



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ & ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΕΜΒΑΘΥΝΣΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

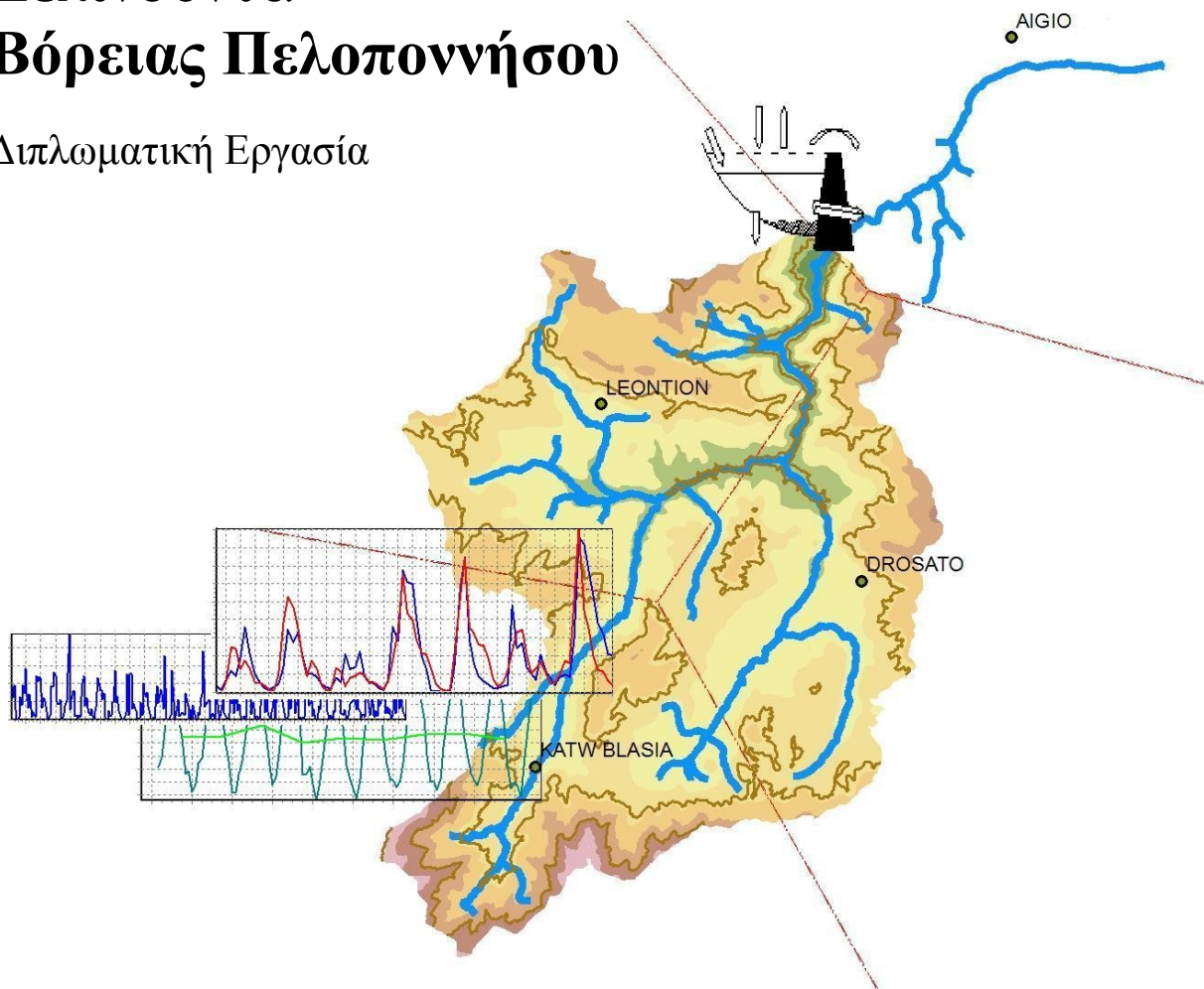
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ

Υδρολογικής Λεκάνης Ποταμού

Σελινούντα

Βόρειας Πελοποννήσου

Διπλωματική Εργασία



Επιβλέπων
Ναλμπάντης Ι.
Επίκουρος Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

Ρηγόπουλος Θεόδωρος

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Περίληψη	5
Abstract	6
1 Εισαγωγή	7
1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος.....	7
1.2 Η περιοχή μελέτης.....	7
1.3 Υπάρχουσες μελέτες.....	7
1.4 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας.....	8
2 Στοιχεία Γεωμορφολογίας	10
2.1 Γενικά.....	10
2.2 Στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν.....	10
2.3 Χρήση του λογισμικού ArcGIS.....	10
2.3.1 Γενικά 10	
2.3.2 Ψηφιοποίηση των χαρτών της Γ.Υ.Σ. και διανυσματοποίηση δεδομένων... 11	
2.3.3 Επεξεργασία διανυσματικών δεδομένων.....	13
2.3.4 Δημιουργία Υδρολογικός Ορθού Μοντέλου Αναγλύφου.....	14
2.4 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά Λεκάνης Απορροής.....	15
2.4.1 Μέγεθος Λεκάνης Απορροής.....	15
2.4.2 Σχήμα Λεκάνης Απορροής.....	15
2.4.3 Υψόμετρο Λεκάνης Απορροής.....	16
2.4.4 Ανάγλυφο και Κλίσεις Εδάφους της Λεκάνης Απορροής.....	18
2.5 Χαρακτηριστικά Κύριου Υδατορεύματος.....	18
2.6 Γεωλογικοί Σχηματισμοί.....	19
3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα	24
3.1 Εισαγωγή.....	24
3.2 Μετρήσεις ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων.....	24
3.2.1 Δεδομένα Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ.....	24
3.2.2 Δεδομένα Ε.Μ.Υ.....	25
3.2.3 Δεδομένα Δ.Ε.Η.....	26
3.2.4 Δεδομένα ΥΠ.ΓΕ.....	26
3.3 Έλεγχος ομογένειας.....	27
3.3.1 Γενικά 27	
3.3.2 Εφαρμογή στη λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούντα.....	28
3.4 Συμπλήρωση βροχομετρικών παρατηρήσεων.....	31
3.5 Μέσο βροχομετρικό ύψος λεκάνης απορροής.....	32

4 Εξάτμιση και διαπνοή	35
4.1 Εισαγωγή.....	35
4.2 Στοιχεία υδρομετεωρολογίας.....	35
4.2.1 Θερμοκρασία αέρος.....	35
4.2.2 Ηλιακή ακτινοβολία.....	37
4.2.3 Υγρασία της ατμόσφαιρας.....	38
4.2.4 Άνεμος.....	39
4.3 Πρακτική σημασία της εξάτμισης και της διαπνοής.....	40
4.4 Εκτίμηση της εξάτμισης και της διαπνοής.....	41
4.4.1 Η μέθοδοι Penman και Penman – Monteith.....	41
4.4.2 Η μέθοδος Penman – Monteith στο περιβάλλον του λογισμικού Hydrognomon.....	43
5 Απορροή	45
5.1 Εισαγωγή.....	45
5.2 Μέτρηση της απορροής.....	45
5.3 Το μοντέλο Zygos.....	45
5.3.1 Θεωρητική τεκμηρίωση.....	45
5.3.2 Εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου Zygos.....	48
6 Συνθετικές χρονοσειρές	52
6.1 Εισαγωγή.....	52
6.2 Συνθετική χρονοσειρά ύψους βροχής.....	53
6.2.1 Ανάλυση του μοντέλου συμμετρικών κινούμενων μέσων όρων (SMA).....	53
6.2.2 Εκτίμηση συντελεστών στάθμισης.....	55
6.2.3 Εκτίμηση στατιστικών χαρακτηριστικών μεταβλητών ανανέωσης.....	57
6.2.4 Παράμετροι του υποσυστήματος Castalia.....	57
6.2.5 Στατιστικά στοιχεία της συνθετικής χρονοσειράς.....	61
6.3 Συνθετική χρονοσειράς απορροής.....	62
7 Εκτίμηση Υδατικού Δυναμικού	63
7.1 Εκτίμηση του Θεωρητικού Υδατικού Δυναμικού (ΘΕΥΔ).....	63
7.2 Εκτίμηση Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού (ΕΕΥΔ).....	65
7.2.1 Απαραίτητοι υπολογισμοί.....	65
7.2.2 Προσομοίωση λειτουργίας ταμιευτήρα.....	69
8 Σύνοψη – Συμπεράσματα	75
8.1 Σύνοψη.....	75
8.2 Συμπεράσματα.....	76
Αναφορές	79

Παράρτημα Α: Πίνακες	80
Παράρτημα Β: Σχήματα	91
Παράρτημα Φωτογραφικής Τεκμηρίωσης	100

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εκτίμηση του Υδατικού Δυναμικού του ποταμού Σελινούντα της βόρειας Πελοποννήσου, ώστε να γίνει έναυσμα για περαιτέρω μελέτες σχεδιασμού τεχνικών έργων στην περιοχή για την αξιοποίηση των υδατικών του πόρων.

Συγκεντρώθηκαν χάρτες καθώς και μετεωρολογικά στοιχεία για την περιοχή, τα οποία ελέγχθηκαν και συμπληρώθηκαν οι ελλείψεις τους. Αφού ορίστηκαν τα όρια της εξεταζόμενης υδρολογικής λεκάνης και αναλύθηκε αυτή μορφομετρικά, όλα τα μετεωρολογικά στοιχεία ανάχθηκαν ώστε να αναφέρονται ρεαλιστικότερα σε αυτήν.

Αναγκαίος ήταν ο υπολογισμός της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής για την λεκάνη, ώστε να βαθμονομηθεί στη συνέχεια ένα μοντέλο βροχής – απορροής.

Επειδή ο όγκος των ιστορικών δεδομένων δεν ήταν αρκετός για ασφαλείς εκτιμήσεις, τα στοιχεία αυτά επεκτάθηκαν με την δημιουργία συνθετικών διάρκειας 2000 ετών. Η διαδικασία προέβλεπε αρχικά την επέκταση των δεδομένων βροχοπτώσεων βάσει των στατιστικών τους χαρακτηριστικών και, στη συνέχεια, μετατροπή τους σε δεδομένα απορροής σύμφωνα με το παραπάνω μοντέλο.

Τα δεδομένα της συνθετικής απορροής χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του Θεωρητικού Υδατικού Δυναμικού του ποταμού, ενώ για την εκτίμηση του Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού, που αποτελεί και το καθοριστικότερο μέγεθος και είναι το τελικά ζητούμενο της διπλωματικής εργασίας, θεωρήθηκε φράγμα στην έξοδο της λεκάνης και προσομοιώθηκε η λειτουργία του ταμιευτήρα που αυτό δημιουργεί. Τα τελικά αποτελέσματα δίνονται για διάφορες τιμές αξιοπιστίας.

Abstract

This report is about the estimation of the Water Potential of Selinountas river of northern Peloponnese, as an initial stage for further studies in planning hydraulic works for the exploitation of the river's water resources.

Not only maps but also meteorological data were assembled. Data was checked and gaps were filled. The water divide of the examined hydrological basin was determined and its geomorphological information was derived. Meteorological information was transformed to reflect basin's conditions.

The calculation of the basin evaporation and evapotranspiration was necessary, so that a rainfall - runoff simulation model can be calibrated.

Since the amount of the meteorological data, was not sufficient for safe assessments data records were extended by creating synthetic timeseries for 2000 years. First, areal rainfall depths were generated. These synthetic rainfall series were later transformed into runoff series according to the above rainfall – runoff model.

Synthetic runoff series allowed for estimating the Theoretical Water Potential of the river, while for the estimation of the Exploitable Surface Water Potential, which constitutes is fundamental and is the main goal of the study, a dam were hypothesized at the basin outlet and the operation of the created reservoir was simulated. Final results are given for various reliability values.

1 Εισαγωγή

1.1 Γενική τοποθέτηση του προβλήματος

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με την διαχείριση των υδατικών πόρων του ποταμού Σελινούντα της βόρειας Πελοποννήσου. Απώτερος σκοπός της είναι η εκτίμηση του υδατικού δυναμικού της λεκάνης, έτσι ώστε να προκύψει συμπέρασμα για τον βαθμό στον οποίο το διαθέσιμο νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη αναγκών της περιοχής.

Οι ανάγκες αυτές χωρίζονται σε ανάγκες για άρδευση και ανάγκες για ύδρευση. Οι δεύτερες χρήζουν επιπλέον διερεύνησης και σε άλλα επιστημονικά πεδία ώστε να διευκρινιστεί, εκτός της ποσοτικής καταλληλότητας των υδατικών πόρων και η ποιοτική τους καταλληλότητα για την κάλυψη τέτοιου είδους αναγκών. Βέβαια κάτι τέτοιο δεν εξετάζεται στην παρούσα διπλωματική εργασία.

1.2 Η περιοχή μελέτης

Ο ποταμός Σελινούντας βρίσκεται στην βόρεια Πελοπόννησο και ανήκει εξ' ολοκλήρου στον νομό Αχαΐας. Ο κύριος κλάδος πηγάζει από το όρος Ερύμανθος στα όρια των νομών Αχαΐας, Αρκαδίας και Ηλείας και αφού συμβάλλει με τον ποταμό Μανεσαϊκό, ο οποίος και αποτελεί τον δεύτερο σημαντικό του κλάδο, εκβάλλει νοτιοανατολικά της πόλης του Αιγίου.

Η περιοχή δεν είναι εκμεταλλευμένη σημαντικά όσον αφορά τον υδρολογικό της τομέα. Τα μόνα υφιστάμενα έργα περιορίζονται σε κάποιους μικρούς αναβαθμούς υδροληψίας για αρδευτικούς λόγους που συνδέονται με δίκτυο ανοικτών αγωγών. Επίσης στα χαμηλά της τμήματα και κυρίως κοντά στην περιοχή της πόλης του Αιγίου υπάρχει ένας μικρός αριθμός γεωτρήσεων, οι οποίες καλύπτουν και αυτές ανάγκες για άρδευση. Ωστόσο το μεγαλύτερο μέρος του όγκου νερού του ποταμού χύνεται στον Κορινθιακό κόλπο ανεκμετάλλευτο.

Η ανάγκη εξεύρεσης εκμεταλλεύσιμων υδατικών πόρων στις μέρες μας έχει γίνει επιτακτική, καθώς ολοένα και περισσότερες περιοχές αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα στην κάλυψη των αναγκών τους για νερό. Η Αιγιάλεια είναι μια από αυτές τις περιοχές. Οι ανάγκες της περιοχής για νερό ολοένα και μεγαλώνουν, δεδομένης και της αυξητικής τάσης του πληθυσμού της. Οι ανάγκες είναι τόσο για νερό για άρδευση όσο και για ύδρευση. Απόδειξη της ύπαρξης του προβλήματος είναι η πολιτική που ακολουθείται τα τελευταία έτη από τους τοπικούς αρμόδιους φορείς για αξιοποίηση των, μέχρι σήμερα ανεκμετάλλευτων, υδατικών πόρων της περιοχής.

1.3 Υπάρχουσες μελέτες

Συγκεκριμένα για υδρολογική λεκάνη του ποταμού Σελινούντα έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς διάφορες μελέτες που όμως δεν έφτασαν να υλοποιηθούν αλλά έμειναν σε στάδιο σχεδιασμού. Μια από αυτές είναι η μελέτη για λογαριασμό της Δημοτικής Επιχείρησης

Υδρευσης και Αποχέτευσης (Δ.Ε.Υ.Α.) του δήμου Αιγίου η οποία πραγματοποιήθηκε το 2000 και αντικατοπτρίζει την όλη προσπάθεια εξεύρεσης και αξιοποίησης εναλλακτικών υδατικών πόρων από αυτούς που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Η μελέτη αυτή διαπραγματεύεται την κατασκευή μιας μονάδας διύλισης νερού πλησίον της Μονής Ταξιαρχών (στα ορεινά τμήματα της επαρχίας Αιγιαλείας), ώστε να καλυφθεί μέρος των αναγκών ύδρευσης του δήμου Αιγίου και της ευρύτερης περιοχής της Αιγιαλείας.

Το συγκεκριμένο έργο προτείνεται να γίνει σε συνδυασμό με υδροληψία από κοντινό αναβαθμό πολύ μικρού ύψους που είναι ήδη κατασκευασμένος στην κήτη του ποταμού. Η περιοχή παρουσιάζεται και στο Παράρτημα Φωτογραφικής Τεκμηρίωσης.

Για την πραγματοποίηση της συγκεκριμένης μελέτης έχουν ληφθεί διάφορα στοιχεία που αφορούν τους απαραίτητους υπολογισμούς της, όπως δημογραφικά δεδομένα, δεδομένα μέσω βροχοπτώσεων από παλαιότερες μελέτες καθώς και κάποια στοιχεία μετρήσεων της απορροής του ποταμού.

Τα τελευταία χρησιμοποιήθηκαν και στην παρούσα διπλωματική εργασία, δεδομένης και της απουσίας εναλλακτικής πηγής δεδομένων για την απορροή. Τα στοιχεία αυτά κρίνονται ιδιαίτερος σημαντικά για την αξιοπιστία του αποτελέσματος της διπλωματικής εργασίας καθώς με βάση αυτά θα πραγματοποιηθεί πρόβλεψη για την μελλοντική απορροή και κατ' επέκταση η εκτίμηση του υδατικού δυναμικού της λεκάνης.

Η αξιοπιστία των παραπάνω μετρήσεων ωστόσο δεν ήταν δυνατό να ελεγχθεί με κάποιο τρόπο. Γίνεται λοιπόν η παραδοχή ότι τα στοιχεία αυτά θεωρούνται αξιόπιστα για περαιτέρω επεξεργασία και συμπεράσματα μέσω των διεργασιών που θα πραγματοποιηθούν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τα δεδομένα αυτά αφορούν τους μέσους μηνιαίως απορρέοντες όγκους ύδατος του ποταμού Σελινούντα πλησίον της Μονής Ταξιαρχών για την χρονική περίοδο 9/1961 – 8/1968. Τα στοιχεία αυτά παραβάλλονται στο Παράρτημα.

1.4 Διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία παρουσιάζεται σε 8 κεφάλαια κατά την σειρά με την οποία πραγματοποιήθηκαν οι διεργασίες και επεξεργασίες που ήταν απαραίτητες για την εξαγωγή των τελικών συμπερασμάτων για το υδατικό δυναμικό της λεκάνης απορροής του ποταμού Σελινούντα.

Κεφάλαιο 1

Παρουσιάζονται εισαγωγικά στοιχεία που αφορούν το γενικότερο πλαίσιο στο οποίο κινήθηκε η διπλωματική εργασία.

Κεφάλαιο 2

Παρουσιάζεται η επεξεργασία με το λογισμικό ArcGIS καθώς επίσης και στοιχεία που αφορούν την γεωμορφολογία (μορφομετρικά χαρακτηριστικά, χαρακτηριστικά κύριου υδατορεύματος κλπ.) της λεκάνης απορροής.

Κεφάλαιο 3

Γίνεται αναλυτική παρουσίαση των μετεωρολογικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία καθώς επίσης και η αρχική επεξεργασία των δεδομένων που αφορούσαν

κατακρημνίσματα (κυρίως βροχοπτώσεις) ώστε αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια.

Κεφάλαιο 4

Παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την εκτίμηση της εξάτμισης και της διαπνοής στην λεκάνη απορροής καθώς και τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας αυτής.

Κεφάλαιο 5

Παρουσίαση της επεξεργασίας με το μοντέλο Zygos του λογισμικού Hydrognomon ως μοντέλο μετατροπής της βροχόπτωσης σε απορροής μέσω της προσομοίωσης των φυσικών διεργασιών.

Κεφάλαιο 6

Χρησιμοποιώντας όλα τα στοιχεία και τα συμπεράσματα των προηγούμενων κεφαλαίων γίνεται η σύνθεση χρονοσειράς δεδομένων βροχής και απορροής για 2000 έτη ώστε να προκύψουν τα τελικά συμπεράσματα για το υδατικό δυναμικό του ποταμού Σελινούντα.

Κεφάλαιο 7

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η εκτίμηση τόσο του Θεωρητικού Υδατικού Δυναμικού της λεκάνης, όσο και, το καθοριστικότερο, Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό της λεκάνης με βάση την προσομοίωση του ταμιευτήρα που δημιουργεί η κατασκευή ενός φράγματος στην έξοδο της λεκάνης.

Κεφάλαιο 8

Είναι το τελευταίο κεφάλαιο της διπλωματικής εργασίας στο οποίο και παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα και προτάσεις για την αξιοποίηση των υδατικών πόρων του ποταμού Σελινούντα.

2 Στοιχεία Γεωμορφολογίας

2.1 Γενικά

Η λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούντα εντοπίζεται στη βόρεια Πελοπόννησο και ανήκει εξολοκλήρου στον Ν. Αχαΐας. Το κύριο υδατόρευμα έχει δυο κύριους κλάδους και ο μεγαλύτερος εξ αυτών πηγάζει από το όρος «Ερύμανθος» και αφού ακολουθεί μια διαδρομή, το μεγαλύτερο τμήμα της οποίας βρίσκεται σε αρκετά μεγάλο υψόμετρο, με κατεύθυνση βορειοανατολική, εκβάλει τελικά κοντά στην περιοχή του Αιγίου.

Για την ανάλυση και επεξεργασία θεωρήθηκε ως έξοδος της λεκάνης απορροής του ποταμού, τοποθεσία πλησίον της μονής Ταξιαρχών, για την οποία ήταν διαθέσιμα και δεδομένα μετρημένης απορροής, όπως περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

2.2 Στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν

Για την μελέτη των στοιχείων της γεωμορφολογίας της Λεκάνης Απορροής χρησιμοποιήθηκαν κατά κύριο λόγο χάρτες κλίμακας 1:50 000 της Γ.Υ.Σ. Τα 4 φύλλα χάρτου τα οποία καλύπτουν εξολοκλήρου την υδρολογική λεκάνη, και τα οποία βρέθηκαν μετά από σχετική διερεύνηση σύμφωνα με τα όρια του υδροκρίτη της λεκάνης, φαίνονται στη συνέχεια:

- i. ΧΑΛΑΝΔΡΙΤΣΑ
- ii. ΑΙΓΙΟΝ
- iii. ΚΕΡΤΕΖΗ
- iv. ΔΑΦΝΗ

Όλα τα παραπάνω φύλλα λήφθηκαν σε αναλογική (εκτυπωμένη) μορφή από την Γ.Υ.Σ. και, στη συνέχεια, ψηφιοποιήθηκαν με ψηφιοποιητή (scanner), ώστε να είναι ευκολότερη και ακριβέστερη η περαιτέρω επεξεργασία τους. Η επεξεργασία έγινε με το λογισμικό ArcGIS και αναλύεται στη συνέχεια.

2.3 Χρήση του λογισμικού ArcGIS

2.3.1 Γενικά

Το λογισμικό ArcGIS της εταιρείας ESRI είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για την διεξαγωγή υδρολογικών μελετών. Εκτός από τις βασικές χαρτογραφικές του λειτουργίες, έχει έναν σημαντικό αριθμό εργαλείων που εξάγουν αποτελέσματα σχετικά με τις υδρολογικές διεργασίες και διαδικασίες.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε χρήση της έκδοσης 9.3 του λογισμικού και των εργαλείων που εμπεριέχονται σε αυτό, έτσι ώστε να δημιουργηθεί τελικά

ένα υδρολογικώς σωστό Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της Λεκάνης Απορροής. Η διαδικασίες που ακολουθήθηκαν φαίνονται αναλυτικά στα επόμενα χωρία.

2.3.2 Ψηφιοποίηση των χαρτών της Γ.Υ.Σ. και διανυσματοποίηση δεδομένων

Ένα στάδιο ιδιαίτερης σημασίας για την συνέχεια της διπλωματικής εργασίας ήταν αυτό της δημιουργίας του σωστού υποβάθρου. Και δεν μιλάμε για τίποτα άλλο από την οριοθέτηση της λεκάνης απορροής και, φυσικά, την ανάλυση της υψομετρικής πληροφορίας που μας παρέχεται για αυτήν.

Πριν προχωρήσουμε ωστόσο σε οποιαδήποτε επεξεργασία οι ψηφιακοί χάρτες έπρεπε να γεωαναφερθούν σε κάποιο σύστημα αναφοράς. Για την διπλωματική αυτή επιλέχθηκε η χρήση του ΕΓΣΑ '87, καθώς είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα αναφοράς στην Ελλάδα σήμερα.

Με τον όρο γεωαναφορά εννοούμε το σύνολο των απαραίτητων στροφών και μεταθέσεων του χάρτη στο επίπεδο ώστε να προκύψει προβολή του κάθε σημείου του χάρτη στο επιθυμητό σύστημα αναφοράς. Για να πραγματοποιηθεί η γεωαναφορά, αρχικά καθένα από τα φύλλα χάρτου εισήχθη ξεχωριστά στο περιβάλλον του λογισμικού ArcMap, που εντάσσεται στο πακέτο του λογισμικού ArcGIS. Στη συνέχεια, έγινε χρήση της εργαλειοθήκης “*Georeferencing*” η οποία δίνει τη δυνατότητα να αντιστοιχισθούν σημεία που απεικονίζονται πάνω σε έναν χάρτη με τις πραγματικές γεωδαιτικές τους συντεταγμένες σε ένα σύστημα αναφοράς.

Τα σημεία γνωστών συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκαν για την γεωαναφορά ήταν οι κορυφές του κωδικοποιημένου σε ΕΓΣΑ '87 κανάβου που απεικονίζεται πάνω στα φύλλα χάρτου. Τα σημεία επιλέχθηκαν έτσι ώστε ο τελικός μετασχηματισμός να εμφανίζει το μικρότερο δυνατό σφάλμα, σε συνδυασμό, βέβαια, με έναν ικανοποιητικό αριθμό σημείων (τουλάχιστον 9 για κάθε χάρτη). Το συνολικό μέσο τετραγωνικό σφάλμα του μετασχηματισμού προέκυψε 7.46 m.

Η ακρίβεια αυτή είναι ικανοποιητική για γεωαναφορά χάρτη κλίμακας 1:50 000 δεδομένης της μέγιστης διακριτικής ικανότητας για χάρτη σε ψηφιακή μορφή, η οποία ανέρχεται σε 10 m (σύμφωνα με την παραδοχή ότι η διακριτική ικανότητα είναι το 20% του mm πάνω στην κλίμακα του χάρτη).

Αφού καθένα από τα φύλλα γεωαναφέρθηκε ξεχωριστά, έγινε εισαγωγή και των τεσσάρων φύλλων στο περιβάλλον του ArcMap.

Παρατηρώντας και τα τέσσερα φύλλα χάρτου μαζί μπορούμε να εξάγουμε τα εξής δύο συμπεράσματα για το ποιοτικό αποτέλεσμα της γεωαναφοράς:

- i. Η γεωαναφορά φαίνεται να ανταποκρίνεται ικανοποιητικά στην απεικόνιση της πραγματικότητας σε έναν ενιαίο χάρτη, αποτελούμενο και από τα τέσσερα αρχικά φύλλα. Κάτι τέτοιο φανερώνεται από το γεγονός ότι στις ενώσεις των αρχικών φύλλων και καθώς ακολουθούμε ακμές ή καμπύλες που συνεχίζουν φυσικά από το ένα φύλλο στο άλλο, η μετάβαση είναι ομαλή και δεν αλλάζει η διεύθυνση που ακολουθεί η παραπάνω γραμμή τοπικά.
- ii. Παρατηρείται μια μικρή απώλεια πληροφορίας στα όρια των φύλλων που οφείλεται κυρίως στις επεξεργασίες της δημιουργού των συγκεκριμένων χαρτών (Γ.Υ.Σ.) για τον τεμαχισμό ενός ενιαίου χάρτη σε πολλαπλά φύλλα χάρτου.

Με το υπόβαθρο έτοιμο μπορούμε πλέον να συνεχίσουμε στην διαδικασία μετατροπής σε διανύσματα των στοιχείων του χάρτη που μας ενδιαφέρουν. Στην περίπτωσή μας, τα απαραίτητα δεδομένα είναι αυτά που παρέχουν πληροφορίες για το κύριο υδατόρευμα καθώς επίσης και υψομετρική πληροφορία για το σύνολο της Λεκάνης Απορροής.

Αναγκαίο προκαταρκτικό στάδιο για την πραγματοποίηση των παραπάνω, είναι η οριοθέτηση της Λεκάνης Απορροής. Για διευκόλυνση, κρίθηκε σκόπιμο αρχικά να εντοπιστούν και να μετατραπούν σε διανυσματικά δεδομένα όλα τα ρέματα μόνιμης ροής που συνδέονται με τον κύριο κλάδο του ποταμού Σελινούντα. Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκε αρχικά με το λογισμικό ArcCatalog του πακέτου ArcGIS ένα αρχείο είδους “shapefile” και τύπου δεδομένων “polyline”, το οποίο και εισήχθη στο ArcMap. Στη συνέχεια, κάνοντας χρήση της εργαλειοθήκης “Editor” του λογισμικού διανυσματοποιήθηκαν όλα τα κύρια ρέματα με φορά από ανάντη προς κατόντη (η φορά αυτή δεν έχει σημασία για την ορθή διανυσματοποίηση των επιθυμητών δεδομένων, είναι όμως σημαντική για την σωστή λειτουργία του εργαλείου που θα δημιουργήσει το τρισδιάστατο και υδρολογικά σωστό μοντέλο επιφάνειας, το οποίο και περιγράφεται στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου).

Σειρά έχει η οριοθέτηση της Λεκάνης Απορροής, δηλαδή η χάραξη του υδροκρίτη. Στο σημείο αυτό υπενθυμίζεται ότι η Λεκάνη Απορροής η οποία και μελετάται στην παρούσα διπλωματική εργασία, έχει ως έξοδό της την επιλεγμένη θέση φράγματος κοντά στην Μονή Ταξιαρχών.

Αφού δημιουργήθηκε ένα νέο “shapefile” με την διαδικασία που περιγράφεται παραπάνω, ξεκίνησε η διανυσματοποίηση του υδροκρίτη με αφετηρία την θέση φράγματος και κάνοντας χρήση και πάλι της εργαλειοθήκης “Editor”. Για την χάραξη του υδροκρίτη δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω σημεία:

- i. Όλο το υδρογραφικό δίκτυο που διανυσματοποιήθηκε προηγουμένως καθώς και η επιπλέον πληροφορία για μισγάγγειες – ρέματα μη μόνιμης ροής, που παρέχεται από τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. πρέπει να είναι εντός των ορίων της Λεκάνης Απορροής.
- ii. Ο υδροκρίτης τέμνει τις ισοϋψείς καμπύλες κατά την μέγιστη δυνατή κλίση.
- iii. Κάποιες από τις κορυφές του υδροκρίτη είναι φυσικές τοπικές κορυφές.

Για την διανυσματοποίηση των ισοϋψών καμπύλων δημιουργήθηκε σύμφωνα με τον γνωστό τρόπο αρχείο “shapefile”, δεν ακολουθήθηκε όμως ο παραπάνω τρόπος διανυσματοποίησης, λόγω του μεγάλου όγκου εργασίας που απαιτείται, δεδομένου του ότι θα γινόταν διανυσματοποίηση των καμπύλων ανά 100 m για το σύνολο της Λ.Α. καθώς επίσης και ανά 20 m για τα πρώτα 100 m.

Για την πραγματοποίηση της διανυσματοποίησης έγινε χρήση του εργαλείου του ArcMap που επιτρέπει την ημιαυτόματη διανυσματοποίηση δεδομένων. Για την χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου ήταν απαραίτητη μια αρχική επεξεργασία των εικόνων – χαρτών λόγω του ότι το συγκεκριμένο εργαλείο λειτουργεί μόνο με μονοχρωματικές εικόνες. Η αρχική επεξεργασία των χαρτών είχε ως σκοπό λοιπόν αυτό ακριβώς: την μετατροπή μιας έγχρωμης εικόνας σε μονοχρωματική που διατηρεί το επιθυμητό στοιχείο για διανυσματοποίηση.

Για την επίτευξη αυτού του σκοπού έγινε εισαγωγή στο περιβάλλον του ArcMap μόνο του ενός καναλιού απεικόνισης (από το σύστημα RGB που χρησιμοποιείται για την αναπαράσταση μιας έγχρωμης εικόνας) του κάθε χάρτη. Χρησιμοποιήθηκαν το “Band 2” όπου και οι ισοϋψείς καμπύλες διακρίνονταν ευκολότερα. Η απεικόνιση σε ένα μόνο κανάλι δεν

αρκούσε βέβαια για την σωστή λειτουργία του εργαλείου που περιγράφηκε παραπάνω. Το επόμενο στάδιο περιλάμβανε την μετατροπή της απεικόνισης της εικόνας – χάρτη από την κλίμακα του γκρι, που χρησιμοποιούνταν, σε μονοχρωματική εικόνα. Προκειμένου να απεικονίζονται μόνο οι απαραίτητες ισούψεις καμπύλες ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία μέσω του μενού *Properties* → *Symbology*:

Από τους 256 τόνους του γκρι διερευνήθηκαν με πολλαπλές δοκιμές μόνο οι τόνοι με τους οποίους απεικονίζονται οι ισούψεις καμπύλες και αντιστοιχίστηκαν στην τιμή τόνου 256, ενώ όλοι οι υπόλοιποι τόνοι αντιστοιχίστηκαν στην τιμή 0.

Μετά την παραπάνω διαδικασία κάθε εικόνα – χάρτης εμφανιζόταν στο ArcMap με δύο τρόπους:

- i. Ως η αυθεντική έγχρωμη απεικόνιση
- ii. Ως η μονοχρωματική απεικόνιση που συνθέσαμε προηγουμένως

Στο σημείο αυτό σημειώνουμε ότι δεν ήταν απαραίτητο για την σωστή χρήση του εργαλείου ημιαυτόματης διανυσματοποίησης, η ταυτόχρονη απεικόνιση τόσο της έγχρωμης όσο και της μονοχρωματικής εικόνας, αλλά κάτι τέτοιο είναι φιλικότερο στον χρήστη του προγράμματος. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι το ανθρώπινο μάτι μπορεί να διακρίνει ευκολότερα την έγχρωμη πληροφορία από την μονοχρωματική, όταν εμπλέκονται πολλαπλά δεδομένα και ασάφειες οι οποίες και δεν μπορούν να λυθούν με αυτοματοποιημένο τρόπο. Στο Παράρτημα φαίνεται ο μετασχηματισμός της εικόνας που περιγράφηκε παραπάνω.

Τελικά έγινε χρήση του εργαλείου ArcScan το οποίο και ρυθμίστηκε να διανυσματοποιεί αυτόματα την γραμμή που κάθε φορά του επισημαίνουμε (στην περίπτωση μας την επιθυμητή ισούψη καμπύλη) στην μονοχρωματική της απεικόνιση. Η αυτόματη διανυσματοποίηση σταματάει σε κάθε σημείο όπου παρατηρούνται ασάφειες, δηλαδή σε σημεία όπου οι ισούψεις καμπύλες είναι πολύ κοντά η μία με την άλλη, ή σε σημεία όπου η ισούψης καμπύλη διακόπτεται για οποιοδήποτε λόγο (είτε επειδή στον χάρτη απεικονίζεται κάποιο άλλο στοιχείο με διαφορετικό σύμβολο, όπως ένα κτίσμα, είτε επειδή έχουν απαλοιφθεί κάποια εικονοστοιχεία που συνέθεταν την απεικόνιση της ισούψους καμπύλης, κατά την διάρκεια της διαδικασίας δημιουργίας της μονοχρωματικής εικόνας που περιγράφηκε παραπάνω). Στο σημείο αυτό το εργαλείο αναζητά την καθοδήγηση του χρήστη ώστε να μπορέσει να «ξεφύγει» από τη ασάφεια και να συνεχίσει την αυτόματη διανυσματοποίηση.

Παρατηρήθηκε ότι τα σημεία τέτοιου είδους ασαφειών ήταν αρκετά και σε καμία περίπτωση η διαδικασία δεν μπορεί να αντικατασταθεί από μια απολύτως αυτοματοποιημένη διαδικασία. Παρ' όλ' αυτά, η ημιαυτοματοποιημένη διανυσματοποίηση είναι ιδιαίτερα χρηστικό εργαλείο για την εξαγωγή διανυσματικών δεδομένων από χάρτες αναλογικής μορφής.

Τέλος, δημιουργήσαμε άλλο ένα αρχείο “shapefile” τύπου “point” στο οποίο και προστέθηκαν σημεία με υψομετρική πληροφορία που απεικονίζονταν στους χάρτες της Γ.Υ.Σ.

2.3.3 Επεξεργασία διανυσματικών δεδομένων

Έχοντας όλα τα απαραίτητα δεδομένα σε ψηφιακή – διανυσματική μορφή είναι πλέον δυνατή η επεξεργασία των δεδομένων αυτών για να εξαχθούν οι πληροφορίες που αφορούν τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά της Λ.Α. καθώς και τα χαρακτηριστικά του κύριου υδατορεύματος, όπως αυτά παρουσιάζονται και αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια.

Η πληροφορία που αρχικά αναζητούσαμε ήταν το εμβαδό της Λ.Α. καθώς και αυτό που περικλείεται από τον υδροκρίτη και την κάθε ισοϋψή καμπύλη. Για την εξαγωγή της παραπάνω πληροφορίας ακολουθήθηκε η εξής διεργασία στο ArcMap:

- i. Με τη χρήση του ArcToolbox του ArcMap και συγκεκριμένα το εργαλείο *Data Management Tools* → *Features* → *Feature to Polygon* τα διανυσματικά αρχεία τύπου γραμμής μετατράπηκαν σε διανυσματικά αρχεία τύπου πολυγώνου.
- ii. Στο νέο διανυσματικό αρχείο τύπου πολυγώνου, και αφού ανοίξουμε τον πίνακα δεδομένων (*Attribute Table*) που αφορά το συγκεκριμένο αρχείο, προσθέτουμε δύο πεδία με ονομασία «EMBAΔΟΝ» και «ΠΕΡΙΜΕΤΡΟΣ» που θα εμπεριέχουν προφανώς το εμβαδόν και την περίμετρο του κάθε πολυγώνου που δημιουργήσαμε στο προηγούμενο βήμα.
- iii. Σε καθένα από τα παραπάνω πεδία επιλέγουμε “*Calculate Geometry*” από το αναδυόμενο μενού του δεξιού κλικ και επιλέγουμε ποια από τις παραπάνω μεταβλητές επιθυμούμε να περιέχει το κάθε πεδίο.

Παρόμοιες διαδικασίες ακολουθήθηκαν και σε παρακάτω στάδιο όπου δημιουργήθηκαν τα πολύγωνα Thiessen για τους μετεωρολογικούς σταθμούς που χρησιμοποιήσαμε στη μελέτη.

Αν και στο σημείο αυτό δεν γίνεται ανάλυση της σημασίας της συγκεκριμένης μεθόδου ούτε παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν, κρίνεται σκόπιμο να παρουσιαστεί το τεχνικό τμήμα της διεργασίας που αφορά την επεξεργασία με το λογισμικό του ArcMap.

Οι διαδικασία για τον υπολογισμό του εμβαδού των πολυγώνων είναι πανομοιότυπη με αυτή που περιγράφεται παραπάνω. Για την δημιουργία ωστόσο των καθεαυτό πολυγώνων έγινε χρήση του εργαλείου του ArcToolbox, *Analysis Tools* → *Proximity* → *Create Thiessen Polygons* που βέβαια είχε ως πρόσθετο δεδομένο τη θέση του κάθε μετεωρολογικού σταθμού.

2.3.4 Δημιουργία Υδρολογικός Ορθού Μοντέλου Αναγλύφου

Για την δημιουργία ενός Υδρολογικός Ορθού Μοντέλου Αναγλύφου της Λ.Α. έγινε χρήση του εργαλείου του ArcToolbox, *3D Analyst Tools* → *Raster Interpolation* → *Topo to Raster* το οποίο είχε ως στοιχεία εισόδου:

- i. Το διανυσματικό αρχείο τύπου πολυγώνου που περιγράφει τα όρια της Λ.Α. (υδροκρίτης)
- ii. Το διανυσματικό αρχείο τύπου γραμμής που περιέχει τις ισοϋψείς καμπύλες με τα υψόμετά τους
- iii. Το διανυσματικό αρχείο τύπου γραμμής που περιέχει το υδρογραφικό σύστημα της Λ.Α. (ψηφιοποιημένο κατά τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω)
- iv. Το διανυσματικό αρχείο τύπου σημείου που περιέχει τα σημεία με υψομετρική πληροφορία που εντοπίστηκαν στους χάρτες της Γ.Υ.Σ.

Για την καλύτερη οπτικοποίηση τόσο του αναγλύφου όσο και των κλίσεων που παρουσιάζονται στο σύνολο της Λ.Α. εφαρμόστηκαν οι αλγόριθμοι της εργαλειοθήκης 3D Analyst, *Hillshade* και *Slope* αντίστοιχα. Τα τελικά αποτελέσματα παρουσιάζονται σε χάρτες στο Παράρτημα.

2.4 Μορφομετρικά χαρακτηριστικά Λεκάνης Απορροής

2.4.1 Μέγεθος Λεκάνης Απορροής

Το μέγεθος της Λεκάνης Απορροής έχει σημασία αφού επηρεάζει γενικά τόσο τη συνολική απορροή στην έξοδό της, όσο και το χρόνο συγκέντρωσης της απορροής και κατά συνέπεια και το σχήμα του υδρογραφήματος (Τσακίρης, 1995). Η παραπάνω σχέση δεν είναι βέβαια γραμμική αφού τα γεωλογικά, εδαφικά και άλλα χαρακτηριστικά της λεκάνης κατά κανόνα διαφέρουν. Η σχέση που αναφέρθηκε θα ήταν γραμμική αν τα προηγούμενα χαρακτηριστικά ήταν της ίδιας κατηγορίας και επιπλέον η κατακρήμνιση ήταν ομοιόμορφη σε ολόκληρη την επιφάνεια της λεκάνης.

Η σχέση μεγέθους λεκάνης – απορροής χρειάζεται επιπλέον ιδιαίτερη προσοχή, αφού το μέγεθός της επηρεάζει όλους τους άλλους παράγοντες της λεκάνης. Πιο συγκεκριμένα, η κλίση της λεκάνης αυξάνει καθώς μειώνεται το μέγεθός της, ενώ η ειδική παροχή ($m^3/s/km^2$) μειώνεται με την αύξηση του μεγέθους της λεκάνης. Για τους λόγους αυτούς, η σχέση μέγεθος λεκάνης και απορροής δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως.

Για την εκτίμηση του μεγέθους της Λεκάνης Απορροής έγινε επεξεργασία των χαρτών της Γ.Υ.Σ. με το λογισμικό του ArcGIS, όπως αυτή περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο και τελικά υπολογίστηκε το συνολικό εμβαδόν της επιφάνειας που περικλείεται από τον υδροκρίτη.

Το μέγεθος της Λεκάνης Απορροής του ποταμού Σελινούντα με σημείο εξόδου την προεπιλεγθείσα θέση φράγματος πλησίον της Μονής Ταξιαρχών, υπολογίστηκε τελικά στα: $294.91 km^2$.

2.4.2 Σχήμα Λεκάνης Απορροής

Το σχήμα της λεκάνης απορροής επηρεάζει τον χρόνο συγκέντρωσης της απορροής και επομένως και το μέγεθος της παροχής που παρατηρείται στο στόμιο της λεκάνης (Gregory και Walling, 1983, Garg, 1987). Πιο συγκεκριμένα, επιμήκεις λεκάνες έχουν μεγαλύτερο χρόνο συγκέντρωσης από ριπιδοειδείς ή κυκλικές και, κατά συνέπεια, κάτω από ίδιες συνθήκες, οι πρώτες εμφανίζουν μικρότερες παροχές.

Το σχήμα της λεκάνης επηρεάζει επίσης την παροχή όταν η βροχή δεν καλύπτει ολόκληρη την επιφάνεια της λεκάνης αλλά μετακινείται από το ένα άκρο προς το άλλο. Για παράδειγμα, στην περίπτωση μιας ιδιαίτερα επιμήκουσ λεκάνης, ο χρόνος συγκέντρωσης είναι πολύ μεγαλύτερος όταν η βροχή κινείται από κατάντη προς ανάντη από τον χρόνο συγκέντρωσης όταν η βροχή ακολουθεί την αντίστροφη διαδρομή. Επομένως και η παρατηρούμενη παροχή είναι μικρότερη στην πρώτη περίπτωση. Αντίθετα, σε ριπιδοειδείς ή κυκλικές λεκάνες έχει παρατηρηθεί ότι η μετακίνηση της βροχής έχει σημαντικά μικρότερη επίδραση στο μέγεθος της παρατηρούμενης παροχής σε σύγκριση με μια επιμήκη λεκάνη υπό τις ίδιες συνθήκες.

Το σχήμα της λεκάνης, παρά τη σπουδαιότητα που έχει για το μέγεθος της παροχής, δύσκολα προσδιορίζεται και εκφράζεται αριθμητικά με σαφήνεια και ακρίβεια. Για το λόγω αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι δείκτες για την απόδοση του σχήματός της. Η παρουσίαση της φιλοσοφίας και της μεθοδολογίας των μεθόδων εκτίμησης των δεικτών αυτών είναι εκτός των στόχων του παρόντος συγγράμματος. Ωστόσο, εκτιμήθηκε ο δείκτης Cravelius για μια προσέγγιση του σχήματος της Λ.Α.. Ο δείκτης αυτός είναι ο λόγος της περιμέτρου P της λεκάνης απορροής με εμβαδόν A προς την περίμετρο του κύκλου με εμβαδόν A (Horton, 1932), και υπολογίζεται με βάση τον παρακάτω τύπο:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad (2.1)$$

Για την λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούντα υπολογίστηκε η τιμή 1.53.

Το συμπέρασμα που προκύπτει από την τιμή του παραπάνω δείκτη είναι ότι το σχήμα της Λ.Α. προσεγγίζει αρκετά καλά μια σχεδόν κυκλική λεκάνη ($K_c = 1$), πράγμα που συνεπάγεται την συμπεριφορά της λεκάνης όπως περιγράφηκε πιο πάνω.

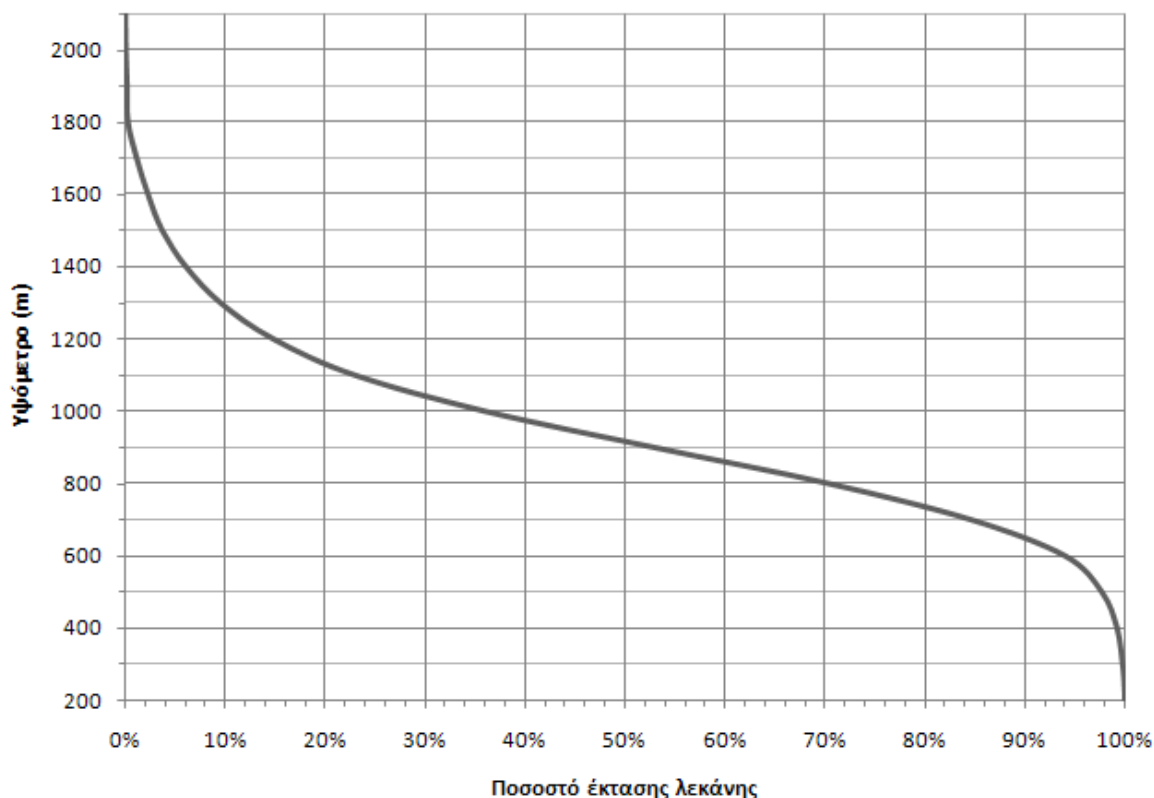
2.4.3 Υψόμετρο Λεκάνης Απορροής

Το υψόμετρο της λεκάνης απορροής έχει άμεση σχέση τόσο με τα κατακρημνίσματα που δέχεται όσο και με τις θερμοκρασίες που επικρατούν σ' αυτή (Τσακίρης, 1995). Πιο συγκεκριμένα, τα κατακρημνίσματα αυξάνουν όσο αυξάνεται το υψόμετρο της λεκάνης. Η αύξηση αυτή παρατηρείται ωστόσο έως το υψόμετρο των 2500 m περίπου ενώ, όσο ανεβαίνουμε σε μεγαλύτερα υψόμετρα, παρατηρείται ελάττωση. Αντίθετα, η θερμοκρασία μειώνεται σε κάθε περίπτωση με την αύξηση του υψομέτρου. Η άμεση σχέση του υψομέτρου της λεκάνης με τα κατακρημνίσματα που αυτή δέχεται αλλά και με τις θερμοκρασίες που επικρατούν σε αυτή επηρεάζει κατ' επέκταση και την απορροή. Είναι γεγονός ότι όσο περισσότερα είναι τα κατακρημνίσματα τόσο μεγαλύτερη είναι και η απορροή αλλά, επίσης, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία τόσο μεγαλύτερη είναι η εξάτμιση. Η θερμοκρασία καθορίζει επίσης και το ποσοστό των κατακρημνισμάτων που φθάνουν στο έδαφος υπό μορφή χιονιού, όπως επίσης και την διάρκεια παραμονής τους σε αυτό. Όλες οι παραπάνω συνθήκες επηρεάζουν σημαντικά την απορροή στην έξοδο της λεκάνης.

Από τα διάφορα υψόμετρα της λεκάνης πιο σημαντικά θεωρούνται το μέσο, η μέση τιμή, το μέγιστο και το ελάχιστο. Το ελάχιστο και το μέγιστο προσδιορίζονται εύκολα με την χρήση τοπογραφικών χαρτών ή με μετρήσεις. Για τον προσδιορισμό της μέσης τιμής του υψομέτρου είναι αναγκαία η χάραξη της υψογραφικής καμπύλης. Αυτή ορίζεται ως η καμπύλη που χαράσσεται σε σύστημα συντεταγμένων με τεταγμένη το υψόμετρο και τετμημένη το ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης που βρίσκεται πάνω από το κάθε υψόμετρο. Στη συνέχεια, η μέση τιμή του υψομέτρου, που καλείται επίσης και *διάμεσο*, λαμβάνεται από την παραπάνω καμπύλη και ισούται με εκείνη που αντιστοιχεί στο 50% της έκτασης της λεκάνης.

Στη συνέχεια, φαίνεται η υψογραφική καμπύλη της λεκάνης απορροής του ποταμού Σελινούντα:

Υψογραφική Καμπύλη



Σχήμα 2.1: Υψογραφική Καμπύλη της λεκάνης απορροής του ποταμού Σελινούντα

Παρατηρώντας την παραπάνω καμπύλη διαπιστώνουμε τα παρακάτω:

- Ελάχιστο υψόμετρο: 200 m
- Μέγιστο υψόμετρο: 2169 m
- Διάμεσο υψόμετρο: 893 m

Για τον προσδιορισμό του μέσου υψόμετρου της λεκάνης απαιτείται η διαίρεση της λεκάνης σε υποπεριοχές και ο υπολογισμός του μέσου υψόμετρου καθεμιάς από αυτές. Στην περίπτωση μας, ως τέτοιες περιοχές λήφθηκαν αυτές που περιλαμβάνονται ανάμεσα σε δυο διαδοχικές ισοϋψείς καμπύλες και το μέσο υψόμετρο των υποπεριοχών αυτών είναι ο μέσος όρος των υψόμετρων των δυο καμπύλων. Στη συνέχεια, το μέσο υψόμετρο της λεκάνης υπολογίζεται με βάση τον τύπο:

$$z_m = \frac{\sum (z_i A_i)}{\sum A_i} \quad (2.2)$$

όπου:

z_m : το μέσο υψόμετρο της λεκάνης

z_i : το μέσο υψόμετρο της κάθε υποπεριοχής

A_i : το εμβαδόν της κάθε υποπεριοχής

Τελικά το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής του ποταμού Σελινούντα υπολογίσθηκε: 947 m.

2.4.4 Ανάγλυφο και Κλίσεις Εδάφους της Λεκάνης Απορροής

Το ανάγλυφο της λεκάνης απορροής και οι κλίσεις των διαφόρων επιφανειών της επηρεάζουν σημαντικά τις διεργασίες βροχής – απορροής. Πιο συγκεκριμένα, σε λεκάνες με ομαλό ανάγλυφο και μεγάλες κλίσεις, ο χρόνος συγκέντρωσης του περισσέυματος βροχής είναι μικρός και κατά συνέπεια και η πιθανότητα διήθησης μειώνεται σημαντικά. Έτσι, τα υδρογραφήματα στο στόμιο της λεκάνης χαρακτηρίζονται από μικρή χρονική βάση, απότομες καμπύλες ανόδου και καθόδου και υψηλές πλημμυρικές αιχμές. Ακόμα, ομαλό ανάγλυφο και μεγάλες κλίσεις των λεκανών συντελούν στην αύξηση των φερτών υλικών στο στόμιό τους (Chorley, 1979), ενώ τα αντίθετα χαρακτηριστικά από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω παρατηρούνται στα υδρογραφήματα λεκανών με ομαλό ανάγλυφο και μικρές κλίσεις.

Η έκφραση του αναγλύφου και των κλίσεων της λεκάνης παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες που απορρέουν από την επιδίωξη έκφρασης τρισδιάστατων μεταβολών με απλούς δείκτες. Προς την κατεύθυνση αυτή έγιναν πολλές προσπάθειες και σήμερα τα χαρακτηριστικά αυτά των λεκανών εκφράζονται με απλούς δείκτες, με συνδυασμένους δείκτες, καθώς και με επιλεγμένες μετρήσεις των κλίσεων.

Από αυτούς, οι απλοί δείκτες χρησιμοποιούνται κυρίως για την εκτίμηση της μέσης κλίσης και ο βαθμός αναγλύφου R_h για την έκφραση του αναγλύφου της. Όμως, κανένας από τους τρόπους που αναφέρθηκαν δεν καταδεικνύει την κατανομή του αναγλύφου και των κλίσεων στην επιφάνεια της λεκάνης. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι κατανομής των χαρακτηριστικών αυτών και μία από αυτές είναι η κατασκευή ειδικών χαρτών που προέρχονται από τους αντίστοιχους τοπογραφικούς.

Για την αναπαράσταση του αναγλύφου και των κλίσεων της λεκάνης απορροής του ποταμού Σελινούντα επιλέχθηκε να μην γίνει χρήση κάποιου από τους παραπάνω δείκτες αλλά να δημιουργηθεί ένας χάρτης κλίσεων και ένας χάρτης αναπαράστασης του πραγματικού αναγλύφου (βλ. Παράρτημα Β). Η διαδικασία παραγωγής ενός τέτοιου είδους χάρτη έγινε με το λογισμικό ArcGIS όπως αυτή περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο.

2.5 Χαρακτηριστικά Κύριου Υδατορεύματος

Τα χαρακτηριστικά του κύριου υδατορεύματος της λεκάνης απορροής που παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για διερεύνηση είναι το συνολικό μήκος και η κλίση του. Αυτά τα χαρακτηριστικά ουσιαστικά καθορίζουν το χρόνο που απαιτείται για να φθάσει η απορροή στο στόμιο της λεκάνης.

Το συνολικό μήκος του κύριου υδατορεύματος υπολογίστηκε μέσω του λογισμικού ArcGIS $L = 32555.85$ m.

Η μέση τιμή της κλίσης του υδατορεύματος δίνεται από τον τύπο:

$$I_m = \frac{\Delta H}{L} = \frac{1300 - 200}{32555.85} = 0.03 = 3\% \quad (2.3)$$

όπου:

I_m : η μέση κλίση του υδατορεύματος

ΔH : η υψομετρική διαφορά του σημείου με το μεγαλύτερο υψόμετρο από αυτό με το μικρότερο

L : το συνολικό μήκος του υδατορεύματος

2.6 Γεωλογικοί Σχηματισμοί

Για την δημιουργία μιας ολοκληρωμένης εικόνας για την μορφολογία της λεκάνης απορροής του ποταμού δεν θα μπορούσε να λείπει μια εκτίμηση του τύπου των πετρωμάτων που επικρατούν στην περιοχή. Κάτι τέτοιο είναι απαραίτητο για τον ορθό υπολογισμό της απορροής στο στόμιο της λεκάνης καθώς το είδος του εδάφους πάνω στο οποίο κινείται ο ποταμός καθορίζει ουσιαστικά τον ρυθμό διήθησης του νερού. Για τον σκοπό αυτό, έγινε χρήση χαρτών του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ). Τα αποτελέσματα φαίνονται στο παρακάτω εδάφιο.

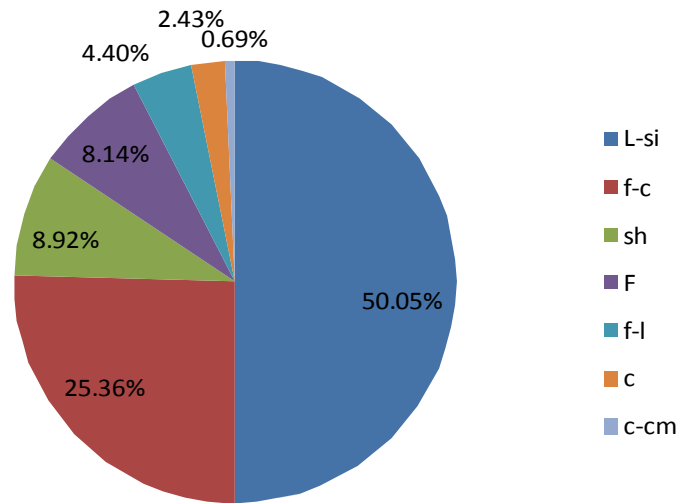
Ο χάρτης που χρησιμοποιήθηκε για την διερεύνηση του είδους των πετρωμάτων και γενικότερα του εδάφους που βρίσκεται εντός των ορίων της λεκάνης απορροής του ποταμού Σελινούντα, ήταν ο χάρτης του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:500.000 με τίτλο «Γεωτεχνικός χάρτης της Ελλάδος». Στον χάρτη αυτόν απεικονίζονταν, για όλο τον ελλαδικό χώρο, διάφορες κατηγορίες εδαφών ομαδοποιημένες με βάση τα φυσικά και μηχανικά τους χαρακτηριστικά. Οι ομάδες που απαντώνται στην Λ.Α. διευκρινίστηκαν και πάλι με το λογισμικό ArcGIS στο οποίο και ο παραπάνω χάρτης γεωαναφέρθηκε με τρόπο ανάλογο με αυτόν που αναφέρθηκε για τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. σε παραπάνω κεφάλαιο.

Τελικά οι ομάδες των εδαφών που βρίσκονται στην Λ.Α. του ποταμού Σελινούντα, σύμφωνα με την παραπάνω κατηγοριοποίηση, φαίνονται παρακάτω μαζί με τα είδη που απαρτίζουν την κάθε ομάδα και μια μικρή περιγραφή των χαρακτηριστικών τους, όπως επίσης και την ποσοστιαία κατανομή τους στην έκταση της Λ.Α.

Πίνακας ...: Κατανομή Γεωλογικών σχηματισμών

Σχηματισμός	Ποσοστό
L-si	50.05%
f-c	25.36%
sh	8.92%
F	8.14%
f-l	4.40%
c	2.43%
c-cm	0.69%

Κατανομή Γεωλογικών Σχηματισμών



Σχήμα 2.2: Κατανομή Γεωλογικών Σχηματισμών

Στη συνέχεια παρουσιάζεται το αναλυτικό υπόμνημα των γεωλογικών σχηματισμών με τις ιδιότητές τους:

L-si: Ασβεστόλιθοι με κονδύλους και φακούς πυριτόλιθων

Είναι πελαγικοί, λεπτό – μεσοπλακώδεις συχνά μικρολατυποπαγείς με κονδύλους ή φακοειδείς ενστρώσεις πυριτόλιθων και τοπικές παρεμβολές μικρού πάχους αργιλικών σχιστόλιθων. Το πάχος τους είναι συνήθως μικρό και η επιφανειακή τους ανάπτυξη περιορισμένη. Πτυχωμένοι και κατά θέσεις πολυπτυχωμένοι, από την επίδραση ισχυρών εφαπτομενικών τεκτονικών πιέσεων. Τα φυσικά χαρακτηριστικά κυμαίνονται στο εύρος τιμών που ισχύουν για τους αμιγείς ασβεστόλιθους, ενώ τα μηχανικά χαρακτηριστικά των επιμέρους λιθολογικών φάσεων διαφοροποιούνται ανάλογα με την ειδικότερη λιθολογική σύσταση (ασβεστόλιθοι – κερατόλιθοι – σχιστόλιθοι, κλπ.). Συνεπώς η συμπεριφορά της βραχώμαζας παρουσιάζει χαρακτηριστική ανομοιομορφία και ανισοτροπία και ελέγχεται σε σημαντικό βαθμό από την πυκνότητα των κερατολιθικών και σχιστολιθικών ενστρώσεων, πέραν των άλλων παραγόντων που αναφέρονται στα συνήθη ασβεστολιθικά στρώματα. Γενικότερα, η αυξημένη πυκνότητα των ασυνεχειών (στρώσεις, διαρρήξεις) και οι ετερογενείς επαφές, υποβιβάζουν τη διατμητική (κυρίως) αντοχή και με τη συνδρομή άλλων παραγόντων ενισχύουν την αστάθεια σε πρηνή με ισχυρή κλίση, με αποτέλεσμα να απαιτείται η διαμόρφωση ηπιότερων κλίσεων στα πρηνή σε περιπτώσεις διατάραξης της φυσικής ισορροπίας. Η παρουσία των κερατολιθικών – σχιστολιθικών ενστρώσεων περιορίζει σημαντικά το πεδίο χρήσεων του λιθολογικού σχηματισμού (τσιμέντα, αδρανή, κλπ.).

Στους σχηματισμούς αυτούς στην Δυτική Ελλάδα έχουν σημειωθεί εκτεταμένες κατολισθητικές κινήσεις (ζώνη Πίνδου).

f-c: Νεογενείς αποθέσεις, μικτών φάσεων

Είναι άργιλοι, άμμοι, μάργες, ψαμμίτες κροκαλοπαγή και μαργαϊκοί ασβεστόλιθοι σε ενστρώσεις μικρού πάχους. Πρόκειται για θαλάσσιες, λιμνοθαλάσσιες – λιμναίες αποθέσεις, πάχους μέχρι πολλών εκατοντάδων μέτρων.

Η υδροπερατότητα των σχηματισμών αυτών ποικίλει ανάλογα με τη σύσταση και την αλληλουχία των επί μέρους οριζόντων και συχνά οδηγεί στη δημιουργία ελεύθερων ή υπό πίεση υδροφόρων οριζόντων τοπικής σημασίας. Οι λεπτομερές ορίζοντες δίνουν παχύ μανδύα με συχνή εκδήλωση επιφανειών θραύσεων και ολισθήσεων. Γενικά οι σχηματισμοί αυτοί δεν παρουσιάζουν μεγάλης έκτασης και σοβαρότητας κατολισθητικά φαινόμενα.

Η ετερογένεια των σχηματισμών (σε μακροκλίμακα), και κυρίως οι πλευρικές εξελίξεις και αποσφηνώσεις των οριζόντων, συντελούν στην ανομοιόμορφη και ανισότροπη συμπεριφορά αυτών στο σύνολό τους και την ταχεία μεταβολή των μηχανικών χαρακτηριστικών στους επί μέρους ορίζοντες τόσο στην πλευρική όσο και στην κατακόρυφη ανάπτυξη. Έτσι, η συνοχή ποικίλει σε ευρύτατα όρια σε συνάρτηση με ορισμένους πρωτογενείς (αρχική λιθολογική σύσταση, διαγένεση, φύση συνδετικού υλικού, κοκκομετρία), αλλά και δευτερογενείς (εξαλλοίωση, αποσάθρωση) παράγοντες.

Οι ψαμμίτες και τα κροκαλοπαγή χαρακτηρίζονται, γενικά (σε υγιή κατάσταση), από υψηλές τιμές συνοχής και διατμητικής αντοχής.

sh: Αργιλικό σχιστόλιθοι και κερατόλιθοι

Αποτελούνται από λεπτές εναλλαγές κυρίως κερατόλιθων και αργιλικών σχιστόλιθων με αραιές ενστρώσεις κατά θέσεις ασβεστόλιθων και ψαμμιτών. Έντονα κερματισμένοι και πολυπτυχωμένοι, με πάχος συνήθως μέχρι λίγων εκατοντάδων μέτρων και χαμηλή έως μέτρια υδροπερατότητα.

Παρουσιάζουν χαρακτηριστικές μορφές πλαστικής παραμόρφωσης των στρωμάτων από την άσκηση ισχυρών οριζόντιων τεκτονικών πιέσεων. Τα ανώτερα (επιφανειακά) στρώματα είναι συνήθως έντονα αποσπασμένα (μανδύας σημαντικού πάχους) και χαλαρωμένα, συχνά μέχρι σημαντικού βάθους και για την εξόρυξή τους δεν απαιτούν τη χρήση εκρηκτικών. Η χαλάρωση είναι δευτερογενής και συνδέεται κυρίως με την πυκνότερη διάρρηξη, τη λεπτοστρωματώδη δομή, την τεκτονική καταπόνηση και τη δράση του νερού και των αποσπαστικών παραγόντων. Χαρακτηριστικές είναι οι χαμηλές τιμές V_p που έχουν μετρηθεί στους ανώτερους ορίζοντες (1000 – 1200 m/s). Πηγές μικρής παροχής εκδηλώνονται μεταξύ μανδύα και μητρικού πετρώματος.

Τα φυσικά πρηνή υπόκεινται σε ευχερή διάβρωση, ενώ τα τεχνητά πρηνή απαιτούν ηπιότερες κλίσεις ευστάθειας ή αντιστήριξη. Η μηχανική συμπεριφορά της βραχώμαζας στα πρηνή χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλή διατμητική αντοχή, η αντοχή όμως σε θλίψη είναι ικανοποιητική σε περιοχές με ήπιες κλίσεις. Κατολισθητικά φαινόμενα μικρού συνήθως βάθους εκδηλώνονται κυρίως στον παχύ μανδύα και τη ζώνη κερματισμού του σχηματισμού.

F: Φλύσχης, αδιαίρετος

Είναι εναλλαγές κυρίως ιλύδιθων και ψαμμιτών. Με μικρότερη συχνότητα συμμετέχουν επίσης και κροκαλοπαγή και ανδιάμεσοι λιθολογικοί τύποι, ενώ σπανιότερα παρεμβάλλονται ασβεστικοί σχιστόλιθοι και ασβεστόλιθοι. Πρόκειται για θαλάσσια ιζήματα, πάχους κατά θέσεις μεγαλύτερου από 2000 m. Σχηματισμός συνήθως λεπτοστρωματώδης, συχνά όμως με ψαμμιτικούς πάγους 0.5-1 m. Τα στρώματα παρουσιάζουν έντονα ίχνη τεκτονικών παραμορφώσεων (πτυχές, στολιδώσεις, αναστροφές, διαρρήξεις και κερματισμός). Σε μακροκλίμακα, είναι σχηματισμός στεγανός επιτρέπει την εκδήλωση μικροπηγών, συνήθως μεταξύ κερματισμένου πετρώματος ή μανδύα αποσάθρωσης και υγιούς πετρώματος. Τα επιφανειακά στρώματα εμφανίζουν κατά κανόνα μέτρια – ισχυρή αποσάθρωση και πυκνό δίκτυο ασυνεχειών (επίπεδα στρώσεως και διακλάσεων), που προκαλούν έντονη δευτερογενή χαλάρωση. Καλύπτει εκτεταμένες περιοχές ιδιαίτερα στην Δυτική Ελλάδα και συνήθως δίνει

μανδύα αποσάθρωσης κυμαινόμενου πάχους. Κατολισθητικά φαινόμενα εκδηλώνονται με ιδιαίτερη συχνότητα, συνήθως όμως επηρεάζουν τον μανδύα και την ανώτερη ζώνη κερματισμού των στρωμάτων. Χαρακτηρίζεται συχνά από έκδηλη αστάθεια, που συνδέεται κυρίως με τις συχνές ετερογενείς επαφές των στρωμάτων και τις ισχυρές κλίσεις αυτών, σε συνδυασμό με το έντονο ανάγλυφο των περιοχών εξάπλωσης και τη δράση του νερού. Εμφανίζει έτσι προβλήματα στη θεμελίωση τεχνικών έργων, κυρίως στην οδοποιία, που παρουσιάζονται συνηθέστερα ως προβλήματα διατμητικών αντοχών. Η μηχανική συμπεριφορά γενικότερα, παρουσιάζει σαφή ανισοτροπία και ταχείες μεταβολές που ελέγχονται από το βαθμό χαλάρωσης των στρωμάτων (αποσάθρωση – κερματισμός), τον προσανατολισμό των ασυνεχειών, την κλίση του πρσανούς καθώς και τη δράση του νερού.

f-I: Τεταρτογενή χαλαρά, με επικράτηση των λεπτομερών

Είναι ιλύες, άργιλοι και πηλοί με κυμαινόμενο κατά θέσεις, συνήθως μικρό, ποσοστό άμμων, ψηφίδων και χαλίκων. Πρόκειται για αποθέσεις παράκτιων περιοχών ή εσωτερικών λεκανών με κυμαινόμενη επιφανειακή ανάπτυξη. Παρουσιάζουν ασθενή συνεκτικότητα, χαμηλή έως μέτρια υδροπερατότητα και πάχος με ευρύτατη κύμανση (από 1 m μέχρι και άνω των 100 m).

Η συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά (φυσικά και μηχανικά) κυμαίνονται σε ευρέα όρια, ανάλογα με την κοκκομετρική και ορυκτολογική σύσταση, συνήθεις είναι όμως οι καθιζήσεις και διογκώσεις μικρής κλίμακας.

c: Νεογενή, αδρομερή

Είναι ψαμμίτες, ψηφίτοπαγή και κροκαλοπαγή με αδρομερή στοιχεία διαφορετικής προέλευσης και κυμαινόμενου μεγέθους και συνδεδετικό υλικό ποικίλης σύστασης. Ποταμοχερσαίες έως λιμνοθαλάσσιες αποθέσεις με πάχος που υπερβαίνει κατά θέσεις τα 800 m. Συχνά αποτελούν ορίζοντα που επικαλύπτει τη λεπτομερή φάση των Νεογενών και στην περίπτωση αυτή οι δημιουργούμενες υδρογεωλογικές συνθήκες επηρεάζουν άμεσα τις συνθήκες κατά μήκος της επαφής και γενικότερα της συμπεριφοράς του σχηματισμού. Γενικά, η λιθοστρωματογραφική τους διάταξη έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία συχνά πλούσιων υδροφόρων οριζόντων και την εκδήλωση πηγών επαφής μέτριας έως υψηλής παροχής.

Επίσης η διάρρηξη και οι συχνές υποσκαφές κατά μήκος της ετερογενούς επαφής με την υποκείμενη λεπτομερή φάση ευνοούν την εκδήλωση χαλαρώσεων, αποκολλήσεων καταπτώσεων και σπανιότερα μεταθετικών ολισθήσεων. Σε υγιή κατάσταση του συνδεδετικού υλικού, θεωρούνται γενικά πολύ συνεκτικοί σχηματισμοί και παρουσιάζουν ικανοποιητική συμπεριφορά στην κατασκευή τεχνικών έργων, με την επιφύλαξη των ανωτέρω περιπτώσεων.

c-cm: Τεταρτογενή συνεκτικά, αδρομερή

Είναι άμμοι, ψηφίδες, χάλικες και κροκάλες σε κυμαινόμενα ποσοστά μέτρια έως ισχυρά συγκολλημένα με ασβεστομαργαϊκό ή ασβεστοψαμμιτικό συνδεδετικό υλικό. Η τοπικά ασθενής συγκόλληση είναι σπάνια πρωτογενής, κυρίως είναι δευτερογενής λόγω αποσάθρωσης. Απαντούν σαν παλαιές χερσαίες αποθέσεις αναβαθμίδων, παλαιοί κώνοι κορημάτων και ριπίδια χειμάρρων. Το πάχος τους κυμαίνεται ευρύτατα (από μερικά μέτρα μέχρι πολλές δεκάδες μέτρων) και εμφανίζουν συχνά κατά θέσεις ψευδόστρωση. Παρουσιάζουν μέτρια έως υψηλή υδροπερατότητα και συνήθως δημιουργούν υδροφόρους ορίζοντες που εκφορτίζονται γρήγορα πλευρικά. Χαρακτηρίζονται από ικανοποιητική φέρουσα ικανότητα και καλή γενικά μηχανική συμπεριφορά, που εξαρτάται όμως σε σημαντικό βαθμό από το βαθμό συγκόλλησης, το πάχος και τη φυσική κατάσταση του σχηματισμού. Είναι επιδεκτικά

υπόγειας διάβρωσης (κατά μήκος ετερογενών επαφών προς υποκείμενους στεγανούς σχηματισμούς) και υποσκαφών.

3 Ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα

3.1 Εισαγωγή

Το σημαντικότερο στοιχείο πάνω στο οποίο βασίστηκε η ανάλυση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όπως βέβαια και οποιαδήποτε άλλη μελέτη που σχετίζεται με υδρολογικά χαρακτηριστικά, ήταν οι μετρήσεις των κατακρημνισμάτων και ιδιαίτερα της βροχής στην γύρω περιοχή.

3.2 Μετρήσεις ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων

Για την μελέτη των κατακρημνισμάτων αναζητήθηκαν δεδομένα καταγραφής αυτών από διάφορες υπηρεσίες που διατηρούν βροχομετρικούς σταθμούς στην Ελλάδα. Τελικά στοιχεία συλλέχθηκαν από τις εξής υπηρεσίες:

- i. Υπουργείο Περιβάλλοντος Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.)
- ii. Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.)
- iii. Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (Δ.Ε.Η.)
- iv. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, πρώην Γεωργίας (ΥΠ.ΓΕ.)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται επιγραμματικά τα δεδομένα που διατέθηκαν από καθεμία από τις παραπάνω υπηρεσίες.

3.2.1 Δεδομένα Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε.

Το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. παρείχε τον μεγαλύτερο όγκο μετρήσεων κατακρημνισμάτων όπως επίσης και άλλων στοιχείων όπως μετρήσεις θερμοκρασίας αέρα και απόλυτης και σχετικής υγρασίας. Αναλυτικά, τα δεδομένα που λήφθηκαν ήταν:

- I. Μετεωρολογικός Σταθμός Αιγίου
 - i. Βροχοπτώσεις ημερήσιας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/3/1978 – 31/8/2004
 - ii. Χιονοπτώσεις ημερήσιας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/3/1978 – 30/6/1978
 - iii. Εκτιμημένη εξάτμιση ημερήσιας χρονικής βάσης για την περίοδο 21/5/1978 – 30/6/1997
 - iv. Απόλυτη Υγρασία ημερήσιας χρονικής βάσης για την περίοδο 9/2/1992 – 30/6/1997
 - v. Σχετική Υγρασία ημερήσιας χρονικής βάσης για την περίοδο 9/2/1992 – 30/6/1997
 - vi. Διαδρομή Ανέμου ημερήσιας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/3/1978 – 22/2/1988

- vii. Διεύθυνση Ανέμου ημερήσιας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/3/1978 – 30/6/1997
- viii. Μέση Θερμοκρασία αέρα ημερήσιας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/7/1978 – 30/6/1997
- ix. Μέγιστη Θερμοκρασία αέρα ημερήσιας χρονικής βάσης για την ίδια περίοδο
- x. Ελάχιστη Θερμοκρασία αέρα ημερήσιας χρονικής βάσης για την ίδια περίοδο

II. Μετεωρολογικός Σταθμός Δροσάτου

- i. Βροχοπτώσεις ημερήσιας χρονικής βάσης για την περίοδο 7/5/1957 – 31/8/2004
- ii. Χιονοπτώσεις ημερήσιας χρονικής βάσης για την 7/5/1957 - 31/5/1998
- iii. Διεύθυνση Ανέμου ημερήσιας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/1/1967 – 31/5/1998

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα χιονοπτώσεων και των δυο σταθμών δεν λήφθηκαν τελικά υπόψη στην μελέτη των κατακρημνισμάτων και την σχέση τους με την απορροή. Ο λόγος ήταν ότι τα δεδομένα ήταν ιδιαίτερος ελλιπή και η περαιτέρω ανάλυση τους θα έκανε τους υπολογισμούς και τις σχετικές αναγωγές πιο δύσκολες, ενώ, παράλληλα, δεν θα βελτιώνε σημαντικά την αξιοπιστία της μελέτης.

3.2.2 Δεδομένα Ε.Μ.Υ.

Η Ε.Μ.Υ. παρείχε δεδομένα βροχοπτώσεων και θερμοκρασιών όπως επίσης και δεδομένα για την διάρκεια της ηλιοφάνειας. Για τα τελευταία ήταν η μοναδική πηγή που μπορούσε να παρέχει τέτοιου είδους δεδομένα. Αναλυτικά, αυτά παρουσιάζονται όλα στη συνέχεια:

I. Μετεωρολογικός Σταθμός Αιγίου

- i. Βροχοπτώσεις μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/1932 – 3/2007 (σχετικά συνεχή δεδομένα ήταν αυτά μετά τον 1/1973)
- ii. Μέση Θερμοκρασία αέρα μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/1974 – 12/1997
- iii. Μέση Σχετική Υγρασία μηνιαίας χρονικής βάσης για την ίδια περίοδο

II. Μετεωρολογικός Σταθμός Καλαβρύτων

- i. Βροχοπτώσεις μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/1932 – 12/1998
- ii. Μέση Θερμοκρασία αέρα μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/1975 – 12/1997
- iii. Μέση Σχετική Υγρασία μηνιαίας χρονικής βάσης για την ίδια περίοδο

III. Μετεωρολογικός Σταθμός Αράξου

- i. Βροχοπτώσεις μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/1948 – 12/2008
- ii. Μέση Θερμοκρασία αέρα μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/1955 – 12/2001
- iii. Μέση Σχετική Υγρασία μηνιαίας χρονικής βάσης για την ίδια περίοδο
- iv. Ηλιοφάνεια μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/1977 – 12/2003

IV. Μετεωρολογικός Σταθμός Βέλου

- i. Βροχοπτώσεις μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 12/1987 – 12/2008
- ii. Μέση Θερμοκρασία αέρα μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 12/1987 – 12/2001
- iii. Μέση Σχετική Υγρασία μηνιαίας χρονικής βάσης για την ίδια περίοδο
- iv. Ηλιοφάνεια μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 12/1987 – 12/2003

V. Μετεωρολογικός Σταθμός Ανδραβίδας

- i. Διαδρομή Ανέμου μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/1977 – 12/1992

Από τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν μόνο αυτά που παρείχαν πληροφορία για την ηλιοφάνεια (σταθμοί Αράξου και Βέλου) καθώς και την θερμοκρασία αέρα (σταθμοί Αιγίου και Καλαβρύτων).

Τα υπόλοιπα δεδομένα δεν χρησιμοποιήθηκαν για διαφορετικούς κάθε φορά λόγους. Οι παρεχόμενες βροχοπτώσεις για τον σταθμό του Αιγίου που παρέχονταν από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. δεν επέκτειναν πολύ την χρονοσειρά των βροχοπτώσεων για την ίδια περιοχή. Προτιμήθηκαν για τον επιπλέον λόγο της μεγαλύτερης λεπτομέρειας που παρείχαν (λόγω του ημερήσιου χρονικού βήματος). Επίσης, ο σταθμός των Καλαβρύτων υπολογίστηκε ότι έχει πολύ μικρή επιρροή στις βροχοπτώσεις που παραλαμβάνει η Λ.Α. και, γι' αυτό, δεν χρησιμοποιήθηκε. Τέλος, οι βροχοπτώσεις των σταθμών του Αράξου και του Βέλου δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να συσχετιστούν με την μελετώμενη Λ.Α. και, γι' αυτό, δεν συμπεριλήφθησαν σε κανέναν από τους υπολογισμούς και επεξεργασίες για τις βροχοπτώσεις.

3.2.3 Δεδομένα Δ.Ε.Η.

Η Δ.Ε.Η. κατέχει το πληρέστερο δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της βόρειας Πελοποννήσου και με δεδομένα αυξημένης αξιοπιστίας. Ωστόσο, η υπηρεσία δεν μπόρεσε να μας παρέχει μεγάλο αριθμό σταθμών και μετρήσεων. Οι σταθμοί βέβαια που τελικά παρείχε ήταν «στρατηγικής σημασίας» για την δημιουργία ενός πιο ρεαλιστικού μοντέλου για την αναπαράσταση των βροχοπτώσεων στην Λ.Α.. Αναλυτικά, τα παρεχόμενα στοιχεία φαίνονται παρακάτω:

I. Μετεωρολογικός Σταθμός Κάτω Βλασίας

- i. Βροχόπτωση μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 6/1974 – 9/2007

II. Μετεωρολογικός Σταθμός Λεοντίου

- i. Βροχόπτωση μηνιαίας χρονικής βάσης για την περίοδο 12/1974 – 9/2007

III. Μετεωρολογικός Σταθμός Μελισσίων

- i. Μέγιστη Θερμοκρασία αέρα ημερήσιας χρονικής βάσης για την περίοδο 1/10/1996 – 31/3/2007
- ii. Ελάχιστη Θερμοκρασία αέρα ημερήσιας χρονικής βάσης για την ίδια περίοδο

3.2.4 Δεδομένα ΥΠ.ΓΕ.

Τα δεδομένα που παρείχε το ΥΠ.ΓΕ. ήταν πενιχρά σε όγκο καθώς η υπηρεσία διατηρεί μικρό αριθμό μετεωρολογικών σταθμών πανελλαδικά. Συγκεκριμένα, για την περιοχή της βόρειας

Πελοποννήσου, τα δεδομένα που ενδεικτικά αναφέρονται παρακάτω προήλθαν από μια προσπάθεια ίδρυσης ενός μετεωρολογικού σταθμού στην περιοχή, προφανώς για να καλύψει τις ανάγκες κάποιου τεχνικού έργου της περιοχής κατά την καλυπτόμενη περίοδο, που όμως ποτέ δεν συνεχίστηκε μετά την λήξη του. Τα δεδομένα αυτά δεν χρησιμοποιήθηκαν σε κανέναν από τους υπολογισμούς που περιλαμβάνει η παρούσα διπλωματική εργασία.

3.3 Έλεγχος ομογένειας

3.3.1 Γενικά

Πριν από την ανάλυση των βροχομετρικών δεδομένων ενός σταθμού πρέπει πρώτα να ελεγχθεί η ποιότητα και η πληρότητα των δεδομένων αυτών. Για τον έλεγχο της ποιότητας των παρατηρήσεων, εκτός των άλλων «λογικών» ελέγχων, γίνεται και ο έλεγχος ομογένειας των παρατηρήσεων. Ελέγχεται δηλαδή κατά πόσο το σύνολο των παρατηρήσεων προέκυψε με τις ίδιες συνθήκες μετρήσεως. Η αλλαγή της θέσης του οργάνου, η αντικατάσταση του οργάνου, και η αλλαγή του παρατηρητή οδηγούν συνήθως σε μη ομογενή δεδομένα.

Ο έλεγχος της ομογένειας των δεδομένων ενός σταθμού γίνεται με τη σύγκρισή του με ομάδα γειτονικών σταθμών (των οποίων έχει ελεγχθεί η ομογένεια) που αποτελούν τους σταθμούς βάσης. Η μέθοδος είναι γνωστή ως μέθοδος της διπλής αθροιστικής καμπύλης.

Για την κατάρτιση της Διπλής Αθροιστικής Καμπύλης υπολογίζονται για κάθε σταθμό τα αθροίσματα:

$$\sum X_{i+1} = \sum X_i + X_{i+1} \quad (3.1)$$

όπου:

X_i : το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης του σταθμού το υδρολογικό έτος i

i : τάξη του νεότερου στοιχείου

$i+1$: τάξη του παλαιότερου κατά 1 έτος στοιχείου

Στη συνέχεια, επιλέγεται ο σταθμός βάσης και ο εξεταζόμενος σταθμός και παρουσιάζονται σε κοινό σύστημα αξόνων με τις τιμές του σταθμού βάσης στον άξονα των τετμημένων και τις τιμές του εξεταζόμενου σταθμού στον άξονα των τεταγμένων.

Σύμφωνα με την μέθοδο ελέγχονται τα ετήσια ύψη βροχής ενώ, στη συνέχεια, μπορούν να ληφθούν αποτελέσματα και για τα μηνιαία ύψη βροχής. Αναγκαία προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθόδου είναι ο υψηλός βαθμός γραμμικής συσχέτισης μεταξύ του σταθμού που εξετάζεται και του σταθμού βάσης.

Για να προσδιοριστεί αν τα δεδομένα είναι ομογενή υπολογίζεται ο συντελεστής R^2 σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]} \quad (3.2)$$

όπου: x και y αναφέρονται στα ετήσια βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού βάσης και του εξεταζόμενου σταθμού αντίστοιχα.

Όσο πλησιέστερα στην μονάδα είναι η τιμή του παραπάνω συντελεστή τόσο πιο ομογενή είναι τα εξεταζόμενα δεδομένα.

Σε πολλές περιπτώσεις παρατηρείται στην διπλή αθροιστική καμπύλη μία ή περισσότερες θλάσεις που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες ημερομηνίες. Οι ημερομηνίες αυτές σηματοδοτούν την αλλαγή των συνθηκών μέτρησης.

Για τη διόρθωση των ετήσιων βροχομετρικών υψών συνήθως θεωρούνται αξιόπιστες οι πιο πρόσφατες μετρήσεις και η διόρθωση γίνεται στο παλαιότερο υποσύνολο έτσι ώστε τα τελικά δεδομένα να είναι ανάλογα με αυτά που θα εμφανίζονταν αν δεν είχαν αλλάξει οι συνθήκες μέτρησης. Η διόρθωση γίνεται με πολλαπλασιασμό επί ένα συντελεστή αναγωγής που προκύπτει ως ο λόγος των κλίσεων των δύο ευθύγραμμων τμημάτων της διπλής αθροιστικής καμπύλης. Ο συντελεστής αυτός δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\alpha = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (3.3)$$

όπου:

α : ο συντελεστής αναγωγής

λ_1 : η κλίση του νεότερου τμήματος της διπλής αθροιστικής καμπύλης

λ_2 : η κλίση του παλαιότερου τμήματος της διπλής αθροιστικής καμπύλης

Για την επιλογή του καταλληλότερου σταθμού βάσης όταν δεν υπάρχουν δεδομένα για το αν κάποιος σταθμός έχει ελεγχθεί για την ομοιογένειά του, όπως στην περίπτωση μας, υπολογίζεται αρχικά ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης ανά δύο σταθμούς σύμφωνα με τον τύπο:

$$\hat{\rho} = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \right]}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}} \quad (3.4)$$

όπου: x και y αναφέρονται στα ετήσια βροχομετρικά δεδομένα του σταθμού βάσης και του εξεταζόμενου σταθμού αντίστοιχα.

3.3.2 Εφαρμογή στη λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούντα

Στην λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούντα επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν οι παρακάτω σταθμοί, σύμφωνα με την επιρροή που ασκούν στην λεκάνη με βάση τα πολύγωνα Thiessen (η μεθοδολογία αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο):

1. Σταθμός Αιγίου
2. Σταθμός Δροσάτου
3. Σταθμός Λεοντίου
4. Σταθμός Κάτω Βλασίας

Για τους σταθμούς αυτούς υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης, σύμφωνα με τον παραπάνω τύπο και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3.1: Συντελεστές συσχέτισης των βροχομετρικών παρατηρήσεων

	Λεόντιο	Αίγιο	Δροσάτο	Κ. Βλασία
Λεόντιο	1	0.69636	0.491086	0.493297
Αίγιο	0.69636	1	0.880959	0.702012
Δροσάτο	0.491086	0.880959	1	0.779921
Κ. Βλασία	0.493297	0.702012	0.779921	1

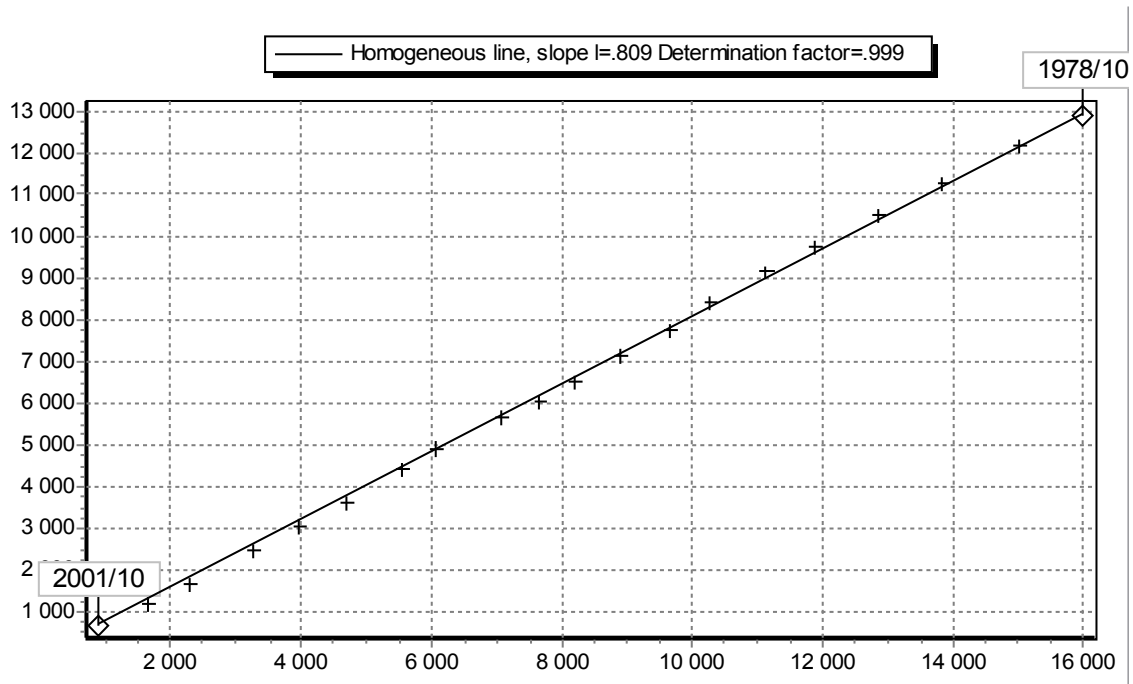
Όλοι οι παραπάνω συντελεστές είναι μεγαλύτερη από τον μέγιστο συντελεστή ρ_c , ο οποίος και υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο:

$$\rho_c = \frac{2}{\sqrt{n}} = \frac{2}{\sqrt{19}} = 0.458831 \quad (3.5)$$

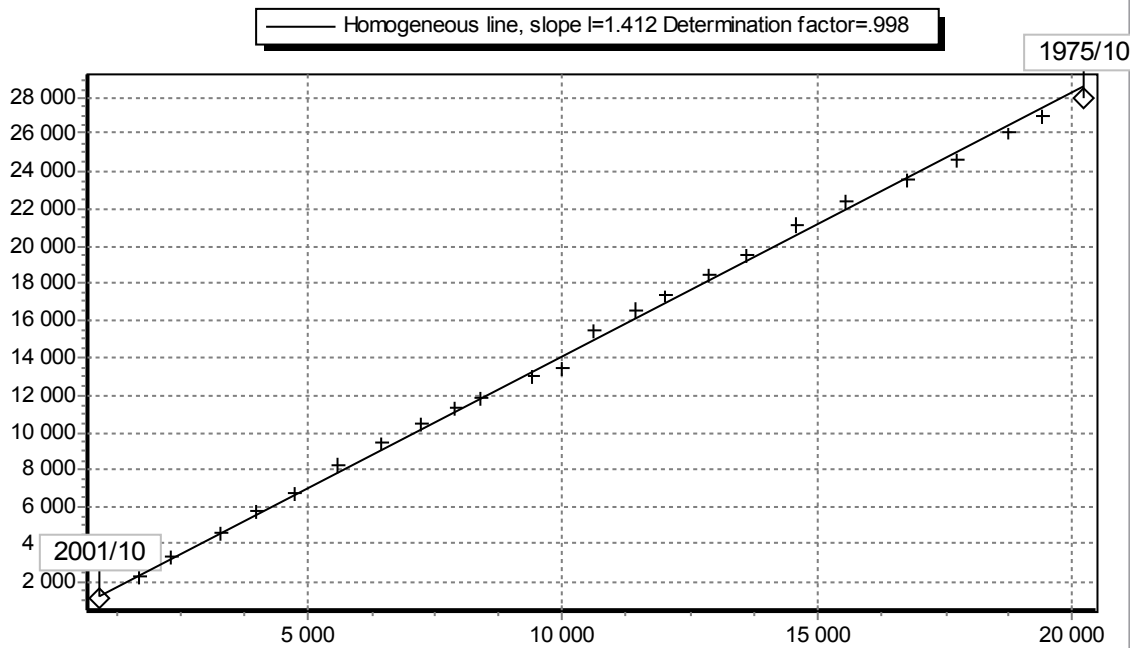
όπου: $n = 19$ = ο ελάχιστος αριθμός χρονικά κοινών δεδομένων ανάμεσα στους σταθμούς.

Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνουμε αρχικώς την καλή αξιοπιστία των δεδομένων.

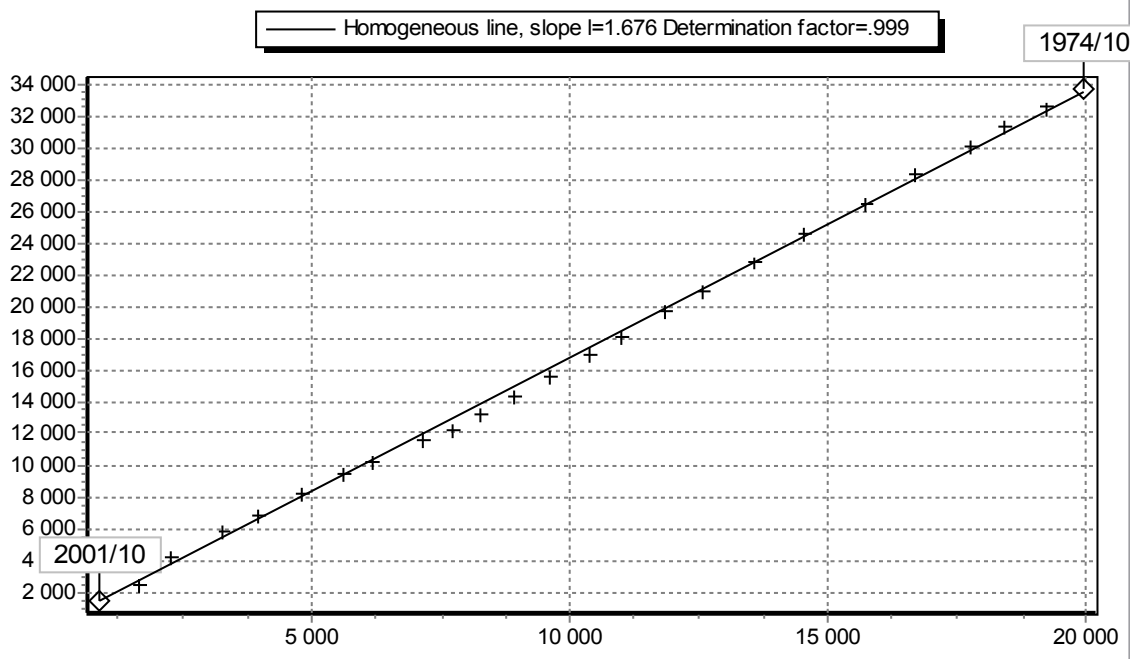
Για τον έλεγχο της ομογένειας επιλέχθηκε ως σταθμός βάσης αυτός του Δροσάτου επειδή, εκτός από τον μεγάλο συντελεστή συσχέτισης με όλους τους άλλους σταθμούς (ουσιαστικά είναι ο δεύτερος καλύτερος συντελεστής συσχέτισης μετά από αυτόν του σταθμού του Αιγίου), ο σταθμός έχει επιπλέον τη μεγαλύτερη επιρροή στην Λ.Α. σύμφωνα με τα πολύγωνα Thiessen (συγκρινόμενη με αυτή του σταθμού του Αιγίου). Έτσι, προχωρήσαμε στην κατάρτιση των Διπλών Αθροιστικών Καμπυλών, όπως αυτές φαίνονται παρακάτω:



Σχήμα 3.1: Διπλή Αθροιστική Καμπύλη με σταθμό βάσης το Δροσάτο και ελεγχόμενο σταθμό του Αιγίου (συντελεστής $R^2 = 0.999$, κλίση ευθείας = 0.809)



Σχήμα 3.2: Διπλή Αθροιστική Καμπύλη με σταθμό βάσης το Δροσάτο και ελεγχόμενο σταθμό του Λεοντίου (συντελεστής $R^2 = 0.998$, κλίση ευθείας = 1.412)



Σχήμα 3.3: Διπλή Αθροιστική Καμπύλη με σταθμό βάσης το Δροσάτο και ελεγχόμενο σταθμό του Κάτω Βλασίας (συντελεστής $R^2 = 0.999$, κλίση ευθείας = 1.676)

Οι συντελεστές R^2 που υπολογίστηκαν παραπάνω φανερώνουν ότι τα δεδομένα είναι ομογενή οπότε δεν χρειάζονται περαιτέρω διαδικασίες διορθώσεων ώστε να επέλθει η ομογενοποίηση.

Στο Παράρτημα φαίνονται δοκιμές με τη χρήση και άλλων σταθμών ως σταθμό βάσης.

3.4 Συμπλήρωση βροχομετρικών παρατηρήσεων

Όταν λείπουν παρατηρήσεις από το σταθμό που ελέγχουμε τις παρατηρήσεις αυτές μπορούν να συμπληρωθούν με την βοήθεια γειτονικών σταθμών που διαθέτουν πλήρη δεδομένα και έχουν ελεγχθεί για την ομογένεια των δεδομένων και για το βαθμό συσχέτισης με τα δεδομένα του υπό συμπλήρωση σταθμού. Αν είναι διαθέσιμοι τρεις γειτονικοί σταθμοί βάσης τότε μπορεί για την συμπλήρωση της τιμής P_x του υπό συμπλήρωση σταθμού να χρησιμοποιηθεί η εξίσωση:

$$P_x = \frac{1}{3} \left[\frac{N_x P_1}{N_1} + \frac{N_x P_2}{N_2} + \frac{N_x P_3}{N_3} \right] \quad (3.6)$$

όπου:

P_1, P_2, P_3 : οι αντίστοιχες τιμές στους σταθμούς βάσης 1, 2 και 3

N_1, N_2, N_3 : οι τιμές της μέσης βροχόπτωσης στον καθένα από τους παραπάνω σταθμούς

N_x : η μέση βροχόπτωση του υπό συμπλήρωση σταθμού

Επίσης, η συμπλήρωση των βροχομετρικών παρατηρήσεων μπορεί να γίνει με βάση την γραμμική συσχέτιση των παρατηρήσεων του υπό συμπλήρωση σταθμού με άλλο σταθμό βάσης, εφόσον ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι αρκετά ισχυρός (συνήθως για τιμές του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης > 0.80).

Στην περίπτωση των βροχομετρικών παρατηρήσεων των σταθμών που περιγράφηκαν παραπάνω απαιτήθηκε συμπλήρωση σε όλους τους σταθμούς με τα περισσότερα κενά να εμφανίζονται στους σταθμούς Αιγίου και Κάτω Βλασίας.

Τα δεδομένα του σταθμού του Αιγίου, όπως υπολογίστηκε προηγουμένως, παρουσιάζουν μεγάλο συντελεστή συσχέτισης (0.88) με τα δεδομένα του σταθμού του Δροσάτου. Έτσι η συμπλήρωση των παρατηρήσεων έγινε με βάση την γραμμική συσχέτιση των παρατηρήσεων με απλή παλινδρόμηση.

Τα δεδομένα του σταθμού της Κάτω Βλασίας επειδή δεν παρουσίαζαν τόσο ισχυρό συντελεστή συσχέτισης με κανέναν από τους άλλους σταθμούς, για την συμπλήρωσή τους χρησιμοποιήθηκε ο παραπάνω τύπος με σταθμούς βάσης του Δροσάτου και του Αιγίου (φυσικά έγινε μετασχηματισμός του τύπου για δυο σταθμούς βάσης και όχι τριών όπως αναφέρεται).

Τέλος, οι σταθμοί του Δροσάτου και του Λεοντίου συμπληρώθηκαν με ανάλογο τρόπο με αυτόν που ακολουθήθηκε για την συμπλήρωση των δεδομένων του σταθμού του Αιγίου και της Κάτω Βλασίας αντίστοιχα, όπως αυτοί περιγράφονται παραπάνω.

Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν υπήρχαν κενά που να εμφανίζονται ταυτόχρονα για δύο ή περισσότερους σταθμούς.

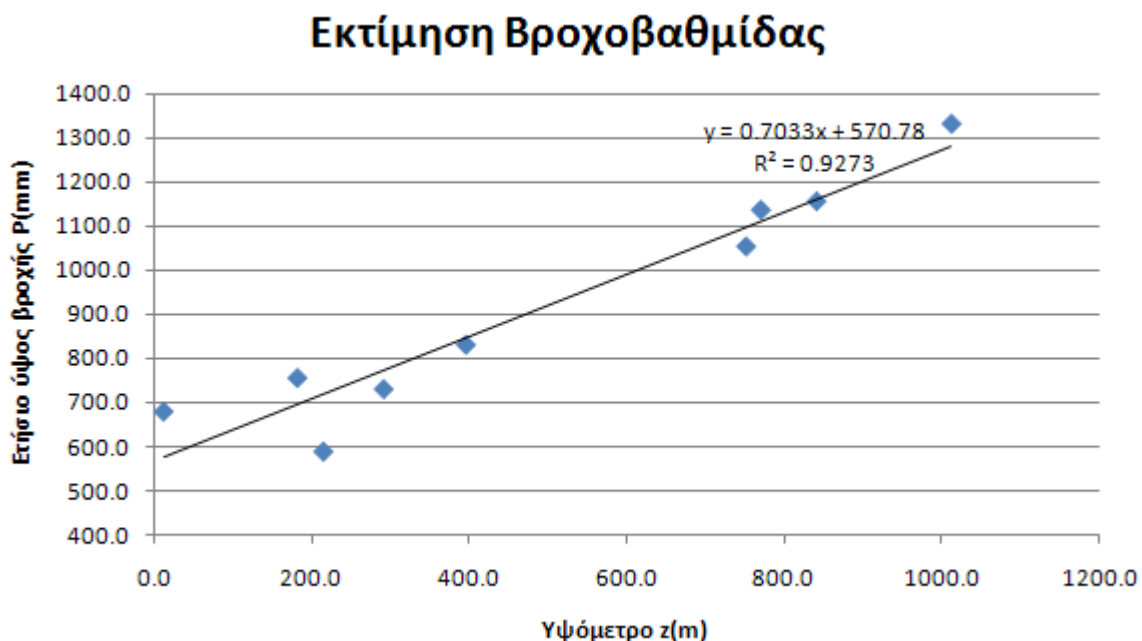
Χρήσιμη για την συμπλήρωση των βροχομετρικών δεδομένων ενός σταθμού αποδεικνύεται συχνά η παρατήρηση ότι το σημειακό ύψος βροχής αυξάνει με το υψόμετρο. Η παρατήρηση αυτή είναι επίσης ιδιαίτερα χρήσιμη για οποιαδήποτε αναγωγή βροχομετρικών παρατηρήσεων σε διαφορετικό υψόμετρο από αυτό που αρχικά ανήκουν.

Η μέση αύξηση του ετήσιου σημειακού βροχομετρικού ύψους ανά 100 m αύξησης υψομέτρου ονομάζεται *βροχοβαθμίδα*. Η βροχοβαθμίδα προκύπτει συνήθως για κάθε περιοχή

από τη γραφική παράσταση των μέσων ετήσιων βροχομετρικών υψών των βροχομετρικών σταθμών μιας περιοχής σε συνάρτηση με τα υψόμετρα των σταθμών.

Για την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Σελινούντα η βροχοβαθμίδα υπολογίστηκε με βάση όχι μόνο τους σταθμούς που χρησιμοποιήθηκαν για τις υπόλοιπες επεξεργασίες, αλλά και με άλλους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής, τα δεδομένα των οποίων ήταν διαθέσιμα από υδρολογική μελέτη για την γειτονική λεκάνη απορροής του ποταμού Πείρου.

Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα ετήσιου ύψους βροχής – υψόμετρου όπως αυτό κατασκευάστηκε από όλα τα παραπάνω δεδομένα, βάση του οποίου και έγινε η τελική εκτίμηση της βροχοβαθμίδας.



Σχήμα 3.4: Εκτίμηση βροχοβαθμίδας για την Λ.Α. του ποταμού Σελινούντα

Ως βροχοβαθμίδα ορίζεται η κλίση της παραπάνω ευθείας, δηλαδή: $\beta = 0.7033 \text{ mm/m}$ ή $\beta = 70.33 \text{ mm/100 m}$.

Ο συντελεστής R^2 ισούται με 0.9273 όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα. Η τιμή του είναι αρκετά υψηλή γεγονός που φανερώνει την καλή προσαρμογή της ευθείας στα βροχομετρικά δεδομένα των σταθμών και άρα την καλή εκτίμηση της βροχοβαθμίδας για την περιοχή.

3.5 Μέσο βροχομετρικό ύψος λεκάνης απορροής

Μετά τον έλεγχο, την ομογενοποίηση και συμπλήρωση των βροχομετρικών δεδομένων των σταθμών μιας λεκάνης απορροής, το μέσο βροχομετρικό ύψος της λεκάνης απορροής μπορεί να υπολογισθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

- i. *Αριθμητικός μέσος των παρατηρήσεων των σημειακών βροχομετρικών υψών των σταθμών της λεκάνης απορροής.* Η χρήση του αριθμητικού μέσου σπάνια χρησιμοποιείται καθώς προϋποθέτει την ομοιόμορφη κατανομή των σταθμών στην επιφάνεια της λεκάνης.

- ii. *Πολύγωνα Thiessen*. Η μέθοδος χρησιμοποιεί τον παράγοντα βάρους που αντιστοιχεί στα εμβαδά των πολυγώνων (περιοχών) επιρροής κάθε σταθμού, όπως αυτός προκύπτει με τη χάραξη των μεσοκαθέτων επί των αποστάσεων των σταθμών μεταξύ τους. Το μέσο βροχομετρικό ύψος της λεκάνης P_0 προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους παρατηρήσεων P_i των σταθμών πολλαπλασιασμένες επί τις αντίστοιχες εκτάσεις επιρροής διά της συνολικής έκτασης της λεκάνης:

$$P_0 = \frac{\sum A_i P_i}{A} = \sum \left(\frac{A_i}{A} \cdot P_i \right) \quad (3.7)$$

- iii. *Ισοϋέτιες καμπύλες (ή ισόβροχες καμπύλες)*. Η μέθοδος αυτή είναι ακριβέστερη από τις δύο προηγούμενες, προϋποθέτει όμως την ύπαρξη αρκετών σταθμών και την γνώση της περιοχής ώστε να μην εξομαλύνονται χαρακτηριστικά της βροχής που προκαλούνται από τοπικά αίτια. Οι ισοϋέτιες καμπύλες χαράσσονται με τρόπο αντίστοιχο των ισοϋψών καμπύλων στην τοπογραφία.

$$P_0 = \sum \left(\frac{A_i}{A} \bar{P}_{i-1,i} \right) \quad (3.8)$$

όπου:

A_i : η έκταση μεταξύ δύο ισοϋέτιων καμπύλων

A : η συνολική έκταση της λεκάνης

$\bar{P}_{i-1,i}$: το μέσο βροχομετρικό ύψος μεταξύ δύο ισοϋέτιων καμπύλων

Για την εκτίμηση του μέσου βροχομετρικού ύψους στην λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούντα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος με τα πολύγωνα Thiessen λόγω της αρκετά μεγάλης ακρίβειας των αποτελεσμάτων που παρέχει σε σχέση με τον περιορισμένο αριθμό σταθμών που είναι διαθέσιμοι. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα βάρη του κάθε βροχομετρικού σταθμού στο μέσο βροχομετρικό ύψος της λεκάνης απορροής.

Πίνακας 3.2: Ποσοστά επιρροής των βροχομετρικών σταθμών στο σύνολο της Λ.Α

	Εμβαδόν	Ποσοστό
ΛΕΟΝΤΙΟ	112936300.82	38.30%
ΔΡΟΣΑΤΟ	94639001.94	32.09%
ΚΑΤΩ ΒΛΑΣΙΑ	87019151.18	29.51%
ΑΙΓΙΟ	313836.84	0.11%
Σύνολο	294908290.79	100.00%

Τελικά το μέσο βροχομετρικό ύψος P_0 της λεκάνης απορροής υπολογίστηκε με βάση τα παραπάνω ποσοστά επιρροής των βροχομετρικών σταθμών.

Επιπλέον έγινε αναγωγή των βροχομετρικών αυτών υψών στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής με βάση την βροχοβαθμίδα. Η διόρθωση λ που γίνεται δίδεται από τον παρακάτω τύπο:

$$\lambda = 1 + \frac{\beta}{P_0 \cdot 100} [z_m - \bar{z}] \quad (3.8)$$

όπου:

λ : ο συντελεστής διόρθωσης

β : η βροχοβαθμίδα

P_0 : η τιμή του ύψους βροχής πριν υψομετρική αναγωγή

z_m : το μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής

\bar{z} : ο σταθμικός μέσος των υψομέτρων των βροχομετρικών σταθμών που επηρεάζουν την Λ.Α.

Ο συντελεστής λ υπολογίστηκε $\lambda = 1.000384$.

Τελικά η χωρικά μέση βροχόπτωση ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής υπολογίζεται ως ο πολλαπλασιασμός του παραπάνω συντελεστή λ με επί το μέσο βροχομετρικό ύψος την ζητούμενη χρονική στιγμή.

4 Εξάτμιση και διαπνοή

4.1 Εισαγωγή

Εξαιρετικά μεγάλης σημασίας είναι ο υπολογισμός, κατά την εκτίμηση της απορροής ενός ποταμού, της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής στην λεκάνη απορροής.

Όπως είναι γνωστό η εξάτμιση και η διαπνοή των φυτών έχουν πολύ σημαντικό ρόλο στον υδρολογικό κύκλο. Γι' αυτό θα ήταν λάθος να μην εξεταστεί και η συμμετοχή των φαινομένων αυτών στην παραγωγή απορροής σε μια υδρολογική λεκάνη.

Για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής είναι απαραίτητες μετρήσεις μετεωρολογικών σταθμών που αφορούν κυρίως τη θερμοκρασία αέρα, την σχετική υγρασία αέρα την ηλιακή ακτινοβολία και την ταχύτητα του ανέμου όπως επίσης και ένα μοντέλο που μπορεί να αναπαραστήσει ικανοποιητικά αυτές τις φυσικές διεργασίες.

4.2 Στοιχεία υδρομετεωρολογίας

4.2.1 Θερμοκρασία αέρος

Όταν γίνεται αναφορά στη θερμοκρασία αέρα, νοείται κυρίως η θερμοκρασία αυτού υπό σκιά (Τσακίρης, 1995). Η μέτρηση αυτής γίνεται με τα θερμόμετρα και τους θερμογράφους που τοποθετούνται εντός μετεωρολογικού κλωβού όπου ο αέρας κυκλοφορεί ελεύθερα και τα όργανα προστατεύονται από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία.

Από την ανάγνωση των οργάνων του κλωβού μπορούν να ληφθούν ή να υπολογιστούν οι παρακάτω παράμετροι της θερμοκρασίας:

- i. Η απόλυτη μέγιστη (T_{\max}) και ελάχιστη (T_{\min}) τιμή της θερμοκρασίας που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης χρονικής περιόδου.
- ii. Η μέση ημερήσια θερμοκρασία
- iii. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία
- iv. Η μέση ετήσια θερμοκρασία
- v. Το ημερήσιο θερμομετρικό εύρος, δηλαδή η διαφορά ανάμεσα στην μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία της ημέρας
- vi. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος, δηλαδή η διαφορά της μέσης θερμοκρασίας του ψυχρότερου μήνα από τη μέση του θερμότερου μήνα του έτους.

Η θερμοκρασία του αέρα μεταβάλλεται αυξανόμενου του ύψους της ατμόσφαιρας. Από υδρολογική οπτική άποψη, ενδιαφέρει η μεταβολή της θερμοκρασίας στην τροπόσφαιρα. Στην τροπόσφαιρα λοιπόν παρατηρείται μείωση της θερμοκρασίας όταν το υψόμετρο αυξάνεται. Οι κυριότεροι λόγοι της μείωσης είναι η αραιώση του αέρα και των υδρατμών καθώς αυξάνεται το ύψος, η μείωση της ανακλώμενης ακτινοβολίας από το έδαφος κλπ.

Η τιμή της μεταβολής της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε σχέση με τη μονάδα του ύψους, λέγεται θερμοκρασιακή βαθμίδα ή κατακόρυφη θερμοβαθμίδα και δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma = - \frac{\partial T}{\partial Z} \quad (4.1)$$

όπου T η θερμοκρασία και Z το υψόμετρο

Το πρόσημο (-) υποδηλώνει ότι με την αύξηση του ύψους μειώνεται η θερμοκρασία. Ως μονάδα του ύψους συνήθως λαμβάνονται τα 100 m, επομένως η θερμοβαθμίδα εκφράζεται σε °C/100m. Η τιμή της μεταβάλλεται και κοντά στην επιφάνεια του εδάφους που μπορεί να γίνει πολύ θερμή την ημέρα και να ψυχθεί την νύχτα, με αποτέλεσμα η θερμοβαθμίδα να λαμβάνει μεγαλύτερη τιμή την ημέρα και μικρότερη την νύχτα.

Ο κανόνας μείωσης της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας με το ύψος μέσα στην τροπόσφαιρα δεν ακολουθείται πάντοτε. Έτσι, είναι πιθανόν η θερμοκρασία να αυξάνει αυξανόμενου του υψομέτρου. Τα στρώματα αυτά λέγονται στρώματα θερμοκρασιακής αντιστροφής και το φαινόμενο παρατηρείται κυρίως στην κατώτερη ατμόσφαιρα υπό την επίδραση ειδικών καιρικών συνθηκών. Τέτοιου είδους φαινόμενα ευνοούν την συσσώρευση ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Ωστόσο η ανάλυση ενός τέτοιου φαινομένου είναι εκτός των στόχων της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας.

Για την εκτίμηση της θερμοβαθμίδας μιας περιοχής είναι πολύ δύσκολο να χρησιμοποιηθεί ο παραπάνω τύπος καθώς προϋποθέτει πλήρη γνώση της μεταβολής της θερμοκρασίας με το υψόμετρο. Συνήθως γίνεται μια προσέγγιση με δεδομένα καταγραφής θερμοκρασιών από μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται σε διαφορετικό υψόμετρο στην ίδια περίπου περιοχή. Βεβαίως όσο περισσότεροι είναι αυτοί οι σταθμοί τόσο καλύτερη είναι η προσέγγιση αυτή στην πραγματικότητα.

Για την περιοχή της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Σελινούντα δεν υπήρχε μεγάλος αριθμός μετεωρολογικών σταθμών σε διαφορετικό μεταξύ τους υψόμετρο που μπορούσαν να παρέχουν δεδομένα καταγραφής της μέσης θερμοκρασίας αέρα.

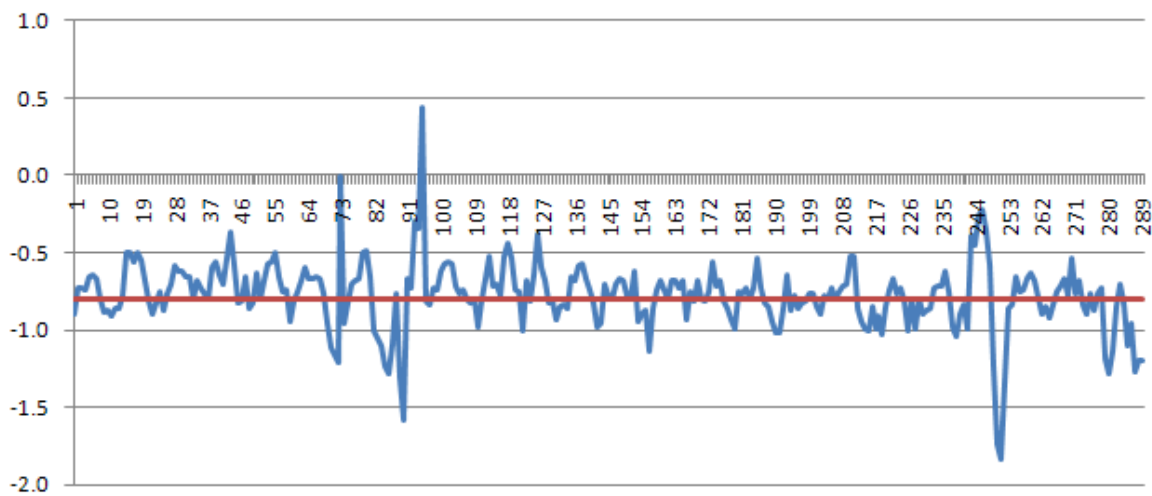
Για την εκτίμηση της Θερμοβαθμίδας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέσω μηνιαίων θερμοκρασιών από 2 σταθμούς:

- i. Αίγιο με υψόμετρο 10 m.
- ii. Καλάβρυτα με υψόμετρο 731 m.

Ο σταθμός Μελίσσια για τον οποίο είχαμε ορισμένα δεδομένα θερμοκρασιών δεν χρησιμοποιήθηκε στους υπολογισμούς, καθώς η χρονική περίοδος η οποία ήταν διαθέσιμη δεν συμβάδιζε με την διαθέσιμη χρονική περίοδο των 2 παραπάνω σταθμών που τελικά επιλέχθηκαν.

Τα δεδομένα των 2 σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν παρουσίαζαν μικρές ελλείψεις, όχι όμως κοινές (δηλαδή δεν είχαμε έλλειψη δεδομένων τόσο στον ένα σταθμό όσο και στον άλλο ταυτόχρονα). Το πρόβλημα αυτό παρακάμφθηκε συμπληρώνοντας τις ελλείψεις αυτές με την μέθοδο της πολλαπλής παλινδρόμησης με την οποία τα δεδομένα συμπληρώνονται διατηρώντας τα στατιστικά χαρακτηριστικά της χρονοσειράς στην οποία ανήκουν, αλλά επιπλέον διατηρούν μια γνωστή συσχέτιση με τα δεδομένα του άλλου σταθμού για τον οποίο είναι διαθέσιμα τα δεδομένα για την συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Η θερμοβαθμίδα τελικά εκτιμήθηκε ως η μέση διαφορά θερμοκρασίας των δύο σταθμών σε ημερήσια βάση ανά 100 m. Παρακάτω φαίνονται διαγραμματικά οι διαφορές αυτές καθώς και η μέση τιμή τους η οποία ισούται με $-0.8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.



Σχήμα 4.1: Εκτίμηση θερμοβαθμίδας ως η μέση διαφορά θερμοκρασίας ανά 100m των μετεωρολογικών σταθμών Αιγίου και Καλαβρύτων

Η τιμή αυτή της θερμοβαθμίδας είναι ιδιαίτερα σημαντική για την εξέλιξη της υδρολογικής ανάλυσης της λεκάνης απορροής καθώς επιτρέπει την αναγωγή των διαθέσιμων θερμοκρασιών ενός μετεωρολογικού σταθμού, στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής.

4.2.2 Ηλιακή ακτινοβολία

Η κύρια πηγή ενέργειας για την επιφάνεια της γης είναι εκείνη που προέρχεται από τον ήλιο και γι' αυτό καλείται ηλιακή ενέργεια ή ηλιακή ακτινοβολία (Τσακίρης, 1995). Αυτή είναι η αιτία των διαφόρων φάσεων του υδρολογικού κύκλου και η ποσότητα που φθάνει στην επιφάνεια της γης επηρεάζεται από τους παρακάτω παράγοντες:

- i. Τη συνολική ηλιακή εκπομπή. Ο ήλιος εκπέμπει συνεχώς από τη φωτόσφαιρα ακτινοβολία προς τη γη από μια απόσταση περίπου 149.5 εκατομμυρίων χιλιομέτρων. Από την ενέργεια αυτή ένα πολύ μικρό ποσοστό φτάνει τελικά στην επιφάνεια της γης.
- ii. Τη μεταβολή της απόστασης γης – ήλιου. Η μεταβολή αυτή οφείλεται στην ελλειπτική τροχιά της γης γύρω απ' τον ήλιο.
- iii. Το ύψος του ήλιου. Η ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται ένα σημείο της επιφάνειας της γης επηρεάζεται σημαντικά και από το ύψος του ήλιου πάνω από τον ορίζοντα. Το ύψος αυτό μεταβάλλεται και εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την εποχή του έτους και την ώρα της ημέρας.
- iv. Τη διάρκεια της ημέρας. Ο παράγοντας αυτός καθορίζει τη συνολική ποσότητα ακτινοβολίας που δέχεται ένα σημείο και αυτός με τη σειρά του εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος και την εποχή του έτους.

Η ατμόσφαιρα επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το ενεργειακό ισοζύγιο της επιφάνειας της γης. Πιο συγκεκριμένα, από τη μια άποψη συμπεριφέρεται σαν ασπίδα και προστατεύει τη γη από εξαιρετικά μεγάλες ποσότητες ακτινοβολίας από το διάστημα και από την άλλη αποτρέπει άμεση απώλεια ενέργειας (θερμότητας) από την επιφάνειά της (Shaw, 1983). Όμως, οι

ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ ατμόσφαιρας και επιφάνειας της γης είναι πολλές και ιδιαίτερα πολύπλοκες.

Για την υδρολογική μελέτη που πραγματοποιείται με την παρούσα διπλωματική εργασία, αλλά και στο μεγαλύτερο ποσοστό των υδρολογικών μελετών, μελετάται η ηλιακή ακτινοβολία και η σχέση της με τον υδρολογικό κύκλο. Επειδή η ενέργεια αυτή συσχετίζεται άμεσα με την άμεση εξάτμιση νερού από οποιαδήποτε ελεύθερη επιφάνεια καθώς και με την διαπνοή των φυτών, γίνονται διάφορες μετρήσεις για τον προσδιορισμό του όγκου της ενέργειας αυτής.

Συνηθέστερη είναι η μέτρηση της διάρκειας της πραγματικής ηλιοφάνειας κατά τη διάρκεια μιας ημέρας (και κατ' επέκταση, κατά τη διάρκεια ενός μήνα, ενός έτους κλπ.).

Τα διαθέσιμα δεδομένα για την διάρκεια της ηλιοφάνειας δεν σχετίζονταν άμεσα με την λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούντα, κυρίως λόγω της αρκετά μεγάλης απόστασης από αυτή. Ωστόσο, η γεωμετρία των θέσεων των σταθμών στο χώρο επέτρεψε την σύνθεση των δεδομένων αυτών και την αναγωγή στην πραγματική διάρκεια της ηλιοφάνειας στην μελετώμενη λεκάνη απορροής.

Αναλυτικά, οι σταθμοί για τους οποίους ήταν διαθέσιμα δεδομένα διάρκειας της ηλιοφάνειας ήταν:

- i. Μετεωρολογικός Σταθμός Αράξου
- ii. Μετεωρολογικός Σταθμός Βέλου

Οι σταθμοί αυτοί βρίσκονται εκατέρωθεν της λεκάνης απορροής του ποταμού Σελινούντα. Για την εξαγωγή μιας τιμής διάρκειας ηλιοφάνειας έγινε συνδυασμός των δύο παραπάνω δεδομένων. Ως βάρος της κάθε παρατήρησης στην τελική ενιαία τιμή, λήφθηκε το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης του κάθε σταθμού από το κέντρο της λεκάνης απορροής.

4.2.3 Υγρασία της ατμόσφαιρας

Η ατμόσφαιρα περιέχει πάντοτε μια μεταβαλλόμενη ποσότητα υγρασίας (υδρατμών) που προέρχεται από την εξάτμιση του νερού των ωκεανών, των υγρών επιφανειών της ξηράς και τη διαπνοή των φυτών. Η ποσότητα αυτή εξαρτάται άμεσα από την θερμοκρασία και μειώνεται με το υψόμετρο, ακολουθώντας τον ρυθμό ελάττωσης της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας (Τσακίρης, 1995). Όμως, η υγρασία της ατμόσφαιρας μεταβάλλεται όχι μόνο με το υψόμετρο, αλλά και με τη μεταβολή του γεωγραφικού πλάτους ενός τόπου και είναι μεγαλύτερη στις περιοχές κοντά στον Ισημερινό και μικρότερη σε εκείνες κοντά στους Πόλους.

Για την υδρολογία ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο καθορισμός των παρακάτω παραμέτρων που σχετίζονται άμεσα με την υγρασία και την μεταβολή της στην ατμόσφαιρα:

- i. Τάση υδρατμών (e): Είναι η πίεση που ασκείται από τους υδρατμούς στην επιφάνεια της γης και αποτελεί μέρος της συνολικής ατμοσφαιρικής πίεσης.
- ii. Κορεσμένος σε υδρατμούς αέρας: Ο αέρας είναι κορεσμένος όταν περιέχει την μέγιστη ποσότητα υδρατμών που μπορεί να συγκρατήσει σε μια ορισμένη θερμοκρασία πριν αρχίσει η συμπύκνωση. Η πίεση που ασκείται από τους υδρατμούς στις συνθήκες αυτές καλείται μέγιστη τάση υδρατμών (e_s).

- iii. Απόλυτη υγρασία (A_h): Είναι η ποσότητα υδρατμών του αέρα σε γραμμάρια που περιέχεται στη μονάδα όγκου (1 m^3) και εκφράζεται με τη σχέση:

$$A_h = \frac{M}{V} (\text{gr} \cdot \text{m}^{-3}) \quad (4.2)$$

- iv. Σχετική υγρασία (R_h): Είναι ο λόγος της μάζας των υδρατμών M_v που περιέχονται σε ορισμένο όγκο ακόρεστου αέρα προς τη μάζα των υδρατμών M_{sv} που θα περιείχε ο ίδιος όγκος αν ήταν κορεσμένος, κάτω από τις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας:

$$R_h = \frac{M_v}{M_{sv}} \quad (4.3)$$

Ο λόγος αυτός ισούται επίσης προς την εκατοστιαία αναλογία της πραγματικής προς την μέγιστη τάση υδρατμών στην ίδια θερμοκρασία. Δηλαδή:

$$R_h = \frac{e}{e_s} \times 100 \quad (4.4)$$

Επίσης υπάρχουν και άλλα μεγέθη που είναι χρήσιμα σε διαφορετικού είδους υδρολογικές μελέτες όπως η θερμοκρασία του σημείου δρόσου, το έλλειμμα κορεσμού κ.ά.

Συνηθέστερος και πιο άμεσα χρησιμοποιήσιμος είναι ο δείκτης της σχετικής υγρασίας.

4.2.4 Άνεμος

Άνεμος καλείται κάθε κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα κατά την οριζόντια διεύθυνση (Τσακίρης, 1995). Όμως, εκτός από τις οριζόντιες, υπάρχουν και κινήσεις του αέρα προς τα επάνω ή προς τα κάτω που καλούνται ανοδικοί ή καθοδικοί άνεμοι αντίστοιχα. Η κίνηση των ανέμων οφείλεται στη δύναμη που αναπτύσσεται κατά την περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της από Δύση προς Ανατολή, στη δύναμη τριβής με την επιφάνεια του εδάφους, στη διαφορά πιέσεων μεταξύ δυο περιοχών κλπ.

Ο άνεμος προσδιορίζεται από τη διεύθυνση ή κατεύθυνση και την ένταση ή ταχύτητα. Ως διεύθυνση του ανέμου σε μια περιοχή ορίζεται το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος και προσδιορίζεται όργανα που καλούνται ανεμοδείκτες και ανεμογράφος. Η ταχύτητα εκφράζεται σε m/s, km/h ή κόμβους και προσδιορίζεται με τους ανεμογράφους. Όμως, για τον προσδιορισμό της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιείται και η γνωστή κλίμακα Beaufort που βασίζεται στις επιδράσεις του ανέμου πάνω σε ορισμένα αντικείμενα όπως φύλλα και κλαδιά δέντρων, στέγες κτισμάτων κλπ.

Τα όργανα καταγραφής της ταχύτητας του ανέμου που χρησιμοποιούνται σήμερα δεν καταγράφουν κατ' ευθείαν αυτή την ταχύτητα, αλλά η πληροφορία αυτή προκύπτει μετά από σχετική επεξεργασία των καταγεγραμμένων δεδομένων. Το μέγεθος που καταγράφεται είναι ουσιαστικά η διαδρομή που ακολουθεί ο άνεμος. Δηλαδή την απόσταση στην οποία θα παρέσυρε ένα φανταστικό αντικείμενο κατά μια ορισμένη χρονική διάρκεια.

Το μέγεθος αυτό καταγράφεται με έναν συνεχώς αυξανόμενο μετρητή που είναι συνδεδεμένος με περιστροφικό εξάρτημα που στρέφεται με τον άνεμο. Για την εύρεση της διαδρομής του ανέμου πρέπει να αφαιρεθούν οι δυο διαδοχικές ενδείξεις (νεότερη – παλαιότερη). Στη συνέχεια, η ταχύτητα του ανέμου υπολογίζεται με βάση την χρονική βάση στην οποία έχουν καταγραφεί οι τιμές του μετρητή.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί η δυσκολία που αντιμετωπίστηκε, λόγω της έλλειψης της πληροφορίας σε ό,τι αφορά τις μονάδες στις οποίες κατέγραψε ο ανεμογράφος του μετεωρολογικού σταθμού του Αιγίου, τα δεδομένα του οποίου χρησιμοποιήθηκαν για την λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούντα. Το πρόβλημα προέκυψε καθώς δεν υπήρχε καμία συνοδευτική πληροφορία με τα δεδομένα των καταγεγραμμένων τιμών του μετρητή με την οποία να διασαφηνιζόταν το θέμα. Η λύση δόθηκε από τεύχος του «ΥΔΡΟΣΚΟΠΙΟΥ» στο οποίο και αναφέρονταν όλες οι μονάδες μέτρησης που υιοθετεί η κάθε υπηρεσία.

Οι μονάδα μέτρησης που υιοθετούσε το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. στον συγκεκριμένο σταθμό ήταν οι κόμβοι. Με βάση την παραπάνω πληροφορία τα δεδομένα διαδρομής του ανέμου σε κόμβους μετατράπηκαν σε ταχύτητα του ανέμου σε m/s που είναι και η προσφορότερη μορφή ταχύτητας ανέμου για περαιτέρω επεξεργασία και συσχέτιση με άλλα δεδομένα.

4.3 Πρακτική σημασία της εξάτμισης και της διαπνοής

Η εξατμισοδιαπνοή του νερού στο φυσικό περιβάλλον, είτε από ελεύθερες υδάτινες επιφάνειες, είτε από γυμνές ή φυτοκαλυμμένες επιφάνειες της γης είναι μία από τις σημαντικές συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου. Ο υδρολογικός κύκλος ξεκινά με τη διαρκή προσφορά νερού από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης υπό τη μορφή υδρομετεώρων που καταλήγουν στους ποταμούς, στις λίμνες και στις θάλασσες, είτε μέσα από τη διήθηση των υπόγειων νερών είτε άμεσα ως επιφανειακή απορροή. Ο κύκλος κλείνει με την επαναφορά του νερού στην ατμόσφαιρα μέσω της εξάτμισης.

Το νερό εισερχόμενο στη φάση της εξάτμισης του υδρολογικού κύκλου είναι πλέον μη προσιτό και δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τον όλο σχεδιασμό και την διαχείριση των υδατικών πόρων. Σε πολλά μέρη του κόσμου, οι υπάρχοντες υδατικοί πόροι βρίσκονται σε οριακό σημείο και, συνεπώς, η ορθολογιστική τους χρήση μέσω και της γνωστής εξατμισοδιαπνοής είναι επιβεβλημένη. Η εξατμισοδιαπνοή από διάφορες επιφάνειες της γης και η βροχόπτωση καθορίζουν το ποσό της επιφανειακής απορροής των κοιλάδων ή των λεκανών των ποταμών. Επίσης, προσδιορίζουν σε ένα μεγάλο βαθμό τα χαρακτηριστικά των λεκανών που μπορούν να προκαλέσουν υψηλή επιφανειακή απορροή και πλημμύρες σε περίπτωση μεγάλων βροχοπτώσεων. Η δυναμική εξατμισοδιαπνοή πολλές φορές θεωρείται ως η απαιτούμενη παροχή νερού στον σχεδιασμό των προτεινόμενων αρδευτικών συστημάτων. Το ποσό και ο ρυθμός εξάτμισης από υδατικές επιφάνειες είναι απαραίτητη πληροφορία για το σχεδιασμό φραγμάτων που απαιτούνται για την οικιακή και βιομηχανική υδροδότηση, την άρδευση των καλλιεργουμένων εκτάσεων κλπ.

Δυστυχώς η εξατμισοδιαπνοή από φυτοκαλυμμένες περιοχές και η εξάτμιση από ελεύθερες επιφάνειες νερού είναι ακόμα από τις λιγότερο κατανοητές συνιστώσες του υδρολογικού κύκλου και η εκτίμησή τους σε εκτεταμένες περιοχές παραμένει δύσκολη (Τσακίρης, 1995).

Οι παραπάνω έννοιες ποσοτικοποιούνται μέσω του υδατικού ισοζυγίου που εκφράζει τη διατήρηση της μάζας σε μια εδαφική κατατομή και μπορεί να γραφεί:

$$P + I + \Delta SW \pm RO - D - ET = 0 \quad (4.5)$$

όπου:

P : η βροχόπτωση

I : η άρδευση

ΔSW : η αλλαγή του περιεχομένου νερού της εδαφικής κατατομής

RO: η επιφανειακή απορροή

D: η βαθιά διήθηση

ET: η εξατμισοδιαπνοή

4.4 Εκτίμηση της εξάτμισης και της διαπνοής

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι για τον σωστό υπολογισμό της πραγματικής απορροής και άρα το υδατικό δυναμικό της λεκάνης απορροής του ποταμού Σελινούντα, απαραίτητη είναι η εκτίμηση του όγκου νερού που χάνεται μέσω της εξάτμισης.

Για τον σκοπό αυτό, έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι με διαφορετικά στοιχεία εισόδου. Η επιλογή της καταλληλότερης εξαρτάται από:

- i. Την επιδιωκόμενη ακρίβεια υπολογισμού της εξάτμισης και διαπνοής
- ii. Τα διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα
- iii. Το είδος της λεκάνης που μελετάται

Στην περίπτωση μας, δεδομένης και της κλίμακας στην οποία γίνεται η μελέτη (μετεωρολογικά δεδομένα μηνιαίας χρονικής βάσης και οριζοντιογραφική ακρίβεια προσδιορισμού 7.5 m) και του πλήθους των διαθέσιμων μετεωρολογικών δεδομένων, η καταλληλότερη μέθοδος εκτίμησης της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής είναι η μέθοδος Penman – Monteith που προσομοιώνει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο την διεργασία της εξατμισοδιαπνοής σε μια φυσική λεκάνη απορροής.

Τα δεδομένα εισόδου της μεθόδου αυτής είναι:

- i. Θερμοκρασία αέρα
- ii. Σχετική υγρασία
- iii. Πραγματική ηλιοφάνεια
- iv. Ταχύτητα ανέμου
- v. Γεωγραφικό πλάτος περιοχής
- vi. Υψόμετρο περιοχής

Όλα τα παραπάνω δεδομένα είναι διαθέσιμα όπως αναλύθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια. Ωστόσο, πριν προχωρήσουμε σε οποιαδήποτε επεξεργασία των δεδομένων αυτών, έγινε αναγωγή των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών του μετεωρολογικού σταθμού του Αιγίου στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής, σύμφωνα με την θερμοβαθμίδα.

4.4.1 Η μέθοδοι Penman και Penman – Monteith

Η μέθοδος που πρότεινε ο Penman προσδιορίζει την εξάτμιση σε mm/ημέρα σύμφωνα με τον τύπο:

$$E = \frac{\Delta \cdot R + E_a \cdot \gamma}{\Delta + \gamma} \cdot f \quad (4.6)$$

όπου:

E: η εξάτμιση σε mm/ημέρα

Δ : η κλίση της καμπύλης κορεσμένων υδάτων σε mmHg/°C

$$\Delta = 1.5(0.00738 \cdot T_a + 0.8072)^7 - 0,00087 \quad (4.7)$$

όπου: T_a : θερμοκρασία του αέρα σε °C

R : η διαφορά ακτινοβολιών λήψεως/εκπομπής

$$R = R_A(1-r) \cdot (0.29 \cdot \cos\phi + 0.55 \cdot n/N) - \sigma \cdot T_{AK}^4 \cdot (0.56 - 0.09) \cdot (0.1 + 0.9 \cdot n/N) \quad (4.8)$$

όπου:

R_A : η τιμή της ηλιακής ακτινοβολίας στο εξωτερικό όριο της Ατμόσφαιρας σε mm/ημέρα (υπολογίζεται από πίνακες για το γεωγραφικό πλάτος $\phi = 38^\circ.7$ που αντιστοιχεί στην περιοχή)

n : ώρες πραγματικής ηλιοφάνειας

N : μέγιστη δυνατή ηλιοφάνεια (από πίνακες για $\phi = 38^\circ.7$)

σ : σταθερά Stephan – Boltzmann ($2.01 \cdot 10^{-9}$ mm/ημέρα)

T_{AK} : θερμοκρασία του αέρα σε °K

r : albedo

e : τάση υδρατμών σε θερμοκρασία T_{AK} (ο υπολογισμός στη συνέχεια)

E_a : η παράμετρος μεταφοράς μάζας υδρατμών

$$E_a = 0.35 \cdot (e_w - e) \cdot (0.5 + 0.54 \cdot u_2) \quad (4.9)$$

όπου:

e_w : τάση κορεσμένων υδρατμών σε mmHg

$$e_w = 25.4616(0.00738 \cdot T_a + 0.8072)^8 - 0.000484(1.8 \cdot T_a + 48) + 0.03350 \quad (4.10)$$

e : τάση υδρατμών

$$e = RH \cdot e_w \quad (4.11)$$

όπου RH: σχετική υγρασία

γ : ψυχομετρική σταθερά ($\gamma = 0.485$ mmHg/°C)

f : συντελεστής που εξαρτάται από το είδος της υδρολογικής επιφάνειας που εξετάζουμε

Ο Monteith (1963, 1964) εισήγαγε τους όρους της αντίστασης στην εξίσωση του Penman κι έφθασε στην ακόλουθη έκφραση για την εξατμισοδιαπνοή από επιφάνειες με επαρκή ή περιορισμένη παροχή νερού (Τσακίρης, 1995):

$$LE = \frac{\Delta(R_N - G) + \rho C_p (e_s - e_a)/r_a}{(\Delta + \gamma)[(r_a + r_c)/r_a]} \quad (4.12)$$

όπου:

L : η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης

E : ο ρυθμός της εξάτμισης

G : η πυκνότητα ροής της θερμότητας που μεταφέρεται στο έδαφος

ρ : η πυκνότητα του αέρα

C_p : η ειδική θερμότητα του αέρα υπό σταθερή πίεση

R_N : η πυκνότητα ροής της καθαρά εισερχόμενης ακτινοβολίας

e_s : ο κορεσμένος σε υδρατμούς αέρας

e_a : η τάση των υδρατμών κορεσμένου αέρα

Δ : η κλίση της καμπύλης των κορεσμένων υδρατμών (e_s) συναρτήσεως της θερμοκρασίας, στο $T = 20^\circ\text{C}$

γ : η ψυχομετρική σταθερά

r_a : η αεροδυναμική αντίσταση

r_c : η αντίσταση της καλλιέργειας

Η παραπάνω εξίσωση (4.12) αναφέρεται και ως εξίσωση Penman – Monteith και έχει αποδειχθεί από την εμπειρία χρήσης της ότι προσεγγίζει με επιτυχία το μέγεθος της εξατμισοδιαπνοής.

4.4.2 Η μέθοδος Penman – Monteith στο περιβάλλον του λογισμικού Hydrognomon

Το λογισμικό χρησιμοποιεί ένα μοντέλο υπολογισμών βασισμένο στο προηγούμενο (μέθοδος Penman – Monteith). Ως χρονοσειρές εισόδου δέχεται:

- i. Την μέση θερμοκρασία αέρα σε $^\circ\text{C}$
- ii. Την σχετική υγρασία σε ποσοστό (%)
- iii. Την πραγματική ηλιοφάνεια σε min
- iv. Την ταχύτητα του ανέμου σε m/s

Στην συνέχεια και αφού γίνει η επιλογή της μεθόδου Penman – Monteith για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής, ορίζονται οι παρακάτω παράμετροι με τις τιμές τους:

- i. Το γεωγραφικό πλάτος: $38^\circ 04' 35''$
- ii. Το υψόμετρο: 947 m
- iii. Το albedo: 0.25
- iv. Οι συντελεστές της Εξίσωσης Μεγίστου Βάρους (Brunt Formula)
 1. A_e : 0.34
 2. B_e : 0.044
- v. Οι συντελεστές της εξίσωσης για το Φαινόμενο της Νέφωσης (Cloud effect)
 1. a_L : 0.10
 2. b_L : 0.90
- vi. Prescott co-efficient
 1. A_s : 0.25
 2. B_s : 0.50

Το μοντέλο υπολογίζει αυτόματα μετά την παραπάνω παραμετροποίηση την εξατμισοδιαπνοή για το κοινό διάστημα των δεδομένων εισόδου. Η μέσες μηνιαίες τιμές της

εξάτμισης και εξατμισοδιαπνοής σε mm φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, ενώ ο πλήρης πίνακας υπάρχει στο Παράρτημα:

Πίνακας 4.1: Μέση εξατμισοδιαπνοή (mm) με τη μέθοδο Penman – Monteith και μέση εξάτμιση (mm) με τη μέθοδο Penman.

	Εξατμισοδιαπνοή (Penman – Monteith)	Εξάτμιση (Penman)
ΟΚΤ	53.94	58.92
ΝΟΕ	28.53	27.58
ΔΕΚ	22.81	20.22
ΙΑΝ	27.21	28.14
ΦΕΒ	30.29	35.92
ΜΑΡ	49.94	63.49
ΑΠΡ	75.06	94.39
ΜΑΪ	106.70	132.56
ΙΟΥΝ	137.45	169.6
ΙΟΥΛ	153.78	181.68
ΑΥΓ	136.15	160.52
ΣΕΠ	97.74	110.83

5 Απορροή

5.1 Εισαγωγή

Οι απορροές αποτελούν το τμήμα εκείνο του υδρολογικού κύκλου που έχει τη μεγαλύτερη σχέση με τις δραστηριότητες και τα έργα των ανθρώπων. Επίσης, οι απορροές αποτελούν την βασική υδρολογική παράμετρο σε μια σειρά από έργα που γίνονται για τον έλεγχο, την αξιοποίηση ή την προστασία των υδατικών πόρων. Τέλος, ένας μεγάλος αριθμός τεχνικών έργων στηρίζονται και υπολογίζονται με βάση τα μεγέθη της απορροής (Τσακίρης, 1995).

Έτσι, και για την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Σελινούντα η εκτίμηση της απορροής και, κυρίως, η πρόβλεψη της συμπεριφοράς της στο μέλλον είναι το βασικό ζήτημα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, όπως έχει άλλωστε αναφερθεί και στην εισαγωγή της.

5.2 Μέτρηση της απορροής

Η μέτρηση της απορροής που παρέχει μια λεκάνη απορροής δεν είναι πάντα εύκολη. Προϋποθέτει φυσικά την ανάπτυξη ενός ικανού δικτύου σταθμών που να επιτρέπουν να εκτιμηθεί το μέγεθος της απορροής.

Η μετρήσεις που γίνονται για την εκτίμηση της απορροής περιλαμβάνουν πληθώρα διαφορετικών μετρήσεων όπως μετρήσεις της στάθμης του ποταμού, μετρήσεις για τον προσδιορισμό του εμβαδού της υγρής διατομής του ποταμού κλπ.

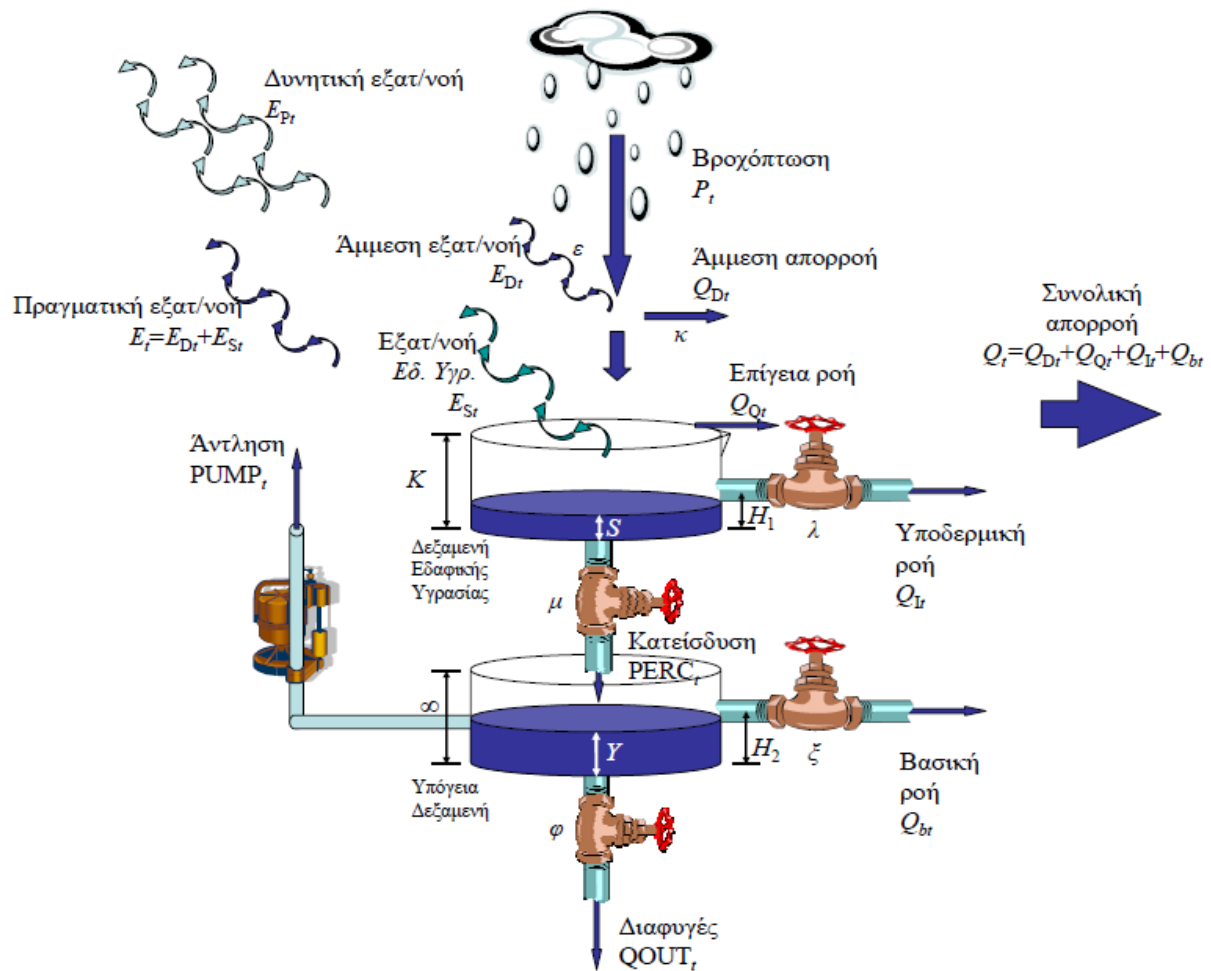
Για την μελέτη της απορροής του ποταμού Σελινούντα βρέθηκαν δεδομένα μετρήσεων στάθμης που είχαν μετατραπεί σε απορροή σε mm, μηνιαίας χρονικής βάσης για την χρονική περίοδο 9/1961 – 8/1968.

5.3 Το μοντέλο Zygos

5.3.1 Θεωρητική τεκμηρίωση

Το μοντέλο Zygos είναι ένα υποσύστημα του λογισμικού Hydrognomon το οποίο βασίζεται στο μοντέλο του απλού υδατικού ισοζυγίου για τον υπολογισμό απορροής με κύρια στοιχεία εισόδου δεδομένα βροχής.

Στο παρακάτω σχήμα περιγράφεται σχηματικά η λειτουργία του μοντέλου ενώ, στη συνέχεια, γίνεται αναλυτική παρουσίαση και επεξήγηση των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται.



Σχήμα 5.1: Σχηματική αναπαράσταση της λειτουργίας του μοντέλου Zygos

Ουσιαστικά, το μοντέλο Zygos αποτελείται από δύο μεγάλες δεξαμενές εκ των οποίων η πρώτη η «Δεξαμενή Εδαφικής Υγρασίας» έχει 7 μεταβλητές ελέγχου – παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτές είναι:

ε : Ποσοστό βροχόπτωσης που διατίθεται για την ικανοποίηση της άμεσης εξατμισοδιαπνοής

κ : Ποσοστό του περισσένυματος βροχόπτωσης που εμφανίζεται ως άμεση απορροή (ταυτίζεται με το ποσοστό άμεσης απορροής (Q_b) που οφείλεται στην ύπαρξη αδιαπέρατων σχηματισμών, μέσω των οποίων το περίσσειμα βροχής μετατρέπεται άμεσα σε απορροή). Ουσιαστικά είναι το ποσοστό της αδιαπέρατης επιφάνειας και εκφράζει το ποσοστό που απορρέει άμεσα χωρίς να διεισδύσει στο έδαφος.

K : Η Χωρητικότητα της Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας που εκφράζει την μέγιστη αποθηκευτική ικανότητα του εδάφους (mm).

S_0 : Αρχικό απόθεμα της δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας (mm).

λ : Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή υποδερμικής ροής (εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του εδάφους).

H_l : Κατώφλι αποθέματος Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή υποδερμικής ροής (mm). Επίσης εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά εδάφους.

μ : Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Εδαφικής Υγρασίας για παραγωγή κατείδυσης. Δηλαδή ο ρυθμός που το νερό ρέει από την ακόρεστη προς την κορεσμένη ζώνη του εδάφους.

Η δεύτερη δεξαμενή, η «Υπόγεια Δεξαμενή» υπόκειται της πρώτης δεξαμενής και αναπαριστά έναν ιδανικό υπόγειο υδροφορέα άπειρης χωρητικότητας. Η δεξαμενή αυτή έχει 4 μεταβλητές ελέγχου (παραμέτρους), οι οποίες είναι:

Y_0 : Αρχικό απόθεμα υπόγειας δεξαμενής (mm)

ξ : Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για την παραγωγή βασικής ροής που εξαρτάται από τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του υδροφορέα.

H_2 : Κατώφλι αποθέματος Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για παραγωγή βασικής ροής (mm)

φ : Ρυθμός εκφόρτισης Δεξαμενής Υπόγειου Νερού για παραγωγή υπόγειας διαφυγής.

Αρχικά από το μοντέλο εκτιμάται η άμεση εξατμισοδιαπνοή από την σχέση:

$$E_{Dt} = \min(\varepsilon P_t, E_{Pt}) \quad (5.1)$$

Στην συνέχεια το περίσσειμα βροχόπτωσης μετά την κάλυψη της άμεσης εξατμισοδιαπνοής μετατρέπεται κατά ένα ποσοστό σε άμεση απορροή

$$Q_{Dt} = \kappa(P_t - E_{Dt}) \quad (5.2).$$

Η παράμετρος κ που εκφράζει το ποσοστό της αδιαπέρατης επιφάνειας δεν θα πρέπει να υπεισέρχεται στην εδαφική δεξαμενή αλλά θα πρέπει να είναι ανεξάρτητη από αυτή. Η άμεση απορροή που προέρχεται από τους αδιαπέρατους σχηματισμούς είναι μια διαδικασία που προηγείται χρονικά της διήθησης στο έδαφος.

Στη συνέχεια η διαθέσιμη εδαφική υγρασία που είναι ίση με το άθροισμα της αποθηκευμένης εδαφικής υγρασίας και της περίσσειας της βροχόπτωσης όταν ξεπεράσει την χωρητικότητα της δεξαμενής εδαφικής υγρασίας K θα απορρεύσει ως επίγεια ροή Q_{Qt} :

$$Q_{Qt} = \max(0, S_{\text{init}} - K) \quad (5.3).$$

Μετά και την πραγματοποίηση της εδαφικής εξατμισοδιαπνοής ακολουθεί η πραγματοποίηση της υποδερμικής ροής

$$Q_{It} = \max(0, \lambda (S_{\text{init}} - H_1)) \quad (5.4).$$

και η κατείδυση στον υπόγειο υδροφορέα

$$PERC_t = \max(0, \mu S_{\text{init}}) \quad (5.5).$$

Όσον αφορά τις διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στην Υπόγεια Δεξαμενή: η δεξαμενή αυτή δέχεται ένα ποσοστό νερού από την κατείδυση, ενώ άλλο ένα ποσοστό αφαιρείται μέσω των αντλήσεων. Συνεπώς, το νερό που πλέον είναι διαθέσιμο για άλλες διεργασίες είναι ίσο με:

$$Y_{\text{init}} = Y_t - I + PERC_t - PUMP_t \quad (5.6)$$

Η βασική ροή Q_{bt} δημιουργείται όταν το διαθέσιμο απόθεμα νερού υπερβεί το κατώφλι H_2

$$Q_{bt} = \max(0, \xi(Y_{\text{init}} - H_2)) \quad (5.7)$$

Ως τελευταία διεργασία είναι οι διαφυγές εκτός της λεκάνης:

$$QOUT_t = \varphi Y_{\text{init}} \quad (5.8)$$

Κάθε δεξαμενή αναπαριστά μια στοιχειώδη φυσική διεργασία που πραγματοποιείται κατά τη διαδρομή του νερού μέσα στη λεκάνη απορροής. Στη δεξαμενή εδαφικής υγρασίας εισέρχεται η ποσότητα του νερού από την βροχόπτωση που διηθείται στο έδαφος. Η δεξαμενή έχει ως

εξόδους την πραγματική εξατμισοδιαπνοή, την άμεση απορροή, την υποδερμική ροή και την τροφοδοσία της δεξαμενής υπόγειου νερού. Η πλημμυρική απορροή συμβαίνει όταν υπερχειλίσει η εδαφική δεξαμενή, δηλαδή όταν η καθαρή εισροή ξεπεράσει τη χωρητικότητα της. Η δεξαμενή υπόγειου νερού περιέχει την ποσότητα του νερού που διηθείται από τη υπερκείμενη δεξαμενή εδαφικής υγρασίας και έχει ως εξόδους τη βασική απορροή που απορρέει στο υδατόρευμα και τις διαφυγές. Με το όρο διαφυγές εννοείται η ποσότητα του νερού που τροφοδοτεί κατάντη υδροφόρα στρώματα και, στη συνέχεια, είτε διατηρείται εκεί, είτε καταλήγει σε πηγές και στη θάλασσα.

5.3.2 Εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου Zygos

Ακολουθήθηκαν οι παρακάτω διαδικασίες ώστε το μοντέλο να προσαρμοστεί στα δεδομένα της λεκάνης του ποταμού Σελινούντα. Για να γίνει αυτό, εισήχθησαν στο μοντέλο τα δεδομένα χρονοσειρών που δημιουργήθηκαν σε προηγούμενα στάδια, όπως αυτά περιγράφονται σε προηγούμενα κεφάλαια, και αφορούν την Χωρικά Μέση Βροχόπτωση και την Εξατμισοδιαπνοή.

Επίσης, για την ρύθμιση των παραμέτρων του μοντέλου εισήχθησαν και οι μετρημένες απορροές από την μελέτη για την Δ.Ε.Υ.Α. Αιγίου για την χρονική περίοδο που ήταν αυτές διαθέσιμες.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημάνουμε ότι δεν υπήρχε κοινό χρονικό διάστημα ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή ρύθμιση των παραμέτρων. Για να παρακαμφθεί το πρόβλημα έγιναν οι παρακάτω παραδοχές και επεξεργασίες ώστε τελικά να συμπέσουν χρονικά όλα τα δεδομένα και να γίνει όσο το δυνατόν σωστότερη ρύθμιση – βαθμονόμηση του μοντέλου Zygos:

- i. Ως βασική χρονική περίοδος τέθηκε το χρονικό διάστημα κατά το οποίο ήταν διαθέσιμα τα δεδομένα απορροών δηλαδή η περίοδος 9/1961 – 8/1968. Η χρονοσειρά αυτή επιλέχθηκε να μην αναχθεί σε καμία άλλη χρονική περίοδο για να περιοριστούν έτσι τα διάφορα σφάλματα που μπορεί να προέκυπταν από την εφαρμογή οποιουδήποτε μοντέλου.
- ii. Η χωρικά μέση βροχόπτωση ήταν δυνατό να επεκταθεί στο παρελθόν έως την παραπάνω χρονική διάρκεια βάση των δεδομένων του σταθμού Δροσάτου που επεκτείνονταν και σε ακόμη παλαιότερες ημερομηνίες. Η επέκταση έγινε βάση γραμμικής συσχέτισης μεταξύ των δεδομένων των δυο σταθμών κατά τα πρότυπα της απλής παλινδρόμησης. Η επέκταση αυτή ήταν εφικτή λόγω της μεγάλης συσχέτισης που παρουσίαζαν οι βροχοπτώσεις του σταθμού Δροσάτου με αυτές της υπολογισμένης Χωρικά Μέσης Βροχόπτωσης (κάτι τέτοια ήταν εξάλλου αναμενόμενο και από τα προηγούμενα στάδια όπου ελέγχθηκε η ομοιογένεια των βροχομετρικών δεδομένων και ο σταθμός του Δροσάτου επιλέχθηκε ως σταθμός βάσης εφόσον παρουσίαζε την μεγαλύτερη συσχέτιση με τους άλλους σταθμούς).
- iii. Η εξατμισοδιαπνοή, καθώς δεν υπήρχε κάποια εμφανής συσχέτιση με κανένα από τα υπόλοιπα δεδομένα ώστε να επεκταθεί και αυτή με παρόμοιο με τον προηγούμενο τρόπο, αρχικά υπολογίστηκε η μέση τιμή της για κάθε μήνα ξεχωριστά. Οι μέσες τιμές αυτές συνθέτουν το αντιπροσωπευτικό έτος το οποίο και χρησιμοποιήθηκε ως η πραγματική εξατμισοδιαπνοή για όλα τα έτη για τα οποία απαιτείται η γνώση της σχετικής πληροφορίας. Οπότε για το παραπάνω χρονικό διάστημα χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές της εξατμισοδιαπνοής (για όλα τα έτη εμφανίζονται οι ίδιες μηνιαίες τιμές).

Αφού προετοιμάστηκαν τα δεδομένα σύμφωνα με τα παραπάνω εισήχθησαν στο περιβάλλον του Hydrognomon και στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο με το οποίο ενεργοποιείται το μοντέλο Zygos.

Για την επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου λήφθηκαν αρχικά υπόψη τα στοιχεία που αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο και αφορούσαν το είδος των γεωλογικών σχηματισμών που συναντώνται στην λεκάνη απορροής. Με βάση αυτά λοιπόν τα στοιχεία βγήκε το συμπέρασμα για την χρήση ενός μοντέλου που θα λαμβάνει υπόψη τις υπόγειες διαφυγές όγκου νερού. Το νερό αυτό θα αποθηκεύεται σε υδροφόρους ορίζοντες και στη συνέχεια θα εξέρχεται και πάλι στην επιφάνεια του εδάφους δημιουργώντας πρόσθετη απορροή. Το ποσοστό του όγκου του νερού που τελικά χάνεται ως βαθιά διείσδυση από τον άμεσα εμπλεκόμενο υδροφόρο ορίζοντα θεωρήθηκε ότι είναι πολύ μικρό έως αμελητέο και δεν λαμβάνεται υπόψη.

Ωστόσο η αρχική δοκιμή με το μοντέλο Zygos περιλάμβανε όλες τις παραμέτρους, ακόμα και αυτές που προϋποθέτουν ότι ένα ποσοστό του όγκου νερού χάνεται και δεν μπορεί να είναι αξιοποιήσιμο, σε αντίθεση με την προηγούμενη υπόθεσή μας.

Στη συνέχεια ακολούθησαν κι άλλες δοκιμές με λιγότερες παραμέτρους.

Κριτήριο για την επιλογή του βέλτιστου μοντέλου, δηλαδή αυτό που αποδίδει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις φυσικές διεργασίες, ήταν η τιμή του συντελεστή συσχέτισης ή όπως αναφέρεται στην φόρμα του μοντέλου “objective function”, ο οποίος και επιδιωκόταν να είναι όσο το δυνατό πλησιέστερα στη μονάδα που αποτελεί και τη βέλτιστη τιμή. Συντελεστής ίσος με τη μονάδα θα σήμαινε ότι το επιλεγμένο μοντέλο αναπαριστούσε ακριβώς τις φυσικές διεργασίες παραγωγής απορροής από τις βροχοπτώσεις.

Κάτι τέτοιο φυσικά είναι πρακτικώς αδύνατο. Ένα μοντέλο προσομοίωσης δεν παύει ποτέ να δίνει μια προσέγγιση των πολύπλοκων φυσικών διεργασιών, πόσο μάλλον στην περίπτωση μας, όπου έχουμε να κάνουμε με μέσες μηνιαίες τιμές εξαμνησιοδιαπνοής (και όχι τις ακριβείς τιμές που θα είχε αυτή αν ήταν διαθέσιμα τα δεδομένα ακριβώς την ίδια χρονική περίοδο) και επεκταμένες, βάση κάποιας συσχέτισης, βροχοπτώσεις.

Τα παραπάνω προβλήματα στην ακρίβεια υπολογισμών είναι αναμενόμενα σε τέτοιου είδους μελέτες. Γι’ αυτό έχει άλλωστε τεθεί το ζήτημα της βελτιστοποίησης και του είδους των μοντέλων αλλά και την λειτουργία και την όσο το δυνατόν καλύτερη προσαρμογή αυτών στα πραγματικά δεδομένα.

Αφού έγινε η επιλογή των ποιών παραμέτρων θα χρησιμοποιηθούν στο τελικό μοντέλο, σειρά είχε η βελτιστοποίηση των παραμέτρων αυτών ώστε το μοντέλο να ανταποκρίνεται ακόμη καλύτερα στην πραγματικότητα. Και σε αυτό το στάδιο, κριτήριο για την επιλογή των βέλτιστων τιμών των παραμέτρων ήταν η τιμή του παραπάνω συντελεστή.

Η τιμή του συντελεστή – δείκτη λοιπόν αυτού παρουσιάζεται στον επόμενο πίνακα για τις διάφορες δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν για την επιλογή του καλύτερου μοντέλου (σημειώνουμε ότι έγινε μια αρχική εκτίμηση χωρίς να αλλαχθούν τα προτεινόμενα όρια μέσα στα οποία θα κινούταν η καθεμία από τις παραμέτρους):

Πίνακας 5.1: Αρχικές δοκιμές για επιλογή του καταλληλότερου μοντέλου αναπαράστασης των φυσικών διεργασιών

Δοκιμή με απουσία της παραμέτρου:	Συντελεστής προσαρμογής
Καμία	0.452
φ	0.561
φ, Q_b	0.452
μ	0.515
φ, Q_i	0.561
φ, Q_b, Q_i	0.367

Ενδιαφέρον παρουσίασαν η δεύτερη και πέμπτη δοκιμή οι οποίες και διερευνήθηκαν περαιτέρω με διάφορες τιμές των παραμέτρων του μοντέλου, έτσι ώστε να επιτευχθεί ο βέλτιστος συντελεστής προσδιορισμού.

Για να επιτευχθεί βέλτιστο αποτέλεσμα, η διαδικασία της βαθμονόμησης απαιτούσε και τη διαχείριση των εμπλεκόμενων ημερομηνιών που ήταν διαθέσιμες απορροές (που όπως αναφέρθηκε παραπάνω χρησιμοποιούνται για την καθεαυτό βαθμονόμηση). Η σωστή διαχείρισή τους προϋποθέτει την διατήρηση κάποιων από τις διαθέσιμες μετρήσεις εκτός της βαθμονόμησης. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται μετά την βαθμονόμηση για έλεγχο της αξιοπιστίας του μοντέλου και εκτίμηση του συντελεστή προσαρμογής με βάση την προσαρμογή του βαθμονομημένου μοντέλου στις τιμές αυτές.

Στην περίπτωση μας έγιναν και δοκιμές με χρήση των μετρήσεων των τεσσάρων πρώτων ετών (από τα περίπου 8 συνολικά) για τη βαθμονόμηση του μοντέλου και την διατήρηση των υπόλοιπων ετών για έλεγχο και επαλήθευση.

Στον παρακάτω Πίνακα 5.2 φαίνονται μερικές από τις δοκιμές που έγιναν, ενώ στο Παράρτημα παραβάλλεται πίνακας με μεγαλύτερο αριθμό δοκιμών.

Πίνακας 5.2: Δοκιμές για βέλτιστη βαθμονόμηση του μοντέλου Zygos

Δοκιμή	1	2	3	4	5	6
κ	0.01	0.139	0.134	0.214	0	0.161
μ	0.01	0.166	0.167	0	0.236	0.073
ε	0.01	0.01	0.01	147.858	0	0.01
H_1	16.2	318.6	534	0.99	110.96	454.757
H_2	249.39	299.92	300	0.184	261.92	300
λ	0.147	0.24	0.809	259.4	0.99	0.299
ζ	0.974	0.191	0.194	44.876	0.329	0.178
φ	0.814	0	0	0.673	0	0
K	600	600	600	0	346.75	472.23
S_0	0	16.2	3	0	132.112	171.892
Y_0	9.28	26.9	35.7	0	41.2	5
R^2	0.533	0.645	0.639	0.71	0.709	0.647

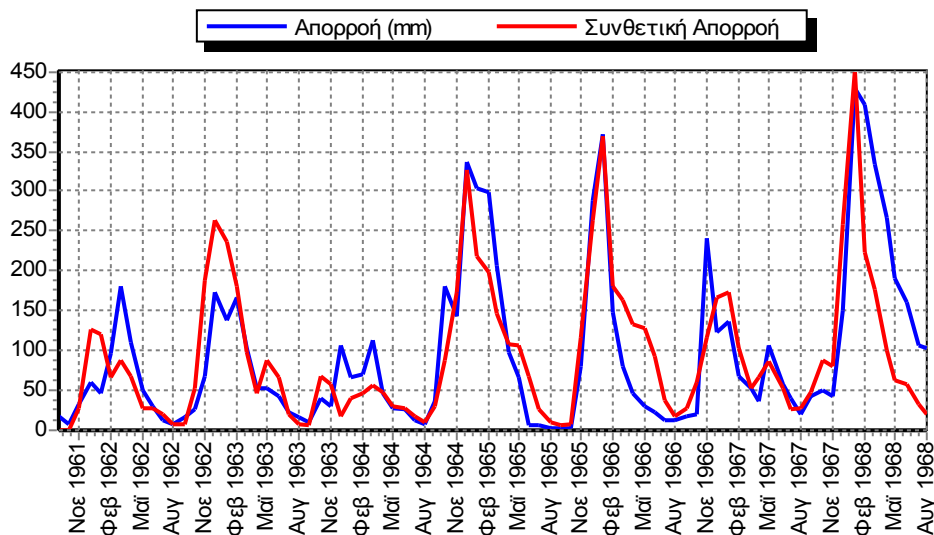
Οι τελικές τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που επέφεραν και τον μέγιστο δυνατό συντελεστή συσχέτισης φαίνονται στον Πίνακα 5.3:

Πίνακας 5.3: Τελικές τιμές παραμέτρων του μοντέλου Zygos

κ	0
μ	0.01
ε	0
H_1	47.28
H_2	158.85
λ	0.106
ξ	0.492
φ	0
K	240
S_0	2.16
Y_0	6.78

Για τις παραπάνω τιμές ο συντελεστής προσαρμογής υπολογίστηκε 0.712

Στο επόμενο διάγραμμα παρουσιάζονται ταυτόχρονα η μετρημένη απορροή και η απορροή που υπολογίστηκε με το μοντέλο Zygos.



Σχήμα 5.2: Μετρημένη απορροή (μπλε) και απορροή υπολογισμένη με το μοντέλο Zygos (κόκκινο) σε (mm)

Η κατάρτιση του μοντέλου είχε σκοπό την αναλυτική έκφραση της διαδικασίας μετατροπής της βροχόπτωσης σε απορροή μέσω του συνόλου των φυσικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούντα.

Το παραπάνω μοντέλο βροχής απορροής θα χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια για σύνθεση χρονοσειράς μηνιαίων απορροών 2000 ετών με βάση την αντίστοιχη χρονοσειρά βροχοπτώσεων.

6 Συνθετικές χρονοσειρές

6.1 Εισαγωγή

Για να βγουν ασφαλή συμπεράσματα σχετικά με την συμπεριφορά της μελετώμενης λεκάνης είναι αναγκαία η πρόβλεψη της εξέλιξης των φαινομένων που συμβαίνουν σε αυτήν στο μέλλον. Φυσικά, η πρόβλεψη δεν είναι τίποτα άλλο από μια σχετική εκτίμηση. Για βελτιστοποίηση λοιπόν της διαδικασίας, σκόπιμη είναι η σύνθεση χρονοσειρών αρκετά μεγάλης διάρκειας (1000 ή 2000 ετών).

Για να πραγματοποιηθεί μία τέτοια σύνθεση χρησιμοποιούνται δυο μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί από τον επιστημονικό κλάδο που είναι γνωστός ως *ανάλυση συστημάτων*. Οι μέθοδοι αυτές είναι:

- i. Η προσομοίωση η οποία ορίζεται ως η «τεχνική μίμησης της συμπεριφοράς ενός πραγματικού συστήματος σε ότι αφορά στη χρονική του εξέλιξη» (Winston, 1994)
- ii. Η βελτιστοποίηση, που σύμφωνα με έναν γενικό ορισμό, είναι η διαδικασία του σχεδιασμού ή της λειτουργίας ενός συστήματος η οποία κάνει το σύστημα όσο το δυνατόν καλύτερο κατά μια προκαθορισμένη έννοια. Μαθηματικά αυτό ισοδυναμεί με την εύρεση μιας ή περισσότερων λύσεων που είναι οι καλύτερες δυνατές.

Στόχος των παραπάνω μεθόδων είναι η δημιουργία ενός μοντέλου που να προσομοιάζει με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο μια φυσική διαδικασία.

Ως *μοντέλο χρονοσειρών* ορίζεται λοιπόν «ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων που περιγράφουν την εξέλιξη στο χρόνο των υπό μελέτη μεγεθών, με τρόπο που να διατηρούνται ορισμένα στατιστικά χαρακτηριστικά τους» (Ναλμπάντης, 2007).

Για την μοντελοποίηση ακολουθούνται τα παρακάτω στάδια:

- i. *Προκαταρκτική επεξεργασία δεδομένων*: Αυτή περιλαμβάνει τα εξής:
 - Ανίχνευση, μοντελοποίηση και αφαίρεση τάσεων
 - Εντοπισμός και απαλοιφή εξαιρετικά ακραίων τιμών
 - Μοντελοποίηση και αφαίρεση περιοδικοτήτων
 - Προσαρμογή κατάλληλων συναρτήσεων κατανομής στα δεδομένα
- ii. *Προσδιορισμός του σχήματος μοντελοποίησης*: με βάση την εμπειρία και τα χαρακτηριστικά του προς επίλυση προβλήματος, λαμβάνεται η απόφαση σχετικά με το είδος των μοντέλων και, ενδεχομένως, του συνδυασμού μοντέλων που θα χρησιμοποιηθούν
- iii. *Προσδιορισμός του τύπου του μοντέλου*: με βάση τη γνώση του αναλυτή σε ότι αφορά τη συμπεριφορά των μοντέλων και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των προς μοντελοποίηση χρονοσειρών, επιλέγεται ο τύπος του μοντέλου (π. χ. AR, MA, ARMA κλπ.)

- iv. *Επιλογή συγκεκριμένου μοντέλου* (απ' τον τύπο που επιλέχθηκε στο προηγούμενο στάδιο): το μοντέλο αυτό έχει πλέον συγκεκριμένη δομή, συγκεκριμένες άγνωστες σταθερές προς εκτίμηση που αναφέρονται ως παράμετροι, και γνωστές ιδιότητες σε ότι αφορά τη στατιστική συμπεριφορά του, όπως αυτή έχει προκύψει από κατάλληλη έρευνα
- v. *Προσαρμογή του μοντέλου* (στις παρατηρημένες χρονοσειρές που διατίθενται): στο στάδιο αυτό, πραγματοποιείται η εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου, διαδικασία που είναι γνωστή ως βαθμονόμηση
- vi. *Έλεγχος της καταλληλότητας του μοντέλου*: στο στάδιο αυτό, ελέγχεται η ισχύς των υποθέσεων που έγιναν στα προηγούμενα στάδια
- vii. *Εκτίμηση της αβεβαιότητας* (τόσο στις προγνώσεις του μοντέλου για την ανέλιξη που μοντελοποιείται, όσο και στις παραμέτρους του μοντέλου)

6.2 Συνθετική χρονοσειρά ύψους βροχής

Για την σύνθεση μιας χρονοσειράς υψών βροχής έγινε χρήση του λογισμικού Hydrognomon και συγκεκριμένα του υποσυστήματος Castalia. Το εργαλείο αυτό επιτρέπει την παραγωγή χρονοσειρών βάσει μια ιστορική χρονοσειρά και ένα μοντέλο που προεπιλέγεται. Τα τυπικά μοντέλα που μπορούμε να επιλέξουμε είναι δυο ειδών:

- i. Μοντέλο αυτοσυσχέτισης (AR)
- ii. Μοντέλο συμμετρικών κινούμενων μέσων όρων (SMA)

Έχει αποδειχθεί ότι το μοντέλο που αποδίδει τα καλύτερα αποτελέσματα σε μια τέτοιου είδους μελέτη είναι ένα μοντέλο *συμμετρικών κινούμενων μέσων όρων* (SMA) το οποίο και αναλύεται παρακάτω.

6.2.1 Ανάλυση του μοντέλου συμμετρικών κινούμενων μέσων όρων (SMA)

Κάθε στοχαστική ανέλιξη X_i με γνωστή ακολουθία αυτοσυνδιασπορών γ_j μπορεί να γραφεί ως ένα σταθμισμένο άθροισμα άπειρων τυχαίων μεταβλητών, ήτοι:

$$X_i = \sum_{j=-\infty}^0 a_{-j} V_{i+j} = \dots + a_2 V_{i-2} + a_1 V_{i-1} + a_0 V_i \quad (6.1)$$

όπου a_j οι συντελεστές στάθμισης που προσδιορίζονται από την ακολουθία των αυτοσυνδιασπορών γ_j , και V_i ο λευκός θόρυβος ή αλλιώς *μεταβλητές ανανέωσης* (innovations), που θεωρείται ότι είναι στοχαστικά ανεξάρτητες μεταξύ τους και έχουν μοναδιαία διασπορά. Το μοντέλο (6.1) είναι το γνωστό σχήμα γέννησης *κινούμενων προς τα πίσω μέσων όρων* (BMA, backward moving average), το οποίο εισήχθη από τους Box και Jenkins. Ειδικότερα, οι συντελεστές a_j συνδέονται με τις αυτοσυνδιασπορές γ_j μέσω ενός συστήματος εξισώσεων της μορφής:

$$\gamma_i = \sum_{j=0}^{+\infty} a_j a_{i+j} \quad (6.2)$$

Στην πράξη, δηλαδή κατά την παραγωγή συνθετικών χρονοσειρών μέσω του σχήματος (6.1), το πλήθος των μεταβλητών ανανέωσης V_i δεν είναι άπειρο, καθώς: (α) το μήκος της προσομοίωσης, και, συνεπώς, το πλήθος των συνθετικών τιμών X_i είναι προφανώς πάντοτε πεπερασμένο, και (β) οι συντελεστές a_j τείνουν να μηδενιστούν όσο αυξάνει το χρονικό βήμα

j , οπότε όλοι οι όροι της ακολουθίας (6.1) μπορούν να αμεληθούν μετά κάποιο πεπερασμένο όριο $j > -s$. Τονίζεται ότι το εν λόγω όριο s είναι πολύ μεγαλύτερο από την συνήθη τάξη p, q μιας στοχαστικής ανέλιξης τύπου ARMA. Με βάση τα παραπάνω, οι απειροσειρές (6.1) και (6.2) μπορούν να προσεγγιστούν από τις πεπερασμένες ακολουθίες:

$$X_i = \sum_{j=-s}^0 a_{-j} V_{i+j} = a_s V_{i-s} + \dots + a_2 V_{i-2} + a_1 V_{i-1} + a_0 V_i \quad (6.3)$$

$$\gamma_i = \sum_{j=0}^{s-i} a_j a_{i+j} \quad (6.4)$$

Για ευκολότερη εκτίμηση των συντελεστών του μοντέλου, ο *Koutsoyiannis* (2000) εισήγαγε μια εναλλακτική διατύπωση. Αρχικά, υπέθεσε ότι η στοχαστική ανέλιξη X προκύπτει ως σταθμισμένο άθροισμα τόσο άπειρων προηγούμενων όσο και άπειρων επόμενων τυχαίων μεταβλητών, ορίζοντας έτσι το λεγόμενο σχήμα γέννησης *κινούμενων μέσων όρων διπλής κατεύθυνσης* (BFMA, backwardforward moving average), που είναι μια απειροσειρά της μορφής:

$$X_i = \sum_{j=-\infty}^{+\infty} a_j V_{i+j} = \dots + a_{-1} V_{i-1} + a_0 V_i + a_1 V_{i+1} + \dots \quad (6.5)$$

Στην συνέχεια, όρισε μια ειδική περίπτωση του σχήματος γέννησης BFMA, το λεγόμενο σχήμα γέννησης *συμμετρικών κινούμενων μέσων όρων* (SMA, symmetric moving average), με την θεώρηση της συνθήκης συμμετρίας $a_j = a_{-j}$. Όμοια με προηγουμένως, αν θεωρηθεί ότι αμελούνται οι όροι a_j μετά από κάποιο όριο $|j| > s$, το σχήμα SMA προσεγγίζεται από την πεπερασμένη ακολουθία:

$$X_i = \sum_{j=-s}^{+s} a_{|j|} V_{i+j} = a_s V_{i-s} + \dots + a_1 V_{i-1} + a_0 V_i + a_1 V_{i+1} + \dots + a_s V_{i+s} \quad (6.6)$$

Οι συντελεστές a_j συνδέονται με τις αυτοσυνδιασπορές γ_j μέσω ενός συστήματος $2s + 1$ εξισώσεων της μορφής:

$$\gamma_i = \sum_{j=-s}^{s-i} a_{|j|} a_{i+j} \quad (6.7)$$

ή ισοδύναμα:

$$\gamma_i = \sum_{j=0}^i a_j a_{i-j} + 2 \sum_{j=i+1}^s a_j a_{j-i}, \quad i=0 \dots s$$

$$\gamma_i = \sum_{j=i-s}^s a_j a_{i-j}, \quad i=s+1 \dots 2s \quad (6.8)$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το πλήθος των συντελεστών a_j είναι ίσο με $s + 1$, το μοντέλο (6.6) αναπαράγει τους πρώτους $s + 1$ όρους της ακολουθίας των αυτοσυνδιασπορών γ_j (που εκτιμώνται από την θεωρητική συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς της ανέλιξης), ενώ και οι επόμενοι όροι μέχρι $j = 2s$ εξακολουθούν να είναι μη μηδενικοί.

Το σχήμα γέννησης SMA χρησιμοποιείται για την γέννηση των ετήσιων υδρολογικών μεταβλητών που θεωρούνται στάσιμες, καθώς στην κλίμακα αυτή εξαφανίζονται οι ενδοετήσιες περιοδικότητες. Το εν λόγω σχήμα, συνδυαζόμενο με την γενικευμένη συνάρτηση αυτοσυνδιασποράς, είναι κατάλληλο για την αναπαραγωγή της μακροπρόθεσμης

εμμοής των μεταβλητών. Συγκεκριμένα, όχι μόνο διατηρεί τις θεωρητικές τιμές που προκύπτουν με κατάλληλη ρύθμιση των παραμέτρων που χαρακτηρίζουν την εμμοή της στοχαστικής ανέλιξης, αλλά αναπαράγει θετικές τιμές των συνθετικών συντελεστών αυτοσυσχετίσης για μήκος διπλάσιο του αντίστοιχου μήκους του θεωρητικού αυτοσυσχετογράμματος. Οι παράμετροι του μοντέλου SMA είναι οι $s + 1$ συντελεστές στάθμισης, a_j , και τα στατιστικά χαρακτηριστικά (μέση τιμή και ασυμμετρία) των μεταβλητών ανανέωσης, V_i .

6.2.2 Εκτίμηση συντελεστών στάθμισης

Η σχέση (6.7) ορίζει ένα σύστημα μη γραμμικών εξισώσεων ως προς τις άγνωστες παραμέτρους a_j . Το σύστημα αυτό επιλύεται είτε αναλυτικά (υπό προϋποθέσεις) είτε αριθμητικά. Σημειώνεται ότι η ακρίβεια της αναπαραγωγής της στοχαστικής δομής της ανέλιξης, ήτοι των αυτοσυνδιασπορών γ_j , εξαρτάται από την ακρίβεια εκτίμησης των παραμέτρων a_j .

α) Κλειστή λύση

Αποδεικνύεται ότι ο διακριτός μετασχηματισμός Fourier $s_a(\omega)$ της ακολουθίας των συντελεστών a_j συνδέεται με το φάσμα ισχύος $s_\gamma(\omega)$ της ακολουθίας των αυτοσυνδιασπορών γ_j με την σχέση:

$$s_a(\omega) = \sqrt{2s_\gamma(\omega)} \quad (6.9)$$

Κατά συνέπεια, η ακολουθία a_j είναι γνωστή εφόσον είναι γνωστή η αυτοσυνδιασπορά της στοχαστικής ανέλιξης. Στην περίπτωση αυτή, οι συντελεστές a_j μπορούν να υπολογιστούν με τον αντίστροφο μετασχηματισμό:

$$a_j = \int_0^{\frac{1}{2}} s_a(\omega) \cdot \cos(2\pi j\omega) d\omega \quad (6.10)$$

Εφόσον το όριο s είναι δύναμη του δύο, ήτοι $s = 2k$, η επίλυση του ολοκληρώματος (6.10) μπορεί να γίνει με τον *ταχύ μετασχηματισμό Fourier* (FFT, fast Fourier transform). Σε διαφορετική περίπτωση, το ολοκλήρωμα υπολογίζεται αριθμητικά, βάσει του τύπου:

$$a_j = \omega_1 \left[\frac{s_a(0)}{2} + \sum_{i=1}^s s_a(\omega_i) \cdot \cos(2\pi j\omega_i) \right] \quad (6.11)$$

όπου:

$$\omega_j = \frac{j}{2s+1} \quad (6.12)$$

β) Αριθμητική εκτίμηση

Η (6.7) μπορεί να γραφεί σε μορφή πίνακα ως:

$$\mathbf{p} \boldsymbol{\zeta} = \boldsymbol{\theta} \quad (6.13)$$

όπου $\boldsymbol{\zeta} = [a_0, \dots, a_s]$, $\boldsymbol{\theta} = [\gamma_0, \dots, \gamma_s]^T$ και \mathbf{p} πίνακας διαστάσεων $(s+1) \times (s+1)$ με στοιχεία:

$$p_{ij} = \frac{1}{2} [a_{|j-i|} + a_{j+i-2} U(j-2) U(s-i-j+1)] \quad (6.14)$$

όπου $U(x)$ η λεγόμενη συνάρτηση άλματος ή συνάρτηση Heaviside, με τιμές $U(x) = 1$ για $x \geq 0$ και $U(x) = 0$ για $x < 0$.

Κάθε μεμονωμένη εξίσωση του συστήματος (6.13) περιέχει δεύτερης τάξης γινόμενα των άγνωστων συντελεστών a_j . Κατά συνέπεια, το σύστημα έχει μία ή περισσότερες λύσεις εφόσον έχει οριστεί μια εφικτή ακολουθία αυτοσυνδιασπορών γ_j είναι θετικά ορισμένο. Διαφορετικά, το σύστημα δεν έχει ακριβή λύση. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, ζητείται μια προσεγγιστική λύση που να ικανοποιεί όσο το δυνατόν καλύτερα τη μητρική εξίσωση (6.13). Για τον σκοπό αυτό, η επίλυση του συστήματος διατυπώνεται ως ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης:

$$f(\zeta) = f(a_0, \dots, a_s) = \|\mathbf{p}\zeta - \boldsymbol{\theta}\|^2 + \lambda (\mathbf{p}_1 \zeta - \gamma_0) \mathbf{p}_1 \quad (6.15)$$

όπου \mathbf{p}_1 η πρώτη γραμμή του μητρώου \mathbf{p} , λ συντελεστής βάρους και $\|\cdot\|$ η ευκλείδεια νόρμα ενός διανύσματος. Ο δεύτερος όρος της αντικειμενικής συνάρτησης εκφράζει την τετραγωνική απόκλιση της εκτιμημένης από την δειγματική διασπορά γ_0 . Αν και η συνθήκη διατήρησης της διασποράς περιλαμβάνεται στον πρώτο όρο της συνάρτησης, είναι σκόπιμο να αντιμετωπίζεται και ξεχωριστά, με την εισαγωγή του συντελεστή βάρους λ , τάξης μεγέθους του 10^3 . Για την ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης (3.32) εφαρμόζεται η αριθμητική μέθοδος των συζυγών κλίσεων (Press et al., 1992), που προϋποθέτει την αναλυτική διατύπωση των μερικών παραγώγων της συνάρτησης $f(\zeta)$. Αποδεικνύεται ότι:

$$\frac{df(\zeta)}{d\zeta} = 4(\mathbf{p}\zeta - \boldsymbol{\theta})^T \mathbf{p} + 4\lambda (\mathbf{p}_1 \zeta - \gamma_0) \mathbf{p}_1 \quad (6.16)$$

Η μέθοδος, η οποία είναι επαναληπτική, απαιτεί τον ορισμό μιας εφικτής τιμής εκκίνησης $\zeta_{[0]}$. Μια τέτοια αρχική λύση είναι το διάνυσμα $[\sqrt{\gamma_0}, 0, \dots, 0]^T$. Εάν στην k δοκιμή είναι γνωστό το μητρώο $\zeta_{[k]}$, τότε στην επόμενη προσδιορίζεται ένα εφικτό μητρώο $\zeta_{[k+1]}$, το οποίο βελτιώνει πάντα την τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης. Η αναδρομική σχέση υπολογισμού του $\zeta_{[k+1]}$ είναι:

$$\zeta^{[k+1]} = \zeta^{[k]} - \left[\beta^{[k+1]} \left(\frac{df}{d\zeta} \right)^{[k]} + \gamma^{[k]} \left(\frac{df}{d\zeta} \right)^{[k-1]} \right] \quad (6.17)$$

όπου:

$$\gamma^{[k]} = \frac{\left| \left(\frac{df}{d\zeta} \right)^{[k]} \right|^2}{\left| \left(\frac{df}{d\zeta} \right)^{[k-1]} \right|^2} \quad (6.18)$$

και $\beta_{[k+1]}$ παράμετρος που εκτιμάται μέσω ενός σχήματος αναζήτησης ακρότατου σε μία διάσταση. Για την εφαρμογή του αλγορίθμου, στο πρώτο βήμα ($k = 0$) όπου δεν ορίζεται η τιμή της παραγώγου $(df/d\zeta)^{[-1]}$, τίθεται $\gamma^{[0]} = 0$.

6.2.3 Εκτίμηση στατιστικών χαρακτηριστικών μεταβλητών ανανέωσης

Εκτός από τους συντελεστές a_i που σχετίζονται την αυτοσυνδιασπορά της ανέλιξης, απαιτείται ο προσδιορισμός δύο επιπλέον παραμέτρων του μοντέλου (6.6). Πρόκειται για την μέση τιμή $\mu_V = E[V_i]$ και τον συντελεστή ασυμμετρίας $\xi_V = E[(V_i - \mu_V)^3]$ των τυχαίων μεταβλητών V_i , που εκτιμώνται από τις σχέσεις:

$$\left(a_0 + 2 \sum_{j=1}^s a_j \right) \mu_V = \mu_X \quad (6.19)$$

$$\left(a_0^3 + 2 \sum_{j=1}^s a_j^3 \right) \xi_V = \xi_X \gamma_0^{3/2} \quad (6.20)$$

Σημειώνεται ότι οι διασπορές των V_i είναι εξ ορισμού ίσες με τη μονάδα, δηλαδή:

$$\text{Var}[V_i] = 1 \quad (6.21)$$

6.2.4 Παράμετροι του υποσυστήματος Castalia

Το σύστημα επιτρέπει την επιλογή των τιμών των παραμέτρων βάση των οποίων θα δημιουργηθεί η χρονοσειρά. Οι παράμετροι παρουσιάζονται κατηγοριοποιημένοι στους παρακάτω πίνακες:

Πίνακας 6.1: Παράμετροι που αναφέρονται στη διαδικασία διάσπασης των μητρώων συνδιασπορών

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ - ΣΧΟΛΙΑ
Μέγιστο επιτρεπόμενο τετραγωνικό σφάλμα	Για την αποσύνθεση των μητρώων συνδιασπορών \mathbf{c} σε πολυμεταβλητά στοχαστικά σχήματα, ήτοι την επίλυση μιας μητρωικής εξίσωσης της μορφής $\mathbf{b} \mathbf{b}^T = \mathbf{c}$, εφαρμόζεται μια τεχνική βελτιστοποίησης. Η εν λόγω παράμετρος εκφράζει την μέγιστη αποδεκτή τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης (τυπικά όρια 0.001 – 0.1).
Μέγιστος αριθμός εκκινήσεων από διαφορετικές (τυχαίες) τιμές	Για την προσέγγιση της ολικά βέλτιστης λύσης, ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης επαναλαμβάνεται για καθορισμένο πλήθος αρχικών τιμών (1 - 100), ώστε να εξασφαλιστεί καλύτερη προσέγγιση της ολικά βέλτιστης λύσης. Η διαδικασία διακόπτεται μόλις επιτευχθεί η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της συνάρτησης.
Κριτήριο σύγκλισης αλγορίθμου βελτιστοποίησης	Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης διακόπτεται μόλις η σχετική μεταβολή της τιμής της συνάρτησης γίνει μικρότερη από την τιμή της παραμέτρου (τυπικά όρια 0.0001 – 0.01).
Παράμετροι αντικειμενικής συνάρτησης ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, p$)	Η αντικειμενική συνάρτηση περιλαμβάνει τρεις όρους: (1) απόκλιση ως προς τις ετεροσυσχετίσεις, (2) απόκλιση ως προς τις διασπορές, και (3) απόκλιση ως προς την ασυμμετρία του δείγματος. Τα $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ είναι οι αντίστοιχοι συντελεστές βάρους, με τυπικές τιμές $\lambda_1 = 1, \lambda_2 = 100, \lambda_3 = 0.001$, ενώ ο ακέραιος p εκφράζει την σχετική βαρύτητα του μέγιστου ως προς τον μέσο συντελεστή ασυμμετρίας (τυπική τιμή $p = 8$).
Ελάχιστη τιμή διαγώνιου στοιχείου (τριγωνοποίηση μητρώου \mathbf{b})	Σε πρώτη προσέγγιση, το ζητούμενο μητρώο \mathbf{b} υπολογίζεται με τη μέθοδο τριγωνοποίησης Cholesky. Αν το μητρώο δεν είναι θετικά ορισμένο, τίθεται μια μικρή, μη μηδενική τιμή ορισμού στα διαγώνια στοιχεία του (< 0.1).

Πίνακας 6.2: Παράμετροι που αναφέρονται στην παραγωγή τυχαίων αριθμών

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ - ΣΧΟΛΙΑ
Γεννήτρια αριθμών γάμα κατανομής	Μεταξύ των δύο γεννητριών, συνίσταται ο αλγόριθμος που βασίζεται στη μέθοδο της απόρριψης.
Αριθμός Seed	Αρχική τιμή ("σπόρος") της ακολουθίας των τυχαίων αριθμών ομοιόμορφης κατανομής, οι οποίοι χρησιμοποιούνται βοηθητικά κατά την παραγωγή τυχαίων αριθμών γάμα κατανομής και σε ορισμένες ρουτίνες βελτιστοποίησης. Αλλάζοντας την τιμή του αριθμού Seed, παράγονται χρονοσειρές με ίδια στατιστικά χαρακτηριστικά αλλά διαφορετική ακολουθία τιμών.

Πίνακας 6.3: Παράμετροι που αναφέρονται στο στοχαστικό μοντέλο των ετήσιων μεταβλητών

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ - ΣΧΟΛΙΑ
Επιλογή μοντέλου	AR(1): πρόκειται για μοντέλο βραχείας μνήμης. (SMA): το μοντέλο αναπαράγει το φαινόμενο της εμμονής.
Εκτίμηση συντελεστών a του μοντέλου SMA	Οι συντελεστές a του μοντέλου SMA συνδέονται με την ακολουθία των αυτοσυνδιασπορών μέσω ενός συστήματος μη γραμμικών εξισώσεων. Οι εξισώσεις έχουν αναλυτική λύση με εφαρμογή της μεθόδου FFT, που προϋποθέτει μήκος αυτοσυσχετογράμματος που είναι δύναμη του 2. Διαφορετικά, επιλέγεται είτε η αναλυτική επίλυση του ολοκληρώματος Fourier (σχετικά αργή σύγκλιση) είτε η αριθμητική εκτίμηση (πολύ αργή σύγκλιση).
Κριτήριο σύγκλισης αριθμητικής μεθόδου	Εφόσον η εκτίμηση των συντελεστών a γίνεται αριθμητικά, ορίζεται η αντικειμενική συνάρτηση ενός προβλήματος βελτιστοποίησης. Η εν λόγω παράμετρος αποτελεί άνω όριο της σχετικής μεταβολής της τιμής της αντικειμενικής συνάρτησης (τυπικά όρια 0.0001 – 0.01).
Συντελεστής αντικειμενικής συνάρτησης	Συντελεστής βάρους του δεύτερου όρου της αντικειμενικής συνάρτησης, ο οποίος εκφράζει την τετραγωνική απόκλιση ως προς τις διασπορές (τυπική τιμή 100).
Μήκος αυτοσυσχετογράμματος	Συστήνεται ο ορισμός τιμής που είναι δύναμη του 2, έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί η ταχεία μέθοδος FFT.

Πίνακας 6.4: Παράμετροι που αναφέρονται στη γέννηση των συνθετικών χρονοσειρών

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ - ΣΧΟΛΙΑ
Πλήθος συνθετικών χρονοσειρών	Το μέγιστο πλήθος χρονοσειρών είναι ίσο με 1 000, υπό την προϋπόθεση συνολικού πλήθους δεδομένων $\leq 100\ 000$.
Μήκος συνθετικών χρονοσειρών	Το μέγιστο μήκος κάθε χρονοσειράς είναι ίσο με 10 000 έτη, υπό την προϋπόθεση συνολικού πλήθους δεδομένων $\leq 100\ 000$.
Λειτουργία μοντέλου υπό μορφή πρόγνωσης	Το πρόγραμμα υποστηρίζει δύο τρόπους εφαρμογής του σχήματος γέννησης χρονοσειρών: (α) προσομοίωση μόνιμης κατάστασης, και (β) πρόγνωση με δεδομένες αρχικές συνθήκες. Στη δεύτερη περίπτωση, λαμβάνεται υπόψη η ακολουθία των παρελθουσών τιμών υπό μορφή μαθηματικής δέσμευσης.
Μέγιστη επιτρεπόμενη αρνητική τιμή	Εφόσον ο συντελεστής ασυμμετρίας είναι ιδιαίτερα υψηλός, μπορούν να παραχθούν αρνητικές τιμές. Η εν λόγω παράμετρος εκφράζει τη μέγιστη αποδεκτή αρνητική τιμή που στη συνέχεια τίθεται ίση με μηδέν.
Κριτήριο σύγκλισης αλγορίθμου γέννησης μηνιαίων χρονοσειρών	Για τη διατήρηση της ασυμμετρίας και των ετεροσυσχετίσεων των μηνιαίων συνθετικών χρονοσειρών ακολουθείται ένας επαναληπτικός αλγόριθμος. Η παράμετρος εκφράζει την ανοχή μεταξύ της ετήσιας και των επιμέρους μηνιαίων τιμών, ως ποσοστό της ετήσιας τυπικής απόκλισης (τυπικά όρια 0.05 – 0.5).
Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων	Η παράμετρος εκφράζει το όριο επαναλήψεων του αλγορίθμου, ο οποίος διακόπτεται εφόσον επιτευχθεί το κριτήριο σύγκλισης (τυπικές τιμές 50 – 5 000).

Οι παράμετροι που τελικά επιλέχθηκαν για την δημιουργία της χρονοσειράς 2000 ετών βάση της χρονοσειράς της Χωρικά μέσης βροχόπτωσης (η οποία και δημιουργήθηκε με διαδικασίες που περιγράφονται σε προηγούμενο κεφάλαιο) φαίνονται παρακάτω:

Μέγιστο επιτρεπόμενο τετραγωνικό σφάλμα: 0.05

Μέγιστος αριθμός εκκινήσεων από διαφορετικές (τυχαίες) τιμές: 50

Κριτήριο σύγκλισης αλγορίθμου βελτιστοποίησης: 10^{-5}

λ_1 : 1

λ_2 : 1000

λ_3 : 0.001

p : 8

Ελάχιστη τιμή διαγώνιου στοιχείου (τριγωνοποίηση μητρώου **b**): 0.0001

Γεννήτρια αριθμών γάμα κατανομής: 3 παράμετροι

Αριθμός Seed: 1

Κριτήριο σύγκλισης αριθμητικής μεθόδου: 0.0001

Κριτήριο σύγκλισης αριθμητικής μεθόδου: 100

Μήκος αυτοσυσχετογράμματος: 128

Πλήθος συνθετικών χρονοσειρών: 1

Μήκος συνθετικών χρονοσειρών: 2000

Μέγιστη επιτρεπόμενη αρνητική τιμή: -0.5

Κριτήριο σύγκλισης αλγορίθμου γέννησης μηνιαίων χρονοσειρών: 0.25

Μέγιστος αριθμός επαναλήψεων: 100

Επίσης ως μεταβλητή του συστήματος, όπως αναφέρεται και παραπάνω τέθηκε η Χρονοσειρά της Χωρικά μέσης βροχόπτωσης και ως μοντέλο χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SMA.

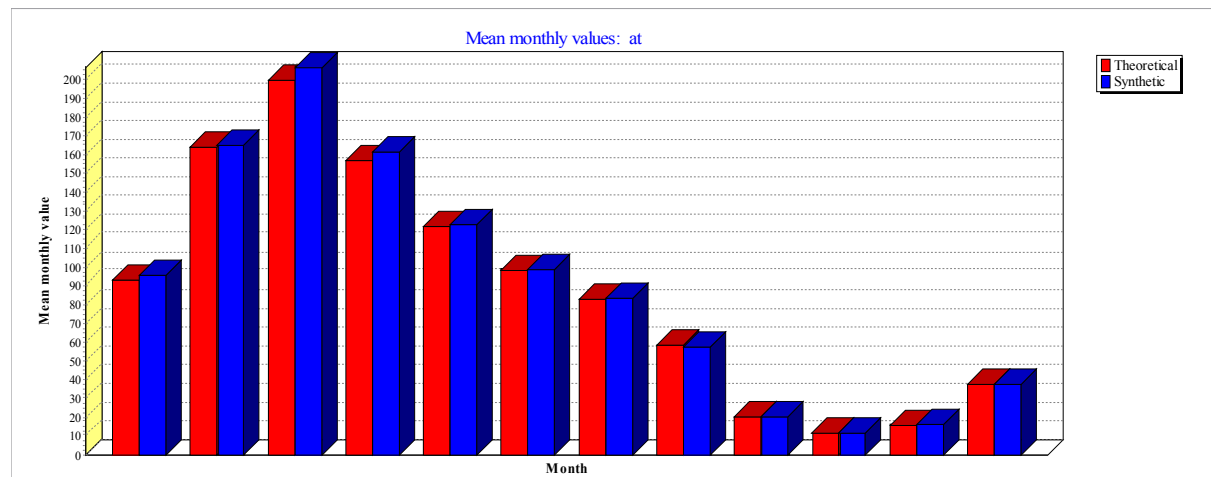
6.2.5 Στατιστικά στοιχεία της συνθετικής χρονοσειράς

Το λογισμικό παρείχε μια σειρά από στατιστικά δεδομένα για την χρονοσειρά που παρήχθει με την διαδικασία που περιγράφηκε προηγουμένως. Ωστόσο στη συνέχεια παραβάλλονται τα βασικά στατιστικά μεγέθη (μέση τιμή και τυπική απόκλιση) που αποτελούν και τα ενδεικτικά στοιχεία για την ποιότητας της σύνθεσης της χρονοσειράς βάση των χαρακτηριστικών της ιστορικής αντίστοιχής της.

Η χρονοσειρά που δημιουργήθηκε παρουσιάζει τα παρακάτω χαρακτηριστικά (σε αντιπαραβολή με τα χαρακτηριστικά των ιστορικών δεδομένων):

Πίνακας 6.5: Μέσες μηνιαίες τιμές ύψους βροχής

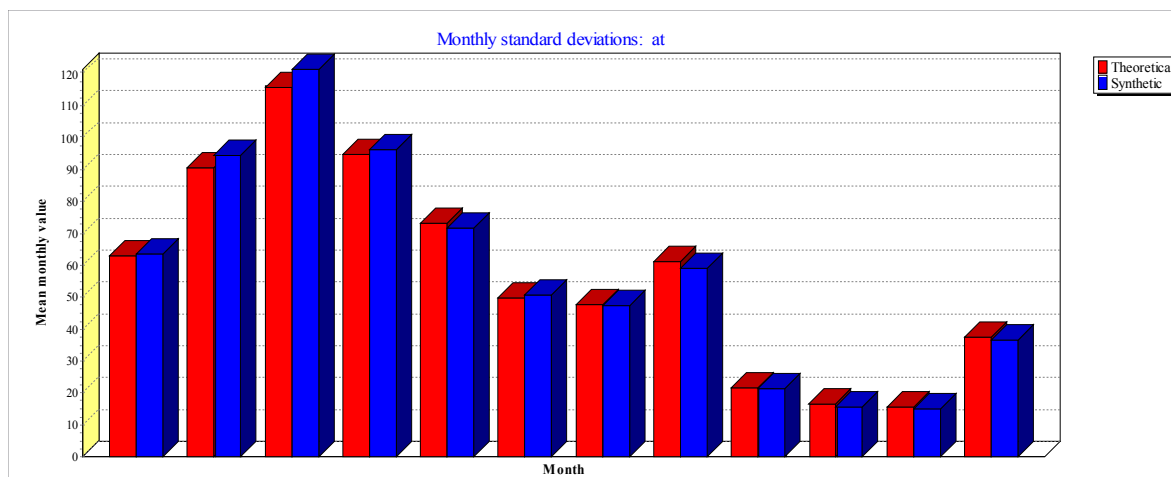
	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
Ιστορική	93.44	163.77	199.76	156.98	121.52	98.06	83.24	58.36	20.13	11.9	15.69	37.76	1062.36
Συνθετική	95.73	164.76	206.24	161.53	122.64	98.63	83.67	57.58	20.49	11.77	16.12	37.65	1076.72



Σχήμα 6.1: Μέσες μηνιαίες τιμές της συνθετικής χρονοσειράς (μπλε) και της ιστορικής χρονοσειράς (κόκκινο) – παρουσιάζεται το υδρολογικό έτος (ΟΚΤ – ΣΕΠ)

Πίνακας 6.6: Τυπική απόκλιση μηνιαίων τιμών ύψους βροχής

	Οκτ	Νοε	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαϊ	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Ετήσιο
Ιστορική	63.02	90.68	115.99	94.9	73.15	49.91	47.76	61.23	21.52	16.45	15.58	37.64	260.13
Συνθετική	63.69	94.58	121.55	96.49	71.71	50.82	47.32	59.21	21.16	15.56	14.88	36.47	270.72



Σχήμα 6.2: Τυπική απόκλιση μηνιαίων των τιμών της συνθετικής χρονοσειράς (μπλε) και της ιστορικής χρονοσειράς (κόκκινο) – παρουσιάζεται το υδρολογικό έτος (ΟΚΤ – ΣΕΠ)

Στο παράρτημα φαίνονται κάποιες φόρμες υπολογισμών του συστήματος Castalia.

6.3 Συνθετική χρονοσειράς απορροής

Για την παραγωγή μιας συνθετικής χρονοσειράς απορροής δεν μπορούμε να εργασθούμε με τρόπο ανάλογο του προηγούμενου, δηλαδή δημιουργία μιας συνθετικής χρονοσειράς βάση των ιστορικών δεδομένων της μετρημένης απορροής. Κάτι τέτοιο θα έδινε αποτελέσματα με μεγάλο σφάλμα.

Για την ακριβέστερη προσομοίωση των φυσικών διεργασιών παραγωγής απορροής θα χρησιμοποιήσουμε ένα μοντέλο βροχής – απορροής. Ένα τέτοιο μοντέλο παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και δεν είναι άλλο από το μοντέλο Zygos. Η βαθμονόμηση του μοντέλου, όπως είδαμε, έγινε με βάση τα ιστορικά δεδομένα μετρημένης απορροής, βροχοπτώσεων και εξατμισοδιαπνοής.

Για την σύνθεση χρονοσειράς απορροής θα χρησιμοποιήσουμε και πάλι το μοντέλο Zygos. Οι τιμές των παραμέτρων ορίζονται ίσες με αυτές που προέκυψαν από την βαθμονόμηση που παρουσιάστηκε στο Κεφάλαιο 5.

Δεδομένα εισόδου θα είναι η συνθετική χρονοσειρά βροχοπτώσεων, που δημιουργήθηκε στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, και αντίστοιχη χρονοσειρά εξατμισοδιαπνοής.

Επισημαίνεται ότι οι τιμές για την εξατμισοδιαπνοή που χρησιμοποιήθηκαν και σε αυτή την περίπτωση είναι οι μέσες μηνιαίες τιμές που είχαν υπολογισθεί με την μέθοδο Penman – Monteith, όπως φαίνονται στον Πίνακα 6.7, οι οποίες είναι κοινές για όλα τα υδρολογικά έτη (δηλαδή έχουμε διαφορετικές τιμές για κάθε μήνα που όμως είναι ίδιες σε όλα τα έτη).

Πίνακας 6.7: Μέση μηνιαία εξατμισοδιαπνοή που χρησιμοποιήθηκε για την σύνθεση χρονοσειράς απορροής με το μοντέλο Zygos

Μήνας	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
Μέση εξατμισοδιαπνοή	53.94	28.53	22.81	27.21	30.29	49.94	75.06	106.70	137.45	153.78	136.15	97.74

Τμήμα της συνθετικής χρονοσειράς απορροής παραβάλλεται στο Παράρτημα.

7 Εκτίμηση Υδατικού Δυναμικού

7.1 Εκτίμηση του Θεωρητικού Υδατικού Δυναμικού (ΘΕΥΔ)

Το *Θεωρητικό Υδατικό Δυναμικό* (ΘΕΥΔ) εκφράζεται από την απορροή. Στην τυπική περίπτωση αρκεί μια εκτίμηση της μέσης ετήσιας τιμής και των 12 μέσων μηνιαίων τιμών της απορροής της υπό μελέτη λεκάνης (13 τιμές συνολικά). Η αβεβαιότητα της απορροής εκφράζεται μέσω των αντίστοιχων (στις παραπάνω μέσες τιμές) εκτιμήσεων της τυπικής απόκλισης (13 τιμές).

Για να είναι αξιόπιστες οι παραπάνω στατιστικές εκτιμήσεις, απαιτείται μια μακρά χρονοσειρά μετρημένης απορροής (συνολικής διάρκειας άνω των 40 – 50 ετών). Αυτή η περίπτωση είναι, γενικά, σπάνια για τις υπό ανάπτυξη αλλά και για τις ανεπτυγμένες χώρες.

Στη συνήθη περίπτωση τα διαθέσιμα δεδομένα απορροής είναι ανεπαρκή για στατιστικές εκτιμήσεις, καθόσον καλύπτουν χρονική περίοδο κάτω των 15 – 20 ετών ή, σε αρκετές περιπτώσεις, απουσιάζουν εντελώς.

Σε αυτές τις περιπτώσεις παράγεται μια μακρά χρονοσειρά «συνθετικής» απορροής με βάση άλλα μεγέθη. Αυτά είναι:

- i. Υδρολογικά μεγέθη για τα οποία διατίθενται, συνήθως, αρκετά μακρές χρονοσειρές από μετρήσεις, όπως είναι η βροχόπτωση και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή
- ii. άλλα στοιχεία που αφορούν την υπό μελέτη λεκάνη απορροής, όπως γεωμορφολογικά και γεωλογικά στοιχεία, χρήσεις γης κλπ

Οι συνθετικές χρονοσειρές απορροής παράγονται με τη βοήθεια των μοντέλων βροχόπτωσης απορροής. Ένα τέτοιο μοντέλο είναι και το μοντέλο Zygos, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

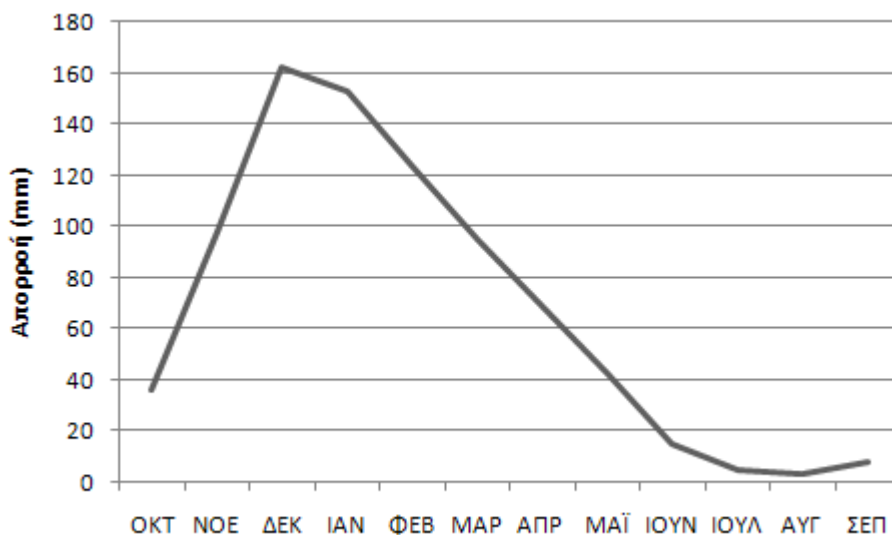
Το ΘΕΥΔ εκφράζεται από την απορροή του κύριου υδατορεύματος της λεκάνης απορροής στο στόμιο εξόδου της. Όμως δεν αποτελεί μια πραγματικά απολήψιμη ποσότητα νερού. Γι' αυτό ορίζεται το *Εκμεταλλεύσιμο Επιφανειακό Υδατικό Δυναμικό* (ΕΕΥΔ) ως το τμήμα του ΘΕΥΔ που είναι απολήψιμο για χρήσεις νερού, όταν ληφθούν υπόψη όλα τα έργα αξιοποίησης υδατικών πόρων (π.χ. ταμιευτήρες, έργα εκτροπής) που υφίστανται ή έχουν μελετηθεί στην εξεταζόμενη λεκάνη απορροής. Τα έργα αυτά εισάγουν περιορισμούς στην απολήψιμη ποσότητα νερού. Περιορισμοί ποιότητας νερού δεν λαμβάνονται συνήθως υπόψη για την εκτίμηση του ΕΕΥΔ.

Λεκάνη απορροής ποταμού Σελινούντα

Στα προηγούμενα κεφάλαια παρουσιάστηκαν όλες οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν προκειμένου να γίνει σύνθεση χρονοσειρών απορροής του ποταμού Σελινούντα ώστε να γίνει η τελική εκτίμηση του ΘΕΥΔ και του ΕΕΥΔ. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέσες μηνιαίες τιμές απορροής καθώς και η μέση ετήσια απορροή που αναμένεται να έχει ο ποταμός.

Πίνακας 7.1: Μέση μηνιαία απορροή του ποταμού Σελινούντα (σε mm)

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
35.87	98.45	162.59	153.01	123.73	94.72	69.16	42.76	15.2	4.49	3.12	7.55

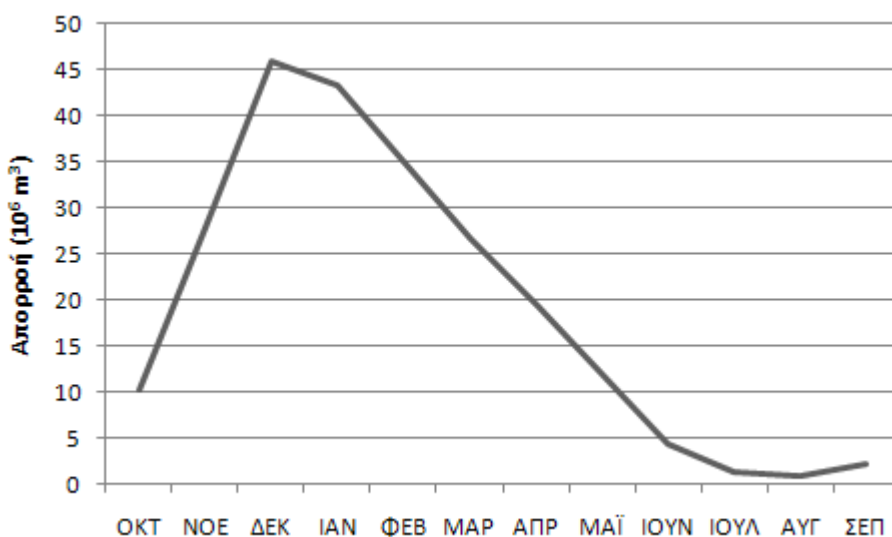


Σχήμα 7.1: Μέσες μηνιαίες τιμές απορροής του ποταμού Σελινούντα σε mm

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα παραπάνω αποτελέσματα σε μονάδες όγκου, μορφή πιο συνηθισμένη σε μελέτες για την εκτίμηση του υδατικού δυναμικού.

Πίνακας 7.2: Μέση μηνιαία απορροή του ποταμού Σελινούντα (σε εκατομμύρια m³)

ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
10.15	27.85	45.99	43.28	35.00	26.79	19.57	12.10	4.31	1.28	0.89	2.14



Σχήμα 7.1: Μέσες μηνιαίες τιμές απορροής του ποταμού Σελινούντα σε εκατομμύρια m³

Η μέση ετήσια απορροή του ποταμού Σελινούντα είναι: 810.65 mm ή 229.26 · 10⁶ m³

7.2 Εκτίμηση Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού (ΕΕΥΔ)

Τα παραπάνω μεγέθη, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, αποτελούν το Θεωρητικό Υδατικό Δυναμικό (ΘΕΥΔ) της λεκάνης του ποταμού Σελινούντα. Για την εκτίμηση του Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού (ΕΕΥΔ) είναι απαραίτητη η θεώρηση ενός ταμιευτήρα στο στόμιο εξόδου της λεκάνης απορροής.

Η μελέτη για την Δ.Ε.Υ.Α. Αιγίου ανέφερε μόνο ότι «είναι δυνατή η κατασκευή φράγματος ύψους 40m λόγω της ύπαρξης φλύσχεως». Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει προσομοίωση της λειτουργίας ενός ταμιευτήρα ύψους 40 m και 100 m.

7.2.1 Απαραίτητοι υπολογισμοί

Το υψόμετρο της περιοχής είναι 200 m σύμφωνα με τους χάρτες της Γ.Υ.Σ. που χρησιμοποιήθηκαν και για προηγούμενα στάδια της εργασίας. Για να προχωρήσουμε στην προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα που δημιουργείται με την κατασκευή ενός τέτοιου φράγματος πρέπει κατ' αρχάς να οριστεί η Κατώτατη Στάθμη του (Κ.Σ.) και οι Ανώτατη Κανονική Στάθμη του (Α.Κ.Σ.). Οι στάθμες αυτές αποτελούν και το πλαίσιο στο οποίο θα κυμαίνεται η στάθμη του νερού κατά την λειτουργία του.

Ανώτατη Κανονική Στάθμη Ταμιευτήρα (Α.Κ.Σ.)

Για απλοποίηση των υπολογισμών θεωρούμε ότι η Α.Κ.Σ. είναι στα 240 m (200 + 40) στην περίπτωση του φράγματος των 40 m και στα 100 m στην περίπτωση του φράγματος των 100 m. Βέβαια κάτι τέτοιο προϋποθέτει το πραγματικό ύψος του φράγματος που θα κατασκευασθεί θα είναι λίγο μεγαλύτερο των 40 m και 100 m αντίστοιχα.

Κατώτατη Στάθμη Ταμιευτήρα (Κ.Σ.)

Προκειμένου να οριστεί η Κατώτατη Στάθμη (Κ.Σ.) του ταμιευτήρα, είναι απαραίτητο να εκτιμηθεί ο όγκος των φερτών υλικών του ποταμού. Τα υλικά αυτά κινούμενα στην κοίτη, όταν συναντήσουν το φράγμα θα σταματήσουν και έτσι θα παρουσιαστεί ένα φαινόμενο συσσώρευσης υλικών που τελικά δρουν ενάντια στον ωφέλιμο όγκο του ταμιευτήρα.

Ο όγκος αυτός αναφέρεται ως «Στερεοπαροχή» και είναι ιδιαίτερα σημαντικός για την σωστή μελέτη οποιουδήποτε τεχνικού έργου τελείται στην κοίτη ενός ποταμού.

Η ακριβέστερη μέθοδος για την εκτίμηση του παραπάνω όγκου, είναι φυσικά οι μετρήσεις με την βοήθεια ειδικών διατάξεων. Συνηθέστερη είναι ένα συρμάτινο κιβώτιο, το οποίο και αφήνεται στην κοίτη του ποταμού, ώστε να συσσωρευτεί και να παγιδευτεί σε αυτό ποσότητα φερτών υλικών. Η στερεοπαροχή ανά μονάδα πλάτους του ποταμού υπολογίζεται στη συνέχεια από την διαίρεση του βάρους των υλικών που εγκλωβίστηκαν δια του χρόνου της μέτρησης και του πλάτους του ανοίγματος του κιβωτίου. Επίσης γίνονται δειγματοληψίες σε σημεία του ποταμού ώστε να προσδιοριστεί η συγκέντρωση των αιωρούμενων υλικών στο νερό.

Στην περίπτωση του ποταμού Σελινούντα δεν είναι διαθέσιμες μετρήσεις τέτοιου είδους, οπότε αυτή θα εκτιμηθεί με την βοήθεια μιας εμπειρικής σχέσης που έχει αναπτυχθεί για τα ελληνικά ποτάμια και αναλύεται στη συνέχεια.

Υπολογισμός μέσης ετήσιας στερεοαπορροής με βάση εμπειρική σχέση για ελληνικά ποτάμια

Έπειτα από έρευνες στο σύνολο σχεδόν των διαθέσιμων δεδομένων στερεοπαροχής σε ελληνικά ποτάμια (Κουτσόγιαννης, Ταρλά 1987) βρέθηκε η ακόλουθη εμπειρική σχέση που έχει αποδειχθεί ότι προσεγγίζει ικανοποιητικά την πραγματική τιμή της στερεοαπορροής σε αιώρηση από μετρήσεις:

$$G = 15\gamma e^{3P} \quad (7.1)$$

όπου:

G : ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση σε τόνους/έτος/km²

P : ετήσιο ύψος βροχής σε m

γ : γεωλογικός συντελεστής που δίνεται από τη σχέση:

$$\gamma = K_1 p_1 + K_2 p_2 + K_3 p_3 \quad (7.2)$$

με p_1, p_2, p_3 τα ποσοστά εμφάνισης στην λεκάνη απορροής των παρακάτω ομάδων πετρωμάτων με αντίστοιχα μέτρα διαβρωσιμότητας K_1, K_2, K_3

1. Ομάδα υψηλής διαβρωσιμότητας (Αλλούβια, Φλύσχης) $K_1=1$
2. Ομάδα μέτριας διαβρωσιμότητας (Μάργες, Ψαμμίτες, σχιστόλιθοι) $K_2=0.5$
3. Ομάδα χαμηλής διαβρωσιμότητας (Ασβεστόλιθοι, δολομίτες, μεταμορφωμένα εκρηξιγενή) $K_3=0.1$

Για την λεκάνη του ποταμού Σελινούντα, και σύμφωνα με τα πετρώματα που βρίσκονται στην περιοχή σύμφωνα με το χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε. (όπως παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 2), έγινε ομαδοποίηση των πετρωμάτων αυτών ώστε να έχουμε τα παραπάνω ποσοστά. Τα τελικά αποτελέσματα της ομαδοποίησης και τα ποσοστά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7.1: Ομαδοποίηση πετρωμάτων για υπολογισμό του γεωλογικού συντελεστή

ΟΜΑΔΑ (i)	Πετρώματα που περιλαμβάνονται σύμφωνα με το χάρτη του Ι.Γ.Μ.Ε.	K_i	p_i
1	F, f-l	1	12.54%
2	f-c, sh, c, c-m	0.5	37.40%
3	L-si	0.1	50.05%

Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα ο γεωλογικός συντελεστής υπολογίστηκε: $\gamma = 0.36245$

Επίσης η μέση ετήσια βροχόπτωση, όπως αυτή υπολογίστηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι: $P = 1039.19$ mm

Σύμφωνα με τις παραπάνω τιμές, η ετήσια στερεοαπορροή σε αιώρηση υπολογίστηκε με βάση τη σχέση (7.1) σε: $G = 122.82$ τόνους/έτος/km²

Για μια τελική εκτίμηση της μέσης ετήσιας ολικής στερεοαπορροής η παραπάνω τιμή προσ αυξάνεται κατά 15% ώστε να συμπεριληφθεί και η στερεοαπορροή σε σύρση. Τελικά έχουμε:

$$G_{ολ} = 1.15 \cdot 122.82 = 123.97 \text{ τόνους/έτος/km}^2$$

Η παραπάνω τιμή ανάγεται σε ολόκληρη την επιφάνεια της λεκάνης (έκτασης 294.91 km²) και τελικά έχουμε την μέση ετήσια στερεοαπορροή: $36.56 \cdot 10^3$ τόνοι/έτος

Κάνουμε την παραδοχή ότι ο κατακρατούμενος όγκος από το φράγμα αντιστοιχεί στο 50% της παραπάνω τιμής και με επιπλέον δεδομένο το ειδικό βάρος των υλικών 1.3 τόνους/m³

ισχύει ότι ο κατακρατούμενος όγκος φερτών υλικών για την λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούντα είναι: $14.06 \cdot 10^3 \text{ m}^3/\text{έτος}$

Υπολογισμός Κ.Σ. ταμιευτήρα στην λεκάνη του ποταμού Σελινούντα

Από την ανάλυση του αναγλύφου της λεκάνης απορροής και ιδιαίτερα της περιοχής πλησίον του στομίου εξόδου της είναι αναγκαία η κατάρτιση της καμπύλης στάθμης – όγκου. Για την χάραξη της καμπύλης είναι απαραίτητο να υπολογισθεί ο όγκος που περιλαμβάνεται μεταξύ δυο διαδοχικών χωροσταθμικών καμπύλων.

Ο όγκος αυτός υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο:

$$V_i = V_{i-1} + \frac{1}{2}(A_{i-1} + A_i) \cdot (z_i - z_{i-1}) \quad (7.3)$$

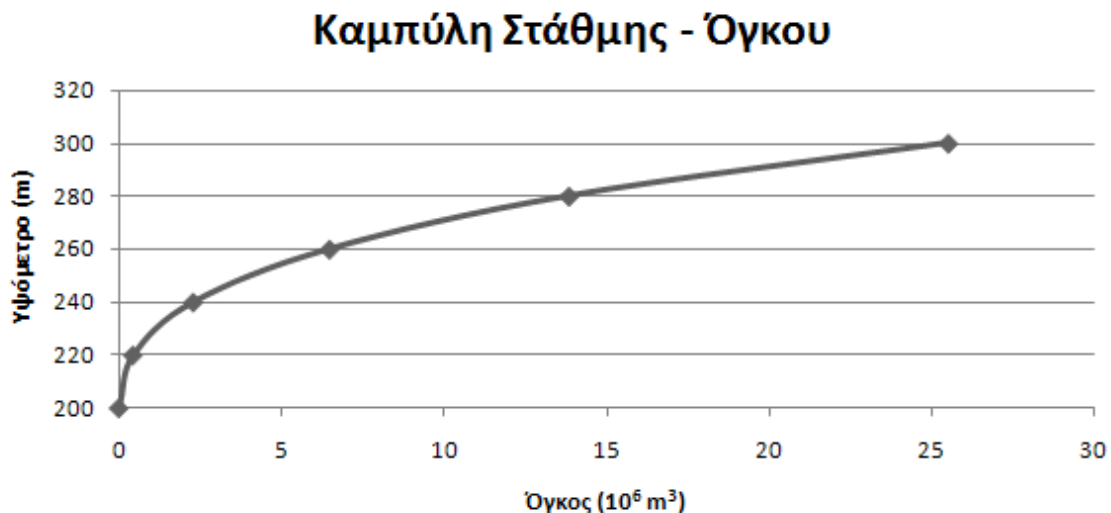
όπου:

V_i : ο όγκος που αντιστοιχεί έως το επίπεδο i

A_i : η επιφάνεια του επιπέδου i

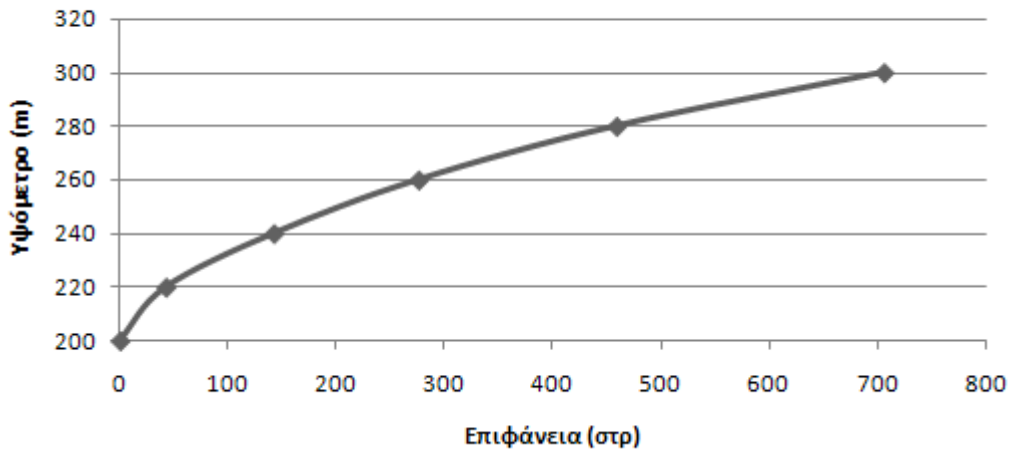
z_i : το υψόμετρο του επιπέδου i

Στη συνέχεια φαίνεται η καμπύλη στάθμης – όγκου αλλά και άλλες χρήσιμες καμπύλες για την σωστή επιλογή της Κ.Σ.



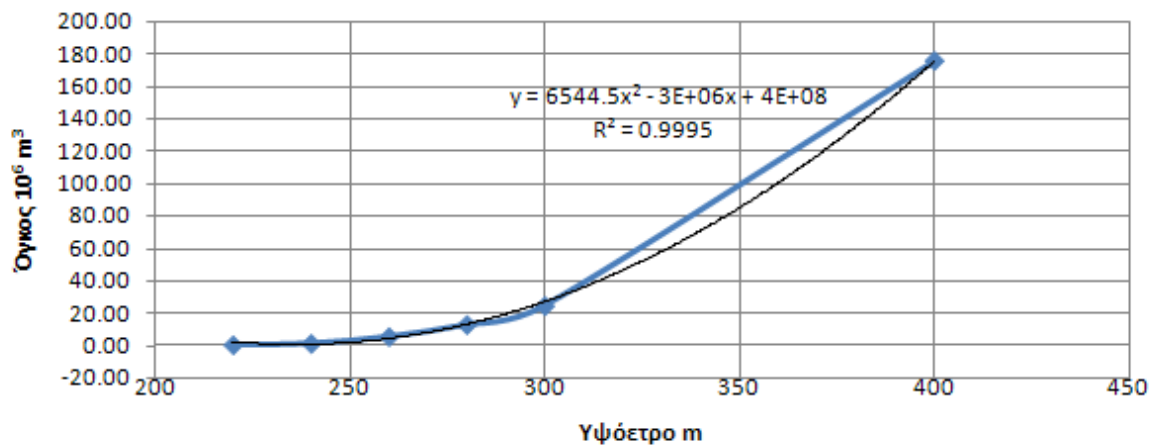
Σχήμα 7.1: Καμπύλη Στάθμης – Όγκου για την περιοχή του ταμιευτήρα

Καμπύλη Στάθμης - Επιφανείας



Σχήμα 7.2: Καμπύλη Στάθμης – Επιφανείας για την περιοχή του ταμιευτήρα

Καμπύλη Όγκου - Στάθμης



Σχήμα 7.3: Καμπύλη Όγκου – Στάθμης για την περιοχή του ταμιευτήρα στην οποία έχει προσαρμοσθεί πολυώνυμο δευτέρου βαθμού ώστε να υπολογίζεται ο όγκος βάσει του υψομέτρου με την αναλυτική σχέση που φαίνεται πάνω στο διάγραμμα

Στοιχεία των υπολογισμένων όγκων και επιφανειών για την λεκάνη απορροής φαίνονται στο Παράρτημα.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω στοιχεία υπολογίστηκαν, για διάφορους χρόνους επιχωμάτωσης, οι Κ.Σ.. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 7.2: Υπολογισμός Κ.Σ. ταμιευτήρα

Χρόνος επιχωμάτωσης (έτη)	Νεκρός Όγκος (m ³)	Κ.Σ. (m)
100	$1.406 \cdot 10^6$	222
200	$2.812 \cdot 10^6$	243
500	$7.030 \cdot 10^6$	262

7.2.2 Προσομοίωση λειτουργίας ταμιευτήρα

Ο ταμιευτήρας θεωρείται ότι είναι απομονωμένος, δηλαδή δέχεται εισροές μόνο από την λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούνα. Για λόγους απλότητας, ο ταμιευτήρας θεωρείται ότι εξυπηρετεί μόνο δύο χρήσεις νερού: (α) την ύδρευση και (β) την περιβαλλοντική διατήρηση. Η πρώτη χαρακτηρίζεται από την ετήσια ζήτηση νερού D . Η δεύτερη εκφράζεται ως απαίτηση για διατήρηση μιας ελάχιστης παροχής νερού, γνωστής ως οικολογικής παροχής. Η οικολογική παροχή θεωρείται γνωστός μηνιαίος όγκος νερού που μεταβάλλεται από μήνα σε μήνα, αλλά όχι από το ένα υδρολογικό έτος στο άλλο. Θεωρείται επίσης η γνωστή ωφέλιμη χωρητικότητα του ταμιευτήρα K (όγκος από τη στάθμη υδροληψίας, που ταυτίζεται με την Κ.Σ., μέχρι την ανώτατη στάθμη λειτουργίας θεωρούμενη συνήθως στην στάθμη υπερχειλίσης).

Παρακάτω παρουσιάζονται οι εξισώσεις που συγκροτούν το μοντέλο προσομοίωσης της λειτουργίας του ταμιευτήρα. Ως χρονική κλίμακα χρησιμοποιείται ο μήνας.

Μοντέλο προσομοίωσης λειτουργίας του ταμιευτήρα

Ο χρόνος σε όλα τα υδρολογικά μεγέθη παριστάνεται με δύο δείκτες: i , για το υδρολογικό έτος, και j για το μήνα. Στο υδατικό ισοζύγιο του ταμιευτήρα συμβάλλουν τα παρακάτω μεγέθη:

Εισροές

- i. Συνολική απορροή υδατορευμάτων $Q_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους όγκου νερού
- ii. Βροχόπτωση πάνω στην επιφάνεια του ταμιευτήρα $P_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους ύψους νερού

Εκροές

- i. Εξάτμιση από την επιφάνεια του ταμιευτήρα $E_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους ύψους νερού
- ii. Υπόγεια διαφυγή $L_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους όγκου νερού
- iii. Απόληψη για περιβαλλοντική διατήρηση $RE_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους όγκου νερού
- iv. Απόληψη για ύδρευση $R_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους όγκου νερού
- v. Υπερχειλίση $SP_{i,j}$ το μήνα (i,j) σε όρους όγκου νερού

Ωφέλιμο απόθεμα νερού: (ίσο με 0.0 στην κατώτατη και K στην ανώτατη στάθμη λειτουργίας)

- Στην αρχή του μήνα (i,j) , $S_{i,j}$
- Στο τέλος του μήνα (i,j) , $S_{i,j+1}$

Στην ανάλυση που ακολουθεί, έχει αγνοηθεί η υπόγεια διαφυγή, όπως άλλωστε αποδείχθηκε ότι συμβαίνει και στην πραγματικότητα κατά την βαθμονόμηση του μοντέλου Zygos.

Πρώτα θεωρείται ότι εισρέει το νερό της απορροής και της βροχόπτωσης και πραγματοποιείται η εξάτμιση. Έτσι το προσωρινά διαθέσιμο νερό (για κάθε χρήση) το μήνα (i,j) είναι

$$SA_{i,j} = S_{i,j} + Q_{i,j} + \gamma P_{i,j} A_{i,j} - \gamma E_{i,j} A_{i,j} \quad (7.4)$$

Όπου γ είναι συντελεστής μετατροπής των μονάδων και $A_{i,j}$ είναι το εμβαδόν της επιφάνειας καθρέφτη του ταμιευτήρα στην αρχή του μήνα (i,j) . Η τιμή του $A_{i,j}$ υπολογίζεται συνήθως ως

συνάρτηση του ωφέλιμου όγκου του ταμιευτήρα στην αρχή του μήνα (i,j) . Ο τύπος της συνάρτησης αυτής υπολογίζεται από το διάγραμμα Επιφάνειας – Όγκου της περιοχής του ταμιευτήρα με την προσαρμογή πολυωνυμικής συνάρτησης στην φυσική καμπύλη.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται η απόληψη για περιβαλλοντική διατήρηση σύμφωνα με ορισμένο κανόνα που λέγεται «κανόνας λειτουργίας». Συνήθης είναι η χρήση του τυπικού κανόνα λειτουργίας που βασίζεται στις παρακάτω παραδοχές:

- Εφόσον το νερό στον ταμιευτήρα επαρκεί, λαμβάνεται ποσότητα ακριβώς ίση με τη ζήτηση νερού για περιβαλλοντική διατήρηση τον εξεταζόμενο μήνα j , q_j .
- Στην αντίθετη περίπτωση λαμβάνεται όλο το διαθέσιμο νερό.

Ο κανόνας γράφεται ως εξής:

$$RE_{i,j} = \min(SA_{i,j}, q_j) \quad (7.5)$$

Στη συνέχεια από το διαθέσιμο νερό που απομένει $(SA_{i,j} - RE_{i,j})$, πραγματοποιείται απόληψη για ύδρευση σύμφωνα με τον ίδιο κανόνα:

- Εφόσον το νερό στον ταμιευτήρα επαρκεί, λαμβάνεται ποσότητα ακριβώς ίση με τη ζήτηση νερού για ύδρευση τον εξεταζόμενο μήνα j , D_j .
- Στην αντίθετη περίπτωση λαμβάνεται όλο το διαθέσιμο νερό.

Ο κανόνας γράφεται ως εξής:

$$R_{i,j} = \min(SA_{i,j} - RE_{i,j}, D_j) \quad (7.6)$$

Με βάση το νερό που απομένει $(SA_{i,j} - RE_{i,j} - R_{i,j})$, γίνεται έλεγχος της ενδεχόμενης υπερχειλίσης. Αν $SA_{i,j} - RE_{i,j} - R_{i,j} > K$ ή, ισοδύναμα $SA_{i,j} - RE_{i,j} - R_{i,j} - K > 0$, η ποσότητα που υπερβαίνει την χωρητικότητα K υπερχειλίζει. Αλλιώς η υπερχειλίση είναι μηδενική.

Σε αναλυτική μορφή:

$$SP_{i,j} = \max(SA_{i,j} - RE_{i,j} - R_{i,j}, 0) \quad (7.7)$$

Αν υπάρχει υπερχειλίση, αυτή μπορεί να καλύψει μέρος, ή το σύνολο, της οικολογικής παροχής.

Η εξίσωση συνέχεια (ή υδατικού ισοζυγίου) γράφεται ως εξής:

$$S_{i,j+1} = SA_{i,j} - RE_{i,j} - R_{i,j} - SP_{i,j} \quad (7.8)$$

Οι πέντε εξισώσεις 7.4 ως 7.8 έχουν πέντε άγνωστα μεγέθη ($SA_{i,j}$, $RE_{i,j}$, $R_{i,j}$, $SP_{i,j}$ και $S_{i,j+1}$) και η διαδοχική εφαρμογή τους αρκεί για τον υπολογισμό των αγνώστων.

Τα δεδομένα που απαιτούνται είναι:

1. Q_{ij} : Μηνιαία απορροή το μήνα (i,j)
2. P_{ij} : Επιφανειακό ύψος βροχής ανηγμένο στη μέση στάθμη του ταμιευτήρα το μήνα (i,j)
3. E_{ij} : Εξάτμιση το μήνα (i,j)
4. q_j : απαιτούμενος όγκος νερού για περιβαλλοντική διατήρηση (οικολογική παροχή) το μήνα j
5. λ_j : συντελεστής ανισοκατανομής της ζήτησης το μήνα j .

6. D_j : απαιτούμενος όγκος νερού για καταναλωτική χρήση (ύδρευση) τον μήνα j . Ισχύει ο τύπος:

$$D_j = \lambda_j \cdot D \quad (7.9)$$

όπου D είναι η ετήσια ζήτηση νερού

7. $A_{i,j}$: το εμβαδόν της επιφάνειας (καθρέφτη) του ταμιευτήρα στην αρχή του μήνα (i,j) . Η τιμή της υπολογίζεται ως συνάρτηση του $S_{i,j}$ ($A_{i,j} = f(S_{i,j})$).

Τα δεδομένα για την λεκάνη απορροής του ποταμού Σελινούντα

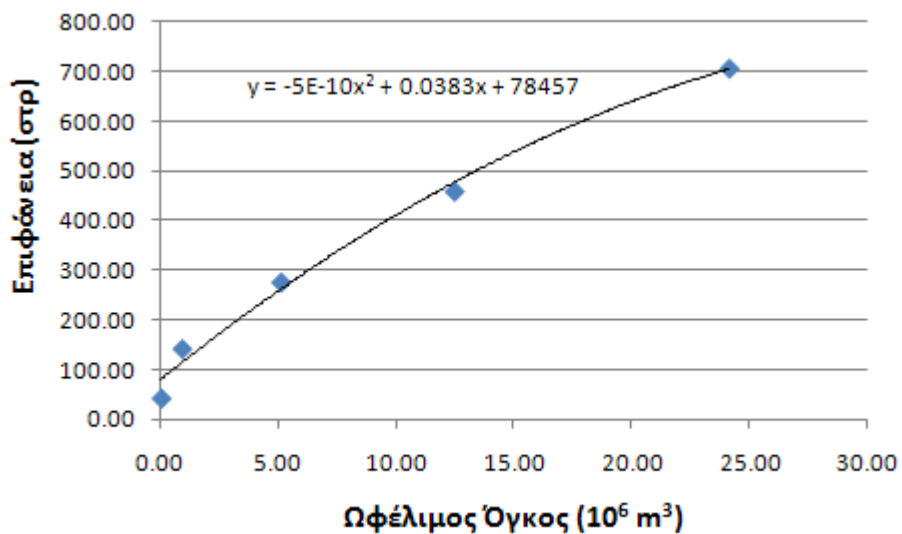
Στη συνέχεια παρουσιάζονται ονομαστικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία για την προσομοίωση λειτουργίας των ταμιευτήρων που ακολουθεί.

1. Ως μηνιαία απορροή Q_{ij} χρησιμοποιήθηκε η συνθετική χρονοσειρά απορροής μηνιαίας χρονικής βάσης που δημιουργήθηκε σε προηγούμενο στάδιο
2. Το επιφανειακό ύψος βροχής P_{ij} που χρησιμοποιήθηκε έπρεπε να αναφέρεται υψομετρικά στην μέση στάθμη του ταμιευτήρα. Για το σκοπό αυτό έγιναν αναγωγές της χρονοσειράς των συνθετικών βροχοπτώσεων που χρησιμοποιήθηκε σε προηγούμενο στάδιο, στη μέση στάθμη του ταμιευτήρα που αναφέρεται κάθε φορά παρακάτω, με βάση την υπολογισμένη βροχοβαθμίδα. Ο συντελεστής διόρθωσης υπολογίστηκε σύμφωνα με τον τύπο (3.8) $\lambda = 0.994972$
3. Η εξάτμιση E_{ij} υπολογίστηκε με τη μέθοδο Penman για εξάτμιση από υδάτινη επιφάνεια (ισχύει $r = 0.06$ και $f = 1$) με τα δεδομένα εισόδου της μεθόδου (θερμοκρασία αέρα) να είναι ανηγμένα στην μέση στάθμη του κάθε ταμιευτήρα
4. Για την οικολογική παροχή q_j προσεγγίστηκαν δυο περιπτώσεις κατά τις οποίες η τιμή της:
 - i. λήφθηκε μηδενική ($q_j = 0$)
 - ii. λήφθηκε ίση με την μέση παροχή του μήνα με την μικρότερη παροχή (Ναλμπάντης 1990). Δηλαδή $q_j = 4.85 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (εμφανίζεται τον Οκτώβριο)
5. Ο συντελεστής ανισοκατανομής της ζήτησης συνοψίζεται στον παρακάτω πίνακα (προέκυψε από προσωπική συνέντευξη με τον προϊστάμενο της Τεχνικής Υπηρεσίας της Δ.Ε.Υ.Α. Αγίου)

Πίνακας 7.3: Συντελεστής ανισοκατανομής της ζήτησης

	λ_j
Οκτώβριος	0.0855
Νοέμβριος	0.0798
Δεκέμβριος	0.0775
Ιανουάριος	0.0717
Φεβρουάριος	0.0658
Μάρτιος	0.0749
Απρίλιος	0.0798
Μάιος	0.0856
Ιούνιος	0.0936
Ιούλιος	0.0950
Αύγουστος	0.1003
Σεπτέμβριος	0.0906

6. Για το εμβαδόν της επιφάνειας καθρέφτη A_{ij} του ταμιετήρα χρησιμοποιήθηκε το διάγραμμα Επιφάνειας – Ωφέλιμου Όγκου στο οποίο και προσαρμόστηκε πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού, ο τύπος του οποίου παρουσιάζεται στη συνέχεια (σημειώνεται ότι ως νεκρός όγκος λήφθηκε αυτός που αντιστοιχεί στη συνήθη διάρκεια ζωής ενός τέτοιου έργου, δηλαδή 100 χρόνια, όπως φαίνεται στον πίνακα 7.2)



7. Σχήμα 7.4: Διάγραμμα Επιφάνειας – Ωφέλιμου Όγκου

Το πολυώνυμο 2^{ου} βαθμού φαίνεται στο διάγραμμα κρίνεται όμως σκόπιμο και η παράθεσή του στη συνέχεια με αναλυτικότερους συντελεστές. Το πολυώνυμο λοιπόν που αντιστοιχεί στην παραπάνω καμπύλη και με βάση το οποίο έγιναν και οι υπολογισμοί είναι:

$$y = -5.1177 \cdot 10^{-10} x^2 + 0.03832x + 78456.5995 \quad (7.10)$$

όπου

y : η επιφάνεια καθρέφτη του ταμιευτήρα σε m^2

x : ο αντίστοιχος ωφέλιμος όγκος σε m^3

Φράγμα ύψους 40 m

Για την Κατώτατη Στάθμη του ταμιευτήρα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω χρησιμοποιήθηκε η τιμή 222 m που αντιστοιχεί στον συνήθη χρόνο ζωής ενός τέτοιου είδους έργου.

Ως Ανώτατη Κανονική Στάθμη ορίζονται τα 240 m

Σε αυτή την περίπτωση ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα υπολογίστηκε 883575.51 m^3 .

Στη συνέχεια υπολογίστηκε το ΕΕΥΔ με δοκιμές. Στην κάθε δοκιμή γινόταν αλλαγή της μεταβλητής D (περιγράφεται παραπάνω) η οποία αποτελεί ουσιαστικά το ΕΕΥΔ. Τα αποτελέσματα για διάφορες αξιοπιστίες φαίνονται στους παρακάτω πίνακες που αντιστοιχούν στις διάφορες τιμές της οικολογικής παροχής όπως περιγράφηκε παραπάνω:

Πίνακας 7.4: Εκτίμηση ΕΕΥΔ για ταμιευτήρα που δημιουργείται από φράγμα ύψους 40 m και για οικολογική παροχή $q_j = 0$

Επίπεδο εμπιστοσύνης	ΕΕΥΔ (10^6 m^3)
99%	66.3
95%	76.1
90%	79.5
80%	83.7

Πίνακας 7.5: Εκτίμηση ΕΕΥΔ για ταμιευτήρα που δημιουργείται από φράγμα ύψους 40 m και για οικολογική παροχή $q_j = 4.85 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Επίπεδο εμπιστοσύνης	ΕΕΥΔ (10^6 m^3)
99%	39.7
95%	55.8
90%	60.8
80%	67.1

Φράγμα ύψους 100 m

Για την Κατώτατη Στάθμη του ταμιευτήρα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω χρησιμοποιήθηκε η τιμή 222 m που αντιστοιχεί στον συνήθη χρόνο ζωής ενός τέτοιου είδους έργου.

Ως Ανώτατη Κανονική Στάθμη ορίζονται τα 300 m

Σε αυτή την περίπτωση ο ωφέλιμος όγκος του ταμιευτήρα υπολογίστηκε 24110887.30 m^3 .

Στη συνέχεια υπολογίστηκε το ΕΕΥΔ με δοκιμές. Στην κάθε δοκιμή γινόταν αλλαγή της μεταβλητής D (περιγράφεται παραπάνω) η οποία αποτελεί ουσιαστική το ΕΕΥΔ. Τα αποτελέσματα για διάφορες τιμές αξιοπιστίας φαίνονται στους Πίνακες 7.6 και 7.7 που ακολουθούν:

Πίνακας 7.6: Εκτίμηση ΕΕΥΔ για ταμιευτήρα που δημιουργείται από φράγμα ύψους 100 m και για οικολογική παροχή $q_j = 0$

Επίπεδο εμπιστοσύνης	ΕΕΥΔ (10^6 m^3)
99%	82.4
95%	99.0
90%	102.7
80%	106.9

Πίνακας 7.7: Εκτίμηση ΕΕΥΔ για ταμιευτήρα που δημιουργείται από φράγμα ύψους 100 m και για οικολογική παροχή $q_j = 4.85 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

Επίπεδο εμπιστοσύνης	ΕΕΥΔ (10^6 m^3)
99%	44.9
95%	71.9
90%	80.0
80%	87.6

Στο Παράρτημα παραβάλλονται τμήματα των πινάκων υπολογισμών για την εκτίμηση του ΕΕΥΔ.

8 Σύνοψη – Συμπεράσματα

8.1 Σύνοψη

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε μια υδρολογική διερεύνηση για την λεκάνη του ποταμού Σελινούντα της βόρειας Πελοποννήσου. Σκοπός ήταν η εκτίμηση του Υδατικού Δυναμικού του ποταμού ώστε να καλυφθούν ανάγκες σε νερό της ευρύτερης περιοχής της Αιγιαλείας. Το έναυσμα δόθηκε από μια μελέτη για λογαριασμό της Δ.Ε.Υ.Α. Αιγίου, η οποία πραγματευόταν κατασκευή μονάδας διύλισης νερού στην περιοχή. Η μελέτη επίσης παρείχε και δεδομένα μετρήσεων της απορροής του ποταμού.

Συγκεντρώθηκαν χάρτες της περιοχής ώστε να γίνει δυνατή η χωρική της διερεύνηση. Σε πρώτη φάση, ήταν αναγκαία η μετατροπή των χαρτών αυτών σε ψηφιακή μορφή για την επεξεργασία τους μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, ενώ, στη συνέχεια, έγινε περαιτέρω μετατροπή σε διανυσματική μορφή των απαραίτητων στοιχείων που παρείχαν οι χάρτες αυτοί.

Για την δημιουργία των παραπάνω διανυσματικών χαρτών αλλά και για την επεξεργασία τους στη συνέχεια, έγινε χρήση του λογισμικού ArcGIS. Όσον αφορά την ακρίβεια της διανυσματοποίησης, έγινε η παραδοχή ότι η μέγιστη ακρίβεια καθορίζεται από την αρχική κλίμακα του χάρτη (1:50 000) και ισούται με την πραγματική απόσταση που απεικονίζεται ως 0.2 mm στην κλίμακα αυτή.

Η ανάλυση των διανυσματικών χαρτών οδήγησε στην δημιουργία νέων χαρτών με πληροφορία για το ανάγλυφο, τα υψόμετρα και τις κλίσεις του. Επίσης, με βάση αυτούς βγήκαν διάφορα συμπεράσματα για στοιχεία της μορφολογίας της λεκάνης απορροής υπό μορφή δεικτών ή διαγραμμάτων.

Επόμενο βήμα ήταν συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων για την περιοχή της λεκάνης απορροής. Τα δεδομένα αυτά συγκεντρώθηκαν από υπηρεσίες που διατηρούν αρχείο τέτοιου είδους δεδομένων και συγκεκριμένα το Υ.Π.Ε.Χ.Ω.Δ.Ε., την Ε.Μ.Υ., την Δ.Ε.Η. και το Υ.Π.Γ.Ε.. Αφορούσαν δεδομένα βροχοπτώσεων, θερμοκρασιών, διάρκεια ηλιοφάνειας, διαδρομής ανέμου και σχετικής υγρασίας.

Τα δεδομένα ελέγχθηκαν για την ομογένειά τους, συμπληρώθηκαν οι ελλείψεις τους και ανάχθηκαν στο μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (όσα από αυτά ήταν δυνατό).

Ολοκληρωμένα πλέον χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της μέσης εξάτμισης με την μέθοδο Penman αλλά και της μέσης εξατμισοδιαπνοής με τη μέθοδο Penman – Monteith.

Χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισόδου την χωρικά μέση βροχόπτωση και την μέση εξατμισοδιαπνοή, και ως δεδομένα ελέγχου τις μετρήσεις απορροής, έγινε βαθμονόμηση ενός μοντέλου βροχής – απορροής ώστε να είναι δυνατή η παραγωγή, με αναλυτικό τρόπο, δεδομένα απορροών δεδομένα βροχοπτώσεων.

Βαθμονομήθηκε ακόμα ένα μοντέλο, αυτή τη φορά, παραγωγής συνθετικών χρονοσειρών βροχοπτώσεων. Με το μοντέλο αυτό έγινε η παραγωγή μηνιαίων τιμών βροχοπτώσεων για

2000 έτη, έτσι ώστε η τελική συνθετική χρονοσειρά να διατηρεί τα στατιστικά χαρακτηριστικά της ιστορικής.

Με βάση τις τιμές αυτές βροχόπτωσης και αξιοποιώντας το προηγούμενο μοντέλο βροχής – απορροής έγινε παραγωγή μηνιαίων τιμών απορροής για τα αντίστοιχα 2000 έτη.

Όλα τα παραπάνω δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την εκτίμηση του Θεωρητικού Υδατικού Δυναμικού (ΘΕΥΔ) της λεκάνης αλλά και του Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού (ΕΕΥΔ) αυτής. Για το τελευταίο θεωρήθηκε φράγμα στο στόμιο της λεκάνης το οποίο δημιουργεί ταμιευτήρα. Η λειτουργία του ταμιευτήρα προσομοιώθηκε με τη μέθοδο του Υδατικού Ισοζυγίου.

Έτσι, εκτιμήθηκε ποσοτικά η συνολικά απολήψιμη ποσότητα νερού από την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Σελινούντα. Σημειώνεται ότι για την παραπάνω εκτίμηση δεν λήφθηκε υπόψη κανένα κριτήριο για την ποιότητα του νερού.

8.2 Συμπεράσματα

Το αντικείμενο της Τεχνικής Υδρολογίας και της Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων αποδεικνύεται πολύ εκτεταμένο. Ο λόγος είναι η ίδια η φύση του κύριου στοιχείου που μελετά, του νερού. Και αυτό, λόγω της πολυπλοκότητας του κύκλου του αλλά και των αλληλεπιδράσεων που δημιουργεί με άλλα στοιχεία σε όλα τα στάδια του. Είναι ξεκάθαρο ότι οποιαδήποτε υδρολογική έρευνα ή μελέτη, όποια και αν είναι η κλίμακά της, θα συναντήσει διάφορες δυσκολίες κατά την διεξαγωγή της.

Όσον αφορά την παρούσα διπλωματική εργασία, προέκυψαν διάφορα προβλήματα σε διάφορα στάδια διεξαγωγής της. Αναλυτικά παρουσιάζονται παρακάτω με την (κατά το δυνατόν) σειρά εμφάνισής τους καθώς και το πώς και σε ποίο βαθμό αντιμετωπίστηκαν.

Οι χάρτες της Γ.Υ.Σ. που χρησιμοποιήθηκαν, λήφθηκαν από την Γ.Υ.Σ. σε αναλογική – εκτυπωμένη μορφή και, στη συνέχεια, ψηφιοποιήθηκαν με σαρωτή (scanner), όπως περιγράφηκε και στο Κεφάλαιο 2. Οι ψηφιακοί πλέον χάρτες έπρεπε να γεωαναφερθούν όσο το δυνατό καλύτερα. Θεωρήθηκε σωστό, εξ αρχής, να ληφθούν ως σημεία γνωστών συντεταγμένων για την γεωαναφορά, όλες οι κορυφές του κανάβου με κωδικοποίηση σε ΕΓΣΑ '87. Κάτι τέτοιο μπορεί θεωρητικά να φαίνεται ότι θα αποδίδει την μέγιστη δυνατή ακρίβεια, στην πράξη, όμως, ο πολύ μεγάλος αριθμός σημείων προσδίδει «θόρυβο» και τελικά χειροτερεύει την ακρίβεια του αποτελέσματος.

Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε αφαιρώντας σημεία γνωστών συντεταγμένων. Επιδίωξη, ωστόσο, ήταν η διατήρηση ενός αρκετά μεγάλου αριθμού σημείων για καλύτερη προσαρμογή στην πραγματικότητα του συνόλου του χάρτη. Τελικά αποδείχθηκε ότι το βέλτιστο αποτέλεσμα προέκυπτε με την διατήρηση αρκετών σημείων περιμετρικά στο χάρτη και λιγότερων σημείων στο εσωτερικό του και κυρίως κοντά στην περιοχή στην οποία θα γινόταν συνένωση με το γειτονικό φύλλο χάρτου.

Στις περιοχές συνένωσης των 4 χαρτών, παρουσιάστηκε μια μικρή έλλειψη πληροφορίας. Η έλλειψη αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στον τεμαχισμό ενός ενιαίου χάρτη από την Γ.Υ.Σ. ώστε να προκύψουν τα φύλλα χάρτου σε διαχειρίσιμο μέγεθος, όπως επίσης και κατά δεύτερο λόγο στα σφάλματα της γεωαναφοράς.

Ιδιαίτερα επίπονη αποδείχθηκε η διαδικασία διανυσματοποίησης των χαρτών ακόμα και με τη χρήση του εργαλείου ημιαυτόματης διανυσματοποίησης του λογισμικού ArcGIS. Η

δυσκολία οφείλεται κυρίως στην μικρή κλίμακα των χαρτών που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και στην μεγάλη έκταση της περιοχής.

Τα βροχομετρικά δεδομένα παρουσίαζαν σημαντικές ελλείψεις που όμως δεν αποδείχθηκαν εμπόδιο για την ορθή συμπλήρωσή τους, λόγω των μη επικαλυπτόμενων «κενών» μεταξύ των διαφόρων βροχομετρικών σταθμών που χρησιμοποιήθηκαν.

Πρόβλημα παρουσιάστηκε με τις διαθέσιμες μετρήσεις της απορροής από την μελέτη της Δ.Ε.Υ.Α.. Εκτός του ότι δεν ήταν δυνατή ούτε διαθέσιμη κάποια εκτίμηση της αξιοπιστίας τους, η περίοδος για την οποία ήταν διαθέσιμα τα δεδομένα αυτά δεν ήταν κοινή με το σύνολο των δεδομένων βροχοπτώσεων από το σύνολο των βροχομετρικών που χρησιμοποιήθηκαν.

Κοινή περίοδος υπήρχε μόνο με τον σταθμό του Δροσάτου, με βάση τα δεδομένα του οποίου επεκτάθηκε η χρονοσειρά της Χωρικά Μέσης Βροχόπτωσης (κάτι τέτοιο ήταν δυνατό λόγω της μεγάλης συσχέτισης που παρουσίαζαν τα δεδομένα του σταθμού του Δροσάτου με τα δεδομένα της Χωρικά Μέσης Βροχόπτωσης). Και πάλι, όμως, υπήρχε ένα διάστημα 5 μηνών (8/1966 – 12/1966) για το οποίο υπήρχε παντελής έλλειψη μετρήσεων ύψους βροχής. Τα στοιχεία συμπληρώθηκαν με τις μέσες μηνιαίες τιμές που προέκυψαν από την στατιστική ανάλυση της πλήρους χρονοσειράς της Χωρικά Μέσης Βροχόπτωσης, αφού ελέγχθηκε το κατά πόσο οι τιμές αυτές προσαρμόζονται ικανοποιητικά στο συγκεκριμένο υδρολογικό έτος.

Για τον υπολογισμό της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής ήταν απαραίτητες μετρήσεις Σχετικής Υγρασίας, Ηλιοφάνειας και Ταχύτητας Ανέμου επιπλέον της Θερμοκρασίας Αέρα. Για τα δεδομένα αυτά δεν υπήρχε διαθέσιμος σταθμός (που να πραγματοποιεί και να καταγράφει μετρήσεις αυτού του είδους) εντός της λεκάνης απορροής.

Για την Σχετική Υγρασία έγινε χρήση των δεδομένων του σταθμού των Καλαβρύτων, που βρίσκεται αρκετά κοντά στα όρια της λεκάνης απορροής.

Για την Ταχύτητα Ανέμου Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του σταθμού του Αιγίου.

Για την Ηλιοφάνεια υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα από αρκετά απομακρυσμένους σταθμούς (Αραξος και Βέλο). Για καλύτερη προσέγγιση της πραγματικής ηλιοφάνειας στην περιοχή της λεκάνης απορροής και δεδομένου του γεγονότος ότι οι παραπάνω σταθμοί βρίσκονται εκατέρωθεν της λεκάνης απορροής, προσδιορίστηκε νέα τιμή ως ο σταθμισμένος μέσος των μηνιαίων τιμών ηλιοφάνειας των παραπάνω σταθμών.

Δυστυχώς και πάλι το κοινό χρονικό διάστημα στο οποίο ήταν δυνατός ο υπολογισμός της εξάτμισης και της εξατμισοδιαπνοής δεν ήταν κοινό με αυτό των μετρημένων απορροών. Σε αυτή την περίπτωση, επιπλέον δεν ήταν δυνατή η επέκταση της χρονοσειράς με βάση δεδομένα κάποιου άλλου σταθμού, όπως στην προηγούμενη περίπτωση των βροχοπτώσεων. Προσεγγιστικά, χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές.

Όλα τα παραπάνω προβλήματα χρονικής ασυμφωνίας με τις μετρήσεις απορροών οδήγησαν στην χρήση προσεγγιστικών τιμών. Οι προσεγγίσεις αυτές συνδυαζόμενες σε ένα μοντέλο βροχής – απορροής, όπως το μοντέλο Zygos, ήταν αναμενόμενο να μην αποδώσουν αποτελέσματα μεγάλης αξιοπιστίας.

Το παραπάνω γεγονός αναδείχθηκε κατά την βαθμονόμηση του μοντέλου όπου ο μέγιστος δυνατός συντελεστής προσαρμογής δεν κυμαινόταν σε υψηλά επίπεδα (βέλτιστη τιμή 0.712). Κατ' επέκταση, και η συνθετική χρονοσειρά απορροών κληροδοτήθηκε με την μειωμένη αυτή αξιοπιστία.

Αντίθετα, η συνθετική χρονοσειρά βροχοπτώσεων παρουσίασε αρκετά μεγάλη αξιοπιστία, όπως αποδεικνύει και η στατιστική ανάλυση και συσχέτιση των δεδομένων της ιστορικής και συνθετικής χρονοσειράς βροχοπτώσεων, που πραγματοποιήθηκε με το υποσύστημα Castalia του λογισμικού Hydrognomon, μετά το πέρας της δημιουργίας της συνθετικής χρονοσειράς. Ο μεγάλος βαθμός αξιοπιστίας αυτός ήταν αναμενόμενος λόγω της αρκετά μεγάλης περιόδου που κάλυπταν τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο. Τα δεδομένα αυτά ήταν οι κοινές βροχομετρικές παρατηρήσεις από διαφορετικούς βροχομετρικούς σταθμούς της περιοχής, που ήταν διαθέσιμες για 27 έτη (1978 – 2004) που επεκτάθηκαν σε 48 (1957 – 2004) χωρίς σημαντική μείωση της αξιοπιστίας τους.

Τελικά Εξαγόμενα

Τελικά, για την εκτίμηση του Εκμεταλλεύσιμου Επιφανειακού Υδατικού Δυναμικού (ΕΕΥΔ) συμπεριλήφθησαν στους υπολογισμούς όλα τα δεδομένα που δημιουργήθηκαν παραπάνω, με την αξιοπιστία που έφερε το καθένα, στην προσομοίωση της λειτουργίας του ταμιευτήρα που δημιουργεί υποθετικό φράγμα στο στόμιο εξόδου της λεκάνης.

Δεδομένου του γεγονότος ότι οι ετήσιες ανάγκες για άρδευση στην περιοχή ανέρχονται σε $7.7 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (μελέτη για την Δ.Ε.Υ.Α. Αιγίου), ακόμα και ένα φράγμα ύψους 40 m καλύπτει (και με το παραπάνω) τις ανάγκες αυτές.

Το επιπλέον υδατικό δυναμικό που είναι διαθέσιμο μπορεί να αξιοποιηθεί για την ύδρευση της ευρύτερης περιοχής, εφόσον κριθεί ότι το επιτρέπει η ποιότητά του.

Σε κάθε περίπτωση, ένα τεχνικό έργο τέτοιου είδους μπορεί να λειτουργεί συνεπικουρικά με το προβλεπόμενο έργο της μελέτης της Δ.Ε.Υ.Α., που αφορά κατασκευή μονάδας διύλισης του νερού στην ίδια θέση για την κάλυψη υδρευτικών αναγκών της περιοχής.

Αναφορές

- Σigma, Γραφείο Υδατικών και Περιβαλλοντικών Μελετών, *Αξιοποίηση επιφανειακών νερών από ποταμό Σελινούντα, Μελέτη προέγκρισης χωροθέτησης*, Δ.Ε.Υ.Α. Αιγίου, Πάτρα, 2000.
- Σigma, Γραφείο Υδατικών και Περιβαλλοντικών Μελετών, *Αξιοποίηση επιφανειακών νερών από ποταμό Σελινούντα, Προκαταρκτική μελέτη*, Δ.Ε.Υ.Α. Αιγίου, Πάτρα, 2000.
- Ναλμπάντης, Ι., *Προστασία και Διαχείριση Υδατικών Πόρων*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2007.
- Ναλμπάντης, Ι., *Υδρολογικός σχεδιασμός ταμιευτήρων Ευήνου, Διερεύνηση προσφερομένων δυνατοτήτων για την ενίσχυση της ύδρευσης μείζονος περιοχής Αθηνών*, Τεύχος 15, ΕΜΠ/ΤΥΠΥΘΕ, Αθήνα, 1990.
- Τσακίρης, Γ. (υπεύθυνος έκδοσης), *Υδατικοί Πόροι: Ι. Τεχνική Υδρολογία*, Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα, 1995.
- Τσακίρης, Γ., *Ανάγκες σε αρδευτικό νερό*, Εκπαιδευτικές σημειώσεις, Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2004.
- Ζαρρής, Δ., *Μελέτη στερεοπαροχής π. Πείρου – Μελέτη αντιμετώπισης διάβρωσης ακτών δυτικής Αχαΐας*, Αθήνα, 2008.
- Τσούλος, Λ., *Ψηφιακή Χαρτογραφία*, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2004.
- Αργιαλάς, Δ., *Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση*, Τμήμα Αγρονόμων Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 1998.
- Κουτσόπουλος, Κ., Ανδρουλάκης, Ν., *Εφαρμογές του λογισμικού ArcGIS 9x με απλά λόγια*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 2005.
- Χριστοφίδης, Α., Κοζάνης, Σ., *Εκσυγχρονισμός της εποπτείας και διαχείρισης του συστήματος των υδατικών πόρων ύδρευσης της Αθήνας, Τεύχος 22: Υδρογνώμονας (έκδοση 1.0) Λογισμικό διαχείρισης δεδομένων*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2004.
- Τζούκα, Α., *Συσχέτιση παραμέτρων εννοιολογικών μοντέλων με τα χαρακτηριστικά λεκανών, Διερεύνηση με το μοντέλο Ζυγός*, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2007.

Παράρτημα Α: Πίνακες

Πίνακας Α1: Μηνιαίως απορρέοντες όγκοι ύδατος (σε mm) στη Μονή Ταξιαρχών

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1960-61												17.9
1961-62	8.61	32.4	61	46.3	94.5	180	109.5	50.1	29	12.7	6.82	13.92
1962-63	24.8	68.6	174	137	165	102	53.1	53	42.2	21.6	14.5	9.68
1963-64	40	29.5	104.5	64.6	69.9	114.1	45.6	278	24.4	11.65	7.85	
1964-65	181	142	336	304	298.5	205.5	98	64.4	4.01	3.96	2.94	2.65
1965-66	2.44	81	288.5	371	147.5	79.5	46.4	30.2	23.8	12.15	12.25	16.7
1966-67	20.8	241	122	134.5	68.4	53.7	35.8	104.5	58	40.9	19.85	42
1967-68	50.4	42	150	430	406	335	265	190	160	105	104	

Πίνακας Α2: Μηνιαίως απορρέοντες όγκοι ύδατος (σε 10⁶ m³) στη Μονή Ταξιαρχών

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1960-61												5.07
1961-62	2.44	9.15	17.25	13.1	26.7	51	30.9	14.2	8.21	3.59	1.93	3.94
1962-63	7	19.45	49.2	38.85	46.6	28.8	15	15	11.95	6.11	4.1	2.74
1963-64	11.33	8.35	29.5	18.3	19.75	32.3	12.9	7.86	6.9	3.3	2.22	
1964-65	51.2	39.8	95	85.5	84.5	58.2	27.9	18.2	1.35	1.12	0.83	0.75
1965-66	0.69	22.9	81.6	105	41.7	22.5	13.1	8.59	6.74	3.43	3.46	4.72
1966-67	5.89	68.2	34.8	38	19.35	15.2	10.12	29.6	16.4	11.58	5.62	11.9
1967-68	14.25	11.85	42.4	121.6	115	94.9	75	53.7	45.3	29.75	29.4	

Πίνακας Α3: Συνθετική απορροή (σε 10⁶ m³) στην Μονή Ταξιαρχών (τμήμα)

Υδ. Έτος	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Ετήσια
1	23.07	9.91	14.82	16.92	25.9	19.02	4.02	1.21	1.94	27.24	29.96	46.95	220.96
2	47.03	45.22	38.15	18.65	4.85	1.27	0.85	0.42	0.23	10.33	31.32	39.59	237.91
3	43.21	30.82	10.74	11.79	5.91	6.12	3.88	1.45	4.33	9.6	19.52	42.82	190.19
4	44.98	45.34	35.1	18.56	9.7	2.46	1.16	1.17	2.53	12.92	15.98	25.79	215.69
5	46.03	33.89	19.47	8.06	2.14	1.05	0.72	0.68	3.6	2.94	26.13	72.88	217.59
6	40.92	46.17	43.9	24.68	7.46	5.34	1.75	0.62	0.73	12.68	41.53	51.43	277.21
7	70.2	46.3	45.05	36.62	28.48	10.51	1.06	0.76	1.33	4.49	13.49	34.42	292.71
8	36.09	17.99	13.36	12.57	4.85	1.42	1.21	1.05	0.96	7.67	44.33	58.55	200.05
9	55.18	44.06	38.56	18.05	8.91	2.66	0.78	0.64	11.25	15.95	24.9	33.59	254.53
10	27.39	17.2	10.72	30.53	16.6	1.48	0.72	0.45	5.46	16.68	25.23	42.95	195.41
11	33.89	16.18	9.94	17.98	10.78	2.18	1.11	0.86	8.36	18.09	22.21	31.02	172.6
12	20.44	10.21	15.89	19.13	7.75	1.11	0.59	0.35	0.5	12.7	21.6	59.85	170.12
13	39.79	18.16	13.26	4.87	2.8	2.23	0.99	0.49	2.64	13.78	34.95	90.76	224.72
14	56.29	38.75	25.46	27.83	12.49	1.48	0.91	0.58	0.38	19.47	22.73	36.48	242.85
15	52.8	48.5	37.2	30.31	23.12	7.64	1.01	0.5	0.54	8.45	39.58	112.2	361.85
16	42.48	23.02	25.86	15.13	4.39	2.48	1.04	0.57	0.48	14.83	14.96	38.69	183.93
17	56.04	57.15	41.78	18.21	5.97	1.43	0.78	0.53	3.11	6.79	19.81	65.41	277.01
18	47	33.91	23.93	16.05	13.1	5.61	1.06	1.02	1.85	4.54	30.54	50.98	229.59
19	38.22	34.71	43.74	34.18	17.34	3.46	0.77	0.56	0.73	1.17	27.23	51.22	253.33
20	44.16	41.26	35.05	21.93	21.13	7.75	1.98	3.35	2.2	3.97	23.44	61.66	267.88
21	33.87	16.92	10.17	16.99	10.21	1.54	0.95	1.14	2.82	2.83	31.73	44.46	173.63
22	39.75	43.32	35.18	16.17	12.82	6.96	1.2	0.58	0.62	15.42	27.87	37.12	237.01
23	43.15	26.78	16.06	9.9	7.47	2.31	1.01	0.84	1.5	1.68	26.91	42.82	180.43
24	39.07	43.37	31.25	16.41	16.99	7.8	1.14	0.75	0.89	9.47	30.92	51.22	249.28
25	52.41	29.88	20.28	20.96	8.58	1.33	0.91	0.73	1.01	10.76	22.15	32.41	201.41
26	53.07	52.37	34.33	22.06	13.93	3.42	0.89	0.86	1.04	2.11	28.78	37.04	249.9
27	39.09	62.38	49.94	25.16	7.32	1.19	0.6	0.53	0.66	21.76	19.77	76.78	305.18
28	60.43	53.73	35.98	26.77	18.27	4.21	0.78	0.79	6.1	4.08	28.9	28.5	268.54
29	89.67	46.6	31.86	15.41	4.16	1.11	0.71	0.45	0.56	24.22	38.26	37.39	290.4
30	45.98	49.03	36.01	29.09	17.75	7.32	1.46	0.72	0.64	6.55	26.81	67.43	288.79
Μ. τιμή	43.28	35	26.79	19.57	12.1	4.3	1.28	0.89	2.14	10.15	27.85	45.99	229.22

Πίνακας Α4: Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C) ανηγμένη στο μέσο υψόμετρο της Λ.Α.

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Μ. ετήσια
1978			4.3	5.8	10.8	15.6	17.5	16.9	12.2	8.8	3.3	3.7	9.89
1979	0.5	1.8	5	5.7	10.8	16.4	17.4	17.4	16.1	12.4	7.7	5.3	9.71
1980	0.3	0.5	3.1	5.2	9.4	14.1	16.9	18	16.3	12.8	9.5	4.5	9.22
1981	1.6	2.9	6.2	12.1	17	17.5	17.8	14.6	11.9	3.1	3.2	4.38	9.36
1982	1.7	-0.8	1.3	5.5	10.1	15.6	18	18.7	16.3	10.6	4.5	2.4	8.66
1983	1.2	-0.5	2.5	7.5	12.4	14.1	18.1	17	14.5	9.1	4.8	2.3	8.58
1984	2.3	1.1	2.4	5	10.8	14.6	17.5	16.7	14.9	11.9	6.1	2	8.78
1985	2	0.7	2.4	7.4	12	15.4	18.1	18.7	15.4	8.7	6.3	3.4	9.21
1986	2.1	1.4	3.1	8	11.4	16.1	17.6	19.3	15.7	9.9	4.7	1	9.19
1987	2	1.5	-0.2	6	9.7	15.1	19.1	17.9	17.5				9.84
Μ. μηνιαία	1.52	0.96	3.01	6.82	11.44	15.45	17.8	17.52	15.08	9.7	5.57	3.22	

Πίνακας Α5: Μέση μηνιαία θερμοκρασία (°C) ανηγμένη στη Μέση Στάθμη του Ταμιευτήρα (240 m)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Μ. ετήσια
1978			9.96	11.46	16.46	21.26	23.16	22.56	17.86	14.46	8.96	9.36	15.55
1979	6.16	7.46	10.66	11.36	16.46	22.06	23.06	23.06	21.76	18.06	13.36	10.96	15.37
1980	5.96	6.16	8.76	10.86	15.06	19.76	22.56	23.66	21.96	18.46	15.16	10.16	14.88
1981	7.26	8.56	11.86	17.76	22.66	23.16	23.46	20.26	17.56	8.76	8.86	10.04	15.02
1982	7.36	4.86	6.96	11.16	15.76	21.26	23.66	24.36	21.96	16.26	10.16	8.06	14.32
1983	6.86	5.16	8.16	13.16	18.06	19.76	23.76	22.66	20.16	14.76	10.46	7.96	14.24
1984	7.96	6.76	8.06	10.66	16.46	20.26	23.16	22.36	20.56	17.56	11.76	7.66	14.43
1985	7.66	6.36	8.06	13.06	17.66	21.06	23.76	24.36	21.06	14.36	11.96	9.06	14.87
1986	7.76	7.06	8.76	13.66	17.06	21.76	23.26	24.96	21.36	15.56	10.36	6.66	14.85
1987	7.66	7.16	5.46	11.66	15.36	20.76	24.76	23.56	23.16				15.5
Μ. μηνιαία	7.18	6.62	8.67	12.48	17.1	21.11	23.46	23.18	20.74	15.36	11.23	8.88	

Πίνακας Α6: Ταχύτητα Ανέμου (m/s)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Μ. ετήσια
1978			1.96	0.83	1.26	1.54	1.76	0.77	0.75	2.69	1.78	2.56	1.59
1979	2.57	4.28	2.13	2.44	1	1.58	0.65	1.13	1.78	2.87	1.62	2.25	2.03
1980	3.33	4.4	2.57	1.55	1.98	1.01	1.22	2.31	1.42	1.26	0.5	1.83	1.95
1981	3.23	3.18	1.98	1.75	1.36	1.6	1.87	4.11	0.65	0.45	0.75	1.4	1.86
1982	1.85	3.07	3.22	1.85	1.22	1.84	1.92	1.4	3.44	1.83	2.05	1.65	2.11
1983	2.72	1.19	4.49	1.32	2.41	1.96	1.96	2.53	1.87	1.71	2.5	2.97	2.3
1984	4.57	4.52	6.49	4.51	6.07	8.14	6.17	3.78	5.52	3.39	3.98	5.44	5.22
1985	5.36	6.29	5.82	6.65	4.55	6.3	4.91	7.33	4.53	3.97	1.61	1.82	4.93
1986	4.39	4.63	5.85	4.66	4.14	5	4.03	5	4.86	3.67	3.38	2.33	4.33
1987	4.66	3.42	3.1	3.78	1.23	1.89	1.62	1.32	1.24				2.47
Μ. μηνιαία	3.63	3.89	3.76	2.93	2.52	3.09	2.61	2.97	2.61	2.43	2.02	2.47	

Πίνακας Α7: Μηνιαία Ηλιοφάνεια (min)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1977	7003.2	8556	11398.2	13827.6	16222.2	20550	22264.2	20943	14898.6	13446	8165.4	7878.6	165153
1978	5994	7531.8	12418.8	11020.2	16337.4	20814	23571.6	20457.6	14885.4	12004.2	10518	6969	162522
1979	7088.4	7149.6	12090	12768.6	17455.2	20265	22287.6	19228.2	14586	10857	7189.8	7087.2	158052.6
1980	6045	9692.4	9835.2	13961.4	14200.2	19551	23172	19148.4	17362.2	10848.6	8647.2	7269	159732.6
1981	4820.4	8800.8	12130.8	14655.6	17553	20280.6	21856.8	17568.6	16123.8	12573.6	8165.4	4498.2	159027.6
1982	8364	8154	9817.8	12742.8	16481.4	21626.4	22141.2	18256.8	16710	11265	8308.8	6381	160249.2
1983	8834.4	8374.2	11496	14100.6	17985	18366	19665	18343.2	15724.2				132888.6
1984	5772.6	10305	10550.4	16090.2	19379.4	17093.4	12720.6	8606.4	7294.8				107812.8
1985	6492.6	8016.6	8900.4	13195.2	16429.8	21843.6	22318.2	20143.8	17155.8	13320.6	7448.4	8113.8	163378.8
1986	6510	6826.2	9840.6	15072	16844.4	18894	21733.8	20414.4	15850.8	12105	7838.4	7407.6	159337.2
1987	6600	6370.2	9852	13848.6	15467.4	19892.4	21841.2	19603.2	16343.4	10764	7339.2	8023.2	155944.8
1988	6810	9610.2	10836	10706.4	16865.4	15535.8	20224.8	19762.2	15496.8	12492.6	7728.6	8086.2	154155
1989	12499.8	10146.6	13396.8	14309.4	16720.8	17995.2	19879.2	14677.8					119625.6
1990	10686.6	12477	12211.8										35375.4

Πίνακας Α7 (συνέχεια...): Μηνιαία Ηλιοφάνεια (min)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	Σύνολο
1991	8353.8	8821.8	13009.8	15498	17046	18618	18077.4	15853.2	13353.6	8756.4			137388
1992	9060.6	9841.8	7771.2	13110	14224.8	16551.6	20156.4	20602.2	16627.2	11025.6	9795.6	6110.4	154877.4
1993	10916.4	8166	11771.4	15195.6	16644								62693.4
1994	10177.2	14524.2	14941.2	20449.8	21116.4	21154.8	18933.6	15148.8	11056.2	10096.8			157599
1995	7663.2	11629.8	14857.2	17162.4	19626	21758.4	20519.4	16454.4	15231	10559.4	6737.4		162198.6
1996	5362.8	6614.4	7515.6	13797	17295	20782.2	23016	20907.6	14353.2	10945.2	9696	6896.4	157181.4
1997	10410	10550.4	11931	12972	21507.6	20155.2	21895.8	19981.2	15741.6	11370.6	6900.6	6094.2	169510.2
1998	9030.6	11260.8	11192.4	14560.2	15786	20488.8	23391.6	20869.8	14582.4	14571	7791	6247.8	169772.4
1999	9787.8	9508.2	11067.6	15361.8	17818.8	21506.4	21043.2	16774.8	14305.2	9959.4	6126		153259.2
2000	10419.6	9297.6	13960.2	13269	17703	20509.8	21703.8	21336	15808.8	11128.2	10157.4	8321.4	173614.8
2001	6627.6	11557.8	13112.4	15654.6	18001.8	22246.8	21025.2	18287.4	16515	10014.6			153043.2
2002	10051.8	10846.8	12412.2	13282.2	18626.4	18748.2	19951.2	19283.4	13517.4	14658	9325.8	5182.8	165886.2
2003	6283.2	10985.4	11697	16080.6	18427.2	21794.4	20496	17601	13492.2	9531	7023.6		153411.6
Μ. τιμή	8061.69	9467.24	11482	14334.3	17375.56	19880.88	20955.43	18410.14	14875.65	11467.85	8152.77	6910.43	146803.4

Πίνακας Α8: Μέση Σχετική Υγρασία (%)

	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ
1975	80.2	80.2	69.4	60.5	67.8	65.8	58.4	65.9	62	78.7	80.7	84.7
1976	76	74.9	69.4	65.7	65.5	58.1	57.7	56.3	61.9	70.9	78.9	78.2
1977	75.3	61.1	56.2	57.8	61.6	49.9	44.9	47.9	60.7	61.2	71.3	78.3
1978	83.2	72.3	65.8	71	60.9	51.1	45.2	52	68.8	72.1	70.3	76.6
1979	77.4	74.3	65.6	67.9	67.8	53.4	58.6	59.5	57.5	73.3	76.9	75
1980	82.5	74.2	69.9	67	67.5	57.7	52.5	57.8	67	72	71.6	76.5
1981	81.4	74.1	65	62.6	65.4	55.3	55.7	54.6	65.3	68.6	73.7	75.8
1982	70.6	81.4	71.1	68.5	64.7	55	56.4	59	57.5	73.5	70.6	76.7
1983	71.7	74.5	66.9	59.1	58.9	59.4	56.9	56.7	56	70.3	77.9	79.8
1984	73.6	76.1	73.3	70.5	57.5	56	49.3	62.4	63.9	69.3	78.1	78.9
1985	76.9	75	76	60.7	64	58	53.2	51	58.6	69.7	77.3	75.9
1986	75.6	77.2	75.7	59.4	64.4	61.7	57.1	58.6	59.8	71.6	72.5	79.6
1987	79.2	78.3	78.9	67.9	65.2	58.2	56.1	60.7	60.6	75.8	81.5	78.1
1988	78.3	78.4	69.7	65.5	62.7	56.9	53	54.9	64.2	70.8	78	78.6
1989	71.8	69.4	68.1	56.5	62.3	63.2	61	56.1	65.8	72.4	82.6	78.1
1990	78.8	71.5	58.3	66	68.9	54.4	53.9	59.3	67.6	71.7	78	84.6
1991	85.5	81.1	70.8	73.9	66	61.5	66.9	66.9	64.8	73.7	79.4	80.7
1992	75.7	78.2	69.6	69.9	63.3	66.7	68.4	76.7	67.1	69.5	76	76.3
1993	76.1	75.8	70.8	61.4	69.7	60.7	52.7	51	62.5	65.3	79.2	80.4
1994	81.5	68.1	66.7	66.3	55.3	53.6	53.6	60.4	78.3	79.5	80.9	
1995	80.7	72.4	74.5	73.5	60.7	57.5	61.3	67.5	70.1	70.1	80.3	80.7
1996	85.2	79.5	81.3	71.1	59.4	58.4	60	64.6	71.6	77.4	74	82
1997	72.9	88	86.5	82.4	55.3	60.6	57.6	66.8	68.3	80.2	86.9	91.8
Μ. τιμή	77.83	75.48	70.41	66.31	63.25	57.96	56.1	59.42	64.34	72.07	77.24	79.42

Πίνακας Α9: Υπολογισμένη εξαμηνιαία με την μέθοδο Penman – Monteith

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1977-78						54.15	60.03	99.41	134.95	155.93	118.15	71.9
1978-79	54.06	28.81	25.36	23.11	33.22	56.26	67.69	98.08	135.9	133.53	119.62	95.47
1979-80	60.93	29.39	27	21.02	33.32	49.02	66.82	90.18	118.88	141.65	134.56	91.28
1980-81	52.29	25.19	23.16	23.05	33.55	58.76	89.88	121.14	139.33	147.66	135.52	73.27
1981-82	34.97	21.55	21.6	25.53	23.44	45.28	65.45	95.74	137.51	149.21	124.86	116.08
1982-83	51.98	31.32	20.4	28	23.74	55.15	75.1	116.47	121.93	143.46	132.39	94.61
1983-84				33.67	33.15	50.28	70.08	127.64	154.9	174.71	114.7	101.41
1984-85				31.48	33.48	45.55	90.96	114.87	157.06	179.12	193.06	119.52
1985-86	62.17	27.6	22.28	31.04	30.58	48.16	92.21	111.19	144.32	162.49	164.93	119.34
1986-87	61.2	35.87	19.85	28.01	28.14	36.78	72.38	92.23	129.7	150.06	123.73	94.47

Πίνακας Α10: Υπολογισμένη εξαμηνιαία με την μέθοδο Penman

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1977-78						54.15	60.03	99.41	134.95	155.93	118.15	71.9
1978-79	54.06	28.81	25.36	23.11	33.22	56.26	67.69	98.08	135.9	133.53	119.62	95.47
1979-80	60.93	29.39	27	21.02	33.32	49.02	66.82	90.18	118.88	141.65	134.56	91.28
1980-81	52.29	25.19	23.16	23.05	33.55	58.76	89.88	121.14	139.33	147.66	135.52	73.27
1981-82	34.97	21.55	21.6	25.53	23.44	45.28	65.45	95.74	137.51	149.21	124.86	116.08
1982-83	51.98	31.32	20.4	28	23.74	55.15	75.1	116.47	121.93	143.46	132.39	94.61
1983-84				33.67	33.15	50.28	70.08	127.64	154.9	174.71	114.7	101.41
1984-85				31.48	33.48	45.55	90.96	114.87	157.06	179.12	193.06	119.52
1985-86	62.17	27.6	22.28	31.04	30.58	48.16	92.21	111.19	144.32	162.49	164.93	119.34
1986-87	61.2	35.87	19.85	28.01	28.14	36.78	72.38	92.23	129.7	150.06	123.73	94.47

Πίνακας Α11: Δοκιμές για βέλτιστη βαθμονόμηση του μοντέλου Zygos

Δοκιμή	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\kappa =$	0.01	0.139	0.134	0.197	0.01	0.161	0.226	0.226	0.193	0.071	0.222	0.01	0.213	0.226	0.214
$\mu =$	0.01	0.166	0.167	0.091	0.271	0.073	0.129	0.129	0.083	0.679	0.113	0.01	0.1	0	0.101
$\varepsilon =$	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.02	0	576	0	115.538	0
$H_1 =$	16.2	318.6	534	149.013	576	454.757	115.538	115.7	176.997	36.3	129.132	0.871	143.25	0.99	147.858
$H_2 =$	249.39	299.92	300	295.93	300	300	294.2	287.56	348.88	392.64	399.3	0.206	294.6	0.161	220.81
$\lambda =$	0.147	0.24	0.809	0.013	0.871	0.299	0.99	0.99	0.99	0.516	0.99	600	0.99	162.5	0.99
$\xi =$	0.974	0.191	0.194	0.257	0.206	0.178	0.161	0.161	0.242	0.107	0.169	0	0.186	0	0.184
$\varphi =$	0.814	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.561	0	0.66	0
$K =$	600	600	600	162.5	600	472.23	162.5	162.5	599.99	198.36	198.36	0	250	0	259.4
$S_0 =$	0	16.2	3	158.113	0	171.892	0	46.963	179.997	39.474	71.211	0	148.75	0	44.876
$Y_0 =$	9.28	26.9	35.7	16.78	5	5	106.91	67.78	5	144.81	167.78	0	0.51	0	5.41
$R^2 =$	0.533	0.645	0.639	0.649	0.561	0.647	0.66	0.66	0.684	0.617	0.667	0.673	0.673	0.673	0.673
Δοκιμή	16	17	18	19	20	21	22	23	16	17	18	19	20	21	22
$\kappa =$	0.01	0.01	0	0	0.157	0.147	0.214	0	0.01	0.01	0	0	0.157	0.147	0.214
$\mu =$	0.285	0.284	0.01	0.236	0.083	0.08	0	0.01	0.285	0.284	0.01	0.236	0.083	0.08	0
$\varepsilon =$	0.01	0	0	0	0	0	147.858	0	0.01	0	0	0	0	0	147.858
$H_1 =$	82.053	83.188	88.2	110.96	183.6	230.443	0.99	47.28	82.053	83.188	88.2	110.96	183.6	230.443	0.99
$H_2 =$	5.01	29.17	116.47	261.92	300	299.48	0.184	158.85	5.01	29.17	116.47	261.92	300	299.48	0.184
$\lambda =$	0.99	0.99	0.312	0.99	0.99	0.974	259.4	0.106	0.99	0.99	0.312	0.99	0.99	0.974	259.4
$\xi =$	0.339	0.336	0.428	0.329	0.282	0.146	44.876	0.492	0.339	0.336	0.428	0.329	0.282	0.146	44.876
$\varphi =$	0	0	0	0	0	0	0.673	0	0	0	0	0	0	0	0.673
$K =$	443.53	467.35	600	346.75	600	369.3	0	240	443.53	467.35	600	346.75	600	369.3	0
$S_0 =$	52.337	1.869	190.8	132.112	101.4	174.679	0	2.16	52.337	1.869	190.8	132.112	101.4	174.679	0
$Y_0 =$	25.08	5.12	191.14	41.2	5.13	6.13	0	6.78	25.08	5.12	191.14	41.2	5.13	6.13	0
$R^2 =$	0.725	0.729	0.737	0.709	0.669	0.65	0.71	0.712	0.725	0.729	0.737	0.709	0.669	0.65	0.71

Πίνακας Α12: Υπολογισμών όγκων και επιφανειών για την κατάρτιση του διαγράμματος Επιφάνειας – Όγκου

Υψόμετρο h_i	Εμβαδόν E_i	Περίμετρος	Ποσοστό	Όγκος V_i
200	387.50	80.2	100.00%	0
220	42959.03	1714.8	99.99%	433465
240	142652.00	3511.4	99.95%	2289576
260	276618.45	5138.3	99.91%	6482280
280	459780.18	6769.3	99.84%	13846266
300	707281.92	8626.7	99.76%	25516887
400	2309087.49	17946.9	99.22%	176335357
500	6784029.63	41372.0	97.70%	630991213
600	17641535.57	87758.4	94.02%	1852269473
700	45367789.32	154422.5	84.62%	5002735717
800	87279712.44	198304.9	70.40%	11635110805
900	138816038.97	238436.6	52.93%	22939898376
1000	188660158.46	209364.4	36.03%	39313708247
1100	227160212.53	164833.4	22.97%	60104726796
1200	251183191.26	131362.0	14.83%	84021896986
1300	266791478.47	117571.0	9.53%	109920630472
1400	276989013.74	104572.6	6.08%	137109655083
1500	283970445.90	103530.9	3.71%	165157628064
1600	288197538.37	101100.1	2.28%	193766027278
1700	291506539.29	100019.9	1.15%	222751231161
1800	294086608.82	92979.5	0.28%	252030888566
1900	294334838.32	94163.8	0.19%	281451960923
2000	294682331.74	93056.0	0.08%	310902819427
2100	294851273.84	93260.9	0.02%	340379499706
2200	294907321.79	93265.5	0.00%	369867429487

Πίνακας Α13: Προσομοίωση Λειτουργίας Ταμιευτήρα με φράγμα ύψους 40 m και μηδενικής οικολογικής παροχής

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ							ΕΕΥΔ	D=	7610000	Μέγιστος ωφ. Όγκος:				883575.51	
ΥΔ. ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ						Αξιοπιστία:		0.95						
<i>i</i>	<i>j</i>	Q_{ij} (10 ⁶ m ³)	P_{ij} (mm)	E_{ij} (mm)	q_j (m ³)	λ_j	D_j (m ³)	S_{ij} (m ³)	A_{ij} (m ²)	SA_{ij} (m ³)	RE_{ij} (m ³)	R_{ij} (m ³)	SP_{ij} (m ³)	ΣR_{ij} (m ³)	
54	ΟΚΤ	28.44	248.29	215.51	0	0.0855	12397500	0	78456.6	28442571.8	0	12397500	15161496		
	ΝΟΕ	33.27	92.4	191.49	0	0.0798	11567132	883575.51	111898	34142487.5	0	11567132	21691780		
	ΔΕΚ	42.31	226.04	134.79	0	0.0775	11237500	883575.51	111898	43203786.2	0	11237500	31082711		
	ΙΑΝ	36.73	90.53	74.49	0	0.0717	10396500	883575.51	111898	37615370.4	0	10396500	26335295		
	ΦΕΒ	32.72	146.64	36.21	0	0.0658	9541000	883575.51	111898	33615932.4	0	9541000	23191357		
	ΜΑΡ	28.07	99.3	26.98	0	0.0749	10860500	883575.51	111898	28961668	0	10860500	17217592		
	ΑΠΡ	20	83.82	36.71	0	0.0798	11567132	883575.51	111898	20888847	0	11567132	8438140		
	ΜΑΪ	54.28	397	46.44	0	0.0856	12412000	883575.51	111898	55202802.5	0	12412000	41907227		
	ΙΟΥΝ	25.25	17.44	80.18	0	0.0936	13572000	883575.51	111898	26126555	0	13572000	11670980		
	ΙΟΥΛ	8.33	72.27	116.35	0	0.0950	13775000	883575.51	111898	9208643.05	0	9208643	0		
	ΑΥΓ	5.46	43.5	160.19	0	0.1003	14537925	0	78456.6	5450844.9	0	5450845	0		
	ΣΕΠ	6.83	61.04	201.92	0	0.0906	13137000	0	78456.6	6818947.03	0	6818947	0	125029698.3	
1947	ΟΚΤ	1.6	40.5	215.51	0	0.0855	12397500	0	78456.6	1586269.31	0	1586269	0		
	ΝΟΕ	9.59	67.97	191.49	0	0.0798	11567132	0	78456.6	9580309.04	0	9580309	0		
	ΔΕΚ	6.25	0	134.79	0	0.0775	11237500	0	78456.6	6239424.83	0	6239425	0		
	ΙΑΝ	3.15	19.05	74.49	0	0.0717	10396500	0	78456.6	3145650.37	0	3145650	0		
	ΦΕΒ	5.43	35.19	36.21	0	0.0658	9541000	0	78456.6	5429919.97	0	5429920	0		
	ΜΑΡ	10.42	68.63	26.98	0	0.0749	10860500	0	78456.6	10423267.7	0	10423268	0		
	ΑΠΡ	19.04	126.29	36.71	0	0.0798	11567132	0	78456.6	19047028.1	0	11567132	6596321		
	ΜΑΪ	11.02	27.36	46.44	0	0.0856	12412000	883575.51	111898	11901440.5	0	11901440	0		
	ΙΟΥΝ	1.57	0	80.18	0	0.0936	13572000	0	78456.6	1563709.35	0	1563709	0		
	ΙΟΥΛ	0.67	4.58	116.35	0	0.0950	13775000	0	78456.6	661230.906	0	661230.9	0		
	ΑΥΓ	0.37	0	160.19	0	0.1003	14537925	0	78456.6	357432.037	0	357432	0		
	ΣΕΠ	1.3	64.8	201.92	0	0.0906	13137000	0	78456.6	1289242.03	0	1289242	0	63745027.71	ΑΣΤΟΧΙΑ

Πίνακας Α14: Προσομοίωση Λειτουργίας Ταμιευτήρα με φράγμα ύψους 40 m συνεκτιμημένης οικολογικής παροχής

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ							ΕΕΥΔ	D=	67100000	Μέγιστος ωφ. Όγκος:				883575.51	
ΥΔ. ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ						Αξιοπιστία:		0.80						
<i>i</i>	<i>j</i>	Q_{ij} (10 ⁶ m ³)	P_{ij} (mm)	E_{ij} (mm)	q_j (m ³)	λ_j	D_j (m ³)	S_{ij} (m ³)	A_{ij} (m ²)	SA_{ij} (m ³)	RE_{ij} (m ³)	R_{ij} (m ³)	SP_{ij} (m ³)	ΣR_{ij} (m ³)	
4	ΟΚΤ	17.5	125.37	215.5	4850000	0.0855	12397500	0	78456.6	17492927.9	4850000	12397500	0		
	ΝΟΕ	31.8	167.08	191.5	4850000	0.0798	11567132	245427.92	87825.66	32063284.1	4850000	11567132	14762577		
	ΔΕΚ	33.6	118.66	134.8	4850000	0.0775	11237500	883575.51	111898	34441770.6	4850000	11237500	17470695		
	ΙΑΝ	32.6	133.61	74.5	4850000	0.0717	10396500	883575.51	111898	33440190.9	4850000	10396500	17310115		
	ΦΕΒ	20.2	30.61	36.2	4850000	0.0658	9541000	883575.51	111898	21052948.9	4850000	9541000	5778373		
	ΜΑΡ	20.2	122.04	27.0	4850000	0.0749	10860500	883575.51	111898	21134212.5	4850000	10860500	4540137		
	ΑΠΡ	12.0	18.80	36.7	4850000	0.0798	11567132	883575.51	111898	12901571.4	4850000	8051571	0		
	ΜΑΙ	4.1	31.36	46.4	4850000	0.0856	12412000	0	78456.6	4068816.87	4068816.9	0	0		
	ΙΟΥΝ	1.7	27.57	80.2	4850000	0.0936	13572000	0	78456.6	1695872.4	1695872.4	0	0		
	ΙΟΥΛ	1.0	5.28	116.4	4850000	0.0950	13775000	0	78456.6	991285.825	991285.83	0	0		
	ΑΥΓ	0.6	0.75	160.2	4850000	0.1003	14537925	0	78456.6	547490.88	547490.88	0	0		
	ΣΕΠ	3.5	85.38	201.9	4850000	0.0906	13137000	0	78456.6	3450856.67	3450856.7	0	0	74051703.06	
	1499	ΟΚΤ	0.42	24.86	215.51	4850000	0.0855	12397500	0	78456.6	405042.249	405042.25	0	0	
ΝΟΕ		36.8	332.05	191.49	4850000	0.0798	11567132	0	78456.6	36811027.9	4850000	11567132	19510321		
ΔΕΚ		86.62	335.42	134.79	4850000	0.0775	11237500	883575.51	111898	87526025.6	4850000	11237500	70554950		
ΙΑΝ		69.97	272.67	74.49	4850000	0.0717	10396500	883575.51	111898	70875751.5	4850000	10396500	54745676		
ΦΕΒ		52.32	164.43	36.21	4850000	0.0658	9541000	883575.51	111898	53217923.1	4850000	9541000	37943348		
ΜΑΡ		37.82	129.97	26.98	4850000	0.0749	10860500	883575.51	111898	38715099.9	4850000	10860500	22121024		
ΑΠΡ		17.48	26.96	36.71	4850000	0.0798	11567132	883575.51	111898	18362484.5	4850000	11567132	1061777		
ΜΑΪ		5.52	30.3	46.44	4850000	0.0856	12412000	883575.51	111898	6401769.48	4850000	1551769	0		
ΙΟΥΝ		1.22	0	80.18	4850000	0.0936	13572000	0	78456.6	1213709.35	1213709.3	0	0		
ΙΟΥΛ		0.57	0	116.35	4850000	0.0950	13775000	0	78456.6	560871.575	560871.57	0	0		
ΑΥΓ		0.35	5.96	160.19	4850000	0.1003	14537925	0	78456.6	337899.639	337899.64	0	0		
ΣΕΠ		0.37	10.31	201.92	4850000	0.0906	13137000	0	78456.6	354966.931	354966.93	0	0	66721532.77	ΑΣΤΟΧΙΑ

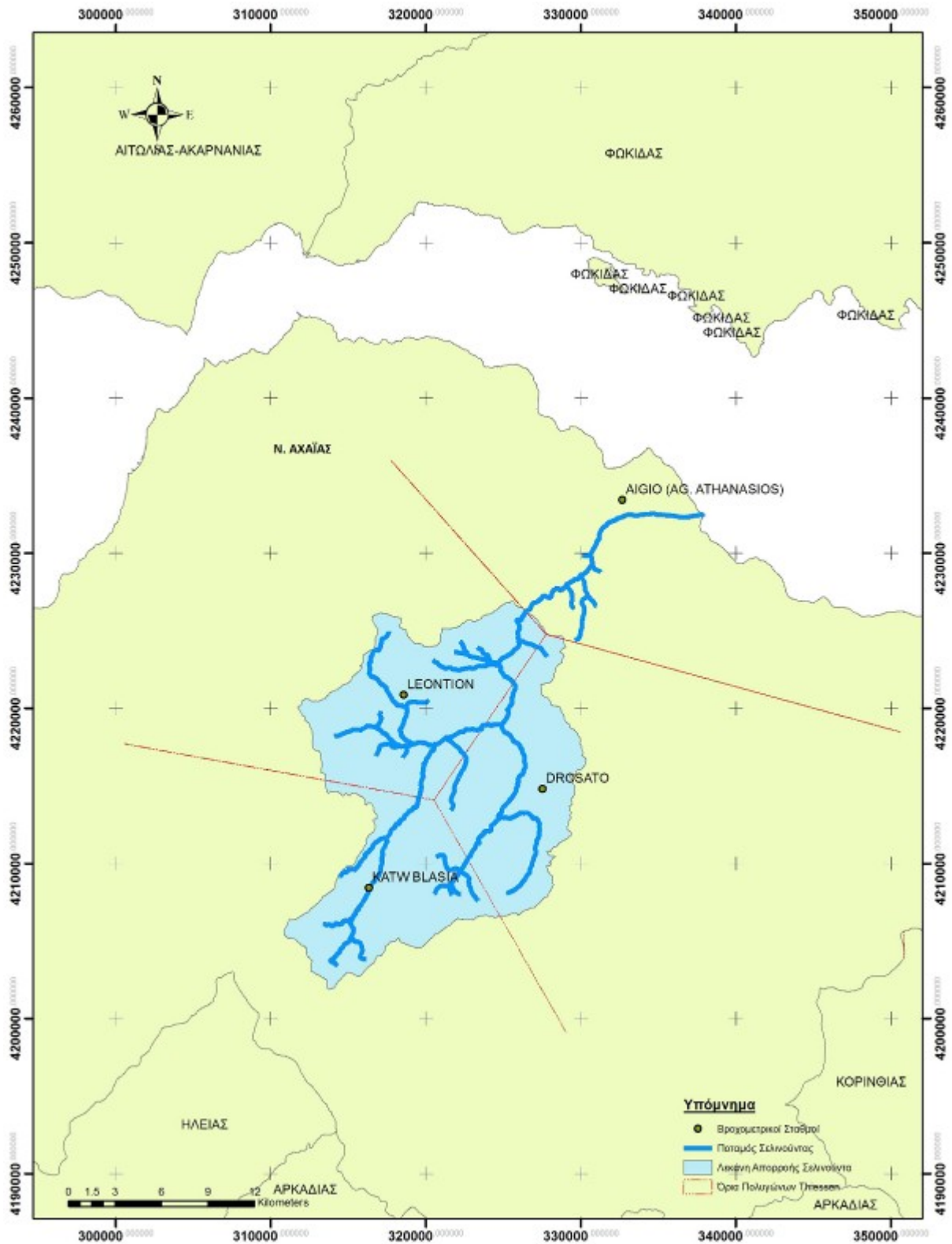
Πίνακας Α15: Προσομοίωση Λειτουργίας Ταμιευτήρα με φράγμα ύψους 100 m και μηδενικής οικολογικής παροχής

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ							ΕΕΥΔ	D=	9900000	Μέγιστος ωφ. Όγκος:				24110887.3	
ΥΔ. ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ					Αξιοπιστία:	0.95								
<i>i</i>	<i>j</i>	Q_{ij} (10^6m^3)	P_{ij} (mm)	E_{ij} (mm)	q_{ij} (m^3)	λ_{ij}	D_j (m^3)	S_{ij} (m^3)	A_{ij} (m^2)	SA_{ij} (m^3)	RE_{ij} (m^3)	R_{ij} (m^3)	SP_{ij} (m^3)	$\Sigma_i R_{ij}$ (m^3)	
6	ΟΚΤ	4.0	69.88	215.5	0	0.0855	12397500	0	78456.6	3938574.37	0	3938574	0		
	ΝΟΕ	18.6	118.86	191.5	0	0.0798	11567132	0	78456.6	18574301.7	0	11567132	0		
	ΔΕΚ	46.7	278.61	134.8	0	0.0775	11237500	7007170	321703.1	53773437.4	0	11237500	18425050		
	ΙΑΝ	48.1	144.38	74.5	0	0.0717	10396500	24110887	704393.8	72250117.4	0	10396500	37742730		
	ΦΕΒ	33.7	101.36	36.2	0	0.0658	9541000	24110887	704393.8	57846778.6	0	9541000	24194891		
	ΜΑΡ	18.4	40.63	27.0	0	0.0749	10860500	24110887	704393.8	42510502.3	0	10860500	7539115		
	ΑΠΡ	8.5	34.10	36.7	0	0.0798	11567132	24110887	704393.8	32609048.8	0	11567132	0		
	ΜΑΙ	3.4	23.94	46.4	0	0.0856	12412000	21041917	657769.6	24397117.4	0	12412000	0		
	ΙΟΥΝ	1.1	7.08	80.2	0	0.0936	13572000	11985117	463974.4	13071200.8	0	13071201	0		
	ΙΟΥΛ	0.9	24.71	116.4	0	0.0950	13775000	0	78456.6	872810.237	0	872810.2	0		
979	ΑΥΓ	1.0	35.32	160.2	0	0.1003	14537925	0	78456.6	1030203.12	0	1030203	0		
	ΣΕΠ	1.2	20.26	201.9	0	0.0906	13137000	0	78456.6	1145747.57	0	1145748	0	97640299.44	ΑΣΤΟΧΙΑ
	ΟΚΤ	14.55	122.81	215.51	0	0.0855	12397500	0	78456.6	14542727.1	0	12397500	0		
	ΝΟΕ	32.44	179.28	191.49	0	0.0798	11567132	2145227.1	158263.6	34583294.7	0	11567132	0		
	ΔΕΚ	33.5	110.24	134.79	0	0.0775	11237500	23016163	688868.7	56499251.3	0	11237500	21150864		
	ΙΑΝ	42.02	214.91	74.49	0	0.0717	10396500	24110887	704393.8	66229798.3	0	10396500	31722411		
	ΦΕΒ	45.98	176.22	36.21	0	0.0658	9541000	24110887	704393.8	70189509.5	0	9541000	36537622		
	ΜΑΡ	52.7	261.05	26.98	0	0.0749	10860500	24110887	704393.8	76975764.8	0	10860500	42004377		
	ΑΠΡ	38.92	114.62	36.71	0	0.0798	11567132	24110887	704393.8	63085766.6	0	11567132	27407748		
	ΜΑΪ	17.85	57.92	46.44	0	0.0856	12412000	24110887	704393.8	41968973.7	0	12412000	5446086		
	ΙΟΥΝ	4.93	22.96	80.18	0	0.0936	13572000	24110887	704393.8	29000581.9	0	13572000	0		
	ΙΟΥΛ	1.01	0	116.35	0	0.0950	13775000	15428582	547549	16374874.6	0	13775000	0		
	ΑΥΓ	0.5	0	160.19	0	0.1003	14537925	2599874.6	174572.6	3071909.78	0	3071910	0		
	ΣΕΠ	1.12	58.45	201.92	0	0.0906	13137000	0	78456.6	1108743.83	0	1108744	0	121506916.9	

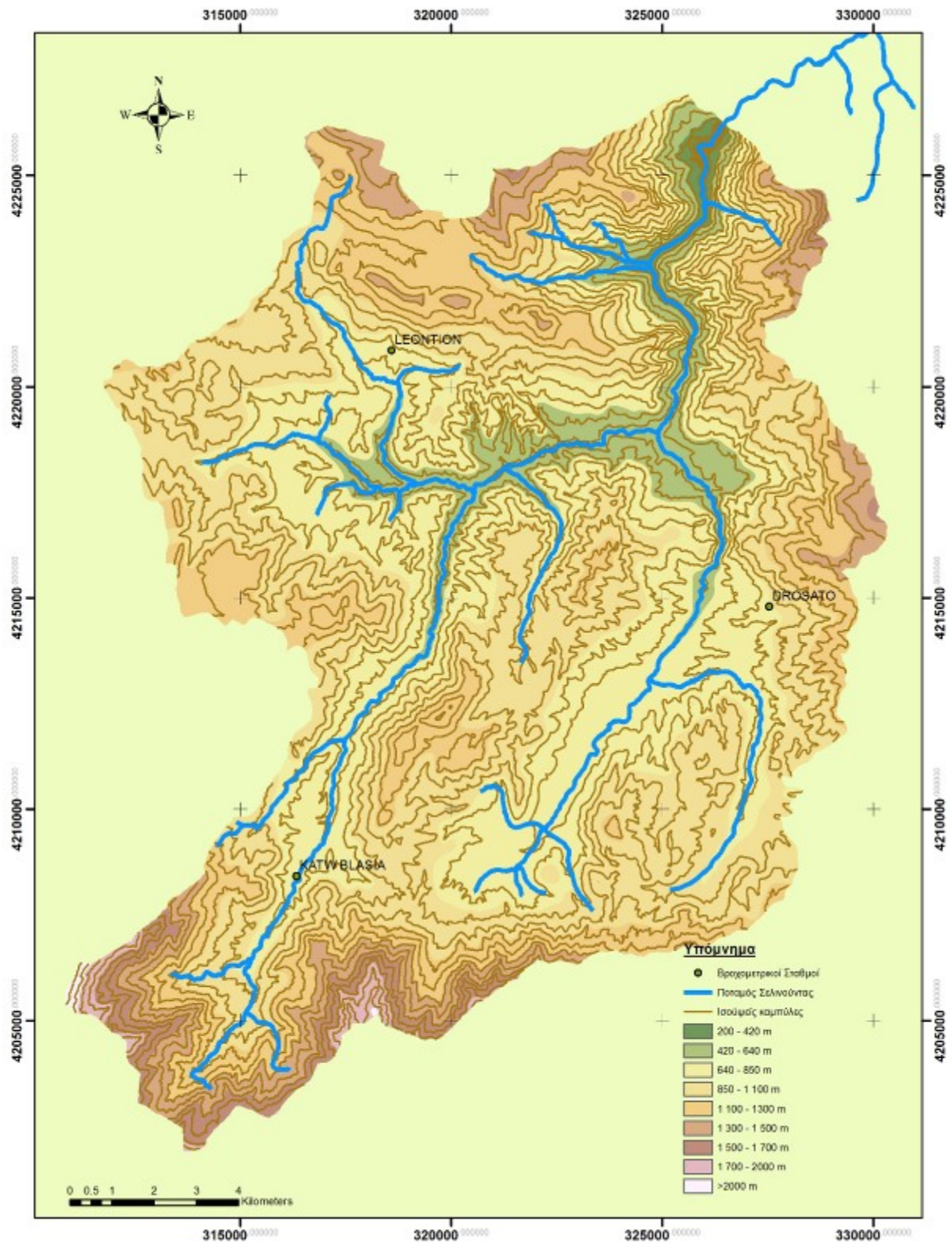
Πίνακας Α16: Προσομοίωση Λειτουργίας Ταμιευτήρα με φράγμα ύψους 100 m συνεκτιμημένης οικολογικής παροχής

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΑΜΙΕΥΤΗΡΑ							ΕΕΥΔ	D=	44900000	Μέγιστος ωφ. Όγκος:				24110887.3	
ΥΔ. ΕΤΟΣ	ΜΗΝΑΣ					Αξιοπιστία:									
i	j	Q_{ij} (10^6m^3)	P_{ij} (mm)	E_{ij} (mm)	q_j (m^3)	λ_j	D_j (m^3)	S_{ij} (m^3)	A_{ij} (m^2)	SA_{ij} (m^3)	RE_{ij} (m^3)	R_j (m^3)	SP_{ij} (m^3)	$\Sigma_i R_{ij}$ (m^3)	
32	ΟΚΤ	6.32	71.48	215.51	4850000	0.0855	12397500	0	78456.6	6308699.9	4850000	1458700	0		
	ΝΟΕ	12.56	62	191.49	4850000	0.0798	11567132	0	78456.6	12549840.7	4850000	7699841	0		
	ΔΕΚ	29.3	182.11	134.79	4850000	0.0775	11237500	0	78456.6	29303712.6	4850000	11237500	0		
	ΙΑΝ	28.1	72.59	74.49	4850000	0.0717	10396500	13216213	495247.6	41315271.6	4850000	10396500	1957884		
	ΦΕΒ	41.82	248.57	36.21	4850000	0.0658	9541000	24110887	704393.8	66080472.4	4850000	9541000	27578585		
	ΜΑΡ	43.5	154.7	26.98	4850000	0.0749	10860500	24110887	704393.8	67700852.5	4850000	10860500	27879465		
	ΑΠΡ	22.34	44.73	36.71	4850000	0.0798	11567132	24110887	704393.8	46456536.5	4850000	11567132	5928518		
	ΜΑΪ	6.42	20.6	46.44	4850000	0.0856	12412000	24110887	704393.8	30512685.8	4850000	12412000	0		
	ΙΟΥΝ	1.19	5.81	80.18	4850000	0.0936	13572000	13250686	496100.9	14403790.7	4850000	9553791	0		
	ΙΟΥΛ	0.64	0	116.35	4850000	0.0950	13775000	0	78456.6	630871.575	630871.57	0	0		
	ΑΥΓ	0.32	0.75	160.19	4850000	0.1003	14537925	0	78456.6	307490.88	307490.88	0	0		
	ΣΕΠ	0.19	0	201.92	4850000	0.0906	13137000	0	78456.6	174158.043	174158.04	0	0	84726962.94	
1185	ΟΚΤ	5.18	35.27	215.51	4850000	0.0855	12397500	0	78456.6	5165858.98	4850000	315859	0		
	ΝΟΕ	7.09	38.71	191.49	4850000	0.0798	11567132	0	78456.6	7078013.4	4850000	2228013	0		
	ΔΕΚ	7.15	28.3	134.79	4850000	0.0775	11237500	0	78456.6	7141645.16	4850000	2291645	0		
	ΙΑΝ	10.82	63.84	74.49	4850000	0.0717	10396500	0	78456.6	10819164.4	4850000	5969164	0		
	ΦΕΒ	8.36	18.53	36.21	4850000	0.0658	9541000	0	78456.6	8358612.89	4850000	3508613	0		
	ΜΑΡ	8.15	52.41	26.98	4850000	0.0749	10860500	0	78456.6	8151995.15	4850000	3301995	0		
	ΑΠΡ	4.17	11.01	36.71	4850000	0.0798	11567132	0	78456.6	4167983.67	4167983.7	0	0		
	ΜΑΪ	3.09	40.91	46.44	4850000	0.0856	12412000	0	78456.6	3089566.14	3089566.1	0	0		
	ΙΟΥΝ	1.25	0	80.18	4850000	0.0936	13572000	0	78456.6	1243709.35	1243709.3	0	0		
	ΙΟΥΛ	0.58	0	116.35	4850000	0.0950	13775000	0	78456.6	570871.575	570871.57	0	0		
	ΑΥΓ	0.36	7.12	160.19	4850000	0.1003	14537925	0	78456.6	347990.648	347990.65	0	0		
	ΣΕΠ	0.28	0	201.92	4850000	0.0906	13137000	0	78456.6	264158.043	264158.04	0	0	17615290.02	ΑΣΤΟΧΙΑ

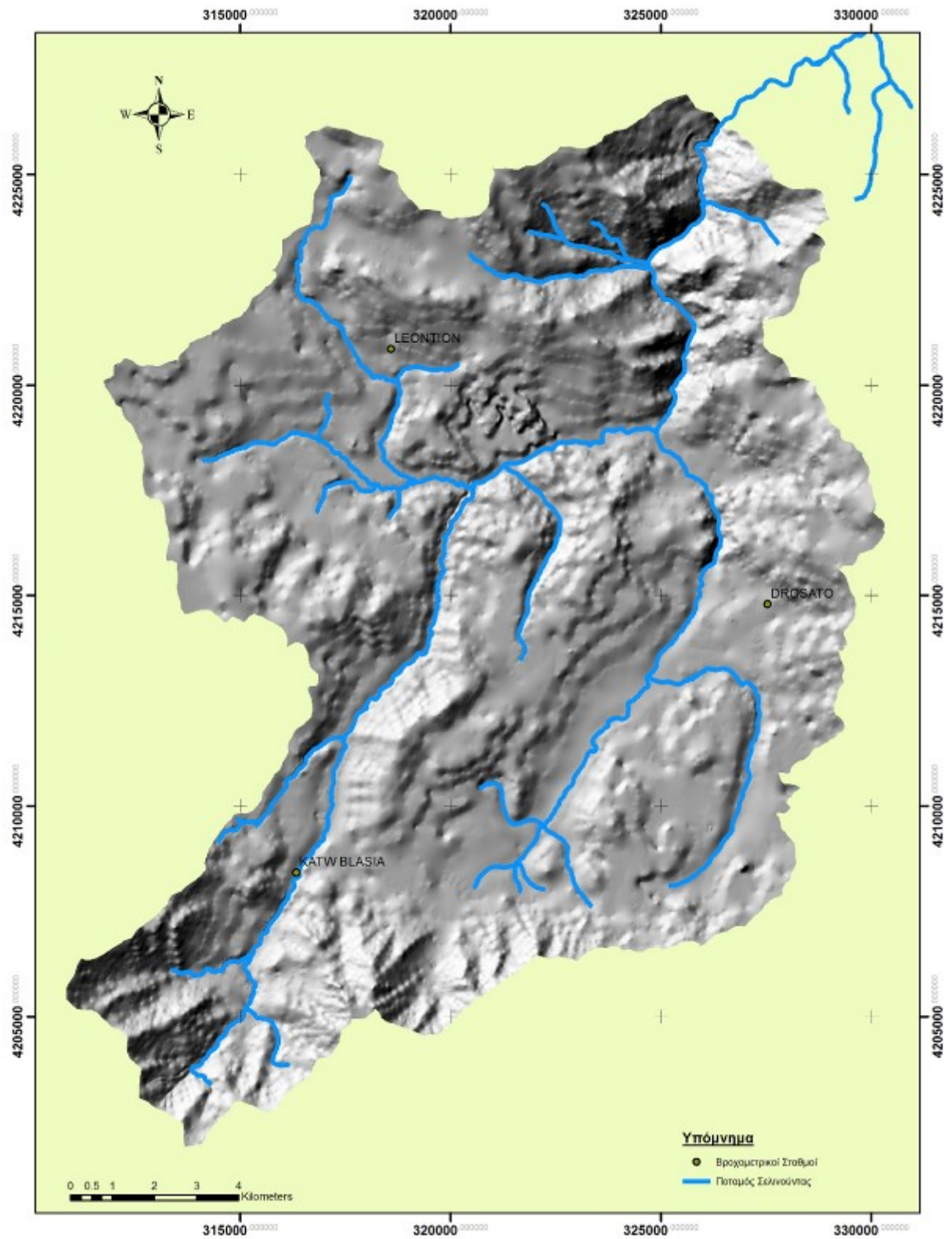
Παράρτημα Β: Σχήματα



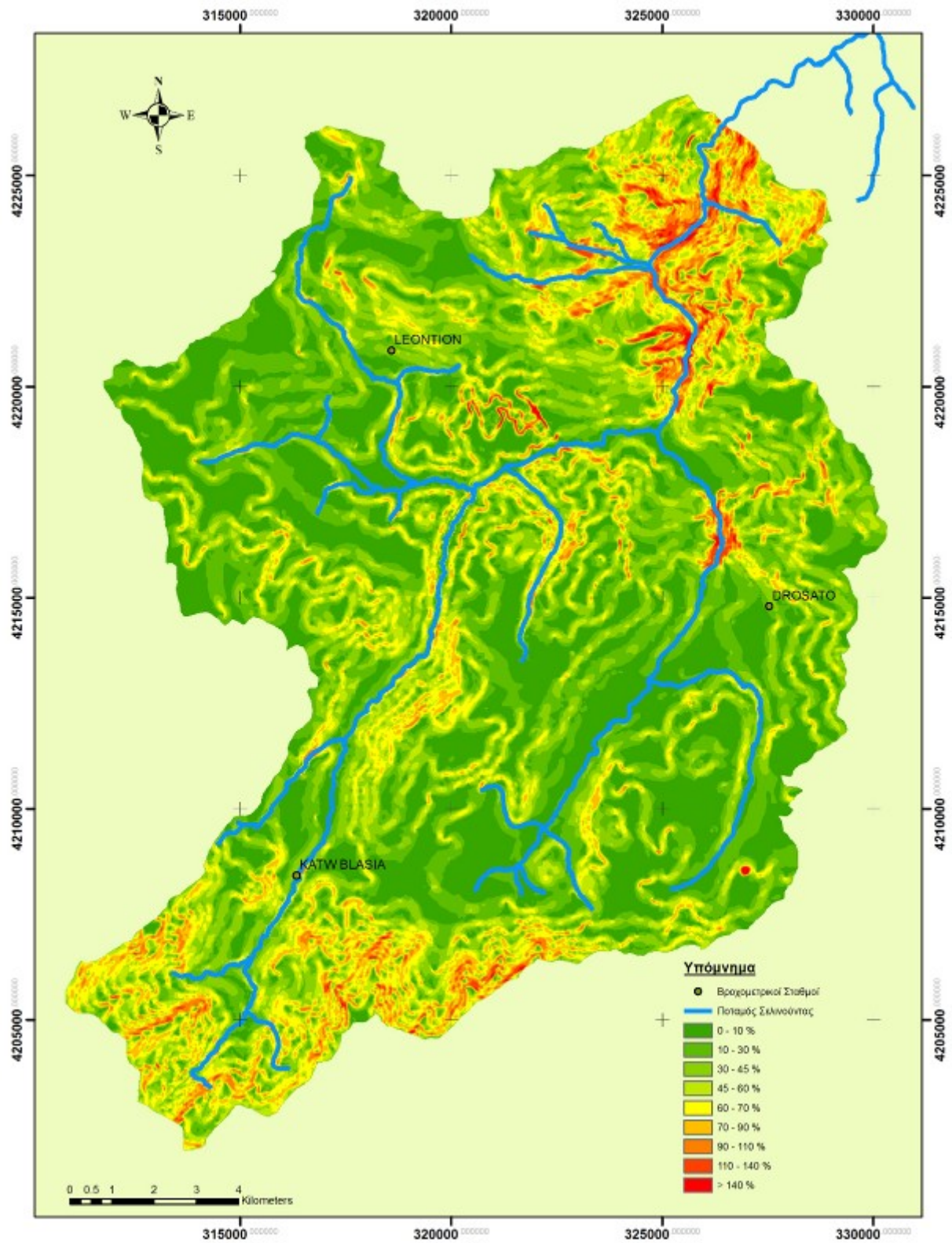
Σχήμα Β1: Γενικός χάρτης υδρολογικής λεκάνης (ΕΓΣΑ '87)



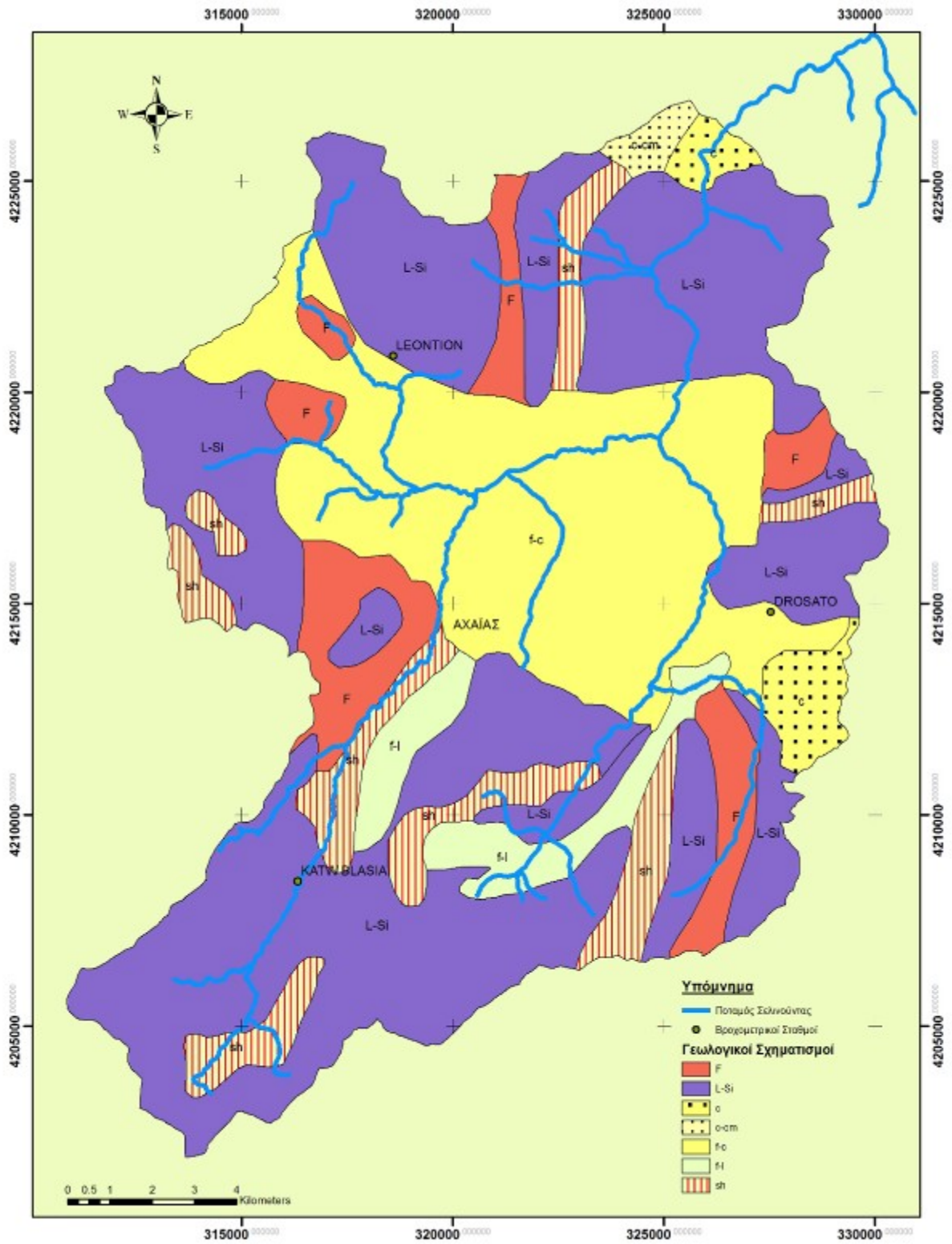
Σχήμα Β2: Χάρτης υψομέτρων υδρολογικής λεκάνης (ΕΓΣΑ '87)



Σχήμα Β3: Χάρτης Σκίασης Αναγλύφου υδρολογικής λεκάνης (ΕΓΣΑ '87)

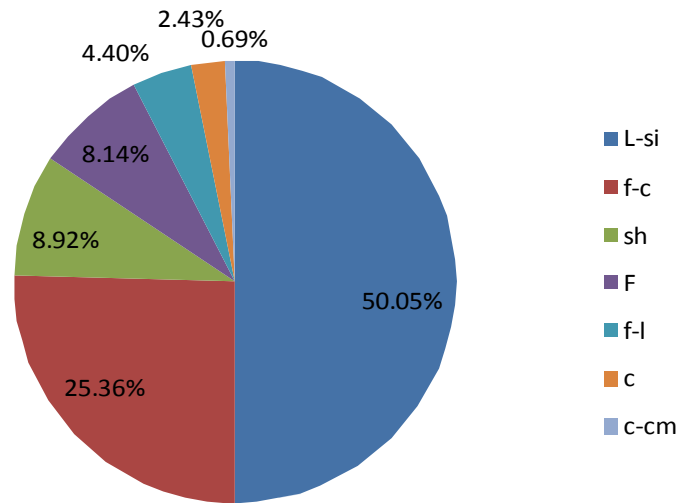


Σχήμα Β4: Χάρτης Κλίσεων λεκάνης απορροής (ΕΓΣΑ '87)



Σχήμα Β5: Χάρτης Γεωλογικών Σχηματισμών της λεκάνης απορροής (ΕΓΣΑ '87)

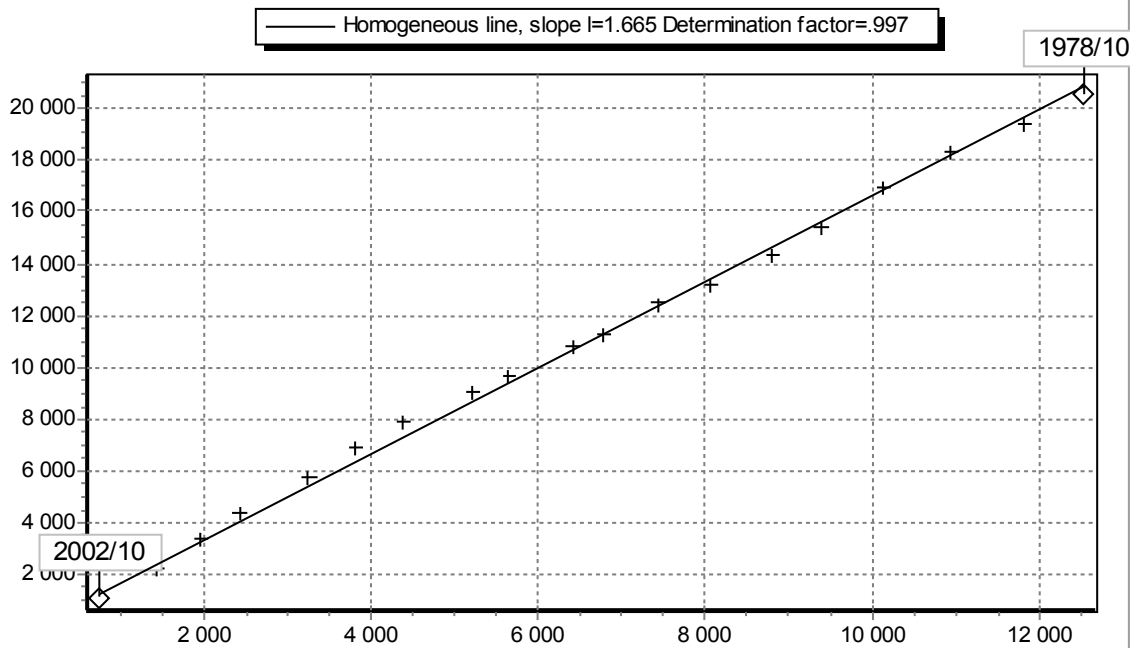
Κατανομή Γεωλογικών Σχηματισμών



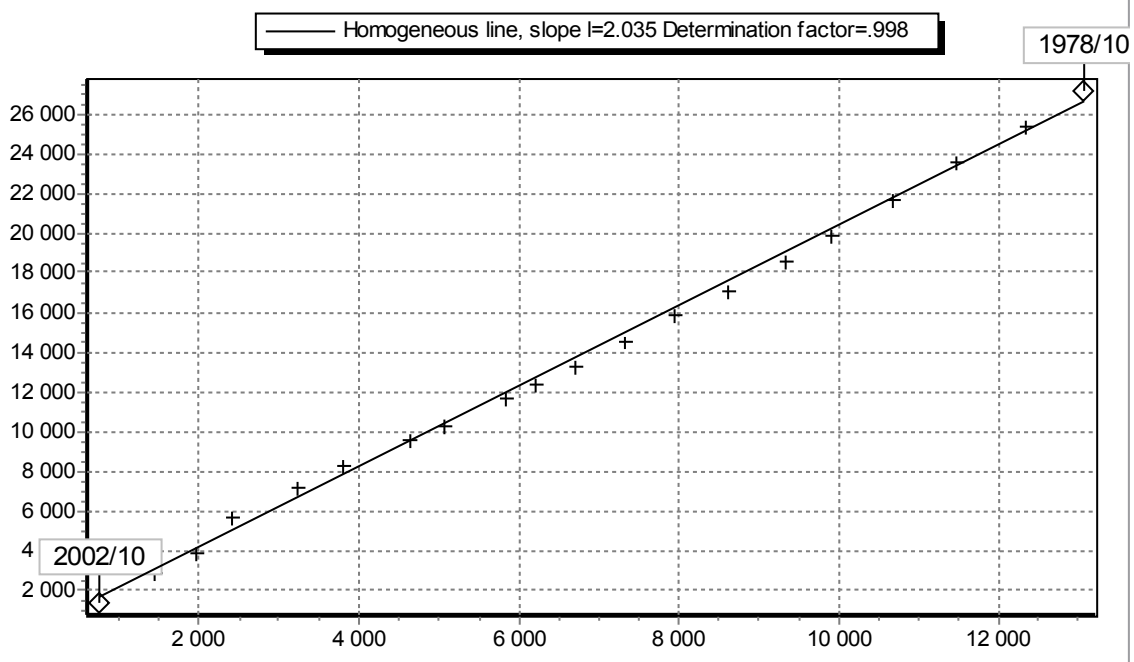
Σχήμα Β6: Κατανομή Γεωλογικών Σχηματισμών



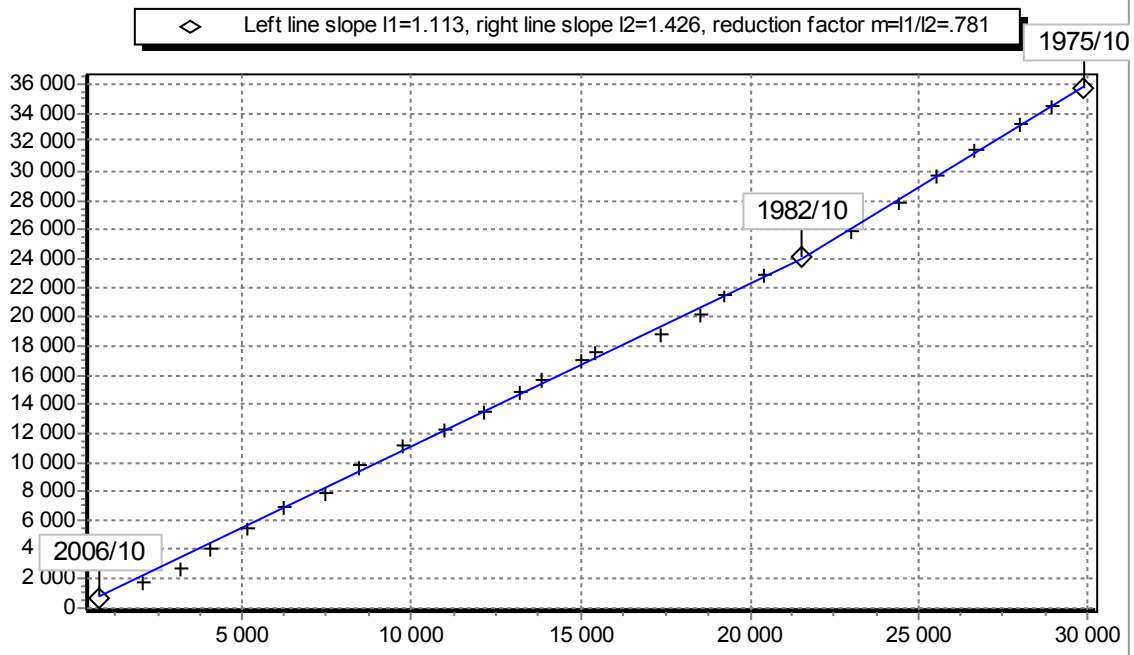
Σχήμα Β7: Προετοιμασία ψηφιακού (ψηφιδωτού) χάρτη για ημιαυτόματη διανυσματοποίηση με το λογισμικό ArcGIS



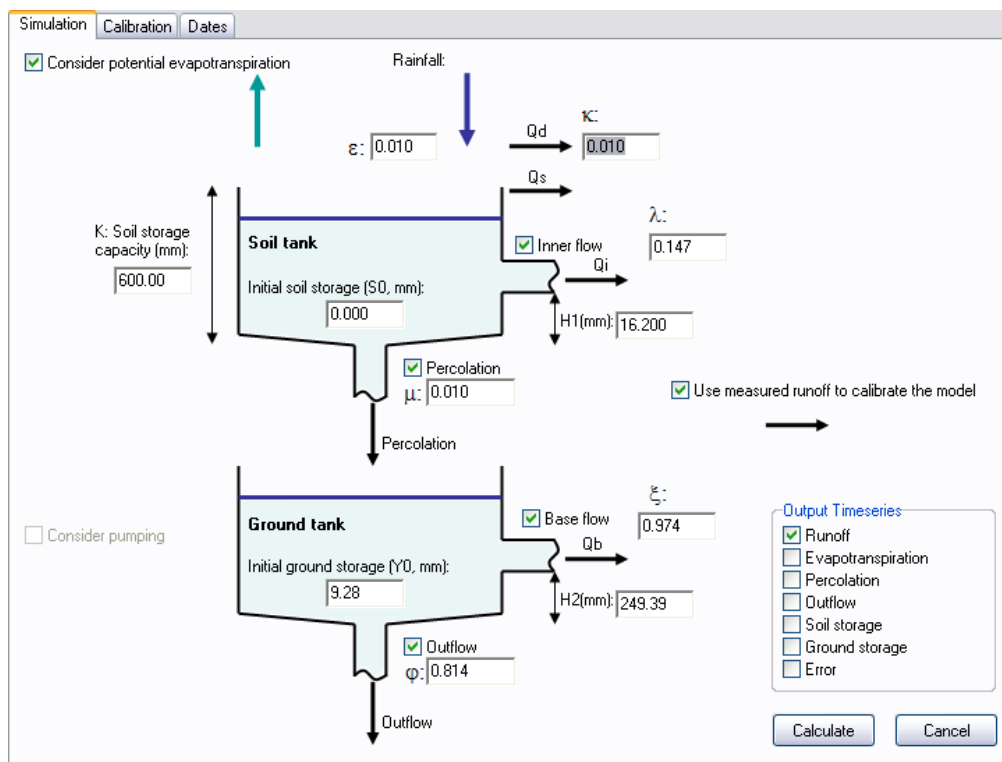
Σχήμα Β8: Διπλή Αθροιστική Καμπύλη με σταθμό βάσης το Αίγιο και ελεγχόμενο σταθμό του Λεοντίου (συντελεστής $R^2 = 0.997$, κλίση ευθείας = 1.665)



Σχήμα Β9: Διπλή Αθροιστική Καμπύλη με σταθμό βάσης το Αίγιο και ελεγχόμενο σταθμό της Κ. Βλασίας (συντελεστής $R^2 = 0.998$, κλίση ευθείας = 2.035)



Σχήμα Β10: Διπλή Αθροιστική Καμπύλη με σταθμό βάσης το Λεόντιο και ελεγχόμενο σταθμό της Κ. Βλασίας (συντελεστής $R^2 = 0.996$, κλίση ευθείας_1 = 1.113, κλίση ευθείας_2 = 1.426)



Σχήμα Β11: Η κύρια φόρμα του μοντέλου Zygos



Σχήμα Β12: Φόρμα βαθμονόμησης του μοντέλου Zygos

COVARIANCE MATRICES DECOMPOSITION

Maximum allowed mean square error: 0.05

Maximum number of departures from several initial (random) values: 50

Convergence criterion - optimization routine: 1E-5

Objective function parameters

lambda1 = 1 lambda3 = 0.001

lambda2 = 1000 ρ = 8

Matrix b triangulation

Minimum value for diagonal element: 0.0001

ANNUAL MODEL PARAMETERS

Model selection

Mean values symmetric model SMA
 Autocorrelation model AR(1)

a-coefficients estimation - SMA Model

Fast Fourier Transform (FFT)
 Fourier Integral Solution (DFT)
 Numerical evaluation

Numerical method convergence criterion: 0.0001

Objective function coefficient: 100

Autocorrelogram length: 128

RANDOM NUMBER GENERATION

Gamma distribution random numbers

Rejection method (3 parameters)
 Whittaker method (2 parameters)

Random numbers sequence initial value: 1

SYNTHETIC TIME SERIES

Synthetic time series count: 1

Synthetic time series length (years): 2000

Use model to forecast mode

Monthly time series generation iterative algorithm

Convergence criterion (percentage of annual mean std deviation): 0.25

Maximum number of iterations: 100

Maximum allowed negative value: -0.5

Define variables

Σχήμα Β13: Φόρμα καθορισμού των παραμέτρων του μοντέλου Castalia για την σύνθεση χρονοσειρών 2000 ετών

Παράρτημα Φωτογραφικής Τεκμηρίωσης



Φωτογραφία 1: Υπάρχων αναβαθμός υδροληψίας στον ποταμό Σελινούντα



Φωτογραφία 2: Ανάντη υπάρχοντος αναβαθμού (πλησίον Μονής Ταξιαρχών)



Φωτογραφία 3: Σύστημα υδροληψίας παρόχθια του ποταμού



Φωτογραφία 4: Σύστημα τροφοδοσίας ανοικτών αγωγών για άρδευση



Φωτογραφία 5: Γενική άποψη ποταμού πλησίον της πόλης του Αιγίου