα μοντέλα πρόβλεψης δείχνουν επίσης ότι η στάθμη της θάλασσας θα συνεχίσει να ανεβαίνει και μετά το 2100 εξαιτίας καθυστέρησης στις κλιματολογικές αντιδράσεις (η λεγόμενη «αδρανειακή συμπεριφορά» του κλίματος), ακόμα και αν οι συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου σταθεροποιούνταν σήμερα. Πρόσθετα, υπάρχουν σενάρια τα οποία περιλαμβάνουν σαν παράγοντες και την δράση ηφαιστειών ή ακόμα και την ηλιακή ακτινοβολία (ακραίοι σχετικά παράγοντες).

Αποτέλεσμα της δράσης όλων των παραπάνω κλιματικών παραγόντων και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας θα είναι ουσιαστικά η συνολική αλλαγή της μορφολογίας των ακτών σε σχέση με το πώς είναι στις μέρες μας. Μέχρι το πρόσφατο παρελθόν οι κυριότερες αιτίες διαμόρφωσης των ακτών θεωρούνταν οι κινήσεις των τεκτονικών πλακών [5] και η διαμόρφωση του στερεού φλοιού της Γης σε συνδυασμό βέβαια με τη φυσική συμπεριφορά των ωκεανών και των θαλασσών. Παράλληλα όμως, τις τελευταίες δεκαετίες ρυθμιστικό ρόλο στην διαμόρφωση των ακτών κατέχει και ο ίδιος ο άνθρωπος είτε άμεσα με την οικιστική ανάπτυξη των παραθαλάσσιων αυτών περιοχών είτε έμμεσα με την επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στις κλιματικές ισορροπίες και στα επίπεδα της στάθμης της θάλασσας [1].

1.3 Οι παράκτιες ζώνες και πως επηρεάζονται από τις κλιματικές αλλαγές και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

1.3.1 Ορισμός της παράκτιας ζώνης.

Η παράκτια ζώνη αποτελεί ουσιαστικά την μεταβατική περιοχή μεταξύ ξηράς και θάλασσας και είναι ζώνη με συγκεκριμένα φυσικά χαρακτηριστικά και διαστάσεις ανά περιοχή [5], [20]. Έτσι, το πλάτος, το εμβαδόν, η γεωλογική σύσταση του εδάφους και η κλίση του ανάγλυφου μπορεί να ποικίλουν από τη μία παραθαλάσσια περιοχή στην άλλη, όπως επίσης και τα είδη βλάστησης ή ακόμα και το είδος των οικοσυστημάτων. Η κάθε χώρα, ανάλογα με την ιστορική της διαδρομή, τα εθνικά της συμφέροντα και τα νομικά της πλαίσια, ορίζει και τα θαλάσσια όρια της κάθε παράκτιας ζώνης, μέσα στα γενικότερα όρια των χωρικών της υδάτων. Συχνά, εξαιτίας των συνεχών αλλαγών στο φυσικό περιβάλλον, τα όρια κάποιων από τις

παράκτιες περιοχές χρειάζεται να επαναπροσδιορίζονται ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Όσον αφορά τα γενικά είδη των παρακτίων ζωνών, υπάρχουν οι ηπειρωτικές παράκτιες ζώνες, τα δέλτα ποταμών και τα νησιά. Οι ηπειρωτικές παράκτιες ζώνες παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία σε γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και σε πιθανές χρήσεις. Συνήθως οι περιοχές που έχουν έντονο ανάγλυφο και βραχώδεις ακτές χαρακτηρίζονται από σταθερότητα καθώς δεν είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στις κλιματολογικές αλλαγές και στην άνοδο της στάθμης της θάλασσα αλλά συγχρόνως δεν παρουσιάζουν και πολλές ευκαιρίες για αξιοποίηση και οικονομική εκμετάλλευση. Αντίθετα, παράκτιες ηπειρωτικές ζώνες με φυσικές ομορφιές και ομαλό ανάγλυφο με μικρή κλίση προσφέρονται για οικιστική ανάπτυξη και για τη δημιουργία τουριστικών δραστηριοτήτων αλλά παράλληλα είναι σαφώς πιο ευάλωτες σε πιθανούς παράκτιους κινδύνους. Στις περιπτώσεις των δέλτα που σχηματίζονται από ποτάμια, υπάρχουν φυσικοί βιότοποι μεγάλης οικολογικής σημασίας καθώς και εδάφη που είναι ιδιαίτερα γόνιμα. Οι συγκεκριμένες περιοχές συνήθως προσελκύουν την ανθρώπινη παρουσία καθώς προσφέρουν ευκαιρίες για οικονομική ανάπτυξη (γεωργία-αλιεία) αλλά κινδυνεύουν συνεχώς από την άνοδο των επιπέδων των υδάτων και από καταστροφικές πλημμύρες.

Όσον αφορά τέλος τις νησιωτικές παράκτιες ζώνες, είναι κατά βάση περιοχές με έντονη οικιστική ανάπτυξη κυρίως εξαιτίας του τουρισμού (η πλειοψηφία των παρακτίων ζωνών της χώρας μας αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα άναρχης οικιστικής ανάπτυξης εξαιτίας του τουρισμού και της απουσίας συνολικού χωροταξικού σχεδιασμού) οι οποίες πλήττονται λιγότερο ή περισσότερο από τις ίδιες παράκτιες καταστροφές από τις οποίες πλήττονται και οι υπόλοιπες παραθαλάσσιες περιοχές. Η διαφορά έγκειται στο ότι οι νησιώτικες παράκτιες ζώνες χαρακτηρίζονται από μία σειρά ιδιομορφιών (όπως για παράδειγμα τα περιορισμένα αποθέματα γλυκού νερού ή την δυσκολία άμεσης αντιμετώπισης φυσικών καταστροφών εξαιτίας ανεπαρκών μέσων) οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα την μεγέθυνση των επιπτώσεων πιθανών παράκτιων κινδύνων. Κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα όλων των παραπάνω παρακτίων ζωνών είναι το ότι αποτελούν εξαιρετικά ευαίσθητα οικοσυστήματα, ιδιαίτερα ευάλωτα στις κλιματολογικές αλλαγές, τα οποία συντηρούν πολυπληθείς, ανθρώπινες κοινωνίες.

1.3.2 Βιογεωφυσικά αποτελέσματα και κοινωνικό-οικονομικές επιδράσεις στις παράκτιες ζώνες.

Οι έξι πιο σημαντικοί βιογεωφυσικοί παράγοντες (άσχετα από τους πρωταρχικούς κλιματολογικούς παράγοντες και τις δυναμικές ωκεάνιες επιδράσεις) είναι οι εξής [20], [43]:

- Οι αυξανόμενες συχνότητες πλημμύρας.
- Η διάβρωση.
- Οι καταιγίδες.
- Τα επίπεδα των ταμιευτήρων νερού.
- Η είσοδος υφάλμυρων υδάτων στα αποθέματα πόσιμου-γλυκού νερού.
- Οι βιολογικές επιδράσεις.

Τα άμεσα αποτελέσματα της δράσης των παραπάνω παραγόντων στο φυσικό περιβάλλον και στις ανθρώπινες κοινωνίες είναι ιδιαίτερος σημαντικά.

Οι απώλειες στην οικονομία και η διατάραξη των φυσικών ισορροπιών (πιθανές οικολογικές καταστροφές) σε συνδυασμό με την υποβάθμιση αξιών μέσω της

καταστροφής-απώλειας γης και εγκαταστάσεων, καταλήγουν τελικά στην φυγή των κατοίκων από τις παράκτιες περιοχές που αντιμετωπίζουν κίνδυνο. Ιδιαίτερα, ο αυξανόμενος κίνδυνος πλημμύρας για ανθρώπους, γη και εγκαταστάσεις αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα το οποίο γίνεται όλο και περισσότερο πιο έντονο για παράκτιες ζώνες με συγκεκριμένη μορφή ανάγλυφου. Συγχρόνως, άλλες επιδράσεις των παραπάνω βιογεωφυσικών παραγόντων που αναφέρθηκαν οι οποίες συνδέονται με την διαχείριση των αποθεμάτων νερού, την αλμυρότητα και τις βιολογικές δραστηριότητες όπως είναι η γεωργία ή η αλιεία, πλήττουν πρόσθετα την οικονομία και την ποιότητα ζωής των κατοίκων παράκτιων περιοχών. Χαρακτηριστικά, σαν παράδειγμα παράπλευρης επίδρασης της ανόδου της στάθμης της θάλασσας μπορεί να αναφερθεί η εισχώρηση αλμυρού νερού στο εσωτερικό της στεριάς που έχει σαν αποτέλεσμα την επιδείνωση της ποιότητας των αποθεμάτων πόσιμου νερού και συνεπώς τη δημιουργία προβλημάτων υγείας στον ντόπιο πληθυσμό. Συνεπώς, τα αποθέματα νερού, η γεωργία, η αλιεία, ο τουρισμός και οι τοποθεσίες κατοικίας είναι όλοι τομείς που πλήττονται άμεσα ή έμμεσα από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

1.4 Οι μηχανισμοί υποχώρησης της ακτογραμμής.

Η σημασία κατανόησης των διαδικασιών υποχώρησης των ακτών είναι ιδιαίτερα μεγάλη για τον άνθρωπο λόγω της σημαντικής αξίας που έχουν οι περιοχές αυτές για την ανθρώπινη ζωή. Έτσι, η συμπεριφορά και οι τρόποι αντίδρασης των ακτών σε αλλαγές στα χαρακτηριστικά των κυμάτων, στις αποθέσεις των υλικών (ιζηματογενή πετρώματα) και στις ανθρώπινες δραστηριότητες, αποτελούν θέματα που πρέπει να μελετηθούν διεξοδικά καθώς :

- Οι παραλίες είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς περιοχές αναψυχής.
- Οι παραλιακές ζώνες αποτελούν τα «αμορτισέρ» των παράκτιων περιοχών, καθώς προστατεύουν τους υδροβιότοπους, τις παράκτιες καλλιέργειες και οικοσυστήματα από τη δράση των κυμάτων [68].
- Πολλοί άνθρωποι κατοικούν σε παραθαλάσσιες περιοχές παγκοσμίως.
- Κάθε χρόνο ξοδεύονται μεγάλα ποσά από πολλά παράκτια κράτη για τον σχεδιασμό προστασίας και την τεχνητή θρέψη των ακτών [68].
- Τα αποθέματα των ιζημάτων, των υλικών εναπόθεσης και συνεπώς η ισορροπία της κάθε παραλίας επηρεάζονται άμεσα από τα ανθρώπινα κατασκευαστικά έργα [87].
- Η άμμος αποτελεί φυσικό πόρο μεγάλης οικολογικής σημασίας για τις περισσότερες παραλιακές περιοχές, καθώς έχει συγκεκριμένα φυσικά χαρακτηριστικά ανά τόπο και βρίσκεται σε έλλειψη (παράδειγμα τέτοιων περιοχών αποτελούν σχεδόν όλα τα παράλια των Η. Π. Α., [68]).

Όσον αφορά τη μεταβολή της ακτογραμμής, αυτή επέρχεται ως το αθροιστικό αποτέλεσμα δράσης όλων των παρακάτω παραγόντων [41]:

- Οι πλημμύρες : Η οπισθοχώρηση της ακτογραμμής επέρχεται εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Ειδικότερα, οι παράκτιες περιοχές μικρής κλίσης (ομαλού ανάγλυφου) αντιμετωπίζουν το φαινόμενο διείδυσης θαλάσσιων

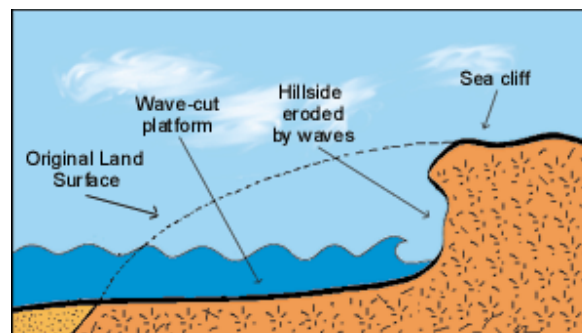
υδάτων ίσως και χιλιόμετρα στο εσωτερικό της στεριάς. Οι καταστροφές σε οικισμούς, καλλιέργειες και στα παράκτια οικοσυστήματα είναι τεράστια.

- Η ιστορική οπισθοχώρηση της ακτογραμμής : Οι ακτές αντιδρούν ιστορικά στις όποιες αλλαγές κλιματικών συνθηκών και στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας με το πέρασμα των χρόνων. Έτσι, παράλληλα με την άνοδο του επιπέδου των ωκεανών και των θαλασσών, εξελίσσονται και οι παραλίες, οπισθοχωρώντας.
- Το φαινόμενο της διάβρωσης : Οι ακτές ανάλογα με την κλίση τους (την κλίση της υφαλοκρηπίδας τους), τη γεωλογική σύσταση του εδάφους (αμμώδεις ή βραχώδεις ακτές) και την ένταση των φυσικών θαλάσσιων φαινομένων, αντιδρούν στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας και διαβρώνονται σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό.

Η μετακίνηση ποσοτήτων άμμου (διάβρωση) μακριά από την παραλία είναι μία φυσική διαδικασία η οποία προκαλείται από τον συνδυασμό διαφόρων φυσικών δυνάμεων όπως [20]:

1. Η αλληλεπίδραση των κυμάτων με τα υποθαλάσσια ρεύματα και τις αποθέσεις υλικών στον πυθμένα της θάλασσας.
2. Τα θαλάσσια ρεύματα που δημιουργούνται εξαιτίας ισχυρών ανέμων μακριά από την ακτή.
3. Τα βίαια θαλάσσια ρεύματα.
4. Τα ρεύματα της παλίρροιας.
5. Οι κυματικές καταιγίδες.
6. Τα ρεύματα που δημιουργούνται και κατευθύνονται από δυνάμεις της βαρύτητας.
7. Η παροδική άνοδος και κάθοδος της στάθμης της θάλασσας εξαιτίας του αέρα και των κυμάτων.
8. Η μετακίνηση υλικών εξαιτίας των δυνάμεων της βαρύτητας.

Μεγάλη σημασία στην όλη διαδικασία της διάβρωσης και την μεταφορά των ιζημάτων προς μεγαλύτερα βάθη, έχει και η κλίση του βυθού της θάλασσας. Μια μικρή κλίση μπορεί να επιβραδύνει την εγκάρσια μετακίνηση υλικού, διαχωρίζοντας έτσι την άνοδο της στάθμης της θάλασσας από την διάβρωση των ακτών, σαν φαινόμενα. Αντίθετα, μια μεγάλη, απότομη κλίση επιφέρει συχνά την επιτάχυνση του φαινομένου της διάβρωσης αλλά και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας.



Εικόνα 1 : Διάβρωση ακτής με απότομη κλίση. Η διακεκομμένη γραμμή συμβολίζει το αρχικό σχήμα της ακτής [89].

- Οι κυματικές καταιγίδες σε συνδυασμό με δυνατούς ανέμους : Το φαινόμενο αυτό είναι ένα θαλάσσιο φυσικό φαινόμενο το οποίο διαρκεί για μικρό χρονικό

διάστημα (μπορεί να διαρκέσει μόνο λίγες ώρες) αλλά εξαιτίας της μεγάλης του έντασης συνήθως προκαλεί μεγάλες καταστροφές στις παράκτιες περιοχές που πλήττει. Στις Η. Π. Α. και σε περιοχές του Ειρηνικού ωκεανού οι κυματικές καταιγίδες συχνά εξελίσσονται σε ιδιαίτερα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως είναι οι τυφώνες και οι κυκλώνες, τα οποία προκαλούν τεράστιες οικονομικές ζημιές και απώλειες ανθρωπίνων ζώων [82].

- Η διαδικασία της αμμοληψίας : Αμμώδεις παραλίες με αποθέματα συγκεκριμένων τύπων άμμου, γίνονται οι τροφοδοτές άλλων παραλίων οι οποίες αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα διάβρωσης και υποχώρησης της ακτογραμμής. Η μεταφορά αυτή ποσοτήτων άμμου από τη μία παραλία στην άλλη από τον άνθρωπο συχνά δημιουργεί περισσότερα προβλήματα από όσα λύνει καθώς είναι ιδιαίτερα πολυέξοδος ως στρατηγική προστασίας και διαταράσσει τις φυσικές ισορροπίες των ντόπιων οικοσυστημάτων. Στις Η. Π. Α., εφαρμόζουν κατά κόρον την μέθοδο τεχνητής θρέψης των αμμωδών ακτών (ειδικά αυτών που παρουσιάζουν και τουριστικό ενδιαφέρον) που αντιμετωπίζουν μεγάλα προβλήματα διάβρωσης και οπισθοχώρησης της ακτογραμμής, με ποσότητες άμμου ίδιου τύπου που μεταφέρουν από άλλες περιοχές [82].

1.5 Οι ελληνικές ακτές.

1.5.1 Πως επηρεάζονται οι παράκτιες περιοχές στην Ελλάδα από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Όσον αφορά την άνοδο της στάθμης της θάλασσας στη λεκάνη της Μεσογείου, οι επιστημονικές προβλέψεις περιγράφουν μια άνοδο της τάξης του ενός μέτρου ή ακόμα και παραπάνω μέχρι το έτος 2100 [59], [60]. Από αυτήν την αναμενόμενη άνοδο είναι δεδομένο ότι θα επηρεαστούν όλες οι παράκτιες και νησιωτικές περιοχές της Ελλάδας, οι ευαίσθητες περιοχές στα δέλτα ποταμών όπως είναι ο Έβρος, ο Στρυμόνας και ο Νέστος, όπως επίσης και περιοχές μικρής κλίσης και ιδιαίτερα χαμηλού υψομέτρου γύρω από το Μεσολόγγι, στην Θράκη και στην Κρήτη. Επίσης, πρόβλημα θα αντιμετωπίσουν και περιοχές που εμφανίζουν έντονη καθίζηση εξαιτίας γεωλογικών φαινομένων και μετακινήσεων όπως είναι και η Θεσσαλονίκη [10].



Εικόνες 2 και 3 : Στις εικόνες αυτές φαίνονται τμήματα των δέλτα των ποταμών Αχελώου και Νέστου. Οι συγκεκριμένες περιοχές είναι βιότοποι μεγάλης οικολογικής σημασίας [91].

Η Ελλάδα είναι η χώρα με το μεγαλύτερο περίγραμμα ακτών σε ολόκληρη τη λεκάνη της Μεσογείου [78]. Σε ποσοστό 30% περίπου, οι ακτές της Ελλάδας χαρακτηρίζονται από ήπιες κλίσεις. Παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία γεωλογικών σχηματισμών και πετρωμάτων και έχουν κατά το παρελθόν επηρεαστεί από έντονη τεκτονική δραστηριότητα (εξηγείται από την αυξημένη σεισμική δραστηριότητα του ελλαδικού χώρου). Οι παράκτιες ζώνες στην χώρα μας συγκεντρώνουν το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού και πλήθος χρήσεων (κατοικία, βιομηχανία, αναψυχή), ενώ συγχρόνως συνιστούν ένα πολύπλοκο οικοσύστημα και είναι πόρος μοναδικής εθνικής σπουδαιότητας [15]. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε πως στις μέρες μας σχεδόν ο μισός ελληνικός πληθυσμός κατοικεί σε μια παράκτια ζώνη 10 χιλιομέτρων περίπου (πρόκειται για την παράκτια ζώνη όπου είναι εγκατεστημένη η πρωτεύουσα Αθήνα και στην οποία είναι συγκεντρωμένος ο μισός πληθυσμός της χώρας).

Οι διάφορες χρήσεις που έχουν συγκεντρωθεί στη ζώνη του αιγιαλού και της παραλίας έχουν δημιουργήσει πολλά προβλήματα στο χώρο αυτό καθώς η εμφάνισή τους έγινε στις περισσότερες περιπτώσεις άναρχα. Αν αυτό συνδυαστεί με την αναμενόμενη άνοδο στη μέση στάθμη της θάλασσας, περιοχές με μικρές κλίσεις θα υποστούν δραστικές αλλαγές στις οριογραμμές του αιγιαλού και της παραλίας, κάτι που μπορεί να αφορά πολλά χιλιόμετρα προς το χέρσο και να σημάνει την καταστροφή εγκαταστάσεων, καλλιέργειών, οικισμών, οικοσυστημάτων, πλήττοντας την τοπική αλλά και εθνική οικονομία [6], [13].

Σε πολλές περιπτώσεις παραθαλάσσιων τοποθεσιών της χώρας, ανεγέρθησαν κτίρια, τουριστικές εγκαταστάσεις, ξενοδοχεία και ιδιωτικοί χώροι αναψυχής, εντελώς αυθαίρετα, καταπατώντας τη δημόσια περιουσία και τους νόμους. Οι κτιριακές εγκαταστάσεις οι οποίες βρίσκονται τόσο κοντά στην θάλασσα, στην πλειονηφία των περιπτώσεων χτίστηκαν χωρίς να γίνει καμία εκτίμηση των μελλοντικών κινδύνων από την αναμενόμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Έτσι, οι ενδιαφερόμενοι ιδιώτες και οι κρατικοί φορείς οι οποίοι επέτρεψαν να χτιστούν κτίρια τόσο κοντά στην ακτογραμμή, στα όρια της ζώνης του αιγιαλού, έκαναν το σημαντικό σφάλμα να θεωρήσουν τη θέση της ακτογραμμής δεδομένη και σταθερή.

Τα επίπεδα της θάλασσας όμως όπως έχει πλέον αποδειχθεί, ανεβαίνουν, η ακτογραμμή και η ζώνη του αιγιαλού μετακινούνται με κατεύθυνση προς την στεριά και έτσι όλο και περισσότερες ιδιοκτησίες οι οποίες σχεδόν συνορεύουν με την θάλασσα, κινδυνεύουν από καταστροφές ή και συνολική απώλεια [70]. Πρόσθετα, το ελληνικό δημόσιο θα επιβαρύνθει από τα έξοδα των μέτρων προστασίας που πρέπει να λάβει για να προστατέψει τις παράκτιες περιουσίες και κτίσματα που απειλούνται άμεσα από απώλειες γης και καταστροφές εξαιτίας της ανόδου της στάθμης της θάλασσας.

Στην περίπτωση της χώρας μας, η μετακίνηση κτισμάτων και εγκαταστάσεων (όπως αντίστοιχα εφαρμόζεται σε περιπτώσεις κτιρίων που κινδυνεύουν στις Η.Π.Α.) είναι σχεδόν αδύνατη καθώς δεν το επιτρέπει ο τρόπος κατασκευής των κτιρίων (στην χώρα μας τα κτίρια αναγείρονται σε σταθερά θεμέλια τα οποία τοποθετούνται βαθιά στο έδαφος ενώ στις Η. Π. Α. τα κτίρια/κατοικίες στις παράκτιες περιοχές είναι συνήθως ελαφρές κατασκευές οι οποίες στηρίζονται πάνω σε πασσάλους και συνεπώς είναι δυνατή η μετακίνηση τους σε ασφαλέστερα εδάφη). Από τα παραπάνω προκύπτει πως στις ελληνικές παράκτιες περιοχές στις οποίες παρουσιάζεται έντονη οικιστική ανάπτυξη και στις οποίες δεν διατηρήθηκε μια ικανή απόσταση ασφαλείας από τη ζώνη του αιγιαλού (δηλ. τα κτίρια και οι εγκαταστάσεις ξεκινούν ακριβώς από το όριο που τελειώνει η ζώνη του αιγιαλού και η παραλία), οι επιλογές του κράτους όσον αφορά την προστασία ανθρώπων και περιουσιών είναι ιδιαίτερα μειωμένες. Σαν μοναδική λύση και επιλογή προστασίας απέναντι στην απώλεια γης από τη θάλασσα

στις παραπάνω περιπτώσεις τουριστικά αξιοποιημένων ακτών με έντονη οικιστική ανάπτυξη, φαίνεται να είναι το χτίσιμο προστατευτικών κατασκευών (κυματοθραύστες, θαλάσσια τείχη κ.α.) σε συνδυασμό με την τεχνητή «θρέψη» της παραλίας (αυτά τα μέτρα προστασίας είναι βέβαια ιδιαίτερα πολυέξοδα).

Αυτό που πρέπει να γίνει κατανοητό, κυρίως από τους κρατικούς φορείς οι οποίοι έχουν και την ευθύνη της θεσμοθέτησης και της ενημέρωσης των πολιτών, είναι πως η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει, η ακτογραμμή και ο αιγιαλός δεν βρίσκονται σε μια μόνιμη θέση αλλά μετακινούνται συνεχώς και ότι ζώνες παραλιακής γης πλέον χάνονται. Για αυτό πρέπει στις παράκτιες περιοχές οι οποίες βρίσκονται υπό ανάπτυξη και αξιοποίηση, να οπισθοχωρήσουν οι παραθαλάσσιες ιδιοκτησίες, να μην επιτρέπεται να χτίζονται κτίρια και εγκαταστάσεις κοντά στην ζώνη του αιγιαλού και να δίνονται κίνητρα στους ιδιώτες να αναπτύξουν τις δραστηριότητες τους (οι οποίες πολύ συχνά για την περίπτωση της χώρας μας είναι τουριστικής φύσεως) σε ασφαλή εδάφη. Αυτή η πολιτική θα πρέπει να εφαρμοστεί όπου αυτό είναι ακόμα δυνατό καθώς η πλειοψηφία των παραλιακών περιοχών οι οποίες παρουσιάζουν κάποιο τουριστικό ενδιαφέρον (φυσικές ομορφιές) ή παρουσιάζουν τις κατάλληλες συνθήκες γενικά για ανάπτυξη, έχουν ήδη αξιοποιηθεί σε μεγάλο βαθμό (έχουν ήδη χτιστεί κτίρια, κατοικίες, ξενοδοχεία, δίκτυα κοινής ωφελείας και άλλου είδους εγκαταστάσεις).



Εικόνες 4 και 5 : Στην πρώτη εικόνα φαίνεται το λιμάνι στο Βαθύ, στην Σίφνο. Τα σπίτια των ντόπιων έχουν ανεγερθεί χωρίς να έχει αφεθεί μία υποτυπώδης απόσταση ασφαλείας από την αμμώδη παραλία. Στην δεύτερη εικόνα φαίνεται ο «Ρωμαϊκός Γιαλός» στην Λήμνο. Εντύπωση προκαλούν οι κυματισμοί οι οποίοι καταλήγουν στις αμμώδεις παραλίες [92].

Η αναμενόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας στην Μεσόγειο δεν θα επηρεάσει βέβαια μόνο τις παράκτιες πόλεις και τις περιοχές με οικιστική ανάπτυξη της χώρας μας. Σημαντικά θα επηρεαστούν και οι ελληνικοί παράκτιοι βιότοποι, τα περισσότερα δέλτα των ποταμών και περιοχές με ήπια κλίση. Ο κίνδυνος από φαινόμενα διάβρωσης και πλημμύρες θα αυξηθεί στις περιοχές αυτές, ενώ οι ποταμοί και οι παράκτιοι ταμιευτήρες γλυκού νερού θα υποβαθμιστούν από τη διεύδυση υφάλμυρου ύδατος [70]. Τα ήδη υπάρχοντα προβλήματα των παράκτιων περιοχών της χώρας μας, όπως είναι η ρύπανση του περιβάλλοντος, η πολεοδομική υποβάθμιση, η καταστροφή των οικοσυστημάτων και φυσικών τοπίων κ.α. [20], θα διογκωθούν ακόμη περισσότερο από τις μεταβολές του κλίματος και την εμφάνιση

ακραίων καιρικών φαινομένων. Έτσι θα απειληθούν άμεσα οι φυσικές ισορροπίες όλων των παράκτιων συστημάτων της χώρας, τα οποία θα πρέπει να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες.

1.5.2 Οι χρήσεις γης στις παράκτιες περιοχές της Ελλάδος.

Οι παράκτιες περιοχές της χώρας μας αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα εξαιτίας των πιέσεων που υφίστανται από ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες οδηγούν συχνά σε διατάραξη των φυσικών ισορροπιών, υποβάθμιση των παράκτιων οικοσυστημάτων και των φυσικών πόρων. Είναι χαρακτηριστικό πως σε πολλές παραθαλάσσιες τοποθεσίες της Ελλάδας (ειδικά σε αυτές που παρουσιάζουν φυσικές ομορφιές), ο μόνος γνώμονας σχεδιασμού και αξιοποίησης του περιβάλλοντος ήταν η επίτευξη εύκολου και γρήγορου κέρδους. Έτσι, σε πληθώρα περιπτώσεων, η ιδιωτική πρωτοβουλία έχοντας πλήρη ανοχή από το ίδιο το κράτος, ανέπτυξε οικονομικές δραστηριότητες (στηριζόμενη κυρίως στην τουριστική εκμετάλλευση παραλιακών περιοχών κατά τους καλοκαιρινούς μήνες) κακοποιώντας το φυσικό τοπίο και αδιαφορώντας πλήρως για τις επιπτώσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στα τοπικά οικοσυστήματα. Πρόσθετα, οι συγκρούσεις μεταξύ των οικονομικών δραστηριοτήτων και ο μεταξύ τους ανταγωνισμός για χωροθέτηση στην παράκτια ζώνη προκάλεσε και εξακολουθεί να προκαλεί πλήθος προβλημάτων. Επίσης, είναι ανησυχητικό πως πολλές από τις ακτές της Ελλάδας υφίστανται έντονη διάβρωση, τόσο από φυσικά αίτια όσο και εξαιτίας ανθρωπίνων παρεμβάσεων [6] - (οι ανθρώπινες παρεμβάσεις μπορεί να περιλαμβάνουν την κατασκευή προστατευτικών έργων ή ακόμα και την μετακίνηση ποσοτήτων άμμου από παραλίες που έχουν αποθέματα σε παραλίες που πλήττονται από έντονα φαινόμενα διάβρωσης [87]).

Μάλιστα, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις παράκτιων περιοχών της χώρας μας, έχει παρατηρηθεί παράνομη αμμοληψία από τα αποθέματα άμμου των ακτών και η μεταφορά τους σε παραλίες οι οποίες αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα από τη διάβρωση και τις απώλειες γης. Συνήθως, ιδιώτες συλλέγουν παράνομα ποσότητες άμμου (από μικρός βάθος) από αμμώδεις παραλίες και στη συνέχεια τις πουλάνε σε άλλους ιδιώτες των οποίων οι περιουσίες απειλούνται επειδή έχει διαβρωθεί σημαντικά το τμήμα της παραλίας μπροστά από τις ιδιοκτησίες τους. Το τμήμα για το περιβάλλον και τις οικολογικές ισορροπίες από ανθρώπινες δραστηριότητες τέτοιου είδους, είναι φυσικά ανυπολόγιστο.

Οι κύριες χρήσεις στις ελληνικές παράκτιες περιοχές παρουσιάζονται παρακάτω [15], [23]:

- Κατοικία.
- Αναψυχή και τουρισμός.
- Βιομηχανία και εμπόριο.
- Γεωργία και κτηνοτροφία.
- Επικοινωνία και θαλάσσιες μεταφορές.
- Αλιεία και υδατοκαλλιέργειες.
- Χώροι προστασίας από το Κράτος (υγροβιότοποι).
- Ειδικές χρήσεις (στρατιωτικές εγκαταστάσεις, βάσεις, κλπ.).

Το 1988, 8,9 εκατομμύρια άνθρωποι κατοικούσαν στην παράκτια ζώνη της Ελλάδας, εκ των οποίων το 60% περίπου ήταν αστικός πληθυσμός. Το ποσό αυτό αντιστοιχεί σε 591 κατοίκους ανά χιλιόμετρο ακτογραμμής [23]. Από αυτό το στατιστικό στοιχείο φαίνεται πως η συντριπτική πλειοψηφία του ελληνικού

πληθυσμού κατοικεί κοντά σε παραθαλάσσιες περιοχές. Αυτό σημαίνει ότι η αναμενόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας τα επόμενα χρόνια και τα ακραία καιρικά φαινόμενα στις παράκτιες περιοχές θα επηρεάσουν το σύνολο σχεδόν του ελληνικού λαού (θα απειληθούν ανθρώπινες ζωές και περιουσίες σε μεγάλη κλίμακα). Υπολογίζεται ότι τα ποσοστά συγκέντρωσης των παράκτιων πληθυσμών στην χώρα μας θα αυξηθούν τουλάχιστον κατά 25% μέχρι το έτος 2025. Οι μεγαλύτερες πόλεις και εκτάσεις παράκτιων οικισμών εμφανίζονται στην Αττική, την Αχαΐα, τα Δωδεκάνησα, την Εύβοια, τη Θεσσαλονίκη, τις Κυκλάδες, τη Λέσβο και τη Μαγνησία ενώ οι μικρότερες στην Ημαθία και τις Σέρρες [23].

Οι σημαντικότερες οικονομικές δραστηριότητες που αναπτύσσονται από τους κατοίκους παραθαλάσσιων περιοχών στην χώρα μας, έχουν συνήθως άμεση σχέση με τον τουρισμό. Είναι γνωστό άλλωστε πως λόγω των φυσικών ομορφιών της χώρας, ο τουρισμός αποτελεί για την Ελλάδα έναν από τους σημαντικότερους οικονομικούς της πόρους. Οι ήπιες κλιματικές συνθήκες σε συνδυασμό με τις όμορφες παραλίες αποτελούν πόλο έλξης για πολλούς τουρίστες από το εσωτερικό και το εξωτερικό κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Συγχρόνως, οι πολλές αρχαιολογικές τοποθεσίες και μνημεία προσελκύουν πλήθος επισκεπτών κάθε χρόνο.

Βέβαια, εκτός από τις τουριστικές δραστηριότητες, στις παράκτιες περιοχές λειτουργεί και το μεγαλύτερο ποσοστό των βιομηχανιών. Το 1981, πάνω από το 70% του συνόλου των βιομηχανικών μονάδων ισχύος μεγαλύτερης από 150 ίππους βρίσκονταν κοντά στις ακτές, όπως και 80 από τις 100 πρώτες βιομηχανίες με βάση το ύψος της απασχόλησης [23].

Οι ιδιαίτερα ευνοϊκές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στην χώρα μας σε συνδυασμό με τα εύφορα εδάφη των παράκτιων περιοχών παρέχουν τη δυνατότητα για καλλιέργειες υψηλής απόδοσης (υποτροπικά είδη, όψιμα εσπεριδοειδή, πρώιμα κηπευτικά, δένδροκαλλιέργειες). Οι καλλιεργούμενες παράκτιες εκτάσεις είναι σημαντικά περισσότερες στην Αττική, την Εύβοια και τη Μεσσηνία, ενώ η Ημαθία και η Θεσπρωτία έχουν τις λιγότερες. Επίσης, σημαντικές εκτάσεις παράκτιων βοσκότοπων έχουν τα Δωδεκάνησα, η Εύβοια και οι Κυκλάδες και τις λιγότερες η Άρτα, η Ημαθία και οι Σέρρες [23].

Όπως είναι γνωστό, η ελληνική οικονομία εκτός από τον τουρισμό, στηρίζει σημαντικό μέρος της δύναμης της στο εμπόριο και την ναυτιλία. Έτσι, ιδιαίτερη σημασία για την Ελλάδα έχουν και τα εμπορικά λιμάνια της. Μέχρι το 1990 αριθμούσε 444 εμπορικά λιμάνια διαφόρων μεγεθών και ικανότητας εξυπηρέτησης, από τα οποία τα 284 έχουν κατασκευές θαλάσσιας προστασίας (μόλους, κυματοθραύστες, θαλάσσιους τοίχους, κλπ.), [67].

1.5.3 Αιτίες της μετακίνησης της ακτογραμμής στον ελληνικό χώρο.

Η ακτογραμμή υπόκειται συνεχώς σε μεταβολές που προκαλούνται από τη συνεχή δράση της θάλασσας πάνω στη στεριά. Έτσι, έχουμε την υποχώρηση της ακτογραμμής και την απώλεια γης εξαιτίας του φαινομένου της παράκτιας διάβρωσης. Η διάβρωση που συντελείται στις ακτές είναι αποτέλεσμα ατμοσφαιρικών διεργασιών που προκαλεί ο άνεμος, οι ισχυρές βροχοπτώσεις και οι καταγίδες στις ακτές, επίδρασης θαλασσιών παραγόντων (κύματα, παλίρροια, θαλάσσια ρεύματα) ή ακόμα και της επίδρασης των θαλασσιών οργανισμών.

Για την περίπτωση του ελλαδικού χώρου, η υποχώρηση - μετακίνηση της ακτογραμμής σε διάφορες περιοχές οφείλεται και σε φαινόμενα όπως [6] :

- Οι σεισμογενείς καταβυθίσεις παράκτιων περιοχών μέχρι βάθους 200 μέτρων. Πρόσφατο παράδειγμα η περιοχή της Αιγιαλείας της Ν. Αχαΐας το 1962.

- Η διάβρωση των ακτών από φυσικά αίτια, όπως οι αμμώδεις παραλίες της Κω.
- Οι διαβρώσεις των ακτών λόγω τεχνικών έργων. Κλασικό παράδειγμα οι αμμοληψίες των Γερμανών το 1942 στην περιοχή του αεροδρομίου του Μάλεμε των Χανίων και η αναπόφευκτη διάβρωση σε παρακείμενη ακτή.
- Η διάβρωση από βραδεία καταβύθιση ακτής, όπως σε περιοχή της Ανατολικής Κρήτης που κατακλύζεται από τη θάλασσα.
- Οι προσχώσεις από φυσικά αίτια, π.χ. από ποταμό. Κλασικό παράδειγμα η περιοχή των Θερμοπυλών και της Θεσσαλονίκης.
- Οι προσχώσεις από τεχνητά αίτια, όπως μπαζώματα.

Με βάση τα παραπάνω αναδεικνύεται η εύθραυστη σχέση μεταξύ της παράκτιας ζώνης και των φυσικών (γεωλογικών) εν γένει φαινομένων που συμβάλλουν στην ανακατανομή του υλικού της ακτής. Από αυτές τις μετακινήσεις υλικού της παραλίας ή την αλλαγή της εικόνας του ανάγλυφου (καθιζήσεις, καταβυθίσεις) μπορεί να έχουμε υποχώρηση ή και εξάπλωση της ξηράς. Πάντως, εξίσου σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της κάθε παραλιακής ζώνης και στη μετακίνηση της ακτογραμμής έχει και ο ίδιος ο άνθρωπος με τις δραστηριότητες τις οποίες αναπτύσσει. Όπως φαίνεται από τα παραπάνω παραδείγματα, συχνά στην ιστορία της Ελλάδος, η κατασκευή τεχνικών έργων σε παράκτιες περιοχές ή η ανάπτυξη άλλων δραστηριοτήτων, διατάραξε τις φυσικές ισορροπίες και επιτάχυνε τις διαδικασίες διάβρωσης και υποχώρησης της ακτογραμμής. Για αυτό ακριβώς θα πρέπει όλα τα αναπτυξιακά έργα (συμπεριλαμβανομένων και των έργων προστασίας) να επιτελούνται αφού ληφθούν σοβαρά υπόψη όλες οι φυσικές τάσεις και ιδιαιτερότητες της κάθε παράκτιας περιοχής της Ελλάδας.

1.5.4 Οι επιπτώσεις στις ελληνικές ακτές από τη μετακίνηση της ακτογραμμής.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η αναμενόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας στη λεκάνη της Μεσογείου, θα προκαλέσει την μετακίνηση των ακτογραμμών στις παράκτιες περιοχές της χώρας μας επηρεάζοντας την ζωή των κατοίκων αυτών των περιοχών και μεταβάλλοντας τις φυσικές ισορροπίες. Οι παραλιακές περιοχές που θα επηρεαστούν περισσότερο από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας θα είναι αυτές που έχουν ιδιαίτερα χαμηλό υψόμετρο (λίγα εκατοστά πάνω από το μέσο επίπεδο των θαλασσιών υδάτων) και ομαλό ανάγλυφο (μικρές κλίσεις). Παράλληλα με τα προβλήματα που θα προκληθούν στους παράκτιους οικισμούς, πολλές περιοχές που έχουν μεγάλη οικολογική σημασία και είναι συγχρόνως ιδιαίτερα ευαίσθητες στις αλλαγές στο κλίμα και στο περιβάλλον (δέλτα ποταμών, υδροβιότοποι), θα απειληθούν με ανεπανόρθωτες καταστροφές [58]. Για κάθε παράκτια τοποθεσία της χώρας βέβαια, ισχύουν διαφορετικά δεδομένα ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά, τις μικρομετακινήσεις της ξηράς, τις τάσεις που επικρατούν κ.λ.π.

Στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια, έχουν κατασκευαστεί περισσότερες από 1 εκατομμύριο κατοικίες κοντά ή πάνω στην παραλία, όπως επίσης και πολλές άλλου είδους εγκαταστάσεις [51], [67]. Πολλές από αυτές αντιμετωπίζουν ήδη προβλήματα λόγω διάβρωσης του εδάφους, αφού οικοδομήθηκαν χωρίς να ληφθούν υπόψη οι γεωλογικές διαδικασίες που επικρατούσαν. Τα μεγαλύτερα προβλήματα όπως είναι φυσικό τα αντιμετωπίζουν τα κτίρια τα οποία ανεγέρθηκαν αυθαίρετα, εξαιρετικά κοντά στην ακτογραμμή καταπατώντας τις ζώνες της παραλίας και του αιγιαλού. Έτσι, μια άνοδος της στάθμης της θάλασσας έστω και μερικών εκατοστών θα έπληττε σημαντικό τμήμα των κατασκευών αυτών [51], [67].

Μία από τις πλέον ευάλωτες περιοχές της Μεσογείου στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας θεωρείται η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Η πόλη του ενός εκατομμυρίου ανθρώπων βρίσκεται κοντά στην περιοχή του δέλτα των ποταμών Αξιού, Λουδία και Αλιάκμονα. Η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα για τις χαμηλές κλίσεις (ειδικά στη βιομηχανική περιοχή Σίνδου – Καλοχωρίου) και έχει αποτελέσει τόσο κατά το παρελθόν όσο και σήμερα αντικείμενο πολλών μελετών σχετικά με τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής [10]. Εκεί, η άνοδος της μ.σ.θ. αναμένεται να ξεπεράσει κατά μιάμιση φορά τις αντίστοιχες τιμές των άλλων περιοχών [10], [15].

Παράλληλα, αρκετά από τα αεροδρόμια της χώρας, όπως στην Κέρκυρα, στην Αλεξανδρούπολη και στη Θεσσαλονίκη, θα απειληθούν άμεσα από την επικείμενη άνοδο της στάθμης της θάλασσας καθώς βρίσκονται σχεδόν στο επίπεδο των θαλασσιών υδάτων [67]. Συγχρόνως, ιδιαίτερα σημαντικοί παραλιακοί δρόμοι, ακόμα και εθνικές οδοί, όπως στη Βόρεια Πελοπόννησο, στο δέλτα του Σπερχειού στη Φθιώτιδα και στο Πόρτο Λάγος στη Θράκη, θα υποστούν επίσης ζημιές λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας [67].

Είναι προφανές πως στις περιπτώσεις τεχνικών έργων κοινής ωφελείας ιδιαίτερα μεγάλου μεγέθους και κόστους, όπως είναι οι εθνικές οδοί, οι κρεμαστές γέφυρες κ.α., θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη πριν αρχίσει η κατασκευή τους, οι μελλοντικές κλιματικές αλλαγές και η αλλαγή στα επίπεδα της θάλασσας. Έτσι για παράδειγμα, σε μια παραλιακή περιοχή από την οποία θα περάσει η εθνική οδός, αν ληφθεί υπόψη η επερχόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας με βάση συγκεκριμένα σενάρια και οι απώλειες γης με βάση τους τοπικούς ρυθμούς διάβρωσης, ίσως χρειαστεί να επανεξεταστεί ο αρχικός σχεδιασμός και να μετακινηθεί (ουσιαστικά να οπισθοχωρήσει) το συνολικό έργο σε υψηλότερα – ασφαλέστερα εδάφη. Η επιλογή ασφαλών τοποθεσιών (από την αναμενόμενη άνοδο των επιπέδων της θάλασσας) για να γίνουν έργα υποδομής σε εθνικό επίπεδο, είναι ένα ιδιαίτερο κρίσιμο ζήτημα καθώς στην περίπτωση που συντελεστεί ένα μεγάλο τέτοιο έργο χωρίς να ληφθεί υπόψη η μεταβολή της ακτογραμμής, μπορεί να προκληθούν στο μέλλον σημαντικές ζημιές ή ακόμα και να απειληθεί συνολικά το έργο από τη διάβρωση ή την καθίζηση του εδάφους.

1.5.5 Οι κυματικές καταιγίδες και πως επηρεάζουν τις ελληνικές ακτές.

Η επίδραση της ανόδου της στάθμης της θάλασσας στις παράκτιες περιοχές της Βόρειας Ελλάδας, ενισχύεται και από μία σειρά φυσικών φαινομένων που συμβαίνουν κατά τους χειμερινούς μήνες και ονομάζονται κύματα καταιγίδας (storm surges, [37]). Τα κύματα καταιγίδας ουσιαστικά αντιπροσωπεύουν την ανύψωση της στάθμης του νερού που προκαλείται από την επίδραση του ανέμου και των ατμοσφαιρικών συστημάτων που τα συνοδεύουν. Το χειμώνα περνούν από την περιοχή της Βόρειας Ελλάδας πολλά βαρομετρικά χαμηλά και όταν η ατμοσφαιρική πίεση μειώνεται, τότε η στάθμη της θάλασσας ανεβαίνει και αντίστροφα [25]. Αυτά τα κύματα καταιγίδας εμφανίζονται αρκετά συχνά σε όλες τις ακτές της Βόρειας Ελλάδας: από την Αλεξανδρούπολη μέχρι τη Θεσσαλονίκη. Το φαινόμενο αυτό έχει συνήθως διάρκεια περίπου 2 – 3 ημέρες και το ύψος των κυμάτων μπορεί να φτάσει τα 0,5 – 0,8 μέτρα. Έτσι, σε μία αύξηση της μ.σ.θ. κατά 0,5 – 1,0 μέτρο, αν προστεθούν και τα κύματα καταιγίδας, τα πράγματα γίνονται πιο επικίνδυνα. Στην Αλεξανδρούπολη, όταν υπάρχουν ισχυροί νοτιάδες, συμβαίνει το κύμα να σπάει και να κατακλύζει όλο τον παραλιακό δρόμο απειλώντας μέχρι και τις απέναντι

πολυκατοικίες. Είναι επομένως σαφές πως όσο συμβαίνει αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας, τόσο τα φαινόμενα αυτά θα γίνονται και πιο καταστροφικά [25].

1.5.6 Σύνοψη.

Οι κλιματικές αλλαγές που έχουν ήδη παρατηρηθεί στη Μεσόγειο τις τελευταίες δεκαετίες, όσον αφορά τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις και την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας, κρίνονται ως ιδιαίτερα σημαντικές και συνηγορούν στο συμπέρασμα υπερθέρμανσης συνολικά του πλανήτη. Αν και οι τοπικές διαφορές είναι σχετικά υψηλές, το μεγαλύτερο μέρος της Ευρώπης έχει υποστεί αυξήσεις στη θερμοκρασία περίπου 0.8°C στον 20^ο αιώνα [44], [64]. Η δεκαετία του '90 ήταν η θερμότερη δεκαετία του 20^{ου} αιώνα [70] ενώ το 1999 ήταν αρκετά θερμό έτος για την ανατολική Μεσόγειο, όσον αφορά τον μέσο όρο του 1961-90, όπως και σε παγκόσμιο επίπεδο. Αυτό οφείλεται στις υψηλές θερμοκρασίες που παρουσιάστηκαν το καλοκαίρι και το φθινόπωρο [64].

Από τα παραπάνω προκύπτει το συμπέρασμα πως η Μεσόγειος θα αντιμετωπίσει ένα μέλλον θερμότερο και ξηρότερο. Οι αυξήσεις της θερμοκρασίας θα είναι σημαντικές στην περιοχή της Μεσογείου και όλες οι ενδείξεις δείχνουν ότι θα αυξηθεί η συχνότητα και η ένταση των ξηρασιών στην περιοχή με τη μείωση των ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων. Η μέση στάθμη της θάλασσας στη Μεσόγειο αναμένεται να αυξηθεί κατά 5 cm/δεκαετία [9]. Ειδικότερα, η στάθμη της θάλασσας αναμένεται να αυξηθεί περίπου 50 cm μέχρι το έτος του 2100. Το δέλτα του Νείλου, η Βενετία και ο Θερμαϊκός χαρακτηρίζονται ως οι πλέον ευαίσθητες περιοχές στη Μεσόγειο [9].

Οι κλιματικές αλλαγές οι οποίες παρουσιάζονται στη χώρα μας τα τελευταία χρόνια συνοψίζονται στα εξής σημεία :

- Η θερμοκρασία κατά τον 20ο αιώνα παρουσίαζε μια μικρή μείωση έως το 1975. Στη συνέχεια παρατηρείται έντονη αυξητική τάση που αναλύεται σε μεγάλη αύξηση κατά τους θερινούς μήνες και μικρή μείωση κατά τους χειμερινούς.
- Οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις παρουσίασαν μία αρνητική τάση κυρίως την περίοδο 1970-1990.
- Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας ήταν αντίστοιχη με την υπόλοιπη Μεσόγειο, δηλαδή της τάξης 1-2mm/έτος.

Επιχειρώντας μία ανάλυση γύρω από τις επιλογές που έχουν οι κρατικοί φορείς όσον αφορά την αντιμετώπιση του φαινομένου της αλλαγής των κλιματολογικών συνθηκών και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τρεις παρακάτω απλές επιλογές στρατηγικών προστασίας [42]:

- Κανένα μέτρο προστασίας.
- Προστασία ολόκληρης της ακτής (εκτός από τμήματα της ακτής όπου δεν υπάρχουν κάτοικοι ή κάποια χρήση γης).
- Ενδιάμεσες επιλογές προστασίας των «σημαντικών περιοχών», όπως έχουν οριστεί με βάση τη μελέτη.

Υπάρχει το ενδεχόμενο καμία από τις παραπάνω μορφές αντίδρασης να μην κρίνεται ως η ιδανική, αλλά παρόλα αυτά ο προσδιορισμός μπορεί να είναι σχετικά γρήγορος και τα αποτελέσματά τους να χρησιμοποιηθούν για να δημιουργηθούν νέες καινοτόμες ιδέες.

Για να αντιμετωπιστούν όλα τα παραπάνω πιθανά προβλήματα και συνέπειες της ανόδου της στάθμης της θάλασσας στον ελληνικό παράκτιο χώρο, προτείνονται οι παρακάτω συγκεκριμένες δέσμες μέτρων [8], [9] :

- Συνειδητοποίηση των πολιτών για τις δυνητικές επιπτώσεις της ανόδου της στάθμης της θάλασσας.
- Ίδρυση ενιαίου και ισχυρού δικτύου σταθμών μέτρησης των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας και άλλων χρήσιμων παραμέτρων (κύματα, άνεμοι, κλπ.).
- Ενσωμάτωση της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και των δυναμικών μεταβολών ακτογραμμής στο παρόν στατικό και ασαφές νομοθετικό πλαίσιο.
- Ολοκληρωμένη διαχείριση παράκτιων ζωνών με ισορροπημένο καθορισμό των χρήσεων γης στο πλαίσιο ευρύτερου Χωροταξικού Σχεδιασμού.
- Ανάπτυξη ολοκληρωμένου και πολυδιάστατου συστήματος απογραφής των παράκτιων φυσικών διαθεσίμων ακόμα και στο πλαίσιο του υπό σύνταξη Εθνικού Κτηματολογίου.
- Ανάπτυξη μεθοδολογικών εργαλείων Δεικτών Παράκτιας Επικινδυνότητας για τον εντοπισμό ευάλωτων, σε άνοδο της στάθμης της θάλασσας, περιοχών λόγω κατακλυσμού, διάβρωσης κ.λ.π.
- Απαγόρευση δόμησης σε ευπαθείς σε πλημμύρες περιοχές και παραχώρηση κινήτρων για την μεταφορά ιδιοκτησιών (π.χ. Μ.Σ.Δ.).
- Καθορισμός της ζώνης του αιγιαλού άμεσα πριν από την οριστική σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου για την αποτροπή ιδιωτικών αυθαιρεσιών.
- Ζωνοποίηση ελληνικής παράκτιας ζώνης και καθορισμός ορίων χρήσεων βάσει της αρχής προστασίας των φυσικών στοιχείων της (βλάστηση, αμμόλοφοι) και της δυναμικότητας των ακτογραμμών.
- Εφαρμογή μέτρων ήπιας προστασίας των ακτών εναρμονισμένων με το περιβάλλον (τροφοδότηση ακτών με άμμο, τεχνητοί ύφαλοι, σταθεροποίηση παράκτιων πρανών).
- Εφαρμογή «σκληρών» μέτρων προστασίας (κυματοθραύστες, λιμενοβραχίονες, κλπ.) μόνο σε μη αναστρέψιμες περιπτώσεις.
- Προστασία παράκτιων υγροβιότοπων.

Όλες οι επιπτώσεις οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω, θα έχουν σοβαρές συνέπειες σε πολλούς τομείς της χώρας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία προβλημάτων στην οικονομία, καθώς ενδέχεται να παρουσιαστεί μείωση των εσόδων από διάφορες πηγές που θα πληγούν, ενώ παράλληλα θα χρειαστούν σημαντικά ποσά για την κάλυψη ελλείψεων που θα δημιουργηθούν και αποκαταστάσεων ζημιών που θα προκληθούν εξαιτίας της εκδήλωσης ακραίων καιρικών φαινομένων. Επομένως, κρίνεται απαραίτητο να υιοθετηθούν δέσμες μέτρων προστασίας και διαχείρισης της παράκτιας ζώνης στον ελληνικό χώρο που θα ευνοούν την αειφόρο ανάπτυξη, με σεβασμό στο περιβάλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΟΙ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στα πλαίσια της μελέτης της δυναμικής εξέλιξης των ακτών στην παρούσα διατριβή, επιλέχθηκαν 10 παράκτιες περιοχές στην Ελλάδα. Η επιλογή των περιοχών έγινε με βάση τα φυσικά χαρακτηριστικά τους και την προϊστορία που εμφανίζουν όσον αφορά τις μετακινήσεις της ακτογραμμής κατά περίπτωση. Ένας από τους βασικούς σκοπούς ήταν να δημιουργηθεί ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα για τη χώρα μας με χαρακτηριστικά παραδείγματα παράκτιων συστημάτων και να γίνει διερεύνηση των μοντέλων εκτίμησης της μετακίνησης της ακτογραμμής ανά περίπτωση. Επιλέχθηκαν έτσι αμμώδεις ακτές με ήπια κλίση (Βαρθολομιά Ηλείας, Πιερία), δέλτα ποταμών και παράκτιοι βιότοποι μεγάλης φυσικής και οικολογικής σημασίας (δέλτα του Νέστου), παράκτιες περιοχές με μεγάλες γεωργικές εκτάσεις οι οποίες παρουσιάζουν καθίζηση εδαφών (παραλία Θεσσαλονίκης) και ακτές στις οποίες υπάρχουν τουριστικές εγκαταστάσεις και δραστηριότητες (παραλίες ανατολικά της Κατερίνης). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε το αντιπροσωπευτικό δείγμα ακτών με ποικίλη γεωμορφολογία, στον οποίο εμφανίζονται οι βασικές χρήσεις γης των ελληνικών παράκτιων περιοχών. Αποφεύχθηκε να χρησιμοποιηθούν ακτές στις οποίες έχουν κατασκευαστεί λιμενικά έργα (λιμενοβραχίονες, θαλάσσια τείχη κ.α.) καθώς σε αυτά τα σημεία η ακτογραμμή παραμένει σταθερή και παρουσιάζονται μηδενικοί ρυθμοί μεταβολής.

2.1 Οι 10 παράκτιες περιοχές.

2.1.1 Τα γενικά χαρακτηριστικά των περιοχών της μελέτης.

Σε γενικές γραμμές, οι ελληνικές ακτές ακολουθούν τους τύπους των ακτών της λεκάνης της Μεσογείου και το 70% περίπου είναι βραχώδεις, ενώ το υπόλοιπο 30% είναι ακτές που προήλθαν από ιζηματογένεση [78]. Επίσης, φαίνεται ότι πάνω από το 50% των ακτών της ηπειρωτικής Ελλάδας έχουν ήπιες κλίσεις, γεγονός που έχει επιτρέψει τη μεγάλη ανάπτυξη των περιοχών αυτών [42]. Μια ενδεχόμενη άνοδος της στάθμης της θάλασσας, ακόμη και της τάξης των λίγων εκατοστών, θα επηρεάσει σημαντικά τις περιοχές αυτές και θα θέσει σε κίνδυνο τις ζωές των κατοίκων και τις περιουσίες τους (ειδικά στις τοποθεσίες όπου οι κατοικίες έχουν χτιστεί στα όρια που φτάνει το χειμérico κύμα της θάλασσας).

Ειδικότερα, η ελληνική παράκτια ζώνη και ακτογραμμή «περιγράφονται» με βάση τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Η Ελλάδα διαθέτει περίπου 16.000 km ακτογραμμής, εκ των οποίων το 73% αφορά τα νησιά με αντίστοιχη ποικίλη και ιδιόμορφη ανάπτυξη των ακτών [42].
- Η ποικιλομορφία των χρήσεων γης στην ελληνική παράκτια ζώνη, η σύγκρουση μεταξύ ασύμβατων χρήσεων (π.χ. τουρισμός και βιομηχανία), οι έντονες οικιστικές πιέσεις, ο μαζικός τουρισμός και η ασάφεια του υπάρχοντος αναχρονιστικού νομοθετικού πλαισίου απειλούν την ακεραιότητα των ελληνικών ακτών.
- Το 70% περίπου του ελληνικού πληθυσμού κατοικεί στην παράκτια ζώνη ενώ πλήθος δραστηριοτήτων και χρήσεων συγκεντρώνεται σ' αυτή (κατοικία, αναψυχή και τουρισμός, βιομηχανία, εμπόριο, αλιεία και υδατοκαλλιέργειες, γεωργία και κτηνοτροφία, επικοινωνία και θαλάσσιες μεταφορές, υγροβιότοποι, κλπ.) [70].

Παράλληλα, οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών που αναμένεται να πλήξουν την Ελλάδα τα επόμενα χρόνια συνοψίζονται παρακάτω ([44], [64] και [70]) :

- Αναμένεται αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στον αιώνα που διανύουμε σε υπερδιπλάσιο βαθμό από αυτή που παρατηρήθηκε τον προηγούμενο αιώνα. Η αύξηση της θερμοκρασίας αναμένεται να είναι της τάξης των 4° C στα επόμενα 100 χρόνια [44], [64].
- Αναμένεται μείωση των βροχοπτώσεων σε σχέση με τις βροχοπτώσεις των τελευταίων ετών [70].
- Αναμένεται αύξηση της συχνότητας και της έντασης εκδήλωσης των ακραίων καιρικών φαινομένων (όπως είναι οι κυματικές καταιγίδες) στις επόμενες δεκαετίες. Αντίστοιχα με την αύξηση της θερμοκρασίας, θα αυξηθούν και οι χρονικές περιόδους καύσωνα και πολύ υψηλής θερμοκρασίας. Αντίστοιχα, παρά τη γενικότερη τάση μείωσης των βροχοπτώσεων, ο αριθμός των περιπτώσεων ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης και πλημμυρών αναμένεται να αυξηθεί τα προσεχή χρόνια [64].
- Αναμένεται άνοδος της στάθμης της θάλασσας μέχρι και 1m, με μέση τιμή προβλέψεων περίπου 0.5m, ανάλογη με την αναμενόμενη παγκόσμια άνοδο [59], [64].
- Παρά την αβεβαιότητα των μοντέλων, εκτιμάται ότι θα υπάρξει αξιοσημείωτη μείωση των καλοκαιρινών κατακρημνίσεων που συμφωνεί με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις για τη Μεσόγειο. Μεγαλύτερη ελάττωση των μέσων ετήσιων κατακρημνίσεων προβλέπεται για την Αττική, τη Θεσσαλία, τη Θεσσαλονίκη και την ανατολική Πελοπόννησο [70].

Οι παραπάνω επιπτώσεις αναμένεται να επηρεάσουν αρνητικά την οικονομία της χώρας, η οποία στηρίζεται σε μεγάλο ποσοστό στον παράκτιο τουρισμό, να προκαλέσουν την απώλεια εδαφών, την καταστροφή εγκαταστάσεων, κτιρίων και υποδομών πλησίον της ακτογραμμής και το σημαντικότερο, να θέσουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζώες. Επομένως, θα απαιτηθούν σημαντικά ποσά για την κάλυψη ελλείψεων που θα δημιουργηθούν και αποκαταστάσεων ζημιών που θα προκληθούν εξαιτίας της εκδήλωσης ακραίων καιρικών φαινομένων και της ανόδου της μ.σ.θ. Πρόσθετα, απαιτείται η υιοθέτηση αυστηρών όρων δόμησης και κανονισμών προστασίας και διαχείρισης της παράκτιας ζώνης στον ελληνικό χώρο. Οι παράκτιοι αυτοί κανονισμοί θα πρέπει να στηρίζονται σε μια αξιόπιστη στατιστική μεθοδολογία η οποία θα καθορίζει με ακρίβεια και θα υπολογίζει τους ετήσιους ρυθμούς διάβρωσης ή πρόσχωσης για κάθε παράκτια περιοχή.

Οι 10 παράκτιες περιοχές του ελλαδικού χώρου οι οποίες μελετήθηκαν στην παρούσα διατριβή με σκοπό να μοντελοποιηθεί η δυναμική τους, κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τους υπολογιζόμενους ρυθμούς υποχώρησης ή πρόσχωσης. Ανάλογα με το μέγεθος/ένταση της υπολογιζόμενης μετακίνησης της ακτογραμμής για κάθε περίπτωση, δημιουργήθηκαν τρεις βασικές κατηγορίες υποχώρησης και δύο πρόσχωσης. Ως χαμηλή υποχώρηση θεωρήθηκε ένα εύρος τιμών από 0 έως -1m/yr, ως μεσαία από -1 έως -3m/yr και ως υψηλή από -3 έως -12m/yr. Ο χαρακτηρισμός της κάθε κατηγορίας και η επιλογή των συγκεκριμένων ορίων ταξινόμησης έγινε με βάση τους υπολογιζόμενους ρυθμούς υποχώρησης που υπολογίστηκαν κατά το στάδιο των εφαρμογών της διατριβής αλλά και με βάση τη γενικότερη διαπίστωση πως οι παράκτιες περιοχές στην Ελλάδα οι οποίες παρουσιάζουν διαβρωτικές τάσεις, εμφανίζουν ένα γενικό μέσο όρο υποχώρησης της ακτογραμμής της τάξης του -1m/yr. Οι επιμέρους κατηγορίες παρουσιάζονται παρακάτω :

1. Περιοχές χαμηλής υποχώρησης (0 έως -1m/yr)

- Λιτόχωρο Πιερίας (κωδικός περιοχής : 1_LIT)

Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της παράκτιας περιοχής βόρεια των Αλυκών Κίτρους Πιερίας, στο ακρωτήριο Αθερίδα [24]. Το μήκος της ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 1750 μέτρα και η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα ήπιες κλίσεις. Η λιμνοθάλασσα της Αλυκής Κίτρους, συνολικής έκτασης περίπου 15.000 στρεμμάτων, έχει δημιουργηθεί από τα φερτά υλικά μικρών ρεμάτων και του ποταμού Αλιάκμονα και αποτελεί ένα ιδιαίτερο τύπο υγρότοπου, εξαιρετικής φυσικής ομορφιάς. Οι αμμοθίνες είναι το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της Λιμνοθάλασσας του Κίτρους και αποτελεί τη μεγαλύτερη σε πλάτος και έκταση περιοχή με τέτοια βλάστηση στη Β. Ελλάδα. Στην έκταση αυτή συναντούνται σπάνια είδη χλωρίδας και πανίδας καθώς σε τέτοιου είδους οικοσυστήματα με υψηλή αλατότητα, επιζούν μόνο ορισμένα χαρακτηριστικά είδη φυτών και οργανισμών [24].

- Τμήμα της παραλίας στην Κατερίνη (κωδικός περιοχής : 7_KAT)

Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της παράκτιας περιοχής νότια των Αλυκών Κίτρους Πιερίας, με αριθμό φύλλου 4314.5. Το μήκος της ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 2000 μέτρα και η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα ήπιες κλίσεις [12].

- Τμήμα της παραλίας στο Βαρθολομίο Ηλείας (κωδικός περιοχής : 8_BAR)

Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής νοτίως του Βαρθολομιού Ηλείας. Το μήκος της ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 800 μέτρα και η περιοχή χαρακτηρίζεται από ήπιες κλίσεις [30]. Η πόλη του Βαρθολομιού έχει πληθυσμό της τάξης των 3.000 κατοίκων, βρίσκεται σε μέσο υψόμετρο 3 μέτρων από τη μέση στάθμη της θάλασσας και νοτιοανατολικά της πόλης περνάει ο ποταμός Πηνειός (στον οποίο έχει κατασκευαστεί και φράγμα από τη δεκαετία του 1960). Η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονη σεισμική δραστηριότητα (σεισμικά γεγονότα του 1988, 2002 και 2007) και τον Οκτώβριο του 2007 στην παράκτια περιοχή εκδηλώθηκε ανεμοστρόβιλος τάξης F-1.

2. Περιοχές μέτριας υποχώρησης (-1 έως -3 m/yr)

- Τμήμα της παραλίας στο Βαρθολομίο Ηλείας (κωδικός περιοχής : 6_BAR)

Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στην περιοχή του Βαρθολομιού, στο νομό Ηλείας. Το μήκος της ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 5850 μέτρα [16]. Τα κύρια χαρακτηριστικά της περιοχής είναι οι καλλιεργούμενοι αγροί, η αμμώδης παραλία, ο οικισμός και το λιμάνι της Κυλλήνης. Στην περιοχή του οικισμού παρουσιάζονται μεγάλες τιμές υψομέτρων με ελάχιστη την ισοϋψή των 4 μέτρων σε αντίθεση με το ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης το οποίο χαρακτηρίζεται από καλλιεργούμενες εκτάσεις και αγρούς και αντίστοιχα η ελάχιστη ισοϋψής είναι αυτή των 0,5 μέτρων [16]. Με βάση το σενάριο ανόδου της μ.σ.θ. κατά 0,5 μέτρα έως το 2050, οι νέες, υπολογιζόμενες ακτογραμμές ξεπερνούν πολλά τμήματα του κεντρικού δρόμου με αποτέλεσμα να μη μπορεί αυτός να χρησιμοποιηθεί. Επίσης αρκετές οικίες θα είναι αδύνατον να χρησιμοποιηθούν και καταστρέφονται 2-3 ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις, πλήγμα τουρισμού και εσόδων της περιοχής. Το τμήμα της αμμώδους

παραλίας εξαφανίζεται. Κάποιες ιδιοκτησίες γεωτεμαχίων χάνονται και ορισμένα όρια καλλιεργήσιμων αγροτεμαχίων μεταβάλλονται. Ωστόσο, η περιοχή του οικισμού δεν θα κινδυνεύσει στο άμεσο μέλλον αφού το χαμηλότερο υψόμετρο που παρατηρείται είναι αυτό των 4 μέτρων [16].

- Δέλτα του Νέστου (κωδικός περιοχής : 4_NES)

Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής των εκβολών του ποταμού Νέστου. Το μήκος της ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 6600 μέτρα [21]. Η συγκεκριμένη περιοχή είναι υγρότοπος υψηλής οικολογικής σημασίας καθώς το Δέλτα του Νέστου αποτελεί έναν από τους βασικούς, ελληνικούς υγρότοπους RAMSAR. Επίσης, χαρακτηρίζεται ως πολύτιμος εθνικός πόρος λόγω της βιοποικιλότητας και της παραγωγικότητας των εδαφών της ευρύτερης περιοχής του Δέλτα [11].

3. Περιοχές υψηλής υποχώρησης (-3 έως -12 m/yr)

- Τμήμα της παράκτιας περιοχής στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης (κωδικός περιοχής : 9_THE)

Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στην παράκτια περιοχή της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης [10]. Το μήκος της ευρύτερης ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 41200 μέτρα [9]. Η περιοχή καταβυθίζεται με ένα ρυθμό 2-3 χιλιοστά/χρόνο, ενώ παρουσιάζονται τοπικοί ρυθμοί καθίζησης μέχρι 50 χιλιοστά/χρόνο (Καλοχώρι) και 100 χιλιοστά/χρόνο (Παλαιό Δέλτα Αξιού) [10]. Πρόσθετα, οι ηπειρωτικές εκτάσεις προστατεύονται από ένα αντιπλημμυρικό ανάχωμα μήκους 24,5 χιλιομέτρων, πλάτους 7 μέτρων και ύψους 1-2,5 μέτρα [10]. Τα κύρια χαρακτηριστικά της περιοχής είναι οι καλλιεργούμενοι αγροί, η αμμώδης παραλία, ο οικισμός του Καλοχωρίου, οι εκβολές των ποταμών Γαλλικού και Λουδία και τα Δέλτα των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα. Είναι προφανές, με βάση την μεγάλη έκταση της ακτογραμμής μελέτης αλλά και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της (ύπαρξη εκβολών και σχηματισμών Δέλτα σημαντικών ποταμών της Βορείου Ελλάδας) πως η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται ως βιότοπος υψηλής οικολογικής σημασίας, ιδιαίτερα ευαίσθητος στις επερχόμενες κλιματικές αλλαγές και την άνοδο της μ.σ.θ. Όπως στην περίπτωση του Δέλτα του ποταμού Νέστου, έτσι και στην περίπτωση των Δέλτα των ποταμών Αλιάκμονα και Αξιού, οι φυσικές ισορροπίες κρίνονται ιδιαίτερα λεπτές καθώς οι συγκεκριμένες περιοχές απειλούνται από πλήθος κινδύνων (ρύπανση υδάτων, επέκταση καλλιεργήσιμων εκτάσεων και ανεξέλεγκτη οικιστική ανάπτυξη στα προστατευόμενα εδάφη των Δέλτα, κλιματικές αλλαγές) και για αυτό προστατεύονται και από ειδικό νομικό πλαίσιο και τη διεθνή νομοθεσία [10]. Πρόσθετα, στην συγκεκριμένη περιοχή υπάρχουν καλλιεργήσιμες εκτάσεις όπως επίσης και βιομηχανικές εγκαταστάσεις, οι οποίες ενδέχεται να επηρεαστούν άμεσα από μελλοντικές μετακινήσεις (υποχώρηση) της ακτογραμμής, προκαλώντας έτσι σημαντικές ζημιές και επηρεάζοντας δυσμενώς την οικονομική ζωή της ευρύτερης περιοχής.

Οι καλλιέργειες καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο ποσοστό των έφορων εκτάσεων περιμετρικά των Δέλτα των ποταμών και η υπεράντληση των υπογείων υδάτων για να συντηρηθούν όλοι αυτοί οι καλλιεργήσιμοι αγροί αποτελεί το βασικό υπεύθυνο εμφάνισης καθιζήσεων στην ευρύτερη περιοχή. Η υπεράντληση των υδάτων, σε συνδυασμό με την κατασκευή φραγμάτων, την αμμοληψία και τις παράκτιες κατασκευές, αποτελούν και τους βασικότερους παράγοντες διάβρωσης των εκτάσεων των Δέλτα λόγω ανθρώπινων δραστηριοτήτων [10]. Τέλος, ως περισσότερο

ευαίσθητες περιοχές στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης, όσον αφορά την απώλεια εδαφών και την εκδήλωση πιθανών πλημμυρών, αναμένεται να είναι οι περιοχές χαμηλού υψομέτρου και κλίσης.

- Δέλτα του Νέστου (κωδικός περιοχής : 10_NES)

Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στο Δέλτα του Νέστου [11]. Το μήκος της ευρύτερης ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 14700 μέτρα [11]. Όπως αναφέρθηκε και στην περίπτωση της περιοχής μελέτης 4_NES, το Δέλτα του Νέστου αποτελεί περιοχή υψηλής οικολογικής σημασίας, ιδιαίτερα ευαίσθητης στις κλιματικές αλλαγές που χαρακτηρίζεται από λεπτές φυσικές ισορροπίες, η οποία προστατεύεται από ειδικό νομικό πλαίσιο και κανονισμούς. Είναι χαρακτηριστικό πως ο συγκεκριμένος υγρότοπος παρέχει νερό για ύδρευση και άρδευση εμπλουτίζοντας τους υπόγειους υδροφορείς, σταθεροποιεί την ακτογραμμή προστατεύοντας από καταγίδες, παράγει αλιεύματα και συντηρεί θηράματα και προσφέρεται ως χώρος αναψυχής, οικολογικού τουρισμού, εκπαίδευσης και έρευνας [11]. Πρόσθετα, το Δέλτα του Νέστου αποτελεί σημαντικό υγρότοπο για τα μεταναστευτικά πουλιά και χώρο απόθεσης ιζημάτων στις εκβολές του. Η συγκεκριμένη περιοχή, παρόλο που προστατεύεται από την ελληνική νομοθεσία, ευρωπαϊκές (NATURA 2000) και διεθνείς συμβάσεις (RAMSAR), απειλείται από μία σειρά κινδύνων όπως [11] :

- α) Μεταβολή της ποιότητας του νερού στα ποτάμια και τους υπόγειους υδροφορείς εξαιτίας της ρύπανσης (αστικά, γεωργικά, βιομηχανικά απόβλητα).
- β) Μεταβολή υδρολογικού καθεστώτος λόγω της κατασκευής φραγμάτων και επέκτασης του αρδευτικού δικτύου. Ειδικότερα, στο ελληνικό τμήμα του ποταμού λειτουργούν δύο φράγματα (Θησαυρού και Πλατανόβρυσης) και έχει προγραμματιστεί η κατασκευή ακόμη ενός (Τεμένους). Οι επιπτώσεις στον υγρότοπο του Δέλτα εξαιτίας της δράσης των φραγμάτων χαρακτηρίζονται ως αρνητικές καθώς προκαλούν μείωση των υπογείων νερών, έλλειψη ροής των υδάτων ιδιαίτερα κατά τους μήνες αιχμής της αρδευτικής περιόδου, ελάττωση των φερτών υλικών και συρρίκνωση και υποβάθμιση του υγροτόπου του Δέλτα [11].
- γ) Αποξηράνσεις, αμμοληψίες, εκχερσώσεις και οικιστική και τουριστική ανάπτυξη.
- δ) Κλιματικές αλλαγές και η άνοδος της μ.σ.θ. Είναι χαρακτηριστικό πως η Ελλάδα από το 1920 έως σήμερα έχει χάσει το 60% των υγροτόπων της και πως με βάση ρεαλιστικά σενάρια κλιματικών αλλαγών, υπολογίζεται ότι μέχρι το 2080 θα έχουν χαθεί το 40% των υγροτόπων παγκοσμίως.

Όσον αφορά τα επιμέρους τμήματα του Δέλτα του Νέστου, ιδιαίτερης οικολογικής σημασίας αποτελεί και το παραποτάμιο δάσος του Νέστου (Κοτζά-Ορμάν) το οποίο έχει τωρινή έκταση 1500 στρεμμάτων και το οποίο κινδυνεύει από την εντατικοποίηση των καλλιεργειών, την παράνομη ξύλευση, την υπερβόσκηση και την λαθροθηρία [11].

4. Περιοχές χαμηλής πρόσχωσης (0 έως +1 m/yr)

- Τμήμα της παραλίας στην Πιερία (κωδικοί περιοχών : 2_KAT και 5_KAT)

Τα πρωτογενή δεδομένα για την περιοχή 2_KAT έχουν προκύψει από την μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στην Κατερίνη Πιερίας (περιοχή Κορινού) [3]. Το μήκος της ευρύτερης ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 2250 μέτρα και η

συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από γεωργικές εκτάσεις με ήπιες κλίσεις. Σε σχετική μικρή απόσταση από την ακτογραμμή βρίσκεται και ο οικισμός του Κορινού ο οποίος έχει πληθυσμό της τάξης των 5.000 κατοίκων. Η ευρύτερη περιοχή αποτελεί δημοφιλή τουριστικό προορισμό λόγω των αμμόδων παραλιών της και χαρακτηρίζεται από πλήθος ξενοδοχειακών εγκαταστάσεων και ενοικιαζόμενων δωματίων τα οποία έχουν ανεγερθεί εξαιρετικά κοντά στην ακτογραμμή.

Τα πρωτογενή δεδομένα για την περιοχή 5_KAT έχουν προκύψει από την μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στην Κατερίνη Πιερίας (Ανατολικά της πόλης της Κατερίνης) [18]. Το μήκος της ευρύτερης ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 3050 μέτρα και η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται και αυτή, από γεωργικές εκτάσεις με ήπιες κλίσεις. Σε σχετική μικρή απόσταση από την ακτογραμμή βρίσκεται και ο οικισμός της Καλλιθέας.

5. Περιοχές μέτριας πρόσχωσης (+1 έως +2 m/yr)

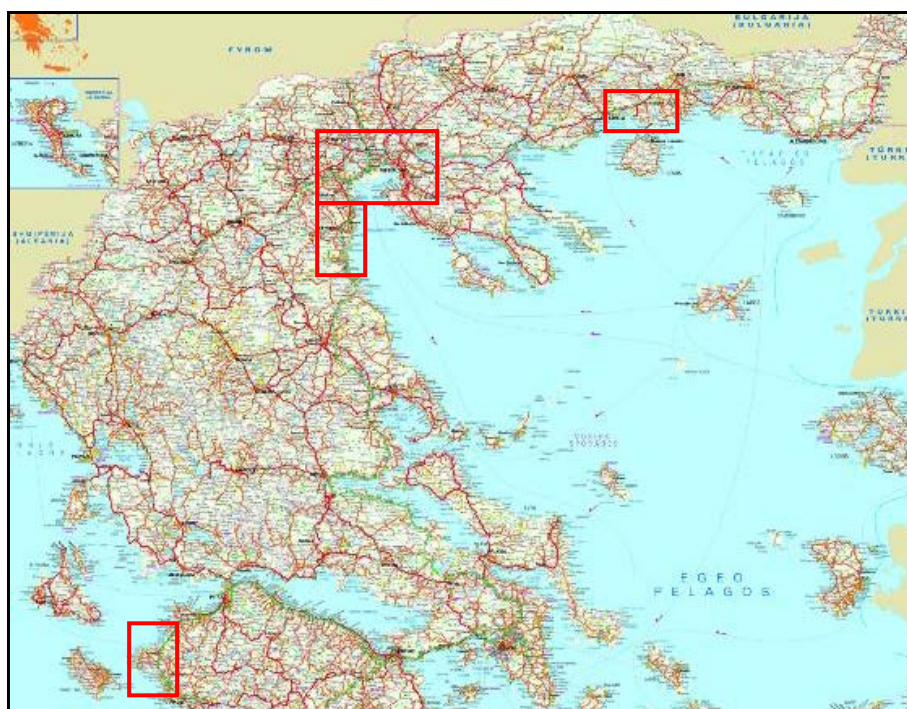
- Τμήμα της παραλίας στην Κατερίνη (κωδικός περιοχής : 3_KAT)

Τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στην Κατερίνη Πιερίας (Καλύβια Βαρικού) [19]. Το μήκος της ευρύτερης ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 3300 μέτρα και η συγκεκριμένη περιοχή χαρακτηρίζεται από γεωργικές εκτάσεις με ήπιες κλίσεις και από την ύπαρξη ξενοδοχειακών – τουριστικών εγκαταστάσεων, οι οποίες έχουν ανεγερθεί κοντά στην ακτογραμμή. Βόρεια της συγκεκριμένης περιοχής βρίσκεται το Δέλτα (μικρής έκτασης) του ποταμού Μαυρονέρι. Αξίζει να σημειωθεί πως μεταξύ της Αλυκής Κίτρους και του Πλαταμώνα υπάρχουν ορισμένοι μικροί υγρότοποι που παρουσιάζουν έντονη βιοποικιλότητα. Χαρακτηριστικοί είναι το έλος μεταξύ Παραλίας και Ολυμπιακής Ακτής, οι εκβολές του Μαυρονερίου και οι εκβολές των ρεμάτων στην παραλία του Λιτοχώρου.

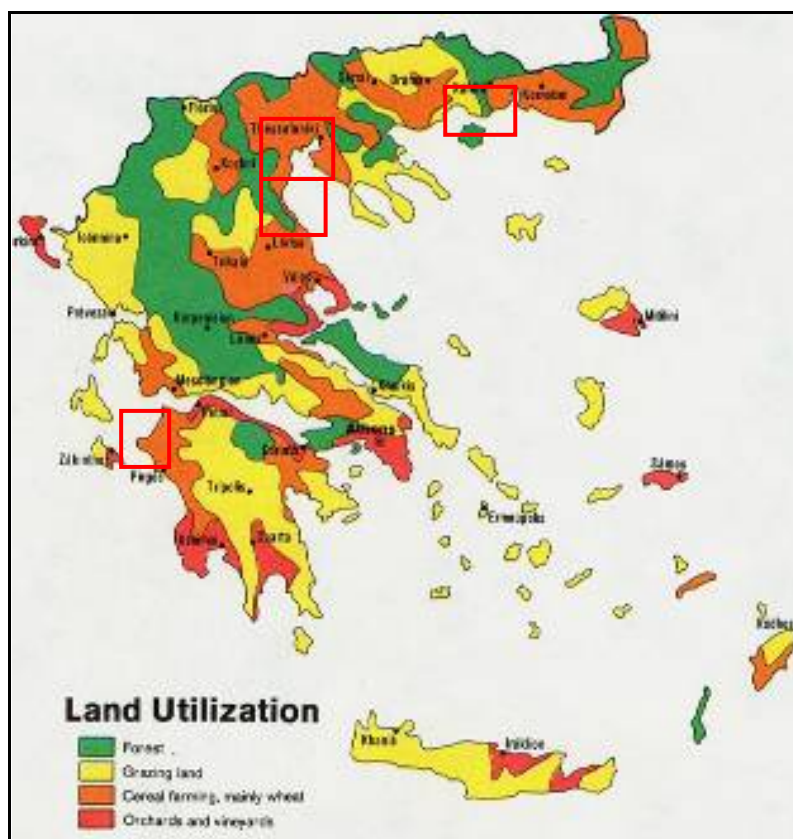
Παρακάτω παρουσιάζονται οι 10 ευρύτερες παράκτιες περιοχές που μελετήθηκαν στη διατριβή, εντοπισμένες σε δορυφορικές εικόνες, οδικό χάρτη όπως επίσης και σε χάρτη με τις χρήσεις γης της Ελλάδας :



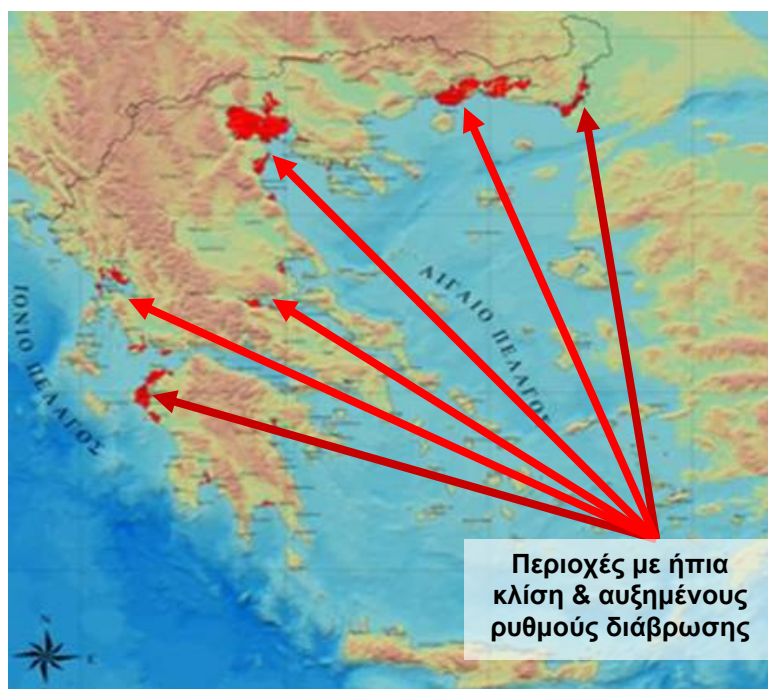
Εικόνα 6 : Δορυφορική εικόνα του ελλαδικού χώρου. Μέσα στα κόκκινα πλαίσια φαίνονται οι 10 παράκτιες περιοχές. Περιλαμβάνονται τμήματα της παραλίας στο Λιτόχωρο Πιερίας, της παραλίας στην Κατερίνη, της παραλίας στο Βαρθολομίο Ηλείας, τμήμα της παράκτιας περιοχής στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης και το Δέλτα του Νέστου [93].



Εικόνα 7 : Στην παρούσα εικόνα φαίνονται οι ευρύτερες παράκτιες περιοχές μελέτης μέσα σε κόκκινα πλαίσια [94].



Εικόνα 8 : Γενικός χάρτης με τις χρήσεις γης στον ελλαδικό χώρο. Με πράσινο χρώμα παρουσιάζονται οι δασικές εκτάσεις, με κίτρινο χρώμα οι βοσκότοποι, με πορτοκαλί χρώμα οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις (κυρίως σιτάρι) και με κόκκινο χρώμα οι εκτάσεις με οπωροφόρα δέντρα και οι αμπελώνες [95].



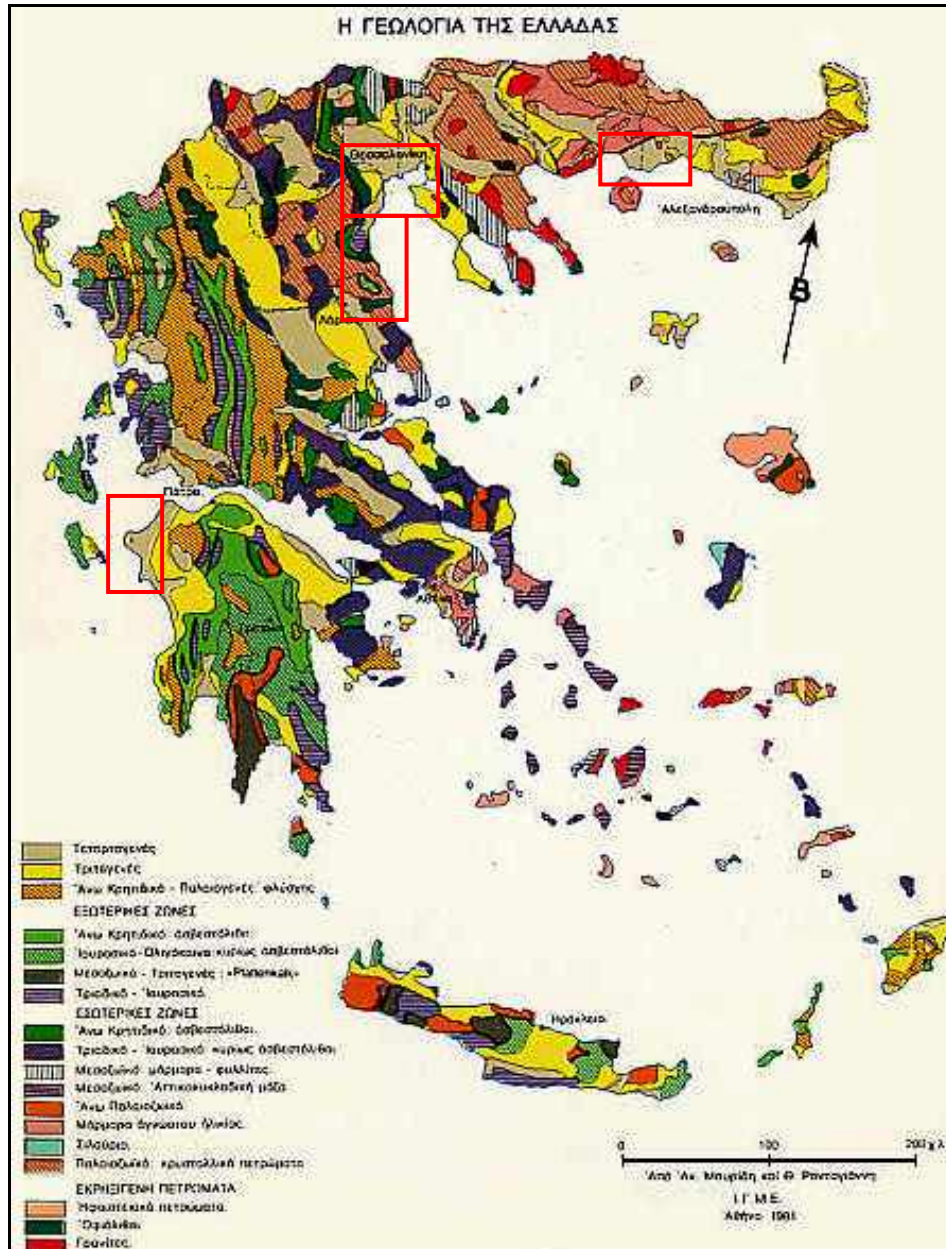
Εικόνα 9 : Χάρτης του ελλαδικού χώρου με τις παράκτιες περιοχές οι οποίες εμφανίζουν ήπια κλίση και αυξημένους ρυθμούς διάβρωσης (κόκκινο χρώμα) [41].

2.1.2 Τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των περιοχών της μελέτης.

Οι δέκα περιοχές οι οποίες εξετάζονται στην παρούσα διατριβή, επιλέχθηκαν έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν χαρακτηριστικές παράκτιες περιοχές του ελλαδικού χώρου με ήπια κλίση και αυξημένους ρυθμούς διάβρωσης (εικόνα 6). Πρόσθετα, οι συγκεκριμένες περιοχές αποτελούν στην πλειοψηφία τους ευαίσθητα παράκτια οικοσυστήματα μεγάλης οικολογικής σημασίας και φυσικής ομορφιάς (οι εκβολές των ποταμών Γαλλικού και Λουδία και τα Δέλτα των ποταμών Αξιού, Αλιάκμονα και Νέστου, οι Αλυκές Κίτρου κ.α.) όπως επίσης και ζώνες οικιστικής - τουριστικής ανάπτυξης και έντονων οικονομικών δραστηριοτήτων.

Η μετακίνηση της ακτογραμμής στις παραπάνω περιοχές, η οποία προκύπτει ως το αποτέλεσμα της συνδυασμένης δράσης πλήθους παραγόντων στην κάθε παράκτια ζώνη (φυσικών και ανθρωπογενών), επιταχύνεται από τις κλιματικές αλλαγές και σχετίζεται άμεσα με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής αλλά και την κλίση του αναγλύφου. Είναι χαρακτηριστικό πως ακτές οι οποίες παρουσιάζουν ήπιες κλίσεις και αποτελούνται από ιδιαιτέρως διαβρώσιμα υλικά (όπως είναι οι αμμώδεις παραλίες και τα δέλτα ποταμών τα οποία σχηματίζονται από φερτά υλικά κ.α.), κρίνονται ευάλωτες στην άνοδο της μ.σ.θ., στην εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων και παρουσιάζουν συνήθως σημαντικές μετακινήσεις και αλλαγές στην ακτογραμμή τους με το πέρασμα των χρόνων. Το φαινόμενο της διάβρωσης, ως προς το μέγεθος, την ένταση και τη διάρκειά του, εξαρτάται έμεσα από τις γεωλογικές ιδιαιτερότητες και χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής, όπως είναι η φύση και το είδος των πετρωμάτων, η προέλευσή τους και η γενικότερη μορφολογία του εδάφους. Για παράδειγμα, η ένταση του φαινομένου της διάβρωσης σε μια αμμώδη ακτή εξαρτάται ως ένα βαθμό από πλήθος γεωλογικών και μορφολογικών παραγόντων, όπως είναι η κατηγορία και το είδος των πετρωμάτων, το μέγεθος των κόκκων της άμμου αλλά και η κλίση και ο προσανατολισμός της ακτής, το ανάγλυφο του πυθμένα κ.α.

Ειδικότερα, όσον αφορά τη γεωλογία των 10 παράκτιων περιοχών που εξετάζονται στη διατριβή, παρουσιάζονται παρακάτω ο γενικός χάρτης με τη γεωλογία της Ελλάδας (εικ.10), όπως επίσης και επι μέρους χάρτες με τη γεωλογική περιγραφή των ευρύτερων περιοχών μελέτης :

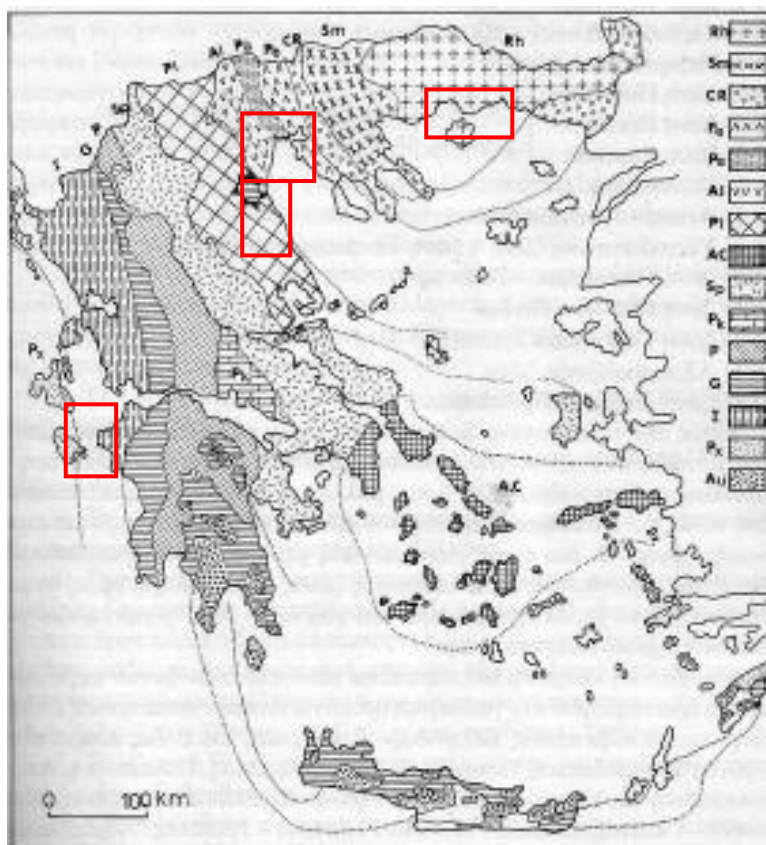


Εικόνα 10 : Γενικός γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας. Στο υπόμνημα παρουσιάζονται οι κυριότερες κατηγορίες πετρωμάτων και γεωλογικών σχηματισμών [96].

Η σημερινή γεωτεκτονική θέση της Ελλάδας στο χώρο του ορίου σύγκρουσης των λιθοσφαιρικών πλακών Ευρώπης και Αφρικής με τη διαμόρφωση του παγκόσμιου γνωστού Ελληνικού τόξου, δίνει αναμφισβήτητα μια ιδιαίτερη βαρύτητα στη γεωτεκτονική εξέλιξη της Ελλάδας κατά τη διάρκεια της γεωλογικής της ιστορίας. Αυτή η εξέλιξη αντικατοπτρίζεται στη γεωλογική δομή του Ελληνικού χώρου η διαμόρφωση της οποίας είναι αποτέλεσμα πολλών τεκτορογενετικών διεργασιών [17]. Σύμφωνα με τις επικρατούσες απόψεις, κάθε γεωτεκτονική ζώνη συνίσταται

από μια ορισμένη στρωματογραφική διαδοχή των ιζημάτων της, από τους ιδιαίτερους λιθολογικούς χαρακτήρες της και από την ιδιαίτερη τεκτονική της συμπεριφορά, στοιχεία γενικά που εξαρτώνται από την παλαιογεωγραφική της θέση.

Οι Ελληνικές γεωτεκτονικές ζώνες (ή Ελληνίδες ζώνες) φαίνονται στην εικ. 11 :



Εικόνα 11 : Γεωτεκτονικό σχήμα των Ελληνίδων ζωνών. Στο υπόμνημα παρουσιάζονται οι κυριότερες κατηγορίες γεωλογικών ζωνών [17].

Παρατηρώντας τις εικόνες 10 και 11 προκύπτει πως οι 10 παράκτιες περιοχές οι οποίες εξετάστηκαν στην παρούσα διατριβή, ανήκουν στις παρακάτω γεωλογικές ζώνες :

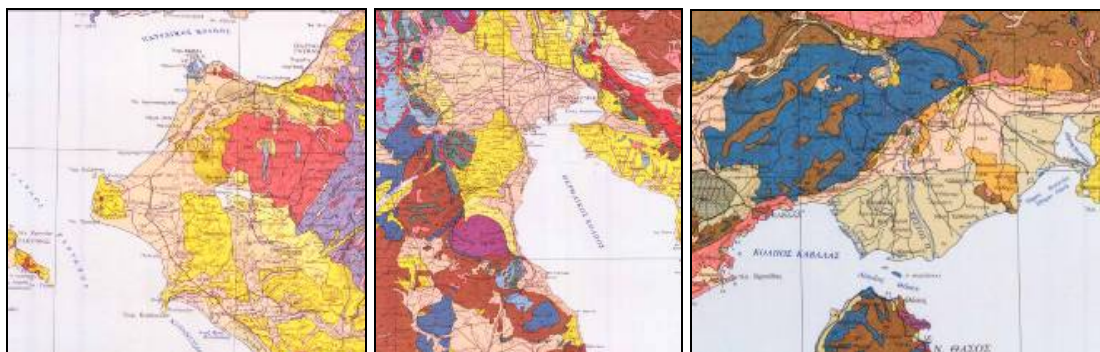
- Ο σχηματισμός του Δέλτα του Νέστου (κωδικοί περιοχών μελέτης : 10_NES και 4_NES) ανήκει στη γεωλογική ζώνη της «μάζας της Ροδόπης». Η όλη μάζα κυριαρχείται από κρυσταλλοσχιτώδη και πυριγενή πετρώματα. Ειδικότερα, η περιοχή μεταξύ Νέστου – Στρυμόνα χαρακτηρίζεται από πετρώματα τα οποία μεταμορφώθηκαν σε συνθήκες υποφάσης χαλαζίου – αλβίτου – επιδότου – βιοτίτου της πρασινοσχιστολιθικής φάσης [17].
- Το τμήμα της παράκτιας περιοχής στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης (κωδικός περιοχής : 9_THE) ανήκει στις γεωλογικές ζώνες «Παιονίας και Πάικου». Οι δύο αυτές ζώνες, όπως επίσης και η ζώνη «Αλμωπίας», συνθέτουν την ευρύτερη γεωλογική ζώνη του Αξιού. Η συγκεκριμένη ζώνη θεωρείται ουσιαστικά ενιαία, με χαρακτήρες παλιάς ωκεάνιας περιοχής από όπου προήλθαν οι οφειόλιθοι. Βασικό χαρακτηριστικό της αποτελούν οι μεγάλες οφειολιθικές μάζες που έχουν αξάπλωση σε όλο το χώρο της και συνιστούν στο σύνολό τους την «εσωτερική οφειολιθική λωρίδα» της Ελλάδας. Η παρουσία των οφειόλιθων έχει μεγάλη

σημασία για τη γεωτεκτονική εξέλιξη των Ελληνίδων και καθορίζει τη γεωτεκτονική θέση της ζώνης Αξιού σαν τον παλαιό ωκεάνιο χώρο της Τηθύος με ωκεάνιο φλοιό και ιζήματα βαθιάς θάλασσας στη διάρκεια του Μεσοζωικού [17].

- Το τμήμα της ευρύτερης παράκτιας περιοχής στην Κατερίνη και στο Λιτόχωρο (κωδικοί περιοχών : 1_LIT, 2_KAT, 3_KAT, 5_KAT και 7_KAT ανήκει στην «Πελαγονική ζώνη». Η συγκεκριμένη ζώνη συγκροτείται κυρίως από κρυσταλλοσχιστώδη πετρώματα (μάζα), πάνω στα οποία υπάρχουν Μεσοζωϊκά ιζήματα (κάλυμμα). Όσον αφορά το «γεωλογικό παράθυρο» της ευρύτερης παράκτιας περιοχής στους πρόποδες του Ολύμπου, παρατηρούνται κυρίως Νεογενείς και Τεταρτογενείς αποθέσεις.
- Το τμήμα της ευρύτερης παράκτιας περιοχής στο Βαρθολομίο στο νομό Ηλείας (κωδικοί περιοχών : 6_BAR και 8_BAR) ανήκει στην «Ιόνιο ζώνη». Με βάση τις νεώτερες απόψεις, η συγκεκριμένη ζώνη χαρακτηρίζεται σαν μια ηπειρωτική λεκάνη με ημιπελαγική – πελαγική ιζηματογένεση [17].

Όσον αφορά τα Νεογενή και Τεταρτογενή ιζήματα τα οποία αποθέτονται σε λεκάνες τεκτονικές ή μη που σχηματίσθηκαν μετά τη λήξη των πτυχώσεων (τέτοιες λεκάνες παρατηρούνται στην περιοχή Αξιού – Θεσσαλονίκης, στη Δυτική Πελοπόννησο – περιοχή Ηλείας), αυτά είναι θαλάσσια, λιμναία και ποταμοχειμάρια και αποθέτονται σε λεκάνες στις οποίες οι συνθήκες εναλλάσσονται από θαλάσσιες σε χερσαίες. Τα θαλάσσια ιζήματα Νεογενούς–Τεταρτογενούς είναι κροκαλοπαγή, λατυποπαγή, ψαμμίτες, μάργες και αβεστόλιθοι κυρίως οργανογενείς. Ανάλογα είναι και τα ιζήματα της λιμναίας φάσης αλλά το σπουδαιότερο δημιουργήμα της τελευταίας είναι οι λιγνίτες που σχηματίζονται κυρίως στα περιθώρια λεκανών όπου υπήρχαν έλη και συσσωρεύονταν ποσότητες οργανικής ύλης. Από τα χερσαία ποταμοχειμάρια ιζήματα τα πιο συνήθη είναι τα κροκαλολατυποπαγή, οι ψαμμίτες και τα ερυθροχρώματα [17].

Παρακάτω παρουσιάζονται λεπτομερείς χάρτες των ευρύτερων παράκτιων περιοχών μελέτης (οι συγκεκριμένοι σεισμοτεκτονικοί και γεωτεχνικοί χάρτες προέρχονται από το Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, με χρονολογία έκδοσης 1989 & 1993 αντίστοιχα και κλίμακα 1:500.000) [103]. Με ανοικτό καφέ χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές απόθεσης ιζημάτων και φερτών υλικών (τα δέλτα των ποταμών Αξιού, Νέστου, Γαλλικού, Λουδία και Αλιάκμονα). Οι συγκεκριμένες περιοχές εξαιτίας της γεωλογικής τους σύστασης και των αυξημένων ρυθμών διάβρωσης, της ήπιας κλίσης του ανάγλυφου, των ανθρώπινων επεμβάσεων (κατασκευή φραγμάτων) και των κλιματικών αλλαγών, παρουσιάζουν σημαντικές μετακινήσεις στις ακτογραμμές τους.



Εικόνες 12, 13, 14 : Στους παραπάνω γεωτεχνικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. παρουσιάζονται οι ευρύτερες παράκτιες περιοχές μελέτης, στη Δυτική Πελοπόννησο, στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης και στο δέλτα του Νέστου, ως προς τη γεωλογική τους σύσταση [103].

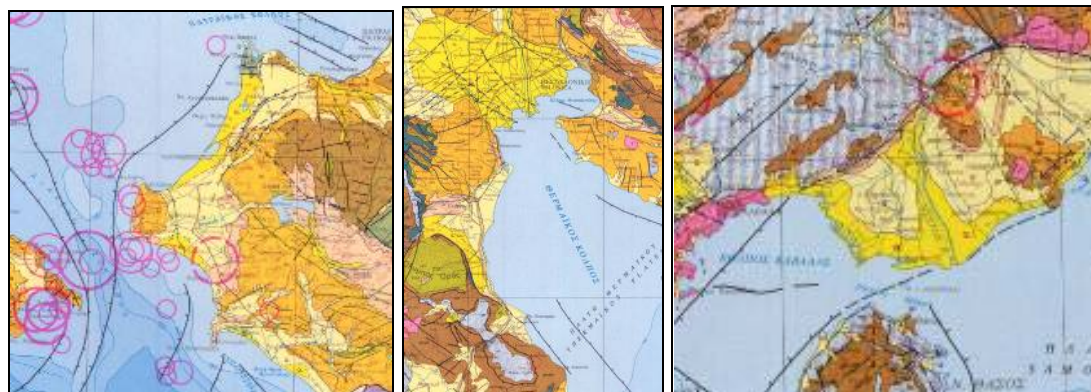
Ο εσωτερικός Ελληνικός γεωλογικός χώρος συγκροτείται τεκτονικά, από τα ανατολικά προς τα δυτικά, από τις παρακάτω γεωτεκτονικές μονάδες [17] :

- Την Ελληνική ενδοχώρα με τις μάζες Ροδόπης και Σερβομακεδονικής.
- Τα τεκτονικά λείπια της ζώνης Παιονίας που επωθούνται προς Δυσμάς πάνω στο Πάικο.
- Το σύνθετο ημιαντίκλινο της ζώνης Πάικου που βρίσκεται σε τεκτονική επαφή με ανάστροφα ρήγματα με την Αλμωπία.
- Τα τεκτονικά λείπια της ζώνης Αλμωπίας που είναι λείπια είτε του καλύμματος είτε του υποβάθρου, και επωθούνται πάνω στην Πελαγονική ζώνη.
- Το τεκτονισμένο κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο και τα ανθρακικά καλύμματα Πελαγονικής και Υποπελαγονικής που μαζί με τους οφειόλιθους εμφανίζονται επωθημένα προς δυσμάς πάνω στις εξωτερικές ζώνες.

Οι παραπάνω δομές που είναι ορατές σήμερα στην Ελλάδα, είναι αποτέλεσμα πολλών τεκτονικών κινήσεων και παραμορφώσεων που έγιναν σε διάφορες ορογενετικές περιόδους [17]. Πρόσθετα, παρουσιάζεται ο γενικός τεκτονικός χάρτης της Ελλάδας όπως επίσης και επι μέρους χάρτες των ευρύτερων παράκτιων περιοχών μελέτης, με τις σεισμογενείς περιοχές της χώρας :



Εικόνα 15 : Τεκτονικός χάρτης της Ελλάδας στον οποίο παρουσιάζονται τα σεισμικά τόξα και τα ρήγματα στην ευρύτερη περιοχή [97].



Εικόνες 16, 17, 18 : Στους παραπάνω σεισμοτεκτονικούς χάρτες του Ι.Γ.Μ.Ε. με κόκκινους κύκλους εντοπίζονται τα σημεία σεισμικής δραστηριότητας (υποθαλάσσια και ηπειρωτικά) στις ευρύτερες παράκτιες περιοχές της διατριβής [103].

2.2 Η μετακίνηση της ακτογραμμής στις περιοχές μελέτης.

Η άνοδος της μ.σ.θ. έχει ως αποτέλεσμα η ακτογραμμή και η ζώνη του αιγιαλού να μετακινούνται σε πολλές παράκτιες περιοχές της χώρας μας, με κατεύθυνση προς την στεριά και έτσι όλο και περισσότερες ιδιοκτησίες οι οποίες σχεδόν συνορεύουν με την θάλασσα, να κινδυνεύουν από καταστροφές ή και συνολική απώλεια. Εξαιτίας του συνεχούς κινδύνου απώλειας εδαφών, θα πρέπει να ληφθούν μέτρα προστασίας των παράκτιων περιουσιών, κτισμάτων και εγκαταστάσεων που απειλούνται άμεσα από καταστροφή. Στην περίπτωση της χώρας μας, εξαιτίας της υπερσυγκέντρωσης χρήσεων γης εξαιρετικά κοντά στην ακτογραμμή, πολλές παράκτιες περιοχές (όπως οι συγκεκριμένες που μελετήθηκαν στη παρούσα διατριβή) αντιμετωπίζουν σημαντικά, πρόσθετα προβλήματα εξαιτίας των πιέσεων που υφίστανται από ανθρώπινες δραστηριότητες, οι οποίες οδηγούν συχνά σε διατάραξη των φυσικών ισορροπιών και υποβάθμιση των παράκτιων οικοσυστημάτων. Τέτοιες δραστηριότητες είναι η κατασκευή φραγμάτων και η αλλοίωση των σχηματισμών των δέλτα των ποταμών, η παράνομη αμμοληψία, η κατασκευή λιμενικών έργων σε συνδυασμό με την εφαρμογή «σκληρών» μέτρων προστασίας, η καταπάτηση δημόσιων εκτάσεων όπως είναι η ζώνη του αιγιαλού και της παραλίας, κ.α.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη δυναμική εξέλιξη των ελληνικών παράκτιων συστημάτων μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες [40] :

1. Κλιματικοί παράγοντες

- Τα κύματα και οι καταιγίδες.
- Τα θαλάσσια ρεύματα και η μεταφορά ιζημάτων.
- Η μορφολογία της ακτής.
- Η άνοδος της μ.σ.θ.
- Η παράκτια βλάστηση.
- Η διάβρωση της ακτής.
- Οι μεταβολές που προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες

2. Γεωδυναμικοί παράγοντες

- Τα tsunamis, οι σεισμοί και οι υποθαλάσσιες κατολισθήσεις.

Όσον αφορά τα tsunamis, έχουν καταγραφεί πάνω από 160 γεγονότα τα τελευταία 3500 χρόνια. Ειδικότερα, στον Κορινθιακό κόλπο, ο οποίος αποτελεί μία από τις σεισμικότερες περιοχές της Ευρώπης, τον τελευταίο αιώνα η συγκεκριμένη περιοχή έχει πληγεί από 7 tsunamis κλίμακας έως IV, με μέγιστο ύψος κυμάτων τα 5 μέτρα [40]. Βέβαια, τα φαινόμενα tsunamis που έχουν καταγραφεί στην ευρύτερη περιοχή σχετίζονται κυρίως με υποθαλάσσιες κατολισθήσεις λόγω έντονων βροχοπτώσεων ή σεισμών [40]. Όλοι οι παραπάνω παράγοντες, ανεξάρτητα από τους μηχανισμούς δράσης, την πηγή προέλευσης και το μέγεθος ή το χρονικό διάστημα εκδήλωσης του κάθε φαινομένου, έχουν ως τελικό αποτέλεσμα τη μετακίνηση της ακτογραμμής (υποχώρηση ή πρόσχωση). Το τελικό αυτό αποτέλεσμα δράσης όλων των παραπάνω παραγόντων και μηχανισμών στην κάθε παράκτια ζώνη (δηλ. η μετρημένη μετακίνηση της εκάστοτε ακτογραμμής κατά μήκος σχεδιασμένων διατομών), αποτελεί και τη βασική ομάδα πρωτογενών δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην παρούσα διατριβή, έτσι ώστε να μοντελοποιηθεί στη συνέχεια η δυναμική των 10 παράκτιων περιοχών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3:ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ. ΤΟ ΦΙΛΤΡΟ KALMAN. Η ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ «ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ» (BINNING).

3.1 Θεωρητική ανάλυση των υπαρχουσών μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής και οι αβεβαιότητες των προβλέψεων τους.

3.1.1 Αρχικά στοιχεία.

Για να εμποδιστούν οι απώλειες εδαφών και οι καταστροφές εγκαταστάσεων και κτιρίων στις παράκτιες περιοχές εξαιτίας της ανόδου της μ.σ.θ. και των κλιματικών αλλαγών, κρίνεται απαραίτητο να εφαρμόζεται μια σειρά παράκτιων κανονισμών και όρων δόμησης. Οι κανονισμοί αυτοί θα πρέπει να στηρίζονται σε μια αξιόπιστη στατιστική μεθοδολογία η οποία θα είναι σε θέση να καθορίζει με ακρίβεια και να υπολογίζει τους ετήσιους ρυθμούς διάβρωσης-επικινδυνότητας για κάθε παράκτια περιοχή. Οι μεθοδολογίες που ακολουθούνται σε παγκόσμιο επίπεδο έτσι ώστε να υπολογίζονται οι ρυθμοί διάβρωσης των ακτών, παρουσιάζονται παρακάτω [38]:

1. End Point Rate (EPR)
2. Average of rates (AOR)
3. Minimum Description Length (MDL)

4. Jackknifing (JK)
5. Ordinary Least Squares (OLS)
6. Reweighted Least Squares (RLS)

7. Weighted Least Squares (WLS)
8. Reweighted Weighted Least Squares (RWLS)
9. Least Absolute Deviation (LAD)
10. Weighted Least Absolute Deviation (WLAD)

Για να αξιολογηθούν οι παραπάνω (στατιστικές και μη) μέθοδοι, συγκρίνονται μεταξύ τους οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής με τις αβεβαιότητες τους, χρησιμοποιώντας ως γενικό κριτήριο σύγκρισης και αναφοράς τη μετρημένη ιστορική μεταβολή της ακτογραμμής σε κάθε παράκτια περιοχή. Στην παραπάνω διαδικασία υπολογισμών ρυθμών μεταβολής συμπεριλαμβάνονται η επίδραση της αριστη γνώσης των γεγονότων των κυματικών καταγίδων, αλλά και η χρησιμοποίηση «προσωρινών» δεδομένων για να γίνει η πρόβλεψη, όπως επίσης και συνθετικές χρονικές σειρές ακτογραμμών οι οποίες περιέχουν «θόρυβο».

Επίσης, στην παρούσα μελέτη παρουσιάζεται η έννοια της ομαδοποίησης γειτονικών διατομών έτσι ώστε να είναι δυνατή η αναγνώριση τμημάτων μιας παραλίας, τα οποία έχουν ρυθμούς διάβρωσης μη αναγνωρίσιμους (η μέθοδος ομαδοποίησης γειτονικών διατομών - Binning, [54]).

3.1.2 Εισαγωγή.

Η αναγνώριση της αξίας της παράκτιας γης και ο μεγάλος αριθμός χρήσεων γης που συγκεντρώνονται εξαιρετικά κοντά στην ακτογραμμή στις παράκτιες περιοχές της χώρας μας, δημιουργούν την ανάγκη χάραξης μιας στρατηγικής προστασίας και διαχείρισης των ακτών. Αυτή η στρατηγική θα πρέπει να στηριχθεί σε επιστημονικά

βασισμένους κανόνες οπισθοχώρησης. Βασικό εργαλείο κατά τη διαδικασία θέσπισης των παραπάνω κανόνων αποτελούν οι ρυθμοί διάβρωσης ή πρόσχωσης της ακτής που εκδηλώνονται σε κάθε παράκτιο σύστημα.

Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης είναι να συγκριθούν οι μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής (περιλαμβάνοντας τρεις στατιστικές μεθόδους οι οποίες δεν χρησιμοποιούνταν για τον υπολογισμό ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής).

Αρχικά μελετώνται οι επιδράσεις των ακραίων τιμών (outliers) με βάση την ήδη υπάρχουσα (a priori) γνώση (π.χ. : καταστροφικό τσουνάμι, τυφώνας) σε προβλέψεις οι οποίες βασίζονται σε ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής. Στη συνέχεια, ακολουθεί σύγκριση των διαφορετικών μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, χρησιμοποιώντας συνθετικά-τεχνητά δεδομένα. Τέλος, εξετάζεται ως μέθοδος μελέτης της συμπεριφοράς της ακτής η ομαδοποίηση των γειτονικών διατομών έτσι ώστε να βρεθούν τα τμήματα της ακτογραμμής με δυσδιάκριτους ρυθμούς μεταβολής.

Αξίζει να σημειωθεί πως οι μεταβολές που συμβαίνουν κατά μήκος αμμωδών ακτών για μικρά χρονικά διαστήματα παρατήρησης, είναι συχνά κυκλικές [69]. Επομένως, σε δεδομένα θέσης ακτογραμμών, στην περίπτωση που βασιστούμε σε ρυθμό μεταβολής που έχει υπολογιστεί για μια μικρή χρονική περίοδο για να γίνει εκτίμηση του ρυθμού μεταβολής μακροπρόθεσμα, ενδέχεται να παρουσιαστούν σημαντικά σφάλματα. Ένα σοβαρό ζήτημα έγκειται στον τρόπο καθορισμού ενός μικρού χρονικού διαστήματος (βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη) σε σχέση με ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (μακροπρόθεσμη πρόβλεψη). Σύμφωνα με τους περισσότερους αναλυτές, για να γίνουν προβλέψεις μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι έχουν υπολογιστεί από μεγάλα χρονικά διαστήματα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως στην περίπτωση των Η.Π.Α. η περίοδος μελέτης/παρατήρησης προσεγγίζει τα 130 χρόνια. Έτσι, χρησιμοποιούνται αεροφωτογραφίες οι οποίες έχουν ληφθεί τα τελευταία 60 χρόνια (κυρίως μετά το 1945) και χάρτες οι οποίοι σε συγκεκριμένες περιπτώσεις ακτών, ενδέχεται να προέρχονται από ένα αρχείο ακόμη και 70 χρόνων πριν από την πρώτη αεροφωτογράφιση [69]. Επίσης, σε κάποιες περιπτώσεις παρακτίων μελετών, η επιλογή γραμμικής ή μη πολυώνυμης μεθόδου για να καθοριστεί ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής, ενδέχεται να επηρεάσει σημαντικά (αρνητικά) την περιγραφή παλαιών και μελλοντικών τάσεων έξω από το διάστημα μελέτης [54], [69].

Οι προβλέψεις δεν βελτιώνονται αναγκαστικά με τη χρήση μη γραμμικών μεθόδων (υψηλού βαθμού πολυώνυμα) και πολλές φορές μπορεί να χρησιμοποιηθούν γραμμικές μέθοδοι προσέγγισης. Βέβαια, όταν υπάρχει σημαντικός «θόρυβος» και δεν παρατηρούνται περιοδικότητες στα δεδομένα, οι πολυωνυμικές προσεγγίσεις παρέχουν καλύτερες προβλέψεις στις μελλοντικές θέσεις της ακτογραμμής [69]. Επίσης, ενδέχεται να υπάρξει μια πρόσφατη μεταβολή στη μακροπρόθεσμη γενική τάση και έτσι να εισαχθούν αβεβαιότητες στον μακροπρόθεσμο γενικό ρυθμό μεταβολής. Η πρόσφατη μεταβολή μπορεί να κατευθύνει όλη την τάση σε διαφορετική πορεία (να αλλάξει ο ρυθμός μεταβολής) ή μπορεί η ακτογραμμή να επανέλθει στην ιστορική της συμπεριφορά, έτσι όπως καταγράφηκε αυτή μέσα στο πέρασμα των χρόνων και αποτυπώνεται σε αεροφωτογραφίες και διαγράμματα [54], [69].

Επομένως, συχνά οι γραμμικές προσεγγίσεις κρίνονται πιο αντιπροσωπευτικές των τάσεων για μεγάλες χρονικές περιόδους. Η εξαίρεση συμβαίνει όταν βραχυπρόθεσμες μεταβολές σε μια τάση, δύναται να καταγραφούν ως πραγματική μεταβολή σε μια μακροπρόθεσμη τάση [50].

Όταν συμβαίνει μια βραχυπρόθεσμη μεταβολή στην τάση (συμπεριφορά) της ακτογραμμής, όπως μια ανθρώπινη ενέργεια σε μια ακτή (π.χ. ένα τεχνητό έργο), τότε ένα πολυώνυμο \geq βαθμού ή 2 και περισσότερες γραμμικές προσεγγίσεις, ίσως κρίνονται πιο κατάλληλες [50].

3.1.3 Σφάλματα στη διαδικασία προσδιορισμού της ακτογραμμής.

Για τον προσδιορισμό της ακτογραμμής χρησιμοποιούνται αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, τοπογραφικοί χάρτες/διαγράμματα και οποιαδήποτε άλλη πληροφορία μπορεί να αξιοποιηθεί [28]. Σε όλη όμως την διαδικασία προσδιορισμού της μεταβολής μιας ακτογραμμής υπεισέρχονται σφάλματα σχεδόν σε κάθε στάδιο της διαδικασίας που αφορούν είτε τον τρόπο απόσπασης της ακτογραμμής, είτε το μέσο από το οποίο προέρχονται οι πληροφορίες, αλλά και πολύ περισσότερο, τις μεταβολές της μέσης στάθμης της θάλασσας λόγω διάφορων φυσικών φαινομένων που λαμβάνουν μέρος κατά τη διάρκεια χρονικών περιόδων [28]. Από αυτά τα σφάλματα, ορισμένα μπορούν να προβλεφθούν και να υπολογισθεί η συμβολή τους στον επηρεασμό του τελικού αποτελέσματος, ενώ άλλα αν και είναι γνωστή η ύπαρξή τους, είναι πολύ δύσκολη η ποσοτικοποίηση των μεγεθών τους και κατ' επέκταση ο υπολογισμός του μεγέθους επηρεασμού του τελικού αποτελέσματος [28].

Σημαντικό πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί κάθε φορά που λαμβάνονται πληροφορίες, είναι η καταγραφή της ακριβούς ημερομηνίας και ώρας που γίνεται η λήψη [28]. Η λεπτομέρεια αυτή αποτελεί πολύ βασική πληροφορία για τον μελετητή, καθώς έτσι μπορεί να υπολογιστεί η μέση στάθμη της θάλασσας που θα πλησιάζει περισσότερο στην πραγματική. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την στάθμη της θάλασσας κατά τη στιγμή της αποτύπωσης της ακτογραμμής συνδέονται με φυσικές διαδικασίες [28]. Οι φυσικές διαδικασίες είναι συνήθως περιοδικές, αλλά πολλές φορές η περίοδος τους ή το εύρος τους είναι άγνωστα. Τέτοιες φυσικές διαδικασίες είναι οι παλίρροιες, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στις περισσότερες περιοχές, με μεγαλύτερη ή μικρότερη ένταση σε κάθε περιοχή [28].

Πρόσθετοι παράγοντες που επηρεάζουν τη μ.σ.θ. είναι οι κυματικές καταιγίδες καθώς και η ύπαρξη ρευμάτων, κυμάτων ακόμα και αέρα [28]. Η επίδραση αυτών των παραγόντων μπορεί αν μειωθεί δραστικά, καθώς αυτά τα φαινόμενα συνήθως είναι έντονα κατά τους χειμερινούς μήνες. Τους θερινούς μήνες, οι διακυμάνσεις των ακτογραμμών είναι πολύ μικρότερες σε εύρος και παρατηρείται μια σταθερή συμπεριφορά που επηρεάζεται κυρίως από τις προβλέψιμες παλίρροιες [28]. Εξαιρέση στα παραπάνω αποτελούν κάποια πολύ έντονα καιρικά φαινόμενα, των οποίων η επίδραση στην ακτογραμμή μπορεί να υπολογισθεί χονδρικά και μόνο εφόσον είναι γνωστό ότι αυτά τα φαινόμενα εκδηλώθηκαν. Αυτά τα φαινόμενα όμως, μπορούν να επηρεάσουν την ακτογραμμή μόνιμα και όχι προσωρινά, κάτι που πρέπει να επισημανθεί κατά την μελέτη μιας ακτογραμμής [28].

Όσον αφορά τη διαδικασία απόσπασης της ακτογραμμής από τα πρωτογενή δεδομένα (τοπογραφικοί χάρτες, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες κλπ.), υπεισέρχονται αρκετά σφάλματα των οποίων όμως η επίδραση μπορεί να εκτιμηθεί [28]. Αυτά τα σφάλματα εξαρτώνται κυρίως από τη μέθοδο με την οποία γίνεται η απόσπαση της ακτογραμμής καθώς και από την ποιότητα των πρωτογενών δεδομένων. Η κυριότερη μέθοδος εφαρμόζεται με μετατροπή των δεδομένων σε ψηφιακή μορφή και έπειτα με ψηφιοποίηση/απόσπαση της ακτογραμμής [28]. Σε αυτήν τη μέθοδο υπεισέρχονται αρκετά σφάλματα καθώς ενδέχεται η ποιότητα των δεδομένων να μην είναι ικανοποιητική (μικρή κλίμακα, κακή αντίθεση της εικόνας) ή

η απειρία/ανθρώπινα λάθη κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης να προσθέσουν και άλλα σφάλματα λόγω της λανθασμένης επιλογής χαρακτηριστικών σημείων [28].

Εναλλακτικά, η απόσπαση της ακτογραμμής μπορεί να προκύψει με τη βοήθεια ενός τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Με σύγχρονες μεθόδους είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η ακτή, ως η ακμή μεταξύ της επίπεδης επιφάνειας του νερού και της επιφάνειας της ακτής [28]. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται σε εμπορικά προγράμματα που παρέχουν αυτήν την δυνατότητα (π.χ. ArcGIS). Σε αυτήν την μέθοδο τα σφάλματα προέρχονται κυρίως από τα σφάλματα που υπάρχουν στον σχηματισμό του ψηφιακού μοντέλου εδάφους αλλά και από την πιθανή μικρή κλίση της ακτής σε ορισμένες περιοχές [28]. Παρόλα αυτά είναι πολύ ακριβής ως μέθοδος, καθώς μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια και τα σφάλματα. Βασικό μειονέκτημα όμως είναι ότι πρέπει να γίνει η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους για κάθε χρονική στιγμή απόσπασης της ακτογραμμής, κάτι που κρίνεται αρκετά δύσκολο για δεδομένα παλαιότερων ετών [28].

3.1.4 Ο καθορισμός μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής.

Οι Dolan et al. (1991) παρουσίασαν μια περίληψη κάποιων μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής. Στην παρούσα διατριβή γίνεται επέκταση της παραπάνω παρουσίασης και σε άλλες μεθόδους, με παράθεση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους, ως προς την υπολογιστική τους διαδικασία και τα αποτελέσματα τους, στον παρακάτω πίνακα 1 :

Μέθοδοι	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
EPR	Απλοί υπολογισμοί.	Χρησιμοποιεί μόνο τα δύο ακραία σημεία και υποθέτει γραμμική τάση.
AOR	Χρησιμοποιεί σφάλματα στις μετρήσεις στο να αναγνωρίσει τον ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.	Υποθέτει γραμμική τάση, το κριτήριο του T_{min} επηρεάζεται από μεγάλα σφάλματα ή μικρό EPR.
MDL	Δεν υποθέτει γραμμική τάση όταν αναγνωρίζει το πιο κατάλληλο μοντέλο.	Δίνει έμφαση στα πρόσφατα δεδομένα και χρειάζεται η «κρίση ανάλυσης» όταν το μοντέλο είναι μη γραμμικό.
OLS	Απλοί υπολογισμοί, χρησιμοποιεί στατιστικούς ελέγχους.	Υποθέτει γραμμική τάση και είναι ευαίσθητη ως μέθοδος σε στατιστικά ακραίες τιμές.
JK	Μειώνει την επίδραση των ακραίων τιμών και χρησιμοποιεί στατιστικούς ελέγχους.	Υποθέτει γραμμική τάση.
RLS	Ανθεκτική σε στατιστικά ακραίες τιμές, χρησιμοποιεί στατιστικούς ελέγχους.	Υποθέτει γραμμική τάση, απομακρύνει δεδομένα πριν αναγνωρίσει την τάση.
WLS	Ενσωματώνει αβεβαιότητες στην γραμμική τάση και χρησιμοποιεί στατιστικούς ελέγχους.	Υποθέτει γραμμική τάση και είναι ευαίσθητη ως μέθοδος σε ακραίες τιμές.
RWLS	Ενσωματώνει αβεβαιότητες στην γραμμική τάση, χρησιμοποιεί στατιστικούς ελέγχους και είναι ανθεκτική ως μέθοδος στις ακραίες τιμές.	Υποθέτει γραμμική τάση, απομακρύνει δεδομένα πριν αναγνωρίσει την τάση.

LAD	Είναι ανθεκτική ως μέθοδος σε στατιστικά ακραίες τιμές.	Υποθέτει γραμμική τάση και η ανάλυση αναγνωρίζει πεδίο περιορισμών.
WLAD	Ενσωματώνει αβεβαιότητες στην γραμμική τάσης και είναι ανθεκτική ως μέθοδος σε στατιστικά ακραίες τιμές.	Υποθέτει γραμμική τάση και η ανάλυση αναγνωρίζει πεδίο περιορισμών.

Πίνακας 1 : Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των υπάρχουσών μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής [38].

Οι δύο πιο συχνά χρησιμοποιούμενες μέθοδοι είναι οι EPR και OLS, παρόλο που οι περισσότεροι μελετητές προτιμούν την OLS (τα απλά ελάχιστα τετράγωνα). Οι περισσότερες μέθοδοι υποθέτουν ότι η μεταβολή της ακτογραμμής είναι γραμμική σε σχέση με τον χρόνο, υποθέτοντας παράλληλα ότι η μη γραμμικότητα, όπου αυτή παρουσιάζεται, οφείλεται σε χαρτογραφικά λάθη και σε λανθασμένες μετρήσεις (αξιοπιστία δεδομένων). Οι ακτογραμμές όμως δεν προσχώνονται ή υποχωρούν με ομοιόμορφο τρόπο, κάτι που εγείρει ερωτήματα για την καταλληλότητα των γραμμικών μοντέλων [39], [45] και [46].

Οι προηγούμενες επιστημονικές εργασίες που εκπονήθηκαν στα πλαίσια της μελέτης των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, συνοψίζονται παρακάτω [98]:

- Οι Dolan, Fenster και Holms (1991) σύγκριναν βραχυπρόθεσμους και μακροπρόθεσμους ρυθμούς διάβρωσης της ακτογραμμής χρησιμοποιώντας τις μεθόδους EPR, OLS, JK και AOR.
- Οι Fenster, Dolan και Elder δημιούργησαν το 1993 τη μέθοδο MDL ως εναλλακτικό εργαλείο υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής σε σχέση με τις υπάρχουσες μεθόδους.
- Οι Thieler, Rodriguez και Carlo (1995), μελετώντας τα φαινόμενα διάβρωσης της ακτής στην τοποθεσία Rincon στο Puerto Rico, υπολόγισαν ρυθμούς μεταβολής χρησιμοποιώντας τις μεθόδους EPR, OLS, JK και AOR στο ψηφιακό σύστημα ανάλυσης δεδομένων ακτογραμμής DSAS.
- Σε αντίθεση με τους Crowell, Douglas και Leatherman (1998), οι Honeycutt, Crowell και Douglas (2001), σύγκριναν τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου EPR με τα αντίστοιχα της OLS, υπολογίζοντας ήδη υπάρχουσες θέσεις ιστορικών ακτογραμμών. Καθόρισαν έτσι, την ακρίβεια πρόβλεψης της κάθε μεθόδου και κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μέθοδος OLS είναι ακριβέστερη σε σχέση με τη μέθοδο EPR, όσον αφορά τη διαδικασία πρόβλεψης των μετακινήσεων της ακτογραμμής. Στην συγκεκριμένη εργασία έγινε για πρώτη φορά η εισαγωγή των εννοιών «forecasting» και «hind casting» στα πλαίσια της πρόβλεψης και του υπολογισμού ιστορικών αλλά και μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής.
- Οι Dean και Malakar το 1999 χρησιμοποίησαν 3 μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής (EPR, OLS και AOR) έτσι ώστε να κατηγοριοποιηθούν παράκτιες περιοχές στη Florida των Η.Π.Α., με βάση την επικινδυνότητα πλημμύρας.
- Η Ayesha Genz το 2006 χρησιμοποίησε δεδομένα από θέσεις ιστορικών ακτογραμμών σε παράκτιες περιοχές του νησιού Maui στη Hawaii, έτσι ώστε να υπολογίσει ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής, ελέγχοντας τις ακρίβειες πρόβλεψης των 10 υπάρχουσών μεθόδων.

3.1.4.1 Ο υπολογισμός του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.

Η διανυσματική ανάλυση των μεταβολών της ακτογραμμής (μέσω της διαδικασίας σχεδιασμού διατομών κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς) παρέχει ένα μοντέλο προσωρινής οπισθοχώρησης ή πρόσχωσης για κάθε ομάδα γραμμικών δεδομένων της ιστορικής εξέλιξης των ακτών.

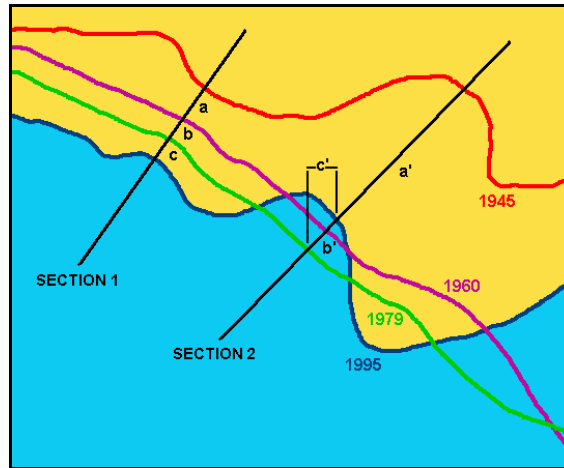
- Με χρήση διατομών

Ο ρυθμός μεταβολής ρ της ακτογραμμής είναι δυνατόν να υπολογιστεί με διαφορετικές μεθόδους, η κάθε μία εκ των οποίων προσφέρει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η μέθοδος υπολογισμού με τη χρήση διατομών υλοποιείται με τη μέτρηση, πάνω σε κάθε διατομή, αποστάσεων της ακτογραμμής μεταξύ διαφορετικών χρονικών διαστημάτων. Οι αποστάσεις αυτές μεταξύ των θέσεων των ιστορικών ακτογραμμών κατά μήκος των διατομών, αποτελούν και τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιούνται ανεξαιρέτως από τις 10 διαδεδομένες μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής. Έτσι, υπολογίζεται η υποχώρηση ή η πρόσχωση της ακτογραμμής σε κάθε διατομή ξεχωριστά και στη συνέχεια υπολογίζεται ένας ενιαίος μέσος όρος για ολόκληρη την ακτογραμμή. Κατά αυτόν τον τρόπο μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα σε τοπικό επίπεδο (ανάλογα με τη θέση της κάθε σχεδιασμένης διατομής) αλλά και ως προς τη δυναμική εξέλιξη συνολικά της ακτογραμμής σε κάθε παράκτια περιοχή.

Στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 19) παρουσιάζονται οι ακτογραμμές των παρακάτω ετών : 1945,1960,1979 και 1995 και η διατομή 1. Ως a θεωρείται η απόσταση μεταξύ της ακτογραμμής του 1945 και του 1960, ως b η απόσταση μεταξύ της ακτογραμμής του 1960 και του 1979 και ως c η απόσταση μεταξύ της ακτογραμμής του 1979 και του 1995. Θεωρώντας ως αφετηρία το 1945 (το 1945 η ακτογραμμή βρίσκεται στη θέση 0) και θέτοντας θετικό πρόσημο για τις περιπτώσεις πρόσχωσης και αρνητικό για τις περιπτώσεις υποχώρησης της ακτογραμμής, θα ισχύει :

Ακτογραμμές	Θέση ακτογραμμής στη διατομή 1
1945	0
1960	a
1979	a + b
1995	a + b + c

Πίνακας 2 : Οι ιστορικές ακτογραμμές με τις θέσεις τους μετρημένες ως προς την αφετηρία του 1945.



Εικόνα 19 : Η μεθοδολογία των διατομών βασίζεται στη μέτρηση αποστάσεων μεταξύ της ακτογραμμής σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

Ο πλέον συνήθης τρόπος υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής γίνεται μέσω της σχέσης :

$$\rho = \frac{a + b + c + \dots}{\text{χρονικό διάστημα παρατηρήσεων}} \quad (3.1)$$

όπου : a, b, c, \dots οι αποστάσεις της θέσης της ακτογραμμής κάθε χρονικής στιγμής από την αμέσως προηγούμενή της.

Ο τρόπος αυτός, αν και πολύ απλός και κατανοητός στην έκφρασή του, έχει το μειονέκτημα ότι εάν τα χρονικά διαστήματα μεταξύ των παρατηρήσεων της ακτογραμμής δεν είναι σχετικά όμοια (όπως π.χ. 1945-1960 : 15 χρόνια, 1960-1972 : 12 χρόνια, 1972-1985 : 13 χρόνια), τότε ενδέχεται να παραχθούν εσφαλμένα αποτελέσματα.

Για να αποφευχθεί αυτή η περίπτωση, εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση [28]:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i}{n} \quad (3.2)$$

όπου : ρ_i , οι επιμέρους ρυθμοί μεταβολής σε κάθε διάστημα παρατηρήσεων [στο προηγούμενο παράδειγμα, το ρ_1 θα ισούται με $a/(1960-1945)$, το ρ_2 θα ισούται με $b/(1960-1945)$ κ.ο.κ.].

- Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων (OLS)

Με τη μέθοδο ελαχίστων τετραγώνων (OLS) υπολογίζεται η βέλτιστη ευθεία που διέρχεται από τα δεδομένα. Ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής προκύπτει από την κλίση της ευθείας. Θεωρώντας ότι η ευθεία έχει εξίσωση [28]:

$$y = \rho \cdot x + c \quad (3.3)$$

Τότε, ο ρυθμός μεταβολής ρ (m/yr) δίνεται από τη σχέση [28]:

$$\rho = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i x_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (3.4)$$

όπου :

n , το πλήθος των παρατηρήσεων
 x_i , ο χρόνος της παρατήρησης i
 y_i , η τιμή της παρατήρησης i

Επίσης, είναι δυνατόν να υπολογιστεί ο βαθμός συσχέτισης της ευθείας, δηλαδή το κατά πόσο αξιόπιστο είναι το γραμμικό μοντέλο στην πρόβλεψη της ιστορικής εξέλιξης της ακτογραμμής. Ο βαθμός συσχέτισης της R^2 προκύπτει από την σχέση ([28], [38] και [52]):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y'_i - \bar{y}_i)}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y}_i)} \quad (3.5)$$

όπου :

y'_i , η υπολογιζόμενη τιμή για την τιμή x_i
 \bar{y}_i , η μέση τιμή των δεδομένων y_i

Ισχύει ότι $0 \leq R^2 \leq 1$. Όσο ο βαθμός συσχέτισης προσεγγίζει την τιμή 1, τόσο καλύτερα προσαρμόζεται η ευθεία στα δεδομένα [66].

- Με χρήση εμβαδών

Εναλλακτικά της μεθοδολογίας των διατομών, ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής μπορεί να υπολογιστεί και με τη χρήση των εμβαδών των περιοχών που είτε έχουν προσχωθεί είτε έχουν διαβρωθεί (μέθοδος εμβαδών). Η μέθοδος στηρίζεται σε μια ενιαία αντιμετώπιση της περιοχής μελέτης. Υλοποιείται με τη μέτρηση των εμβαδών των περιοχών που προσχώθηκαν ή διαβρώθηκαν σε μια χρονική περίοδο και του μήκους της ακτογραμμής [28] (Εικόνα 20).

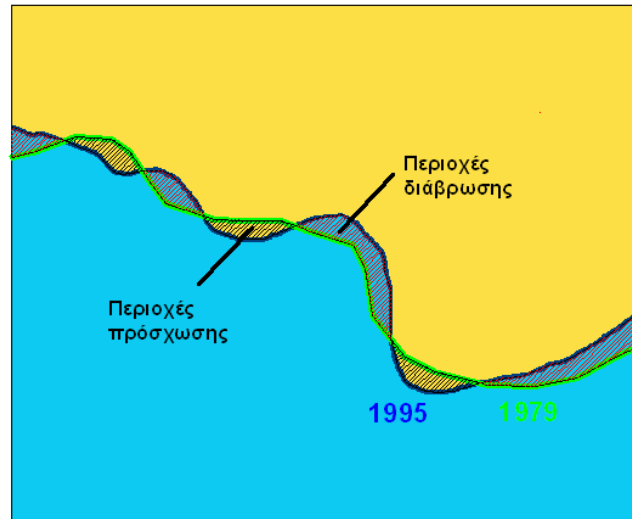
Ο ρυθμός μεταβολής στη συγκεκριμένη περιοχή υπολογίζεται ως εξής [28]:

$$\rho = \frac{\sum E_{\text{προσχώσεις}} - \sum E_{\text{διαβρώσεις}}}{L} \quad (3.6)$$

όπου: $\sum E_{\text{προσχώσεις}}$: το συνολικό εμβαδόν των περιοχών που προσχώθηκαν.

$\sum E_{\text{διαβρώσεις}}$: το συνολικό εμβαδόν των περιοχών που διαβρώθηκαν.

L : το μήκος μιας μέσης ακτογραμμής, ανάμεσα στις δυο χρονικές στιγμές – κατά προσέγγιση, (επιλέγεται το μικρότερο εκ των δυο μηκών της ακτογραμμής στις αντίστοιχες περιόδους) [28].

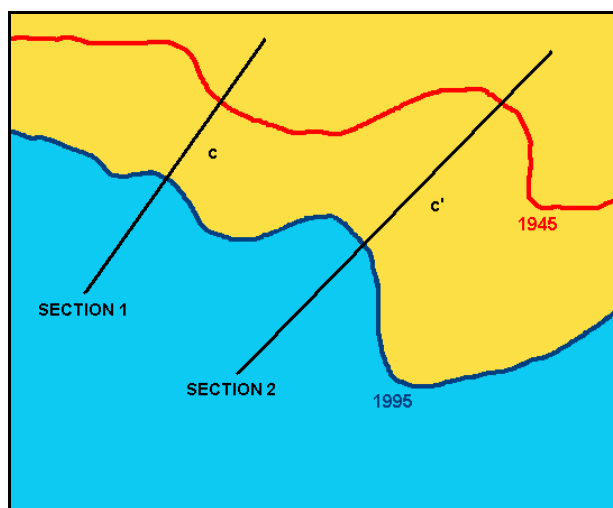


Εικόνα 20 : Η μέθοδος των εμβαδών στηρίζεται στη μέτρηση των εμβαδών των περιοχών που προσχώθηκαν και των περιοχών που διαβρώθηκαν.

Πρόκειται για ένα ρυθμό μεταβολής συνολικό για την περιοχή μελέτης. Η μέθοδος αυτή συνίσταται για :

- Τον υπολογισμό ενός μέσου, γενικού ρυθμού μεταβολής σε μια περιοχή, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη τοπικές ιδιαιτερότητες.
 - Σε περιοχές όπου λόγω των μεγάλων μεταβολών, δε μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος των διατομών. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται κατά κάποιο τρόπο η εσωτερική δυναμική της περιοχής.
 - Σε περιοχές όπου δεν είναι εμφανής η τάση μεταβολής της ακτογραμμής.
 - Σε ενιαίες γεωλογικά και γεωγραφικά οντότητες, όπως δέλτα ποταμών, νησιά και κόλπους.
- Με τη μέθοδο «EPR (END POINT RATE)»

Αρχικά, επιλέγεται η παλαιότερη και η νεότερη ακτογραμμή από τις διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές. Χρησιμοποιώντας τις μετρημένες αποστάσεις μεταξύ των θέσεων των ακτογραμμών κατά μήκος των σχεδιασμένων διατομών, υπολογίζονται οι επιμέρους ρυθμοί μεταβολής. Με βάση όλους αυτούς τους επιμέρους ρυθμούς ανά διατομή, τελικώς υπολογίζεται ένας μέσος ρυθμός (μέσος όρος) μεταβολής του επιλεγμένου τμήματος της ακτογραμμής για το χρονικό διάστημα μεταξύ των χρονολογιών της παλαιότερης και της νεότερης ακτογραμμής [38], [54]. Στην περίπτωση της παράκτιας περιοχής του παραδείγματος (όπου είναι διαθέσιμες τέσσερις ιστορικές ακτογραμμές) θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν, σύμφωνα με τη μέθοδο EPR, οι χρονολογίες 1945 (παλαιότερη ακτογραμμή) και 1995 (νεότερη διαθέσιμη ακτογραμμή) και οι αντίστοιχες διατομές.



Εικόνα 21 : Στη μέθοδο EPR χρησιμοποιούνται οι αποστάσεις c και c' , οι οποίες μετρώνται κατά μήκος των διατομών 1 και 2.

- Με τη μέθοδο «AOR (AVERAGE OF RATES)»

Στη συγκεκριμένη μέθοδο χρησιμοποιούνται οι μετρημένες αποστάσεις μεταξύ των θέσεων των ακτογραμμών πάνω στις διατομές (δηλ. το πόσο έχει μετακινηθεί η κάθε ακτογραμμή με το πέρασμα των χρόνων) και όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί των ιστορικών ακτογραμμών ανά δύο [38]. Επομένως στην περίπτωση που είναι διαθέσιμες ακτογραμμές τεσσάρων διαφορετικών χρονολογιών (στην παράκτια περιοχή της εικόνας 19 υπάρχουν οι εξής ιστορικές ακτογραμμές : 1945, 1960, 1979 και 1995) είναι δυνατοί οι παρακάτω συνδυασμοί : ακτογραμμή του 1945-ακτογραμμή του 1960, 1945-1979, 1945-1995 και 1960-1979, 1960-1995 και 1979-1995. Ο αριθμός των πιθανών ζευγαριών ακτογραμμών υπολογίζεται από την σχέση : $n \cdot (n-1)/2$, όπου n : ο αριθμός των διαθέσιμων ακτογραμμών.

Από κάθε ένα από αυτά τα ζευγάρια ακτογραμμών θα προκύπτει και ένας ρυθμός μεταβολής. Ο αριθμητικός μέσος όρος όλων αυτών των επιμέρους ρυθμών μεταβολής θα αποτελεί και τον τελικό ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής, που προκύπτει από τη συγκεκριμένη μέθοδο [28], [38].

- Με τη μέθοδο «JACKKNIFE»

Η συγκεκριμένη μέθοδος περιλαμβάνει Μέθοδο Ελαχίστων Τετραγώνων με n ιστορικές ακτογραμμές σε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς, χρησιμοποιώντας κάθε φορά $n-1$ ακτογραμμές [38]. Είναι δηλαδή μια επαναληπτική διαδικασία που σε κάθε επανάληψη συμπεριλαμβάνει έναν διαφορετικό συνδυασμό ακτογραμμών. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όλους τους πιθανούς συνδυασμούς ακτογραμμών και ο τελικός ρυθμός μεταβολής είναι ο μέσος όρος των επιμέρους ρυθμών μεταβολής που έχουν προκύψει [28], [38]. Η μέθοδος Jackknife είναι απλώς μια εφαρμογή της OLS, επομένως φέρει και τα πλεονεκτήματά της. Η αυτοματοποιημένη υπολογιστική διαδικασία καθώς και το γεγονός ότι στους υπολογισμούς και στη διαμόρφωση του τελικού αποτελέσματος συμμετέχουν όλα τα διαθέσιμα στοιχεία, χαρακτηρίζεται ως πλεονέκτημα της μεθόδου. Όμως η Jackknife, λόγω της διαδικασίας με την οποία εκτελεί την OLS μπορεί να μειώσει την επίδραση των μεμονωμένων συμβάντων σε κάποιες ακτογραμμές, καθώς και την επίδραση πιθανών ομοειδών δεδομένων [28].

Στην περίπτωση που είναι διαθέσιμες τέσσερις ακτογραμμές διαφορετικών χρονολογιών (όπως στην εικόνα 19) εφαρμόζοντας την μέθοδο JACKKNIFE, θα εκτελεστούν οι παρακάτω συνδυασμοί (για τις διαθέσιμες χρονολογίες 1945, 1960, 1979 και 1995) : Μ.Ε.Τ. για τις ακτογραμμές 1945,1960 και 1979, Μ.Ε.Τ. για τις ακτογραμμές 1945,1960 και 1995, Μ.Ε.Τ. για τις ακτογραμμές 1945, 1979 και 1995, Μ.Ε.Τ. για τις ακτογραμμές 1960, 1979, και 1995. Από κάθε εφαρμογή της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων για μια ομάδα ακτογραμμών θα προκύπτει ένας ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής. Ο συνολικός ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής όσον αφορά τη συγκεκριμένη μέθοδο, προκύπτει ως ο μέσος όρος όλων των επιμέρους ρυθμών που υπολογίστηκαν από τους παραπάνω συνδυασμούς των ακτογραμμών [38].

- Με τη μέθοδο «AVERAGE OF ERAS RATES»

Στη συγκεκριμένη μέθοδο (ομοίως με τις προηγούμενες) χρησιμοποιούνται οι μετρημένες αποστάσεις των θέσεων των ιστορικών ακτογραμμών κατά μήκος των διατομών, εφαρμόζοντας διαδοχικούς συνδυασμούς (ζευγάρια) των ιστορικών ακτογραμμών ανά δύο [38], [54]. Υπολογίζονται επιμέρους ρυθμοί μεταβολής και τελικώς ο αριθμητικός μέσος όρος, ο οποίος αποτελεί και τον τελικό ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που προκύπτει από τη συγκεκριμένη μέθοδο. Επομένως, για την περίπτωση της περιοχής της εικόνας 19 όπου είναι διαθέσιμες οι ακτογραμμές του 1945, 1960, 1979 και 1995, θα εκτελεστούν οι εξής συνδυασμοί : ακτογραμμή 1945-ακτογραμμή 1960, ακτογραμμή 1960-ακτογραμμή 1979 και ακτογραμμή 1979-ακτογραμμή 1995. Από αυτά τα τρία ζευγάρια θα προκύψουν τρεις αρχικοί ρυθμοί μεταβολής. Ο μέσος όρος αυτών θα αποτελεί και τον τελικό μέσο ρυθμό της μεταβολής της ακτογραμμής για την συγκεκριμένη περιοχή.

3.1.5 Παρουσίαση των μεθόδων.

3.1.5.1 Οι καθιερωμένες μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.

End Point Rate (EPR)

Η μέθοδος EPR είναι ο απλός τρόπος υπολογισμού της απόστασης που αντιστοιχεί στην συνολική μετακίνηση της ακτογραμμής, δια το χρονικό διάστημα ανάμεσα στις δύο χρονολογίες μέτρησης [52].

Η παραπάνω μέθοδος περιλαμβάνει την χρησιμοποίηση μόνο δύο σημείων για να καθοριστεί ο ρυθμός μεταβολής: το παλαιότερο και το πιο πρόσφατο σημείο-θέση της ακτογραμμής. Με δεδομένο ότι χρησιμοποιούνται αποκλειστικά τα ακραία σημεία, η πληροφορία που περιέχεται σε όλα τα άλλα σημεία αγνοείται εντελώς, αποκλείοντας έτσι την παρακολούθηση της μεταβολής του ρυθμού μεταβολής μέσα στο χρόνο. Το βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου EPR είναι η απλότητα στους υπολογισμούς και η ευρύτατη χρήση της.

Αντίθετα, το κυριότερο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι εάν το ένα ή και τα δύο ακραία σημεία περιέχουν μεγάλα σφάλματα στην πληροφορία θέσης τους, τότε ο υπολογιζόμενος ρυθμός μεταβολής θα είναι ανακριβής [33], [34], [36] και [38]. Επίσης, σε κάποιες περιπτώσεις, καταγεγραμμένα δεδομένα τα οποία εκφράζουν σημαντικές ενδιάμεσες μεταβολές στην ακτογραμμή, δεν

χρησιμοποιούνται στην ανάλυση της δυναμικής της ακτογραμμής με αποτέλεσμα να μην περιγράφεται η πραγματική συμπεριφορά του παράκτιου συστήματος.

Average of Rates (AOR)

Οι θέσεις των ακτογραμμών συχνά καθορίζονται-προέρχονται από διαφορετικές πηγές (τοπογραφικά διαγράμματα, αεροφωτογραφίες, κ.λ.π.) οι οποίες έχουν διαφορετικές ακρίβειες μεταξύ τους. Εξαιτίας αυτού, οι Foster και Savage ανέπτυξαν την μέθοδο AOR έτσι ώστε να είναι δυνατός ο καθορισμός της μακροπρόθεσμης μεταβολής, αποκλείοντας ανακριβή επιμέρους ζεύγη εξαιτίας σφαλμάτων στα δεδομένα, στα οποία εφαρμόζεται η μέθοδος EPR [49], [50]. Για να επιτευχθεί αυτό, δημιουργήθηκε το κριτήριο «ελάχιστου χρόνου» (t_{min}), το οποίο «φιλτράρει» τις μεταβολές εξαιτίας μικρών χρονικών διαστημάτων ή σφαλμάτων στα δεδομένα [49], [50].

Υπολογισμοί EPR's γίνονται μεταξύ όλων των ζευγαριών των σημείων και απομακρύνονται-εξαιρούνται από τον συνολικό υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής όσα ζευγάρια το χρονικό τους διάστημα είναι μικρότερο από ένα προκαθορισμένο όριο. Όλοι οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί EPR οι οποίοι περνούν το κριτήριο « t_{min} » χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί ο τελικός ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής [38], [49]. Ένα μειονέκτημα της συγκεκριμένης μεθόδου είναι ότι το κριτήριο του «ελάχιστου χρόνου» μπορεί να επηρεαστεί από μεγάλα σφάλματα ή μικρούς ρυθμούς EPR's, οδηγώντας σε πιθανά παραπαιστικά τελικά αποτελέσματα [38]. Επίσης, ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της AOR είναι πως η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να δώσει μεγαλύτερο βάρος επίδρασης στο τελικό αποτέλεσμα σε υπολογιζόμενους ρυθμούς EPR's μικρών χρονικών διαστημάτων [45]. Λόγω των παραπάνω σοβαρών μειονεκτημάτων, οι Foster και Savage προτείνουν η συγκεκριμένη μέθοδος να διασταυρώνεται και με άλλες μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, όπως είναι η OLS (Ordinary Least Squares) [49].

Οι Foster και Savage ανέπτυξαν τη μέθοδο AOR έτσι ώστε να υπολογίσουν ρυθμούς μεταβολής κατά μήκος της ακτής στην περιοχή της Florida [50]. Η παρακάτω εξίσωση αναπτύχθηκε έτσι ώστε να συνδυαστεί η ακρίβεια των δεδομένων θέσης της ακτογραμμής με το μέγεθος του ρυθμού μεταβολής. Με αυτόν τον τρόπο, καθορίζεται ουσιαστικά το εάν κάποιο από τα επί μέρους EPR's που υπολογίζονται στη μέθοδο AOR, έρχεται σε «σύγκρουση» με το κριτήριο του «ελάχιστου χρόνου» (Tmin-minimum time criterion) [49], [50]:

$$T_{min} = \sqrt{[(E_1)^2 + (E_2)^2]} / R_1 \quad (3.7)$$

Όπου : E_1 και E_2 είναι τα σφάλματα μέτρησης στο πρώτο και στο δεύτερο σημείο αντίστοιχα και R_1 είναι ο ρυθμός EPR του μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος για μια συγκεκριμένη διατομή [28].

Όλοι οι ρυθμοί EPR's οι οποίοι ικανοποιούν το κριτήριο του Tmin, θεωρούνται μακροπρόθεσμοι ρυθμοί μεταβολής. Οι επιμέρους αυτοί ρυθμοί στη συνέχεια αθροίζονται και υπολογίζεται ο αριθμητικός μέσος όρος. Οι Foster και Savage χρησιμοποιούν τη συγκεκριμένη προσέγγιση για να προβλέψουν μελλοντικές μεταβολές με βάση τις πιο πρόσφατες τάσεις μεταβολής της ακτογραμμής [49].

Ένα βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου AOR είναι ότι όλα τα «σωστά» δεδομένα (δηλ. οι ρυθμοί EPR's οι οποίοι πέρασαν το κριτήριο Tmin) χρησιμοποιούνται στους τελικούς υπολογισμούς του ρυθμού μεταβολής. Επίσης, η μέθοδος παρουσιάζεται

σημαντικά ευαίσθητη σε μεταβολές τάσης και δεδομένων (με τη χρήση του κριτηρίου T_{min} , αποκλείονται δεδομένα τα οποία θα μπορούσαν να επιδράσουν αρνητικά στην αξιοπιστία του υπολογιζόμενου ρυθμού μεταβολής). Η μέθοδος AOR σχεδιάστηκε για να διαχειριστεί δεδομένα μεταβλητής – ποικίλης ακρίβειας και ποιότητας.

Πρόσθετα, η μέθοδος AOR παρουσιάζει δύο βασικά μειονεκτήματα στην διαδικασία υπολογισμού μακροπρόθεσμων τάσεων. Πρώτον, δεν υπάρχει μια υπολογιστική «νόρμα» για μοντελοποίηση της εξίσωσης του ελάχιστου χρονικού διαστήματος. Μικρός παρανομαστής (μικρό R_1) στην εξίσωση του T_{min} , παράγει ένα μικρό «ελάχιστο χρονικό διάστημα». Σε αυτήν την περίπτωση, το μέγιστο χρονικό διάστημα EPR ενδέχεται να είναι ο μοναδικός διαθέσιμος μακροπρόθεσμος ρυθμός. Επομένως, μικρά «ελάχιστα χρονικά διαστήματα» προκύπτουν όταν χρησιμοποιούνται ακραίες τιμές (μεγάλου μεγέθους μεταβολές), αποκτημένες από μικρά χρονικά διαστήματα.

Δεύτερον, τα αποτελέσματα είναι ευαίσθητα στις τιμές που επιλέγονται να αντιπροσωπεύουν τα σφάλματα στις μετρήσεις. Μεγάλα σφάλματα στον αριθμητή της εξίσωσης του T_{min} (μεγάλα E_1 και E_2) παράγουν παρόμοιο αποτέλεσμα με την περίπτωση όπως όταν υπάρχει μικρό EPR στον παρανομαστή (αυτές είναι και οι δύο χειρότερες περιπτώσεις) [54].

Εξαιτίας των παραπάνω, η μέθοδος AOR προτείνεται ως βοηθητικό εργαλείο (και όχι ως κύρια μέθοδο υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής) στις μεθόδους EPR και OLR.

Minimum Description Length (MDL)

Καθώς οι βραχυπρόθεσμες μεταβολές μπορούν να επηρεάσουν τις μακροπρόθεσμες τάσεις, οι Fenster, Dolan και Elder πρότειναν μια απλοποιημένη φόρμα της μεθόδου MDL, έτσι ώστε να είναι δυνατή η αναγνώριση σημαντικών βραχυπρόθεσμων μεταβολών [45]. Η μέθοδος αυτή υποθέτει την ύπαρξη σφαλμάτων GAUSSIAN (σφάλματα τα οποία παρουσιάζουν GAUSSIAN κατανομή) και χρησιμοποιεί ένα συστατικό σφάλματος και μια «ποινή πολυπλοκότητας» έτσι ώστε να επιλεγεί το καταλληλότερο μοντέλο /εφαρμογή, είτε αυτό είναι συνεχές, γραμμική, τετάρτου βαθμού, κ.λ.π. [54] Εάν το μοντέλο που προκύπτει είναι τετάρτου βαθμού ή παραπάνω, παράγονται δύο γραμμές : η γραμμή «μηδενικού βάρους» (MDL ZERO) η οποία χρησιμοποιεί αποκλειστικά πρόσφατα δεδομένα και η γραμμή «χαμηλού βάρους» (MDL LOW) η οποία δίνει βάρη σε δεδομένα παλαιότερων ετών [54]. Οι ρυθμοί MDL οι οποίοι βασίζονται σε μη γραμμικά μοντέλα τείνουν να οδηγούν σε ανακριβείς προβλέψεις, παρόλο που το κριτήριο της μεθόδου MDL μπορεί να βοηθήσει στην αναγνώριση φυσικών μεταβολών σε μια ακτή [33].

Ordinary Least Squares (OLS)

Μια άλλη προσέγγιση είναι να υπολογιστεί η «βέλτιστη ευθεία» που θα προσεγγίζει τα δεδομένα, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο των MET. Η κλίση της γραμμής αποτελεί μια εκτίμηση του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής. Κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου των MET αποτελεί το γεγονός ότι χρησιμοποιούνται όλα τα διαθέσιμα δεδομένα [66]. Αντίθετα, ένα από τα βασικότερα προβλήματα των MET είναι ότι όταν οι θέσεις των ακτογραμμών ομαδοποιούνται, κάποιες χρονολογίες παρουσιάζουν μεγαλύτερη επίδραση στα αποτελέσματα της μεθόδου σε σχέση με κάποια άλλες.

Για παράδειγμα, διάφορες ομάδες δεδομένων περιλαμβάνουν μια αρχική θέση της ακτογραμμής η οποία είναι δυνατόν να εξαχθεί από παλαιά διαγράμματα (σε παράκτιες μελέτες στις Η.Π.Α. χρησιμοποιούνται ακόμη και παλαιά τοπογραφικά διαγράμματα του πολεμικού ναυτικού «T-sheets» χρονολογίας ακόμη και από το 1840 [35]) και πρόσφατες θέσεις της ακτογραμμής οι οποίες έχουν προκύψει από αεροφωτογραφίες. Οι ρυθμοί μεταβολής που θα υπολογιστούν από την μέθοδο των MET με βάση τα παραπάνω δεδομένα ενδέχεται να περιέχουν αβεβαιότητες εξαιτίας της αντίθεσης παλαιών, ανακριβών δεδομένων και νέων δεδομένων υψηλής ακρίβειας. Για αυτόν ακριβώς το λόγο, θα πρέπει να εισαχθούν οι έννοιες των βαρών στη μέθοδο των MET έτσι ώστε η κάθε ομάδα δεδομένων, ανάλογα με την ακρίβεια της πηγής από την οποία έχει προέλθει, να λαμβάνει τον κατάλληλο συντελεστή βάρους [54].

Η διαδικασία «παλινδρόμησης» των ελάχιστων τετραγώνων υποθέτει την ύπαρξη ανεξάρτητων σφαλμάτων GAUSSIAN και υπολογίζει την τάση των δεδομένων της ακτογραμμής, ελαχιστοποιώντας το άθροισμα των «τετραγωνικών υπολοίπων» μεταξύ των δεδομένων σημείων και της γραμμής τάσης [54].

Οι υπολογιζόμενες παράμετροι b_0 και b_1 (η κλίση) είναι αυτές που ελαχιστοποιούν το $\sum_i (y_i - b - b_1 \cdot x_i)^2$. Η υπόθεση σε σχέση με τα GAUSSIAN σφάλματα αποδεικνύεται συνήθως ορθή, καθώς το άθροισμα πολλών σφαλμάτων από διάφορες πηγές τείνει προς μια GAUSSIAN κατανομή [54]. Ωστόσο, ακραίες τιμές οι οποίες παραβαίνουν την υπόθεση για GAUSSIAN κατανομή, θα επηρεάσουν σημαντικά τον υπολογισμό της «φαινομενικής τάσης» [72], [73]. Η εκ των προτέρων γνώση μη GAUSSIAN σημείων (π.χ.: ακραία σημεία - ιστορικές θέσεις ακτογραμμών που έχουν επηρεαστεί από γεγονότα καταιγίδων – τα λεγόμενα outliers) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξαλειφθούν τέτοια σημεία από την διαδικασία υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής [54].

Τα ελάχιστα τετράγωνα (OLS) προϋποθέτουν ότι η μεταβλητή κάθε y-συστατικού (θέση της ακτογραμμής) είναι η ίδια [65].

Η συγκεκριμένη μέθοδος των OLS είναι σχετικά εύκολο να κωδικοποιηθεί και πολλές μελετητικές εταιρείες περιλαμβάνουν την μέθοδο των OLS ως εργαλείο των προγραμμάτων τους [54]. Μια γραμμική προσαρμογή υποθέτει την ύπαρξη μιας μακροπρόθεσμης τάσης μέσα σε ένα χρονικό διάστημα όπου τα δεδομένα είναι διαθέσιμα, αλλά η μεταβολή της ακτογραμμής δεν είναι συνεχής. Επίσης, τα αποθέματα και η μεταφορά ιζημάτων, η παρουσία κατασκευών/εγκαταστάσεων και η εκδήλωση καταιγίδων μπορούν να μην προκαλέσουν GAUSSIAN μεταβολές στα διαθέσιμα δεδομένα [45], [52], [53] και [57]. Ο διαχωρισμός-ομαδοποίηση (clustering) των δεδομένων εν τέλει, επηρεάζει σημαντικά την γραμμή τάσης, προκαλώντας κάποια σημεία να παρουσιάζουν αυξημένη επίδραση (bias) στη συνολική διαδικασία υπολογισμού [38], [45].

Καθώς η «γραμμή προσαρμογής» δεν ενσωματώνει-περιλαμβάνει την αβεβαιότητα θέσης του κάθε σημείου, οι αβεβαιότητες μελλοντικών θέσεων των ακτογραμμών ενδέχεται να μην αντιπροσωπεύουν τα δεδομένα επακριβώς [54]. Σύμφωνα με τους Rousseeuw και Leroy, η μέθοδος των RLS είναι ευαίσθητη στην ύπαρξη ακραίων τιμών και συχνά ένα μοναδικό σημείο αρκεί για να διαταράξει την τάση [72]. Εάν υπάρχει μια ακραία τιμή μέσα στην ομάδα δεδομένων (ένα σημείο που αντιπροσωπεύει το γεγονός εκδήλωσης μιας κυματικής καταιγίδας και που διαταράσσει την GAUSSIAN υπόθεση) η γραμμή που προκύπτει ενδέχεται να είναι ιδιαίτερα επηρεασμένη από το προβληματικό σημείο. Η εκ των προτέρων γνώση γνώση ύπαρξης αυτού του σημείου είναι επομένως σημαντική [46], [57], [69] και [82].

Jackknifing (JK)

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί πολλαπλές εφαρμογές OLS έτσι ώστε να καθοριστεί ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής [54]. Έτσι, ουσιαστικά, η μέθοδος JK αποτελεί μια παραλλαγή της μεθόδου των MET. Κάθε φορά που επαναλαμβάνεται η ρουτίνα της μεθόδου, ένα διαφορετικό σημείο για κάθε γραμμή τάσης παραλείπεται, οδηγώντας σε μια διαφορετική κλίση για κάθε γραμμή. Οι επί μέρους κλίσεις αθροίζονται σε έναν γενικό μέσο όρο έτσι ώστε να προκύψει ο τελικός ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής. Η μέθοδος Jackknifing παρουσιάζει το πλεονέκτημα της μείωσης των επιδράσεων ακραίων σημείων στην όλη διαδικασία [54]. Ωστόσο, ο υπολογισμός όλων των πιθανών γραμμικών τάσεων δεν είναι πάντα επαρκής [38].

Οι κλίσεις (ο ρυθμός που προκύπτει από κάθε εφαρμογή LR) κάθε γραμμής των MET αθροίζονται και υπολογίζεται ο μέσος όρος έτσι ώστε να προκύψει μια εκτίμηση της μακροπρόθεσμης τάσης. Όπως και η μέθοδος LR, η JK είναι μια καθαρά υπολογιστική μέθοδος και η ανάλυση της περιλαμβάνει όλα τα διαθέσιμα στοιχεία [28]. Σε αντίθεση με την LR, στη μέθοδο JK τα αποτελέσματα επηρεάζονται λιγότερο από την ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων στα δεδομένα και έτσι μειώνεται η επίδραση «ακραίων» δεδομένων. Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου JK είναι η πολυπλοκότητα και ο απαιτούμενος όγκος των υπολογισμών, όπως επίσης και η αδυναμία της μεθόδου να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα στις περιπτώσεις μελετών όπου έχουμε περιορισμένο, όγκο πρωταρχικών δεδομένων [28], [38], [54].

Reweighted Least Squares (RLS)

Η μέθοδος RLS συνεισφέρει στη διαδικασία αναγνώρισης της πραγματικής τάσης των δεδομένων μεταβολής της ακτογραμμής, φιλτράροντας και εξαιρώντας τις στατιστικές ακραίες τιμές από τα διαθέσιμα δεδομένα (θέσεις ιστορικών ακτογραμμών κατά μήκος των διατομών) [54]. Συγκεκριμένα, η μέθοδος RLS αναγνωρίζει και απομακρύνει τις ακραίες τιμές πριν γίνει η μοντελοποίηση της τάσης μεταβολής της ακτογραμμής με μια ευθεία γραμμή [48]. Η κλίση της γραμμής αντιπροσωπεύει το ρυθμό διάβρωσης (θετική κλίση) και της πρόσχωσης (αρνητική κλίση) της εκάστοτε ακτής.

Αυτή η μέθοδος των δύο βημάτων αρχικά αναγνωρίζει τις ακραίες τιμές σε μια τιμή (σ), χρησιμοποιώντας τη διαδικασία παλινδρόμησης «Least Median of Squares» (LMS), [72]. Τα σημεία που αναγνωρίζονται ως στατιστικά «ακραίες τιμές» παίρνουν την τιμή 0 ως βάρος ενώ όλα τα άλλα σημεία παίρνουν την τιμή 1 ως βάρος. Αντίθετα με τη μέθοδο OLS, η μέθοδος RLS είναι πιο ανθεκτική στην παρουσία ακραίων τιμών (outliers) [54]. Η μέθοδος RLS έχει όριο «θραύσης» το 50% (δηλαδή, εάν το 50% των δεδομένων είναι «ακραίες τιμές», μπορεί ακόμη και τότε να υπολογίσει την τάση-κλίση των δεδομένων με ακρίβεια) [54], [72].

Καθώς οι περισσότερες μελέτες έχουν περιορισμένο όγκο δεδομένων, η απομάκρυνση 2 ή 3 σημείων χωρίς εκ των προτέρων πληροφορίες για αυτές τις θέσεις, δημιουργεί ένα μη επιθυμητό ρίσκο απομάκρυνσης χρήσιμων δεδομένων. Επίσης, ενδέχεται οι γειτονικές διατομές κατά μήκος μιας ακτής, να μην παρουσιάζουν τις ακραίες τιμές μετακίνησης για την ίδια χρονολογία [54]. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές διακυμάνσεις στους μοντελοποιημένους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής, οι οποίοι δεν θα συμβαδίζουν με τη δυναμική συμπεριφορά της κάθε ακτής. Έτσι, η συγκεκριμένη μεθοδολογία RLS κρίνεται ότι αποδίδει καλύτερα όταν υπάρχει διαθέσιμος μεγάλος όγκος δεδομένων ή όταν τα

δεδομένα/μετρήσεις από τις γειτονικές διατομές ομαδοποιούνται έτσι ώστε οι πραγματικά ακραίες τιμές να είναι πιο προφανείς [54].

3.1.5.2 Νέες μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τρεις νέες μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίες είναι πιο ανθεκτικές στην παρουσία σφαλμάτων και ακραίων τιμών, σε σχέση με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω :

Weighted Least Squares (WLS)

Αντίθετα με τη μέθοδο OLS, η μέθοδος WLS χρησιμοποιεί διαφορετική κατηγορία αβεβαιότητων. Αυτό σημαίνει ότι η μεταβλητή η οποία σχετίζεται με κάθε «y-συστατικό» (η θέση της ακτογραμμής) δεν είναι αναγκαστικά η ίδια για κάθε «x-συστατικό» (ο χρόνος), [65]. Εάν οι μεταβλητές είναι οι ίδιες, η μέθοδος WLS μετατρέπεται και ουσιαστικά υποβιβάζεται στην μέθοδο OLS [55]. Σε πολλές μελέτες είναι πιθανόν δύσκολο να ποσοτικοποιηθούν οι αβεβαιότητες όσον αφορά τη μέθοδο WLS, παρόλα αυτά εάν η μεταβλητή (σ^2) ή η «δεδομένη απόκλιση» (σ) για κάθε y-συστατικό είναι γνωστή, το βάρος (w) ισούται με : $w = 1/\sigma^2$. Σε μορφή πίνακα, λύνοντας ως προς το b , θα έχουμε [54]:

$$b = (X^T W X)^{-1} X^T W Y, \quad (3.8)$$

όπου : Y : είναι ένα διάνυσμα-στήλη το οποίο περιέχει τις θέσεις της ακτογραμμής,

X : είναι ένας πίνακας ο οποίος αποτελείται από μια στήλη άσων (1) και από μία στήλη δεδομένων χρόνου,

X^T : είναι η μετάθεση του πίνακα X .

Ο πίνακας βαρών W δίνεται :

$$W = \begin{vmatrix} W_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & W_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & W_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & W_n \end{vmatrix} \quad (3.9)$$

Όπου : $W_i = 1/\sigma_i^2$ και $n =$ το σύνολο των σημείων [45].

Τα σημεία με μεγάλη αβεβαιότητα θα έχουν περιορισμένη επίδραση στη γραμμική τάση σε σχέση με αυτά που έχουν μικρότερη αβεβαιότητα [55]. Για παράδειγμα, σημεία – δεδομένα από παλαιότερες ακτογραμμές, τα οποία περιέχουν μεγαλύτερες αβεβαιότητες σε σχέση με σημεία από νεότερες χρονολογικά ακτογραμμές, θα έχουν μειωμένη επίδραση (μειωμένα βάρη) στη συνολική διαδικασία υπολογισμού (Η μέθοδος WLS θα «τοποθετήσει» μεγαλύτερα βάρη στα πιο σύγχρονα δεδομένα). Η γραμμική τάση που προκύπτει, ενσωματώνει την αβεβαιότητα σε κάθε σημείο (κάθε θέσης) όπως επίσης και την αβεβαιότητα του μοντέλου [54]. Καθώς όλες οι άλλες υποθέσεις που έγιναν παραπάνω στα πλαίσια της μεθόδου WLS συμφωνούν και με τη μέθοδο των OLS, οι στατιστικοί έλεγχοι και οι υπολογισμοί των διαστημάτων

εμπιστοσύνης οι οποίοι σχετίζονται με τη μέθοδο OLS, μπορούν να εφαρμοστούν και στην περίπτωση της μεθόδου WLS [65].

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος WLS με επιτυχία, είναι απαραίτητο να υπολογιστούν όλες οι αβεβαιότητες οι οποίες σχετίζονται με τη μελέτη τους [54]. Όπως και με τη μέθοδο OLS, έτσι και με την WLS, οι ακραίες τιμές είναι σε θέση να επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα, ακόμα και αν τα βάρη που τους έχουν δοθεί είναι σχετικά μικρά. Έτσι, μια εκ των προτέρων γνώση της κατάστασης και του ιστορικού της περιοχής κρίνεται αναγκαία (η γνώση εκδήλωσης γεγονότων όπως είναι οι κυματικές καταιγίδες μπορεί να οδηγήσει στην πιθανή εξαίρεση μιας ιστορικής ακτογραμμής που πλησιάζει χρονικά το παραπάνω ακραίο καιρικό φαινόμενο, καθώς η συγκεκριμένη ακτογραμμή θα έχει επηρεαστεί σημαντικά). Τα μειονεκτήματα τα οποία ισχύουν για μια GAUSSIAN κατανομή όπως παρουσιάστηκαν για την μέθοδο OLS ισχύουν και για τη μέθοδο WLS [54]. Εάν οι υπολογιζόμενες αβεβαιότητες σε κάθε θέση της ακτογραμμής δεν εκφράζουν επακριβώς τις πραγματικές αποκλίσεις, τότε ο ρυθμός μεταβολής που προκύπτει ενδέχεται να μην εκφράζει επακριβώς (μπορεί να υπερβάλει ή να υποτιμά) τον πραγματικό ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής [54].

Reweightd weighted least squares (RWLS)

Η μέθοδος RWLS είναι παρόμοια με τη μέθοδο RLS με μοναδική εξαίρεση ότι λαμβάνει υπόψη τις αβεβαιότητες για κάθε θέση της ακτογραμμής. Αφού αναγνωριστούν και απομακρυνθούν οι ακραίες τιμές χρησιμοποιώντας μια εφαρμογή LMS, μια γραμμή WLS προσαρμόζεται στα δεδομένα. Σε αντιστοιχία με τη μέθοδο WLS, έτσι και η μέθοδος RWLS ενσωματώνει τις αβεβαιότητες θέσης μέσα στο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής [54].

Least absolute deviation (LAD) και weighted least absolute deviation (WLAD)

Η μέθοδος LAD είναι η πιο ανθεκτική, όσον αφορά τις ακραίες τιμές σε σχέση με τα ελάχιστα τετράγωνα. Αντίθετα με τα τετραγωνικά υπόλοιπα των ελάχιστων τετραγώνων, το άθροισμα των απόλυτων τιμών των υπολοίπων στην μέθοδο LAD ελαχιστοποιείται [54].

Μια ακραία τιμή έχει μικρότερη επίδραση στη μέθοδο LAD σε σχέση με τα ελάχιστα τετράγωνα [54]. Η υποτιθέμενη κατανομή σφαλμάτων στις μετρήσεις είναι LAPLACE αντί για GAUSSIAN και η κατανομή LAPLACE είναι λιγότερο ευαίσθητη στην παρουσία ακραίων τιμών [76]. Σύμφωνα με τους Rousseeuw και Leroy, η μέθοδος LAD προτιμάται έναντι των ελάχιστων τετραγώνων στην περίπτωση που οι ακραίες τιμές παρουσιάζονται στην y – διεύθυνση (θέση της ακτογραμμής), κάτι που συμβαίνει στην πλειοψηφία των ιστορικών αναλύσεων ακτογραμμών [72].

Με δεδομένο ότι η μέθοδος LAD διαθέτει μόνο δύο παραμέτρους, δεν είναι δύσκολο να κωδικοποιηθεί. Βέβαια, οι μελετητές θα πρέπει να επιδεικνύουν προσοχή στην επιλογή ενός εύρους κλίσεων κατά την διαδικασία της έρευνας [54]. Εάν το πεδίο (το εύρος αυτό) δεν είναι αρκετά μεγάλο ή τα σημεία δεν είναι αρκετά πυκνά μεταξύ τους, οι υπολογιζόμενες εκτιμήσεις της κλίσης ενδέχεται να μην αντιπροσωπεύουν τα δεδομένα επακριβώς. Ωστόσο, ο αλγόριθμος μπορεί να είναι αυτοελεγχόμενος και αυτορρυθμιζόμενος έτσι ώστε να είναι σε θέση να αντιμετωπίζει τέτοιου είδους δυσκολίες [54].

Η αβεβαιότητα στη διαδικασία εκτίμησης της κλίσης, παρουσιάζει μεγαλύτερες δυσκολίες στην μέθοδο LAD σε σχέση με τα ελάχιστα τετράγωνα. Το κυριότερο πλεονέκτημα της μεθόδου LAD είναι η ανθεκτικότητα της έναντι των ακραίων τιμών [54]. Οι περισσότερες μέθοδοι ως βάση της υπολογιστικής τους διαδικασίας θεωρούν τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων με ή χωρίς βάρη. Στην προκειμένη περίπτωση όμως, δεν χρησιμοποιείται το ελάχιστο των τετραγώνων των υπολοίπων, αλλά το άθροισμα των απόλυτων τιμών των υπολοίπων [28]. Με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται ακόμα παραπάνω η επίδραση των χονδροειδών σφαλμάτων στο τελικό αποτέλεσμα, καθώς τα υπόλοιπα τους (διαφορά μέσης τιμής από μέτρηση) που είναι και τα μεγαλύτερα, δεν υψώνονται στο τετράγωνο και δεν επηρεάζουν τόσο πολύ τα αποτελέσματα όσο στην μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων, καθιστώντας την πιο ανθεκτική στην επιρροή αυτών των σφαλμάτων [28]. Όπως έγινε και με τη μέθοδο WLS, βάρη μπορούν να ενσωματωθούν και στην μέθοδο LAD (και να έχουμε έτσι την μετατροπή της LAD στην μέθοδο WLAD) [54].

3.2 Νέα πρόταση για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής – το φίλτρο Kalman

3.2.1 Η πρόταση της διατριβής και η πρωτοτυπία της.

Στην παρούσα διατριβή επιλέχθηκε να δοθεί έμφαση στην εκτίμηση της μελλοντικής μετακίνησης της ακτογραμμής και όχι στη μελέτη των επιμέρους μηχανισμών που προκαλούν τη συγκεκριμένη μετακίνηση. Η δημιουργία ενός καινούργιου μαθηματικού μοντέλου, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα δράσης των σημαντικότερων παραγόντων που επιδρούν στην εξέλιξη της ακτογραμμής, αποτελεί και το τελικό «προϊόν» όσον αφορά την πρωτοτυπία της διατριβής. Το μοντέλο αυτό, το οποίο βασίστηκε στην προσαρμογή και τροποποίηση του φίλτρου Kalman, συνδυάστηκε με τη χρησιμοποίηση των υπαρχουσών (στατιστικών και μη) μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής και τη μέθοδο «ομαδοποίησης» (Binning) τμημάτων της ακτογραμμής. Αξίζει να σημειωθεί πως η προσαρμογή και η χρησιμοποίηση ενός μαθηματικού φίλτρου «ανάδρασης» όπως είναι το φίλτρο Kalman [86], σε περιπτώσεις συστημάτων χαμηλής δυναμικής όπως είναι τα παράκτια, με τη χρήση πρωτογενών δεδομένων όπως είναι οι μετρημένες αποστάσεις κατά μήκος διατομών, επιχειρείται για πρώτη φορά, με την παρούσα διατριβή. Επίσης, η χρησιμοποίηση μετρήσεων από τις 10 παράκτιες περιοχές, έτσι ώστε μέσω των υπαρχουσών μεθόδων να υπολογιστούν αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής με τις αβεβαιότητες τους, αλλά και της μεθόδου «ομαδοποίησης» (Binning) υπο-περιοχών ανά ακτογραμμή με διαφορετική δυναμική, αποτελούν πρωτότυπες εφαρμογές όσον αφορά τον ελλαδικό χώρο.

Συμπερασματικά, το προσαρμοσμένο φίλτρο Kalman, οι 10 υπάρχουσες μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής και η μέθοδος «ομαδοποίησης» (Binning), αποτελούν και τα συστατικά, επιμέρους εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή, έτσι ώστε να μελετηθεί ολοκληρωμένα και πολύπλευρα η δυναμική των 10 επιλεγμένων παράκτιων περιοχών του ελλαδικού χώρου.

3.2.2 Γενική περιγραφή του φίλτρου Kalman.

Θεωρητικά, το φίλτρο Kalman είναι ένας εκτιμητής του λεγόμενου γραμμικού προβλήματος ελαχίστων τετραγώνων, όπου υπολογίζεται η στιγμιαία «κατάσταση» ενός γραμμικού δυναμικού συστήματος (μέσω του διανύσματος κατάστασης) το

οποίο διαταράσσεται από «λευκό» θόρυβο [4]. Οι μετρήσεις σχετίζονται γραμμικά με τη δυναμική κατάσταση του συστήματος αλλά είναι αλλοιωμένες από «λευκό» θόρυβο. Ο εκτιμητής είναι στατιστικά βέλτιστος ως προς οποιαδήποτε συνάρτηση του τετραγώνου του σφάλματος εκτίμησης ($f(\varepsilon^2) = \min$).

Πρακτικά, το φίλτρο Kalman είναι ένα μοναδικό εργαλείο για τον έλεγχο πολύπλοκων δυναμικών διεργασιών (π.χ. η ροή ενός πλημμυρισμένου ποταμού) ή συστημάτων σε οχήματα, πλοία, αεροσκάφη, δορυφόρους, κ.λ.π.) [7], [85]. Παρέχει ένα πλήρη στατιστικό χαρακτηρισμό ενός δυναμικού προβλήματος καθώς λαμβάνει υπόψη στη διανομή των πιθανοτήτων, όλες τις μεταβλητές που επιφορτίζεται να υπολογίσει. Το πιο σημαντικό όμως είναι ότι καθιστά δυνατή την πρόβλεψη της δυναμικής κατάστασης ενός συστήματος λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση όλων των προηγούμενων παρατηρήσεων [4], [26], [31].

Στην περίπτωση χρήσης του φίλτρου Kalman Θα πρέπει να είναι γνωστές οι αβεβαιότητες όπως επίσης και τα επίπεδα σφαλμάτων των μετρήσεων από κάθε πηγή [75].

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης των φίλτρων Kalman στην ναυσιπλοία παρουσιάζεται στην κίνηση ενός πλοίου σε τρεις διαστάσεις (X-u, Y-v, Z-r), όπου χρησιμοποιούνται οι μεταβλητές ελέγχου u, οι επιδράσεις w στο πλοίο, οι μετρήσεις y και ο θόρυβος των μετρήσεων v και τελικώς προκύπτει ο εκτιμητής της δυναμικής κατάστασης x (όπου γίνεται υπολογισμός των δυναμικών επιδράσεων, X-σκαμπανέβασμα, Y-ταλάντευση, Z-παρέκκλιση, που απαιτείται για να κρατήσει το σκάφος στην επιθυμητή θέση και πορεία) [7]. Επίσης, το φίλτρο Kalman, σε διάφορες παραλλαγές του [Reduced Rank Kalman Filter (RRKF), Ensemble Kalman Filter (EnKF), Ensemble square-root Kalman Filter (EnSKF)] έχει χρησιμοποιηθεί σε δυναμικά συστήματα όπου εφαρμόζονται παράκτια – ωκεάνια μοντέλα, έτσι ώστε να ομαδοποιηθούν καλύτερα τα δεδομένα και να παραχθούν ρεαλιστικότερες προσεγγίσεις του εκάστοτε προβλήματος [32]. Τα φίλτρα Kalman (EnKF) σε συνδυασμό με υδροδυναμικά μοντέλα, τα οποία χρησιμοποιούν δεδομένα που προκύπτουν από μετρήσεις σε διάφορες ωκεάνιες τοποθεσίες όπως είναι βάθη, ταχύτητες θαλάσσιων ρευμάτων και διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας εξαιτίας της παλίρροιας, δοκιμάζονται σε ευρεία κλίμακα παγκοσμίως [61].

Βασικό πρόβλημα αποτελεί η εκτίμηση ενός φυσικού μεγέθους του συστήματος (π.χ. η θέση του σκάφους) από το συνδυασμό n διαφορετικών ενδείξεων z_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$ από διαφορετικούς αισθητήρες (το πρόβλημα περιπλέκεται αν οι μετρήσεις από τους διαφορετικούς αισθητήρες δεν έχουν την ίδια αξιοπιστία, όπως συμβαίνει στην περίπτωση που υπάρχουν ως διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα θέσεις ιστορικών ακτογραμμών διαφορετικής αρχικής ακρίβειας) [4]. Συμπερασματικά, η ικανότητα του φίλτρου Kalman να παρέχει εκτίμηση της μελλοντικής θέσης ενός κινητού, μέσω της χρησιμοποίησης προηγούμενων θέσεων του, αποτέλεσε το αίτιο και την ιδέα της «εμπλοκής» του στην παρούσα διατριβή.

- Σύνθεση πληροφοριών από διαφορετικές πηγές

Στην πρώτη περίπτωση γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι μετρήσεις z_i μιας μεταβλητής x έχουν τα ίδια επίπεδα αβεβαιότητας και καθεμιά είναι αποτέλεσμα μιας στοχαστικής διαδικασίας (Gaussian process) με μέση τιμή z_m και διασπορά $\sigma_i = \sigma = \text{σταθ}$.

Η εκτίμηση της παραμέτρου ενδιαφέροντος x που προκύπτει από όλες τις μετρήσεις z_i υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$\bar{x} \text{ (διάνυσμα)} = \sum z_i/n \text{ και } \sigma_{x(\text{διανύσματος})} = \sum \sigma_i/n \quad (3.10)$$

Στη δεύτερη περίπτωση γίνεται η υπόθεση ότι οι μετρήσεις z_i έχουν διαφορετικά επίπεδα αβεβαιότητας, δηλ. για κάθε z_i υπάρχει διαφορετική διασπορά σ_i . Για τη συνολική εκτίμηση της μεταβλητής x , κάθε μέτρηση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη με διαφορετικό βάρος.

Με την υπόθεση της κανονικής κατανομής-Gaussian κατανομής η συνολική βέλτιστη εκτίμηση της μεταβλητής x , συμπεριλαμβανομένης και της μέτρησης z_2 (Δηλ. περιλαμβάνοντας τις μετρήσεις z_1 και z_2 με τις αντίστοιχες διασπορές τους σ_1 και σ_2), υπολογίζεται ως εξής :

$$\hat{x}_2 = \hat{x}_1 + K_2(z_2 - \hat{x}_1) \quad (3.11)$$

$$K_2 = \frac{\hat{\sigma}_1^2}{\hat{\sigma}_1^2 + \sigma_{z_2}^2} \quad (3.12)$$

$$\frac{1}{\hat{\sigma}_2^2} = \frac{1}{\hat{\sigma}_1^2 + \sigma_{z_2}^2} \Rightarrow \hat{\sigma}_2^2 = \hat{\sigma}_1^2 - K_2 \hat{\sigma}_1^2 \quad (3.13)$$

Όπου :

z_2 : η μέτρηση την χρονική στιγμή 2

\hat{x}_2 : η «ανανεωμένη» βέλτιστη εκτίμηση της μεταβλητής x

$\hat{\sigma}_2^2$: η διασπορά της \hat{x}_2

\hat{x}_1 : η αρχική βέλτιστη εκτίμηση της μεταβλητής x

$\hat{\sigma}_1^2$: η διασπορά της \hat{x}_1

σ_{z_2} : η διασπορά της μέτρησης z_2

Αυτή είναι και η βασική δομή ενός αναδρομικού φίλτρου Kalman, για τον αναδρομικό υπολογισμό, σε κάθε χρονική στιγμή της «ανανεωμένης» βέλτιστης εκτίμησης της μεταβλητής ενδιαφέροντος και της διασποράς της (δηλ. των στοχαστικών ιδιοκτιήτων της) [4].

- Η χρήση των φίλτρων Kalman

Το φίλτρο Kalman χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια δυναμική κατάσταση, μοντέλου και μετρήσεων υπό μορφή πινάκων [62], [80]. Οι υπολογισμοί γίνονται σε διαδοχικά βήματα και παράλληλα γίνεται κατάλληλη διαχείριση του θορύβου [4], [81].

Το φίλτρο Kalman υπολογίζει μια δυναμική διεργασία με τη χρήση μιας μορφής ελεγχόμενης ανατροφοδότησης. Αρχικά υπολογίζει τη δυναμική κατάσταση σε κάποια χρονική στιγμή και έπειτα λαμβάνει την ανατροφοδότηση στη μορφή μετρήσεων που περιέχουν θόρυβο. Ως εκ τούτου, οι εξισώσεις του φίλτρου που υλοποιούν την εν λόγω διαδικασία μπορούν να διαχωριστούν σε δύο κατηγορίες [4]:

1. Εξισώσεις χρονικών αναπροσαρμογών
2. Εξισώσεις αναπροσαρμογών εξ αιτίας των μετρήσεων

- Συμβολισμοί – Φίλτρα Kalman

Η εκτίμηση της κατάστασης τη χρονική στιγμή k χρησιμοποιώντας δεδομένα μέχρι και τη χρονική στιγμή k_i εκφράζεται ως [4]:

$$\hat{\mathbf{X}}_{k/k_i} \quad (3.14)$$

Η πρόβλεψη της κατάστασης τη χρονική στιγμή k χρησιμοποιώντας δεδομένα μέχρι και τη χρονική στιγμή $k-1$ εκφράζεται ως [4]:

$$\tilde{\mathbf{x}}(k) = \hat{\mathbf{x}}_k^- = \hat{\mathbf{x}}_{k/k-1} \quad (3.15)$$

Η ανανεωμένη τιμή της κατάστασης τη χρονική στιγμή k χρησιμοποιώντας δεδομένα μέχρι και τη χρονική στιγμή k εκφράζεται ως [4]:

$$\hat{\mathbf{x}}(k) = \hat{\mathbf{x}}_k^+ = \hat{\mathbf{x}}_{k/k} \quad (3.16)$$

Το μοντέλο των μετρήσεων περιγράφεται ως εξής [4]:

$$z_k = h(\mathbf{x}_k) + v_k \quad (\text{Μη - γραμμικό}) \quad (3.17)$$

$$z_k = H(\mathbf{x}_k) + v_k \quad (\text{γραμμικό}) \quad (3.18)$$

Ενώ το μοντέλο του συστήματος τη χρονική στιγμή k περιγράφεται ως εξής [4]:

$$\mathbf{X}_k = \Phi(\mathbf{x}_{k-1}, \mathbf{u}_{k-1}) + \mathbf{w}_{k-1} \quad (\text{Μη - γραμμικό}) \quad (3.19)$$

$$\mathbf{X}_k = \mathbf{A}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{k-1} + \mathbf{w}_{k-1} \quad (\text{γραμμικό}) \quad (3.20)$$

- Μαθηματική ανάλυση των φίλτρων Kalman

Τα συγκεκριμένα φίλτρα όπως αναφέρθηκε, υπολογίζουν τη δυναμική κατάσταση \mathbf{x} μιας χρονικά ελεγχόμενης διαδικασίας που καθορίζεται από μια (γραμμική στοχαστική) εξίσωση της μορφής [4], [80]:

$$\mathbf{X}_k = \mathbf{w}_{k-1} + \mathbf{A}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B}\mathbf{u}_{k-1} \quad (3.21)$$

με τη μέτρηση :

$$z_k = Hx_k + v_k$$

(3.22)

Όπου :

Ο πίνακας A σχετίζει την κατάσταση του συστήματος τη χρονική στιγμή k με την κατάσταση στη προηγούμενη στιγμή $k-1$, στην απουσία θορύβου. Στην πράξη μπορεί να μεταβάλλεται στο χρόνο, αλλά συνήθως θεωρείται σταθερός [4].

Ο πίνακας B αφορά προαιρετική πληροφορία u που εισάγεται στο μοντέλο της τρέχουσας κατάστασης x [4].

Ο πίνακας H σχετίζει την κατάσταση του συστήματος με τη μέτρηση [4].

Επιπλέον, στην παρακάτω σχέση :

$$X_k = w_{k-1} + AX_{k-1} + Bu_{k-1} \quad z_k = Hx_k + v_k$$

(3.23)

Ο θόρυβος της δυναμικής διαδικασίας (αβεβαιότητα στο μοντέλο της δυναμικής κατάστασης) είναι :

$$p(w) \sim N(0, Q) \quad (3.24)$$

Ο θόρυβος (αβεβαιότητα) της μέτρησης είναι :

$$p(v) \sim N(0, R) \quad (3.25)$$

Οι πίνακες συμμεταβλητότητας Q και R στη πράξη μπορεί να μεταβάλλονται στο χρόνο, αλλά συνήθως θεωρούνται σταθεροί [4], [80].

Η επιδίωξη των φίλτρων Kalman είναι να υπολογιστεί μια a posteriori εκτίμηση του διανύσματος κατάστασης, \hat{X}_k ως γραμμικός συνδυασμός :

- Της a priori εκτίμησης \hat{X}_k^- του διανύσματος κατάστασης
- Και της διαφοράς $z_k - H\hat{X}_k^-$ (με κατάλληλο βάρος) μεταξύ μιας μέτρησης z_k και της πρόβλεψης της μέτρησης $H\hat{X}_k^-$

Με βάση τα παραπάνω, δομείται η παρακάτω σχέση [4]:

$$\hat{X}_k = \hat{X}_k^- + K(z_k - H\hat{X}_k^-) \quad (3.26)$$

Όπου :

K : ο πίνακας κέρδους (gain matrix)

$z_k - H\hat{X}_k^-$: η ανανέωση

Ζητούμενο είναι να γίνει δυνατή η εφαρμογή της παραπάνω εξίσωσης στην περίπτωση όπου τα πρωτογενή δεδομένα είναι οι θέσεις σημείων πάνω σε ιστορικές ακτογραμμές και οι αντίστοιχες μετακινήσεις τους με το πέρασμα των χρόνων. Αυτό που θα προκύψει θα πρέπει να είναι ένα διάνυσμα κατάστασης που θα περιγράφει τη δυναμική κατάσταση ενός σημείου που βρίσκεται πάνω στην ακτογραμμή.

Η a priori εκτίμηση του διανύσματος κατάστασης υπολογίζεται από την υπάρχουσα πληροφορία πριν και μέχρι τη χρονική στιγμή k .

Η a posteriori εκτίμηση του διανύσματος κατάστασης υπολογίζεται από τη διαθέσιμη επιπλέον πληροφορία από τη μέτρηση (ή μετρήσεις) στη χρονική στιγμή k .

Τα αντίστοιχα σφάλματα και οι πίνακες συμμεταβλητότητας δίνονται παρακάτω [4], [80]:

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_k^- &= \mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_k^- \text{ και } \mathbf{e}_k = \mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_k \\ \Sigma_{\mathbf{e}_k^-} &= \mathbf{E}\{(\mathbf{e}_k^-)(\mathbf{e}_k^-)^T\} \text{ και } \Sigma_{\mathbf{e}_k} = \mathbf{E}\{\mathbf{e}_k \mathbf{e}_k^T\} \end{aligned} \quad (3.27)$$

- Πίνακας κέρδους φίλτρων Kalman

Ο πίνακας \mathbf{K} (διαστάσεων $n \times m$) επιλέγεται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η εκτίμηση του a posteriori πίνακα συμμεταβλητότητας (να επιτυγχάνεται επομένως το «βέλτιστο κέρδος ανάδρασης»).

Αυτό επιτυγχάνεται θέτοντας $\frac{d(\text{trace} \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k})}{d\mathbf{K}} = 0$ και επιλύοντας ως προς \mathbf{K} :

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_k &= \mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_k = \mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K}(\mathbf{z}_k - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}_k^-) \\ \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k} &= \mathbf{E}\{\mathbf{e}_k \mathbf{e}_k^T\} \\ &= \mathbf{E}\{(\mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K}(\mathbf{z}_k - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}_k^-))(\mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K}(\mathbf{z}_k - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}_k^-))^T\} \end{aligned} \quad (3.28)$$

$$\text{Πίνακας κέρδους : } \mathbf{K}_k = \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-} \mathbf{H}^T (\mathbf{H} \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-} \mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1} \quad (3.29)$$

Όσο ο θόρυβος των μετρήσεων τείνει στο μηδέν, ο πίνακας κέρδους \mathbf{K} αποδίδει μεγαλύτερο βάρος στην «ανανέωση» [4]:

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K} \overline{(\mathbf{z}_k - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}_k^-)} \quad (3.30)$$

Δεδομένου ότι :

$$\lim_{\mathbf{R}_k \rightarrow 0} \mathbf{K}_k = \mathbf{H}^{-1} \quad (3.31)$$

Επομένως, δίνεται μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στη μέτρηση και ολοένα λιγότερη στην πρόβλεψη της [4], [80].

Αντίθετα, με βάση τη σχέση :

$$\mathbf{K}_k = \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-} \mathbf{H}^T (\mathbf{H} \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-} \mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1}$$

(3.32)

Όσο ο πίνακας συµµεταβλητότητας της a priori εκτίµησης των παραµέτρων τείνει στο µηδέν, ο πίνακας κέρδους K δίνει µικρότερο βάρος στην ανανέωση [4]:

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + K_k (\mathbf{z}_k - H\hat{\mathbf{x}}_k^-) \quad (3.33)$$

Δεδομένου ότι :

$$\lim_{\Sigma_{\mathbf{x}_k^-} \rightarrow 0} K_k = 0 \quad (3.34)$$

Εποµένως, δίνεται µικρότερη εµπιστοσύνη στη μέτρηση και ολόένα µεγαλύτερη στην πρόβλεψη της μέτρησης [4], [80]. Δηλ. σε μετρήσεις με µικρές αβεβαιότητες (ποιοτικά δεδοµένα/θέσεις της ακτογραµµής) αποδίδεται µεγαλύτερο βάρος µέσω του πίνακα κέρδους και συµβάλλουν σηµαντικότερα στη διαδικασία πρόβλεψης.

- Διακριτά φίλτρα Kalman

Οι εξισώσεις χρονικών αναπροσαρμογών επεκτείνουν µπροστά στο χρόνο την εκτίµηση της τρέχουσας δυναµικής κατάστασης και του πίνακα συµµεταβλητότητας, προκειµένου να υπολογισθούν οι αντίστοιχες a priori εκτιμήσεις τους για το επόµενο βήµα [4], [80].

$$\hat{\mathbf{x}}_k^- = A\hat{\mathbf{x}}_{k-1} + B\mathbf{u}_{k-1} \quad (3.35)$$

$$\Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-} = A \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_{k-1}} A^T + Q \quad (3.36)$$

Οι εξισώσεις αναπροσαρμογών εξ αιτίας των μετρήσεων ενσωματώνουν µια νέα μέτρηση στην a priori εκτίµηση προκειµένου να διαµορφώσουν µια βελτιωµένη a posteriori εκτίµηση των παραµέτρων. Έτσι, συµπερασµατικά για τα φίλτρα Kalman, παρουσιάζονται οι παρακάτω εξισώσεις [4], [80]:

Η a priori (εκ των προτέρων) εκτίµηση του διανύσµατος κατάστασης:

$$\hat{\mathbf{x}}_k^- = A\hat{\mathbf{x}}_{k-1} + B\mathbf{u}_{k-1} \quad (3.37)$$

$$\Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-} = A \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_{k-1}} A^T + Q \quad (3.38)$$

Η a posteriori (εκ των υστέρων) εκτίµηση του διανύσµατος κατάστασης:

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + K_k (\mathbf{z}_k - H\hat{\mathbf{x}}_k^-) \quad (3.39)$$

Ο πίνακας κέρδους (gain matrix) :

$$K_k = \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-} H^T (H \Sigma_{\hat{\mathbf{x}}_k^-} H^T + R)^{-1}$$

(3.40)

Ο πίνακας συμμεταβλητότητας :

$$\Sigma \hat{x}_k = (I - K_k H) \Sigma \hat{x}_k^- \quad (3.41)$$

Η εκτίμηση του διανύσματος κατάστασης για την χρονική στιγμή k-1:

$$\hat{X}_{k-1}, \Sigma \hat{x}_{k-1} \quad (3.42)$$

3.2.3 Το φίλτρο Kalman στη μελέτη της δυναμικής των παράκτιων περιοχών.

Ο σκοπός ενσωμάτωσης, προσαρμογής και χρησιμοποίησης του φίλτρου Kalman στην παρούσα μελέτη είναι να παραχθούν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα όσον αφορά την πρόβλεψη μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής, με έναν εναλλακτικό τρόπο σε σχέση με τις 10 γνωστές στατιστικές μεθόδους που ήδη αναλύθηκαν. Το φίλτρο Kalman παρέχει τη δυνατότητα να υπολογιστούν πιο αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι θα προσεγγίζουν καλύτερα την πραγματικότητα, μοντελοποιώντας τη δυναμική των παράκτιων συστημάτων και ενσωματώνοντας τις αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων.

Το φίλτρο Kalman εφαρμόζεται στην παρούσα μελέτη, με βάση τα παρακάτω τρία βήματα :

1. Στο πρώτο στάδιο στην διαδικασία εφαρμογής του φίλτρου υπολογίζονται οι συντελεστές (πίνακες) A, B και H οι οποίοι χρησιμοποιούνται στη συνέχεια στις μαθηματικές σχέσεις του φίλτρου.

Ο συντελεστής H στη συγκεκριμένη μελέτη ορίζεται ίσος με 1 (ο συντελεστής αυτός εκφράζει την σχέση μεταξύ αρχικών μετρήσεων και δεδομένων που χρησιμοποιούνται στην υπολογιστική διαδικασία), καθώς τα δεδομένα προκύπτουν απευθείας από τις μετρήσεις.

Ο συντελεστής B (και ουσιαστικά όρος $B \cdot u_0$ που χρησιμοποιείται στη συνέχεια στις μαθηματικές σχέσεις) ο οποίος εκφράζει την πρόσθετη πληροφορία που εισάγεται στο μαθηματικό μοντέλο/σύστημα, στη μελέτη ορίζεται ίσος με 0.

Ο συντελεστής A είναι δυνατόν να υπολογιστεί μόνο αφού γίνουν κάποιες αρχικές, βασικές υποθέσεις όσον αφορά την αρχική κατάσταση του παράκτιου συστήματος και τον τρόπο εξέλιξης του. Ο συγκεκριμένος συντελεστής συνδέει κάθε φορά την προηγούμενη κατάσταση του συστήματος (κ-1) με την τωρινή (κ). Για να είναι δυνατή αυτή η συσχέτιση και να υπολογιστεί ο πίνακας A, θα πρέπει αρχικά να υπολογιστεί ένας αρχικός ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής. Ο ρυθμός αυτός είναι δυνατόν να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε από τις 10 διαθέσιμες στατιστικές μεθόδους. Στην παρούσα μελέτη, για κάθε εφαρμογή χρησιμοποιούνται και οι 10 μέθοδοι, υπολογίζονται δηλαδή 10 διαφορετικοί αρχικοί ρυθμοί μεταβολής και στη συνέχεια εφαρμόζονται οι μαθηματικές ρουτίνες του φίλτρου Kalman χρησιμοποιώντας κάθε φορά έναν από τους δέκα αυτούς αρχικούς, υπολογισμένους

ρυθμούς μεταβολής. Έτσι, προκύπτουν δέκα διαφορετικές τελικές εκτιμήσεις/προβλέψεις του φίλτρου Kalman, ανάλογα με την αρχική μέθοδο που χρησιμοποιήθηκε κάθε φορά. Η διαδικασία αυτή, παρόλο το μεγάλο όγκο των απαιτούμενων υπολογισμών, εκτελέστηκε σχετικά γρήγορα με την κωδικοποίηση των μαθηματικών ρουτινών σε περιβάλλον MATLAB. Ανάλογα με τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για να υπολογιστεί ο αρχικός αυτός ρυθμός μεταβολής ρ (που θα χρησιμοποιηθεί και αυτός στη συνέχεια για να υπολογιστεί ο συντελεστής A για κάθε χρονικό διάστημα), θα προκύψουν και αντίστοιχα αποτελέσματα όσον αφορά τη μετέπειτα εφαρμογή του φίλτρου Kalman. Αυτό σημαίνει πως στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί μια από τις 10 μεθόδους για να υπολογιστεί ο αρχικός ρ , η οποία παρουσιάζει χαμηλή αξιοπιστία και υψηλές αβεβαιότητες (όπως είναι οι μέθοδοι EPR, AOR AER ή ακόμη και οι LAD, WLAD), τότε σε αυτήν την περίπτωση το φίλτρο Kalman θα στηριχθεί σε μια σχετικά λανθασμένη αρχική υπόθεση, θα χρησιμοποιηθεί ένας αναξιόπιστος αρχικός ρυθμός μεταβολής ρ για να υπολογιστεί ο συντελεστής A και επομένως θα υποβαθμιστούν όσον αφορά την αξιοπιστία και την ακρίβειά τους όλοι οι ενδιάμεσοι «εκτιμητές κατάστασης» αλλά και ο τελικός εκτιμητής του φίλτρου (ο οποίος αποτελεί και την τελική πρόβλεψη του φίλτρου Kalman για το έτος 2050).

Το γεγονός ότι οι προβλέψεις του φίλτρου Kalman (με βάση τον τρόπο που έχει προσαρμοστεί και εφαρμόζεται στη συγκεκριμένη μελέτη) επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τον αρχικό αυτό ρυθμό μεταβολής ρ που υπολογίζεται στα πρώτα στάδια της διαδικασίας εκτίμησης του συντελεστή A (δηλ. επηρεάζονται και εξαρτώνται ως έν βαθμό από τη στατιστική μέθοδο που θα επιλεγεί για να υπολογιστεί ο αρχικός ρυθμός μεταβολής ρ), αποτελεί ένα μειονέκτημα όσον αφορά τη διαδικασία μοντελοποίησης της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής με τη χρήση του φίλτρου Kalman.

Για το λόγο αυτό κρίνεται απαραίτητο να επιλέγεται κάθε φορά η πλέον αξιόπιστη μέθοδος υπολογισμού του αρχικού ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής που θα ενσωματωθεί στον συντελεστή A . Η μέθοδος αυτή θα πρέπει να παρουσιάζει χαμηλές αβεβαιότητες πρόβλεψης και ανθεκτικότητα, όσον αφορά τη χαμηλή ποιότητα των πρωτογενών δεδομένων (θέσεων των ιστορικών ακτογραμμών). Στην παρούσα εφαρμογή στο Λιτόχωρο Πιερίας αλλά και στο σύνολο των εφαρμογών της μελέτης, παρόλο που χρησιμοποιήθηκαν και οι 10 μεθοδολογίες για να υπολογιστούν οι αρχικοί ρυθμοί μεταβολής ρ και στη συνέχεια εφαρμόστηκε το φίλτρο Kalman για κάθε μία περίπτωση ξεχωριστά, οι μέθοδοι που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αξιοπιστία και σταθερότητα είναι οι αυτές τις γραμμικής παλινδρόμησης OLS και JK.

Στη συνέχεια της διαδικασίας, χρησιμοποιώντας τον αρχικό ρυθμό μεταβολής ρ , την αρχική μέτρηση z_0 (την θέση της παλαιότερης διαθέσιμης ιστορικής ακτογραμμής) και τη διαφορά των χρόνων για το πρώτο χρονικό διάστημα παρατήρησης της εκάστοτε εφαρμογής (π.χ. 1945-1960=15 χρόνια) καθίσταται δυνατόν να υπολογιστεί ο συντελεστής A για το πρώτο χρονικό διάστημα παρατήρησης (δηλ. ο A_1 για την χρονική περίοδο μεταξύ των δύο πρώτων διαθέσιμων ιστορικών ακτογραμμών).

Στη συνέχεια, στα πλαίσια της κυκλικής διαδικασίας του φίλτρου «ανάδρασης», ορίζονται άλλα δύο μεγέθη : ο θόρυβος της διαδικασίας Q όπου σύμφωνα με την βιβλιογραφία, για περιπτώσεις εφαρμογών με τα χαρακτηριστικά της παρούσας μελέτης ισούται με 0 και ο θόρυβος των μετρήσεων R ο οποίος μεταβάλλεται ανάλογα με το χρονικό διάστημα παρατήρησης. Έτσι, στην περίπτωση που εξετάζεται το αρχικό χρονικό διάστημα 1945-1960 και ορίζεται ως αφετηρία λήψης δεδομένων η αεροφωτογραφία του 1945 κλίμακας 1/42.000, εάν οριστεί μια αρχική αβεβαιότητα

μέτρησης της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αερ/ίας ως $\sigma_{z_i} = \pm 8.4$ μέτρα, θα ισχύει $R_1 = \sigma_{z_i}^2 = (\pm 8.4)^2$.

2. Όσον αφορά τη συνολική μαθηματική δομή του φίλτρου Kalman, ισχύει:

- Για την αρχική χρονική στιγμή t_0 (ως γενική αφετηρία για το σύνολο των εφαρμογών της μελέτης έχει οριστεί η ιστορική ακτογραμμή του 1945) θα ισχύει :

Διαθέσιμα μεγέθη : $z_1, \sigma_{z_1}^2$ και ισχύει $x_1 = z_1$ και $\sigma_1^2 = \sigma_{z_1}^2$

όπου, x_1 : ο εκτιμητής του διανύσματος κατάστασης

z_1 : η αρχική μέτρηση

σ_1 : ο εκτιμητής του σφάλματος

σ_{z_1} : το σφάλμα της αρχικής μέτρησης

- Για τη δεύτερη χρονική στιγμή t_0 (έστω ότι η δεύτερη διαθέσιμη ιστορική ακτογραμμή είναι αυτή του 1960) θα ισχύει :

Διαθέσιμα μεγέθη : $z_2, \sigma_{z_2}^2$, ζητούμενα μεγέθη : x_2 και σ_2

Όπου : $x_2 = x_1 + K_2 \cdot (z_2 - x_1)$

(3.43)

$$K_2 = \sigma_1^2 / (\sigma_1^2 + \sigma_{z_2}^2)$$

(3.44)

$$\sigma_2^2 = \sigma_1^2 - K_2 \cdot \sigma_1^2$$

(3.45)

- Επίσης, όσον αφορά το «θόρυβο» των μετρήσεων (δηλ. τις αβεβαιότητες τους), ισχύει :

$$R \text{ (θόρυβος μετρήσεων)} = \sigma_{z_i}^2 \quad (3.46)$$

Επομένως, για την αρχική χρονική στιγμή (1945) της εφαρμογής 1_LIT (αλλά και για το σύνολο των εφαρμογών της μελέτης όπου χρησιμοποιείται η ίδια αφετηρία) θα ισχύει :

$$R_1 = \sigma_{z_1}^2 = (\pm 8.4 \text{ μέτρα})^2 \quad (3.47)$$

3. Αφού υπολογιστούν όλα τα παραπάνω μεγέθη, εκτελείται ο «κύκλος» υπολογισμών του φίλτρου Kalman για κάθε ένα χρονικό διάστημα παρατήρησης (σε κάθε εφαρμογή, ο αριθμός των χρονικών διαστημάτων παρατήρησης δίνεται από τον αριθμό των διαθέσιμων ιστορικών ακτογραμμών -1). Σε κάθε «κύκλο» του φίλτρου, υπολογίζονται διαδοχικά η a priori συμμεταβλητότητα Σx_i^- , το κέρδος (ή ο πίνακας κέρδους) K_i , η a posteriori συμμεταβλητότητα Σx_i , ο a priori εκτιμητής του διανύσματος κατάστασης x_i^- και τέλος, ο a posteriori εκτιμητής του διανύσματος

κατάστασης x_i . Οι σχέσεις που δίνουν τα παραπάνω μεγέθη παρουσιάζονται στη συνέχεια :

- η a priori συμμεταβλητότητα : $\Sigma x_k^- = A \cdot \Sigma x_{k-1} \cdot A^T + Q$ (3.48)

όπου A : ο συντελεστής (όπως ήδη περιγράφηκε)

Q : Ο θόρυβος της διαδικασίας ($Q = 0$)

Γενικώς, για την παρούσα μελέτη ισχύει : $\Sigma x_k^- = A^2 \cdot \Sigma x_{k-1}$ (3.49)

Για $k = 1$ (Για την αρχική στιγμή-αφετηρία η οποία είναι η ιστορική ακτογραμμή του 1945 από αεροφωτογραφία κλίμακας 1/42.000, για το σύνολο των εφαρμογών της μελέτης), θα ισχύει :

$$\Sigma x_1^- = A^2 \cdot \Sigma x_0, \text{ όπου } \Sigma x_0 = R_1 = (-8.4\text{μέτρα})^2 \quad (3.50)$$

- το κέρδος (ή ο πίνακας κέρδους) : $K_k = \Sigma x_k^- \cdot H^T \cdot (H \cdot \Sigma x_k^- \cdot H^T + R_k)^{-1}$ (4.42)

Τελικώς (αφού για τη μελέτη μας ισχύει $H^T = H = 1$),

$$K_k = \Sigma x_k^- \cdot (\Sigma x_k^- + R_k)^{-1} \quad (3.51)$$

Έτσι, για $k = 1$, $K_1 = \Sigma x_1^- \cdot (\Sigma x_1^- + R_1)^{-1}$ (3.52)

- η a posteriori συμμεταβλητότητα : $\Sigma x_k = (1 - K_k \cdot H) \cdot \Sigma x_k^-$ (3.53)

Τελικώς (αφού για τη μελέτη μας $H^T = H = 1$), $\Sigma x_k = (1 - K_k) \cdot \Sigma x_k^-$ (3.54)

Έτσι, για $k = 1$, $\Sigma x_1 = (1 - K_1) \cdot \Sigma x_1^-$ (3.55)

- ο a priori εκτιμητής της κατάστασης : $x_k^- = A \cdot x_{k-1} + B \cdot u_{k-1}$ (3.56)

Στη μελέτη μας ο όρος $B \cdot u_{k-1}$ ο οποίος εκφράζει την πρόσθετη πληροφορία που εισάγεται στο σύστημα, ισούται με 0.

Έτσι : $x_k^- = A \cdot x_{k-1}$ (3.57)

Για $k=1$, $x_1^- = A \cdot x_0$, όπου $x_0 = z_0$ (η πρώτη μέτρηση/θέση της ακτογραμμής του 1945)

- ο a posteriori εκτιμητής της κατάστασης : $x_k = x_k^- + K_k \cdot (z_k - H \cdot x_k^-)$
(3.58)

Τελικώς (αφού για την μελέτη μας $H = 1$), $x_k = x_k^- + K_k \cdot (z_k - x_k^-)$
(3.59)

Και, για $k=1$ (για την πρώτη χρονική στιγμή),

$$x_1 = x_1^- + K_1 \cdot (z_1 - x_1^-)$$

(3.60)

Ο x_i^- αποτελεί ουσιαστικά και το διάνυσμα πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής που ακολουθεί μετά το τελευταίο χρονικό διάστημα παρατήρησης και επομένως είναι η ζητούμενη, τελική, διορθωμένη εκτίμηση που υπολογίζεται μέσω του φίλτρου Kalman. Έτσι, στην περίπτωση της αρχικής εφαρμογής 1_LIT όπου ορίζονται 4 διαστήματα παρατήρησης (1945-1960, 1960-1979, 1979-1980, 1980-1997), υπολογίζονται διαδοχικά 4 φορές τα μεγέθη Σx_i^- , K_i , Σx_i , x_i^- και x_i , κάτι που ισχύει και στην περίπτωση της εφαρμογής 7_KAT όπου ομοίως ορίζονται 4 διαστήματα παρατήρησης (1945-1960, 1960-1979, 1979-1980, 1980-1995) και υπολογίζονται διαδοχικά 4 φορές τα μεγέθη Σx_i^- , K_i , Σx_i , x_i^- και x_i . Ο a priori εκτιμητής x_i^- που υπολογίζεται στο τελευταίο χρονικό διάστημα παρατήρησης κάθε φορά, σύμφωνα με το μηχανισμό του φίλτρου Kalman, ενσωματώνει το σύνολο των αβεβαιοτήτων των μετρήσεων για όλες τις διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές και αποτελεί την τελική πρόβλεψη του συγκεκριμένου μοντέλου.

Η κυκλική υπολογιστική διαδικασία του φίλτρου Kalman παρέχει τη δυνατότητα κάθε φορά, σε κάθε χρονικό διάστημα παρατήρησης να υπολογίζεται αρχικά ένας εκ των προτέρων εκτιμητής και στη συνέχεια ένας διορθωμένος εκτιμητής αφού γίνει η μέτρηση και ενσωματωθεί στην διαδικασία μαζί με την αβεβαιότητά της [81]. Έτσι, μετρήσεις με υψηλές αβεβαιότητες (όπως οι θέσεις παλαιότερων ακτογραμμών μικρής κλίμακας του 1945 ή του 1960) όταν ενσωματώνονται στο μοντέλο επηρεάζουν σημαντικά τη διαδικασία υπολογισμού των διορθωμένων εκτιμητών, υποβαθμίζοντας την αξιοπιστία της τελικής πρόβλεψης. Βέβαια, το φίλτρο Kalman είναι σε θέση να ενσωματώνει όλες τις μετρήσεις και να δίνει μια τελική πρόβλεψη σχετικά αξιόπιστη, ανεξάρτητα από το μέγεθος των επιμέρους αβεβαιοτήτων. Μάλιστα, στην περίπτωση που εμφανίζεται μια μέτρηση που συνοδεύεται από μεγάλη αβεβαιότητα ή μια ακραία τιμή στο μέσο της κατανομής των μετρήσεων, το φίλτρο Kalman την ενσωματώνει, ο a posteriori εκτιμητής που υπολογίζεται για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που εμφανίστηκε η μέτρηση παρουσιάζει μειωμένη αξιοπιστία, αλλά στη συνέχεια και με δεδομένο ότι οι επόμενες μετρήσεις θα χαρακτηρίζονται από μειωμένες αβεβαιότητες, οι προβλέψεις (εκτιμητές) του φίλτρου σταδιακά βελτιώνονται ανακτώντας την αξιοπιστία τους. Αυτό σημαίνει ότι το φίλτρο Kalman παρουσιάζει μια σχετική «προσαρμοστικότητα» όσον αφορά την ύπαρξη πιθανών αβεβαιοτήτων στα πρωτογενή δεδομένα. Σε αντίθεση με τις 10 απλές στατιστικές μεθόδους όπου οι παραπάνω αβεβαιότητες υποβαθμίζουν σημαντικά την ποιότητα των τελικών προβλέψεων, το φίλτρο

Kalman ενδέχεται να παράγει ανακριβή διανύσματα πρόβλεψης της θέσης της ακτογραμμής αποκλειστικά για τα αρχικά χρονικά διαστήματα παρατήρησης (1945 – 1960 -1972). Σε αυτές τις χρονολογίες όπου τα διαθέσιμα δεδομένα προέρχονται εξ ολοκλήρου από παλαιότερες αερ/ίες μικρής κλίμακας, οι α priori εκτιμητές αναμένεται να παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία.

Όσο προστίθεται όμως νεότερη και ποιοτικότερη πρωτογενής πληροφορία/ιστορικές ακτογραμμές στο αρχείο δεδομένων (οι οποίες μπορούν να προκύψουν από : Τοπογραφικά διαγράμματα της Γ.Υ.Σ κλίμακας 1:5.000, χρονολογιών 1978 και 1979, τοπογραφικά διαγράμματα της Κτηματικής Υπηρεσίας του Δημοσίου για τον καθορισμό των ζωνών αιγιαλού και παραλίας κλίμακας 1:500 – όπου αυτά είναι διαθέσιμα, ζεύγη αεροφωτογραφιών μετά το 1990, ορθοφωτοχάρτες του Υπουργείου Γεωργίας κλίμακας 1:5.000 και πρόσφατες δορυφορικές εικόνες υψηλής ανάλυσης), τόσο αναμένεται να βελτιώνεται και η αξιοπιστία των διανυσμάτων πρόβλεψης. Με τον όρο «αξιοπιστία» των διανυσμάτων πρόβλεψης περιγράφεται ουσιαστικά η προσέγγιση της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης της θέσης της ακτογραμμής όπως προκύπτει από το προσαρμοσμένο φίλτρο Kalman με τη χρήση των διαθέσιμων ιστορικών δεδομένων, στην πραγματική θέση της ακτογραμμής σε μια προκαθορισμένη χρονολογία. Μέσω της σύγκρισης της υπολογιζόμενης θέσης της ακτογραμμής από το φίλτρο και της πραγματικής θέσης στην πιο πρόσφατη χρονολογία του παρελθόντος που διαθέτουμε δεδομένα, γίνεται ουσιαστικά και έλεγχος της αξιοπιστίας της μαθηματικής δομής του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman. Η παρατήρηση αποκλίσεων μπορεί να οδηγήσει σε συμπεράσματα για την ύπαρξη συστηματικών σφαλμάτων στη διαδικασία. Στην παρούσα διατριβή, χρησιμοποιώντας την ακτογραμμή του 2009 (η οποία προέρχεται από ορθοφωτογραφίες σε ψηφιακή μορφή από την εταιρεία ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε.) και την προβλεπόμενη ακτογραμμή του φίλτρου για τη συγκεκριμένη χρονολογία, προέκυψαν χρήσιμα συμπεράσματα ως προς την ποιότητα των προβλέψεων, το μέγεθος και τη συστηματικότητα των αποκλίσεων ανά παράκτια περιοχή και το βαθμό (δείκτη) προσέγγισης του μοντέλου στη φυσική πραγματικότητα [ο παραπάνω έλεγχος όπως περιγράφεται αποτελεί και τη διαδικασία «βαθμονόμησης» (calibration) του μοντέλου].

3.3 Η μέθοδος «ομαδοποίησης» (Binning).

3.3.1 Θεωρητική ανάλυση της διαδικασίας της «ομαδοποίησης».

Όπως παρατηρήθηκε στο σύνολο των 10 περιοχών που εξετάζονται στη μελέτη, κανένα παράκτιο σύστημα δεν παρουσιάζει αναγκαστικά τον ίδιο τρόπο μεταβολής. Έτσι, είναι σύνηθες σε μια ακτογραμμή να μην παρουσιάζεται ένας ομοιόμορφος, ενιαίος ρυθμός μεταβολής αλλά αντίθετα, επί μέρους τμήματα της συγκεκριμένης ακτογραμμής να παρουσιάζουν διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής (είτε υποχώρησης, είτε πρόσχωσης). Για να αντιμετωπιστεί το παραπάνω πρόβλημα και να μοντελοποιηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία η δυναμική εξέλιξη του κάθε παράκτιου συστήματος, δημιουργήθηκε η μέθοδος ομαδοποίησης δεδομένων της ακτογραμμής (Binning) [54]. Η Ayesha S. Genz με την ομάδα συνεργατών της από το πανεπιστήμιο της Χαβάης, ανέπτυξε και εφάρμοσε την μέθοδο ομαδοποίησης δεδομένων (Binning) τον Ιανουάριο του 2007, σε έναν αριθμό ακτών στο νησί Maui, στη Χαβάη. Όσον αφορά την παρούσα διατριβή, έγινε πρωτότυπη προσαρμογή και χρησιμοποίηση της παραπάνω μεθόδου έτσι ώστε να αξιοποιηθούν τα διαθέσιμα

δεδομένα με τις υπάρχουσες αβεβαιότητες τους και να παραχθούν εν συνεχεία αξιόπιστα αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες των 10 παράκτιων περιοχών της χώρας μας.

Η συγκεκριμένη μέθοδος στηρίζεται στην ομαδοποίηση των διατομών που έχουν σχεδιαστεί κάθετα σε μία ακτογραμμή αναφοράς στην εκάστοτε περιοχή μελέτης, επιτυγχάνοντας έτσι να ομαδοποιηθούν τμήματα της ακτογραμμής στα οποία υπολογίζονται όμοιοι ρυθμοί μεταβολής. Κατά αυτόν τον τρόπο μειώνεται η επίδραση της διακύμανσης των φυσικών δεδομένων από διατομή σε διατομή καθώς και της πιθανής ύπαρξης σφαλμάτων στις πρωτογενείς μετρήσεις. Επίσης, επιτρέπεται η αναγνώριση και η ομαδοποίηση τμημάτων στα οποία η ακτογραμμή δεν παρουσιάζει μεταβολές (π.χ. λιμενικά έργα ή βραχώδεις εκτάσεις) και η εξαίρεση τους από την διαδικασία υπολογισμού του συνολικού ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής [54]. Με βάση τα παραπάνω γίνεται σαφές πως μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου παρέχεται η δυνατότητα στον εκάστοτε μελετητή, σε συνδυασμό με τη χρήση των 10 στατιστικών μεθόδων και του φίλτρου Kalman, να αντιμετωπίσει αποτελεσματικότερα και πληρέστερα τα ζητήματα μοντελοποίησης της παράκτιας δυναμικής και της πρόβλεψης μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής.

3.3.2 Υπολογιστική διαδικασία.

Η υπολογιστική διαδικασία της συγκεκριμένης μεθόδου έχει ως αφετηρία την επιλογή των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στα ενδιάμεσα στάδια των υπολογισμών. Τα δεδομένα αυτά (μετρημένες αποστάσεις των διαθέσιμων ιστορικών ακτογραμμών, κατά μήκος των διατομών) είναι ουσιαστικά τα ίδια ακριβώς πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν και στη διαδικασία υπολογισμού των ρυθμών μεταβολής μέσω των 10 στατιστικών μεθόδων και του φίλτρου Kalman. Πριν ξεκινήσει η συνολική διαδικασία της ομαδοποίησης, θα πρέπει να καθοριστούν στο πρόγραμμα που εκτελείται σε περιβάλλον MATLAB, οι αποστάσεις μεταξύ των διατομών ανάλογα με την περιοχή μελέτης (20, 50, 100 ή 150 μέτρα).

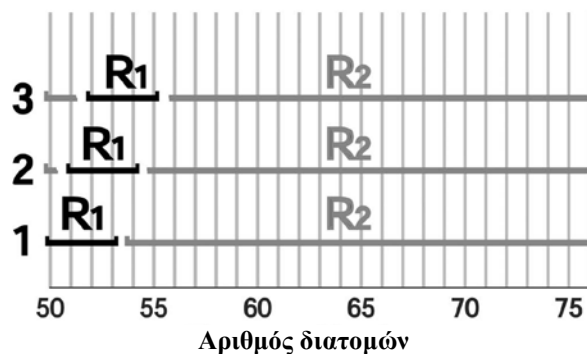
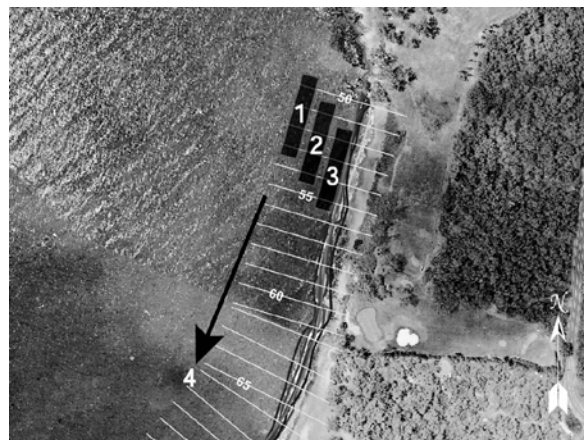
Όπως ήδη αναφέρθηκε, για να μειωθεί η επίδραση της μεταβλητότητας των φυσικών δεδομένων από διατομή σε διατομή και των μετρητικών σφαλμάτων, γίνεται ομαδοποίηση (Binning) δεδομένων σε μια ενότητα από γειτονικές διατομές οι οποίες ανήκουν σε ένα συνεχές κομμάτι ακτής. Για τον συνεχή υπολογισμό των ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής στις ενδιάμεσες ενότητες και τμήματα που δημιουργούνται, απαιτείται η χρήση κάποιας από τις 10 στατιστικές μεθόδους υπολογισμού. Στις περιπτώσεις των 10 παράκτιων περιοχών του ελλαδικού χώρου της παρούσας μελέτης, με βάση το γεγονός ότι δεν παρουσιάζονται ισχυρές κυματικές καταγίδες ή σημαντικά εύρη παλιρροιών, επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος ελαχίστων τετραγώνων χωρίς βάρη, OLS. Πρόσθετα, η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου στηρίζεται στην αυξημένη αξιοπιστία και «στοιβαρότητα» των αποτελεσμάτων εφαρμογής της η οποία αποδείχθηκε σε προηγούμενα στάδια της μελέτης.

Με βάση το γεγονός ότι η κάθε ακτογραμμή δεν μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο, κρίνεται απαραίτητο να αναγνωριστούν περιοχές – τμήματα της παραλίας τα οποία να παρουσιάζουν παρόμοια «συμπεριφορά». Είναι επίσης σημαντικό, οι διατομές οι οποίες έχουν σχεδιαστεί σε τμήματα της ακτής που υπάρχουν εγκαταστάσεις και κτίρια, να αφαιρεθούν από την συγκεκριμένη ανάλυση καθώς αυτά τα τμήματα δεν παρουσιάζουν διάβρωση ή πρόσχωση (αυτό ισχύει για περιπτώσεις ακτών όπου έχουν κατασκευαστεί «σκληρά» έργα προστασίας στο μέτωπο της παραλίας όπως είναι τα

θαλάσσια τείχη και οι προβλήτες). Στα πλαίσια της διαδικασίας αναγνώρισης των διατομών που κρίνεται αναγκαίο να ομαδοποιηθούν έτσι ώστε να αντιπροσωπεύεται κάθε τμήμα της ακτής όπου οι ρυθμοί μεταβολής είναι παρόμοιοι, ομαδοποιούνται τελικώς οι γειτονικές διατομές και γίνεται σύγκριση του ρυθμού μεταβολής τους με τον συνδυασμένο ρυθμό μεταβολής που προκύπτει από τις υπόλοιπες διατομές στην συγκεκριμένη ακτή μελέτης.

Αρχικά, δημιουργείται ένα «παράθυρο» με μια ομάδα 4 γειτονικών διατομών, από όπου υπολογίζεται και ένας μέσος ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής. Στη συνέχεια, γίνεται σύγκριση αυτού του ρυθμού με τον ρυθμό μεταβολής της ομάδας των υπολοίπων διατομών, χρησιμοποιώντας το στατιστικό τεστ Student's test [28], [54] σε 95% επίπεδο εμπιστοσύνης, έτσι ώστε να διαφανούν πιθανές διαφορές. Ακολούθως, μετακινείται το παράθυρο κατά μία διατομή και επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία (επαναλαμβάνεται το Student's test). Το παράθυρο (με 4 διατομές κάθε φορά) μετακινείται συνεχώς μέχρι να ομαδοποιηθούν και οι τέσσερις τελευταίες διατομές. Κάθε φορά που μετακινείται το παράθυρο, ένα καινούργιο στατιστικό τεστ εφαρμόζεται έτσι ώστε να γίνεται σύγκριση του αντίστοιχου ρυθμού μεταβολής με τον ρυθμό μεταβολής της ομάδας των υπολοίπων διατομών [54].

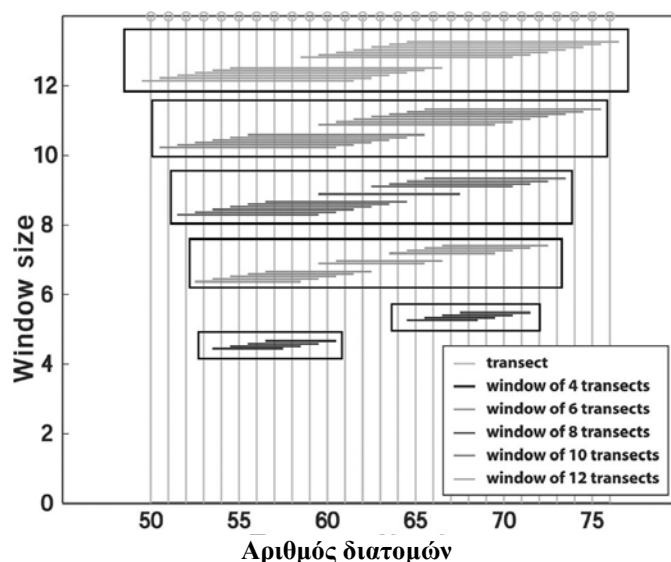
Αφού τελειώσει η παραπάνω διαδικασία, σχηματίζεται ένα καινούργιο παράθυρο με 6 διατομές και επαναλαμβάνεται η διαδικασία με το $t - test$. Το μέγεθος του παραθύρου (ο αριθμός των διατομών που συμπεριλαμβάνονται κάθε φορά) αυξάνεται συνεχώς και η διαδικασία ομαδοποίησης συνεχίζεται μέχρι το παράθυρο να φτάσει στο μέγεθος των $n/2$ διατομών [54].



Σχήμα 1 : Στην συγκεκριμένη περιοχή οι διατομές έχουν σχεδιαστεί με απόσταση 20 μέτρων μεταξύ τους [54].

Στο παραπάνω παράδειγμα το μέγεθος του «παραθύρου» ορίζεται ίσο με 4. Αρχικά, ο ρυθμός διάβρωσης των τεσσάρων πρώτων διατομών συγκρίνεται με τον ρυθμό διάβρωσης όλων των υπόλοιπων διατομών της ακτής (1). Στη συνέχεια, ο ρυθμός διάβρωσης των επομένων τεσσάρων διατομών συγκρίνεται με τον ρυθμό διάβρωσης όλων των υπολοίπων διατομών της ακτής (2). Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται για ολόκληρη την παραλία (3 και 4) μέχρι ο ρυθμός διάβρωσης των τελευταίων τεσσάρων διατομών συγκριθεί με τον ρυθμό διάβρωσης όλων των υπολοίπων διατομών. Ακολούθως, το μέγεθος του «παραθύρου» αυξάνεται, συμπεριλαμβάνοντας 6, 8 και 10 διατομές, επαναλαμβάνοντας κάθε φορά τα παραπάνω στάδια συγκρίσεων [54].

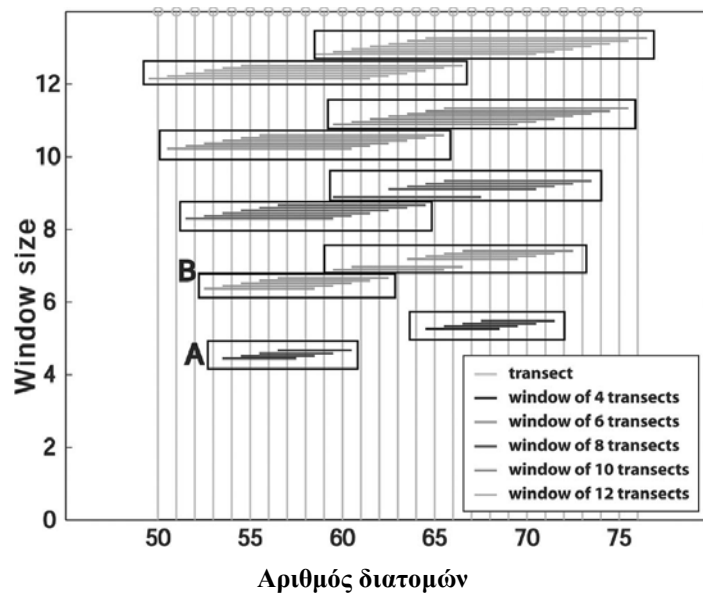
Όταν ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, εντοπίζονται υπό-ομάδες διατομών στις οποίες παρουσιάζεται διαφορετικός ρυθμός μεταβολής σε σχέση με τους ρυθμούς μεταβολής της υπόλοιπης ακτής. Οι ομάδες αυτές των διατομών, στις οποίες εκτελείται το στατιστικό Student's t – test, βρέθηκαν να διαφέρουν στατιστικά από όλες τις υπόλοιπες της συγκεκριμένης ακτής. Παρακάτω παρουσιάζεται διάγραμμα όπου διαφαίνεται η ύπαρξη ή μη επικάλυψης μεταξύ των παραπάνω υπό-ομάδων των διατομών έτσι ώστε να διευκολυνθεί η τελική ομαδοποίησή τους [54].



Σχήμα 2 : Οι κάθετες γραμμές αντιπροσωπεύουν τον αριθμό των διατομών ενώ οι οριζόντιες γραμμές ομάδες διατομών [54].

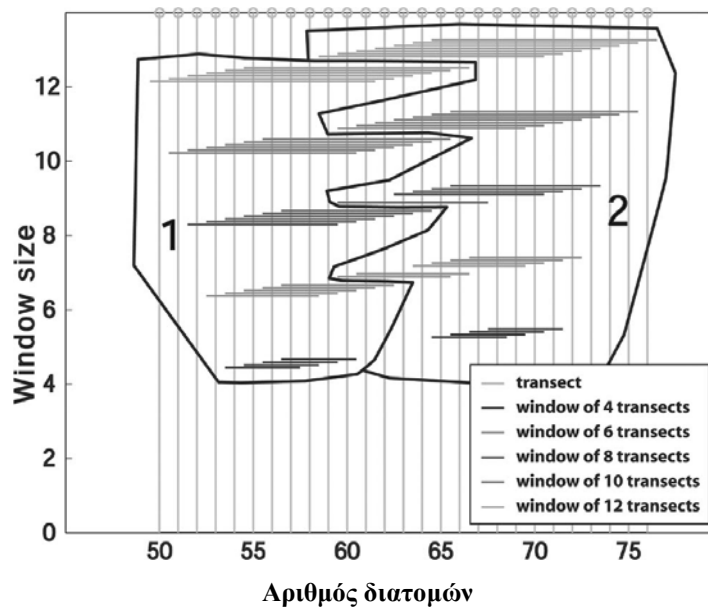
Στο παραπάνω σχήμα, στον άξονα Y παρουσιάζεται το μέγεθος του παραθύρου ομαδοποίησης των διατομών (για παράδειγμα, μέγεθος παραθύρου 4 = υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής για 4 διατομές). Οι οριζόντιες γραμμές αντιπροσωπεύουν ομάδες διατομών των οποίων οι ρυθμοί μεταβολής δεν συμφωνούν με τους γενικότερους, ομαδοποιημένους ρυθμούς στον υπόλοιπων διατομών (t – test) [54]. Μέσα σε κάθε παράθυρο που δημιουργείται, εκτελείται ένα t – test στις περιπτώσεις επικαλυπτόμενων διατομών. Εάν οι επικαλυπτόμενες διατομές δεν διαφέρουν στατιστικά, τότε ομαδοποιούνται ως μια οντότητα. Εάν παρουσιάζουν διαφορετική «συμπεριφορά», τότε εισάγονται σε διαφορετικές ομάδες.

Ένα ακόμη t – test εκτελείται για να καθοριστεί το εάν οι ομάδες σε κάθε παράθυρο διαφέρουν στατιστικά από ομάδες σε άλλο παράθυρο οι οποίες έχουν επικαλυπτόμενες διατομές. Οι ομάδες οι οποίες δεν διαφέρουν στατιστικά, κατηγοριοποιούνται μαζί και υπολογίζεται ένας ρυθμός μεταβολής για την συγκεκριμένη περιοχή στην οποία αναφέρονται [28], [54].



Σχήμα 3 : Τα αποτελέσματα εφαρμογής των t – tests μέσα σε κάθε παράθυρο [54].

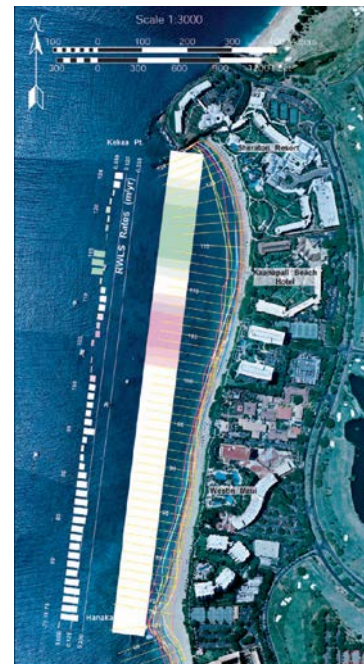
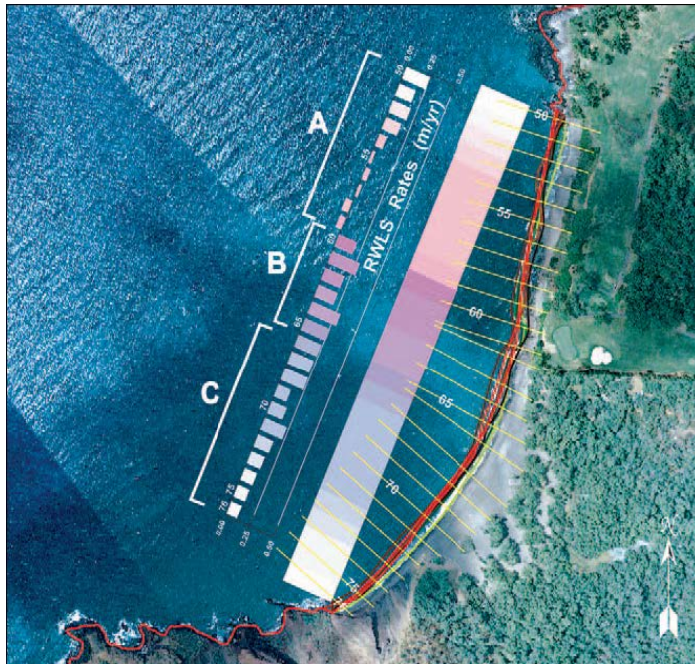
Στο παράθυρο με μέγεθος 4, οι επικαλυπτόμενες διατομές δεν παρουσιάζονται στατιστικά διαφορετικές μεταξύ τους (A). Στο παράθυρο με μέγεθος 6 εντοπίζονται δύο υπό – ομάδες οι οποίες διαφέρουν στατιστικά μεταξύ τους (B) [54]. Αφού εφαρμοστεί το t - test σε κάθε παράθυρο που δημιουργήθηκε με τα επικαλυπτόμενα πλαίσια, προκύπτουν τα τελικά παράθυρα.



Σχήμα 4 : Ομάδες διατομών αναγνωρίζονται με βάση τα t – tests όλων των «παραθύρων» με κοινές διατομές [54].

Στη συγκεκριμένη ακτή του παραδείγματος αναγνωρίζονται δύο βασικές υπό – ομάδες διατομών (1 και 2). Στο ένα τμήμα της ακτής παρουσιάζονται σημαντικά διαφορετικοί, μακροπρόθεσμοι ρυθμοί μεταβολής, σε σχέση με τους αντίστοιχους, υπολογιζόμενους ρυθμούς του άλλου τμήματος. Οι διατομές οι οποίες χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς και των δύο βασικών υπό – ομάδων, χαρακτηρίζονται ως «μεταβατικές ζώνες» της ακτής [54].

Στα πλαίσια της καλύτερης κατανόησης της διαδικασίας, κάθε τμήμα της ομαδοποίησης λαμβάνει ένα μοναδικό χρώμα και κάθε διατομή μέσα στο τμήμα, μια απόχρωση. Οι διατομές που περιλαμβάνονται σε παραπάνω από ένα τμήματα, παρουσιάζουν μια συνδυασμένη, χρωματική τιμή [54].



Εικόνες 22 και 23 : Όπως φαίνεται και στις παραπάνω εικόνες, υπάρχει μια περιοχή (το τμήμα της ακτής B), η οποία χαρακτηρίζεται ως μεταβατική περιοχή (με συγκεκριμένο ρυθμό μεταβολής) και η οποία εντοπίζεται ανάμεσα στις περιοχές με τους διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής (τμήματα A και C) [54].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΩΝ ΥΠΑΡΧΟΥΣΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΤΙΣ 10 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

4.1 Εισαγωγή.

Στα πλαίσια διερεύνησης των μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, επιλέχθηκαν 10 αντιπροσωπευτικές παράκτιες περιοχές του Ελλαδικού χώρου και με βάση την ιστορική οπισθοχώρηση της κάθε περιοχής, υπολογίστηκε ο ρυθμός μεταβολής (υποχώρησης ή πρόσκωσης). Πρόσθετα, έγιναν προβλέψεις των μελλοντικών θέσεων των ακτογραμμών για ένα χρονικό ορίζοντα κάποιων χρόνων.

Η επιλογή των παραπάνω περιοχών έγινε με βάση τον όγκο και την ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων και πληροφορίας για την κάθε περίπτωση, όπως επίσης και σύμφωνα με τα φυσικά χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες της κάθε παράκτιας περιοχής. Τα πρωτογενή - χωρικά δεδομένα προέκυψαν από τις διαθέσιμες κατά περίπτωση αεροφωτογραφίες και χάρτες για κάθε περιοχή (αρχικά, οι ψηφιοποιημένες θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών και στη συνέχεια οι μετρημένες αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών θέσεων αυτών των ακτογραμμών, κατά μήκος διατομών). Έτσι, σε περιβάλλον AutoCAD, χρησιμοποιήθηκαν οι μετρημένες αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών θέσεων των ψηφιοποιημένων ιστορικών ακτογραμμών κατά μήκος των διατομών (οι οποίες σχεδιάστηκαν κάθετα σε κάποια ορισμένη ακτογραμμή αναφοράς) και υπολογίστηκε ο ρυθμός μεταβολής (υποχώρησης ή πρόσκωσης) της κάθε υπό-περιοχής, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα, γνωρίζοντας την προϊστορία της κάθε περιοχής μελέτης, να γίνουν προβλέψεις υποχώρησης ή πρόσκωσης της κάθε ακτογραμμής. Στο σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της διερεύνησης των μεθόδων (υπαρχουσών, απλών και σύνθετων αλλά και της νέας πρότασης της διατριβής), οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής χαρακτηρίζονται ως «σήμα» ενώ οι υπολογιζόμενες αβεβαιότητες που τους συνοδεύουν, ως «θόρυβος». Αντίστοιχος χαρακτηρισμός δίνεται και στην περίπτωση των πρωτογενών δεδομένων όπου οι θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών κατά μήκος των διατομών χαρακτηρίζονται ως «σήμα», ενώ η αβεβαιότητα θέσης που συνοδεύει την κάθε μέτρηση (ανάλογα με την κλίμακα της εκάστοτε αερ/ιάς ή χάρτη από όπου έχει προκύψει η κάθε ψηφιοποιημένη ακτογραμμή), «θόρυβος».

Για να υπολογιστούν οι ρυθμοί μεταβολής χρησιμοποιήθηκαν οι πιο διαδεδομένοι (στατιστικοί και μη) μέθοδοι με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία, αφού αρχικά κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με την αξιοπιστία, την απλότητα στην υπολογιστική τους διαδικασία, όπως επίσης και τις αβεβαιότητες πρόβλεψής τους, ως εξής :

1. Οι τρεις «απλές» στατιστικές μέθοδοι (EPR, AOR, AER). Οι συγκεκριμένες μέθοδοι παρουσιάζουν απλότητα υπολογισμών και εφαρμογής αλλά παράγουν αποτελέσματα με μεγάλες αβεβαιότητες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποκλειστικά ενδεικτικά όσον αφορά τη μοντελοποίηση της «συμπεριφοράς» κάποιας παράκτιας περιοχής.
2. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν ελάχιστα τετράγωνα (Regressional methods) (OLS, JK). Οι συγκεκριμένες μέθοδοι παρουσιάζουν τα πλέον αξιόπιστα και «στιβαρά» αποτελέσματα όπως επίσης και σχετικά μικρές αβεβαιότητες στον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής.

3. Οι μέθοδοι με βάρη (RLS, WLS, RWLS). Οι συγκεκριμένοι μέθοδοι φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά στις περιπτώσεις ύπαρξης δεδομένων με υψηλό «θόρυβο» παράγοντας έτσι ρυθμούς μεταβολής με μεγάλες αβεβαιότητες.
4. Οι μέθοδοι «απόκλισης» (Deviation methods) - (LAD, WLAD). Οι συγκεκριμένοι μέθοδοι των οποίων τα αποτελέσματα συνήθως συγκλίνουν, όπως φάνηκε από την εφαρμογή τους στις 10 περιοχές της μελέτης, παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία αποτελεσμάτων, εξαιτίας προφανώς των «φτωχών» ποιοτικά διαθέσιμων πρωτογενών δεδομένων.

Αφού εκτελέστηκαν μια σειρά εφαρμογών στις 10 περιοχές μελέτης χρησιμοποιώντας τις υπάρχουσες μεθόδους, με βάση τα αποτελέσματα πρόβλεψης που προέκυψαν για τις ακτογραμμές του έτους 2050 (μακροπρόθεσμη πρόβλεψη), οι περιοχές κατηγοριοποιήθηκαν ανάλογα με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής, ως εξής:

1. Περιοχές χαμηλής υποχώρησης (0 έως -1m/yr), (Λιτόχωρο Πιερίας - μήκος ακτογραμμής μελέτης 1.750 μέτρα [24], τμήμα της παραλίας στην Κατερίνη - μήκος ακτογραμμής μελέτης 2000 μέτρα [12], τμήμα της παραλίας στο Βαρθολομιό Ηλείας - μήκος ακτογραμμής μελέτης 800 μέτρα [30]).
2. Περιοχές μεσαίας υποχώρησης (-1 έως -3m/yr), (τμήμα της παραλίας στο Βαρθολομιό Ηλείας - μήκος ακτογραμμής μελέτης 5850 μέτρα [16], Νέστος - μήκος ακτογραμμής μελέτης 6.600 μέτρα [21]).
3. Περιοχές υψηλής υποχώρησης (-3 έως -12m/yr), (τμήμα της παράκτιας περιοχής στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης – συνολικό μήκος ακτογραμμής μελέτης 41.200 μέτρα [10], Νέστος – μήκος ακτογραμμής μελέτης 14.700 μέτρα [11]).
4. Περιοχές χαμηλής πρόσχωσης (0 έως +1m/yr), (τμήμα της παραλίας στην Πιερία – μήκος ακτογραμμών μελέτης 2.250 [3] και 3.050 μέτρα [18] αντίστοιχα).
5. Περιοχές μεσαίας πρόσχωσης (+1 έως +2m/yr), (τμήμα της παραλίας στην Κατερίνη - μήκος ακτογραμμής μελέτης 3.300 μέτρα [19]).

Για να αντιμετωπιστεί ο μεγάλος όγκος των υπολογισμών από το σύνολο των παραπάνω εφαρμογών των 10 μεθόδων, χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό εργαλείο MATLAB [54]. Έτσι, οι ρουτίνες υπολογισμού των 10 στατιστικών μεθόδων (μαθηματικές σχέσεις) γράφτηκαν και «έτρεξαν» σε γλώσσα προγραμματισμού σε περιβάλλον MATLAB [28], διευκολύνοντας και επιταχύνοντας την όλη διαδικασία.

Παράλληλα, για όλες τις παραπάνω περιοχές και τις εφαρμογές των 10 μεθόδων, σχεδιάστηκαν πίνακες αποτελεσμάτων και διαγράμματα/γραφήματα στα οποία παρουσιάζονται οι προβλεπόμενοι ρυθμοί μεταβολής ανά μέθοδο με τις αντίστοιχες αβεβαιότητές τους.

4.2 Ανάλυση των αποτελεσμάτων.

4.2.1

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	1_LIT
ΧΑΜΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Γενικά στοιχεία.

Ο κωδικός της παρούσας περιοχής είναι 1_LIT και τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της παράκτιας περιοχής στο Λιτόχωρο Πιερίας. Το μήκος της ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 1.750 μέτρα [24]. Συνολικά έχουν σχεδιαστεί 35 διατομές ανά 50 μέτρα, κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς που έχει προκύψει από το τοπογραφικό διάγραμμα του 1979, κλίμακας 1:5.000. Η συγκεκριμένη ακτογραμμή επιλέχθηκε ως αναφορά καθώς θεωρητικά αποτελεί την ποιοτικότερη διαθέσιμη ιστορική ακτογραμμή, προερχόμενη από ένα τοπογραφικό διάγραμμα σχετικά μεγάλης κλίμακας και όχι από κάποια αεροφωτογραφία μικρής κλίμακας (όπως είναι οι παλαιότερες διαθέσιμες αεροφωτογραφίες των ετών 1945 ή 1960). Επομένως, η επιλογή στηρίχθηκε στο γεγονός ότι όσο μεγαλύτερη είναι η κλίμακα των διαθέσιμων πηγών εξαγωγής πληροφορίας, τόσο μικρότερες είναι και οι αβεβαιότητες θέσης στις ψηφιοποιημένες ακτογραμμές.

Όσον αφορά την απόσταση μεταξύ των σχεδιαζόμενων διατομών (όπου στη συγκεκριμένη ακτή επιλέχθηκε να είναι της τάξης των 50 μέτρων), αυτή μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την περίπτωση της κάθε παράκτιας περιοχής. Στην πλειοψηφία των παράκτιων περιοχών της διατριβής (στις 6 από τις 10) χρησιμοποιήθηκε η απόσταση των 50 μέτρων, ενώ στις περιοχές 4_NES, 9_THE και 10_NES, σχεδιάστηκαν διατομές ανά 100 μέτρα και στην περιοχή 6_BAR ανά 150 μέτρα. Η διαφοροποίηση στις περιπτώσεις αυτές προέκυψε από το γεγονός ότι για κάποιες από τις παραπάνω ακτογραμμές επιλέχθηκαν τμήματα μελέτης πολλών χιλιομέτρων, όπου έπρεπε να γίνει μια ορθολογική διαχείριση των διαθέσιμων δεδομένων (ένα απαραίτητο φιλτράρισμα), σε άμεση σχέση με τον όγκο των απαιτούμενων υπολογισμών. Άλλωστε, με βάση συμπεράσματα που προέκυψαν κατά τα αρχικά στάδια της διαδικασίας των εφαρμογών των 10 μεθόδων για τις 10 παράκτιες περιοχές της διατριβής, προέκυψε πως η απόσταση μεταξύ των σχεδιαζόμενων διατομών (εντός κάποιων συγκεκριμένων ορίων) δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τη διαδικασία υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής. Έτσι, είτε σχεδιάζονταν διατομές ανά 10, 50 ή 100 μέτρα και μετρώντας αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών θέσεων των ιστορικών ακτογραμμών, οι διακυμάνσεις στους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής, κρίνονται στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων, ασήμαντες. Επομένως, επιλέγεται συνήθως μία ενιαία απόσταση (50 μέτρα) μεταξύ των διατομών για το σύνολο των εφαρμογών (με εξαίρεση τις 2 περιοχές που αναφέρθηκαν), με βάση την οποία κρίνεται πως περιγράφονται επαρκώς οι μεταβολές στα φυσικά χαρακτηριστικά και τη μορφολογία της εκάστοτε ακτογραμμής, περιορίζοντας παράλληλα πιθανή περιττή πληροφορία η οποία θα περιέπλεκε ακόμη περισσότερο την υπολογιστική διαδικασία. Η επιλογή των τμημάτων μελέτης σε κάθε ακτογραμμή (δηλ. του μήκους της εκάστοτε ακτογραμμής στο οποίο σχεδιάστηκαν διατομές και υπολογίστηκαν ρυθμοί μεταβολής) έγινε κατά περίπτωση, ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά της κάθε ακτής (σκοπός ήταν να επιλεγούν τμήματα της ακτής στα οποία εμφανίζονται μεταβολές στην ακτογραμμή,

εξαιρώντας τμήματα με λιμενικά έργα ή κατασκευές). Επίσης, κρίθηκε σκόπιμο τα τμήματα μελέτης να περιλαμβάνουν κυρίως ελεύθερα εδάφη και όχι βραχώδεις ακτές (σταθερές ακτογραμμές), στα οποία δεν έχουν γίνει σημαντικές ανθρώπινες παρεμβάσεις, οι οποίες συνήθως επηρεάζουν σημαντικά τις ισορροπίες του κάθε παράκτιου συστήματος. Έτσι, παρουσιάζεται μια ποικιλομορφία στα μήκη των ακτογραμμών μελέτης (π.χ. μήκος ακτογραμμής μελέτης για την περιοχή 1_LIT : 1.750 μέτρα, για την 7_KAT : 2.000 μέτρα κ.λ.π).

Στην περιοχή 1_LIT χρησιμοποιούνται 5 διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές έτσι ώστε να υπολογιστεί αρχικά η ιστορική οπισθοχώρηση (ή πρόσχωση) της περιοχής και στη συνέχεια να ακολουθήσουν οι υπολογισμοί πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2050. Το 2050 επιλέγεται και χρησιμοποιείται ως τελικό έτος πρόβλεψης της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής καθώς η συγκεκριμένη χρονολογία αποτελεί ενδιάμεσο σταθμό όσον αφορά τις προβλέψεις εξέλιξης του κλίματος (τα ρεαλιστικά κλιματικά μοντέλα προβλέπουν άνοδο της μ.σ.θ. 0,5 μέτρων μέχρι το 2050). Παρόλο που τα μοντέλα που διερευνούνται στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιούν αποκλειστικά ως πρωτογενή δεδομένα μετρημένες αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών θέσεων των ιστορικών ακτογραμμών (και όχι κλιματικά δεδομένα ή στοιχεία), το έτος 2050 αποτελεί ένα ενδιάμεσο ορόσημο ως προς τις αλλαγές που συμβαίνουν στο φυσικό περιβάλλον και συνεπώς στη δυναμική εξέλιξη της εκάστοτε ακτογραμμής. Παράλληλα όμως με τη σχετικά μακροπρόθεσμη πρόβλεψη για το έτος 2050, γίνεται και βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη – υπολογισμός ακτογραμμής για το έτος 2009 (γίνεται σύγκριση της προβλεπόμενης ακτογραμμής για τη συγκεκριμένη χρονολογία με την πραγματική, σε κεφάλαια που ακολουθούν). Εξαιτίας της πολυπλοκότητας των παράκτιων συστημάτων, των συνεχών αλλαγών στις φυσικές ισορροπίες (εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων) και των συχνών ανθρώπινων παρεμβάσεων στις ακτές, το χρονικό «βάθος» των παραγόμενων προβλέψεων (υπολογισμός μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής) δεν μπορεί να είναι ιδιαίτερος μεγάλο. Οι παράμετροι, ως προς τις μεταβολές των ακτών αλλάζουν συνεχώς και τα μοντέλα θα πρέπει να προσαρμόζονται στον αυξανόμενο διαθέσιμο όγκο πρωτογενών δεδομένων (νέες αεροφωτογραφίες, πρόσφατες δορυφορικές εικόνες κ.λ.π) έτσι ώστε να βελτιώνουν τις προβλέψεις τους.

Παρακάτω ακολουθεί απόσπασμα χάρτη της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, όπου παρουσιάζεται εντοπισμένη η περιοχή μελέτης :



Εικόνα 24 : Φύλλο χάρτη Γ.Υ.Σ. 1:50.000 «ΚΑΤΕΡΙΝΗ» [102]

Οι ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή 1_LIT είναι οι παρακάτω :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1945 (α/φ κλίμακας 1/42.000).
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1960 (α/φ κλίμακας 1/15.000).
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1979 (τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1/5.000).
4. Ιστορική ακτογραμμή του 1980 (α/φ κλίμακας 1/30.000).
5. Ιστορική ακτογραμμή του 1997 (α/φ κλίμακας 8.000).

Μεθοδολογία.

Οι 10 μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής έχουν κατηγοριοποιηθεί ως εξής :

- Στις 3 μη στατιστικές μεθόδους μειωμένης αξιοπιστίας (EPR, AOR, AER).
- Στις 2 αξιόπιστες μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης (OLS, JK).
- Στις 3 μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης που χρησιμοποιούν βάρη, οι οποίες όμως επηρεάζονται σημαντικά στις περιπτώσεις ύπαρξης ακραίων τιμών στα πρωτογενή δεδομένα (RLS, WLS, RWLS).
- Στις 2 μεθόδους που χρησιμοποιούν το κριτήριο της «απόκλισης» (LAD, WLAD).

Στα πλαίσια διερεύνησης της υπολογιστικής διαδικασίας των 10 μεθόδων και της αξιολόγησης των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής σε συνάρτηση με τα επίπεδα αβεβαιοτήτων στα πρωτογενή δεδομένα, χρησιμοποιήθηκαν κλιμακωτές αβεβαιότητες ανά εφαρμογή. Έτσι, έγιναν υποθέσεις για υψηλές αρχικές αβεβαιότητες στη θέση των σημείων πάνω στις ιστορικές ακτογραμμές της τάξης των 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αερ/ίας, για 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας και τέλος, χρησιμοποιήθηκαν και ενιαίες, ιδιαίτερα χαμηλές «συνθετικές» αβεβαιότητες της τάξης του μισού μέτρου. Χρησιμοποιώντας τα ίδια πρωτογενή δεδομένα και αυξομειώνοντας τα επίπεδα των αβεβαιοτήτων τους, σε συνδυασμό με την προσθαφαίρεση γεωπληροφορίας (της παλαιότερης και της νεότερης διαθέσιμης ιστορικής ακτογραμμής) ανά εφαρμογή, προέκυψαν ιδιαίτερα χρήσιμα συμπεράσματα για τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου και το βαθμό εξάρτησης των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής από τις αρχικές αβεβαιότητες.

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 1_LIT είναι οι παρακάτω (συνολικά 6) :

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων και για τις 35 διατομές, με αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης των 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0.7).

Ενδεικτικά, ως προς τις αρχικές αβεβαιότητες, αναφέρεται :

- Α/φ κλίμακας 1/42.000 x συντελεστή 0,7 = ±29,4 μέτρα για κάθε σημείο της ιστ.ακτογραμμής (εξαιρετικά υψηλή αβεβαιότητα στη θέση κάθε σημείου).
- Τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1/5.000 x 0,7 = 3,5 μέτρα
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων και για τις 35 διατομές, με αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0.5).

- Α/φ κλίμακας 1/42.000 x συντελεστή 0,5 = ±21 μέτρα για κάθε σημείο της ιστ.ακτογραμμής (εξαιρετικά υψηλή αβεβαιότητα στη θέση κάθε σημείου).
- Τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1/5.000 x 0,5 = 2,5 μέτρα
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων και για τις 35 διατομές, με αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0.2).
 - Α/φ κλίμακας 1/42.000 x συντελεστή 0,2 = ±8,4 μέτρα για κάθε σημείο της ιστ.ακτογραμμής (σημαντική αβεβαιότητα στη θέση κάθε σημείου).
 - Α/φ κλίμακας 1/30.000 x συντελεστή 0,2 = ±6 μέτρα για κάθε σημείο της ιστ.ακτογραμμής (σημαντική αβεβαιότητα στη θέση κάθε σημείου).
 - Α/φ κλίμακας 1/15.000 x συντελεστή 0,2 = ±3 μέτρα για κάθε σημείο της ιστ.ακτογραμμής (μέτρια αβεβαιότητα στη θέση κάθε σημείου).
 - Α/φ κλίμακας 1/8.000 x συντελεστή 0,2 = ±1,6 μέτρα για κάθε σημείο της ιστ.ακτογραμμής (μέτρια αβεβαιότητα στη θέση κάθε σημείου).
 - Τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1/5.000 x 0,2 = 1 μέτρο (χαμηλή αβεβαιότητα).
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων και για τις 35 διατομές, με αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0.2), εξαιρώντας την ακτογραμμή (μειωμένης ακρίβειας) του 1945.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων και για τις 35 διατομές, με αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0.5), εξαιρώντας την ακτογραμμή (υψηλής ακρίβειας) του 1997.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων και για τις 35 διατομές, με «συνθετικές» αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης του ±0,5 μέτρου (γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι ιστορικές ακτογραμμές έχουν ενιαία, ιδιαιτέρως υψηλή ακρίβεια θέσης).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής παρουσιάζονται στον πίνακα 1α. Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τους ρυθμούς μεταβολής αλλά και τις προβλέψεις για τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής όπως προκύπτουν από τις 10 βασικές στατιστικές μεθόδους, η συγκεκριμένη περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία «χαμηλής υποχώρησης» (0 έως -1m/yr). Στη συγκεκριμένη κατηγορία κατατάσσονται συνολικά 3 από τις 10 περιοχές που εξετάζονται στη διατριβή. Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 1α, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Οι μέθοδοι EPR, AOR και AER (οι τρεις μη στατιστικές μέθοδοι) παράγουν αποτελέσματα με μεγάλες αβεβαιότητες οι οποίες υπερκαλύπτουν σε αρκετές περιπτώσεις και το ίδιο το σήμα. Αυτές οι αβεβαιότητες (EPR, AOR) και η αναξιοπιστία αποτελεσμάτων (AER) μειώνονται όσο βελτιώνεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων (κλιμακούμενοι συντελεστές 0,7, 0,5 και 0,2 ως προς την ακρίβεια θέσης σημείων των ιστορικών ακτογραμμών). Βέβαια, ακόμη και στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,2

χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (δηλ. για αεροφωτογραφία με κλίμακα 1/30.000 έχουμε ακρίβεια θέσης $30 \times 0.2 = \pm 6$ μέτρα), ακόμη και τότε οι αβεβαιότητες πρόβλεψης των τριών παραπάνω μεθόδων είναι αρκετά υψηλές, καθιστώντας τις τελικώς αναξιόπιστες.

Περαιτέρω βελτίωση των αποτελεσμάτων και μείωση των αβεβαιοτήτων των τριών μη στατιστικών μεθόδων επέρχεται όταν εξαιρείται δοκιμαστικά από την διαδικασία η ακτογραμμή του 1945 (η οποία εξαιτίας της μικρής κλίμακας της αντίστοιχης αεροφωτογραφίας διαθέτει και τις μεγαλύτερες αβεβαιότητες θέσης). Σε αυτήν την περίπτωση οι τρεις μέθοδοι προσεγγίζουν σημαντικά πλέον την πρόβλεψη των μεθόδων OLS και JK που θεωρούνται οι πλέον αξιόπιστες και αποτελούν δείκτη σύγκρισης όσον αφορά την αξιοπιστία των υπόλοιπων μεθόδων (αυτό συμβαίνει επειδή όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι μέθοδοι OLS και JK παρουσιάζουν μια σταθερότητα και «ανθεκτικότητα» στις προβλέψεις τους, έχουν μικρές παραγόμενες αβεβαιότητες και προσεγγίζουν αποτελεσματικότερα σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες μεθόδους, την κατάσταση και φυσική, δυναμική εξέλιξη των παράκτιων περιοχών της συγκεκριμένης μελέτης). Στην περίπτωση που αφαιρείται η ακτογραμμή του 1997 (ακτογραμμή με υψηλή ακρίβεια θέσης) οι αβεβαιότητες και η αναξιόπιστία των τριών μεθόδων αυξάνονται ενώ όταν οι αρχικές αβεβαιότητες ορίζονται στα $\pm 0,5$ μέτρα, τότε οι τρεις μέθοδοι παρουσιάζουν τις χαμηλότερες αβεβαιότητες σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες εφαρμογές για την συγκεκριμένη περιοχή και οι ρυθμοί μεταβολής τους προσεγγίζουν σημαντικά τους ρυθμούς OLS και JK.

- Οι μέθοδοι OLS και JK όπως ήδη αναφέρθηκε, παρουσιάζουν χαμηλές αβεβαιότητες σε όλες τις εφαρμογές σε σχέση με τα αποτελέσματα των υπόλοιπων 9 μεθόδων. Επίσης, οι ρυθμοί μεταβολής των δύο μεθόδων προσεγγίζουν σημαντικά ο ένας τον άλλο και παρουσιάζουν χαμηλές διακυμάνσεις όσον αφορά το σήμα αλλά και τον θόρυβο από εφαρμογή σε εφαρμογή (δηλ., παρόλη την προσθαφαίρεση πληροφορίας, οι ρυθμοί και οι αβεβαιότητες τους δεν μεταβάλλονται σημαντικά). Έτσι, με βάση τη βιβλιογραφία, τα αποτελέσματα εφαρμογής τους στη συγκεκριμένη περιοχή αλλά και την γενικότερη «απόδοσή» τους σε ολόκληρη την μελέτη, οι δύο παραπάνω μέθοδοι κρίνονται ως οι πλέον «συμπαγείς» και αξιόπιστες σε σχέση με τις υπόλοιπες δέκα. Βέβαια, η αποτελεσματικότητα και η αξιοπιστία πρόβλεψης των μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης εξαρτάται άμεσα από την μορφή και τον τρόπο διασποράς και κατανομής των αρχικών δεδομένων. Στην περίπτωση που οι θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών σε μια περιοχή παρουσιάζουν μια σχετική γραμμική μεταβολή (δηλ. συνεχή υποχώρηση ή συνεχή πρόσχωση), τότε οι γραμμικές μέθοδοι όπως είναι και η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων, παράγουν προσεγγιστικά, αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής και ασφαλείς προβλέψεις για το μέλλον. Στην παραπάνω περίπτωση, οι μέθοδοι OLS και Jackknife επαρκούν για να μοντελοποιηθεί η δυναμική του παράκτιου συστήματος.

Αντίθετα, στην περίπτωση παράκτιων περιοχών όπου παρουσιάζονται αλληπάλληλες προσχώσεις και υποχωρήσεις της ακτογραμμής και η μία κατάσταση διαδέχεται την άλλη χωρίς να υπάρχει μια ομαλή εξέλιξη και συμπεριφορά του συστήματος, τότε όλες οι γραμμικές μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής αδυνατούν να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα και προβλέψεις (η γραμμή τάσης της γραμμικής παλινδρόμησης δεν είναι δυνατόν να ενσωματώσει όλα τα διαθέσιμα δεδομένα). Σε περιπτώσεις

όπου ενώ διαχρονικά υπάρχει μια σαφής τάση υποχώρησης της ακτογραμμής, για κάποιο χρονικό διάστημα παρουσιάζεται πρόσχωση (εξαιτίας ενός ακραίου καιρικού φαινομένου ή ανθρώπινης παρέμβασης) και μετά επανέρχεται η τάση υποχώρησης, η θέση αυτή της συγκεκριμένης ιστορικής ακτογραμμής (η θέση πρόσχωσης) εκλαμβάνεται ως «ακραία τιμή» και επηρεάζει σημαντικά, κατά περίπτωση, την ακρίβεια υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής των γραμμικών μεθόδων. Αξίζει να σημειωθεί πως στην πλειοψηφία των περιπτώσεων των παράκτιων περιοχών που εξετάστηκαν στην παρούσα μελέτη, παρουσιαζόταν συνήθως μια σχετική, γραμμική μεταβολή της εκάστοτε ακτογραμμής (είτε υποχώρηση, είτε πρόσχωση), καθιστώντας έτσι τις μεθόδους OLS και JK κατάλληλες και αξιόπιστες (κάτι που αποδεικνύεται και από τα αποτελέσματα) όσον αφορά την πρόβλεψη μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής, παρόλη την ύπαρξη «ακραίων τιμών».

- Οι τρεις μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης οι οποίες χρησιμοποιούν βάρη (RLS, WLS, RWLS) παρουσιάζουν στην πλειοψηφία των εφαρμογών της συγκεκριμένης περιοχής χαμηλές αβεβαιότητες. Παράλληλα όμως, υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίοι διαφέρουν σημαντικά από τους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK και σε αρκετές περιπτώσεις χαρακτηρίζονται εξαιρετικά αναξιόπιστοι. Χαρακτηριστικά, ενώ μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης των -0.42 μέτρων/χρόνο σε συγκεκριμένη εφαρμογή, μέσω των μεθόδων RLS, WLS και RWLS υπολογίζονται αντίστοιχα προσχώσεις (μέσω της μεθόδου RLS υπολογίζεται πρόσχωση +0.72 μέτρων/χρόνο). Το γεγονός ότι οι μέθοδοι OLS και JK (αλλά και οι EPR, AOR και AER) υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής ενώ οι μέθοδοι RLS, WLS, RWLS υπολογίζουν ρυθμούς πρόσχωσης, επαναλαμβάνεται σε αρκετές εφαρμογές της συνολικής μελέτης. Οι μεγάλες αυτές διαφορές μεταξύ των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής που προκύπτουν από τις μεθόδους RLS, WLS και RWLS, σε σχέση με τις υπόλοιπες εκτιμήσεις και ειδικά με τους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK, τις καθιστά ιδιαίτερα αναξιόπιστες στις περισσότερες περιπτώσεις εφαρμογής τους. Η βασική αιτία όπου σε μια περιοχή (όπως η 1_LIT) φαίνεται να παρουσιάζεται στην πραγματικότητα υποχώρηση της ακτογραμμής ενώ μέσω των μεθόδων RLS, WLS και RWLS υπολογίζεται πρόσχωση εντοπίζεται στις σημαντικές αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων (περιορισμένες πηγές δεδομένων-χρονολογίες αεροφωτογραφίσεων και μικρές κλίμακες αεροφωτογραφιών). Οι υψηλές αυτές αβεβαιότητες οι οποίες σε πολλές περιπτώσεις εφαρμογής των υπόλοιπων μεθόδων ευθύνονται για τον υπολογισμό αυξημένων αβεβαιοτήτων και στους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής, στην περίπτωση των RLS, WLS και RWLS δεν αυξάνουν μόνο τις υπολογιζόμενες αβεβαιότητες των ρυθμών μεταβολής αλλά οδηγούν στον υπολογισμό πλήρως αναξιόπιστων ρυθμών. Αυτό ενδέχεται να οφείλεται στη συγκεκριμένη μαθηματική δομή των παραπάνω μεθόδων, όπως επίσης και στην κατανομή των δεδομένων, κατά περίπτωση. Συμπερασματικά, οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από την ύπαρξη «ακραίων τιμών» στα δεδομένα και επομένως χαρακτηρίζονται από έντονη αναξιοπιστία αποτελεσμάτων. Αυτό δεν ισχύει μόνο για την παρούσα υπο-περιοχή στο Λιτόχωρο Περίας, αλλά για το σύνολο των εφαρμογών και για τις 10 περιοχές της μελέτης.

- Οι μέθοδοι LAD και WLAD δεν παρουσιάζουν αβεβαιότητες ως προς τις προβλέψεις τους (με βάση την μεθοδολογία τους που προκύπτει από την βιβλιογραφία). Αυτό όμως δεν αποτελεί ένδειξη της αξιοπιστίας τους καθώς τα αποτελέσματά τους (ιδιαίτερα της WLAD) διαφέρουν σημαντικά από την καταγεγραμμένη ιστορική μεταβολή (διαδοχικές θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών) της συγκεκριμένης ακτογραμμής και από τα αποτελέσματα της μεθόδου OLS σε αρκετές εφαρμογές. Συγκεκριμένα, υπάρχουν εφαρμογές όπου ενώ η πλειοψηφία των αποτελεσμάτων των 10 μεθόδων δηλώνει υποχώρηση της ακτογραμμής, οι μέθοδοι WLAD και RLS εμφανίζουν πρόσχωση. Επομένως, η μέθοδος WLAD κρίνεται γενικώς αναξιόπιστη. Όσον αφορά τη μέθοδο LAD, υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίοι κυμαίνονται γύρω από μια συγκεκριμένη σταθερή τιμή (τα $-0,3$ μέτρα/χρόνο) παρόλη την πρόσθεση/αφαίρεση πληροφορίας ανά εφαρμογή και την μεταβολή των αρχικών αβεβαιοτήτων. Το γεγονός ότι οι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων LAD και WLAD παραμένουν σταθεροί από εφαρμογή σε εφαρμογή επαναλαμβάνεται στο σύνολο των περιοχών της μελέτης. Με βάση τα παραπάνω, οι δύο συγκεκριμένες μέθοδοι κρίνονται ως οι πλέον αναξιόπιστες, για την περιοχή 1_LIT αλλά και για τις υπόλοιπες (ενδέχεται οι δύο συγκεκριμένες μέθοδοι να είναι ακατάλληλες να χρησιμοποιηθούν στην μελέτη της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής των παράκτιων περιοχών του ελλαδικού χώρου εξαιτίας της γενικότερης χαμηλής ακρίβειας των διαθέσιμων πρωτογενών δεδομένων).

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΟΙ 10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (m/yr)										ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
		ΜΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ		ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΡΗ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ		
		EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD	
1_LIT	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	-0.21 +/- 0.68	-0.43 +/- 0.49	-0.35	-0.42 +/- 0.001	-0.46	0.74 +/- 0.12	-0.14 +/- 0.04	-0.13 +/- 0.04	-0.3	-0.3	ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ 0 ΕΩΣ -1 m/yr (Χαμηλή υποχώρηση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	-0.21 +/- 0.43	-0.43 +/- 1.29	-0.35	-0.42 +/- 0.001	-0.46	0.74 +/- 0.12	0.01 +/- 0.03	0.01 +/- 0.03	-0.3	0.44	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	-0.21 +/- 0.19	-0.43 +/- 0.52	-0.35	-0.42 +/- 0.001	-0.46	0.74 +/- 0.12	-0.16 +/- 0.01	-0.15 +/- 0.01	-0.3	0.44	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2 - όχι το 1945)	-0.54 +/- 0.12	-0.59 +/- 1.42	-0.66	-0.56 +/- 0.003	-0.52	1.29 +/- 0.22	-0.13 +/- 0.01	-0.13 +/- 0.01	-1.39	0.45	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5 - όχι το 1997)	-0.60 +/- 1	-0.78 +/- 2.53	-0.66	-0.72 +/- 0.002	-0.85	-0.42 +/- 0.07	-1.22 +/- 0.06	-1.22 +/- 0.06	-0.30	-0.98	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητες +/- 0.5m)	-0.21 +/- 0.02	-0.43 +/- 0.06	-0.35	-0.42 +/- 0.001	-0.46	0.74 +/- 0.12	-0.42 +/- 0.002	-0.42 +/- 0.002	-0.3	-0.3	
	K_1_F (διατομές 1,2,3) (x0.5) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	0.71 +/- 0.43	0.02 +/- 0.31	-2.64	0.33 +/- 0.01	0.29	0.74 +/- 0.43	1.75 +/- 0.09	1.75 +/- 0.09	-0.61	1.00	

Πίνακας 1α : Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής στην παράκτια περιοχή με κωδικό 1_LIT.

4.2.2

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	7_KAT
ΧΑΜΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Γενικά στοιχεία.

Ο κωδικός της παρούσας περιοχής είναι 7_KAT και τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής της περιοχής της Κατερίνης με αριθμό φύλλου 4314.5 [12]. Το μήκος της ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 2.000 μέτρα. Συνολικά έχουν σχεδιαστεί 40 διατομές ανά 50 μέτρα (κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς που έχει προκύψει από το χάρτη της Γ.Υ.Σ. του 1979) και χρησιμοποιούνται 5 διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές έτσι ώστε να υπολογιστεί αρχικά η ιστορική οπισθοχώρηση (ή πρόσκωση) της περιοχής και στη συνέχεια να ακολουθήσουν οι υπολογισμοί πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2050.

Παρακάτω ακολουθεί απόσπασμα χάρτη της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, όπου παρουσιάζεται εντοπισμένη η περιοχή μελέτης :



Εικόνα 25 : Φύλλο χάρτη Γ.Υ.Σ. 1:50.000 «ΚΑΤΕΡΙΝΗ» [102]

Οι ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή 7_KAT είναι οι παρακάτω :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1945 (α/φ κλίμακας 1/42.000)
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1960 (α/φ κλίμακας 1/15.000)
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1979 (χάρτης Γ.Υ.Σ. κλίμακας 1/5.000)
4. Ιστορική ακτογραμμή του 1980 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
5. Ιστορική ακτογραμμή του 1997 (α/φ κλίμακας 1/30.000)

Μεθοδολογία.

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 7_KAT για το σύνολο των 40 διατομών είναι οι παρακάτω (συνολικά 7) :

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,7$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$, εξαιρώντας την ακτογραμμή (μειωμένης ακρίβειας) του 1945.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ακτογραμμή (υψηλής ακρίβειας) του 1995.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με «συνθετικές» αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης του $\pm 0,5$ μέτρου (γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι ιστορικές ακτογραμμές έχουν ενιαία, ιδιαιτέρως υψηλή ακρίβεια θέσης).
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ακτογραμμή (υψηλής ακρίβειας) του 1979 (ακτογραμμή αναφοράς).

Η συγκεκριμένη εφαρμογή (η οποία εκτελέστηκε αποκλειστικά στην περιοχή 7_KAT) είχε ως σκοπό τη μελέτη της επίδρασης αφαίρεσης της ποιοτικότερης ιστορικής ακτογραμμής, στη διαδικασία υπολογισμού των ρυθμών μεταβολής με τις 10 μεθόδους. Κατά αυτόν τον τρόπο, δοκιμάστηκε ουσιαστικά η δυνατότητα υπολογισμού αξιόπιστων ρυθμών μεταβολής από τις 10 μεθόδους, στην περίπτωση που τα αρχικά διαθέσιμα δεδομένα είναι ιστορικές ακτογραμμές που έχουν προκύψει αποκλειστικά από αερ/ίες μικρής κλίμακας (φτωχή ποιοτικά πληροφορία). Άλλωστε, σε όλες τις περιπτώσεις των 10 παράκτιων περιοχών που εξετάστηκαν στη διατριβή, οι ακτογραμμές που προέκυπταν (ως ψηφιοποιημένες οριογραμμές) από τα τοπογραφικά διαγράμματα της Γ.Υ.Σ. των ετών 1978 ή 1979, αποτελούσαν την ποιοτικότερη ιστορική ακτογραμμή λόγω της μεγάλης κλίμακας των διαγραμμάτων και συνεπώς της σχετικά υψηλής ακρίβειας θέσης των σημείων. Η αφαίρεση μιας τόσο «ποιοτικής» ιστορικής ακτογραμμής η οποία προέρχεται από τοπογραφικά διαγράμματα, αναμένεται να υποβαθμίσει συνολικά την αξιοπιστία των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής από όλες τις μεθόδους (κάτι που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα που ακολουθούν).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής παρουσιάζονται στο συγκεντρωτικό πίνακα 2α. Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τους ρυθμούς μεταβολής αλλά και τις προβλέψεις για τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής όπως προκύπτουν από τις 10 βασικές στατιστικές μεθόδους, η συγκεκριμένη περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία «χαμηλής υποχώρησης» (0 έως -1m/yr). Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 2α, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Οι μέθοδοι EPR, AOR και AER (οι τρεις μη στατιστικές μέθοδοι) παράγουν αποτελέσματα με μεγάλες αβεβαιότητες οι οποίες υπερκαλύπτουν σε αρκετές περιπτώσεις και το ίδιο το σήμα. Αυτές οι αβεβαιότητες (EPR, AOR) και η αναξιοπιστία αποτελεσμάτων (AER) μειώνονται όσο βελτιώνεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων. Περαιτέρω βελτίωση των αποτελεσμάτων και μείωση των αβεβαιοτήτων των τριών μη στατιστικών μεθόδων επέρχεται όταν εξαιρείται δοκιμαστικά από τη διαδικασία η ακτογραμμή του 1945 (η οποία εξαιτίας της μικρής κλίμακας της αντίστοιχης αεροφωτογραφίας $-1/42.000-$, διαθέτει και τις μεγαλύτερες αβεβαιότητες θέσης των ψηφιοποιημένων σημείων). Σε αυτήν την περίπτωση οι τρεις μέθοδοι προσεγγίζουν σημαντικά πλέον την πρόβλεψη των

μεθόδων OLS και JK που θεωρούνται οι πλέον αξιόπιστες και αποτελούν δείκτη σύγκρισης όσον αφορά την αξιοπιστία των υπόλοιπων μεθόδων.

Όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945, για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, η εκτίμηση της μεθόδου EPR ταυτίζεται με την αντίστοιχη εκτίμηση των OLS στα -0.13 μέτρα/χρόνο, αν και εξακολουθεί να συνοδεύεται από σφάλμα υπερδιπλάσιο του σήματος, της τάξης των ± 0.26 μέτρων/χρόνο. Επίσης, όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945 και για τις ίδιες αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, το υπολογιζόμενο σφάλμα της μεθόδου AOR τριπλασιάζεται (από ± 0.55 αυξάνεται στα ± 1.52 μέτρα/χρόνο). Αυτό ενδέχεται να οφείλεται στη σημαντική συρρίκνωση του συνολικού διαστήματος παρατήρησης που επέρχεται εξαιρώντας την παλαιότερη ακτογραμμή του 1945 (παρόλο που παρουσιάζει τις υψηλότερες αβεβαιότητες θέσης).

Στην περίπτωση που εξαιρείται η ακτογραμμή του 1997 (ακτογραμμή με υψηλή ακρίβεια θέσης) οι αβεβαιότητες και η αναξιοπιστία των τριών μεθόδων αυξάνονται ενώ όταν οι αρχικές αβεβαιότητες ορίζονται στα $\pm 0,5$ μέτρα, τότε οι τρεις μέθοδοι παρουσιάζουν τις χαμηλότερες αβεβαιότητες σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες εφαρμογές για τη συγκεκριμένη περιοχή και οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής τους προσεγγίζουν σημαντικά τους ρυθμούς των μεθόδων OLS και JK.

- Οι μέθοδοι OLS και JK παρουσιάζουν και στη συγκεκριμένη περιοχή εξαιρετικά χαμηλές αβεβαιότητες (είναι χαρακτηριστικό πως ενώ υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής της τάξης των -0.26 μέτρων/χρόνο, η υψηλότερη τιμή αβεβαιότητας η οποία υπολογίζεται, εξετάζοντας όλες τις εφαρμογές που εκτελέστηκαν στη συγκεκριμένη περιοχή 7_KAT, είναι τα ± 0.003 μέτρα/χρόνο). Επίσης, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των δύο μεθόδων προσεγγίζουν σημαντικά μεταξύ τους και παρουσιάζουν χαμηλές διακυμάνσεις όσον αφορά το σήμα αλλά και το θόρυβο από εφαρμογή σε εφαρμογή (δηλ., παρόλη την προσθαφαίρεση πληροφορίας, οι ρυθμοί και οι αβεβαιότητες τους δεν μεταβάλλονται σημαντικά). Αυτό συμβαίνει με εξαίρεση την εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας και στη συνέχεια διατηρώντας τις ίδιες αβεβαιότητες εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945, όπου και παρατηρείται υποδιπλασιασμός του υπολογιζόμενου ρυθμού μεταβολής των μεθόδων OLS και JK (παρατηρείται μείωση από τα -0.26 στα -0.13 μέτρα/χρόνο) και τριπλασιασμός των αβεβαιοτήτων (αντίστοιχα, παρατηρείται αύξηση από τα ± 0.001 στα ± 0.003 μέτρα/χρόνο).

Επομένως, με βάση την βιβλιογραφία, τα αποτελέσματα εφαρμογής τους στη συγκεκριμένη περιοχή αλλά και τη γενικότερη «απόδοσή» τους σε ολόκληρη τη μελέτη, οι δύο παραπάνω μέθοδοι κρίνονται ως οι πλέον «συμπαγείς» και αξιόπιστες σε σχέση με τις υπόλοιπες 10.

- Οι τρεις μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης οι οποίες χρησιμοποιούν βάρη (RLS, WLS, RWLS) παρουσιάζουν στην πλειοψηφία των εφαρμογών της συγκεκριμένης περιοχής χαμηλές αβεβαιότητες. Παράλληλα όμως, υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίοι διαφέρουν σημαντικά από τους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK και σε αρκετές περιπτώσεις χαρακτηρίζονται εξαιρετικά αναξιόπιστοι. Έτσι, παρόλο που μέσω των τριών μεθόδων

υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης για το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στην περιοχή 7_KAT (σε αντίθεση με την περιοχή 1_LIT που υπήρχαν περιπτώσεις όπου κάποια ή και οι τρεις συγκεκριμένοι μέθοδοι παρά την γενικότερη διαφαινόμενη τάση υποχώρησης της ακτογραμμής εμφάνιζαν προσχωτικές τάσεις), υπάρχουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ των υπολογιζόμενων αυτών ρυθμών. Είναι χαρακτηριστικό πως στην πλειοψηφία των εφαρμογών, μέσω της μεθόδου RLS υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής που προσεγγίζουν το -1 μέτρο/χρόνο, όταν μέσω των μεθόδων WLS και RWLS υπολογίζονται ρυθμοί, για το σύνολο των εφαρμογών, οι οποίοι κυμαίνονται μεταξύ των τιμών -0.10 έως -0.20 μέτρα/χρόνο ενώ παράλληλα ο υπολογιζόμενος ρυθμός μεταβολής της μεθόδου OLS κυμαίνεται μεταξύ των τιμών -0.13 έως -0.30 μέτρα/χρόνο. Αυτό που προκύπτει από τα παραπάνω είναι πως η μέθοδος RLS παρέχει ιδιαίτερα αναξιόπιστες προβλέψεις ενώ μέσω των μεθόδων WLS και RWLS υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίοι προσεγγίζουν σχετικά τους αξιόπιστους ρυθμούς των μεθόδων OLS και JK και μάλιστα συνοδεύονται από χαμηλές αβεβαιότητες της τάξης των ± 0.05 μέτρων/χρόνο (κατά μέσο όρο). Με βάση τη μελέτη των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτει το συμπέρασμα πως στη συγκεκριμένη περιοχή 7_KAT, σε αντίθεση με την περιοχή 1_LIT, οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη WLS και RWLS έχουν μια σχετικά, ικανοποιητική απόδοση (για το σύνολο των 7 εφαρμογών των 10 μεθόδων).

Το γεγονός της αστοχίας εφαρμογής της μεθόδου RLS ενδέχεται να προκαλείται από τις χαμηλές ακρίβειες των πρωτογενών δεδομένων (περιορισμένες πηγές δεδομένων-χρονολογίες αεροφωτογραφίσεων και μικρές κλίμακες αεροφωτογραφιών). Συμπερασματικά, παρόλο που οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από την ύπαρξη «ακραίων τιμών» στα δεδομένα και επομένως χαρακτηρίζονται συχνά από έντονη αναξιοπιστία αποτελεσμάτων, υπάρχουν περιπτώσεις όπως η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, όπου ενδέχεται εξαιτίας της κατάλληλης διασποράς των δεδομένων ή συμπτώσεως των μαθηματικών υπολογισμών, να υπολογίζονται αξιοποιήσιμοι και σχετικά αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής. Το γεγονός ότι τα αποτελέσματα εφαρμογής των μεθόδων WLS και RWLS οριακά ταυτίζονται (όπως αντίστοιχα και τα αποτελέσματα των μεθόδων OLS και JK) δεν παρατηρείται αποκλειστικά στις εφαρμογές της περιοχής 7_KAT αλλά και στις υπόλοιπες περιοχές της μελέτης.

- Οι μέθοδοι LAD και WLAD δεν παρουσιάζουν αβεβαιότητες ως προς τις προβλέψεις τους (με βάση την μεθοδολογία τους που προκύπτει από την θεωρία). Αυτό όμως δεν αποτελεί ένδειξη της αξιοπιστίας τους καθώς τα αποτελέσματά τους διαφέρουν σημαντικά από την καταγεγραμμένη ιστορική μεταβολή (διαδοχικές θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών) της συγκεκριμένης ακτογραμμής και από τα αποτελέσματα της μεθόδου OLS σε αρκετές εφαρμογές. Μάλιστα, στο σύνολο των εφαρμογών και ενώ μέσω των υπόλοιπων 8 μεθόδων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της ακτογραμμής, οι μέθοδοι LAD και WLAD εμφανίζουν σε όλες τις περιπτώσεις πρόσχωση (η οποία κυμαίνεται από 0,5 έως 1 μέτρα/χρόνο). Έτσι, συμπερασματικά, οι δύο παραπάνω μέθοδοι κρίνονται ως οι πλέον αναξιόπιστες όσον αφορά τις 10 διαθέσιμες μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής (ιδιαίτερα για τις εφαρμογές της περιοχής 7_KAT).

7_KAT	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	-0.28 +/- 1	-0.36 +/- 1.84	-0.54	-0.26 +/- 0.001	-0.25	-0.95 +/- 0.002	-0.14 +/- 0.07	-0.14 +/- 0.07	0.61	0.47
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	-0.28 +/- 0.72	-0.36 +/- 1.38	-0.54	-0.26 +/- 0.001	-0.25	-0.95 +/- 0.002	-0.15 +/- 0.05	-0.14 +/- 0.05	0.61	0.47
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	-0.28 +/- 0.29	-0.36 +/- 0.55	-0.54	-0.26 +/- 0.001	-0.25	-0.95 +/- 0.002	-0.15 +/- 0.02	-0.14 +/- 0.02	0.61	0.47
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2 - όχι το 1945)	-0.13 +/- 0.26	-0.33 +/- 1.52	-0.51	-0.13 +/- 0.003	-0.13	-0.95 +/- 0.002	-0.09 +/- 0.02	-0.09 +/- 0.02	0.55	0.29
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5 - όχι το 1995)	-0.35 +/- 1.03	-0.47 +/- 2.71	-0.68	-0.30 +/- 0.002	-0.27	-1.21 +/- 0.02	-0.14 +/- 0.06	-0.14 +/- 0.06	0.61	0.29
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητες +/- 0.5 m)	-0.28 +/- 0.02	-0.36 +/- 0.06	-0.54	-0.26 +/- 0.001	-0.25	-0.95 +/- 0.002	-0.26 +/- 0.002	-0.24 +/- 0.002	0.61	0.62
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5 - όχι 1979)	-0.28 +/- 0.72	-0.28 +/- 0.56	-0.30	-0.26 +/- 0.002	-0.25	-1.13 +/- 0.02	-0.19 +/- 0.06	-0.19 +/- 0.06	0.71	0.7
	K_1_F (διατομές 1,2,3) (x0.5) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-1.15 +/- 0.72	-1.06 +/- 0.38	-1.13	-1.10 +/- 0.01	-1.07	-0.95 +/- 0.01	-0.89 +/- 0.19	-0.87 +/- 0.20	-0.99	-0.97
K_2_F (διατομές 1,2,3) (x0.5 - όχι 1979) (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-1.15 +/- 0.72	-1.13 +/- 0.15	-1.20	-1.09 +/- 0.01	-1.07	-1.13 +/- 0.06	-0.94 +/- 0.23	-0.94 +/- 0.23	-1.16	-0.78	

ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ 0 ΕΩΣ -1 m/yr (Χαμηλή υποχώρηση)

Πίνακας 2α : Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής στην παράκτια περιοχή με κωδικό 7_KAT.

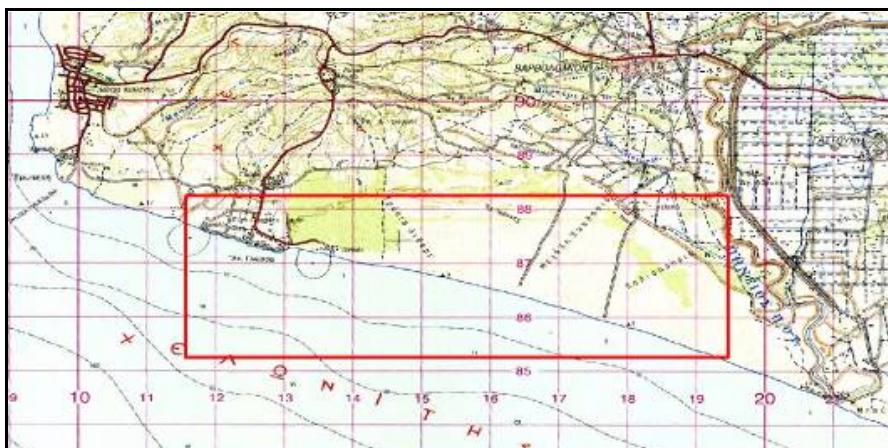
4.2.3

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	8_BAR
ΧΑΜΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Γενικά στοιχεία.

Ο κωδικός της παρούσας περιοχής είναι 8_BAR και τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής της περιοχής στο Βαρθολομίο Ηλείας. Το μήκος της ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 800 μέτρα [30]. Συνολικά έχουν σχεδιαστεί 15 διατομές ανά 50 μέτρα και χρησιμοποιούνται 5 διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές έτσι ώστε να υπολογιστεί αρχικά η ιστορική οπισθοχώρηση (ή πρόσχωση) της περιοχής και στη συνέχεια να ακολουθήσουν οι υπολογισμοί πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2050.

Παρακάτω ακολουθεί απόσπασμα χάρτη της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, όπου παρουσιάζεται εντοπισμένη η περιοχή μελέτης :



Εικόνα 26 : Φύλλο χάρτη Γ.Υ.Σ. 1:50.000 «ΒΑΡΘΟΛΟΜΙΟ» [102]

Οι ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή 8_BAR είναι οι παρακάτω :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1945 (α/φ κλίμακας 1/42.000)
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1960 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1972 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
4. Ιστορική ακτογραμμή του 1987 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
5. Ιστορική ακτογραμμή του 2000 (α/φ κλίμακας 1/8.000)

Μεθοδολογία.

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 8_BAR είναι οι παρακάτω (συνολικά 6) :

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιότητας x0,7.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιότητας x0,5.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιότητας x0,2.

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$, εξαιρώντας την ακτογραμμή (μειωμένης ακρίβειας) του 1945.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ακτογραμμή (υψηλής ακρίβειας) του 2000.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με «συνθετικές» αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης του ± 0.5 μέτρου (γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι ιστορικές ακτογραμμές έχουν ενιαία, ιδιαίτερος υψηλή ακρίβεια θέσης).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής παρουσιάζονται στον συγκεντρωτικό πίνακα 3α. Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τους ρυθμούς μεταβολής αλλά και τις προβλέψεις για τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής όπως προκύπτουν από τις 10 βασικές στατιστικές μεθόδους, η συγκεκριμένη περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία «χαμηλής υποχώρησης» (0 έως -1m/yr). Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 3α, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Όλες οι μέθοδοι με εξαίρεση τις μεθόδους OLS και JK (οι οποίες θεωρούνται και οι πιο αξιόπιστες στην παρούσα μελέτη) υπολογίζουν ρυθμούς πρόσχωσης της ακτογραμμής για τις πρώτες τρεις εφαρμογές με ακρίβειες της τάξης των 0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας. Οι ρυθμοί αυτοί πρόσχωσης παραμένουν εντελώς αμετάβλητοι για την κάθε μέθοδο στις τρεις πρώτες εφαρμογές και κυμαίνονται από την τιμή των $+0.01$ μέτρων/χρόνο για την μέθοδο WLS έως την τιμή των $+0.26$ μέτρων/χρόνο για την μέθοδο WLAD (ενώ μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται συστηματικά υποχώρηση της τάξης των -0.01 μέτρων/χρόνο).

Το γεγονός ότι μέσω των αξιόπιστων μεθόδων OLS και JK υπολογίζεται οριακή υποχώρηση της ακτογραμμής ενώ μέσω όλων των υπολοίπων υπολογίζεται σταθερή, οριακή πρόσχωση ενδέχεται να οφείλεται στις χαμηλές ακρίβειες των πρωτογενών δεδομένων (στη συγκεκριμένη περιοχή οι διαθέσιμες αεροφωτογραφίες με εξαίρεση αυτή του 2000, είναι όλες ιδιαίτερα μικρής κλίμακας και επομένως οι θέσεις των ψηφιοποιημένων ιστορικών ακτογραμμών παρουσιάζουν σημαντικές αβεβαιότητες). Ακόμα, πρόσθετες αιτίες ενδέχεται να είναι η διασπορά των διαθέσιμων δεδομένων ή ακόμη και οι συμπτώσεις των μαθηματικών υπολογισμών. Βέβαια, οι ρυθμοί πρόσχωσης αλλά και οι ρυθμοί υποχώρησης που υπολογίζονται από τις δέκα στατιστικές μεθόδους, κυμαίνονται κοντά στο 0 (η 8_BAR χαρακτηρίζεται ως μια σχετικά «σταθερή» περιοχή) και επομένως οι πραγματικές αποκλίσεις των εκτιμήσεων των 10 μεθόδων (με εξαίρεση τις μόνιμα αναξιόπιστες μεθόδους LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται οι υψηλότερες προσχώσεις) δεν κρίνονται σημαντικές.

- Επίσης, είναι χαρακτηριστικό ότι ενώ μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων στις πρώτες τρεις εφαρμογές, οι ρυθμοί μεταβολής και των 10 μεθόδων παραμένουν σχεδόν αμετάβλητοι ενώ μειώνονται τα σφάλματά τους. Μέσω των μεθόδων EPR, AOR και AER (οι τρεις μη στατιστικές μέθοδοι) υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι υπερκαλύπτουν σε αρκετές περιπτώσεις από τις υψηλές αβεβαιότητές τους. Αυτές οι αβεβαιότητες μειώνονται όσο

βελτιώνεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων (ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών). Βέβαια, ακόμη και στην περίπτωση που οι αβεβαιότητες ορίζονται στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (δηλ. για αεροφωτογραφία με κλίμακα 1/30.000 ορίζεται ακρίβεια θέσης $30 \times 0,2 = \pm 6$ μέτρα), οι αβεβαιότητες στους ρυθμούς μεταβολής των τριών παραπάνω μεθόδων είναι αρκετά υψηλές, καθιστώντας τις τελικώς αναξιόπιστες.

Περαιτέρω βελτίωση των αποτελεσμάτων και μείωση των αβεβαιοτήτων των τριών μη στατιστικών μεθόδων επέρχεται όταν εξαιρείται δοκιμαστικά από τη διαδικασία η ακτογραμμή του 1945 (η οποία εξαιτίας της μικρής κλίμακας της αντίστοιχης αεροφωτογραφίας διαθέτει και τις μεγαλύτερες αβεβαιότητες θέσης). Σε αυτήν την περίπτωση οι μέθοδοι EPR, AOR, και AER προσεγγίζουν σημαντικά πλέον την πρόβλεψη των μεθόδων OLS και JK που θεωρούνται οι πλέον αξιόπιστες και αποτελούν δείκτη σύγκρισης όσον αφορά την αξιοπιστία των υπόλοιπων μεθόδων (αυτό συμβαίνει επειδή όπως έχει ήδη αναφερθεί, οι μέθοδοι OLS και JK παρουσιάζουν μια σταθερότητα και «ανθεκτικότητα» στις προβλέψεις τους, έχουν μικρές παραγόμενες αβεβαιότητες και προσεγγίζουν αποτελεσματικότερα σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες μεθόδους, την κατάσταση και φυσική, δυναμική εξέλιξη των παράκτιων περιοχών της συγκεκριμένης μελέτης). Είναι χαρακτηριστικό πως οι εκτιμήσεις των μεθόδων EPR και AOR (-0.11 μέτρα/χρόνο), όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945, για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, οριακά ταυτίζονται με την αντίστοιχη εκτίμηση των OLS στα -0.09 μέτρα/χρόνο, αν και εξακολουθούν να συνοδεύονται από αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,18$ μέτρων/χρόνο. Επίσης, στην περίπτωση που εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945 και για τις ίδιες αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, μεταβάλλονται σημαντικά οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής (το σήμα) για όλες τις μεθόδους (όπως ήδη αναφέρθηκε, η εκτίμηση της μεθόδου EPR από πρόσχωση +0.06 μεταβάλλεται σε υποχώρηση -0.11, των OLS παρουσιάζεται αύξηση της υποχώρησης από τα -0.01 στα -0.09 μέτρα/χρόνο και η εκτίμηση της μεθόδου RWLS από πρόσχωση +0.01 μεταβάλλεται πλέον σε υποχώρηση -0.02 μέτρων/χρόνο). Επομένως, η εξαίρεση της ακτογραμμής του 1945 επηρέασε σημαντικά τις διακυμάνσεις των αβεβαιοτήτων των μεθόδων αλλά παράλληλα μετέβαλε και σημαντικά τις βασικές τους εκτιμήσεις (στη συγκεκριμένη εφαρμογή, 7 μέθοδοι υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής ενώ στην αντίστοιχη εφαρμογή όπου ορίστηκαν ίδιες αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας περιλαμβάνοντας και την ακτογραμμή του 1945, 8 μέθοδοι υπολόγιζαν ρυθμούς πρόσχωσης και μόνο οι μέθοδοι OLS και JK υπολόγιζαν ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής).

Στην περίπτωση που εξαιρείται η ακτογραμμή του 2000 (ακτογραμμή με υψηλή ακρίβεια θέσης) οι αβεβαιότητες και η αναξιοπιστία των τριών μεθόδων EPR, AOR και AER αυξάνονται σημαντικά ενώ όταν οι αρχικές αβεβαιότητες ορίζονται στα $\pm 0,5$ μέτρα, τότε οι τρεις μέθοδοι παρουσιάζουν τις χαμηλότερες αβεβαιότητες σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες εφαρμογές για τη συγκεκριμένη περιοχή και οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής τους προσεγγίζουν σημαντικά τους ρυθμούς των μεθόδων OLS και JK (η μέθοδος EPR εξακολουθεί να υπολογίζει ιδιαίτερα χαμηλό ρυθμό πρόσχωσης ενώ ο ρυθμός μεταβολής της AOR ταυτίζεται με τον αντίστοιχο των OLS στα -0.01 μέτρα/χρόνο). Επομένως, είναι προφανές πως η

αξιοπιστία πρόβλεψης των τριών αυτών μεθόδων εξαρτάται και επηρεάζεται σημαντικά από τις αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων.

- Οι μέθοδοι OLS και JK παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλές αβεβαιότητες σε όλες τις εφαρμογές (είναι χαρακτηριστικό πως ενώ υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής της τάξης των -0.01 μέτρων/χρόνο, η υψηλότερη τιμή αβεβαιοτήτων η οποία υπολογίζεται, ξεετάζοντας όλες τις εφαρμογές που εκτελέστηκαν στη συγκεκριμένη περιοχή 8_BAR, είναι τα ± 0.004 μέτρα/χρόνο). Επίσης, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των δύο μεθόδων προσεγγίζουν σημαντικά μεταξύ τους και παρουσιάζουν χαμηλές διακυμάνσεις όσον αφορά το σήμα αλλά και τον θόρυβο από εφαρμογή σε εφαρμογή (δηλ., παρόλη την προσθαφαίρεση πληροφορίας, οι ρυθμοί και οι αβεβαιότητες τους δεν μεταβάλλονται σημαντικά). Αυτό συμβαίνει με εξαίρεση τις εφαρμογές όπου δεν χρησιμοποιούνται οι ακτογραμμές του 1945 και του 2000, όπου και παρατηρείται σημαντική αύξηση του υπολογιζόμενου ρυθμού μεταβολής των μεθόδων OLS και JK Συγκεκριμένα, παρατηρείται αύξηση από τα -0.01 στα -0.09 μέτρα/χρόνο (εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945) και στα -0.05 μέτρα/χρόνο (εξαιρείται η ακτογραμμή του 2000) αντίστοιχα και παράλληλη αύξηση των αβεβαιοτήτων [από τα ± 0.002 αυξάνονται στα ± 0.004 μέτρα/χρόνο (είτε αφαιρείται η ακτογραμμή του 1945 είτε αυτή του 2000)].

Επομένως, με βάση την βιβλιογραφία, τα αποτελέσματα εφαρμογής τους στη συγκεκριμένη περιοχή αλλά και την γενικότερη «απόδοσή» τους σε ολόκληρη την μελέτη, οι δύο παραπάνω μέθοδοι κρίνονται ως οι πλέον «συμπαγείς» και αξιόπιστες σε σχέση με τις υπόλοιπες 10.

- Οι τρεις μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης οι οποίες χρησιμοποιούν βάρη (RLS, WLS, RWLS) παρουσιάζουν στην πλειοψηφία των εφαρμογών της συγκεκριμένης περιοχής χαμηλές αβεβαιότητες οι οποίες κυμαίνονται από ± 0.03 έως ± 0.15 μέτρα/χρόνο). Παράλληλα όμως, υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίοι διαφέρουν σημαντικά από τους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK και σε αρκετές περιπτώσεις χαρακτηρίζονται εξαιρετικά αναξιόπιστοι. Έτσι, μέσω της συνήθως προβληματικής μεθόδου RLS υπολογίζονται σε όλες τις εφαρμογές ρυθμοί πρόσχωσης της τάξης των $+0.13$ μέτρων χρόνο (το εύρος των εκτιμήσεων κυμαίνεται μεταξύ των $+0.13$ μέτρων/χρόνο και $+0.06$ μέτρων/χρόνο, όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 2000). Οι αβεβαιότητες της μεθόδου RLS δεν παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις ανά εφαρμογή παρόλη την προσθαφαίρεση πληροφορίας (κυμαίνονται μεταξύ των ± 0.03 και ± 0.05 μέτρων/χρόνο). Όσον αφορά τις μεθόδους WLS και RWLS, των οποίων οι ρυθμοί μεταβολής οριακά ταυτίζονται σε κάθε εφαρμογή (όπως παρατηρήθηκε και στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης οι οποίες ξεετάστηκαν) υπολογίζουν ακριβώς τον ίδιο ρυθμό χαμηλής πρόσχωσης για τις εφαρμογές με ακρίβειες 0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας ($+0.01$ μέτρα/χρόνο), με αβεβαιότητες οι οποίες κλιμακωτά μειώνονται (από τα ± 0.09 μειώνονται στα ± 0.07 και τελικώς στα ± 0.03 μέτρα/χρόνο). Στην περίπτωση που εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945, μέσω των μεθόδων WLS και RWLS υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -0.02 ± 0.03 μέτρων χρόνο (όταν αντίστοιχα μέσω των OLS υπολογίζεται υποχώρηση -0.09 ± 0.004 μέτρων/χρόνο), ενώ όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 2000, υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -0.10 ± 0.15 μέτρων/χρόνο (όταν

μέσω των OLS υπολογίζεται υποχώρηση -0.05 ± 0.004 μέτρων/χρόνο). Στην εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται οι αρχικές, χαμηλές αβεβαιότητες των ± 0.5 μέτρων, οι εκτιμήσεις των μεθόδων WLS και RWLS (-0.01 και -0.002 αντίστοιχα με αβεβαιότητες ± 0.003 μέτρων/χρόνο) οριακά ταυτίζονται με την εκτίμηση των OLS (-0.01 ± 0.002 μέτρα/χρόνο). Από τα παραπάνω προκύπτει ότι στην περίπτωση που μειώνονται σημαντικά οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων, μέσω των μεθόδων WLS και RWLS υπολογίζονται σχετικά αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής με χαμηλές αβεβαιότητες, οι οποίοι προσεγγίζουν τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK (το γεγονός αυτό παρατηρείται στην παρούσα περιοχή 8_BAR αλλά και στις δύο προηγούμενες περιοχές που εξετάστηκαν).

Το γεγονός της αστοχίας εφαρμογής της μεθόδου RLS (μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου υπολογίζονται μονίμως ρυθμοί πρόσχωσης στη συγκεκριμένη περιοχή) ενδέχεται να προκαλείται από τις χαμηλές ακρίβειες των πρωτογενών δεδομένων (περιορισμένες πηγές δεδομένων-χρονολογίες αεροφωτογραφίσεων και μικρές κλίμακες αεροφωτογραφιών). Συμπερασματικά, παρόλο που οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από την ύπαρξη «ακραίων τιμών» στα δεδομένα και επομένως χαρακτηρίζονται συχνά από έντονη αναξιοπιστία αποτελεσμάτων, υπάρχουν περιπτώσεις όπως η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, όπου ενδέχεται εξαιτίας της κατάλληλης διασποράς των δεδομένων ή συμπτώσεως των μαθηματικών υπολογισμών, να υπολογίζονται αξιοποιήσιμοι και σχετικά αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής. Το γεγονός ότι τα αποτελέσματα εφαρμογής των μεθόδων WLS και RWLS οριακά ταυτίζονται (όπως αντίστοιχα και τα αποτελέσματα των μεθόδων OLS και JK) δεν παρατηρείται αποκλειστικά στις εφαρμογές της περιοχής 8_BAR αλλά και στις υπόλοιπες περιοχές της μελέτης.

- Οι μέθοδοι LAD και WLAD δεν παρουσιάζουν αβεβαιότητες ως προς τις προβλέψεις τους αλλά αυτό δεν αποτελεί ένδειξη της αξιοπιστίας τους καθώς τα αποτελέσματά τους διαφέρουν σημαντικά από την καταγεγραμμένη ιστορική μεταβολή (διαδοχικές θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών) της συγκεκριμένης ακτογραμμής αλλά και από τα αποτελέσματα της μεθόδου OLS. Είναι χαρακτηριστικό πως στο σύνολο των εφαρμογών και ενώ μέσω των υπόλοιπων 8 μεθόδων υπολογίζονται κυρίως ρυθμοί χαμηλής πρόσχωσης της ακτογραμμής ή ακόμη και υποχώρησης, οι μέθοδοι LAD και WLAD υπολογίζουν σε όλες τις περιπτώσεις ρυθμούς πρόσχωσης της τάξης των $+0.25$ μέτρων/χρόνο. Έτσι, συμπερασματικά, οι δύο παραπάνω μέθοδοι κρίνονται ως οι πλέον αναξιόπιστες όσον αφορά τις 10 διαθέσιμες μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής.

8_BAR	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	0.06 +/- 0.65	0.14 +/- 1.16	0.03	-0.01 +/- 0.002	-0.02	0.13 +/- 0.03	0.01 +/- 0.09	0.01 +/- 0.09	0.25	0.26
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	0.06 +/- 0.46	0.14 +/- 0.83	0.03	-0.01 +/- 0.002	-0.02	0.13 +/- 0.03	0.01 +/- 0.07	0.01 +/- 0.07	0.25	0.26
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	0.06 +/- 0.18	0.14 +/- 0.33	0.03	-0.01 +/- 0.002	-0.02	0.13 +/- 0.03	0.01 +/- 0.03	0.01 +/- 0.03	0.25	0.26
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2 - όχι το 1945)	-0.11 +/- 0.19	-0.11 +/- 0.17	-0.14	-0.09 +/- 0.004	-0.09	0.07 +/- 0.05	-0.02 +/- 0.03	-0.02 +/- 0.03	0.26	0.27
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5 - όχι το 2000)	0.001 +/- 0.86	0.17 +/- 1.28	-0.05	-0.05 +/- 0.004	-0.08	0.06 +/- 0.04	-0.10 +/- 0.15	-0.10 +/- 0.15	0.24	0.25
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητες +/- 0.5 m)	0.06 +/- 0.02	-0.01 +/- 0.01	0.03	-0.01 +/- 0.002	-0.02	0.13 +/- 0.03	-0.01 +/- 0.003	-0.002 +/- 0.003	0.25	0.25

ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ 0 ΕΩΣ -1 m/yr
(Χαμηλή υποχώρηση)

Πίνακας 3α : Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής στην παράκτια περιοχή με κωδικό 8_BAR.

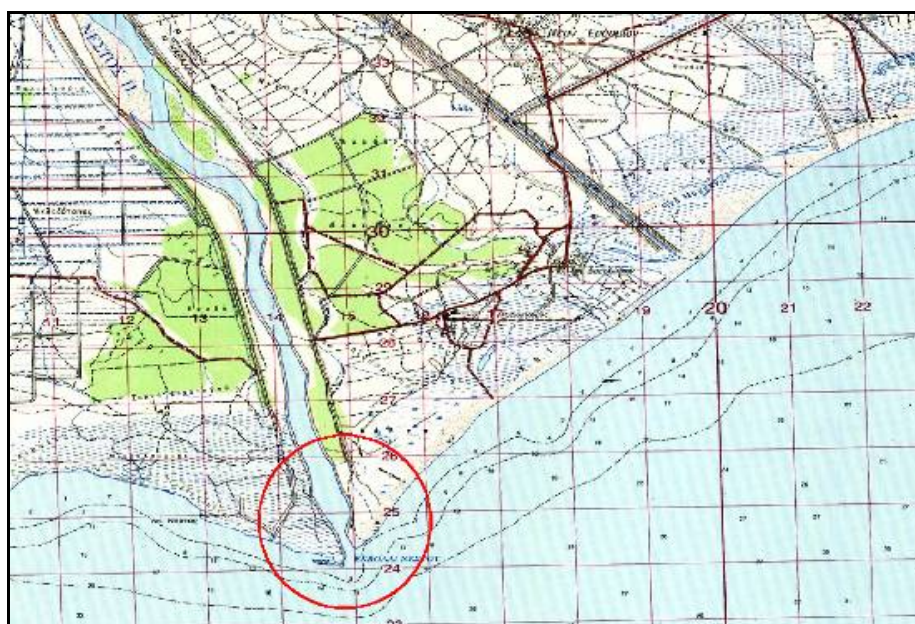
4.2.4

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	4_NES
ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (-1 έως - 3 m/yr)	

Γενικά στοιχεία.

Ο κωδικός της παρούσας περιοχής είναι 4_NES και τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής των εκβολών του ποταμού Νέστου. Το μήκος της ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 6.600 μέτρα [21]. Συνολικά έχουν σχεδιαστεί 66 διατομές ανά 100 μέτρα (κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς που έχει προκύψει από το τοπογραφικό διάγραμμα του 1976 κλίμακας 1:5.000) και χρησιμοποιούνται 7 διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές έτσι ώστε να υπολογιστεί αρχικά η ιστορική οπισθοχώρηση (ή πρόσκωση) της περιοχής και στη συνέχεια να ακολουθήσουν οι υπολογισμοί πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2050.

Παρακάτω ακολουθεί απόσπασμα χάρτη της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, όπου παρουσιάζεται εντοπισμένη η περιοχή μελέτης :



Εικόνα 27 : Φύλλο χάρτη Γ.Υ.Σ. 1:50.000 «ΑΒΔΗΡΑ» [102]

Οι ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή 4_NES είναι οι παρακάτω :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1969 (α/φ κλίμακας 1/40.000)
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1976 (τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1/5.000)
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1978 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
4. Ιστορική ακτογραμμή του 1985 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
5. Ιστορική ακτογραμμή του 1990 (α/φ κλίμακας 1/20.000)
6. Ιστορική ακτογραμμή του 1992 (α/φ κλίμακας 1/15.000)
7. Ιστορική ακτογραμμή του 1995 (α/φ κλίμακας 1/1.000)

Μεθοδολογία.

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 4_NES είναι οι παρακάτω (συνολικά 6) :

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,7.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων: x0,5.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2, εξαιρώντας την ακτογραμμή (μειωμένης ακρίβειας) του 1969.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,5, εξαιρώντας την ακτογραμμή (υψηλής ακρίβειας) του 1995.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με «συνθετικές» αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης των ± 0.5 μέτρων (γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι ιστορικές ακτογραμμές έχουν ενιαία, ιδιαιτέρως υψηλή ακρίβεια θέσης).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής παρουσιάζονται στο συγκεντρωτικό πίνακα 4α. Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τους ρυθμούς μεταβολής αλλά και τις προβλέψεις για τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής όπως προκύπτουν από τις 10 βασικές στατιστικές μεθόδους, η συγκεκριμένη περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία «μεσαίας υποχώρησης» (-1 έως -3 m/yr). Στη συγκεκριμένη κατηγορία κατατάσσονται συνολικά 2 από τις 10 περιοχές που εξετάζονται στην διατριβή. Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 4α, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Οι μέθοδοι EPR, AOR και AER (οι τρεις μη στατιστικές μέθοδοι) παράγουν αποτελέσματα με μεγάλες αβεβαιότητες οι οποίες υπερκαλύπτουν σε αρκετές περιπτώσεις και το ίδιο το σήμα. Αυτές οι αβεβαιότητες (EPR, AOR) και η αναξιοπιστία αποτελεσμάτων (AER) μειώνονται όσο βελτιώνεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων (ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών). Βέβαια, ακόμη και στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, ακόμη και τότε οι αβεβαιότητες πρόβλεψης των τριών παραπάνω μεθόδων είναι αρκετά υψηλές, καθιστώντας τις τελικώς αναξιόπιστες. Επίσης, στην περιοχή 4_NES παρατηρείται ότι οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των τριών πρώτων μεθόδων EPR, AOR και AER παραμένουν αμετάβλητοι στις τρεις πρώτες εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων.

Συγκεκριμένα, οι μέθοδοι EPR και AOR υπολογίζουν υποχώρηση της τάξης των -3.18 και -0.58 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα όταν οι μέθοδοι OLS και JK (των οποίων οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής παραμένουν και αυτοί αμετάβλητοι κατά τις τρεις πρώτες εφαρμογές) υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης της τάξης των -1.60 και -1.42 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα. Βέβαια, παρόλο που δεν μεταβάλλονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί ενώ μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες, μειώνονται όμως σημαντικά τα σφάλματα εκτιμήσεως των ίδιων των μεθόδων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως το σφάλμα του υπολογιζόμενου ρυθμού της μεθόδου EPR μειώνεται συνεχώς από την αρχική τιμή των ± 1.10 μέτρων/χρόνο (για

αβεβαιότητες της τάξης των 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) στα ± 0.79 μέτρα χρόνο (για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας) και τελικώς καταλήγει στα ± 0.32 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας). Αντίθετα, μέσω της μεθόδου AER (μέθοδος μειωμένης αξιοπιστίας) υπολογίζεται σταθερή πρόσχωση για τις τρεις πρώτες εφαρμογές της τάξης των $+0.08$ μέτρων/χρόνο (η συγκεκριμένη εκτίμηση αποκλίνει εντελώς από την αντίστοιχη εκτίμηση των OLS).

- Μέσω των μεθόδων OLS και JK υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της ακτογραμμής της τάξης των -1.60 μέτρων/χρόνο οι οποίοι συγκλίνουν σημαντικά μεταξύ τους και στην παρούσα περιοχή μελέτης (όπως παρατηρήθηκε και στις τρεις προηγούμενες περιοχές). Επίσης, (όπως παρατηρήθηκε και για τις εκτιμήσεις των μεθόδων EPR, AOR και AER) οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των OLS και JK παραμένουν σταθεροί για κάθε μέθοδο, παρόλο που κλιμακωτά μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες (όσον αφορά την μέθοδο OLS, παραμένουν σταθερές και οι υπολογιζόμενες αβεβαιότητες της για τις τρεις πρώτες εφαρμογές στην τιμή των -0.001 μέτρων/χρόνο).
- Οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη RLS, WLS και RWLS στην περιοχή 4_NES αποκλίνουν σημαντικά από τους αντίστοιχους ρυθμούς των OLS για τις τρεις πρώτες εφαρμογές. Έτσι, ενώ μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται μια μέτρια υποχώρηση της ακτογραμμής, οι τρεις μέθοδοι που χρησιμοποιούν βάρη υπολογίζουν πρόσχωση της ακτογραμμής που κυμαίνεται από τα $+2.5$ έως τα $+3$ μέτρα/χρόνο (υψηλή πρόσχωση). Το γεγονός ότι οι αβεβαιότητες τους είναι σχετικά χαμηλές δεν αποτελεί ένδειξη της αξιοπιστίας τους καθώς αποκλίνουν σημαντικά από την καταγεγραμμένη, γενικότερη τάση υποχώρησης της περιοχής. Η αστοχία αυτή ήταν αναμενόμενη όσον αφορά την μέθοδο RLS μέσω της οποίας στην πλειοψηφία των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης, υπολογίζονταν συστηματικά αναξιόπιστα αποτελέσματα. Αντίθετα, οι μέθοδοι WLS και RWLS υπήρχαν περιπτώσεις σε προηγούμενες περιοχές όπου οι εκτιμήσεις τους ήταν σχετικά αξιοποιήσιμες. Έτσι, στην περιοχή 4_NES και οι μέθοδοι WLS και RWLS αποδεικνύονται αναξιόπιστες με βάση τα αποτελέσματα εφαρμογής τους.
- Όσον αφορά τις συνήθως προβληματικές μεθόδους LAD και WLAD, στις τρεις πρώτες εφαρμογές (όπου και παραμένει σταθερός ο υπολογιζόμενος ρυθμός μεταβολής της κάθε μεθόδου) εξακολουθούν να παρέχουν αναξιόπιστες εκτιμήσεις (μέσω της μεθόδου LAD υπολογίζεται οριακή υποχώρηση της τάξης των -0.01 μέτρων/χρόνο και μέσω της μεθόδου WLAD υπολογίζεται πρόσχωση της τάξης του $+1$ μέτρου/χρόνο) οι οποίες αποκλίνουν σημαντικά από τις εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK.
- Στην περίπτωση που εξαιρείται η ακτογραμμή του 1969 (η οποία προέρχεται ως ψηφιοποιημένη οριογραμμή από αεροφωτογραφία ιδιαίτερας μικρής κλίμακας) και ενώ θα ήταν αναμενόμενο να υπάρξει βελτίωση των εκτιμήσεων όλων των μεθόδων και μείωση των αβεβαιότητων τους, συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο. Εξαιρώντας την ακτογραμμή του 1969, όλες οι μέθοδοι (με εξαίρεση την μέθοδο LAD) υπολογίζουν πλέον ρυθμούς πρόσχωσης οι οποίοι κυμαίνονται μεταξύ των $+2$ μέτρων/χρόνο (ρυθμός μεταβολής της μεθόδου JK) και των $+4.23$ μέτρων/χρόνο (ρυθμός μεταβολής της μεθόδου AER). Είναι προφανές πως

εξαιρώντας τη συγκεκριμένη ακτογραμμή μπορεί να εξαιρέθηκαν πρωτογενή δεδομένα με μεγάλες αβεβαιότητες θέσης, επηρεάστηκε όμως σημαντικά η γενικότερη διασπορά των διαθέσιμων δεδομένων (στην περίπτωση εφαρμογής των OLS η ευθεία τάσης της μεθόδου προσαρμόζεται πλέον εσφαλμένα στη νέα ομάδα δεδομένων που δημιουργήθηκε). Παράλληλα, μειώθηκε ο διαθέσιμος όγκος δεδομένων και συρρικνώθηκε ουσιαστικά το συνολικό διάστημα παρατήρησης, καθιστώντας έτσι και τις δέκα στατιστικές μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, πλήρως αναξιόπιστες. Επομένως, απαιτείται προσοχή όταν εξαιρείται ή ακόμα και προστίθεται πληροφορία στη διαδικασία μελέτης μιας παράκτιας περιοχής, ανεξάρτητα των αβεβαιοτήτων της, καθώς ενδέχεται να επηρεαστεί η προϊστορία της και να είναι αδύνατον να μοντελοποιηθεί η δυναμική της ρεαλιστικά με τις υπάρχουσες μεθόδους.

- Στην περίπτωση που εξαιρείται η ακτογραμμή του 1995 (ακτογραμμή με υψηλή ακρίβεια θέσης), οι 6 μέθοδοι (EPR, AOR, AER, OLS, JK και LAD) υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής και μάλιστα αυξημένους σε σχέση με τους αντίστοιχους ρυθμούς που υπολογίστηκαν στην εφαρμογή με αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, περιλαμβάνοντας και την ακτογραμμή του 1995. Ειδικότερα, η μέθοδος OLS αρχικά υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -1.60 ± 0.001 μέτρων/χρόνο ο οποίος αυξάνεται στα -2.39 ± 0.002 μέτρα/χρόνο, η μέθοδος EPR αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -3.18 ± 0.79 μέτρων/χρόνο ο οποίος αυξάνεται στα -4.66 ± 1.20 μέτρα/χρόνο, η μέθοδος AER αρχικά υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης της τάξης των $+0.08$ μέτρων/χρόνο ο οποίος μετατρέπεται σε ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -1.54 μέτρων/χρόνο και τέλος, η μέθοδος JK αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -1.41 μέτρων/χρόνο ο οποίος αυξάνεται στα -2.08 μέτρα/χρόνο. Επομένως στη συγκεκριμένη εφαρμογή παρουσιάζεται αύξηση των ρυθμών υποχώρησης και αύξηση των αβεβαιοτήτων των 5 παραπάνω μεθόδων (κάτι που ήταν αναμενόμενο αφού εξαιρέθηκε μια ακτογραμμή με σχετικά υψηλές ακρίβειες θέσης). Όσον αφορά τις 3 μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη (RLS, WLS, RWLS), εξακολουθούν να υπολογίζουν ρυθμούς πρόσχωσης (συνεχίζουν να χαρακτηρίζονται αναξιόπιστες για τις εφαρμογές της συγκεκριμένης περιοχής), οι οποίοι όμως παρουσιάζονται σχετικά μειωμένοι σε σχέση με την εφαρμογή 3 (όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) με ελάχιστα μεγαλύτερες αβεβαιότητες.

Μέσω της μεθόδου LAD υπολογίζεται σε αυτήν την εφαρμογή (όπου εξαιρείται η ακτογραμμή του 1995), όπως και σε όλες τις εφαρμογές της περιοχής 4_NES, οριακή υποχώρηση. Παρόλα αυτά, η εκτίμησή της δεν λαμβάνεται σοβαρά υπόψη λόγω της αποδεδειγμένης αναξιοπιστίας της μεθόδου. Το γεγονός ότι η συγκεκριμένη μέθοδος και στις 6 αρχικές εφαρμογές υπολόγισε υποχώρηση, προσεγγίζοντας έτσι την εκτίμηση των OLS ως προς το είδος της μεταβολής στην περιοχή, ενδέχεται να οφείλεται σε σύμπτωση αριθμητικών αποτελεσμάτων. Παρομοίως, η μέθοδος WLAD επιβεβαιώνει την χαμηλή αξιοπιστία της καθώς στις 5 από τις 6 αρχικές εφαρμογές, υπολογίζονται ρυθμοί πρόσχωσης της τάξης του 1 μέτρου/χρόνο (οι οποίοι αποκλίνουν εντελώς από τους αξιόπιστους, υπολογιζόμενους ρυθμούς διάβρωσης των μεθόδων OLS και JK).

- Στην εφαρμογή όπου οι αρχικές αβεβαιότητες ορίζονται στα ± 0.5 μέτρα, παρατηρείται ότι για τις 8 από τις 10 μεθόδους υπολογίζονται πλέον ρυθμοί

διάβρωσης (εξαιρούνται οι αναξιόπιστες μέθοδοι AER και RLS μέσω των οποίων εξακολουθούν να υπολογίζονται ρυθμοί πρόσχωσης). Ενδεικτικά αναφέρονται οι ρυθμοί υποχώρησης των -0.01 μέτρων/χρόνο για τις μεθόδους LAD, WLAD, ο ρυθμός υποχώρησης των -1.60 ± 0.001 μέτρων/χρόνο (μέθοδος OLS), ο ρυθμός υποχώρησης των -1.60 ± 0.001 μέτρων/χρόνο (μέθοδος WLS) και ο ρυθμός υποχώρησης των -3.18 ± 0.04 μέτρων/χρόνο (μέθοδος EPR). Είναι αξιοσημείωτο πως οι εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK, όπως ήδη αναφέρθηκε, παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαμηλές αβεβαιότητες σε όλες τις εφαρμογές ανεξαρτήτως των αβεβαιοτήτων των αρχικών δεδομένων (χαρακτηριστικά, ενώ υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της τάξης των -1.60 μέτρων/χρόνο, η υψηλότερη τιμή αβεβαιοτήτων συμπεριλαμβάνοντας όλες τις εφαρμογές που εκτελέστηκαν στην περιοχή 4_NES, είναι τα ± 0.002 μέτρα/χρόνο). Ακόμα, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί των δύο μεθόδων προσεγγίζουν σημαντικά ο ένας τον άλλο και παρουσιάζουν χαμηλές διακυμάνσεις όσον αφορά το «σήμα» αλλά και τα σφάλματα από εφαρμογή σε εφαρμογή (παρόλη την προσθαφαίρεση πληροφορίας, οι ρυθμοί μεταβολής και οι αβεβαιότητες τους δεν μεταβάλλονται σημαντικά). Αυτό συμβαίνει με εξαίρεση τις εφαρμογές όπου εξαιρούνται οι ακτογραμμές του 1969 και του 1995, όπου και παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις στους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής που προκύπτουν από τις μεθόδους OLS και JK.

- Επίσης, στη συγκεκριμένη εφαρμογή παρατηρείται ότι οι υπολογιζόμενες αβεβαιότητες των εκτιμήσεων των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται σημαντικά (προσεγγίζοντας την κατώτατη τιμή των ± 0.04 μέτρων/χρόνο) παρόλο που οι ρυθμοί μεταβολής τους διαφέρουν σημαντικά από τον αντίστοιχο ρυθμό των OLS. Σημαντικό σημείο είναι και η απόλυτη ταύτιση της εκτίμησης της μεθόδου WLS με την αντίστοιχη εκτίμηση των OLS (στην τιμή των -1.60 μέτρων/χρόνο) κάτι που σημαίνει ότι οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη (τουλάχιστον οι μέθοδοι WLS και RWLS) είναι σε θέση να προσεγγίσουν τις εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK με την προϋπόθεση ότι τα πρωτογενή δεδομένα διαθέτουν χαμηλές αβεβαιότητες θέσης. Γενικώς, όταν αυξάνεται η ακρίβεια των αρχικών, διαθέσιμων δεδομένων, τουλάχιστον οι 6 από τις 10 στατιστικές μεθόδους (εξαιρώντας τις προβληματικές μεθόδους AER, RLS, LAD και WLAD) υπολογίζουν σχετικά αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής με χαμηλές αβεβαιότητες, οι οποίοι προσεγγίζουν τους αντίστοιχους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK (το γεγονός αυτό παρατηρείται στην περιοχή 4_NES αλλά και στις τρεις προηγούμενες περιοχές που εξετάστηκαν στην μελέτη). Η γενικότερη αστοχία εφαρμογής της μεθόδου RLS (μέσω της συγκεκριμένης μεθόδου υπολογίζεται αποκλειστικά πρόσχωση στη συγκεκριμένη περιοχή) ενδέχεται να προκαλείται από τις σημαντικές αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων (περιορισμένες πηγές δεδομένων-χρονολογίες αεροφωτογραφίσεων και μικρές κλίμακες αεροφωτογραφιών).

Τέλος, οι μέθοδοι LAD και WLAD, προφανώς εξαιτίας της υψηλής ακρίβειας των πρωτογενών δεδομένων (± 0.5 μέτρα), υπολογίζουν και οι δύο ρυθμούς υποχώρησης της τάξης των -0.01 μέτρων/χρόνο (η WLAD υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης για πρώτη φορά στην συγκεκριμένη περιοχή). Αυτή βέβαια η εκτίμηση δεν μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα αξιοποιήσιμη καθώς αποκλίνει σημαντικά από την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου των OLS αλλά και εξαιτίας της γενικότερης αναξιοπιστίας των δύο αυτών μεθόδων.

4_NES	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD	ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ -1 ΕΩΣ -3 m/yr (Μεσσία υποχώρηση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	-3.18+/- 1.10	-0.58 +/- 0.34	0.08	-1.60 +/- 0.001	-1.42	2.65 +/- 0.10	3.04 +/- 0.02	3.11+/- 0.02	-0.01	1	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	-3.18+/- 0.79	-0.58+/- 0.42	0.08	-1.60 +/- 0.001	-1.42	2.65 +/- 0.10	3.05+/- 0.02	2.78 +/- 0.02	-0.01	0.99	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	-3.18 +/- 0.32	-0.58 +/- 0.17	0.08	-1.60 +/- 0.001	-1.41	2.65 +/- 0.10	3.04 +/- 0.01	2.78 +/- 0.01	-0.01	0.99	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2 - όχι το 1969)	3.28 +/- 0.06	2.52 +/- 0.31	4.23	2.08 +/- 0.002	2.00	3.94 +/- 0.10	3.22 +/- 0.01	3.38 +/- 0.01	-0.65	0.98	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5 - όχι το 1995)	-4.66 +/- 1.20	-1.61 +/- 0.70	-1.54	-2.39 +/- 0.002	-2.08	1.79 +/- 0.09	2.22 +/- 0.05	2.25 +/- 0.05	-0.02	1	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητες +/- 0.5 m)	-3.18 +/- 0.04	-0.58 +/- 0.02	0.08	-1.60 +/- 0.001	-1.42	2.65 +/- 0.10	-1.60 +/- 0.003	-0.64 +/- 0.003	-0.01	-0.01	

Πίνακας 4α : Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής στην παράκτια περιοχή με κωδικό 4_NES.

4.2.5

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	6_BAR
ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (-1 έως - 3 m/yr)	

Γενικά στοιχεία.

Ο κωδικός της παρούσας περιοχής είναι 6_BAR και τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στην περιοχή του Βαρθολομιού στο νομό Ηλείας. Το μήκος της ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 5.850 μέτρα [16]. Συνολικά έχουν σχεδιαστεί 39 διατομές ανά 150 μέτρα (κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς που έχει προκύψει από την ψηφιοποίηση της πιο πρόσφατης διαθέσιμης αεροφωτογραφίας του 2000, κλίμακας 1/8.000) και χρησιμοποιούνται 5 διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές έτσι ώστε να υπολογιστεί αρχικά η ιστορική οπισθοχώρηση (ή πρόσκωση) της περιοχής και στη συνέχεια να ακολουθήσουν οι υπολογισμοί πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2050.

Παρακάτω ακολουθεί απόσπασμα χάρτη της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, όπου παρουσιάζεται εντοπισμένη η περιοχή μελέτης :



Εικόνα 28 : Φύλλο χάρτη Γ.Υ.Σ. 1:50.000 «ΒΑΡΘΟΛΟΜΙΟ» [102]

Οι ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή 6_BAR είναι οι παρακάτω :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1945 (α/φ κλίμακας 1/42.000)
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1960 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1972 (α/φ κλίμακας 1/40.000)
4. Ιστορική ακτογραμμή του 1987 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
5. Ιστορική ακτογραμμή του 2000 (α/φ κλίμακας 1/8.000)

Μεθοδολογία.

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 6_BAR είναι οι παρακάτω (συνολικά 6) :

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιότητας x0,7.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιότητας x0,5.

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$, εξαιρώντας την ακτογραμμή (μειωμένης ακρίβειας) του 1945.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ακτογραμμή (υψηλής ακρίβειας) του 2000.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με «συνθετικές» αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης των ± 0.5 μέτρων (γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι ιστορικές ακτογραμμές έχουν ενιαία, ιδιαιτέρως υψηλή ακρίβεια θέσης).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής παρουσιάζονται στο συγκεντρωτικό πίνακα 5α. Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τους ρυθμούς μεταβολής αλλά και τις προβλέψεις για τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής όπως προκύπτουν από τις 10 βασικές στατιστικές μεθόδους, η συγκεκριμένη περιοχή κατατάσσεται στην κατηγορία «μεσαίας υποχώρησης» (0 έως -1m/yr). Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 5α, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Οι μέθοδοι EPR, AOR και AER (οι τρεις μη στατιστικές μέθοδοι) παράγουν αποτελέσματα με μεγάλα σφάλματα τα οποία στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται οι υψηλότερες δυνατές αβεβαιότητες στα πρωτογενή δεδομένα (0,7 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) υπολογίζονται στο $\frac{1}{2}$ του σήματος (για την μέθοδο EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των -1.30 ± 0.65 μέτρων/χρόνο). Σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται μια σαφής διαφοροποίηση της παρούσας περιοχής σε σχέση με τις προηγούμενες περιοχές της μελέτης όπου για τις ίδιες εφαρμογές με τα ίδια επίπεδα αρχικών αβεβαιοτήτων, οι εκτιμήσεις των μεθόδων EPR, AOR και AER εμφάνιζαν σημαντικά υψηλότερα σφάλματα τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις, υπερκάλυπταν το ίδιο το σήμα.
- Στην περιοχή 6_BAR, όπως και στις προηγούμενες περιοχές, αυτές οι αβεβαιότητες (EPR, AOR) και η αναξιοπιστία αποτελεσμάτων (AER) μειώνονται όσο βελτιώνεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων (ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών). Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (δηλ. για αεροφωτογραφία με κλίμακα 1/30.000 έχουμε ακρίβεια θέσης $30 \times 0.5 = \pm 15$ μέτρα), οι αβεβαιότητες πρόβλεψης των τριών παραπάνω μεθόδων είναι αρκετά υψηλές, καθιστώντας τις τελικώς αναξιόπιστες.

Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (η χαμηλότερη τιμή αβεβαιοτήτων), οι αβεβαιότητες των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται σημαντικά (μέσω της μεθόδου EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των -1.30 ± 0.18 μέτρων/χρόνο) καθιστώντας τις προβλέψεις των μεθόδων πλέον αξιόπιστες. Επίσης, στην περιοχή 6_BAR παρατηρείται ότι οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των τριών μη στατιστικών μεθόδων EPR, AOR και AER παραμένουν αμετάβλητοι στις τρεις πρώτες εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων. Συγκεκριμένα μέσω των μεθόδων EPR και AOR υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -1.30

και -1.47 μέτρων/χρόνο όταν μέσω των μεθόδων OLS και JK (των οποίων οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί παραμένουν και αυτοί σταθεροί κατά τις τρεις πρώτες εφαρμογές) υπολογίζονται υποχωρήσεις της τάξης των -1.39 και -1.41 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα. Βέβαια, παρόλο που δεν μεταβάλλονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής όταν μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες, μειώνονται σημαντικά τα σφάλματα των εκτιμήσεων των ίδιων των μεθόδων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η αβεβαιότητα της εκτίμησης της μεθόδου EPR μειώνεται συνεχώς από τα αρχικά ± 0.65 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) στα ± 0.46 μέτρα χρόνο (για αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) και τελικώς καταλήγει στα ± 0.18 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας). Αντίθετα, μέσω της μεθόδου AER (μέθοδος μειωμένης αξιοπιστίας) υπολογίζεται σταθερός ρυθμός υποχώρησης για τις τρεις πρώτες εφαρμογές της τάξης των -1.49 μέτρων/χρόνο (ο οποίος προσεγγίζει σημαντικά την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου OLS).

Ενώ στις προηγούμενες περιοχές μελέτης οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων EPR, AOR και AER είτε παρουσίαζαν σημαντικές αποκλίσεις από τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK (κυρίως λόγω των υψηλών αρχικών αβεβαιοτήτων) είτε παρουσίαζαν υψηλά σφάλματα, στην περιοχή 6_BAR, παρόλο που χρησιμοποιούνται οι ίδιες αρχικές αβεβαιότητες, οι εκτιμήσεις των μεθόδων EPR, AOR, AER, OLS, JK αλλά και WLS, RWLS δεν παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις και συνοδεύονται από σχετικά χαμηλά σφάλματα πρόβλεψης.

- Μέσω των μεθόδων OLS και JK υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -1.40 μέτρων/χρόνο οι οποίοι συγκλίνουν σημαντικά μεταξύ τους και στην παρούσα περιοχή μελέτης (όπως παρατηρήθηκε και στις τέσσερις προηγούμενες περιοχές). Επίσης, είναι χαρακτηριστικό πως, όπως παρατηρήθηκε για τις μεθόδους EPR, AOR και AER, έτσι και για δύο μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής παραμένουν σταθεροί για κάθε μέθοδο παρόλο που κλιμακωτά μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες (για την μέθοδο OLS, παραμένουν σταθερά και ιδιαίτερα χαμηλά και τα υπολογιζόμενα σφάλματα για τις τρεις πρώτες εφαρμογές στην τιμή των -0.001 μέτρων/χρόνο).

Οι εκτιμήσεις των μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη WLS και RWLS (εξαιρείται η μόνιμα προβληματική μέθοδος RLS) στην περιοχή 6_BAR προσεγγίζουν σε μεγάλο βαθμό τις αντίστοιχες εκτιμήσεις της μεθόδου OLS για τις τρεις πρώτες εφαρμογές. Έτσι, ενώ μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής της τάξης των -1.40 μέτρων/χρόνο, οι μέθοδοι WLS και RWLS υπολογίζουν υποχώρηση της ακτογραμμής που κυμαίνεται από τα -1.75 έως τα -1.67 μέτρα/χρόνο (σχετικά υψηλή υποχώρηση). Σημαντικό γεγονός αποτελεί και το ότι οι υπολογιζόμενες αβεβαιότητες τους είναι εξαιρετικά χαμηλές, της τάξης των ± 0.02 μέτρων/χρόνο (όταν στις αντίστοιχες εφαρμογές οι αβεβαιότητες των μεθόδων OLS και JK είναι ακόμη χαμηλότερες, της τάξης των -0.001 μέτρων/χρόνο). Όσον αφορά τη μέθοδο RLS η οποία στην πλειοψηφία των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης παρείχε συστηματικά αναξιόπιστα αποτελέσματα, επιβεβαιώνεται η αναποτελεσματικότητά της, καθώς και στην παρούσα εφαρμογή υπολογίζονται εντελώς λανθασμένα αποτελέσματα (για όλες τις εφαρμογές της περιοχής 6_BAR η μέθοδος RLS

υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης σε αντίθεση με την εμφανή τάση υποχώρησης που παρουσιάζεται στην συγκεκριμένη περιοχή). Αντίθετα, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων WLS και RWLS (υπήρχαν περιπτώσεις σε προηγούμενες περιοχές της μελέτης όπου οι προβλέψεις χαρακτηρίζονταν σχετικά αξιόπιστες), αποδεικνύονται και στην περιοχή 6_BAR σχετικά αξιόπιστοι.

- Όσον αφορά τις συνήθως προβληματικές μεθόδους LAD και WLAD, στις τρεις πρώτες εφαρμογές (όπου και παραμένει σταθερή η εκτίμηση της κάθε μεθόδου) υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής «συμφωνώντας» με την γενική τάση υποχώρησης της περιοχής. Ειδικότερα, μέσω της μεθόδου LAD υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης των -2 μέτρων/χρόνο μέσω της μεθόδου WLAD υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης του -1 μέτρου/χρόνο. Οι αποκλίσεις των παραπάνω εκτιμήσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK κρίνονται υψηλές αλλά παρουσιάζονται μειωμένες όταν συγκριθούν με αποκλίσεις των μεθόδων LAD, WLAD και OLS, JK σε προηγούμενες εφαρμογές των περιοχών της μελέτης (όπου ενώ οι μέθοδοι OLS, JK υπολόγιζαν ρυθμούς υποχώρησης, οι μέθοδοι LAD, WLAD υπολόγιζαν ρυθμούς πρόσχωσης).
- Στην περίπτωση που εξαιρείται η παλαιότερη ακτογραμμή του 1945 με τις μεγάλες αβεβαιότητες θέσης, παρουσιάζεται μια γενική τάση αύξησης των ρυθμών υποχώρησης όλων των μεθόδων (εξαιρώντας την μέθοδο RLS η οποία εξακολουθεί να υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης και της μεθόδους LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται αμετάβλητοι ρυθμοί υποχώρησης σε σχέση με την εφαρμογή όπου οι αρχικές αβεβαιότητες είχαν οριστεί στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας των αεροφωτογραφιών). Έτσι, όλες οι μέθοδοι υπολογίζουν πλέον αυξημένους ρυθμούς υποχώρησης οι οποίοι ενδεικτικά παρουσιάζουν την παρακάτω διασπορά : EPR : -2.20 ± 0.19 μέτρα/χρόνο, OLS : -1.95 ± 0.002 μέτρα/χρόνο, JK : -1.86 μέτρα/χρόνο και WLS : -2.10 ± 0.02 μέτρα/χρόνο. Είναι προφανές πως εξαιρώντας τη συγκεκριμένη ακτογραμμή μπορεί να εξαιρέθηκαν έτσι πρωτογενή δεδομένα με μεγάλες αβεβαιότητες θέσης, επηρεάστηκε όμως σημαντικά η γενικότερη διασπορά των δεδομένων (η ευθεία τάσης όλων των μεθόδων, συμπεριλαμβανομένης και της μεθόδου των OLS, προσαρμόζεται πλέον με διαφορετικό τρόπο στη νέα ομάδα δεδομένων που δημιουργήθηκε). Όσον αφορά τις αβεβαιότητες των μεθόδων στη συγκεκριμένη εφαρμογή, παρόλο που ήταν αναμενόμενο να μειωθούν σημαντικά καθώς αφαιρέθηκε μια ακτογραμμή με υψηλές αβεβαιότητες θέσης, αυτές παρουσιάζονται σχετικά σταθερές για τις περισσότερες μεθόδους, ή ελάχιστα αυξημένες. Το συγκεκριμένο γεγονός έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενες εφαρμογές σε άλλες περιοχές της μελέτης όπου όταν εξαιρούνταν η παλαιότερη διαθέσιμη ακτογραμμή συνήθως μεταβάλλονταν σημαντικά όλοι οι ρυθμοί μεταβολής που προέκυπταν από τις 10 μεθόδους, αλλά παράλληλα μειώνονταν και οι αβεβαιότητες πρόβλεψής τους. Επομένως, απαιτείται προσοχή όταν εξαιρείται πληροφορία στη διαδικασία μελέτης μιας παράκτιας περιοχής, ανεξάρτητα των αβεβαιοτήτων της, καθώς ενδέχεται να επηρεαστεί η προϊστορία της και να είναι αδύνατον να μοντελοποιηθεί η δυναμική της ρεαλιστικά με τις υπάρχουσες μεθόδους.
- Στην περίπτωση που εξαιρείται η ακτογραμμή του 2000 (ακτογραμμή με υψηλή ακρίβεια θέσης), οι 9 από τις 10 μεθόδους (εξαιρώντας την αναξιόπιστη μέθοδο RLS η οποία εξακολουθεί να υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης) υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης και μάλιστα σημαντικά μειωμένους σε σχέση με τις αντίστοιχες

εκτιμήσεις τους σε όλες τις προηγούμενες εφαρμογές της συγκεκριμένης περιοχής μελέτης (ακόμη και σε σχέση με την εφαρμογή όπου οι αρχικές αβεβαιότητες ορίστηκαν στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας, περιλαμβάνοντας και την ακτογραμμή του 2000). Ειδικότερα, ο ρυθμός μεταβολής της μεθόδου των OLS από την αρχική εκτίμηση των -1.39 ± 0.001 μέτρων/χρόνο (οι αρχικές αβεβαιότητες ορίζονται στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας) μειώνεται στα -1.03 ± 0.002 μέτρα/χρόνο, στη μέθοδο EPR παρουσιάζεται μείωση του ρυθμού μεταβολής από τα -1.30 ± 0.46 μέτρα/χρόνο στα -0.80 ± 0.86 μέτρα/χρόνο, στην μέθοδο AER παρουσιάζεται μείωση από τα -1.49 μέτρα/χρόνο στα -1.01 μέτρα/χρόνο και στην JK παρουσιάζεται μείωση από τα -1.49 στα -1.15 μέτρα/χρόνο. Επομένως στη συγκεκριμένη εφαρμογή σημειώνεται γενική μείωση των ρυθμών υποχώρησης και παράλληλα, σημαντική αύξηση των αβεβαιοτήτων των 5 παραπάνω μεθόδων (κάτι που ήταν αναμενόμενο αφού εξαιρέθηκε μια ακτογραμμή με σχετικά υψηλές ακρίβειες θέσης). Όσον αφορά τις 2 μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη (WLS και RWLS), υπολογίζουν και αυτές μειωμένους ρυθμούς υποχώρησης σε σχέση με τις προηγούμενες εφαρμογές, με σχετικά μεγαλύτερες αβεβαιότητες (της τάξης των ± 0.09 μέτρων/χρόνο).

Οι εκτιμήσεις των μεθόδων LAD και WLAD ταυτίζονται μεταξύ τους στη συγκεκριμένη εφαρμογή (-0.55 μέτρα/χρόνο) και παρουσιάζεται ομοίως όπως με τις υπόλοιπες μεθόδους, μια σαφής τάση μείωσης των ρυθμών υποχώρησης της ακτογραμμής. Οι δύο συγκεκριμένες μέθοδοι κρίνονται και σε αυτήν την περίπτωση άκρως αναξιόπιστες καθώς οι εκτιμήσεις τους αποκλίνουν σημαντικά από το μέσο όρο των εκτιμήσεων όλων των υπόλοιπων μεθόδων.

- Στην εφαρμογή όπου οι αρχικές αβεβαιότητες ορίζονται στα ± 0.5 μέτρα, παρατηρείται ότι οι 7 από τις 10 μεθόδους υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής (εξαιρώντας τη μέθοδο RLS όπου και σε αυτήν την περίπτωση υπολογίζεται ρυθμός πρόσχωσης) παρόμοιους ακριβώς με τους ρυθμούς υποχώρησης που είχαν υπολογιστεί για τις πρώτες τρεις εφαρμογές της συγκεκριμένης περιοχής. Οι μέθοδοι WLS και RWLS διαφοροποιούνται ως προς τις εκτιμήσεις τους σε σχέση με τις προηγούμενες εφαρμογές και υπολογίζουν πλέον ρυθμούς υποχώρησης οι οποίοι ταυτίζονται με τους αντίστοιχους ρυθμούς των αξιόπιστων μεθόδων OLS και JK. Προφανώς εξαιτίας των ιδιαίτερως χαμηλών αρχικών αβεβαιοτήτων, οι περισσότεροι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται από τις 10 μεθόδους (περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή στη συγκεκριμένη περιοχή) προσεγγίζουν τη μέση τιμή των -1.40 μέτρων/χρόνο. Επίσης, οι αβεβαιότητες των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής όλων των μεθόδων είναι οι χαμηλότερες σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή στην περιοχή 6_BAR.

Ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για κάθε μέθοδο : -2 και -1 μέτρα/χρόνο (μέθοδοι LAD, WLAD), -1.39 ± 0.001 μέτρα/χρόνο (μέθοδος OLS), -1.39 ± 0.001 μέτρα/χρόνο (μέθοδος WLS) και -1.30 ± 0.02 μέτρα/χρόνο (μέθοδος EPR). Οι μέθοδοι OLS και JK, όπως ήδη αναφέρθηκε, παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλές αβεβαιότητες σε όλες τις εφαρμογές ανεξαρτήτως των αβεβαιοτήτων των αρχικών δεδομένων (είναι χαρακτηριστικό πως ενώ υπολογίζονται ρυθμοί της τάξης των -1.40 μέτρων/χρόνο, η υψηλότερη τιμή στην οποία φτάνουν οι αβεβαιότητες συμπεριλαμβάνοντας όλες τις εφαρμογές που εκτελέστηκαν στην περιοχή 6_BAR, είναι τα ± 0.002 μέτρα/χρόνο). Ακόμα, οι ρυθμοί μεταβολής των δύο μεθόδων προσεγγίζουν σημαντικά ο ένας τον άλλο και

παρουσιάζουν χαμηλές διακυμάνσεις όσον αφορά το σήμα αλλά και τα υπολογιζόμενα σφάλματα από εφαρμογή σε εφαρμογή (οι ρυθμοί και οι αβεβαιότητες τους δεν μεταβάλλονται σημαντικά). Εξαιρέση παρουσιάζεται στις εφαρμογές όπου εξαιρούνται οι ακτογραμμές του 1945 και του 2000 όπου και παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις στους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής των μεθόδων OLS και JK (άλλα και όλων των υπόλοιπων μεθόδων).

- Επίσης, στη συγκεκριμένη εφαρμογή παρατηρείται πως οι αβεβαιότητες των εκτιμήσεων των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται σημαντικά (μόλις στα ± 0.02 και ± 0.01 μέτρα/χρόνο αντίστοιχα) και πως οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί τους προσεγγίζουν σημαντικά την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου των OLS. Ακόμα, παρουσιάζεται απόλυτη ταύτιση του ρυθμού μεταβολής που υπολογίζεται από τη μέθοδο WLS με την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου των OLS (στα -1.39 μέτρα/χρόνο) κάτι που σημαίνει ότι οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη (οι μέθοδοι WLS και RWLS) είναι σε θέση να προσεγγίσουν τις εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK με την προϋπόθεση ότι είναι διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα με αψηλές ακρίβειες θέσης. Επομένως, όταν μειώνονται σημαντικά οι αρχικές αβεβαιότητες των δεδομένων, τουλάχιστον οι 6 από τις 10 μεθόδους (εξαιρώντας τις προβληματικές μεθόδους AER, RLS, LAD και WLAD) υπολογίζουν σχετικά αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής με χαμηλές αβεβαιότητες, οι οποίοι προσεγγίζουν τις εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK (το γεγονός αυτό παρατηρείται στην περιοχή 6_BAR αλλά και στις τέσσερις προηγούμενες περιοχές που εξετάστηκαν).

Το γεγονός της γενικότερης αστοχίας εφαρμογής της μεθόδου RLS (η συγκεκριμένη μέθοδος υπολογίζει αποκλειστικά ρυθμούς πρόσκωσης στην παρούσα περιοχή) επαναλαμβάνεται και στην περιοχή 6_BAR.

Τέλος, για αβεβαιότητες ± 0.5 μέτρων, οι μέθοδοι LAD και WLAD, υπολογίζουν και οι δύο υποχώρηση της τάξης των -2 και -1 μέτρων/χρόνο (παρόμοιες ακριβώς εκτιμήσεις σε σχέση με τις τρεις πρώτες εφαρμογές της συγκεκριμένης περιοχής). Αυτοί βέβαια οι ρυθμοί μεταβολής δεν θεωρούνται ιδιαίτερα αξιόπιστοι, για τους ίδιους λόγους που προαναφέρθηκαν στις προηγούμενες εφαρμογές.

6_BAR	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD	ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ -1 ΕΩΣ -3 m/yr (Μεσαία υποχώρηση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	-1.30 +/- 0.65	-1.47 +/- 0.49	-1.49	-1.39 +/- 0.001	-1.41	0.16 +/- 0.01	-1.78 +/- 0.06	-1.70 +/- 0.06	-2	-1	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	-1.30 +/- 0.46	-1.47 +/- 0.35	-1.49	-1.39 +/- 0.001	-1.41	0.16 +/- 0.01	-1.75 +/- 0.04	-1.67 +/- 0.04	-2	-1	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	-1.30 +/- 0.18	-1.47 +/- 0.14	-1.49	-1.39 +/- 0.001	-1.41	0.16 +/- 0.01	-1.75 +/- 0.02	-1.67 +/- 0.02	-2	-1	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2) - (όχι 1945)	-2.20 +/- 0.19	-2.10 +/- 0.31	-2.35	-1.95 +/- 0.002	-1.86	0.09 +/- 0.02	-2.10 +/- 0.02	-2.10 +/- 0.02	-2	-1	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5) - (όχι 2000)	-0.80 +/- 0.86	-1.13 +/- 0.78	-1.01	-1.03 +/- 0.002	-1.15	0.08 +/- 0.02	-1.17 +/- 0.09	-1.17 +/- 0.09	-0.55	-0.55	
10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητες 0.5m)	-1.30 +/- 0.02	-1.47 +/- 0.01	-1.49	-1.39 +/- 0.001	-1.41	0.16 +/- 0.01	-1.39 +/- 0.002	-1.34 +/- 0.002	-2	-1		

Πίνακας 5α : Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής στην παράκτια περιοχή με κωδικό 6_BAR.

4.2.6

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	9_THE
ΥΨΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (>- 3 m/yr)	

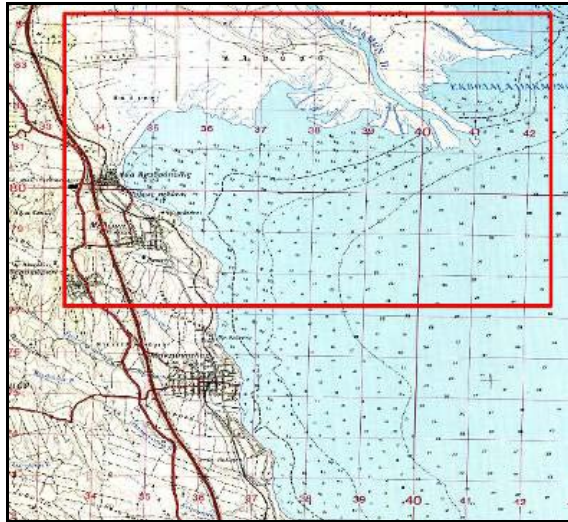
Γενικά στοιχεία.

Ο κωδικός της παρούσας περιοχής είναι 9_THE και τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στην παράκτια περιοχή της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης. Το μήκος της ευρύτερης ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 41.200 μέτρα [10]. Συνολικά έχουν σχεδιαστεί 412 διατομές ανά 100 μέτρα (κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς η οποία έχει προκύψει από την ψηφιοποίηση του χάρτη της Γ.Υ.Σ. του 1979, κλίμακας 1/5.000) και χρησιμοποιούνται 4 διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές έτσι ώστε να υπολογιστεί αρχικά η ιστορική οπισθοχώρηση (ή πρόσκωση) της περιοχής και στη συνέχεια να ακολουθήσουν οι υπολογισμοί πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2050 [10]. Η παρούσα στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων επικεντρώνεται στο τμήμα της ακτογραμμής μεταξύ των διατομών 281 έως 334 (συνολικά 53 διατομές) όπου και παρουσιάζεται ιδιαίτερος υψηλή υποχώρηση της ακτογραμμής μελέτης. Στις υπόλοιπες ομάδες των διατομών, παρουσιάζονται είτε σημαντικοί ρυθμοί πρόσκωσης (κυρίως λόγω των φερτών υλικών στα δέλτα των ποταμών), είτε η ακτογραμμή παρουσιάζεται σχετικά σταθερή (υπολογίζονται προσεγγιστικά μηδενικοί ρυθμοί μεταβολής). Έτσι, κρίθηκε σκόπιμο να διερευνηθεί η δυναμική εξέλιξη της ακτής στο συγκεκριμένο τμήμα διατομών (281 έως 334) όπου απειλούνται έφορα εδάφη, καλλιέργειες και ανθρώπινες εγκαταστάσεις από την έντονη υποχώρηση της ακτογραμμής.

Παρακάτω ακολουθούν αποσπάσματα χαρτών της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, όπου παρουσιάζεται εντοπισμένη η περιοχή μελέτης :



Εικόνες 29 και 30 : Φύλλο χάρτη Γ.Υ.Σ. 1:50.000 «ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ» [102]



Εικόνα 31 : Φύλλου χάρτη Γ.Υ.Σ. 1:50.000 «ΚΑΤΕΡΙΝΗ» [102]

Οι ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή 9_THE είναι οι παρακάτω :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1945 (α/φ κλίμακας 1/42.000)
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1960 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1979 (διάγραμμα Γ.Υ.Σ. 1/5.000)
4. Ιστορική ακτογραμμή του 1995 (α/φ κλίμακας 1/30.000)

Μεθοδολογία.

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 9_THE (για το τμήμα της ακτογραμμής μεταξύ των διατομών 281 έως 334) είναι οι παρακάτω (συνολικά 6) :

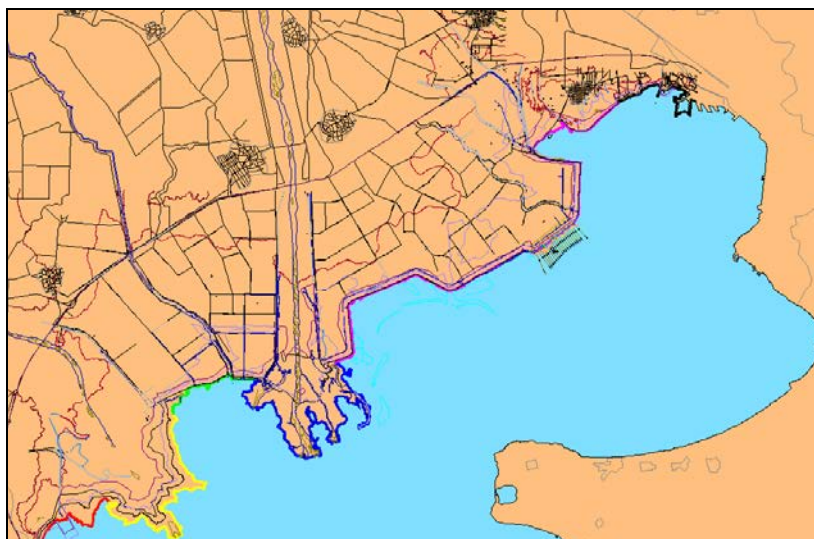
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,7.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,5.
- Εφαρμογή των 10 με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2, εξαιρώντας την ακτογραμμή (μειωμένης ακρίβειας) του 1945.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,5, εξαιρώντας την ακτογραμμή (υψηλής ακρίβειας) του 2000.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με «συνθετικές» αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης των ± 0.5 μέτρων (γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι ιστορικές ακτογραμμές έχουν ενιαία, ιδιαιτέρως υψηλή ακρίβεια θέσης).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής παρουσιάζονται στον συγκεντρωτικό πίνακα 6α. Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τους ρυθμούς μεταβολής αλλά και τις προβλέψεις για τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής όπως προκύπτουν από τις 10 βασικές στατιστικές μεθόδους, η συγκεκριμένη περιοχή κατατάσσεται στην

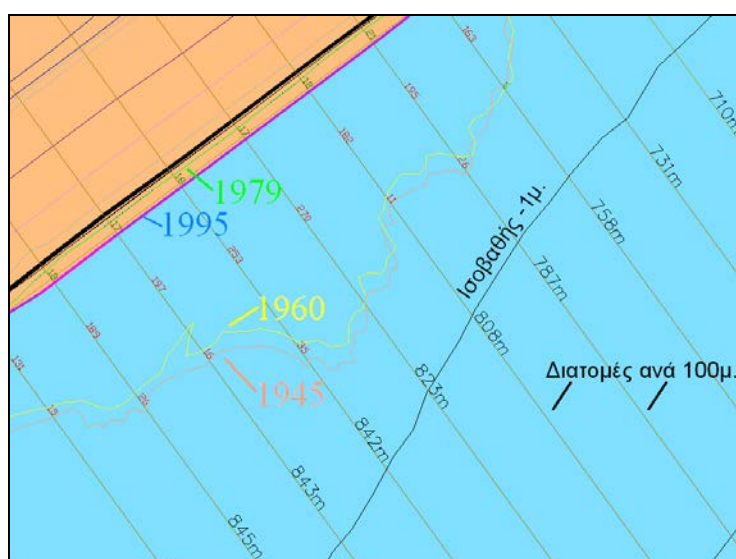
«κατηγορία υψηλής υποχώρησης» ($>-3\text{m/yr}$). Στη συγκεκριμένη κατηγορία κατατάσσονται συνολικά 2 από τις 10 περιοχές που εξετάζονται στην διατριβή.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται συνολικά το σχέδιο της περιοχής μελέτης, έτσι όπως προέκυψε από τη ψηφιοποίηση των αεροφωτογραφιών και των χαρτών, όπως επίσης και από την εφαρμογή των διαθέσιμων ιστορικών ακτογραμμών [10]. Παράλληλα, στο σχέδιο εμφανίζονται το οδικό δίκτυο και έργα υποδομής (προστατευτικό, παραλιακό ανάχωμα) όπως επίσης και τα όρια των οικισμών.



Εικόνα 32 : Η περιοχή μελέτης 9_THE περιλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του Θερμαϊκού κόλπου και την πεδιάδα της Θεσσαλονίκης. Κατά μήκος και κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς σχεδιάστηκαν διατομές ανά 100 μέτρα [10].

Στην παρακάτω εικόνα, έχει γίνει μεγέθυνση σε ένα τμήμα της παράκτιας περιοχής μελέτης, στο οποίο φαίνονται οι διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές και οι σχεδιασμένες διατομές, κατά μήκος των οποίων μετρούνται αποστάσεις υποχώρησης ή πρόσχωσης της ακτογραμμής. Με βάση αυτές τις αποστάσεις υπολογίζονται και οι ρυθμοί μεταβολής, χρησιμοποιώντας την εκάστοτε στατιστική μέθοδο.



Εικόνα 33 : Οι μετρημένες αποστάσεις κατά μήκος των διατομών αποτελούν και τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιούνται στη μετέπειτα στατιστική διαδικασία υπολογισμού ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής με τη χρήση των 10 μεθόδων.

Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 6α, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Οι μέθοδοι EPR, AOR και AER (οι τρεις μη στατιστικές μέθοδοι) παράγουν αποτελέσματα με σημαντικά σφάλματα τα οποία στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται οι υψηλότερες δυνατές αβεβαιότητες στα πρωτογενή δεδομένα (0,7 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) υπολογίζονται στο 1 μέτρο/χρόνο (για την μέθοδο EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των -9.81 ± 1 μέτρων/χρόνο και για την μέθοδο AOR υπολογίζεται -10.74 ± 0.94 μέτρων/χρόνο). Στη συγκεκριμένη εφαρμογή υπολογίζονται τόσο υψηλοί ρυθμοί υποχώρησης της ακτογραμμής για όλες τις στατιστικές μεθόδους (μέσω της μεθόδου των OLS υπολογίζεται ακόμη υψηλότερη υποχώρηση της τάξης των -11.98 μέτρων/χρόνο) έτσι ώστε τα υπολογιζόμενα σφάλματα (τα οποία κυμαίνονται από τα ± 0.002 έως το 1 μέτρο/χρόνο) κρίνονται «σχετικά» χαμηλά. Σε αυτό το σημείο παρουσιάζεται μια σαφής διαφοροποίηση της παρούσας περιοχής σε σχέση με τις προηγούμενες περιοχές της μελέτης όπου για τις ίδιες εφαρμογές με τα ίδια επίπεδα αρχικών αβεβαιοτήτων, οι εκτιμήσεις των μεθόδων EPR, AOR και AER εμφάνιζαν σημαντικά υψηλότερα σφάλματα τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις, υπερκάλυπταν το ίδιο το σήμα (το ίδιο φαινόμενο παρουσιάστηκε και στην περιοχή 6_BAR) .
- Στην περιοχή 9_THE, όπως και στις προηγούμενες περιοχές, αυτές οι αβεβαιότητες (EPR, AOR) και η αναξιοπιστία αποτελεσμάτων (AER) μειώνονται όσο βελτιώνεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων (ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών). Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (δηλ. για αεροφωτογραφία με κλίμακα 1/30.000 έχουμε ακρίβεια θέσης $30 \times 0.5 = \pm 15$ μέτρα), οι αβεβαιότητες πρόβλεψης των τριών παραπάνω μεθόδων μειώνονται στα 2/3 των αρχικών τους τιμών (για την μέθοδο EPR οι αβεβαιότητες μειώνονται στα ± 0.72 μέτρα/χρόνο ενώ για την μέθοδο AOR στα ± 0.68 μέτρα/χρόνο) .

Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (η χαμηλότερη τιμή αβεβαιοτήτων), οι αβεβαιότητες των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται σημαντικά (μέσω της μεθόδου EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των -9.81 ± 0.29 μέτρων/χρόνο) καθιστώντας τις προβλέψεις των μεθόδων πλέον αξιόπιστες. Επίσης, στην περιοχή 9_THE παρατηρείται ότι οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των τριών μη στατιστικών μεθόδων EPR, AOR και AER παραμένουν αμετάβλητοι στις τρεις πρώτες εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων (οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω και των δέκα στατιστικών μεθόδων παραμένουν αμετάβλητοι για τις τρεις πρώτες εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες). Αντίστοιχη παρατήρηση είχε προκύψει και στην περίπτωση των εφαρμογών στην περιοχή 6_BAR.

Συγκεκριμένα μέσω των μεθόδων EPR και AOR υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -9.81 και -10.74 μέτρων/χρόνο όταν μέσω των μεθόδων OLS και JK (των οποίων οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί παραμένουν και αυτοί σταθεροί κατά τις τρεις πρώτες εφαρμογές) υπολογίζονται υποχωρήσεις της τάξης των -11.98 και -12.81 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα. Βέβαια, παρόλο που δεν

μεταβάλλονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής όταν μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες, όπως ήδη αναφέρθηκε, μειώνονται σημαντικά τα σφάλματα των εκτιμήσεων των ίδιων των μεθόδων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η αβεβαιότητα της εκτίμησης της μεθόδου EPR μειώνεται συνεχώς από τα αρχικά ± 1 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) στα ± 0.72 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) και τελικώς καταλήγει στα ± 0.29 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας). Αντίθετα, μέσω της μεθόδου AER (μέθοδος μειωμένης αξιοπιστίας) υπολογίζεται σταθερός ρυθμός υποχώρησης για τις τρεις πρώτες εφαρμογές της τάξης των -8.51 μέτρων/χρόνο (ο οποίος είναι και ο χαμηλότερος ρυθμός υποχώρησης που υπολογίζεται μέσω των στατιστικών μεθόδων, εξαιρώντας τις μονίμως αναξιόπιστες εκτιμήσεις των μεθόδων RLS, LAD και WLAD).

Ενώ σε προηγούμενες περιοχές μελέτης οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων EPR, AOR και AER είτε παρουσίαζαν σημαντικές αποκλίσεις από τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK (κυρίως λόγω των υψηλών αρχικών αβεβαιοτήτων) είτε παρουσίαζαν ιδιαίτερος υψηλά σφάλματα, στην περιοχή 9_THE, παρόλο που χρησιμοποιούνται οι ίδιες αρχικές αβεβαιότητες, οι εκτιμήσεις των μεθόδων EPR, AOR, AER, OLS, JK αλλά και WLS, RWLS παρουσιάζουν μέτριες αποκλίσεις και συνοδεύονται από σχετικά χαμηλά σφάλματα πρόβλεψης. Οι αποκλίσεις αυτές των παραπάνω εκτιμήσεων όπως και οι υπολογιζόμενες αβεβαιότητες ανά μέθοδο κρίνονται «σχετικά» χαμηλές με βάση το γεγονός ότι οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα υψηλοί (κυμαίνονται από τα -9 έως τα -14 μέτρα/χρόνο) και επομένως ο λόγος «σήματος προς θόρυβο» μειώνεται σημαντικά σε σχέση με προηγούμενες εφαρμογές της μελέτης.

- Μέσω των μεθόδων OLS και JK υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -11.98 και -12.81 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα, οι οποίοι συγκλίνουν σημαντικά μεταξύ τους και στην παρούσα περιοχή μελέτης (όπως παρατηρήθηκε και στις 5 προηγούμενες περιοχές). Επίσης, είναι χαρακτηριστικό πως, όπως παρατηρήθηκε για τις μεθόδους EPR, AOR και AER, έτσι και για δύο μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής παραμένουν σταθεροί για κάθε μέθοδο παρόλο που κλιμακωτά μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες (για την μέθοδο OLS, παραμένουν σταθερά και ιδιαίτερα χαμηλά και τα υπολογιζόμενα σφάλματα για τις τρεις πρώτες εφαρμογές στην τιμή των -0.002 μέτρων/χρόνο).

Οι εκτιμήσεις των μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη WLS και RWLS (εξαιρείται η μόνιμα προβληματική μέθοδος RLS) στην περιοχή 9_THE προσεγγίζουν σε μέτριο βαθμό τις αντίστοιχες εκτιμήσεις της μεθόδου OLS για τις τρεις πρώτες εφαρμογές (η προσέγγιση αυτή των εκτιμήσεων των παραπάνω μεθόδων κρίνεται μειωμένη σε σχέση με την αντίστοιχη σύγκριση στην περιοχή 6_BAR). Έτσι, ενώ μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής της τάξης των -11.98 μέτρων/χρόνο, οι μέθοδοι WLS και RWLS υπολογίζουν υποχώρηση της ακτογραμμής της τάξης των -14.95 μέτρων/χρόνο (η υψηλότερη υπολογιζόμενη υποχώρηση για τις τρεις πρώτες εφαρμογές της συγκεκριμένης περιοχής, όσον αφορά συνολικά τις εκτιμήσεις των 10 στατιστικών μεθόδων). Σημαντικό γεγονός αποτελεί και το ότι οι υπολογιζόμενες αβεβαιότητες τους είναι εξαιρετικά χαμηλές, της τάξης των ± 0.02 μέτρων/χρόνο (όταν στις αντίστοιχες εφαρμογές οι αβεβαιότητες των μεθόδων OLS και JK είναι ακόμη χαμηλότερες, της τάξης των -0.002 μέτρων/χρόνο). Όσον αφορά τη μέθοδο RLS, η

οποία στην πλειοψηφία των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης παρείχε συστηματικά αναξιόπιστα αποτελέσματα, επιβεβαιώνεται η αναποτελεσματικότητα της, καθώς και στην παρούσα εφαρμογή υπολογίζονται εντελώς λανθασμένα αποτελέσματα (για όλες τις εφαρμογές της περιοχής 9_THE η μέθοδος RLS υπολογίζει εξαιρετικά χαμηλό ρυθμό υποχώρησης, σε σχέση με τις εκτιμήσεις των υπόλοιπων μεθόδων, της τάξης των -2.49 μέτρων/χρόνο). Ο ρυθμός αυτός αποκλίνει σημαντικά από τους ιστορικά καταγεγραμμένους, ιδιαίτερος υψηλούς ρυθμούς υποχώρησης στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής. Αντίθετα, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων WLS και RWLS (υπήρχαν αρκετές περιπτώσεις σε προηγούμενες περιοχές της μελέτης όπου οι προβλέψεις χαρακτηρίζονταν σχετικά αξιόπιστες), αποδεικνύονται και στην περιοχή 9_THE σχετικά αξιόπιστοι.

- Όσον αφορά τις συνήθως προβληματικές μεθόδους LAD και WLAD, στις τρεις πρώτες εφαρμογές (όπου και παραμένει σταθερή η εκτίμηση της κάθε μεθόδου) υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής «συμφωνώντας» με τη γενική τάση υποχώρησης της περιοχής. Ειδικότερα, μέσω της μεθόδου LAD υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης των -1.28 μέτρων/χρόνο μέσω της μεθόδου WLAD υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης του -1 μέτρου/χρόνο. Οι αποκλίσεις των παραπάνω εκτιμήσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK κρίνονται ιδιαίτερα υψηλές, καθιστώντας και στην παρούσα εφαρμογή τους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των δύο μεθόδων τελικώς αναξιόπιστους.
- Στην περίπτωση που εξαιρείται η παλαιότερη ακτογραμμή του 1945 με τις μεγάλες αβεβαιότητες θέσης, παρουσιάζεται μια γενική τάση αύξησης των ρυθμών υποχώρησης όλων των μεθόδων (εξαιρώντας τις μεθόδους LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται αμετάβλητοι, χαμηλοί ρυθμοί υποχώρησης σε σχέση με την εφαρμογή όπου οι αρχικές αβεβαιότητες είχαν οριστεί στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας των αεροφωτογραφιών). Έτσι, όλες οι μέθοδοι υπολογίζουν πλέον αυξημένους ρυθμούς υποχώρησης οι οποίοι ενδεικτικά παρουσιάζουν την παρακάτω διασπορά : EPR : -14.42 ± 0.34 μέτρα/χρόνο, OLS : -14.81 ± 0.003 μέτρα/χρόνο, JK : -13.63 μέτρα/χρόνο και WLS : -15.52 ± 0.03 μέτρα/χρόνο. Είναι προφανές πως εξαιρώντας τη συγκεκριμένη ακτογραμμή μπορεί να εξαιρέθηκαν έτσι πρωτογενή δεδομένα με μεγάλες αβεβαιότητες θέσης, επηρεάστηκε όμως σημαντικά η γενικότερη διασπορά των δεδομένων (η ευθεία τάσης όλων των μεθόδων, συμπεριλαμβανομένης και της μεθόδου των OLS, προσαρμόζεται πλέον με διαφορετικό τρόπο στη νέα ομάδα δεδομένων που δημιουργήθηκε). Όσον αφορά τις αβεβαιότητες των μεθόδων στη συγκεκριμένη εφαρμογή, παρόλο που ήταν αναμενόμενο να μειωθούν σημαντικά καθώς αφαιρέθηκε μια ακτογραμμή με υψηλές αβεβαιότητες θέσης, αυτές παρουσιάζονται σχετικά σταθερές για τις περισσότερες μεθόδους, ή ελάχιστα αυξημένες. Το συγκεκριμένο γεγονός έρχεται σε αντίθεση με προηγούμενες εφαρμογές σε άλλες περιοχές της μελέτης όπου όταν εξαιρούνταν η παλαιότερη διαθέσιμη ακτογραμμή συνήθως μεταβάλλονταν σημαντικά όλοι οι ρυθμοί μεταβολής που προέκυπταν από τις 10 μεθόδους, αλλά παράλληλα μειώνονταν και οι αβεβαιότητες πρόβλεψής τους. Επομένως, απαιτείται προσοχή όταν εξαιρείται ή ακόμα και προστίθεται πληροφορία στη διαδικασία μελέτης μιας παράκτιας περιοχής, ανεξάρτητα των αβεβαιότητων της, καθώς ενδέχεται να επηρεαστεί η προϊστορία της και να είναι αδύνατον να μοντελοποιηθεί η δυναμική της ρεαλιστικά με τις υπάρχουσες μεθόδους.

- Στην περίπτωση που εξαιρείται η ακτογραμμή του 1995 (ακτογραμμή με υψηλή ακρίβεια θέσης), και οι δέκα μέθοδοι υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης και μάλιστα σημαντικά αυξημένους σε σχέση με την εφαρμογή όπου οι αρχικές αβεβαιότητες ορίστηκαν στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας, περιλαμβάνοντας και την ακτογραμμή του 1995 (εξαιρούνται οι μέθοδοι LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται μειωμένοι ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -0.62 μέτρων/χρόνο). Ειδικότερα, ο ρυθμός μεταβολής της μεθόδου των OLS από την αρχική εκτίμηση των -11.98 ± 0.002 μέτρων/χρόνο (οι αρχικές αβεβαιότητες ορίζονται στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας) αυξάνεται στα -15.24 ± 0.003 μέτρα/χρόνο, στην μέθοδο EPR παρουσιάζεται αύξηση του ρυθμού μεταβολής από τα -9.81 ± 0.72 μέτρα/χρόνο στα -14.70 ± 0.69 μέτρα/χρόνο, στην μέθοδο AER παρουσιάζεται αύξηση από τα -8.51 μέτρα/χρόνο στα -13.06 μέτρα/χρόνο και στην JK παρουσιάζεται αύξηση από τα -12.81 στα -13.60 μέτρα/χρόνο. Επομένως στη συγκεκριμένη εφαρμογή σημειώνεται γενική αύξηση των ρυθμών υποχώρησης και παράλληλα, αύξηση των αβεβαιοτήτων των παραπάνω μεθόδων (κάτι που ήταν αναμενόμενο αφού εξαιρέθηκε μια ακτογραμμή με σχετικά υψηλές ακρίβειες θέσης). Όσον αφορά τις 2 μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη (WLS και RWLS), υπολογίζουν και εδώ αυξημένους ρυθμούς υποχώρησης σε σχέση με τις προηγούμενες εφαρμογές, με οριακά αυξημένες αβεβαιότητες (της τάξης των 19.32 ± 0.07 μέτρων/χρόνο).

Οι εκτιμήσεις των μεθόδων LAD και WLAD ταυτίζονται μεταξύ τους στην συγκεκριμένη εφαρμογή (-0.62 μέτρα/χρόνο) και παρουσιάζεται σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μεθόδους, μια τάση μείωσης των ρυθμών υποχώρησης της ακτογραμμής. Οι δύο συγκεκριμένες μέθοδοι κρίνονται και σε αυτήν την περίπτωση άκρως αναξιόπιστες καθώς οι εκτιμήσεις τους αποκλίνουν σημαντικά από τον μέσο όρο των εκτιμήσεων όλων των υπόλοιπων μεθόδων αλλά και από την καταγεγραμμένη φυσική μεταβολή της ακτογραμμής.

- Στην εφαρμογή όπου οι αρχικές αβεβαιότητες ορίζονται στα ± 0.5 μέτρα, παρατηρείται ότι οι 8 από τις 10 μεθόδους υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής ίδιους ακριβώς με τους ρυθμούς υποχώρησης που είχαν υπολογιστεί για τις πρώτες τρεις εφαρμογές της συγκεκριμένης περιοχής. Η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης εφαρμογής έγκειται στο γεγονός ότι οι μέθοδοι WLS και RWLS υπολογίζουν νέους ρυθμούς μεταβολής οι οποίοι πλέον ταυτίζονται απόλυτα με τον υπολογιζόμενο ρυθμό της μεθόδου OLS (ως προς το σήμα αλλά και ως προς τα υπολογιζόμενα σφάλματα). Πρόσθετα, τα σφάλματα των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής των 10 στατιστικών μεθόδων χαρακτηρίζονται ως τα χαμηλότερα σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή στην περιοχή 9_THE.

Ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για κάθε μέθοδο : -1.28 και -1 μέτρα/χρόνο (μέθοδοι LAD, WLAD), -11.98 ± 0.002 μέτρα/χρόνο (μέθοδος OLS), -11.98 ± 0.002 μέτρα/χρόνο (μέθοδος WLS) και -9.81 ± 0.02 μέτρα/χρόνο (μέθοδος EPR). Οι μέθοδοι OLS και JK, όπως ήδη αναφέρθηκε, παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλές αβεβαιότητες σε όλες τις εφαρμογές ανεξαρτήτως των αβεβαιοτήτων των αρχικών δεδομένων (είναι χαρακτηριστικό πως ενώ υπολογίζονται ρυθμοί της τάξης των -15.24 μέτρων/χρόνο, η υψηλότερη τιμή στην οποία φτάνουν οι αβεβαιότητες συμπεριλαμβάνοντας όλες τις εφαρμογές που εκτελέστηκαν στην περιοχή 9_THE, είναι τα ± 0.003 μέτρα/χρόνο). Ακόμα, οι ρυθμοί μεταβολής των δύο μεθόδων προσεγγίζουν σημαντικά ο ένας τον άλλο και παρουσιάζουν χαμηλές διακυμάνσεις

όσον αφορά το σήμα αλλά και τα υπολογιζόμενα σφάλματα από εφαρμογή σε εφαρμογή (οι ρυθμοί και οι αβεβαιότητες τους δεν μεταβάλλονται σημαντικά). Εξαιρέση παρουσιάζεται στις εφαρμογές όπου εξαιρούνται οι ακτογραμμές του 1945 και του 1995 όπου και παρατηρούνται σημαντικές διακυμάνσεις στους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής των μεθόδων OLS και JK (άλλα και όλων των υπόλοιπων μεθόδων).

- Επίσης, στη συγκεκριμένη εφαρμογή (για αβεβαιότητες της τάξης των ± 0.5 μέτρων) παρατηρείται πως οι αβεβαιότητες των εκτιμήσεων των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται σημαντικά (μόλις στα ± 0.02 μέτρα/χρόνο). Ακόμα, παρουσιάζεται απόλυτη ταύτιση του ρυθμού μεταβολής που υπολογίζεται από τη μέθοδο WLS με την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου των OLS (στα -11.98 ± 0.002 μέτρα/χρόνο) κάτι που σημαίνει ότι οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη (οι μέθοδοι WLS και RWLS) είναι σε θέση να προσεγγίσουν τις αξιόπιστες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα με υψηλές ακρίβειες θέσης. Επομένως, όταν μειώνονται σημαντικά οι αρχικές αβεβαιότητες των δεδομένων, τουλάχιστον οι 6 από τις 10 μεθόδους (εξαιρώντας τις προβληματικές μεθόδους AER, RLS, LAD και WLAD) υπολογίζουν σχετικά αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής με χαμηλές αβεβαιότητες, οι οποίοι προσεγγίζουν τις εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK (το γεγονός αυτό παρατηρείται εν μέρει στην περιοχή 9_THE αλλά και στις πέντε προηγούμενες περιοχές της μελέτης).

Το γεγονός της γενικότερης αστοχίας εφαρμογής της μεθόδου RLS (η συγκεκριμένη μέθοδος υπολογίζει συστηματικά χαμηλούς ρυθμούς υποχώρησης σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους στην παρούσα περιοχή) ενδέχεται να προκαλείται από τις σημαντικές αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων (περιορισμένες πηγές δεδομένων-χρονολογίες αεροφωτογραφίσεων και μικρές κλίμακες αεροφωτογραφιών).

Τέλος, για αβεβαιότητες ± 0.5 μέτρων, οι μέθοδοι LAD και WLAD, υπολογίζουν και οι δύο υποχώρηση της τάξης των -1.28 και -1 μέτρων/χρόνο (ίδιες ακριβώς εκτιμήσεις σε σχέση με τις τρεις πρώτες εφαρμογές της συγκεκριμένης περιοχής). Οι συγκεκριμένοι αυτοί ρυθμοί μεταβολής δεν είναι δυνατόν να θεωρηθούν ιδιαίτερα αξιοποιήσιμοι καθώς απέχουν σημαντικά από την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου των OLS αλλά και εξαιτίας της γενικότερης αναξιοπιστίας των δύο αυτών μεθόδων.

9_THE	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 1-46) - (x0.7)	8.52 +/- 1	16.16 +/- 5.76	9.21	7.72 +/- 0.002	7.50	3.95 +/- 0.06	6.51 +/- 0.09	6.51 +/- 0.09	2	1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 54-103) - (x0.7)	4.56 +/- 1	11.48 +/- 6.01	5.25	3.69 +/- 0.002	3.43	26.00 +/- 1.95	2.41 +/- 0.085	2.41 +/- 0.09	-1.24	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 129-151) - (x0.7)	1.58 +/- 1	3.51 +/- 4.08	1.68	1.51 +/- 0.002	1.51	-1.05 +/- 0.07	1.38 +/- 0.13	1.38 +/- 0.13	-1.12	1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 156-180) - (x0.7)	20.87 +/- 1	34.24 +/- 4.25	21.70	20.18 +/- 0.002	20.09	50.99 +/- 3.21	19.00 +/- 0.12	19.00 +/- 0.12	0	0
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 281-334) - (x0.7)	-9.81 +/- 1	-10.74 +/- 0.94	-8.51	-11.98 +/- 0.002	-12.81	-2.49 +/- 0.09	-14.97 +/- 0.08	-14.97 +/- 0.08	-1.28	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 281-334) - (0.5)	-9.81 +/- 0.72	-10.74 +/- 0.68	-8.51	-11.98 +/- 0.002	-12.81	-2.49 +/- 0.09	-14.95 +/- 0.06	-14.95 +/- 0.06	-1.28	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 281-334) - (0.2)	-9.81 +/- 0.29	-10.74 +/- 0.27	-8.51	-11.98 +/- 0.002	-12.81	-2.49 +/- 0.09	-14.95 +/- 0.02	-14.95 +/- 0.02	-1.28	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 281-334) (0.2-όχι 1945)	-14.42 +/- 0.34	-13.63 +/- 0.48	-13.23	-14.81 +/- 0.003	-13.63	-2.67 +/- 0.19	-15.52 +/- 0.03	-15.52 +/- 0.03	-1.28	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 281-334) (0.5-όχι 1995)	-14.70 +/- 0.69	-13.60 +/- 2.09	-13.06	-15.24 +/- 0.003	-13.60	-3.25 +/- 0.14	-19.32 +/- 0.07	-19.32 +/- 0.07	-0.62	-0.62
10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητες 0.5m)	-9.81 +/- 0.02	-10.74 +/- 0.02	-8.51	-11.98 +/- 0.002	-12.81	-2.49 +/- 0.09	-11.98 +/- 0.002	-11.98 +/- 0.002	-1.28	-1	

ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ >3 m/yr (Υψηλή υποχώρηση)

Πίνακας 6α : Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής στην παράκτια περιοχή με κωδικό 9_THE.

4.2.7

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	10_NES
ΥΨΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (> - 3 m/yr)	

Γενικά στοιχεία.

Ο κωδικός της παρούσας περιοχής είναι 10_NES και τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στο Δέλτα του Νέστου. Το μήκος της ευρύτερης ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 14.700 μέτρα [11]. Συνολικά έχουν σχεδιαστεί 147 διατομές ανά 100 μέτρα (κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς η οποία έχει προκύψει από την ψηφιοποίηση του χάρτη της Γ.Υ.Σ. του 1976, κλίμακας 1/5.000) και χρησιμοποιούνται 7 διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές έτσι ώστε να υπολογιστεί αρχικά η ιστορική οπισθοχώρηση (ή πρόσκωση) της περιοχής και στη συνέχεια να ακολουθήσουν οι υπολογισμοί πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2050. Η απόσταση των 100 μέτρων μεταξύ των διατομών κρίθηκε ικανοποιητική στη συγκεκριμένη περίπτωση ακτής, λαμβάνοντας υπόψη το συνολικό μήκος της ακτογραμμής μελέτης (περιγράφεται η μεταβολή στο ανάγλυφο με ακρίβεια χωρίς πρόσθετη, περιττή πληροφορία). Η παρούσα στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman επικεντρώνεται σε δύο συγκεκριμένα τμήματα της ευρύτερης ακτογραμμής : στο τμήμα α μεταξύ των διατομών 1 έως 25 και στο τμήμα γ μεταξύ των διατομών 113 έως 147. Τα δύο αυτά τμήματα επιλέχθηκαν για περαιτέρω διερεύνηση της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής ως αντιπροσωπευτικές παράκτιες υπό-περιοχές του Δέλτα, δυτικά (1-25) και ανατολικά (113-147) καθώς σε αυτά εντοπίζεται σημαντικά καταγεγραμμένη ιστορική υποχώρηση της ακτογραμμής (παρουσιάζεται απώλεια εδαφών και καλλιεργήσιμων εκτάσεων). Στο κεντρικό τμήμα Β (διατομές 26 έως 112) παρατηρούνται έντονα φαινόμενα πρόσκωσης (λόγω των φερτών υλικών του ποταμού) και δεν κρίνεται σκόπιμο να γίνει στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων των 10 μεθόδων καθώς πρόκειται για μια υπό-περιοχή η οποία μεταβάλλεται συνεχώς εποχιακά.

Παρακάτω ακολουθεί απόσπασμα χάρτη της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, όπου παρουσιάζεται εντοπισμένη η περιοχή μελέτης :



Εικόνα 34 : Φύλλο χάρτη Γ.Υ.Σ. 1:50.000 «ΑΒΔΗΡΑ» [102]

Οι ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή 10_NES είναι οι παρακάτω :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1969 (α/φ κλίμακας 1/40.000)
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1976 (διάγραμμα Γ.Υ.Σ. 1/5.000)
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1978 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
4. Ιστορική ακτογραμμή του 1985 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
5. Ιστορική ακτογραμμή του 1990 (α/φ κλίμακας 1/30.000)
6. Ιστορική ακτογραμμή του 1992 (α/φ κλίμακας 1/15.000)
7. Ιστορική ακτογραμμή του 1995 (α/φ κλίμακας 1/15.000)

Μεθοδολογία.

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 10_NES (για το τμήμα της ακτογραμμής μεταξύ των διατομών 1 έως 25) είναι οι παρακάτω (συνολικά 4) :

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,7$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με «συνθετικές» αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης των ± 0.5 μέτρων (γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι ιστορικές ακτογραμμές έχουν ενιαία, ιδιαιτέρως υψηλή ακρίβεια θέσης).

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 10_NES (για το τμήμα της ακτογραμμής μεταξύ των διατομών 26 έως 112) είναι οι παρακάτω (συνολικά 6) :

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων και για τις 86 διατομές, με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,7$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$, εξαιρώντας την ακτογραμμή (μειωμένης ακρίβειας) του 1969.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ακτογραμμή (υψηλής ακρίβειας) του 1995.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με «συνθετικές» αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης των ± 0.5 μέτρων (γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι ιστορικές ακτογραμμές έχουν ενιαία, ιδιαιτέρως υψηλή ακρίβεια θέσης).

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 10_NES (για το τμήμα της ακτογραμμής μεταξύ των διατομών 113 έως 147) είναι οι παρακάτω (συνολικά 4) :

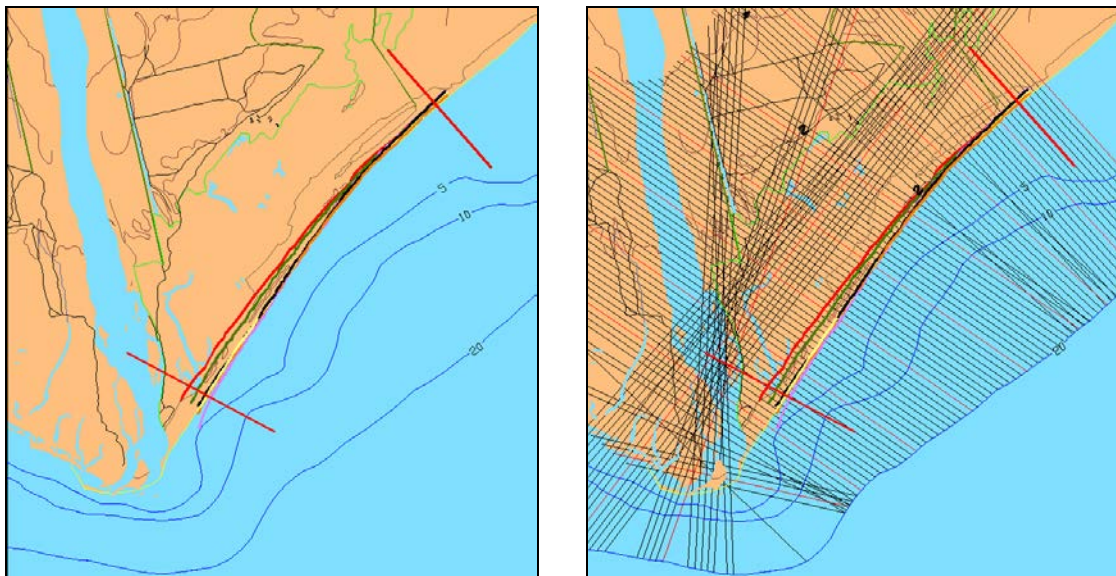
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων και για τις 34 διατομές, με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,7$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$.

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με «συνθετικές» αβεβαιότητες στη θέση των ιστορικών ακτογραμμών της τάξης των ± 0.5 μέτρων (γίνεται η υπόθεση ότι όλες οι ιστορικές ακτογραμμές έχουν ενιαία, ιδιαίτερος υψηλή ακρίβεια θέσης).

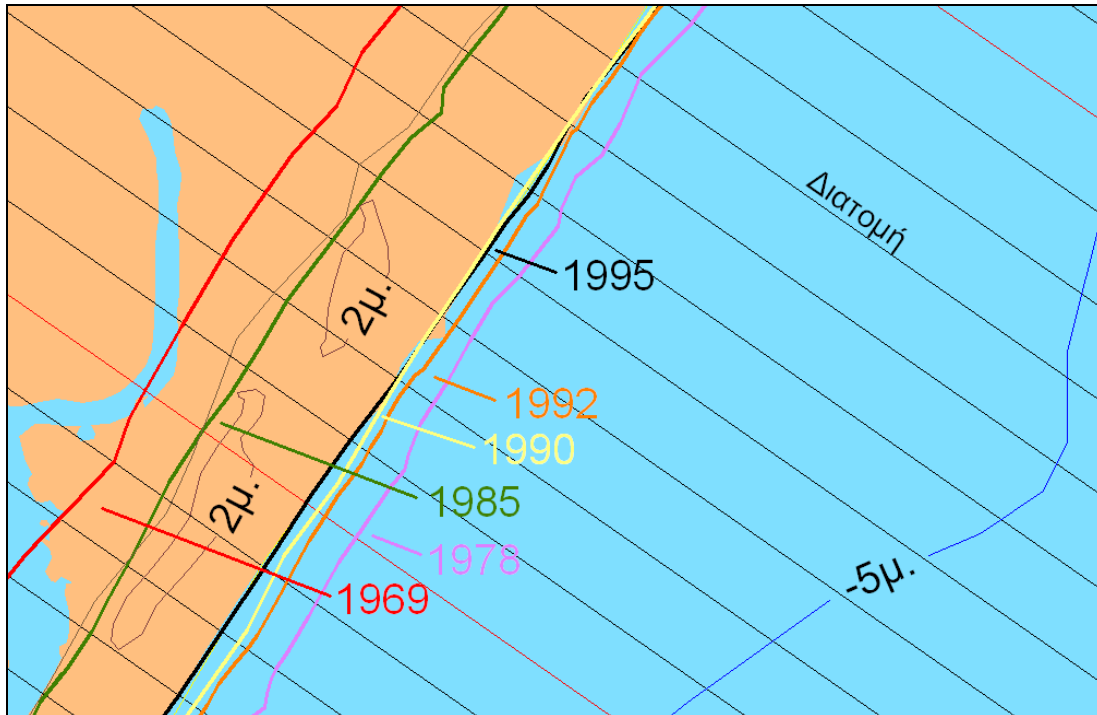
Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής παρουσιάζονται στον συγκεντρωτικό πίνακα 7α. Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τους ρυθμούς μεταβολής αλλά και τις προβλέψεις για τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής όπως προκύπτουν από τις 10 βασικές στατιστικές μεθόδους, η συγκεκριμένη περιοχή κατατάσσεται στην «κατηγορία υψηλής υποχώρησης» (> -3 m/yr).

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται συνολικά το σχέδιο της περιοχής μελέτης, έτσι όπως προέκυψε από τη ψηφιοποίηση των αεροφωτογραφιών και των χαρτών, όπως επίσης και από την εφαρμογή των διαθέσιμων ιστορικών ακτογραμμών [11]. Παράλληλα, στο σχέδιο εμφανίζονται το οδικό δίκτυο και έργα υποδομής όπως επίσης και οι κύριες ισοϋψείς και ισοβαθείς καμπύλες του ανάγλυφου. Σχεδιασμένες κάθετα στην επιλεγμένη ακτογραμμή αναφοράς, φαίνονται οι διατομές οι οποίες απέχουν μεταξύ τους 100 μέτρα. Κατά μήκος αυτών των διατομών μετρήθηκαν και οι αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών ιστορικών ακτογραμμών, οι οποίες αποτελούν και τα πρωτογενή δεδομένα που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής με τη χρήση των 10 στατιστικών μεθόδων.



Εικόνες 35 και 36 : Στην αριστερή εικόνα φαίνεται η γενική περιοχή μελέτης του Δέλτα του Νέστου, ενώ στη δεξιά παρουσιάζονται οι ιστορικές ακτογραμμές σε συνδυασμό με τις σχεδιασμένες διατομές [11]. Η κλίμακα των συγκεκριμένων διαγραμμάτων ($\sim 1:100.000$) είναι επιλεγμένη έτσι ώστε να περιλαμβάνεται όλη η δυνατή διαθέσιμη πληροφορία (διατομές, μορφολογία Δέλτα και ακτής, ιστορικές ακτογραμμές).



Εικόνα 37 : Στο μεγεθυμένο παράθυρο φαίνεται ένα τμήμα της περιοχής μελέτης 10_NES, όπως επίσης και οι διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές και οι κάθετα σχεδιασμένες διατομές. Οι μετρημένες αποστάσεις για κάθε χρονικό διάστημα χρησιμοποιούνται από τις 10 στατιστικές μεθόδους για να υπολογιστούν και οι απαραίτητοι ρυθμοί μεταβολής.

Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητες τους) του πίνακα 7α, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

Τμήμα α (διατομές 1 έως 25) :

- Οι μέθοδοι EPR, AOR και AER (οι τρεις μη στατιστικές μέθοδοι) παράγουν αποτελέσματα με σημαντικά σφάλματα τα οποία στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται οι υψηλότερες δυνατές αβεβαιότητες στα πρωτογενή δεδομένα (0,7 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) υπολογίζονται έως και ± 4.47 μέτρα/χρόνο (για την μέθοδο EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των -3.48 ± 3.33 μέτρων/χρόνο και για την μέθοδο AOR υπολογίζεται -3.29 ± 4.47 μέτρων/χρόνο).
- Στην περιοχή 10_NES, όπως και στις προηγούμενες περιοχές, αυτές οι αβεβαιότητες (EPR, AOR) και η αναξιοπιστία αποτελεσμάτων (AER) μειώνονται όσο βελτιώνεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων (ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών). Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (δηλ. για αεροφωτογραφία με κλίμακα 1/30.000 έχουμε ακρίβεια θέσης $30 \times 0.5 = \pm 15$ μέτρα), οι αβεβαιότητες πρόβλεψης μειώνονται για τη μέθοδο EPR στα ± 2.5 μέτρα/χρόνο ενώ για τη μέθοδο AOR στα ± 3.35 μέτρα/χρόνο.

Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (η χαμηλότερη τιμή αβεβαιότητων), οι αβεβαιότητες των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται

περεταίρω (μέσω της μεθόδου EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των -3.48 ± 1 μέτρο/χρόνο), χωρίς όμως να σημαίνει ότι οι εκτιμήσεις τους θεωρούνται πλέον αξιόπιστες. Τα σφάλματα που συνοδεύουν τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής για τις τρεις μεθόδους, εξακολουθούν να κρίνονται ιδιαίτερα υψηλά (παρά τις μειωμένες αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων) καθώς προσεγγίζουν τιμές στο 1/3 του «σήματος».

Επίσης, στην περιοχή 10_NES παρατηρείται ότι οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των τριών μη στατιστικών μεθόδων EPR, AOR και AER παραμένουν αμετάβλητοι στις τρεις πρώτες εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων (οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω και των δέκα στατιστικών μεθόδων παραμένουν αμετάβλητοι για τις τρεις πρώτες εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες). Αντίστοιχη παρατήρηση είχε προκύψει και στην περίπτωση των εφαρμογών στις περιοχές 6_BAR και 9_THE.

Συγκεκριμένα μέσω των μεθόδων EPR και AOR υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -3.48 και -3.29 μέτρων/χρόνο όταν μέσω των μεθόδων OLS και JK (των οποίων οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί παραμένουν και αυτοί σταθεροί κατά τις τρεις πρώτες εφαρμογές) υπολογίζονται υποχωρήσεις της τάξης των -3.57 και -3.29 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα. Βέβαια, παρόλο που δεν μεταβάλλονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής όταν μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες, όπως ήδη αναφέρθηκε, μειώνονται σημαντικά τα σφάλματα των εκτιμήσεων των ίδιων των μεθόδων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η αβεβαιότητα της εκτίμησης της μεθόδου EPR μειώνεται συνεχώς από τα αρχικά ± 3.33 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) στα ± 2.5 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) και τελικώς καταλήγει στο ± 1 μέτρο/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας). Αντίθετα, μέσω της μεθόδου AER (μέθοδος μειωμένης αξιοπιστίας) υπολογίζεται σταθερός ρυθμός υποχώρησης για τις τρεις πρώτες εφαρμογές της τάξης των -3.20 μέτρων/χρόνο ενώ μέσω των μεθόδων RLS, LAD και WLAD υπολογίζονται ρυθμοί της τάξης των -1.64 , -2 και -1 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται ότι οι εκτιμήσεις των μεθόδων RLS, LAD και WLAD (μέθοδοι οι οποίες χαρακτηρίζονται από την αναξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους) προσεγγίζουν ως ένα βαθμό τον ρυθμό μεταβολής που υπολογίζεται από την μέθοδο των OLS. Αυτό ενδέχεται να συμβαίνει είτε εξαιτίας σύμπτωσης μαθηματικών υπολογισμών, καθώς σε όλες τις προηγούμενες εφαρμογές των 10 στατιστικών μεθόδων στις υπόλοιπες περιοχές της μελέτης, οι εκτιμήσεις των συγκεκριμένων μεθόδων απέκλιναν σημαντικά από το μέσο όρο των υπόλοιπων, είτε επειδή στη συγκεκριμένη περίπτωση, οι παραπάνω μέθοδοι προσαρμόζονται επαρκώς στα δεδομένα και υπολογίζουν ρεαλιστικούς ρυθμούς μεταβολής.

Ενώ σε προηγούμενες περιοχές της μελέτης οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων EPR, AOR και AER παρουσίαζαν σημαντικές αποκλίσεις από τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK (κυρίως λόγω των υψηλών αρχικών αβεβαιοτήτων), στην περιοχή 10_NES, παρόλο που χρησιμοποιούνται οι ίδιες αρχικές αβεβαιότητες, οι εκτιμήσεις των μεθόδων EPR, AOR, AER, OLS, JK αλλά και WLS, RWLS παρουσιάζουν οριακές αποκλίσεις γύρω από τη μέση τιμή υποχώρησης των -3.50 μέτρων/χρόνο.

Μέσω των μεθόδων OLS και JK υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -3.57 και -3.29 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα, οι οποίοι συγκλίνουν σημαντικά μεταξύ τους και στην παρούσα περιοχή μελέτης (όπως παρατηρήθηκε και στις 6 προηγούμενες περιοχές). Επίσης, είναι χαρακτηριστικό πως, όπως παρατηρήθηκε για τις μεθόδους EPR, AOR και AER, έτσι και για δύο μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής παραμένουν σταθεροί για κάθε μέθοδο παρόλο που κλιμακωτά μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες (για τη μέθοδο OLS, παραμένουν σταθερά και ιδιαίτερα χαμηλά και τα υπολογιζόμενα σφάλματα για τις τρεις πρώτες εφαρμογές στην τιμή των -0.01 μέτρων/χρόνο).

Οι εκτιμήσεις των μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη WLS και RWLS (εξαιρείται η μόνιμα προβληματική μέθοδος RLS) στην περιοχή 10_NES ταυτίζονται πλήρως με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις της μεθόδου OLS για τις τρεις πρώτες εφαρμογές (η προσέγγιση αυτή των εκτιμήσεων των παραπάνω μεθόδων κρίνεται αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη σύγκριση στην περιοχή 9_THE). Έτσι, ενώ μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής της τάξης των -3.57 μέτρων/χρόνο, οι μέθοδοι WLS και RWLS υπολογίζουν επίσης υποχώρηση της ακτογραμμής της τάξης των -3.57 μέτρων/χρόνο. Σημαντικό γεγονός αποτελεί και το ότι οι υπολογιζόμενες αβεβαιότητες τους είναι εξαιρετικά χαμηλές για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (± 0.14 μέτρα/χρόνο), όταν στις αντίστοιχες εφαρμογές οι αβεβαιότητες των μεθόδων OLS και JK είναι ακόμη χαμηλότερες, της τάξης των -0.01 μέτρων/χρόνο. Επομένως, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων WLS και RWLS (υπήρχαν αρκετές περιπτώσεις σε προηγούμενες περιοχές της μελέτης όπου οι προβλέψεις χαρακτηρίζονταν σχετικά αξιόπιστες), αποδεικνύονται και στην περιοχή 10_NES σχετικά αξιοποιήσιμοι. Τέλος, η μέθοδος RLS η οποία στην πλειοψηφία των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης παρείχε συστηματικά αναξιόπιστα αποτελέσματα, υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -1.64 μέτρων/χρόνο.

Όσον αφορά τις συνήθως προβληματικές μεθόδους LAD και WLAD, στις τρεις πρώτες εφαρμογές (όπου και παραμένει σταθερή η εκτίμηση της κάθε μεθόδου) υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής «συμφωνώντας» με την γενική τάση υποχώρησης της περιοχής. Ειδικότερα, μέσω της μεθόδου LAD υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης των -2 μέτρων/χρόνο ενώ μέσω της μεθόδου WLAD υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης του -1 μέτρου/χρόνο. Οι αποκλίσεις των παραπάνω εκτιμήσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK κρίνονται σημαντικές, καθιστώντας και στην παρούσα εφαρμογή τους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των δύο μεθόδων τελικώς αναξιόπιστους.

- Στην εφαρμογή όπου οι αρχικές αβεβαιότητες ορίζονται στα ± 0.5 μέτρα, παρατηρείται ότι μέσω και των δέκα στατιστικών μεθόδων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της ακτογραμμής ίδιοι ακριβώς με τους ρυθμούς υποχώρησης που είχαν υπολογιστεί για τις πρώτες τρεις εφαρμογές του συγκεκριμένου τμήματος της παράκτιας περιοχής. Πρόσθετα, τα σφάλματα των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής των 10 στατιστικών μεθόδων χαρακτηρίζονται ως τα χαμηλότερα σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή στην περιοχή 10_NES.

Ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για κάθε μέθοδο : -2 και -1 μέτρα/χρόνο (μέθοδοι LAD, WLAD), -3.57 ± 0.01 μέτρα/χρόνο (μέθοδος OLS), -3.57 ± 0.01 μέτρα/χρόνο (μέθοδος WLS) και -3.29 ± 0.11 μέτρα/χρόνο (μέθοδος EPR). Οι μέθοδοι OLS και JK, όπως ήδη αναφέρθηκε, παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλές αβεβαιότητες σε όλες τις εφαρμογές ανεξαρτήτως των αβεβαιοτήτων των αρχικών δεδομένων (είναι χαρακτηριστικό πως ενώ υπολογίζονται ρυθμοί της τάξης των -3.57 μέτρων/χρόνο, η υψηλότερη τιμή στην οποία φτάνουν οι αβεβαιότητες συμπεριλαμβάνοντας όλες τις εφαρμογές που εκτελέστηκαν στην περιοχή 10_NES, είναι τα ± 0.01 μέτρα/χρόνο). Ακόμα, οι ρυθμοί μεταβολής των δύο μεθόδων προσεγγίζουν σημαντικά ο ένας τον άλλο και παρουσιάζουν χαμηλές διακυμάνσεις όσον αφορά το σήμα αλλά και τα υπολογιζόμενα σφάλματα από εφαρμογή σε εφαρμογή (οι ρυθμοί και οι αβεβαιότητες τους δεν μεταβάλλονται σημαντικά).

Επίσης, στη συγκεκριμένη εφαρμογή (για αβεβαιότητες της τάξης των ± 0.5 μέτρων) παρατηρείται πως οι αβεβαιότητες των εκτιμήσεων των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται σημαντικά (μόλις στα ± 0.08 και ± 0.11 μέτρα/χρόνο αντίστοιχα). Ακόμα, παρουσιάζεται απόλυτη ταύτιση των ρυθμών μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των μεθόδων WLS και RWLS με την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου της μεθόδου OLS (στα -3.57 ± 0.01 μέτρα/χρόνο) κάτι που σημαίνει ότι οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη (οι μέθοδοι WLS και RWLS) είναι σε θέση να προσεγγίσουν τις αξιόπιστες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα με υψηλές ακρίβειες θέσης. Επομένως, όταν μειώνονται σημαντικά οι αρχικές αβεβαιότητες των δεδομένων, οι 7 από τις 10 μεθόδους (εξαιρώντας τις προβληματικές μεθόδους RLS, LAD και WLAD) υπολογίζουν σχετικά αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής με χαμηλές αβεβαιότητες, οι οποίοι προσεγγίζουν τις εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK (το γεγονός αυτό έχει παρατηρηθεί και σε όλες τις προηγούμενες περιοχές της μελέτης).

Τέλος, για αβεβαιότητες ± 0.5 μέτρων, οι μέθοδοι LAD και WLAD, υπολογίζουν και οι δύο υποχώρηση της τάξης των -2 και -1 μέτρων/χρόνο (ίδιες ακριβώς εκτιμήσεις σε σχέση με τις τρεις πρώτες εφαρμογές της συγκεκριμένης περιοχής). Οι συγκεκριμένοι αυτοί ρυθμοί μεταβολής δεν είναι δυνατόν να θεωρηθούν ιδιαίτερα αξιοποιήσιμοι καθώς απέχουν σημαντικά από την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου των OLS αλλά και εξαιτίας της γενικότερης αναξιοπιστίας των δύο αυτών μεθόδων.

Τμήμα γ (διατομές 113 έως 147) :

- Οι μέθοδοι EPR, AOR και AER παράγουν αποτελέσματα με σημαντικά σφάλματα τα οποία στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται οι υψηλότερες δυνατές αβεβαιότητες στα πρωτογενή δεδομένα (0,7 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) υπολογίζονται έως και ± 3.37 μέτρα/χρόνο (για την μέθοδο EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των -3.97 ± 1.65 μέτρων/χρόνο και για τη μέθοδο AOR υπολογίζεται -3.85 ± 3.77 μέτρων/χρόνο, όπου παρατηρείται η αβεβαιότητα να προσεγγίζει το ίδιο το «σήμα»).
- Στην περιοχή 10_NES, όπως και στις προηγούμενες περιοχές, αυτές οι αβεβαιότητες (EPR, AOR) και η αναξιοπιστία αποτελεσμάτων (AER) μειώνονται

όσο βελτιώνεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων (ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών). Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (δηλ. για αεροφωτογραφία με κλίμακα 1/30.000 έχουμε ακρίβεια θέσης $30 \times 0.5 = \pm 15$ μέτρα), οι αβεβαιότητες πρόβλεψης μειώνονται για τη μέθοδο EPR στα ± 1.20 μέτρα/χρόνο ενώ για την μέθοδο AOR στα ± 2.70 μέτρα/χρόνο.

Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (η χαμηλότερη τιμή αβεβαιότητων), οι αβεβαιότητες των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται περαιτέρω (μέσω της μεθόδου EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των -3.97 ± 0.48 μέτρα/χρόνο), χωρίς όμως οι εκτιμήσεις τους να θεωρούνται πλέον αξιόπιστες. Τα σφάλματα που συνοδεύουν τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής για τις τρεις μεθόδους, εξακολουθούν να κρίνονται ιδιαίτερα υψηλά (παρά τις μειωμένες αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων) καθώς προσεγγίζουν τιμές στο 1/3 του «σήματος».

Επίσης, στην περιοχή 10_NES παρατηρείται ότι οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των τριών μη στατιστικών μεθόδων EPR, AOR και AER παραμένουν αμετάβλητοι στις τρεις πρώτες εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων (οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω και των δέκα στατιστικών μεθόδων παραμένουν αμετάβλητοι για τις τρεις πρώτες εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες). Αντίστοιχη παρατήρηση είχε προκύψει και στην περίπτωση των εφαρμογών στις περιοχές 6_BAR, 9_THE αλλά και στο τμήμα α της παρούσας ακτογραμμής μελέτης.

Συγκεκριμένα, μέσω των μεθόδων EPR και AOR υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -3.97 και -3.85 μέτρων/χρόνο όταν μέσω των μεθόδων OLS και JK (των οποίων οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί παραμένουν και αυτοί σταθεροί κατά τις τρεις πρώτες εφαρμογές) υπολογίζονται υποχωρήσεις της τάξης των -4.01 και -3.85 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα. Βέβαια, παρόλο που δεν μεταβάλλονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής όταν μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες, όπως ήδη αναφέρθηκε, μειώνονται σημαντικά τα σφάλματα των εκτιμήσεων των ίδιων των μεθόδων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η αβεβαιότητα της εκτίμησης της μεθόδου EPR μειώνεται συνεχώς από τα αρχικά ± 1.65 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) στα ± 1.20 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) και τελικώς καταλήγει στο ± 0.48 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας). Αντίθετα, μέσω της μεθόδου AER (μέθοδος μειωμένης αξιοπιστίας) υπολογίζεται σταθερός ρυθμός υποχώρησης για τις τρεις πρώτες εφαρμογές της τάξης των -3.79 μέτρων/χρόνο ενώ μέσω των μεθόδων RLS, LAD και WLAD υπολογίζονται ρυθμοί της τάξης των -0.66 , -2 και -1 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται ότι οι εκτιμήσεις των μεθόδων RLS, LAD και WLAD (μέθοδοι οι οποίες χαρακτηρίζονται από την αναξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους) προσεγγίζουν ως ένα βαθμό τον ρυθμό μεταβολής που υπολογίζεται από τη μέθοδο των OLS (είτε λόγω σύμπτωσης μαθηματικών υπολογισμών είτε καλύτερης προσαρμογής στα δεδομένα και στη συγκεκριμένη περίπτωση).

Ενώ σε προηγούμενες περιοχές της μελέτης οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων EPR, AOR και AER παρουσίαζαν σημαντικές αποκλίσεις από τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK (κυρίως λόγω των υψηλών αρχικών αβεβαιοτήτων), στην περιοχή 10_NES, παρόλο που χρησιμοποιούνται οι ίδιες αρχικές αβεβαιότητες, οι εκτιμήσεις των μεθόδων EPR, AOR, AER, OLS, JK αλλά και WLS, RWLS παρουσιάζουν οριακές αποκλίσεις γύρω από την μέση τιμή υποχώρησης των -4 μέτρων/χρόνο.

Μέσω των μεθόδων OLS και JK υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -4.01 και -3.85 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα, οι οποίοι συγκλίνουν σημαντικά μεταξύ τους και στην παρούσα περιοχή μελέτης (όπως παρατηρήθηκε και στις 7 προηγούμενες περιοχές). Επίσης, είναι χαρακτηριστικό πως, όπως παρατηρήθηκε για τις μεθόδους EPR, AOR και AER, έτσι και για δύο μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής παραμένουν σταθεροί για κάθε μέθοδο παρόλο που κλιμακωτά μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες (για τη μέθοδο OLS, παραμένουν σταθερά και ιδιαίτερα χαμηλά και τα υπολογιζόμενα σφάλματα για τις τρεις πρώτες εφαρμογές στην τιμή των -0.01 μέτρων/χρόνο).

Οι εκτιμήσεις των μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη WLS και RWLS (εξαιρείται η μόνιμα προβληματική μέθοδος RLS) στο τμήμα γ της περιοχής 10_NES προσεγγίζουν οριακά τις αντίστοιχες εκτιμήσεις της μεθόδου OLS για τις τρεις πρώτες εφαρμογές (η προσέγγιση αυτή των εκτιμήσεων των παραπάνω μεθόδων κρίνεται αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη σύγκριση στην περιοχή 9_THE). Έτσι, ενώ μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής της τάξης των -4.01 μέτρων/χρόνο, οι μέθοδοι WLS και RWLS υπολογίζουν επίσης υποχώρηση της ακτογραμμής της τάξης των -4.21 μέτρων/χρόνο. Σημαντικό γεγονός αποτελεί και το ότι οι υπολογιζόμενες αβεβαιότητες τους είναι εξαιρετικά χαμηλές για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (± 0.03 μέτρα/χρόνο), όταν στις αντίστοιχες εφαρμογές οι αβεβαιότητες των μεθόδων OLS και JK είναι ακόμη χαμηλότερες, της τάξης των -0.01 μέτρων/χρόνο. Επομένως, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων WLS και RWLS (υπήρχαν αρκετές περιπτώσεις σε προηγούμενες περιοχές της μελέτης όπου οι προβλέψεις χαρακτηρίζονταν σχετικά αξιόπιστες), αποδεικνύονται και στο τμήμα γ της περιοχής 10_NES σχετικά αξιόπιστοι. Τέλος, η μέθοδος RLS η οποία στην πλειοψηφία των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης παρείχε συστηματικά αναξιόπιστα αποτελέσματα, υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -0.66 μέτρων/χρόνο.

Όσον αφορά τις συνήθως προβληματικές μεθόδους LAD και WLAD, στις τρεις πρώτες εφαρμογές (όπου και παραμένει σταθερή η εκτίμηση της κάθε μεθόδου) υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής «συμφωνώντας» με την γενική τάση υποχώρησης της περιοχής. Ειδικότερα, μέσω της μεθόδου LAD υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης των -2 μέτρων/χρόνο ενώ μέσω της μεθόδου WLAD υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης του -1 μέτρου/χρόνο. Οι αποκλίσεις των παραπάνω εκτιμήσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK κρίνονται σημαντικές, καθιστώντας και στην παρούσα εφαρμογή τους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των δύο μεθόδων τελικώς αναξιόπιστους.

- Στην εφαρμογή όπου οι αρχικές αβεβαιότητες ορίζονται στα ± 0.5 μέτρα, παρατηρείται ότι μέσω των οκτώ στατιστικών μεθόδων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της ακτογραμμής ίδιοι ακριβώς με τους ρυθμούς υποχώρησης που είχαν υπολογιστεί για τις πρώτες τρεις εφαρμογές του συγκεκριμένου τμήματος της παράκτιας περιοχής. Εξαιρέσεις αποτελούν οι μέθοδοι WLS και RWLS των οποίων οι νέοι, υπολογιζόμενοι ρυθμοί υποχώρησης ταυτίζονται πλέον πλήρως με την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου των OLS, στα -4.01 μέτρα/χρόνο. Πρόσθετα, τα σφάλματα των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής των 10 στατιστικών μεθόδων χαρακτηρίζονται ως τα χαμηλότερα σε σχέση με οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή στην περιοχή 10_NES.

Ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για κάθε μέθοδο : -2 και -1 μέτρα/χρόνο (μέθοδοι LAD, WLAD), -4.01 ± 0.01 μέτρα/χρόνο (μέθοδος OLS), -4.01 ± 0.01 μέτρα/χρόνο (μέθοδος WLS) και -3.97 ± 0.04 μέτρα/χρόνο (μέθοδος EPR). Οι μέθοδοι OLS και JK, όπως ήδη αναφέρθηκε, παρουσιάζουν εξαιρετικά χαμηλές αβεβαιότητες σε όλες τις εφαρμογές ανεξαρτήτως των αβεβαιοτήτων των αρχικών δεδομένων (είναι χαρακτηριστικό πως ενώ υπολογίζονται ρυθμοί της τάξης των -4.01 μέτρων/χρόνο, η υψηλότερη τιμή στην οποία φτάνουν οι αβεβαιότητες συμπεριλαμβάνοντας όλες τις εφαρμογές που εκτελέστηκαν στο τμήμα γ της περιοχής 10_NES, είναι τα ± 0.01 μέτρα/χρόνο). Ακόμα, οι ρυθμοί μεταβολής των δύο μεθόδων προσεγγίζουν σημαντικά ο ένας τον άλλο και παρουσιάζουν χαμηλές διακυμάνσεις όσον αφορά το σήμα αλλά και τα υπολογιζόμενα σφάλματα από εφαρμογή σε εφαρμογή (οι ρυθμοί και οι αβεβαιότητες τους δεν μεταβάλλονται σημαντικά).

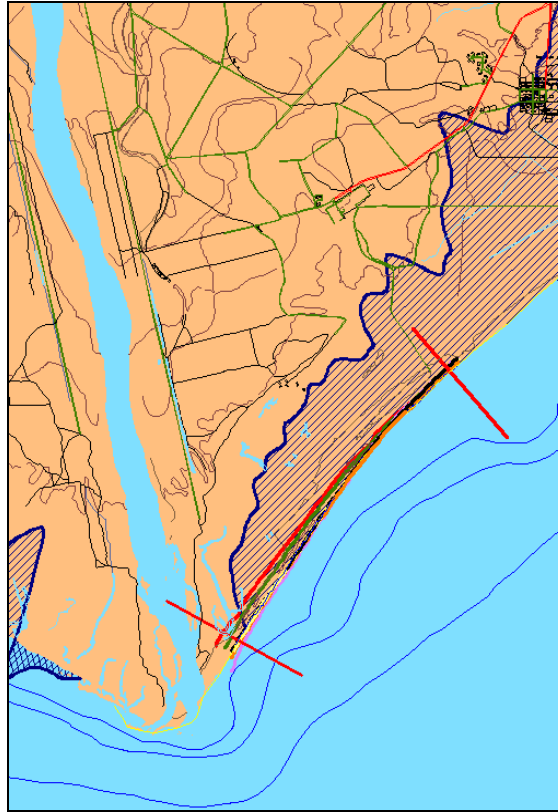
Επίσης, στη συγκεκριμένη εφαρμογή (για αβεβαιότητες της τάξης των ± 0.5 μέτρων) παρατηρείται πως οι αβεβαιότητες των εκτιμήσεων των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται σημαντικά (μόλις στα ± 0.04 και ± 0.10 μέτρα/χρόνο αντίστοιχα). Ακόμα, παρουσιάζεται απόλυτη ταύτιση των ρυθμών μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των μεθόδων WLS και RWLS με την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου της μεθόδου OLS (στα -4.01 ± 0.01 μέτρα/χρόνο) κάτι που σημαίνει ότι οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη (οι μέθοδοι WLS και RWLS) είναι σε θέση να προσεγγίσουν τις αξιόπιστες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα με υψηλές ακρίβειες θέσης. Επομένως, όταν μειώνονται σημαντικά οι αρχικές αβεβαιότητες των δεδομένων, οι 7 από τις 10 μεθόδους (εξαιρώντας τις προβληματικές μεθόδους RLS, LAD και WLAD) υπολογίζουν σχετικά αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής με χαμηλές αβεβαιότητες, οι οποίοι προσεγγίζουν τις εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK (το γεγονός αυτό έχει παρατηρηθεί σε όλες τις προηγούμενες περιοχές της μελέτης).

Συμπερασματικά, το γεγονός ότι η μέθοδος RLS υπολογίζει συστηματικά χαμηλούς ρυθμούς υποχώρησης σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους στην παρούσα περιοχή, ενδέχεται να προκαλείται από τις σημαντικές αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων.

Τέλος, για αβεβαιότητες ± 0.5 μέτρων, οι μέθοδοι LAD και WLAD, υπολογίζουν και οι δύο υποχώρηση της τάξης των -2 και -1 μέτρων/χρόνο (ίδιες ακριβώς εκτιμήσεις σε σχέση με τις τρεις πρώτες εφαρμογές της συγκεκριμένης περιοχής).

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η ευρύτερη περιοχή μελέτης του Δέλτα του Νέστου (10_NES). Λαμβάνοντας υπόψη την ιστορική οπισθοχώρηση της

ακτογραμμής (υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής με βάση τις ψηφιοποιημένες θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών) και θεωρώντας ως ρεαλιστική προσέγγιση το σενάριο ανόδου της στάθμης της θάλασσας κατά +0.5 μέτρα έως το έτος 2050, υπολογίζεται η θέση της μελλοντικής ακτογραμμής για τη συγκεκριμένη χρονολογία (2050) [11].



Εικόνα 38 : Με διαγράμμιση μπλε χρώματος φαίνονται οι περιοχές που θα απειληθούν λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, της διάβρωσης του εδάφους και τελικώς, της υποχώρησης της ακτογραμμής έως το έτος 2050 (κλίμακα διαγράμματος : ~1:100.000). Δυτικά του Δέλτα προβλέπονται τοπικές τάσεις πρόσχωσης αλλά συνολικά, οι εκτάσεις που αναμένονται να κινδυνέψουν και τελικά να χαθούν λόγω υποχώρησης της ακτογραμμής κρίνονται ιδιαίτερος σημαντικές [11].

10_NES	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD
	(Διατομές 1-25) - (x0.7)	-3.48 +/- 3.33	-3.29 +/- 4.47	-3.20	-3.57 +/- 0.01	-3.29	-1.64 +/- 0.34	-3.57 +/- 0.47	-3.57 +/- 0.47	-2	-1
	(Διατομές 26-112) - (x0.7)	5.70 +/- 1.46	8.85 +/- 3.15	3.63	5.46 +/- 0.001	5.10	-1.70 +/- 0.09	3.86 +/- 0.10	3.78 +/- 0.10	-0.27	-0.28
	(Διατομές 113-147) - (x0.7)	-3.97 +/- 1.65	-3.85 +/- 3.77	-3.79	-4.01 +/- 0.01	-3.85	-0.66 +/- 0.17	-4.21 +/- 0.11	-4.21 +/- 0.11	-2	-1
	(Διατομές 1-25) - (x0.5)	-3.48 +/- 2.5	-3.29 +/- 3.35	-3.20	-3.57 +/- 0.01	-3.29	-1.64 +/- 0.34	-3.57 +/- 0.35	-3.57 +/- 0.35	-2	-1
	(Διατομές 26-112) - (x0.5)	5.70 +/- 1.06	8.85 +/- 2.29	3.63	5.46 +/- 0.001	5.10	-1.70 +/- 0.09	3.99 +/- 0.07	3.92 +/- 0.07	-0.27	-0.28
	(Διατομές 113-147) - (0.5)	-3.97 +/- 1.20	-3.85 +/- 2.70	-3.79	-4.01 +/- 0.01	-3.85	-0.66 +/- 0.17	-4.21 +/- 0.08	-4.21 +/- 0.08	-2	-1
	(Διατομές 1-25) - (x0.2)	-3.48 +/- 1	-3.29 +/- 1.34	-3.20	-3.57 +/- 0.01	-3.29	-1.64 +/- 0.34	-3.57 +/- 0.14	-3.57 +/- 0.14	-2	-1
	(Διατομές 26-112) - (x0.2)	5.70 +/- 0.42	8.85 +/- 0.92	3.63	5.46 +/- 0.001	5.10	-1.70 +/- 0.09	3.99 +/- 0.03	3.92 +/- 0.03	-0.27	-0.28
	(Διατομές 113-147) - (0.2)	-3.97 +/- 0.48	-3.85 +/- 1.08	-3.79	-4.01 +/- 0.01	-3.85	-0.66 +/- 0.17	-4.21 +/- 0.03	-4.21 +/- 0.03	-2	-1
	(Διατομές 1-25) (x0.2-όχι 1969)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(Διατομές 26-112) (x0.2-όχι 1969)	0.43 +/- 0.53	2.27 +/- 0.69	0.62	1.43 +/- 0.002	1.66	-3.16 +/- 0.12	1.12 +/- 0.04	0.72 +/- 0.04	0.84	0.69
	(Διατομές 113-147) (0.2-όχι 1969)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(Διατομές 1-25) (x0.5-όχι 1995)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(Διατομές 26-112) (x0.5-όχι 1995)	7.42 +/- 1.20	9.64 +/- 3.20	6.41	6.55 +/- 0.002	6.02	-0.93 +/- 0.07	5.59 +/- 0.08	5.55 +/- 0.09	0.02	0.68
	(Διατομές 113-147) (0.5-όχι 1995)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	(Διατομές 1-25) (αβεβαιότητες +/-0.5m)	-3.48 +/- 0.08	-3.29 +/- 0.11	-3.20	-3.57 +/- 0.01	-3.29	-1.64 +/- 0.34	-3.57 +/- 0.01	-3.57 +/- 0.01	-2	-1
	(Διατομές 26-112) (αβεβαιότητες +/-0.5m)	5.70 +/- 0.04	3.81 +/- 0.03	3.63	5.46 +/- 0.001	5.10	-1.70 +/- 0.09	5.46 +/- 0.003	5.35 +/- 0.003	-0.27	-0.28
	(Διατομές 113-147) (αβεβαιότητες +/-0.5m)	-3.97 +/- 0.04	-3.85 +/- 0.10	-3.79	-4.01 +/- 0.01	-3.85	-0.66 +/- 0.17	-4.01 +/- 0.01	-4.01 +/- 0.01	-2	-1

ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ >3 m/yr (Υψηλή υποχώρηση)

Πίνακας 7α : Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής στην παράκτια περιοχή με κωδικό 10_NES.

4.2.8

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	2_KAT
ΧΑΜΗΛΗ ΠΡΟΣΧΩΣΗ (0 έως +1 m/yr)	

Γενικά στοιχεία.

Ο κωδικός της παρούσας περιοχής είναι 2_KAT και τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στην Κατερίνη Πιερίας (περιοχή Κορινού). Το μήκος της ευρύτερης ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 2.250 μέτρα [3]. Συνολικά έχουν σχεδιαστεί 45 διατομές ανά 50 μέτρα (κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς η οποία έχει προκύψει από την ψηφιοποίηση του χάρτη της Γ.Υ.Σ. του 1979, κλίμακας 1/5.000) και χρησιμοποιούνται 4 διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές έτσι ώστε να υπολογιστεί αρχικά η ιστορική οπισθοχώρηση (ή πρόσχωση) της περιοχής και στη συνέχεια να ακολουθήσουν οι υπολογισμοί πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2050. Στις 3 παράκτιες περιοχές που ακολουθούν επιλέχθηκαν τα 50 μέτρα ως η κατάλληλη απόσταση μεταξύ των σχεδιαζόμενων διατομών για να περιγραφεί επαρκώς η μορφολογία της κάθε ακτογραμμής.

Παρακάτω ακολουθεί απόσπασμα χάρτη της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, όπου παρουσιάζεται εντοπισμένη η περιοχή μελέτης :



Εικόνα 39 : Φύλλο χάρτη Γ.Υ.Σ. 1:50.000 «ΚΑΤΕΡΙΝΗ» [102]

Οι ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή 2_KAT είναι οι παρακάτω :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1960 (α/φ κλίμακας 1/15.000)
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1969 (α/φ κλίμακας 1/40.000)

3. Ιστορική ακτογραμμή του 1979 (διάγραμμα Γ.Υ.Σ. 1/5.000)
4. Ιστορική ακτογραμμή του 1997 (α/φ κλίμακας 1/15.000)

Μεθοδολογία.

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 2_KAT είναι οι παρακάτω (συνολικά 3) :

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,7$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$.

Λόγω των καταγεγραμμένων χαμηλών προσχωτικών τάσεων στην περιοχή 2_KAT (μια σχετικά σταθερή περιοχή), κρίθηκε απαραίτητο να εκτελεστούν αποκλειστικά οι τρεις παραπάνω εφαρμογές και όχι πρόσθετες εφαρμογές με προσθαφαίρεση γεωπληροφορίας (ανάλογη επιλογή έγινε και στις περιοχές με προσχωτικούς ρυθμούς μεταβολής 5_KAT και 3_KAT). Άλλωστε, εξετάζοντας το σύνολο των εφαρμογών στα πλαίσια της διατριβής, παρατηρείται πως δόθηκε βάρος στη διαδικασία υπολογισμού ρυθμών μεταβολής και στατιστικής ανάλυσης αποτελεσμάτων κυρίως σε περιπτώσεις περιοχών όπου εμφανίζονταν διαβρωτικές τάσεις της ακτογραμμής. Στις περιπτώσεις αυτές όπου υπολογίζονται ρυθμοί διάβρωσης, σε αντίθεση με ακτές όπου παρουσιάζεται χαμηλή πρόσχωση, απειλούνται παράκτια εδάφη και περιουσίες, εγκαταστάσεις και σε περίπτωση εκδήλωσης ακραίων καιρικών φαινομένων, ακόμη και ζωές. Με βάση τα παραπάνω, κρίνεται σκόπιμο να επικεντρωθεί η διερεύνηση των μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής και η στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων τους σε περιοχές όπου υπάρχουν απώλειες παράκτιων εδαφών.

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής παρουσιάζονται στο συγκεντρωτικό πίνακα 8α_2KAT. Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τους ρυθμούς μεταβολής αλλά και τις προβλέψεις για τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής όπως προκύπτουν από τις 10 βασικές στατιστικές μεθόδους, η συγκεκριμένη περιοχή κατατάσσεται στην «κατηγορία χαμηλής πρόσχωσης» (0 έως +1 m/yr). Στη συγκεκριμένη κατηγορία κατατάσσονται συνολικά 2 από τις 10 περιοχές που εξετάζονται στην διατριβή.

Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητες τους) του πίνακα 8α_2KAT, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Οι μέθοδοι EPR, AOR και AER (οι τρεις μη στατιστικές μέθοδοι) παράγουν αποτελέσματα με σημαντικά σφάλματα τα οποία υπερκαλύπτουν το ίδιο το «σήμα». Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται οι υψηλότερες δυνατές αβεβαιότητες στα πρωτογενή δεδομένα (0,7 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) υπολογίζονται σφάλματα έως και ± 2.66 μέτρα/χρόνο (για την μέθοδο EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των $+0.01 \pm 0.54$ μέτρων/χρόνο και για την μέθοδο AOR υπολογίζεται $+0.16 \pm 2.66$ μέτρων/χρόνο).
- Στην περιοχή 2_KAT, όπως και στις προηγούμενες περιοχές, αυτές οι αβεβαιότητες (EPR, AOR) και η αναξιοπιστία αποτελεσμάτων (AER) μειώνονται

όσο βελτιώνεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων (ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών). Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, οι αβεβαιότητες πρόβλεψης μειώνονται για την μέθοδο EPR στα ± 0.41 μέτρα/χρόνο ενώ για την μέθοδο AOR στα ± 1.91 μέτρα/χρόνο.

Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, οι αβεβαιότητες των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται περαιτέρω (μέσω της μεθόδου EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των $+0.01 \pm 0.16$ μέτρων/χρόνο), δίχως όμως οι εκτιμήσεις τους να θεωρούνται πλέον αξιόπιστες. Τα σφάλματα που συνοδεύουν τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής για τις τρεις μεθόδους, εξακολουθούν να κρίνονται εξαιρετικά υψηλά (παρά τις μειωμένες αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων) καθώς είναι πολλαπλάσια του ίδιου του «σήματος».

Επίσης, στην περιοχή 2_KAT παρατηρείται ότι οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των τριών μη στατιστικών μεθόδων EPR, AOR και AER παραμένουν αμετάβλητοι στις τρεις εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων (οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω και των δέκα στατιστικών μεθόδων παραμένουν αμετάβλητοι για τις τρεις εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες). Αντίστοιχη παρατήρηση είχε προκύψει και στην περίπτωση των εφαρμογών στις περιοχές 6_BAR, 9_THE και 10_NES.

Συγκεκριμένα, μέσω των μεθόδων EPR και AOR υπολογίζονται ρυθμοί πρόσχωσης της τάξης των $+0.01$ και $+0.16$ μέτρων/χρόνο όταν μέσω των μεθόδων OLS και JK (των οποίων οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί παραμένουν και αυτοί σταθεροί κατά τις τρεις πρώτες εφαρμογές) υπολογίζονται οριακή υποχώρηση της τάξης των -0.06 μέτρων/χρόνο και οριακή πρόσχωση της τάξης των $+0.001$ μέτρων/χρόνο αντίστοιχα. Βέβαια, παρόλο που δεν μεταβάλλονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής όταν μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες, όπως ήδη αναφέρθηκε, μειώνονται σημαντικά τα σφάλματα των εκτιμήσεων των ίδιων των μεθόδων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η αβεβαιότητα της εκτίμησης της μεθόδου EPR μειώνεται συνεχώς από τα αρχικά ± 0.54 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) στα ± 0.41 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) και τελικώς καταλήγει στο ± 0.16 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας). Τα παραπάνω υπολογιζόμενα σφάλματα των οριακών ρυθμών πρόσχωσης κρίνονται σχετικά χαμηλά, σε σχέση με σφάλματα που υπολογίστηκαν σε περιοχές της μελέτης όπου παρουσιαζόταν υποχώρηση της ακτογραμμής (με αντίστοιχες αρχικές αβεβαιότητες).

Παράλληλα, μέσω της μεθόδου AER (μέθοδος μειωμένης αξιοπιστίας) υπολογίζεται σταθερός ρυθμός πρόσχωσης για τις τρεις εφαρμογές της τάξης των $+0.18$ μέτρων/χρόνο ενώ μέσω των μεθόδων RLS, LAD και WLAD υπολογίζονται ρυθμοί της τάξης των $+0.05$, -0.07 και -0.02 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα. Στη συγκεκριμένη περίπτωση παρατηρείται ότι οι εκτιμήσεις των μεθόδων RLS, LAD και WLAD (μέθοδοι οι οποίες χαρακτηρίζονται από την αναξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους) προσεγγίζουν σημαντικά τον ρυθμό μεταβολής που υπολογίζεται από την μέθοδο των OLS. Αυτό ενδέχεται να οφείλεται είτε σε σύμπτωση μαθηματικών υπολογισμών καθώς σε όλες τις προηγούμενες εφαρμογές

των 10 στατιστικών μεθόδων στις υπόλοιπες περιοχές της μελέτης, οι εκτιμήσεις των συγκεκριμένων μεθόδων απέκλιναν σημαντικά από το μέσο όρο των υπόλοιπων (τον υπολογιζόμενο ρυθμό μεταβολής της μεθόδου OLS), είτε σε καλύτερη προσαρμογή των τριών μεθόδων στα δεδομένα της συγκεκριμένης εφαρμογής.

Στην περιοχή 2_KAT, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων EPR, AOR, AER, OLS, JK, RLS, WLS, RWLS αλλά και LAD και WLAD παρουσιάζουν μέτριες αποκλίσεις γύρω από την μέση τιμή οριακής πρόσχωσης των +0.001 μέτρων/χρόνο (εκτίμηση μεθόδου JK).

Μέσω των μεθόδων OLS και JK υπολογίζονται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.06 και ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +0.001 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα, οι οποίοι συγκλίνουν μεταξύ τους και στην παρούσα περιοχή μελέτης (όπως παρατηρήθηκε και στις 7 προηγούμενες περιοχές όπου παρουσιαζόταν υποχώρηση της ακτογραμμής). Επομένως, το επίπεδο σύγκλισης των εκτιμήσεων των μεθόδων OLS και JK είναι ανεξάρτητο της δυναμικής εξέλιξης της εκάστοτε ακτογραμμής μελέτης (είτε παρουσιάζεται υποχώρηση, είτε πρόσχωση της ακτογραμμής) Επίσης, είναι χαρακτηριστικό πως, όπως παρατηρήθηκε για τις μεθόδους EPR, AOR και AER, έτσι και για δύο μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής παραμένουν σταθεροί για κάθε μέθοδο παρόλο που κλιμακωτά μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες (για την μέθοδο OLS, παραμένουν σταθερά και ιδιαίτερα χαμηλά και τα υπολογιζόμενα σφάλματα για τις τρεις εφαρμογές στην τιμή των -0.003 μέτρων/χρόνο).

Οι εκτιμήσεις των μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη WLS και RWLS (εξαιρείται η μόνιμα προβληματική μέθοδος RLS) στην περιοχή 2_KAT προσεγγίζουν σημαντικά τις αντίστοιχες εκτιμήσεις της μεθόδου OLS για τις τρεις εφαρμογές. Έτσι, ενώ μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής της τάξης των -0.06 μέτρων/χρόνο, οι μέθοδοι WLS και RWLS υπολογίζουν οριακή πρόσχωση της ακτογραμμής της τάξης των +0.01 μέτρων/χρόνο. Παρόλο που τα υπολογιζόμενα σφάλματά τους χαρακτηρίζονται ως σχετικά χαμηλά για αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (± 0.02 μέτρα/χρόνο), υπερκαλύπτουν το ίδιο το «σήμα» (+ 0.01 μέτρα/χρόνο). Αυτό οφείλεται εξαιτίας των χαμηλών, οριακών ρυθμών πρόσχωσης που υπολογίζονται μέσω της πλειοψηφίας των στατιστικών μεθόδων.

Όσον αφορά τις συνήθως προβληματικές μεθόδους LAD και WLAD, στις τρεις εφαρμογές (όπου και παραμένει σταθερή η εκτίμηση της κάθε μεθόδου) υπολογίζουν οριακούς ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής. Ειδικότερα, μέσω της μεθόδου LAD υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης των -0.07 μέτρων/χρόνο ενώ μέσω της μεθόδου WLAD υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης των -0.02 μέτρων/χρόνο. Οι αποκλίσεις των παραπάνω εκτιμήσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK κρίνονται ιδιαίτερα μειωμένες σε σχέση με όλες τις προηγούμενες εφαρμογές της μελέτης, καθιστώντας στην παρούσα εφαρμογή τους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των δύο μεθόδων σχετικά αξιοποιήσιμους. Το παραπάνω γεγονός ενδέχεται να οφείλεται και αυτό στους χαμηλούς, οριακούς ρυθμούς πρόσχωσης που υπολογίζονται μέσω της πλειοψηφίας των στατιστικών μεθόδων.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΟΙ 10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (m/yr)										ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
		ΜΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ		ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΡΗ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ		
		EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD	
2_KAT	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	0.01 +/- 0.54	0.16 +/- 2.66	0.18	-0.06 +/- 0.003	0.001	0.05 +/- 0.04	0.01 +/- 0.06	0.01 +/- 0.06	-0.07	-0.02	ΠΡΟΣΧΩΣΗ 0 ΕΩΣ +1 m/yr (Χαμηλή πρόσζωση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	0.01 +/- 0.41	0.16 +/- 1.91	0.18	-0.06 +/- 0.003	0.001	0.05 +/- 0.04	0.01 +/- 0.04	0.01 +/- 0.04	-0.07	-0.02	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	0.01 +/- 0.16	0.16 +/- 0.76	0.18	-0.06 +/- 0.003	0.001	0.05 +/- 0.04	0.01 +/- 0.02	0.01 +/- 0.02	-0.07	-0.02	

Πίνακας 8α_2KAT : Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής στην παράκτια περιοχή με κωδικό 2_KAT.

4.2.9

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	5_KAT
ΧΑΜΗΛΗ ΠΡΟΣΧΩΣΗ (0 έως +1 m/yr)	

Γενικά στοιχεία.

Ο κωδικός της παρούσας περιοχής είναι 5_KAT και τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στην Κατερίνη Πιερίας. Το μήκος της ευρύτερης ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 3.050 μέτρα [18]. Συνολικά έχουν σχεδιαστεί 61 διατομές ανά 50 μέτρα (κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς η οποία έχει προκύψει από την ψηφιοποίηση του χάρτη της Γ.Υ.Σ. του 1979, κλίμακας 1/5.000) και χρησιμοποιούνται 4 διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές έτσι ώστε να υπολογιστεί αρχικά η ιστορική οπισθοχώρηση (ή πρόσκωση) της περιοχής και στη συνέχεια να ακολουθήσουν οι υπολογισμοί πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2050.

Παρακάτω ακολουθεί απόσπασμα χάρτη της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, όπου παρουσιάζεται εντοπισμένη η περιοχή μελέτης :



Εικόνα 40 : Φύλλο χάρτη Γ.Υ.Σ. 1:50.000 «ΚΑΤΕΡΙΝΗ» [102]

Οι ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή 5_KAT είναι οι παρακάτω :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1960 (α/φ κλίμακας 1/15.000)
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1969 (α/φ κλίμακας 1/40.000)
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1979 (διάγραμμα Γ.Υ.Σ. 1/5.000)
4. Ιστορική ακτογραμμή του 1995 (α/φ κλίμακας 1/30.000)

Μεθοδολογία.

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 5_KAT είναι οι παρακάτω (συνολικά 3) :

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων και για τις 61 διατομές, με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,7$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$.

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής παρουσιάζονται στο συγκεντρωτικό πίνακα 8α_5KAT. Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τους ρυθμούς μεταβολής αλλά και τις προβλέψεις για τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής όπως προκύπτουν από τις 10 βασικές στατιστικές μεθόδους, η συγκεκριμένη περιοχή κατατάσσεται στην «κατηγορία χαμηλής πρόσχωσης» (0 έως +1 m/yr).

Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 8α_5KAT, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Οι μέθοδοι EPR, AOR και AER παράγουν αποτελέσματα με σημαντικά σφάλματα τα οποία υπερκαλύπτουν το ίδιο το «σήμα». Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται οι υψηλότερες δυνατές αβεβαιότητες στα πρωτογενή δεδομένα (0,7 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) υπολογίζονται σφάλματα έως και ± 2.99 μέτρα/χρόνο (για την μέθοδο EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των $+0.41 \pm 0.86$ μέτρων/χρόνο και για την μέθοδο AOR υπολογίζεται $+0.17 \pm 2.99$ μέτρων/χρόνο).
- Στην περιοχή 5_KAT, όπως και στις προηγούμενες περιοχές, αυτές οι αβεβαιότητες (EPR, AOR) και η αναξιοπιστία αποτελεσμάτων (AER) μειώνονται όσο βελτιώνεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων (ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών). Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (δηλ. για αεροφωτογραφία με κλίμακα 1/30.000 έχουμε ακρίβεια θέσης $30 \times 0.5 = \pm 15$ μέτρα), οι αβεβαιότητες πρόβλεψης μειώνονται για τη μέθοδο EPR στα ± 0.64 μέτρα/χρόνο ενώ για τη μέθοδο AOR στα ± 2.15 μέτρα/χρόνο.

Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, οι αβεβαιότητες των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται περαιτέρω (μέσω της μεθόδου EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των $+0.41 \pm 0.26$ μέτρων/χρόνο), δίχως όμως οι εκτιμήσεις τους να θεωρούνται πλέον αξιόπιστες. Τα σφάλματα που συνοδεύουν τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής για τις τρεις μεθόδους, εξακολουθούν να κρίνονται εξαιρετικά υψηλά (παρά τις μειωμένες αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων).

Επίσης, στην περιοχή 5_KAT παρατηρείται ότι οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των τριών μη στατιστικών μεθόδων EPR, AOR και AER παραμένουν αμετάβλητοι στις δύο πρώτες εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων (οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω και των δέκα στατιστικών μεθόδων παραμένουν αμετάβλητοι για τις δύο πρώτες εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες). Αντίθετα, στην εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται ακρίβειες της τάξης των 0,2

χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια περιορισμένη αύξηση των ρυθμών πρόσχωσης για τις μεθόδους AOR, WLS, RWLS και WLAD (οι ρυθμοί μεταβολής των υπόλοιπων μεθόδων παραμένουν σταθεροί και για τις τρεις πρώτες εφαρμογές).

Συγκεκριμένα, μέσω των μεθόδων EPR και AER υπολογίζονται ρυθμοί πρόσχωσης της τάξης των +0.41 και +0.50 μέτρων/χρόνο όταν μέσω των μεθόδων OLS και JK (των οποίων οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί παραμένουν και αυτοί σταθεροί κατά τις τρεις εφαρμογές) υπολογίζονται οριακές προσχώσεις της τάξης των +0.10 και +0.05 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα. Βέβαια, παρόλο που δεν μεταβάλλονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των παραπάνω μεθόδων όταν μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες, μειώνονται σημαντικά τα σφάλματα των εκτιμήσεων των ίδιων των μεθόδων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η αβεβαιότητα της εκτίμησης της μεθόδου EPR μειώνεται συνεχώς από τα αρχικά ± 0.86 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) στα ± 0.64 μέτρα χρόνο (για αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) και τελικώς καταλήγει στο ± 0.26 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας). Τα παραπάνω υπολογιζόμενα σφάλματα των ρυθμών πρόσχωσης κρίνονται σχετικά χαμηλά, σε σχέση με σφάλματα που υπολογίστηκαν σε περιοχές της μελέτης όπου παρουσιαζόταν υποχώρηση της ακτογραμμής (με αντίστοιχες αρχικές αβεβαιότητες).

Παράλληλα, μέσω της μεθόδου AOR υπολογίζεται σταθερός ρυθμός πρόσχωσης για τις δύο πρώτες εφαρμογές της τάξης των +0.17 μέτρων/χρόνο, ο οποίος αυξάνεται στα $+0.23 \pm 0.58$ μέτρα/χρόνο στην τρίτη εφαρμογή με ακρίβειες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας. Μέσω των αναξιόπιστων μεθόδων RLS, LAD και WLAD, για τις τρεις εφαρμογές, υπολογίζονται σταθεροί ρυθμοί της τάξης των -1.20, +1.76 και +0.65 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα (ο ρυθμός πρόσχωσης που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου WLAD στην τρίτη εφαρμογή αυξάνεται στο +1 μέτρο/χρόνο. Σε γενικές γραμμές, στην περιοχή 5_KAT, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων EPR (+0.41), AOR (+0.23), AER (+0.50), OLS (+0.10), JK (+0.05), WLS (+0.34) και RWLS (+0.34) παρουσιάζουν μέτριες αποκλίσεις γύρω από τη μέση τιμή οριακής πρόσχωσης των +0.10 μέτρων/χρόνο (εκτίμηση μεθόδου OLS).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, μέσω των μεθόδων OLS και JK υπολογίζονται οριακοί ρυθμοί πρόσχωσης της τάξης των +0.10 και +0.05 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα, οι οποίοι συγκλίνουν μεταξύ τους και στην παρούσα περιοχή μελέτης (όπως παρατηρήθηκε και στις 8 προηγούμενες περιοχές όπου παρουσιαζόταν υποχώρηση ή οριακή πρόσχωση της ακτογραμμής). Επομένως, το επίπεδο σύγκλισης των εκτιμήσεων των μεθόδων OLS και JK είναι ανεξάρτητο της δυναμικής εξέλιξης της εκάστοτε ακτογραμμής μελέτης (είτε παρουσιάζεται υποχώρηση, είτε πρόσχωση της ακτογραμμής). Επίσης, είναι χαρακτηριστικό πως, όπως παρατηρήθηκε για τις μεθόδους EPR και AER, έτσι και για δύο μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής παραμένουν σταθεροί για κάθε μέθοδο παρόλο που κλιμακωτά μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες (για τη μέθοδο OLS, παραμένουν σταθερά και ιδιαίτερα χαμηλά και τα υπολογιζόμενα σφάλματα για τις τρεις πρώτες εφαρμογές στην τιμή των -0.002 μέτρων/χρόνο).

Οι εκτιμήσεις των μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη WLS και RWLS (εξαιρείται η μόνιμα προβληματική μέθοδος RLS η οποία είναι και η μοναδική μέθοδος μέσω της οποίας υπολογίζεται υποχώρηση της ακτογραμμής της τάξης των -1.2 μέτρων/χρόνο στην παρούσα εφαρμογή) στην περιοχή 5_KAT προσεγγίζουν ως ένα βαθμό τις αντίστοιχες εκτιμήσεις της μεθόδου OLS για τις τρεις εφαρμογές. Έτσι, ενώ μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται ρυθμός πρόσχωσης της ακτογραμμής της τάξης των +0.10 μέτρων/χρόνο, οι μέθοδοι WLS και RWLS υπολογίζουν πρόσχωση της τάξης των +0.28 μέτρων/χρόνο (για τις δύο πρώτες εφαρμογές) και πρόσχωση της τάξης των +0.34 μέτρων/χρόνο για την τρίτη εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων. Επίσης, τα υπολογιζόμενα σφάλματά τους χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερος χαμηλά για αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (± 0.02 μέτρα/χρόνο).

Όσον αφορά τις συνήθως προβληματικές μεθόδους LAD και WLAD, στις τρεις πρώτες εφαρμογές μέσω της μεθόδου LAD υπολογίζεται σταθερή, υψηλή πρόσχωση της τάξης των +1.76 μέτρων/χρόνο ενώ μέσω της μεθόδου WLAD υπολογίζεται πρόσχωση της τάξης των +0.65 μέτρων/χρόνο για τις δύο πρώτες εφαρμογές και πρόσχωση της τάξης του +1 μέτρου/χρόνο για την τρίτη εφαρμογή. Οι αποκλίσεις των παραπάνω εκτιμήσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK κρίνονται και στην παρούσα εφαρμογή, σημαντικές.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΟΙ 10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (m/yr)										ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
		ΜΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΑΡΟΜΗΣΗΣ		ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΑΡΟΜΗΣΗ ΜΕ ΒΑΡΗ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ		
		EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD	
5_KAT	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	0.41 +/- 0.86	0.17 +/- 2.99	0.50	0.10 +/- 0.002	0.045	-1.20 +/- 0.10	0.28 +/- 0.06	0.28 +/- 0.06	1.76	0.65	ΠΡΟΣΧΩΣΗ 0 ΕΩΣ +1 m/yr (Χαμηλή πρόσζωση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	0.41 +/- 0.64	0.17 +/- 2.15	0.50	0.10 +/- 0.002	0.045	-1.20 +/- 0.10	0.28 +/- 0.05	0.28 +/- 0.05	1.76	0.65	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	0.41 +/- 0.26	0.23 +/- 0.58	0.50	0.10 +/- 0.002	0.05	-1.20 +/- 0.10	0.34 +/- 0.02	0.34 +/- 0.02	1.76	1	

Πίνακας 8α_5KAT : Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής στην παράκτια περιοχή με κωδικό 5_KAT.

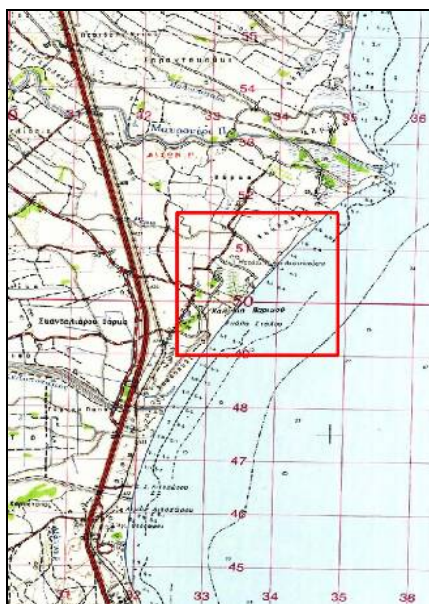
4.2.10

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	3_KAT
ΜΕΣΑΙΑ ΠΡΟΣΧΩΣΗ (+1 έως +2 m/yr)	

Γενικά στοιχεία.

Ο κωδικός της παρούσας περιοχής είναι 3_KAT και τα πρωτογενή δεδομένα έχουν προκύψει από τη μελέτη τμήματος της ακτογραμμής στην Κατερίνη Πιερίας (Καλύβια Βαρικού). Το μήκος της ευρύτερης ακτογραμμής μελέτης υπολογίζεται στα 3.300 μέτρα [19]. Συνολικά έχουν σχεδιαστεί 66 διατομές ανά 50 μέτρα (κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς η οποία έχει προκύψει από την ψηφιοποίηση του χάρτη της Γ.Υ.Σ. του 1979, κλίμακας 1/5.000) και χρησιμοποιούνται 3 διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές έτσι ώστε να υπολογιστεί αρχικά η ιστορική οπισθοχώρηση (ή πρόσκωση) της περιοχής και στη συνέχεια να ακολουθήσουν οι υπολογισμοί πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2050.

Παρακάτω ακολουθεί απόσπασμα χάρτη της Γ.Υ.Σ., κλίμακας 1:50.000, όπου παρουσιάζεται εντοπισμένη η περιοχή μελέτης :



Εικόνα 41 : Φύλλο χάρτη Γ.Υ.Σ. 1:50.000 «ΛΙΤΟΧΩΡΟ» [102]

Οι ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή 3_KAT είναι οι παρακάτω :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1960 (α/φ κλίμακας 1/15.000)
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1979 (διάγραμμα Γ.Υ.Σ. 1/5.000)
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1995 (α/φ κλίμακας 1/30.000)

Μεθοδολογία.

Οι εφαρμογές των 10 μεθόδων που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 3_KAT είναι οι παρακάτω (συνολικά 3) :

- Εφαρμογή των 10 μεθόδων και για τις 66 διατομές, με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,7$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$.
- Εφαρμογή των 10 μεθόδων με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$.

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από τις εφαρμογές των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής παρουσιάζονται στο συγκεντρωτικό πίνακα 8α_3KAT. Αξίζει να σημειωθεί πως με βάση τους ρυθμούς μεταβολής αλλά και τις προβλέψεις για την μελλοντική θέση της ακτογραμμής όπως προκύπτουν από τις 10 βασικές στατιστικές μεθόδους, η συγκεκριμένη περιοχή κατατάσσεται στην «κατηγορία μεσαίας πρόσχωσης» (+1 έως +3 m/yr). Στη συγκεκριμένη κατηγορία κατατάσσεται συνολικά 1 από τις 10 περιοχές που εξετάζονται στην διατριβή.

Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 8α_3KAT, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Οι μέθοδοι EPR, AOR και AER (οι τρεις μη στατιστικές μέθοδοι) παράγουν αποτελέσματα με σημαντικά σφάλματα τα οποία σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, υπερκαλύπτουν το ίδιο το «σήμα». Στην περίπτωση όπου χρησιμοποιούνται οι υψηλότερες δυνατές αβεβαιότητες στα πρωτογενή δεδομένα (0,7 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) υπολογίζονται σφάλματα έως και ± 1.60 μέτρα/χρόνο (για την μέθοδο EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των $+0.94 \pm 0.31$ μέτρων/χρόνο και για την μέθοδο AOR υπολογίζεται $+0.47 \pm 1.60$ μέτρων/χρόνο).
- Στην περιοχή 3_KAT, σε αντίθεση με τις προηγούμενες περιοχές, αυτές οι αβεβαιότητες (EPR, AOR) και η αναξιοπιστία αποτελεσμάτων (AER) δεν μειώνονται απαραίτητα, όσο βελτιώνεται η ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων (ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών). Ειδικά στην περίπτωση όπου η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (δηλ. για αεροφωτογραφία με κλίμακα 1/30.000 έχουμε ακρίβεια θέσης $30 \times 0.5 = \pm 15$ μέτρα), οι αβεβαιότητες πρόβλεψης αυξάνονται για την μέθοδο EPR στα ± 0.79 μέτρα/χρόνο ενώ για την μέθοδο AOR αυξάνονται στα ± 3.38 μέτρα/χρόνο. Είναι αξιοσημείωτο πως η περιοχή 3_KAT είναι η πρώτη και η μοναδική από τις 10 περιοχές της μελέτης όπου παρατηρείται το συγκεκριμένο φαινόμενο.

Στην περίπτωση που η ακρίβεια θέσης των ιστορικών ακτογραμμών ορίζεται στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, οι αβεβαιότητες των μεθόδων EPR και AOR μειώνονται (μέσω της μεθόδου EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής της τάξης των $+0.94 \pm 0.26$ μέτρων/χρόνο), δίχως όμως οι εκτιμήσεις τους να θεωρούνται αξιόπιστες. Τα σφάλματα που συνοδεύουν τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής για τις τρεις μεθόδους, εξακολουθούν να κρίνονται εξαιρετικά υψηλά (παρά τις μειωμένες αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων).

Επίσης, στην περιοχή 3_KAT παρατηρείται ότι οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω των στατιστικών μεθόδων EPR και AER παραμένουν αμετάβλητοι στις τρεις εφαρμογές καθώς μειώνονται κλιμακωτά οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων. Όσον αφορά την μέθοδο AOR παρατηρείται μια σημαντική αύξηση (διπλασιασμός) του υπολογιζόμενου ρυθμού πρόσχωσης όταν μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες από 0,7 σε 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας. Ο ρυθμός αυτός στη συνέχεια παραμένει σταθερός παρόλη την περαιτέρω μείωση των αρχικών αβεβαιοτήτων από 0,5 σε 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

Συγκεκριμένα, μέσω των μεθόδων EPR και AER υπολογίζονται ρυθμοί πρόσχωσης της τάξης των +0.94 και +1.03 μέτρων/χρόνο όταν μέσω των μεθόδων OLS και JK (των οποίων οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί παραμένουν και αυτοί σταθεροί κατά τις τρεις εφαρμογές) υπολογίζονται προσχώσεις της τάξης των +0.91 και +0.99 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα. Βέβαια, παρόλο που δεν μεταβάλλονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των παραπάνω μεθόδων όταν μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες, μεταβάλλονται σημαντικά τα σφάλματα των εκτιμήσεων των ίδιων των μεθόδων. Ενδεικτικά αναφέρεται πως η αβεβαιότητα της εκτίμησης της μεθόδου EPR μεταβάλλεται συνεχώς από τα αρχικά ± 0.31 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) στα ± 0.79 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας) και τελικώς καταλήγει στο ± 0.26 μέτρα/χρόνο (για αβεβαιότητες 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας).

Παράλληλα, μέσω της μεθόδου AOR υπολογίζεται σταθερός ρυθμός πρόσχωσης για την πρώτη εφαρμογή της τάξης των +0.47 μέτρων/χρόνο, ο οποίος αυξάνεται στα $+0.94 \pm 1.35$ μέτρα/χρόνο στην τρίτη εφαρμογή με ακρίβειες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας. Μέσω των μεθόδων RLS, LAD και WLAD, για τις τρεις πρώτες εφαρμογές, υπολογίζονται σταθεροί ρυθμοί της τάξης των +0.89, +1.13 και +0.39 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα (ο ρυθμός πρόσχωσης που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου WLAD στην πρώτη εφαρμογή είναι αρχικά +0.99 μέτρα/χρόνο). Σε γενικές γραμμές, στην περιοχή 3_KAT, για αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων EPR (+0.94), AOR (+0.94), AER (+1.03) και JK (+0.99), παρουσιάζουν οριακές αποκλίσεις γύρω από την μέση τιμή πρόσχωσης των +0.91 μέτρων/χρόνο (εκτίμηση μεθόδου OLS). Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι στην περιοχή 3_KAT, για πρώτη φορά στη μελέτη, μέσω της μεθόδου RLS υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι προσεγγίζουν σημαντικά τη μέση τιμή του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται με βάση τις υπόλοιπες στατιστικές μεθόδους.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, μέσω των μεθόδων OLS και JK υπολογίζονται ρυθμοί πρόσχωσης της τάξης των +0.91 και +0.99 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα, οι οποίοι συγκλίνουν μεταξύ τους και στην παρούσα περιοχή μελέτης (όπως παρατηρήθηκε και στις 9 προηγούμενες περιοχές όπου παρουσιαζόταν υποχώρηση ή οριακή πρόσχωση της ακτογραμμής). Επομένως, το επίπεδο σύγκλισης των εκτιμήσεων των μεθόδων OLS και JK είναι ανεξάρτητο της δυναμικής εξέλιξης της εκάστοτε ακτογραμμής μελέτης (είτε παρουσιάζεται υποχώρηση, είτε πρόσχωση της ακτογραμμής) Επίσης, είναι χαρακτηριστικό πως, όπως παρατηρήθηκε για τις μεθόδους EPR και AER, έτσι και για δύο μεθόδους γραμμικής παλινδρόμησης οι

υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής παραμένουν σταθεροί για κάθε μέθοδο παρόλο που κλιμακωτά μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες (για τη μέθοδο OLS, παραμένουν σταθερά και ιδιαίτερα χαμηλά και τα υπολογιζόμενα σφάλματα για τις τρεις πρώτες εφαρμογές στην τιμή των -0.003 μέτρων/χρόνο).

Οι εκτιμήσεις των μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη WLS και RWLS, μεταβάλλονται συνεχώς όσο μειώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες, δίχως όμως να προσεγγίζουν τις αντίστοιχες εκτιμήσεις της μεθόδου OLS σε καμία από τις τρεις εφαρμογές. Έτσι, ενώ μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται σταθερός ρυθμός πρόσχωσης της ακτογραμμής της τάξης των $+0.91$ μέτρων/χρόνο, οι μέθοδοι WLS και RWLS υπολογίζουν πρόσχωση της τάξης των $+1.64$ μέτρων/χρόνο (για την πρώτη εφαρμογή), μειωμένη πρόσχωση της τάξης των $+0.22$ μέτρων/χρόνο (για την δεύτερη εφαρμογή) και αυξημένη πρόσχωση της τάξης των $+0.36$ μέτρων/χρόνο (για την τρίτη εφαρμογή). Επίσης, τα υπολογιζόμενα σφάλματά τους χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερος χαμηλά για αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των $0,2$ χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (± 0.02 μέτρα/χρόνο).

Όσον αφορά τις συνήθως προβληματικές μεθόδους LAD και WLAD, στις τρεις εφαρμογές μέσω της μεθόδου LAD υπολογίζεται σταθερή, υψηλή πρόσχωση της τάξης των $+1.13$ μέτρων/χρόνο ενώ μέσω της μεθόδου WLAD υπολογίζεται πρόσχωση της τάξης των $+0.99$ μέτρων/χρόνο για την πρώτη εφαρμογή και πρόσχωση της τάξης των $+0.39$ μέτρων/χρόνο για την δεύτερη και τρίτη εφαρμογή. Οι αποκλίσεις των παραπάνω εκτιμήσεων σε σχέση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK κρίνονται μειωμένες στην παρούσα εφαρμογή, ειδικά στην περίπτωση της μεθόδου LAD.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΟΙ 10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (m/yr)										ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
		ΜΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ		ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΡΗ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ		
		EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD	
3_KAT	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	0.94 +/- 0.31	0.47 +/- 1.60	1.03	0.91 +/- 0.003	0.99	0.89 +/- 0.09	1.64 +/- 0.02	1.64 +/- 0.02	1.13	0.99	ΠΡΟΣΧΩΣΗ +1 ΕΩΣ +2 m/yr (Μεσαία πρόσγωση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	0.94 +/- 0.79	0.94 +/- 3.38	1.03	0.91 +/- 0.003	0.99	0.89 +/- 0.09	0.22 +/- 0.05	0.22 +/- 0.05	1.13	0.39	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	0.94 +/- 0.26	0.94 +/- 1.35	1.03	0.91 +/- 0.003	0.99	0.89 +/- 0.09	0.36 +/- 0.02	0.36 +/- 0.02	1.13	0.39	

Πίνακας 8α_3KAT : Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένα τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής στην παράκτια περιοχή με κωδικό 3_KAT.

4.3 Σύνοψη συμπερασμάτων.

Με βάση τους παραπάνω ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίοι υπολογίστηκαν με τη χρήση των 10 διαδεδομένων μεθόδων, προκύπτει το συμπέρασμα πως οι συγκεκριμένοι μέθοδοι δεν παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα και πως δεν επαρκούν για την αποτελεσματική μοντελοποίηση της δυναμικής της ακτογραμμής. Σε πολλές περιπτώσεις παράκτιων περιοχών, μέθοδοι όπως οι EPR, AOR και RLS, υπολογίζουν ρυθμούς μεταβολής οι οποίοι συνοδεύονται από υψηλές αβεβαιότητες, κάτι που τους καθιστά ουσιαστικά αναξιόπιστες. Μάλιστα, παρατηρείται ο «θόρυβος» να υπερβαίνει και το ίδιο το «σήμα». Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι προφανές πως οι συγκεκριμένες μέθοδοι δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή προβλέψεων μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής. Παράλληλα, μέθοδοι όπως οι WLS, RWLS, LAD, AER, LAD και WLAD, υπολογίζουν ρυθμούς μεταβολής οι οποίοι μπορεί να μην συνοδεύονται από υψηλές αβεβαιότητες αλλά παρουσιάζουν σημαντικές αποκλίσεις μεταξύ τους και με το ρυθμό μεταβολής της συνήθως αξιόπιστης μεθόδου OLS (σε πολλές περιπτώσεις εφαρμογών της διατριβής οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής της μεθόδου OLS προσέγγιζαν σημαντικά τους καταγεγραμμένους ρυθμούς ιστορικής μεταβολής της κάθε ακτογραμμής, έτσι όπως αποτυπώνονται αυτοί μέσω παρατήρησης των μετακινήσεων των ιστορικών ακτογραμμών ανά ακτή). Είναι χαρακτηριστικό πως σε αρκετές περιπτώσεις, οι παραπάνω μέθοδοι (κυρίως οι μέθοδοι RLS, LAD και WLAD) υπολογίζουν ρυθμούς μεταβολής που έρχονται σε πλήρη αντίθεση με την πραγματική τάση μετακίνησης της ακτογραμμής που είναι ιστορικά καταγεγραμμένη και υπολογίζεται στη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή. Για παράδειγμα, ενώ σε παράκτιες περιοχές παρουσιάζεται μια σαφής τάση υποχώρησης της ακτογραμμής, με βάση τους υπολογιζόμενους ρυθμούς των μεθόδων OLS, JK, EPR, AOR και AER αλλά και τη μετρημένη ιστορική οπισθοχώρηση έτσι όπως έχει αποτυπωθεί στο πέρασμα των χρόνων, οι μέθοδοι RLS, LAD και WLAD υπολογίζουν προσχωτικούς ρυθμούς μεταβολής. Είναι προφανές πως είτε στην περίπτωση που οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής συνοδεύονται από υψηλές αβεβαιότητες, είτε στην περίπτωση που διαφέρουν από τη φυσική πραγματικότητα, οι δέκα μέθοδοι κρίνονται ως αναποτελεσματικές και μη επαρκείς όσον αφορά τη μοντελοποίηση της δυναμικής της ακτογραμμής και την παραγωγή ασφαλών προβλέψεων.

Από τη στιγμή που οι 10 υπάρχουσες μέθοδοι αδυνατούν σε πολλές περιπτώσεις, να αποτελέσουν εργαλείο για περαιτέρω μελέτη της παράκτιας δυναμικής, προκύπτει η ανάγκη ύπαρξης ενός μοντέλου το οποίο θα προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική δυναμική της παράκτιας περιοχής και θα παρέχει αξιόπιστες προβλέψεις. Αυτή η ανάγκη για ρεαλιστικότερη μοντελοποίηση της παράκτιας δυναμικής αποτελεί και το κίνητρο ώστε να εισαχθεί η έννοια του φίλτρου Kalman στην ανάλυση, ως ένα μαθηματικό εργαλείο μέσω του οποίου θα υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής περισσότερο αξιόπιστοι και οι οποίοι θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία πρόβλεψης μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής και χάραξης στρατηγικών προστασίας των ακτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΤΟ ΦΙΛΤΡΟ KALMAN. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

5.1 Εισαγωγή.

Το φίλτρο Kalman παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα, όσον αφορά τη διαδικασία εφαρμογής του αλλά και τα παραγόμενα αποτελέσματα/προβλέψεις των μελλοντικών θέσεων των ακτογραμμών στις 10 περιοχές της διατριβής, τα οποία συνοψίζονται παρακάτω:

- Το φίλτρο Kalman μπορεί να χαρακτηριστεί ως πιο «μαθηματικοποιημένη» μέθοδος και πιο πλήρες ως «βαρύ» μαθηματικό μοντέλο για συστήματα χαμηλής δυναμικής όπως είναι τα παράκτια, σε σχέση με τις υπόλοιπες 10 γνωστές μεθόδους.
- Στο φίλτρο Kalman παρέχεται η δυνατότητα ελέγχου των ενδιάμεσων σταδίων της διαδικασίας πρόβλεψης – a priori/a posteriori προβλέψεις.
- Έχουμε ενσωμάτωση των αβεβαιοτήτων πρόβλεψης στους προβλεπόμενους ρυθμούς.
- Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν «ανθεκτικότητα» και «στιβαρότητα» όσον αφορά την ύπαρξη ακραίων τιμών («outliers») στις αρχικές μετρήσεις.
- Υπάρχει σταθερότητα συμπεριφοράς (όσον αφορά την αφαίρεση/πρόσθεση διαθέσιμης πληροφορίας, κ.α.).

Συνολικά εκτελέστηκαν 53 εφαρμογές/δοκιμές με το φίλτρο Kalman και προέκυψαν αποτελέσματα πρόβλεψης, όσον αφορά τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής του 2050. Για να αντιμετωπιστεί ο μεγάλος όγκος των υπολογισμών από το σύνολο των παραπάνω εφαρμογών των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman, χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό εργαλείο MATLAB. Έτσι, οι ρουτίνες υπολογισμού και τα ενδιάμεσα στάδια εφαρμογής του αλγόριθμου Kalman (μαθηματικές σχέσεις) γράφτηκαν και εκτελέστηκαν σε γλώσσα προγραμματισμού σε περιβάλλον MATLAB, διευκολύνοντας και επιταχύνοντας την όλη διαδικασία.

Παράλληλα, για όλες τις παραπάνω περιοχές και τις εφαρμογές του φίλτρου Kalman, σχεδιάστηκαν πίνακες αποτελεσμάτων και διαγράμματα/γραφήματα στα οποία παρουσιάζονται οι προβλεπόμενοι ρυθμοί μεταβολής ανά μέθοδο με τις αντίστοιχες αβεβαιότητες τους, όπως επίσης και οι αποκλίσεις μεταξύ των 10 μεθόδων αλλά και των προβλέψεων του φίλτρου Kalman. Από τη σύγκριση των παραπάνω αποτελεσμάτων προκύπτουν και τα βασικά πλεονεκτήματα της χρήσης του φίλτρου Kalman έναντι των 10 παραδοσιακών μεθόδων, όσον αφορά τη μοντελοποίηση της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής και τη διαδικασία πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής.

Επομένως, οι δοκιμές που εκτελούνται στην συγκεκριμένη περίπτωση με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες :

1. Στις εφαρμογές που χρησιμοποιούνται οι 10 μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής (με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία) και
2. Στις δοκιμές που χρησιμοποιείται το φίλτρο Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής έτσι ώστε να προκύψουν

βελτιωμένοι και περισσότερο αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής (πρόβλεψη της θέσης της ακτογραμμής για το 2050).

5.2 Στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων.

5.2.1

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	1_LIT
ΧΑΜΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Οι δοκιμές των 10 μεθόδων σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 1_LIT είναι οι παρακάτω (συνολικά 6) :

- Η δοκιμή Kalman K_1_F, στην οποία χρησιμοποιούνται οι διατομές 1,2,3 και αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0,5). Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν δοκιμαστικά μόνο οι τρεις πρώτες διατομές, έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί το γεγονός ότι το προσαρμοσμένο φίλτρο Kalman μπορεί να υπολογίσει ρυθμούς μεταβολής ακόμη και για ένα μικρό τμήμα της ακτογραμμής (έχοντας διαθέσιμο μόνο έναν περιορισμένο αριθμό πρωτογενών δεδομένων).
- Η δοκιμή Kalman K_2_F_ALL, στην οποία χρησιμοποιούνται και οι 35 διατομές και αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_3_F_ALL, στην οποία χρησιμοποιούνται και οι 35 διατομές και αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0,2).
- Η δοκιμή Kalman K_4_F_ALL, στην οποία χρησιμοποιούνται και οι 35 διατομές και αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0,2), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1945 (ακτογραμμή μειωμένης ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_5_F_ALL, στην οποία χρησιμοποιούνται και οι 35 διατομές και αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0,5), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1997 (ακτογραμμή υψηλής ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_6_F_ALL, στην οποία χρησιμοποιούνται και οι 35 διατομές και συνθετικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές.

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Ο σκοπός προσαρμογής και χρησιμοποίησης του φίλτρου Kalman στην παρούσα μελέτη είναι να υπολογιστούν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα όσον αφορά την πρόβλεψη μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής, με ένα εναλλακτικό μαθηματικό εργαλείο σε σχέση με τις 10 γνωστές στατιστικές μεθόδους που ήδη αναλύθηκαν. Τα αποτελέσματα (ρυθμοί μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) που προκύπτουν από τις εφαρμογές του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους παρουσιάζονται

παρακάτω, στον πίνακα 1α_K (οι εφαρμογές Kalman παρουσιάζονται με γκρι χρώμα και αναφέρονται στο σύνολο των 35 διατομών για την συγκεκριμένη περιοχή 1_LIT).

Από τη μελέτη και τη σύγκριση των υπολογιζόμενων αυτών ρυθμών με τις αβεβαιότητες τους του πίνακα 1α_K, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Οι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίοι υπολογίζονται με τη χρήση του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman, αποτελούν προβλέψεις για τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής, όπου έχουν ενσωματωθεί απευθείας μέσω της υπολογιστικής διαδικασίας οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων. Παράγονται έτσι αποτελέσματα χωρίς τις σημαντικές αβεβαιότητες που παρουσιάζουν αντίστοιχα οι δέκα στατιστικές μέθοδοι οι οποίες αναλύθηκαν παραπάνω. Άλλωστε, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι αρκετές οι περιπτώσεις εφαρμογών (συμπεριλαμβανομένης και της περιοχής 1_LIT) όπου μέσω των δέκα γνωστών στατιστικών μεθόδων υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίοι υπερκαλύπτονται από τις αβεβαιότητες τους. Στο φίλτρο Kalman αντίθετα ενσωματώνονται οι υπάρχουσες αρχικές αβεβαιότητες και υπολογίζονται στη συνέχεια, διορθωμένοι και σχετικά αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής. Η συγκεκριμένη αυτή ιδιότητα του φίλτρου Kalman αποτελεί και ένα σαφές πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της μελλοντικής εξέλιξης της ακτογραμμής.
- Για τη συγκεκριμένη περιοχή 1_LIT, στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται πως όλοι οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής είναι ελάχιστα μεγαλύτεροι σε σχέση με τους αντίστοιχους ρυθμούς που έχουν προκύψει από την απλή εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων. Η διασπορά των τιμών που έχουν υπολογιστεί με τη χρήση του φίλτρου Kalman (σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους) και των τιμών που έχουν υπολογιστεί από την απευθείας εφαρμογή των 10 μεθόδων, είναι παρόμοια. Μάλιστα, είναι χαρακτηριστικό πως οι μέθοδοι μέσω των οποίων υπολογίζονται θετικοί ρυθμοί μεταβολής με αρχικές αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας (οι RLS, WLS, RWLS και WLAD), αντίθετους και προφανώς λανθασμένους σε σχέση με τη διαφαινόμενη γενικότερη τάση υποχώρησης της ακτογραμμής στη συγκεκριμένη περιοχή, εξακολουθούν να υπολογίζουν θετικούς ρυθμούς μεταβολής ακόμα και στην αντίστοιχη περίπτωση εφαρμογής του φίλτρου Kalman (με τις ίδιες αβεβαιότητες).
- Στην περίπτωση όπου βελτιώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες από 0,5 σε 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman μεταβάλλονται ελάχιστα (όπως ακριβώς και στην περίπτωση εφαρμογής των 10 απλών στατιστικών μεθόδων) με εξαίρεση τις μεθόδους WLS και RWLS όπου αντί πρόσχωσης, υπολογίζεται πλέον υποχώρηση.
- Στην περίπτωση που εξαιρείται η παλαιότερη ακτογραμμή του 1945 (με τις υψηλές αβεβαιότητες θέσης), όλοι οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman μεταβάλλονται σημαντικά (αρκετοί από αυτούς υπερδιπλασιάζονται). Οι μέθοδοι RLS και WLAD εξακολουθούν να υπολογίζουν ρυθμούς πρόσχωσης και επομένως δεν μπορούν να συμπεριληφθούν στη γενικότερη στατιστική ανάλυση. Αξίζει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη

περίπτωση, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται με τη χρήση του φίλτρου Kalman παρουσιάζονται σχετικά χαμηλότεροι σε σχέση με τους ρυθμούς της αντίστοιχης εφαρμογής (όπου εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945) των 10 στατιστικών μεθόδων.

- Αντίστοιχα, στην περίπτωση όπου εξαιρείται η ακτογραμμή του 1997 (με την υψηλή ακρίβεια θέσης), οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται με το φίλτρο Kalman (συνολικά και οι 10) παρουσιάζονται ελάχιστα αυξημένοι σε σχέση με τους ρυθμούς που υπολογίζονται απευθείας από τις 10 στατιστικές μεθόδους της αντίστοιχης εφαρμογής. Βέβαια, είτε εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945 είτε του 1997, οι ρυθμοί μεταβολής των 10 μεθόδων συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες. Αντίθετα, στην περίπτωση των ρυθμών που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman, ανεξαιρέτως εφαρμογής (οποιασδήποτε από τις 5 εφαρμογές του φίλτρου Kalman στην περιοχή 1_LIT), προκύπτουν προβλέψεις για τις μελλοντικές θέσεις της ακτογραμμής, με ενσωματωμένες αβεβαιότητες στο ίδιο το «σήμα».
- Στην περίπτωση της εφαρμογής όπου χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα χαμηλές, ενιαίες αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman επανέρχονται στις ίδιες τιμές που παρουσιάζονταν στις εφαρμογές με αβεβαιότητες 0,5 ή ακόμα και 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, όπως ακριβώς παρατηρήθηκε και στην περίπτωση εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη εφαρμογή, μεταβάλλονται σημαντικά και τα αποτελέσματα των μεθόδων που χρησιμοποιούν βάρη (RLS, WLS, RWLS και WLAD). Έτσι, μέσω των τεσσάρων παραπάνω μεθόδων και του φίλτρου Kalman, υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης (μέσω του φίλτρου Kalman στην συγκεκριμένη εφαρμογή υπολογίζονται αποκλειστικά ρυθμοί υποχώρησης και για τις 10 μεθόδους). Αντίθετα, οι δέκα στατιστικοί μέθοδοι όσον αφορά την απευθείας εφαρμογή τους, δεν υπολογίζουν αποκλειστικά ρυθμούς υποχώρησης (η μέθοδος RLS εξακολουθεί να παρουσιάζει πρόσχωση της ακτογραμμής). Επομένως, στην περίπτωση ύπαρξης πρωτογενών δεδομένων με υψηλές ακρίβειες, το φίλτρο Kalman κρίνεται κατάλληλο να παρέχει σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής, ανεξαιρέτως ποια αρχική μέθοδος από τις 10 χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A.
- Βέβαια, και στην περίπτωση εφαρμογής του φίλτρου Kalman, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής, ακόμη και όταν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα υψηλές αρχικές ακρίβειες, παρουσιάζουν σημαντική διασπορά και διακύμανση ανάλογα της αρχικής στατιστικής μεθόδου που χρησιμοποιείται. Είναι χαρακτηριστικό πως όσον αφορά το φίλτρο Kalman και αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των ± 0.5 μέτρων, υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής που κυμαίνονται από την χαμηλότερη εκτίμηση των -0.22 μέτρων/χρόνο (μέθοδος EPR), -0.44 μέτρα/χρόνο για την μέθοδο των OLS, έως και την υψηλότερη εκτίμηση των -0.77 μέτρων/χρόνο (μέθοδος RLS). Αντίστοιχα, όσον αφορά την απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων, οι εκτιμήσεις κυμαίνονται από τα -0.21 ± 0.02 μέτρα/χρόνο (μέθοδος EPR), -0.42 μέτρα/χρόνο για την μέθοδο των OLS και έως την υψηλότερη εκτίμηση των $+0.74 \pm 0.12$ μέτρων/χρόνο (μέθοδος RLS).

- Από όλες τις παραπάνω συγκρίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman προκύπτει με σαφήνεια το συμπέρασμα ότι σε αρκετές περιπτώσεις (με βάση τις συγκεκριμένες μαθηματικές ρουτίνες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη) οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής του φίλτρου επηρεάζονται σημαντικά από την αρχική μέθοδο που χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A . Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Αυτό προκύπτει καθώς οι ρυθμοί μεταβολής όχι μόνον δεν συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες (οι οποίες και αυτές παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την κάθε εφαρμογή και τις αρχικές αβεβαιότητες που χρησιμοποιούνται) αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συγκλίνουν σε μια μέση τιμή και εμφανίζουν μια συστηματικότητα όσον αφορά τη γενικότερη διασπορά τους.
- Συμπερασματικά, πρέπει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη περιοχή 1_LIT (η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή ήπιας υποχώρησης) τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman μεταβάλλονταν ελάχιστα όσο μεταβάλλονταν/μειώνονταν οι αρχικές αβεβαιότητες (όσο μειώνονταν οι αρχικές αβεβαιότητες αυξάνονταν ελάχιστα οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί διάβρωσης, με εξαίρεση τις μεθόδους WLS και RWLS όπου η μεταβολή ήταν σημαντική) και μεταβάλλονταν σημαντικά όταν εξαιρούνταν οι ακτογραμμές 1945 και 1997 (όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1945, μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίστηκαν υψηλότεροι ρυθμοί διάβρωσης και όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1997 υπολογίστηκαν ακόμη υψηλότεροι ρυθμοί διάβρωσης, με εξαίρεση τις αναξιόπιστες μεθόδους LAD και WLAD όπου παρουσιάστηκαν διαφορετικές διακυμάνσεις).
- Όταν χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη RLS, WLS, RWLS ή οι συστηματικά αναξιόπιστες μέθοδοι LAD και WLAD για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A στα αρχικά στάδια εφαρμογής του φίλτρου, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία. Αυτό γίνεται ακόμη περισσότερο εμφανές όταν οι παραπάνω αναξιόπιστοι ρυθμοί συγκριθούν με τους ρυθμούς του φίλτρου Kalman που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την αξιόπιστη μέθοδο των OLS για την εκτίμηση του συντελεστή A . Επομένως, όσον αφορά το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της μελέτης της περιοχής 1_LIT, προκύπτει πως η βέλτιστη εκτίμηση (με τις μικρότερες αβεβαιότητες πρόβλεψης) της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής υπολογίζεται μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman (ενός συνθετότερου μαθηματικού εργαλείου σε σχέση με τις 10 υπάρχουσες στατιστικές μεθόδους), χρησιμοποιώντας αρχικά τη μέθοδο OLS, έτσι ώστε να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια ο συντελεστής A .

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες 1a_K και 1β (1, 2, 3, 4 και 5) με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης όπως επίσης και το διάγραμμα 1a στο οποίο φαίνονται γραφικά οι αποκλίσεις των παραπάνω αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων και του φίλτρου Kalman.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΟΙ 10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (m/yr)										ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
		ΜΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ		ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΡΗ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ		
		EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD	
1_LIT	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	-0.21 +/- 0.68	-0.43 +/- 0.49	-0.35	-0.42 +/- 0.001	-0.46	0.74 +/- 0.12	-0.14 +/- 0.04	-0.13 +/- 0.04	-0.3	-0.3	ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ 0 ΕΩΣ -1 m/yr (Χαμηλή υποχώρηση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	-0.21 +/- 0.43	-0.43 +/- 1.29	-0.35	-0.42 +/- 0.001	-0.46	0.74 +/- 0.12	0.01 +/- 0.03	0.01 +/- 0.03	-0.3	0.44	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	-0.21 +/- 0.19	-0.43 +/- 0.52	-0.35	-0.42 +/- 0.001	-0.46	0.74 +/- 0.12	-0.16 +/- 0.01	-0.15 +/- 0.01	-0.3	0.44	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2 - όχι το 1945)	-0.54 +/- 0.12	-0.59 +/- 1.42	-0.66	-0.56 +/- 0.003	-0.52	1.29 +/- 0.22	-0.13 +/- 0.01	-0.13 +/- 0.01	-1.39	0.45	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5 - όχι το 1997)	-0.60 +/- 1	-0.78 +/- 2.53	-0.66	-0.72 +/- 0.002	-0.85	-0.42 +/- 0.07	-1.22 +/- 0.06	-1.22 +/- 0.06	-0.30	-0.98	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητες +/- 0.5m)	-0.21 +/- 0.02	-0.43 +/- 0.06	-0.35	-0.42 +/- 0.001	-0.46	0.74 +/- 0.12	-0.42 +/- 0.002	-0.42 +/- 0.002	-0.3	-0.3	
	K_1_F (διατομές 1,2,3) (x0.5) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	0.71 +/- 0.43	0.02 +/- 0.31	-2.64	0.33 +/- 0.01	0.29	0.74 +/- 0.43	1.75 +/- 0.09	1.75 +/- 0.09	-0.61	1.00	
	K_1_F (διατομές 1,2,3) (x0.5) - (ο KALMAN)	0.75	0.02	-3.00	0.35	0.30	0.77	1.8	1.8	-0.64	1.00	
	K_2_F_ALL (x0.5) - (ο KALMAN)	-0.22	-0.44	-0.37	-0.43	-0.48	0.75	0.01	0.01	-0.31	1	
	K_3_F_ALL (x0.2) - (ο KALMAN)	-0.22	-0.45	-0.37	-0.44	-0.49	0.78	-0.17	-0.16	-0.32	0.44	
	K_4_F_ALL (x0.2-όχι το 1945) (ο KALMAN)	-0.48	-0.53	-0.59	-0.51	-0.47	1.16	-0.11	-0.11	-1.25	0.41	
	K_5_F_ALL (x0.5-όχι το 1997) (ο KALMAN)	-0.63	-0.81	-0.71	-0.77	-0.90	-0.44	-1.30	-1.30	-0.32	-1.00	
	K_6_F_ALL (αβεβαιότητες +/- 0.5m) (ο KALMAN)	-0.22	-0.45	-0.37	-0.44	-0.49	-0.77	-0.44	-0.44	-0.32	-0.32	

Πίνακας 1α_K : Παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων (λευκά κελιά) όπως επίσης και του φίλτρου Kalman (γκρι κελιά), στην περιοχή 1_LIT.

(1_LIT) Λιτόχωρο Πιερίας (1750 m), (αβεβαιότητες x0.5)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.21 +/- 0.43 m/yr	-0.22 m/yr	+ 4.76 %
AOR : -0.43 +/- 1.29 m/yr (10 συνδυασμοί)	-0.44 m/yr	+ 2.33 %
AER : -0.35 m/yr	-0.37 m/yr	+ 5.71 %
OLS : -0.42 +/- 0.001 m/yr	-0.43 m/yr	+ 2.38 %
Jackknife: -0.46 m/yr	-0.48 m/yr	+ 4.34 %
RLS : 0.74 +/- 0.12 m/yr	0.75 m/yr	+ 1.35 %
WLS : 0.01 +/- 0.03 m/yr	0.01 m/yr	0%
RWLS : 0.01 +/- 0.03 m/yr	0.01 m/yr	0%
LAD : -0.3 m/yr	-0.31 m/yr	+ 3.33 %
WLAD : 0.44 m/yr	0.45 m/yr	+ 2.27 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -10.5 +/- 21.5 m	-11 m	+ 4.76 %
AOR : -21.5 +/- 64.5 m	-22 m	+ 2.33 %
AER : -17.5 m	-18.5 m	+ 5.71 %
OLS : -21 +/- 0.05 m	-21.5 m	+ 2.38 %
Jackknife: -23 m	-24 m	+ 4.34 %
RLS : 37 +/- 6 m	37.5 m	+ 1.35 %
WLS : 0.5 +/- 1.5 m	0.5 m	0%
RWLS : 0.5 +/- 1.5 m	0.5 m	0%
LAD : -15 m	-15.5 m	+ 3.33 %
WLAD : 22 m	22.5 m	+ 2.27 %

(1_LIT) Λιτόχωρο Πιερίας (1750 m), (αβεβαιότητες x0.2)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.21 +/- 0.19 m/yr	- 0.22 m/yr	+ 4.76 %
AOR : -0.43 +/- 0.52 m/yr (10 συνδυασμοί)	- 0.45 m/yr	+ 4.65 %
AER : -0.35 m/yr	- 0.37 m/yr	+ 5.71 %
OLS : -0.42 +/- 0.001 m/yr	- 0.44 m/yr	+ 4.76 %
Jackknife : -0.46 m/yr	- 0.49 m/yr	+ 6.52 %
RLS : 0.74 +/- 0.12 m/yr	0.78 m/yr	+ 5.41 %
WLS : -0.16 +/- 0.01 m/yr	- 0.17 m/yr	+ 6.25 %
RWLS : -0.15 +/- 0.01 m/yr	- 0.16 m/yr	+ 6.67 %
LAD : -0.3 m/yr	- 0.32 m/yr	+ 6.67 %
WLAD : 0.44 m/yr	0.44 m/yr	0%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -10.5 +/- 9.5 m	- 11 m	+ 4.76 %
AOR : -21.5 +/- 26 m	- 22.5 m	+ 4.65 %
AER : -17.5 m	- 18.5 m	+ 5.71 %
OLS : -21 +/- 0.05 m	- 22 m	+ 4.76 %
Jackknife : -23 m	- 24.5 m	+ 6.52 %
RLS : 37 +/- 6 m	39 m	+ 5.41 %
WLS : -8 +/- 0.5 m	- 8.5 m	+ 6.25 %
RWLS : -7.5 +/- 0.5 m	- 8 m	+ 6.67 %
LAD : -15 m	- 16 m	+ 6.67 %
WLAD : 22 m	22 m	0%

Πίνακες 1β_1 και 1β_2 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 1_LIT, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 και των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

(1_LIT) Λιτόχωρο Πιερίας (1750 m) (αβεβαιότητες x0.2-όχι το 1945)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.54 +/- 0.12 m/yr	- 0.48 m/yr	- 11.11 %
AOR : -0.59 +/- 1.42 m/yr (6 συνδυασμοί)	- 0.53 m/yr	- 10.17 %
AER : -0.66 m/yr	- 0.59 m/yr	- 10.61 %
OLS : -0.56 +/- 0.003 m/yr	- 0.51 m/yr	- 8.93 %
Jackknife : -0.52 m/yr	- 0.47 m/yr	- 9.62 %
RLS : 1.29 +/- 0.22 m/yr	1.16 m/yr	- 10.08 %
WLS : -0.13 +/- 0.01 m/yr	- 0.11 m/yr	- 15.39 %
RWLS: -0.13 +/- 0.01 m/yr	- 0.11 m/yr	- 15.39 %
LAD : -1.39 m/yr	- 1.25 m/yr	- 10.07 %
WLAD : 0.45 m/yr	0.41 m/yr	- 8.89 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -27 +/- 6 m	- 24 m	- 11.11 %
AOR : -29.5 +/- 71 m	- 26.5 m	- 10.17 %
AER : -33 m	- 29.5 m	- 10.61 %
OLS : -28 +/- 0.15 m	- 25.5 m	- 8.93 %
Jackknife : -26 m	- 23.5 m	- 9.62 %
RLS : 64.5 +/- 11 m	58 m	- 10.08 %
WLS : -6.5 +/- 0.5 m	- 5.5 m	- 15.39 %
RWLS : -6.5 +/- 0.5 m	- 5.5 m	- 15.39 %
LAD : -69.5 m	- 62.5 m	- 10.07 %
WLAD : 22.5 m	20.5 m	- 8.89 %

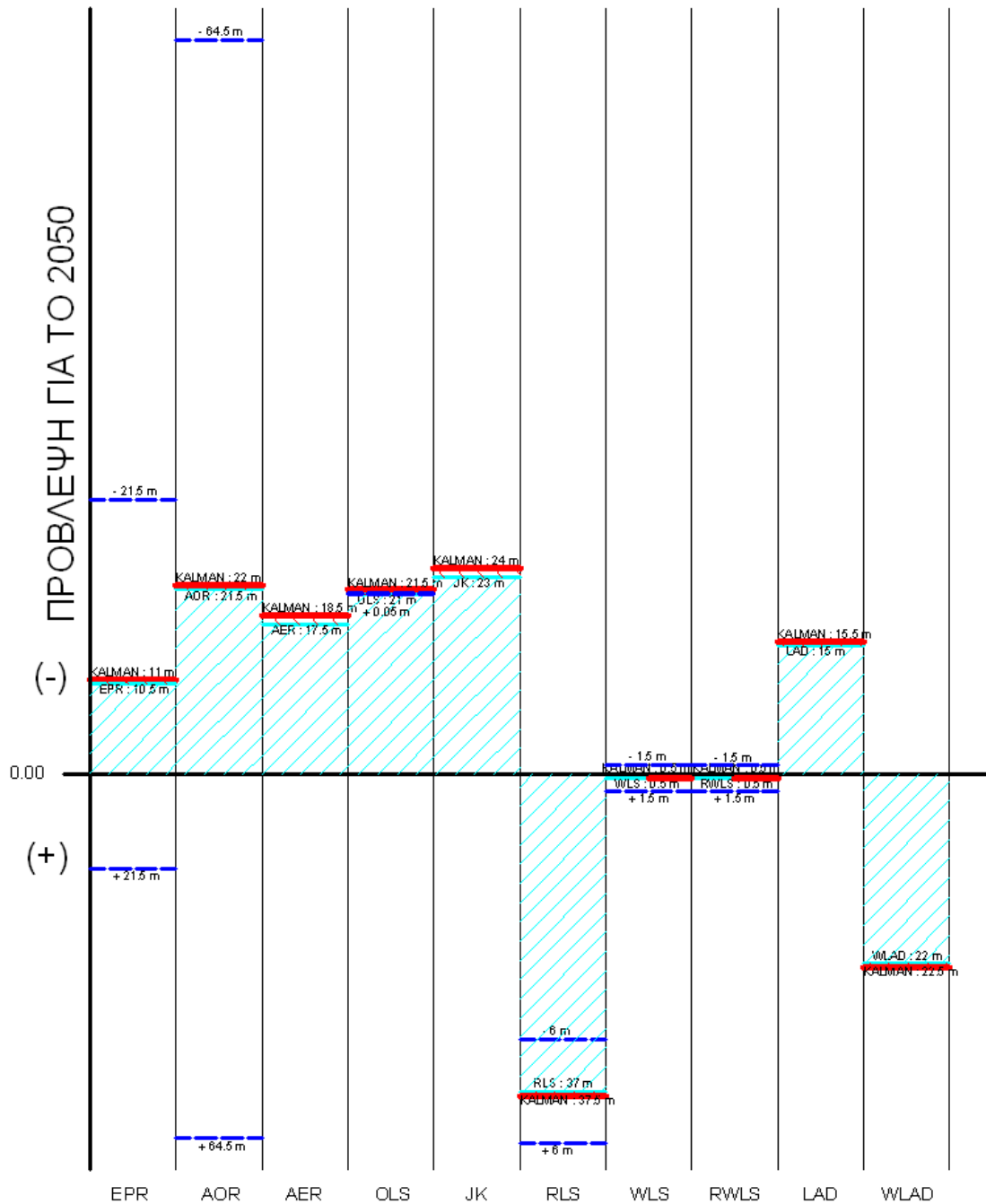
(1_LIT) Λιτόχωρο Πιερίας (1750 m) (αβεβαιότητες x0.5-όχι το 1997)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.60 +/- 1 m/yr	- 0.63 m/yr	5%
AOR : -0.78 +/- 2.53 m/yr (6 συνδυασμοί)	- 0.81 m/yr	+ 3.85%
AER : -0.66 m/yr	- 0.71 m/yr	+ 7.58 %
OLS : -0.72 +/- 0.002 m/yr	- 0.77 m/yr	+ 6.94 %
Jackknife : -0.85 m/yr	- 0.90 m/yr	+ 5.88 %
RLS : -0.42 +/- 0.07 m/yr	- 0.44 m/yr	+ 4.76 %
WLS : -1.22 +/- 0.06 m/yr	- 1.30 m/yr	+ 6.56 %
RWLS : -1.22 +/- 0.06 m/yr	- 1.30 m/yr	+ 6.56 %
LAD : -0.30 m/yr	- 0.32 m/yr	+ 6.67 %
WLAD : -0.98 m/yr	- 1.00 m/yr	+ 2.04 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -30 +/- 50 m	- 31.5 m	5%
AOR : -39 +/- 126.5 m	- 40.5 m	+ 3.85%
AER : -33 m	- 35.5 m	+ 7.58 %
OLS : -36 +/- 0.1 m	- 38.5 m	+ 6.94 %
Jackknife : -42.5 m	- 45 m	+ 5.88 %
RLS : -21 +/- 3.5 m	- 22 m	+ 4.76 %
WLS : -61 +/- 3 m	- 65 m	+ 6.56 %
WLS : -61 +/- 3 m	- 65 m	+ 6.56 %
LAD : -15 m	- 16 m	+ 6.67 %
WLAD : -49 m	- 50 m	+ 2.04 %

Πίνακες 1β_3 και 1β_4 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 1_LIT, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά).

(1_LIT) Λιτόχωρο Περίας (1750 m) (αβεβαιότητες +/- 0.5m)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.21 +/- 0.02 m/yr	- 0.22 m/yr	+ 4.76 %
AOR : -0.43 +/- 0.06 m/yr (10 συνδυασμοί)	- 0.45 m/yr	+ 4.65 %
AER : -0.35 m/yr	- 0.37 m/yr	+ 5.71 %
OLS : -0.42 +/- 0.001 m/yr	- 0.44 m/yr	+ 4.76 %
Jackknife : -0.46 m/yr	- 0.49 m/yr	+ 6.52%
RLS : 0.74 +/- 0.12 m/yr	- 0.77 m/yr	+ 4.05 %
WLS : -0.42 +/- 0.002 m/yr	- 0.44 m/yr	+ 4.76 %
RWLS : -0.42 +/- 0.002 m/yr	- 0.44 m/yr	+ 4.76 %
LAD: -0.30 m/yr	- 0.32 m/yr	+ 6.67 %
WLAD : -0.30 m/yr	- 0.32 m/yr	+ 6.67 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -10.5 +/- 1 m	- 11 m	+ 4.76 %
AOR : -21.5 +/- 3 m	- 22.5 m	+ 4.65 %
AER : -17.5 m	- 18.5 m	+ 5.71 %
OLS : -21 +/- 0.05 m	- 22 m	+ 4.76 %
Jackknife : -23 m	- 24.5 m	+ 6.52%
RLS : 37 +/- 6 m	- 38.5 m	+ 4.05 %
WLS : -21 +/- 0.1 m	- 22 m	+ 4.76 %
RWLS : -21 +/- 0.1 m	- 22 m	+ 4.76 %
LAD: -15 m	- 16 m	+ 6.67 %
WLAD: -15 m	- 16 m	+ 6.67 %

Πίνακας 1β_5 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 1_LIT, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Οι αβεβαιότητες είναι της τάξης των ±0.5 μέτρων.

Περιοχή μελέτης 1_LIT (Λιτόχωρο Πιερίας, 1750m)
 Αβεβαιότητες : 5 χιλιοστά της κλίμακας της αερ/φίας



Διάγραμμα 1α : Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται γραφικά οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων (κυανό χρώμα) με τα αντίστοιχα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman (κόκκινο χρώμα), στην περιοχή μελέτης 1_LIT. Με μπλε διακεκομμένες γραμμές φαίνονται τα επίπεδα αβεβαιότητας πρόβλεψης για την κάθε μία από τις 10 μεθόδους.

5.2.2

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	7_KAT
ΧΑΜΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Οι δοκιμές των 10 μεθόδων σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 7_KAT είναι οι παρακάτω (συνολικά 7) :

- Η δοκιμή Kalman K_1_F, στην οποία χρησιμοποιούνται οι διατομές 1,2,3 και αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_2_F, στην οποία χρησιμοποιούνται οι διατομές 1,2,3 και αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0,5), εξαιρώντας την ακτογραμμή του 1979. Στις παραπάνω δύο εφαρμογές (όπως έγινε και στην περιοχή μελέτης 1_LIT) χρησιμοποιήθηκαν δοκιμαστικά μόνο οι τρεις πρώτες διατομές έτσι ώστε να επιβεβαιωθεί ότι το προσαρμοσμένο φίλτρο Kalman μπορεί να υπολογίσει ρυθμούς μεταβολής ακόμη και για ένα μικρό τμήμα της ακτογραμμής (έχοντας διαθέσιμο μόνο έναν περιορισμένο αριθμό πρωτογενών δεδομένων).
- Η δοκιμή Kalman K_3_F_ALL, (40 διατομές-συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_4_F_ALL, (40 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων: x0,2).
- Η δοκιμή Kalman K_5_F_ALL, (40 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων: x0,2), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1945 (ακτογραμμή μειωμένης ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_6_F_ALL, (40 διατομές-συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,5), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1995 (ακτογραμμή υψηλής ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_7_F_ALL, (40 διατομές και συνθετικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους παρουσιάζονται παρακάτω, στο συγκεντρωτικό πίνακα 2a_K (οι εφαρμογές Kalman παρουσιάζονται με γκρι χρώμα και αναφέρονται στο σύνολο των 40 διατομών για τη συγκεκριμένη περιοχή 7_KAT). Από τη μελέτη και τη σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 2a_K, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Για τη συγκεκριμένη περιοχή 7_KAT, στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου οι αβεβαιότητες ορίζονται στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται πως για τις μεθόδους EPR, AOR και RLS οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής είναι ελάχιστα μεγαλύτεροι σε σχέση με τους αντίστοιχους ρυθμούς που έχουν προκύψει από την απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων. Οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman για τις μεθόδους AER, OLS, JK, WLS, RWLS, LAD και WLAD ταυτίζονται με τους ρυθμούς που υπολογίζονται από την απευθείας εφαρμογή των αντίστοιχων

μεθόδων (εξαιρώντας βέβαια τις αβεβαιότητές τους). Επίσης, είναι χαρακτηριστικό πως οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman χρησιμοποιώντας αρχικά τις περισσότερες μεθόδους (με αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας) προσεγγίζουν την μέση τιμή των -0.20 μέτρων/χρόνο, με εξαίρεση τις μεθόδους LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί πρόσχωσης (εξακολουθούν να αποδεικνύονται αναξιόπιστες ως μέθοδοι) και την μέθοδο RLS μέσω της οποίας υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής που προσεγγίζει το -1 μέτρο/χρόνο (η συγκεκριμένη μέθοδος επίσης εξακολουθεί να αποκλίνει από τον μέσο όρο των εκτιμήσεων). Το σημαντικό στοιχείο που προκύπτει από τη μελέτη των παραπάνω αποτελεσμάτων είναι πως στην παρούσα εφαρμογή του φίλτρου Kalman στην περιοχή 7_KAT, εμφανίζονται συγκεκριμένες μέθοδοι να προσεγγίζουν με τις εκτιμήσεις τους τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των αξιόπιστων μεθόδων OLS και JK, ενσωματώνοντας μάλιστα τις υπάρχουσες αβεβαιότητες.

- Στην περίπτωση όπου βελτιώνονται οι αρχικές ακρίβειες από 0,5 σε 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman μεταβάλλονται ελάχιστα (ενδεικτικά αναφέρεται η αύξηση του ρυθμού μεταβολής της μεθόδου των OLS από τα -0.26 στα -0.27 μέτρα/χρόνο). Η συγκεκριμένη αυτή σταθερότητα αποτελεσμάτων (παρόλη την μεταβολή των αρχικών αβεβαιοτήτων) είχε παρατηρηθεί και στην περίπτωση των αντίστοιχων εφαρμογών στην περιοχή 1_LIT.
- Στην περίπτωση που εξαιρείται η παλαιότερη ακτογραμμή του 1945 (με τις υψηλές αβεβαιότητες θέσης), όλοι οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman μεταβάλλονται σημαντικά (αρκετοί από αυτούς υποδιπλασιάζονται, ενώ στο σύνολό τους όλοι μειώνονται). Οι εκτιμήσεις των μεθόδων RLS και WLAD από τα -0.16 μέτρα/χρόνο για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, μειώνονται πλέον στα -0.08 μέτρα/χρόνο, ενώ η εκτίμηση της μεθόδου OLS από τα -0.27 μέτρα/χρόνο μειώνεται στα -0.12 μέτρα/χρόνο. Αξίζει να σημειωθεί πως στην συγκεκριμένη περίπτωση, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζονται σχετικά μειωμένοι σε σχέση με τους ρυθμούς μεταβολής της αντίστοιχης εφαρμογής (όπου εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945) των 10 στατιστικών μεθόδων (το παραπάνω φαινόμενο είχε παρατηρηθεί και στις αντίστοιχες εφαρμογές της περιοχής 1_LIT).
- Αντίστοιχα, στην περίπτωση όπου εξαιρείται η ακτογραμμή του 1997 (με την υψηλή ακρίβεια θέσης), οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman (συνολικά και οι 10) παρουσιάζονται ελάχιστα αυξημένοι σε σχέση με τους ρυθμούς που υπολογίζονται απευθείας από τις 10 στατιστικές μεθόδους της αντίστοιχης εφαρμογής. Η εκτίμηση της μεθόδου OLS από τα -0.29 μέτρα/χρόνο για αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας της κλίμακας, αυξάνεται στα -0.36 μέτρα/χρόνο όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 1995. Όσον αφορά τις μεθόδους WLS και RWLS, οι εκτιμήσεις τους ταυτίζονται μεταξύ των δύο εφαρμογών με αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας και με αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, εξαιρώντας την ακτογραμμή του 1995. Βέβαια, είτε εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945 είτε του 1997, οι ρυθμοί μεταβολής των 10 μεθόδων συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες. Αντίθετα, στην περίπτωση των ρυθμών που υπολογίζονται μέσω

του φίλτρου Kalman, ανεξαιρέτως εφαρμογής (οποιασδήποτε από τις 5 εφαρμογές του φίλτρου Kalman στην περιοχή 7_KAT), προκύπτουν προβλέψεις για τις μελλοντικές θέσεις της ακτογραμμής, με ενσωματωμένες αβεβαιότητες στο ίδιο το «σήμα».

- Στην περίπτωση της εφαρμογής όπου χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα χαμηλές, ενιαίες αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman, επανέρχονται στις ίδιες τιμές που παρουσιάζονταν στις εφαρμογές με αβεβαιότητες 0,5 ή ακόμα και 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, όπως ακριβώς παρατηρήθηκε και στην περίπτωση εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων (το ίδιο ακριβώς συμπέρασμα προέκυψε και από τις αντίστοιχες εφαρμογές στην περιοχή 1_LIT). Οι δύο μέθοδοι που φαίνεται να επηρεάζονται σημαντικά από την παραπάνω μεταβολή των αρχικών αβεβαιοτήτων είναι οι WLS και RWLS των οποίων οι εκτιμήσεις σχεδόν διπλασιάζονται και ταυτίζονται πλέον με τις αξιόπιστες εκτιμήσεις των OLS (οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων WLS και RWLS από τα -0.15 μέτρα/χρόνο αυξάνονται στα -0.27 μέτρα/χρόνο, εκτίμηση η οποία ισούται με τον υπολογιζόμενο ρυθμό μεταβολής των OLS, όταν οι αβεβαιότητες ορίζονται συνολικά ± 0.5 μέτρα). Επομένως, στην περίπτωση ύπαρξης πρωτογενών δεδομένων με υψηλές ακρίβειες, το φίλτρο Kalman κρίνεται κατάλληλο να παρέχει σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής, ανεξαιρέτως ποια αρχική μέθοδος από τις 10 χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A (εξαιρώντας τις συνήθως προβληματικές μεθόδους LAD, WLAD μέσω των οποίων υπολογίζεται μονίμως πρόσχωση στην περιοχή 7_KAT και την μέθοδο RLS μέσω της οποίας υπολογίζεται εξαιρετικά μεγάλη υποχώρηση). Είναι χαρακτηριστικό πως ορίζοντας τις αρχικές αβεβαιότητες στα ± 0.5 μέτρα/χρόνο, οι 7 από τις 10 στατιστικές μεθόδους μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, υπολογίζουν ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής που προσεγγίζουν τα -0.30 μέτρα/χρόνο.
- Βέβαια, και στην περίπτωση εφαρμογής του φίλτρου Kalman, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής, ακόμη και όταν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα υψηλές αρχικές ακρίβειες, παρουσιάζουν σημαντική διασπορά και διακύμανση ανάλογα της αρχικής στατιστικής μεθόδου που χρησιμοποιείται. Είναι χαρακτηριστικό πως όσον αφορά το φίλτρο Kalman και αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής που κυμαίνονται από την χαμηλότερη εκτίμηση των -0.15 μέτρων/χρόνο (μέθοδος RWLS), -0.27 μέτρα/χρόνο για τα OLS, έως και την υψηλότερη εκτίμηση των -0.99 μέτρων/χρόνο (μέθοδος RLS). Αντίστοιχα, όσον αφορά την απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων, οι εκτιμήσεις κυμαίνονται από τα -0.14 ± 0.02 μέτρα/χρόνο (μέθοδος RWLS), -0.26 ± 0.001 μέτρα/χρόνο για τα OLS έως και την υψηλότερη εκτίμηση των $+0.95 \pm 0.002$ μέτρων/χρόνο (μέθοδος RLS).
- Από όλες τις παραπάνω συγκρίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman προκύπτει με σαφήνεια το συμπέρασμα ότι σε αρκετές περιπτώσεις (με βάση τις συγκεκριμένες μαθηματικές ρουτίνες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη) οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής του φίλτρου επηρεάζονται σημαντικά από την αρχική μέθοδο που

χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Αυτό προκύπτει καθώς οι ρυθμοί μεταβολής όχι μόνον δεν συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες (οι οποίες και αυτές παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την κάθε εφαρμογή και τις αρχικές αβεβαιότητες που χρησιμοποιούνται) αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συγκλίνουν γύρω από μια μέση τιμή και εμφανίζουν μια συστηματικότητα όσον αφορά την γενικότερη διασπορά τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί και η εφαρμογή του φίλτρου Kalman στην περιοχή 7_KAT, όπου όπως ήδη αναφέρθηκε, για αρχικές αβεβαιότητες ± 0.5 μέτρων, μέσω του φίλτρου υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι συγκλίνουν σε μια μέση τιμή για 7 από τις 10 μεθόδους.

- Συμπερασματικά, πρέπει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη περιοχή 7_KAT (η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή ήπιας υποχώρησης) τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman μεταβάλλονταν ελάχιστα όσο μεταβάλλονταν/μειώνονταν οι αρχικές αβεβαιότητες (όσο μειώνονταν οι αρχικές αβεβαιότητες αυξάνονταν ελάχιστα οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί διάβρωσης και μεταβάλλονταν σημαντικά όταν εξαιρούνταν οι ακτογραμμές 1945 και 1995 (όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1945, μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίστηκαν χαμηλότεροι ρυθμοί διάβρωσης και όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1995 υπολογίστηκαν υψηλότεροι ρυθμοί διάβρωσης, με εξαίρεση τις αναξιόπιστες μεθόδους LAD και WLAD όπου παρουσιάστηκαν διαφορετικές διακυμάνσεις).
- Όταν χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη RLS, WLS, RWLS ή οι συστηματικά αναξιόπιστες μέθοδοι LAD και WLAD για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A στα αρχικά στάδια εφαρμογής του φίλτρου, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία. Αυτό γίνεται ακόμη περισσότερο εμφανές όταν οι παραπάνω αναξιόπιστοι ρυθμοί συγκριθούν με τους ρυθμούς του φίλτρου Kalman που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την αξιόπιστη μέθοδο των OLS για την εκτίμηση του συντελεστή A. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα προέκυψε και στην περίπτωση της περιοχής 1_LIT (η μόνη διαφοροποίηση εντοπίζεται στις βελτιωμένες εκτιμήσεις των μεθόδων WLS και RWLS στην περιοχή 7_KAT).

Επομένως, όσον αφορά το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της μελέτης της περιοχής 7_KAT, προκύπτει πως η βέλτιστη εκτίμηση (με τις μικρότερες αβεβαιότητες πρόβλεψης) της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής υπολογίζεται μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, χρησιμοποιώντας αρχικά τη μέθοδο OLS, έτσι ώστε να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια ο συντελεστής A (διαθέτοντας πρωτογενή δεδομένα με τις υψηλότερες δυνατές ακρίβειες).

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες $2\alpha_K$ και 2β (1, 2, 3, 4 και 5) με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης όπως επίσης και το διάγραμμα 2α στο οποίο φαίνονται γραφικά οι αποκλίσεις των παραπάνω αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων και του φίλτρου Kalman.

7_KAT	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	-0.28+/- 1	-0.36 +/- 1.84	-0.54	-0.26 +/- 0.001	-0.25	-0.95+/- 0.002	-0.14 +/- 0.07	-0.14 +/- 0.07	0.61	0.47
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	-0.28 +/- 0.72	-0.36 +/- 1.38	-0.54	-0.26 +/- 0.001	-0.25	-0.95+/-0.002	-0.15 +/- 0.05	-0.14 +/- 0.05	0.61	0.47
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	-0.28 +/- 0.29	-0.36 +/- 0.55	-0.54	-0.26 +/- 0.001	-0.25	-0.95+/- 0.002	-0.15 +/- 0.02	-0.14 +/- 0.02	0.61	0.47
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2 - όχι το 1945)	-0.13 +/- 0.26	-0.33 +/- 1.52	-0.51	-0.13 +/- 0.003	-0.13	-0.95+/-0.002	-0.09 +/- 0.02	-0.09 +/- 0.02	0.55	0.29
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5 - όχι το 1995)	-0.35 +/- 1.03	-0.47 +/- 2.71	-0.68	-0.30 +/- 0.002	-0.27	-1.21 +/- 0.02	-0.14 +/- 0.06	-0.14 +/- 0.06	0.61	0.29
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητες +/- 0.5 m)	-0.28 +/- 0.02	-0.36 +/- 0.06	-0.54	-0.26 +/- 0.001	-0.25	-0.95+/-0.002	-0.26 +/- 0.002	-0.24 +/- 0.002	0.61	0.62
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5 - όχι 1979)	-0.28 +/- 0.72	-0.28 +/- 0.56	-0.30	-0.26 +/- 0.002	-0.25	-1.13 +/- 0.02	-0.19 +/- 0.06	-0.19 +/- 0.06	0.71	0.7
	K_1_F (διατομές 1,2,3) (x0.5) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-1.15 +/- 0.72	-1.06 +/- 0.38	-1.13	-1.10 +/- 0.01	-1.07	-0.95 +/- 0.01	-0.89 +/- 0.19	-0.87 +/- 0.20	-0.99	-0.97
	K_1_F (διατομές 1,2,3) (x0.5) - (ο KALMAN)	-1.2	-1.1	-1.2	-1.1	-1.1	-1.0	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0
	K_2_F (διατομές 1,2,3) (x0.5 - όχι 1979) (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-1.15 +/- 0.72	-1.13 +/- 0.15	-1.20	-1.09 +/- 0.01	-1.07	-1.13 +/- 0.06	-0.94 +/- 0.23	-0.94 +/- 0.23	-1.16	-0.78
	K_2_F (διατομές 1,2,3) (x0.5 - όχι 1979) (ο KALMAN)	-1.2	-1.2	-1.3	-1.1	-1.1	-1.2	-1.0	-1.0	-1.2	-0.8
	K_3_F_ALL (x0.5) - (ο KALMAN)	-0.29	-0.37	-0.54	-0.26	-0.25	-1.00	-0.15	-0.14	0.61	0.47
	K_4_F_ALL (x0.2) - (ο KALMAN)	-0.30	-0.38	-0.57	-0.27	-0.26	-0.99	-0.16	-0.15	0.64	0.49
	K_5_F_ALL (x0.2 - όχι το 1945)	-0.12	-0.30	-0.46	-0.12	-0.12	-0.85	-0.08	-0.08	0.50	0.26
	K_6_F_ALL (x0.5 - όχι το 1995)	-0.36	-0.50	-0.71	-0.31	-0.28	-1.30	-0.15	-0.15	0.64	0.30
K_7_F_ALL (αβεβαιότητες +/- 0.5 m)	-0.30	-0.38	-0.57	-0.27	-0.26	-0.99	-0.27	-0.26	0.64	0.65	

ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ 0 ΕΩΣ -1 m/yr (Χαμηλή υποχώρηση)

Πίνακας 2α_K : Παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων (λευκά κελιά) όπως επίσης και του φίλτρου Kalman (γκρι κελιά), στην περιοχή 7_KAT.

(7_KAT) Κατερίνη, (2000 m) - (αβεβαιότητες x0.5)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.28 +/- 0.72 m/yr	-0.29 m/yr	3.57%
AOR : -0.36 +/- 1.38m/yr (10 συνδυασμοί)	-0.37 m/yr	2.78%
AER : -0.54 m/yr	-0.54 m/yr	0%
OLS : -0.26 +/- 0.001 m/yr	-0.26 m/yr	0%
Jackknife: -0.25 m/yr	-0.25 m/yr	0%
RLS : -0.95 +/- 0.002 m/yr	-1.00 m/yr	5.26%
WLS : -0.15 +/- 0.05 m/yr	-0.15 m/yr	0%
RWLS : -0.14 +/- 0.05 m/yr	-0.14 m/yr	0%
LAD : 0.61 m/yr	0.61 m/yr	0%
WLAD : 0.47 m/yr	0.47 m/yr	0%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -14 +/- 36 m	-14.5 m	3.57%
AOR : -18 +/- 69 m	-18.5 m	2.78%
AER : -27 m	-27 m	0%
OLS : -13 +/- 0.05 m	-13 m	0%
Jackknife: -12.5 m	-12.5 m	0%
RLS : -47.5 +/- 0.1 m	-50 m	5.26%
WLS : -7.5 +/- 2.5 m	-7.5 m	0%
RWLS : -7 +/- 2.5 m	-7 m	0%
LAD : 30.5 m	30.5 m	0%
WLAD : 23.5 m	23.5 m	0%

(7_KAT) Κατερίνη, (2000 m) - (αβεβαιότητες x0.2)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.28 +/- 0.29 m/yr	- 0.30 m/yr	+ 7.14 %
AOR : -0.36 +/- 0.55 m/yr (10 συνδυασμοί)	- 0.38 m/yr	+ 5.56 %
AER : -0.54 m/yr	- 0.57 m/yr	+ 5.56 %
OLS : -0.26 +/- 0.001 m/yr	- 0.27 m/yr	+3.85 %
Jackknife : -0.25 m/yr	- 0.26 m/yr	+4.00 %
RLS : -0.95 +/- 0.002 m/yr	- 0.99 m/yr	+4.21 %
WLS : -0.15 +/- 0.02 m/yr	- 0.16 m/yr	+6.67 %
RWLS : -0.14 +/- 0.02 m/yr	- 0.15 m/yr	+7.14 %
LAD : 0.61 m/yr	0.64 m/yr	+4.92 %
WLAD : 0.47 m/yr	0.49 m/yr	+4.26 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -14 +/- 14.5 m	- 15 m	+ 7.14 %
AOR : -18 +/- 27.5 m	- 19 m	+ 5.56 %
AER : -27 m	- 28.5 m	+ 5.56 %
OLS : -13 +/- 0.05 m	- 13.5 m	+3.85 %
Jackknife : -12.5 m	- 13 m	+4.00 %
RLS : -47.5 +/- 0.1 m	- 49.5 m	+4.21 %
WLS : -7.5 +/- 1 m	- 8 m	+6.67 %
RWLS : -7 +/- 1 m	- 7.5 m	+7.14 %
LAD : 30.5 m	32 m	+4.92 %
WLAD : 23.5 m	24.5 m	+4.26 %

Πίνακες 2β_1 και 2β_2 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 7_KAT, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 και των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

(7_KAT) Κατερίνη, (2000 m) (αβεβαιότητες x0.2-όχι το 1945)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.13 +/- 0.26 m/yr	- 0.12 m/yr	- 7.69 %
AOR : -0.33 +/- 1.52 m/yr (6 συνδυασμοί)	- 0.30 m/yr	- 9.09 %
AER : -0.51 m/yr	- 0.46 m/yr	- 9.80 %
OLS : -0.13 +/- 0.003 m/yr	- 0.12 m/yr	- 7.69 %
Jackknife : -0.13 m/yr	- 0.12 m/yr	- 7.69 %
RLS : -0.95 +/- 0.002 m/yr	- 0.85 m/yr	- 10.53 %
WLS : -0.09 +/- 0.02 m/yr	- 0.08 m/yr	- 11.11 %
RWLS : -0.09 +/- 0.02 m/yr	- 0.08 m/yr	- 11.11 %
LAD : 0.55 m/yr	0.50 m/yr	- 9.09 %
WLAD : 0.29 m/yr	0.26 m/yr	- 10.34 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -6.5 +/- 13 m	- 6 m	- 7.69 %
AOR : -16.5 +/- 76 m	- 15 m	- 9.09 %
AER : -25.5 m	- 23 m	- 9.80 %
OLS : -6.5 +/- 0.15 m	- 6 m	- 7.69 %
Jackknife : -6.5 m	- 6 m	- 7.69 %
RLS : -47.5 +/- 0.1 m	- 42.5 m	- 10.53 %
WLS : -4.5 +/- 1 m	- 4 m/yr	- 11.11 %
RWLS : -4.5 +/- 1 m	- 4 m/yr	- 11.11 %
LAD : 27.5 m	25 m	- 9.09 %
WLAD : 14.5 m	13 m	- 10.34 %

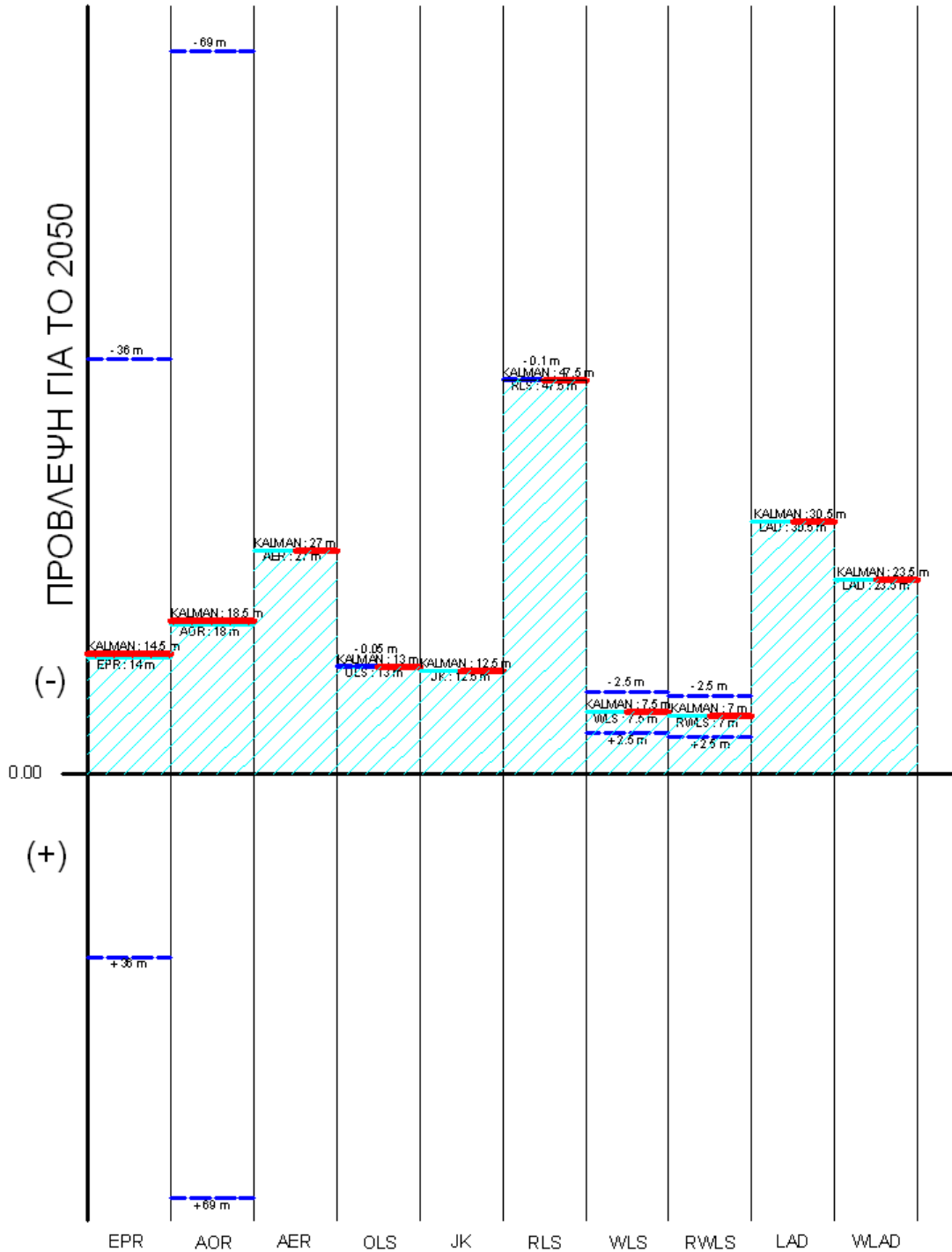
(7_KAT) Κατερίνη, (2000 m) (αβεβαιότητες x0.5-όχι το 1995)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.35 +/- 1.03 m/yr	- 0.36 m/yr	+ 2.86 %
AOR : -0.47 +/- 2.71 m/yr (6 συνδυασμοί)	- 0.50 m/yr	+ 6.38 %
AER : -0.68 m/yr	- 0.71 m/yr	+ 4.41 %
OLS : -0.30 +/- 0.002 m/yr	- 0.31 m/yr	+ 3.33 %
Jackknife : -0.27 m/yr	- 0.28 m/yr	+ 3.70 %
RLS : -1.21 +/- 0.02 m/yr	- 1.30 m/yr	+ 4.74 %
WLS : -0.14 +/- 0.06 m/yr	- 0.15 m/yr	+ 7.14 %
RWLS : -0.14 +/- 0.06 m/yr	- 0.15 m/yr	+ 7.14 %
LAD : 0.61 m/yr	0.64 m/yr	+ 4.92 %
WLAD : 0.29 m/yr	0.30 m/yr	+ 3.45 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -17.5 +/- 51.5 m	- 18 m	+ 2.86 %
AOR : -23.5 +/- 135.5 m	- 25 m	+ 6.38 %
AER : -34 m	- 35.5 m	+ 4.41 %
OLS : -15 +/- 0.1 m	- 15.5 m	+ 3.33 %
Jackknife : -13.5 m	- 14 m	+ 3.70 %
RLS : -60.5 +/- 1 m	- 65 m	+ 4.74 %
WLS : -7 +/- 3 m	- 7.5 m	+ 7.14 %
RWLS : -7 +/- 3 m	- 7.5 m	+ 7.14 %
LAD : 30.5 m	32 m	+ 4.92 %
WLAD : 14.5 m	15 m	+ 3.45 %

Πίνακες 2β_3 και 2β_4 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 7_KAT, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά).

(7_KAT) Κατερίνη, (2000 m) - (αβεβαιότητες : +/- 0.5m)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.28 +/- 0.02 m/yr	- 0.30 m/yr	+ 7.14 %
AOR : -0.36 +/- 0.06 m/yr (10 συνδυασμοί)	- 0.38 m/yr	+ 5.56 %
AER : -0.54 m/yr	- 0.57 m/yr	+ 5.56 %
OLS : -0.26 +/- 0.001 m/yr	- 0.27 m/yr	+ 3.85 %
Jackknife : -0.25 m/yr	- 0.26 m/yr	4%
RLS : -0.95 +/- 0.002 m/yr	- 0.99 m/yr	+ 4.21 %
WLS : -0.26 +/- 0.002 m/yr	- 0.27 m/yr	+ 3.85 %
RWLS : -0.24 +/- 0.002 m/yr	- 0.26 m/yr	+ 8.33 %
LAD : 0.61 m/yr	0.64 m/yr	+ 4.92 %
WLAD : 0.62 m/yr	0.65 m/yr	+ 4.84 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -14 +/- 1 m	- 15 m	+ 7.14 %
AOR : -18 +/- 3 m	- 19 m	+ 5.56 %
AER : -27 m	- 28.5 m	+ 5.56 %
OLS : -13 +/- 0.05 m	- 13.5 m	+ 3.85 %
Jackknife : -12.5 m	- 13 m	4%
RLS : -47.5 +/- 0.1 m	- 49.5 m	+ 4.21 %
WLS : -13 +/- 0.1 m	- 13.5 m	+ 3.85 %
RWLS : -12 +/- 0.1 m	- 13 m	+ 8.33 %
LAD : 30.5 m	32 m	+ 4.92 %
WLAD : 31 m	32.5 m	+ 4.84 %

Πίνακας 2β_5 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 7_KAT, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Οι αβεβαιότητες είναι της τάξης των ± 0.5 μέτρων.

Περιοχή μελέτης : 7_KAT (Κατερίνη, 2000m)
 Αβεβαιότητες : 5 χιλιοστά της κλίμακας της αερ/φίας



Διάγραμμα 2α : Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται γραφικά οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων (κυανό χρώμα) με τα αντίστοιχα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman (κόκκινο χρώμα), στην περιοχή μελέτης 7_KAT. Με μπλε διακεκομμένες γραμμές φαίνονται τα επίπεδα αβεβαιότητας πρόβλεψης για την κάθε μία από τις 10 μεθόδους.

5.2.3

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	8_BAR
ΧΑΜΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Οι δοκιμές των 10 μεθόδων σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 8_BAR είναι οι παρακάτω (συνολικά 5) :

- Η δοκιμή Kalman K_1_F_ALL, (15 διατομές-συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_2_F_ALL, (15 διατομές-συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,2).
- Η δοκιμή Kalman K_3_F_ALL, (15 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,2), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1945 (ακτογραμμή μειωμένης ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_4_F_ALL, (15 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,5), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 2000 (ακτογραμμή υψηλής ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_5_F_ALL, (15 διατομές και συνθετικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους παρουσιάζονται παρακάτω, στο συγκεντρωτικό πίνακα 3a_K (οι εφαρμογές Kalman παρουσιάζονται με γκρι χρώμα και αναφέρονται στο σύνολο των 15 διατομών για την συγκεκριμένη περιοχή 8_BAR). Από τη μελέτη και τη σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 3a_K, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Για τη συγκεκριμένη περιοχή 8_BAR, στις εφαρμογές του φίλτρου Kalman όπου οι αβεβαιότητες ορίζονται στα 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται πως και για τις 10 μεθόδους, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής ταυτίζονται απόλυτα με τους αντίστοιχους ρυθμούς που έχουν προκύψει από την απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων (με αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, μέσω της απευθείας εφαρμογής της μεθόδου EPR υπολογίζεται πρόσχωση $+0.06 \pm 0.46$ μέτρων/χρόνο, ενώ αντίστοιχα, μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζεται πρόσχωση $+0.06$ μέτρων/χρόνο). Βέβαια, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman, δεν παρουσιάζουν τις υψηλές αβεβαιότητες που εμφανίζουν οι αντίστοιχες εκτιμήσεις των 10 στατιστικών μεθόδων (ενσωματώνονται κατά την διαδικασία εφαρμογής του φίλτρου). Εξάιρεση αποτελεί η μέθοδος RWLS, της οποίας η εκτίμηση μέσω φίλτρου Kalman διπλασιάζεται σε σχέση με την απευθείας εφαρμογή της (για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, ο ρυθμός μεταβολής από τα $+0.01 \pm 0.03$ μέτρα/χρόνο αυξάνεται, όσον αφορά την εκτίμηση του φίλτρου Kalman, στα $+0.02$ μέτρα/χρόνο).

Στην περίπτωση όπου βελτιώνονται οι αρχικές αβεβαιότητες από 0,5 σε 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman παραμένουν σταθεροί (κάτι ανάλογο παρατηρείται και στα αποτελέσματα της απευθείας εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων). Επομένως, η κλιμακωτή βελτίωση των αβεβαιοτήτων των πρωτογενών δεδομένων έχει μηδενική επίδραση στις εκτιμήσεις που προκύπτουν από την εφαρμογή του φίλτρου Kalman. Η συγκεκριμένη αυτή σταθερότητα αποτελεσμάτων (παρόλη την μεταβολή των αρχικών αβεβαιοτήτων) είχε παρατηρηθεί και στην περίπτωση των αντίστοιχων εφαρμογών στις περιοχές 1_LIT και 7_KAT.

Όσον αφορά την διασπορά των διαφόρων εκτιμήσεων των 10 στατιστικών μεθόδων (εξαιρώντας τις μονίμως αναξιόπιστες μεθόδους RLS, LAD και WLAD) μέσω του φίλτρου Kalman για κάθε μία εφαρμογή ξεχωριστά, παρατηρείται μια γενικότερη προσέγγιση γύρω από τις αξιόπιστες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK (για αβεβαιότητες 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, μέσω των OLS υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης των -0.01 μέτρων/χρόνο, μέσω της EPR πρόσχωση της τάξης των +0.06 μέτρων/χρόνο, μέσω της AOR +0.15 μέτρα/χρόνο, μέσω της WLS +0.01 μέτρα/χρόνο και μέσω της μεθόδου RWLS πρόσχωση της τάξης των +0.02 μέτρων/χρόνο). Οι παραπάνω αποκλίσεις των εκτιμήσεων που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman (των 5 συγκεκριμένων μεθόδων) κρίνονται μη σημαντικές.

- Στην περίπτωση που εξαιρείται η παλαιότερη ακτογραμμή του 1945 (με τις υψηλές αβεβαιότητες θέσης), όλοι οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman μεταβάλλονται σημαντικά (αρκετοί από αυτούς υποδιπλασιάζονται, ενώ στο σύνολό τους όλοι μειώνονται). Έτσι, στις περιπτώσεις των μεθόδων EPR, AOR, AER, WLS και RWLS όπου αρχικά υπολογίζονταν ρυθμοί πρόσχωσης, πλέον υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης (για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, μέσω της μεθόδου EPR ενώ αρχικά υπολογίζονταν πρόσχωση της τάξης των +0.06 μέτρων/χρόνο, πλέον υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης των -0.10 μέτρων/χρόνο, ενώ στην περίπτωση των μεθόδων OLS και JK παρουσιάζεται αύξηση των υπολογιζόμενων ρυθμών υποχώρησης από τα -0.01 στα -0.08 μέτρα/χρόνο). Είναι χαρακτηριστικό πως αντίστοιχη μεταστροφή των ρυθμών μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman (μετατροπή του ρυθμού πρόσχωσης σε ρυθμό υποχώρησης και του ρυθμού οριακής υποχώρησης σε αυξημένο ρυθμό υποχώρησης) παρουσιάζεται και στην περίπτωση της απευθείας εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων, όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945 για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.
- Αντίστοιχα, στην περίπτωση όπου εξαιρείται η ακτογραμμή του 2000 (με την υψηλή ακρίβεια θέσης), οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται με το φίλτρο Kalman (συνολικά και οι 10) μεταβάλλονται και σχεδόν ταυτίζονται με τους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται απευθείας από τις 10 στατιστικές μεθόδους της αντίστοιχης εφαρμογής. Έτσι, ενώ μέσω της μεθόδου OLS αρχικά υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης των -0.05 μέτρων/χρόνο για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, στη συνέχεια η εκτίμηση αυτή αυξάνεται στα -0.06 μέτρα/χρόνο, όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 2000. Όσον αφορά τις μεθόδους WLS και RWLS, οι εκτιμήσεις τους μέσω του φίλτρου Kalman, μεταξύ των εφαρμογών με αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της

κλίμακας της αεροφωτογραφίας (ρυθμοί πρόσχωσης της τάξης των +0.01 και +0.02 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα) και με τις ίδιες αβεβαιότητες εξαιρώντας την ακτογραμμή του 2000 (ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -0.11 μέτρων/χρόνο και για τις δύο) παρουσιάζουν σημαντική μεταβολή. Βέβαια, είτε εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945 είτε του 2000, οι ρυθμοί μεταβολής των 10 στατιστικών μεθόδων συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες. Αντίθετα, στην περίπτωση των ρυθμών που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman, ανεξαιρέτως εφαρμογής (οποιασδήποτε από τις 5 εφαρμογές του φίλτρου Kalman στην περιοχή 8_BAR), προκύπτουν προβλέψεις για τις μελλοντικές θέσεις της ακτογραμμής, με ενσωματωμένες αβεβαιότητες στο ίδιο το «σήμα».

- Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα χαμηλές, ενιαίες αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman (εξαιρώντας τις αναξιόπιστες μεθόδους RLS, LAD και WLAD) προσεγγίζουν σημαντικά τον ρυθμό μεταβολής που υπολογίζεται μέσω του φίλτρου Kalman για τις μεθόδους OLS και JK (ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.01 μέτρων/χρόνο). Είναι χαρακτηριστικό πως η εκτίμηση της μεθόδου EPR μέσω του φίλτρου Kalman προσεγγίζει τα +0.06 μέτρα/χρόνο, η AOR τα -0.01 μέτρα/χρόνο, η AER τα +0.03 μέτρα/χρόνο, η WLS τα -0.01 μέτρα/χρόνο και η μέθοδος RWLS τα -0.003 μέτρα/χρόνο.

Επομένως, στην περίπτωση ύπαρξης πρωτογενών δεδομένων με υψηλές ακρίβειες, το φίλτρο Kalman κρίνεται κατάλληλο να παρέχει σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής, ανεξαιρέτως ποια αρχική μέθοδος από τις 10 χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A (εξαιρώντας τις συνήθως προβληματικές μεθόδους LAD, WLAD μέσω των οποίων υπολογίζεται μονίμως πρόσχωση στην περιοχή 7_BAR και την μέθοδο RLS μέσω της οποίας υπολογίζεται εξαιρετικά μεγάλη υποχώρηση). Είναι χαρακτηριστικό πως ορίζοντας τις αρχικές αβεβαιότητες στα ± 0.5 μέτρα/χρόνο, οι 7 από τις 10 μεθόδους μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, υπολογίζουν ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής που προσεγγίζουν τα -0.01 μέτρα/χρόνο.

- Βέβαια, και στην περίπτωση εφαρμογής του φίλτρου Kalman, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής, ακόμη και όταν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα υψηλές αρχικές ακρίβειες, παρουσιάζουν σημαντική διασπορά και διακύμανση ανάλογα της αρχικής στατιστικής μεθόδου που χρησιμοποιείται. Είναι χαρακτηριστικό πως όσον αφορά το φίλτρο Kalman και αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής που κυμαίνονται από την χαμηλότερη εκτίμηση των -0.02 μέτρων/χρόνο (μέθοδος JK), -0.01 μέτρα/χρόνο για τα OLS, έως και την υψηλότερη εκτίμηση των +0.27 μέτρων/χρόνο (μέθοδοι LAD και WLAD). Αντίστοιχα, όσον αφορά την απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων, οι εκτιμήσεις κυμαίνονται από τα -0.02 μέτρα/χρόνο (μέθοδος JK), -0.01 ± 0.002 μέτρα/χρόνο για τα OLS έως και την υψηλότερη εκτίμηση των +0.26 μέτρων/χρόνο (μέθοδος WLAD).
- Από όλες τις παραπάνω συγκρίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman προκύπτει με σαφήνεια το συμπέρασμα ότι σε αρκετές περιπτώσεις (με βάση τις συγκεκριμένες μαθηματικές ρουτίνες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη) οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής

του φίλτρου επηρεάζονται σημαντικά από την αρχική μέθοδο που χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Αυτό προκύπτει καθώς οι ρυθμοί μεταβολής όχι μόνο δεν συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες (οι οποίες και αυτές παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την κάθε εφαρμογή και τις αρχικές αβεβαιότητες που χρησιμοποιούνται) αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συγκλίνουν γύρω από μια μέση τιμή και εμφανίζουν μια συστηματικότητα όσον αφορά την γενικότερη διασπορά τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί και η εφαρμογή του φίλτρου Kalman στην περιοχή 8_BAR, όπου όπως ήδη αναφέρθηκε, για αρχικές αβεβαιότητες ± 0.5 μέτρων, μέσω του φίλτρου υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι συγκλίνουν σε μια μέση τιμή για 7 από τις 10 μεθόδους.

- Συμπερασματικά, πρέπει να σημειωθεί πως στην συγκεκριμένη περιοχή 8_BAR (η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή ήπιας υποχώρησης) τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman μεταβάλλονταν ελάχιστα όσο μεταβάλλονταν/μειώνονταν οι αρχικές αβεβαιότητες και μεταβάλλονταν σημαντικά όταν εξαιρούνταν οι ακτογραμμές 1945 και 2000 (όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1945, μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίστηκαν ρυθμοί διάβρωσης για 7 από τις 10 μεθόδους και όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 2000 υπολογίστηκαν οριακά χαμηλότεροι ρυθμοί διάβρωσης για 5 από τις 10 μεθόδους, με εξαίρεση τις αναξιόπιστες μεθόδους LAD και WLAD όπου σταθερά υπολογίζονταν ρυθμοί πρόσχωσης με διαφορετικές διακυμάνσεις).
- Όταν χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη RLS, WLS, RWLS ή οι συστηματικά αναξιόπιστες μέθοδοι LAD και WLAD για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A στα αρχικά στάδια εφαρμογής του φίλτρου, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία. Αυτό γίνεται ακόμη περισσότερο εμφανές όταν οι παραπάνω αναξιόπιστοι ρυθμοί συγκριθούν με τους ρυθμούς του φίλτρου Kalman που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την αξιόπιστη μέθοδο των OLS για την εκτίμηση του συντελεστή A. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα προέκυψε και στην περίπτωση των περιοχών 1_LIT και 7_KAT (η μόνη διαφοροποίηση εντοπίζεται στις βελτιωμένες εκτιμήσεις των μεθόδων WLS και RWLS στις περιοχές 7_KAT και 8_BAR).

Επομένως, όσον αφορά το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της μελέτης της περιοχής 8_BAR, προκύπτει πως η βέλτιστη εκτίμηση (με τις μικρότερες αβεβαιότητες πρόβλεψης) της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής υπολογίζεται μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, χρησιμοποιώντας αρχικά την μέθοδο OLS, έτσι ώστε να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια ο συντελεστής A (διαθέτοντας πρωτογενή δεδομένα με τις υψηλότερες δυνατές ακρίβειες).

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες 3α_K και 3β (1, 2, 3, 4 και 5) με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης όπως επίσης και το διάγραμμα 3α στο οποίο φαίνονται γραφικά οι αποκλίσεις των παραπάνω αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων και του φίλτρου Kalman.

8_BAR	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	0.06 +/- 0.65	0.14 +/- 1.16	0.03	-0.01 +/- 0.002	-0.02	0.13 +/- 0.03	0.01 +/- 0.09	0.01 +/- 0.09	0.25	0.26	ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ 0 ΕΩΣ -1 m/yr (Χαμηλή υποχώρηση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	0.06 +/- 0.46	0.14 +/- 0.83	0.03	-0.01 +/- 0.002	-0.02	0.13 +/- 0.03	0.01 +/- 0.07	0.01 +/- 0.07	0.25	0.26	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	0.06 +/- 0.18	0.14 +/- 0.33	0.03	-0.01 +/- 0.002	-0.02	0.13 +/- 0.03	0.01 +/- 0.03	0.01 +/- 0.03	0.25	0.26	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2 - όχι το 1945)	-0.11 +/- 0.19	-0.11 +/- 0.17	-0.14	-0.09 +/- 0.004	-0.09	0.07 +/- 0.05	-0.02 +/- 0.03	-0.02 +/- 0.03	0.26	0.27	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5 - όχι το 2000)	0.001 +/- 0.86	0.17 +/- 1.28	-0.05	-0.05 +/- 0.004	-0.08	0.06 +/- 0.04	-0.10 +/- 0.15	-0.10 +/- 0.15	0.24	0.25	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητες +/- 0.5 m)	0.06 +/- 0.02	-0.01 +/- 0.01	0.03	-0.01 +/- 0.002	-0.02	0.13 +/- 0.03	-0.01 +/- 0.003	-0.002 +/- 0.003	0.25	0.25	
	K_1_F_ALL (x0.5) - (ο KALMAN)	0.06	0.14	0.03	-0.01	-0.02	0.13	0.01	0.02	0.22	0.23	
	K_2_F_ALL (x0.2) - (ο KALMAN)	0.06	0.15	0.03	-0.01	-0.02	0.14	0.01	0.02	0.27	0.27	
	K_3_F_ALL (x0.2 - όχι το 1945) (ο KALMAN)	-0.10	-0.10	-0.12	-0.08	-0.08	0.07	-0.02	-0.02	0.24	0.24	
	K_4_F_ALL (x0.5 - όχι το 2000) (ο KALMAN)	0.001	0.18	-0.05	-0.06	-0.08	0.0001	-0.11	-0.11	0.26	0.26	
K_5_F_ALL (αβεβαιότητες +/- 0.5 m) (ο KALMAN)	0.06	-0.01	0.03	-0.01	-0.02	0.14	-0.01	-0.003	0.27	0.26		

Πίνακας 3α_K : Παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων (λευκά κελιά) όπως επίσης και του φίλτρου Kalman (γκρι κελιά), στην περιοχή 8_BAR.

(8_BAR) Βαρθολομιά Ηλείας, (800 m) - (αβεβαιότητες x0.5)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.06 +/- 0.46 m/yr	0.06 m/yr	0%
AOR : 0.14 +/- 0.83 m/yr (4 συνδυασμοί)	0.14 m/yr	0%
AER : 0.03 m/yr	0.03 m/yr	0%
OLS : -0.01 +/- 0.002 m/yr	- 0.01 m/yr	0%
Jackknife : -0.02 m/yr	- 0.02 m/yr	0%
RLS : 0.13 +/- 0.03 m/yr	0.13 m/yr	0%
WLS : 0.01 +/- 0.07 m/yr	0.01 m/yr	0%
RWLS : 0.01 +/- 0.07 m/yr	0.02 m/yr	100%
LAD : 0.25 m/yr	0.22 m/yr	-12%
WLAD : 0.26 m/yr	0.23 m/yr	-11.5 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 3 +/- 23 m	3 m	0%
AOR : 7 +/- 41.5 m	7 m	0%
AER : 1.5 m	1.5 m	0%
OLS : -0.5 +/- 0.1 m	- 0.5 m	0%
Jackknife : -1 m	- 1 m	0%
RLS : 6.5 +/- 1.5 m	6.5 m	0%
WLS : 0.5 +/- 3.5 m	0.5 m	0%
RWLS : 0.5 +/- 3.5 m	1 m	100%
LAD : 12.5 m	11 m	-12%
WLAD : 13 m	11.5 m	-11.5 %

(8_BAR) Βαρθολομιά Ηλείας, (800 m) - (αβεβαιότητες x0.2)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.06 +/- 0.18 m/yr	+ 0.06 m/yr	0%
AOR : 0.14 +/- 0.33 m/yr (4 συνδυασμοί)	+ 0.15 m/yr	+ 7.14 %
AER : 0.03 m/yr	+ 0.03 m/yr	0%
OLS : -0.01 +/- 0.002 m/yr	- 0.01 m/yr	0%
Jackknife : -0.02 m/yr	- 0.02 m/yr	0%
RLS : 0.13 +/- 0.03 m/yr	+ 0.14 m/yr	+ 7.69 %
WLS : 0.01 +/- 0.03 m/yr	+ 0.01 m/yr	0%
RWLS : 0.01 +/- 0.03 m/yr	+ 0.02 m/yr	100%
LAD : 0.25 m/yr	+ 0.27 m/yr	8%
WLAD : 0.26 m/yr	+ 0.27 m/yr	+ 3.85 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 3 +/- 9 m	+ 3 m	0%
AOR : 7 +/- 16.5 m	+ 7.5 m	+ 7.14 %
AER : 1.5 m/yr	+ 1.5 m	0%
OLS : -0.5 +/- 0.1 m	- 0.5 m	0%
Jackknife : -1 m	- 1 m	0%
RLS : 6.5 +/- 1.5 m	+ 7 m	+ 7.69 %
WLS : 0.5 +/- 1.5 m	+ 0.5 m	0%
RWLS : 0.5 +/- 1.5 m	+ 1 m	100%
LAD : 12.5 m	+ 13.5 m	8%
WLAD : 13 m	+ 13.5 m	+ 3.85 %

Πίνακες 3β_1 και 3β_2 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 8_BAR, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 και των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

(8_BAR) Βαρθολομιό Ηλείας, (800 m) (αβεβαιότητες x0.2-όχι το 1945)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.11 +/- 0.19 m/yr	- 0.10 m/yr	- 9.09 %
AOR : -0.11 +/- 0.17 m/yr (6 συνδυασμοί)	- 0.10 m/yr	- 9.09 %
AER : -0.14 m/yr	- 0.12 m/yr	- 14.29 %
OLS : -0.09 +/- 0.004 m/yr	- 0.08 m/yr	- 11.11 %
Jackknife : -0.09 m/yr	- 0.08 m/yr	- 11.11 %
RLS : 0.07 +/- 0.05 m/yr	0.07 m/yr	0%
WLS : -0.02 +/- 0.03 m/yr	- 0.02 m/yr	0%
RWLS : -0.02 +/- 0.03 m/yr	- 0.02 m/yr	0%
LAD : 0.26 m/yr	+ 0.24 m/yr	- 7.69 %
WLAD : 0.27 m/yr	+ 0.24 m/yr	- 11.11 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -5.5 +/- 9.5 m	- 5 m	- 9.09 %
AOR : -5.5 +/- 8.5 m	- 5 m	- 9.09 %
AER : -7 m	- 6 m	- 14.29 %
OLS : -4.5 +/- 0.2 m	- 4 m	- 11.11 %
Jackknife : -4.5 m	- 4 m	- 11.11 %
RLS : 3.5 +/- 2.5 m	3.5 m	0%
WLS : -1 +/- 1.5 m	- 1 m	0%
RWLS : -1 +/- 1.5 m	- 1 m	0%
LAD : 13 m	+ 13 m	- 7.69 %
WLAD : 13.5 m	+ 12 m	- 11.11 %

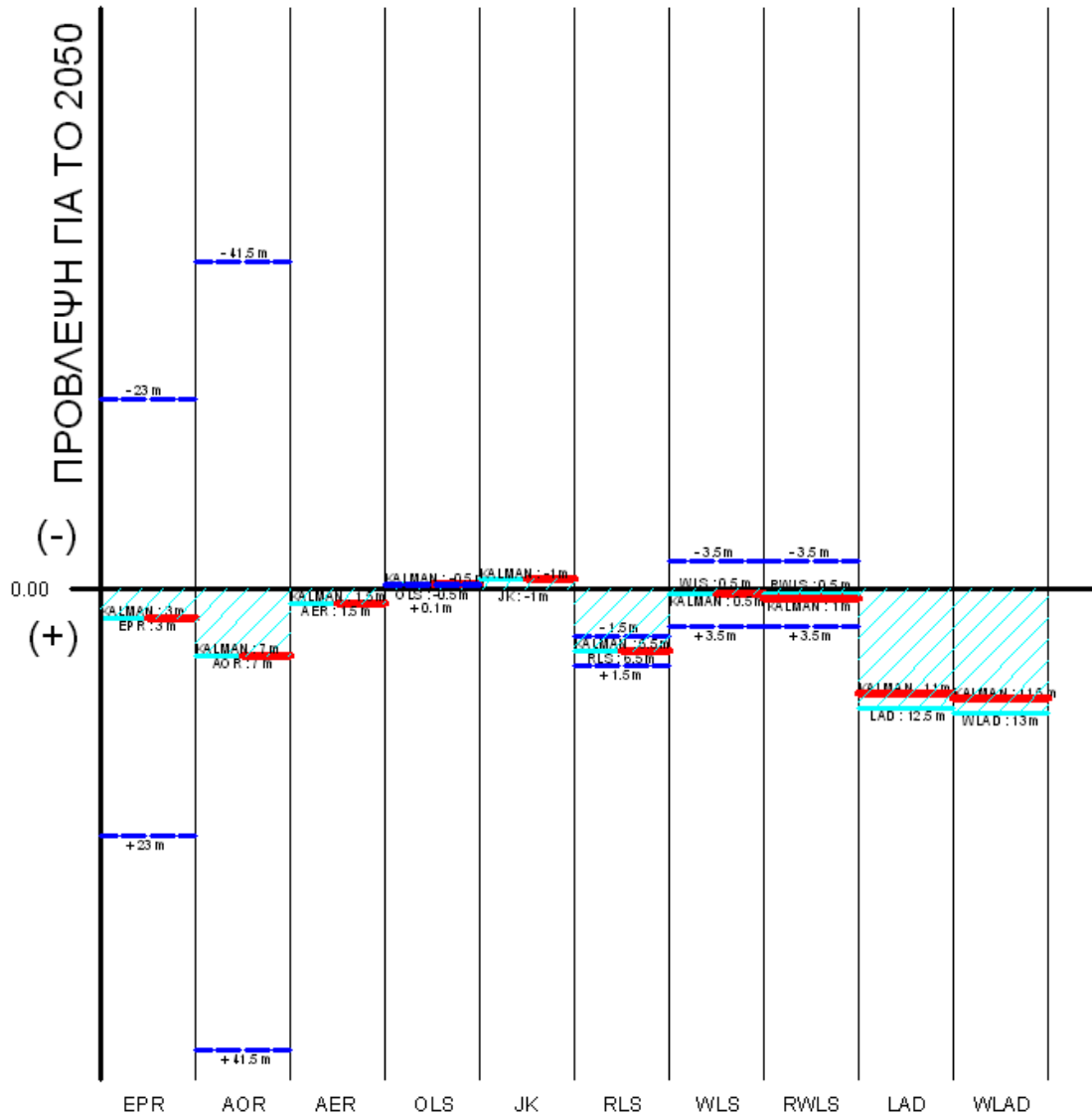
(8_BAR) Βαρθολομιό Ηλείας, (800 m) (αβεβαιότητες x0.5-όχι το 2000)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.001 +/- 0.86 m/yr	+ 0.001 m/yr	0%
AOR : 0.17 +/- 1.28 m/yr (3 συνδυασμοί)	+ 0.18 m/yr	+ 5.88 %
AER : -0.05 m/yr	- 0.05 m/yr	0%
OLS : -0.05 +/- 0.004 m/yr	- 0.06 m/yr	20%
Jackknife : -0.08 m/yr	- 0.08 m/yr	0%
RLS : 0.0001 +/- 0.04 m/yr	+ 0.0001 m/yr	0%
WLS : -0.10 +/- 0.15 m/yr	- 0.11 m/yr	10%
RWLS : -0.10 +/- 0.15 m/yr	- 0.11 m/yr	10%
LAD : 0.24 m/yr	+ 0.26 m/yr	+ 8.33 %
WLAD : 0.25 m/yr	+ 0.26 m/yr	4%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.05 +/- 43 m	+ 0.05 m	0%
AOR : 8.5 +/- 64 m	+ 9 m	+ 5.88 %
AER : -2.5 m	- 2.5 m	0%
OLS : -2.5 +/- 0.2 m	- 3 m	20%
Jackknife : -4 m	- 4 m	0%
RLS : 0.005 +/- 2 m	+ 0.005 m	0%
WLS : -5 +/- 7.5 m	- 5.5 m	10%
RWLS : -5 +/- 7.5 m	- 5.5 m	10%
LAD : 12 m	+ 13 m	+ 8.33 %
WLAD : 12.5 m	+ 13 m	4%

Πίνακες 3β_3 και 3β_4 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 8_BAR, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά).

(8_BAR) Βαρθολομιό Ηλείας, (800 m) (αβεβαιότητες +/- 0.5m)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.06 +/- 0.02 m/yr	+ 0.06 m/yr	0%
AOR : -0.01 +/- 0.01 m/yr (10 συνδυασμοί)	- 0.01 m/yr	0%
AER : 0.03 m/yr	+ 0.03 m/yr	0%
OLS : -0.01 +/- 0.002 m/yr	- 0.01 m/yr	0%
Jackknif: -0.02 m/yr	- 0.02 m/yr	0%
RLS : 0.13 +/- 0.03 m/yr	+ 0.14 m/yr	+ 7.69 %
WLS : -0.01 +/- 0.003 m/yr	- 0.01 m/yr	0%
RWLS : -0.002 +/- 0.003 m/yr	- 0.003 m/yr	50%
LAD : 0.25 m/yr	+ 0.27 m/yr	8%
WLAD : 0.25 m/yr	+ 0.26 m/yr	4%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 3 +/- m	+ 3 m	0%
AOR : -0.5 +/- 0.5 m	- 0.5 m	0%
AER : 1.5 m	+ 1.5 m	0%
OLS : -0.5 +/- 0.1 m	- 0.5 m	0%
Jackknif: -1 m	- 1 m	0%
RLS : 6.5 +/- 1.5 m	+ 7 m	+ 7.69 %
WLS : -0.5 +/- 0.15 m	- 0.5 m	0%
RWLS : -0.1 +/- 0.15 m	- 0.15 m	50%
LAD : 12.5 m	+ 13.5 m	8%
WLAD : 12.5 m	+ 13 m	4%

Πίνακας 3β_5 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 8_BAR, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Οι αβεβαιότητες είναι της τάξης των ±0.5 μέτρων.

Περιοχή μελέτης : 8_BAR (Βαρθολομιό Ηλείας, 800m)
 Αβεβαιότητες : 5 χιλιοστά της κλίμακας της αερ/φίας



Διάγραμμα 3α : Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται γραφικά οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων (κυανό χρώμα) με τα αντίστοιχα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman (κόκκινο χρώμα), στην περιοχή μελέτης 8_BAR. Με μπλε διακεκομμένες γραμμές φαίνονται τα επίπεδα αβεβαιότητας πρόβλεψης για την κάθε μία από τις 10 μεθόδους.

5.2.4

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	4_NES
ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (-1 έως - 3 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Οι δοκιμές των 10 μεθόδων σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 4_NES είναι οι παρακάτω (συνολικά 5) :

- Η δοκιμή Kalman K_1_F_ALL, (66 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων: x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_2_F_ALL, (66 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων: x0,2).
- Η δοκιμή Kalman K_3_F_ALL, (66 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων: x0,2), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1969 (ακτογραμμή μειωμένης ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_4_F_ALL, (66 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων: x0,5), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1995 (ακτογραμμή υψηλής ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_5_F_ALL, (66 διατομές και συνθετικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους παρουσιάζονται παρακάτω, στο συγκεντρωτικό πίνακα 4a_K (οι εφαρμογές Kalman παρουσιάζονται με γκρι χρώμα και αναφέρονται στο σύνολο των 66 διατομών για τη συγκεκριμένη περιοχή 4_NES). Από τη μελέτη και τη σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 4a_K, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Για τη συγκεκριμένη περιοχή 4_NES, στις εφαρμογές του φίλτρου Kalman όπου οι αβεβαιότητες ορίζονται στα 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται πως οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί και για τις 10 μεθόδους μέσω του φίλτρου παρουσιάζουν μια μείωση σε σχέση με τις εκτιμήσεις τους στις αντίστοιχες, απευθείας εφαρμογές των 10 στατιστικών μεθόδων. Είναι χαρακτηριστικό πως μέσω της μεθόδου EPR στην απλή εφαρμογή της, χρησιμοποιώντας αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -3.18 ± 0.32 μέτρων/χρόνο, ενώ μέσω Kalman για την αντίστοιχη εφαρμογή με τις ίδιες αβεβαιότητες, υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2.57 μέτρων/χρόνο. Αντίστοιχα, μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.60 ± 0.001 μέτρων/χρόνο, ενώ μέσω Kalman υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.29 μέτρων/χρόνο. Παρόμοιες μειώσεις παρουσιάζουν οι εκτιμήσεις και των δέκα μεθόδων στις εφαρμογές Kalman.

Επίσης, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman (χρησιμοποιώντας αρχικά κάθε μία από τις δέκα μεθόδους), με αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 ή ακόμη και των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παραμένουν προσεγγιστικά σταθεροί (παρόμοιο φαινόμενο παρουσιάστηκε και στην απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων).

Έτσι, μέσω της μεθόδου EPR και για αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής με τη χρήση του φίλτρου Kalman της τάξης των -2.6 μέτρων/χρόνο ενώ για αβεβαιότητες 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας υπολογίζεται ρυθμός της τάξης των -2.57 μέτρων/χρόνο. Επομένως, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων έχει μηδενική επίδραση στις εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman. Η σταθερότητα αυτή των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής ανά εφαρμογή (παρόλη την μεταβολή των αρχικών αβεβαιοτήτων) είχε παρατηρηθεί και στην περίπτωση των αντίστοιχων εφαρμογών στις περιοχές 1_LIT, 7_KAT και 8_BAR. Όσον αφορά τη διασπορά των εκτιμήσεων των 10 μεθόδων μέσω του φίλτρου Kalman ανά εφαρμογή, παρατηρείται πως οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των υπόλοιπων μεθόδων προσεγγίζουν τις αξιόπιστες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK (οι δύο αυτοί συγκεκριμένοι ρυθμοί αποτελούν ουσιαστικά τον «μέσο όρο» των υπόλοιπων εκτιμήσεων των άλλων μεθόδων). Από την παραπάνω ανάλυση θα πρέπει να εξαιρεθούν οι μονίμως αναξιόπιστες μέθοδοι AER, RLS, WLAD (μέσω των οποίων υπολογίζεται πρόσχωση στην πλειοψηφία των εφαρμογών της συγκεκριμένης περιοχής), οι μέθοδοι WLS και RWLS (οι οποίες στην περιοχή 4_NES υπολογίζουν αποκλειστικά ρυθμούς πρόσχωσης) και η μονίμως αναξιόπιστη μέθοδος LAD (μέσω της οποίας υπολογίζονται οριακοί ρυθμοί υποχώρησης σε όλες τις εφαρμογές της συγκεκριμένης περιοχής).

Είναι χαρακτηριστικό πως για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, μέσω της μεθόδου OLS υπολογίζεται υποχώρηση της τάξης των -1.29 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου EPR υποχώρηση της τάξης των -2.57 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου AOR υποχώρηση της τάξης των -0.47 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου JK υποχώρηση της τάξης των -1.15 μέτρων/χρόνο και μέσω της μεθόδου LAD υποχώρηση της τάξης των -0.01 μέτρων/χρόνο. Οι παραπάνω αποκλίσεις των εκτιμήσεων του φίλτρου Kalman (των 5 συγκεκριμένων μεθόδων) δεν κρίνονται ιδιαίτερα υψηλές.

- Στην περίπτωση που εξαιρείται η παλαιότερη ακτογραμμή του 1969 (με τις υψηλές αβεβαιότητες θέσης), όλοι οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman μεταβάλλονται σημαντικά (παρουσιάζεται πλήρης μετατροπή των ρυθμών υποχώρησης σε ρυθμούς πρόσχωσης). Εξαιρείται η μέθοδος LAD μέσω της οποίας εξακολουθεί να υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής, σημαντικά αυξημένος. Το παραπάνω γεγονός ενδέχεται να οφείλεται σε συμπτώσεις αποτελεσμάτων καθώς πρόκειται για μια ιδιαίτερα αναξιόπιστη μέθοδο. Έτσι, στις περιπτώσεις των μεθόδων EPR, AOR, OLS, και JK όπου υπολογίζονταν ρυθμοί υποχώρησης, υπολογίζονται πλέον ρυθμοί πρόσχωσης (για αβεβαιότητες 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, ενώ αρχικά η μέθοδος EPR υπολόγιζε υποχώρηση της τάξης των -2.57 μέτρων/χρόνο, πλέον υπολογίζεται πρόσχωση της τάξης των +2.42 μέτρων/χρόνο), ενώ στην περίπτωση των μεθόδων OLS και JK παρουσιάζεται πλήρης μεταστροφή των εκτιμήσεων (ενώ αρχικά η μέθοδος OLS υπολόγιζε υποχώρηση της τάξης των -1.29 μέτρων/χρόνο, πλέον υπολογίζεται πρόσχωση της τάξης των +1.54 μέτρων/χρόνο). Αντίστοιχη μεταστροφή των ρυθμών μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman (μετατροπή των ρυθμών υποχώρησης που υπολογίζονται από τις 4 μεθόδους σε ρυθμούς πρόσχωσης) παρουσιάστηκε και στην περίπτωση της απευθείας εφαρμογής των 10

στατιστικών μεθόδων, στην περίπτωση που εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1969 για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

- Αντίστοιχα, στην περίπτωση όπου εξαιρείται η ακτογραμμή του 1995 (με την υψηλή ακρίβεια θέσης), οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman (συνολικά και οι 10) μεταβάλλονται, με αποτέλεσμα να υπολογίζονται πλέον ρυθμοί υποχώρησης της ακτογραμμής για 6 από αυτές τις μεθόδους. Μάλιστα, παρουσιάζεται αύξηση αυτών των ρυθμών υποχώρησης σε σχέση με την συγκρίσιμη εφαρμογή όπου ορίστηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας συμπεριλαμβάνοντας και την ακτογραμμή του 1995. Έτσι, ενώ αρχικά μέσω της μεθόδου OLS υπολογιζόταν υποχώρηση της τάξης των -1.29 μέτρων/χρόνο για αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 1995 υπολογίζεται νέα αυξημένη υποχώρηση της τάξης των -1.9 μέτρων/χρόνο. Οι εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman όσον αφορά τις μεθόδους RLS, WLS και RWLS εξακολουθούν να παρουσιάζουν πρόσχωση της ακτογραμμής η οποία όμως εμφανίζεται μειωμένη σε σχέση με τους αντίστοιχους υπολογιζόμενους ρυθμούς πρόσχωσης της εφαρμογής με αβεβαιότητες 0,5 χιλιοστών της κλίμακας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως η εξαίρεση της ακτογραμμής του 1995, έχει ως αποτέλεσμα η εκτίμηση της μεθόδου WLS από τα +2.46 μέτρα/χρόνο να μειωθεί στα +1.8 μέτρα/χρόνο ενώ η εκτίμηση της μεθόδου RWLS από τα +2.30 μέτρα/χρόνο να μειωθεί στα +1.8 μέτρα/χρόνο (οι εκτιμήσεις των μεθόδων WLS και RWLS ταυτίζονται στην παρούσα εφαρμογή). Όσον αφορά τη μέθοδο AER, οι μοναδικές περιπτώσεις που υπολογίζονται μέσω αυτής ρυθμοί υποχώρησης είναι όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 1995, είτε εφαρμόζοντας τη μέθοδο απευθείας, είτε το φίλτρο Kalman.

Αξίζει να σημειωθεί πως είτε εξαιρεθεί η ακτογραμμή του 1969 είτε του 1995, οι ρυθμοί μεταβολής των 10 στατιστικών μεθόδων θα συνοδεύονται και στις δύο περιπτώσεις από σημαντικές αβεβαιότητες ενώ στην περίπτωση χρήσης του φίλτρου Kalman, ανεξαιρέτως εφαρμογής (οποιασδήποτε από τις 5 εφαρμογές της περιοχής 4_NES), οι αβεβαιότητες είναι ενσωματωμένες στον κάθε υπολογιζόμενο ρυθμό μεταβολής.

- Στην περίπτωση της εφαρμογής όπου χρησιμοποιούνται χαμηλές, ενιαίες αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman (εξαιρώντας τις αναξιόπιστες μεθόδους RLS και AER οι οποίες και στην παρούσα εφαρμογή υπολογίζουν ρυθμούς πρόσχωσης) προσεγγίζουν σημαντικά τους αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman για τις μεθόδους OLS και JK (ρυθμοί υποχώρησης -1.30 και -1.15 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα). Είναι χαρακτηριστικό πως η μέθοδος EPR μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -2.57 μέτρων/χρόνο, η μέθοδος AOR ρυθμό υποχώρησης -0.47 μέτρων/χρόνο, η μέθοδος WLS ρυθμό υποχώρησης -1.30 μέτρων/χρόνο, η μέθοδος RWLS ρυθμό υποχώρησης -0.52 μέτρων/χρόνο και οι μέθοδοι LAD και WLAD υπολογίζουν ρυθμούς υποχώρησης της τάξης των -0.01 μέτρων/χρόνο. Σημαντική κρίνεται η βελτίωση της εκτίμησης της μεθόδου WLS στην παρούσα εφαρμογή (που οφείλεται προφανώς στις «συνθετικές», υψηλές ακρίβειες των πρωτογενών δεδομένων) η οποία ταυτίζεται πλέον με την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου OLS. Από τα παραπάνω επιβεβαιώνεται το γεγονός πως στην περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμα ποιοτικά δεδομένα, οι μέθοδοι WLS και RWLS μέσω του φίλτρου Kalman,

υπολογίζουν ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίοι συγκλίνουν με τις αντίστοιχες αξιόπιστες εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK.

Επομένως, στην περίπτωση ύπαρξης πρωτογενών δεδομένων με υψηλές ακρίβειες, το φίλτρο Kalman κρίνεται κατάλληλο να παρέχει σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα πρόβλεψης της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής, ανεξαιρέτως ποια αρχική μέθοδος από τις 10 χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A (εξαιρώντας τις συνήθως προβληματικές μεθόδους AER, RLS, LAD και WLAD οι οποίες υπολογίζουν μονίμως ρυθμούς πρόσχωσης ή οριακή υποχώρηση της ακτογραμμής στην περιοχή 4_NES). Έτσι, ορίζοντας τις αρχικές αβεβαιότητες στα ± 0.5 μέτρα/χρόνο, οι 6 από τις 10 μεθόδους υπολογίζουν μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, ρυθμούς μεταβολής που προσεγγίζουν τα -1.30 μέτρα/χρόνο.

- Βέβαια, και στην περίπτωση εφαρμογής του φίλτρου Kalman, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής, ακόμη και όταν χρησιμοποιούνται ιδιαίτερα υψηλές αρχικές ακρίβειες, παρουσιάζουν σημαντική διασπορά και διακύμανση ανάλογα της αρχικής στατιστικής μεθόδου που χρησιμοποιείται. Είναι χαρακτηριστικό πως όσον αφορά το φίλτρο Kalman και αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής που κυμαίνονται από τη χαμηλότερη εκτίμηση των -0.47 μέτρων/χρόνο (μέθοδος AOR), -1.29 μέτρα/χρόνο για τα OLS, έως και την υψηλότερη εκτίμηση των -2.57 μέτρων/χρόνο (μέθοδος EPR). Αντίστοιχα, όσον αφορά την απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων, οι εκτιμήσεις κυμαίνονται από τα -0.58 μέτρα/χρόνο (μέθοδος AOR), -1.60 ± 0.001 μέτρα/χρόνο για τα OLS έως και την υψηλότερη εκτίμηση των -3.18 ± 0.32 μέτρων/χρόνο (μέθοδος EPR).
- Από όλες τις παραπάνω συγκρίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman προκύπτει με σαφήνεια το συμπέρασμα ότι σε αρκετές περιπτώσεις (με βάση τις συγκεκριμένες μαθηματικές ρουτίνες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη) οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής του φίλτρου επηρεάζονται σημαντικά από την αρχική μέθοδο που χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Αυτό προκύπτει καθώς οι ρυθμοί μεταβολής όχι μόνον δεν συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες (οι οποίες και αυτές παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την κάθε εφαρμογή και τις αρχικές αβεβαιότητες που χρησιμοποιούνται) αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συγκλίνουν γύρω από μια μέση τιμή και εμφανίζουν μια συστηματικότητα όσον αφορά την γενικότερη διασπορά τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί και η εφαρμογή του φίλτρου Kalman στην περιοχή 4_NES, όπου όπως ήδη αναφέρθηκε, για αρχικές αβεβαιότητες ± 0.5 μέτρων, μέσω του φίλτρου υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι συγκλίνουν σε μια μέση τιμή για 6 από τις 10 μεθόδους.
- Συμπερασματικά, πρέπει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη περιοχή 4_NES (η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή μεσαίας υποχώρησης) τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman μεταβάλλονταν ελάχιστα όσο μεταβάλλονταν/μειώνονταν οι αρχικές αβεβαιότητες και μεταβάλλονταν

σημαντικά όταν εξαιρούνταν οι ακτογραμμές 1969 και 1995 (όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1969, μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίστηκαν πλέον ρυθμοί πρόσχωσης για 9 από τις 10 μεθόδους και όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1995 υπολογίστηκαν υψηλότεροι ρυθμοί διάβρωσης για 5 από τις 10 μεθόδους, με εξαίρεση τις αναξιόπιστες μεθόδους RLS, WLS και RWLS όπου υπολογίζονταν μονίμως ρυθμοί πρόσχωσης).

- Όταν χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη RLS, WLS, RWLS ή οι συστηματικά αναξιόπιστες μέθοδοι LAD και WLAD, για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A στα αρχικά στάδια εφαρμογής του φίλτρου, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία. Αυτό γίνεται ακόμη περισσότερο εμφανές όταν οι παραπάνω αναξιόπιστοι ρυθμοί συγκριθούν με τους ρυθμούς του φίλτρου Kalman που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την αξιόπιστη μέθοδο των OLS για την εκτίμηση του συντελεστή A. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα προέκυψε και στην περίπτωση των περιοχών 1_LIT, 7_KAT και 8_BAR.

Επομένως, όσον αφορά το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της μελέτης της περιοχής 4_NES, προκύπτει πως η βέλτιστη εκτίμηση (με τις μικρότερες αβεβαιότητες πρόβλεψης) της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής υπολογίζεται μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, χρησιμοποιώντας αρχικά τη μέθοδο OLS, έτσι ώστε να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια ο συντελεστής A (διαθέτοντας πρωτογενή δεδομένα με τις υψηλότερες δυνατές ακρίβειες).

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες 4α_K και 4β (1, 2, 3, 4 και 5) με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης όπως επίσης και το διάγραμμα 4α στο οποίο φαίνονται γραφικά οι αποκλίσεις των παραπάνω αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων και του φίλτρου Kalman.

4_NES	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	-3.18+/- 1.10	-0.58+/-0.34	0.08	-1.60 +/- 0.001	-1.42	2.65 +/- 0.10	3.04 +/- 0.02	3.11+/- 0.02	-0.01	1	ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ -1 ΕΩΣ -3 m/yr (Μεσαία υποχώρηση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	-3.18+/- 0.79	-0.58+/-0.42	0.08	-1.60 +/- 0.001	-1.42	2.65 +/- 0.10	3.05+/- 0.02	2.78 +/- 0.02	-0.01	0.99	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	-3.18 +/- 0.32	-0.58+/-0.17	0.08	-1.60 +/- 0.001	-1.41	2.65 +/- 0.10	3.04 +/- 0.01	2.78 +/- 0.01	-0.01	0.99	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2 - όχι το 1969)	3.28 +/- 0.06	2.52 +/- 0.31	4.23	2.08 +/- 0.002	2.00	3.94 +/- 0.10	3.22 +/- 0.01	3.38 +/- 0.01	-0.65	0.98	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5 - όχι το 1995)	-4.66 +/- 1.20	-1.61+/-0.70	-1.54	-2.39 +/- 0.002	-2.08	1.79 +/- 0.09	2.22 +/- 0.05	2.25 +/- 0.05	-0.02	1	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητες +/- 0.5 m)	-3.18 +/- 0.04	-0.58+/-0.02	0.08	-1.60 +/- 0.001	-1.42	2.65 +/- 0.10	-1.60 +/- 0.003	-0.64 +/- 0.003	-0.01	-0.01	
	K_1_F_ALL (x0.5) - (ο KALMAN)	- 2.6	- 0.47	0.06	- 1.29	- 1.15	2.10	2.46	2.30	- 0.01	0.80	
	K_2_F_ALL (x0.2) - (ο KALMAN)	- 2.57	- 0.47	0.06	- 1.29	- 1.15	2.15	2.46	2.25	- 0.01	0.80	
	K_3_F_ALL (x0.2 - όχι το 1969) (ο KALMAN)	2.42	1.87	3.13	1.54	1.48	2.92	2.38	2.50	- 0.48	0.73	
	K_4_F_ALL (x0.5 - όχι το 1995) (ο KALMAN)	- 3.8	- 1.3	- 1.25	- 1.9	- 1.7	1.4	1.8	1.8	- 0.02	0.81	
K_5_F_ALL (αβεβαιότητες +/- 0.5 m) (ο KALMAN)	- 2.57	- 0.47	0.06	- 1.30	- 1.15	2.15	- 1.30	- 0.52	- 0.01	- 0.01		

Πίνακας 4a_K : Παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων (λευκά κελιά) όπως επίσης και του φίλτρου Kalman (γκρι κελιά), στην περιοχή 4_NES.

(4_NES) Νέστος, (6600 m) - (αβεβαιότητες x0.5)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -3.18 +/- 0.79 m/yr	- 2.6 m/yr	- 18.24 %
AOR : -0.58 +/- 0.42 m/yr (21 συνδυασμοί)	- 0.47 m/yr	- 18.97 %
AER : 0.08 m/yr	0.06 m/yr	-25%
OLS : -1.60 +/- 0.001 m/yr	- 1.29 m/yr	- 19.38 %
Jackknife: -1.42 m/yr	- 1.15 m/yr	- 19.01 %
RLS : 2.65 +/- 0.10 m/yr	2.10 m/yr	- 20.76 %
WLS : 3.04 +/- 0.02 m/yr	2.46 m/yr	- 19.08 %
RWLS : 2.78 +/- 0.02 m/yr	2.30 m/yr	- 17.27 %
LAD : -0.01 m/yr	- 0.01 m/yr	0%
WLAD : 0.99 m/yr	0.80 m/yr	- 19.19 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -159 +/- 31.2 m	- 130 m	- 18.24 %
AOR : -29 +/- 21 m	- 23.5 m	- 18.97 %
AER : 4 m	3 m	-25%
OLS : -80 +/- 0.05 m	- 64.5 m	- 19.38 %
Jackknife: -71 m	- 57.5 m	- 19.01 %
RLS : 132.5 +/- 5 m	105 m	- 20.76 %
WLS : 152 +/- 1 m	123 m	- 19.08 %
RWLS : 139 +/- 1 m	115 m	- 17.27 %
LAD : -0.5 m/yr	- 0.5 m	0%
WLAD : 49.5 m/yr	40 m	- 19.19 %

(4_NES) Νέστος, (6600 m) – (αβεβαιότητες x0.2)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -3.19 +/- 0.32 m/yr	- 2.57 m/yr	- 19.44 %
AOR : -0.58 +/- 0.17 m/yr (21 συνδυασμοί)	- 0.47 m/yr	- 18.97 %
AER : 0.08 m/yr	0.06 m/yr	-25%
OLS : -1.60 +/- 0.001 m/yr	- 1.29 m/yr	- 19.38 %
Jackknife : -1.42 m/yr	- 1.15 m/yr	- 19.01 %
RLS : 2.65 +/- 0.10 m/yr	2.15 m/yr	- 18.87 %
WLS : 3.04 +/- 0.01m/yr	2.46 m/yr	- 19.08 %
RWLS : 2.78 +/- 0.01 m/yr	2.25 m/yr	- 19.07 %
LAD : -0.01 m/yr	- 0.01 m/yr	0%
WLAD : 0.99 m/yr	0.80 m/yr	- 19.19 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -159.5 +/- 16 m	- 128.5 m	- 19.44 %
AOR : -29 +/- 8.5 m	- 23.5 m	- 18.97 %
AER : 4 m	3 m	-25%
OLS : -80 +/- 0.05 m	- 64.5 m	- 19.38 %
Jackknife : -71 m	- 57.5 m	- 19.01 %
RLS : 132.5 +/- 5 m	107.5 m	- 18.87 %
WLS : 152 +/- 0.5 m	123 m	- 19.08 %
RWLS : 139 +/- 0.5 m	112.5 m	- 19.07 %
LAD : -0.5 m	- 0.5 m	0%
WLAD : 49.5 m	40 m	- 19.19 %

Πίνακες 4β_1 και 4β_2 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 4_NES, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 και των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

(4_NES) Νέστος, (6600 m) (αβεβαιότητες x0.2-όχι το 1969)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΛΜΑΝ (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 3.28 +/- 0.06 m/yr	+ 2.42 m/yr	- 26.22 %
AOR : 2.52 +/- 0.31 m/yr (15 συνδυασμοί)	+ 1.87 m/yr	- 25.79 %
AER : 4.23 m/yr	+ 3.13 m/yr	-26%
OLS : 2.08 +/- 0.002 m/yr	+ 1.54 m/yr	- 25.96 %
Jackknife : 2.00 m/yr	+ 1.48 m/yr	-26%
RLS : 3.94 +/- 0.10 m/yr	+ 2.92 m/yr	- 25.89 %
WLS : 3.22 +/- 0.01 m/yr	+ 2.38 m/yr	- 26.09 %
RWLS : 3.38 +/- 0.01 m/yr	+ 2.50 m/yr	- 26.04 %
LAD : -0.65 m/yr	- 0.48 m/yr	- 26.15 %
WLAD : 0.98 m/yr	+ 0.73 m/yr	- 25.51 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 164 +/- 3 m	+ 121 m	- 26.22 %
AOR : 126 +/- 15.5 m	+ 93.5 m	- 25.79 %
AER : 211.5 m	+ 156.5 m	-26%
OLS : 104 +/- 0.1 m	+ 77 m	- 25.96 %
Jackknife : 100 m	+ 74 m	-26%
RLS : 197 +/- 5 m	+ 146 m	- 25.89 %
WLS : 161 +/- 0.5 m	+ 119 m	- 26.09 %
RWLS : 169 +/- 0.5 m	+ 125 m	- 26.04 %
LAD : -32.5 m	- 24 m	- 26.15 %
WLAD : 49 m	+ 36.5 m	- 25.51 %

(4_NES) Νέστος, (6600 m) (αβεβαιότητες x0.5-όχι το 1995)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΛΜΑΝ (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -4.66 +/- 1.20 m/yr	- 3.8 m/yr	- 18.46 %
AOR : -1.61 +/- 0.70 m/yr (15 συνδυασμοί)	- 1.3 m/yr	- 19.25 %
AER : -1.54 m/yr	- 1.25 m/yr	- 18.83 %
OLS : -2.39 +/- 0.002 m/yr	- 1.9 m/yr	- 20.50 %
Jackknife : -2.08 m/yr	- 1.7 m/yr	- 18.27 %
RLS : 1.79 +/- 0.09 m/yr	1.4 m/yr	- 21.79 %
WLS : 2.22 +/- 0.05 m/yr	1.8 m/yr	- 18.92 %
RWLS : 2.25 +/- 0.05 m/yr	1.8 m/yr	-20%
LAD : -0.02 m/yr	- 0.02 m/yr	0%
WLAD : 1 m/yr	0.81 m/yr	-19%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -233 +/- 60 m	- 190 m	- 18.46 %
AOR : -80.5 +/- 35 m	- 65 m	- 19.25 %
AER : -77 m	- 62.5 m	- 18.83 %
OLS : -119.5 +/- 0.1 m	- 95 m	- 20.50 %
Jackknife : -104 m	- 85 m	- 18.27 %
RLS : 89.5 +/- 4.5 m	70 m	- 21.79 %
WLS : 111 +/- 2.5 m	90 m	- 18.92 %
RWLS : 112.5 +/- 2.5 m	90 m	-20%
LAD : -1 m	- 1 m	0%
WLAD : 50 m	40.4 m	-19%

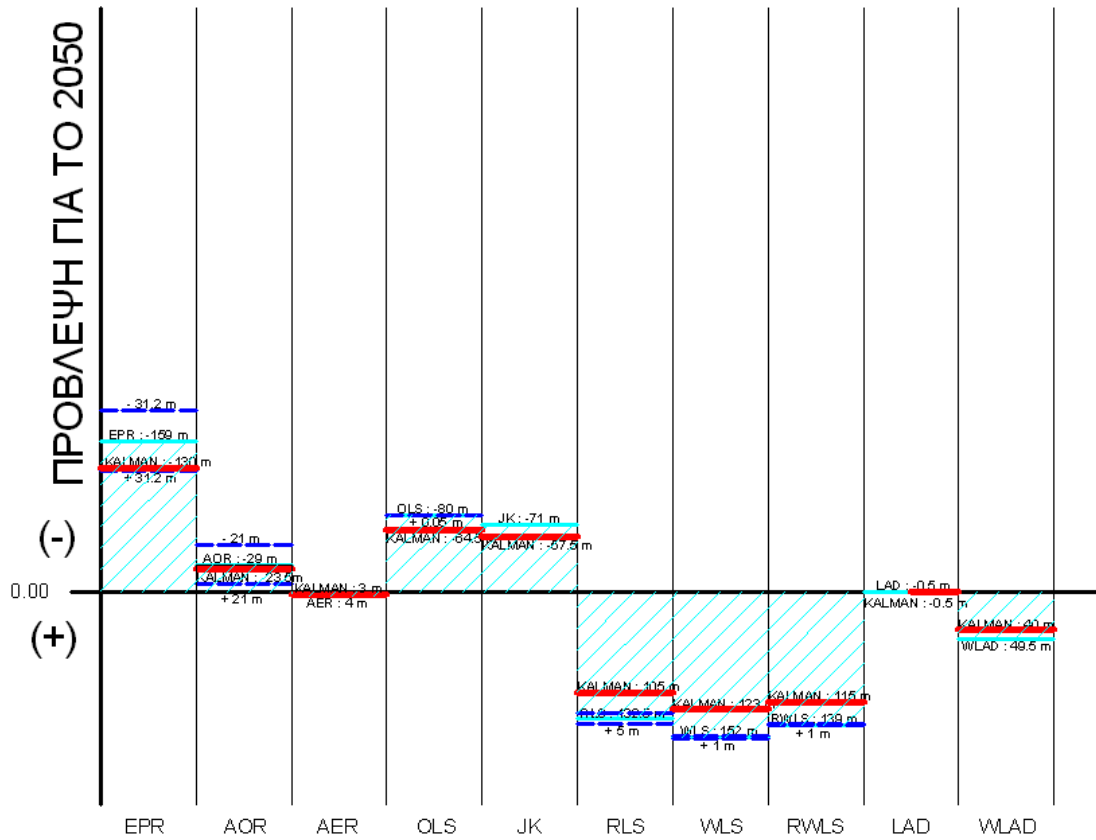
Πίνακες 4β_3 και 4β_4 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 4_NES, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά).

(4_NES) Νέστος, (6600 m) (αβεβαιότητες +/- 0.5m)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -3.18 +/- 0.04 m/yr	- 2.57 m/yr	- 19.18 %
AOR : -0.58 +/- 0.02 m/yr (21 συνδυασμοί)	- 0.47 m/yr	- 18.97 %
AER : 0.08 m/yr	0.06 m/yr	-25%
OLS : -1.60 +/- 0.001 m/yr	- 1.30 m/yr	- 18.75 %
Jackknife : -1.42 m/yr	- 1.15 m/yr	-19.01 %
RLS : 2.65 +/- 0.10 m/yr	2.15 m/yr	- 18.87 %
WLS : -1.60 +/- 0.003 m/yr	- 1.30 m/yr	- 18.75 %
RWLS : -0.64 +/- 0.003 m/yr	- 0.52 m/yr	- 18.75 %
LAD : -0.01 m/yr	- 0.01 m/yr	0%
WLAD : -0.01 m/yr	- 0.01 m/yr	0%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -159 +/- 2 m	- 128.5 m	- 19.18 %
AOR : -29 +/- 1 m	- 23.5 m	- 18.97 %
AER : 4 m	3 m	-25%
OLS : -80 +/- 0.05 m	- 65 m	- 18.75 %
Jackknife : -71 m	- 57.5 m	-19.01 %
RLS : 132.5 +/- 5 m	107.5 m	- 18.87 %
WLS : -80 +/- 0.15 m	- 65 m	- 18.75 %
RWLS : -32 +/- 0.15 m	- 26 m	- 18.75 %
LAD : -0.5 m	- 0.5 m	0%
WLAD : -0.5 m	- 0.5 m	0%

Πίνακας 4β_5 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 4_NES, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Οι αβεβαιότητες είναι της τάξης των ± 0.5 μέτρων.

Περιοχή μελέτης : 4_NES (Νέστος, 6600m)

Αβεβαιότητες : 5 χιλιοστά της κλίμακας της αερ/φίας



Διάγραμμα 4α : Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται γραφικά οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων (κυανό χρώμα) με τα αντίστοιχα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman (κόκκινο χρώμα), στην περιοχή μελέτης 4_NES. Με μπλε διακεκομμένες γραμμές φαίνονται τα επίπεδα αβεβαιότητας πρόβλεψης για την κάθε μία από τις 10 μεθόδους.

5.2.5

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	6_BAR
ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (-1 έως - 3 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Οι δοκιμές των 10 μεθόδων σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 6_BAR είναι οι παρακάτω (συνολικά 5) :

- Η δοκιμή Kalman K_6_F_ALL, (39 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων: x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_7_F_ALL, (39 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων: x0,2).
- Η δοκιμή Kalman K_8_F_ALL, (39 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων: x0,2), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1945 (ακτογραμμή μειωμένης ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_9_F_ALL, (39 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων: x0,5), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 2000 (ακτογραμμή υψηλής ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_10_F_ALL, (39 διατομές και συνθετικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές).

Η αρίθμηση των δοκιμών του φίλτρου Kalman στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν και οι 39 διατομές έχει ως αφετηρία τον κωδικό K_6_F_ALL καθώς προηγήθηκαν 10 δοκιμές του φίλτρου Kalman αλλά και 10 απευθείας εφαρμογές των στατιστικών μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής για δύο συγκεκριμένες υπό-ομάδες διατομών (εφαρμόστηκαν οι 10 στατιστικές μέθοδοι και το φίλτρο Kalman για τις διατομές 7,8,9 και 37,38,39). Τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αυτών εφαρμογών (οι οποίες εκτελέστηκαν έτσι ώστε να δοκιμαστεί ο τρόπος λειτουργίας του φίλτρου για περιορισμένο διαθέσιμο όγκο δεδομένων) των 10 στατιστικών μεθόδων και του φίλτρου Kalman παρουσιάζονται επίσης στον πίνακα 5α, στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους παρουσιάζονται παρακάτω, στο συγκεντρωτικό πίνακα 5α_K (οι εφαρμογές Kalman παρουσιάζονται με γκρι χρώμα και αναφέρονται στο σύνολο των 39 διατομών για τη συγκεκριμένη περιοχή 6_BAR). Από τη μελέτη και τη σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 5α_K, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Για τη συγκεκριμένη περιοχή 6_BAR, στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου οι αβεβαιότητες έχουν οριστεί στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται πως οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί παρουσιάζουν μικρές διαφοροποιήσεις σε σχέση με τις εκτιμήσεις τους στις αντίστοιχες εφαρμογές των 10 στατιστικών μεθόδων με τις ίδιες αβεβαιότητες. Είναι χαρακτηριστικό πως η μέθοδος EPR στην απευθείας εφαρμογή της για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζει ρυθμό

υποχώρησης της τάξης των -1.30 ± 0.46 μέτρων/χρόνο, ενώ μέσω φίλτρου Kalman για την αντίστοιχη εφαρμογή με τις ίδιες αβεβαιότητες υπολογίζεται ρυθμός της τάξης των -1.26 μέτρων/χρόνο. Αντίστοιχα, η μέθοδος OLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -1.39 ± 0.001 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -1.35 μέτρων/χρόνο (όπως και η μέθοδος JK), η μέθοδος AOR που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -1.47 ± 0.35 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -1.60 μέτρων/χρόνο και τέλος, η μέθοδος WLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -1.75 ± 0.04 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -1.67 μέτρων/χρόνο. Παρόμοιες διακυμάνσεις παρουσιάζονται στους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής και των 10 στατιστικών μεθόδων, στις εφαρμογές που χρησιμοποιείται το φίλτρο Kalman.

Στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενική τάση αύξησης (σε περιορισμένο βαθμό) των ρυθμών υποχώρησης που υπολογίζονται από όλες τις μεθόδους (εξαιρώντας τον ρυθμό υποχώρησης που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου AOR ο οποίος μειώνεται ελάχιστα και την αναξιόπιστη μέθοδο RLS μέσω της οποίας υπολογίζονται ρυθμοί πρόσχωσης για όλες τις απευθείας εφαρμογές των 10 μεθόδων αλλά και του φίλτρου Kalman). Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, μέσω της μεθόδου των OLS υπολογίζεται πλέον ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.46 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου EPR -1.36 , μέσω της μεθόδου AOR -1.54 , μέσω της μεθόδου JK -1.48 , μέσω της μεθόδου WLS -1.84 , μέσω της μεθόδου RWLS -1.75 και μέσω της μεθόδου LAD ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2.1 μέτρων/χρόνο. Οι παραπάνω αποκλίσεις των 7 συγκεκριμένων μεθόδων κρίνονται σχετικά χαμηλές και παρατηρείται πως ρυθμός μεταβολής της μεθόδου των OLS προσεγγίζει το μέσο όρο των παραπάνω εκτιμήσεων κάτι που παρατηρείται και στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως για κάθε μία από τις 10 στατιστικές μεθόδους, οι εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, μεταβάλλοντας τις αβεβαιότητες από τα 0,5 στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρουσιάζουν μικρές μεταβολές (ενώ στην απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων οι αντίστοιχες εκτιμήσεις παρέμεναν αμετάβλητες). Ειδικότερα, η μέθοδος EPR για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας υπολογίζει ρυθμό μεταβολής μέσω φίλτρου Kalman της τάξης των -1.26 μέτρων/χρόνο ενώ για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας υπολογίζει ρυθμό μεταβολής της τάξης των -1.36 μέτρων/χρόνο. Επομένως, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων επιδρά, σε μικρό βαθμό, στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Στο συγκεκριμένο σημείο έγκειται και η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης περιοχής καθώς στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης (1_LIT, 7_KAT και 8_BAR) παρουσιάζοταν σταθερότητα των εκτιμήσεων που προέκυπταν μέσω του φίλτρου Kalman για την κάθε μέθοδο, ανά εφαρμογή (παρόλη την μεταβολή των αρχικών αβεβαιοτήτων). Όσον αφορά τη διασπορά των διαφόρων εκτιμήσεων του φίλτρου Kalman για κάθε μία εφαρμογή ξεχωριστά, παρατηρείται μια σχετική προσέγγιση γύρω από τους αξιόπιστους

υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK (ο ρυθμός της μεθόδου OLS αποτελεί ουσιαστικά ένα «μέσο όρο» σε σχέση με τις εκτιμήσεις των υπόλοιπων 9 στατιστικών μεθόδων μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης). Το παραπάνω γεγονός παρατηρήθηκε, ως προς τις εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, και στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης.

Από την παραπάνω ανάλυση θα πρέπει να εξαιρεθούν η μόνιμα αναξιόπιστη μέθοδος RLS (η οποία όπως έχει ήδη αναφερθεί υπολογίζει ρυθμούς πρόσχωσης στο σύνολο των εφαρμογών της συγκεκριμένης περιοχής) και οι μέθοδοι AER, LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης, οι οποίοι όμως αποκλίνουν σημαντικά από το γενικότερο μέσο όρο των εκτιμήσεων των υπόλοιπων μεθόδων (αυτό ισχύει κυρίως για τις μεθόδους LAD και WLAD οι οποίες υπολογίζουν σταθερά, τουλάχιστον για τις 2 πρώτες εφαρμογές του φίλτρου Kalman, ρυθμούς μεταβολής της τάξης των -2 και -1 μέτρων/χρόνο αντίστοιχα).

- Στην περίπτωση που εξαιρείται η παλαιότερη ακτογραμμή του 1945 (με τις υψηλές αβεβαιότητες θέσης), όλοι οι ρυθμοί υποχώρησης που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman μεταβάλλονται σημαντικά και παρουσιάζουν μια σημαντική αύξηση (εξαιρείται η μέθοδος RLS μέσω της οποίας υπολογίζεται μόνιμος ρυθμός πρόσχωσης της ακτογραμμής και οι μέθοδοι LAD και WLAD των οποίων οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί υποχώρησης παρουσιάζουν μια μικρή μείωση).

Έτσι, στις περιπτώσεις των μεθόδων EPR, AOR, AER, OLS, JK, WLS παρουσιάζεται πλέον σημαντική αύξηση των υπολογιζόμενων ρυθμών υποχώρησης (για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, η εκτίμηση της μεθόδου EPR αυξάνεται από τα -1.36 στα -1.98 μέτρα/χρόνο, η εκτίμηση της μεθόδου OLS αυξάνεται από τα -1.46 στα -1.76 μέτρα/χρόνο και η εκτίμηση της μεθόδου RWLS αυξάνεται από τα -1.75 στα -1.89 μέτρα/χρόνο). Αξίζει να σημειωθεί πως αντίστοιχη αύξηση (ακόμη υψηλότερη) των ρυθμών μεταβολής όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του φίλτρου Kalman παρουσιάστηκε και στην περίπτωση της απευθείας εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων, όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1945 από τη μελέτη της συγκεκριμένης παράκτιας περιοχή.

- Αντίστοιχα, στην περίπτωση όπου εξαιρείται η ακτογραμμή του 2000 με τις υψηλές ακρίβειες θέσης, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman για τις 9 από τις 10 μεθόδους (εξαιρείται και εδώ η αναξιόπιστη μέθοδος RLS η οποία εξακολουθεί να υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης) παρουσιάζουν σημαντική μείωση. Οι νέοι, υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την παρούσα εφαρμογή εξακολουθούν να είναι ρυθμοί υποχώρησης της ακτογραμμής, με την ιδιαιτερότητα όμως ότι χαρακτηρίζονται πλέον ως οι χαμηλότεροι σε σχέση με τις 5 εφαρμογές του φίλτρου Kalman που εκτελέστηκαν στη συγκεκριμένη περιοχή. Βέβαια, η μείωση αυτή στην περίπτωση των ρυθμών μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman, είναι σχετικά ηπιότερη σε σχέση με την μείωση των ρυθμών μεταβολής που παρουσιάστηκε στις αντίστοιχες, απευθείας εφαρμογές των 10 στατιστικών μεθόδων (με τις ίδιες αβεβαιότητες συμπεριλαμβάνοντας ή εξαιρώντας την ακτογραμμή του 2000).

Ενδεικτικά αναφέρεται πως ο ρυθμός μεταβολής της μεθόδου OLS (μέσω του φίλτρου Kalman) ο οποίος υπολογίζεται στα -1.35 μέτρα/χρόνο για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, μειώνεται στα -1.1 μέτρα/χρόνο όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 2000. Παράλληλα, οι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων WLS και RWLS οι οποίοι υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman μειώνονται και προσεγγίζουν την τιμή των -1.2 μέτρων/χρόνο (τιμή που προσεγγίζει σημαντικά την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου των OLS). Έτσι, εξαιρώντας την ακτογραμμή του 2000, ο ενιαίος υπολογιζόμενος ρυθμός μεταβολής των μεθόδων WLS και RWLS από τα -1.67 μειώνεται στα -1.2 μέτρα/χρόνο (το γεγονός ότι οι εκτιμήσεις των μεθόδων WLS και RWLS ταυτίζονται στην παρούσα εφαρμογή έχει εντοπιστεί και στις αντίστοιχες εφαρμογές των προηγούμενων περιοχών που εξετάστηκαν). Όσον αφορά τη μέθοδο AER, υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι στη συγκεκριμένη εφαρμογή όπου εξαιρείται η ακτογραμμή του 2000, ταυτίζονται με τους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK. Το γεγονός αυτό (σε συνδυασμό με το ότι οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής της μεθόδου AER στο σύνολο των εφαρμογών της περιοχής 6_BAR προσεγγίζουν το μέσο όρο των εκτιμήσεων όλων των υπόλοιπων μεθόδων) ενδέχεται να οφείλεται σε συμπτώσεις αποτελεσμάτων καθώς η συγκεκριμένη μέθοδος χαρακτηρίζεται γενικώς από υψηλά επίπεδα ανακρίβειας.

Βέβαια, είτε εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945 είτε του 2000, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται απευθείας από τις 10 στατιστικές μεθόδους δεν παύουν να συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες ενώ στην περίπτωση των ρυθμών που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman, ανεξαιρέτως εφαρμογής (οποιασδήποτε από τις 5 που εκτελέστηκαν στην περιοχή 6_BAR), οι αβεβαιότητες είναι ενσωματωμένες στο ίδιο το «σήμα».

- Στην περίπτωση της εφαρμογής όπου χρησιμοποιούνται χαμηλές, ενιαίες αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman (εξαιρώντας την αναξιόπιστη μέθοδο RLS μέσω της οποίας και στην παρούσα εφαρμογή υπολογίζεται ρυθμός πρόσχωσης) προσεγγίζουν σημαντικά (οι 5 από αυτούς) την αξιόπιστη εκτίμηση που προκύπτει μέσω του φίλτρου Kalman για τις μεθόδους OLS και JK (αντίστοιχοι ρυθμοί μεταβολής της τάξης των -1.46 και -1.48 μέτρων/χρόνο). Είναι χαρακτηριστικό πως για τη μέθοδο EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman της τάξης των -1.36 μέτρων/χρόνο, για τη μέθοδο AOR -1.54 μέτρα/χρόνο, για τη μέθοδο AER -1.56 μέτρα/χρόνο, για τη μέθοδο WLS -1.46 μέτρα/χρόνο, για τη μέθοδο RWLS -1.41 μέτρα/χρόνο και για τις μεθόδους LAD και WLAD -2.01 και -1.05 μέτρα/χρόνο. Από τα παραπάνω προκύπτει πως οι οι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων OLS και JK προσεγγίζουν το μέσο όρο των εκτιμήσεων όλων των υπόλοιπων στατιστικών μεθόδων (χρησιμοποιούνται επομένως ως βάση αναφοράς και σύγκρισης). Το συγκεκριμένο γεγονός έχει παρατηρηθεί και σε προηγούμενες εφαρμογές του φίλτρου Kalman.

Ενδιαφέρον προκαλεί η συνολική βελτίωση των εκτιμήσεων των μεθόδων και κυρίως των μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης που χρησιμοποιούν βάρη στην υπολογιστική τους διαδικασία (WLS και RWLS) στην παρούσα εφαρμογή (η οποία οφείλεται προφανώς στις «συνθετικές», υψηλές ακρίβειες των πρωτογενών

δεδομένων). Οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των δύο μεθόδων σχεδόν ταυτίζονται πλέον με τον αντίστοιχο ρυθμό μεταβολής της μεθόδου OLS. Έτσι, επιβεβαιώνεται το γεγονός πως στην περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμα ποιοτικά δεδομένα, οι μέθοδοι WLS και RWLS μέσω του φίλτρου Kalman, δύνανται να υπολογίσουν ρυθμούς μεταβολής οι οποίοι θα συγκλίνουν με τις αντίστοιχες αξιόπιστες εκτιμήσεις της μεθόδου των OLS.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως στην περίπτωση ύπαρξης ιδιαίτερα χαμηλών αβεβαιοτήτων στα πρωτογενή δεδομένα, μέσω του φίλτρου Kalman είναι δυνατόν να υπολογιστούν σχετικά αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής και να προκύψουν έτσι προβλέψεις για τις μελλοντικές θέσεις της ακτογραμμής, ανεξάρτητα ποια αρχική μέθοδος θα χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A (εξαιρώντας τις συνήθως προβληματικές μεθόδους AER, RLS, LAD και WLAD). Έτσι, ορίζοντας τις αρχικές αβεβαιότητες στα ± 0.5 μέτρα/χρόνο, οι 7 από τις 10 στατιστικές μεθόδους υπολογίζουν μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, ρυθμούς υποχώρησης που σχετικά προσεγγίζουν τα -1.46 μέτρα/χρόνο.

- Αξίζει να σημειωθεί πως στην περίπτωση εφαρμογής του φίλτρου Kalman, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, παρουσιάζουν σημαντική διασπορά και διακύμανση ανάλογα της αρχικής στατιστικής μεθόδου που χρησιμοποιείται. Έτσι, όσον αφορά το φίλτρο Kalman και αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι κυμαίνονται από τη χαμηλότερη εκτίμηση των -1.46 μέτρων/χρόνο (μέθοδος OLS), -1.36 μέτρα/χρόνο για την μέθοδο EPR, έως και την υψηλότερη εκτίμηση των -1.84 μέτρων/χρόνο (μέθοδος WLS). Ομοίως, όσον αφορά την αντίστοιχη, απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων, υπολογίζεται η χαμηλότερη εκτίμηση στα -1.39 μέτρα/χρόνο (μέθοδος OLS), -1.30 ± 0.18 μέτρα/χρόνο για την μέθοδο EPR και η υψηλότερη εκτίμηση στα -1.75 ± 0.02 μέτρα/χρόνο (μέθοδος WLS).
- Από όλες τις παραπάνω συγκρίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman προκύπτει με σαφήνεια το συμπέρασμα ότι σε αρκετές περιπτώσεις (με βάση τις συγκεκριμένες μαθηματικές ρουτίνες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη) οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής του φίλτρου επηρεάζονται σημαντικά από την αρχική μέθοδο που χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Αυτό προκύπτει καθώς οι ρυθμοί μεταβολής όχι μόνον δεν συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες (οι οποίες και αυτές παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την κάθε εφαρμογή και τις αρχικές αβεβαιότητες που χρησιμοποιούνται) αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συγκλίνουν γύρω από μια μέση τιμή (συνήθως τον ρυθμό μεταβολής της μεθόδου OLS) και εμφανίζουν μια συστηματικότητα όσον αφορά τη γενικότερη διασπορά τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί και η εφαρμογή του φίλτρου Kalman στην περιοχή 6_BAR, για αρχικές αβεβαιότητες ± 0.5 μέτρων, όπου όπως ήδη αναφέρθηκε, μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι συγκλίνουν σε μια μέση τιμή για 7 από τις 10 μεθόδους.

- Συμπερασματικά, πρέπει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη περιοχή 6_BAR (η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή μεσαίας υποχώρησης) τα αποτελέσματα του φίλτρου Kalman μεταβάλλονταν ελάχιστα (σε μεγαλύτερο βαθμό βέβαια σε σχέση με αντίστοιχες εφαρμογές άλλων περιοχών της μελέτης) όσο μειώνονταν οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων. Επίσης, μεταβάλλονταν σημαντικά όταν εξαιρούνταν οι ακτογραμμές 1945 και 2000 (όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1945 οι ρυθμοί υποχώρησης που υπολογίζονταν μέσω του φίλτρου Kalman παρουσίασαν σημαντική αύξηση και όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 2000 οι αντίστοιχοι ρυθμοί υποχώρησης παρουσίασαν σημαντική μείωση).
- Όταν χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη RLS ή οι συστηματικά αναξιόπιστες μέθοδοι LAD και WLAD για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A στα αρχικά στάδια εφαρμογής του φίλτρου, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία. Αυτό γίνεται ακόμη περισσότερο εμφανές όταν οι παραπάνω αναξιόπιστοι ρυθμοί συγκριθούν με τους ρυθμούς του φίλτρου Kalman που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την αξιόπιστη μέθοδο των OLS για την εκτίμηση του συντελεστή A. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα προέκυψε και στην περίπτωση μελέτης των περιοχών 1_LIT, 7_KAT, 8_BAR και 4_NES.

Επομένως, όσον αφορά το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της μελέτης της περιοχής 6_BAR, προκύπτει πως η βέλτιστη εκτίμηση (με τις μικρότερες αβεβαιότητες πρόβλεψης) της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής υπολογίζεται μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, χρησιμοποιώντας αρχικά τη μέθοδο OLS, έτσι ώστε να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια ο συντελεστής A (διαθέτοντας πρωτογενή δεδομένα με τις υψηλότερες δυνατές ακρίβειες).

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες 5α_K και 5β (1, 2, 3, 4 και 5) με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης όπως επίσης και το διάγραμμα 5α στο οποίο φαίνονται γραφικά οι αποκλίσεις των παραπάνω αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων και του φίλτρου Kalman.

6_BAR	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	-1.30 +/- 0.65	-1.47 +/- 0.49	-1.49	-1.39 +/- 0.001	-1.41	0.16 +/- 0.01	-1.78 +/- 0.06	-1.70 +/- 0.06	-2	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	-1.30 +/- 0.46	-1.47 +/- 0.35	-1.49	-1.39 +/- 0.001	-1.41	0.16 +/- 0.01	-1.75 +/- 0.04	-1.67 +/- 0.04	-2	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	-1.30 +/- 0.18	-1.47 +/- 0.14	-1.49	-1.39 +/- 0.001	-1.41	0.16 +/- 0.01	-1.75 +/- 0.02	-1.67 +/- 0.02	-2	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2) - (όχι 1945)	-2.20 +/- 0.19	-2.10 +/- 0.31	-2.35	-1.95 +/- 0.002	-1.86	0.09 +/- 0.02	-2.10 +/- 0.02	-2.10 +/- 0.02	-2	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5) - (όχι 2000)	-0.80 +/- 0.86	-1.13 +/- 0.78	-1.01	-1.03 +/- 0.002	-1.15	0.08 +/- 0.02	-1.17 +/- 0.09	-1.17 +/- 0.09	-0.55	-0.55
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητα 0.5m)	-1.30 +/- 0.02	-1.47 +/- 0.01	-1.49	-1.39 +/- 0.001	-1.41	0.16 +/- 0.01	-1.39 +/- 0.002	-1.34 +/- 0.002	-2	-1
	K_1_F (διατομές 7,8,9) (x0.5) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-0.45 +/- 0.46	-0.36 +/- 0.10	-0.44	-0.35 +/- 0.01	-0.34	-0.30 +/- 0.09	-0.49 +/- 0.15	-0.49 +/- 0.15	-0.44	-0.44
	K_1_F (διατομές 7,8,9) (x0.5) - (ο KALMAN)	-0.45	-0.38	-0.46	-0.37	-0.35	-0.31	-0.51	-0.51	-0.46	-0.46
	K_2_F (διατομές 7,8,9) (x0.2) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-0.45 +/- 0.18	-0.36 +/- 0.04	-0.44	-0.35 +/- 0.01	-0.34	-0.30 +/- 0.09	-0.49 +/- 0.06	-0.49 +/- 0.06	-0.44	-0.44
	K_2_F (διατομές 7,8,9) (x0.2) - (ο KALMAN)	-0.48	-0.38	-0.46	-0.37	-0.35	-0.31	-0.51 m/yr	-0.51	-0.46	-0.46
	K_3_F (διατομές 7,8,9) (x0.2) - (όχι 1945) (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-0.39 +/- 0.19	-0.37 +/- 0.09	-0.38	-0.38 +/- 0.01	-0.36	-0.39 +/- 0.14	-0.52 +/- 0.08	-0.52 +/- 0.08	-0.60	-0.33
	K_3_F (διατομές 7,8,9) (x0.2) - (όχι 1945)	-0.35	-0.33	-0.34	-0.34	-0.32	-0.35	-0.48	-0.48	-0.36	-0.29
	K_4_F (διατομές 7,8,9) (x0.5) - (όχι 2000) (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-0.18 +/- 0.86	-0.11 +/- 0.22	-0.14	-0.13 +/- 0.01	-0.11	-0.05 +/- 0.03	-0.09 +/- 0.33	-0.09 +/- 0.33	-0.25	-0.18
	K_4_F (διατομές 7,8,9) (x0.5) - (όχι 2000)	-0.19	-0.12	-0.14	-0.14	-0.12	-	-0.10	-0.10	-0.27	-0.19
	K_5_F (διατομές 7,8,9) (αβεβαιότητα 0.5m) (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-0.45 +/- 0.02	-0.36 +/- 0.003	-0.44	-0.35 +/- 0.01	-0.34	-0.30 +/- 0.09	-0.35 +/- 0.01	-0.35 +/- 0.01	-0.44	-0.44
K_5_F (διατομές 7,8,9) (αβεβαιότητα 0.5m)	-0.48	-0.38	-0.46	-0.37	-0.35	-0.31	-0.37	-0.37	-0.46	-0.46	

ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ -1 ΕΩΣ -3 m/yr (Μεσαία υποχώρηση)

6_BAR	K_1_F (διατομές 37,38,39) (x0.5) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-3.33 +/- 0.46	-2.49 +/- 0.10	-2.98	-2.55 +/- 0.01	-2.44	-2.50 +/- 1.08	-4.33 +/- 0.15	-4.33 +/- 0.15	-2	-1	ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ -1 ΕΩΣ -3 m/yr (Μεσαία υποχώρηση)
	K_1_F (διατομές 37,38,39) (x0.5) - (ο KALMAN)	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-3.00	-5.00	-5.00	-2.1	-1	
	K_2_F (διατομές 37,38,39) (x0.2) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-3.33 +/- 0.18	-2.49 +/- 0.04	-2.98	-2.55 +/- 0.01	-2.44	-2.50 +/- 1.08	-4.33 +/- 0.06	-4.33 +/- 0.06	-2	-1	
	K_2_F (διατομές 37,38,39) (x0.2) - (ο KALMAN)	-3.50	-2.60	-3.10	-2.70	-2.60	-2.60	-4.50	-4.50	-2.1	-1.05	
	K_3_F (διατομές 37,38,39) (x0.2) - (όχι 1945) (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-3.52 +/- 0.19	-3.51 +/- 0.09	-3.03	-3.95 +/- 0.01	-4.02	-3.82 +/- 1.74	-5.17 +/- 0.08	-5.17 +/- 0.08	-2	-1	
	K_3_F (διατομές 7,8,9) (x0.2) - (όχι 1945)	-3.20	-3.20	-2.72	-3.60	-3.60	-3.40	-4.70	-4.70	-1.80	-0.90	
	K_4_F (διατομές 37,38,39) (x0.5) - (όχι 2000) (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-0.49 +/- 0.86	0.62 +/- 0.22	0.20	0.29 +/- 0.01	0.66	0.23 +/- 0.97	0.18 +/- 0.33	0.18 +/- 0.33	-0.55	-0.55	
	K_4_F (διατομές 37,38,39) (x0.5) - (όχι 2000) (ο KALMAN)	-0.52	0.65	0.21	0.30	0.69	0.24	0.19	0.19	-0.58	-0.58	
	K_5_F (διατομές 7,8,9) (αβεβαιότητες 0.5m) (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-3.33 +/- 0.02	-2.49 +/- 0.003	-2.98	-2.55 +/- 0.005	-2.44	-2.50 +/- 1.08	-2.55 +/- 0.01	-2.55 +/- 0.01	-2	-1	
	K_5_F (διατομές 37,38,39) (αβεβαιότητες 0.5m) (ο KALMAN)	-3.50	-2.61	-2.68	-3.13	-2.56	-2.62	-2.67	-2.68	-2.10	-1.05	
	K_6_F_ALL (x0.5) - (ο KALMAN)	-1.26	-1.60	-1.49	-1.35	-1.35	0.16	-1.67	-1.67	-2.09	-1	
	K_7_F_ALL (x0.2) - (ο KALMAN)	-1.36	-1.54	-1.56	-1.46	-1.48	0.16	-1.84	-1.75	-2.1	-1.05	
	K_8_F_ALL (x0.2 - όχι το 1945) (ο KALMAN)	-1.98	-1.89	-2.11	-1.76	-1.67	0.08	-1.89	-1.89	-1.80	-0.90	
	K_9_F_ALL (x0.5 - όχι το 2000) (ο KALMAN)	-0.80	-1.2	-1.1	-1.1	-1.2	0.09	-1.2	-1.2	-0.58	-0.58	
K_10_F_ALL (αβεβαιότητες +/- 0.5 m) (ο KALMAN)	-1.36	-1.54	-1.56	-1.46	-1.48	0.16	-1.46	-1.41	-2.1	-1.05		

Πίνακας 5a_K : Παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων (λευκά κελιά) όπως επίσης και του φίλτρου Kalman (γκρι κελιά), στην περιοχή 6_BAR.

(6_BAR) Βαρθολομιό Ηλείας, (5850 m) (αβεβαιότητες x0.5)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ 39 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -1.30 +/- 0.46 m/yr	-1.26 m/yr	- 3.08 %
AOR : -1.47 +/- 0.35 m/yr (10 συνδυασμοί)	-1.60 m/yr	+ 8.84 %
AER : -1.49 m/yr	-1.49 m/yr	0%
OLS : -1.39 +/- 0.001 m/yr	-1.35 m/yr	- 2.88 %
Jackknife: -1.41 m/yr	-1.35 m/yr	- 4.26 %
RLS : 0.16 +/- 0.01 m/yr	0.16 m/yr	0%
WLS : -1.75 +/- 0.04 m/yr	-1.67 m/yr	- 4.57 %
RWLS : -1.70 +/- 0.04 m/yr	-1.67 m/yr	- 1.76 %
LAD : -2 m/yr	-2.09 m/yr	+ 4.5 %
WLAD : -1 m/yr	-1 m/yr	0%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -65 +/- 23 m	-63 m	- 3.08 %
AOR : -73.5 +/- 17.5 m	-80 m	+ 8.84 %
AER : -74.5 m	-74.5 m	0%
OLS : -69.5 +/- 0.05 m	-67.5 m	- 2.88 %
Jackknife: -70.5 m	-67.5 m	- 4.26 %
RLS : 8 +/- 0.5 m	8 m	0%
WLS : -87.5 +/- 2 m	-83.5 m	- 4.57 %
RWLS : -85 +/- 2 m	-83.5 m	- 1.76 %
LAD : -100 m	-104.5 m	+ 4.5 %
WLAD : -50 m	-50 m	0%

(6_BAR) Βαρθολομιό Ηλείας, (5850 m) (αβεβαιότητες x0.2)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ 39 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -1.30 +/- 0.18 m/yr	- 1.36 m/yr	+ 4.62 %
AOR : -1.47 +/- 0.14 m/yr (10 συνδυασμοί)	- 1.54 m/yr	+ 4.76 %
AER : -1.49 m/yr	- 1.56 m/yr	+ 4.70 %
OLS : -1.39 +/- 0.001 m/yr	- 1.46 m/yr	+ 5.04 %
Jackknife : -1.41 m/yr	- 1.48 m/yr	+ 4.97 %
RLS : 0.16 +/- 0.01 m/yr	0.16 m/yr	0%
WLS : -1.75 +/- 0.02 m/yr	- 1.84 m/yr	+ 5.14 %
RWLS : -1.67 +/- 0.02 m/yr	- 1.75 m/yr	+ 4.79 %
LAD : -2 m/yr	- 2.1 m/yr	5%
WLAD : -1 m/yr	- 1.05 m/yr	5%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -65 +/- 9 m	- 68 m	+ 4.62 %
AOR : -73.5 +/- 7 m	- 77 m	+ 4.76 %
AER : -74.5 m	- 78 m	+ 4.70 %
OLS : -69.5 +/- 0.05 m	- 73 m	+ 5.04 %
Jackknife : -70.5 m	- 74 m	+ 4.97 %
RLS : 8 +/- 0.5 m	8 m	0%
WLS : -87.5 +/- 1 m	- 92 m	+ 5.14 %
RWLS : -83.5 +/- 1 m	- 87.5 m	+ 4.79 %
LAD : -100 m	- 105 m	5%
WLAD : -50 m	- 52.5 m	5%

Πίνακες 5β_1 και 5β_2 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 6_BAR, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 και των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

(6_BAR) Βαρθολομιό Ηλείας, (5850 m) (αβεβαιότητες x0.2-όχι το 1945)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ 39 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -2.20 +/- 0.19 m/yr	- 1.98 m/yr	-10%
AOR : -2.10 +/- 0.31 m/yr (6 συνδυασμοί)	- 1.89 m/yr	-10%
AER : -2.35 m/yr	- 2.11 m/yr	- 10.21 %
OLS : -1.95 +/- 0.002 m/yr	- 1.76 m/yr	- 9.74 %
Jackknife : -1.86 m/yr	- 1.67 m/yr	- 10.22 %
RLS : 0.09 +/- 0.02 m/yr	0.08 m/yr	- 11.11 %
WLS : -2.10 +/- 0.02 m/yr	- 1.89 m/yr	-10%
RWLS : -2.10 +/- 0.02 m/yr	- 1.89 m/yr	-10%
LAD : -2 m/yr	-1.80 m/yr	-10%
WLAD : -1 m/yr	- 0.90 m/yr	-10%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -110 +/- 9.5 m	- 99 m	-10%
AOR : -105 +/- 15.5 m	- 94.5 m	-10%
AER : -117.5 m	- 105.5 m	- 10.21 %
OLS : -97.5 +/- 0.1 m	- 88 m	- 9.74 %
Jackknife : -93 m	- 83.5 m	- 10.22 %
RLS : 5.5 +/- 1 m	4 m	- 11.11 %
WLS : -105 +/- 1 m	- 94.5 m	-10%
RWLS : -105 +/- 1 m	- 94.5 m	-10%
LAD : -100 m	-90 m	-10%
WLAD : -50 m	- 45 m	-10%

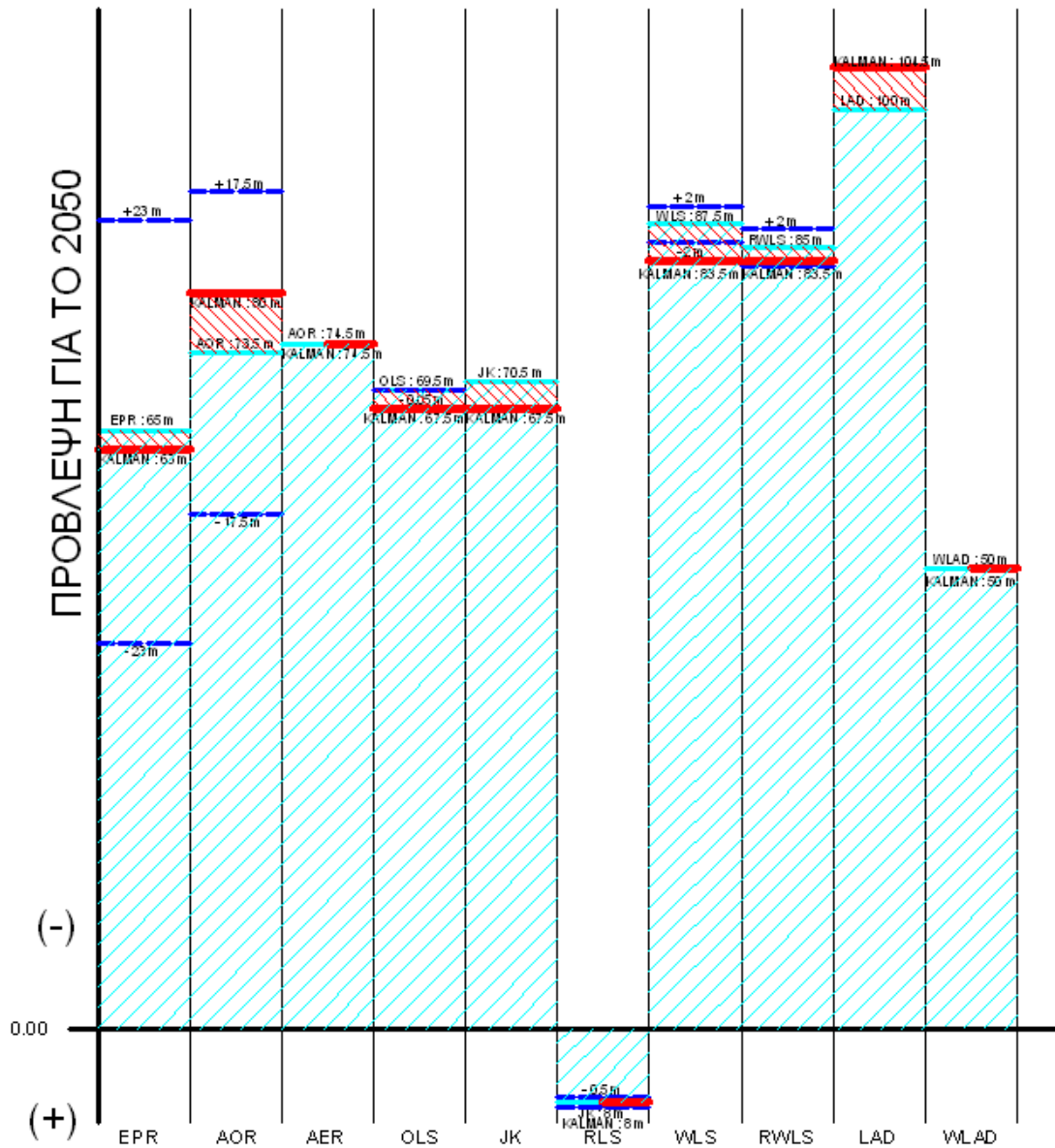
(6_BAR) Βαρθολομιό Ηλείας, (5850 m) (αβεβαιότητες x0.5-όχι το 2000)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ 39 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -0.80 +/- 0.86 m/yr	- 0.80 m/yr	0%
AOR : -1.13 +/- 0.78 m/yr (6 συνδυασμοί)	- 1.2 m/yr	+ 6.20 %
AER : -1.01 m/yr	- 1.1 m/yr	+ 8.91 %
OLS : -1.03 +/- 0.002 m/yr	- 1.1 m/yr	+ 6.80 %
Jackknife : -1.15 m/yr	- 1.2 m/yr	+ 4.35 %
RLS : 0.08 +/- 0.02 m/yr	0.09 m/yr	+ 12.5 %
WLS : -1.17 +/- 0.09 m/yr	- 1.2 m/yr	+ 2.56 %
RWLS : -1.17 +/- 0.09 m/yr	- 1.2 m/yr	+ 2.56 %
LAD : -0.55 m/yr	- 0.58 m/yr	+ 5.46 %
WLAD : -0.55 m/yr	- 0.58 m/yr	+ 5.46 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -40 +/- 43 m	- 40 m	0%
AOR : -56.5 +/- 39 m	- 60 m	+ 6.20 %
AER : -50.5 m	- 55 m	+ 8.91 %
OLS : -51.5 +/- 0.1 m	- 55 m	+ 6.80 %
Jackknife : -57.5 m	- 60 m	+ 4.35 %
RLS : 4 +/- 1 m	4.5 m	+ 12.5 %
WLS : -58.5 +/- 4.5 m	- 60 m	+ 2.56 %
RWLS : -58.5 +/- 4.5 m	- 60 m	+ 2.56 %
LAD : -27.5 m	- 29 m	+ 5.46 %
WLAD : -27.5 m	- 29 m	+ 5.46 %

Πίνακες 5β_3 και 5β_4 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 6_BAR, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά).

(6_BAR) Βαρθολομιό Ηλείας, (5850 m) (αβεβαιότητες +/- 0.5m)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ 39 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -1.30 +/- 0.02 m/yr	- 1.36 m/yr	+ 4.62 %
AOR : -1.47 +/- 0.01 m/yr (10 συνδυασμοί)	- 1.54 m/yr	+ 4.76 %
AER : -1.49 m/yr	- 1.56 m/yr	+ 4.70 %
OLS : -1.39 +/- 0.001 m/yr	- 1.46 m/yr	+ 5.04 %
Jackknife : -1.41 m/yr	- 1.48 m/yr	+ 4.97 %
RLS : 0.16 +/- 0.01 m/yr	0.16 m/yr	0%
WLS : -1.39 +/- 0.002 m/yr	- 1.46 m/yr	+ 5.04 %
RWLS : -1.34 +/- 0.002 m/yr	- 1.41 m/yr	+ 5.22 %
LAD : -2 m/yr	- 2.1 m/yr	5%
WLAD : -1 m/yr	- 1.05 m/yr	5%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -65 +/- 1 m	- 68 m	+ 4.62 %
AOR : -73.5 +/- 0.5 m	- 77 m	+ 4.76 %
AER : -74.5 m	- 78 m	+ 4.70 %
OLS : -69.5 +/- 0.05 m	- 73 m	+ 5.04 %
Jackknife : -70.5 m	- 74 m	+ 4.97 %
RLS : 8 +/- 0.5 m	8 m	0%
WLS : -69.5 +/- 0.1 m	- 73 m	+ 5.04 %
RWLS : -67 +/- 0.1 m	- 70.5 m	+ 5.22 %
LAD : -100 m	- 105 m	5%
WLAD : -50 m	- 52.5 m	5%

Πίνακας 5β_5 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 6_BAR, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Οι αβεβαιότητες είναι της τάξης των ±0.5 μέτρων.

Περιοχή μελέτης : 6_BAR (Βαρθολομιό Ηλείας, 5850m)
 Αβεβαιότητες : 5 χιλιοστά της κλίμακας της αερ/φίας



Διάγραμμα 5α : Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται γραφικά οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων (κυανό χρώμα) με τα αντίστοιχα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman (κόκκινο χρώμα), στην περιοχή μελέτης 6_BAR. Με μπλε διακεκομμένες γραμμές φαίνονται τα επίπεδα αβεβαιότητας πρόβλεψης για την κάθε μία από τις 10 μεθόδους.

5.2.6

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	9_THE
ΥΨΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (> - 3 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Οι δοκιμές των 10 μεθόδων σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 9_THE είναι οι παρακάτω (συνολικά 5) :

- Η δοκιμή Kalman K_2_F, (53 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_3_F, (53 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,2).
- Η δοκιμή Kalman K_4_F, (53 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,2), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1945 (ακτογραμμή μειωμένης ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_5_F, στην (53 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,5), εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 2000 (ακτογραμμή υψηλής ακρίβειας).
- Η δοκιμή Kalman K_6_F, (53 διατομές και συνθετικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές).

Η αρίθμηση των δοκιμών του φίλτρου Kalman στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν οι 53 διατομές (281-334) ξεκινά από τον κωδικό K_2_F καθώς προηγήθηκαν δοκιμές του φίλτρου Kalman αλλά και απευθείας εφαρμογές των 10 στατιστικών μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής για τέσσερις συγκεκριμένες υπό-ομάδες διατομών (εφαρμόστηκαν οι 10 στατιστικές μέθοδοι για τις ομάδες διατομών 1 έως 46, 54 έως 103, 129 έως 151 και 156 έως 180). Ο λόγος που επιλέχθηκαν να παρουσιαστούν ενδεικτικά οι 4 παραπάνω συγκεκριμένες υπό-περιοχές (ομάδες διατομών) ήταν εξαιτίας της εμφάνισης μιας καταγεγραμμένης ιστορικής τάσης πρόσκωσης της ακτογραμμής (διαφορετικού επιπέδου ανάλογα με το κάθε τμήμα διατομών). Το βάρος της στατιστικής ανάλυσης που ακολούθησε δόθηκε στην περιοχή των διατομών 281-334 όπου εμφανίζεται διάβρωση, καθώς εκεί απειλούνται εδάφη από την υποχώρηση της ακτογραμμής. Επίσης, έγινε εφαρμογή των 10 μεθόδων αλλά και του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman σε ένα τμήμα ακτογραμμής με 3 διατομές (66,67,68) για να ελεγχθεί η δυνατότητα υπολογισμού ρυθμών μεταβολής με περιορισμένο όγκο διαθέσιμων δεδομένων. Τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αυτών εφαρμογών των 10 μεθόδων παρουσιάζονται επίσης στον πίνακα 6α, στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους παρουσιάζονται παρακάτω, στο συγκεντρωτικό πίνακα 6α_K (οι εφαρμογές Kalman παρουσιάζονται με γκρι χρώμα και αναφέρονται στο σύνολο των 53 διατομών για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής στην περιοχή 9_THE). Από τη μελέτη και τη σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 6α_K, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Για τη συγκεκριμένη περιοχή 9_THE, στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου οι αβεβαιότητες έχουν οριστεί στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενικότερη, σημαντική μείωση όλων των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής σε σχέση με τις εκτιμήσεις των 10 στατιστικών μεθόδων στις αντίστοιχες εφαρμογές με τις ίδιες αβεβαιότητες. Είναι χαρακτηριστικό πως η μέθοδος EPR στην απευθείας εφαρμογή της για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -9.81 ± 0.72 μέτρων/χρόνο, ενώ μέσω φίλτρου Kalman για την αντίστοιχη εφαρμογή με τις ίδιες αβεβαιότητες υπολογίζεται ρυθμός της τάξης των -6.98 μέτρων/χρόνο. Αντίστοιχα, η μέθοδος OLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -11.98 ± 0.002 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -6.98 μέτρων/χρόνο (όπως και η μέθοδος JK), η μέθοδος AOR που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -10.74 ± 0.68 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -7.17 μέτρων/χρόνο και τέλος, η μέθοδος WLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -14.95 ± 0.06 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -13.96 μέτρων/χρόνο. Παρόμοιες σημαντικές μειώσεις παρουσιάζονται στους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής και των 10 στατιστικών μεθόδων, στις εφαρμογές που χρησιμοποιείται το φίλτρο Kalman. Είναι προφανές λοιπόν πως στην παρούσα εφαρμογή, η χρήση του φίλτρου Kalman έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό μειωμένων ρυθμών υποχώρησης της ακτογραμμής οι οποίοι συγκλίνουν σημαντικά σε μια μέση τιμή υποχώρησης της τάξης των -7 μέτρων/χρόνο (αυτό παρατηρείται για τις μεθόδους EPR, AOR, AER, OLS και JK των οποίων οι εκτιμήσεις σχεδόν πλέον ταυτίζονται). Οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για τις μεθόδους WLS και RWLS παρουσιάζονται και αυτοί μειωμένοι, χωρίς όμως να συγκλίνουν ιδιαίτερα στην μέση τιμή υποχώρησης που αναφέρθηκε παραπάνω, ενώ οι εκτιμήσεις των μεθόδων RLS, LAD και WLAD (υπολογίζονται χαμηλοί ρυθμοί υποχώρησης της τάξης των -2 μέτρων/χρόνο) εξακολουθούν να κρίνονται πλήρως αναξιόπιστες. Το γεγονός ότι μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης οι οποίοι συγκλίνουν τουλάχιστον στις 5 από τις 10 στατιστικές μεθόδους κρίνεται σημαντικό και αποτελεί ένα σαφές πλεονέκτημα του φίλτρου όσον αφορά τη χρήση του και την παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων (δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχη σύγκλιση υπολογιζόμενων ρυθμών στην απευθείας εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων με τις ίδιες αρχικές ακρίβειες).

Στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενική τάση αύξησης (σε σημαντικό βαθμό) των ρυθμών υποχώρησης που υπολογίζονται από όλες τις μεθόδους. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, μέσω της μεθόδου των OLS υπολογίζεται πλέον ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -13 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου EPR -10 , μέσω της μεθόδου AOR -9 , μέσω της μεθόδου JK -13 , μέσω της μεθόδου WLS -16 , μέσω της μεθόδου RWLS -16 και μέσω της μεθόδου LAD ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.34 μέτρων/χρόνο. Οι αποκλίσεις των 7 συγκεκριμένων μεθόδων (EPR, AOR, AER, OLS, JK, WLS και RWLS) κρίνονται σχετικά αυξημένες σε σχέση με την προηγούμενη εφαρμογή και παρατηρείται πως ρυθμός μεταβολής της μεθόδου των OLS προσεγγίζει το μέσο όρο των παραπάνω εκτιμήσεων (στα -13 μέτρα/χρόνο) κάτι που

παρατηρείται και στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως για κάθε μία από τις 10 στατιστικές μεθόδους, οι εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, μεταβάλλοντας τις αβεβαιότητες από τα 0,5 στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές (ενώ στην απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων οι αντίστοιχες εκτιμήσεις παρέμεναν αμετάβλητες). Ειδικότερα, η μέθοδος EPR για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζει ρυθμό μεταβολής μέσω φίλτρου Kalman της τάξης των -6.98 μέτρων/χρόνο ενώ για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζει ρυθμό μεταβολής της τάξης των -10 μέτρων/χρόνο. Επομένως, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων επιδρά, σε σημαντικό βαθμό, στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Στο συγκεκριμένο σημείο έγκειται και η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης περιοχής (όπως επίσης και της περιοχής 6_BAR όπου παρουσιάζοταν παρόμοιο φαινόμενο) καθώς στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης (1_LIT, 7_KAT και 8_BAR) παρουσιάζοταν σταθερότητα των εκτιμήσεων που προέκυπταν μέσω του φίλτρου Kalman για την κάθε μέθοδο, ανά εφαρμογή (παρόλη την μεταβολή των αρχικών αβεβαιοτήτων). Όσον αφορά τη διασπορά των διαφόρων εκτιμήσεων του φίλτρου Kalman για κάθε μία εφαρμογή ξεχωριστά, παρατηρείται μια σχετική προσέγγιση γύρω από τους αξιόπιστους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK (ο ρυθμός της μεθόδου OLS αποτελεί ουσιαστικά ένα «μέσο όρο» σε σχέση με τις εκτιμήσεις των υπόλοιπων 9 στατιστικών μεθόδων μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης). Το παραπάνω γεγονός παρατηρήθηκε, ως προς τις εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, και στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης.

Από την παραπάνω ανάλυση θα πρέπει να εξαιρεθούν η μόνιμα αναξιόπιστη μέθοδος RLS (η οποία όπως έχει ήδη αναφερθεί υπολογίζει χαμηλούς ρυθμούς υποχώρησης στο σύνολο των εφαρμογών της συγκεκριμένης περιοχής) και οι μέθοδοι LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης, οι οποίοι όμως αποκλίνουν σημαντικά από τον γενικότερο μέσο όρο των εκτιμήσεων των υπόλοιπων μεθόδων (οι μέθοδοι LAD και WLAD υπολογίζουν σταθερά, τουλάχιστον για τις 2 πρώτες εφαρμογές του φίλτρου Kalman, ρυθμούς μεταβολής που προσεγγίζουν το -1 μέτρο/χρόνο).

- Στην περίπτωση που εξαιρείται η παλαιότερη ακτογραμμή του 1945 (με τις υψηλές αβεβαιότητες θέσης), όλοι οι ρυθμοί υποχώρησης που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman μεταβάλλονται σημαντικά και σχετικά ακανόνιστα (οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί υποχώρησης των μεθόδων EPR, AOR, και AER αυξάνονται σημαντικά, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί υποχώρησης των μεθόδων OLS και JK παραμένουν σταθεροί, ενώ για τις υπόλοιπες 5 μεθόδους παρουσιάζεται μείωση των υπολογιζόμενων ρυθμών).

Έτσι, στις περιπτώσεις των μεθόδων EPR, AOR και AER παρουσιάζεται πλέον σημαντική αύξηση των υπολογιζόμενων ρυθμών υποχώρησης (για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, η εκτίμηση της μεθόδου EPR αυξάνεται από τα -10 στα -13 μέτρα/χρόνο, η εκτίμηση της μεθόδου AOR

αυξάνεται από τα -11 στα -12 μέτρα/χρόνο και η εκτίμηση της μεθόδου AER αυξάνεται από τα -9 στα -13 μέτρα/χρόνο). Αξίζει να σημειωθεί πως αντίστοιχη αύξηση (σημαντικά υψηλότερη) των ρυθμών υποχώρησης όπως προκύπτουν από την εφαρμογή του φίλτρου Kalman παρουσιάστηκε και στην περίπτωση της απευθείας εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων, όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1945 από τη μελέτη της συγκεκριμένης παράκτιας περιοχή. Επίσης, για τις ίδιες αβεβαιότητες, η εκτίμηση της μεθόδου OLS παραμένει σταθερή στα -13 μέτρα/χρόνο και η εκτίμηση της μεθόδου JK μειώνεται οριακά από τα -13 στα -12 μέτρα/χρόνο, ενώ οι εκτιμήσεις των μεθόδων WLS και RWLS μειώνονται από τα -16 στα -14 μέτρα/χρόνο.

- Αντίστοιχα, στην περίπτωση όπου εξαιρείται η ακτογραμμή του 1995 με τις υψηλές ακρίβειες θέσης, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman και για τις 10 μεθόδους παρουσιάζουν σημαντικές μεταβολές (τις υψηλότερες σε σχέση με όλες τις προηγούμενες εφαρμογές). Οι νέοι, υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την παρούσα εφαρμογή εξακολουθούν να χαρακτηρίζονται ως ρυθμοί υποχώρησης της ακτογραμμής. Η ιδιαιτερότητα έγκειται στο γεγονός ότι, μέσω του φίλτρου Kalman, για τις μεθόδους EPR, OLS, RLS, WLS και RWLS υπολογίζονται σημαντικά αυξημένοι ρυθμοί υποχώρησης ενώ για τις μεθόδους AOR, AER, OLS, LAD και WLAD υπολογίζονται μειωμένοι ρυθμοί υποχώρησης. Στο συγκεκριμένο σημείο παρουσιάζεται μια σαφής διαφοροποίηση μεταξύ των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων σε σχέση με τα αποτελέσματα που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman, για τις ίδιες αβεβαιότητες συμπεριλαμβάνοντας ή εξαιρώντας την ακτογραμμή του 1995. Έτσι, στην περίπτωση της απευθείας εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων, όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1995, όλοι οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί υποχώρησης παρουσίασαν σημαντική αύξηση ενώ στην περίπτωση όπου χρησιμοποιήθηκε το φίλτρο, όπως αναφέρθηκε, οι πέντε υπολογιζόμενοι ρυθμοί υποχώρησης παρουσίασαν σημαντική αύξηση και οι υπόλοιποι πέντε μείωση. Επίσης, είναι χαρακτηριστικό πως στην παρούσα εφαρμογή του φίλτρου Kalman, για πρώτη φορά σε ολόκληρη τη μελέτη, οι εκτιμήσεις των μεθόδων OLS και JK διαφέρουν σημαντικά (όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 1995).

Ενδεικτικά αναφέρεται πως ο ρυθμός μεταβολής της μεθόδου OLS (μέσω του φίλτρου Kalman) ο οποίος υπολογίζεται στα -6.98 μέτρα/χρόνο για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, αυξάνεται σημαντικά στα -20 μέτρα/χρόνο όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 1995. Παράλληλα, εξαιρώντας την ακτογραμμή του 1995, οι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων WLS και RWLS οι οποίοι υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman αυξάνονται από τα -13.96 μέτρα/χρόνο και προσεγγίζουν την τιμή των -20 μέτρων/χρόνο (τιμή που ταυτίζεται με την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου των OLS). Το γεγονός ότι οι εκτιμήσεις των μεθόδων WLS και RWLS ταυτίζονται στην παρούσα εφαρμογή, έχει εντοπιστεί και στις αντίστοιχες εφαρμογές των προηγούμενων περιοχών που εξετάστηκαν. Όσον αφορά τη μέθοδο AER, υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής (-10 μέτρα/χρόνο) οι οποίος στη συγκεκριμένη εφαρμογή όπου εξαιρείται η ακτογραμμή του 1995, ισούται με το 1/2 του υπολογιζόμενου ρυθμού μεταβολής της μεθόδου OLS.

- Στην περίπτωση της εφαρμογής όπου χρησιμοποιούνται χαμηλές, ενιαίες αβεβαιότητες της τάξης των ± 0.5 μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman προσεγγίζουν σημαντικά (οι 7 από αυτούς) τις αξιόπιστες εκτιμήσεις που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman για τις μεθόδους OLS και JK (αντίστοιχοι ρυθμοί μεταβολής της τάξης των -12.58 και -13.45 μέτρων/χρόνο). Από την παραπάνω διαδικασία σύγκρισης αποτελεσμάτων εξαιρούνται η αναξιόπιστη μέθοδος RLS μέσω της οποίας και στην παρούσα εφαρμογή για τη συγκεκριμένη περιοχή υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των - 2.5 μέτρων/χρόνο και οι μέθοδοι LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης του 1 μέτρου/χρόνο.

Είναι χαρακτηριστικό πως για τη μέθοδο EPR υπολογίζεται ρυθμός μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman της τάξης των -10.30 μέτρων/χρόνο, για τη μέθοδο AOR -11.28 μέτρα/χρόνο, για τη μέθοδο AER -8.93 μέτρα/χρόνο και για τις μεθόδους WLS και RWLS -12.58 μέτρα/χρόνο. Από τα παραπάνω προκύπτει πως οι ρυθμοί μεταβολής των μεθόδων OLS και JK προσεγγίζουν το μέσο όρο των εκτιμήσεων όλων των υπόλοιπων στατιστικών μεθόδων (χρησιμοποιούνται επομένως ως βάση αναφοράς και σύγκρισης). Το συγκεκριμένο γεγονός έχει παρατηρηθεί και σε προηγούμενες εφαρμογές του φίλτρου Kalman (όπως π.χ. στην περιοχή μελέτης 6_BAR).

Ενδιαφέρον προκαλεί η συνολική βελτίωση των εκτιμήσεων των μεθόδων και κυρίως των μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης που χρησιμοποιούν βάρη στην υπολογιστική τους διαδικασία (WLS και RWLS) στην παρούσα εφαρμογή (η οποία οφείλεται προφανώς στις «συνθετικές», υψηλές ακρίβειες των πρωτογενών δεδομένων). Οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής των δύο μεθόδων σχεδόν ταυτίζονται πλέον με τον αντίστοιχο ρυθμό μεταβολής της μεθόδου OLS. Έτσι, επιβεβαιώνεται το γεγονός πως στην περίπτωση που υπάρχουν διαθέσιμα ποιοτικά δεδομένα, οι μέθοδοι WLS και RWLS μέσω του φίλτρου Kalman, δύνανται να υπολογίσουν ρυθμούς μεταβολής οι οποίοι θα συγκλίνουν με τις αντίστοιχες αξιόπιστες εκτιμήσεις της μεθόδου των OLS.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως στην περίπτωση ύπαρξης ιδιαίτερα χαμηλών αβεβαιοτήτων στα πρωτογενή δεδομένα, μέσω του φίλτρου Kalman είναι δυνατόν να υπολογιστούν σχετικά αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής και να προκύψουν έτσι προβλέψεις για τις μελλοντικές θέσεις της ακτογραμμής, ανεξάρτητα ποια αρχική μέθοδος θα χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A (εξαιρώντας τις συνήθως προβληματικές μεθόδους AER, RLS, LAD και WLAD). Έτσι, ορίζοντας τις αρχικές αβεβαιότητες στα ± 0.5 μέτρα/χρόνο, οι 7 από τις 10 στατιστικές μεθόδους υπολογίζουν μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, ρυθμούς υποχώρησης που σχετικά προσεγγίζουν τα -11 μέτρα/χρόνο.

- Αξίζει να σημειωθεί πως στην περίπτωση εφαρμογής του φίλτρου Kalman, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής, σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, παρουσιάζουν σημαντική διασπορά και διακύμανση ανάλογα της αρχικής στατιστικής μεθόδου που χρησιμοποιείται. Έτσι, όσον αφορά το φίλτρο Kalman και αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι κυμαίνονται από τη χαμηλότερη εκτίμηση των -9 μέτρων/χρόνο (μέθοδος AER), -10 μέτρα/χρόνο για την μέθοδο EPR, έως και την

υψηλότερη εκτίμηση των -16 μέτρων/χρόνο (μέθοδος WLS). Ομοίως, όσον αφορά την αντίστοιχη, απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων, υπολογίζεται η χαμηλότερη εκτίμηση στα -8.51 μέτρα/χρόνο (μέθοδος AER), -9.81 ± 0.29 μέτρα/χρόνο για την μέθοδο EPR και η υψηλότερη εκτίμηση στα -14.95 ± 0.02 μέτρα/χρόνο (μέθοδος WLS).

- Από όλες τις παραπάνω συγκρίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman προκύπτει με σαφήνεια το συμπέρασμα ότι σε αρκετές περιπτώσεις οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής του φίλτρου επηρεάζονται σημαντικά από την αρχική μέθοδο που χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Αυτό προκύπτει καθώς οι ρυθμοί μεταβολής όχι μόνον δεν συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συγκλίνουν γύρω από μια μέση τιμή (συνήθως τον ρυθμό μεταβολής της μεθόδου OLS) και εμφανίζουν μια συστηματικότητα όσον αφορά την γενικότερη διασπορά τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί και η εφαρμογή του φίλτρου Kalman στην περιοχή 9_THE, για αρχικές αβεβαιότητες ± 0.5 μέτρων, όπου όπως ήδη αναφέρθηκε, μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι συγκλίνουν σε μια μέση τιμή για 7 από τις 10 μεθόδους.
- Συμπερασματικά, πρέπει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη περιοχή 9_THE (η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή υψηλής υποχώρησης) τα αποτελέσματα του φίλτρου Kalman μεταβάλλονται σημαντικά (σε αντίθεση με τις αντίστοιχες εφαρμογές άλλων περιοχών της μελέτης όπου οι ρυθμοί μεταβολής που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman επηρεάζονται ελάχιστα έως καθόλου) όσον μειώνονται οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων. Επίσης, μεταβάλλονται σημαντικά όταν εξαιρούνται οι ακτογραμμές 1945 και 1995 (οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής συγκεκριμένων μεθόδων παρουσιάζουν σημαντικές αυξομειώσεις ανά εφαρμογή).

Όταν χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη RLS ή οι συστηματικά αναξιόπιστες μέθοδοι LAD και WLAD για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A στα αρχικά στάδια εφαρμογής του φίλτρου, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα προέκυψε και στην περίπτωση μελέτης των περιοχών 1_LIT, 7_KAT, 8_BAR, 4_NES και 6_BAR. Επομένως, όσον αφορά το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της μελέτης της περιοχής 9_THE, προκύπτει πως η βέλτιστη εκτίμηση (με τις μικρότερες αβεβαιότητες πρόβλεψης) της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής υπολογίζεται μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, χρησιμοποιώντας αρχικά τη μέθοδο OLS, έτσι ώστε να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια ο συντελεστής A (διαθέτοντας πρωτογενή δεδομένα με τις υψηλότερες δυνατές ακρίβειες).

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες 6α_K και 6β (1, 2, 3, 4 και 5) με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης όπως επίσης και το διάγραμμα 6α στο οποίο φαίνονται γραφικά οι αποκλίσεις των παραπάνω αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων και του φίλτρου Kalman.

9_THE	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 1-46) - (x0.7)	8.52 +/- 1	16.16 +/- 5.76	9.21	7.72 +/- 0.002	7.50	3.95 +/- 0.06	6.51 +/- 0.09	6.51 +/- 0.09	2	1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 54-103) - (x0.7)	4.56 +/- 1	11.48 +/- 6.01	5.25	3.69 +/- 0.002	3.43	26.00 +/- 1.95	2.41 +/- 0.085	2.41 +/- 0.09	-1.24	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 129-151) - (x0.7)	1.58 +/- 1	3.51 +/- 4.08	1.68	1.51 +/- 0.002	1.51	-1.05 +/- 0.07	1.38 +/- 0.13	1.38 +/- 0.13	-1.12	1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 156-180) - (x0.7)	20.87 +/- 1	34.24 +/- 4.25	21.70	20.18 +/- 0.002	20.09	50.99 +/- 3.21	19.00 +/- 0.12	19.00 +/- 0.12	0	0
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 281-334) - (x0.7)	-9.81 +/- 1	-10.74 +/- 0.94	-8.51	-11.98 +/- 0.002	-12.81	-2.49 +/- 0.09	-14.97 +/- 0.08	-14.97 +/- 0.08	-1.28	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 281-334) - (0.5)	-9.81 +/- 0.72	-10.74 +/- 0.68	-8.51	-11.98 +/- 0.002	-12.81	-2.49 +/- 0.09	-14.95 +/- 0.06	-14.95 +/- 0.06	-1.28	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 281-334) - (0.2)	-9.81 +/- 0.29	-10.74 +/- 0.27	-8.51	-11.98 +/- 0.002	-12.81	-2.49 +/- 0.09	-14.95 +/- 0.02	-14.95 +/- 0.02	-1.28	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 281-334) - (0.2-όχι 1945)	-14.42 +/- 0.34	-13.63 +/- 0.48	-13.23	-14.81 +/- 0.003	-13.63	-2.67 +/- 0.19	-15.52 +/- 0.03	-15.52 +/- 0.03	-1.28	-1
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (Διατομές 281-334) - (0.5-όχι 1995)	-14.70 +/- 0.69	-13.60 +/- 2.09	-13.06	-15.24 +/- 0.003	-13.60	-3.25 +/- 0.14	-19.32 +/- 0.07	-19.32 +/- 0.07	-0.62	-0.62
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (αβεβαιότητες 0.5m)	-9.81 +/- 0.02	-10.74 +/- 0.02	-8.51	-11.98 +/- 0.002	-12.81	-2.49 +/- 0.09	-11.98 +/- 0.002	-11.98 +/- 0.002	-1.28	-1
	K_1_F (διατομές 66,67,68) (x0.5) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-6 +/- 0.72	-5.92 +/- 0.16	-6.37	-5.58 +/- 0.01	-5.47	-4.91 +/- 1.21	-5.14 +/- 0.25	-5.14 +/- 0.25	-2	-1
	K_1_F (διατομές 66,67,68) (x0.5) - (ο KALMAN)	-6.0	-6.0	-7.0	-6.0	-6.0	-5.0	-5.0	-5.0	-2.1	-1.0
	K_2_F (διατομές 281-334) (x0.5) - (ο KALMAN)	-6.98	-7.17	-7.17	-6.98	-6.98	-2.09	-13.96	-13.96	-0.91	-0.71
	K_3_F (διατομές 281-334) (x0.2) - (ο KALMAN)	-10	-11	-9	-13	-13	-2.6	-16	-16	-1.34	-1.05
	K_4_F (διατομές 281-334) (x0.2 - όχι το 1945)	-13	-12	-13	-13	-12	-2.4	-14	-14	-1.16	-0.90
K_5_F (διατομές 281-334) (x0.5 - όχι το 1995)	-20	-10	-10	-20	-10	-3	-20	-20	-0.65	-0.65	
K_6_F (διατομές 281-334) (αβεβαιότητες +/- 0.5 m)	-10.30	-11.28	-8.93	-12.58	-13.45	-2.61	-12.58	-12.58	-1.34	-1.05	

ΥΠΟΧΩΡΙΣΗ > 3 m/yr (Υψηλή υποχώρηση)

Πίνακας 6α_K : Παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων (λευκά κελιά) όπως επίσης και του φίλτρου Kalman (γκρι κελιά), στην περιοχή 9_THE.

(9_THE) Πεδιάδα Θεσσαλονίκης, (41200 m) (αβεβαιότητες x0.5)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ - ΔΙΑΤΟΜΕΣ 281-334)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -9.81 +/- 0.72 m/yr	-6.98 m/yr	- 28.85 %
AOR : -10.74 +/- 0.68 m/yr (6 συνδυασμοί)	-7.17 m/yr	- 33.24 %
AER : -8.51 m/yr	-7.17 m/yr	- 15.75 %
OLS : -11.98 +/- 0.002 m/yr	-6.98 m/yr	- 41.74 %
Jackknife: -12.81 m/yr	-6.98 m/yr	- 45.51 %
RLS : -2.49 +/- 0.09 m/yr	-2.09 m/yr	- 16.06 %
WLS : -14.95 +/- 0.06m/yr	-13.96 m/yr	- 6.62 %
RWLS : -14.95 +/- 0.06 m/yr	-13.96 m/yr	- 6.62 %
LAD : -1.28 m/yr	-0.91 m/yr	- 28.91 %
WLAD : -1 m/yr	-0.71 m/yr	-29%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -490.5 +/- 36 m	-349 m	- 28.85 %
AOR : -537 +/- 34 m	-358.5 m	- 33.24 %
AER : -425.5 m	-358.5 m	- 15.75 %
OLS : -599 +/- 0.1 m	-349 m	- 41.74 %
Jackknife: -640.5 m	-349 m	- 45.51 %
RLS : -124.5 +/- 4.5 m	-104.5 m	- 16.06 %
WLS : -747.5 +/- 3 m	-698 m	- 6.62 %
RWLS : -747.5 +/- 3 m	-698 m	- 6.62 %
LAD : -64 m	-45.5 m	- 28.91 %
WLAD : -50 m	-35.5 m	-29%

(9_THE) Πεδιάδα Θεσσαλονίκης, (41200 m) (αβεβαιότητες x0.2)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ - ΔΙΑΤΟΜΕΣ 281-334)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -9.81 +/- 0.29 m/yr	- 10 m/yr	+ 1.94 %
AOR : -10.74 +/- 0.27 m/yr (6 συνδυασμοί)	- 11 m/yr	+ 2.42 %
AER : -8.51 m/yr	- 9 m/yr	+ 5.76 %
OLS : -11.98 +/- 0.002 m/yr	- 13 m/yr	+ 8.51 %
Jackknife : -12.81 m/yr	- 13 m/yr	+ 1.48 %
RLS : -2.49 +/- 0.09 m/yr	- 2.6 m/yr	+ 4.42 %
WLS : -14.95 +/- 0.02 m/yr	- 16 m/yr	+ 7.02 %
RWLS : -14.95 +/- 0.02 m/yr	- 16 m/yr	+ 7.02 %
LAD : -1.28 m/yr	- 1.34 m/yr	+ 4.69 %
WLAD : -1 m/yr	- 1.05 m/yr	5%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -490.5 +/- 14.5 m	- 500 m	+ 1.94 %
AOR : -537 +/- 13.5 m	- 550 m	+ 2.42 %
AER : -425.5 m	- 450 m	+ 5.76 %
OLS : -599 +/- 0.1 m	- 650 m	+ 8.51 %
Jackknife : -640.5 m	- 650 m	+ 1.48 %
RLS : -124.5 +/- 4.5 m	- 130 m	+ 4.42 %
WLS : -747.5 +/- 1 m	- 800 m	+ 7.02 %
RWLS : -747.5 +/- 1 m	- 800 m	+ 7.02 %
LAD : -64 m	- 67 m	+ 4.69 %
WLAD : -50 m	- 52.5 m	5%

Πίνακες β6_1 και β6_2 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 9_THE, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 και των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

(9_THE) Πεδιάδα Θεσσαλονίκης, (41200 m) (αβεβαιότητες x0.2-όχι το 1945)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ - ΔΙΑΤΟΜΕΣ 281-334)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -14.42 +/- 0.34 m/yr	- 13 m/yr	- 9.85 %
AOR : -13.63 +/- 0.48 m/yr (3 συνδυασμοί)	- 12 m/yr	- 11.96 %
AER : -13.23 m/yr	- 13 m/yr	- 1.74 %
OLS : -14.81 +/- 0.003 m/yr	- 13 m/yr	- 12.22 %
Jackknife : -13.63 m/yr	- 12 m/yr	- 11.96 %
RLS : -2.67 +/- 0.19 m/yr	- 2.4 m/yr	- 10.11 %
WLS : -15.52 +/- 0.03 m/yr	- 14 m/yr	- 9.79 %
RWLS : -15.52 +/- 0.03 m/yr	- 14 m/yr	- 9.79 %
LAD : -1.28 m/yr	- 1.16 m/yr	- 9.38 %
WLAD : -1 m/yr	- 0.90 m/yr	-10%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -721 +/- 17 m	- 650 m	- 9.85 %
AOR : -681.5 +/- 24 m	- 600 m	- 11.96 %
AER : -661.5 m	- 650 m	- 1.74 %
OLS : -740.5 +/- 0.15 m	- 650 m	- 12.22 %
Jackknife : -681.5 m	- 600 m	- 11.96 %
RLS : -133.5 +/- 9.5 m	- 120 m	- 10.11 %
WLS : -776 +/- 1.5 m	- 700 m	- 9.79 %
RWLS : -776 +/- 1.5 m	- 700 m	- 9.79 %
LAD : -64 m	- 58 m	- 9.38 %
WLAD : -50 m	- 45 m	-10%

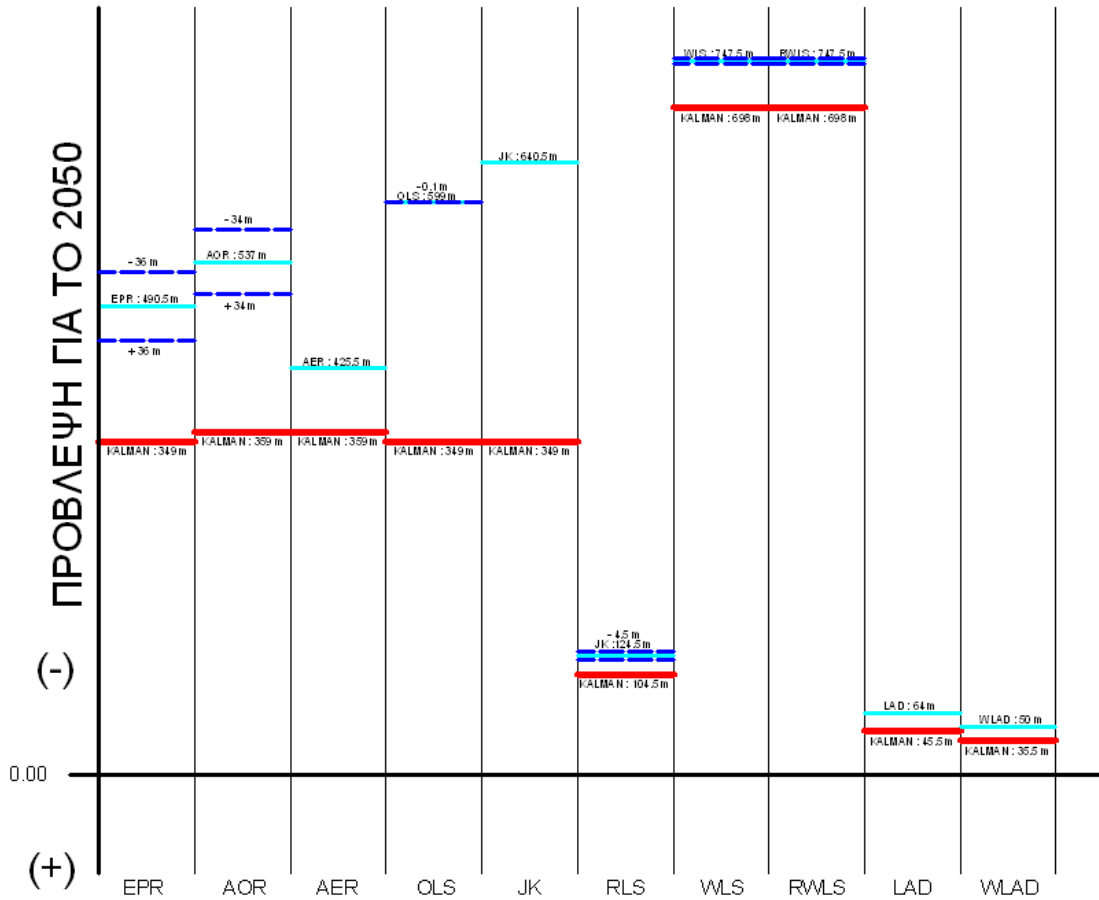
(9_THE) Πεδιάδα Θεσσαλονίκης, (41200 m) (αβεβαιότητες x0.5-όχι το 1995)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ - ΔΙΑΤΟΜΕΣ 281-334)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -14.70 +/- 0.69 m/yr	- 20 m/yr	+ 36.05 %
AOR : -13.60 +/- 2.09 m/yr (3 συνδυασμοί)	- 10 m/yr	- 26.47 %
AER : -13.05 m/yr	- 10 m/yr	- 23.37 %
OLS : -15.24 +/- 0.003 m/yr	- 20 m/yr	+ 31.23 %
Jackknife : -13.60 m/yr	- 10 m/yr	- 26.47 %
RLS : -3.25 +/- 0.14 m/yr	- 3 m/yr	- 7.69 %
WLS : -19.32 +/- 0.07 m/yr	- 20 m/yr	+ 3.52 %
RWLS : -19.32 +/- 0.07 m/yr	- 20 m/yr	+ 3.52 %
LAD : -0.62 m/yr	- 0.65 m/yr	+ 4.84 %
WLAD : -0.62 m/yr	- 0.65 m/yr	+ 4.84 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -735 +/- 34.5 m	- 1000 m	+ 36.05 %
AOR : -680 +/- 104.5 m	- 500 m	- 26.47 %
AER : -652.5 m	- 500 m	- 23.37 %
OLS : -762 +/- 0.15 m	- 1000 m	+ 31.23 %
Jackknife : -680 m	- 500 m	- 26.47 %
RLS : -162.5 +/- 7 m	- 150 m	- 7.69 %
WLS : -966 +/- 3.5 m	- 1000 m	+ 3.52 %
RWLS : -966 +/- 3.5 m	- 1000 m	+ 3.52 %
LAD : -31 m	- 32.5 m	+ 4.84 %
WLAD : -31 m	- 32.5 m	+ 4.84 %

Πίνακες 6β_3 και 6β_4 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 9_THE, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά).

(9_THE) Πεδιάδα Θεσσαλονίκης, (41200 m) (αβεβαιότητες +/- 0.5m)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ - ΔΙΑΤΟΜΕΣ 281-334)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -9.81 +/- 0.02 m/yr	- 10.30 m/yr	+ 4.99 %
AOR : -10.74 +/- 0.02 m/yr (6 συνδυασμοί)	- 11.28 m/yr	+ 5.03 %
AER : -8.51 m/yr	- 8.93 m/yr	+ 4.94 %
OLS : -11.98 +/- 0.002 m/yr	- 12.58 m/yr	+ 5.01 %
Jackknife : -12.81 m/yr	- 13.45 m/yr	+ 5.00 %
RLS : -2.49 +/- 0.09 m/yr	- 2.61 m/yr	+ 4.82 %
WLS : -11.98 +/- 0.002 m/yr	- 12.58 m/yr	+ 5.01 %
RWLS : -11.98 +/- 0.002 m/yr	- 12.58 m/yr	+ 5.01 %
LAD : -1.28 m/yr	-1.34 m/yr	+ 4.69 %
WLAD : -1 m/yr	-1.05 m/yr	5%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -490.5 +/- 1 m	- 515 m	+ 4.99 %
AOR : -537 +/- 1 m	- 564 m	+ 5.03 %
AER : -425.5 m	- 446.5 m	+ 4.94 %
OLS : -599 +/- 0.1 m	- 629 m	+ 5.01 %
Jackknife : -640.5 m	- 672.5 m	+ 5.00 %
RLS : -124.5 +/- 4.5 m	- 130.5 m	+ 4.82 %
WLS : -599 +/- 0.1 m	- 629 m	+ 5.01 %
RWLS : -599 +/- 0.1 m	- 629 m	+ 5.01 %
LAD : -64 m	-67 m	+ 4.69 %
WLAD : -50 m	-52.5 m	5%

Πίνακας 6β_5 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 9_THE, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Οι αβεβαιότητες είναι της τάξης των ±0.5 μέτρων.

Περιοχή μελέτης : 9_THE (41200m, διατομές 281-334)
 Αβεβαιότητες : 5 χιλιοστά της κλίμακας της αερ/φίας



Διάγραμμα 6α : Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται γραφικά οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων (κυανό χρώμα) με τα αντίστοιχα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman (κόκκινο χρώμα), στην περιοχή μελέτης 9_THE. Με μπλε διακεκομμένες γραμμές φαίνονται τα επίπεδα αβεβαιότητας πρόβλεψης για την κάθε μία από τις 10 μεθόδους.

5.2.7

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	10_NES
ΥΨΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (> - 3 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Οι δοκιμές των 10 μεθόδων σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 10_NES, για τις διατομές 1 έως 25, είναι οι παρακάτω (συνολικά 3):

- Η δοκιμή Kalman K_4_F, (25 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_4_1_F, (25 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,2).
- Η δοκιμή Kalman K_4_4_F, (25 διατομές και συνθετικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές).

Στο τμήμα της ακτογραμμής για τις διατομές 26 έως 112, δεν κρίθηκε σκόπιμο να υπολογιστούν ρυθμοί μεταβολής με τη χρήση του φίλτρου Kalman εξαιτίας των υψηλών ρυθμών πρόσχωσης (φερτά υλικά τα οποία μεταβάλλουν εποχιακά τη μορφή του δέλτα) που υπολογίζονταν μέσω της απευθείας εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων.

Οι δοκιμές των 10 μεθόδων σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 10_NES, για τις διατομές 113 έως 147, είναι οι παρακάτω (συνολικά 3):

- Η δοκιμή Kalman K_5_F, (34 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_5_1_F, (34 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,2).
- Η δοκιμή Kalman K_5_4_F, (34 διατομές και συνθετικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές).

Η αρίθμηση των δοκιμών του φίλτρου Kalman στις οποίες χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις κύριες ομάδες διατομών ξεκινά από τον κωδικό K_4_F καθώς προηγήθηκαν δοκιμές του φίλτρου Kalman αλλά και απευθείας εφαρμογές των 10 στατιστικών μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής για συγκεκριμένες υπό-ομάδες διατομών. Τα αποτελέσματα των δοκιμαστικών αυτών εφαρμογών (ακόμη και για τμήματα με μόλις 3 διατομές και περιορισμένο όγκο πρωτογενών δεδομένων) των 10 μεθόδων παρουσιάζονται επίσης στον πίνακα 7α_K, στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τμήμα α (διατομές 1 έως 25) :

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους παρουσιάζονται παρακάτω, στο συγκεντρωτικό πίνακα 7α_K (οι δοκιμές Kalman παρουσιάζονται με γκρι χρώμα και αναφέρονται στο σύνολο των 25 διατομών για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής στην

περιοχή 10_NES). Από τη μελέτη και τη σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 7a_K, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Για τη συγκεκριμένη περιοχή 10_NES, στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου οι αβεβαιότητες έχουν οριστεί στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενικότερη, σημαντική μείωση όλων των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής σε σχέση με τις εκτιμήσεις των 10 στατιστικών μεθόδων στις αντίστοιχες εφαρμογές με τις ίδιες αβεβαιότητες. Είναι χαρακτηριστικό πως η μέθοδος EPR στην απευθείας εφαρμογή της για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -3.48 ± 2.5 μέτρων/χρόνο, ενώ μέσω φίλτρου Kalman για την αντίστοιχη εφαρμογή με τις ίδιες αβεβαιότητες υπολογίζεται ρυθμός της τάξης των -2.5 μέτρων/χρόνο. Αντίστοιχα, η μέθοδος OLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -3.57 ± 0.01 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -2.6 μέτρων/χρόνο (ενώ μέσω της μεθόδου JK υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2.4 μέτρων/χρόνο), η μέθοδος AOR που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -3.29 ± 3.35 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -2.4 μέτρων/χρόνο και τέλος, η μέθοδος WLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -3.57 ± 0.35 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -2.6 μέτρων/χρόνο (ο οποίος ταυτίζεται με την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου OLS). Παρόμοιες σημαντικές μειώσεις παρουσιάζονται στους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής και των 10 στατιστικών μεθόδων, στις εφαρμογές που χρησιμοποιείται το φίλτρο Kalman. Είναι προφανές λοιπόν πως στην παρούσα εφαρμογή, η χρήση του φίλτρου Kalman έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό μειωμένων ρυθμών υποχώρησης της ακτογραμμής οι οποίοι συγκλίνουν σημαντικά σε μια μέση τιμή υποχώρησης της τάξης των -2.6 μέτρων/χρόνο (αυτό παρατηρείται για τις μεθόδους EPR, AOR, AER, OLS, JK, WLS και RWLS των οποίων οι εκτιμήσεις σχεδόν πλέον ταυτίζονται). Έτσι, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για τις μεθόδους WLS και RWLS, παρουσιάζονται και αυτοί μειωμένοι και συγκλίνουν σημαντικά στη μέση τιμή υποχώρησης που αναφέρθηκε παραπάνω, ενώ οι εκτιμήσεις των μεθόδων RLS, LAD και WLAD (υπολογίζονται χαμηλοί ρυθμοί υποχώρησης της τάξης του -1 μέτρου/χρόνο) εξακολουθούν να κρίνονται αναξιόπιστες (στην παρούσα εφαρμογή, οι συγκεκριμένες εκτιμήσεις των τριών παραπάνω μεθόδων προσεγγίζουν σχετικά τη μέση τιμή των -2.6 μέτρων/χρόνο που υπολογίζεται από τις υπόλοιπες μεθόδους, εξαιτίας όμως της γενικότερης αναξιοπιστίας τους δεν λαμβάνονται σοβαρά υπόψη). Το γεγονός ότι μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης οι οποίοι συγκλίνουν τουλάχιστον στις 7 από τις 10 στατιστικές μεθόδους κρίνεται σημαντικό και αποτελεί ένα σαφές πλεονέκτημα του φίλτρου όσον αφορά τη χρήση του και την παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων (δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχο επίπεδο σύγκλισης των υπολογιζόμενων ρυθμών στην απευθείας εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων με τις ίδιες αρχικές ακρίβειες).

Στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενική σταθερότητα των ρυθμών υποχώρησης που υπολογίζονται από όλες τις

μεθόδους, σε σχέση με την εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, μέσω της μεθόδου των OLS υπολογίζεται και εδώ ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2.57 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου EPR -2.50, μέσω της μεθόδου AOR -2.37, μέσω της μεθόδου JK -2.37, μέσω της μεθόδου WLS -2.57, μέσω της μεθόδου RWLS -2.57 και μέσω της μεθόδου LAD ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.44 μέτρων/χρόνο. Οι αποκλίσεις των 7 συγκεκριμένων μεθόδων (EPR, AOR, AER, OLS, JK, WLS και RWLS) είναι ακριβώς οι ίδιες σε σχέση με την προηγούμενη εφαρμογή και παρατηρείται πως ρυθμός μεταβολής της μεθόδου των OLS προσεγγίζει τον μέσο όρο των παραπάνω εκτιμήσεων (στα -2.6 μέτρα/χρόνο) κάτι που παρατηρείται και στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως για κάθε μία από τις 10 στατιστικές μεθόδους, οι εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, μεταβάλλοντας τις αβεβαιότητες από τα 0,5 στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παραμένουν αμετάβλητες (όπως επίσης και στην απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων οι αντίστοιχες εκτιμήσεις παρέμεναν αμετάβλητες). Ειδικότερα, η μέθοδος OLS για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζει ρυθμό μεταβολής μέσω φίλτρου Kalman της τάξης των -2.6 μέτρων/χρόνο, ενώ για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζει ρυθμό μεταβολής της τάξης των -2.57 μέτρων/χρόνο. Επομένως, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων δεν έχει επίδραση στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης (σε περιοχές της μελέτης οι οποίες εξετάστηκαν παραπάνω, όπως η περιοχή 9_THE, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων, είχε σημαντική επίδραση στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονταν μέσω του φίλτρου Kalman). Στο συγκεκριμένο σημείο έγκειται και η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης περιοχής (όπως επίσης και των περιοχών 1_LIT, 7_KAT και 8_BAR) καθώς παρουσιάζεται σταθερότητα των εκτιμήσεων που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman για την κάθε στατιστική μέθοδο ανά εφαρμογή (παρόλη τη μεταβολή των αρχικών αβεβαιοτήτων). Αντίθετα, στις περιοχές 6_BAR και 9_THE, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman επηρεάζονται σημαντικά από την κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων.

Όσον αφορά τη διασπορά των διαφόρων εκτιμήσεων του φίλτρου Kalman για κάθε μία εφαρμογή ξεχωριστά, παρατηρείται μια σχετική προσέγγιση γύρω από τους αξιόπιστους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK (ο ρυθμός της μεθόδου OLS αποτελεί ουσιαστικά ένα «μέσο όρο» σε σχέση με τις εκτιμήσεις των υπόλοιπων 9 στατιστικών μεθόδων μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης). Το παραπάνω γεγονός παρατηρήθηκε, ως προς τις εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman και στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης.

Από την παραπάνω ανάλυση θα πρέπει να εξαιρεθούν η μόνιμα αναξιόπιστη μέθοδος RLS (η οποία όπως έχει ήδη αναφερθεί υπολογίζει χαμηλούς ρυθμούς υποχώρησης στο σύνολο των εφαρμογών της συγκεκριμένης περιοχής) και οι

μέθοδοι LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης, οι οποίοι όμως αποκλίνουν σημαντικά από το γενικότερο μέσο όρο των εκτιμήσεων των υπόλοιπων μεθόδων (οι μέθοδοι LAD και WLAD υπολογίζουν σταθερά, τουλάχιστον για τις 2 πρώτες εφαρμογές του φίλτρου Kalman, ρυθμούς μεταβολής που προσεγγίζουν το -1 μέτρο/χρόνο).

- Στην περίπτωση της εφαρμογής όπου χρησιμοποιούνται χαμηλές, ενιαίες αβεβαιότητες της τάξης των ± 0.5 μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman ταυτίζονται πλήρως με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις του φίλτρου στην εφαρμογή όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας. Επίσης, οι υπολογιζόμενοι αυτοί ρυθμοί προσεγγίζουν σημαντικά (οι 7 από τους 10) τις αξιόπιστες εκτιμήσεις που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman για τις μεθόδους OLS και JK (αντίστοιχοι ρυθμοί μεταβολής της τάξης των -2.57 και -2.37 μέτρων/χρόνο). Από την παραπάνω διαδικασία σύγκρισης αποτελεσμάτων εξαιρούνται η αναξιόπιστη μέθοδος RLS μέσω της οποίας και στην παρούσα εφαρμογή για τη συγκεκριμένη περιοχή υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των - 1.18 μέτρων/χρόνο και οι μέθοδοι LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης του 1 μέτρο/χρόνο.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως στην περίπτωση ύπαρξης ιδιαίτερα χαμηλών αβεβαιοτήτων στα πρωτογενή δεδομένα, μέσω του φίλτρου Kalman είναι δυνατόν να υπολογιστούν σχετικά αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής και να προκύψουν έτσι προβλέψεις για τις μελλοντικές θέσεις της ακτογραμμής, ανεξάρτητα ποια αρχική μέθοδος θα χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A (εξαιρώντας τις συνήθως προβληματικές μεθόδους AER, RLS, LAD και WLAD). Έτσι, ορίζοντας τις αρχικές αβεβαιότητες στα ± 0.5 μέτρα/χρόνο, οι 7 από τις 10 στατιστικές μεθόδους υπολογίζουν μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, ρυθμούς υποχώρησης που σχετικά προσεγγίζουν τα -2.57 μέτρα/χρόνο.

- Από όλες τις παραπάνω συγκρίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman προκύπτει με σαφήνεια το συμπέρασμα ότι σε αρκετές περιπτώσεις (με βάση τις συγκεκριμένες μαθηματικές ρουτίνες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη) οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής του φίλτρου επηρεάζονται σημαντικά από την αρχική μέθοδο που χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Αυτό προκύπτει καθώς οι ρυθμοί μεταβολής όχι μόνον δεν συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, συγκλίνουν γύρω από μια μέση τιμή (συνήθως τον ρυθμό μεταβολής της μεθόδου OLS) και εμφανίζουν μια συστηματικότητα όσον αφορά τη γενικότερη διασπορά τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί και η εφαρμογή του φίλτρου Kalman στην περιοχή 10_NES, για αρχικές αβεβαιότητες ± 0.5 μέτρων, όπου όπως ήδη αναφέρθηκε, μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι συγκλίνουν σε μια μέση τιμή για 7 από τις 10 μεθόδους.
- Συμπερασματικά, πρέπει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη περιοχή 10_NES (η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή υψηλής υποχώρησης) τα αποτελέσματα

εφαρμογής του φίλτρου Kalman δεν επηρεάζονται σημαντικά (σε αντίθεση με τις αντίστοιχες εφαρμογές άλλων περιοχών της μελέτης όπου οι ρυθμοί μεταβολής που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman επηρεάζονται σημαντικά) όσο μειώνονται οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων. Επίσης, όταν χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη RLS ή οι συστηματικά αναξιόπιστες μέθοδοι LAD και WLAD για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A στα αρχικά στάδια εφαρμογής του φίλτρου, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία. Αυτό γίνεται ακόμη περισσότερο εμφανές όταν οι παραπάνω αναξιόπιστοι ρυθμοί συγκριθούν με τους ρυθμούς του φίλτρου Kalman που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την αξιόπιστη μέθοδο των OLS για την εκτίμηση του συντελεστή A. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα προέκυψε και στην περίπτωση μελέτης των περιοχών 1_LIT, 7_KAT, 8_BAR, 4_NES, 6_BAR και 9_THE.

Επομένως, όσον αφορά το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της μελέτης της περιοχής 10_NES, προκύπτει πως η βέλτιστη εκτίμηση (με τις μικρότερες αβεβαιότητες πρόβλεψης) της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής υπολογίζεται μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman (ενός συνθετότερο μαθηματικού εργαλείου σε σχέση με τις 10 υπάρχουσες στατιστικές μεθόδους), χρησιμοποιώντας αρχικά την μέθοδο OLS, έτσι ώστε να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια ο συντελεστής A (διαθέτοντας πρωτογενή δεδομένα με τις υψηλότερες δυνατές ακρίβειες).

Τμήμα γ (διατομές 113 έως 147) :

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους παρουσιάζονται παρακάτω, στο συγκεντρωτικό πίνακα 7a_K (οι δοκιμές Kalman παρουσιάζονται με γκρι χρώμα και αναφέρονται στο σύνολο των 34 διατομών για το συγκεκριμένο τμήμα γ της ακτογραμμής στην περιοχή 10_NES). Από τη μελέτη και τη σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 7a_K, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Για το συγκεκριμένο τμήμα γ της περιοχής 10_NES, στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου οι αβεβαιότητες έχουν οριστεί στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενικότερη, σημαντική μείωση όλων των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής σε σχέση με τις εκτιμήσεις των 10 στατιστικών μεθόδων στις αντίστοιχες εφαρμογές με τις ίδιες αβεβαιότητες. Είναι χαρακτηριστικό πως η μέθοδος EPR στην απευθείας εφαρμογή της για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -3.97 ± 1.2 μέτρων/χρόνο, ενώ μέσω φίλτρου Kalman για την αντίστοιχη εφαρμογή με τις ίδιες αβεβαιότητες υπολογίζεται ρυθμός της τάξης των -3.19 μέτρων/χρόνο. Αντίστοιχα, η μέθοδος OLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -4.01 ± 0.01 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -3.20 μέτρων/χρόνο (ενώ μέσω της μεθόδου JK υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -3.01 μέτρων/χρόνο), η μέθοδος AOR που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -3.85 ± 2.70 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -3.01 μέτρων/χρόνο και τέλος, η μέθοδος WLS που αρχικά

υπολογίζει ρυθμό της τάξης των -4.21 ± 0.08 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -3.29 μέτρων/χρόνο (ο οποίος προσεγγίζει σημαντικά την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου OLS). Παρόμοιες σημαντικές μειώσεις παρουσιάζονται στους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής και των 10 στατιστικών μεθόδων, στις εφαρμογές που χρησιμοποιείται το φίλτρο Kalman. Είναι προφανές λοιπόν πως στην παρούσα εφαρμογή, η χρήση του φίλτρου Kalman έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό μειωμένων ρυθμών υποχώρησης της ακτογραμμής οι οποίοι συγκλίνουν σημαντικά σε μια μέση τιμή υποχώρησης της τάξης των -3.20 μέτρων/χρόνο (αυτό παρατηρείται για τις μεθόδους EPR, AOR, AER, OLS, JK, WLS και RWLS των οποίων οι εκτιμήσεις σχεδόν πλέον ταυτίζονται). Έτσι, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για τις μεθόδους WLS και RWLS παρουσιάζονται και αυτοί μειωμένοι, και συγκλίνουν σημαντικά στη μέση τιμή υποχώρησης που αναφέρθηκε παραπάνω, ενώ οι εκτιμήσεις των μεθόδων RLS, LAD και WLAD (υπολογίζονται χαμηλοί ρυθμοί υποχώρησης της τάξης του -1 μέτρου/χρόνο) εξακολουθούν να κρίνονται αναξιόπιστες. Το γεγονός ότι μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης οι οποίοι συγκλίνουν τουλάχιστον στις 7 από τις 10 στατιστικές μεθόδους κρίνεται σημαντικό και αποτελεί ένα σαφές πλεονέκτημα του φίλτρου όσον αφορά τη χρήση του και την παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων (δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχο επίπεδο σύγκλισης των υπολογιζόμενων ρυθμών στην απευθείας εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων με τις ίδιες αρχικές ακρίβειες). Παρόμοια συμπεράσματα με αυτά που προέκυψαν στην παρούσα εφαρμογή του φίλτρου Kalman, στο τμήμα γ της ακτογραμμής στην περιοχή 10_NES, είχαν προκύψει και στις αντίστοιχες εφαρμογές του φίλτρου στο τμήμα α (μείωση των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής και σύγκλισή τους στην εκτίμηση της μεθόδου των OLS).

Στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια οριακή αύξηση των ρυθμών υποχώρησης που υπολογίζονται από όλες τις μεθόδους, σε σχέση με την εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, μέσω της μεθόδου των OLS υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -3.25 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου EPR -3.21 , μέσω της μεθόδου AOR -3.12 , μέσω της μεθόδου JK -3.12 , μέσω της μεθόδου WLS -3.4 , μέσω της μεθόδου RWLS -3.4 και μέσω της μεθόδου LAD ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.62 μέτρων/χρόνο. Οι αποκλίσεις των 7 συγκεκριμένων μεθόδων (EPR, AOR, AER, OLS, JK, WLS και RWLS) είναι ακόμη περισσότερο μειωμένες σε σχέση με την προηγούμενη εφαρμογή και παρατηρείται πως ο ρυθμός μεταβολής της μεθόδου των OLS προσεγγίζει τον μέσο όρο των παραπάνω εκτιμήσεων (στα -3.25 μέτρα/χρόνο) κάτι που παρατηρείται και στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως για κάθε μία από τις 10 στατιστικές μεθόδους, οι εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, μεταβάλλοντας τις αβεβαιότητες από τα 0,5 στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, προσεγγίζουν ακόμη περισσότερο μεταξύ τους (ενώ αντίθετα στην απευθείας εφαρμογή των 10

στατιστικών μεθόδων οι αντίστοιχες εκτιμήσεις παρέμεναν αμετάβλητες). Ειδικότερα, η μέθοδος OLS για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας υπολογίζει ρυθμό μεταβολής μέσω φίλτρου Kalman της τάξης των -3.20 μέτρων/χρόνο ενώ για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας υπολογίζει ρυθμό μεταβολής της τάξης των -3.25 μέτρων/χρόνο. Επομένως, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων έχει επίδραση στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης (σε περιοχές της μελέτης οι οποίες εξετάστηκαν παραπάνω, όπως η περιοχή 9_THE, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων, είχε σημαντική επίδραση στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονταν μέσω του φίλτρου Kalman). Στο συγκεκριμένο σημείο έγκειται και η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης περιοχής (όπως επίσης και των περιοχών 6_BAR και 9_THE) καθώς οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman επηρεάζονται (οριακά ή ακόμη και σημαντικά κατά περίπτωση) από την κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων. Αντίθετα, στις περιοχές 1_LIT, 7_KAT και 8_BAR παρουσιάζεται σταθερότητα των εκτιμήσεων που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman για την κάθε στατιστική μέθοδο ανά εφαρμογή (παρόλη τη μεταβολή των αρχικών αβεβαιότητων).

Όσον αφορά τη διασπορά των διαφόρων εκτιμήσεων του φίλτρου Kalman για κάθε μία εφαρμογή ξεχωριστά, παρατηρείται μια σχετική προσέγγιση γύρω από τους αξιόπιστους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK (ο ρυθμός της μεθόδου OLS αποτελεί ουσιαστικά ένα «μέσο όρο» σε σχέση με τις εκτιμήσεις των υπόλοιπων 9 στατιστικών μεθόδων μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης). Το παραπάνω γεγονός παρατηρήθηκε, ως προς τις εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, και στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης.

Από την παραπάνω ανάλυση θα πρέπει να εξαιρεθούν η μόνιμα αναξιόπιστη μέθοδος RLS (η οποία όπως έχει ήδη αναφερθεί υπολογίζει χαμηλούς ρυθμούς υποχώρησης στο σύνολο των εφαρμογών της συγκεκριμένης περιοχής) και οι μέθοδοι LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης, οι οποίοι όμως αποκλίνουν σημαντικά από τον γενικότερο μέσο όρο των εκτιμήσεων των υπόλοιπων μεθόδων (οι μέθοδοι LAD και WLAD υπολογίζουν σταθερά, τουλάχιστον για τις 2 πρώτες εφαρμογές του φίλτρου Kalman, ρυθμούς μεταβολής που προσεγγίζουν το -1 μέτρο/χρόνο).

- Στην περίπτωση της εφαρμογής όπου χρησιμοποιούνται χαμηλές, ενιαίες αβεβαιότητες της τάξης των ± 0.5 μέτρων για όλες τις ιστορικές ακτογραμμές, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman ταυτίζονται πλήρως με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις του φίλτρου στην εφαρμογή όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εξαιρώντας τις μεθόδους WLS και RWLS. Οι εκτιμήσεις των δύο μεθόδων γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη, μειώνονται οριακά και ταυτίζονται πλέον με την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου OLS στα -3.25 μέτρα/χρόνο. Έτσι, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί υποχώρησης προσεγγίζουν σημαντικά (οι 7 από τους 10) τις αξιόπιστες εκτιμήσεις που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman για τις μεθόδους OLS και JK (αντίστοιχοι ρυθμοί μεταβολής της τάξης των -3.25 και -3.12 μέτρων/χρόνο). Από την παραπάνω διαδικασία

σύγκρισης αποτελεσμάτων εξαιρούνται η αναξιόπιστη μέθοδος RLS μέσω της οποίας και στην παρούσα εφαρμογή για τη συγκεκριμένη περιοχή υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.53 μέτρων/χρόνο και οι μέθοδοι LAD και WLAD μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της τάξης του 1 μέτρου/χρόνο.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως στην περίπτωση ύπαρξης ιδιαίτερα χαμηλών αβεβαιοτήτων στα πρωτογενή δεδομένα, μέσω του φίλτρου Kalman είναι δυνατόν να υπολογιστούν σχετικά αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής και να προκύψουν έτσι προβλέψεις για τις μελλοντικές θέσεις της ακτογραμμής, ανεξάρτητα ποια αρχική μέθοδος θα χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A (εξαιρώντας τις συνήθως προβληματικές μεθόδους RLS, LAD και WLAD). Έτσι, ορίζοντας τις αρχικές αβεβαιότητες στα ± 0.5 μέτρα/χρόνο, οι 7 από τις 10 στατιστικές μεθόδους υπολογίζουν μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, ρυθμούς υποχώρησης που προσεγγίζουν τα -3.25 μέτρα/χρόνο.

Τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Αυτό προκύπτει καθώς οι ρυθμοί μεταβολής όχι μόνον δεν συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες (οι οποίες και αυτές παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την κάθε εφαρμογή και τις αρχικές αβεβαιότητες που χρησιμοποιούνται) αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συγκλίνουν γύρω από μια μέση τιμή (συνήθως τον ρυθμό μεταβολής της μεθόδου OLS) και εμφανίζουν μια συστηματικότητα όσον αφορά τη γενικότερη διασπορά τους. Χαρακτηριστικό τέτοιο παράδειγμα αποτελεί και η εφαρμογή του φίλτρου Kalman στο τμήμα γ της περιοχής 10_NES , για αρχικές αβεβαιότητες ± 0.5 μέτρων, όπου όπως ήδη αναφέρθηκε, μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι συγκλίνουν σε μια μέση τιμή για 7 από τις 10 μεθόδους.

- Συμπερασματικά, πρέπει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη περιοχή 10_NES (η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή υψηλής υποχώρησης) τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman επηρεάζονται ως ένα βαθμό (σε αντίστοιχες εφαρμογές άλλων περιοχών της μελέτης οι ρυθμοί μεταβολής που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman επηρεάζονται σημαντικά) όσο μειώνονται οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων. Επίσης, όταν χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη RLS ή οι συστηματικά αναξιόπιστες μέθοδοι LAD και WLAD για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A στα αρχικά στάδια εφαρμογής του φίλτρου, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία. Αυτό γίνεται ακόμη περισσότερο εμφανές όταν οι παραπάνω αναξιόπιστοι ρυθμοί συγκριθούν με τους ρυθμούς του φίλτρου Kalman που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την αξιόπιστη μέθοδο των OLS για την εκτίμηση του συντελεστή A . Το συγκεκριμένο συμπέρασμα προέκυψε και στην περίπτωση μελέτης των περιοχών 1_LIT , 7_KAT , 8_BAR , 4_NES , 6_BAR και 9_THE . Επομένως, όσον αφορά το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της μελέτης του τμήματος γ της περιοχής 10_NES , προκύπτει πως η βέλτιστη εκτίμηση (με τις μικρότερες αβεβαιότητες πρόβλεψης) της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής υπολογίζεται μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, χρησιμοποιώντας αρχικά τη μέθοδο

OLS, έτσι ώστε να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια ο συντελεστής A (διαθέτοντας πρωτογενή δεδομένα με τις υψηλότερες δυνατές ακρίβειες).

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες 7α_K και 7β (1, 2, 3, 4, 5 και 6) με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης όπως επίσης και τα διαγράμματα 7α και 7β στα οποία φαίνονται γραφικά οι αποκλίσεις των παραπάνω αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων και του φίλτρου Kalman.

10_NES	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 1-25) - (x0.7)	-3.48+/- 3.33	-3.29+/-4.47	-3.20	-3.57+/- 0.01	-3.29	-1.64 +/- 0.34	-3.57 +/- 0.47	-3.57 +/- 0.47	-2	-1
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 26-112) - (x0.7)	5.70 +/- 1.46	8.85+/- 3.15	3.63	5.46 +/- 0.001	5.10	-1.70 +/- 0.09	3.86 +/- 0.10	3.78+/- 0.10	-0.27	-0.28
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 113-147) - (x0.7)	-3.97+/- 1.65	-3.85+/-3.77	-3.79	-4.01+/- 0.01	-3.85	-0.66 +/- 0.17	-4.21 +/- 0.11	-4.21 +/- 0.11	-2	-1
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 1-25) - (x0.5)	-3.48 +/- 2.5	-3.29+/-3.35	-3.20	-3.57+/- 0.01	-3.29	-1.64 +/- 0.34	-3.57+/- 0.35	-3.57 +/- 0.35	-2	-1
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 26-112) - (x0.5)	5.70 +/- 1.06	8.85+/- 2.29	3.63	5.46 +/- 0.001	5.10	-1.70 +/- 0.09	3.99 +/- 0.07	3.92 +/- 0.07	-0.27	-0.28
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 113-147) - (0.5)	-3.97+/- 1.20	-3.85+/-2.70	-3.79	-4.01 +/- 0.01	-3.85	-0.66 +/- 0.17	-4.21 +/- 0.08	-4.21 +/- 0.08	-2	-1
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 1-25) - (x0.2)	-3.48 +/- 1	-3.29+/-1.34	-3.20	-3.57 +/- 0.01	-3.29	-1.64 +/- 0.34	-3.57 +/- 0.14	-3.57 +/- 0.14	-2	-1
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 26-112) - (x0.2)	5.70 +/- 0.42	8.85+/- 0.92	3.63	5.46 +/- 0.001	5.10	-1.70 +/- 0.09	3.99 +/- 0.03	3.92 +/- 0.03	-0.27	-0.28
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 113-147) - (0.2)	-3.97+/- 0.48	-3.85+/-1.08	-3.79	-4.01 +/- 0.01	-3.85	-0.66 +/- 0.17	-4.21 +/- 0.03	-4.21 +/- 0.03	-2	-1
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 1-25) - (x0.2-όχι 1969)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 26-112) - (x0.2-όχι 1969)	0.43 +/- 0.53	2.27+/- 0.69	0.62	1.43 +/- 0.002	1.66	-3.16 +/- 0.12	1.12 +/- 0.04	0.72 +/- 0.04	0.84	0.69
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 113-147) - (0.2-όχι 1969)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 1-25) - (x0.5-όχι 1995)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 26-112) - (x0.5-όχι 1995)	7.42 +/- 1.20	9.64+/- 3.20	6.41	6.55 +/- 0.002	6.02	-0.93 +/- 0.07	5.59 +/- 0.08	5.55 +/- 0.09	0.02	0.68
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 113-147) - (0.5-όχι 1995)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 1-25) (αβεβαιότητα +/-0.5m)	-3.48+/- 0.08	-3.29+/-0.11	-3.20	-3.57 +/- 0.01	-3.29	-1.64 +/- 0.34	-3.57 +/- 0.01	-3.57 +/- 0.01	-2	-1
	10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 26-112) (αβεβαιότητα +/-0.5m)	5.70 +/- 0.04	3.81+/- 0.03	3.63	5.46 +/- 0.001	5.10	-1.70 +/- 0.09	5.46 +/- 0.003	5.35 +/- 0.003	-0.27	-0.28
10 ΜΕΘΟΛΟΙ (Διατομές 113-147) (αβεβαιότητα +/-0.5m)	-3.97 +/- 0.04	-3.85+/-0.10	-3.79	-4.01 +/- 0.01	-3.85	-0.66 +/- 0.17	-4.01 +/- 0.01	-4.01 +/- 0.01	-2	-1	

ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ >-3 m/yr (Υψηλή υποχώρηση)

10_NES	K_1_F (διατομές 10,11,12) (x0.5) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-2.75 +/- 2.5	-2.87+/-1.16	-2.92	-2.70+/-0.04	-2.87	-2.93 +/- 0.40	-2.70 +/- 1.02	-2.70 +/- 1.02	-2	-1	ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ >-3 m/yr (Υψηλή υποχώρηση)
	K_1_F (διατομές 10,11,12) (x0.5) - (ο KALMAN)	-2.0	-2.1	-2.1	-1.9	-2.1	-2.1	-1.9	-1.9	-1.44	-0.72	
	K_2_F (διατομές 67,68,69) (x0.5) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	9.88 +/- 1.06	18.48+/-0.43	9.60	9.14+/- 0.01	8.13	9.89 +/- 2.87	5.64 +/- 0.38	5.64 +/- 0.38	2	-0.28	
	K_2_F (διατομές 67,68,69) (x0.5) - (ο KALMAN)	8.0	10.0	8.0	7.0	7.0	8.0	5.0	5.0	1.6	-0.23	
	K_3_F (διατομές 128,129,130) (x0.5) - (οι 10 ΜΕΘΟΔΟΙ)	-4.51 +/- 1.20	-4.25+/-0.79	-4.12	-4.62+/-0.02	-4.25	-4.17 +/- 0.38	-5.06 +/- 0.28	-5.06 +/- 0.28	-2	-1	
	K_3_F (διατομές 128,129,130) (x0.5) - (ο KALMAN)	-3.7	-3.4	-3.3	-3.7	-3.4	-3.4	-4.1	-4.1	-1.6	-0.81	
	K_4_F (διατομές 1-25) (x0.5) - (ο KALMAN)	-2.5	-2.4	-2.3	-2.6	-2.4	-1.18	-2.6	-2.6	-1.44	-0.72	
	K_4_1_F (διατομές 1-25) (x0.2) - (ο KALMAN)	-2.50	-2.37	-2.30	-2.57	-2.37	-1.18	-2.57	-2.57	-1.44	-0.72	
	K_4_2_F (διατομές 1-25) (x0.2-όχι το 1969)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	K_4_3_F (διατομές 1-25) (x0.5-όχι το 1995)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	K_4_4_F (διατομές 1-25) (αβεβαιότητες +/- 0.5m) (ο KALMAN)	-2.51	-2.37	-2.30	-2.57	-2.37	-1.18	-2.57	-2.57	-1.44	-0.72	
	K_5_F (διατομές 113-147) (x0.5) - (ο KALMAN)	-3.19	-3.01	-3.00	-3.20	-3.01	-0.53	-3.29	-3.29	-1.61	-0.8	
	K_5_1_F (διατομές 113-147) (x0.2) - (ο KALMAN)	-3.21	-3.12	-3.07	-3.25	-3.12	-0.53	-3.4	-3.4	-1.62	-0.81	
	K_5_2_F (διατομές 113-147) (x0.2-όχι το 1969)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	K_5_3_F (διατομές 113-147) (x0.5-όχι το 1995)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
K_5_4_F (διατομές 113-147) (αβεβαιότητες +/- 0.5m) (ο KALMAN)	-3.21	-3.12	-3.07	-3.25	-3.12	-0.53	-3.25	-3.25	-1.62	-0.81		

Πίνακας 7α_K : Παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων (λευκά κελιά) όπως επίσης και του φίλτρου Kalman (γκρι κελιά), στην περιοχή 10_NES.

(10_NES) Δέλτα του Νέστου, (14700 m) (αβεβαιότητες x0.5)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ - ΔΙΑΤΟΜΕΣ 1 ΕΩΣ 25)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -3.48 +/- 2.5 m/yr	- 2.5 m/yr	- 28.16 %
AOR : -3.29 +/- 3.35 m/yr (3 συνδυασμοί)	- 2.4 m/yr	- 27.05 %
AER : -3.20 m/yr	- 2.3 m/yr	- 28.13 %
OLS : -3.57 +/- 0.01 m/yr	- 2.6 m/yr	- 27.17 %
Jackknife: -3.29 m/yr	- 2.4 m/yr	- 27.05 %
RLS : -1.64 +/- 0.34 m/yr	- 1.18 m/yr	- 28.05 %
WLS : -3.57 +/- 0.35 m/yr	- 2.6 m/yr	- 27.17 %
RWLS : -3.57 +/- 0.35 m/yr	- 2.6 m/yr	- 27.17 %
LAD : -2 m/yr	- 1.44 m/yr	- 6.5 %
WLAD : -1 m/yr	- 0.72 m/yr	-28%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -174 +/- 125 m	- 125 m	- 28.16 %
AOR : -164.5 +/- 167.5 m	- 120 m	- 27.05 %
AER : -160 m	- 115 m	- 28.13 %
OLS : -178.5 +/- 0.5 m	- 130 m	- 27.17 %
Jackknife: -164.5 m	- 120 m	- 27.05 %
RLS : -82 +/- 17 m	- 59 m	- 28.05 %
WLS : -178.5 +/- 17.5 m	- 130 m	- 27.17 %
RWLS : -178.5 +/- 17.5 m	- 130 m	- 27.17 %
LAD : -100 m	- 72 m	- 6.5 %
WLAD : -50 m	- 36 m	-28%

(10_NES) Δέλτα του Νέστου, (14700 m) (αβεβαιότητες x0.2)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ - ΔΙΑΤΟΜΕΣ 1 ΕΩΣ 25)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -3.48 +/- 1 m/yr	- 2.50 m/yr	- 28.16 %
AOR : -3.29 +/- 1.34 m/yr (3 συνδυασμοί)	- 2.37 m/yr	- 27.96 %
AER : -3.20 m/yr	- 2.30 m/yr	- 28.13 %
OLS : -3.57 +/- 0.01 m/yr	- 2.57 m/yr	- 28.01 %
Jackknife : -3.29 m/yr	- 2.37 m/yr	- 27.96 %
RLS : -1.64 +/- 0.34 m/yr	- 1.18 m/yr	- 28.05 %
WLS : -3.57 +/- 0.14 m/yr	- 2.57 m/yr	- 28.01 %
RWLS : -3.57 +/- 0.14 m/yr	- 2.57 m/yr	- 28.01 %
LAD : -2 m/yr	- 1.44 m/yr	-28%
WLAD : -1 m/yr	- 0.72 m/yr	-28%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -174 +/- 50 m	- 125 m	- 28.16 %
AOR : -164.5 +/- 67 m	- 118.5 m	- 27.96 %
AER : -160 m	- 115 m	- 28.13 %
OLS : -178.5 +/- 0.5 m	- 128.5 m	- 28.01 %
Jackknife : -164.5 m	- 118.5 m	- 27.96 %
RLS : -82 +/- 17 m	- 59 m	- 28.05 %
WLS : -178.5 +/- 7 m	- 128.5 m	- 28.01 %
RWLS : -178.5 +/- 7 m	- 128.5 m	- 28.01 %
LAD : -100 m/yr	- 72 m/yr	-28%
WLAD : -50 m/yr	- 36 m/yr	-28%

Πίνακες 7β_1 και 7β_2 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 10_NES, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 και των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

(10_NES) Δέλτα του Νέστου, (14700 m) (αβεβαιότητες +/- 0.5m)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ - ΔΙΑΤΟΜΕΣ 1 ΕΩΣ 25)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -3.48 +/- 0.08 m/yr	- 2.51 m/yr	- 27.87 %
AOR : -3.29 +/- 0.11 m/yr (3 συνδυασμοί)	- 2.37 m/yr	- 27.96 %
AER : -3.20 m/yr	- 2.30 m/yr	- 28.13 %
OLS : -3.57 +/- 0.01 m/yr	- 2.57 m/yr	- 28.01 %
Jackknife : -3.29 m/yr	- 2.37 m/yr	- 27.96 %
RLS : -1.64 +/- 0.34 m/yr	- 1.18 m/yr	- 28.05 %
WLS : -3.57 +/- 0.01 m/yr	- 2.57 m/yr	- 28.01 %
RWLS : -3.57 +/- 0.01 m/yr	- 2.57 m/yr	- 28.01 %
LAD : -2 m/yr	- 1.44 m/yr	-28%
WLAD : -1 m/yr	- 0.72 m/yr	-28%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -174 +/- 4 m	- 125.5 m	- 27.87 %
AOR : -164.5 +/- 5.5 m	- 118.5 m	- 27.96 %
AER : -160 m	- 115 m	- 28.13 %
OLS : -178.5 +/- 0.5 m	- 128.5 m	- 28.01 %
Jackknife : -164.5 m	- 118.5 m	- 27.96 %
RLS : -82 +/- 17 m	- 59 m	- 28.05 %
WLS : -178.5 +/- 0.5 m	- 128.5 m	- 28.01 %
RWLS : -178.5 +/- 0.5 m	- 128.5 m	- 28.01 %
LAD : -100 m	- 72 m	-28%
WLAD : -50 m	- 36 m	-28%

(10_NES) Δέλτα του Νέστου, (14700 m) (αβεβαιότητες x0.5)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ - ΔΙΑΤΟΜΕΣ 113 ΕΩΣ 147)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -3.97 +/- 1.20 m/yr	-3.19 m/yr	- 19.65 %
AOR : -3.85 +/- 2.70 m/yr (3 συνδυασμοί)	-3.01 m/yr	- 21.82 %
AER : -3.79 m/yr	-3.00 m/yr	- 20.85 %
OLS : -4.01 +/- 0.01 m/yr	-3.20 m/yr	- 20.20 %
Jackknife : -3.85 m/yr	-3.01 m/yr	- 21.82 %
RLS : -0.66 +/- 0.17 m/yr	-0.53 m/yr	- 19.70 %
WLS : -4.21 +/- 0.08 m/yr	-3.29 m/yr	- 21.85 %
RWLS : -4.21 +/- 0.08 m/yr	-3.29 m/yr	- 21.85 %
LAD : -2 m/yr	-1.61 m/yr	- 19.5 %
WLAD : -1 m/yr	-0.8 m/yr	-20%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -198.5 +/- 60 m	-159.5 m	- 19.65 %
AOR : -192.5 +/- 135 m	-150.5 m	- 21.82 %
AER : -189.5 m	-150 m	- 20.85 %
OLS : -200.5 +/- 0.5 m	-160 m	- 20.20 %
Jackknife : -192.5 m	-150.5 m	- 21.82 %
RLS : -33 +/- 8.5 m	-26.5 m	- 19.70 %
WLS : -210.5 +/- 4 m	-164.5 m	- 21.85 %
RWLS : -210.5 +/- 4 m	-164.5 m	- 21.85 %
LAD : -100 m	-80.5 m	- 19.5 %
WLAD : -50 m	-40 m	-20%

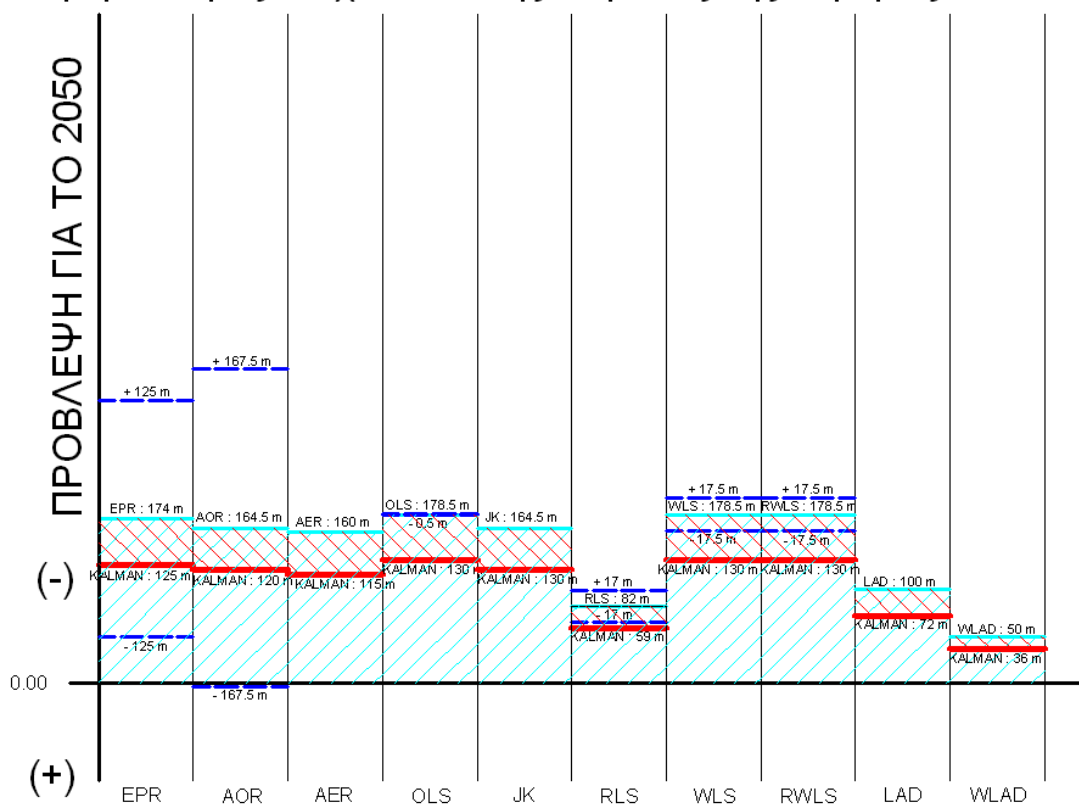
Πίνακες 7β_3 και 7β_4 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 10_NES, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά).

(10_NES) Δέλτα του Νέστου, (14700 m) (αβεβαιότητες x0.2)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ - ΔΙΑΤΟΜΕΣ 113 ΕΩΣ 147)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -3.97 +/- 0.48 m/yr	- 3.21 m/yr	- 19.14 %
AOR : -3.85 +/- 1.08 m/yr (3 συνδυασμοί)	- 3.12 m/yr	- 18.96 %
AER : -3.79 m/yr	- 3.07 m/yr	-19%
OLS : -4.01 +/- 0.01 m/yr	- 3.25 m/yr	- 18.95 %
Jackknife : -3.85 m/yr	- 3.12 m/yr	- 18.96 %
RLS : -0.66 +/- 0.17 m/yr	- 0.53 m/yr	- 19.70 %
WLS : -4.21 +/- 0.03 m/yr	- 3.4 m/yr	- 19.24 %
RWLS : -4.21 +/- 0.03 m/yr	- 3.4 m/yr	- 19.24 %
LAD : -2 m/yr	- 1.62 m/yr	-19%
WLAD : -1 m/yr	- 0.81 m/yr	-19%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -198.5 +/- 24 m	- 160.5 m	- 19.14 %
AOR : -192.5 +/- 54 m	- 156 m	- 18.96 %
AER : -189.5 m	- 153.5 m	-19%
OLS : -200.5 +/- 0.5 m	- 162.5 m	- 18.95 %
Jackknife : -192.5 m	- 156 m	- 18.96 %
RLS : -33 +/- 8.5 m	- 26.5 m	- 19.70 %
WLS : -210.5 +/- 1.5 m	- 170 m	- 19.24 %
RWLS : -210.5 +/- 1.5 m	- 170 m	- 19.24 %
LAD : -100 m	- 81 m	-19%
WLAD : -50 m	- 40.5 m	-19%

(10_NES) Δέλτα του Νέστου, (14700 m) (αβεβαιότητες +/- 0.5m)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ - ΔΙΑΤΟΜΕΣ 113 ΕΩΣ 147)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -3.97 +/- 0.04 m/yr	- 3.21 m/yr	- 19.14 %
AOR : -3.85 +/- 0.10 m/yr (3 συνδυασμοί)	- 3.12 m/yr	- 18.96 %
AER : -3.79 m/yr	- 3.07 m/yr	-19%
OLS : -4.01 +/- 0.01 m/yr	- 3.25 m/yr	- 18.95 %
Jackknife : -3.85 m/yr	- 3.12 m/yr	- 18.96 %
RLS : -0.66 +/- 0.17 m/yr	- 0.53 m/yr	- 19.70 %
WLS : -4.01 +/- 0.01 m/yr	- 3.25 m/yr	- 18.95 %
RWLS : -4.01 +/- 0.01 m/yr	- 3.25 m/yr	- 18.95 %
LAD : -2 m/yr	- 1.62 m/yr	-19%
WLAD : -1 m/yr	- 0.81 m/yr	-19%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : -198.5 +/- 2 m	- 160.5 m	- 19.14 %
AOR : -192.5 +/- 5 m	- 156 m	- 18.96 %
AER : -189.5 m	- 153.5 m	-19%
OLS : -200.5 +/- 0.5 m	- 162.5 m	- 18.95 %
Jackknife : -192.5 m	- 156 m	- 18.96 %
RLS : -33 +/- 8.5 m	- 26.5 m	- 19.70 %
WLS : -200.5 +/- 0.5 m	- 162.5 m	- 18.95 %
RWLS : -200.5 +/- 0.5 m	- 162.5 m	- 18.95 %
LAD : -100 m/yr	- 81 m	-19%
WLAD : -50 m/yr	- 40.5 m	-19%

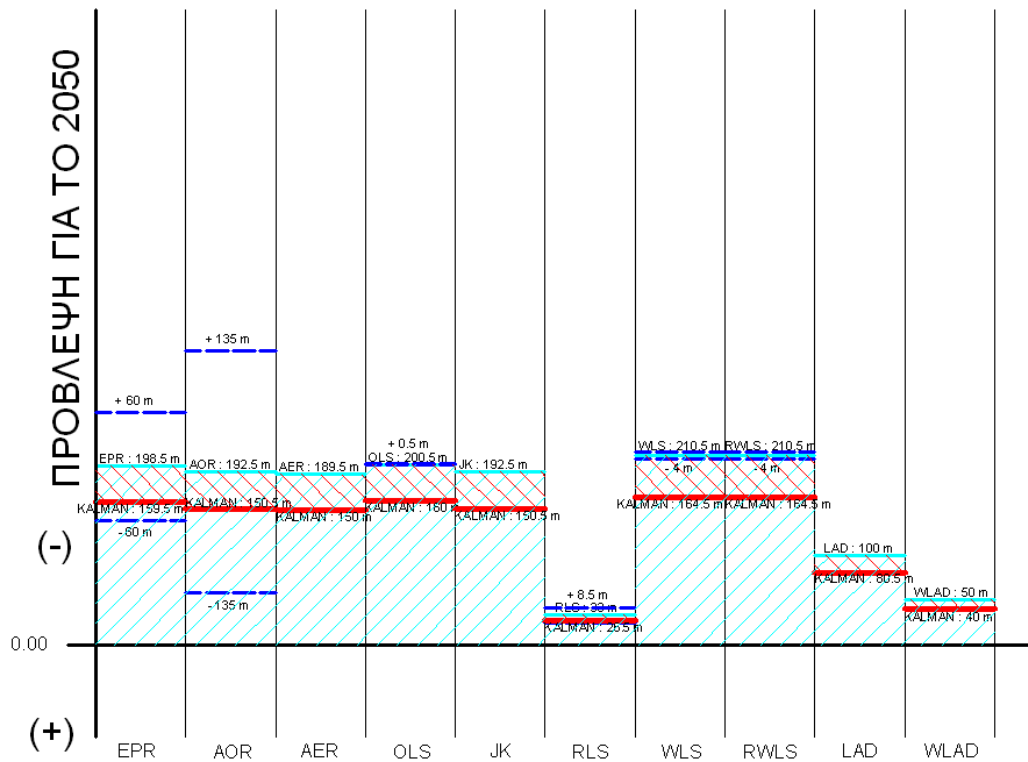
Πίνακες 7β_5 και 7β_6 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 10_NES, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά).

Περιοχή μελέτης : 10_NES (Νέστος, 14700m, διατομές 1-25)
 Αβεβαιότητες : 5 χιλιοστά της κλίμακας της αερ/φίας



Διάγραμμα 7α : Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται γραφικά οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων (κυανό χρώμα) με τα αντίστοιχα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman (κόκκινο χρώμα), στην περιοχή μελέτης 10_NES (για τις διατομές 1 έως 25). Με μπλε διακεκομμένες γραμμές φαίνονται τα επίπεδα αβεβαιότητας πρόβλεψης για την κάθε μία από τις 10 μεθόδους.

Περιοχή μελέτης : 10_NES (Νέστος, 14700m, διατομές 113-147)
 Αβεβαιότητες : 5 χιλιοστά της κλίμακας της αερ/φίας



Διάγραμμα 7β : Στο παραπάνω διάγραμμα παρουσιάζονται γραφικά οι αποκλίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων (κυανό χρώμα) με τα αντίστοιχα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman (κόκκινο χρώμα), στην περιοχή μελέτης 10_NES (για τις διατομές 113 έως 147). Με μπλε διακεκομμένες γραμμές φαίνονται τα επίπεδα αβεβαιότητας πρόβλεψης για την κάθε μία από τις 10 μεθόδους.

5.2.8

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	2_KAT
ΧΑΜΗΛΗ ΠΡΟΣΧΩΣΗ (0 έως +1 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Οι δοκιμές των 10 μεθόδων σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 2_KAT είναι οι παρακάτω (συνολικά 2) :

- Η δοκιμή Kalman K_1_F, (45 διατομές – συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_2_F, (45 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,2).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους παρουσιάζονται παρακάτω, στο συγκεντρωτικό πίνακα 8α_K (οι δοκιμές Kalman παρουσιάζονται με γκρι χρώμα και αναφέρονται στο σύνολο των 45 διατομών για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής στην περιοχή 2_KAT). Στη συγκεκριμένη περιοχή χαμηλής πρόσχωσης (όπως και στην 5_KAT) κρίθηκε σκόπιμο να εκτελεστούν μόνο δύο εφαρμογές λόγω της σχετικά σταθερής ακτογραμμής (δεν απειλούνται εδάφη). Από τη μελέτη και τη σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 8α_K, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Για τη συγκεκριμένη περιοχή 2_KAT, στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου οι αβεβαιότητες έχουν οριστεί στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενικότερη σταθερότητα όλων των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής σε σχέση με τις εκτιμήσεις των 10 στατιστικών μεθόδων στις αντίστοιχες εφαρμογές με τις ίδιες αβεβαιότητες. Είναι χαρακτηριστικό πως η μέθοδος EPR στην απευθείας εφαρμογή της για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης της τάξης των $+0.01 \pm 0.41$ μέτρων/χρόνο, ενώ μέσω φίλτρου Kalman για την αντίστοιχη εφαρμογή με τις ίδιες αβεβαιότητες υπολογίζεται ρυθμός της τάξης των $+0.01$ μέτρων/χρόνο. Αντίστοιχα, η μέθοδος OLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό οριακής υποχώρησης της τάξης των -0.06 ± 0.003 μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό υποχώρησης της τάξης των -0.06 μέτρων/χρόνο (ενώ μέσω της μεθόδου JK υπολογίζεται ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.001$ μέτρων/χρόνο), η μέθοδος AOR που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των $+ 0.16 \pm 1.91$ μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης (ελαφρά μειωμένο) της τάξης των $+0.16$ μέτρων/χρόνο και τέλος, η μέθοδος WLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των $+0.01 \pm 0.04$ μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης της τάξης των $+0.01$ μέτρων/χρόνο (ο οποίος στην συγκεκριμένη περίπτωση, δεν ταυτίζεται απόλυτα με την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου OLS). Παρόμοιες οριακές μειώσεις παρουσιάζονται σε υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής των στατιστικών μεθόδων, στις εφαρμογές που χρησιμοποιείται το

φίλτρο Kalman. Είναι προφανές λοιπόν πως στην παρούσα εφαρμογή, η χρήση του φίλτρου Kalman έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό σταθερών ή ελάχιστα μειωμένων ρυθμών πρόσχωσης της ακτογραμμής οι οποίοι συγκλίνουν σημαντικά σε μια μέση τιμή πρόσχωσης της τάξης των $+0.01$ μέτρων/χρόνο (αυτό παρατηρείται και για τις 10 στατιστικές μεθόδους, συμπεριλαμβάνοντας και τις προβληματικές μεθόδους LAD και WLAD, των οποίων οι εκτιμήσεις σχεδόν πλέον ταυτίζονται).

Έτσι, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για τις μεθόδους WLS και RWLS παρουσιάζονται και αυτοί σταθεροί και ταυτίζονται με τη μέση τιμή πρόσχωσης που αναφέρθηκε παραπάνω, ενώ οι εκτιμήσεις των μεθόδων RLS, LAD και WLAD εξακολουθούν να παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις ως προς τη μέση τιμή, σε σχέση με τις υπόλοιπες στατιστικές μεθόδους, οι οποίες όμως είναι χαρακτηριστικά μειωμένες στην παρούσα εφαρμογή. Το γεγονός ότι μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης οι οποίοι συγκλίνουν για την πλειοψηφία των στατιστικών μεθόδων κρίνεται σημαντικό και αποτελεί ένα σαφές πλεονέκτημα του φίλτρου όσον αφορά τη χρήση του και την παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων (δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχο επίπεδο σύγκλισης των υπολογιζόμενων ρυθμών στην απευθείας εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων με τις ίδιες αρχικές ακρίβειες).

Στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενική σταθερότητα των ρυθμών υποχώρησης που υπολογίζονται από όλες τις μεθόδους, σε σχέση με την εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, μέσω της μεθόδου των OLS υπολογίζεται και εδώ ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.06 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου EPR ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.01$ μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου AOR $+0.15$, μέσω της μεθόδου JK $+0.001$, μέσω της μεθόδου WLS $+0.01$, μέσω της μεθόδου RWLS $+0.01$ και μέσω της μεθόδου LAD ρυθμός οριακής υποχώρησης της τάξης των -0.06 μέτρων/χρόνο. Οι αποκλίσεις των 7 συγκεκριμένων μεθόδων (EPR, AOR, OLS, JK, WLS, RWLS και LAD) είναι ακριβώς οι ίδιες σε σχέση με την προηγούμενη εφαρμογή και παρατηρείται πως ρυθμός μεταβολής της μεθόδου των JK προσεγγίζει τον μέσο όρο των παραπάνω εκτιμήσεων (στα $+0.001$ μέτρα/χρόνο) κάτι που παρατηρείται και στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 5 χιλιοστών της κλίμακας.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως για κάθε μία από τις 10 στατιστικές μεθόδους, οι εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, μεταβάλλοντας τις αβεβαιότητες από τα 5 στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παραμένουν αμετάβλητες (όπως επίσης και στην απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων οι αντίστοιχες εκτιμήσεις παρέμεναν αμετάβλητες). Ειδικότερα, η μέθοδος OLS για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας υπολογίζει ρυθμό μεταβολής μέσω φίλτρου Kalman της τάξης των -0.06 μέτρων/χρόνο ενώ για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας εξακολουθεί να υπολογίζει ρυθμό μεταβολής της τάξης των -0.06 μέτρων/χρόνο. Επομένως, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων δεν έχει επίδραση στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου

Kalman στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης (σε περιοχές της μελέτης οι οποίες εξετάστηκαν παραπάνω, όπως η περιοχή 9_THE, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων, είχε σημαντική επίδραση στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονταν μέσω του φίλτρου Kalman). Στο συγκεκριμένο σημείο έγκειται και η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης περιοχής (όπως επίσης και των περιοχών 1_LIT, 7_KAT και 8_BAR) καθώς παρουσιάζεται σταθερότητα των εκτιμήσεων που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman για την κάθε στατιστική μέθοδο ανά εφαρμογή (παρόλη την μεταβολή των αρχικών αβεβαιοτήτων). Αντίθετα, στις περιοχές 6_BAR και 9_THE, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman επηρεάζονται σημαντικά από την κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων.

Όσον αφορά τη διασπορά των διαφόρων εκτιμήσεων του φίλτρου Kalman για κάθε μία εφαρμογή ξεχωριστά, παρατηρείται μια σχετική προσέγγιση γύρω από τους αξιόπιστους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK (ο οριακός ρυθμός πρόσχωσης της μεθόδου JK στην παρούσα εφαρμογή αποτελεί ουσιαστικά ένα «μέσο όρο» σε σχέση με τις εκτιμήσεις των υπόλοιπων 9 στατιστικών μεθόδων μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί οριακής υποχώρησης ή οριακής πρόσχωσης). Το παραπάνω γεγονός παρατηρήθηκε, ως προς τις εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, και στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης.

- Από όλες τις παραπάνω συγκρίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman προκύπτει με σαφήνεια το συμπέρασμα ότι σε αρκετές περιπτώσεις (με βάση τις συγκεκριμένες μαθηματικές ρουτίνες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη) οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής του φίλτρου επηρεάζονται σημαντικά από την αρχική μέθοδο που χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Αυτό προκύπτει καθώς οι ρυθμοί μεταβολής όχι μόνον δεν συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες (οι οποίες και αυτές παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την κάθε εφαρμογή και τις αρχικές αβεβαιότητες που χρησιμοποιούνται) αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συγκλίνουν γύρω από μια μέση τιμή (συνήθως τον ρυθμό μεταβολής της μεθόδου OLS ή της μεθόδου JK) και εμφανίζουν μια συστηματικότητα όσον αφορά τη γενικότερη διασπορά τους.
- Συμπερασματικά, πρέπει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη περιοχή 2_KAT (η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή ήπιας πρόσχωσης), τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman δεν επηρεάζονται (σε αντίθεση με τις αντίστοιχες εφαρμογές άλλων περιοχών της μελέτης όπου οι ρυθμοί μεταβολής που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman επηρεάζονται σημαντικά) όσο μειώνονται οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων. Επίσης, όταν χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη RLS ή οι συστηματικά αναξιόπιστες μέθοδοι LAD και WLAD για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A στα αρχικά στάδια εφαρμογής του φίλτρου, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία. Αυτό γίνεται ακόμη περισσότερο εμφανές όταν οι παραπάνω αναξιόπιστοι ρυθμοί συγκριθούν με τους ρυθμούς του φίλτρου Kalman που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την

αξιόπιστη μέθοδο των OLS για την εκτίμηση του συντελεστή A. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα προέκυψε και στην περίπτωση μελέτης των περιοχών 1_LIT, 7_KAT, 8_BAR, 4_NES, 6_BAR, 9_THE και 10 NES.

Επομένως, όσον αφορά το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της μελέτης της περιοχής 2_KAT, προκύπτει πως η βέλτιστη εκτίμηση (με τις μικρότερες αβεβαιότητες πρόβλεψης) της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής υπολογίζεται μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, χρησιμοποιώντας αρχικά την μέθοδο JK, έτσι ώστε να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια ο συντελεστής A (διαθέτοντας πρωτογενή δεδομένα με τις υψηλότερες δυνατές ακρίβειες).

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες 8α_K και 8β (1 και 2) με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης όσον αφορά την εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων και το φίλτρο Kalman.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΟΙ 10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (m/yr)										ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
		ΜΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ		ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΡΗ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ		
		EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD	
2_KAT	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	0.01 +/- 0.54	0.16 +/- 2.66	0.18	-0.06 +/- 0.003	0.001	0.05 +/- 0.04	0.01 +/- 0.06	0.01 +/- 0.06	-0.07	-0.02	ΠΡΟΣΧΩΣΗ 0 ΕΩΣ +1 m/yr (Χαμηλή πρόσγωση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	0.01 +/- 0.41	0.16 +/- 1.91	0.18	-0.06 +/- 0.003	0.001	0.05 +/- 0.04	0.01 +/- 0.04	0.01 +/- 0.04	-0.07	-0.02	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	0.01 +/- 0.16	0.16 +/- 0.76	0.18	-0.06 +/- 0.003	0.001	0.05 +/- 0.04	0.01 +/- 0.02	0.01 +/- 0.02	-0.07	-0.02	
	K_1_F (Όλες οι διατομές) (x0.5) - (KALMAN)	0.01	0.15	0.16	-0.06	0.001	0.05	0.01	0.01	-0.06	-0.02	
	K_2_F (Όλες οι διατομές) (x0.2) - (KALMAN)	0.01	0.15	0.16	-0.06	0.001	0.05	0.01	0.01	-0.06	-0.02	

Πίνακας 8α_K : Παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων (λευκά κελιά) όπως επίσης και του φίλτρου Kalman (γκρι κελιά), στην περιοχή 2_KAT.

(2_KAT) Κατερίνη Πιερίας, (2250 m) (Αβεβαιότητες x0.5)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ 48 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.01 +/- 0.41 m/yr	0.01 m/yr	0%
AOR : 0.16 +/- 1.91 m/yr (4 συνδυασμοί)	0.15 m/yr	- 6.25 %
AER : 0.18 m/yr	0.16 m/yr	- 11.11 %
OLS : -0.06 +/- 0.003 m/yr	-0.06 m/yr	0%
Jackknife : 0.001 m/yr	0.001 m/yr	0%
RLS : 0.05 +/- 0.04 m/yr	0.05 m/yr	0%
WLS : 0.01 +/- 0.04 m/yr	0.01 m/yr	0%
RWLS : 0.01 +/- 0.04 m/yr	0.01 m/yr	0%
LAD : -0.07 m/yr	- 0.06 m/yr	- 14.29 %
WLAD : -0.02 m/yr	-0.02 m/yr	0%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.5 +/- 20.5 m	0.5 m	0%
AOR : 8 +/- 95.5 m	7.5 m	- 6.25 %
AER : 9 m	8 m	- 11.11 %
OLS : -3 +/- 0.15 m	-3 m	0%
Jackknife : 0.05 m	0.05 m	0%
RLS : 2.5 +/- 2 m	2.5 m	0%
WLS : 0.5 +/- 2 m	0.5 m	0%
RWLS : 0.5 +/- 2 m	0.5 m	0%
LAD : -3.5 m	- 3 m	- 14.29 %
WLAD : -1 m	-1 m	0%

(2_KAT) Κατερίνη Πιερίας, (2250 m) (Αβεβαιότητες x0.2)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ 48 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.01 +/- 0.16 m/yr	0.01 m/yr	0%
AOR : 0.16 +/- 0.76 m/yr (4 συνδυασμοί)	0.15 m/yr	- 6.25 %
AER : 0.18 m/yr	0.16 m/yr	- 11.11 %
OLS : -0.06 +/- 0.003 m/yr	- 0.06 m/yr	0%
Jackknife : 0.001 m/yr	0.001 m/yr	0%
RLS : 0.05 +/- 0.04 m/yr	0.05 m/yr	0%
WLS : 0.01 +/- 0.02 m/yr	0.01 m/yr	0%
RWLS : 0.01 +/- 0.02 m/yr	0.01 m/yr	0%
LAD : -0.07 m/yr	- 0.06 m/yr	- 14.29 %
WLAD : -0.02 m/yr	-0.02 m/yr	0%
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.5 +/- 8 m	0.5 m	0%
AOR : 8 +/- 38 m	7.5 m	- 6.25 %
AER : 9 m	8 m	- 11.11 %
OLS : -3 +/- 0.15 m	- 3 m	0%
Jackknife : 0.05 m	0.05 m	0%
RLS : 2.5 +/- 2 m	2.5 m	0%
WLS : 0.5 +/- 1 m	0.5 m	0%
RWLS : 0.5 +/- 1 m	0.5 m	0%
LAD : -3.5 m	- 3 m	- 14.29 %
WLAD : -1 m	-1 m	0%

Πίνακες 8β_1 και 8β_2 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 2_KAT, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 και των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

5.2.9

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	5_KAT
ΧΑΜΗΛΗ ΠΡΟΣΧΩΣΗ (0 έως +1 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Οι δοκιμές των 10 μεθόδων σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 5_KAT είναι οι παρακάτω (συνολικά 2) :

- Η δοκιμή Kalman K_1_F, (61 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_2_F, (61 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,2).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους παρουσιάζονται παρακάτω, στο συγκεντρωτικό πίνακα 9α_K (οι δοκιμές Kalman παρουσιάζονται με γκρι χρώμα και αναφέρονται στο σύνολο των 61 διατομών για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής στην περιοχή 5_KAT). Από τη μελέτη και τη σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του πίνακα 9α_K, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Για τη συγκεκριμένη περιοχή 5_KAT, στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου οι αβεβαιότητες έχουν οριστεί στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενικότερη, περιορισμένη μείωση όλων των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής σε σχέση με τις εκτιμήσεις των 10 στατιστικών μεθόδων στις αντίστοιχες εφαρμογές με τις ίδιες αβεβαιότητες. Είναι χαρακτηριστικό πως η μέθοδος EPR στην απευθείας εφαρμογή της για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης της τάξης των $+0.41 \pm 0.64$ μέτρων/χρόνο, ενώ μέσω φίλτρου Kalman για την αντίστοιχη εφαρμογή με τις ίδιες αβεβαιότητες υπολογίζεται ρυθμός της τάξης των $+0.37$ μέτρων/χρόνο. Αντίστοιχα, η μέθοδος OLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό οριακής πρόσχωσης της τάξης των $+0.10 \pm 0.002$ μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης της τάξης των $+0.09$ μέτρων/χρόνο (ενώ μέσω της μεθόδου JK υπολογίζεται ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.04$ μέτρων/χρόνο), η μέθοδος AOR που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των $+0.17 \pm 2.15$ μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης (ελαφρά μειωμένο) της τάξης των $+0.15$ μέτρων/χρόνο και τέλος, η μέθοδος WLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των $+0.28 \pm 0.05$ μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης της τάξης των $+0.25$ μέτρων/χρόνο (ο οποίος στη συγκεκριμένη περίπτωση, προσεγγίζει ακόμη περισσότερο την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου OLS). Είναι προφανές λοιπόν πως στην παρούσα εφαρμογή, η χρήση του φίλτρου Kalman έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό σταθερών ή ελάχιστα μειωμένων ρυθμών πρόσχωσης της ακτογραμμής οι οποίοι συγκλίνουν πλέον ακόμη περισσότερο σε

μια μέση τιμή πρόσχωσης της τάξης των +0.09 μέτρων/χρόνο (αυτό παρατηρείται σε μικρότερο βαθμό και στις απευθείας εφαρμογές των 10 στατιστικών μεθόδων).

Έτσι, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για τις μεθόδους WLS και RWLS παρουσιάζονται και αυτοί ελαφρά μειωμένοι, προσεγγίζοντας τη μέση τιμή πρόσχωσης που αναφέρθηκε παραπάνω, ενώ οι εκτιμήσεις των μεθόδων RLS, LAD και WLAD εξακολουθούν να παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες αποκλίσεις ως προς τη μέση τιμή, σε σχέση με τις υπόλοιπες στατιστικές μεθόδους. Το γεγονός ότι μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης οι οποίοι συγκλίνουν για την πλειοψηφία των στατιστικών μεθόδων κρίνεται σημαντικό και αποτελεί ένα σαφές πλεονέκτημα του φίλτρου όσον αφορά τη χρήση του και την παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων (δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχο επίπεδο σύγκλισης των υπολογιζόμενων ρυθμών στην απευθείας εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων με τις ίδιες αρχικές ακρίβειες).

Στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενική σταθερότητα των ρυθμών υποχώρησης που υπολογίζονται από όλες τις μεθόδους, σε σχέση με την εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, μέσω της μεθόδου των OLS υπολογίζεται και εδώ ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +0.09 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου EPR ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +0.36 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου AOR +0.15, μέσω της μεθόδου JK +0.04, μέσω της μεθόδου WLS +0.25, μέσω της μεθόδου RWLS +0.25 και μέσω της μεθόδου LAD ρυθμός υψηλής πρόσχωσης της τάξης των +1.58 μέτρων/χρόνο. Οι αποκλίσεις των 7 συγκεκριμένων μεθόδων (EPR, AOR, OLS, JK, WLS, RWLS και LAD) είναι ακριβώς οι ίδιες σε σχέση με την προηγούμενη εφαρμογή και παρατηρείται πως ρυθμός μεταβολής της μεθόδου των OLS προσεγγίζει τον μέσο όρο των παραπάνω εκτιμήσεων κάτι που παρατηρείται και στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως για κάθε μία από τις 10 στατιστικές μεθόδους, οι εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, μεταβάλλοντας τις αβεβαιότητες από τα 5 στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παραμένουν αμετάβλητες (όπως επίσης και στην απευθείας εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων οι αντίστοιχες εκτιμήσεις παρέμεναν αμετάβλητες). Ειδικότερα, η μέθοδος OLS για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας υπολογίζει ρυθμό μεταβολής μέσω φίλτρου Kalman της τάξης των +0.09 μέτρων/χρόνο ενώ για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας εξακολουθεί να υπολογίζει ρυθμό μεταβολής της τάξης των +0.09 μέτρων/χρόνο. Επομένως, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων δεν έχει επίδραση στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman στην συγκεκριμένη περιοχή μελέτης (σε περιοχές της μελέτης οι οποίες εξετάστηκαν παραπάνω, όπως η περιοχή 9_THE, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων, είχε σημαντική επίδραση στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονταν μέσω του φίλτρου Kalman). Στο συγκεκριμένο σημείο έγκειται και η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης περιοχής (όπως επίσης

και των περιοχών 1_LIT, 7_KAT και 8_BAR) καθώς παρουσιάζεται σταθερότητα των εκτιμήσεων που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman για την κάθε στατιστική μέθοδο ανά εφαρμογή (παρόλη την μεταβολή των αρχικών αβεβαιοτήτων). Αντίθετα, στις περιοχές 6_BAR και 9_THE, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman επηρεάζονται σημαντικά από την κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων.

Όσον αφορά τη διασπορά των διαφόρων εκτιμήσεων του φίλτρου Kalman για κάθε μία εφαρμογή ξεχωριστά, παρατηρείται μια σχετική προσέγγιση γύρω από τους αξιόπιστους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK (ο οριακός ρυθμός πρόσχωσης της μεθόδου OLS στην παρούσα εφαρμογή αποτελεί ουσιαστικά ένα «μέσο όρο» σε σχέση με τις εκτιμήσεις των υπόλοιπων 6 στατιστικών μεθόδων (εξαιρούνται οι προβληματικές μέθοδοι RLS, LAD και WLAD) μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί πρόσχωσης). Το παραπάνω γεγονός παρατηρήθηκε, ως προς τις εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, και στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης.

- Από όλες τις παραπάνω συγκρίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman προκύπτει με σαφήνεια το συμπέρασμα ότι σε αρκετές περιπτώσεις (με βάση τις συγκεκριμένες μαθηματικές ρουτίνες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη) οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής του φίλτρου επηρεάζονται σημαντικά από την αρχική μέθοδο που χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Αυτό προκύπτει καθώς οι ρυθμοί μεταβολής όχι μόνον δεν συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες (οι οποίες και αυτές παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την κάθε εφαρμογή και τις αρχικές αβεβαιότητες που χρησιμοποιούνται) αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συγκλίνουν γύρω από μια μέση τιμή (συνήθως τον ρυθμό μεταβολής της μεθόδου OLS ή της μεθόδου JK) και εμφανίζουν μια συστηματικότητα όσον αφορά την γενικότερη διασπορά τους.
- Συμπερασματικά, πρέπει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη περιοχή 5_KAT (η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή ήπιας πρόσχωσης) τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman δεν επηρεάζονται (σε αντίθεση με τις αντίστοιχες εφαρμογές άλλων περιοχών της μελέτης όπου οι ρυθμοί μεταβολής που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman επηρεάζονται σημαντικά) όσο μειώνονται οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων. Επίσης, όταν χρησιμοποιείται η συγκεκριμένη μέθοδος γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη RLS ή οι συστηματικά αναξιόπιστες μέθοδοι LAD και WLAD για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A στα αρχικά στάδια εφαρμογής του φίλτρου, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία. Αυτό γίνεται ακόμη περισσότερο εμφανές όταν οι παραπάνω αναξιόπιστοι ρυθμοί συγκριθούν με τους ρυθμούς του φίλτρου Kalman που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την αξιόπιστη μέθοδο των OLS για την εκτίμηση του συντελεστή A. Το συγκεκριμένο συμπέρασμα προέκυψε και στην περίπτωση μελέτης των περιοχών 1_LIT, 7_KAT, 8_BAR, 4_NES, 6_BAR, 9_THE και 10_NES.

Επομένως, όσον αφορά το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της μελέτης της περιοχής 5_KAT, προκύπτει πως η βέλτιστη εκτίμηση (με τις μικρότερες αβεβαιότητες πρόβλεψης) της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής υπολογίζεται μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, χρησιμοποιώντας αρχικά τη μέθοδο OLS, έτσι ώστε να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια ο συντελεστής A (διαθέτοντας πρωτογενή δεδομένα με τις υψηλότερες δυνατές ακρίβειες).

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες 9α_K και 9β (1 και 2) με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης όσον αφορά την εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων και το φίλτρο Kalman.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΟΙ 10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (m/yr)										ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
		ΜΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ		ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΡΗ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ		
		EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLAD	
5_KAT	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	0.41 +/- 0.86	0.17 +/- 2.99	0.50	0.10 +/- 0.002	0.045	-1.20 +/- 0.10	0.28 +/- 0.06	0.28 +/- 0.06	1.76	0.65	ΠΡΟΣΧΩΣΗ 0 ΕΩΣ +1 m/yr (Χαμηλή πρόσφωση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	0.41 +/- 0.64	0.17 +/- 2.15	0.50	0.10 +/- 0.002	0.045	-1.20 +/- 0.10	0.28 +/- 0.05	0.28 +/- 0.05	1.76	0.65	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	0.41 +/- 0.26	0.23 +/- 0.58	0.50	0.10 +/- 0.002	0.05	-1.20 +/- 0.10	0.34 +/- 0.02	0.34 +/- 0.02	1.76	1	
	K_1_F (Όλες οι διατομές) (x0.5) - (KALMAN)	0.37	0.15	0.45	0.09	0.04	- 1.08	0.25	0.25	1.58	0.58	
	K_2_F (Όλες οι διατομές) (x0.2) - (KALMAN)	0.36	0.15	0.45	0.09	0.04	- 1.08	0.25	0.25	1.58	0.58	

Πίνακας 9α_K : Παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων (λευκά κελιά) όπως επίσης και του φίλτρου Kalman (γκρι κελιά), στην περιοχή 5_KAT.

(5_KAT) Κατερίνη Πιερίας, (3050 m) (Αβεβαιότητες x0.5)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ 61 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.41 +/- 0.64 m/yr	0.37 m/yr	- 9.76 %
AOR : 0.17 +/- 2.15 m/yr (4 συνδυασμοί)	0.15 m/yr	- 11.77 %
AER : 0.50 m/yr	0.45 m/yr	-10%
OLS : 0.10 +/- 0.002 m/yr	0.09 m/yr	-10%
Jackknife : 0.05 m/yr	0.04 m/yr	-20%
RLS : -1.20 +/- 0.10 m/yr	- 1.08 m/yr	-10%
WLS : 0.28 +/- 0.05 m/yr	0.25 m/yr	- 10.71 %
RWLS : 0.28 +/- 0.05 m/yr	0.25 m/yr	- 10.71 %
LAD : 1.76 m/yr	1.58 m/yr	- 10.23 %
WLAD : 0.65 m/yr	0.58 m/yr	- 10.77 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 20.5 +/- 32 m	18.5 m	- 9.76 %
AOR : 8.5 +/- 107.5 m	7.5 m	- 11.77 %
AER : 25 m	22.5 m	-10%
OLS : 5 +/- 0.1 m	4.5 m	-10%
Jackknife : 2.5 m	2 m	-20%
RLS : -60 +/- 5 m	- 54 m	-10%
WLS : 14 +/- 2.5 m	12.5 m	- 10.71 %
RWLS : 14 +/- 2.5 m	12.5 m	- 10.71 %
LAD : 88 m/yr	79 m/yr	- 10.23 %
WLAD : 32.5 m/yr	29 m/yr	- 10.77 %

(5_KAT) Κατερίνη Πιερίας, (3050 m) (Αβεβαιότητες x0.2)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ 61 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.41 +/- 0.26 m/yr	0.36 m/yr	- 12.20 %
AOR : 0.17 +/- 0.86 m/yr (4 συνδυασμοί)	0.15 m/yr	- 11.77 %
AER : 0.50 m/yr	0.45 m/yr	-10%
OLS : 0.10 +/- 0.002 m/yr	0.09 m/yr	-10%
Jackknife : 0.05 m/yr	0.04 m/yr	-20%
RLS : -1.20 +/- 0.10 m/yr	- 1.08 m/yr	-10%
WLS : 0.28 +/- 0.02 m/yr	0.25 m/yr	- 10.71 %
RWLS : 0.28 +/- 0.02 m/yr	0.25 m/yr	- 10.71 %
LAD : 1.76 m/yr	1.58 m/yr	- 10.23 %
WLAD : 0.65 m/yr	0.58 m/yr	- 10.77 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 20.5 +/- 13 m	18 m	- 12.20 %
AOR : 8.5 +/- 43 m	7.5 m	- 11.77 %
AER : 25 m	22.5 m	-10%
OLS : 5 +/- 0.1 m	4.5 m	-10%
Jackknife : 2.5 m	2 m	-20%
RLS : -60 +/- 5 m	- 54 m	-10%
WLS : 14 +/- 1 m	12.5 m	- 10.71 %
RWLS : 14 +/- 1 m	12.5 m	- 10.71 %
LAD : 88 m	79 m	- 10.23 %
WLAD : 32.5 m	29 m	- 10.77 %

Πίνακες 9β_1 και 9β_2 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 5_KAT, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 και των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

5.2.10

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	3_KAT
ΜΕΣΑΙΑ ΠΡΟΣΧΩΣΗ (+1 έως +2 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Οι δοκιμές των 10 μεθόδων σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman που εκτελέστηκαν στην περιοχή μελέτης 3_KAT είναι οι παρακάτω (συνολικά 2) :

- Η δοκιμή Kalman K_1_F, (66 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,5).
- Η δοκιμή Kalman K_2_F, (66 διατομές - συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,2).

Αποτελέσματα-Συμπεράσματα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τις δοκιμές του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους παρουσιάζονται παρακάτω, στο συγκεντρωτικό πίνακα 10a_K (οι δοκιμές Kalman παρουσιάζονται με γκρι χρώμα και αναφέρονται στο σύνολο των 66 διατομών για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής στην περιοχή 3_KAT). Από τη μελέτη και τη σύγκριση αυτών των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητες τους) του πίνακα 10a_K, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Για τη συγκεκριμένη περιοχή 3_KAT, στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου οι αβεβαιότητες έχουν οριστεί στα 0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενικότερη, περιορισμένη μείωση όλων των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής σε σχέση με τις εκτιμήσεις των 10 στατιστικών μεθόδων στις αντίστοιχες εφαρμογές με τις ίδιες αβεβαιότητες. Είναι χαρακτηριστικό πως η μέθοδος EPR στην απευθείας εφαρμογή της για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας, υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης της τάξης των $+0.94 \pm 0.79$ μέτρων/χρόνο, ενώ μέσω φίλτρου Kalman για την αντίστοιχη εφαρμογή με τις ίδιες αβεβαιότητες υπολογίζεται ρυθμός της τάξης των $+0.85$ μέτρων/χρόνο. Αντίστοιχα, η μέθοδος OLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό οριακής πρόσχωσης της τάξης των $+0.91 \pm 0.003$ μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης της τάξης των $+0.82$ μέτρων/χρόνο (ενώ μέσω της μεθόδου JK υπολογίζεται ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.90$ μέτρων/χρόνο), η μέθοδος AOR που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των $+0.94 \pm 3.38$ μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης (ελαφρά μειωμένο) της τάξης των $+0.85$ μέτρων/χρόνο και τέλος, η μέθοδος WLS που αρχικά υπολογίζει ρυθμό της τάξης των $+0.22 \pm 0.05$ μέτρων/χρόνο, μέσω φίλτρου Kalman υπολογίζει ρυθμό πρόσχωσης (ελαφρά αυξημένο) της τάξης των $+0.32$ μέτρων/χρόνο (ο οποίος στην συγκεκριμένη περίπτωση, προσεγγίζει ακόμη περισσότερο την αντίστοιχη εκτίμηση της μεθόδου OLS). Είναι προφανές λοιπόν πως στην παρούσα εφαρμογή, η χρήση του φίλτρου Kalman έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό σταθερών ή ελάχιστα μειωμένων ρυθμών πρόσχωσης της ακτογραμμής οι οποίοι συγκλίνουν πλέον ακόμη περισσότερο σε μια μέση τιμή πρόσχωσης της τάξης των $+0.82$ μέτρων/χρόνο

(αυτό παρατηρείται σε μικρότερο βαθμό στις απευθείας εφαρμογές των 10 στατιστικών μεθόδων).

Έτσι, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για τις μεθόδους WLS και RWLS παρουσιάζονται και αυτοί ελαφρά μειωμένοι, προσεγγίζοντας τη μέση τιμή πρόσχωσης που αναφέρθηκε παραπάνω. Το γεγονός ότι μέσω του φίλτρου Kalman υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης οι οποίοι συγκλίνουν για την πλειοψηφία των στατιστικών μεθόδων κρίνεται σημαντικό και αποτελεί ένα σαφές πλεονέκτημα του φίλτρου όσον αφορά τη χρήση του και την παραγωγή αξιόπιστων αποτελεσμάτων (δεν παρατηρήθηκε αντίστοιχο επίπεδο σύγκλισης των υπολογιζόμενων ρυθμών στην απευθείας εφαρμογή των στατιστικών μεθόδων με τις ίδιες αρχικές ακρίβειες).

Στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παρατηρείται μια γενική σταθερότητα των ρυθμών υποχώρησης που υπολογίζονται από όλες τις μεθόδους, σε σχέση με την εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται πως για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας, μέσω της μεθόδου των OLS υπολογίζεται και εδώ ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +0.82 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου EPR ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +0.85 μέτρων/χρόνο, μέσω της μεθόδου AOR +0.85, μέσω της μεθόδου JK +0.90, μέσω της μεθόδου WLS +0.32, μέσω της μεθόδου RWLS +0.32 και μέσω της μεθόδου LAD ο υψηλότερος ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +1.02 μέτρων/χρόνο. Οι αποκλίσεις των 7 συγκεκριμένων μεθόδων (EPR, AOR, OLS, JK, WLS, RWLS και LAD) είναι ακριβώς οι ίδιες σε σχέση με την προηγούμενη εφαρμογή και παρατηρείται πως ρυθμός μεταβολής της μεθόδου των OLS προσεγγίζει τον μέσο όρο των παραπάνω εκτιμήσεων κάτι που παρατηρείται και στην εφαρμογή του φίλτρου Kalman όπου χρησιμοποιήθηκαν αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας.

Από τα παραπάνω προκύπτει πως για κάθε μία από τις 10 στατιστικές μεθόδους, οι εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, μεταβάλλοντας τις αβεβαιότητες από τα 0,5 στα 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, παραμένουν αμετάβλητες (κάτι που δεν συνέβη και στην απευθείας εφαρμογή όλων των στατιστικών μεθόδων). Ειδικότερα, η μέθοδος OLS για αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 χιλιοστών της κλίμακας υπολογίζει ρυθμό μεταβολής μέσω φίλτρου Kalman της τάξης των +0.82 μέτρων/χρόνο ενώ για αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας εξακολουθεί να υπολογίζει ρυθμό μεταβολής της τάξης των +0.82 μέτρων/χρόνο. Επομένως, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων δεν έχει επίδραση στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης (σε περιοχές της μελέτης οι οποίες εξετάστηκαν παραπάνω, όπως η περιοχή 9_THE, η κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων, είχε σημαντική επίδραση στους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονταν μέσω του φίλτρου Kalman). Στο συγκεκριμένο σημείο έγκειται και η διαφοροποίηση της συγκεκριμένης περιοχής (όπως επίσης και των περιοχών 1_LIT, 7_KAT, 5_KAT και 8_BAR) καθώς παρουσιάζεται σταθερότητα των εκτιμήσεων που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman για την κάθε στατιστική μέθοδο ανά εφαρμογή (παρόλη την μεταβολή

των αρχικών αβεβαιοτήτων). Αντίθετα, στις περιοχές 6_BAR και 9_THE, οι ρυθμοί μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman επηρεάζονται σημαντικά από την κλιμακωτή βελτίωση των ακριβειών των πρωτογενών δεδομένων.

Όσον αφορά τη διασπορά των διαφόρων εκτιμήσεων του φίλτρου Kalman για κάθε μία εφαρμογή ξεχωριστά, παρατηρείται μια σχετική προσέγγιση γύρω από τους αξιόπιστους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής των μεθόδων OLS και JK [ο ρυθμός πρόσχωσης της μεθόδου OLS στην παρούσα εφαρμογή αποτελεί ουσιαστικά ένα «μέσο όρο» σε σχέση με τις εκτιμήσεις των υπόλοιπων 5 στατιστικών μεθόδων (EPR, AOR, AER, RLS και LAD) μέσω των οποίων υπολογίζονται ρυθμοί πρόσχωσης]. Το παραπάνω γεγονός παρατηρήθηκε, ως προς τις εκτιμήσεις του φίλτρου Kalman, και στις προηγούμενες περιοχές της μελέτης.

- Από όλες τις παραπάνω συγκρίσεις των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman προκύπτει με σαφήνεια το συμπέρασμα ότι σε αρκετές περιπτώσεις (με βάση τις συγκεκριμένες μαθηματικές ρουτίνες που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη) οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής του φίλτρου επηρεάζονται σημαντικά από την αρχική μέθοδο που χρησιμοποιείται για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A. Παρόλα αυτά, τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν αυξημένη αξιοπιστία σε σχέση με τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 στατιστικών μεθόδων. Αυτό προκύπτει καθώς οι ρυθμοί μεταβολής όχι μόνον δεν συνοδεύονται από σημαντικές αβεβαιότητες (οι οποίες και αυτές παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις ανάλογα με την κάθε εφαρμογή και τις αρχικές αβεβαιότητες που χρησιμοποιούνται) αλλά σε συγκεκριμένες περιπτώσεις συγκλίνουν γύρω από μια μέση τιμή (συνήθως το ρυθμό μεταβολής της μεθόδου OLS ή της μεθόδου JK) και εμφανίζουν μια συστηματικότητα όσον αφορά τη γενικότερη διασπορά τους.
- Συμπερασματικά, πρέπει να σημειωθεί πως στη συγκεκριμένη περιοχή 3_KAT (η οποία χαρακτηρίζεται ως περιοχή μεσαίας πρόσχωσης) τα αποτελέσματα εφαρμογής του φίλτρου Kalman δεν επηρεάζονται (σε αντίθεση με τις αντίστοιχες εφαρμογές άλλων περιοχών της μελέτης όπου οι ρυθμοί μεταβολής που προκύπτουν μέσω του φίλτρου Kalman επηρεάζονται σημαντικά) όσο μειώνονται οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων. Επίσης, όταν χρησιμοποιούνται οι συγκεκριμένες μέθοδοι γραμμικής παλινδρόμησης με βάρη WLS και RWLS ή η συστηματικά αναξιόπιστη μέθοδος WLAD για να εκτιμηθεί ο συντελεστής A στα αρχικά στάδια εφαρμογής του φίλτρου, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μέσω του φίλτρου Kalman παρουσιάζουν μειωμένη αξιοπιστία (η παραπάνω παρατήρηση ισχύει αποκλειστικά για την περιοχή μελέτης 3_KAT). Αυτό γίνεται ακόμη περισσότερο εμφανές όταν οι παραπάνω αναξιόπιστοι ρυθμοί συγκριθούν με τους ρυθμούς του φίλτρου Kalman που υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την αξιόπιστη μέθοδο των OLS για την εκτίμηση του συντελεστή A.

Επομένως, όσον αφορά το σύνολο των εφαρμογών που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της μελέτης της περιοχής 3_KAT, προκύπτει πως η βέλτιστη εκτίμηση (με τις μικρότερες αβεβαιότητες πρόβλεψης) της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής

υπολογίζεται μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, χρησιμοποιώντας αρχικά την μέθοδο OLS, έτσι ώστε να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια ο συντελεστής A (διαθέτοντας πρωτογενή δεδομένα με τις υψηλότερες δυνατές ακρίβειες).

Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες 10α_K και 10β (1 και 2) με τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για τη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης όσον αφορά την εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων και το φίλτρο Kalman.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΟΙ 10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ (m/yr)										ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ
		ΜΗ ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ		ΜΕΘΟΔΟΙ ΓΡΑΜΜΙΚΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΒΑΡΗ			ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΤΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ		
		EPR	AOR	AER	OLS	JK	RLS	WLS	RWLS	LAD	WLA D	
3_KAT	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.7)	0.94 +/- 0.31	0.47 +/- 1.60	1.03	0.91 +/- 0.003	0.99	0.89 +/- 0.09	1.64 +/- 0.02	1.64 +/- 0.02	1.13	0.99	ΠΡΟΣΧΩΣΗ +1 ΕΩΣ +2 m/yr (Μεσαία πρόγνωση)
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.5)	0.94 +/- 0.79	0.94 +/- 3.38	1.03	0.91 +/- 0.003	0.99	0.89 +/- 0.09	0.22 +/- 0.05	0.22 +/- 0.05	1.13	0.39	
	10 ΜΕΘΟΔΟΙ (x0.2)	0.94 +/- 0.26	0.94 +/- 1.35	1.03	0.91 +/- 0.003	0.99	0.89 +/- 0.09	0.36 +/- 0.02	0.36 +/- 0.02	1.13	0.39	
	K_1_F (Όλες οι διατομές) (x0.5) - (KALMAN)	0.85	0.85	0.93	0.82	0.90	0.80	0.32	0.32	1.02	0.35	
	K_2_F (Όλες οι διατομές) (x0.2) - (KALMAN)	0.85	0.85	0.93	0.82	0.90	0.80	0.32	0.32	1.02	0.35	

Πίνακας 10α_K : Παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων (λευκά κελιά) όπως επίσης και του φίλτρου Kalman (γκρι κελιά), στην περιοχή 3_KAT.

(3_KAT) Κατερίνη Πιερίας, (3300 m) (Αβεβαιότητες x0.5)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΛΜΑΝ (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ 66 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.94 +/- 0.64 m/yr	0.85 m/yr	- 9.58 %
AOR : 0.94 +/- 3.38 m/yr (1 συνδυασμός)	0.85 m/yr	- 9.58 %
AER : 1.03 m/yr	0.93 m/yr	- 9.71 %
OLS : 0.91 +/- 0.003 m/yr	0.82 m/yr	- 9.89 %
Jackknife : 1.00 m/yr	0.90 m/yr	-10%
RLS : 0.89 +/- 0.09 m/yr	0.80 m/yr	- 10.11 %
WLS : 0.36 +/- 0.05 m/yr	0.32 m/yr	- 11.11 %
RWLS : 0.36 +/- 0.05 m/yr	0.32 m/yr	- 11.11 %
LAD : 1.13 m/yr	1.02 m/yr	- 9.74 %
WLAD : 0.39 m/yr	0.35 m/yr	- 10.26 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 47 +/- 32 m	42.5 m	- 9.58 %
AOR : 47 +/- 169 m	42.5 m	- 9.58 %
AER : 51.5 m	46.5 m	- 9.71 %
OLS : 45.5 +/- 0.15 m	41 m	- 9.89 %
Jackknife : 50 m	45 m	-10%
RLS : 44.5 +/- 4.5 m	40 m	- 10.11 %
WLS : 18 +/- 2.5 m	16 m	- 11.11 %
RWLS : 18 +/- 2.5 m	16 m	- 11.11 %
LAD : 56.5 m	51 m	- 9.74 %
WLAD : 19.5 m	17.5 m	- 10.26 %

(3_KAT) Κατερίνη Πιερίας, (3300 m) (Αβεβαιότητες x0.2)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΛΜΑΝ (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΤΙΣ 66 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.94 +/- 0.26 m/yr	0.85 m/yr	- 9.58 %
AOR : 0.94 +/- 1.35 m/yr (1 συνδυασμός)	0.85 m/yr	- 9.58 %
AER : 1.03 m/yr	0.93 m/yr	- 9.71 %
OLS : 0.91 +/- 0.003 m/yr	0.82 m/yr	- 9.89 %
Jackknife : 1.00 m/yr	0.90 m/yr	-10%
RLS : 0.89 +/- 0.09 m/yr	0.80 m/yr	- 10.11 %
WLS : 0.36 +/- 0.02 m/yr	0.32 m/yr	- 11.11 %
RWLS : 0.36 +/- 0.02 m/yr	0.32 m/yr	- 11.11 %
LAD : 1.13 m/yr	1.02 m/yr	- 9.74 %
WLAD : 0.39 m/yr	0.35 m/yr	- 10.26 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 47 +/- 32 m	42.5 m	- 9.58 %
AOR : 47 +/- 169 m	42.5 m	- 9.58 %
AER : 51.5 m	46.5 m	- 9.71 %
OLS : 45.5 +/- 0.15 m	41 m	- 9.89 %
Jackknife : 50 m	45 m	-10%
RLS : 44.5 +/- 4.5 m	40 m	- 10.11 %
WLS : 18 +/- 2.5 m	16 m	- 11.11 %
RWLS : 18 +/- 2.5 m	16 m	- 11.11 %
LAD : 56.5 m	51 m	- 9.74 %
WLAD : 19.5 m	17.5 m	- 10.26 %

Πίνακες 10β_1 και 10β_2 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 3_KAT, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,5 και των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

5.3 Εφαρμογές με πρόσφατη γεωπληροφορία.

5.3.1

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	1_LIT
ΧΑΜΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Σε όλες τις παραπάνω εφαρμογές για τη συγκεκριμένη περιοχή, χρησιμοποιήθηκαν οι 10 μέθοδοι ή το τροποποιημένο φίλτρο Kalman για να υπολογιστούν οι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής, επιλέγοντας διαφορετικούς συνδυασμούς δεδομένων ή και αβεβαιοτήτων κάθε φορά. Πρόσθετα, εκτελέστηκε ακόμη μία εφαρμογή, όπου χρησιμοποιήθηκαν εξολοκλήρου οι πιο πρόσφατες διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές, όσο το δυνατόν μεγαλύτερης κλίμακας, έτσι ώστε τα αρχικά διαθέσιμα δεδομένα να διαθέτουν τις μικρότερες δυνατές αβεβαιότητες (χρησιμοποιήθηκε συντελεστής ακρίβειας $\times 0,2$ της κλίμακας των αεροφωτογραφιών). Με αυτόν τον τρόπο επιχειρήθηκε να εξαιρεθούν όχι μόνο η παλαιότερη ακτογραμμή του 1945 (κλίμακας 1/42.000) αλλά και η ακτογραμμή του 1960 (κλίμακας 1/15.000), με σκοπό να χρησιμοποιηθούν νεότερα δεδομένα, απαλλαγμένα από μεγάλες αβεβαιότητας λόγω μικρής κλίμακας ή κακής ποιότητας των αεροφωτογραφιών. Εξαιρώντας παλαιότερες ιστορικές ακτογραμμές βέβαια, ενδέχεται να μειώνονται οι συνολικές αβεβαιότητες των αρχικών δεδομένων αλλά ουσιαστικά, περιορίζεται σημαντικά και το χρονικό διάστημα παρατήρησης και μοντελοποίησης της δυναμικής εξέλιξης της εκάστοτε παράκτιας περιοχής.

Κατά αυτόν τον τρόπο (χρησιμοποιώντας αποκλειστικά σύγχρονα δεδομένα, όπως αεροφωτογραφίες, διαγράμματα ή και δορυφορικές εικόνες μετά το έτος 1990), αναβαθμίζεται η ποιότητα των διαθέσιμων δεδομένων αλλά μειώνεται η ποσότητα και υπάρχει ο κίνδυνος να μην περιγραφεί επαρκώς η τάση υποχώρησης ή πρόσχωσης σε μια παράκτια περιοχή, καθώς το μοντέλο δεν θα λαμβάνει υπόψη την προϊστορία του κάθε παράκτιου συστήματος. Είναι χαρακτηριστικό πως σε αντίστοιχες παράκτιες μελέτες στις Η.Π.Α. όπου μοντελοποιείται η δυναμική εξέλιξη της ακτογραμμής, συμπεριλαμβάνονται όσο το δυνατόν παλαιότερα δεδομένα, ακόμη και αμφίβολης ακρίβειας (διαγράμματα ακόμη και του έτους 1880, όπου αυτά είναι διαθέσιμα), απλά και μόνο για περιγραφεί όσο το δυνατόν πληρέστερα και διαχρονικότερα η τάση μετακίνησης της ακτογραμμής. Περιορίζοντας σημαντικά το χρονικό διάστημα παρατήρησης αυξάνεται επίσης ο κίνδυνος κάποιο δεδομένο τύπου «outlier», το οποίο μπορεί να έχει προκύψει εξαιτίας τυχαίου ακραίου καιρικού φαινομένου ή ανθρώπινης επέμβασης, να επιδράσει ακόμη σημαντικότερα στους τελικούς υπολογισμένους ρυθμούς μεταβολής. Σε γενικές γραμμές, κρίνεται σκόπιμο να υπάρχουν όσο το δυνατόν μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα παρατήρησης έτσι ώστε να μοιράζεται ορθολογικότερα το βάρος σε κάθε μέτρηση, να μειώνεται η επίδραση των ακραίων σφαλμάτων και να περιγράφεται ρεαλιστικότερα μέσα στις δεκαετίες η τάση μεταβολής της ακτογραμμής. Βέβαια, η λογική χρήσης αποκλειστικά πρόσφατων δεδομένων δεν είναι απαραίτητα εσφαλμένη καθώς έτσι τα διαθέσιμα δεδομένα (ιστορικές ακτογραμμές) διαθέτουν μικρές αβεβαιότητες θέσης, βελτιώνοντας έτσι την αξιοπιστία του μοντέλου πρόβλεψης και μειώνοντας τα σφάλματα που συνοδεύουν τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής. Παρόλα αυτά, ειδικά στην περίπτωση της χώρας μας, όπου οι ημερομηνίες αεροφωτογραφήσεων

είναι συγκεκριμένες και περιορισμένες, η χρήση αποκλειστικά πρόσφατων δεδομένων και ειδικά δορυφορικών εικόνων, θα δυσκόλευε τον υπολογισμό ρυθμών μεταβολής, ειδικά σε περιοχές που δεν υπάρχουν αρκετές σειρές αεροφωτογραφίσεων μεγάλης κλίμακας μετά το έτος 1990. Από τις δορυφορικές εικόνες θα μπορούσαν να παραχθούν πρόσφατες ιστορικές ακτογραμμές υψηλής ακρίβειας, αλλά η χρήση τέτοιων πρωτογενών δεδομένων θα αύξανε σημαντικά το κόστος των αντίστοιχων παράκτιων μελετών.

Παράλληλα, συγκεκριμένες μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής, το τροποποιημένο φίλτρο Kalman, αλλά και συνολικά το μοντέλο εκτίμησης της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής που παρουσιάζεται στην παρούσα διατριβή, παρουσιάζουν πολυπλοκότητα και σύνθετη μαθηματική δομή. Μια πιθανή μείωση των διαθέσιμων δεδομένων εισαγωγής στο μοντέλο θα μείωνε σημαντικά την αξιοπιστία των προβλέψεων που θα προέκυπταν ή ακόμη, δεν θα επιτρεπόταν καν η χρήση του. Με βάση τα παραπάνω και επιχειρώντας να εξετάσουμε την επίδραση αυξομειώσεων του διαθέσιμου όγκου και ποιότητας των πρωτογενών δεδομένων στη λειτουργία του μοντέλου, εκτελέστηκαν οι παρακάτω εφαρμογές, αρχικά στην περιοχή 1_LIT:

Οι ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιούνται στην περιοχή 1_LIT στην παρούσα εφαρμογή είναι οι παρακάτω :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1979 (τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1/5.000).
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1980 (α/φ κλίμακας 1/30.000).
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1997 (α/φ κλίμακας 8.000).

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν αρχικά οι 10 μέθοδοι και στη συνέχεια το τροποποιημένο φίλτρο Kalman για να υπολογιστούν ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή 1_LIT σε μια ακτογραμμή με 35 σχεδιασμένες διατομές. Χρησιμοποιήθηκαν μόνο τρεις ιστορικές ακτογραμμές και αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : $\times 0,2$). Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του παρακάτω πίνακα 1β_6 και του γενικού πίνακα αποτελεσμάτων 1α_K του 5^{ου} κεφαλαίου για την περιοχή 1_LIT, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει παρατηρώντας τα αποτελέσματα του πίνακα 1β_6 είναι πως η εξαίρεση της ιστορικής ακτογραμμής του 1960, μαζί με την εξαίρεση της παλαιότερης διαθέσιμης ακτογραμμής του 1945 είχε σαν αποτέλεσμα να υπολογιστούν θετικοί ρυθμοί μεταβολής από τη συντριπτική πλειοψηφία των 10 μεθόδων (με εξαίρεση τη συνηθισμένη ανακριβή μέθοδο AER) και από το φίλτρο Kalman. Οι συγκεκριμένοι ρυθμοί πρόσχωσης που υπολογίζονται μόνο με τη χρησιμοποίηση των τριών ιστορικών ακτογραμμών (1979,1980 και 1997), κρίνονται ως απόλυτα αναξιόπιστοι καθώς η παράκτια περιοχή 1_LIT χαρακτηρίζεται από μια συνεχή και διαχρονική τάση υποχώρησης της ακτογραμμής. Στις προηγούμενες εφαρμογές που εκτελέστηκαν είτε προσθαφαιρώντας γεωπληροφορία (εξαιρώντας είτε την ακτογραμμή του 1945, είτε του 1997), είτε μεταβάλλοντας το επίπεδο των αρχικών αβεβαιοτήτων (0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας), οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής ήταν στο σύνολο τους ρυθμοί υποχώρησης. Αυτό σημαίνει πως υπάρχει μια σαφής τάση υποχώρησης στο σύνολο της ακτογραμμής, η οποία

αυξομειώνεται ανάλογα με τον όγκο των διαθέσιμων δεδομένων ή το μέγεθος των αρχικών αβεβαιοτήτων. Στην περίπτωση της εξαίρεσης των 2 παλαιότερων ιστορικών ακτογραμμών (1945 και 1960) είναι προφανές πως τα αρχικά δεδομένα που απομένουν δεν επαρκούν για την επαρκή μοντελοποίηση της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής. Έτσι, οι 10 μέθοδοι αλλά και το φίλτρο Kalman υπολογίζουν ανακριβείς ρυθμούς πρόσχωσης για ένα χρονικό διάστημα 18 χρόνων για την περιοχή 1_LIT (1979-1997), ενώ αντίστοιχα οι ίδιες μέθοδοι υπολόγιζαν ρυθμούς χαμηλής υποχώρησης για την ίδια ακτογραμμή, για ένα διευρυμένο χρονικό διάστημα 52 χρόνων (1945-1997).

- Είχε αρχικά αναφερθεί πως η αφαίρεση παλαιότερης πληροφορίας αναμένεται να επηρεάσει τις τελικές προβλέψεις/υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής που προκύπτουν από το μοντέλο. Κατά περίπτωση, η αφαίρεση παλαιότερων ιστορικών ακτογραμμών οι οποίες διαθέτουν υψηλές αβεβαιότητες θέσης αλλά συγχρόνως βοηθούν στην πληρέστερη περιγραφή της τάσης μεταβολής μιας ακτογραμμής, μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή ρυθμών μεταβολής όχι μόνο με υψηλά σφάλματα, αλλά και εντελώς λανθασμένους. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί και η περιοχή 1_LIT στην οποία εάν ληφθούν υπόψη αποκλειστικά οι ιστορικές ακτογραμμές μετά το έτος 1979, δημιουργείται η εντύπωση πως πρόκειται για μια παράκτια περιοχή που αντιμετωπίζει φαινόμενα πρόσχωσης. Στην πραγματικότητα, εάν επεκταθεί το χρονικό διάστημα παρατήρησης, παρατηρείται πως η γενική τάση μεταβολής υποδηλώνει υποχώρηση της ακτογραμμής μέσα στις δεκαετίες.
- Είναι αξιοσημείωτο το γεγονός ότι στην περίπτωση που αφαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1945, εξακολουθούσαν να υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης της ακτογραμμής από τις 10 μεθόδους και το τροποποιημένο φίλτρο Kalman. Επομένως υπάρχει κάποιο θεωρητικό όριο στην ποσότητα της διαθέσιμης πληροφορίας η οποία απαιτείται κάθε φορά για να υπολογίσουν αξιόπιστα αποτελέσματα τα μοντέλα πρόβλεψης. Σημαντική παράμετρος ως προς το μέγεθος της πληροφορίας που μπορεί να εξαιρεθεί κάθε φορά αποτελεί και η κάθε παράκτια περιοχή με τα ξεχωριστά χαρακτηριστικά και ιδιαιτερότητες της. Ακτές οι οποίες παρουσιάζουν σχετικά σταθερές τάσεις μεταβολής μέσα στις δεκαετίες (υποχώρησης ή πρόσχωσης) χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις ή εκδηλώσεις ακραίων καιρικών φαινομένων στο ιστορικό τους τα οποία ενδέχεται να προκάλεσαν βίαιες αλλαγές αντίθετες στη γενικότερη τάση, είναι ευκολότερο να μοντελοποιηθούν. Σε τέτοιου είδους περιπτώσεις, ενδέχεται να χρειάζονται μικρότερα χρονικά διαστήματα παρατήρησης και οι αποκλειστικά πρόσφατες ιστορικές ακτογραμμές να επαρκούν για να υπολογιστούν αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής, αντιπροσωπευτικοί της φυσικής πραγματικότητας. Σε περιπτώσεις ακτών όμως όπου παρουσιάζονται στο ιστορικό τους απότομες αλλαγές στην τάση μεταβολής, είτε εξαιτίας της εκδήλωσης ακραίων καιρικών φαινομένων ή ανθρώπινων παρεμβάσεων (π.χ. ένα τεχνικό έργο σε μια παράκτια περιοχή μπορεί να αντιστρέψει τη φυσική τάση υποχώρησης σε ένα τμήμα της παραλίας, σε πρόσχωση), απαιτείται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα παρατήρησης και όλες οι διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές έτσι ώστε να περιγραφεί το φαινόμενο μετακίνησης της ακτογραμμής συνολικά και διαχρονικά.

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 1β_6 στον οποίο παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής με τις αβεβαιότητες τους για την περιοχή 1_LIT, εξαιρώντας τις ιστορικές ακτογραμμές των χρονολογιών 1945 και 1960, με συντελεστή αβεβαιότητας $\times 0,2$ της κλίμακας των αεροφωτογραφιών.

(1_LIT) Λιτόχωρο Περίας (1750 m) (Αβεβαιότητες $\times 0,2$ – Ακτογραμμές : 1979,1980,1997)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.50 +/- 0.14 m/yr	0.36 m/yr	- 28 %
AOR : 0.01 +/- 5.66 m/yr (3 συνδυασμοί)	0.01 m/yr	0 %
AER : - 0.23 m/yr	- 0.16 m/yr	- 30.44 %
OLS : 0.54 +/- 0.011 m/yr	0.38 m/yr	- 29.63 %
Jackknife : 0.01 m/yr	0.01 m/yr	0 %
RLS : 3.91 +/- 0.19 m/yr	2.78 m/yr	- 28.90 %
WLS : 0.51 +/- 0.02 m/yr	0.36 m/yr	- 29.41 %
RWLS: 0.51 +/- 0.02 m/yr	0.36 m/yr	- 29.41 %
LAD : 0.45 m/yr	0.32 m/yr	- 28.89 %
WLAD : 0.45 m/yr	0.32 m/yr	- 28.89 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 25 +/- 7 m	18 m	- 28 %
AOR : 0.5 +/- 283 m	0.5 m	0 %
AER : - 11.5 m	- 8 m	- 30.44 %
OLS : 27 +/- 0.55 m	19 m	- 29.63 %
Jackknife : 0.5 m	0.5 m	0 %
RLS : 195.5 +/- 9.5 m	139 m	- 28.90 %
WLS : 25.5 +/- 1 m	18 m	- 29.41 %
RWLS : 25.5 +/- 1 m	18 m	- 29.41 %
LAD : 22.5 m	16 m	- 28.89 %
WLAD : 22.5 m	16 m	- 28.89 %

Πίνακας 1β_6 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 1_LIT, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0, 2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

5.3.2

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	7_KAT
ΧΑΜΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Όπως και στην περίπτωση της παράκτιας περιοχής 1_LIT, έτσι και στην περίπτωση της 7_KAT εκτελέστηκε μία ακόμη εφαρμογή, πρόσθετα στις εφαρμογές του κεφαλαίου 5. Η συγκεκριμένη περιοχή, με βάση τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής που προέκυψαν από όλες τις προηγούμενες εφαρμογές των 10 μεθόδων

και του φίλτρου Kalman, έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή χαμηλής υποχώρησης (με ρυθμούς μεταβολής από 0 έως -1 μέτρο/χρόνο). Στη νέα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν εξολοκλήρου οι πιο πρόσφατες διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές, όσο το δυνατόν μεγαλύτερης κλίμακας.

Συγκεκριμένα, από το αρχικό αρχείο των διαθέσιμων ιστορικών ακτογραμμών των χρονολογιών 1945, 1960, 1979, 1980 και 1995 εξαιρέθηκαν οι δύο παλαιότερες οι οποίες είχαν προκύψει από αεροφωτογραφίες μικρής κλίμακας (1/42.000 και 1/15.000 αντίστοιχα) και χρησιμοποιήθηκαν οι τρεις πιο πρόσφατες :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1979 (τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1/5.000).
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1980 (α/φ κλίμακας 1/30.000).
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1997 (α/φ κλίμακας 1/30.000).

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν αρχικά οι 10 μέθοδοι και στη συνέχεια το τροποποιημένο φίλτρο Kalman για να υπολογιστούν ρυθμοί μεταβολής με αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : $\times 0,2$). Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του παρακάτω πίνακα 2β_6 και του γενικού πίνακα αποτελεσμάτων 2α_K του 5^{ου} κεφαλαίου για την περιοχή 7_KAT, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει παρατηρώντας τα αποτελέσματα του πίνακα 2β_6 είναι πως η εξαίρεση της ιστορικής ακτογραμμής του 1960, μαζί με την εξαίρεση της παλαιότερης διαθέσιμης ακτογραμμής του 1945 είχε σαν αποτέλεσμα να εξακολουθούν να υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης για τη συγκεκριμένη περιοχή. Αυτό σημαίνει πως η εξαίρεση της ακτογραμμής του 1960 δεν επηρέασε τη διαδικασία μοντελοποίησης σε τέτοιο βαθμό που να υπολογίζονται εντελώς αναξιόπιστοι και μη ρεαλιστικοί ρυθμοί μεταβολής. Οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί υποχώρησης στη νέα εφαρμογή παρουσιάζονται αυξημένοι όσον αφορά την πλειοψηφία των 10 μεθόδων αλλά τις προβλέψεις του φίλτρου Kalman. Ειδικότερα, όσον αφορά τη μέθοδο Jackknife, εξαιρώντας την ακτογραμμή του 1960, υπολογίζεται πλέον τετραπλάσιος ρυθμός υποχώρησης σε σχέση με την αντίστοιχη εφαρμογή όπου είχε εξαιρεθεί αποκλειστικά η ακτογραμμή του 1945. Στις υπόλοιπες μεθόδους οι νέοι ρυθμοί υποχώρησης παρουσιάζονται σχεδόν διπλασιασμένοι, με εξαίρεση τη μέθοδο RLS που εξαιρώντας και την ακτογραμμή του 1960, ο υπολογιζόμενος ρυθμός υποχώρησης, παραμένει σταθερός κοντά στο -1μέτρο/χρόνο. Οι συνήθως ανακριβείς μέθοδοι LAD και WLAD και στη συγκεκριμένη περίπτωση, εξακολουθούν να παράγουν ρυθμούς πρόσχωσης για την περιοχή, σε αντίθεση με όλες τις υπόλοιπες 10 μεθόδους και το φίλτρο Kalman.
- Όσον αφορά τις αβεβαιότητες των 10 μεθόδων, στη νέα εφαρμογή παρουσιάζονται αυξημένες (σχεδόν διπλασιάζονται), παρόλο που αφαιρέθηκε μια ιστορική ακτογραμμή όπως αυτή του 1960, η οποία παρουσίαζε σημαντικές αβεβαιότητες θέσης. Από την παραπάνω παρατήρηση συμπεραίνεται πως η εξαίρεση παλαιότερων ιστορικών ακτογραμμών με σημαντικές αβεβαιότητες θέσης δεν εξασφαλίζει ότι θα μειωθούν αντίστοιχα και οι αβεβαιότητες των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής. Η μείωση της διαθέσιμης, αρχικής γεωπληροφορίας ενδέχεται να επηρεάζεται την ομαλή λειτουργία του μοντέλου πρόβλεψης και να οδηγήσει σε περισσότερο ανακριβείς προβλέψεις.

- Το φίλτρο Kalman επηρεάζεται και αυτό από τη μείωση της διαθέσιμης πληροφορίας και παράγει ρυθμούς υποχώρησης αυξημένους σε σχέση με τους αντίστοιχους που υπολογίστηκαν στην προηγούμενη εφαρμογή όπου εξαιρέθηκε μόνο η ακτογραμμή του 1945. Συγκριτικά με τις 10 μεθόδους, η αύξηση στους ρυθμούς μεταβολής του φίλτρου Kalman στην παρούσα εφαρμογή, κρίνεται μικρότερη. Είναι επίσης χαρακτηριστικό πως, ενώ στην εφαρμογή χωρίς την ακτογραμμή του 1945 η διαφορά των ρυθμών υποχώρησης μεταξύ 10 μεθόδων και φίλτρου Kalman κυμαινόταν γύρω από ένα μέσο ποσοστό της τάξης του 10%, πλέον αυτό το ποσοστό, εξαιρώντας και την ακτογραμμή του 1960, αυξάνεται και φτάνει στο 30%. Αυτό σημαίνει πως η μείωση των αρχικών διαθέσιμων δεδομένων αύξησε σημαντικά την απόκλιση των προβλέψεων των 10 μεθόδων σε σύγκριση με αυτές του τροποποιημένου φίλτρου.
- Στην περίπτωση της παράκτιας περιοχής 7_KAT, σε αντίθεση με την περίπτωση της 1_LIT, όπου η αφαίρεση των δύο παλαιότερων ακτογραμμών των χρονολογιών 1945 και 1960 είχε ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό μη ρεαλιστικών ρυθμών πρόσχωσης, εξακολουθούν να υπολογίζονται διαφοροποιημένοι μεν, αλλά ρυθμοί υποχώρησης. Αυτό σημαίνει ότι λόγω των ιδιαίτερων φυσικών χαρακτηριστικών της συγκεκριμένης ακτής και της διαχρονικής τάσης μεταβολής της, η εξαίρεση παλαιότερης πληροφορίας δεν επηρέασε τη διαδικασία μοντελοποίησης σε τέτοιο βαθμό που τα παραγόμενα αποτελέσματα να κρίνονται αναξιόπιστα.

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 2β_6 στον οποίο παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής με τις αβεβαιότητες τους για την περιοχή 7_KAT, εξαιρώντας τις ιστορικές ακτογραμμές των χρονολογιών 1945 και 1960, με συντελεστή αβεβαιότητας $\times 0,2$ της κλίμακας των αεροφωτογραφιών.

(7_KAT) Κατερίνη, (2000 m) (Αβεβαιότητες $\times 0,2$ – Ακτογραμμές : 1979,1980,1995)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : - 0.21 +/- 0.44 m/yr	- 0.15 m/yr	- 28.57 %
AOR : - 0.56 +/- 6.06 m/yr (3 συνδυασμοί)	- 0.40 m/yr	- 28.57 %
AER : - 0.74 m/yr	- 0.52 m/yr	- 29.73 %
OLS : - 0.18 +/- 0.011 m/yr	- 0.12 m/yr	- 33.33 %
Jackknife: - 0.56 m/yr	- 0.40 m/yr	- 28.57 %
RLS : - 0.93 +/- 0.005 m/yr	- 0.66 m/yr	- 29.03 %
WLS : - 0.21 +/- 0.06 m/yr	- 0.15 m/yr	- 28.57 %
RWLS : - 0.21 +/- 0.06 m/yr	- 0.15 m/yr	- 28.57 %
LAD : 0.99 m/yr	0.70 m/yr	- 29.29 %
WLAD : 1 m/yr	0.71 m/yr	- 29.29 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : - 10.5 +/- 22 m	- 7.5 m	- 28.57 %
AOR : - 28 +/- 303 m	- 20 m	- 28.57 %
AER : - 37 m	- 26 m	- 29.73 %
OLS : - 9 +/- 0.55 m	- 6 m	- 33.33 %
Jackknife: - 28 m	- 20 m	- 28.57 %
RLS : - 46.5 +/- 0.25 m	- 33 m	- 29.03 %
WLS : - 10.5 +/- 3 m	- 7.5 m	- 28.57 %
RWLS : - 10.5 +/- 3 m	- 7.5 m	- 28.57 %
LAD : 49.5 m	35 m	- 29.29 %
WLAD : 50 m	35.5 m	- 29.29 %

Πίνακας 2β_6 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 7_KAT, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

5.3.3

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	8_BAR
ΧΑΜΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Πρόσθετα στις εφαρμογές του κεφαλαίου 5 για τη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή, εκτελέστηκε μία ακόμη, αυτήν τη φορά εξαιρώντας τις παλαιότερες ακτογραμμές των χρονολογιών 1945 και 1960. Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν μόνο τρεις ιστορικές ακτογραμμές και αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : $\times 0,2$) :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1972 (α/φ κλίμακας 1/30.000).
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1987 (α/φ κλίμακας 1/30.000).
3. Ιστορική ακτογραμμή του 2000 (α/φ κλίμακας 8.000).

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκαν αρχικά οι 10 μέθοδοι και στη συνέχεια το τροποποιημένο φίλτρο Kalman για να υπολογιστούν ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή 8_BAR σε μια ακτογραμμή μελέτης μήκους 800 μέτρων, με 15 σχεδιασμένες διατομές. Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του παρακάτω πίνακα 3β_6 και του γενικού πίνακα αποτελεσμάτων 3α_K του 5^{ου} κεφαλαίου για την περιοχή 8_BAR, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει παρατηρώντας τα αποτελέσματα του πίνακα 3β_6 είναι πως η εξαίρεση της ιστορικής ακτογραμμής του 1960, μαζί με την εξαίρεση της παλαιότερης διαθέσιμης ακτογραμμής του 1945 είχε σαν αποτέλεσμα να υπολογιστούν θετικοί ρυθμοί μεταβολής από το σύνολο των 10 μεθόδων και από το φίλτρο Kalman. Στην αντίστοιχη προηγούμενη εφαρμογή όπου είχε εξαιρεθεί αποκλειστικά η ακτογραμμή του 1945 και είχαν επιλεγεί ίδιες τεχνητές αβεβαιότητες (x0,2 της κλίμακας της αεροφωτογραφίας), εάν εξαιρεθούν οι συνήθως ανακριβείς μέθοδοι RLS, LAD και WLAD, όλες οι υπόλοιπες μέθοδοι υπολόγιζαν οριακούς ρυθμούς υποχώρησης.
- Στην περίπτωση της εφαρμογής όπου συμπεριλαμβάνονται όλες οι διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές (ακόμη και αυτή της χρονολογίας του 1945) υπολογίζονται από όλες τις μεθόδους, εξαιρώντας τις συνήθως ακριβείς OLS και JK, οριακοί θετικοί ρυθμοί μεταβολής. Οι υπολογιζόμενοι αυτοί ρυθμοί πρόσχωσης είναι χαμηλότεροι σε σχέση με τους ρυθμούς που παρουσιάζονται στον πίνακα 3β_6 της παρούσας εφαρμογής.
- Στην περίπτωση της συγκεκριμένης περιοχής, η προσθαφαίρεση γεωπληροφορίας στις προηγούμενες εφαρμογές αλλά και στην παρούσα, είχε σαν αποτέλεσμα να υπολογίζονται από τις 10 στατιστικές μεθόδους αλλά και από το φίλτρο Kalman είτε οριακοί ρυθμοί υποχώρησης, είτε οριακοί ρυθμοί πρόσχωσης. Επομένως, δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα ως προς τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής και πως επηρεάστηκαν από την εξαίρεση της ακτογραμμής του 1960 (για το εάν προσεγγίζουν περισσότερο πλέον τη φυσική τάση μεταβολής της συγκεκριμένης ακτογραμμής). Αυτό που είναι σαφές και στην περιοχή 8_BAR, όπως και στην 7_KAT, είναι πως η αφαίρεση της παλιάς ακτογραμμής του 1960 όχι μόνο δεν μείωσε τις υπολογιζόμενες αβεβαιότητες των παραγόμενων ρυθμών μεταβολής από τις 10 μεθόδους, αλλά σε κάποιες περιπτώσεις, τις διπλασίασε. Επίσης, ενώ στην εφαρμογή όπου είχε εξαιρεθεί αποκλειστικά η ακτογραμμή του 1945 οι αποκλίσεις των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταξύ των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman κυμαίνονταν από 0 έως 10%, πλέον, εξαιρώντας και την ακτογραμμή του 1960, οι αντίστοιχες αποκλίσεις αυξάνονται σε μια μέση τιμή 25%. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι προβλέψεις του φίλτρου Kalman δείχνουν να επηρεάζονται λιγότερο και όχι τόσο βίαια σε σχέση με τις αντίστοιχες εκτιμήσεις των 10 μεθόδων, από την πρόσθεση/αφαίρεση γεωπληροφορίας μεταξύ των διαφόρων εφαρμογών. Αυτή η «ανθεκτικότητα» των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής του φίλτρου Kalman, επισημαίνεται και ως

ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν από την παρούσα μελέτη.

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 3β_6 στον οποίο παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής με τις αβεβαιότητες τους για την περιοχή 8_BAR, εξαιρώντας τις ιστορικές ακτογραμμές των χρονολογιών 1945 και 1960, με συντελεστή αβεβαιότητας $\times 0,2$ της κλίμακας των αεροφωτογραφιών.

(8_BAR) Βαρθολομιά Ηλείας, (800 m) (Αβεβαιότητες $\times 0,2$ – Ακτογραμμές : 1972,1987,2000)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 0.14 +/- 0.27 m/yr	0.11 m/yr	- 21.43 %
AOR : 0.14 +/- 0.40 m/yr (3 συνδυασμοί)	0.11 m/yr	- 21.43 %
AER : 0.15 m/yr	0.11 m/yr	- 26.67 %
OLS : 0.14 +/- 0.007 m/yr	0.10 m/yr	- 28.57 %
Jackknife : 0.14 m/yr	0.11 m/yr	- 21.43 %
RLS : 0.36 +/- 0.06 m/yr	0.28 m/yr	- 22.22 %
WLS : 0.16 +/- 0.05 m/yr	0.12 m/yr	- 25 %
RWLS : 0.16 +/- 0.05 m/yr	0.12 m/yr	- 25 %
LAD : 0.31 m/yr	0.24 m/yr	- 22.58 %
WLAD : 0.31 m/yr	0.24 m/yr	- 22.58 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : 7 +/- 13.5 m	5.5 m	- 21.43 %
AOR : 7 +/- 20 m	5.5 m	- 21.43 %
AER : 1.05 m	5.5 m	- 26.67 %
OLS : 7 +/- 0.35 m	5 m	- 28.57 %
Jackknife : 7 m	5.5 m	- 21.43 %
RLS : 18 +/- 3 m	14 m	- 22.22 %
WLS : 8 +/- 2.5 m	6 m	- 25 %
RWLS : 8 +/- 2.5 m	6 m	- 25 %
LAD : 15.5 m	12 m	- 22.58 %
WLAD : 15.5 m	12 m	- 22.58 %

Πίνακας 3β_6 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 8_BAR, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

5.3.4

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	4_NES
ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (-1 έως - 3 m/yr)	

Πρόσθετα στις εφαρμογές του κεφαλαίου 5 για τη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή, εκτελέστηκε μία ακόμη, αυτήν τη φορά εξαιρώντας τις παλαιότερες ακτογραμμές των χρονολογιών 1969 (αεροφωτογραφία κλίμακας 1/40.000), 1976 (χάρτης κλίμακας 1/5.000) και 1978 (αεροφωτογραφία κλίμακας 1/30.000). Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν μόνο τέσσερις ιστορικές ακτογραμμές και αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : $\times 0,2$) :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1985 (α/φ κλίμακας 1/30.000).
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1990 (α/φ κλίμακας 1/20.000).
3. Ιστορική ακτογραμμή του 1992 (α/φ κλίμακας 1/15.000).
4. Ιστορική ακτογραμμή του 1998 (κλίμακας 1/1.000).

Αρχικά, εφαρμόστηκαν οι 10 μέθοδοι και στη συνέχεια το τροποποιημένο φίλτρο Kalman, για να υπολογιστούν ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή 4_NES σε μια ακτογραμμή μελέτης μήκους 6.600 μέτρων, με 66 σχεδιασμένες διατομές. Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του παρακάτω πίνακα 4β_6 και του γενικού πίνακα αποτελεσμάτων 4α_K του 5^{ου} κεφαλαίου για την περιοχή 4_NES, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Οι μέθοδοι RLS, WLS, RWLS και WLAD, είτε περιλαμβάνοντας όλες τις διαθέσιμες ακτογραμμές, είτε εξαιρώντας αποκλειστικά την παλαιότερη ακτογραμμή του 1969, είτε ακόμη εξαιρώντας τις ακτογραμμές 1969, 1976 και 1978 (χρησιμοποιώντας και στις δύο περιπτώσεις αρχικές αβεβαιότητες $\times 0,2$), υπολογίζουν ρυθμούς πρόσχωσης, οι οποίοι κρίνονται πλήρως αναξιόπιστοι, ειδικά σε μια παράκτια περιοχή που παρουσιάζει διαχρονική τάση υποχώρησης από -1 έως -3 μέτρα/χρόνο.
- Στην περίπτωση βέβαια που εξαιρείται η ακτογραμμή του 1969 και οι 10 μέθοδοι αλλά και το φίλτρο Kalman υπολογίζουν σημαντικούς ρυθμούς πρόσχωσης που σημαίνει ότι η εξαίρεση της παλαιότερης ακτογραμμής στη συγκεκριμένη περίπτωση, καθιστά τα αποτελέσματα όλων των μεθόδων αναξιόπιστα και τη λειτουργία του μοντέλου πρόβλεψης προβληματική. Εξαιρώντας τις τρεις παλιότερες ακτογραμμές, η πλειοψηφία των 10 μεθόδων όπως επίσης και το φίλτρο Kalman υπολογίζει πλέον πάλι ρυθμούς υποχώρησης. Σε κάποιες μεθόδους, όπως είναι η EPR, υπολογίζονται πλέον χαμηλότεροι ρυθμοί υποχώρησης σε σχέση με την αντίστοιχη εφαρμογή του 5^{ου} κεφαλαίου όπου χρησιμοποιούνται όλες οι ιστορικές ακτογραμμές και οι ίδιες αβεβαιότητες. Αντίθετα, άλλες μέθοδοι όπως οι AOR, OLS και JK, υπολογίζουν στην παρούσα εφαρμογή υψηλότερους ρυθμούς υποχώρησης. Λόγω της έλλειψης συστηματικών και παρόμοιων μεταβολών και διακυμάνσεων των αποτελεσμάτων από μέθοδο σε μέθοδο κατά τη διαδικασία προσθαφαίρεσης πληροφορίας, αυτό που συμπεραίνεται είναι πως η κάθε μία από τις μεθόδους αλλά και το φίλτρο Kalman, αντιδρούν (τουλάχιστον στη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή) με διαφορετικό τρόπο, υπολογίζοντας ρυθμούς μεταβολής που μπορεί να κρίνονται αξιόπιστοι μόνο κατά περίπτωση.
- Σε γενικές γραμμές, η εξαίρεση των τριών παλαιότερων ακτογραμμών επέτρεψε στην πλειοψηφία να υπολογίσουν πλέον ρυθμούς υποχώρησης της ακτογραμμής, βελτιώνοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους. Βέβαια, στην παρούσα εφαρμογή, όπως παρατηρήθηκε και στις προηγούμενες περιοχές, η αφαίρεση ιστορικών ακτογραμμών από τα διαθέσιμα δεδομένα, ανεξαρτήτως των αρχικών και σημαντικών αβεβαιοτήτων θέσης τους, οδήγησε σε αύξηση των υπολογιζόμενων αβεβαιοτήτων που συνοδεύουν τους ρυθμούς μεταβολής, σε σύγκριση με προηγούμενες εφαρμογές. Παράλληλα, διευρύνθηκαν οι αποκλίσεις μεταξύ των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής που προκύπτουν από τις 10 μεθόδους και τους αντίστοιχους ρυθμούς του φίλτρου Kalman. Χαρακτηριστικά

αναφέρεται πως στην εφαρμογή όπου χρησιμοποιήθηκαν όλες οι διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές με αβεβαιότητες $\times 0,2$, οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής μεταξύ 10 των μεθόδων και του φίλτρου Kalman κυμαίνονταν στο 19%. Όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1969 (με σταθερές αβεβαιότητες $\times 0,2$) το ποσοστό αυτό αυξήθηκε στο 26%, ενώ όταν εξαιρέθηκαν οι τρεις παλαιότερες ακτογραμμές, το ποσοστό αυξήθηκε ακόμη περισσότερο, στο 35%.

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 4β_6 στον οποίο παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής με τις αβεβαιότητες τους για την περιοχή 4_NES, εξαιρώντας τις ιστορικές ακτογραμμές των χρονολογιών 1969, 1976 και 1978.

(4_NES) Νέστος, (6600 m) (Αβεβαιότητες $\times 0.2$ – Ακτογραμμές : 1985,1990,1992,1995)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : - 1.64 +/- 0.62 m/yr	- 1.07 m/yr	- 34.76 %
AOR : - 0.94 +/- 1.01 m/yr (6 συνδυασμοί)	- 0.61 m/yr	- 35.11 %
AER : - 0.62 m/yr	- 0.40 m/yr	- 35.48 %
OLS : - 2.22 +/- 0.006 m/yr	- 1.45 m/yr	- 34.68 %
Jackknife : - 1.51 m/yr	- 0.98 m/yr	- 35.10 %
RLS : 7.09 +/- 0.14 m/yr	4.61 m/yr	- 34.98 %
WLS : 1.74 +/- 0.05 m/yr	1.13 m/yr	- 35.06 %
RWLS : 1.74 +/- 0.05 m/yr	1.13 m/yr	- 35.06 %
LAD : - 0.70 m/yr	- 0.45 m/yr	- 35.71 %
WLAD : 0.92 m/yr	0.59 m/yr	- 35.87 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : - 82 +/- 31 m	- 53.5 m	- 34.76 %
AOR : - 47 +/- 50.5 m	- 30.5 m	- 35.11 %
AER : - 31 m	- 20 m	- 35.48 %
OLS : - 111 +/- 0.3 m	- 72.5 m	- 34.68 %
Jackknife : - 75.5 m	- 49 m	- 35.10 %
RLS : 354.5 +/- 7 m	230.5 m	- 34.98 %
WLS : 87 +/- 2.5 m	56.5 m	- 35.06 %
RWLS : 87 +/- 2.5 m	56.5 m	- 35.06 %
LAD : - 35 m	- 22.5 m	- 35.71 %
WLAD : 46 m	29.5 m	- 35.87 %

Πίνακας 4β_6 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 4_NES, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

5.3.5

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	6_BAR
ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (-1 έως - 3 m/yr)	

Ομοίως και στη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή, εκτελέστηκε μία ακόμη εφαρμογή, αυτήν τη φορά εξαιρώντας τις παλαιότερες ακτογραμμές των χρονολογιών 1945 (αεροφωτογραφία κλίμακας 1/42.000) και 1960 (αεροφωτογραφία κλίμακας 1/30.000). Έτσι, χρησιμοποιήθηκαν μόνο τρεις ιστορικές ακτογραμμές και αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής : x0,2) :

1. Ιστορική ακτογραμμή του 1972 (α/φ κλίμακας 1/40.000).
2. Ιστορική ακτογραμμή του 1987 (α/φ κλίμακας 1/30.000).
3. Ιστορική ακτογραμμή του 2000 (α/φ κλίμακας 8.000).

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκαν αρχικά οι 10 μέθοδοι και στη συνέχεια το τροποποιημένο φίλτρο Kalman για να υπολογιστούν ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή 6_BAR σε μια ακτογραμμή μελέτης μήκους 5.850 μέτρων, με 39 σχεδιασμένες διατομές. Από τη μελέτη και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων (των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής με τις αβεβαιότητές τους) του παρακάτω πίνακα 5β_6 και του γενικού πίνακα αποτελεσμάτων 5α_K του 5^{ου} κεφαλαίου για την περιοχή 6_BAR, προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα :

- Αρχικά, παρατηρούμε πως η εξαίρεση των ιστορικών ακτογραμμών των χρονολογιών 1945 και 1960 είχε σαν αποτέλεσμα τον υπολογισμό ρυθμών υποχώρησης της ακτογραμμής για το σύνολο των 10 μεθόδων (εξαιρώντας την συνήθως προβληματική μέθοδο RLS η οποία υπολογίζει ρυθμούς πρόσχωσης) αλλά και για το φίλτρο Kalman. Η αφαίρεση γεωπληροφορίας, σε αντίθεση με προηγούμενες εφαρμογές σε ακτές όπου είχε σαν αποτέλεσμα την παραγωγή εντελών λανθασμένων αποτελεσμάτων πρόβλεψης (υπολογιζόμενους ρυθμούς πρόσχωσης αντίθετους με την γενικότερη τάση υποχώρησης της παράκτιας περιοχής), δεν φαίνεται να επηρέασε σημαντικά τη διαδικασία υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής με τις διάφορες μεθόδους. Οι ρυθμοί υποχώρησης που υπολογίζονται στην παρούσα εφαρμογή, συγκρινόμενοι με τους αντίστοιχους ρυθμούς της εφαρμογής όπου εξαιρέθηκε αποκλειστικά η παλαιότερη ακτογραμμή του 1945, είναι χαμηλότεροι. Αντίθετα, συγκρινόμενοι με τους αντίστοιχους ρυθμούς που υπολογίστηκαν για ίδιες αβεβαιότητες x0,2 της κλίμακας της αεροφωτογραφίας αλλά συμπεριλαμβάνοντας όλες τις διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές, παρατηρείται πως τους προσεγγίζουν σημαντικά. Αυτό σημαίνει πως ενώ αρχικά η εξαίρεση της ακτογραμμής του 1945 επηρέασε τη λειτουργία του μοντέλου πρόβλεψης οδηγώντας σε αυξημένους ρυθμούς υποχώρησης, η εξαίρεση πρόσθετα και της ακτογραμμής του 1960, μείωσε εν μέρει τον όγκο των αρχικών δεδομένων, υπολογίζοντας όμως ξανά ρυθμούς υποχώρησης οι οποίοι κυμαίνονταν γύρω από μία μέση τιμή της τάξης των -1.5 μέτρων/χρόνο.

- Όσον αφορά τις αποκλίσεις μεταξύ των εκτιμήσεων των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman, παρατηρείται διακύμανση των αποκλίσεων, παρόμοια με αυτήν των προηγούμενων εφαρμογών, ανεξάρτητα των ξεχωριστών χαρακτηριστικών της κάθε παράκτιας περιοχής. Οι αποκλίσεις μεταξύ των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής οι οποίοι προέκυψαν από τις δέκα μεθόδους και από το φίλτρο Kalman, για τα ίδια επίπεδα αρχικών αβεβαιοτήτων, ήταν της τάξης του 5% στην περίπτωση που συμπεριλήφθησαν όλες οι διαθέσιμες ιστορικές ακτογραμμές, αυξήθηκαν στο 10% όταν εξαιρέθηκε η ακτογραμμή του 1945 και στο 20% όταν εξαιρέθηκαν οι δύο παλαιότερες ιστορικές ακτογραμμές, του 1945 και του 1960. Αυτό σημαίνει πως η πρόσθετη αφαίρεση πληροφορίας, όσο προβληματική και αν θεωρείται αυτή (εξαιτίας των μεγάλων αβεβαιοτήτων θέσης των ιστορικών ακτογραμμών του 1945 και 1960), έχει ως αποτέλεσμα των αύξηση των αποκλίσεων των εκτιμήσεων μεταξύ των 10 μεθόδων και φίλτρου Kalman. Η αύξηση αυτή στις αποκλίσεις οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής που προκύπτουν από το τροποποιημένο φίλτρο Kalman, δεν μεταβάλλονται τόσο «βίαια» όσο οι αντίστοιχοι ρυθμοί μεταβολής που προκύπτουν από τις δέκα μεθόδους, κάθε φορά που εξαιρείται κάποια ιστορική ακτογραμμή. Από το συγκεκριμένο γεγονός τονίζεται ακόμη μια φορά η ανθεκτικότητα και η «στιβαρότητα» των προβλέψεων του φίλτρου Kalman σε σχέση με τις δέκα μεθόδους.
- Όσον αφορά τις αβεβαιότητες οι οποίες συνοδεύουν τις 10 μεθόδους, παρατηρείται πως αυξάνονται σημαντικά στην παρούσα εφαρμογή όπου εξαιρούνται οι ακτογραμμές του 1945 και 1960, σε σχέση με τις προηγούμενες εφαρμογές του 5^{ου} κεφαλαίου. Συγκεκριμένα, υπάρχει αύξηση των αβεβαιοτήτων όταν εξαιρείται η ακτογραμμή του 1945, η οποία γίνεται ακόμη μεγαλύτερη όταν εξαιρείται και η ακτογραμμή του 1960. Η συγκεκριμένη αύξηση στις αβεβαιότητες και ταυτόχρονη μείωση της αξιοπιστίας των προβλέψεων που εξάγονται από το μοντέλο, παρατηρήθηκε και σε όλες τις προηγούμενες εφαρμογές, στις υπόλοιπες παράκτιες περιοχές. Από τα παραπάνω προκύπτει πως η εξαίρεση παλαιότερης γεωπληροφορίας (ακόμη και αν αυτή συνοδεύεται από σημαντικές αβεβαιότητες) αυξάνει τις αποκλίσεις μεταξύ των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman, αλλά και τις υπολογιζόμενες αβεβαιότητες που τους συνοδεύουν.

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 5β_6 στον οποίο παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής με τις αβεβαιότητες τους για την περιοχή 6_BAR, εξαιρώντας τις ιστορικές ακτογραμμές των χρονολογιών 1945 και 1960.

(6_BAR) Βαρθολομιό Ηλείας, (5850 m) (Αβεβαιότητες x0,2 – Ακτογραμμές : 1972,1987,2000)		
ΤΕΛΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ KALMAN (ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΓΙΑ ΟΛΕΣ ΤΙΣ 39 ΔΙΑΤΟΜΕΣ)		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : - 1.46 +/- 0.34 m/yr	- 1.14 m/yr	- 21.92 %
AOR : - 1.53 +/- 0.73 m/yr (6 συνδυασμοί)	- 1.19 m/yr	- 22.22 %
AER : - 1.56 m/yr	- 1.22 m/yr	- 21.79 %
OLS : - 1.43 +/- 0.005 m/yr	- 1.12 m/yr	- 21.68 %
Jackknife : - 1.53 m/yr	- 1.19 m/yr	- 22.22 %
RLS : 0.11 +/- 0.05 m/yr	0.09 m/yr	- 18.18 %
WLS : - 1.85 +/- 0.04 m/yr	- 1.44 m/yr	- 22.16 %
RWLS : - 1.85 +/- 0.04 m/yr	- 1.44 m/yr	- 22.16 %
LAD : - 2 m/yr	- 1.60 m/yr	- 20 %
WLAD : - 1 m/yr	- 0.78 m/yr	- 22 %
ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ 2050		ΔΙΑΦΟΡΑ %
EPR : - 73 +/- 17 m	- 57 m	- 21.92 %
AOR : - 76.5 +/- 36.5 m	- 59.5 m	- 22.22 %
AER : - 78 m	- 61 m	- 21.79 %
OLS : - 71.5 +/- 0.25 m	- 56 m	- 21.68 %
Jackknife : - 76.5 m	- 59.5 m	- 22.22 %
RLS : 5.5 +/- 2.5 m	4.5 m	- 18.18 %
WLS : - 92.5 +/- 2 m	- 72 m	- 22.16 %
RWLS : - 92.5 +/- 2 m	- 72 m	- 22.16 %
LAD : - 100 m	- 80 m	- 20 %
WLAD : - 50 m	- 39 m	- 22 %

Πίνακας 5β_6 : Παρουσιάζονται οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής για την περιοχή με κωδικό 6_BAR, μέσω της χρησιμοποίησης των 10 μεθόδων (χρωματισμένα κελιά) και συγκρίνονται με τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής μέσω του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman (λευκά κελιά). Χρησιμοποιούνται αβεβαιότητες της τάξης των 0,2 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας.

5.3.6 Συμπεράσματα.

Με βάση τα αποτελέσματα εφαρμογής των 10 μεθόδων αλλά και του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman σε πέντε από τις συνολικά δέκα περιοχές της μελέτης, χρησιμοποιώντας εξολοκλήρου πρόσφατη γεωπληροφορία, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα :

- Στην περιοχή 1_LIT, περιοχή χαμηλής υποχώρησης (0 έως -1μέτρο/χρόνο), η χρησιμοποίηση αποκλειστικά των πρόσφατων ιστορικών ακτογραμμών και η μείωση του συνολικού χρονικού διαστήματος παρατήρησης είχε ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό ρυθμών πρόσχωσης, από το σύνολο των 10 μεθόδων αλλά και το φίλτρο Kalman. Αυτό σημαίνει πως η αφαίρεση παλαιότερων ιστορικών ακτογραμμών με αυξημένες αβεβαιότητες θέσης, οδήγησε στον υπολογισμό πλέον, αναξιόπιστων ρυθμών μεταβολής από τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους.

- Στην περιοχή 7_KAT, περιοχή χαμηλής υποχώρησης (0 έως -1 μέτρο/χρόνο), η χρησιμοποίηση αποκλειστικά των πρόσφατων ιστορικών ακτογραμμών και η μείωση του συνολικού χρονικού διαστήματος παρατήρησης είχε ως αποτέλεσμα να εξακολουθούν να υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης από το σύνολο των 10 μεθόδων αλλά και το φίλτρο Kalman. Η υπολογιζόμενη αυτή υποχώρηση εμφανίζεται αυξημένη σε σχέση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα εφαρμογών όπου χρησιμοποιήθηκαν και οι παλιότερες ιστορικές ακτογραμμές. Αυτό σημαίνει πως η αφαίρεση παλαιότερων ιστορικών ακτογραμμών με αυξημένες αβεβαιότητες θέσης δεν επηρέασε σημαντικά την υπολογιστική διαδικασία των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman στη συγκεκριμένη περιοχή.
- Στην περιοχή 8_BAR, περιοχή χαμηλής υποχώρησης (0 έως -1 μέτρο/χρόνο), η χρησιμοποίηση αποκλειστικά των πρόσφατων ιστορικών ακτογραμμών και η μείωση του συνολικού χρονικού διαστήματος παρατήρησης είχε ως αποτέλεσμα να υπολογίζονται πλέον ρυθμοί πρόσχωσης της τάξης των +0,20 μέτρων/χρόνο από το σύνολο των 10 μεθόδων αλλά και το φίλτρο Kalman. Αυτό σημαίνει πως η αφαίρεση παλαιότερων ιστορικών ακτογραμμών με αυξημένες αβεβαιότητες θέσης είχε σαν αποτέλεσμα τον υπολογισμό πλέον αναξιόπιστων ρυθμών μεταβολής από τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους στη συγκεκριμένη περιοχή.
- Στην περιοχή 4_NES, περιοχή μεσαίας υποχώρησης (-1 έως -3 μέτρα/χρόνο), η χρησιμοποίηση αποκλειστικά των πρόσφατων ιστορικών ακτογραμμών και η μείωση του συνολικού χρονικού διαστήματος παρατήρησης είχε ως αποτέλεσμα να εξακολουθούν να υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης από τις 10 μεθόδους αλλά και το φίλτρο Kalman. Σε κάποιες από τις 10 μεθόδους υπολογίζονταν πλέον υψηλότεροι ρυθμοί υποχώρησης ενώ σε κάποιες άλλες χαμηλότεροι, σε σχέση με τις αντίστοιχες εφαρμογές όπου συμπεριλήφθησαν και οι παλιότερες ιστορικές ακτογραμμές.
- Στην περιοχή 6_BAR, περιοχή μεσαίας υποχώρησης (-1 έως -3 μέτρα/χρόνο), η χρησιμοποίηση αποκλειστικά των πρόσφατων ιστορικών ακτογραμμών και η μείωση του συνολικού χρονικού διαστήματος παρατήρησης είχε ως αποτέλεσμα να εξακολουθούν να υπολογίζονται ρυθμοί υποχώρησης από το σύνολο των 10 μεθόδων αλλά και το φίλτρο Kalman. Η υπολογιζόμενη αυτή υποχώρηση εμφανίζεται μειωμένη σε σχέση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα εφαρμογών όπου χρησιμοποιήθηκαν και οι παλιότερες ιστορικές ακτογραμμές. Αυτό σημαίνει πως η αφαίρεση παλαιότερων ιστορικών ακτογραμμών με αυξημένες αβεβαιότητες θέσης δεν επηρέασε σημαντικά την υπολογιστική διαδικασία των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman στη συγκεκριμένη περιοχή.

Όσον αφορά το σύνολο των πέντε παράκτιων περιοχών της μελέτης, δεν μπορεί να εξαχθεί κάποιο σαφές/κοινό συμπέρασμα στις περιπτώσεις των εφαρμογών όπου χρησιμοποιείται εξολοκλήρου πρόσφατη γεωπληροφορία. Η αφαίρεση παλαιότερων ιστορικών ακτογραμμών με σημαντικά σφάλματα θέσης και η συρρίκνωση του συνολικού διαστήματος παρατήρησης, με τη χρήση νεώτερων και «ποιοτικότερων» ιστορικών ακτογραμμών, δεν βελτιώνει απαραίτητα την απόδοση των 10 μεθόδων ή του φίλτρου Kalman, ούτε μειώνει τις αβεβαιότητες των προβλέψεων τους. Είναι χαρακτηριστικό πως εξαιρώντας τις παλιότερες ιστορικές ακτογραμμές, δεν παρουσιάζεται μια συστηματικότητα ως προς το είδος των αλλαγών στα αποτελέσματα ή το επίπεδο των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής που

υπολογίζονται από τις διαφορετικές μεθόδους. Η εξαίρεση παλαιότερης γεωπληροφορίας φαίνεται πως επηρεάζει με διαφορετικό τρόπο την υπολογιστική διαδικασία των μεθόδων υπολογισμού των ρυθμών μεταβολής, ανάλογα με το είδος των δεδομένων και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της κάθε παράκτιας περιοχής.

Παρόλα αυτά, παρουσιάζεται μια συστηματικότητα όσον αφορά τις υπολογιζόμενες αβεβαιότητες που συνοδεύουν τους ρυθμούς υποχώρησης ή πρόσχωσης και στις πέντε περιπτώσεις των παράκτιων περιοχών που εξετάστηκαν. Οι αβεβαιότητες που υπολογίζονται για τους ρυθμούς μεταβολής των 10 μεθόδων εξαιρώντας παλαιότερες ιστορικές ακτογραμμές, εμφανίζονται σημαντικά αυξημένες σε σχέση με τις αντίστοιχες που υπολογίστηκαν στις προηγούμενες εφαρμογές, όπου είχαν χρησιμοποιηθεί περισσότερα και παλαιότερα δεδομένα. Η συγκεκριμένη παρατήρηση ισχύει για το σύνολο των 10 μεθόδων και στις 5 παράκτιες περιοχές όπου εκτελέστηκαν οι νέες εφαρμογές. Επίσης, η εξαίρεση παλαιότερης γεωπληροφορίας έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνονται πλέον οι αποκλίσεις μεταξύ των ρυθμών μεταβολής που υπολογίζονται από τις 10 μεθόδους σε σχέση με τους αντίστοιχους ρυθμούς που προκύπτουν από το φίλτρο Kalman. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής του φίλτρου Kalman, παρουσιάζουν μικρότερες διακυμάνσεις συγκρινόμενοι με τους αντίστοιχους των 10 μεθόδων, στις περιπτώσεις όπου εξαιρούνται παλαιότερες ιστορικές ακτογραμμές.

5.4 Σύγκριση των προβλέψεων του μοντέλου με την ακτογραμμή του έτους 2009.

5.4.1

Γενική περιγραφή.

Αφού υπολογίστηκαν οι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής (υποχώρησης ή πρόσχωσης) για το σύνολο των 10 περιοχών της διατριβής, χρησιμοποιώντας τις 10 μεθόδους και το φίλτρο Kalman, κρίθηκε σκόπιμο να ελεγχθεί η αξιοπιστία των συγκεκριμένων προβλέψεων σε σχέση με τη σημερινή κατάσταση. Για τις νέες εφαρμογές επιλέχθηκαν ενδεικτικά 4 περιοχές μελέτης (δύο παράκτιες περιοχές χαμηλής υποχώρησης : 1_LIT, 7_KAT, μία μεσαία υποχώρησης : 6_BAR, μία υψηλής υποχώρησης : 10_NES). Στις συγκεκριμένες περιοχές έγινε ψηφιοποίηση της πρόσφατης ακτογραμμής χρονολογίας 2009 από ορθοφωτογραφίες κλίμακας 1:10.000, οι οποίες παρουσιάζονται διαδικτυακά σε ψηφιακή μορφή από την εταιρεία ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. (οι ορθοφωτογραφίες έχουν προκύψει από σειρές αεροφωτογραφιών με χρονολογίες λήψεων 2007 έως 2009 και διαθέτουν γεωαναφορά στο Κρατικό Σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ '87). Έτσι, οι ιστορικές ακτογραμμές του έτους 2009 οι οποίες προέκυψαν για τις τέσσερις παράκτιες περιοχές αποτελούν πρωτογενή δεδομένα υψηλής ακρίβειας, τα σημεία των οποίων βρίσκονται σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ '87. Η υψηλή ακρίβεια των συγκεκριμένων πιο πρόσφατων ιστορικών ακτογραμμών μπορεί να αποδοθεί στην όχι τόσο μικρή κλίμακα των ορθοφωτογραφιών (είναι χαρακτηριστικό πως ενώ για την ιστορική ακτογραμμή του 1945 χρησιμοποιήθηκαν απλές, ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες κλίμακας 1:42.000, για την αντίστοιχη ιστορική ακτογραμμή του 2009 χρησιμοποιούνται ορθοφωτογραφίες κλίμακας 1:10.000). Επίσης, ενώ στο σύνολο των προηγούμενων ιστορικών ακτογραμμών, η ψηφιοποίηση τους έγινε απευθείας από αεροφωτογραφίες των αντίστοιχων χρονολογιών, στην περίπτωση των ιστορικών ακτογραμμών του 2009 χρησιμοποιούνται για τη ψηφιοποίηση έγχρωμες ορθοφωτογραφίες με γεωαναφορά σε ψηφιακή μορφή (οι οποίες προφανώς αποτελούν πηγές υψηλής ακρίβειας δεδομένων θέσης σε σχέση με απλές, αναλογικές αεροφωτογραφίες). Από την παραπάνω διαδικασία της ψηφιοποίησης προέκυψε μία ιστορική ακτογραμμή του έτους 2009 για κάθε μία από τις τέσσερις παράκτιες περιοχές, για την οποία χρησιμοποιήθηκε συντελεστής ακρίβειας $\times 0,2$ της κλίμακας των ορθοφωτογραφιών. Η επιλογή του συγκεκριμένου συντελεστή έγινε θεωρώντας τις ψηφιοποιημένες ακτογραμμές του 2009 ως σχετικά ποιοτικά δεδομένα, με μικρές αβεβαιότητες.

Στις περιπτώσεις ακτών όπου υπήρχε ένας ενιαίος ρυθμός μεταβολής κατά μήκος ολόκληρης της ακτογραμμής, χρησιμοποιήθηκε ο συγκεκριμένος αυτός ρυθμός για να παραχθεί μια συνολική πρόβλεψη – υποθετική ακτογραμμή του 2009, για το σύνολο των διατομών. Ανάμεσα στις τέσσερις παράκτιες περιοχές όμως, υπήρχαν τμήματα ακτών στα οποία είχαν παρατηρηθεί εξαρχής διαφοροποιημένοι ρυθμοί μεταβολής. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι ακτογραμμές στο Βαρθολομίο και στην Κατερίνη όπου παρουσιάζονται και στις δύο περιπτώσεις συνολικά τρεις διαφορετικοί ρυθμοί υποχώρησης (τρία διαφορετικά τμήματα της ακτογραμμής μεταβάλλονται με διαφορετικό τρόπο). Σε αυτές τις περιπτώσεις, με τη χρήση της μεθοδολογίας Binning (η ανάλυση της συγκεκριμένης μεθόδου και των αποτελεσμάτων εφαρμογής της γίνεται διεξοδικά στο 6^ο κεφάλαιο) αναγνωρίστηκαν και εντοπίστηκαν οι υπό-περιοχές κάθε ακτογραμμής όπου παρουσιάζονται διαφοροποιήσεις στην τάση μεταβολής. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν οι

διαφορετικοί αυτοί ρυθμοί υποχώρησης ή πρόσχωσης για να υπολογιστούν ξεχωριστές προβλέψεις για την ακτογραμμή του 2009 σε κάθε ένα τμήμα της ακτογραμμής. Η χρησιμοποίηση διαφορετικών ρυθμών μεταβολής και ο υπολογισμός διαφόρων προβλέψεων ανά τμήμα κρίθηκε αναγκαίος έτσι ώστε να προσεγγιστεί αποτελεσματικότερα η φυσική πραγματικότητα του 2009.

Ο υπολογισμός του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, η ψηφιοποίηση της ακτογραμμής του 2009, η παραγωγή προβλέψεων από το μοντέλο και η σύγκριση των αποτελεσμάτων εφαρμογής των 10 μεθόδων και φίλτρου Kalman με την πραγματική ακτογραμμή του 2009 για τις τέσσερις περιοχές που επιλέχθηκαν, είναι συνολικά μια διαδικασία η οποία διέπεται από σφάλματα. Το επίπεδο αυτών των σφαλμάτων εξαρτάται κυρίως από την ποιότητα των αρχικών δεδομένων (κλίμακες αεροφωτογραφιών και αβεβαιότητες θέσης των ιστορικών ακτογραμμών). Στα σημεία όπου η προβλεπόμενη ακτογραμμή του 2009 προσεγγίζει την πραγματική, ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009, ή ακόμη και ταυτίζεται ως προς τη θέση, εκεί σημαίνει ότι το μοντέλο πρόβλεψης προσέγγισε ικανοποιητικά την πραγματικότητα. Σε τμήματα όπου η προβλεπόμενη ακτογραμμή του 2009 αποκλίνει σημαντικά από την πραγματική θέση της ακτογραμμής, εκεί σημαίνει ότι το σφάλμα πρόβλεψης της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής είναι σημαντικό. Η απόκλιση – αστοχία του μοντέλου ενδέχεται να οφείλεται στην παρουσία σφαλμάτων σε κάποιο από τα στάδια της διαδικασίας (πιθανά σφάλματα κατά τη διαδικασία ψηφιοποίησης των ιστορικών ακτογραμμών) ή ακόμη και σε κάποια «βίαιη» αλλαγή της φυσικής τάσης μεταβολής της εκάστοτε ακτογραμμής στο διάστημα που μεσολάβησε από την τελευταία διαθέσιμη ιστορική ακτογραμμή έως και την τελική ακτογραμμή του 2009. Η βίαια αλλαγή στην τάση μεταβολής μιας ακτογραμμής συνήθως προκαλείται εξαιτίας ανθρώπινων παρεμβάσεων στην παράκτια περιοχή (π.χ. δημιουργία τεχνικών έργων στη ζώνη της παραλίας, δημιουργία φραγμάτων σε ποτάμια), την εκδήλωση κάποιου ακραίου καιρικού φαινομένου (π.χ. κυματική καταιγίδα) ή ακόμη και εξαιτίας επιταχυνόμενης διάβρωσης λόγω των επερχόμενων κλιματικών αλλαγών και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας. Έτσι, ενώ ο υπολογιζόμενος ρυθμός μεταβολής για ένα σημαντικό χρονικό διάστημα παρατήρησης από το 1945 έως το 2000 μπορεί να είναι ρεαλιστικός, ενδέχεται η τελική πρόβλεψη για το έτος 2009 να παρουσιάζει αποκλίσεις από την πραγματική ακτογραμμή, στην περίπτωση που από το 2000 έως το 2009 μεσολάβησε κάποιο τυχαίο γεγονός που άλλαξε τις φυσικές ισορροπίες.

Αστοχίες μεταξύ προβλέψεων και πραγματικής θέσης της ακτογραμμής του 2009 είναι πιθανόν να υπάρχουν και σε περιπτώσεις παράκτιων περιοχών όπου οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής συνοδεύονται από μεγάλες αβεβαιότητες, λόγω φτωχών ποιοτικά αρχικών δεδομένων. Σε κάθε περίπτωση, η σύγκριση των προβλέψεων του μοντέλου με την πραγματική ακτογραμμή του 2009, σε κάθε μία από τις τέσσερις περιοχές οι οποίες επιλέχθηκαν για την παρούσα εφαρμογή, παρόλα τα σφάλματα και τις αβεβαιότητες της συνολικής διαδικασίας, βοηθάει στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Κρίνεται έτσι η χρησιμότητα και η απόδοση του μοντέλου σε κάθε περίπτωση αλλά και το μέγεθος επίδρασης των σφαλμάτων στις τελικές προβλέψεις. Με βάση τις παραπάνω προβλέψεις είναι δυνατόν να γίνουν και οι απαραίτητες εκτιμήσεις για το ποσοστό επικινδυνότητας της κάθε παράκτιας περιοχής, εξαιτίας των μετακινήσεων της ακτογραμμής.

5.4.2

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	1_LIT
ΧΑΜΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Στη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή χαμηλής υποχώρησης εντοπίζονται δύο βασικές υπό-περιοχές στις οποίες παρουσιάζονται διαφορετικοί ρυθμοί μεταβολής. Ο παραπάνω εντοπισμός γίνεται με βάση τη μεθοδολογία Binning η οποία αναλύεται θεωρητικά στο 3^ο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής. Στο τμήμα μεταξύ των διατομών 1 έως 8, υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0,23 μέτρων/χρόνο, ενώ για το υπόλοιπο τμήμα της ακτογραμμής, από τη διατομή 9 έως και την τελευταία διατομή (για ένα συνολικό μήκος περίπου 2 χιλιομέτρων), υπολογίζεται μεγαλύτερος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0,44 μέτρων/χρόνο. Έτσι, υπολογίζονται ουσιαστικά δύο ακτογραμμές πρόβλεψης για το έτος 2009, με βάση τους διαφορετικούς ρυθμούς ανά τμήμα ακτογραμμής. Ο κάθε ένας από τους δύο ετήσιους ρυθμούς πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των ετών του χρονικού διαστήματος πρόβλεψης (1997 – 2009 : 12 χρόνια). Με βάση τα παραπάνω προκύπτει μια ακτογραμμή πρόβλεψης για το τμήμα από τη διατομή 1 έως 8, με συνολική υποχώρηση της τάξης των -2,76 μέτρων σε σχέση με την ιστορική ακτογραμμή του 1997 για τα 12 χρόνια και μια ακτογραμμή πρόβλεψης για το έτος 2009 για την υπόλοιπη ακτή, με συνολική υποχώρηση της τάξης των -5,28 μέτρων σε σχέση με την ακτογραμμή αναφοράς του 1997.

Στην εικόνα 42 που ακολουθεί, φαίνεται η περιοχή μελέτης 1_LIT, οι σχεδιασμένες διατομές, με πράσινο χρώμα η ιστορική ακτογραμμή του 1997, με κόκκινο χρώμα η πραγματική, ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009 η οποία προέκυψε από τις ορθοφωτογραφίες της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. και με κίτρινο χρώμα η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το 2009. Η ακτογραμμή πρόβλεψης σχεδιάστηκε έτσι όπως υπολογίστηκε από τους επί μέρους ρυθμούς υποχώρησης μέσω της μεθοδολογίας Binning και του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τη μέθοδο OLS. Συγκρίνοντας την κίτρινη ακτογραμμή πρόβλεψης με την κόκκινη, πραγματική ακτογραμμή του 2009, δεχόμενοι εκ των προτέρων την ύπαρξη συγκεκριμένων σφαλμάτων θέσης στις δύο ακτογραμμές (κυρίως κατά τη διαδικασία ψηφιοποίησης), προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

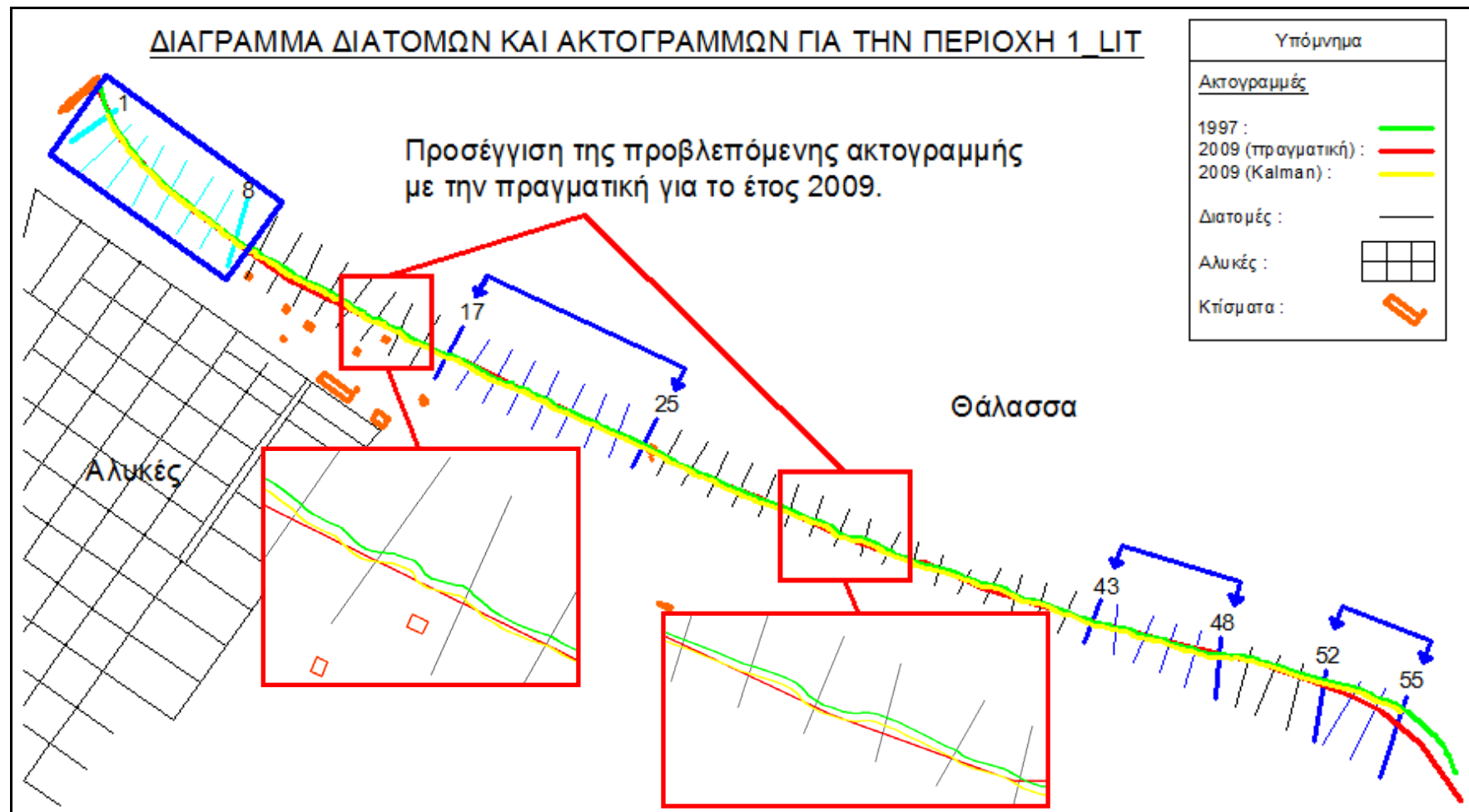
- Στις διατομές 1 έως 8, η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το έτος 2009 (κίτρινο χρώμα) προσεγγίζει σημαντικά σε αρκετά σημεία την πραγματική ακτογραμμή του 2009 (κόκκινο χρώμα) και μάλιστα, σε κάποιες διατομές σχεδόν ταυτίζονται. Αυτό σημαίνει ότι για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης, η πρόβλεψη του μοντέλου παρόλη την ύπαρξη αβεβαιοτήτων, προσεγγίζει ρεαλιστικά τη φυσική πραγματικότητα. Επομένως, ο ρυθμός υποχώρησης που υπολογίζεται μέσω του συνδυασμού της μεθόδου OLS με το τροποποιημένο φίλτρο Kalman, παρότι αρκετά χαμηλός, κρίνεται αξιόπιστος.
- Στις διατομές 9 έως 17, παρότι αλλάζει ο ρυθμός υποχώρησης (σχεδόν διπλασιάζεται) και σχεδιάζεται μία καινούργια ακτογραμμή πρόβλεψης με ακόμη μεγαλύτερη υποχώρηση σε σχέση με το προηγούμενο τμήμα, η συγκεκριμένη κίτρινη ακτογραμμή προσεγγίζει σημαντικά και εδώ την κόκκινη ακτογραμμή του

2009. Αυτό σημαίνει ότι το μοντέλο εξακολουθεί να παράγει αξιόπιστες προβλέψεις.

- Στις διατομές 17 έως 25, παρατηρείται η πρώτη σημαντική απόκλιση μεταξύ της κίτρινης ακτογραμμής πρόβλεψης και της κόκκινης, πραγματικής ακτογραμμής του 2009. Συγκεκριμένα, η ψηφιοποιημένη ακτογραμμή για το 2009 σχεδόν ταυτίζεται με την ακτογραμμή του 1997 (λαμβάνοντας υπόψη βέβαια ότι η κάθε οριογραμμή συνοδεύεται από κάποιες αβεβαιότητες θέσης ως προς τα σημεία της), κάτι που σημαίνει ότι μέσα σε αυτά τα 12 χρόνια η ακτογραμμή στο τμήμα αυτό δεν μετακινήθηκε, αλλά παρέμεινε σταθερή. Επομένως, η πρόβλεψη η οποία δείχνει μια οπισθοχωρημένη ακτογραμμή για το 2009, παρουσιάζει αποκλίσεις από τη φυσική πραγματικότητα. Οι λόγοι που ο ρυθμός υποχώρησης που υπολογίστηκε για το συγκεκριμένο τμήμα δεν είναι αντιπροσωπευτικός της πραγματικής μεταβολής της ακτογραμμής, ενδέχεται να είναι πολλοί. Η κατασκευή κάποιου τεχνικού έργου κατά μήκος της ακτής στο συγκεκριμένο σημείο θα μπορούσε να επηρεάσει τις φυσικές ισορροπίες και την γενικότερη τάση μεταβολής ή ακόμη και η γεωμορφολογία της ακτής στο συγκεκριμένο τμήμα να μην επέτρεψε την υποχώρηση της ακτογραμμής με τους ρυθμούς που προβλέφθηκαν από το μοντέλο.
- Στις διατομές 26 έως 43 παρατηρείται και πάλι σύγκλιση σε πολλά σημεία της προβλεπόμενης ακτογραμμής με την πραγματική του έτους 2009. Στο συγκεκριμένο τμήμα ο ρυθμός μεταβολής που υπολογίστηκε από το μοντέλο προσεγγίζει επαρκώς τη φυσική πραγματικότητα και τη δυναμική εξέλιξη της ακτογραμμής.
- Στις διατομές 43 έως 48 εμφανίζονται και πάλι αποκλίσεις μεταξύ πραγματικής θέσης της ακτογραμμής και πρόβλεψης. Η ακτογραμμή του 2009 προσεγγίζει σημαντικά την ακτογραμμή του 1997, κάτι που σημαίνει ότι δεν υπήρξε ιδιαίτερη υποχώρηση τα τελευταία 12 χρόνια. Η σταθερότητα της ακτής στο συγκεκριμένο σημείο ενδέχεται να οφείλεται και εδώ σε κάποια ανθρώπινη δραστηριότητα ή παρέμβαση. Στις υπόλοιπες διατομές η ακτογραμμή του 2009 φαίνεται να έχει υποχωρήσει σημαντικά, ακόμη περισσότερο και από την πρόβλεψη του μοντέλου (αυξημένοι ρυθμοί υποχώρησης).

Σε γενικές γραμμές, όσον αφορά την ακτογραμμή της περιοχής 1_LIT, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως στα μεγαλύτερα τμήματα της συγκεκριμένης ακτής, η πρόβλεψη του μοντέλου προσέγγισε σημαντικά τη φυσική πραγματικότητα και την πραγματική ακτογραμμή του 2009, παρόλη την ύπαρξη σφαλμάτων και αβεβαιοτήτων στα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Βέβαια, πρόκειται για μια περιοχή στην οποία παρουσιάζονται χαμηλοί ρυθμοί διάβρωσης διαχρονικά, κάτι που σημαίνει πως ακόμη και στις περιπτώσεις όπου παρουσιάζονταν αποκλίσεις μεταξύ προβλεπόμενης ακτογραμμής και πραγματικότητας, αυτές ήταν περιορισμένες και κυμαίνονταν μέσα στα όρια των γενικότερων αβεβαιοτήτων που συνοδεύουν αναπόφευκτα τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής.

Ακολουθεί η εικόνα 42 στην οποία παρουσιάζονται οι ιστορικές ακτογραμμές των ετών 1997 και 2009, όπως επίσης και η ακτογραμμή πρόβλεψης για την περιοχή 1_LIT. Η κλίμακα του διαγράμματος (~1/15.000) επιλέχθηκε έτσι ώστε να συμπεριληφθεί το σύνολο των διατομών :



Εικ. 42 : Η περιοχή μελέτης 1_LIT. Με πράσινο χρώμα εμφανίζεται η ιστορική ακτογραμμή του 1997, με κόκκινο χρώμα η ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009 και με κίτρινο χρώμα η πρόβλεψη της θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2009, με βάση τους υπολογισμένους ρυθμούς μεταβολής του μοντέλου. Μέσα στα κόκκινα πλαίσια παρουσιάζονται δύο χαρακτηριστικά τμήματα όπου το μοντέλο πρόβλεψης προσεγγίζει ρεαλιστικά την ακτογραμμή του 2009. Κλίμακα διαγράμματος : 1/15.000.

5.4.3

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	7_KAT
ΧΑΜΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Στη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή χαμηλής υποχώρησης εντοπίζονται τρεις βασικές υπό-περιοχές στις οποίες παρουσιάζονται διαφορετικοί ρυθμοί μεταβολής. Ο παραπάνω εντοπισμός γίνεται με βάση τη μεθοδολογία Binning. Στο τμήμα μεταξύ των διατομών 1 έως 10, υπολογίζεται σχετικά υψηλός ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0,97 μέτρων/χρόνο, από τη διατομή 11 έως τη διατομή 31 υπολογίζεται χαμηλός ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0,29 μέτρων/χρόνο και για το τμήμα από τη διατομή 32 έως την τελευταία διατομή 40, υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0,39 μέτρων/χρόνο. Έτσι, υπολογίζονται ουσιαστικά τρεις ακτογραμμές πρόβλεψης για το έτος 2009, με βάση τους διαφορετικούς ρυθμούς ανά τμήμα ακτογραμμής. Ο κάθε ένας από τους τρεις ετήσιους ρυθμούς πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των ετών του χρονικού διαστήματος πρόβλεψης (1995 – 2009 : 14 χρόνια). Με βάση τα παραπάνω προκύπτει μια ακτογραμμή πρόβλεψης για το τμήμα από τη διατομή 1 έως 10, με συνολική υποχώρηση της τάξης των -13,58 μέτρων σε σχέση με την ιστορική ακτογραμμή του 1995 για τα 14 χρόνια, μια ακτογραμμή πρόβλεψης για το τμήμα από τη διατομή 11 έως την 39 με υποχώρηση της τάξης των -4,06 μέτρων για το σύνολο των 14 χρόνων και μια ακτογραμμή πρόβλεψης για το έτος 2009 για την υπόλοιπη ακτή, με συνολική υποχώρηση της τάξης των -5,46 μέτρων σε σχέση με την ακτογραμμή αναφοράς του 1995.

Στην εικόνα 43 που ακολουθεί, φαίνεται η περιοχή μελέτης 7_KAT, οι σχεδιασμένες διατομές, με πράσινο χρώμα η ιστορική ακτογραμμή του 1995, με κόκκινο χρώμα η πραγματική, ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009 η οποία προέκυψε από τις ορθοφωτογραφίες της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. και με κίτρινο χρώμα η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το 2009. Η ακτογραμμή πρόβλεψης σχεδιάστηκε έτσι όπως υπολογίστηκε από τους επί μέρους ρυθμούς υποχώρησης μέσω της μεθοδολογίας Binning και του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τη μέθοδο OLS. Συγκρίνοντας την κίτρινη ακτογραμμή πρόβλεψης με την κόκκινη, πραγματική ακτογραμμή του 2009, δεχόμενοι εκ των προτέρων την ύπαρξη συγκεκριμένων σφαλμάτων θέσης στις δύο ακτογραμμές (κυρίως κατά τη διαδικασία ψηφιοποίησης), προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

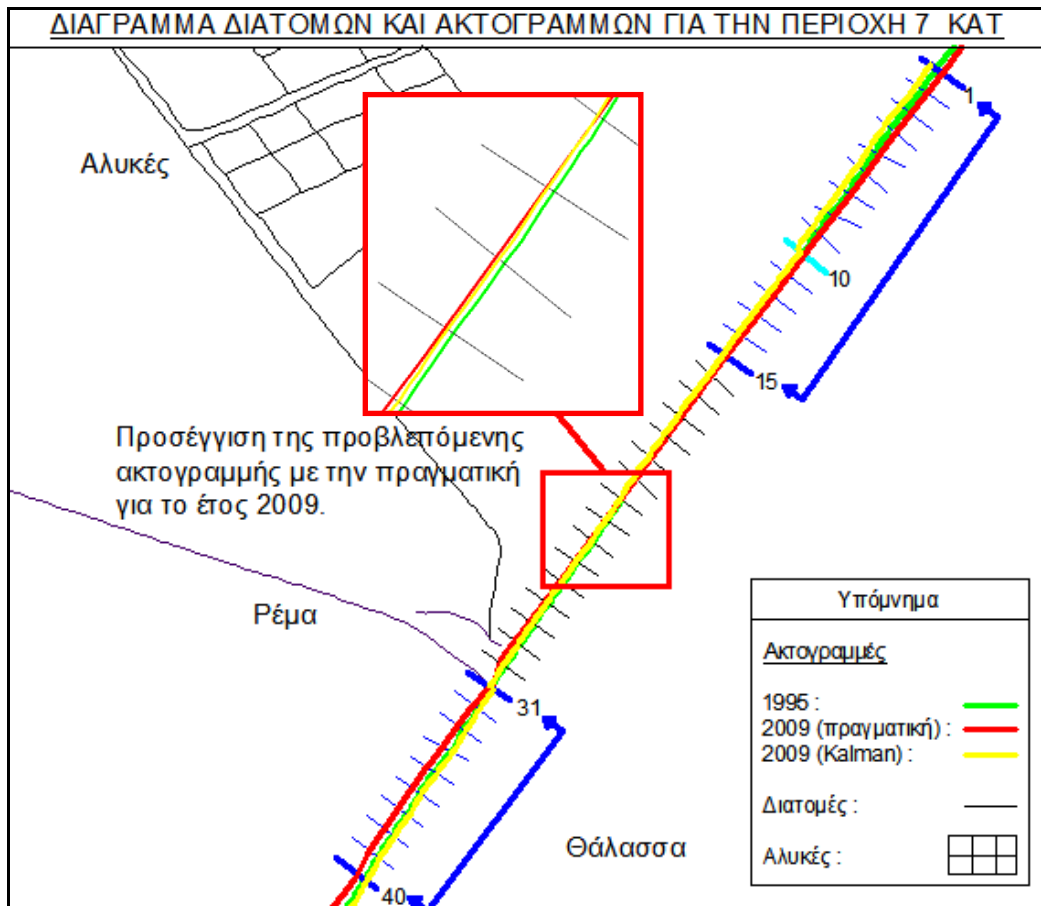
- Στις διατομές 1 έως 10 και 11 έως 15, η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το έτος 2009 (κίτρινο χρώμα) παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις σε αρκετά σημεία με την πραγματική ακτογραμμή του 2009 (κόκκινο χρώμα). Είναι χαρακτηριστικό πως ενώ υπολογίζονται δύο διαφορετικοί ρυθμοί υποχώρησης για τα δύο επί μέρους τμήματα, η πραγματική ακτογραμμή του 2009 φαίνεται να είναι μετακινημένη προς τη θάλασσα (πρόσχωση) σε σχέση με την ιστορική ακτογραμμή του 1995. Αυτό σημαίνει ότι για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης, η πρόβλεψη του μοντέλου συνοδευόμενη από την ύπαρξη αβεβαιοτήτων, δεν προσεγγίζει ικανοποιητικά τη φυσική πραγματικότητα. Βέβαια, μελετώντας την προϊστορία της περιοχής και παρατηρώντας τις διαδοχικές θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής, προκύπτει το συμπέρασμα πως από το έτος 1945 έως το έτος 1995

η φυσική τάση μεταβολής της ακτογραμμής ήταν η χαμηλή υποχώρηση. Με βάση τις συνεχώς υποχωρούμενες ιστορικές ακτογραμμές υπολογίστηκε και από το μοντέλο η πρόβλεψη για περαιτέρω υποχώρηση της ακτογραμμής του 2009. Παρόλα αυτά, εξαιτίας εξωτερικών παραγόντων (πιθανές ανθρώπινες παρεμβάσεις στο μέτωπο της παραλίας ή στο χώρο των Αλυκών), φαίνεται πως η φυσική τάση μεταβολής στο συγκεκριμένο τμήμα μετά το έτος 1995 αλλάζει, οδηγώντας πλέον σε χαμηλή πρόσχωση της ακτογραμμής.

- Στις διατομές 16 έως 31, παρατηρείται σύγκλιση σε αρκετά σημεία της προβλεπόμενης ακτογραμμής με την πραγματική του έτους 2009. Στο συγκεκριμένο τμήμα ο ρυθμός μεταβολής (χαμηλή υποχώρηση) που υπολογίστηκε από το μοντέλο προσεγγίζει επαρκώς τη φυσική πραγματικότητα και τη δυναμική εξέλιξη της ακτογραμμής.
- Στις υπόλοιπες διατομές 32 έως 40, παρατηρείται ξανά σημαντική απόκλιση μεταξύ της κίτρινης ακτογραμμής πρόβλεψης και της κόκκινης, πραγματικής ακτογραμμής του 2009. Συγκεκριμένα, η ψηφιοποιημένη, πραγματική ακτογραμμή για το 2009 φαίνεται να έχει υποχωρήσει σε σχέση με την ιστορική ακτογραμμή του 1995. Σε αυτό το σημείο της ακτογραμμής, η φυσική τάση μεταβολής που προκύπτει από τις διαδοχικές θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών από το 1945 έως το 1995 είναι μια σαφής πρόσχωση. Αντίθετα όμως με τη προσχωτική αυτή τάση που κυριαρχεί για 50 χρόνια στο συγκεκριμένο τμήμα, μετά το 1995 και έως το 2009, κάποιο γεγονός φαίνεται να επηρεάζει τις φυσικές ισορροπίες της ακτής και να προκαλείται πλέον σημαντική υποχώρηση της ακτογραμμής του 2009 (η οποία φτάνει έως τα 20 μέτρα προς το εσωτερικό μέσα στα 14 χρόνια που μεσολαβούν) σε σχέση με την ακτογραμμή του 1995.

Σε γενικές γραμμές, όσον αφορά την ακτογραμμή της περιοχής 7_KAT, καταλήγουμε στο συμπέρασμα πως στο μεσαίο τμήμα της συγκεκριμένης ακτής, η πρόβλεψη του μοντέλου προσέγγισε σημαντικά τη φυσική πραγματικότητα και την πραγματική ακτογραμμή του 2009, παρόλη την ύπαρξη σφαλμάτων και αβεβαιοτήτων στα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Βέβαια, πρόκειται για μια περιοχή στην οποία παρουσιάζονται χαμηλοί ρυθμοί διάβρωσης διαχρονικά, κάτι που σημαίνει πως ακόμη και στις περιπτώσεις όπου παρουσιάζονταν αποκλίσεις μεταξύ προβλεπόμενης ακτογραμμής και πραγματικότητας, αυτές ήταν περιορισμένες και κυμαίνονταν μέσα στα όρια των γενικότερων αβεβαιοτήτων που συνοδεύουν αναπόφευκτα τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής. Στο νότιο και το βόρειο τμήμα της ακτογραμμής, φαίνεται μια αντιστροφή στις τάσεις μεταβολής που υπήρχαν από το 1945 έως το 1995, καθιστώντας τις προβλέψεις και τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής σχετικά αναξιόπιστους. Η επίδραση ανθρώπινων δραστηριοτήτων ή η εκδήλωση κάποιου ακραίου καιρικού φαινομένου μέσα στο χρονικό διάστημα από το 1995 έως το 2009 ενδέχεται να προκάλεσαν τη μεταβολή των τάσεων υποχώρησης και πρόσχωσης και συνεπακόλουθα, την αστοχία των προβλέψεων για τα δύο συγκεκριμένα τμήματα.

Ακολουθεί η εικόνα 43 στην οποία παρουσιάζονται οι ιστορικές ακτογραμμές των ετών 1995 και 2009, όπως επίσης και η ακτογραμμή πρόβλεψης για την περιοχή 7_KAT. Η κλίμακα του διαγράμματος (~1/20.000) επιλέχθηκε έτσι ώστε να συμπεριληφθεί το σύνολο των διατομών :



Εικ. 43 : Η περιοχή μελέτης 7_ΚΑΤ. Με πράσινο χρώμα εμφανίζεται η ιστορική ακτογραμμή του 1995, με κόκκινο χρώμα η ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009 και με κίτρινο χρώμα η πρόβλεψη της θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2009, με βάση τους υπολογισμένους ρυθμούς μεταβολής του μοντέλου. Μέσα στο κόκκινο πλαίσιο παρουσιάζεται χαρακτηριστικό τμήμα όπου το μοντέλο πρόβλεψης προσεγγίζει ρεαλιστικά την ακτογραμμή του 2009. Κλίμακα διαγράμματος : 1/20.000.

5.4.4

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	6_BAR
ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (-1 έως - 3 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Στη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή μεσαίας υποχώρησης εντοπίζονται τρεις βασικές υπό-περιοχές στις οποίες παρουσιάζονται διαφορετικοί ρυθμοί μεταβολής. Ο παραπάνω εντοπισμός γίνεται με βάση τη μεθοδολογία Binning. Στο τμήμα μεταξύ των διατομών 1 έως 12, υπολογίζεται σχετικά χαμηλός ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0,13 μέτρων/χρόνο, από τη διατομή 13 έως τη διατομή 24 υπολογίζεται αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1,25 μέτρων/χρόνο και για το τμήμα από τη διατομή 25 έως την τελευταία διατομή 39, υπολογίζεται υψηλός ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2,41 μέτρων/χρόνο. Έτσι, υπολογίζονται ουσιαστικά τρεις ακτογραμμές πρόβλεψης για το έτος 2009, με βάση τους διαφορετικούς ρυθμούς ανά τμήμα ακτογραμμής. Ο κάθε ένας από τους τρεις ετήσιους ρυθμούς πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό των ετών του χρονικού διαστήματος πρόβλεψης (2000 – 2009 : 9 χρόνια). Με βάση τα παραπάνω προκύπτει μια ακτογραμμή

πρόβλεψης για το τμήμα από τη διατομή 1 έως 12, με συνολική υποχώρηση της τάξης των -1,17 μέτρων σε σχέση με την ιστορική ακτογραμμή του 2000 για τα 9 χρόνια, μια ακτογραμμή πρόβλεψης για το τμήμα από τη διατομή 13 έως την 24 με υποχώρηση της τάξης των -11,25 μέτρων για το σύνολο των 9 χρόνων και μια ακτογραμμή πρόβλεψης για το έτος 2009 για την υπόλοιπη ακτή, με συνολική υποχώρηση της τάξης των -21,69 μέτρων σε σχέση με την ακτογραμμή αναφοράς του 2000.

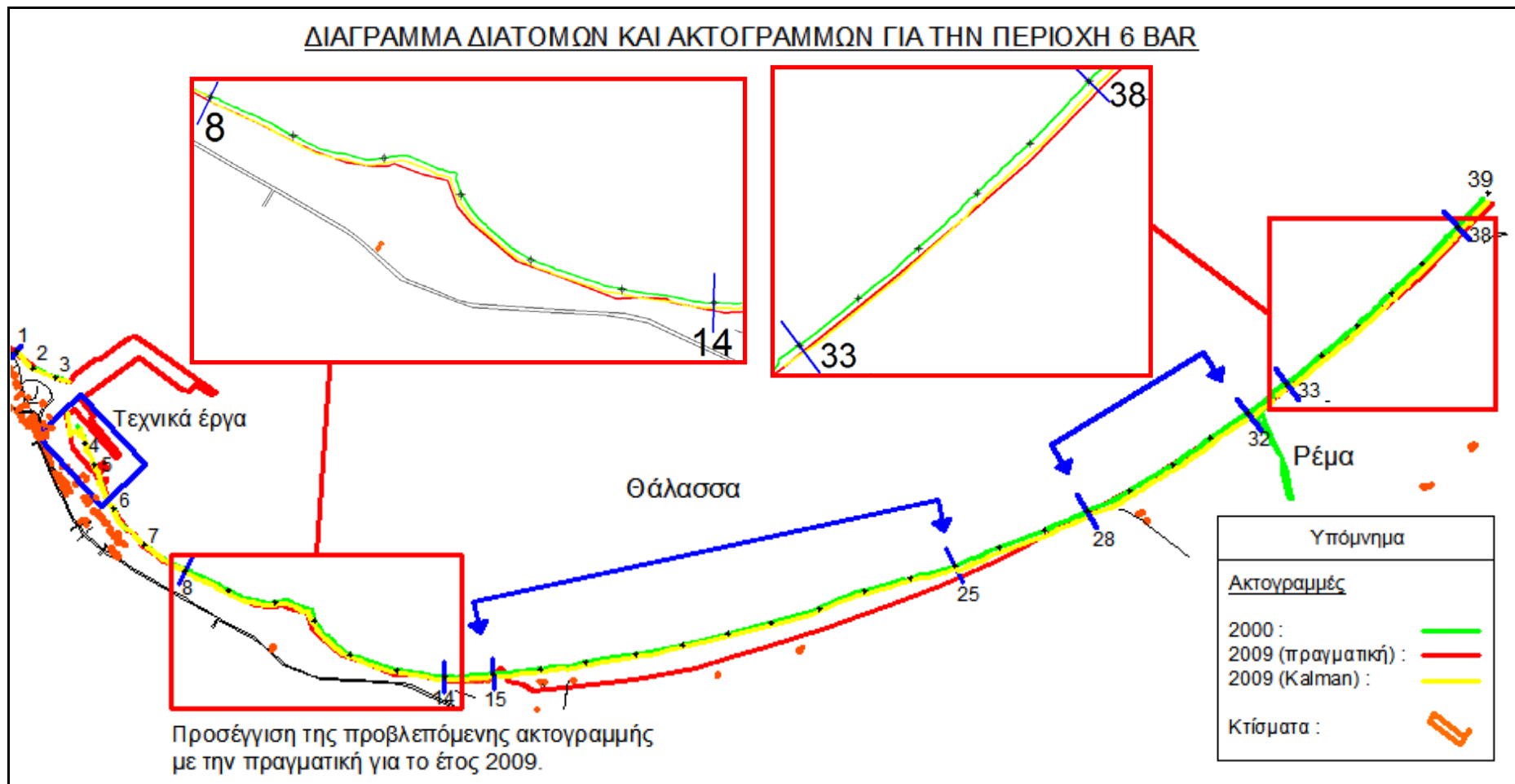
Στην εικόνα 44 που ακολουθεί, φαίνεται η περιοχή μελέτης 6_BAR, οι σχεδιασμένες διατομές, με πράσινο χρώμα η ιστορική ακτογραμμή του 2000, με κόκκινο χρώμα η πραγματική, ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009 η οποία προέκυψε από τις ορθοφωτογραφίες της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. και με κίτρινο χρώμα η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το 2009. Η ακτογραμμή πρόβλεψης σχεδιάστηκε έτσι όπως υπολογίστηκε από τους επί μέρους ρυθμούς υποχώρησης μέσω της μεθοδολογίας Binning και του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τη μέθοδο OLS. Συγκρίνοντας την κίτρινη ακτογραμμή πρόβλεψης με την κόκκινη, πραγματική ακτογραμμή του 2009, με δεδομένη εκ των προτέρων την ύπαρξη συγκεκριμένων σφαλμάτων θέσης στις δύο ακτογραμμές (κυρίως κατά τη διαδικασία ψηφιοποίησης), προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

- Στις διατομές 1 έως 3 και 6 έως 8, η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το έτος 2009 (κίτρινο χρώμα) προσεγγίζει σημαντικά σε αρκετά σημεία την πραγματική ακτογραμμή του 2009 (κόκκινο χρώμα) και μάλιστα, σε κάποιες διατομές σχεδόν ταυτίζονται. Αυτό σημαίνει ότι για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης, η πρόβλεψη του μοντέλου παρόλη την ύπαρξη αβεβαιοτήτων, προσεγγίζει ρεαλιστικά τη φυσική πραγματικότητα. Επομένως, ο ρυθμός υποχώρησης που υπολογίζεται μέσω του συνδυασμού της μεθόδου OLS με το τροποποιημένο φίλτρο Kalman, παρότι αρκετά χαμηλός, κρίνεται αξιόπιστος. Μεταξύ των διατομών 3 έως 5 έχουν συντελεστεί λιμενικά έργα (κατασκευή και επέκταση προβλητών και λιμενοβραχίονα) τα οποία αποτυπώνονται στην ακτογραμμή του 2009. Επομένως, στο συγκεκριμένο τμήμα, εξαιτίας της ανθρώπινης παρέμβασης, έχει αλλάξει εντελώς η ακτογραμμή του 2000 και δεν έχει πρακτικό νόημα η πρόβλεψη της δυναμικής εξέλιξης της.
- Στις διατομές 8 έως 15, η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το έτος 2009 (κίτρινο χρώμα) προσεγγίζει σημαντικά σε αρκετά σημεία την πραγματική ακτογραμμή του 2009 (κόκκινο χρώμα) και μάλιστα, σε κάποιες διατομές σχεδόν ταυτίζονται. Αυτό σημαίνει ότι για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης, η πρόβλεψη του μοντέλου παρόλη την ύπαρξη αβεβαιοτήτων, προσεγγίζει ρεαλιστικά τη φυσική πραγματικότητα. Επομένως, οι δύο ξεχωριστοί ρυθμοί υποχώρησης που υπολογίζονται μέσω του συνδυασμού της μεθόδου OLS με το τροποποιημένο φίλτρο Kalman, κρίνονται και οι δύο αξιόπιστοι.
- Στις διατομές 16 έως 24, παρατηρείται η πρώτη σημαντική απόκλιση μεταξύ της κίτρινης ακτογραμμής πρόβλεψης και της κόκκινης, πραγματικής ακτογραμμής του 2009. Συγκεκριμένα, η ψηφιοποιημένη ακτογραμμή για το 2009 εμφανίζεται να έχει υποχωρήσει σημαντικά σε σχέση με την ακτογραμμή του 2000, κάτι που σημαίνει ότι μέσα σε αυτά τα 9 χρόνια η ακτογραμμή στο τμήμα αυτό παρουσίασε αυξημένους ρυθμούς διάβρωσης. Η πρόβλεψη η οποία δείχνει εξίσου μια οπισθοχωρημένη ακτογραμμή για το 2009, παρουσιάζει αποκλίσεις από τη φυσική πραγματικότητα. Παρόλο που το μοντέλο πετυχαίνει στο να περιγράψει

την τάση υποχώρησης της ακτογραμμής στο συγκεκριμένο τμήμα, το μέγεθος της προβλεπόμενης υποχώρησης είναι μικρότερο από αυτό που συντελέστηκε στην πραγματικότητα. Έτσι, ενώ το μοντέλο προβλέπει μια υποχώρηση της τάξης των 12 μέτρων περίπου για αυτά τα 9 χρόνια που μεσολαβούν, στην πραγματικότητα, υπάρχουν σημεία όπου η ακτογραμμή φαίνεται να υποχώρησε σημαντικά περισσότερο από την αρχική θέση της ιστορικής ακτογραμμής του 2000. Οι λόγοι που ο ρυθμός υποχώρησης που υπολογίστηκε για το συγκεκριμένο τμήμα δεν είναι αντιπροσωπευτικός της πραγματικής μεταβολής της ακτογραμμής, ενδέχεται να είναι πολλοί. Η κατασκευή κάποιου τεχνικού έργου κατά μήκος της ακτής στο συγκεκριμένο σημείο θα μπορούσε να επηρεάσει τις φυσικές ισορροπίες και τη γενικότερη τάση μεταβολής.

- Στις διατομές 25 έως 28, η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το έτος 2009 (κίτρινο χρώμα) προσεγγίζει και πάλι σημαντικά σε αρκετά σημεία την πραγματική ακτογραμμή του 2009 (κόκκινο χρώμα) και μάλιστα, σε κάποιες διατομές σχεδόν ταυτίζονται. Αυτό σημαίνει ότι για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης, η πρόβλεψη του μοντέλου παρόλη την ύπαρξη αβεβαιοτήτων, επαναπροσεγγίζει ρεαλιστικά τη φυσική πραγματικότητα.
- Στις διατομές 28 έως 32 εμφανίζονται και πάλι αποκλίσεις μεταξύ πραγματικής θέσης της ακτογραμμής και πρόβλεψης. Η ακτογραμμή του 2009 σχεδόν ταυτίζεται με την ακτογραμμή του 2000, κάτι που σημαίνει ότι δεν υπήρξε υποχώρηση τα τελευταία 9 χρόνια. Η σταθερότητα της ακτής στο συγκεκριμένο σημείο ενδέχεται να οφείλεται και εδώ σε κάποια ανθρώπινη δραστηριότητα ή παρέμβαση.
- Στις διατομές 32 έως 39, η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το έτος 2009 (κίτρινο χρώμα) προσεγγίζει και πάλι σημαντικά σε αρκετά σημεία την πραγματική ακτογραμμή του 2009 (κόκκινο χρώμα) και μάλιστα, σε κάποιες διατομές σχεδόν ταυτίζονται. Αυτό σημαίνει ότι για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης, η πρόβλεψη του μοντέλου παρόλη την ύπαρξη αβεβαιοτήτων, προσεγγίζει ρεαλιστικά τη φυσική πραγματικότητα.

Σε γενικές γραμμές, στα μεγαλύτερα τμήματα της συγκεκριμένης ακτής, η πρόβλεψη του μοντέλου προσέγγισε σημαντικά τη φυσική πραγματικότητα και την πραγματική ακτογραμμή του 2009, παρόλη την ύπαρξη σφαλμάτων και αβεβαιοτήτων στα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Η ιδιαιτερότητα της συγκεκριμένης περιοχής σε σχέση με τις δύο προηγούμενες που εξετάστηκαν έγκειται στο γεγονός ότι στη συγκεκριμένη ακτή υπολογίζονται σχετικά υψηλοί ρυθμοί υποχώρησης της ακτογραμμής. Επίσης, σε συγκεκριμένα σημεία της ακτής (κυρίως στο δυτικό τμήμα, κοντά στον οικισμό) έχουν κατασκευαστεί λιμενικά έργα τα οποία επηρεάζουν σημαντικά τις φυσικές ισορροπίες και την τάση μεταβολής της ακτογραμμής. Παρόλο που υπάρχουν οι σημαντικές αυτές ανθρώπινες επεμβάσεις στην παράκτια περιοχή 6_BAR, το μοντέλο υπολογίζει σχετικά αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής οι οποίοι σε πολλά τμήματα παράγουν προβλέψεις που προσεγγίζουν τις πραγματικές θέσεις της ακτογραμμής του 2009. Ακολουθεί η εικόνα 44 στην οποία παρουσιάζονται οι ιστορικές ακτογραμμές των ετών 2000 και 2009, όπως επίσης και η ακτογραμμή πρόβλεψης για την περιοχή 6_BAR. Η κλίμακα του διαγράμματος (~1:20.000) επιλέχθηκε έτσι ώστε να συμπεριληφθεί το σύνολο των διατομών :



Εικ. 44 : Η περιοχή μελέτης 6_BAR. Με πράσινο χρώμα εμφανίζεται η ιστορική ακτογραμμή του 2000, με κόκκινο χρώμα η ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009 και με κίτρινο χρώμα η πρόβλεψη της θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2009, με βάση τους υπολογισμένους ρυθμούς μεταβολής του μοντέλου. Μέσα στο κόκκινο πλαίσιο παρουσιάζεται χαρακτηριστικό τμήμα όπου το μοντέλο πρόβλεψης προσεγγίζει ρεαλιστικά την ακτογραμμή του 2009. Κλίμακα διαγράμματος : 1/20.000.

5.4.5

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	10_NES
ΥΨΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (> -3 m/yr)	

Μεθοδολογία.

Στη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή υψηλής υποχώρησης εντοπίζονται δύο βασικές υπό-περιοχές, ανατολικά και δυτικά του Δέλτα του Νέστου. Στην περιοχή Α, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 45 της ευρύτερης παράκτιας περιοχής, υπολογίζεται ένας ενιαίος ρυθμός υποχώρησης της ακτογραμμής με βάση τη μεθοδολογία Binning. Έτσι, στο τμήμα μεταξύ των διατομών 1 έως 25 υπολογίζεται ένας σημαντικός ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2,57 μέτρων/χρόνο με τη χρήση της μεθόδου OLS, σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται μια ακτογραμμή πρόβλεψης για το έτος 2009, χρησιμοποιώντας ως ιστορική ακτογραμμή αναφοράς την ακτογραμμή του 1990. Επομένως, ο παραπάνω ετήσιος ρυθμός υποχώρησης πολλαπλασιάζεται με το σύνολο των χρόνων του διαστήματος πρόβλεψης (1990 – 2009 : 19 χρόνια) και από εκεί προκύπτει η συνολική υποχώρηση του τμήματος Α της ακτογραμμής, η οποία είναι της τάξης των -48,83 μέτρων.

Αντίστοιχα, για το ανατολικό τμήμα Β της ακτογραμμής, εντοπίζονται τρεις διαφορετικές υπό-περιοχές μέσω της μεθοδολογίας Binning, στις οποίες υπολογίζονται τρεις διαφορετικοί ρυθμοί υποχώρησης. Στο τμήμα Β χρησιμοποιείται ως αφετηρία πρόβλεψης η ιστορική ακτογραμμή του 1992. Από τη διατομή 113 έως 123 υπολογίζεται ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1,78 μέτρων/χρόνο [συνολική υποχώρηση για το διάστημα 1992 έως 2009 (17 χρόνια) : -30,26 μέτρα], από τη διατομή 123 έως τη διατομή 139 υπολογίζεται αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -4,02 μέτρων/χρόνο και συνολική υποχώρηση -65,34 μέτρα για 17 χρόνια και τέλος, από τη διατομή 139 έως τη διατομή 147 υπολογίζεται ιδιαίτερα υψηλός ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -5,85 μέτρων/χρόνο και συνολική υποχώρηση 99,45 μέτρων. Έτσι, υπολογίζονται συνολικά μία ακτογραμμή πρόβλεψης για το τμήμα Α και τρεις διαφορετικές ακτογραμμές πρόβλεψης για το τμήμα Β.

Στην εικόνα 45 που ακολουθεί, φαίνεται η περιοχή μελέτης 10_NES, οι σχεδιασμένες διατομές, με πράσινο χρώμα η ιστορική ακτογραμμή του 1990, με πορτοκαλί χρώμα η ιστορική ακτογραμμή του 1992, με κόκκινο χρώμα η πραγματική, ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009 η οποία προέκυψε από τις ορθοφωτογραφίες της ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ Α.Ε. και με κίτρινο χρώμα η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το 2009 (και για τα δύο τμήματα Α και Β). Η ακτογραμμή πρόβλεψης σχεδιάστηκε έτσι όπως υπολογίστηκε από τους επί μέρους ρυθμούς υποχώρησης μέσω της μεθοδολογίας Binning και του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τη μέθοδο OLS. Συγκρίνοντας την κίτρινη ακτογραμμή πρόβλεψης με την κόκκινη, πραγματική ακτογραμμή του 2009, με δεδομένη εκ των προτέρων την ύπαρξη συγκεκριμένων σφαλμάτων θέσης στις δύο ακτογραμμές (κυρίως κατά τη διαδικασία ψηφιοποίησης), προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα:

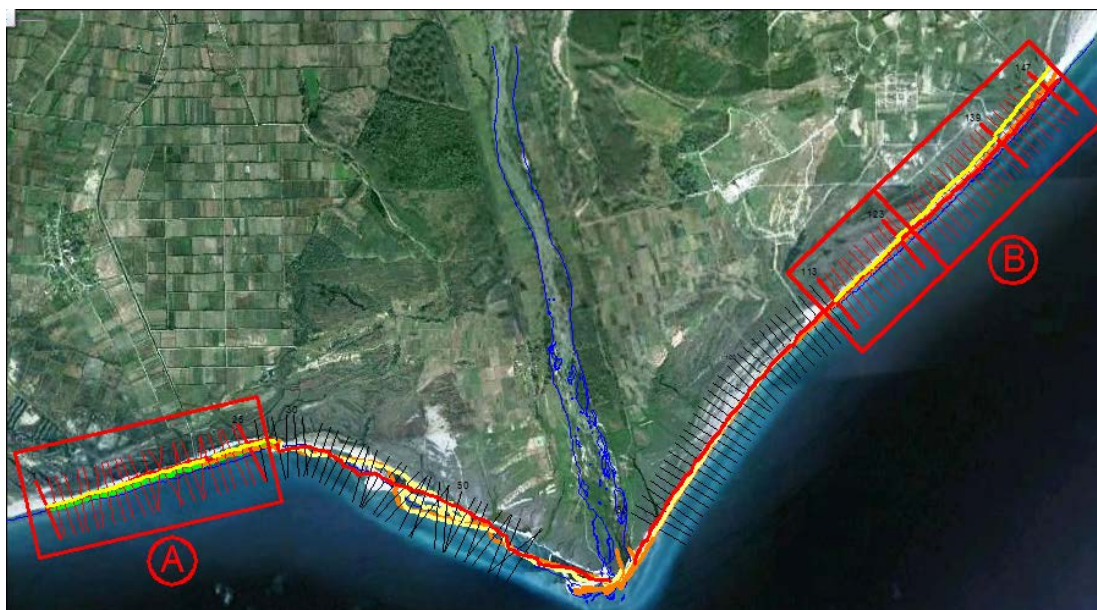
- Στις διατομές 1 έως 25 στο δυτικό τμήμα Α, η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το έτος 2009 (κίτρινο χρώμα) προσεγγίζει σημαντικά σε αρκετά σημεία την πραγματική ακτογραμμή του 2009 (κόκκινο χρώμα) και μάλιστα, σε κάποιες διατομές σχεδόν ταυτίζονται. Αυτό σημαίνει ότι για το συγκεκριμένο τμήμα της

ακτογραμμής μελέτης, η πρόβλεψη του μοντέλου παρόλη την ύπαρξη αβεβαιοτήτων, προσεγγίζει ρεαλιστικά τη φυσική πραγματικότητα. Επομένως, ο ρυθμός υποχώρησης που υπολογίζεται μέσω του συνδυασμού της μεθόδου OLS με το τροποποιημένο φίλτρο Kalman, παρότι αρκετά χαμηλός, κρίνεται αξιόπιστος.

- Όπως ήδη αναφέρθηκε, στο ανατολικό τμήμα Β υπολογίζονται τρεις διαφορετικοί ρυθμοί υποχώρησης για τρεις διαφορετικές ομάδες διατομών και επομένως, τρεις διαφορετικές ακτογραμμές πρόβλεψης (κίτρινο χρώμα) για το έτος 2009. Στις διατομές 113 έως 123 η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το έτος 2009 (κίτρινο χρώμα) προσεγγίζει και πάλι σημαντικά σε αρκετά σημεία την πραγματική ακτογραμμή του 2009 (κόκκινο χρώμα). Αυτό σημαίνει ότι για το συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης, η πρόβλεψη του μοντέλου προσεγγίζει σημαντικά τη φυσική πραγματικότητα.
- Παρατηρώντας τις θέσεις της ακτογραμμής του έτους 1992 και της ακτογραμμής του 2009, προκύπτει το συμπέρασμα πως από τη διατομή 123 έως και την τελευταία διατομή 147, η τάση μεταβολής της ακτογραμμής αλλάζει σταδιακά. Ενώ έως και την ακτογραμμή 123 φαίνεται μια χαμηλή μεν, αλλά σαφής τάση υποχώρησης, μετά τη διατομή 123 η τάση αυτή μεταβάλλεται με αποτέλεσμα στο τμήμα μεταξύ των διατομών 123 έως 139 η ακτογραμμή του 2009 να έχει μετακινηθεί ελάχιστα προς τη θάλασσα (προσχωτική τάση πλέον), ενώ στο τμήμα 139 έως 147 η τάση πρόσχωσης εξακολουθεί, ελαφρώς αυξημένη.
- Με βάση την παραπάνω παρατήρηση γίνεται σαφές πως στα δύο τελευταία τμήματα της υπό – περιοχής Β, η προβλεπόμενη ακτογραμμή του 2009 παρουσιάζει αποκλίσεις από την πραγματική ακτογραμμή του 2009. Στις διατομές 123 έως 139 όπου η προβλεπόμενη ακτογραμμή για το έτος 2009 σχεδιάστηκε με βάση έναν υψηλό ρυθμό υποχώρησης μέσω του μοντέλου, η απόκλιση μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικότητας για το χρονικό διάστημα των 17 χρόνων, υπολογίζεται σε αρκετές δεκάδες μέτρα σε συγκεκριμένα σημεία. Αντίστοιχα, στο τμήμα των διατομών 139 έως 147, η απόκλιση μεταξύ προβλεπόμενης ακτογραμμής του 2009 και πραγματικής ακτογραμμής του 2009, υπολογίζεται ακόμη μεγαλύτερη, καθώς ενώ η ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009 φαίνεται να έχει μετακινηθεί προς τη θάλασσα ως προς την πορτοκαλί ακτογραμμή του 1992, το μοντέλο στηριζόμενο στην προϊστορία την περιοχής και την παρατηρούμενη από το 1969 ιστορική οπισθοχώρηση της ακτής, υπολογίζει τον υψηλότερο ρυθμό υποχώρησης για ολόκληρη την περιοχή. Είναι χαρακτηριστικό πως παρόλο που οι ιστορικές ακτογραμμές ξεκινώντας από το 1969, φαίνονται να υποχωρούν σταθερά μέχρι το 1992, η τάση μεταβολής στη συνέχεια αλλάζει, με την ακτογραμμή του 2009 να είναι η πρώτη προσχωτική ιστορική ακτογραμμή για το συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής. Η μεταβολή αυτή στη δυναμική εξέλιξη της ακτογραμμής ανατολικά του Δέλτα ενδέχεται να οφείλεται στην παρούσα περίπτωση σε εξωτερικές ανθρώπινες παρεμβάσεις. Άλλωστε, είναι συχνά παρατηρούμενο φαινόμενο να αλλάζουν οι φυσικές ισορροπίες και η τάση μεταβολής της ακτογραμμής ειδικά σε περιοχές δέλτα ποταμών όπου η κατασκευή κάποιου φράγματος ή τεχνικών λιμενικών έργων δύναται να προκαλέσει φαινόμενα διάβρωσης ή πρόσχωσης, ανάλογα με το τμήμα της ακτογραμμής που εξετάζεται.

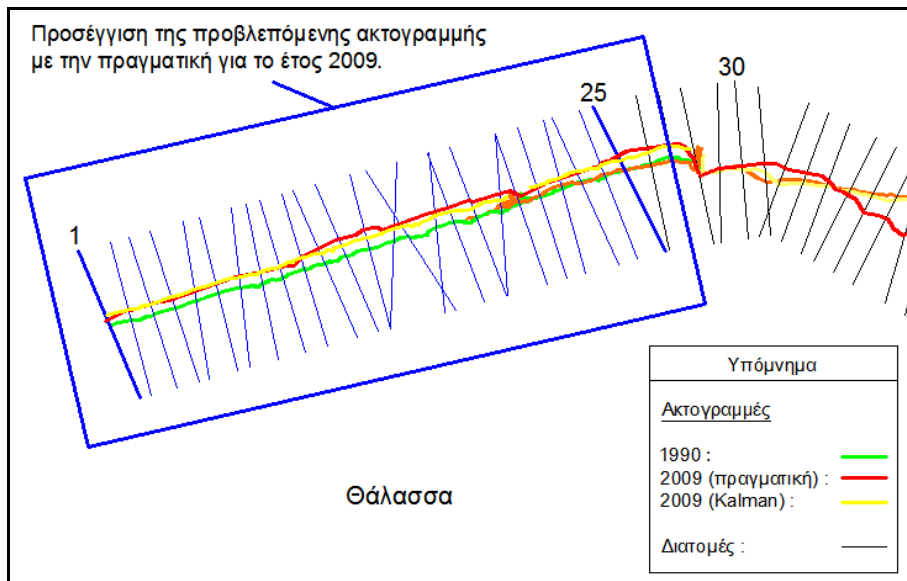
Σε γενικές γραμμές, στο δυτικό τμήμα Α και σε ένα μέρος του ανατολικού τμήματος Β της συγκεκριμένης ακτής, η πρόβλεψη του μοντέλου προσέγγισε

σημαντικά τη φυσική πραγματικότητα και την ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009, παρόλη την ύπαρξη σφαλμάτων και αβεβαιοτήτων στα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Στη συγκεκριμένη περιοχή 10_NES, υπολογίζονται υψηλοί ρυθμοί υποχώρησης της ακτογραμμής, ακόμη μεγαλύτεροι και σε σχέση με την περιοχή 6_BAR. Επίσης, πρόκειται για μια παράκτια περιοχή μεγάλης οικολογικής σημασίας και ιδιαίτερα ευαίσθητων φυσικών ισοροπιών καθώς πρόκειται για ένα από τα μεγαλύτερα και σημαντικότερα δέλτα ποταμών της χώρας μας. Πιθανές ανθρώπινες παρεμβάσεις (η κατασκευή φραγμάτων κατά μήκος του Νέστου, η συστηματική καλλιέργεια των εδαφών και η γεώτρηση υδάτων) σε συνδυασμό με τις κλιματικές αλλαγές και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας έχουν άμεσες επιπτώσεις στη μετακίνηση ακτογραμμής. Αυτό σημαίνει ότι η προσπάθεια μοντελοποίησης της δυναμικής εξέλιξης ενός τόσο ευαίσθητου και πολύπλοκου παράκτιου συστήματος κρίνεται ως αρκετά δύσκολη. Παρόλα αυτά, το μοντέλο πρόβλεψης που αναλύεται και παρουσιάζεται στην παρούσα διατριβή, επιτυγχάνει σε αρκετά τμήματα της συγκεκριμένης ακτογραμμής να υπολογίσει ρεαλιστικές προβλέψεις, συγκρίνοντας τις ακτογραμμές πρόβλεψης με την πραγματική ακτογραμμή του 2009. Ακολουθεί η εικόνα 45 στην οποία παρουσιάζονται τα δύο τμήματα μελέτης A και B, οι σχεδιασμένες διατομές, οι ιστορικές ακτογραμμές των ετών 1990, 1992 και 2009, όπως επίσης και η ακτογραμμή πρόβλεψης για την περιοχή 10_NES στο Δέλτα του Νέστου :

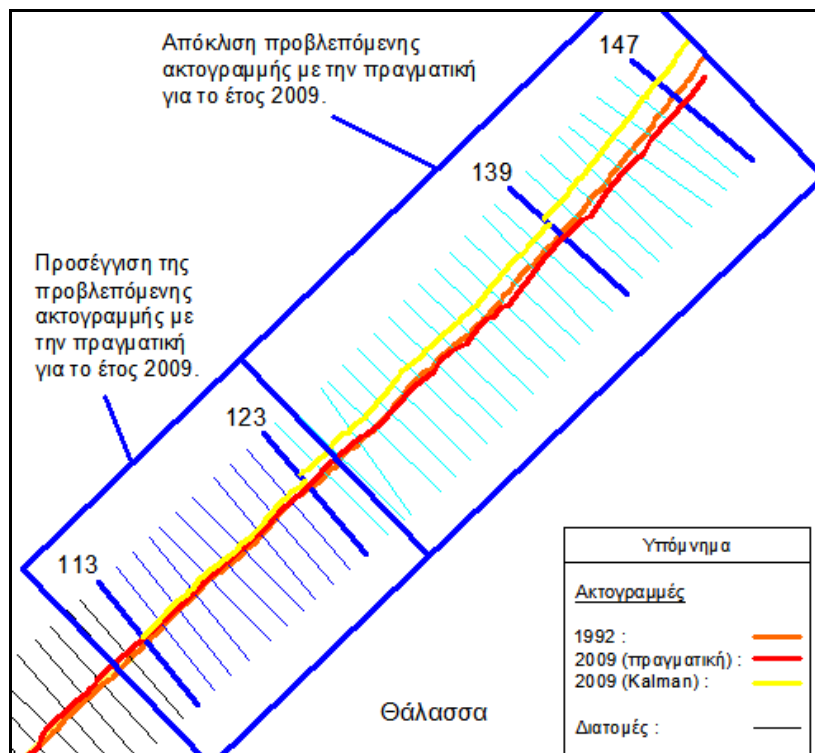


Εικ. 45 : Η περιοχή μελέτης 10_NES. Στα κόκκινα πλαίσια φαίνονται οι δύο υπό-περιοχές A και B, δυτικά και ανατολικά του Δέλτα του Νέστου αντίστοιχα.

Ακολουθούν οι εικόνες 46 και 47 στις οποίες παρουσιάζονται σε μεγαλύτερη κλίμακα τα δύο τμήματα μελέτης A και B, οι σχεδιασμένες διατομές, οι ιστορικές ακτογραμμές των ετών 1990 (πράσινο χρώμα), 1992 (πορτοκαλί χρώμα) και 2009 (κόκκινο χρώμα), όπως επίσης και η ακτογραμμή πρόβλεψης για την περιοχή 10_NES (κίτρινο χρώμα). Η κλίμακα των διαγραμμάτων (~1:40.000) επιλέχθηκε έτσι ώστε να συμπεριληφθεί το σύνολο των διατομών ανά τμήμα ακτής :



Εικ. 46 : Το δυτικό τμήμα Α της περιοχής μελέτης 10_NES. Με πράσινο χρώμα εμφανίζεται η ιστορική ακτογραμμή του 1990, με κόκκινο χρώμα η ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009 και με κίτρινο χρώμα η πρόβλεψη της θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2009. Κλίμακα διαγράμματος : 1/40.000.



Εικ. 47 : Το ανατολικό τμήμα Β της περιοχής μελέτης 10_NES. Με πορτοκαλί χρώμα εμφανίζεται η ιστορική ακτογραμμή του 1992, με κόκκινο χρώμα η ψηφιοποιημένη ακτογραμμή του 2009 και με κίτρινο χρώμα η πρόβλεψη της θέσης της ακτογραμμής για το έτος 2009. Κλίμακα διαγράμματος : 1/40.000.

5.5 Υπολογισμός του «δείκτη προσαρμογής» του μοντέλου.

5.5.1 Γενική περιγραφή.

Στη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή υψηλής υποχώρησης, αρχικά υπολογίστηκαν οι επιμέρους ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής χρησιμοποιώντας τις 10 μεθόδους, το τροποποιημένο φίλτρο Kalman και τη μεθοδολογία Binning. Στη συνέχεια, στο υποκεφάλαιο 5.4 ακολούθησε η σύγκριση των προβλέψεων του μοντέλου (της προβλεπόμενης θέσης της ακτογραμμής) σε σχέση με την πραγματική, πρόσφατη ιστορική ακτογραμμή του έτους 2009 (ψηφιοποιημένη από τις ορθοφωτογραφίες του έτους 2009). Με βάση τις αποκλίσεις μεταξύ προβλεπόμενης ακτογραμμής και πραγματικής για το έτος 2009 (συνοδευόμενες και οι δύο από συγκεκριμένες αβεβαιότητες), είναι δυνατόν να υπολογιστεί ένας «δείκτης προσαρμογής» (δ) του τροποποιημένου φίλτρου και συνολικά του μοντέλου πρόβλεψης και να προκύψουν συμπεράσματα ως προς τη συστηματικότητα των προβλέψεων. Ο δείκτης αυτός θα εκφράζει τη μέση απόκλιση της προβλεπόμενης θέσης της ακτογραμμής με την πραγματική για το έτος 2009 (χρησιμοποιώντας τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής) για κάθε υποτομήμα της εκάστοτε ακτογραμμής μελέτης. Στα πλαίσια της υπολογιστικής διαδικασίας, θα πρέπει να υπολογιστούν γραφικά τα εμβαδά μεταξύ της ακτογραμμής πρόβλεψης με την ιστορική ακτογραμμή του 2009 και να διαιρεθούν με το συνολικό μήκος της εκάστοτε ακτογραμμής μελέτης.

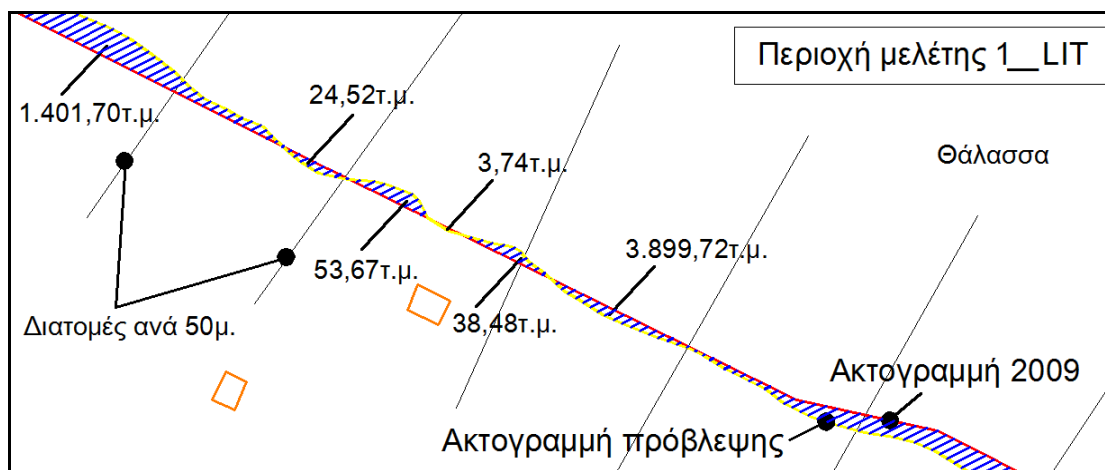
Για τον υπολογισμό του «δείκτη προσαρμογής» του μοντέλου και των μέσων αποκλίσεων μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής ακτογραμμής για το έτος 2009, επιλέχθηκαν οι 4 περιοχές μελέτης (δύο παράκτιες περιοχές χαμηλής υποχώρησης : 1_LIT, 7_KAT, μία μεσαίας υποχώρησης : 6_BAR, μία υψηλής υποχώρησης : 10_NES) οι οποίες εξετάστηκαν και στο υποκεφάλαιο 5.4.

5.5.2 Μεθοδολογία.

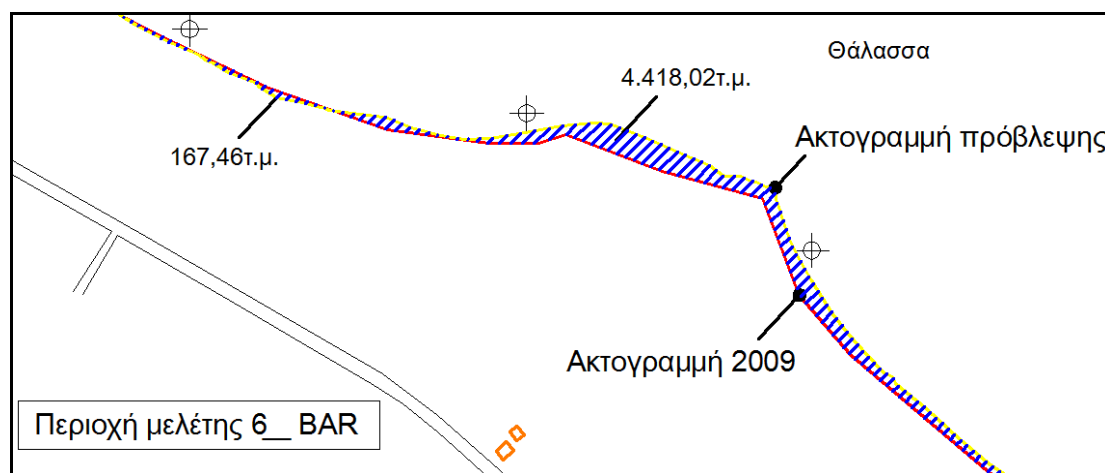
Όπως αναφέρθηκε, ο «δείκτης προσαρμογής» δ , ο οποίος υπολογίστηκε για συγκεκριμένα τμήματα της ακτογραμμής των 4 παράκτιων περιοχών, εκφράζει το βαθμό προσέγγισης της προβλεπόμενης ακτογραμμής με την πραγματική για το έτος 2009. Η προβλεπόμενη αυτή ακτογραμμή (η οποία φαίνεται με κίτρινο χρώμα στα διαγράμματα του υποκεφαλαίου 5.4) προκύπτει έχοντας ως αφετηρία την πιο πρόσφατη διαθέσιμη ακτογραμμή πριν το έτος 2009 και χρησιμοποιώντας τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίζονται μέσω του συνδυασμού του τροποποιημένου φίλτρου Kalman και της μεθοδολογίας Binning. Στις περιοχές όπου η πρόβλεψη (κίτρινο χρώμα) προσεγγίζει την ψηφιοποιημένη ιστορική ακτογραμμή του 2009 (κόκκινο χρώμα) στο σύνολο της ακτογραμμής μελέτης, το μοντέλο κρίνεται πως έχει υπολογίσει αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής και οι προβλέψεις/εκτιμήσεις του προσεγγίζουν τη φυσική, δυναμική εξέλιξη του παράκτιου συστήματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις, όταν αθροίζονται τα εμβαδά των τμημάτων τα οποία σχηματίζονται μεταξύ κόκκινης και κίτρινης ακτογραμμής, υπολογίζεται ένα μικρό «συνολικό εμβαδό απόκλισης», το οποίο εάν διαιρεθεί με το συνολικό μήκος της ακτογραμμής μελέτης, υπολογίζει ένα μικρό «δείκτη προσαρμογής». Επομένως, σε μια παράκτια περιοχή, μικρές τιμές για το δείκτη δ σημαίνουν ικανοποιητική προσέγγιση της φυσικής πραγματικότητας και της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής από το μοντέλο, μέσω του υπολογισμού ρεαλιστικών ρυθμών μεταβολής. Αντίθετα, μεγάλες τιμές του δείκτη δ σημαίνουν ότι το συνολικό εμβαδό απόκλισης μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικότητας για το έτος 2009 είναι μεγάλο (η

κίτρινη ακτογραμμή αποκλίνει σημαντικά από την κόκκινη ακτογραμμή). Στις 4 παράκτιες περιοχές της μελέτης, αρχικά υπολογίστηκαν γραφικά τα εμβαδά απόκλισης για την κάθε περίπτωση, στη συνέχεια αθροίστηκαν (έτσι ώστε να υπολογιστεί ένα συνολικό εμβαδό απόκλισης για κάθε περιοχή) και τελικώς διαιρέθηκαν με το συνολικό μήκος της ακτογραμμής μελέτης (ή το μήκος του τμήματος που εξετάστηκε κατά περίπτωση). Από την παραπάνω διαδικασία υπολογίστηκαν δείκτες προσαρμογής διαφορετικού μεγέθους ανά τμήμα ακτής, οι οποίοι εκφράζουν την κυμαινόμενη προσέγγιση της πρόβλεψης με την πραγματική ακτογραμμή και παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 3. Σε όλες τις περιπτώσεις, αφού μετρήθηκαν και αθροίστηκαν τα εμβαδά απόκλισης (τα οποία παρουσιάζονται ενδεικτικά για υποτμήματα της ακτής στις περιοχές 1_LIT και 6_BAR στις εικόνες 48 και 49) χρησιμοποιήθηκε η σχέση :

Συνολικό Εμβαδό Απόκλισης / Μήκος ακτογραμμής = Δείκτης Προσαρμογής δ



Εικόνα : 48. Υποτμήμα της περιοχής μελέτης 1_LIT. Με μπλε διαγράμμιση φαίνονται τα εμβαδά απόκλισης μεταξύ ιστορικής ακτογραμμής για το έτος 2009 (κόκκινη, ψηφιοποιημένη ακτογραμμή) και της πρόβλεψης μέσω του φίλτρου Kalman (κίτρινη ακτογραμμή). Κλίμακα διαγράμματος : 1/2.500



Εικόνα : 49. Υποτμήμα της περιοχής μελέτης 6_BAR. Με μπλε διαγράμμιση φαίνονται τα εμβαδά απόκλισης μεταξύ ιστορικής ακτογραμμής για το έτος 2009 (κόκκινη, ψηφιοποιημένη ακτογραμμή) και της πρόβλεψης μέσω του φίλτρου Kalman (κίτρινη ακτογραμμή). Κλίμακα διαγράμματος : 1/5.000

Ως συνολικό μήκος ακτογραμμής μελέτης, χρησιμοποιείται κάθε φορά το μήκος το οποίο υπολογίζεται με βάση το συνολικό αριθμό διατομών και την απόσταση μεταξύ τους [π.χ. στην περιοχή μελέτης 1_LIT, ως συνολικό μήκος ακτογραμμής θεωρήθηκε : 55 διατομές x 50μ. (απόσταση διατομών) = 2.750μ.]

Με βάση τους υπολογιζόμενους «δείκτες προσαρμογής» αλλά και τα χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής μελέτης, προκύπτουν τα παρακάτω συμπεράσματα :

- Στην περιοχή 1_LIT, με μήκος ακτογραμμής μελέτης 2.750μ. και συνολικό εμβαδό απόκλισης μεταξύ προβλεπόμενης και πραγματικής ιστορικής ακτογραμμής για το έτος 2009 περίπου 11 στρεμμάτων, υπολογίστηκε δείκτης προσαρμογής $\delta = 4,27$. Η παραπάνω τιμή χαρακτηρίζεται ιδιαίτερα χαμηλή καθώς στη συγκεκριμένη παράκτια περιοχή παρατηρείται σε πολλά σημεία κατά μήκος των διατομών, προσέγγιση της προβλεπόμενης κίτρινης ακτογραμμής (η οποία υπολογίζεται μέσω του φίλτρου Kalman) με τη ψηφιοποιημένη κόκκινη ακτογραμμή του 2009. Επομένως, η χαμηλή τιμή του δείκτη δ στην περιοχή 1_LIT, εκφράζει την ικανοποιητική προσαρμογή του μοντέλου στα διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα και τον υπολογισμό αξιόπιστων ρυθμών μεταβολής οι οποίοι προσεγγίζουν τη δυναμική εξέλιξη της ακτογραμμής μελέτης.
- Στην περιοχή 7_KAT, με μήκος ακτογραμμής μελέτης 2.000μ. και συνολικό εμβαδό απόκλισης μεταξύ προβλεπόμενης και πραγματικής ιστορικής ακτογραμμής για το έτος 2009 περίπου 25 στρεμμάτων, υπολογίστηκε δείκτης προσαρμογής $\delta = 12,94$. Η παραπάνω τιμή, παρότι αυξημένη σε σχέση με αυτήν που υπολογίστηκε στην περιοχή 1_LIT, εκφράζει μια σχετικά ικανοποιητική προσαρμογή του μοντέλου στα πρωτογενή δεδομένα και τον υπολογισμό αξιόπιστων ρυθμών μεταβολής (τουλάχιστον για κάποια υποτιμήματα της συνολικής ακτογραμμής μελέτης). Επομένως, στην περιοχή 7_KAT παρατηρείται προσέγγιση των δύο ακτογραμμών (κόκκινης και κίτρινης) σε αρκετές διατομές, σε μικρότερο βαθμό όμως σε σχέση με την περιοχή 1_LIT (μειώνεται η αξιοπιστία των προβλέψεων του μοντέλου).
- Στην περιοχή 6_BAR, εξετάστηκαν 4 υποτιμήματα της ακτής ξεχωριστά (με βάση τους επιμέρους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίστηκαν από τη μεθοδολογία Binning είναι σαφές πως η συγκεκριμένη ακτογραμμή δεν παρουσιάζει ενιαία δυναμική εξέλιξη). Έτσι, για το τμήμα μεταξύ των διατομών 8-14 συνολικού μήκους 1.200μ. μετρήθηκε συνολικό εμβαδό απόκλισης περίπου 5 στρεμμάτων και υπολογίστηκε δείκτης προσαρμογής $\delta = 4,14$ (ικανοποιητική προσαρμογή του μοντέλου και αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής), ενώ στο τμήμα μεταξύ των διατομών 15-27 συνολικού μήκους 2.400μ. μετρήθηκε συνολικό εμβαδό απόκλισης περίπου 156 στρεμμάτων και υπολογίστηκε δείκτης προσαρμογής $\delta = 65,36$ (αστοχία του μοντέλου πρόβλεψης). Η ιδιαίτερως υψηλή τιμή του δ (κόκκινο χρώμα στον πίνακα 3) εκφράζει την αδυναμία του μοντέλου να υπολογίσει αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτής (έχοντας ως αφετηρία το έτος 2000, η ακτογραμμή εξελίχθηκε με διαφορετικό τρόπο έως το 2009, σε σχέση με τους προβλεπόμενους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίστηκαν μέσω του φίλτρου Kalman). Στο τμήμα των διατομών 8-14, η απόκλιση μεταξύ κίτρινης και κόκκινης ακτογραμμής είναι ιδιαίτερος σημαντική (δεν υπάρχουν σημεία προσέγγισης, εμφανίζονται παράλληλες μετατοπίσεις) και αυτό αποδεικνύεται και από το συνολικό εμβαδόν απόκλισης που μετράται και συνεπακόλουθα και από

τον υψηλό δείκτη προσαρμογής που υπολογίζεται. Παράλληλα, στο τμήμα μεταξύ των διατομών 27-33 μήκους 1.200μ., μετράται εμβαδό απόκλισης περίπου 14 στρεμμάτων και υπολογίζεται δείκτης προσαρμογής $\delta = 16,25$ (σχετικά ικανοποιητική προσαρμογή του μοντέλου πρόβλεψης), ενώ στο τμήμα 33-38 μήκους 1.000μ. με εμβαδό απόκλισης 6,7 στρεμμάτων, υπολογίζεται χαμηλός δείκτης προσαρμογής $\delta = 6,71$ (ικανοποιητική προσαρμογή του μοντέλου και αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής). Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα προκύπτει το συμπέρασμα πως σε δύο υποτμήματα της συνολικής ακτογραμμής μελέτης στην περιοχή 6_BAR, υπολογίζονται χαμηλοί δείκτες προσαρμογής, αποδεικνύοντας πως το μοντέλο πρόβλεψης προσαρμόζεται ικανοποιητικά στα διαθέσιμα δεδομένα και υπολογίζει αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής (η κίτρινη ακτογραμμή πρόβλεψης του φίλτρου Kalman προσεγγίζει την κόκκινη ιστορική ακτογραμμή του έτους 2009). Βέβαια, υπάρχουν και υποτμήματα της συγκεκριμένης ακτής (διατομές : 15-27) όπου το μοντέλο παρουσιάζει σημαντικές αστοχίες, οι οποίες υπερβαίνουν τις δεδομένες αβεβαιότητες πρόβλεψης που παρουσιάζονται για όλο το μήκος της ακτής. Σε αυτά τα σημεία, η ακτή έχει μεταβληθεί με διαφορετικό τρόπο τα τελευταία χρόνια (σε σχέση με τις προβλέψεις του συγκεκριμένου δομημένου μοντέλου) και η δυναμική εξέλιξη της πρέπει να μοντελοποιηθεί με διαφορετική προσέγγιση.

- Στην περιοχή 10_NES, ομοίως με την περιοχή 6_BAR, εξετάστηκαν 3 επιμέρους τμήματα της ευρύτερης ακτογραμμής, όπου παρουσιάζεται διαφορετική δυναμική εξέλιξη (υπολογίζονται διαφορετικοί ρυθμοί μεταβολής με βάση τη μεθοδολογία Binning). Στο τμήμα μεταξύ των διατομών 1-25 μήκους 2.500μ., μετρήθηκε εμβαδόν απόκλισης περίπου 33 στρεμμάτων και υπολογίστηκε δείκτης προσαρμογής $\delta = 13,20$, ενώ στο τμήμα μεταξύ των διατομών 113-123 μήκους 1.000μ., μετρήθηκε εμβαδό απόκλισης περίπου 17 στρεμμάτων και υπολογίστηκε δείκτης προσαρμογής $\delta = 17,50$. Και στα δύο υποτμήματα, υπολογίζονται μέτριοι δείκτες προσαρμογής, οι οποίοι εκφράζουν την σχετικά ικανοποιητική προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα και τον υπολογισμό αξιόπιστων ρυθμών μεταβολής (τουλάχιστον για το μεγαλύτερο αριθμό των διατομών). Στο τμήμα μεταξύ των διατομών 123-147 μήκους 2.400μ., το συνολικό εμβαδό απόκλισης που μετράται είναι περίπου 234 στρέμματα (ιδιαίτερα μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ πρόβλεψης και πραγματικής ακτογραμμής για το έτος 2009) και ο δείκτης προσαρμογής δ προσεγγίζει την τιμή 100, κάτι που απεικονίζει πλήρη αστοχία πρόβλεψης του μοντέλου, για το συγκεκριμένο τμήμα ακτής.

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 3 στον οποίο παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα υπολογισμού του «δείκτη προσαρμογής» δ για τις 4 παράκτιες περιοχές της συγκεκριμένης εφαρμογής. Με πράσινο χρώμα εμφανίζονται οι δείκτες με μειωμένες τιμές (μικρά συνολικά εμβαδά απόκλισης) όπου η προσέγγιση προβλεπόμενης και πραγματικής ακτογραμμής για το έτος 2009 κρίνεται ικανοποιητική (σε αυτές τις περιπτώσεις υπολογίζονται αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής από το μοντέλο πρόβλεψης – τροποποιημένο φίλτρο Kalman). Με κόκκινο χρώμα αντίθετα, εμφανίζονται οι αυξημένοι δείκτες (μεγάλα συνολικά εμβαδά απόκλισης) όπου οι αποκλίσεις μεταξύ πρόβλεψης και ιστορικής ακτογραμμής για το έτος 2009 κρίνονται σημαντικές (σε αυτές τις περιπτώσεις το μοντέλο παρουσιάζει αστοχίες και οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί μεταβολής χαρακτηρίζονται ως αναξιόπιστοι/μη ρεαλιστικοί). Με βάση τα συγκεκριμένα αποτελέσματα, παρατηρείται πως το μοντέλο προσαρμόστηκε ικανοποιητικά στα πρωτογενή δεδομένα και υπολόγισε αξιόπιστους

ρυθμούς μεταβολής σε τουλάχιστον 3 περιπτώσεις ακτών (ή υποτιμήματα ακτών). Επίσης, σε δύο υποτιμήματα ακτών παρουσιάστηκε πλήρης αστοχία του μοντέλου πρόβλεψης καθώς υπολογίστηκαν μη ρεαλιστικοί ρυθμοί μεταβολής και οι προβλεπόμενες ακτογραμμές απείχαν σημαντικά από την πραγματική για το έτος 2009 (σε αυτές τις περιπτώσεις μετρήθηκαν ιδιαίτερος αυξημένα εμβαδά απόκλισης). Οι αστοχίες στις προβλέψεις ως προς την υπολογιζόμενη τάση μεταβολής της εκάστοτε ακτογραμμής ενδέχεται να οφείλονται στην αδυναμία προσαρμογής του μοντέλου στα διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα (κατά περίπτωση). Επίσης, η εκδήλωση κάποιου ακραίου καιρικού φαινομένου ενδέχεται να άλλαξε με βίαιο τρόπο την ιστορικά καταγεγραμμένη τάση μεταβολής της ακτής, ή ακόμη η κατασκευή κάποιου τεχνικού έργου (π.χ. λιμενοβραχίονας, θαλάσσιο τείχος) είναι ικανό να επηρέασε τις φυσικές ισορροπίες του παράκτιου συστήματος. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, το μοντέλο προσέγγισε με τις προβλέψεις του τη δυναμική εξέλιξη των ακτογραμμών (με τιμές για το δείκτη $\delta < 20$), παρέχοντας ένα χρήσιμο εργαλείο μελέτης της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής, προσεγγίζοντας έστω και ενδεικτικά την εκάστοτε τάση μεταβολής.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΜΗΚΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΜΒΑΔΟΝ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ*	ΔΕΙΚΤΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ δ	
1_LIT	2.750μ. 55 διατομές, ανά 50μ.	11.729,84τ.μ.	4,27	
7_KAT	2.000m 40 διατομές, ανά 50μ.	25.885,72τ.μ.	12,94	
6_BAR	Διατομές :	1.200μ.	4.966,74τ.μ.	4,14
	8-14			
	15-27	2.400μ.	156.867,79τ.μ.	65,36
	27-33	1.200μ.	14.495,90τ.μ.	16,25
	33-38	1.000μ.	6.712,56τ.μ.	6,71
10_NES	1-25	2.500μ. 25 διατομές ανά 100μ.	33.000,05τ.μ.	13,20
	113-123	1.000μ. 10 διατομές ανά 100μ.	17.499,29τ.μ.	17,50
	123-147	2.400μ. 24 διατομές ανά 100μ.	234.664,18τ.μ.	97,78

Πίνακας 3 : Με πράσινο χρώμα απεικονίζονται οι δείκτες προσαρμογής δ σε περιοχές όπου οι προβλέψεις προσεγγίζουν ικανοποιητικά την ιστορική ακτογραμμή του 2009 (υπολογισμός ρεαλιστικών ρυθμών μεταβολής). Με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται δείκτες σε περιοχές όπου υπάρχει αστοχία των προβλέψεων του μοντέλου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ «ΟΜΑΔΟΠΟΙΗΣΗΣ» (BINNING)

6.1 Οι περιοχές μελέτης

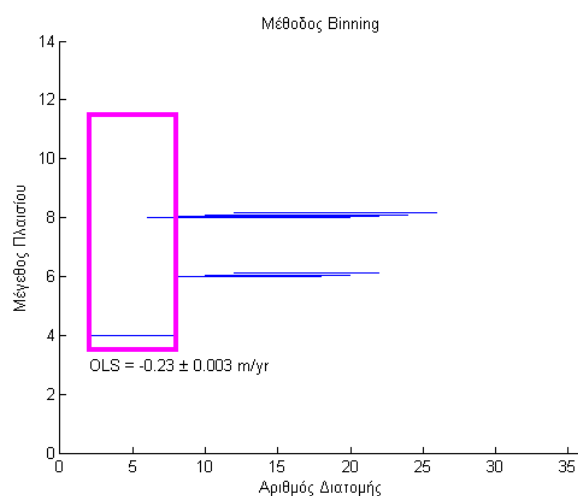
6.1.1

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	1_LIT
ΗΠΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Τα αποτελέσματα της μεθόδου ομαδοποίησης (Binning) στην περιοχή 1_LIT.

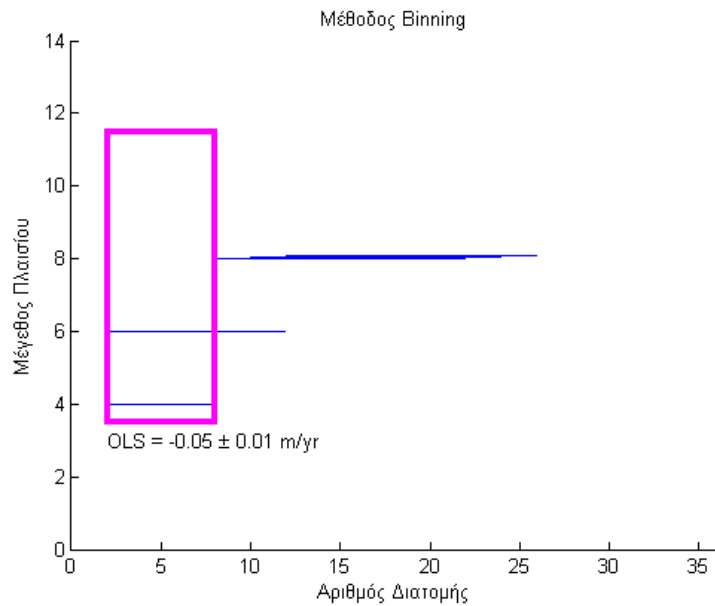
Όπως παρατηρήθηκε στο σύνολο των 10 περιοχών που εξετάζονται στη μελέτη, κανένα παράκτιο σύστημα δεν παρουσιάζει αναγκαστικά τον ίδιο τρόπο μεταβολής. Έτσι, είναι σύνηθες σε μια ακτογραμμή να μην παρουσιάζεται ένας ομοιόμορφος, ενιαίος ρυθμός μεταβολής αλλά αντίθετα, επί μέρους τμήματα της συγκεκριμένης ακτογραμμής να παρουσιάζουν διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής (είτε υποχώρησης, είτε πρόσχωσης). Η συγκεκριμένη μέθοδος που αναλύεται παρακάτω, στηρίζεται στην ομαδοποίηση των διατομών που έχουν σχεδιαστεί κάθετα σε μία ακτογραμμή αναφοράς στην εκάστοτε περιοχή μελέτης, επιτυγχάνοντας έτσι να ομαδοποιηθούν τμήματα της ακτογραμμής στα οποία υπολογίζονται όμοιοι ρυθμοί μεταβολής. Κατά αυτόν τον τρόπο, μειώνεται η επίδραση της διακύμανσης των φυσικών δεδομένων από διατομή σε διατομή καθώς και της πιθανής ύπαρξης σφαλμάτων στις πρωτογενείς μετρήσεις. Τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου ομαδοποίησης στην περιοχή μελέτης 1_LIT, μεταβάλλοντας κλιμακωτά τις αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων, παρουσιάζονται παρακάτω (συνολικά 6 εφαρμογές) :

- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,7).
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,5.
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2.
- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων.



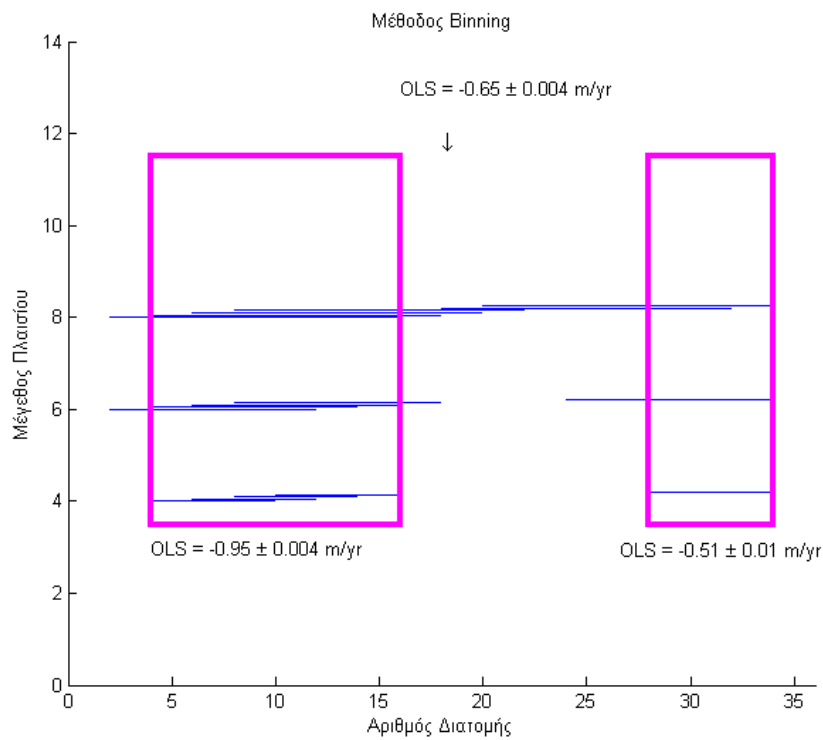
Σχήμα 5 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1945 :



Σχήμα 6 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1997 :



Σχήμα 7 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

Παρακάτω ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων εφαρμογής της μεθόδου OLS, είτε απευθείας, για το σύνολο των διατομών της μελέτης, είτε μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, είτε μέσω της διαδικασίας της ομαδοποίησης (Binning). Όσον αφορά τη διαδικασία της ομαδοποίησης, αυτή εκτελείται ανά 1, 2 ή και 5 διατομές. Στις περιπτώσεις περιοχών όπου παρουσιάζεται σχετική σταθερότητα όσον αφορά τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής, κρίνεται απαραίτητο να εκτελείται η διαδικασία της ομαδοποίησης ανά 5 διατομές έτσι ώστε να είναι δυνατόν να εντοπιστούν τυχόν μεταβατικές ζώνες στο μέτωπο της παραλίας με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής. Αντίθετα, στις περιπτώσεις περιοχών όπου υπολογίζονται έντονοι ρυθμοί μεταβολής (υποχώρησης ή πρόσχωσης), η διαδικασία της ομαδοποίησης εκτελείται ανά 1 ή και 2 διατομές έτσι ώστε να εντοπιστούν ακόμη και τα μικρότερα μεταβατικά τμήματα της ακτογραμμής.

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας και ± 0.5 μέτρα	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-0.42 ± 0.001
Φίλτρο Kalman	-0.43
Μέθοδος ομαδοποίησης	<u>Διατομές 2 έως 8 :</u> Στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής παρουσιάζεται διαφοροποιημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.23 ± 0.003 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.
0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1945	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-0.56 ± 0.003
Φίλτρο Kalman	- 0.51
Μέθοδος ομαδοποίησης	<u>Διατομές 2 έως 8 :</u> Στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής παρουσιάζεται διαφοροποιημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.05 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.
0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1997	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-0.72 ± 0.002
Φίλτρο Kalman	- 0.77

Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 3 έως 14 :</u> Στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής παρουσιάζεται διαφοροποιημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.97 ± 0.004 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 28 έως 34 :</u> Στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής παρουσιάζεται διαφοροποιημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.51 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Υπόλοιπες διατομές :</u> Υπολογίζεται γενικός ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.65 ± 0.004 m/yr.</p>
----------------------	--

Πίνακας 4 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

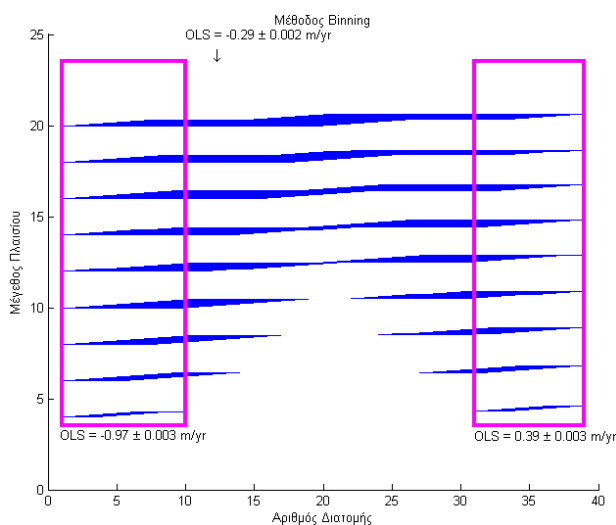
6.1.2

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	7_KAT
ΗΠΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

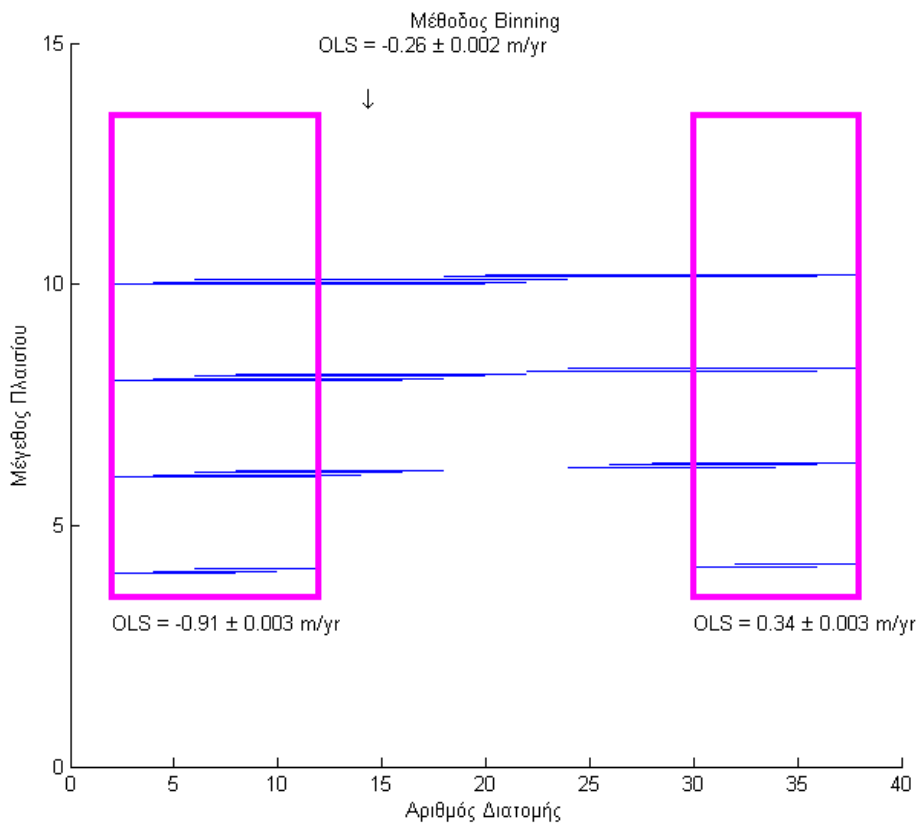
Τα αποτελέσματα της μεθόδου ομαδοποίησης (Binning) στην περιοχή 7_KAT.

Τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου ομαδοποίησης στην περιοχή μελέτης 7_KAT, μεταβάλλοντας κλιμακωτά τις αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων, παρουσιάζονται παρακάτω (συνολικά 6 εφαρμογές) :

- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,7).
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,5.
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2.
- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων.

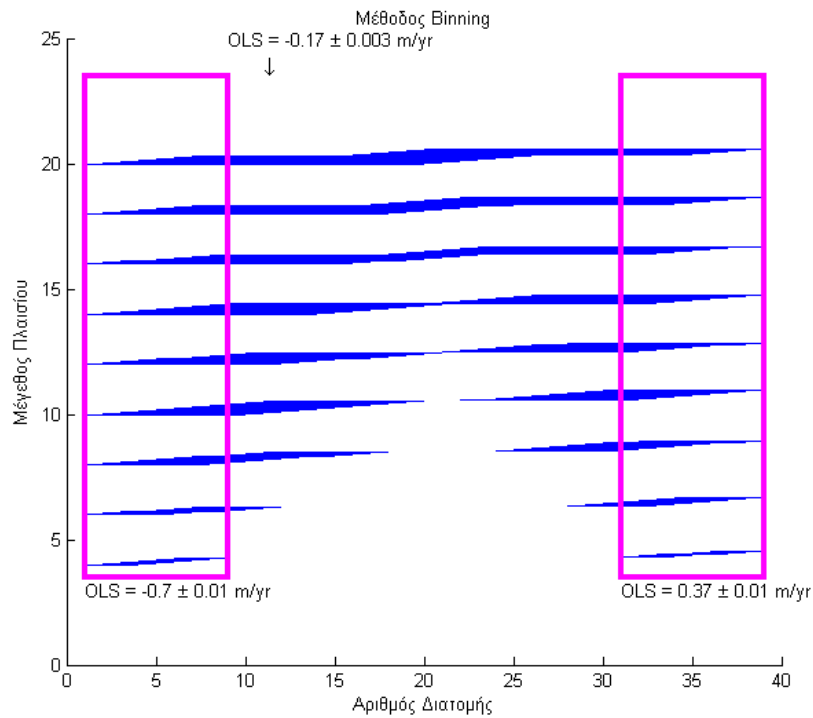


Σχήμα 8 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1

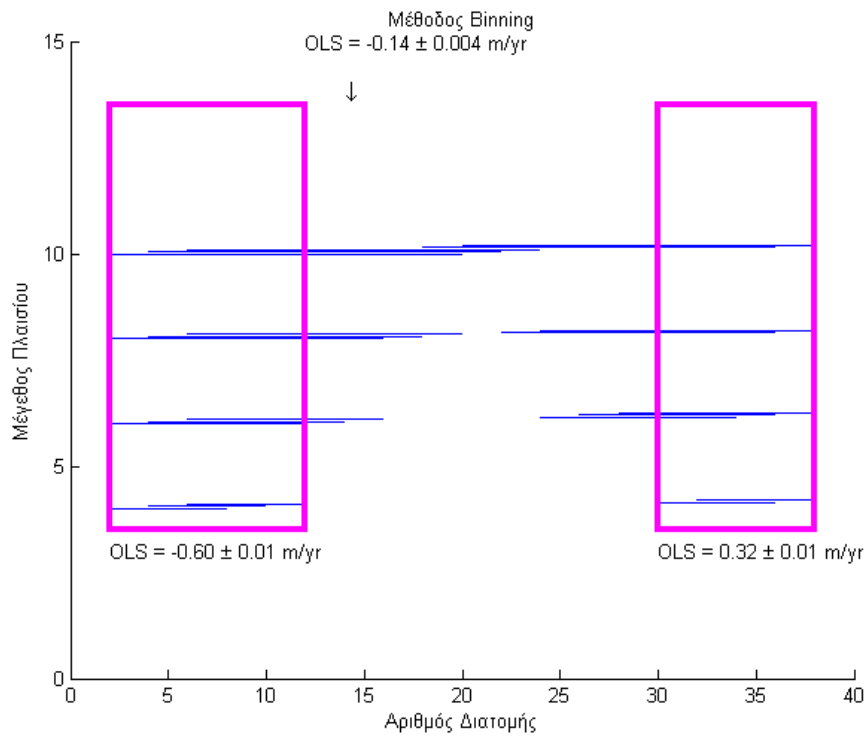


Σχήμα 9 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1945 :

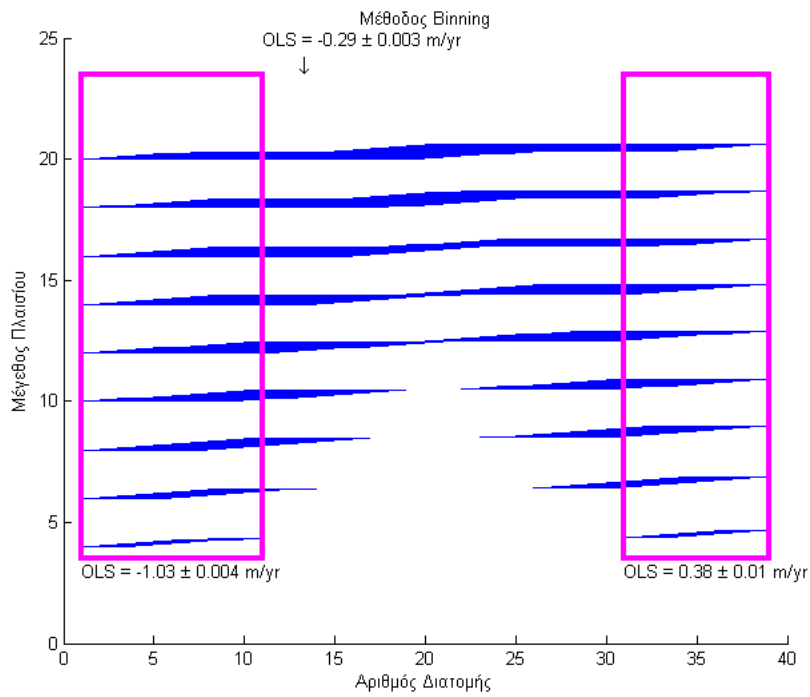


Σχήμα 10 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1

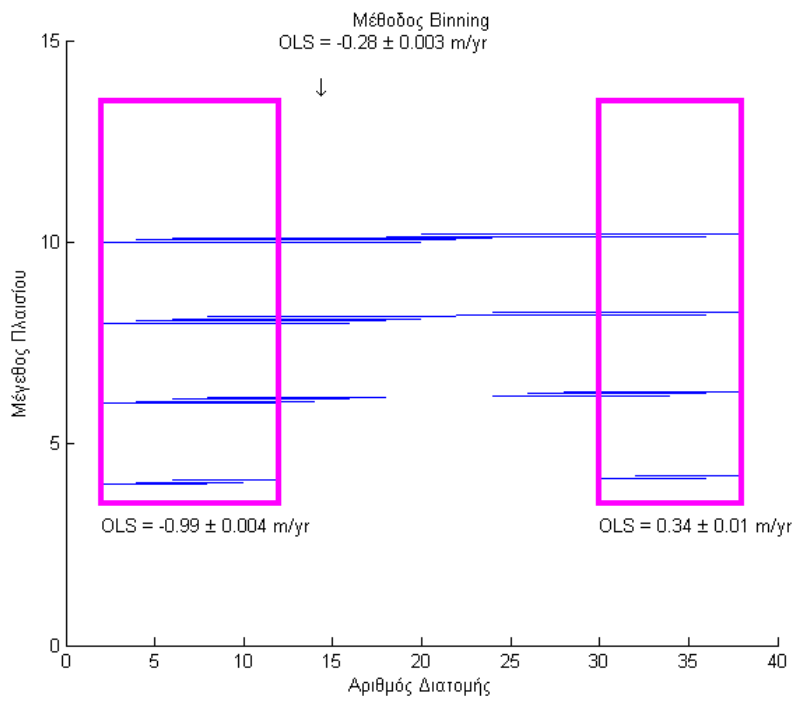


Σχήμα 11 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1995 :



Σχήμα 12 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1



Σχήμα 13 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας και ± 0.5 μέτρα	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-0.26 ± 0.001
Φίλτρο Kalman	-0.27
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 10 :</u> Στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής παρουσιάζεται διαφοροποιημένος, αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.97 ± 0.003 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 11 έως 31 :</u> Στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής παρουσιάζεται διαφοροποιημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.29 ± 0.002 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 32 έως 39 :</u> Στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής παρουσιάζεται διαφοροποιημένος ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.39 \pm 0.003$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 2 έως 12 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.91 ± 0.003 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 29 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.26 ± 0.002 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 30 έως 38 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.34 \pm 0.003$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>
0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1945	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-0.13 ± 0.003
Φίλτρο Kalman	- 0.12
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 9 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.70 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 10 έως 30 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.17 ± 0.003 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 31 έως 39 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.37 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p>

Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 2 έως 12 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.60 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 29 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.14 ± 0.004 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 30 έως 38 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.32 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>
0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1995	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-0.30±0.002
Φίλτρο Kalman	- 0.31
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 11 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.03 ± 0.004 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 12 έως 30 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.29 ± 0.003 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 31 έως 39 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.38 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 2 έως 12 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.99 ± 0.004 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 29 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.28 ± 0.003 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 30 έως 38 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.34 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>

Πίνακας 5 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

6.1.3

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	8_BAR
ΗΠΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (0 έως - 1 m/yr)	

Τα αποτελέσματα της μεθόδου ομαδοποίησης (Binning) στην περιοχή 8_BAR.

Στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, εξαιτίας του περιορισμένου αριθμού διαθέσιμων διατομών (συνολικά 15), δεν είναι δυνατή η εφαρμογή της μεθόδου της ομαδοποίησης.

6.1.4

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	4_NES
ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (-1 έως - 3 m/yr)	

Τα αποτελέσματα της μεθόδου ομαδοποίησης (Binning) στην περιοχή 4_NES.

Στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

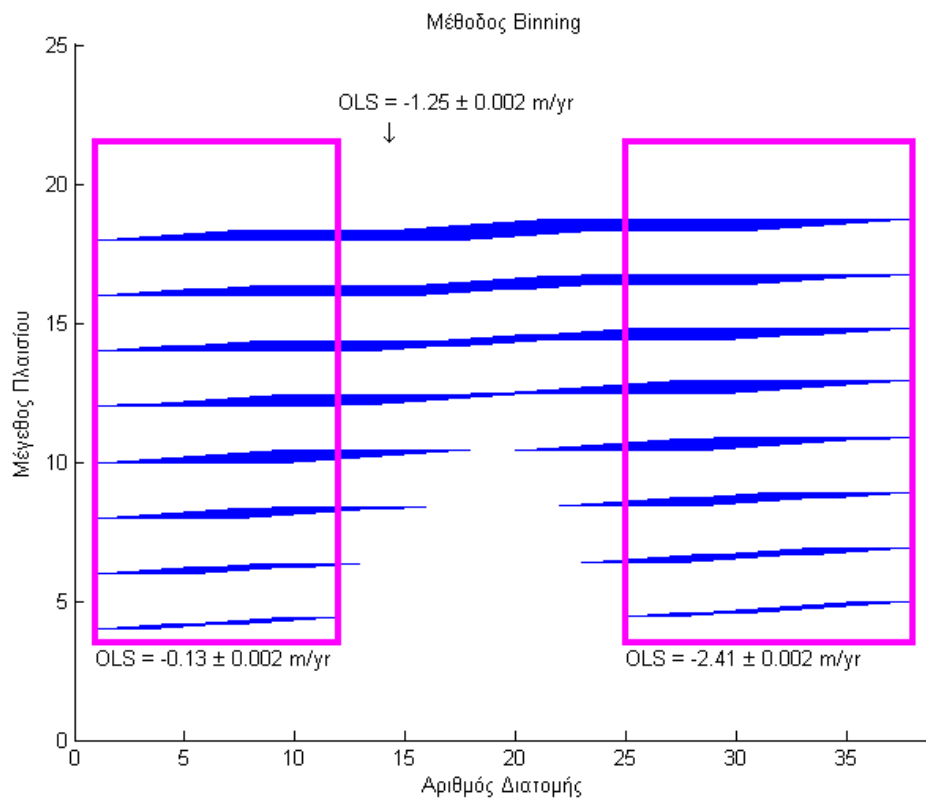
6.1.5

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	6_BAR
ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (-1 έως - 3 m/yr)	

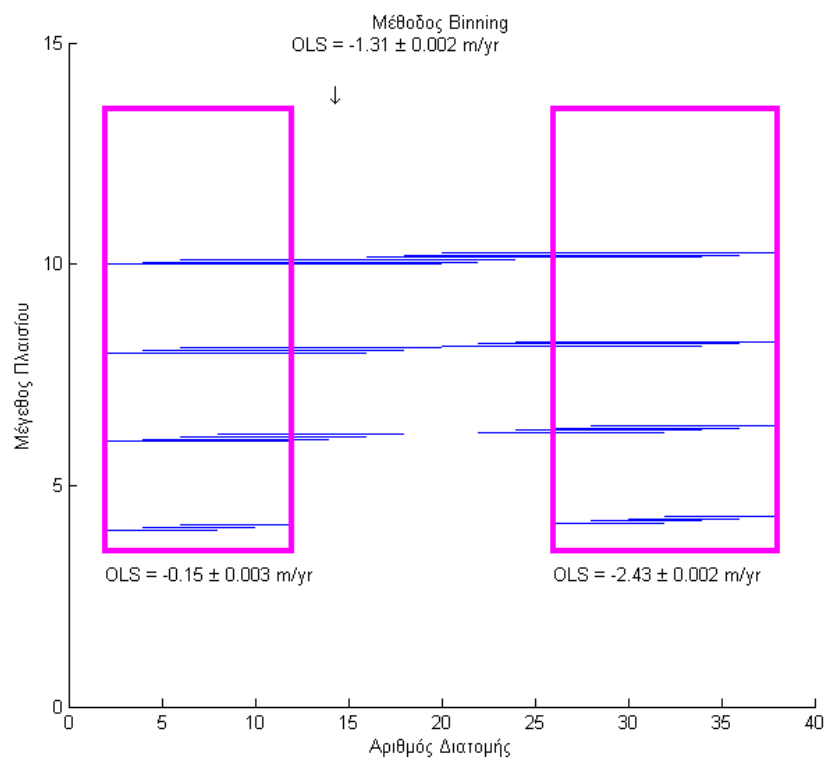
Τα αποτελέσματα της μεθόδου ομαδοποίησης (Binning) στην περιοχή 6_BAR.

Τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου ομαδοποίησης στην περιοχή μελέτης 6_BAR, μεταβάλλοντας κλιμακωτά τις αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων, παρουσιάζονται παρακάτω (συνολικά 6 εφαρμογές) :

- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,7).
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,5.
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2.
- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων.

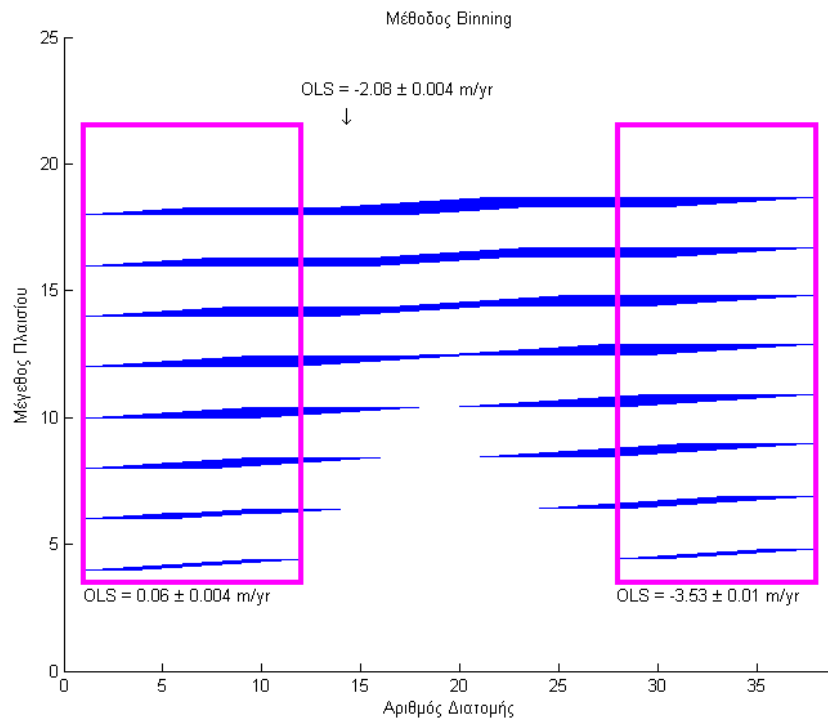


Σχήμα 14 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1

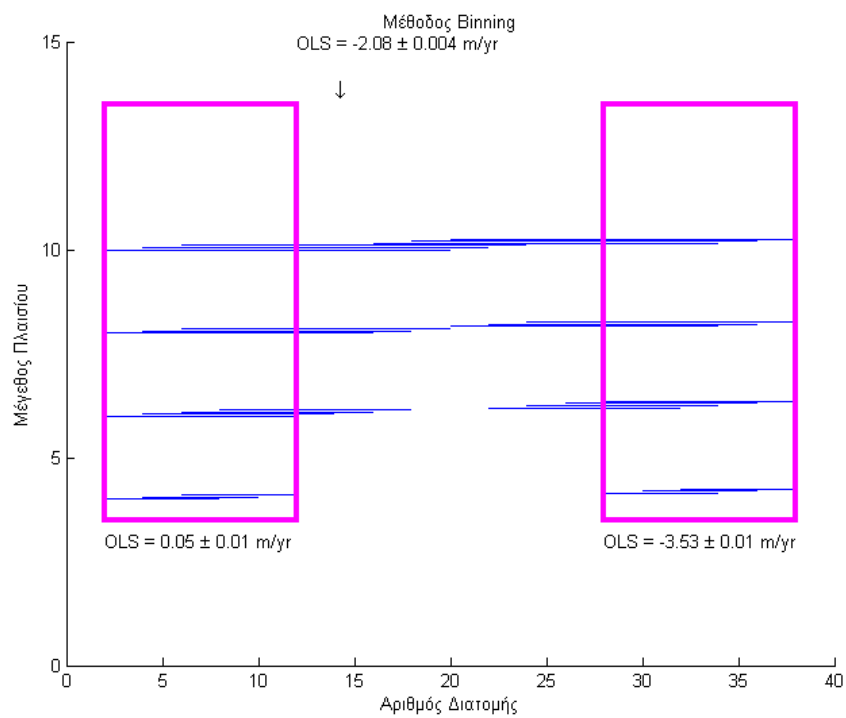


Σχήμα 15 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1945 :

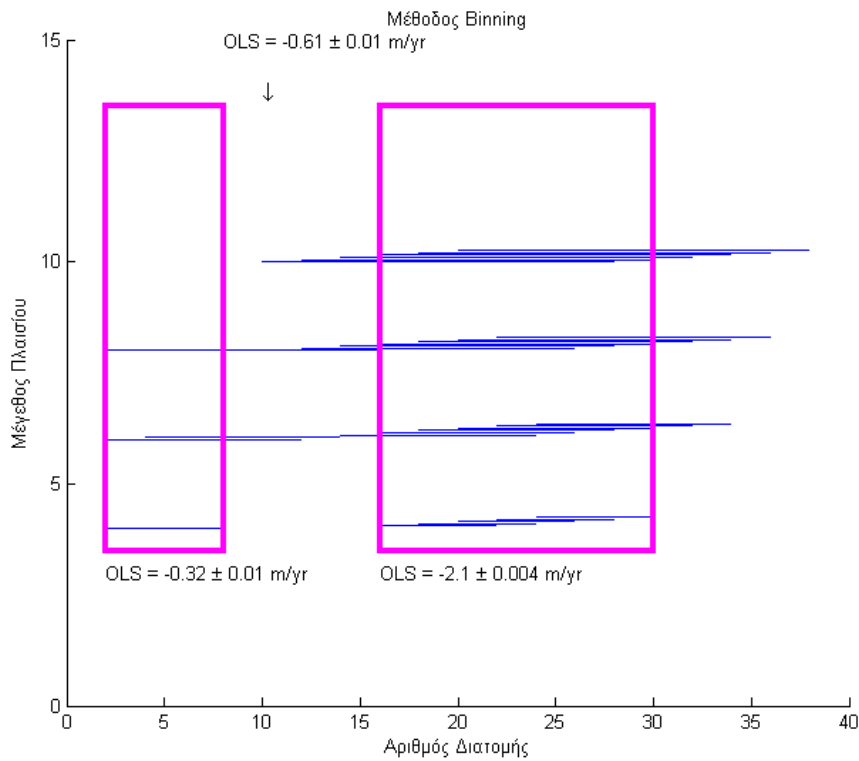


Σχήμα 16 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1



Σχήμα 17: Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 2000 :



Σχήμα 18 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

Παρακάτω ακολουθεί συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων εφαρμογής της μεθόδου OLS, είτε απευθείας, για το σύνολο των διατομών της μελέτης, είτε μέσω της εφαρμογής του φίλτρου Kalman, είτε μέσω της διαδικασίας της ομαδοποίησης (Binning). Όσον αφορά τη διαδικασία της ομαδοποίησης, αυτή εκτελείται ανά 1, 2 ή και 5 διατομές. Στις περιπτώσεις περιοχών όπου παρουσιάζεται σχετική σταθερότητα όσον αφορά τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής, κρίνεται απαραίτητο να εκτελείται η διαδικασία της ομαδοποίησης ανά 5 διατομές έτσι ώστε να είναι δυνατόν να εντοπιστούν τυχόν μεταβατικές ζώνες στο μέτωπο της παραλίας με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής. Αντίθετα, στις περιπτώσεις περιοχών όπου υπολογίζονται έντονοι ρυθμοί μεταβολής (υποχώρησης ή πρόσχωσης), η διαδικασία της ομαδοποίησης εκτελείται ανά 1 ή και 2 διατομές έτσι ώστε να εντοπιστούν ακόμη και τα μικρότερα μεταβατικά τμήματα της ακτογραμμής.

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας και ± 0.5 μέτρα	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-1.39 \pm 0.001
Φίλτρο Kalman	-1.46
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 12 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.13 ± 0.002 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 24 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.25 ± 0.002 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 25 έως 37 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2.41 ± 0.002 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 2 έως 12 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.15 ± 0.003 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 25 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.31 ± 0.002 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 26 έως 38 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2.43 ± 0.002 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>
2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1945	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-1.95 \pm 0.002
Φίλτρο Kalman	- 1.76

Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 12 :</u> Ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+0.06\pm 0.004$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 27 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2.08 ± 0.004 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 28 έως 38 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -3.53 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 2 έως 12 :</u> Ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+0.05\pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 27 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2.08 ± 0.004 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 28 έως 38 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -3.53 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>
0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 2000	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-1.03±0.002
Φίλτρο Kalman	- 1.1
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 2 έως 8 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.32 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 9 έως 16 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.61 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 17 έως 30 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2.1 ± 0.004 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>

Πίνακας 6 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

6.1.6

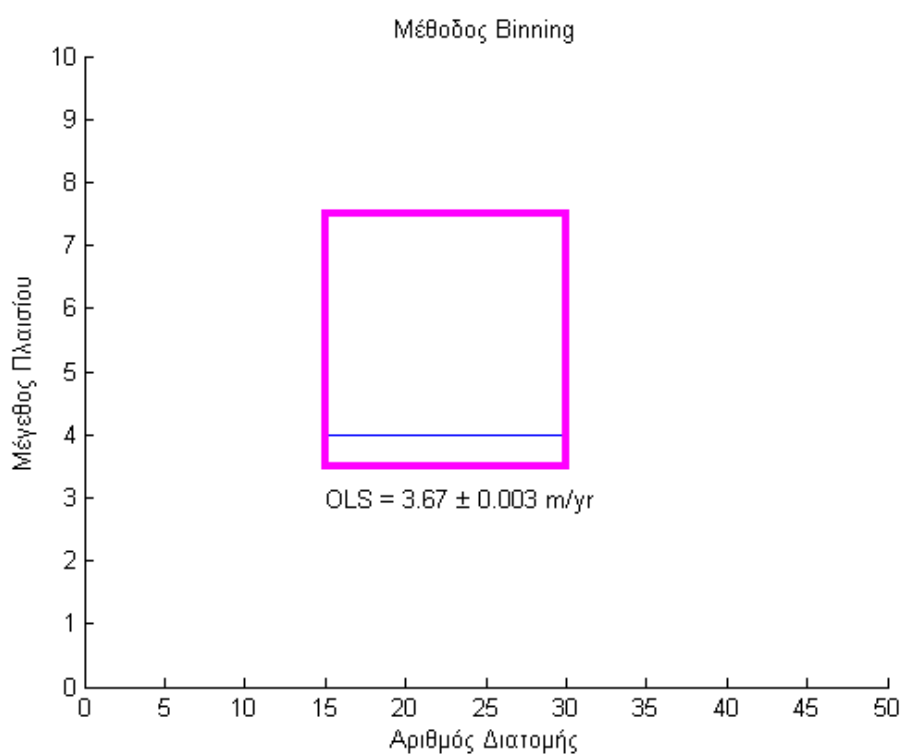
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	9_THE
ΥΨΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (> - 3 m/yr)	

Τα αποτελέσματα της μεθόδου ομαδοποίησης (Binning) στην περιοχή 9_THE.

Τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου ομαδοποίησης στην περιοχή μελέτης 9_THE, μεταβάλλοντας κλιμακωτά τις αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων, παρουσιάζονται παρακάτω :

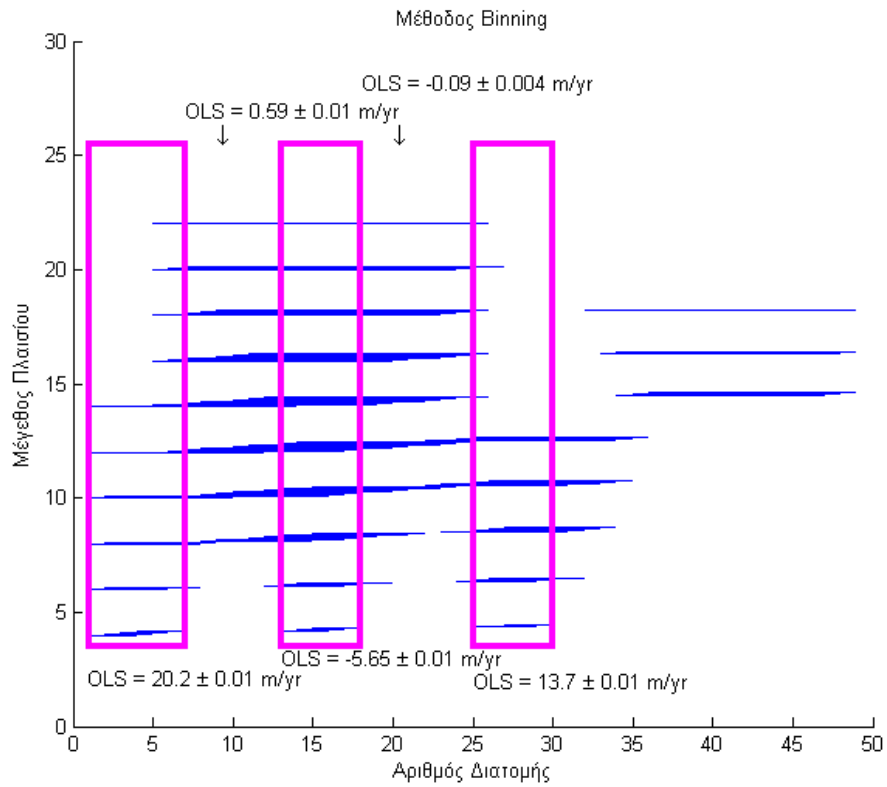
- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,7).
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,5.
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2.
- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων.

Τμήμα διατομών 1 – 46 :

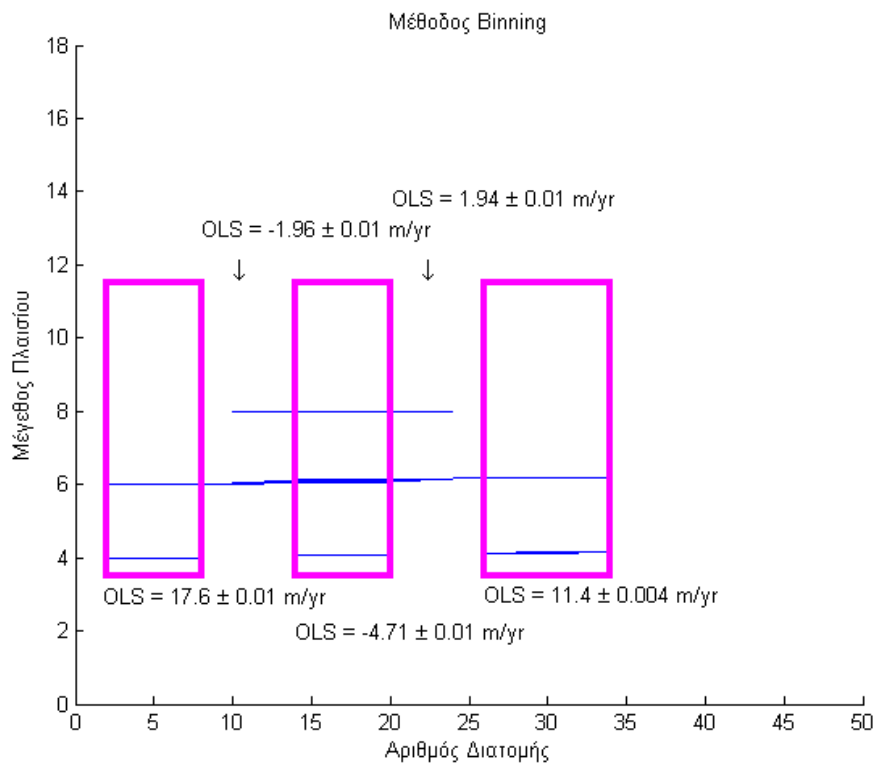


Σχήμα 19 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 5

Τμήμα διατομών 54 – 103 :

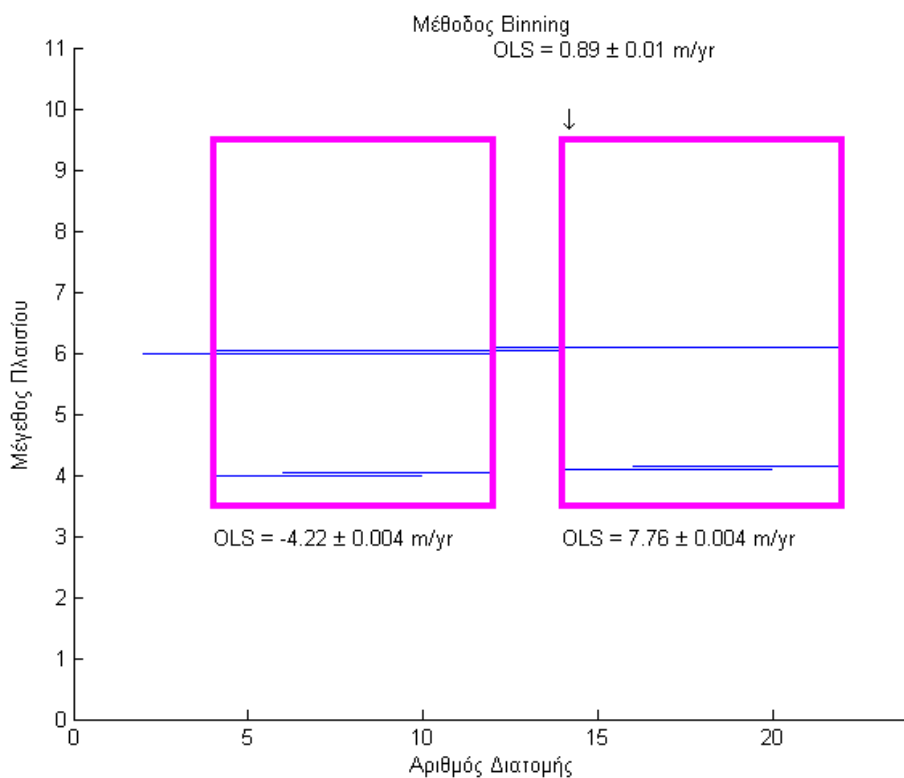


Σχήμα 20 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1



Σχήμα 21 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

Τμήμα διατομών 129 – 151 :



Σχήμα 22 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

Τμήμα διατομών 156 – 180 :

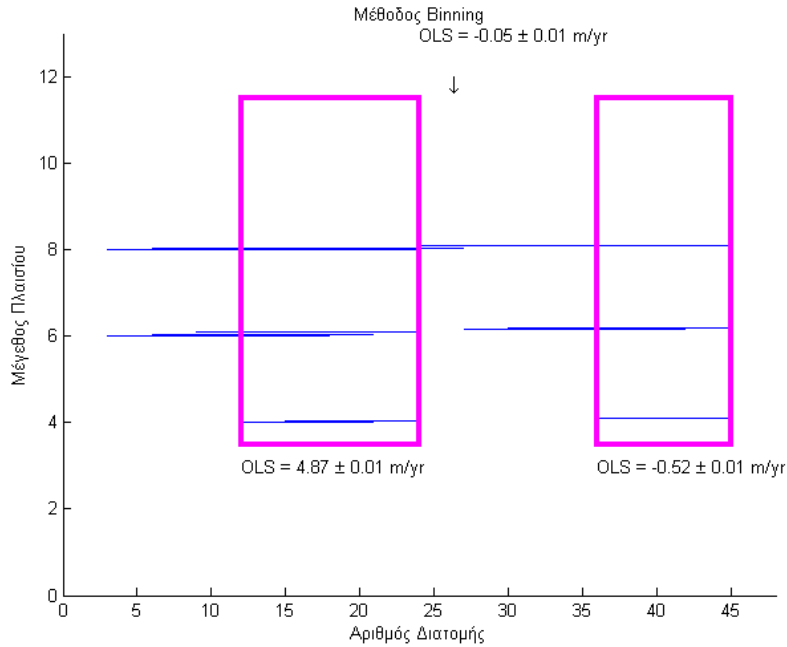
Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

Τμήμα διατομών 281 – 334 :

Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

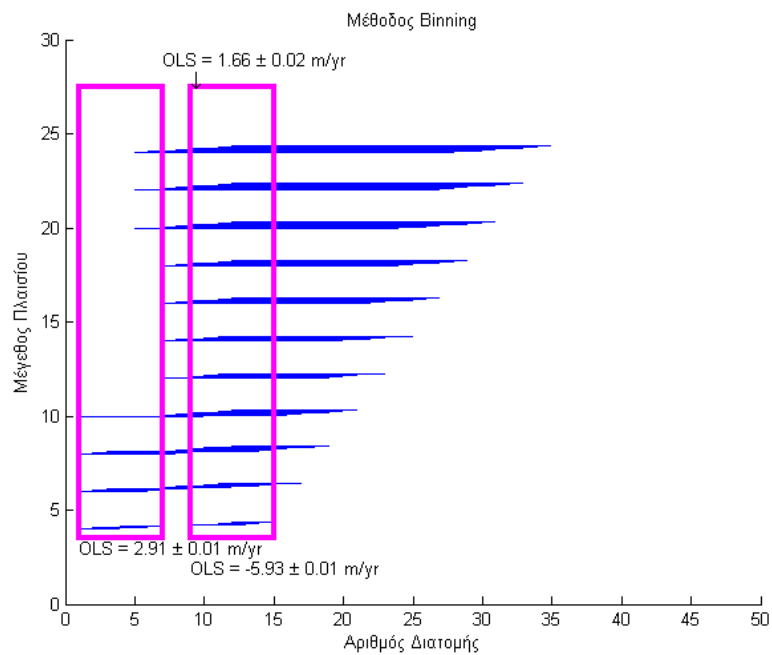
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1945 :

Τμήμα διατομών 1 – 46 :

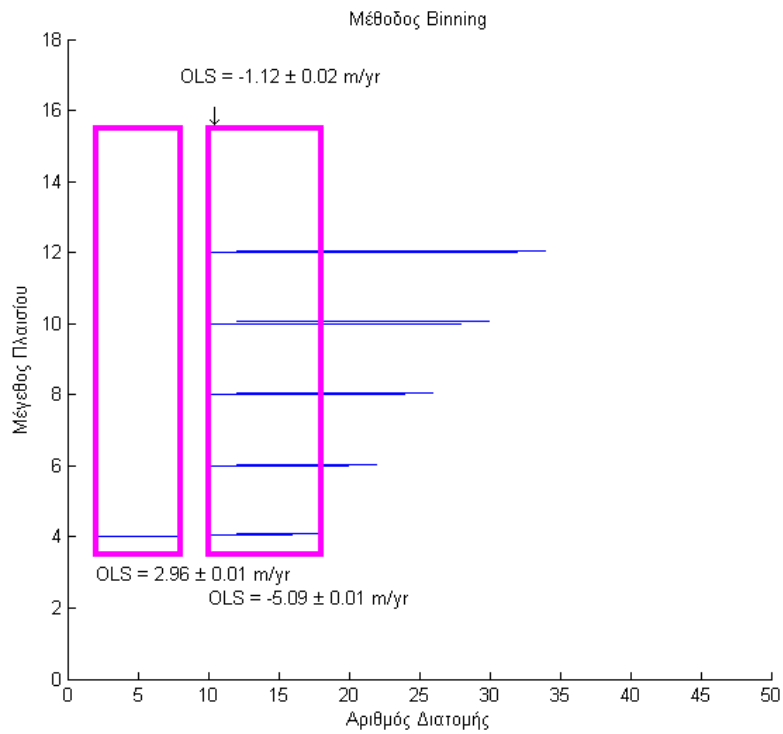


Σχήμα 23 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 3

Τμήμα διατομών 54 – 103 :



Σχήμα 24 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1

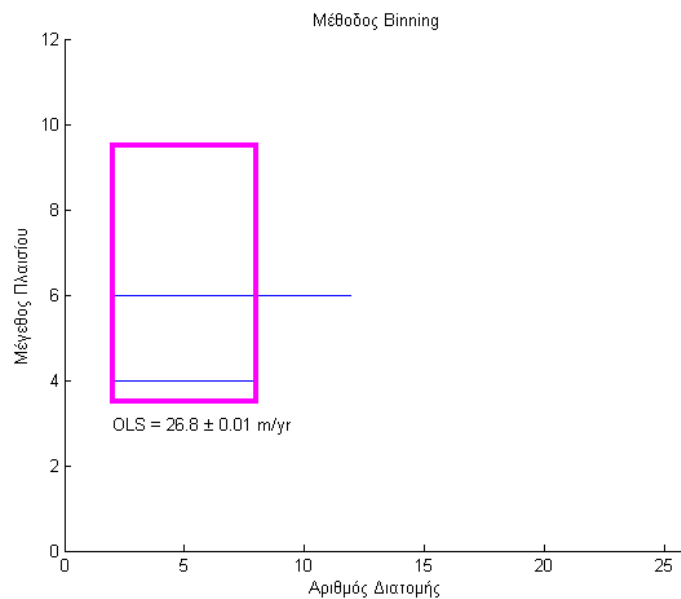


Σχήμα 25 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

Τμήμα διατομών 129 – 151 :

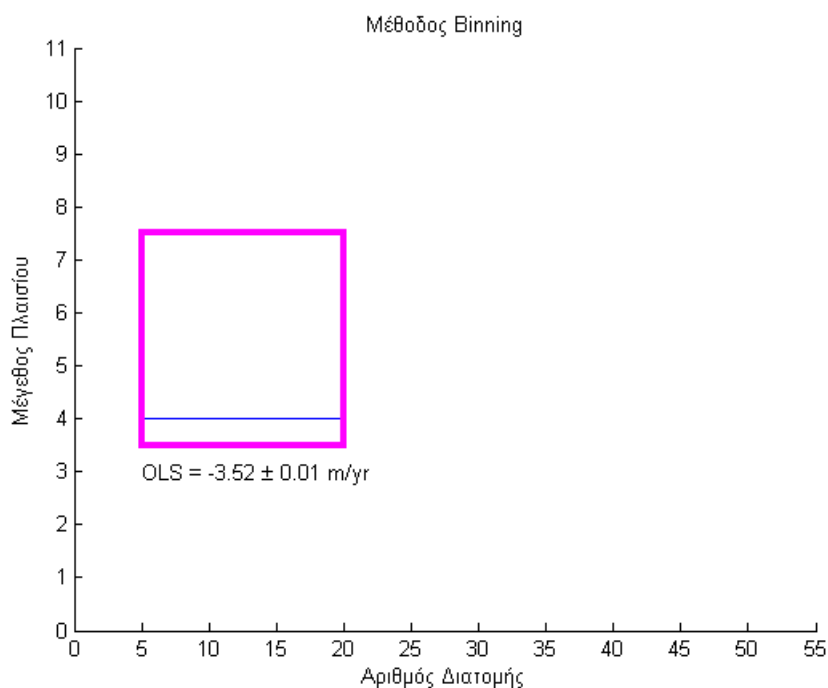
Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

Τμήμα διατομών 156 – 180 :



Σχήμα 26 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

Τμήμα διατομών 281 – 334 :



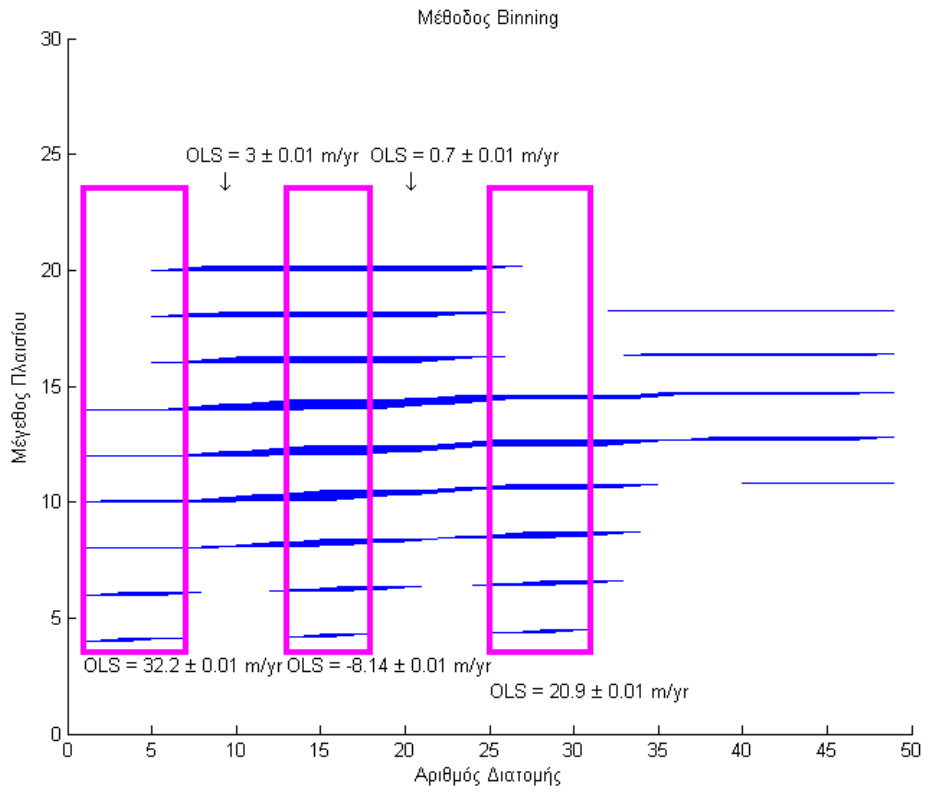
Σχήμα 27 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 5

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1995 :

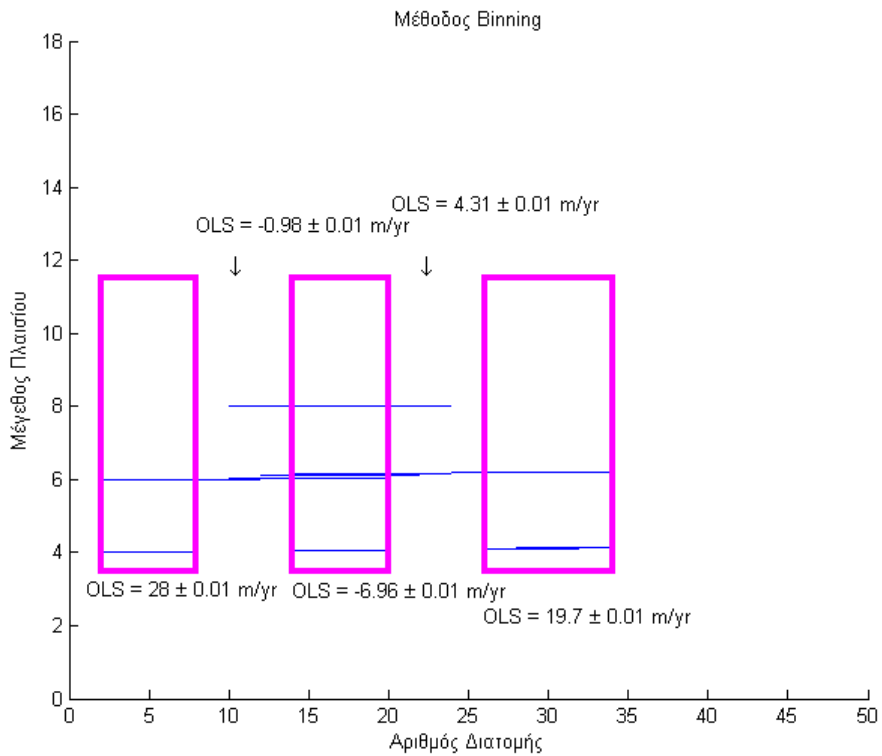
Τμήμα διατομών 1 – 46 :

Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

Τμήμα διατομών 54 – 103 :



Σχήμα 28 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1



Σχήμα 29 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

Τμήμα διατομών 129 – 151 :

Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

Τμήμα διατομών 156 – 180 :

Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

Τμήμα διατομών 281 – 334 :

Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

Τμήμα διατομών 1 – 46 :

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	+7.72±0.002
Μέθοδος ομαδοποίησης	<u>Διατομές 15 έως 30 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +3.67±0.003 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 5 διατομές.
0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1945	
Μέθοδος ομαδοποίησης	<u>Διατομές 12 έως 23 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +4.87±0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 3 διατομές. <u>Διατομές 24 έως 35 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.05±0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 3 διατομές. <u>Διατομές 36 έως 45 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.52±0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 3 διατομές.

0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1995	
Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό - περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.

Πίνακας 7 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

Τμήμα διατομών 54 – 103 :

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	+3.69±0.002
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 7 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +20.02 ±0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 8 έως 12 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +0.59±0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 17 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -5.65±0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 18 έως 24 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.09±0.004 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 25 έως 30 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +13.7 ±0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 2 έως 7 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +17.6 ±0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 8 έως 13 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.96±0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 14 έως 20 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -4.71±0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>

Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 21 έως 26 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των 1.94 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 27 έως 34 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+11.4 \pm 0.004$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>
0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1945	
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 7 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+2.91 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 8 έως 9 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+1.66 \pm 0.02$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 10 έως 15 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -5.93 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 2 έως 8 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+2.96 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 9 έως 10 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των $+1.12 \pm 0.02$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 11 έως 18 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -5.09 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>
0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1995	
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 7 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+32.2 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 8 έως 12 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+3.0 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 17 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -8.14 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 18 έως 25 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.7 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 26 έως 31 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+20.9 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p>

Μέθοδος ομαδοποίησης	<u>Διατομές 2 έως 5 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+28.0 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.
	<u>Διατομές 6 έως 14 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.98 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.
	<u>Διατομές 15 έως 20 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -6.96 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.
	<u>Διατομές 21 έως 26 :</u> Ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+4.31 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.
	<u>Διατομές 27 έως 34 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+19.7 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.

Πίνακας 8 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

Τμήμα διατομών 129 – 151 :

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	$+1.51 \pm 0.002$
Μέθοδος ομαδοποίησης	<u>Διατομές 4 έως 12 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -4.22 ± 0.004 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.
	<u>Διατομές 13 έως 14 :</u> Ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+0.89 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.
	<u>Διατομές 15 έως 22 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+7.76 \pm 0.004$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.
0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1945	
Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.

0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1995	
Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.

Πίνακας 9 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

Τμήμα διατομών 156 – 180 :

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	+20.18±0.002
Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.
0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1945	
Μέθοδος ομαδοποίησης	<u>Διατομές 2 έως 8 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +26.8 ±0.004 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές
0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1995	
Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.

Πίνακας 10 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

Τμήμα διατομών 281 – 334 :

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας και ±0.5 μέτρα	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-11.98±0.002
Φίλτρο Kalman	-6.98 (x0,5), -13 (x0,2), -12.58 (±0.5m)

Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.
0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1945	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-14.81±0.003
Φίλτρο Kalman	- 13
Μέθοδος ομαδοποίησης	<u>Διατομές 5 έως 20 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -3.52±0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 5 διατομές.
0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1995	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-15.24±0.003
Φίλτρο Kalman	- 20
Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.

Πίνακας 11 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

6.1.7

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	10_NES
ΥΨΗΛΗ ΥΠΟΧΩΡΗΣΗ (> - 3 m/yr)	

Τα αποτελέσματα της μεθόδου ομαδοποίησης (Binning) στην περιοχή 10_NES.

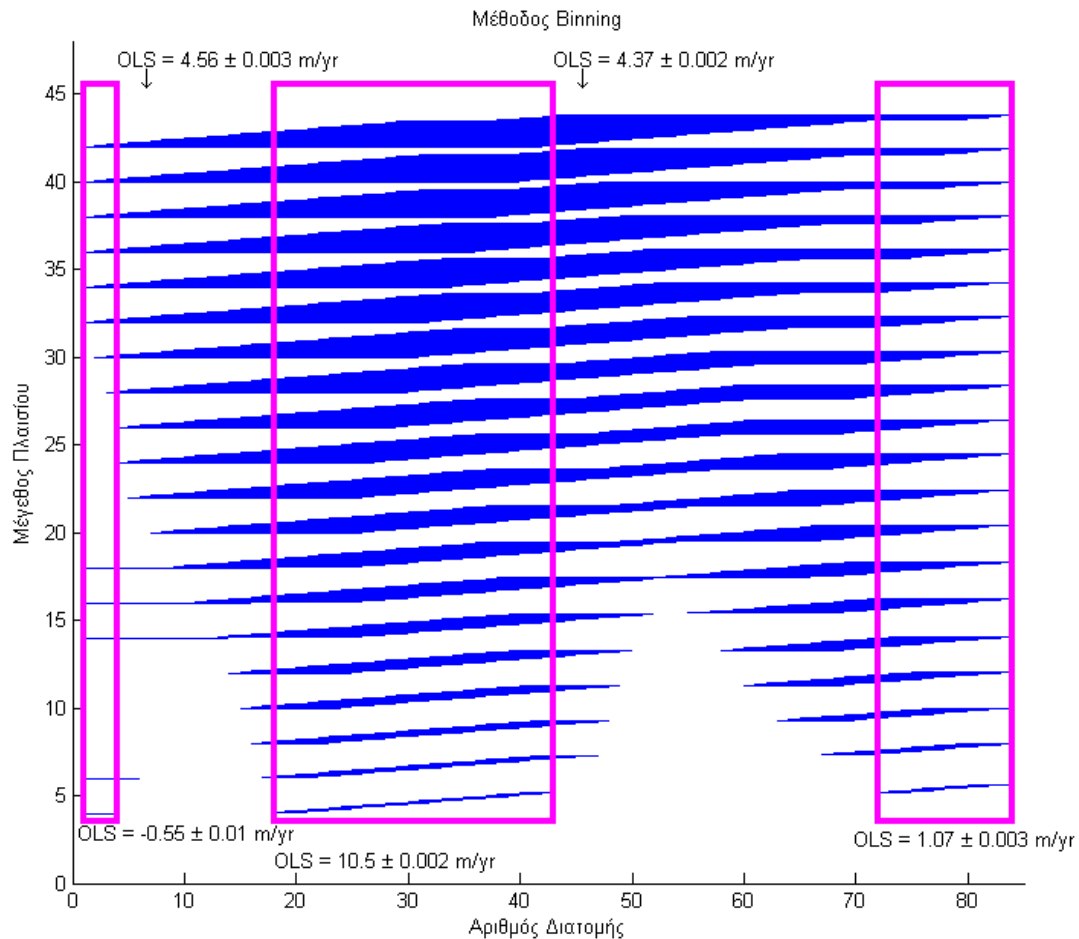
Τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου ομαδοποίησης στην περιοχή μελέτης 10_NES, μεταβάλλοντας κλιμακωτά τις αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων, παρουσιάζονται παρακάτω:

- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,7).
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,5.
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2.
- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των ± 0,5 μέτρων.

Τμήμα διατομών 1 – 25 :

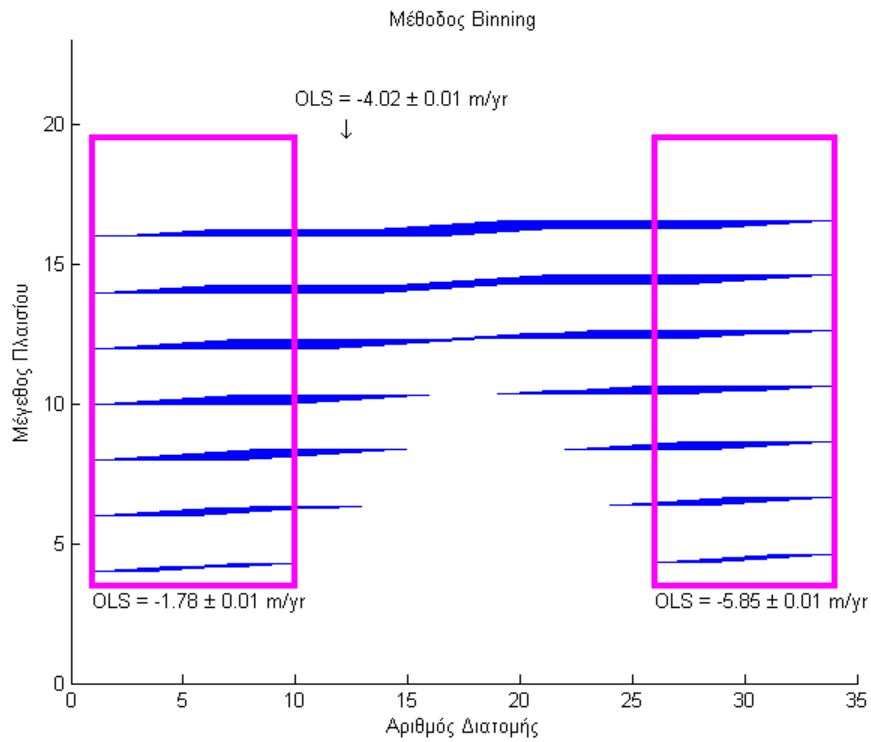
Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

Τμήμα διατομών 26 – 112 :

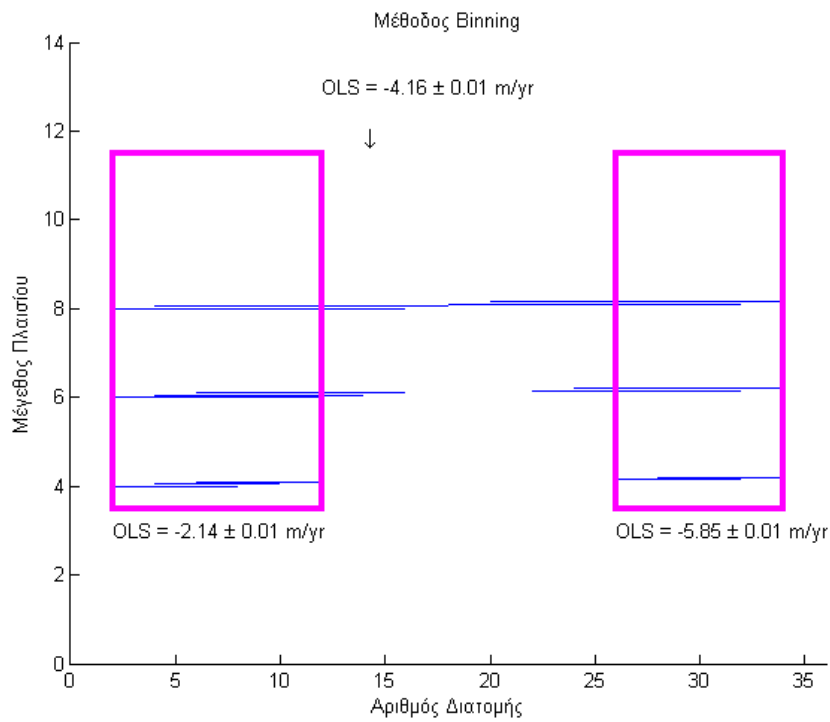


Σχήμα 30 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1

Τμήμα διατομών 113 – 147 :



Σχήμα 31 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1



Σχήμα 32 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1969 :

Τμήμα διατομών 1 – 25 :

Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

Τμήμα διατομών 26 – 112 :

Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

Τμήμα διατομών 113 – 147 :

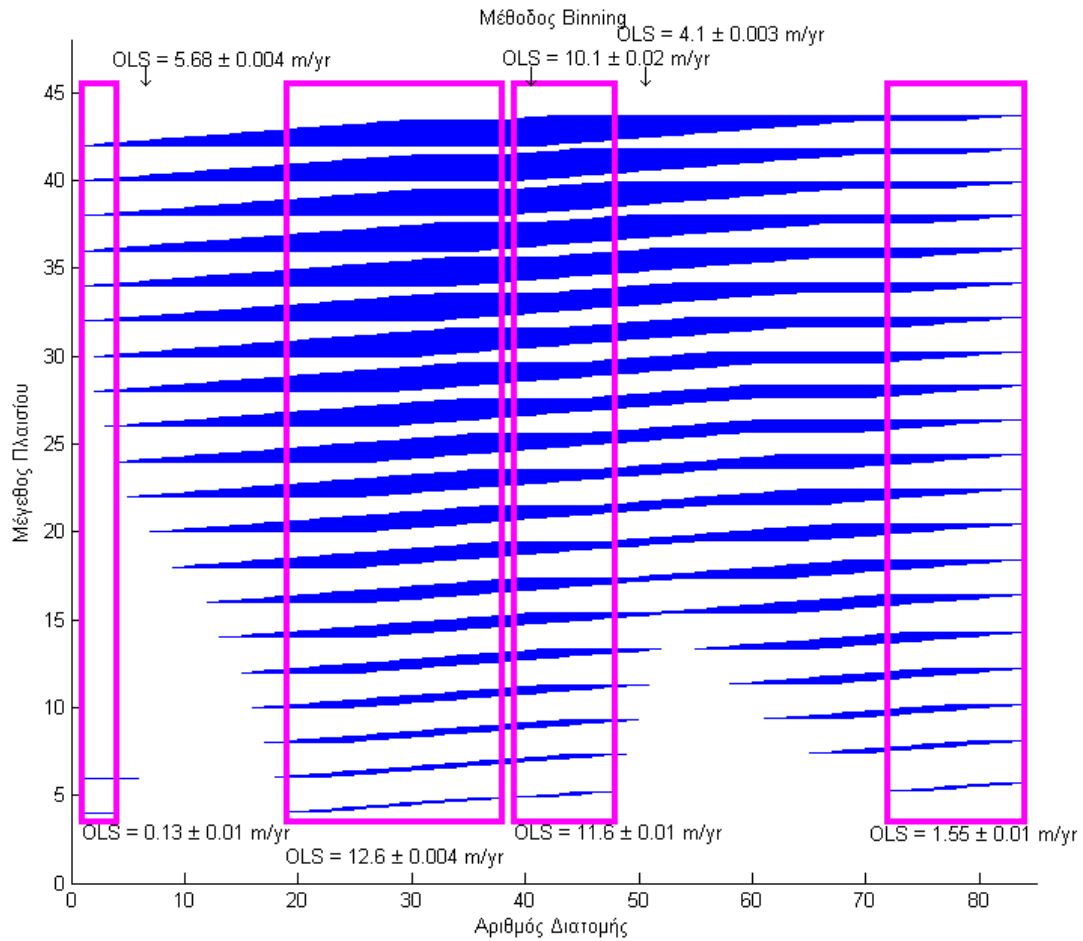
Η μέθοδος ομαδοποίησης δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης καθώς εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1969, θα είναι πλέον διαθέσιμο μόλις ένα χρονικό διάστημα παρατήρησης (1976-1992).

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1995 :

Τμήμα διατομών 1 – 25 :

Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

Τμήμα διατομών 26 – 112 :



Σχήμα 33 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1

Τμήμα διατομών 113 – 147 :

Η μέθοδος ομαδοποίησης δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης καθώς εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1995, θα είναι πλέον διαθέσιμο μόλις ένα χρονικό διάστημα παρατήρησης (1969-1976).

Τμήμα διατομών 1 – 25 :

Πίνακας αποτελεσμάτων για την μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας και ± 0.5 μέτρα	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-3.57 \pm 0.01
Φίλτρο Kalman	-2.57
Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.
0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1969	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-
Φίλτρο Kalman	-
Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.
0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1995	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-
Φίλτρο Kalman	-
Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.

Πίνακας 12 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

Τμήμα διατομών 26 – 112 :

Πίνακας αποτελεσμάτων για την μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας και ± 0.5 μέτρα	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	+5.46 \pm 0.001
Φίλτρο Kalman	-

Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 4 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.55 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 5 έως 18 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+4.56 \pm 0.003$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 19 έως 42 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+10.5 \pm 0.002$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 43 έως 72 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+4.37 \pm 0.002$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 73 έως 84 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+1.07 \pm 0.003$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p>
0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1969	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	+1.43±0.002
Φίλτρο Kalman	-
Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.
0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1995	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	+6.55±0.002
Φίλτρο Kalman	-

Μέθοδος ομαδοποίησης	<u>Διατομές 1 έως 3 :</u> Ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+0.13 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.
	<u>Διατομές 4 έως 19 :</u> Ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+5.68 \pm 0.004$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.
	<u>Διατομές 20 έως 38 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+12.6 \pm 0.004$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.
	<u>Διατομές 39 έως 40 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+10.1 \pm 0.02$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.
	<u>Διατομές 41 έως 48 :</u> Αυξημένος ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+11.60 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.
	<u>Διατομές 49 έως 72 :</u> Ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+4.1 \pm 0.003$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.
	<u>Διατομές 73 έως 84 :</u> Ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+1.55 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.

Πίνακας 13 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

Τμήμα διατομών 113 – 147 :

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7, 0,5 και 0,2 χλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας και ± 0.5 μέτρα	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-4.01 ± 0.01
Φίλτρο Kalman	-3.25
Μέθοδος ομαδοποίησης	<u>Διατομές 1 έως 10 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.78 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.
	<u>Διατομές 11 έως 26 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -4.02 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.
	<u>Διατομές 27 έως 34 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -5.85 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.

Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 2 έως 12 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -2.14 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 26 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -4.16 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 27 έως 34 :</u> Αυξημένος ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -5.85 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>
0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1969	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-
Φίλτρο Kalman	-
Μέθοδος ομαδοποίησης	Η μέθοδος ομαδοποίησης δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης καθώς εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1969, θα είναι πλέον διαθέσιμο μόλις ένα χρονικό διάστημα παρατήρησης (1976-1992).
0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1995	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-
Φίλτρο Kalman	-
Μέθοδος ομαδοποίησης	Η μέθοδος ομαδοποίησης δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης καθώς εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1995, θα είναι πλέον διαθέσιμο μόλις ένα χρονικό διάστημα παρατήρησης (1969-1976).

Πίνακας 14 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

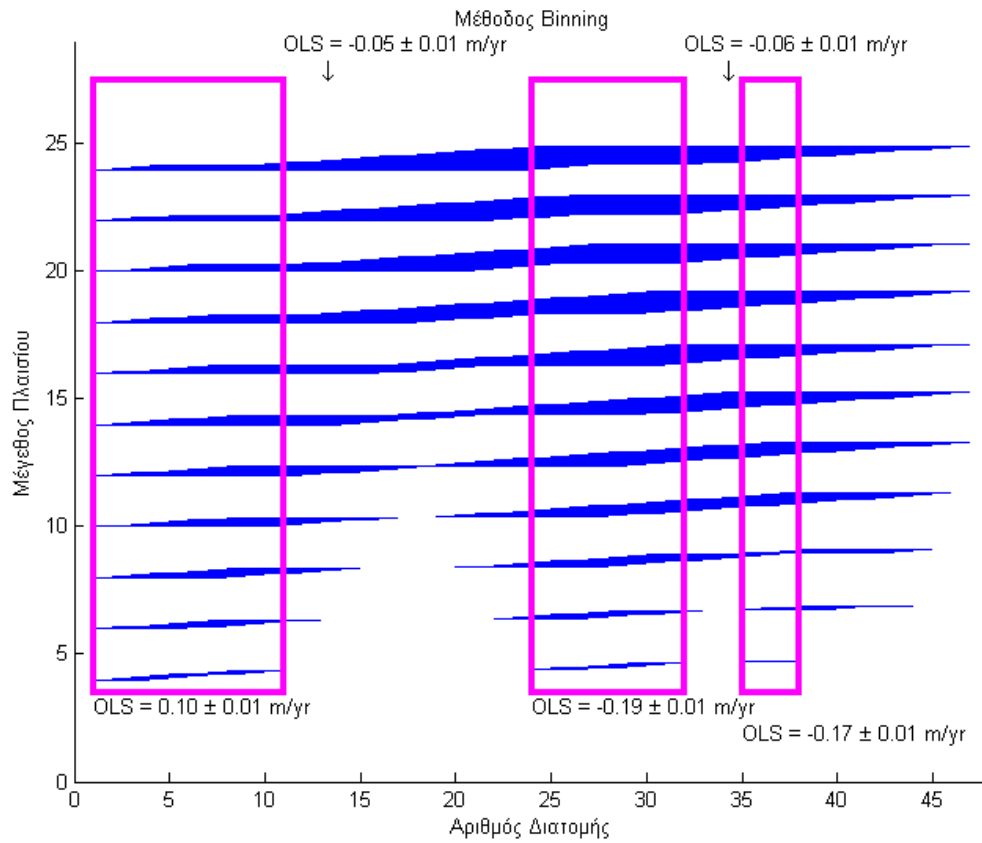
6.1.8

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	2_KAT
ΗΠΙΑ ΠΡΟΣΧΩΣΗ (0 έως +1 m/yr)	

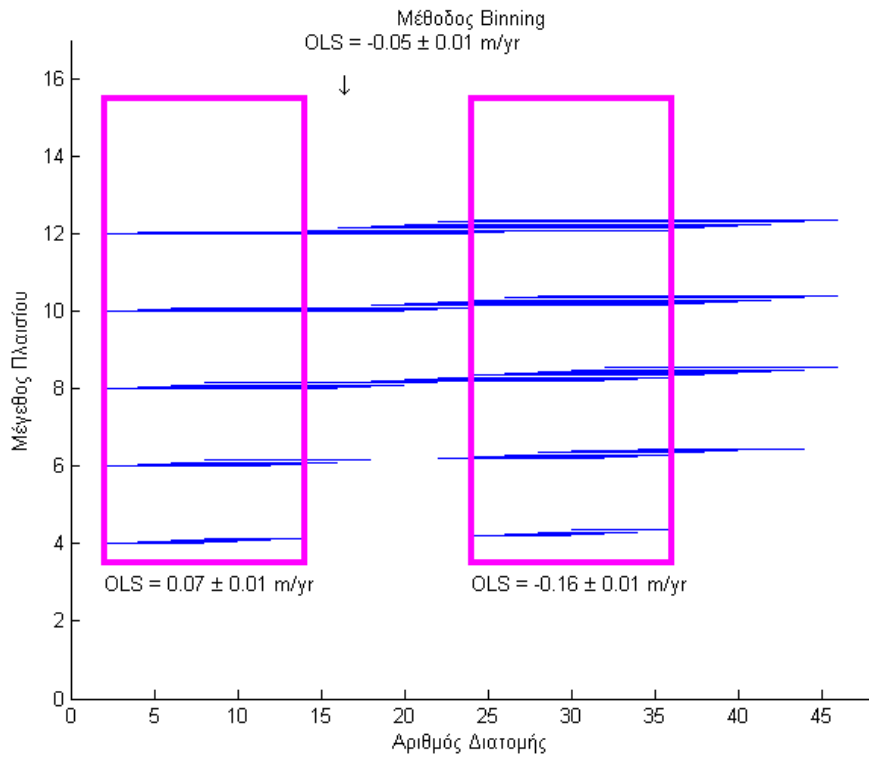
Τα αποτελέσματα της μεθόδου ομαδοποίησης (Binning) στην περιοχή 2_KAT.

Τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου ομαδοποίησης στην περιοχή μελέτης 2_KAT, μεταβάλλοντας κλιμακωτά τις αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων, παρουσιάζονται παρακάτω:

- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,7).
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,5.
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2.
- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων.

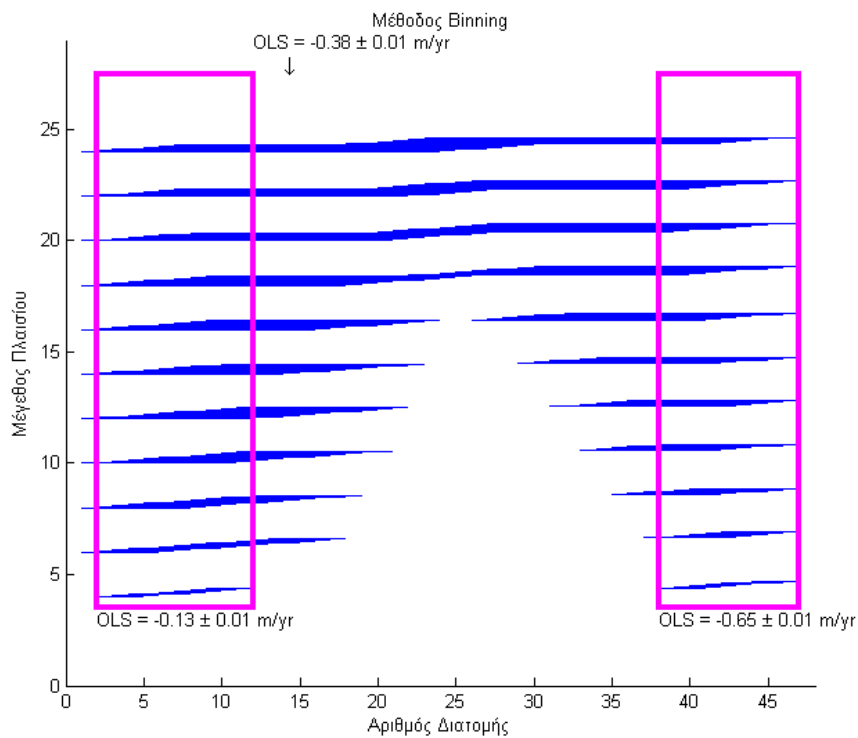


Σχήμα 34 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1

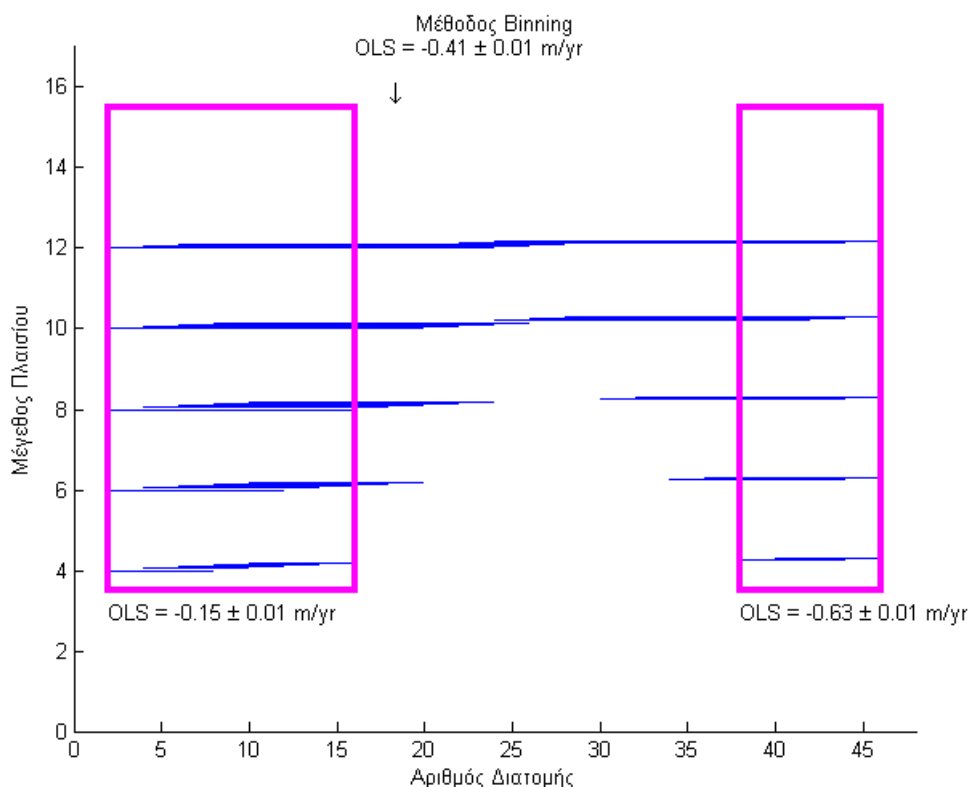


Σχήμα 35 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιότητας $\times 0,2$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1960 :



Σχήμα 36 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1



Σχήμα 37 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1997 :

Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης, μέσω της εφαρμογής της μεθόδου της ομαδοποίησης, δεν εντοπίζονται υπό – περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με το γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής που υπολογίζεται μέσω της μεθόδου των OLS.

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας και ± 0.5 μέτρα	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-0.06 \pm 0.003
Φίλτρο Kalman	-0.06
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 11 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +0.10\pm0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 12 έως 24 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.05\pm0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p>

<p>Μέθοδος ομαδοποίησης</p>	<p><u>Διατομές 25 έως 32 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.19 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 33 έως 35 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.06 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 36 έως 38 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.17 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 2 έως 14 :</u> Ρυθμός πρόσκωσης της τάξης των $+0.07 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 15 έως 24 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.05 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 25 έως 36 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.16 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>
<p>0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1960</p>	
<p>Απευθείας εφαρμογή των OLS</p>	<p>-</p>
<p>Φίλτρο Kalman</p>	<p>-</p>
<p>Μέθοδος ομαδοποίησης</p>	<p><u>Διατομές 2 έως 12 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.13 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 37 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.38 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 38 έως 47 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.65 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 2 έως 16 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.15 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 17 έως 37 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.41 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 38 έως 46 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.63 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>

0,5 χλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1997	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-
Φίλτρο Kalman	-
Μέθοδος ομαδοποίησης	Στο συγκεκριμένο τμήμα της περιοχής μελέτης δεν εντοπίζονται υπό - περιοχές με διαφορετικούς ρυθμούς μεταβολής σε σχέση με τον γενικό, μέσο ρυθμό μεταβολής της ακτογραμμής.

Πίνακας 15 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

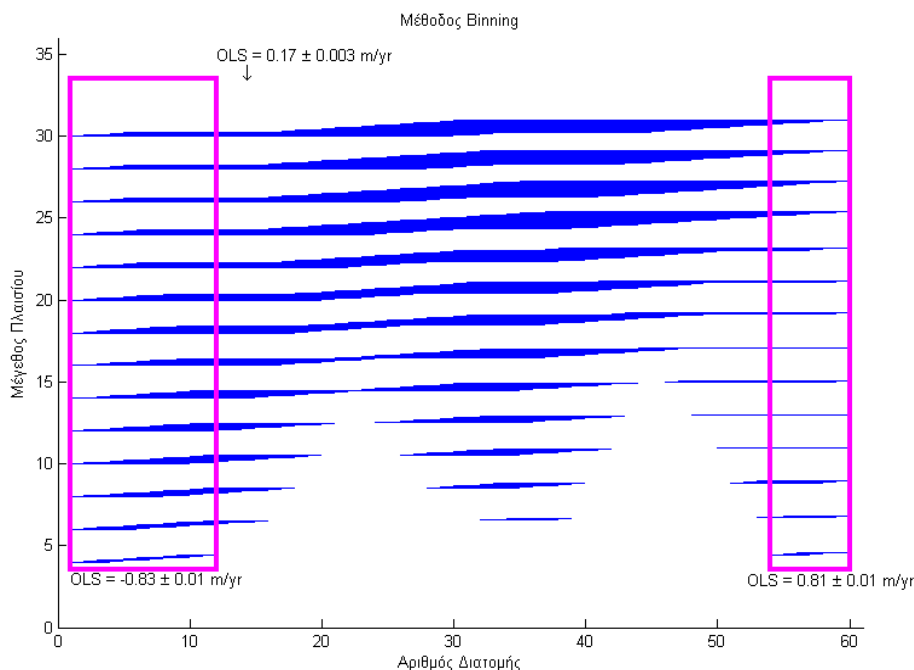
6.1.9

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	5_KAT
ΗΠΙΑ ΠΡΟΣΧΩΣΗ (0 έως +1 m/yr)	

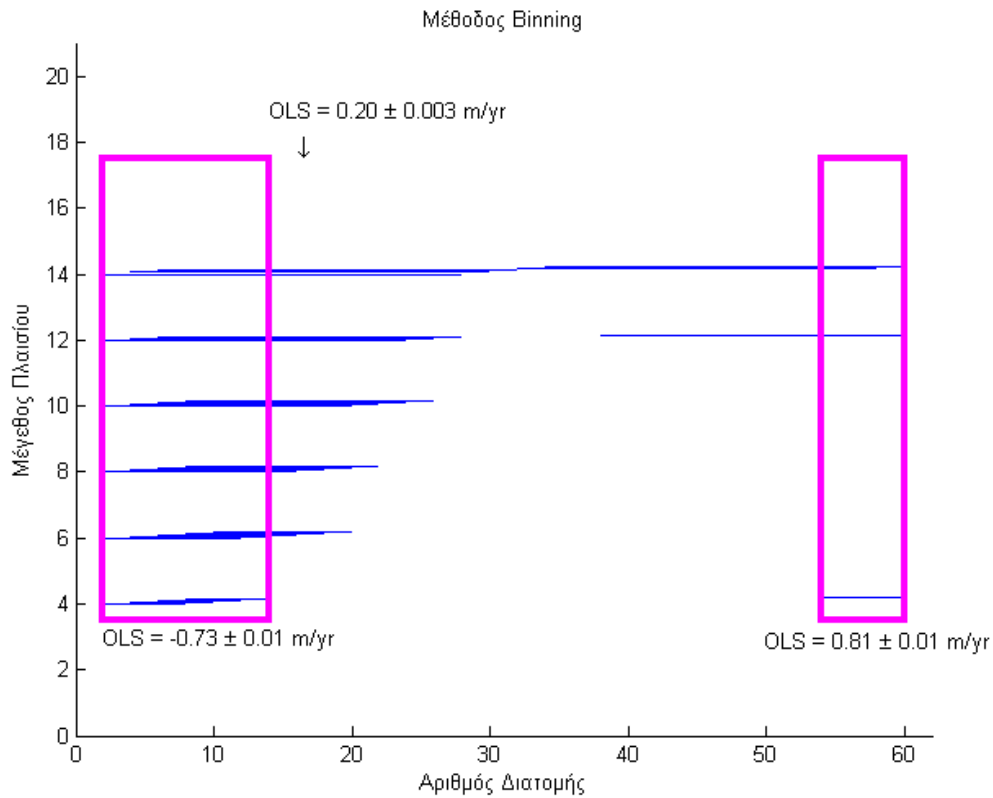
Τα αποτελέσματα της μεθόδου ομαδοποίησης (Binning) στην περιοχή 5_KAT.

Τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου ομαδοποίησης στην περιοχή μελέτης 5_KAT, μεταβάλλοντας κλιμακωτά τις αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων, παρουσιάζονται παρακάτω:

- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,7 χλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,7).
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,5.
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2.
- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων.

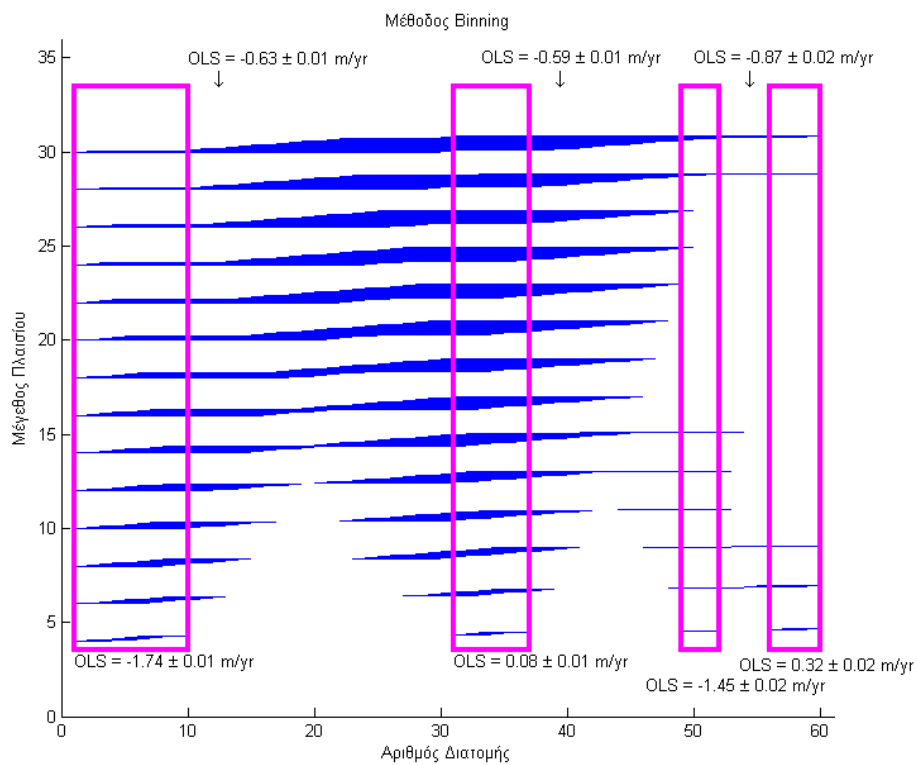


Σχήμα 38 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1

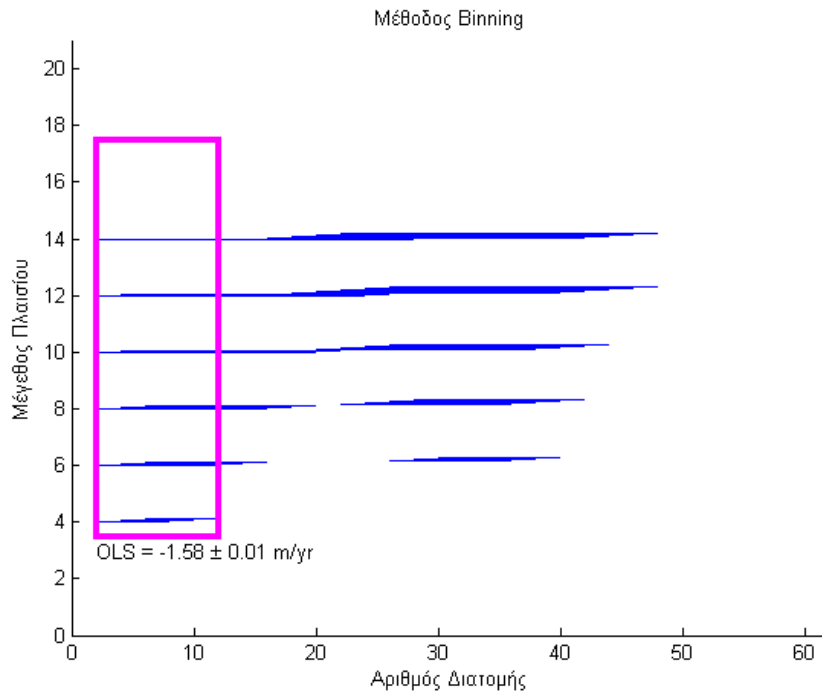


Σχήμα 39 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1960 :

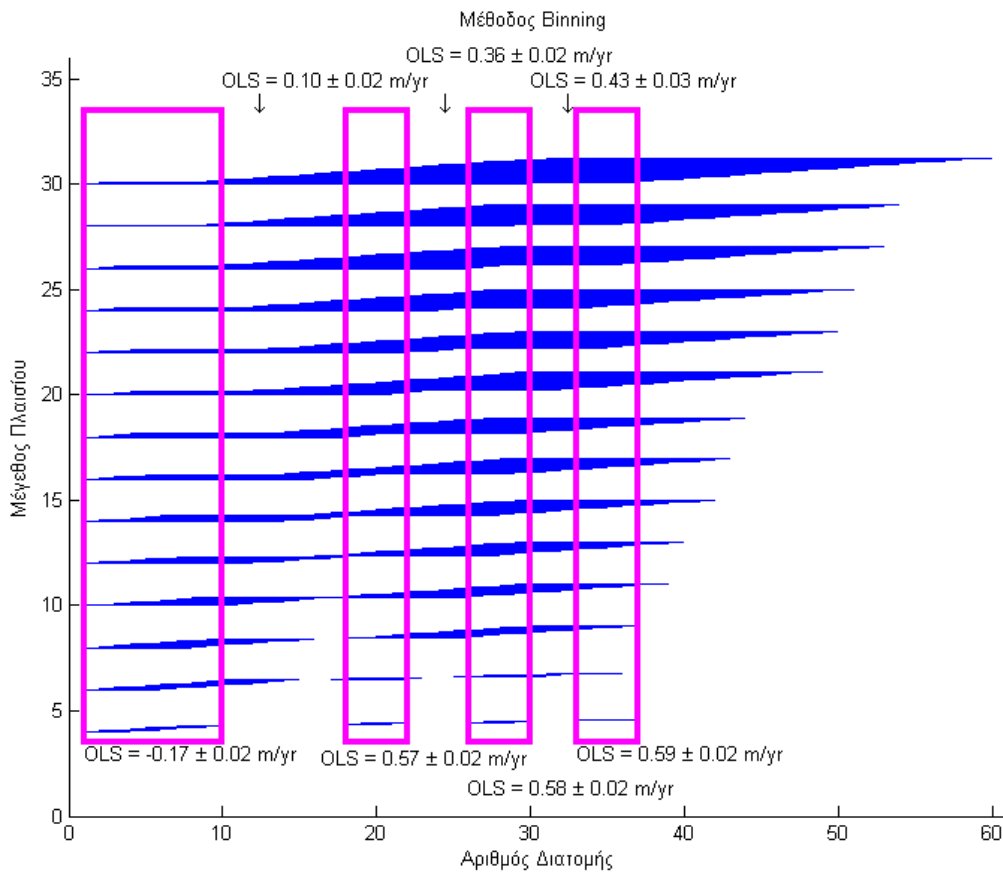


Σχήμα 40 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1

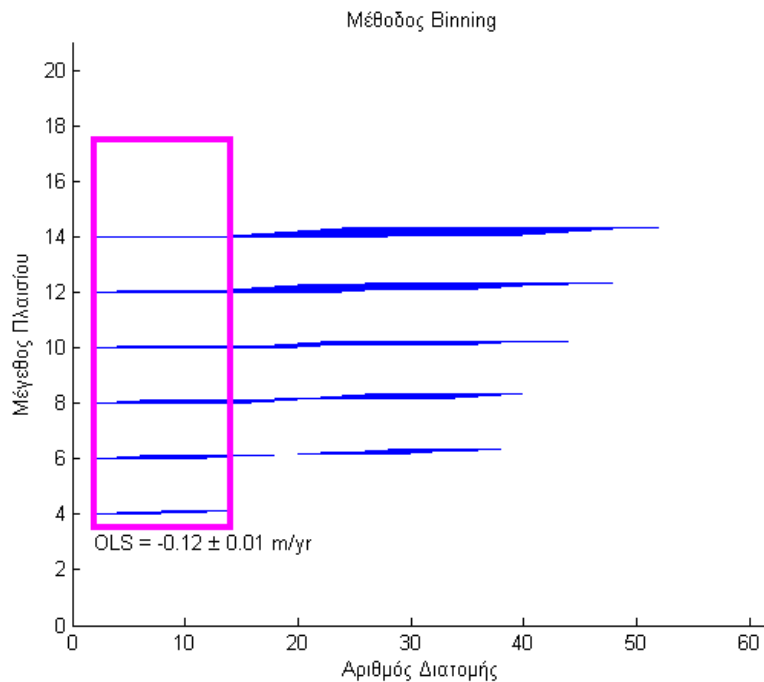


Σχήμα 41 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1995 :



Σχήμα 42 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1



Σχήμα 43 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας και ± 0.5 μέτρα	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	$+0.10 \pm 0.002$
Φίλτρο Kalman	$+0.09$
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 12 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.83 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 13 έως 54 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.17 \pm 0.003$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 55 έως 60 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.81 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 2 έως 14 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.73 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 15 έως 54 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.20 \pm 0.003$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 55 έως 60 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.81 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>

0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1960	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-
Φίλτρο Kalman	-
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 10 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.74 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 11 έως 31 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.63 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 32 έως 36 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.08 \pm 0.01$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 37 έως 49 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.59 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 50 έως 52 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.45 ± 0.02 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 53 έως 56 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.87 ± 0.02 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 57 έως 60 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.32 \pm 0.02$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 2 έως 12 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -1.58 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>
0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1995	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-
Φίλτρο Kalman	-
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 1 έως 10 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.17 ± 0.02 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 11 έως 18 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.10 \pm 0.02$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 19 έως 22 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.57 \pm 0.02$ m/yr. Η διαδικασία γίνεται ανά 1 διατομή.</p>

Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 23 έως 26 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.36 \pm 0.02$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 27 έως 30 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.58 \pm 0.02$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 31 έως 33 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.43 \pm 0.02$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 34 έως 37 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των $+0.59 \pm 0.02$ m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 1 έως 14 :</u> Ρυθμός υποχώρησης της τάξης των -0.12 ± 0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>
----------------------	---

Πίνακας 16 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

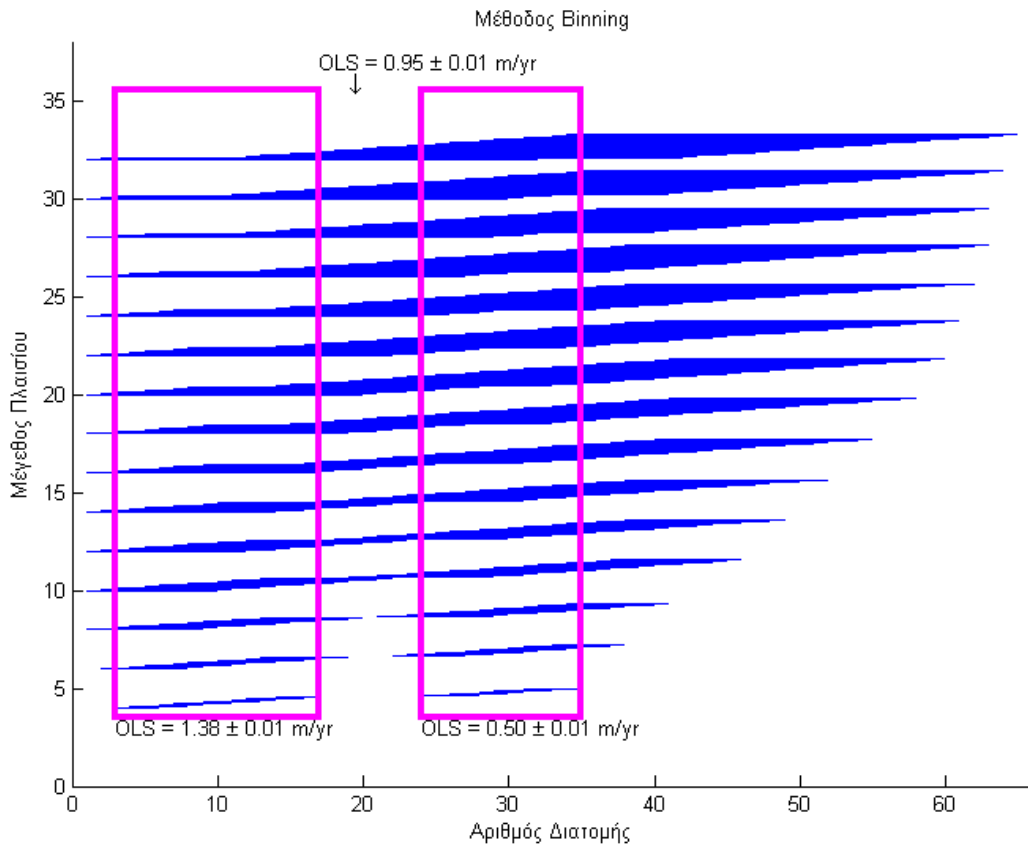
6.1.10

ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	3_KAT
ΜΕΣΑΙΑ ΠΡΟΣΧΩΣΗ (+1 έως +2 m/yr)	

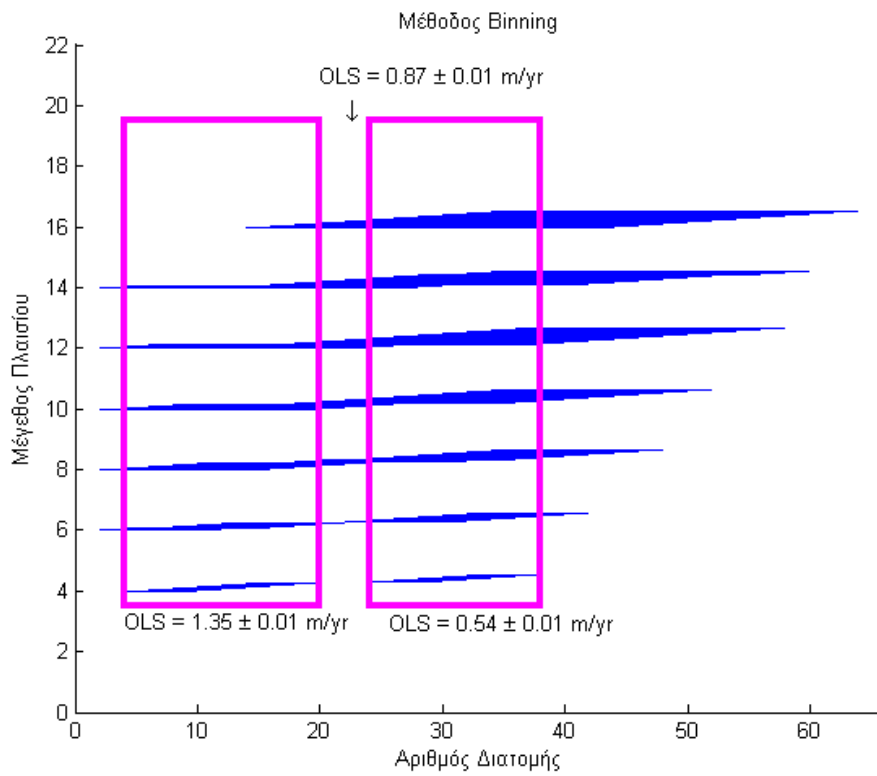
Τα αποτελέσματα της μεθόδου ομαδοποίησης (Binning) στην περιοχή 3_KAT.

Τα αποτελέσματα εφαρμογής της μεθόδου ομαδοποίησης στην περιοχή μελέτης 3_KAT, μεταβάλλοντας κλιμακωτά τις αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων, παρουσιάζονται παρακάτω:

- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των 0,7 χιλιοστών της κλίμακας της αεροφωτογραφίας (συντελεστής αβεβαιοτήτων : x0,7).
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,5.
- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων x0,2.
- Εφαρμογή της μεθόδου με αρχικές αβεβαιότητες της τάξης των $\pm 0,5$ μέτρων.



Σχήμα 44 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 1



Σχήμα 45 : Απόσταση διατομών για ομαδοποίηση : 2

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,2$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1960 :

Η μέθοδος ομαδοποίησης δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης καθώς εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1960, θα είναι πλέον διαθέσιμο μόλις ένα χρονικό διάστημα παρατήρησης (1979-1995).

- Εφαρμογή της μεθόδου με συντελεστή αβεβαιοτήτων $\times 0,5$, εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1995 :

Η μέθοδος ομαδοποίησης δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης καθώς εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1995, θα είναι πλέον διαθέσιμο μόλις ένα χρονικό διάστημα παρατήρησης (1960-1979).

Πίνακας αποτελεσμάτων για τη μέθοδο OLS (m/yr)	
0,7, 0,5 και 0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας και ± 0.5 μέτρα	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	+0.91 \pm 0.003
Φίλτρο Kalman	+0.82
Μέθοδος ομαδοποίησης	<p><u>Διατομές 2 έως 17 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +1.38\pm0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 18 έως 23 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +0.95\pm0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 24 έως 35 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +0.50\pm0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 1 διατομή.</p> <p><u>Διατομές 3 έως 20 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +1.35\pm0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 21 έως 23 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +0.87\pm0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p> <p><u>Διατομές 24 έως 39 :</u> Ρυθμός πρόσχωσης της τάξης των +0.54\pm0.01 m/yr. Η διαδικασία της ομαδοποίησης γίνεται ανά 2 διατομές.</p>
0,2 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1960	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-
Φίλτρο Kalman	-

Μέθοδος ομαδοποίησης	Η μέθοδος ομαδοποίησης δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης καθώς εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1960, θα είναι πλέον διαθέσιμο μόλις ένα χρονικό διάστημα παρατήρησης (1979-1995).
0,5 χιλιοστά της κλίμακας της αεροφωτογραφίας, εκτός η ιστορική ακτογραμμή του 1995	
Απευθείας εφαρμογή των OLS	-
Φίλτρο Kalman	-
Μέθοδος ομαδοποίησης	Η μέθοδος ομαδοποίησης δεν είναι δυνατόν να εφαρμοστεί στο συγκεκριμένο τμήμα της ακτογραμμής μελέτης καθώς εξαιρώντας την ιστορική ακτογραμμή του 1995, θα είναι πλέον διαθέσιμο μόλις ένα χρονικό διάστημα παρατήρησης (1960-1979).

Πίνακας 17 : αποτελέσματα για τη μέθοδο OLS

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

7.1 Συμπεράσματα.

7.1.1 Η τοποθέτηση του θέματος.

Αντικείμενο της διατριβής είναι η εκτίμηση της μελλοντικής μετακίνησης της ακτογραμμής με βάση συγκεκριμένα σενάρια κλιματικών αλλαγών. Το τελικό αποτέλεσμα που αναμενόταν να προκύψει ήταν η «δημιουργία» και η χρήση ενός μοντέλου το οποίο θα ήταν ικανό να προσδιορίσει τη μελλοντική εξέλιξη της ακτογραμμής. Το μοντέλο που προέκυψε, δομήθηκε έτσι ώστε να περιλαμβάνει τα αποτελέσματα δράσης των σημαντικότερων παραγόντων που επιδρούν στην εξέλιξη της ακτογραμμής αλλά και πλήθος δευτερευόντων παραγόντων.

Είναι γεγονός πως οι παράκτιες ζώνες θα επηρεαστούν άμεσα τα επόμενα χρόνια από τις επερχόμενες κλιματικές αλλαγές και πως είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην πιθανή εκδήλωση ακραίων καιρικών φαινομένων (π.χ. κυματικές καταγίδες, έντονη διάβρωση, κατολισθήσεις κ.α.). Βέβαια, το συγκεκριμένο μοντέλο δεν είναι σε θέση να ενσωματώσει στη διαδικασία πρόβλεψης του την πιθανή εκδήλωση και δράση ακραίων καιρικών φαινομένων ή καταστροφών. Η πρόβλεψη του μοντέλου θα είναι μια εκτίμηση της μελλοντικής θέσης της ακτογραμμής, στηριζόμενη στη σύνθετη δράση ενός μεγάλου πλήθους παραγόντων. Πρόσθετα, με τη χρήση της διαθέσιμης γεωπληροφορίας, είναι δυνατόν να ελεγχθεί η αξιοπιστία του συγκεκριμένου μοντέλου. Στην περίπτωση που οι προβλεπόμενες θέσεις των ακτογραμμών ταυτίζονται με τις πραγματικές θέσεις σε προκαθορισμένες χρονολογίες, τότε αυτό σημαίνει πως το μοντέλο/αλγόριθμος πρόβλεψης παρέχει έγκυρους προσδιορισμούς των μελλοντικών εξελίξεων των ακτογραμμών.

Ο όγκος των υπολογισμών και η πολυπλοκότητα του μοντέλου που τελικά σχεδιάστηκε, εξαρτώνται άμεσα από τον όγκο των διαθέσιμων στοιχείων και την επιδιωκόμενη ακρίβεια των προβλέψεων. Όσες περισσότερες ιστορικές ακτογραμμές είναι διαθέσιμες σε μια περιοχή, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο όγκος των υπολογισμών που απαιτούνται για να περιγραφεί η δυναμική εξέλιξη της ακτογραμμής, αλλά συγχρόνως, τόσο πληρέστερα περιγράφεται και η προϊστορία της συγκεκριμένης περιοχής.

Ο συνδυασμός ενός μεγάλου πλήθους πληροφοριών, ο υπολογισμός ρυθμών μεταβολής με διάφορες εφαρμοσμένες στατιστικές και μη, μεθόδους αλλά και μέσω του προσαρμοσμένου στη μελέτη, φίλτρου Kalman, έγινε με τη χρήση μαθηματικών εργαλείων και προγραμμάτων (περιβάλλον MATLAB, [28]). Μέσω αυτών των προγραμμάτων προέκυψαν και οι ζητούμενοι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής σε 10 περιοχές μελέτης, οι οποίοι αποτελούν και τη βάση του προσδιορισμού της μελλοντικής εξέλιξης της ακτογραμμής.

7.1.2 Η σπουδαιότητα και επικαιρότητα του θέματος.

Η διερεύνηση των επιμέρους θεμάτων της διατριβής παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς η δυναμική της ακτογραμμής σε μια περιοχή είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο. Μέχρι σήμερα, η μετακίνηση της ακτογραμμής δεν έχει περιγραφεί αποτελεσματικά από ένα ολοκληρωμένο μαθηματικό μοντέλο.

Εξαιτίας λοιπόν της πολυπλοκότητας της διαδικασίας εξέλιξης της ακτογραμμής αλλά και της μεγάλης φυσικής σημασίας των αλλαγών που συμβαίνουν στα παράκτια

συστήματα και στην ακτογραμμή, η χρήση ενός μοντέλου που δίνει αξιόπιστες προβλέψεις κρίνεται απαραίτητη και ιδιαίτερα σημαντική.

Η παράκτια ζώνη με μεγάλη οικολογική σημασία και αξία, είναι ιδιαίτερη ευάλωτη στη μελλοντική εξέλιξη της ακτογραμμής. Είναι προφανές πως από την πρόσχωση ή υποχώρηση της ακτογραμμής εξαρτώνται αξίες ακινήτων γης, παράκτιες περιουσίες, οδικά δίκτυα και δημόσια έργα, η βιοποικιλότητα της κάθε παράκτιας περιοχής και το πιο σημαντικό από όλα, ανθρώπινες ζωές. Από την υποχώρηση της ακτογραμμής και την απώλεια εδαφών μπορεί να πληγεί άμεσα το βιοτικό επίπεδο των κατοίκων της συγκεκριμένης παράκτιας περιοχής αλλά ακόμα και να κινδυνεύσουν οι ίδιοι στην περίπτωση εκδήλωσης ενός επεισοδιακού καιρικού φαινομένου (π.χ. μιας κυματικής καταιγίδας).

Η μεγάλη σπουδαιότητα και αξία των παράκτιων περιοχών και οι επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών, επικαιροποιούν το θέμα της παρούσας διατριβής. Ιδιαίτερα στη χώρα μας, όπου το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού αλλά και η πλειοψηφία των χρήσεων γης συγκεντρώνονται στις παράκτιες περιοχές της, η δημιουργία και η χρήση ενός μοντέλου προσδιορισμού της μελλοντικής εξέλιξης της ακτογραμμής είναι ιδιαίτερες σημαντικές. Έτσι, θα είναι δυνατόν να εκτιμηθούν μελλοντικές δυσάρεστες εξελίξεις και καταστάσεις για τα παράκτια συστήματα και συνεπακόλουθα, να γίνει αποτελεσματικότερος χωροταξικός σχεδιασμός για τη μελλοντική ανάπτυξη τους, με βάση πάντα τις προβλεπόμενες θέσεις των ακτογραμμών. Γνωρίζοντας τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής, η πολιτεία θα είναι σε θέση να θεσπίσει μέτρα και στρατηγικές προστασίας περιοχών που είναι ήδη ανεπτυγμένες οικιστικά και οι οποίες θα κινδυνέψουν στο μέλλον από πιθανή υποχώρηση της ακτογραμμής. Τέτοιου είδους μέτρα και στρατηγικές «ήπιας» προστασίας των παράκτιων περιοχών θα μπορούσαν να σχεδιαστούν, να εφαρμοστούν και να αποδώσουν μόνο υπό την προϋπόθεση ότι οι εκτιμήσεις για τις μελλοντικές θέσεις της ακτογραμμής είναι σχετικά ακριβείς. Με βάση τα παραπάνω, είναι προφανής η μεγάλη σημασία και χρησιμότητα δημιουργίας ενός αξιόπιστου μοντέλου πρόβλεψης της εξέλιξης της ακτογραμμής στη διαδικασία χάραξης πολιτικών προστασίας των παράκτιων περιοχών.

7.1.3 Επισκόπηση ερευνητικού πεδίου. Στοιχεία μεθοδολογιών.

Η εκτίμηση της μετακίνησης της ακτογραμμής είναι ένα πολυπαραμετρικό πρόβλημα στο οποίο έχουν γίνει μεγάλες προσπάθειες τελευταία παγκοσμίως. Έχουν μελετηθεί διεξοδικά το πώς επιδρούν οι κλιματικές αλλαγές και οι ανθρώπινες παρεμβάσεις στη μελλοντική εξέλιξη της ακτογραμμής. Πρόσθετα, έχουν δομηθεί αρκετά μοντέλα πρόβλεψης του μεγέθους αλλά και του είδους των κλιματικών αλλαγών που αναμένονται, έχουν γίνει προσπάθειες να περιγραφεί η δυναμική των ακτογραμμών με διάφορες παραμέτρους και συντελεστές και έχουν προταθεί στρατηγικές προστασίας των παράκτιων περιοχών.

Απλά μοντέλα τα οποία μπορούν να προβάλουν τη μελλοντική θέση της ακτογραμμής, έχουν δοκιμαστεί παρουσιάζοντας όμως αμφίβολη ακρίβεια και αποτελεσματικότητα στις προβλέψεις τους. Άλλωστε, η προσπάθεια περιγραφής ενός τόσο σύνθετου φαινομένου όπως είναι η εξέλιξη της ακτογραμμής σε ένα πολύπλοκο σύστημα όπως είναι το παράκτιο, με τη χρήση απλοποιημένων μαθηματικών μοντέλων, δίνει ανακριβή αποτελέσματα.

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στη μετακίνηση της ακτογραμμής είναι η αξιοπιστία του μοντέλου πρόβλεψης όταν αυτό εφαρμόζεται σε μια παράκτια περιοχή. Όλες οι φυσικές παράμετροι οι οποίες επιδρούν στη μετακίνηση της

ακτογραμμής αλλάζουν ανάλογα με την γεωγραφική τοποθεσία της κάθε παράκτιας περιοχής και τις κλιματικές μεταβολές. Η κύρια πρόκληση στην κατασκευή ενός μοντέλου παράκτιας πρόβλεψης είναι να δημιουργηθούν μοντέλα με πολύπλοκη αριθμητική ανάλυση (χώρου-χρόνου) τα οποία θα μπορούν να δώσουν αξιόπιστες προβλέψεις για τη δυναμική ενός παράκτιου, συστήματος [43]. Με τη χρήση των GIS, αυτά τα μοντέλα μπορούν πλέον να έχουν μεγαλύτερη αξιοπιστία, ακρίβεια και δυνατότητες ανάλυσης.

Συμπερασματικά, αναφέρεται πως η επιτυχία του μοντέλου πρόβλεψης και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων εξαρτάται από τρεις βασικούς παράγοντες:

- Από την ποιότητα της πρωτογενούς πληροφορίας και την ακρίβεια των αεροφωτογραφιών. Στην παρούσα μελέτη, ένα από τα βασικότερα προβλήματα κατά τη διαδικασία δημιουργίας και εφαρμογής του μοντέλου ήταν οι υψηλές αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων (στις θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών), είτε λόγω της μικρής κλίμακας των διαθέσιμων αεροφωτογραφιών, είτε γενικά εξαιτίας της μη ποιοτικής, διαθέσιμης γεωπληροφορίας.
- Από τη μορφή του πολωνύμου/αλγόριθμου. Κατά τη διαδικασία σύνθεσης του τελικού μοντέλου πρόβλεψης [προσαρμογής και χρησιμοποίησης του βασικού φίλτρου Kalman με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα της παράκτιας μελέτης (τις θέσεις των ακτογραμμών) και τις υψηλές αρχικές αβεβαιότητες θέσης] απαιτήθηκε να γίνουν συγκεκριμένες υποθέσεις και παραδοχές όσον αφορά την υπολογιστική ρουτίνα του τελικού φίλτρου και τις αρχικές τιμές των συντελεστών (A,B και H) που χρησιμοποιήθηκαν.
- Από την ακρίβεια της πρόβλεψης που προκύπτει από το μοντέλο. Ένα από τα βασικότερα πλεονεκτήματα χρησιμοποίησης του φίλτρου Kalman σε συνδυασμό με τις γνωστές στατιστικές και μη, δέκα (10) μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής είναι το ότι δημιουργήθηκε ένα μοντέλο πρόβλεψης το οποίο ενσωμάτωσε τις υψηλές αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων και παράγαγε αποτελέσματα με ενσωματωμένα σφάλματα πρόβλεψης, προσεγγίζοντας σε σημαντικό βαθμό την πραγματικότητα.

Στην περίπτωση της χώρας μας, η δημιουργία ενός αξιόπιστου μαθηματικού μοντέλου πρόβλεψης της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής θα μπορούσε να βοηθήσει στον προσδιορισμό του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, έτσι ώστε να είναι δυνατή η διαμόρφωση στρατηγικών προστασίας των παράκτιων περιοχών, βιώσιμης ανάπτυξης και καλύτερου χωροταξικού σχεδιασμού. Βέβαια, όσον αφορά τις ελληνικές παράκτιες περιοχές, υπάρχουν αρκετοί περιορισμοί ως προς την αποτελεσματική χρήση μοντέλων πρόβλεψης των μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής. Οι ιδιαίτερα υψηλές, αρχικές αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων σε συνδυασμό με τις περιορισμένες χρονικές σειρές αεροφωτογραφήσεων του ελληνικού χώρου, δυσχεραίνουν τη διαδικασία εφαρμογής στατιστικών μεθόδων και τη δημιουργία μοντέλων πρόβλεψης. Είναι χαρακτηριστικό πως στην πλειοψηφία των παράκτιων περιοχών, υπάρχουν διαθέσιμες έως επτά ιστορικές ακτογραμμές (ο μέγιστος αριθμός διαθέσιμων ακτογραμμών) σε ένα χρονικό διάστημα περίπου εξήντα ετών. Οι ακτογραμμές που προκύπτουν ως ψηφιοποιημένες οριογραμμές από τις διαθέσιμες αεροφωτογραφίες για κάθε περιοχή, συνοδεύονται σε αρκετές περιπτώσεις από σημαντικές αβεβαιότητες. Οι αβεβαιότητες αυτές στη θέση κάθε σημείου πάνω στην ακτογραμμή οφείλονται κυρίως στη μικρή κλίμακα των

αεροφωτογραφιών του 1945, 1960 και 1972 (κλίμακες της τάξης του 1:42.000, 1:30.000 και 1:15.000), είτε λόγω σφαλμάτων εκτίμησης κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης. Επίσης, η όλη διαδικασία ενδέχεται να επηρεαστεί από εποχιακές διακυμάνσεις στην κάθε ιστορική ακτογραμμή που εξάγεται (η ακτογραμμή αλλάζει μορφή ανάλογα με τη χρονολογία της αεροφωτογραφίας, την εποχή και την πιθανή παλίρροια ή άμπωτη που μπορεί να επηρέαζε την παράκτια περιοχή, τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή). Για να συμπεριληφθούν οι πιθανές αυτές αβεβαιότητες λόγω εποχιακών ή ακόμη και ημερήσιων διακυμάνσεων της ακτογραμμής στη διαδικασία μοντελοποίησης, εκτελέστηκε πλήθος εφαρμογών με κυμαινόμενες αρχικές αβεβαιότητες. Το αποτέλεσμα όλων αυτών των περιορισμών είναι ότι στη συντριπτική πλειοψηφία των ελληνικών παράκτιων περιοχών, τα διαθέσιμα αρχεία δεδομένων είναι μικρού μεγέθους και με σημαντικές αβεβαιότητες θέσης. Είναι προφανές πως ο περιορισμένος και συχνά, μη ποιοτικός όγκος των πρωτογενών δεδομένων επηρεάζει και την ακρίβεια των προβλέψεων που εξάγεται από τα διαθέσιμα μοντέλα.

Ανάλογα προβλήματα αντιμετωπίστηκαν και στην περίπτωση των 10 παράκτιων περιοχών της διατριβής. Με δεδομένες τις χρονολογίες που έγιναν οι αεροφωτογραφίες και με ψηφιοποιημένες ακτογραμμές οι οποίες προέκυψαν από αεροφωτογραφίες και χάρτες μικρής κλίμακας, η εφαρμογή των μοντέλων και η εξαγωγή συμπερασμάτων ήταν μια δύσκολη διαδικασία. Η αδυναμία πύκνωσης της διαθέσιμης γεωπληροφορίας ειδικά πριν το έτος 2000 (λόγω περιορισμένων αεροφωτογραφήσεων σε συγκεκριμένες χρονολογίες και μη διαθέσιμων ακόμη δορυφορικών εικόνων) και οι υψηλές αβεβαιότητες (θόρυβος) οι οποίες συχνά προσέγγιζαν ακόμη και την ίδια αρχική μέτρηση (σήμα), καθιστούσαν συχνά τις διαθέσιμες μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, αναξιόπιστες ως προς τα αποτελέσματά τους. Η προσαρμογή του φίλτρου Kalman και η χρησιμοποίηση του νέου μοντέλου πρόβλεψης της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής είχε ως βασικό σκοπό να αντιμετωπίσει τα παραπάνω προβλήματα και να παράγει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

7.1.4 Η χρήση του φίλτρου Kalman στα πλαίσια δημιουργίας του μοντέλου πρόβλεψης.

Είναι φανερό από τις πέντε τελικές εξισώσεις του φίλτρου Kalman [εξ. 3.37 έως εξ.3.42] και από την ανάλυση των κεφαλαίων 3, 4 και 5 ότι ο φόρτος των υπολογισμών αυξάνεται σημαντικά σε σύγκριση με τις 10 μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής. Παρόλα αυτά, από τη μέχρι τώρα χρησιμοποίηση του φίλτρου Kalman σε δυναμικά συστήματα μέτρησης, η συγκεκριμένη στατιστική μέθοδος παρήγαγε σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα κατά περίπτωση, έτσι ώστε η ποσότητα των υπολογισμών να μην λαμβάνεται υπόψη, καθώς «αναλαμβάνεται» και από τον υπολογιστή.

Επομένως, με βάση τις προβλέψεις των θέσεων της ακτογραμμής και τις συγκρίσεις τους με τις πραγματικές μετρήσεις, είναι δυνατόν να διορθωθούν οι εκτιμητές θέσης. Όπως έχει αποδειχθεί στην πράξη, η μέθοδος του φίλτρου Kalman είναι μια στατιστική μέθοδος που βελτιώνει αναμφίβολα τα αποτελέσματα και δίνει μια καλλίτερη εκτίμηση της μελλοντικής θέσης [7].

Είναι χαρακτηριστικό πως με την εφαρμογή της τεχνικής Kalman κάθε φορά που πραγματοποιούνται νέες μετρήσεις, ελέγχεται η ισχύς του μοντέλου πρόβλεψης και ταυτόχρονα προσδιορίζονται οι κινηματικές παράμετροι της περιοχής που αναφέρονται στο χρόνο των τελευταίων μετρήσεων. Συνεπώς, το μοντέλο πρόβλεψης

των μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής σε μια περιοχή θα πρέπει επιπλέον να ελεγχθεί ως προς την εγκυρότητα της πρόβλεψης. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με την εφαρμογή της τεχνικής των φίλτρων Kalman και με την τεχνική αυτή ελέγχεται και η ισχύς του μοντέλου σε επόμενες χρονικά στιγμές. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται, γενικά, στις περιπτώσεις κατά τις οποίες ζητείται η βελτίωση της λύσης του διανύσματος των αγνώστων καθοριστικών παραμέτρων, από την ύπαρξη νέων επιπλέον μετρήσεων, χωρίς να συνορθωθούν ξανά παλαιές και πρόσφατες παρατηρήσεις (μετρήσεις) μαζί.

Συμπερασματικά, η πρόταση εισαγωγής του φίλτρου Kalman στην παρούσα διατριβή στοχεύει στη διερεύνηση και τροποποίηση της βασικής μαθηματικής δομής του και τελικώς στην παραγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων όσον αφορά την πρόβλεψη μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής, συγκριτικά με τις υπάρχουσες στατιστικές μεθόδους υπολογισμού ρυθμών μεταβολής. Το φίλτρο Kalman παρέχει τη δυνατότητα να υπολογιστούν πιο αξιόπιστοι ρυθμοί μεταβολής οι οποίοι προσεγγίζουν καλύτερα την πραγματικότητα, μοντελοποιώντας τη δυναμική των παράκτιων συστημάτων και ενσωματώνοντας τις αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων. Η διαφοροποίηση του φίλτρου Kalman σε σχέση με τις δέκα στατιστικές μεθόδους έγκειται στο γεγονός ότι το συγκεκριμένο μαθηματικό εργαλείο παρουσιάζει συγκριτικά πλεονεκτήματα όσον αφορά τη δομή του και την αξιοπιστία των προβλέψεων του :

- Το φίλτρο Kalman χαρακτηρίζεται με πλήρη μαθηματικοποιημένη δομή για συστήματα χαμηλής δυναμικής όπως είναι τα παράκτια, σε σχέση με τις υπόλοιπες 10 στατιστικές μεθόδους.
- Στο φίλτρο Kalman παρέχεται η δυνατότητα ελέγχου των ενδιάμεσων σταδίων της διαδικασίας πρόβλεψης – a priori/a posteriori προβλέψεις για κάθε χρονικό διάστημα παρατήρησης.
- Οι αβεβαιότητες των πρωτογενών δεδομένων είναι ενσωματωμένες στους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίοι υπολογίζονται μέσω του φίλτρου Kalman.
- Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν «ανθεκτικότητα» και «στιβαρότητα» όσον αφορά την ύπαρξη χονδροειδών σφαλμάτων (outliers) στις αρχικές μετρήσεις.
- Παρόλη την προσθαφαίρεση διαθέσιμης γεωπληροφορίας, οι εκτιμήσεις οι οποίες προκύπτουν με την εφαρμογή του φίλτρου Kalman δεν επηρεάζονται σημαντικά και κυμαίνονται σε αρκετές περιπτώσεις γύρω από μια μέση τιμή (μέσο ρυθμό μεταβολής).

Επίσης, ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα της εφαρμογής του φίλτρου Kalman είναι ότι μπορεί να εντοπίσει την πιθανή διαφορά ανάμεσα στην πρόβλεψη της θέσης και στην πραγματική θέση σε κάθε χρονικό διάστημα παρατήρησης (οι posteriori εκτιμητές θέσης συγκρίνονται κάθε φορά με τις νέες μετρήσεις-θέσεις των σημείων της ακτογραμμής).

Η κυκλική υπολογιστική διαδικασία του φίλτρου Kalman παρέχει τη δυνατότητα κάθε φορά να υπολογίζεται αρχικά ένας εκ των προτέρων εκτιμητής και στη συνέχεια ένας διορθωμένος εκτιμητής αφού γίνει η μέτρηση και ενσωματωθεί στη διαδικασία μαζί με την αβεβαιότητά της. Έτσι, μετρήσεις με υψηλές αβεβαιότητες (όπως οι θέσεις παλαιότερων ακτογραμμών μικρής κλίμακας του 1945 ή του 1960) όταν ενσωματώνονται στο μοντέλο, επηρεάζουν σημαντικά τη διαδικασία υπολογισμού

των διορθωμένων εκτιμητών, υποβαθμίζοντας την αξιοπιστία της τελικής πρόβλεψης. Βέβαια, το φίλτρο Kalman είναι σε θέση να ενσωματώνει όλες τις μετρήσεις και να δίνει μια τελική πρόβλεψη σχετικά αξιόπιστη, ανάλογα με το μέγεθος των επιμέρους αβεβαιοτήτων. Στην περίπτωση που εμφανίζεται μια μέτρηση που συνοδεύεται από μεγάλη αβεβαιότητα ή μια ακραία τιμή στο μέσο της κατανομής των μετρήσεων, το φίλτρο Kalman την ενσωματώνει και ο *a posteriori* εκτιμητής που υπολογίζεται για το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα που εμφανίστηκε η μέτρηση, παρουσιάζει μειωμένη αξιοπιστία. Στη συνέχεια όμως και με δεδομένο ότι οι επόμενες μετρήσεις θα χαρακτηρίζονται από μειωμένες αβεβαιότητες, οι προβλέψεις (εκτιμητές) του φίλτρου σταδιακά βελτιώνονται ανακτώντας την αξιοπιστία τους. Αυτό σημαίνει ότι το φίλτρο Kalman παρουσιάζει μια σχετική «προσαρμοστικότητα» όσον αφορά την ύπαρξη πιθανών αβεβαιοτήτων στα πρωτογενή δεδομένα σε αντίθεση με τις υπάρχουσες στατιστικές μεθόδους, όπου οι παραπάνω αβεβαιότητες υποβαθμίζουν σημαντικά την ποιότητα των προβλέψεων.

7.2 Τελικό συμπέρασμα – προτάσεις.

Η διαδικασία σχεδιασμού και εφαρμογής οποιασδήποτε μεθόδου προστασίας των ακτών θα πρέπει να συνδέεται άμεσα με το φαινόμενο μετακίνησης της ακτογραμμής σε κάθε ακτή (υποχώρηση ή πρόσχωση) [100]. Η μελέτη επικεντρώθηκε στην ελληνική παράκτια ζώνη και εφαρμόστηκαν γνωστές μεθοδολογίες υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής αλλά και το προσαρμοσμένο φίλτρο Kalman, έτσι ώστε να εκτιμηθούν οι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής. Μέσω των υπολογισμένων αυτών ρυθμών μεταβολής και των αβεβαιοτήτων που προέκυψαν για κάθε μέθοδο, αλλά και με βάση τις αποκλίσεις των διαφόρων προβλέψεων/εκτιμήσεων και την πολυπλοκότητα των απαιτούμενων υπολογισμών, έγινε αξιολόγηση της δυνατότητας προβλέψεων των διαθέσιμων μεθοδολογιών, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες των πρωτογενών δεδομένων (θέσεων των ιστορικών ακτογραμμών με μεγάλες αβεβαιότητες λόγω κυρίως της μικρής κλίμακας των διαθέσιμων αεροφωτογραφιών) για τις περιπτώσεις των παράκτιων περιοχών της διατριβής.

Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε ένα καινούργιο μοντέλο υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής με τη χρήση του φίλτρου Kalman, προσαρμοσμένο στα πρωτογενή δεδομένα της παράκτιας μελέτης και στους περιορισμούς της ελληνικής πραγματικότητας [περιορισμένη διαθέσιμη αρχική γεωπληροφορία σε σχέση με τις θέσεις των ιστορικών ακτογραμμών λόγω συγκεκριμένων χρονολογιών αεροφωτογραφήσεων και σημαντικά σφάλματα («θόρυβος») στα πρωτογενή αυτά δεδομένα]. Το συγκεκριμένο μαθηματικό μοντέλο, αφού στηρίχθηκε σε συγκεκριμένες αρχικές υποθέσεις και συμβάσεις, δοκιμάστηκε σε πραγματικά δεδομένα που προήλθαν από 10 παράκτιες περιοχές της Ελλάδας. Οι υπολογισμένοι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες μελέτης της δυναμικής της εκάστοτε παράκτιας περιοχής αλλά και ως εργαλείο πρόβλεψης της μελλοντικής εξέλιξης της.

Ανάλογα με το μέγεθος του θορύβου αλλά και μέσω της σύγκρισης των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής, αξιολογήθηκαν οι υπάρχουσες μέθοδοι. Κάποιες από αυτές κρίθηκαν, τουλάχιστον με βάση τον χαρακτήρα και τις ιδιαιτερότητες των πρωτογενών δεδομένων του ελληνικού παράκτιου χώρου, εντελώς ακατάλληλες για τον υπολογισμό του ρυθμού μεταβολής και την εκτίμηση προβλέψεων καθώς οι εκτιμήσεις τους είτε παρουσίαζαν συστηματικά μεγάλες αβεβαιότητες είτε απέκλιναν από το γενικό μέσο όρο των υπολοίπων εκτιμήσεων των 10 μεθόδων. Σαν οι πλέον ακατάλληλες μέθοδοι με βάση τα συγκεκριμένα διαθέσιμα αρχικά δεδομένα για τις

δέκα παράκτιες περιοχές της μελέτης κρίθηκαν οι AER, RLS, LAD και WLAD. Κάποιες άλλες μέθοδοι, παρόλες τις σημαντικές αβεβαιότητες ή τις αποκλίσεις κατά περίπτωση των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής τους, υπήρξαν περιπτώσεις ακτών και εφαρμογών όπου παρείχαν σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν σε περαιτέρω μελέτες (τέτοιες μέθοδοι είναι οι EPR, AOR, WLS και RWLS). Στην πλειοψηφία των παράκτιων περιοχών που εξετάστηκαν και παρουσιάζονται στο δεύτερο κεφάλαιο της παρούσας διατριβής, οι μέθοδοι οι οποίες παρείχαν αξιόπιστα αποτελέσματα και υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής με ιδιαίτερος χαμηλές αβεβαιότητες, ήταν οι OLS και JK.

Μετά τη στατιστική ανάλυση όλων των παραπάνω αποτελεσμάτων και την αξιολόγησή τους, πραγματοποιήθηκαν αντίστοιχες δοκιμές με τα ίδια πρωτογενή δεδομένα, χρησιμοποιώντας όμως πλέον το φίλτρο Kalman στη μελέτη της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής. Οι νέοι ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής συγκρίθηκαν μεταξύ τους αλλά και με τα αντίστοιχα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή των 10 στατιστικών μεθόδων στα προηγούμενα στάδια της μελέτης. Από την παραπάνω διαδικασία της στατιστικής ανάλυσης των υπολογιζόμενων ρυθμών μεταβολής αλλά και τη θεωρητική σύνθεση και μαθηματική διατύπωση του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman στα δεδομένα της παράκτιας μελέτης, προέκυψαν συγκεκριμένα συμπεράσματα ως προς την αξιοπιστία των προβλέψεων των διαφόρων μεθόδων. Πρόσθετα, στο 5^ο κεφάλαιο και ειδικότερα στην υπό-ενότητα 5.3 δοκιμάστηκαν οι 10 μέθοδοι και το τροποποιημένο φίλτρο Kalman, χρησιμοποιώντας αποκλειστικά πρόσφατη γεωπληροφορία. Επιλέχθηκαν έτσι σχετικά πρόσφατες ιστορικές ακτογραμμές μετά το έτος 1990, όπου αυτές ήταν διαθέσιμες και υπολογίστηκαν ρυθμοί μεταβολής της ακτογραμμής σε πέντε παράκτιες περιοχές της μελέτης (στις συγκεκριμένες περιοχές υπήρχε επαρκής αριθμός ιστορικών ακτογραμμών μετά την εξαίρεση των παλιότερων και προβληματικών ακτογραμμών του 1945, 1960 ή 1972). Η λογική των συγκεκριμένων εφαρμογών ήταν να μελετηθούν οι επιδράσεις και οι ενδεχόμενες βελτιώσεις στους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής ανά μέθοδο και κατά περίπτωση ακτής, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται σχετικά πρόσφατη, ποιοτική πληροφορία θέσης, η οποία προέρχεται από αεροφωτογραφίες μεγαλύτερης κλίμακας. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν δεν ήταν δυνατόν να ομαδοποιηθούν πλήρως καθώς ανάλογα με τα φυσικά χαρακτηριστικά και τις ιδιομορφίες της κάθε περιοχής (φυσική, διαχρονική τάση μεταβολής, ανθρώπινες παρεμβάσεις ανά τοποθεσία, ποσότητα και ακρίβεια δεδομένων) υπήρξαν περιπτώσεις όπου οι προβλέψεις των 10 μεθόδων και του φίλτρου Kalman είτε βελτιώθηκαν, είτε επιδεινώθηκαν (αύξηση αποκλίσεων γύρω από μια μέση τιμή, αύξηση αβεβαιοτήτων). Αυτό που προέκυψε ως κοινό συμπέρασμα για όλες τις εφαρμογές είναι το γεγονός ότι η εξαίρεση παλαιότερων ακτογραμμών και η συρρίκνωση του χρονικού διαστήματος παρατήρησης είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση των αποκλίσεων μεταξύ των υπολογιζόμενων ρυθμών από τις 10 μεθόδους σε σχέση με το φίλτρο Kalman και συγχρόνως την αύξηση των αβεβαιοτήτων που συνοδεύουν τους παραπάνω ρυθμούς. Η χρησιμότητα παλαιότερων ακτογραμμών στη διαδικασία μοντελοποίησης της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής, παρόλο που συνοδεύονται συνήθως από σημαντικές αβεβαιότητες θέσης, επιβεβαιώνεται σε αρκετές περιπτώσεις και από τη διεθνή βιβλιογραφία [52], [53].

Όσον αφορά την υπό-ενότητα 5.4 του 5^{ου} κεφαλαίου, ακολούθησε σύγκριση των προβλέψεων του μοντέλου με βάση τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής που προέκυψαν από τις 10 μεθόδους και το φίλτρο Kalman, σε σχέση με την πραγματική ακτογραμμή του έτους 2009. Η συγκεκριμένη πρόσφατη ακτογραμμή προέκυψε από

τη ψηφιοποίηση ορθοφωτογραφιών του Κτηματολογίου (ιστορική ακτογραμμή υψηλής ακρίβειας σε ψηφιακή μορφή). Οι προβλέψεις που υπολογίστηκαν με βάση τους ρυθμούς μεταβολής είχαν σαν αφετηρία τα έτη 1992, 1995, 1997 ή και 2000 (ανάλογα με την περιοχή μελέτης) και τοποθετήθηκαν όλες στα εξαρτημένα από το εθνικό γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς, διαγράμματα των ακτών. Στη συνέχεια, οι προβλεπόμενες ακτογραμμές συγκρίθηκαν με τις πραγματικές για το έτος 2009. Ανάλογα με την περίπτωση της κάθε ακτής και το ιστορικό μεταβολής της, παρατηρήθηκαν αρκετά τμήματα διατομών στα οποία η ακτογραμμή πρόβλεψης προσέγγιζε σημαντικά ή και ταυτιζόταν με την ιστορική ακτογραμμή του έτους 2009. Βέβαια, υπήρχαν τμήματα ακτών, συνήθως κοντά σε τεχνικά έργα ή σε σημεία ανθρώπινων παρεμβάσεων όπου παρατηρήθηκαν αποκλίσεις μεταξύ προβλέψεων του μοντέλου και της φυσικής πραγματικότητας. Ως γενικό συμπέρασμα από τη συγκεκριμένη σειρά εφαρμογών προέκυψε πως το μοντέλο, σε αρκετές περιπτώσεις παρήγαγε αξιόπιστα αποτελέσματα, προσεγγίζοντας τη δυναμική εξέλιξη έχοντας ως έτος πρόβλεψης το 2009.

Το βασικότερο κίνητρο για την προσαρμογή και χρησιμοποίηση του φίλτρου Kalman στην παρούσα διατριβή αλλά και γενικότερα στη διαδικασία μοντελοποίησης της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής εντοπίζεται στην αδυναμία των 10 στατιστικών μεθόδων να υπολογίζουν αξιόπιστους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής στο σύνολο των περιπτώσεων των ακτών της μελέτης. Όπως αναφέρθηκε, σε πολλές αναλύσεις εφαρμογών των 10 παράκτιων περιοχών της μελέτης, ο θόρυβος ήταν μεγαλύτερος του σήματος. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι προφανές πως οι υπολογιζόμενοι ρυθμοί δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για προβλέψεις των μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής και συνεπώς αδυνατούν να αποτελέσουν εργαλείο για περαιτέρω μελέτη της παράκτιας δυναμικής και το σχεδιασμό στρατηγικών προστασίας των παράκτιων περιοχών που απειλούνται από απώλειες γης και διάβρωση εδάφους. Η ανάγκη ύπαρξης ενός μοντέλου το οποίο θα προσέγγιζε ικανοποιητικά την πραγματική δυναμική της παράκτιας περιοχής και θα παρείχε αξιόπιστες προβλέψεις αποτέλεσε το κίνητρο ώστε να εισαχθεί η έννοια του φίλτρου Kalman στην ανάλυση, ως ένα μαθηματικό εργαλείο μέσω του οποίου θα υπολογίζονται ρυθμοί μεταβολής περισσότερο αξιόπιστοι και οι οποίοι θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία πρόβλεψης μελλοντικών θέσεων της ακτογραμμής και χάραξης στρατηγικών προστασίας των ακτών.

Τα βασικά πλεονεκτήματα τα οποία χαρακτηρίζουν το φίλτρο Kalman στη γενική του μορφή, εντοπίζονται και στην παρούσα διατριβή και επιβεβαιώνονται με βάση τη στατιστική ανάλυση και σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν στα κεφάλαια 4 και 5. Έτσι, με βάση τους ρυθμούς μεταβολής της ακτογραμμής οι οποίοι υπολογίζονται μέσω της χρήσης του φίλτρου Kalman (σε συνδυασμό με τη στατιστική μέθοδο OLS), προκύπτει ένα αξιόπιστο μοντέλο της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής για κάθε μία από τις 10 περιοχές της μελέτης [101]. Επίσης, με την εφαρμογή της μεθόδου Binning για κάθε μία από τις 10 περιοχές της διατριβής, υπολογίζονται επι μέρους ρυθμοί μεταβολής για υπό-περιοχές της κάθε παράκτιας περιοχής. Έτσι, ομαδοποιούνται υπό-περιοχές με παρόμοια στατιστική συμπεριφορά στην ίδια ακτή και εντοπίζονται τα σημεία αλλαγής της τάσης πρόσχωσης ή υποχώρησης. Με τη χρήση της μεθόδου Binning, εντοπίζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια η «συμπεριφορά» του κάθε παράκτιου συστήματος και έτσι, μπορεί να οργανωθεί και να σχεδιαστεί πιο αποτελεσματικά η στρατηγική προστασίας της ακτής, με προτεραιότητα προστασίας σε περιοχές της παράκτιας ζώνης μελέτης που παρουσιάζουν έντονη τρωτότητα.

Ο συνδυασμός των αξιόπιστων ρυθμών μεταβολής μέσω φίλτρου Kalman με τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η μέθοδος Binning, αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο μελέτης της παράκτιας δυναμικής. Για να αποδώσουν τα παραπάνω συνδυασμένα μοντέλα εκτίμησης της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής, ο εκάστοτε μελετητής θα πρέπει να συγκεντρώνει όλη τη δυνατή διαθέσιμη γεωπληροφορία για την παράκτια περιοχή μελέτης του. Στη χώρα μας, εκτός από τις διαθέσιμες αεροφωτογραφίες συγκεκριμένων χρονολογιών (μικρότερης κλίμακας οι παλαιότερες και μεγαλύτερης οι πιο πρόσφατες, από τις οποίες είναι δυνατόν να προκύψουν ορθοφωτογραφίες και ορθοφωτοχάρτες), χρήσιμες πηγές αποτελούν τα τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1:5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και οι ορθοφωτοχάρτες κλίμακας 1:5.000 του Υπουργείου Γεωργίας. Επίσης, ιδιαιτέρως ποιοτικά πρωτογενή δεδομένα (ψηφιοποιημένες ιστορικές ακτογραμμές) μπορούν να προκύψουν από τα υψηλής ακρίβειας Τοπογραφικά Διαγράμματα Καθορισμού των οριογραμμών Αιγιαλού και Παραλίας κλίμακας 1:500, των Κτηματικών Υπηρεσιών του Δημοσίου και από δορυφορικές εικόνες (είναι διαθέσιμες κυρίως μετά το έτος 2000) από τις οποίες είναι δυνατόν να προκύψουν ψηφιοποιημένες ακτογραμμές υψηλής ακρίβειας (λόγω υψηλής ανάλυσης των εικόνων) αυξάνοντας όμως σημαντικά το κόστος της μελέτης. Ακόμη, στο διαδίκτυο είναι πλέον διαθέσιμα ψηφιακά δεδομένα από διάφορους Κρατικούς και μη φορείς (όπως ορθοφωτοχάρτες για ολόκληρο τον ελλαδικό χώρο από την εταιρεία Κτηματολόγιο Α.Ε.) από τα οποία είναι δυνατόν να προκύψουν ενδεικτικά ψηφιοποιημένες ακτογραμμές (με γεωαναφορά σε ΕΓΣΑ '87). Χρησιμοποιώντας όλες τις παραπάνω πηγές, μπορούν να δημιουργηθούν βάσεις πρωτογενών δεδομένων με ικανοποιητικές ακρίβειες θέσεων σημείων στις ψηφιοποιημένες ιστορικές ακτογραμμές (ειδικά μετά το έτος 2000). Άλλωστε, η συλλογή και χρήση, στη στατιστική επεξεργασία, περισσότερων και ποιοτικότερων πρωτογενών δεδομένων, σημαίνει και καλύτερη προσέγγιση της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής από τα μοντέλα υπολογισμού ρυθμών μεταβολής.

Με βάση τα συμπεράσματα που προέκυψαν στην παρούσα διατριβή σε σχέση με τη μοντελοποίηση της παράκτιας δυναμικής, θα μπορούσαν να στηριχθούν θέματα μελλοντικής έρευνας και προτάσεις για καινούργιες ερευνητικές εργασίες. Οι ιδιαιτερότητες και τα προβλήματα που αντιμετωπίστηκαν στη συγκεκριμένη διατριβή, εξαιτίας της περιορισμένης γεωπληροφορίας στην Ελλάδα αλλά και των σημαντικών αβεβαιοτήτων που τη συνοδεύουν, αποτελούν θέματα για περαιτέρω διερεύνηση. Συγκεκριμένα, τέτοια ζητήματα θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν τα παρακάτω :

- Η αυτοματοποίηση, μέσω υπολογιστών, της συνολικής διαδικασίας μοντελοποίησης της δυναμικής εξέλιξης της εκάστοτε ακτογραμμής.
- Η βελτίωση και πύκνωση της διαθέσιμης γεωπληροφορίας.
- Η αυτόματη εξαγωγή της ακτογραμμής και η επαρκής γνώση της ακρίβειας εξαγωγής της σε συνδυασμό με την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων κατά τη διαδικασία της ψηφιοποίησης.
- Η αυτοματοποίηση όλων των επιμέρους διαδικασιών και η διαχείριση των πρωτογενών δεδομένων σε περιβάλλον GIS.
- Η αυτοματοποίηση της υπολογιστικής διαδικασίας των μοντέλων.

Με βάση τις παραπάνω προτάσεις μελλοντικής έρευνας, θα μπορούσαν να εξεταστούν εναλλάκτικές μέθοδοι και μοντέλα εκτίμησης της μετακίνησης της ακτογραμμής όπως είναι μοντέλα που στηρίζονται σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) ή ακόμη και νευρωνικά δίκτυα. Ειδικότερα, προβλήματα που προκύπτουν εξαιτίας της μη γραμμικής μεταβολής της ακτογραμμής με το πέρασμα των χρόνων, ενδέχεται να μπορούν να αντιμετωπιστούν με τη χρήση τεχνητών νευρωνικών δικτύων [27]. Τα δίκτυα αυτά αποτελούν ουσιαστικά «μοντέλα εκτίμησης» συνεχών διεργασιών και είναι σε θέση να αποθηκεύσουν, να αναγνωρίσουν και να συνδυάσουν πληροφορίες από μεγάλες βάσεις δεδομένων, έτσι ώστε να λύσουν πολύπλοκα ζητήματα [47]. Άλλωστε, είναι γενικά αποδεκτό πως τα νευρωνικά δίκτυα αποτελούν ένα εργαλείο μοντελοποίησης μιας ποικιλίας μη γραμμικών διαχωρίσιμων προβλημάτων [27]. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να θεωρηθούν ως ένα μαθηματικό μοντέλο που αποτελείται από πολλαπλά μη γραμμικά στοιχεία, τους νευρώνες [63], [83]. Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των νευρωνικών δικτύων αποδίδεται στην ικανότητά τους να γενικεύουν τη γνώση που αποκτούν και να εξάγουν χαρακτηριστικά του διανυσματικού χώρου. Επομένως, τα νευρωνικά δίκτυα γενικεύουν διανύσματα για τα οποία δεν έχουν εκπαιδευτεί προτύπο [22].

Καταλήγοντας, η απουσία ενός ενιαίου χωροταξικού σχεδιασμού για ολόκληρη τη χώρα, η άναρχη οικιστική ανάπτυξη όπως επίσης και το μη ξεκάθαρο ιδιοκτησιακό καθεστώς που επικρατεί έχει σαν αποτέλεσμα τη συστηματική υποβάθμιση των ελληνικών παράκτιων περιοχών τα τελευταία χρόνια. Η συμπίεση-συσσώρευση χρήσεων γης, δραστηριοτήτων και πληθυσμών σε εκτάσεις πολύ κοντά στην ακτογραμμή οι οποίες θα κινδυνεύουν άμεσα στο μέλλον από κατακλυσμό και διάβρωση του εδάφους κρίνεται σημαντική. Παρόλο που αναλογούν σοβαρές ευθύνες στο κράτος, υπάρχουν και ελαφρυντικά όσον αφορά την πολιτική που ακολουθήθηκε. Η έκταση και η σοβαρότητα των κλιματικών αλλαγών μελετήθηκαν σε παγκόσμιο επίπεδο μόλις τα τελευταία είκοσι περίπου χρόνια. Σε μια χώρα όπως η Ελλάδα, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμένους διαθέσιμους πόρους έρευνας και μελέτης των ακτών, θα ήταν ιδιαίτερα δύσκολο τα προηγούμενα χρόνια να υπολογιστεί το εύρος των κλιματικών αλλαγών και το πώς επηρεάζουν ακριβώς την ακτογραμμή της. Έτσι, χωρίς την ύπαρξη των διαθέσιμων σεναρίων πρόβλεψης για την υποχώρηση των ακτογραμμών και οριογραμμών αιγιαλού και παραλίας, δεν ήταν δυνατός και ο σχεδιασμός μιας στρατηγικής προστασίας των ελληνικών παράκτιων περιοχών.

Από τη στιγμή που πλέον μπορούν να υπάρχουν αξιόπιστες προβλέψεις για τη μετακίνηση της ακτογραμμής για τις ελληνικές ακτές, θα είναι δυνατόν να διαμορφωθεί μια ενιαία στρατηγική προστασίας των ακτών και στη χώρα μας. Μάλιστα, κάτι τέτοιο κρίνεται επείγον καθώς οι κλιματικές αλλαγές χαρακτηρίζονται πλέον επιταχυνόμενες και μελλοντικά όλο και περισσότερα εδάφη θα χάνονται στις παράκτιες περιοχές. Κατά τη διαδικασία χάραξης στρατηγικής και πολιτικών προστασίας για τις παράκτιες ζώνες της χώρας, θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη τα οικονομικά μεγέθη και οι δυνατότητες της ελληνικής οικονομίας. Έτσι, λόγω των περιορισμένων πόρων αλλά και της ιδιομορφίας των ελληνικών παράκτιων κοινωνιών θα πρέπει να επιλεγούν ήπιες μορφές και στρατηγικές προστασίας που θα σέβονται τις λεπτές φυσικές αλλά και κοινωνικές ισορροπίες και συγχρόνως, θα είναι ικανές να προστατέψουν την ανθρώπινη ζωή και περιουσία.

Βιώσιμη λύση σε όλα αυτά μπορεί να δώσει η στρατηγική οπισθοχώρηση, όπου αυτή μπορεί να εφαρμοστεί, χωρίς να επιβαρύνει ιδιαίτερα τις τοπικές οικονομίες και τα φυσικά οικοσυστήματα [99]. Η συγκεκριμένη μέθοδος προστασίας, που

ουσιαστικά είναι σχετικά απλή στη φιλοσοφία και την εφαρμογή της, θα μπορούσε να βοηθήσει στο να δημιουργηθούν ζώνες ελεύθερων εδαφών στην παράκτια ζώνη ώστε η εκδήλωση των φυσικών φαινομένων της κλιματικής αλλαγής να γίνεται ανεμπόδιστα. Η στρατηγική οπισθοχώρηση θα μπορεί να αποδώσει σαν μέθοδος προστασίας των ακτών, μόνο αν ενταχθεί σε ένα γενικότερο πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού των παράκτιων περιοχών της χώρας μας και υποστηριχθεί από ένα ισχυρό νομικό πλαίσιο. Βέβαια, όπως ήδη αναφέρθηκε, βασική προϋπόθεση-συνθήκη για να είναι δυνατή η εφαρμογή οποιασδήποτε στρατηγικής προστασίας και διαχείρισης των ελληνικών ακτών, συμπεριλαμβανομένης και της στρατηγικής οπισθοχώρησης είναι αρχικά, να μοντελοποιηθεί η δυναμική εξέλιξη του κάθε παράκτιου συστήματος, μέσω του υπολογισμού αξιόπιστων ρυθμών μεταβολής. Σε αυτήν την κατεύθυνση είναι ικανό να βοηθήσει το μοντέλο δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής που προτάθηκε στην παρούσα διατριβή, με τη χρήση του φίλτρου Kalman. Όλα τα παραπάνω προϋποθέτουν τη χάραξη μιας ενιαίας πολιτικής βιώσιμης ανάπτυξης για ολόκληρη τη χώρα, η οποία θα δίνει έμφαση στην αξιοποίηση των πλουτοπαραγωγικών δυνάμεων, χωρίς όμως φαινόμενα ανεξέλεγκτης ανάπτυξης και με σεβασμό στο περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Α. ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνίου Π., «Άνοδος της στάθμης της θάλασσας ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής : εφαρμογή στην ελληνική παράκτια ζώνη», Διπλωματική εργασία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2001.
2. Βέης Γ., Μπιλλήρης Χ. και Παπαζήση Κ., Σημειώσεις μαθήματος «Ανώτερη Γεωδαισία», Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1995.
3. Γιαννακόπουλος Λ., Κούβελου Α. και Μολυβιάς Χ., «Υπολογισμός του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής στην περιοχή της Κατερίνης Πιερίας», Θέμα μαθήματος 8^{ου} εξαμήνου, Υδρογραφία – Ωκεανογραφία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2005.
4. Δεληκαράογλου Δ., Μασσίνας Β. (Ασκήσεις), «Φίλτρα Kalman, με έμφαση στη σχέση τους με τη μέθοδο των Ελάχιστων Τετραγώνων», Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., 2007.
5. Δουκάκης Ε., Ωκεανογραφία, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1998.
6. Δουκάκης Ε., Ο δυναμικός χαρακτήρας του αιγιαλού και της παραλίας, Πανελλήνιο Συνέδριο «Διαχείριση και Βελτίωση Παρακτίων Ζωνών», Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1999.
7. Δουκάκης Ε., «Το φίλτρο Kalman στον υδρογραφικό εντοπισμό», 2^ο Πανελλήνιο Συμπόσιο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, σ.189-198, Αθήνα, Μάιος 1987.
8. Δουκάκης Ε., Σ.Α.Τ.Μ./ Ε.Μ.Π., Βασίλειος Σιαφάκας, Υπ. Διδάκτωρ Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., «Παράκτια επικινδυνότητα και Γεωεπιστήμες», Αθήνα, 2006.
9. Δουκάκης Ε., Σ.Α.Τ.Μ./ Ε.Μ.Π., Πετρέλης Νικόλαος, Υπ. Διδάκτωρ Σ.Α.Τ.Μ./ Ε.Μ.Π., «Οριοθέτηση και διαχείριση της παράκτιας ζώνης», Αθήνα, 2006.
10. Κανελλάκης Α., «Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στις παράκτιες περιοχές της πεδιάδας της Θεσσαλονίκης», Διπλωματική εργασία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2004.
11. Κόρακα Ι., «Επιπτώσεις της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας στο Δέλτα του Νέστου», Διπλωματική εργασία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2004.
12. Κοσμάς Χ. και Μάνδικα Κ., «Μελέτη του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής», Θέμα μαθήματος 8^{ου} εξαμήνου, Υδρογραφία – Ωκεανογραφία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2005.

13. Λάμπρου Δ., «Ο Καθορισμός του Αιγιαλού και της Παραλίας Προϋπόθεση για Αναπτυξιακές Παρεμβάσεις στην Παράκτια Ζώνη», Τμήμα Αιγιαλού και Παραλίας Διεύθυνσης Δημοσίας Περιουσίας Υπουργείου Οικονομικών, Αθήνα, 1990.
14. Λεοντάρης Σ., Εισαγωγή στην Ωκεανογραφία. Συμμετρία. Αθήνα, 1995.
15. Μαντόγλου Α., Διαχείριση Παράκτιων Ζωνών. Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2001.
16. Μηνά Α. και Πολυκρέτη Σ., «Εκτίμηση παραλιακών επιπτώσεων από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας με χρήση τοπογραφικών διαγραμμάτων αιγιαλού – παραλίας και αεροφωτογραφιών» Θέμα μαθήματος 8^{ου} εξαμήνου, Θαλάσσια Γεωδαισία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2003.
17. Μουντράκης Δ., Γεωλογία της Ελλάδας. University Studio Press. Θεσσαλονίκη, 1985.
18. Νίνου Ε. «Προσδιορισμός του ετήσιου ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής στην περιοχή Κατερίνης στο νομό Πιερίας», Θέμα μαθήματος 8^{ου} εξαμήνου, Υδρογραφία – Ωκεανογραφία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2005.
19. Ξεζωνάκη Σ., «Μελέτη του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής», Θέμα μαθήματος 8^{ου} εξαμήνου, Υδρογραφία – Ωκεανογραφία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2005.
20. Παπαδοπούλου Γ., «Επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών στον αιγιαλό και την παραλία», Διπλωματική εργασία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, Ιούλιος 2003.
21. Περυσινάκη Μ., Ρηγόπουλος Γ. και Τσιάμη Α., «Μελέτη του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής», Θέμα μαθήματος 8^{ου} εξαμήνου, Υδρογραφία – Ωκεανογραφία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2005.
22. Ρίζος Γ., Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα, Εκδόσεις Νέων Τεχνολογιών, 1996.
23. Ρόκος Δ., «Αρχές – Στόχοι – Μέτρα για την Προστασία και Διαχείριση των Ελληνικών Ακτών». Εργαστήριο Κτηματολογίου και Αναδασμού, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη, 1982.
24. Σοφοκλέους Ε. και Ταλαντίνη Μ., «Μελέτη του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής», Θέμα μαθήματος 8^{ου} εξαμήνου, Υδρογραφία – Ωκεανογραφία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2005.
25. Τασιοπούλου Θ. και Αναργύρου Θ., «Το φαινόμενο του θερμοκηπίου και οι πιθανές επιπτώσεις του στην Ελλάδα», Διπλωματική εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων - Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1991.
26. Τελειώνη Β., «Μελέτη εξέλιξης εδαφικών καθιζήσεων με κινηματικά μοντέλα», Διδακτορική Διατριβή, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα 2003.

27. Τοπουζέλης Κ., «Συμβολή στη διερεύνηση των δυνατοτήτων των απεικονίσεων ραντάρ συνθετικού ανοίγματος στην αναγνώριση και εντοπισμό πετρελαιοκηλίδων στην επιφάνεια της θάλασσας», Διδακτορική διατριβή, Αθήνα 2007.
28. Τσακίρη Α., «Μελέτη και αυτοματοποίηση των μεθόδων υπολογισμού της παράκτιας εξέλιξης», Διπλωματική εργασία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα 2007.
29. Φυτρολάκης Ν., Γενική Γεωλογία, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1990.
30. Χαρβαλιάς Ι. και Δημητριάδη Α. «Μελέτη του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής», Θέμα μαθήματος 8^ο εξαμήνου, Υδρογραφία – Ωκεανογραφία, Τομέας Τοπογραφίας, Σ.Α.Τ.Μ./Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2005.

B. ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

31. Bertsekas D. P., "Incremental least squares methods and the extended Kalman filter", *SIAM Journal on Optimization*, Society for Industrial and Applied Mathematics, January 1995.
32. Chen, Changsheng; Malanotte-Rizzoli, Paola; Wei, Jun; Beardsley, Robert C.; Lai, Zhigang; Xue, Pengfei; Lyu, Snagjun; Xu, Qichun; Qi, Jianhua; Cowles, Geoffrey W., "Application and comparison of Kalman filters for coastal ocean problems : an experiment with FVCOM", *Journal of Geophysical Research*, VOL.114, C05011, 17PP, 2009.
33. Crowell, M.; Douglas, B.C., and Leatherman, S.P., On forecasting future U.S. shoreline positions: a test of algorithms. *Journal of Coastal Research*, 13(4), 1245–1255, 1997.
34. Crowell, M.; Honeycutt, M., and Hatheway, D., Coastal erosion hazards study: phase one mapping. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 28, pp. 10–20, 1999.
35. Crowell, M., Leatherman, S.P., and Buckley, M.K., "Historical Shoreline Change : Error Analysis and Mapping Accuracy", *Journal of Coastal Research*, 7(3), 839–852, Fort Lauderdale, Florida, 1991.
36. Crowell, M., Leatherman, S.P., and Buckley, M.K., "Shoreline change rate analysis : Long term versus short term data", *Shore and Beach* (61)2 : 13-20, 1993.
37. Dean, R.G, Dalrymple R.A., *Coastal processes with engineering applications*, Cambridge University Press, 475 pp, 2002.
38. Dolan, R.; Fenster, M.S., and Holme, S.J., Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7(3), 723–744, 1991.

39. Douglas, B.C.; Crowell, M., and Leatherman, S. P., Considerations for shoreline position prediction. *Journal of Coastal Research*, 14(3), 1025–1033, 1998.
40. Doukakis E.; Petrelis N., "Climatic, anthropogenic and geophysical impact assessments on the coastal zone of Corinth Gulf", CADSEALAND program meeting, Ancona, Italy, November 2006.
41. Doukakis E., "Towards A National Adaptation Strategy In View Of Climate Changes", 7^o Πανελλήνιο Συνέδριο Ωκεανογραφίας και Αλιείας, Χερσόνησος, Κρήτη, 6-9/5/2003.
42. Doukakis E., "The Dilemma of the Illegibility of State Visions: The Greek Coastal Legislation", May 2004.
43. Doukakis E. 'Coastal Vulnerability and Risk Parameters', International Symposium on Water Resources Management: Risk and Challenges for the 21st Century, Izmir, Turkey, 2-4, September, 2004.
44. EEA Report n^o 6, Impacts of Europe's changing climate, 2004.
45. Fenster, M.S.; Dolan, R., and Elder, J.F., A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*, 9(1), 147–171, 1993.
46. Fenster, M.S.; Dolan, R., and Morton, R.A., Coastal storms and shoreline change: signal or noise? *Journal of Coastal Research*, 17(3), 714–720, 2001.
47. Ferentinou M.D. and Sakellariou M.G., "Computational intelligence tools for the prediction of slope performance", *Computers and Geotechnics*, 34, 362–384, 2007.
48. Fletcher, C.H.; Rooney, J.J.B.; Barbee, M.; LIM, S.-C., and RICHMOND, B.M., Mapping shoreline change using digital orthophotogrammetry on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 38, pp. 106–124, 2003.
49. Foster E.R. and Savage, R.J., "Methods of historical shoreline analysis", ASCE publications, pp. 4434-4448, 1989.
50. Foster, E.R. and Savage, R.J., "Historical shoreline change in southeast Florida", ASCE publications, pp. 4406-4419, 1989.
51. Gaki-Papanastasiou K., Maroukian H., Pavlopoulos K. & Zamani A., "The implications of the expected sea level rise on the low lying areas of continental Greece in the next century", International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Proceedings. Athens, 23-27 June. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 1997.
52. Galgano, F.A. and Douglas, B.C., Shoreline position prediction: methods and errors. *Environmental Geosciences*, 7(1), 23–31, 2000.

53. Galgano, F.A.; Douglas, B.C. and Leatherman, S.P., Trends and variability of shoreline position. *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 26, pp. 282–291, 1998.
54. Genz A., Fletcher C.H., Dunn R.A., Frazer L. N. and Rooney J.J., "The predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii, Department of Geology and Geophysics, School of Ocean and Earth, Science and Technology, University of Hawaii, *Journal of Coastal Research*, Article: pp. 87–105, 2006.
55. Graybill, F.A. and Iyer, H.K., *Regression Analysis: Concepts and Applications*. Belmont, California: Duxbury Press, 701p, 1994.
56. Holmes, A. *Principles of Physical Geology*, pp. 782 – 839. Nelson. Gr. Britain, 1965.
57. Honeycutt, M.G.; Crowell, M., and Douglas, B.C., Shoreline- position forecasting: impact of storms, rate-calculation methodologies, and temporal scales. *Journal of Coastal Research*, 17(3), 721–730, 2001.
58. IPCC, 1996a ., *Climate Change and the Mediterranean Regions*.
59. IPCC, *Climate Change 2007, Synthesis Report*, "The 4th Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change", November 2007.
60. IPCC, *Climate Change 2010, Draft Report of the 32ND session of the IPCC*, "The 5th Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change", October 2010.
61. Jun Wei, Paola Malanotte-Rizzoli, Validation and application of an ensemble Kalman filter in the Selat Pauh of Singapore, *Ocean Dynamics* 60:395-401, December 2010.
62. Kalman R.E., "A new approach to linear filtering and prediction problems", Research Institute for Advanced Study, Baltimore Md, *Journal of Basic Engineering*, 82 (Series D): 35-45, 1960.
63. Kanellopoulos I. and Wilkinson G., "Strategies and best practice for neural network image classification", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 18, no.4, pp. 711-725, 1997.
64. Karas J., "Climate change and the Mediterranean region", Report prepared for Greenpeace. Amsterdam: Greenpeace, 1997.
65. Kleinbaum, D.G.; Kupper, L.L.; Muller, K.E., and Nizam, A., *Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods*, 3rd edition. Pacific Grove, California: Duxbury Press, 798p, 1998.
66. Krakiwsky E. J, "The method of least squares : A synthesis of advances", Lectures notes, Department of Geomatics Engineering, The university of Calgary, Calgary Alberta, August, 1990.

67. Maroukian, H. "Implications of sea level rise for Greece", Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change from the Miami Conference on Adaptive Responses to sea level rise and other impacts of Global Climate Change, pp. 161 – 181. Miami, 1990.
68. Morang A.Ph.D. and Parson L.E., Coastal Morphodynamics, Geotechnical and Materials Branch, Engineering Division, Directorate of Civil Works, U.S. Army Corps of Engineers, January 1995.
69. Morton, R., "Analysis of sequential shoreline changes", in Tanner, W. F., editor, Standards for measuring shoreline changes: Florida State University, Tallahassee, Coastal Research and the Department of Geology, p. 43-48., 1978.
70. National Observatory of Athens, Report: Climatic Changes in Mediterranean, Institute of Environmental Research and Sustainable Development, June 2001.
71. Pethick, J. An Introduction to Coastal Geomorphology, pp. 1 – 5, 211 –217, 233 – 237. Edward Arnold. London, 1984.
72. Rousseeuw, P.J. and Leroy, A.M., Robust Regression and Outlier Detection. New York: John Wiley and Sons, Inc., 329p, 1987.
73. Seber, G.A.F. and Lee, A.J. Linear Regression Analysis, 2nd edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 557p, 2003.
74. Shelton, J. S. Geology illustrated pp. 178 – 180. Freeman and co. San Francisco, 1966.
75. Simon Dan, Kalman Filtering, web page, Innovatia Software, 2001.
76. Tarantola, A., Inverse Problem Theory Methods for Data Fitting and Model Parameter Estimation. New York: Elsevier, 613p, 1987.
77. Titus J., "Greenhouse effect and Sea Level Rise", and barrier islands: Case study of Long Beach Island, New Jersey. *Coastal Management*. 18:65-90, (1985, 1990).
78. UNEP., Climatic Change and the Mediterranean, Edward Arnold London, World Resources 1991-92, Oxford University Press, New York and London, 1992.
79. University of Wisconsin, Board of Regents., "Global warming and Sea Levels" (web page), 1999.
80. Welch G., Bishop G., "An introduction to the Kalman Filter", SIGGRAPH 2001, Course 8, University of North Carolina at Chapel Hill, Department of Computer Science, NC 27599-3175, 2001.
81. William Y.Y. Cheng and W. James Steenburgh, "A Kalman Filter Approach to Correcting Surface Forecast Bias", The COMET Project, Department of

Meteorology and NOAA Cooperative, Institute for Regional Prediction, University of Utah, Salt Lake City, UT, 2005.

82. Zhang, K.; Douglas, B., and Leatherman, S., Do storms cause long-term beach erosion along the U.S. East Barrier Coast? *Journal of Geology*, 110(4), 493–502, 2002.
83. Ziemke T., 1996, "Radar image segmentation using recurrent artificial neural networks", *Pattern Recognition Letters*, vol. 4, pp. 319-334.

Δ. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΕΥΘΥΝΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ

84. www.ipcc.ch/
85. www.innovatia.com/software/papers/kalman.htm
86. http://en.wikipedia.org/wiki/Kalman_filter
87. <http://chl.ercd.usace.army.mil/coastalstructures>
88. <http://images.google.gr/images?um=1&hl=el&q=climate+change+diagrams>
89. <http://whyfiles.org/091beach/images/erosiondia1.gif>
90. <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/>
91. <http://images.google.gr/images?um=1&hl=el&q=axeloos>
92. <http://images.google.gr/images?um=1&hl=el&q=greek+islands>
93. <http://www.greeklandscapes.com/maps/satellite.html>
94. www.colthorp.com/maps-northerngreece.jpg
95. www.lib.utexas.edu/.../greece_land_1973.jpg
96. http://www.geo.uw.edu.pl/HOBBY/POSTCARD/map_greece.htm
97. <http://images.google.gr/images?um=1&hl=el&q=Greece+seismic+Photos>
98. <http://www.accessmylibrary.com/article-1G1-159328801/predictive-accuracy-shoreline-change.html>

Ε. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΙΑΣΕΙΣ ΑΡΘΡΩΝ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΑ

99. Δουκάκης Ε., Σ.Α.Τ.Μ./ Ε.Μ.Π., Πετρέλης Νικόλαος, Υπ. Διδάκτωρ Σ.Α.Τ.Μ./ Ε.Μ.Π., «Οριοθέτηση και διαχείριση της παράκτιας ζώνης», Αθήνα, 2006.
100. Doukakis E.; Petrelis N., "Climatic, anthropogenic and geophysical impact assessments on the coastal zone of Corinth Gulf", CADSEALAND program meeting, Ancona, Italy, November 2006.

101. Doukakis E.; Petrelis N., "Recursive Filter for Coastal Displacement Estimation", International Conference of World Academy of Science and Technology, Venice, Italy, November 2011.

Z. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ – ΧΑΡΤΕΣ

102. Τοπογραφικοί χάρτες της Ελλάδας, κλίμακα 1:50.000, Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.).
103. Σεισμοτεκτονικοί (με σεισμογεωλογικά στοιχεία) και γεωτεχνικοί χάρτες, χρονολογίες έκδοσης 1989 & 1993 αντίστοιχα, κλίμακα 1:500.000, Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (Ι.Γ.Μ.Ε.).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ MATLAB

Αυτοματοποίηση της υπολογιστικής διαδικασίας.

Το προσαρμοσμένο φίλτρο Kalman σε περιβάλλον MATLAB.

Κατά τη διαδικασία μελέτης της παράκτιας εξέλιξης μιας περιοχής, είναι απαραίτητη, όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μελέτη/υπολογισμός του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής. Για τη μελέτη του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής της κάθε παράκτιας περιοχής, ο εκάστοτε ερευνητής είναι σε θέση να χρησιμοποιήσει αρκετές στατιστικές και μη, μεθόδους, έτσι ώστε με βάση τα διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα αλλά και τα αναμενόμενα αποτελέσματα, να επιλέξει ποια μέθοδος είναι η πλέον κατάλληλη για την κάθε περίπτωση ακτής. Οι απλές στατιστικές μέθοδοι (EPR, AOR και AER) δεν απαιτούν πολύπλοκους μαθηματικούς υπολογισμούς, αλλά οι υπόλοιπες (OLS, JK, WLS, RWLS, LAD, WLAD κλπ) απαιτούν, αν όχι πολύπλοκους, τουλάχιστον χρονοβόρους υπολογισμούς και διαδικασίες [28]. Έτσι, για να είναι δυνατόν ο ερευνητής να επιλέγει τη μέθοδο με τα βέλτιστα αποτελέσματα (αφού έχει δοκιμάσει την αξιοπιστία και αποτελεσματικότητα όλων των υπόλοιπων διαθέσιμων μεθόδων), κρίνεται απαραίτητο να αυτοματοποιηθεί η όλη υπολογιστική διαδικασία σε ψηφιακό περιβάλλον MATLAB. Μέσω της συγκεκριμένης γλώσσας προγραμματισμού, παρέχεται η δυνατότητα να υπολογίζεται ο ρυθμός μεταβολής της ακτογραμμής με διαφορετικές μεθόδους (συμπεριλαμβάνοντας και το προσαρμοσμένο φίλτρο Kalman) και να εφαρμόζεται η μέθοδος ομαδοποίησης Binning, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο εκτέλεσης της συνολικής διαδικασίας.

Άλλωστε, με βάση τη θεωρητική ανάλυση των 10 στατιστικών μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, του φίλτρου Kalman αλλά και της μεθόδου Binning, η οποία προηγήθηκε στο κεφάλαιο 3, καθίσταται σαφές πως ο μεγάλος όγκος της υπολογιστικής διαδικασίας για όλες τις περιοχές μελέτης θα μπορούσε να αντιμετωπιστεί αποκλειστικά μέσω ενός αυτοματοποιημένου μαθηματικού εργαλείου, σε ψηφιακό περιβάλλον. Για αυτό ακριβώς το σκοπό επιλέχθηκε και χρησιμοποιήθηκε το περιβάλλον MATLAB, όπου οι θεωρητικές ρουτίνες των 10 στατιστικών μεθόδων, του φίλτρου Kalman αλλά και της μεθόδου ομαδοποίησης Binning, γράφτηκαν στην ανάλογη γλώσσα προγραμματισμού έτσι ώστε να είναι δυνατόν να εκτελεστούν πλήθος εφαρμογών και δοκιμών για όλες τις παράκτιες περιοχές μελέτης στον ελλαδικό χώρο. Ο προγραμματισμός σε περιβάλλον MATLAB μας έδωσε τη δυνατότητα να απλοποιήσουμε σημαντικά την υπολογιστική διαδικασία, μείωσε το χρόνο εκτέλεσης των εφαρμογών και δοκιμών και αύξησε την ακρίβεια και αξιοπιστία των παραγόμενων αποτελεσμάτων. Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα κατά τη διαδικασία μεταφοράς/συγγραφής των μαθηματικών ρουτινών των διαφόρων μεθόδων και του φίλτρου Kalman σε «γλώσσα» MATLAB, χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό manual του ίδιου του προγράμματος.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι ρουτίνες υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής για τις 10 στατιστικές μεθόδους και για το προσαρμοσμένο φίλτρο Kalman, σε περιβάλλον MATLAB :

- Το προσαρμοσμένο φίλτρο Kalman σε περιβάλλον MATLAB :

```

function [results]= kalman(data,year,diatoms,H,rythme,prediction,e)
endiameso= [data(:,1) data(:,size(year,2):(2*size(year,2)-3))];

for i=1:(size(year,2))
    dx(i)=year(1,i)-year(1,1);
end
dx=dx';
dx=[dx;(prediction-year(1))];
for i=1:diatoms
    hehe=[0.72;endiameso(i,:)'];
    data_kalman=[year' hehe e'];
    data_kalman=[data_kalman;[prediction NaN NaN]];
%
%   for i=1:(size(data_kalman,1))
%       dx(i)=data_kalman(i,1)-data_kalman(1,1);
%   end
%   dx=dx'

A(1)=rythme*dx(2,1)/data_kalman(1,2);
Sxk_(1)=A(1)*(data_kalman(1,3))^2*A(1)';
K(1)=Sxk_(1)/(Sxk_(1)+(data_kalman(1,3))^2)^(-1);
Sxk(1)=(1-K(1))*Sxk_(1);
x_(1)=A(1)*data_kalman(1,2);
x(1)=x_(1)+K(1)*(data_kalman(2,2)-x_(1));

for i=2:(size(data_kalman,1)-1)
    A(i)=rythme*dx(i+1,1)/x(i-1);
    Sxk_(i)=A(i)*Sxk_(i-1)*A(i)';
    K(i)=Sxk_(i)/(Sxk_(i)+(data_kalman(i,3))^2)^(-1);
    Sxk(i)=(1-K(i))*Sxk_(i);
    x_(i)=A(i)*x(i-1);
    x(i)=x_(i)+K(i)*(data_kalman(i+1,2)-x_(i));
end
results = [ A' Sxk_ ' K' Sxk' x_ ' x'];
format short
disp('  A   Sχκ_   Kκ   Sχκ   χκ_   χκ ')
disp('_____')
disp(results)

dlmwrite('results.txt', results )

end

```

- Ενδεικτικά, παρουσιάζεται και η θεωρητική δομή της μεθόδου των OLS σε περιβάλλον MATLAB [28] :

```
function [lrpart,lr,lr_unc]= ols(data,year,diatomes)
years=length(year);
for i=1:(years-1)
    x(i,1)=year(i+1)-year(1);
end
X=[ones(size(x)) x];

for line=1:diatomes
    y=[data(line,1) data(line,years:(2*years-3))];
    for i=1:(years-1)
        part1(i,1)=x(i,1)*y(i,1);
        part2(i,1)=x(i,1)^2;
    end
    lrpart(line,1)= (years*sum(part1)-sum(x)*sum(y))/(years*sum(part2)-(sum(x))^2);
    lrpart_unc(line)=sqrt(years/((years*(sum(x))^2)-(sum(x))^2));
end

lr=mean(lrpart);
lr_unc=1/diatomes*sqrt(sum(lrpart_unc.^2));
```

Η συγκεκριμένη μέθοδος επιλέχθηκε να παρουσιαστεί επίσης σε περιβάλλον MATLAB καθώς η μέθοδος των Ελαχίστων τετραγώνων είναι αυτή που χρησιμοποιείται ως η βέλτιστη επιλογή (σε σχέση με τις υπόλοιπες 10 στατιστικές μεθόδους) και ως ενδιάμεση «ρουτίνα» στα πλαίσια της συνολικής υπολογιστικής διαδικασίας του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman, στην παρούσα διατριβή.

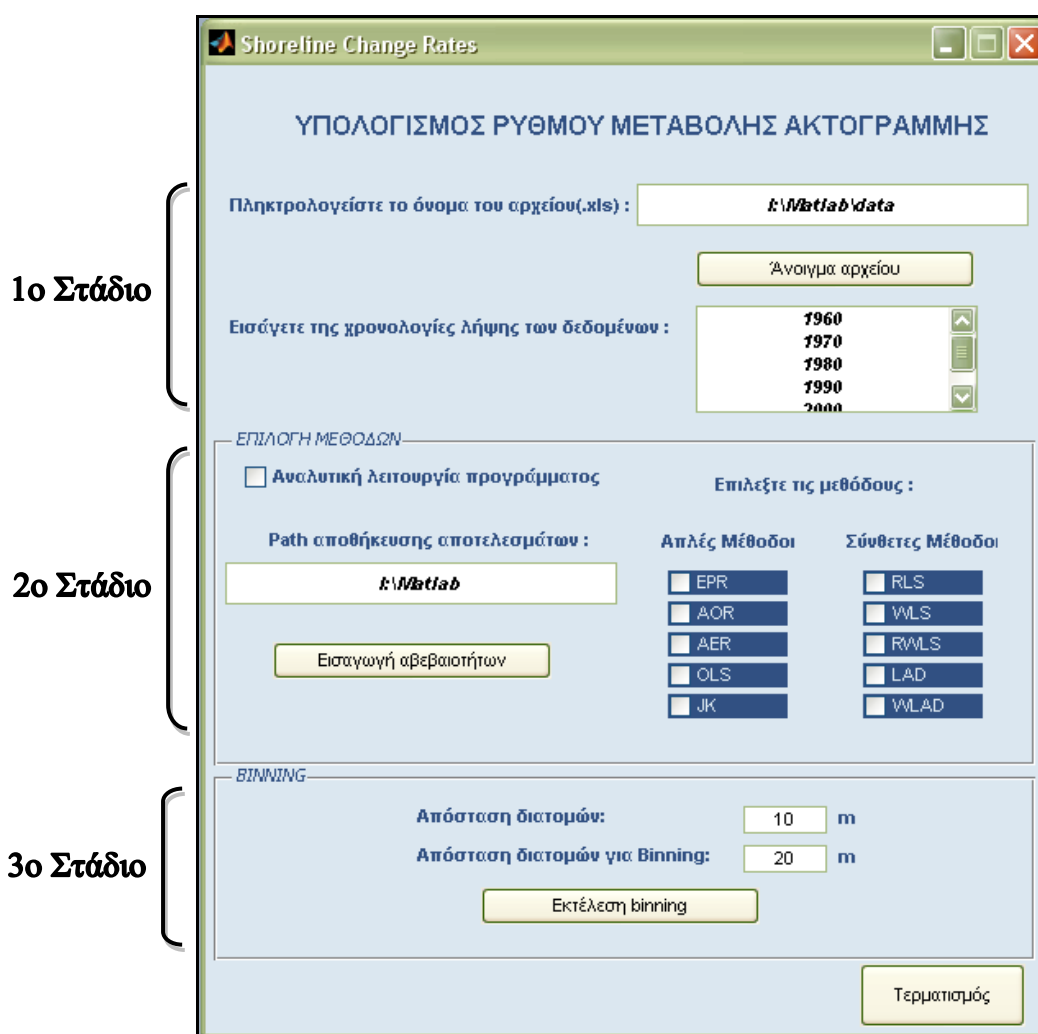
Το πρόγραμμα Shev.

Οι παραπάνω ρουτίνες (όπως επίσης και οι ρουτίνες προγραμματισμού για τις υπόλοιπες 9 στατιστικές μεθόδους και τη μέθοδο ομαδοποίησης Binning) σε συνδυασμό με το πρόγραμμα Shev [28] σε περιβάλλον MATLAB, παρείχαν τη δυνατότητα να υπολογιστεί ένας σημαντικός αριθμός ρυθμών μεταβολής της ακτογραμμής για τις περιοχές μελέτης, απλοποιώντας και επιταχύνοντας συνολικά την υπολογιστική διαδικασία. Το πρόγραμμα Shev (σε περιβάλλον MATLAB) δημιουργήθηκε έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα σε κάθε χρήστη να υπολογίσει τον ρυθμό μεταβολής μιας ακτογραμμής με διαφορετικές μεθόδους, εφαρμόζοντας παράλληλα και τη μέθοδο ομαδοποίησης Binning, έτσι ώστε να διαπιστωθεί εάν μια ακτογραμμή μεταβάλλεται με τον ίδιο τρόπο [28]. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα «επικοινωνεί» απευθείας με το πρόγραμμα Microsoft Excel από τη στιγμή που θα του δοθεί από το χρήστη το συγκεκριμένο όνομα του αρχείου Excel στο οποίο περιέχονται τα πρωτογενή δεδομένα για την εκάστοτε παράκτια περιοχή μελέτης (αποστάσεις των ιστορικών ακτογραμμών σε σχέση με μια αρχική ακτογραμμή/αφετηρία, οι οποίες είναι μετρημένες κατά μήκος των διατομών που έχουν σχεδιαστεί κάθετα στην ακτογραμμή αναφοράς). Αφού εισαχθούν τα πρωτογενή δεδομένα, το πρόγραμμα Shev [28] παρέχει τις πρόσθετες επιλογές στο χρήστη έτσι ώστε να καθορίσει τον αριθμό και το είδος των ιστορικών ακτογραμμών που θα χρησιμοποιηθούν και τα επίπεδα των αντίστοιχων αβεβαιοτήτων θέσης για

την κάθε ακτογραμμή [28]. Στο τελικό στάδιο, ο χρήστης του προγράμματος αφού καθορίσει όλες τις αρχικές παραμέτρους της μελέτης, μπορεί να επιλέξει να εκτελέσει οποιοσδήποτε από τις 10 στατιστικές μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής (ή ακόμη και τις 10). Παράλληλα, ορίζοντας την απόσταση μεταξύ των διατομών αλλά και το μέγεθος του κάθε «παραθύρου» ομαδοποίησης, ο χρήστης μπορεί να εκτελέσει και τη μέθοδο Binning, εντοπίζοντας έτσι υπό-περιοχές στην ακτογραμμή μελέτης με διαφορετική συμπεριφορά και δυναμική [28].

Με βάση τους υπολογιζόμενους ρυθμούς μεταβολής που υπολογίστηκαν από το πρόγραμμα Shev αλλά και τα αποτελέσματα εκτέλεσης της μεθόδου Binning, έγινε δυνατή και η μελέτη της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής στις 10 παράκτιες περιοχές της παρούσας διατριβής.

Το αρχικό παράθυρο του προγράμματος Shev (σε περιβάλλον MATLAB) όσον αφορά την εφαρμογή των 10 στατιστικών και μη μεθόδων, παρουσιάζεται παρακάτω [28]:



Εικόνα 50 : Το αρχικό παράθυρο του προγράμματος Shev και τα τρία βασικά στάδια της διαδικασίας υπολογισμού ρυθμών μεταβολής [28].

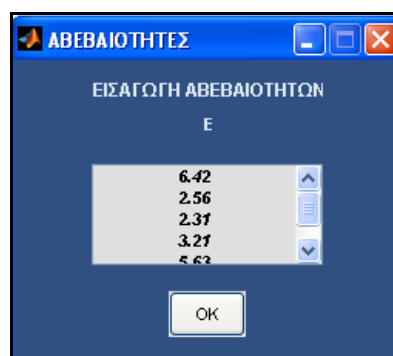
Στο πρώτο στάδιο της διαδικασίας το συγκεκριμένο πρόγραμμα «επικοινωνεί» απευθείας με το πρόγραμμα Microsoft Excel. Ο χρήστης εισάγει το κατάλληλο όνομα του αρχείου Excel στο οποίο περιέχονται τα πρωτογενή δεδομένα για την εκάστοτε παράκτια περιοχή μελέτης και στη συνέχεια επιλέγει το πεδίο «Άνοιγμα Αρχείου»

[28]. Ο χρήστης επιλέγει κάθε φορά (γκρι χρώμα) ποιες διατομές θα χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής. Το αρχείο Excel με τα πρωτογενή δεδομένα (αποστάσεις μεταξύ των διαφορετικών θέσεων των ιστορικών ακτογραμμών κατά μήκος των διατομών) θα πρέπει να έχει την παρακάτω μορφή :

ΛΙΤΟΧΩΡΟ ΠΙΕΡΙΑΣ				
ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΑΝΑ 50m				
ΑΠΟΣΤΑΣΕΙΣ				
Διατομή	1945-1960	1960-1979	1979-1980	1980-1997
1	7,594	-9,488	-18,219	78,475
2	5,246	-20,398	-13,801	62,603
3	8,836	-29,749	-9,192	48,973
4	2,707	-28,863	-7,219	39,468
5	-0,159	-26,029	-7,891	29,483
6	3,458	-29,093	-7,704	21,903
7	2,539	-31,412	-4,384	13,731
8	3,598	-34,451	-1,683	9,668
9	1,992	-32,698	-0,835	7,956
10	6,449	-33,793	-2,454	4,596
11	7,674	-35,807	-0,087	2,894
12	2,845	-33,084	2,301	2,316
13	3,977	-28,520	-5,797	3,041
14	7,327	-32,979	0,667	-3,149
15	8,090	-30,772	0,538	-1,967
16	10,728	-31,294	4,232	-6,998
17	8,325	-25,421	-0,597	-6,050
18	11,273	-30,145	0,598	-2,819
19	11,968	-31,359	3,072	-6,171
20	11,311	-31,020	3,342	-1,979
21	10,967	-31,382	3,070	0,786
22	11,290	-30,492	1,210	0,023
23	11,661	-31,944	4,166	1,047
24	13,253	-31,919	4,556	1,250
25	11,204	-29,320	3,404	2,395
26	9,970	-29,832	4,589	1,624
27	8,951	-27,208	4,548	1,341
28	9,352	-28,386	4,263	1,426
29	12,775	-28,083	3,256	1,011
30	13,027	-25,789	2,424	3,155
31	12,848	-23,616	-1,402	6,850
32	15,124	-26,422	-0,488	8,989
33	14,915	-26,914	-1,313	5,053
34	13,519	-26,400	-2,438	12,946
35	16,261	-26,476	-1,649	9,790

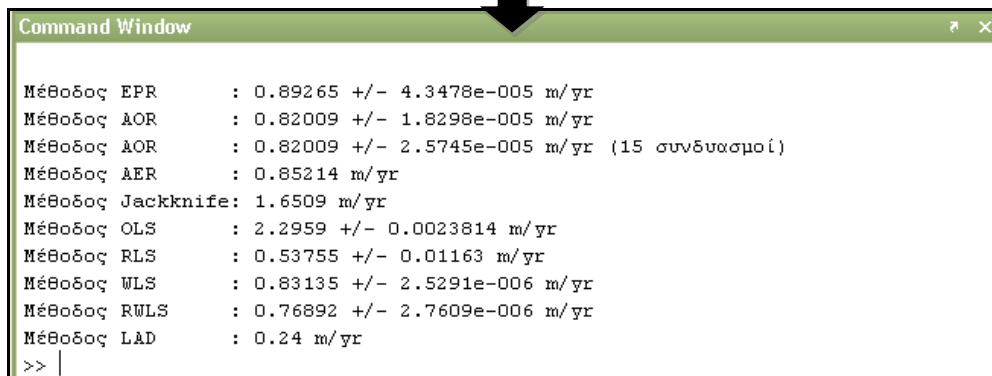
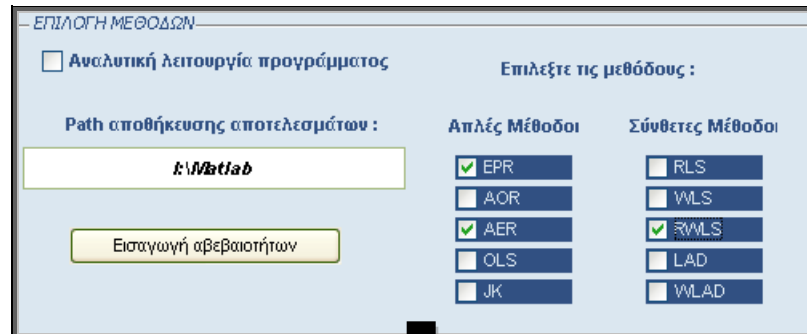
Εικόνες 51 και 52 : Η μορφή του αρχείου Excel με τις μετρημένες αποστάσεις μεταξύ των διαδοχικών θέσεων των ιστορικών ακτογραμμών κατά μήκος των 35 διατομών. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε ενδεικτικά η 1_LIT (Λιτόχωρο Πιερίας).

Αφού ολοκληρωθεί η παραπάνω διαδικασία, γίνεται εισαγωγή των χρονολογιών των ιστορικών ακτογραμμών που χρησιμοποιήθηκαν για την κάθε περιοχή μελέτης (στην περίπτωση της περιοχής 1_LIT του παραδείγματος, οι χρονολογίες οι οποίες θα εισαχθούν στο πεδίο θα είναι : 1945, 1960, 1979, 1980 και 1997). Στο δεύτερο στάδιο ο χρήστης επιλέγει το path αποθήκευσης των αποτελεσμάτων της υπολογιστικής διαδικασίας και στη συνέχεια εισάγει τις αβεβαιότητες για την κάθε ιστορική ακτογραμμή (ανάλογα με το είδος της εφαρμογής που εκτελείται) [28].



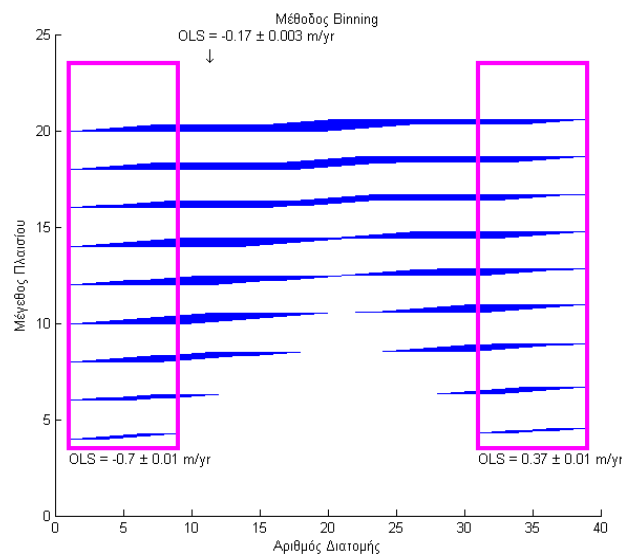
Εικόνα 53 : Το πεδίο εισαγωγής των αβεβαιοτήτων των ιστορικών ακτογραμμών [28].

Μετά την εισαγωγή των αβεβαιοτήτων, επιλέγονται οι μέθοδοι υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής. Κάθε φορά που επιλέγεται μια μέθοδος, υπολογίζεται αυτόματα ο ρυθμός με τις αβεβαιότητες του και εμφανίζονται τα αποτελέσματα στο Command Window του προγράμματος MATLAB [28].



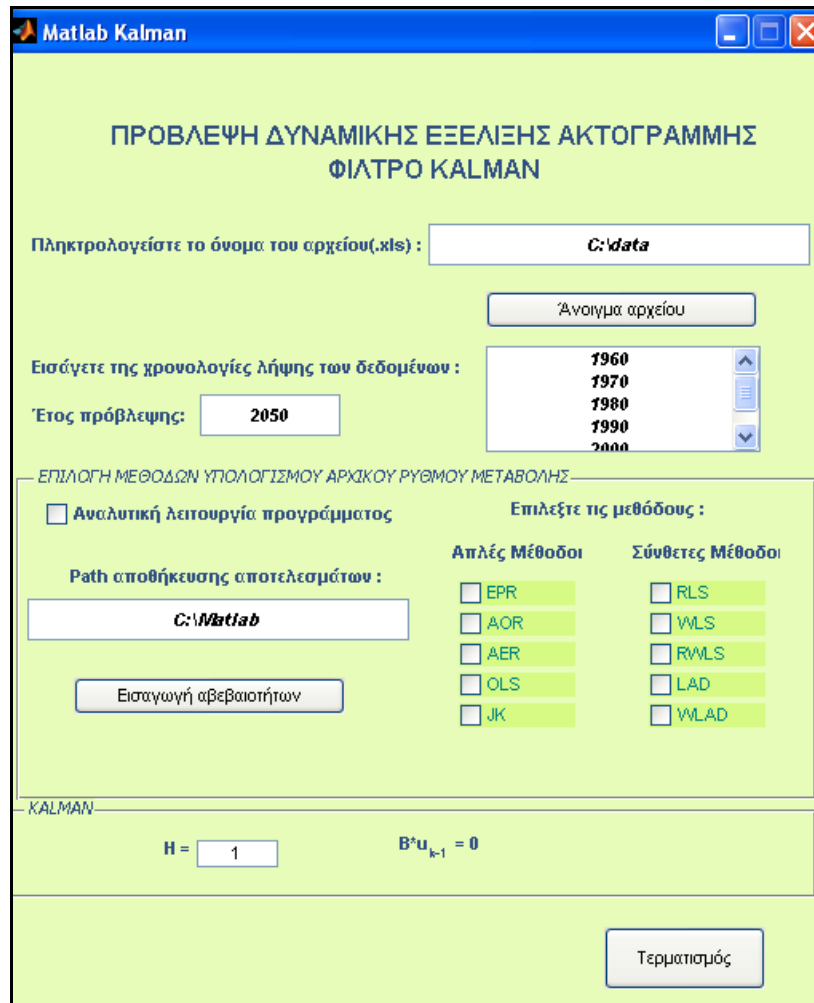
Εικόνα 54 : Η επιλογή των 10 μεθόδων υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής με τα αντίστοιχα αποτελέσματά τους [28].

Στο τρίτο στάδιο της διαδικασίας παρέχεται η δυνατότητα για εκτέλεση της μεθοδολογίας Binning, ορίζοντας την απόσταση μεταξύ των διατομών [28]. Μέσω της παραπάνω διαδικασίας, παράγονται διαγράμματα με τους επιμέρους ρυθμούς μεταβολής, της μορφής :



Εικόνα 55 : Οι επιμέρους ρυθμοί μεταβολής και η ομαδοποίηση των διατομών όπως προκύπτουν από τη μεθοδολογία Binning [28].

Το αρχικό παράθυρο του προγράμματος Shev (σε περιβάλλον MATLAB) όσον αφορά την εφαρμογή του προσαρμοσμένου φίλτρου Kalman, σε συνδυασμό με τις 10 μεθόδους υπολογισμού του ρυθμού μεταβολής της ακτογραμμής, είναι παρόμοιο με το αρχικό παράθυρο και παρουσιάζεται παρακάτω :



Εικόνα 56 : Το αρχικό παράθυρο εφαρμογής του φίλτρου Kalman.

Η υπολογιστική διαδικασία που ακολουθείται και σε αυτήν την περίπτωση είναι η ίδια με παραπάνω. Αρχικά, εισάγεται το όνομα του αρχείου Excel με τα πρωτογενή δεδομένα (το οποίο πρέπει να έχει τη μορφή των εικόνων 51 και 52). Στη συνέχεια, αφού ανοίξει το αρχείο και επιλεγούν οι διατομές, εισάγονται με την παρακάτω σειρά τα εξής στοιχεία : α) το έτος πρόβλεψης (στην παραπάνω εικόνα έχει εισαχθεί ενδεικτικά το έτος μακροπρόθεσμης πρόβλεψης 2050), β) οι χρονολογίες των ιστορικών ακτογραμμών που χρησιμοποιήθηκαν, γ) το path αποθήκευσης των αποτελεσμάτων, δ) οι αβεβαιότητες για κάθε μία από τις ιστορικές ακτογραμμές που χρησιμοποιήθηκε, ανάλογα με το είδος της εφαρμογής (χρησιμοποιήθηκαν κλιμακωτές αβεβαιότητες σε πλήθος εφαρμογών της διατριβής). Τέλος, επιλέγεται κάθε φορά η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman για να υπολογιστούν ρυθμοί μεταβολής. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται αυτόματα στο Command Window και έχουν την αναλυτική μορφή :

Command Window

To get started, select [MATLAB Help](#) or [Demos](#) from the Help menu.

A	Σχκ_	Kκ	Σχκ	χκ_	χκ
-4.4058	800.0463	0.9510	39.1971	-3.1722	14.2277
-0.5054	10.0108	0.6044	3.9607	-7.1902	-9.6727
0.7652	2.3192	0.3030	1.6166	-7.4017	-8.7298
1.2597	2.5652	0.1993	2.0539	-10.9968	-9.3622
2.3718	11.5540	0.2671	8.4675	-22.2051	NaN

A	Σχκ_	Kκ	Σχκ	χκ_	χκ
-4.4058	800.0463	0.9510	39.1971	-3.1722	14.0291
-0.5125	10.2962	0.6111	4.0046	-7.1902	-10.1284
0.7308	2.1387	0.2861	1.5268	-7.4017	-9.0925
1.2094	2.2332	0.1781	1.8354	-10.9968	-10.5090
2.1130	8.1945	0.2054	6.5112	-22.2051	NaN

A	Σχκ_	Kκ	Σχκ	χκ_	χκ
-4.4058	800.0463	0.9510	39.1971	-3.1722	12.7016
-0.5661	12.5609	0.6571	4.3066	-7.1902	-10.9295
0.6772	1.9752	0.2702	1.4416	-7.4017	-9.5405
1.1526	1.9153	0.1567	1.6151	-10.9968	-9.6451
2.3022	8.5601	0.2126	6.7399	-22.2051	NaN

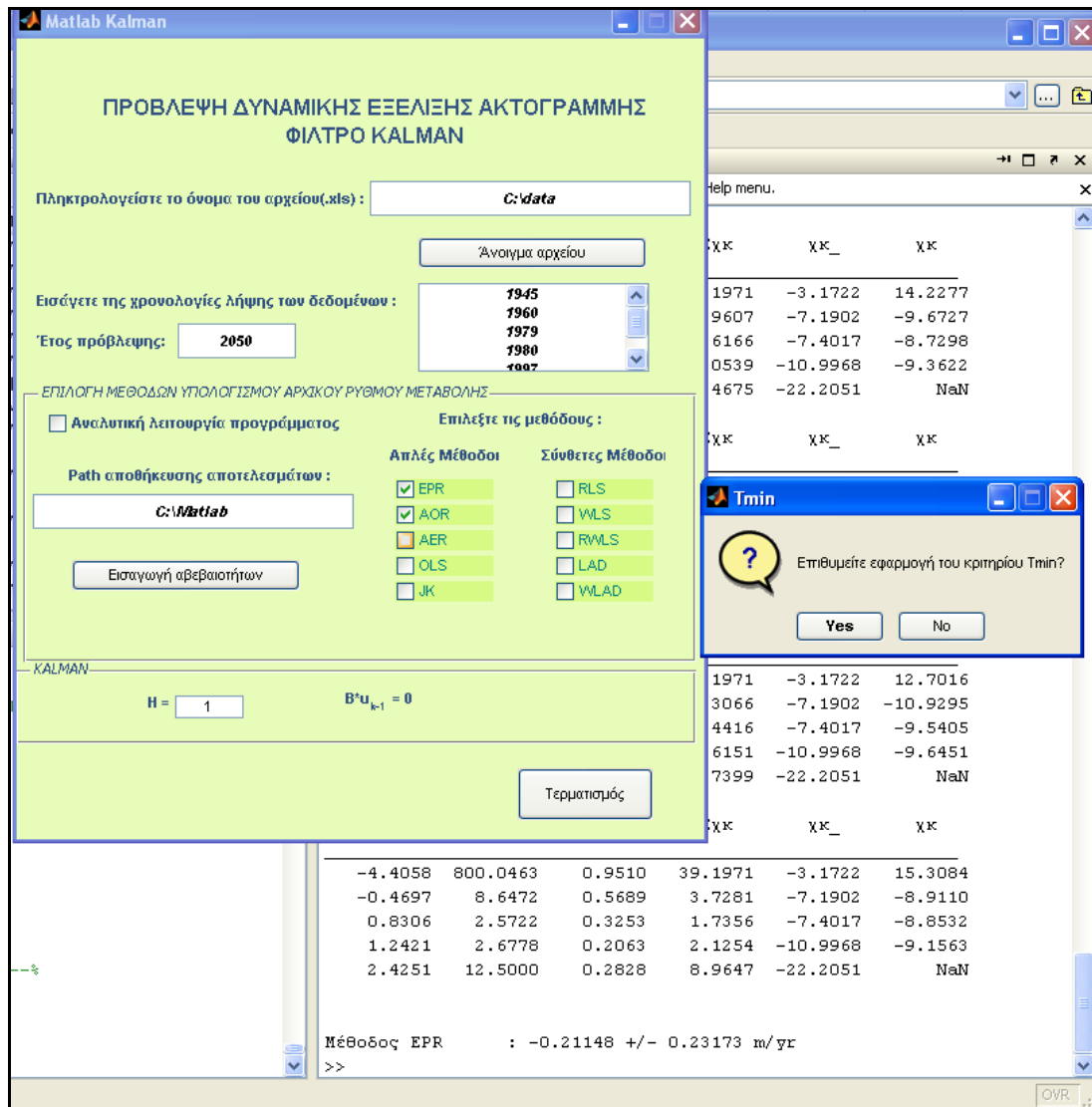
A	Σχκ_	Kκ	Σχκ	χκ_	χκ
-4.4058	800.0463	0.9510	39.1971	-3.1722	15.3084
-0.4697	8.6472	0.5689	3.7281	-7.1902	-8.9110
0.8306	2.5722	0.3253	1.7356	-7.4017	-8.8532
1.2421	2.6778	0.2063	2.1254	-10.9968	-9.1563
2.4251	12.5000	0.2828	8.9647	-22.2051	NaN

Μέθοδος EPR : -0.21148 +/- 0.23173 m/yr

>>

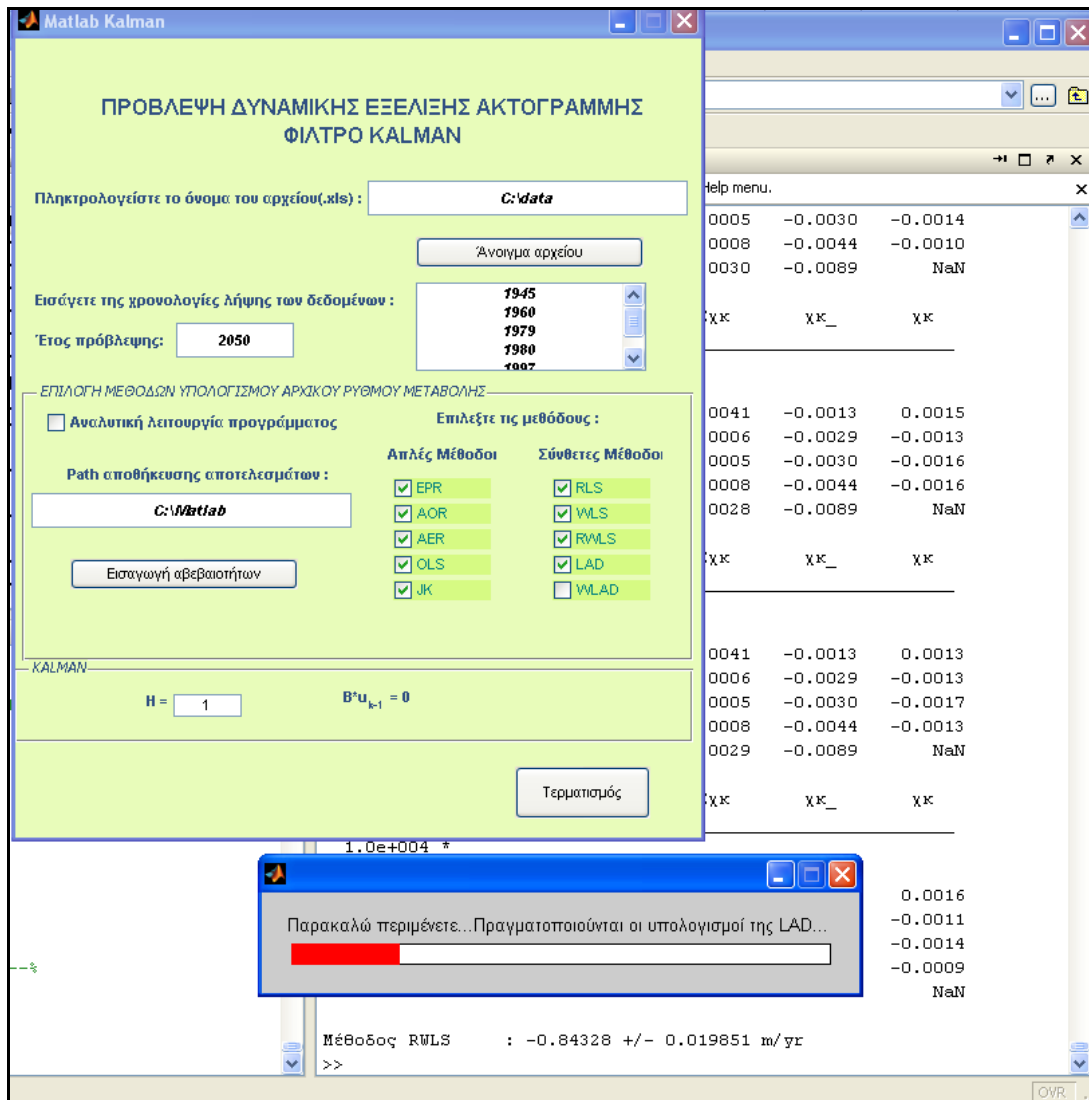
Εικόνα 57 : Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζονται εκτός από τον υπολογιζόμενο ρυθμό μεταβολής και οι επιμέρους υπολογισμοί των βασικών μεγεθών της υπολογιστικής διαδικασίας του φίλτρου Kalman (οι a priori και a posteriori εκτιμήσεις των διανυσμάτων κατάστασης, οι πίνακες συμμεταβλητότητας και ο πίνακας κέρδους).

Κατά τη διαδικασία χρησιμοποίησης της μεθόδου AOR σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman γίνεται ερώτηση από το πρόγραμμα για την εκτέλεση του κριτηρίου T_{min} (η μοναδική διαφοροποίηση στη διαδικασία υπολογισμού ρυθμών μεταβολής σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους) [28] :



Εικόνα 58 : Η πρόβλεψη της δυναμικής εξέλιξης της ακτογραμμής με τη χρήση του φίλτρου Kalman και το κριτηρίου Tmin της μεθόδου AOR [28].

Τέλος, εξαιτίας των χρονοβόρων υπολογισμών των μεθόδων LAD και WLAD, (ειδικά στην περίπτωση χρησιμοποίησης πολλών διατομών), εμφανίζεται μπάρα προόδου για να διαπιστώνεται από τον χρήστη η πρόοδος της διαδικασίας και να διαπιστώνεται η ορθή λειτουργία του προγράμματος [28] :



Εικόνα 59 : Η χρονοβόρα υπολογιστική διαδικασία των μεθόδων LAD και WLAD σε συνδυασμό με το φίλτρο Kalman για την περίπτωση εφαρμογής στην περιοχή μελέτης με κωδικό 1_LIT (ιστορικές ακτογραμμές : 1945, 1960, 1979, 1980 και 1997).

ΣΥΝΟΠΤΙΚΟ ΒΙΟΓΡΑΦΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΤΟΥ ΥΠΟΨΗΦΙΟΥ

Σπουδές

Ο κ. Ν. Πετρέλης γεννήθηκε στην Αθήνα το 1979. Αποφοίτησε το 2004 από τη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών ΕΜΠ με βαθμό διπλώματος 7.22. Η διπλωματική εργασία του εκπονήθηκε στην Ανώτερη Γεωδαισία και είχε θέμα “*Αειφορική Προστασία της Παράκτιας Ζώνης από τις Κλιματικές Αλλαγές*” (βαθμός: 10).

Ο κ. Πετρέλης έγινε δεκτός στην ΣΑΤΜ ως υποψήφιος διδάκτορας στην Ανώτερη Γεωδαισία με απόφαση της Γενικής Συνέλευσης Ειδικής Σύθεσης (03.05.04), η οποία όρισε τους υπογράφοντες ως 3μελή επιτροπή παρακολούθησης της Διδακτορικής Διατριβής καθώς και το θέμα της. Με απόφαση της ΓΣΕΣ της Σχολής (16.02.12) το θέμα οριστικοποιήθηκε τελικά ως ακολούθως: “Διερεύνηση των μοντέλων εκτίμησης της μετακίνησης της ακτογραμμής”.

Στην διάρκεια εκπόνησης της διατριβής του, ο υποψήφιος συμμετείχε με προφορική παρουσίαση σε ένα Πανελλήνιο (2006) και ένα Διεθνές (Βενετία-2011, blind review) συνέδριο καθώς και στην παρουσίαση των αποτελεσμάτων του επιστημονικού προγράμματος CADSEALAD στη Ανκόνα/Ιταλία.

Επαγγελματική Εμπειρία

Ο υποψήφιος απασχολείται ως ελεύθερος επαγγελματίας ΑΤΜ από το 2004 έως σήμερα, σε εξειδικευμένες Τοπογραφικές μελέτες, Βυθομετρήσεις, Κτηματολογικές και Πολεοδομικές μελέτες. Είναι άριστος γνώστης των MS Windows, MS Office, ArcView, ArcInfo, AutoCad, Visual Basic και Matlab.

Επιστημονικές Δημοσιεύσεις

Ο υποψήφιος έχει κάνει τις ακόλουθες δημοσιεύσεις τις οποίες παρουσίασε προφορικά ο ίδιος σε συνέδρια:

1. Doukakis E. and Petrelis N., “Climatic, anthropogenic and geophysical impact assessments on the coastal zone of Corinth Gulf”, *CADSEALAND program meeting*, Ancona, Italy, November 9-10, 2006.
2. Δουκάκης, Ε., Πετρέλης, Ν. Οριοθέτηση και Διαχείριση της Παράκτιας Ζώνης, 1^ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΑΤΜ, Αθήνα, 2006.
3. Doukakis, E and Petrelis, N. “Recursive Filter for Coastal Displacement”, *International Conference of World Academy of Science and Technology*, Venice, Italy, November 2011(πρόδρομη δημοσίευση της διατριβής).

