

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**



**Τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών**  
**Διατμηματικό πρόγραμμα μεταπτυχιακών σπουδών**  
**«Ναυτική και Θαλάσσια Τεχνολογία και Επιστήμη»**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**  
**«ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΜΕΣΩ**  
**ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ»**

**ΦΩΤΙΑΔΟΥ ΧΡΙΣΤΙΑΝΑ**

**Επιβλέπων καθηγητής: Δρ. Τακβόρ Σουκισιάν**

ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2007

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Τακβόρ Σουκισιάν για την πολύτιμη καθοδήγησή του, όπως επίσης και τον Δρ. Άρη Προσπαθόπουλο για την συμβολή του στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Επίσης, τους Φάνη Αβραάμ, Μαρία Χατζηνάκη, Μαρία Καμπουρίδου και Παναγιώτα Αράπη για την βοήθεια και συμπαράστασή τους.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	1
<b>Κεφάλαιο 1: Διάρκεια αναπτυσσόμενων, αποσβενύμενων και στάσιμων καταστάσεων θάλασσας</b>	
1.1. Γενικά .....	3
1.2. Διάρκεια καταστάσεων θάλασσας.....	3
1.3. Αναπτυσσόμενες, αποσβενόμενες και στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.....	4
<b>Κεφάλαιο 2: Το πρόβλημα κατάτμησης χρονοσειρών</b>	
2.1. Εισαγωγή.....	6
2.2. Κατάτμηση χρονοσειρών (time series segmentation).....	6
2.2.1. Συνάρτηση σφάλματος.....	6
2.2.2. Τμηματική Γραμμική Αναπαράσταση.....	7
2.3. Εισαγωγή στη γραμμική παλινδρόμηση.....	8
<b>Κεφάλαιο 3: Αλγόριθμοι κατάτμησης</b>	
3.1 Γενικά χαρακτηριστικά.....	10
3.2 Αλγόριθμοι κατάτμησης.....	11
3.2.1. Αλγόριθμος «από κάτω προς τα πάνω» (bottom-up approach).....	11
3.2.2. Αλγόριθμος «από πάνω προς τα κάτω» (top-down approach).....	12
3.2.3. Αλγόριθμος «μετατοπιζόμενου παραθύρου» (sliding window approach).....	13
<b>Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία – Αριθμητικά αποτελέσματα</b>	
4.1 Μεθοδολογία.....	14
4.2 Αριθμητικά αποτελέσματα.....	15
4.2.1. Στατιστική ανάλυση κλίσεως.....	15
4.2.2. Στατιστική ανάλυση καταστάσεων θάλασσας.....	23
4.2.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα.....	49
4.2.4. Ανάλυση των διαρκειών των καταστάσεων θάλασσας.....	52
4.2.5. Ανάλυση των $\Delta H_s$ των καταστάσεων θάλασσας.....	91
<b>Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Συζήτηση.....</b>	<b>118</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>121</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ. ΣΚΟΠΟΣ & ΔΟΜΗ.

### Γενικά

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί μια αυξανόμενη χρήση των αλγόριθμων κατάτμησης σε διάφορους κλάδους. Η διαδικασία της κατάτμησης σε συνδυασμό με την κατάλληλη γραμμική αναπαράσταση μπορεί να αποτελέσουν σημαντικά εργαλεία στην ανάλυση και ερμηνεία των τάσεων που παρουσιάζουν οι χρονοσειρές. Οι διαδικασίες αυτές χρησιμοποιούνται για αρκετά χρόνια σε διάφορους τομείς και κυρίως στον τομέα του data mining. Μερικοί κλάδοι του data mining είναι: (α) Indexing, (β) Clustering, (γ) Classification, (δ) Segmentation. Οι αλγόριθμοι αυτοί είχαν, αρχικά, αναπτυχθεί για χρηματοοικονομικούς τομείς όπου για παράδειγμα εξετάζεται η περιοδικότητα ορισμένων τάσεων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν και στην ιατρική για την ανάλυση εγκεφαλογραφημάτων και καρδιογραφημάτων όπου το ενδιαφέρον επικεντρώθηκε στο στάσιμο χρονικό διάστημα που παρουσιάζεται μεταξύ των καρδιακών παλμών. (Charbonnier S). Τώρα πια έχουν διαδοθεί και σε άλλους τομείς όπως μουσική, γεωφυσικά σήματα, αυτόματη ανάλυση σε συνεχή σήματα ομιλίας.

Σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι η ανάλυση μακροπρόθεσμων διακυμάνσεων των καταγραφών σημαντικού ύψους κύματος  $H_s$ , μέσω του αλγόριθμου «από κάτω προς τα πάνω» (*bottom-up approach*) καθώς αυξάνεται το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα. Συγκεκριμένα, στη εργασία αυτή το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα, η σημαντικότερη παράμετρος του αλγόριθμου όπως θα αποδειχθεί στη συνέχεια, παίρνει διάφορες τιμές ούτως ώστε να ληφθεί μια συνολική εικόνα της ευαισθησίας που παρουσιάζει η κατάτμηση της χρονοσειράς, σε σχέση με αυτό. Το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα καθορίζεται από την απόκλιση μεταξύ των πραγματικών τιμών της χρονοσειράς και των τιμών της προσεγγιστικής γραμμής του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης. Το σφάλμα αυτό επιτρέπει την βέλτιστη αναπαράσταση της χρονοσειράς  $H_s(t)$  κατά την οποία το σφάλμα αναπαράστασης κάθε τμήματος (segment) δεν πρέπει να υπερβαίνει το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα. Έτσι, επιτυγχάνεται η ικανοποιητική προσέγγιση των δεδομένων σε κάθε τμήμα (segment) και καθορίζεται το μήκος του κάθε τμήματος (δηλαδή η διάρκεια των καταστάσεων θάλασσας). Εν κατακλείδι, η βελτιστοποίηση αυτού του σφάλματος έχει σαν συνέπεια την βέλτιστη τμηματοποίηση της χρονοσειράς. Όταν ο αλγόριθμος εφαρμοστεί στα δεδομένα, λαμβάνονται πρόσκαιρα διαστήματα αναπτυσσόμενων και αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας. Συγκεκριμένα, ο αλγόριθμος εντοπίζει αυξανόμενα και ελαττώμενα τμήματα (θετικές και αρνητικές κλίσεις της γραμμής παλινδρόμησης). Έπειτα, με βάση ενός απλού αλλά και συνάμα χρήσιμου αριθμητικού κριτηρίου λαμβάνουμε από τις δύο προαναφερθέντες κατηγορίες, τα στάσιμα τμήματα. Οι τρεις, πλέον, κατηγορίες τμημάτων αντιστοιχούν σε αναπτυσσόμενες (θετικές κλίσεις), αποσβενύμενες (αρνητικές κλίσεις) και στάσιμες καταστάσεις θάλασσας (κλίσεις πολύ κοντά στο μηδέν ή και μηδέν). Πριν προχωρήσουμε στη επεξεργασία των αποτελεσμάτων, έγινε πρώτα συγχώνευση των διαδοχικών τμημάτων που παρουσιάστηκαν στις αναπτυσσόμενες και αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας. Τέλος, η διπλωματική αυτή ολοκληρώνεται με την στατιστική ανάλυση της κλίσεως, της διάρκειας και των διαφορών των σημαντικών υψών των προαναφερθέντων καταστάσεων θάλασσας καθώς και με μία λεπτομερή σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ τους.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την ανάλυση είναι χρονοσειρές σημαντικού ύψους κύματος  $H_s$ , μήκους 30 περίπου χρόνων (65535 παρατηρήσεις με 3 ώρες διάστημα καταγραφής) τα οποία έχουν ληφθεί από το National Data Buoy Center των Ηνωμένων Πολιτειών. Ο πλωτήρας (buoy 44004) από όπου προήλθαν τα δεδομένα βρίσκεται βορειανατολικά των Ηνωμένων Πολιτειών, βόρεια του Ακρωτηρίου Hatteras με γεωγραφικό πλάτος  $38^{\circ}29'02''N$  και γεωγραφικό μήκος  $70^{\circ}25'57''W$ , βάθος νερού 3.182m με περίοδο καταγραφή 20 λεπτών.

## **Δομή της διπλωματικής**

Στο κεφάλαιο 1 θα αναφερθούμε στη *διάρκεια αναπτυσσόμενων, αποσβενύμενων και στάσιμων καταστάσεων θάλασσας*. Θα ορίζουμε τη διάρκεια της στάσιμης κατάσταση θάλασσας όπως αυτή ορίστηκε σε παλαιότερες εργασίες.

Στο κεφάλαιο 2 θα αναφερθούμε στο *πρόβλημα κατάτμησης χρονοσειρών* και θα κάνουμε μια μικρή εισαγωγή στην *γραμμική παλινδρόμηση*. Αναλυτικότερα στο κεφάλαιο αυτό θα δώσουμε τον ορισμό της κατάτμησης χρονοσειρών όπως επίσης τον ορισμό των τμημάτων, των σημείων αλλαγής και της συνάρτησης σφάλματος. Στη συνέχεια, παρατίθεται μια μικρή εισαγωγή για την τμηματική γραμμική αναπαράσταση όπου δίνεται έμφαση στη γραμμική παλινδρόμηση.

Στο κεφάλαιο 3 θα αναφερθούμε στους *τρεις βασικούς αλγόριθμους κατάτμησης*. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται αναφορά στους αλγόριθμους κατάτμησης και αναπτύσσονται τα βασικά χαρακτηριστικά τους. Έπειτα, παρουσιάζονται οι τρεις βασικοί αλγόριθμοι κατάτμησης: αλγόριθμος «μετατοπιζόμενου παραθύρου» (sliding window), αλγόριθμος «από πάνω προς τα κάτω» (top-down approach), αλγόριθμος «από κάτω προς τα πάνω» (bottom-up approach), οι ψευδοκώδικές τους καθώς και κάποιες τροποποιήσεις που έχουν σημειωθεί από διάφορους ερευνητές. Το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στον αλγόριθμο «από κάτω προς τα πάνω» (bottom-up approach), ο οποίος είναι και ο αλγόριθμος που επιλέχθηκε για την κατάτμηση της χρονοσειράς  $H_s$  στην παρούσα διπλωματική.

Στο κεφάλαιο 4 θα παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε και τα *αριθμητικά αποτελέσματα* για τα (σηματολογικά) δεδομένα του Βορείου Ατλαντικού. Συγκεκριμένα, στη μεθοδολογία αναφέρονται τα βασικότερα βήματα του αλγόριθμου «από κάτω προς τα πάνω» και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την λήψη των τελικών αποτελεσμάτων. Επίσης, παρουσιάζονται τα αριθμητικά αποτελέσματα από την στατιστική ανάλυση της κλίσης, της διάρκειας και της διαφοράς των σημαντικών υψών των τριών καταστάσεων θάλασσας και η σύγκριση αυτών.

Στο 5<sup>ο</sup> και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα *συμπεράσματα* όπως αυτά προέκυψαν από την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων, καθώς και μια εκτενής *συζήτηση*.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΩΝ, ΑΠΟΣΒΕΝΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΣΙΜΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

### 1.1. Γενικά

Τα χαρακτηριστικά των καταστάσεων θάλασσας όπως αυτά ορίζονται μέσω των στοχαστικών μοντέλων μακροχρόνιας περιγραφής και πρόβλεψης των ανεμογενών κυματισμών είναι μεγάλης σημασίας για πολλές παράκτιες αλλά και ανοικτής θαλάσσης λειτουργίες. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται το εννοιολογικό υπόβαθρο για την κατάσταση θάλασσας, καθώς και για τα κύρια χαρακτηριστικά της, την διάρκεια και την ένταση, όπως αυτά έχουν παρουσιαστεί στις εργασίες (Αθανασσούλης και Σουκισσιάν 1991, Athanassoulis et al 1992 και Soukissian and Theochari 2001).

### 1.2. Διάρκεια καταστάσεων θάλασσας (sea state duration)

Η απευθείας ανάλυση και η μοντελοποίηση χρονοσειρών των παραμέτρων καταστάσεων θάλασσας  $\bar{\Lambda}(\tau)$  (όπου  $\tau$  είναι η αργή χρονική μεταβλητή της τάξης μερικών ωρών), μπορεί να εμφανίσει πολλά από τα χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων των κυματικών καθεστώτων (βλέπε Athanassoulis et al. (1992), Athanassoulis & Soukissian (1993), Athanassoulis & Stefanakos (1995), Guedes Soares et al. (1996)). Ένα από τα πιο απλά και θεμελιώδη «δυναμικά» χαρακτηριστικά της αργής εξελικτικής διαδικασίας  $\bar{\Lambda}(\tau)$  είναι η «διάρκεια στάσιμων καταστάσεων θάλασσας», δηλαδή η χρονική διάρκεια κατά την οποία το  $\bar{\Lambda}(\tau)$  μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν σταθερό. Σε αυτή την περίπτωση, οι βασικοί πρωτοτάξιοι στατιστικοί όροι του κυματικού καθεστώτος δεν είναι οι συναρτήσεις πυκνότητας  $f(\bar{\Lambda})$ , αλλά οι κοινές συναρτήσεις πυκνότητας  $f(\bar{\Lambda}, \Delta\tau)$  της διανυσματικής μεταβλητής  $\bar{\Lambda}$  και της αντίστοιχης διάρκειας κατάστασης θάλασσας  $\Delta\tau$ .

Ήδη από το 1975, στα πλαίσια διαφόρων εφαρμογών (στο πεδίο της ναυτικής αρχιτεκτονικής, της παράκτιας και ανοικτής θαλάσσης μηχανικής, πλοήγησης και ευστάθειας θαλασσίων κατασκευών), παρουσιάστηκαν διάφορες προσεγγίσεις για τον προσδιορισμό των στατιστικών μεγεθών των καταστάσεων θάλασσας (και ανέμου), όπως μπορεί να παρατηρηθεί στις δουλειές των Houmb & Vik (1975,1977), Graham (1982), Kuwashima & Hogben (1984,1986), Hogben & Dacunha (1985), Laviel & Rio (1987), Mathiesen (1994). Όλες αυτές οι προσεγγίσεις που έχουν αναπτυχθεί λαμβάνουν υπόψη τα εποχιακά χαρακτηριστικά του  $\bar{\Lambda}(\tau)$  επιτρέποντας έτσι τον προσδιορισμό των δεδομένων που είχαν ληφθεί από οπτικές παρατηρήσεις.

Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1990, έκαναν την εμφάνιση τους οι πρώτες εργασίες που προσδιόριζαν την διάρκεια των καταστάσεων θάλασσας χρησιμοποιώντας συνεχείς μετρητικές καταγραφές του  $\bar{\Lambda}(\tau)$  (βλέπε Labeyrie (1990), Anastasiou & Tsekos (1996), Tsekos & Anastasiou (1996), Sobey & Orloff (1999), Boukhanovsky et al. (1999). Οι Anastasiou & Tsekos (1996) μοντελοποίησαν την μετάβαση μεταξύ ήρεμης και τρικυμισμένης θάλασσας χρησιμοποιώντας αποτελέσματα από την θεωρία Markov τόσο σε διακριτό όσο και σε συνεχή χρόνο. Οι Sobey & Orloff (1999) εφάρμοσαν απευθείας στατιστική (ανάλυση) σε μία δεδομένη

χρονοσειρά από παραμέτρους των καταστάσεων θάλασσας για να παράγουν την κοινή συνάρτηση κατανομής (στατιστική) έντασης – διάρκειας. Οι προαναφερθέντες προσεγγίσεις παρουσιάζουν το ακόλουθο κοινό σημείο. Οι καταστάσεις θάλασσας καθορίζονται από το αν το σημαντικό ύψος κύματος υπερβαίνει ένα δεδομένο κατώφλι – επίπεδο. Έτσι, μέσω αυτών των προσεγγίσεων μπορούν να εξετασθούν μόνο δύο περιπτώσεις καταστάσεων θάλασσας: η ήρεμη (στάσιμη) και η τρικυμισμένη κατάσταση θάλασσας.

Το εννοιολογικό υπόβαθρο που υιοθετείται στην παρούσα διπλωματική βασίζεται στον νέο ορισμό για την «κατάσταση θάλασσας» που δόθηκε στην εργασία των Athanassoulis et al. (1992). Ο γενικός αυτός ορισμός περιλαμβάνει ως ειδικές περιπτώσεις όλες τις προηγούμενες προσπάθειες προσδιορισμού της διάρκειας των καταστάσεων θάλασσας (εκτός από αυτόν του Labeyrie (1990)). Για τον σκοπό της παρούσας διπλωματικής θα περιοριστούμε στην ανάλυση διάρκειας μίας μονοδιάστατης μακρυπρόθεσμης χρονοσειράς  $\vec{\Lambda}(\tau) = (H_s, \Delta\tau)$ , όπου το  $H_s$  είναι το σημαντικό ύψος κύματος και το  $\Delta\tau$  (όπως προαναφέρθηκε) είναι η διάρκεια κατάστασης θάλασσας.

### 1.3. Αναπτυσσόμενες, αποσβενόμενες και στάσιμες καταστάσεις θάλασσας

Στην εργασία αυτή, η χρονοσειρά του σημαντικού ύψους κύματος υποδιαιρείται με τη βοήθεια του αλγόριθμου κατάτμησης «από κάτω προς τα πάνω» σε τμήματα θετικής και αρνητικής κλίσης που αντιστοιχούν σε αναπτυσσόμενες και αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας. Οι στάσιμες καταστάσεις θάλασσας εξάγονται από τις αναπτυσσόμενες και αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας με την εφαρμογή ενός κριτηρίου που αφορά τη διακύμανση του  $H_s$ .

Οι τρεις καταστάσεις θάλασσας μπορούν να χαρακτηριστούν από τις ακόλουθες μεταβλητές:

- i.  $H_{s,beg}$ , η μεταβλητή που αντιστοιχεί στο σημαντικό ύψος κύματος στην αρχή μίας κατάστασης θάλασσας.
- ii.  $H_{s,end}$ , η μεταβλητή που αντιστοιχεί στο σημαντικό ύψος κύματος στο τέλος μίας κατάστασης θάλασσας.
- iii. η κλίση  $b$  και η διάρκεια  $\Delta\tau$ , που υπολογίζονται με το πέρας του αλγόριθμου κατάτμησης (και με την βοήθεια της γραμμικής παλινδρόμησης).

Για πρακτικούς λόγους, ορίζουμε ως:

- i.  $(\Delta H_s^+, \Delta\tau^+, b^+)$  τις αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.
- ii.  $(\Delta H_s^-, \Delta\tau^-, b^-)$  τις αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.
- iii.  $(\Delta H_s^0, \Delta\tau^0, b^0)$  τις στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Και στις τρεις περιπτώσεις ισχύει  $\Delta H_s = |H_{s,beg} - H_{s,end}|$ . Όσο αφορά τις στάσιμες καταστάσεις θάλασσας, αναμένεται ότι οι κλίσεις που θα λάβουμε θα έχουν τιμές πολύ κοντά στο μηδέν,  $b^0 \approx 0$ . Επίσης, μπορεί και οι διακυμάνσεις των υψών τους,  $\Delta H_s^0$ , να λαμβάνουν πολύ μικρές τιμές (Soukissian et al 2006).

Όπως έχει αναφερθεί το οι στάσιμες καταστάσεις θάλασσας εξάγονται από τις αναπτυσσόμενες και αποσβενύμενες καταστάσεις με το ακόλουθο κριτήριο:

- Για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας  $H_{s,end} \leq 1.15H_{s,beg}$ .
- Για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας  $H_{s,beg} \leq 1.15H_{s,end}$ .



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ

### 2.1. Εισαγωγή

Σκοπός της κατάτμησης μιας χρονοσειράς είναι η διαμόρφωση αυτής σε ένα μικρό αριθμό ομοιογενών τμημάτων, ούτως ώστε η «ομοιογένεια» των δεδομένων σε κάθε τμήμα να καθορίζεται από μία απλή συνάρτηση η οποία αναπαριστά (περιγράφει) το κοινό χαρακτηριστικό που παρουσιάζουν αυτά τα τμήματα <sup>(1)</sup>. Στη συνέχεια επιλέγεται ο κατάλληλος αλγόριθμος για την κατάτμηση της χρονοσειράς σε αυτά ακριβώς τα ομοιογενή τμήματα. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν ως αρχικά δεδομένα χρονοσειρές και δίνουν κατά τμήματα γραμμική αναπαράσταση θα αναφέρονται ως *αλγόριθμοι κατάτμησης (segmentation algorithms)* (Keogh et al. 2001).

### 2.2. Κατάτμηση χρονοσειρών (time series segmentation)

Έστω μία χρονοσειρά του σημαντικού ύψους κύματος  $H_{s,i} = \{H_{s,0}, H_{s,1}, H_{s,2}, \dots, H_{s,n}\}$  (παρατηρήσεις) με  $i = 0, 1, 2, \dots, n$  στοιχεία. Ορίζουμε ως  $H_{s,t}$  την ακολουθία των σημαντικών υψών κύματος που αντιστοιχούν στις χρονικές στιγμές  $\vec{t} = (t_0, t_1, t_2, \dots, t_k)$  με  $0 = t_0 < t_1 < t_2 < t_3 < \dots < t_{k-1} < t_k = n$ . Με βάση την ανωτέρω σύμβαση, οι χρονικές στιγμές  $\vec{t} = (t_0, t_1, t_2, \dots, t_k)$  αντιστοιχούν σε ακέραιους αριθμούς. Η ακολουθία αυτή, στην πραγματικότητα, χωρίζει την αρχική χρονοσειρά  $H_{s,i}$  σε  $k$  μη συνδεδεμένα και μη αλληλοεπικαλυπτόμενα τμήματα  $H_{s,t} = H_s(t_0), H_s(t_1), H_s(t_2), \dots, H_s(t_k)$ . Τα διαστήματα των χρόνων  $[t_0 + 1, t_1], [t_1 + 1, t_2], \dots, [t_{k-1} + 1, t_k]$  ονομάζονται **τμήματα (segments)** και οι χρονικές στιγμές  $(t_0, t_1, t_2, \dots, t_k)$  **σημεία αλλαγής (change or break points)**.

#### 2.2.1. Συνάρτηση σφάλματος

Το πρώτο βήμα στην κατάτμηση χρονοσειρών είναι να καθοριστεί ένα μοντέλο αναπαράστασης που να προσεγγίζει τα δεδομένα σε κάθε τμήμα. Το μοντέλο αυτό λειτουργεί ως ανιχνευτής για τα εν δυνάμει (potential) τμήματα (βρίσκει δηλαδή τα πιθανά τμήματα) και μπορεί να είναι οποιαδήποτε συνάρτηση που περιγράφει με κάποια επιτρεπόμενη ακρίβεια τα δεδομένα (αναφερόμαστε στην τμηματική γραμμική αναπαράσταση που θα αναπτυχθεί στο επόμενο εδάφιο).

Η ποιότητα της προσέγγισης αυτής εκτιμάται από τη *συνάρτηση σφάλματος ή κόστους (cost or error function)* που υπολογίζει το σφάλμα αναπαράστασης (representation error) του κάθε τμήματος και στο ολικό σφάλμα αναπαράστασης (total representation error or total cost) του μοντέλου που είναι το άθροισμα των σφαλμάτων αναπαράστασης. Το σφάλμα αυτό καθορίζεται μέσω των αποκλίσεων μεταξύ των πραγματικών τιμών της χρονοσειράς και των τιμών του μοντέλου αναπαράστασης όπως αυτό προσαρμόζεται στα δεδομένα του κάθε τμήματος της χρονοσειράς,

---

(<sup>1</sup>) Στην προκειμένη περίπτωση η ομοιογένεια περιγράφεται (συνίσταται) από την κλίση του κάθε τμήματος της χρονοσειράς

δηλαδή από την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Το ολικό σφάλμα αναπαράστασης της  $k$  – κατάτμησης δίνεται από τη σχέση:

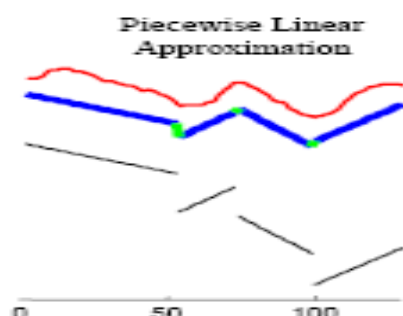
$$COST = \sum_{i=1}^k cost(i, k), \quad (1)$$

όπου  $cost(i, k), 1 \leq i \leq k$  είναι το σφάλμα αναπαράστασης του  $i$  – στού στοιχείου (τμήματος) μιας  $k$  – κατάτμησης.

Εισάγοντας το μοντέλο αναπαράστασης και ορίζοντας τη συνάρτηση σφάλματος, ο αλγόριθμος κατάτμησης υπολογίζει τον βέλτιστο αριθμό τμημάτων που προκύπτει από τη συνολική ελαχιστοποίηση του ολικού σφάλματος και με αυτό τον τρόπο μεγιστοποιείται η προσαρμογή (fit) του μοντέλου στα δεδομένα της χρονοσειράς.

### 2.2.2. Τμηματική Γραμμική Αναπαράσταση (Piecewise Linear Representation-PLR)

Η βέλτιστη αναπαράσταση των δεδομένων είναι ο σημαντικότερος παράγοντας για την επιτυχημένη και αποτελεσματική επίλυση του προβλήματος κατάτμησης (Keogh et al. 2001). Η μέθοδος τμηματικής γραμμικής αναπαράστασης (Piecewise Linear Representation-PLR) είναι πιθανώς η συχνότερα χρησιμοποιούμενη αναπαράσταση. Η μέθοδος αυτή αναφέρεται στην προσέγγιση μίας χρονοσειράς μήκους  $n$ , μέσω  $k$  ευθύγραμμων τμημάτων (Εικόνα 1). Επειδή το  $k$  απαιτείται να είναι πολύ μικρότερο από το  $n$  ώστε η επίλυση να έχει πρακτικό αντίκρισμα, η αναπαράσταση αυτή καθιστά την αποθήκευση και τον υπολογισμό αρκετά πιο αποδοτικό σε σχέση με άλλες αναπαραστάσεις.



Εικόνα 1: Τμηματική γραμμική αναπαράσταση

Οι δυο βασικότεροι μέθοδο για να επιτευχθεί η PLR είναι:

1. *Γραμμική Παρεμβολή*: η προσεγγιστική γραμμή για το διάστημα  $H_s[H_{s,i} : H_{s,i+1}]$  είναι απλά η γραμμή που ενώνει το  $H_{s,i}$  με το  $H_{s,i+1}$ .
2. *Γραμμική Παλινδρόμηση*: Η προσεγγιστική γραμμή των τμημάτων λαμβάνεται με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Η γραμμική παρεμβολή τείνει να ευθυγραμμίσει τα τελικά σημεία συνεχιζόμενων τμημάτων, δίνοντας έτσι μια πιο ομαλή εικόνα. Αντίθετα, η γραμμική παλινδρόμηση δίνει μία ασυνεχή εικόνα σε ορισμένες βάσεις δεδομένων. Η αισθητική ανωτερότητα

της γραμμικής παρεμβολής μαζί με την χαμηλή υπολογιστική περιπλοκότητα την καθιστά αρκετά δημοφιλή σε γραφικές υπολογιστικές εφαρμογές. Από την άλλη μεριά όμως, η ποιότητα της προσεγγιστικής γραμμής, σε όρους Ευκλείδειας απόστασης την καθιστά κατώτερη σε σχέση με την γραμμική παλινδρόμηση.

Όλοι οι αλγόριθμοι κατάτμησης προϋποθέτουν μία μέθοδο αποτίμησης της ποιότητας της προσαρμογής για ένα εν δυνάμει (υποψήφιο) τμήμα. Η πιο κοινή μέθοδος εκτίμησης παραμέτρων της ευθείας παλινδρόμησης είναι μέσω της ελαχιστοποίησης των τετραγώνων των Ευκλείδειων αποστάσεων των σημείων από την ευθεία παλινδρόμησης.

Ο αλγόριθμος κατάτμησης αρχικά δημιουργεί μια πρώτη κατάτμηση από  $k$  τμήματα (segments) και  $n$  σημεία αλλαγής,  $[t_0, t_1], [t_1, t_2], \dots, [t_{k-1}, t_k]$ . Το μοντέλο της γραμμικής παλινδρόμησης προσαρμόζεται στα δεδομένα κάθε τμήματος και υπολογίζεται το σφάλμα αναπαράστασης του κάθε τμήματος. Υποθέτουμε ότι  $[s_i, e_i]$  υποδηλώνει το αρχικό ( $s_i$ ) και τελικό ( $e_i$ ) σημείο ενός τμήματος  $i$  και το αντίστοιχο μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης που θα προσαρμοστεί στα δεδομένα  $h_{s_i}, h_{s_{i+1}}, \dots, h_{e_{i+1}}, h_{e_i}$ , περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$h_t = a_i + b_i t, \quad (2)$$

όπου  $s_i < t < e_i$  και  $h_{s_i} < h < h_{e_i}$ ,  $t$  ο χρόνος και  $h_t$  το σημαντικό ύψος κύματος. Οι παράμετροι  $a_i$  και  $b_i$  αντιπροσωπεύουν αντίστοιχα τις τομές και τις κλίσεις (παράμετροι παλινδρόμησης) των ευθειών παλινδρόμησης.

Τέλος, ο αλγόριθμος συγχωνεύει τα τμήματα με τα μικρότερα σφάλματα αναπαράστασης με την προϋπόθεση ότι τα σφάλματα αυτά παραμένουν μικρότερα από το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα.

### 2.3. Εισαγωγή στη γραμμική παλινδρόμηση

Η γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιείται για να οριστεί η συνάρτηση σφάλματος. Έστω προς τούτο μια χρονοσειρά  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Το μοντέλο παλινδρόμησης αυτής της χρονοσειράς μπορεί να αναπαρασταθεί με την παρακάτω σχέση:

$$X_n = \beta_0 + \beta_1 X_{1,i} + \dots + \beta_k X_{k,i} + \varepsilon_i, \quad (3)$$

όπου  $X_{1,i}, \dots, X_{k,i}$  είναι οι  $i$ -στες παρατηρήσεις της κάθε μεταβλητής  $X_1, \dots, X_k$  αντίστοιχα, τα  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  είναι καθορισμένες αλλά άγνωστες παράμετροι και τέλος,  $\varepsilon_i$  είναι τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί τη κανονική κατανομή με μέση μηδενική τιμή και διακύμανση  $\sigma_\varepsilon^2$ . Ο όρος γραμμική παλινδρόμηση αναφέρεται στην γραμμικότητα των συντελεστών της παλινδρόμησης και όχι των μεταβλητών. Σκοπός αυτού του μοντέλου είναι να υπολογίσει τις άγνωστες παραμέτρους, δηλαδή τα  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  και  $\sigma_\varepsilon^2$ . Οι υποθέσεις στις οποίες βασίζεται είναι οι ακόλουθες:

- Y1. Οι μεταβλητές  $X_1, \dots, X_k$  παίρνουν τιμές που είναι είτε καθορισμένοι αριθμοί (μετρημένοι χωρίς σφάλμα), είτε τυχαίες μεταβλητές ασυσχέτιστες όμως με τους όρους του σφάλματος  $\varepsilon_i$ . Και στις δύο περιπτώσεις, οι τιμές των  $X_j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) δεν πρέπει να είναι όλες οι ίδιες.
- Y2. Οι όροι του σφάλματος  $\varepsilon_i$  είναι ασυσχέτιστοι μεταξύ τους.

Σε ένα γνωστό σύνολο δεδομένων το παραπάνω μοντέλο γράφεται ως:

$$X_n = b_0 + b_1 X_{1,i} + \dots + b_k X_{k,i} + e_i, \text{ για } i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

όπου  $b_0, b_1, \dots, b_k$  είναι εκτιμήσεις των  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$  που προήλθαν από την μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων και είναι όλες τυχαίες μεταβλητές και  $e_i$  είναι το υπολειμματικό σφάλμα για την  $i$ -στή παρατήρηση και είναι και αυτό τυχαία μεταβλητή. Η διακύμανση των σφαλμάτων συμβολίζεται ως  $s_e^2$ .

Επιλύοντας το μοντέλο παίρνουμε την  $\hat{X}_n$  που είναι μια εκτίμηση της  $X_n$  ( $\hat{X}_n = b_0 + b_1 X_{1,i} + \dots + b_k X_{k,i}$ ). Η διαφορά αυτών των δύο μας δίνει την προσαρμογή του μοντέλου (fit), δηλαδή το υπολειμματικό σφάλμα:

$$e_i = X_n - \hat{X}_n. \quad (5)$$

Στη συνέχεια χρησιμοποιείται η μέθοδος των ελάχιστων τετραγώνων για να βρεθεί το ελάχιστο άθροισμα των τετραγώνων των σφαλμάτων, δηλαδή να εκτιμηθούν τα  $b_0, b_1, \dots, b_k$  ούτως ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα:

$$S = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (X_n - \hat{X}_n)^2 = \sum_{i=1}^n (X_n - b_0 - b_1 X_{1,i} - \dots - b_k X_{k,i})^2. \quad (6)$$

Ακολουθώντας, βρίσκουμε τις μερικές παραγώγους του  $S$  ως προς τον κάθε ένα άγνωστο συντελεστή  $b_0, b_1, \dots, b_k$ , θέτουμε αυτές ίσον με μηδέν και λύνουμε ένα σύστημα  $k+1$  εξισώσεων με  $k+1$  αγνώστους.

Η συσχέτιση ( $r_{X\hat{X}}^2$ ) μεταξύ του  $X_n$  και  $\hat{X}_n$  μπορεί να βρεθεί από την εξίσωση:

$$R^2 = r_{X\hat{X}}^2 = \frac{\sum (\hat{X}_n - \bar{X})^2}{\sum (X_n - \bar{X})^2}, \text{ (πολλαπλός συντελεστής συσχέτισης)}. \quad (7)$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΙ ΚΑΤΑΤΜΗΣΗΣ ΚΑΙ Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ «ΑΠΟ ΚΑΤΩ ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΑΝΩ» (BOTTOM UP APPROACH)

### 3.1 Γενικά χαρακτηριστικά

Όπως έχει αναφερθεί στο κεφάλαιο 2, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούν ως αρχικά δεδομένα χρονοσειρές και δίνουν κατά τμήματα γραμμική αναπαράσταση θα αναφέρονται ως αλγόριθμοι κατάτμησης (segmentation algorithms).

Υπάρχουν τρεις βασικοί αλγόριθμοι κατάτμησης:

- Αλγόριθμος «από κάτω προς τα πάνω» (bottom-up approach),
- Αλγόριθμος «μετατοπιζόμενου παραθύρου» (sliding window),
- Αλγόριθμος «από πάνω προς τα κάτω» (top-down approach).

Ο ανωτέρω διαχωρισμός βασίζεται στο κατά πόσο οι κατατμήσεις καθορίζονται από αριστερά προς τα δεξιά δηλαδή καθώς η χρονική μεταβλητή αυξάνεται (sliding windows), ή αν τεμαχίζει συνεχώς τη χρονοσειρά σε μικρότερες κατατμήσεις (top-down), ή τέλος αν συγχωνεύει γειτονικές κατατμήσεις σε μεγαλύτερες (bottom-up). Ο κάθε αλγόριθμος προσφέρει διαφορετικά πλεονεκτήματα και έτσι η επιλογή του καταλληλότερου αλγορίθμου αποτελεί μια πολύ σημαντική διαδικασία. Ειδικότερα, τα κύρια σημεία των συγκεκριμένων αλγορίθμων είναι τα εξής:

1. Αλγόριθμος «από κάτω προς τα πάνω»: Ο αλγόριθμος αυτός αναφέρεται στο γεγονός ότι οι κατατμήσεις της δοθείσας χρονοσειράς καθορίζονται από πολλές «στοιχειώδεις» κατατμήσεις (bottom) προς ολοένα και μεγαλύτερες (χρονικά) κατατμήσεις (up) που γίνονται μέσω κατάλληλων συγχωνεύσεων.
2. Αλγόριθμος «μετατοπιζόμενου παραθύρου»: Ο αλγόριθμος αυτός αναφέρεται στο γεγονός ότι οι κατατμήσεις της δοθείσας χρονοσειράς καθορίζονται από τη «μετατόπιση» στον άξονα των χρόνων από αριστερά (μικροί χρόνοι) προς τα δεξιά (μεγάλοι χρόνοι).
3. Αλγόριθμος «από πάνω προς τα κάτω»: Ο αλγόριθμος αυτός αναφέρεται στο γεγονός ότι οι κατατμήσεις της δοθείσας χρονοσειράς καθορίζονται από δύο μεγάλες κατατμήσεις (top) προς ολοένα και μικρότερες (χρονικά) κατατμήσεις (down).

Σε γενικές γραμμές οι ανωτέρω αλγόριθμοι θα πρέπει να παρουσιάζουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Lemire D, 2007):

- να είναι γρήγοροι,
- να παρέχουν τα απαραίτητα κριτήρια για να καθοριστούν τα τμήματα,
- να είναι ακριβείς (καλή προσαρμογή μοντέλου και επιβεβαίωση των παραγόμενων αποτελεσμάτων).

Ένα σημαντικό ζήτημα σε σχέση με τα βασικά χαρακτηριστικά των αλγορίθμων είναι επιλογή της προσεγγιστικής γραμμής που θα χρησιμοποιήσουμε για να αναπαραστήσουμε προσεγγιστικά τη χρονοσειρά. Η επιλογή αυτή μπορεί να γίνει μεταξύ της γραμμικής παλινδρόμησης και της γραμμικής παρεμβολής, χωρίς όμως να αποκλείονται και άλλες μέθοδοι (κεφάλαιο 2, εδάφιο 2.2.2). Η γραμμική παλινδρόμηση χρησιμοποιεί τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων για να

προσαρμόσει την γραμμή στη χρονοσειρά ενώ η γραμμική παρεμβολή απλά συνδέει με μία γραμμή τα διαδοχικά σημεία της χρονοσειράς. Οι αλγόριθμοι που αναφέρθηκαν παραπάνω μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μια από τις δυο μεθόδους αναπαράστασης ανάλογα με τις απαιτήσεις του εξεταζόμενου προβλήματος.

Τέλος, ένα ακόμη σημαντικό ζήτημα που σχετίζεται με τα αποτελέσματα της κατάτμησης, είναι ο αριθμός των τμημάτων που θα παραχθούν από αυτήν. Οι αλγόριθμοι κατάτμησης χρειάζονται ένα κριτήριο τερματισμού (stopping criterion) το οποίο θα καθορίζει την απαραίτητη συνθήκη και η ικανοποίηση της οποίας θα τερματίζει τον αλγόριθμο. Ορισμένες κλασικές συνθήκες τέτοιου είδους είναι:

1. Σε δοθείσα χρονοσειρά  $H_s(t)$ , να παραχθεί η βέλτιστη αναπαράσταση χρησιμοποιώντας μόνο  $k$  το πλήθος κατατμήσεις.
2. Σε δοθείσα χρονοσειρά  $H_s(t)$ , να παραχθεί η βέλτιστη αναπαράσταση κατά την οποία το μέγιστο σφάλμα για κάθε κατάτμηση να μην υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο οριακό σφάλμα,  $max\_error$ .
3. Σε δοθείσα χρονοσειρά  $H_s(t)$ , να παραχθεί η βέλτιστη αναπαράσταση κατά την οποία το συνδυασμένο σφάλμα για όλες τις κατατμήσεις να είναι μικρότερο ενός προκαθορισμένου οριακού σφάλματος,  $total\_max\_error$ .

Η ικανοποίηση της πρώτης συνθήκης έχει πάντα ως αποτέλεσμα ένα προκαθορισμένο αριθμό κατατμήσεων ( $k$ ). Οι άλλες δύο συνθήκες παράγουν κατατμήσεις (αγνώστου, αρχικά, πλήθους) και προσαρμόζουν τα τμήματα με τέτοιο τρόπο ώστε να μην υπερβαίνουν τα καθορισμένα οριακά σφάλματα.

## 3.2 Αλγόριθμοι κατάτμησης

### 3.2.1. Αλγόριθμος «από κάτω προς τα πάνω» (bottom-up approach)

Ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί την φυσική συμπλήρωση του αλγόριθμου «από πάνω προς τα κάτω». Ο αλγόριθμος ξεκινά με τον σχηματισμό της καλύτερης πιθανής προσέγγισης των χρονοσειρών ούτως ώστε να χρησιμοποιηθούν  $n/2$  τμήματα στην προσέγγιση της  $n$  – μήκους χρονοσειράς.

```

Algorithm Seg_TS = Bottom_Up(T , max_error)
for i = 1 : 2 : length(T) // Create initial fine approximation.
    Seg_TS = concat(Seg_TS, create_segment(T{i: i + 1}));
end;
for i = 1 : length(Seg_TS) - 1 // Find the cost of merging...
    // ... each pair of segments.
    merge_cost(i)=calculate_error([merge(Seg_TS(i), Seg_TS(i+1))]);
end;
while min(merge_cost) < max_error // While not finished.
    i = min(merge_cost); // Find cheapest pair to merge.
    Seg_TS(i) = merge(Seg_TS(i), Seg_TS(i+1)); // Merge them.
    delete(Seg_TS(i+1)); // Update records.
    merge_cost(i)= calculate_error(merge(Seg_TS(i), Seg_TS(i+1)));
    merge_cost(i-1)= calculate_error(merge(Seg_TS(i-1), Seg_TS(i)));
end;

```

Ο ψευδοκώδικας του αλγόριθμου παρουσιάζεται παραπάνω. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το κόστος της συγχώνευσης κάθε ζεύγους συνεχόμενων τμημάτων και ο αλγόριθμος αρχίζει να επαναλαμβάνει την συγχώνευση του χαμηλότερου σε κόστος ζευγάρι μέχρι να συναντήσει ένα τερματικό κριτήριο. Όταν το ζεύγος των συνεχόμενων τμημάτων  $i$  και  $i+1$  συγχωνευθούν, ο αλγόριθμος χρειάζεται να κάνει κάποιες καταχωρήσεις. Αρχικά, θα πρέπει να υπολογιστεί το κόστος της συγχώνευσης του νέου τμήματος με το εν δεξιό γειτονικό του τμήμα. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να υπολογιστεί ξανά το κόστος της συγχώνευσης του  $i-1$  τμήματος με τα νέα γειτονικά τμήματα.

Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιήθηκε κυρίως από τους Keogh et al. (2001,2002) σε διάφορες χρονοσειρές data mining. (όχι τόσο μακροχρόνιες)

### 3.2.2. Αλγόριθμος «από πάνω προς τα κάτω» (top-down approach)

Ο αλγόριθμος λαμβάνει υπόψη κάθε πιθανή τμηματοποίηση της χρονοσειράς και την χωρίζει στην καλύτερη τοποθεσία. Στη συνέχεια ελέγχονται τα δύο υποτμήματα για να βρεθεί αν το προσεγγιστικό σφάλμα είναι μικρότερο από το καθορισμένο σφάλμα εισόδου. Αν αυτό δεν ισχύει τότε ο αλγόριθμος συνεχίζει να τεμαχίζει τα υποτμήματα έως ότου όλα τα προσεγγιστικά σφάλματα των τμημάτων να είναι μικρότερα από το καθορισμένο σφάλμα εισόδου. Ο ψευδοκώδικας του αλγόριθμου παρουσιάζεται παρακάτω:

```

Algorithm Seg_TS = Top_Down(T , max_error)
best_so_far = inf;
for i = 2 to length(T)- 2 // Find best place to divide.
improvement_in_approximation = improvement_splitting_here(T,i);
  if improvement_in_approximation < best_so_far
    breakpoint = i;
    best_so_far = improvement_in_approximation;
  end;
end;
// Recursively split the left segment if necessary.
if calculate_error(T[1:breakpoint]) > max_error
  Seg_TS = Top_Down(T[1: breakpoint]);
end;
// Recursively split the right segment if necessary.
if calculate_error( T[breakpoint + 1:length(T)] ) > max_error
  Seg_TS = Top_Down(T[breakpoint + 1: length(T)]);
end;

```

Κατά καιρούς έχουν προταθεί διάφορες βελτιώσεις ή τροποποιήσεις από διάφορους ερευνητές. Μερικές από τις σημαντικότερες τροποποιήσεις είναι κατά τους Park et al. (22) όπου εισήγαγαν μια μετατροπή στην οποία σάρωσαν όλη την βάση δεδομένων σημειώνοντας όλες τις κορυφές και τις κοιλάδες. Τα ακραία αυτά σημεία χρησιμοποιήθηκαν στο να σχηματίσουν την αρχική τμηματοποίηση και ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε κάθε τμήμα (στην περίπτωση που το σφάλμα κάθε τμήματος παρέμενε αρκετά υψηλό). Στη συνέχεια χρησιμοποιήσαν την τμηματοποίηση αυτή σε μία ειδική περίπτωση χρονικής δυναμικής παραμόρφωσης. Η μετατροπή αυτή δούλεψε αρκετά καλά σε μία ομαλή συνθετική βάση δεδομένων αλλά σε μία πραγματική βάση δεδομένων με οποιοδήποτε ποσοστό θορύβου η προσέγγιση αυτή υπερτμημάτισε την αρχική χρονοσειρά.

### 3.2.3. Αλγόριθμος «μετατοπιζόμενου παραθύρου» (sliding window)

Το πρώτο εν δυνάμει τμήμα δεσμεύεται στο αρχικό σημείο της χρονοσειράς και στη συνέχεια γίνεται προσπάθεια να προσεγγιστούν τα σημεία στο δεξί μέρος με συνεχή αύξηση του τμήματος. Σε ένα σημείο  $i$ , το σφάλμα για το εν δυνάμει τμήμα είναι μεγαλύτερο από το καθορισμένο σφάλμα εισόδου και έτσι η υποσειρά από το αρχικό σημείο μέχρι το  $i-1$  μετασχηματίζεται σε ένα τμήμα. Το επόμενο σημείο που δεσμεύεται θα είναι το σημείο  $i$  και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι όλη η χρονοσειρά να μετασχηματιστεί σε μία καταμήματα γραμμική αναπαράσταση. Ο ψευδοκώδικας του αλγόριθμου παρουσιάζεται παρακάτω:

```
Algorithm Seg_TS = Sliding_Window(T , max_error)
anchor = 1;
while not finished segmenting time series
  i = 2;
  while calculate_error(T[anchor: anchor + i ]) < max_error
    i = i + 1;
  end;
  Seg_TS =concat(Seg_TS,create_segment(T[anchor:anchor+(i-1)]));
  anchor = anchor + i;
end;
```

Και σε αυτόν τον αλγόριθμο προτάθηκαν διάφορες τροποποιήσεις κυρίως από ερευνητές που ασχολούνται με ιατρικούς κλάδους.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ - ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Μεθοδολογία

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή την ανάλυση είναι χρονοσειρές σημαντικού ύψους κύματος  $H_s$ , μήκους 30 περίπου χρόνων (65535 παρατηρήσεις με διάστημα καταγραφής 3 ώρες). Τα δεδομένα αυτά έχουν ληφθεί από το National Data Buoy Center των Ηνωμένων Πολιτειών. Ο πλωτήρας (buoy 44004) από όπου προήλθαν τα δεδομένα βρίσκεται βορειανατολικά των Ηνωμένων Πολιτειών, βόρεια του Ακρωτηρίου Hatteras με γεωγραφικό πλάτος  $38^{\circ}29'02''N$  και γεωγραφικό μήκος  $70^{\circ}25'57''W$ , βάθος νερού 3.182m με περίοδο καταγραφή 20 λεπτών.

Ο αλγόριθμος «από κάτω προς τα πάνω» (bottom-up approach) που χρησιμοποιήθηκε για την κατάτμηση της χρονοσειράς σημαντικού ύψους κύματος μπορεί να περιγραφεί από το ακόλουθα βήματα:

- I. Εισαγωγή των αρχικών δεδομένων. Αρχίζει η «αρχική κατάτμηση». Υπολογίζονται οι διαφορές μεταξύ διαδοχικών σημείων και δημιουργείται μία σειρά με στοιχεία τους αριθμούς 1, 0 και -1 που αντιστοιχούν στις προαναφερθέντες διαφορές (1 όταν η διαφορά είναι  $>0$ , 0 όταν η διαφορά είναι  $=0$  και -1 όταν η διαφορά είναι  $<0$ ).
- II. Ορίζεται το μέγιστο σφάλμα αναπαράστασης. Τα σφάλματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: 0.01, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0, 2.5, 3.0.
- III. Υπολογίζει το κόστος συγχώνευσης (ολικό σφάλμα αναπαράστασης) της κατάτμησης, σε συνδυασμό με το μέγιστο σφάλμα και δίνει έτσι τον βέλτιστο αριθμό τμημάτων για την κατάτμηση.
- IV. Προσαρμόζει το μοντέλο γραμμικής παλινδρόμησης (ευθεία) και υπολογίζει το σφάλμα αναπαράστασης του κάθε τμήματος με την βοήθεια των ελαχίστων τετραγώνων. Αρχικά βρίσκει τους συντελεστές της ευθείας που προσαρμόζεται στα δεδομένα (τομές και κλίσεις).
- V. Στη συνέχεια, δίνει την καλύτερη δυνατή προσεγγιστική γραμμή με βάση τους προαναφερθέντες συντελεστές. Τέλος, με βάση το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα βρίσκει το φθηνότερο κόστος για κάθε συγχώνευση λαμβάνοντας υπόψη τις ακόλουθες περιπτώσεις (το σφάλμα αναπαράστασης κάθε τμήματος θα παραμένει πάντα μικρότερο του μέγιστου σφάλματος): κανένα από τα δύο τμήματα που θα συγχωνευθούν να είναι τελικά ή αρχικά τμήματα, το φθηνότερο σε κόστος τμήμα να είναι το αριστερότερο σημείο, το φθηνότερο σε κόστος τμήμα να είναι το δεξιότερο σημείο. Σε κάθε περίπτωση υπολογίζει ξανά τους συντελεστές της ευθείας και την καλύτερη προσεγγιστική γραμμή.
- VI. Δημιουργεί το τελικό διάγραμμα και τους τελικούς πίνακες με τα αποτελέσματα. Οι πίνακες αυτοί αποτελούνται από 5 στήλες: την στήλη με τον αριθμό των τμημάτων, δύο στήλες με τα αρχικά και τελικά σημαντικά ύψη κύματος του κάθε τμήματος, την στήλη με τις αντίστοιχες διάρκειες και τέλος την στήλη με τις αντίστοιχες κλίσεις. Δημιουργούνται δύο τέτοιοι πίνακες, ένας για τις αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας και ένας για τις αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Για να πάρουμε τις αναπτυσσόμενες, τις αποσβενόμενες και τις στάσιμες καταστάσεις θάλασσας εφαρμόσαμε το ακόλουθο κριτήριο (κεφάλαιο 1, εδάφιο 1,3):

- Για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας,  $H_{s,end} > 1.15H_{s,beg}$ .
- Για αποσβενόμενες καταστάσεις θάλασσας,  $H_{s,beg} > 1.15H_{s,end}$ .
- Για στάσιμες από αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας,  $H_{s,end} \leq 1.15H_{s,beg}$ .
- Για στάσιμες από αποσβενόμενες καταστάσεις θάλασσας,  $H_{s,beg} \leq 1.15H_{s,end}$ .

## 4.2 Αριθμητικά αποτελέσματα

Πριν προχωρήσουμε στην ένωση διαδοχικών τμημάτων στις αναπτυσσόμενες, και αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας θα παρουσιάσουμε μια στατιστική ανάλυση της κλίσης και για τις τρεις καταστάσεις θάλασσας για όλα τα σφάλματα αναπαράστασης.

### 4.2.1. Στατιστική ανάλυση κλίσεως

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,01.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	9477	10909	14723
Mean	0,16	-0,12	-0,0009
Median	0,13	-0,10	0,0
St. Dev.	0,15	0,11	0,07
Sum	1569,63	-1370,66	-13,47
Min	0,003	-1,28	-0,50
Max	1,53	-0,002	0,37
25%	0,07	-0,17	-0,03
75%	0,22	-0,05	0,03
Sk	2,33	-2,47	-0,12
Ku	8,75	11,34	2,63
Mode	0,07	-0,07	0,0

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,03.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	8256	9345	8073
Mean	0,16	-0,12	0,002
Median	0,12	-0,09	0,00
St. Dev.	0,15	0,11	0,07
Sum	1355,68	-1156,42	15,97
Min	0,002	-1,28	-0,40
Max	1,53	-0,002	0,37
25%	0,06	-0,17	-0,02
75%	0,22	-0,05	0,03
Sk	2,32	-2,47	-0,10
Ku	8,45	11,03	2,95
Mode	0,10	-0,10	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,05.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	7558	8418	6017
Mean	0,16	-0,12	0,003
Median	0,12	-0,09	0,00
St. Dev.	0,16	0,12	0,07
Sum	1253,18	-1037,46	18,09
Min	0,002	-1,28	-0,40
Max	1,53	-0,001	0,37
25%	0,06	-0,17	-0,02
75%	0,22	-0,04	0,03
Sk	2,30	-2,48	0,07
Ku	8,18	10,81	3,13
Mode	0,10	-0,10	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,1.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	6420	7084	3642
Mean	0,17	-0,12	0,004
Median	0,12	-0,08	0,00
St. Dev.	0,16	0,12	0,07
Sum	1073,98	-853,26	15,43
Min	0,002	-1,28	-0,37
Max	1,53	-0,001	0,37
25%	0,05	-0,16	-0,02
75%	0,23	-0,04	0,02
Sk	2,29	-2,55	0,82
Ku	7,93	10,87	3,98
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,2.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	5363	5807	2135
Mean	0,17	-0,12	0,006
Median	0,12	-0,07	0,00
St. Dev.	0,17	0,12	0,07
Sum	896,01	-671,33	12,68
Min	0,001	-1,28	-0,31
Max	1,53	-0,0008	0,37
25%	0,05	-0,15	-0,01
75%	0,22	-0,04	0,02
Sk	2,32	-2,72	0,66
Ku	7,89	11,81	5,97
Mode	0,07	Multiple	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,3.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	4700	5111	1571
Mean	0,16	-0,11	0,007
Median	0,11	-0,07	0,00
St. Dev.	0,17	0,12	0,06
Sum	778,49	-571,13	10,52
Min	0,001	-1,28	-0,30
Max	1,53	-0,0008	0,37
25%	0,05	-0,14	-0,01
75%	0,22	-0,03	0,02
Sk	2,38	-2,87	1,18
Ku	8,27	12,76	8,79
Mode	0,07	-0,07	0,0

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,4.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	4290	4629	1256
Mean	0,16	-0,11	0,006
Median	0,11	-0,07	0,00
St. Dev.	0,17	0,12	0,05
Sum	707,26	-498,09	7,10
Min	0,001	-1,28	-0,27
Max	1,53	-0,001	0,37
25%	0,05	-0,13	-0,008
75%	0,22	-0,03	0,01
Sk	2,41	-3,07	1,52
Ku	8,40	14,48	12,13
Mode	Multiple	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,5.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	3986	4294	1053
Mean	0,16	-0,11	0,005
Median	0,11	-0,07	0,00
St. Dev.	0,17	0,12	0,05
Sum	649,99	-455,40	4,94
Min	0,001	-1,28	-0,27
Max	1,53	-0,001	0,37
25%	0,05	-0,13	-0,007
75%	0,21	-0,03	0,01
Sk	2,44	-3,17	1,44
Ku	8,52	15,20	14,79
Mode	0,10	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,6.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	3767	4042	925
Mean	0,16	-0,10	0,004
Median	0,11	-0,07	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,04
Sum	611,28	-421,70	4,00
Min	0,001	-1,28	-0,27
Max	1,53	-0,001	0,37
25%	0,04	-0,13	-0,007
75%	0,21	-0,03	0,009
Sk	2,47	-3,28	1,74
Ku	8,76	16,22	19,57
Mode	0,17	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,7.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	3567	3840	825
Mean	0,16	-0,10	0,003
Median	0,11	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,04
Sum	579,53	-391,58	2,37
Min	0,001	-1,28	-0,26
Max	1,53	-0,001	0,33
25%	0,05	-0,12	-0,006
75%	0,21	-0,03	0,008
Sk	2,50	-3,43	1,81
Ku	8,96	17,68	21,43
Mode	0,70	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,8.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	3405	3674	751
Mean	0,16	-0,10	0,002
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,04
Sum	549,72	-369,35	1,25
Min	0,001	-1,28	-0,26
Max	1,53	-0,001	0,33
25%	0,04	-0,12	-0,005
75%	0,21	-0,03	0,007
Sk	2,52	-3,53	1,79
Ku	9,05	18,51	28,60
Mode	0,06	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 0,9.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	3269	3519	702
Mean	0,16	-0,10	0,002
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,03
Sum	524,37	-348,26	1,19
Min	0,001	-1,28	-0,26
Max	1,53	-0,0008	0,33
25%	0,04	-0,12	-0,004
75%	0,21	-0,03	0,006
Sk	2,53	-3,58	2,08
Ku	9,18	19,18	34,23
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 1,0.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	3148	3373	663
Mean	0,16	-0,10	0,002
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,03
Sum	504,51	-329,16	1,36
Min	0,001	-1,28	-0,26
Max	1,53	-0,0009	0,33
25%	0,04	-0,12	-0,004
75%	0,21	-0,03	0,006
Sk	2,55	-3,69	2,30
Ku	9,31	20,61	37,13
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 1,1.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	3039	3276	628
Mean	0,16	-0,10	0,0008
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,02
Sum	482,92	-315,30	0,48
Min	0,001	-1,28	-0,26
Max	1,53	-0,0009	0,20
25%	0,04	-0,12	-0,004
75%	0,20	-0,03	0,006
Sk	2,60	-3,77	-0,43
Ku	9,65	21,69	28,72
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 1,2.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	2951	3174	603
Mean	0,16	-0,10	0,0004
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,02
Sum	467,05	-302,82	0,22
Min	0,001	-1,28	-0,26
Max	1,53	-0,0009	0,20
25%	0,04	-0,12	-0,004
75%	0,20	-0,03	0,005
Sk	2,61	-3,86	-1,05
Ku	9,65	22,59	32,87
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 1,3.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	2875	3094	574
Mean	0,16	-0,10	0,0005
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,02
Sum	452,28	-292,55	0,27
Min	0,001	-1,28	-0,26
Max	1,53	-0,0009	0,20
25%	0,04	-0,12	-0,004
75%	0,20	-0,03	0,005
Sk	2,62	-3,84	-1,29
Ku	9,68	22,24	36,85
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 1,4.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	2777	3009	562
Mean	0,16	-0,09	0,001
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,02
Sum	436,47	-284,14	0,54
Min	0,001	-1,28	-0,26
Max	1,50	-0,0009	0,20
25%	0,04	-0,12	-0,003
75%	0,20	-0,03	0,005
Sk	2,56	-3,85	-1,15
Ku	9,02	22,35	41,55
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 1,5.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	2726	2929	526
Mean	0,16	-0,09	0,0003
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,02
Sum	427,23	-273,10	0,15
Min	0,001	-1,28	-0,28
Max	1,50	-0,001	0,12
25%	0,04	-0,11	-0,003
75%	0,20	-0,03	0,005
Sk	2,56	-3,93	-3,73
Ku	9,07	23,68	55,17
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 1,6.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	2662	2868	509
Mean	0,16	-0,09	0,0002
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,02
Sum	414,21	-266,19	0,10
Min	0,001	-1,28	-0,28
Max	1,50	-0,001	0,12
25%	0,04	-0,11	-0,003
75%	0,20	-0,03	0,005
Sk	2,62	-3,97	-3,86
Ku	9,49	24,01	56,24
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 1,7.

Στατιστικές Παράμετροι	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	2616	2795	489
Mean	0,15	-0,09	0,0009
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,02
Sum	404,72	-259,10	0,44
Min	0,001	-1,28	-0,28
Max	1,50	-0,001	0,12
25%	0,04	-0,11	-0,003
75%	0,20	-0,03	0,005
Sk	2,63	-4,01	-4,00
Ku	9,55	24,38	62,30
Mode	0,07	-0,07	0,00



- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 1,8.

Στατιστική Παράμετρος	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	2553	2756	479
Mean	0,15	-0,09	0,001
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,02
Sum	394,25	-255,03	0,54
Min	0,001	-1,28	-0,28
Max	1,50	-0,0006	0,12
25%	0,04	-0,11	-0,003
75%	0,20	-0,03	0,005
Sk	2,66	-4,01	-4,10
Ku	9,76	24,53	63,89
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 1,9.

Στατιστική Παράμετρος	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	2509	2716	469
Mean	0,15	-0,09	0,001
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,18	0,12	0,02
Sum	385,67	-250,84	0,57
Min	0,001	-1,28	-0,28
Max	1,50	-0,0006	0,12
25%	0,04	-0,11	-0,003
75%	0,20	-0,03	0,005
Sk	2,68	-4,04	-4,30
Ku	9,96	24,92	67,30
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 2,0.

Στατιστική Παράμετρος	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	2473	2661	463
Mean	0,15	-0,09	0,0008
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,17	0,11	0,02
Sum	377,51	-243,46	0,39
Min	0,001	-1,28	-0,28
Max	1,50	-0,0006	0,12
25%	0,04	-0,11	-0,003
75%	0,20	-0,03	0,005
Sk	2,70	-4,13	-4,76
Ku	10,22	26,19	73,55
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 2,5.

Στατιστική Παράμετρος	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	2270	2458	413
Mean	0,15	-0,09	0,001
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,17	0,11	0,01
Sum	344,21	-218,25	0,45
Min	0,001	-1,28	-0,09
Max	1,50	-0,0006	0,10
25%	0,04	-0,11	-0,002
75%	0,20	-0,02	0,005
Sk	2,78	-4,41	-0,22
Ku	10,84	29,44	13,67
Mode	0,07	-0,07	0,00

- Στατιστική ανάλυση κλίσεως για σφάλμα αναπαράστασης 3,0.

Στατιστική Παράμετρος	ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ	ΑΠΟΣΒΕΝΥΜΜΕΝΕΣ	ΣΤΑΣΙΜΕΣ
N	2083	2291	409
Mean	0,15	-0,09	0,002
Median	0,10	-0,06	0,00
St. Dev.	0,17	0,11	0,01
Sum	314,63	-199,25	0,76
Min	0,0009	-1,28	-0,09
Max	1,50	-0,0004	0,10
25%	0,04	-0,11	-0,002
75%	0,20	-0,02	0,005
Sk	2,82	-4,56	0,58
Ku	11,37	31,53	16,03
Mode	0,07	-0,07	0,00

Μελετώντας τους παραπάνω πίνακες, αρχικά παρατηρούμε ότι η μέση τιμή της κλίσης στις αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας λαμβάνει σαφώς μεγαλύτερες τιμές από ότι στις αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας. Στις αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας, στις περιοχές όπου το μέγιστο σφάλμα λαμβάνει τιμές από 0.01 μέχρι 1.6 η μέση τιμή της κλίσης μπορεί να θεωρηθεί σταθερή (με τιμές 0.16 και 0.17), ενώ στις περιοχές όπου το μέγιστο σφάλμα λαμβάνει τιμές από 1.7 μέχρι και 3.0 η μέση τιμή της κλίσης λαμβάνει την τιμή 0,15. Όσο αφορά τις αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας, η μέση τιμή της κλίσης τους κυμαίνεται από το -0,12 μέχρι το -0,09. Τέλος, η μέση τιμή της κλίσης των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας εμφανίζει μεγαλύτερη διακύμανση.

#### 4.2.2. Στατιστική ανάλυση καταστάσεων θάλασσας

Στη συνέχεια, έπρεπε να συγχωνευθούν τα διαδοχικά αναπτυσσόμενα και αποσβενύμενα τμήματα ( $a(1,i) = a(1,i+1) + 1$ ), να ορισθούν τα σωστά αρχικά και τελικά σημαντικά ύψη κύματος ( $a(2,i) = a(2,i)$  &  $a(3,i) = a(3,i+1)$  αντίστοιχα) και τέλος να προστεθούν οι διάρκειες των συνεχιζόμενων τμημάτων

$(a(4,i) = a(4,i) + a(4,i+1))$ . Όσο αφορά τις στάσιμες καταστάσεις θάλασσας δεν έγινε ένωση διαδοχικών τμημάτων γιατί κάτι τέτοιο είναι εναντίον του ορισμού που δόθηκε στο κεφάλαιο 1. Με λίγα λόγια η ένωση διαδοχικών τμημάτων στις στάσιμες καταστάσεις θάλασσας οδηγεί στην μετάβαση μεταξύ καταστάσεων θάλασσας.

Παρακάτω, παρουσιάζεται μια στατιστική ανάλυση των αρχικών ( $H_{s,beg}$ ) και τελικών ( $H_{s,end}$ ) σημαντικών υψών των τριών καταστάσεων θάλασσας, των μεταβολών αυτών των δύο ( $\Delta H_s = |H_{s,beg} - H_{s,end}|$ ) για τις αναπτυσσόμενες και αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας και τέλος, της διάρκειας ( $\Delta \tau$ ) των τριών καταστάσεων θάλασσας για όλα τα σφάλματα αναπαράστασης.

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,01.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta \tau$
<b>N</b>	6744	6744	6744	6744
<b>Mean</b>	1,67	2,64	0,96	7,65
<b>Median</b>	1,40	2,21	0,62	6,00
<b>St. Dev.</b>	1,03	1,48	0,92	5,41
<b>Sum</b>	11272,30	17779,22	6506,92	51582,00
<b>Min</b>	0,00	0,38	0,10	3,00
<b>Max</b>	9,90	13,00	8,20	42,00
<b>25%</b>	0,96	1,50	0,40	3,00
<b>75%</b>	2,05	3,40	1,20	9,00
<b>Sk</b>	1,72	1,35	2,31	1,84
<b>Ku</b>	3,97	2,30	6,82	4,81
<b>Mode</b>	0,90	1,50	0,40	3,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta \tau$
<b>N</b>	8085	8085	8085	8085
<b>Mean</b>	2,58	1,78	0,79	8,76
<b>Median</b>	2,20	1,50	0,60	6,00
<b>St. Dev.</b>	1,42	1,08	0,67	6,94
<b>Sum</b>	20840,39	14417,88	6422,51	70863,00
<b>Min</b>	0,40	0,00	0,09	3,00
<b>Max</b>	13,50	11,20	6,90	69,00
<b>25%</b>	1,51	1,00	0,38	3,00
<b>75%</b>	3,60	2,30	1,29	18,00
<b>Sk</b>	1,40	1,60	2,34	1,92
<b>Ku</b>	2,62	3,54	7,68	5,11
<b>Mode</b>	1,50	0,90	0,30	3,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	14723	14723	14723
<b>Mean</b>	2,61	2,61	5,04
<b>Median</b>	2,30	2,30	3,00
<b>St. Dev.</b>	1,43	1,42	3,26
<b>Sum</b>	38481,29	38395,35	74157,00
<b>Min</b>	0,30	0,30	3,00
<b>Max</b>	13,00	13,50	39,00
<b>25%</b>	1,54	1,54	3,00
<b>75%</b>	3,40	3,40	6,00
<b>Sk</b>	1,14	1,15	2,80
<b>Ku</b>	1,60	1,63	12,11
<b>Mode</b>	1,60	1,60	3,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,03.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	5915	5915	5915	5915
<b>Mean</b>	1,70	2,83	1,13	9,97
<b>Median</b>	1,40	2,46	0,80	9,00
<b>St. Dev.</b>	1,05	1,50	1,01	7,76
<b>Sum</b>	10068,34	16760,00	6691,66	58992,00
<b>Min</b>	0,00	0,60	0,09	3,00
<b>Max</b>	9,90	13,00	8,20	81,00
<b>25%</b>	0,98	1,70	0,47	6,00
<b>75%</b>	2,10	3,60	1,40	12,00
<b>Sk</b>	1,70	1,28	2,12	2,16
<b>Ku</b>	3,86	2,01	5,73	7,80
<b>Mode</b>	0,90	1,50	0,40	6,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	6695	6695	6695	6695
<b>Mean</b>	2,83	1,82	1,00	12,36
<b>Median</b>	2,47	1,50	1,00	9,00
<b>St. Dev.</b>	1,46	1,12	0,80	10,17
<b>Sum</b>	18920,74	12214,73	6706,01	82776,00
<b>Min</b>	0,50	0,00	0,10	3,00
<b>Max</b>	13,50	11,20	6,90	81,00
<b>25%</b>	1,74	1,00	0,48	6,00
<b>75%</b>	3,60	2,30	1,29	18,00
<b>Sk</b>	1,29	1,55	2,08	1,70
<b>Ku</b>	2,21	3,23	5,78	3,69
<b>Mode</b>	1,50	0,90	0,40	3,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	8073	8073	8073
<b>Mean</b>	2,89	2,89	6,79
<b>Median</b>	2,60	2,60	6,00
<b>St. Dev.</b>	1,52	1,52	5,06
<b>Sum</b>	2332,48	2332,30	54834,00
<b>Min</b>	0,40	0,40	3,00
<b>Max</b>	13,00	13,50	75,00
<b>25%</b>	1,70	1,70	3,00
<b>75%</b>	3,80	3,80	9,00
<b>Sk</b>	0,98	0,99	2,53
<b>Ku</b>	1,15	1,22	12,04
<b>Mode</b>	2,30	2,30	3,00

#### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,05.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	5405	5405	5405	5405
<b>Mean</b>	1,72	2,96	1,24	11,33
<b>Median</b>	1,40	2,60	0,90	9,00
<b>St. Dev.</b>	1,07	1,51	1,05	8,98
<b>Sum</b>	9294,34	15982,81	6688,47	61224,00
<b>Min</b>	0,00	0,70	0,10	3,00
<b>Max</b>	9,90	13,00	8,30	93,00
<b>25%</b>	0,98	1,82	0,50	6,00
<b>75%</b>	2,16	3,75	1,60	15,00
<b>Sk</b>	1,67	1,22	2,02	2,20
<b>Ku</b>	3,70	1,83	5,15	8,17
<b>Mode</b>	0,90	1,50	0,40	6,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	5973	5973	5973	5973
<b>Mean</b>	2,96	1,84	1,13	14,68
<b>Median</b>	2,60	1,50	0,83	12,00
<b>St. Dev.</b>	1,49	1,15	0,88	12,18
<b>Sum</b>	17708,41	10980,08	6728,33	87678,00
<b>Min</b>	0,70	0,00	0,10	3,00
<b>Max</b>	13,50	11,20	7,36	105,00
<b>25%</b>	1,87	1,00	0,50	6,00
<b>75%</b>	3,76	2,34	1,40	21,00
<b>Sk</b>	1,23	1,54	2,01	1,67
<b>Ku</b>	1,98	3,11	5,42	3,79
<b>Mode</b>	2,00	0,90	0,70	3,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	6017	6017	6017
<b>Mean</b>	3,02	3,03	7,93
<b>Median</b>	2,78	2,80	6,00
<b>St. Dev.</b>	1,57	1,57	6,45
<b>Sum</b>	18172,77	18211,10	47700,00
<b>Min</b>	0,40	0,39	3,00
<b>Max</b>	13,00	13,50	75,00
<b>25%</b>	1,80	1,80	3,00
<b>75%</b>	3,97	3,99	9,00
<b>Sk</b>	0,91	0,92	2,73
<b>Ku</b>	1,00	1,08	12,74
<b>Mode</b>	2,30	2,30	3,00

#### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,1.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	4669	4669	4669	4669
<b>Mean</b>	1,71	3,13	1,42	13,78
<b>Median</b>	1,40	2,80	1,00	12,00
<b>St. Dev.</b>	1,08	1,54	1,14	11,27
<b>Sum</b>	7987,41	14615,94	6628,53	64356,00
<b>Min</b>	0,00	0,65	0,11	3,00
<b>Max</b>	9,90	13,00	10,70	144,00
<b>25%</b>	0,93	2,00	0,60	6,00
<b>75%</b>	2,14	4,00	1,82	18,00
<b>Sk</b>	1,69	1,14	1,89	2,46
<b>Ku</b>	3,73	1,55	4,70	11,14
<b>Mode</b>	0,90	2,00	0,70	6,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	4967	4967	4967	4967
<b>Mean</b>	3,15	1,81	1,34	18,98
<b>Median</b>	2,80	1,49	1,00	15,00
<b>St. Dev.</b>	1,53	1,17	1,01	15,16
<b>Sum</b>	15663,32	8999,33	6663,99	94251,00
<b>Min</b>	0,60	0,00	0,10	3,00
<b>Max</b>	13,50	11,20	7,36	123,00
<b>25%</b>	2,00	1,00	0,62	9,00
<b>75%</b>	4,00	2,30	1,70	27,00
<b>Sk</b>	1,14	1,56	1,73	1,63
<b>Ku</b>	1,70	3,12	3,63	3,81
<b>Mode</b>	2,00	0,90	0,70	6,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	3642	3642	3642
<b>Mean</b>	3,17	3,18	10,43
<b>Median</b>	2,94	2,92	9,00
<b>St. Dev.</b>	1,68	1,68	8,94
<b>Sum</b>	11561,51	11595,44	37995,00
<b>Min</b>	0,40	0,39	3,00
<b>Max</b>	13,00	13,50	96,00
<b>25%</b>	1,90	1,88	6,00
<b>75%</b>	4,20	4,20	12,00
<b>Sk</b>	0,82	0,84	2,66
<b>Ku</b>	0,73	0,84	11,24
<b>Mode</b>	1,70	1,60	3,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,2.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	3990	3990	3990	3990
<b>Mean</b>	1,68	3,31	1,62	16,81
<b>Median</b>	1,36	2,94	1,21	12,00
<b>St. Dev.</b>	1,09	1,56	1,21	14,07
<b>Sum</b>	6720,96	13193,28	6472,32	67071,00
<b>Min</b>	0,00	0,65	0,11	3,00
<b>Max</b>	9,90	13,00	10,70	144,00
<b>25%</b>	0,90	2,10	0,77	6,00
<b>75%</b>	2,10	4,20	2,10	21,00
<b>Sk</b>	1,74	1,08	1,70	2,42
<b>Ku</b>	3,99	1,36	3,64	9,62
<b>Mode</b>	0,90	2,80	0,70	6,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	4123	4123	4123	4123
<b>Mean</b>	3,33	1,76	1,58	24,16
<b>Median</b>	3,00	1,40	1,22	21,00
<b>St. Dev.</b>	1,57	1,17	1,12	18,89
<b>Sum</b>	13733,62	7237,60	6496,02	99624,00
<b>Min</b>	0,65	0,00	0,12	3,00
<b>Max</b>	13,50	11,20	7,60	201,00
<b>25%</b>	2,10	0,91	0,78	9,00
<b>75%</b>	4,21	2,20	2,04	33,00
<b>Sk</b>	1,09	1,72	1,55	1,78
<b>Ku</b>	1,46	3,79	2,71	5,90
<b>Mode</b>	2,10	0,90	0,70	9,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	2135	2135	2135
<b>Mean</b>	3,23	3,24	14,01
<b>Median</b>	3,00	2,97	12,00
<b>St. Dev.</b>	1,78	1,80	12,35
<b>Sum</b>	6897,51	6919,68	29907,00
<b>Min</b>	0,42	0,39	3,00
<b>Max</b>	13,00	13,50	129,00
<b>25%</b>	1,80	1,80	6,00
<b>75%</b>	4,35	4,40	18,00
<b>Sk</b>	0,82	0,85	2,79
<b>Ku</b>	0,70	0,84	12,74
<b>Mode</b>	1,70	1,70	6,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,3.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	3550	3550	3550	3550
<b>Mean</b>	1,64	3,41	1,78	18,98
<b>Median</b>	1,30	3,08	1,40	15,00
<b>St. Dev.</b>	1,06	1,58	1,27	15,76
<b>Sum</b>	5802,78	12113,96	6311,18	67365,00
<b>Min</b>	0	0,80	0,16	3,00
<b>Max</b>	9,90	13,00	10,70	144,00
<b>25%</b>	0,90	2,20	0,89	9,00
<b>75%</b>	2,00	4,31	2,30	24,00
<b>Sk</b>	1,80	1,05	1,66	2,30
<b>Ku</b>	4,32	1,26	3,52	8,20
<b>Mode</b>	Multiple	2,40	0,70	9,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	3659	3659	3659	3659
<b>Mean</b>	3,43	1,70	1,73	27,96
<b>Median</b>	3,10	1,30	1,40	24,00
<b>St. Dev.</b>	1,60	1,15	1,18	21,59
<b>Sum</b>	12559,51	6218,68	6340,83	102309,00
<b>Min</b>	0,81	0,00	0,17	3,00
<b>Max</b>	13,50	11,20	11,10	201,00
<b>25%</b>	2,20	0,90	0,90	12,00
<b>75%</b>	4,36	2,10	2,24	36,00
<b>Sk</b>	1,06	1,86	1,52	1,87
<b>Ku</b>	1,34	4,55	3,03	5,62
<b>Mode</b>	2,10	0,90	0,70	12,00



- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	1571	1571	1571
<b>Mean</b>	3,19	3,21	17,14
<b>Median</b>	2,93	2,91	12,00
<b>St. Dev.</b>	1,80	1,83	14,35
<b>Sum</b>	5008,65	5036,77	26928,00
<b>Min</b>	0,42	0,39	3,00
<b>Max</b>	13,00	13,50	129,00
<b>25%</b>	1,70	1,70	9,00
<b>75%</b>	4,38	4,30	21,00
<b>Sk</b>	0,87	0,93	2,34
<b>Ku</b>	0,92	1,12	8,38
<b>Mode</b>	1,70	1,70	6,00

#### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,4.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	3281	3281	3281	3281
<b>Mean</b>	1,59	3,48	1,88	20,86
<b>Median</b>	1,30	3,11	1,50	15,00
<b>St. Dev.</b>	1,04	1,59	1,30	17,54
<b>Sum</b>	5230,11	11414,07	6183,96	68445,00
<b>Min</b>	0,00	0,80	1,16	3,00
<b>Max</b>	9,90	13,00	10,70	171,00
<b>25%</b>	0,90	2,26	0,96	9,00
<b>75%</b>	1,91	4,40	2,41	27,00
<b>Sk</b>	1,89	1,03	1,59	2,39
<b>Ku</b>	4,84	1,20	3,16	9,02
<b>Mode</b>	0,80	2,40	1,20	Multiple

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	3361	3361	3361	3361
<b>Mean</b>	3,49	1,64	1,85	30,65
<b>Median</b>	3,17	1,30	1,50	24,00
<b>St. Dev.</b>	1,62	1,12	1,23	22,66
<b>Sum</b>	11741,20	5530,50	6210,70	103026,00
<b>Min</b>	0,78	0,00	0,17	3,00
<b>Max</b>	13,50	11,20	11,10	222,00
<b>25%</b>	2,24	0,90	0,95	15,00
<b>75%</b>	4,42	2,00	2,40	39,00
<b>Sk</b>	1,05	2,04	1,44	1,79
<b>Ku</b>	1,32	5,73	2,63	5,81
<b>Mode</b>	2,10	0,80	0,70	15,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	1256	1256	1256
Mean	3,14	3,16	20,01
Median	2,86	2,86	15,00
St. Dev.	1,84	1,87	16,64
Sum	3944,70	3969,92	25131,00
Min	0,42	0,39	3,00
Max	13,00	13,50	129,00
25%	1,70	1,70	9,00
75%	4,40	4,36	18,00
Sk	0,89	0,96	2,22
Ku	0,86	1,14	6,96
Mode	0,90	Multiple	9,00

#### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,5.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	3101	3101	3101	3101
Mean	1,57	3,53	1,96	22,23
Median	1,27	3,20	1,57	18,00
St. Dev.	1,02	1,60	1,32	18,39
Sum	4864,46	10948,61	6084,15	68949,00
Min	0,00	0,80	0,16	3,00
Max	9,90	13,00	10,70	171,00
25%	0,90	2,30	1,00	9,00
75%	1,90	4,50	2,53	30,00
Sk	1,97	1,02	1,53	2,21
Ku	5,40	1,16	2,89	7,38
Mode	0,80	Multiple	1,20	12,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	3138	3138	3138	3138
Mean	3,55	1,61	1,95	33,15
Median	3,20	1,27	1,60	27,00
St. Dev.	1,62	1,10	1,28	24,76
Sum	11145,50	5038,40	6107,10	104019,00
Min	0,78	0,00	0,14	3,00
Max	13,50	11,20	11,10	252,00
25%	2,30	0,90	1,00	15,00
75%	4,50	1,90	2,57	42,00
Sk	1,04	2,12	1,40	2,02
Ku	1,32	6,37	2,41	7,54
Mode	2,10	0,90	1,40	21,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	1053	1053	1053
<b>Mean</b>	3,09	3,11	22,44
<b>Median</b>	2,80	2,80	18,00
<b>St. Dev.</b>	1,87	1,90	18,41
<b>Sum</b>	3256,32	3277,71	23634,00
<b>Min</b>	0,50	0,48	3,00
<b>Max</b>	13,00	13,50	138,00
<b>25%</b>	1,60	1,60	9,00
<b>75%</b>	4,30	4,30	30,00
<b>Sk</b>	0,94	1,02	2,19
<b>Ku</b>	1,03	1,35	6,88
<b>Mode</b>	0,90	Multiple	15,00

#### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,6.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	2942	2942	2942	2942
<b>Mean</b>	1,54	3,58	2,04	23,50
<b>Median</b>	1,22	3,25	1,64	18,00
<b>St. Dev.</b>	0,99	1,61	1,35	19,49
<b>Sum</b>	4524,34	10521,27	5996,93	69153,00
<b>Min</b>	0	0,80	0,16	3,00
<b>Max</b>	9,90	13,00	10,70	171,00
<b>25%</b>	0,90	2,30	1,10	12,00
<b>75%</b>	1,87	4,50	2,60	30,00
<b>Sk</b>	2,06	1,00	1,51	2,20
<b>Ku</b>	6,12	1,12	2,84	7,20
<b>Mode</b>	0,80	2,10	1,20	12,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	2976	2976	2976	2976
<b>Mean</b>	3,60	1,58	2,02	35,19
<b>Median</b>	3,30	1,23	1,70	30,00
<b>St. Dev.</b>	1,63	1,08	1,29	26,36
<b>Sum</b>	10718,44	4700,30	6018,14	104706,00
<b>Min</b>	0,78	0	0,14	3,00
<b>Max</b>	13,50	11,20	11,10	252,00
<b>25%</b>	2,31	0,90	1,100	18,00
<b>75%</b>	4,57	1,90	2,68	45,00
<b>Sk</b>	1,02	2,18	1,34	2,004
<b>Ku</b>	1,28	6,83	2,18	6,84
<b>Mode</b>	2,10	0,90	1,40	21,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	925	925	925
Mean	3,04	3,06	24,59
Median	2,70	2,72	18,00
St. Dev.	1,89	1,91	19,841
Sum	2811,51	2831,19	22743,00
Min	0,50	0,48	3,00
Max	13,00	13,50	138,00
25%	1,50	1,54	12,00
75%	4,30	4,20	33,00
Sk	1,04	1,11	2,12
Ku	1,30	1,63	6,26
Mode	0,90	0,80	15,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,7.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2820	2820	2820	2820
Mean	1,52	3,62	2,10	24,49
Median	1,20	3,30	1,70	18,00
St. Dev.	0,98	1,61	1,36	20,53
Sum	4281,24	10204,29	5923,05	69054,00
Min	0,00	0,80	0,18	3,00
Max	9,90	13,00	10,30	177,00
25%	0,89	2,38	1,10	12,00
75%	1,82	4,60	2,70	30,00
Sk	2,13	0,99	1,46	2,36
Ku	6,71	1,08	2,54	8,47
Mode	0,80	2,30	1,20	12,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2858	2858	2858	2858
Mean	3,63	1,55	2,08	36,80
Median	3,30	1,20	1,70	30,00
St. Dev.	1,63	1,05	1,31	27,14
Sum	10373,90	4436,80	5937,20	105180,00
Min	0,78	0,00	0,13	3,00
Max	13,50	11,20	11,10	252,00
25%	2,39	0,90	1,10	18,00
75%	4,60	1,88	2,78	48,00
Sk	1,01	2,25	1,30	1,92
Ku	1,25	7,51	2,03	6,06
Mode	Multiple	0,80	1,40	21,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	825	825	825
<b>Mean</b>	2,97	2,98	27,11
<b>Median</b>	2,52	2,55	21,00
<b>St. Dev.</b>	1,91	1,93	21,61
<b>Sum</b>	2452,57	2465,15	22368,00
<b>Min</b>	0,50	0,50	3,00
<b>Max</b>	13,00	13,50	138,00
<b>25%</b>	1,50	1,50	12,00
<b>75%</b>	4,20	4,18	36,00
<b>Sk</b>	1,12	1,20	1,98
<b>Ku</b>	1,49	1,85	4,98
<b>Mode</b>	0,90	2,00	15,00

#### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,8.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	2714	2714	2714	2714
<b>Mean</b>	1,50	3,65	2,15	25,42
<b>Median</b>	1,20	3,30	1,80	18,00
<b>St. Dev.</b>	0,96	1,62	1,38	21,37
<b>Sum</b>	4068,06	9918,12	5850,06	69003,00
<b>Min</b>	0,00	0,79	0,18	3,00
<b>Max</b>	9,90	13,00	10,30	177,00
<b>25%</b>	0,88	2,40	1,20	12,00
<b>75%</b>	1,80	4,60	2,80	33,00
<b>Sk</b>	2,19	0,98	1,43	2,38
<b>Ku</b>	7,26	1,07	2,50	8,40
<b>Mode</b>	0,80	2,30	1,20	12,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	2743	2743	2743	2743
<b>Mean</b>	3,66	1,52	2,14	38,53
<b>Median</b>	3,31	1,20	1,80	30,00
<b>St. Dev.</b>	1,63	1,02	1,33	28,41
<b>Sum</b>	10044,20	4184,10	5860,10	105699,00
<b>Min</b>	0,68	0,00	0,13	3,00
<b>Max</b>	13,50	11,20	11,10	252,00
<b>25%</b>	2,40	0,88	1,19	21,00
<b>75%</b>	4,60	1,80	2,80	51,00
<b>Sk</b>	1,00	2,30	1,28	1,92
<b>Ku</b>	1,26	8,13	1,94	5,81
<b>Mode</b>	2,00	0,80	1,40	21,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	751	751	751
Mean	2,94	2,95	29,16
Median	2,44	2,40	24,00
St. Dev.	1,94	1,95	23,12
Sum	2205,50	2213,96	21900,00
Min	0,40	0,50	3,00
Max	13,00	13,50	168,00
25%	1,40	1,40	15,00
75%	4,20	4,10	39,00
Sk	1,14	1,22	2,05
Ku	1,51	1,90	5,65
Mode	0,90	Multiple	15,00

#### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 0,9.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2625	2625	2625	2625
Mean	1,49	3,69	2,20	26,12
Median	1,20	3,34	1,80	21,00
St. Dev.	0,96	1,62	1,40	21,48
Sum	3900,51	9681,01	5780,50	68574,00
Min	0	0,79	0,20	3,00
Max	9,90	13,00	10,30	177,00
25%	0,88	2,40	1,20	12,00
75%	1,80	4,60	2,84	33,00
Sk	2,29	0,98	1,41	2,28
Ku	7,55	1,08	2,38	7,81
Mode	0,80	Multiple	1,20	12,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2654	2654	2654	2654
Mean	3,69	1,50	2,18	39,89
Median	3,38	1,20	1,87	33,00
St. Dev.	1,63	0,99	1,34	29,62
Sum	9784,90	3992,60	5792,30	105876,00
Min	0,68	0	0,13	3,00
Max	13,50	11,20	11,10	252,00
25%	2,40	0,88	1,20	21,00
75%	4,60	1,80	2,87	51,00
Sk	0,99	2,30	1,25	2,06
Ku	1,25	8,36	1,87	6,745
Mode	2,80	0,90	1,40	21,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	702	702	702
Mean	2,87	2,89	31,56
Median	2,38	2,33	24,00
St. Dev.	1,94	1,95	24,56
Sum	2017,51	2027,79	22152,00
Min	0,40	0,48	3,00
Max	13,00	13,50	168,00
25%	1,30	1,30	15,00
75%	4,10	4,00	39,00
Sk	1,21	1,26	1,86
Ku	1,75	2,05	4,24
Mode	0,90	0,80	15,00

#### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 1,0.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2529	2529	2529	2529
Mean	1,48	3,73	2,26	27,17
Median	1,20	3,40	1,90	21,00
St. Dev.	0,94	1,63	1,40	22,68
Sum	3710,33	9423,02	5712,69	68712,00
Min	0,00	0,79	0,17	3,00
Max	9,90	13,00	10,30	177,00
25%	0,86	2,50	1,22	12,00
75%	1,77	4,66	2,90	33,00
Sk	2,28	0,95	1,36	2,34
Ku	8,04	1,05	2,20	8,12
Mode	0,80	2,50	1,20	12,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2557	2557	2557	2557
Mean	3,72	1,48	2,24	41,31
Median	3,40	1,20	1,90	33,00
St. Dev.	1,63	0,97	1,35	30,16
Sum	9517,70	3793,40	5724,40	105621,00
Min	0,68	0,00	0,13	3,00
Max	13,50	11,20	11,10	252,00
25%	2,50	0,86	1,24	21,00
75%	4,64	1,80	2,90	54,00
Sk	0,98	2,34	1,26	1,98
Ku	1,24	8,92	1,97	6,33
Mode	2,80	0,80	1,40	21,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	663	663	663
Mean	2,83	2,85	33,59
Median	2,30	2,30	27,00
St. Dev.	1,97	1,97	25,85
Sum	1877,79	1887,94	22269,00
Min	0,40	0,48	3,00
Max	13,00	13,50	168,00
25%	1,21	1,26	15,00
75%	3,98	3,90	42,00
Sk	1,26	1,31	1,75
Ku	1,86	2,20	3,52
Mode	0,90	0,80	15,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 1,1.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2459	2459	2459	2459
Mean	1,45	3,75	2,30	27,86
Median	1,20	3,40	1,92	21,00
St. Dev.	0,93	1,63	1,41	23,11
Sum	3576,75	9232,16	5655,41	68511,00
Min	0,00	0,79	0,17	3,00
Max	9,90	13,00	10,30	186,00
25%	0,85	2,50	1,30	12,00
75%	1,71	4,70	3,00	36,00
Sk	2,34	0,94	1,33	2,35
Ku	8,55	1,03	2,12	8,16
Mode	0,80	2,50	1,20	18,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2482	2482	2482	2482
Mean	3,75	1,47	2,28	42,59
Median	3,43	1,20	1,97	36,00
St. Dev.	1,63	0,96	1,37	30,84
Sum	9307,30	3643,40	5663,90	105699,00
Min	0,68	0,00	0,13	3,00
Max	13,50	11,20	11,10	252,00
25%	2,50	0,85	1,30	21,00
75%	4,70	1,74	2,96	54,00
Sk	0,96	2,39	1,31	1,95
Ku	1,23	9,44	2,29	6,07
Mode	2,80	0,80	1,40	21,00



- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	628	628	628
<b>Mean</b>	2,77	2,82	35,66
<b>Median</b>	2,20	2,19	27,00
<b>St. Dev.</b>	1,96	1,95	26,91
<b>Sum</b>	1740,38	1747,32	22392,00
<b>Min</b>	0,40	0,48	3,00
<b>Max</b>	13,00	13,50	168,00
<b>25%</b>	1,20	1,22	15,00
<b>75%</b>	3,83	3,86	48,00
<b>Sk</b>	1,32	1,37	1,61
<b>Ku</b>	2,09	2,47	2,80
<b>Mode</b>	0,90	0,80	15,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 1,2.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	2399	2399	2399	2399
<b>Mean</b>	1,45	3,79	2,34	28,49
<b>Median</b>	1,20	3,50	2,0	21,00
<b>St. Dev.</b>	0,92	1,63	1,4	23,42
<b>Sum</b>	3470,59	9079,78	5609,19	68337,00
<b>Min</b>	0	0,79	0,17	3,00
<b>Max</b>	9,90	13,50	10,30	186,00
<b>25%</b>	0,85	2,50	1,30	12,00
<b>75%</b>	1,70	4,70	3,05	36,00
<b>Sk</b>	2,37	0,95	1,30	2,31
<b>Ku</b>	8,915834	1,11	2,02	7,98
<b>Mode</b>	0,80	2,40	1,20	Multiple

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	2427	2427	2427	2427
<b>Mean</b>	3,77	1,46	2,31	43,49
<b>Median</b>	3,50	1,20	2,00	36,00
<b>St. Dev.</b>	1,64	0,95	1,38	31,36
<b>Sum</b>	9155,20	3538,10	5617,2	105555,0
<b>Min</b>	0,68	0,00	0,13	3,00
<b>Max</b>	13,50	11,20	11,10	252,00
<b>25%</b>	2,50	0,85	1,30	21,00
<b>75%</b>	4,70	1,71	3,00	57,00
<b>Sk</b>	0,96	2,43	1,29	1,94
<b>Ku</b>	1,22	9,90	2,20	5,99
<b>Mode</b>	2,80	Multiple	1,40	Multiple

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	603	603	603
Mean	2,70	2,71	37,66
Median	2,04	2,00	30,00
St. Dev.	1,94	1,92	28,19
Sum	1626,59	1633,02	22710,00
Min	0,40	0,48	3,00
Max	11,40	11,80	168,00
25%	1,13	1,20	18,00
75%	3,80	3,79	48,00
Sk	1,24	1,29	1,60
Ku	1,42	1,62	2,62
Mode	0,90	0,80	15,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 1,3.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2345	2345	2345	2345
Mean	1,43	3,81	2,37	29,24
Median	1,20	3,50	2,00	21,00
St. Dev.	0,91	1,63	1,42	24,69
Sum	3364,70	8927,45	5562,75	68562,00
Min	0,00	0,79	0,17	3,00
Max	9,90	13,50	10,30	201,00
25%	0,84	2,57	1,33	12,00
75%	1,70	4,75	3,10	36,00
Sk	2,35	0,94	1,28	2,46
Ku	8,93	1,11	1,97	8,88
Mode	0,80	Multiple	Multiple	12,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2372	2372	2372	2372
Mean	3,80	1,45	2,35	44,41
Median	3,50	1,20	2,01	36,00
St. Dev.	1,64	0,94	1,38	31,91
Sum	9007,00	3434,60	5572,40	105342,00
Min	0,68	0,00	0,13	3,00
Max	13,50	11,20	11,10	252,00
25%	2,57	0,84	1,36	24,00
75%	4,76	1,70	3,06	57,00
Sk	0,95	2,47	1,27	1,91
Ku	1,21	10,36	2,16	5,71
Mode	2,80	Multiple	1,40	21,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	574	574	574
Mean	2,65	2,67	39,54
Median	2,00	1,98	30,00
St. Dev.	1,94	1,92	29,11
Sum	1523,65	1531,77	22698,00
Min	0,40	0,48	3,00
Max	11,40	11,80	168,00
25%	1,10	1,20	18,00
75%	3,70	3,70	51,00
Sk	1,30	1,35	1,51
Ku	1,55	1,80	2,24
Mode	0,90	0,80	15,00

#### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 1,4.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2274	2274	2274	2274
Mean	1,43	3,85	2,42	29,97
Median	1,20	3,58	2,09	21,00
St. Dev.	0,91	1,63	1,42	25,52
Sum	3259,02	8758,01	5498,99	68157,00
Min	0,00	0,79	0,17	3,00
Max	9,90	13,50	10,30	219,00
25%	0,84	2,60	1,40	15,00
75%	1,70	4,80	3,17	39,00
Sk	2,39	0,93	1,28	2,40
Ku	9,18	1,10	2,00	8,28
Mode	0,80	3,20	1,30	18,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2300	2300	2300	2300
Mean	3,84	1,44	2,40	45,66
Median	3,56	1,20	2,10	36,00
St. Dev.	1,63	0,94	1,39	33,04
Sum	8836,90	3323,10	5513,80	105027,00
Min	0,68	0,00	0,13	3,00
Max	13,50	11,20	11,10	273,00
25%	2,60	0,84	1,40	24,00
75%	4,80	1,70	3,10	57,00
Sk	0,95	2,50	1,24	1,96
Ku	1,25	10,72	2,06	6,01
Mode	Multiple	0,80	1,40	21,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	562	562	562
Mean	2,58	2,61	41,67
Median	1,91	1,90	33,00
St. Dev.	1,91	1,90	30,61
Sum	1453,28	1466,59	23418,00
Min	0,30	0,40	3,00
Max	11,20	11,80	174,00
25%	1,10	1,13	21,00
75%	3,62	3,60	54,00
Sk	1,28	1,33	1,50
Ku	1,26	1,62	2,26
Mode	0,90	0,80	24,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 1,5.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2235	2235	2235	2235
Mean	1,42	3,87	2,44	30,68
Median	1,19	3,60	2,10	24,00
St. Dev.	0,90	1,63	1,42	26,25
Sum	3180,51	8641,60	5461,09	68574,00
Min	0,00	0,79	0,17	3,00
Max	9,90	13,50	10,30	201,00
25%	0,84	2,60	1,40	15,00
75%	1,70	4,80	3,20	39,00
Sk	2,42	0,92	1,25	2,39
Ku	9,61	1,11	1,94	7,96
Mode	0,80	2,40	1,40	18,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2260	2260	2260	2260
Mean	3,85	1,43	2,42	46,76
Median	3,60	1,18	2,10	39,00
St. Dev.	1,62	0,91	1,39	34,19
Sum	8707,20	3233,70	5473,50	105684,00
Min	0,68	0,00	0,13	3,00
Max	11,80	8,30	11,10	273,00
25%	2,60	0,83	1,40	24,00
75%	4,80	1,70	3,14	60,00
Sk	0,87	2,22	1,23	1,98
Ku	0,84	6,89	2,01	5,81
Mode	2,40	Multiple	1,40	21,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	526	526	526
Mean	2,56	2,58	42,48
Median	1,80	1,87	33,00
St. Dev.	1,93	1,90	30,75
Sum	1347,10	1357,95	22344,00
Min	0,30	0,42	6,00
Max	13,50	11,80	180,00
25%	1,10	1,10	21,00
75%	3,61	3,60	54,00
Sk	1,42	1,36	1,56
Ku	2,30	1,72	2,64
Mode	0,90	Multiple	24,00

#### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 1,6.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2190	2190	2190	2190
Mean	1,42	3,89	2,47	31,26
Median	1,18	3,60	2,10	24,00
St. Dev.	0,88	1,63	1,43	26,76
Sum	3100,75	8517,09	5416,34	68466,00
Min	0,00	0,79	0,17	3,00
Max	9,90	13,50	10,30	201,00
25%	0,84	2,66	1,40	15,00
75%	1,70	4,86	3,21	39,00
Sk	2,40	0,90	1,24	2,32
Ku	9,69	1,11	1,95	7,25
Mode	0,80	3,20	1,30	18,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2220	2220	2220	2220
Mean	3,87	1,43	2,44	47,56
Median	3,60	1,18	2,10	39,00
St. Dev.	1,62	0,90	1,40	34,65
Sum	8598,30	3168,70	5429,60	105576,00
Min	0,68	0,00	0,13	3,00
Max	11,80	8,30	11,10	321,00
25%	2,65	0,84	1,40	24,00
75%	4,82	1,70	3,20	60,00
Sk	0,86	2,18	1,20	2,06
Ku	0,84	6,67	1,93	6,79
Mode	3,20	0,80	1,40	24,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	509	509	509
Mean	2,56	2,58	44,32
Median	1,80	1,85	36,00
St. Dev.	1,98	1,94	31,56
Sum	1304,16	1315,89	22560,00
Min	0,30	0,42	6,00
Max	13,50	11,80	180,00
25%	1,04	1,10	21,00
75%	3,62	3,60	57,00
Sk	1,43	1,36	1,54
Ku	2,18	1,61	2,66
Mode	0,90	1,00	24,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 1,7.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2155	2155	2155	2155
Mean	1,41	3,90	2,49	31,89
Median	1,17	3,60	2,13	24,00
St. Dev.	0,87	1,63	1,43	27,27
Sum	3032,21	8405,08	5372,87	68733,00
Min	0,00	0,59	0,17	3,00
Max	9,90	13,50	10,30	201,00
25%	0,84	2,69	1,44	15,00
75%	1,70	4,87	3,26	39,00
Sk	2,44	0,90	1,21	2,32
Ku	10,16	1,12	1,89	7,33
Mode	0,80	Multiple	1,70	18,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2187	2187	2187	2187
Mean	3,88	1,42	2,46	48,24
Median	3,60	1,17	2,10	39,00
St. Dev.	1,62	0,88	1,40	34,96
Sum	8490,40	3100,40	5390,10	105504,00
Min	0,59	0,00	0,13	3,00
Max	11,80	8,30	11,10	273,00
25%	2,67	0,84	1,43	24,00
75%	4,86	1,70	3,20	63,00
Sk	0,85	2,15	1,18	1,96
Ku	0,84	6,60	1,89	5,72
Mode	Multiple	0,90	1,40	24,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	489	489	489
Mean	2,53	2,56	45,74
Median	1,70	1,80	36,00
St. Dev.	1,99	1,96	32,10
Sum	1237,53	1253,20	22365,00
Min	0,30	0,42	6,00
Max	13,50	11,80	183,00
25%	1,07	1,10	24,00
75%	3,42	3,53	60,00
Sk	1,50	1,41	1,49
Ku	2,41	1,71	2,65
Mode	0,90	Multiple	30,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 1,8.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2115	2115	2115	2115
Mean	1,40	3,92	2,52	32,26
Median	1,17	3,62	2,20	24,00
St. Dev.	0,87	1,63	1,43	27,34
Sum	2966,33	8299,49	5333,16	68223,00
Min	0,00	0,59	0,17	3,00
Max	9,90	13,50	10,30	219,00
25%	0,84	2,70	1,50	15,00
75%	1,70	4,90	3,30	39,00
Sk	2,48	0,89	1,19	2,27
Ku	10,41	1,09	1,82	6,96
Mode	0,80	3,20	1,30	18,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2146	2146	2146	2146
Mean	3,91	1,42	2,49	49,33
Median	3,60	1,17	2,18	39,00
St. Dev.	1,62	0,88	1,41	36,64
Sum	8387,60	3034,60	5352,90	105867,00
Min	0,59	0,00	0,12	3,00
Max	11,80	8,30	11,10	321,00
25%	2,70	0,84	1,50	24,00
75%	4,89	1,70	3,29	63,00
Sk	0,85	2,19	1,17	2,15
Ku	0,82	6,79	1,84	7,16
Mode	3,20	0,80	1,40	24,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	479	479	479
Mean	2,51	2,54	47,00
Median	1,70	1,73	36,00
St. Dev.	1,98	1,95	33,17
Sum	1199,98	1218,24	22512,00
Min	0,30	0,30	6,00
Max	13,50	11,80	183,00
25%	1,02	1,10	24,00
75%	3,35	3,50	60,00
Sk	1,54	1,44	1,48
Ku	2,62	1,84	2,36
Mode	0,90	0,80	30,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 1,9.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2086	2086	2086	2086
Mean	1,39	3,93	2,54	32,74
Median	1,15	3,64	2,20	24,00
St. Dev.	0,85	1,63	1,43	27,94
Sum	2898,61	8203,63	5305,02	68295,00
Min	0,00	0,59	0,17	3,00
Max	9,90	13,50	10,30	267,00
25%	0,85	2,70	1,50	15,00
75%	1,65	4,90	3,30	42,00
Sk	2,37	0,87	1,17	2,38
Ku	9,42	1,05	1,79	8,38
Mode	0,80	3,20	1,30	18,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2118	2118	2118	2118
Mean	3,92	1,40	2,51	49,87
Median	3,61	1,15	2,20	39,00
St. Dev.	1,62	0,86	1,41	36,95
Sum	8298,00	2972,90	5325,10	105636,00
Min	0,59	0,00	0,12	3,00
Max	11,80	6,69	11,10	321,00
25%	2,70	0,84	1,50	24,00
75%	4,90	1,70	3,30	63,00
Sk	0,83	2,10	1,15	2,13
Ku	0,77	5,77	1,76	6,99
Mode	3,20	0,80	1,40	24,00



- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	469	469	469
Mean	2,51	2,55	48,34
Median	1,70	1,70	39,00
St. Dev.	2,00	1,98	35,15
Sum	1178,10	1196,65	22671,00
Min	0,30	0,30	6,00
Max	13,50	11,80	222,00
25%	1,07	1,10	24,00
75%	3,35	3,50	63,00
Sk	1,58	1,49	1,68
Ku	2,78	2,03	3,52
Mode	0,90	0,80	Multiple

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 2,0.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2059	2059	2059	2059
Mean	1,38	3,94	2,56	33,40
Median	1,15	3,67	2,20	24,00
St. Dev.	0,84	1,63	1,43	28,72
Sum	2844,97	8118,43	5273,46	68763,00
Min	0,00	0,59	0,17	3,00
Max	9,90	13,50	10,30	267,00
25%	0,83	2,72	1,50	15,00
75%	1,64	4,90	3,30	42,00
Sk	2,38	0,88	1,17	2,37
Ku	9,80	1,07	1,84	8,11
Mode	0,80	3,20	2,10	18,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	2089	2089	2089	2089
Mean	3,93	1,39	2,53	50,42
Median	3,63	1,15	2,20	42,00
St. Dev.	1,62	0,85	1,41	36,93
Sum	8204,90	2914,70	5290,30	105324,00
Min	0,59	0,00	0,12	3,00
Max	11,80	6,69	11,10	291,00
25%	2,70	0,83	1,50	27,00
75%	4,90	1,66	3,30	63,00
Sk	0,83	2,13	1,14	2,03
Ku	0,77	5,98	1,72	6,04
Mode	Multiple	0,90	1,40	Multiple

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	463	463	463
<b>Mean</b>	2,52	2,56	48,63
<b>Median</b>	1,70	1,70	39,00
<b>St. Dev.</b>	2,01	1,99	35,20
<b>Sum</b>	1168,73	1183,99	22515,00
<b>Min</b>	0,30	0,30	6,00
<b>Max</b>	13,50	11,80	222,00
<b>25%</b>	1,08	1,10	24,00
<b>75%</b>	3,37	3,52	63,00
<b>Sk</b>	1,57	1,48	1,69
<b>Ku</b>	2,68	1,98	3,61
<b>Mode</b>	0,90	0,80	30,00

#### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 2,5.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	1930	1930	1930	1930
<b>Mean</b>	1,36	4,01	2,65	35,52
<b>Median</b>	1,13	3,73	2,30	27,00
<b>St. Dev.</b>	0,78	1,62	1,45	31,07
<b>Sum</b>	2624,65	7744,93	5120,28	68544,00
<b>Min</b>	0,00	0,59	0,17	3,00
<b>Max</b>	6,00	13,50	12,20	267,00
<b>25%</b>	0,82	2,80	1,60	15,00
<b>75%</b>	1,61	4,98	3,40	45,00
<b>Sk</b>	1,98	0,85	1,24	2,42
<b>Ku</b>	5,18	1,11	2,52	8,44
<b>Mode</b>	0,80	3,60	Multiple	18,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
<b>N</b>	1952	1952	1952	1952
<b>Mean</b>	3,99	1,35	2,63	53,92
<b>Median</b>	3,70	1,10	2,30	42,00
<b>St. Dev.</b>	1,63	0,78	1,45	40,31
<b>Sum</b>	7783,80	2640,40	5143,40	105243,00
<b>Min</b>	0,59	0,00	0,10	3,00
<b>Max</b>	13,50	6,69	12,80	441,00
<b>25%</b>	2,80	0,80	1,60	27,00
<b>75%</b>	4,91	1,60	3,40	69,00
<b>Sk</b>	0,82	2,03	1,13	2,27
<b>Ku</b>	1,07	5,92	2,03	8,95
<b>Mode</b>	3,60	0,80	1,40	24,00

- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	413	413	413
Mean	2,29	2,44	55,24
Median	1,60	1,61	45,00
St. Dev.	1,94	1,92	38,94
Sum	987,44	1009,05	22815,00
Min	0,30	0,30	6,00
Max	9,90	10,00	255,00
25%	0,97	1,06	27,00
75%	3,22	3,45	75,00
Sk	1,38	1,36	1,57
Ku	1,20	1,16	3,29
Mode	0,90	0,80	30,00

### Καταστάσεις θάλασσας με σφάλμα αναπαράστασης 3,0.

- Στατιστική ανάλυση για αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	1804	1804	1804	1804
Mean	1,34	4,08	2,737	37,49
Median	1,13	3,80	2,40	27,00
St. Dev.	0,75	1,63	1,46	34,70
Sum	2422,63	7359,87	4937,24	67638,00
Min	0,00	0,59	0,10	3,00
Max	6,00	13,50	12,20	378,00
25%	0,82	2,90	1,73	15,00
75%	1,60	5,04	3,50	45,00
Sk	1,99	0,80	1,19	2,85
Ku	5,62	1,06	2,43	13,00
Mode	0,80	3,20	1,80	18,00

- Στατιστική ανάλυση για αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta H_s$	$\Delta\tau$
N	1828	1828	1828	1828
Mean	4,05	1,33	2,72	57,00
Median	3,80	1,11	2,40	45,00
St. Dev.	1,64	0,75	1,47	44,14
Sum	7408,60	2439,00	4969,60	104196,00
Min	0,59	0,00	0,10	3,00
Max	13,50	6,69	12,80	504,00
25%	2,87	0,80	1,69	30,00
75%	5,00	1,60	3,50	72,00
Sk	0,79	1,97	1,04	2,87
Ku	1,04	5,74	1,79	15,87
Mode	Multiple	0,90	1,70	Multiple

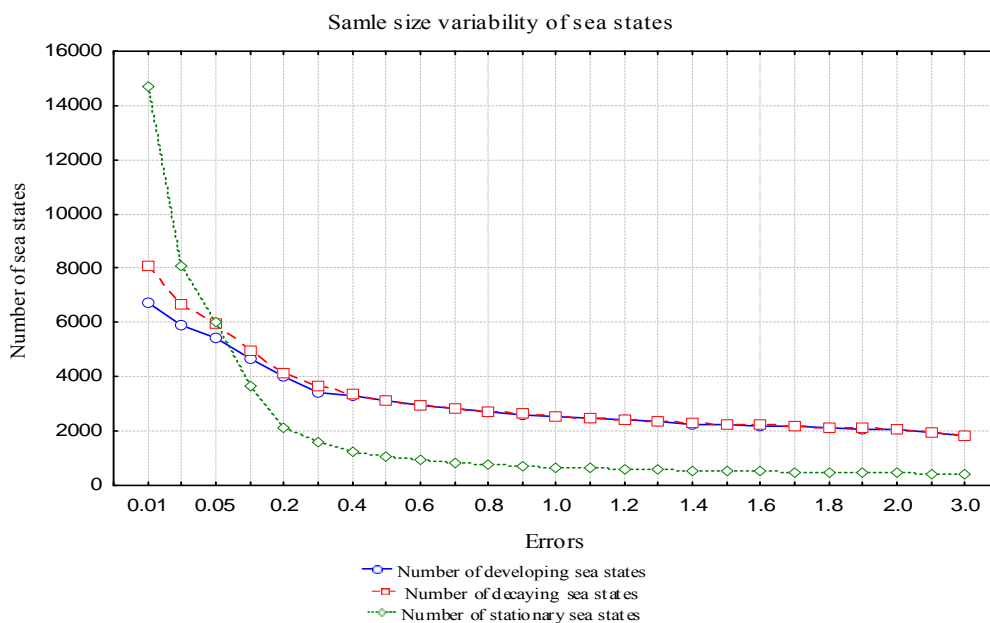
- Στατιστική ανάλυση για στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.

Στατιστικές Παράμετροι	$H_{s,beg}$	$H_{s,end}$	$\Delta\tau$
N	409	409	409
Mean	2,29	2,36	60,58
Median	1,50	1,60	51,00
St. Dev.	1,86	1,85	41,59
Sum	935,04	965,88	24768,00
Min	0,30	0,30	9,00
Max	9,22	9,27	255,00
25%	0,91	1,01	30,00
75%	3,04	3,22	81,00
Sk	1,38	1,36	1,54
Ku	1,04	1,04	2,92
Mode	0,90	Multiple	Multiple

Όπως μπορεί να παρατηρήσει κανείς, όλες οι μέσες τιμές της διάρκειας όλων των καταστάσεων θάλασσας για όλα τις τιμές του μέγιστου σφάλματος, συνεχώς αυξάνονται. Οι μέσες τιμές των  $\Delta H_s$  που αντιστοιχούν σε αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας είναι μεγαλύτερες από τις τιμές που αντιστοιχούν στις αποσβενύμενες. Οι μέσες τιμές των  $\Delta H_s$  που αντιστοιχούν στις στάσιμες καταστάσεις θάλασσας παρουσιάζονται επί το πλείστον να είναι μηδέν, όπως ήταν αναμενόμενο.

#### 4.2.3. Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

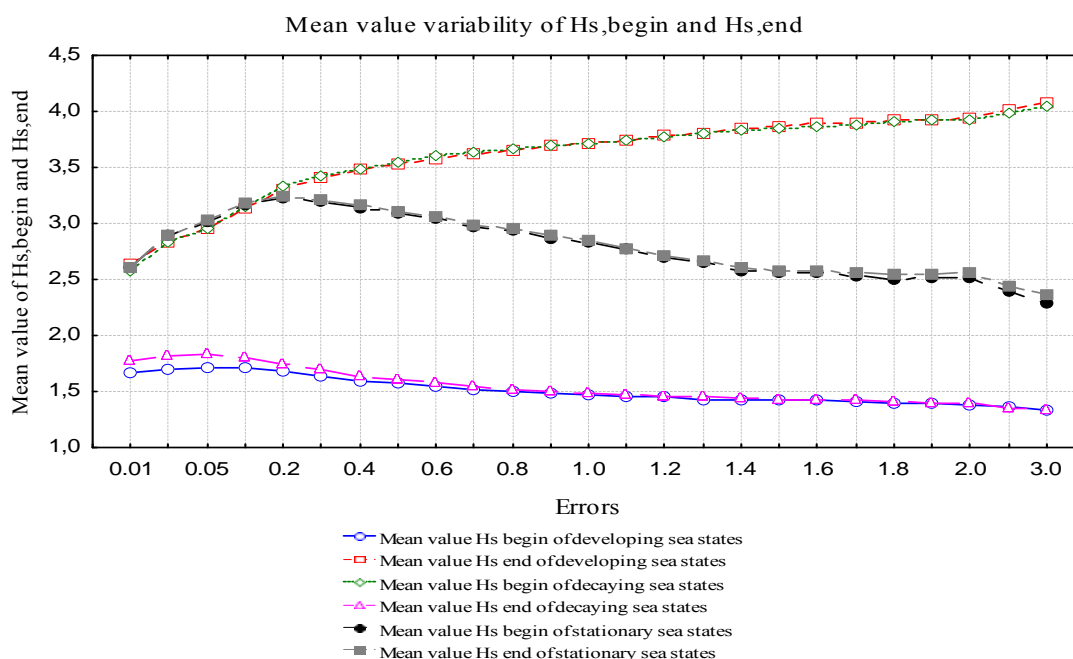
Στο διάγραμμα 1 παρατηρούμε το πλήθος των τριών καταστάσεων θάλασσας να ελαττώνεται συνεχώς καθώς μεγαλώνει η τιμή του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος.



Διάγραμμα 1: Ρυθμός μεταβολής των πληθυσμών των τριών καταστάσεων θάλασσας σε σχέση με το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα.

Με την αύξηση των τιμών που λαμβάνει το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα, ο αλγόριθμος κατάτμησης σχηματίζει όλο και μεγαλύτερα σε μήκος τμήματα (segments) και έτσι το πλήθος και των τριών καταστάσεων θάλασσας μειώνεται. Όταν το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα λαμβάνει τιμές από 0.01 μέχρι και 0.5, το πλήθος των τριών καταστάσεων θάλασσας μειώνεται με γρηγορότερο ρυθμό από ότι στις περιοχές των μεγαλύτερων τιμών. Το πλήθος των στάσιμων καταστάσεων μέχρι την τιμή 0.05 είναι μεγαλύτερος από το πλήθος των αναπτυσσόμενων και αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας. Καθώς το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα παίρνει μεγαλύτερες τιμές, το πλήθος των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας τείνει να σταθεροποιηθεί προς μια μικρή τιμή. Το πλήθος των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας όταν το μέγιστο σφάλμα κυμαίνεται από τις τιμές 0.01 μέχρι και 0.1, είναι μικρότερος από το πλήθος των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας αλλά αυτό αλλάζει καθώς το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα παίρνει την τιμή 0.4. Από αυτή την τιμή και μετά η διαφορά μεταξύ του πλήθους των αναπτυσσόμενων και αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας όλο και μικραίνει. Το γεγονός αυτό έρχεται σε πλήρη συμφωνία με το φυσικό φαινόμενο των αναπτυσσόμενων και αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας.

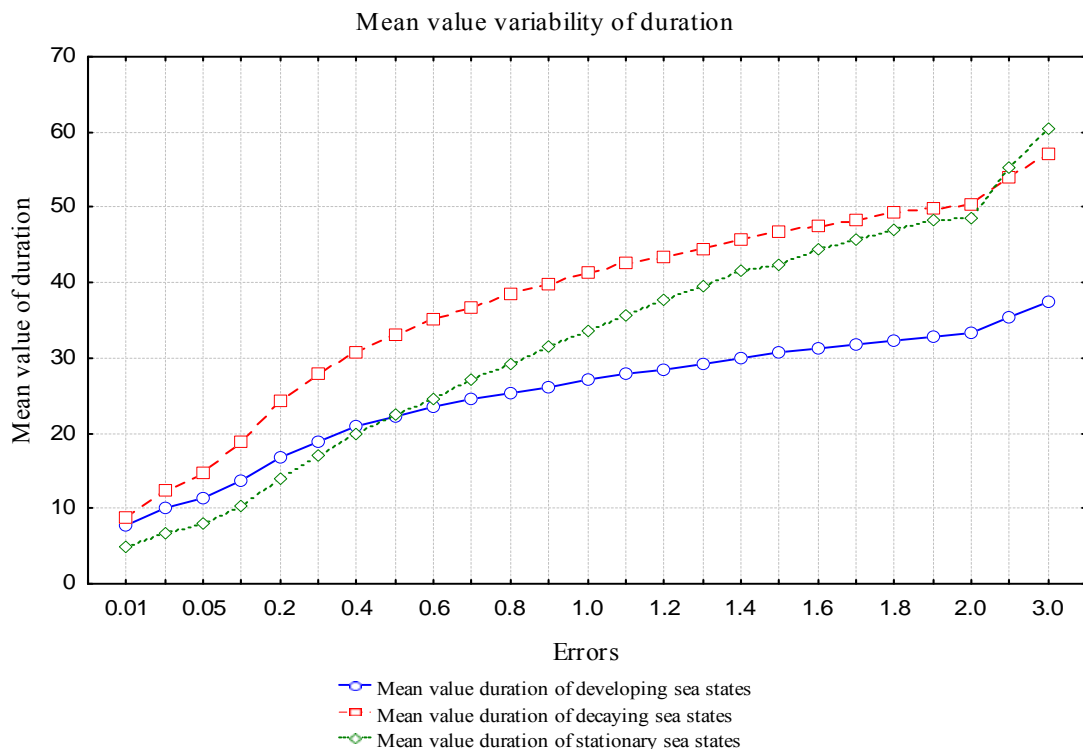
Στο διάγραμμα 2 παρατηρούμε τον ρυθμό μεταβολής της μέσης τιμής του αρχικού και τελικού σημαντικού ύψους κύματος των τμημάτων, για τις τρεις καταστάσεις θάλασσας. Όσο αφορά τις στάσιμες καταστάσεις θάλασσας, όπως ήταν αναμενόμενο, το αρχικό και το τελικό σημαντικό ύψος κύματος συμπίπτει. Μέχρι την τιμή 0.2 του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος, οι μέσες τιμές των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας συμπίπτουν με τις μέσες τιμές του τελικού  $H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας και του αρχικού  $H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας. Οι μέσες τιμές της διακύμανσης των υψών των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μειώνονται με σταθερό ρυθμό μέχρι την τιμή 1,4 του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος, τείνουν να σταθεροποιηθούν μέχρι την τιμή 2.0 και μετά αρχίζουν να μειώνονται ξανά.



Διάγραμμα 2: Ρυθμός μεταβολής της μέσης τιμής του αρχικού και τελικού σημαντικού ύψους κύματος των τμημάτων σε σχέση με το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα.

Οι μέσες τιμές των τελικών  $H_s$  των αναπτυσσόμενων και των αρχικών  $H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας τείνουν να συμπίπτουν για όλες τις τιμές των μέγιστων επιτρεπόμενων σφαλμάτων. Μέχρι την τιμή 0.2 του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος, οι τιμές αυξάνονται με γρήγορο ρυθμό και από τις τιμές 0.4 μέχρι και 2.0, η αύξηση είναι αισθητή αλλά με μικρότερο ρυθμό και από την τιμή 2.0 μέχρι το τέλος τείνουν να αυξηθούν με εντονότερο ρυθμό. Οι μέσες τιμές των τελικών  $H_s$  των αποσβενύμενων και των αρχικών  $H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας τείνουν να συμπίπτουν για όλες σχεδόν τις τιμές των μέγιστων επιτρεπόμενων σφαλμάτων. Μέχρι την τιμή 0.4 του μέγιστου σφάλματος, η μεταξύ τους διαφορά ελαχιστοποιείται και στη συνέχεια οι μέσες τιμές μειώνονται με αργότερο ρυθμό.

Στο διάγραμμα 3 παρατηρούμε τον ρυθμό μεταβολής της μέσης τιμής της διάρκειας των τριών καταστάσεων θάλασσας σε σχέση με την αύξηση των τιμών του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος. Οι στάσιμες καταστάσεις θάλασσας παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά με τις αναπτυσσόμενες και αποσβενύμενες καταστάσεις με μία σχεδόν σταθερή αύξηση μέχρι την τιμή 2.0 του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος. Στην περιοχή των τιμών 2.5 και 3.0 η αύξηση που παρατηρείται είναι εντονότερη από την αύξηση που παρατηρείται στην ίδια περιοχή των άλλων δύο καταστάσεων. Η συνεχής αύξηση που παρατηρείται στις διάρκειες και των τριών καταστάσεων οφείλεται στο γεγονός ότι όταν αυξάνονται οι τιμές του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος του αλγόριθμου κατάτμησης αυξάνεται το μήκος των τμημάτων και έτσι και οι διάρκειες των τμημάτων (καταστάσεων).



Διάγραμμα 3: Ρυθμός μεταβολής της μέσης διάρκειας των τριών καταστάσεων θάλασσας σε σχέση με το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα.

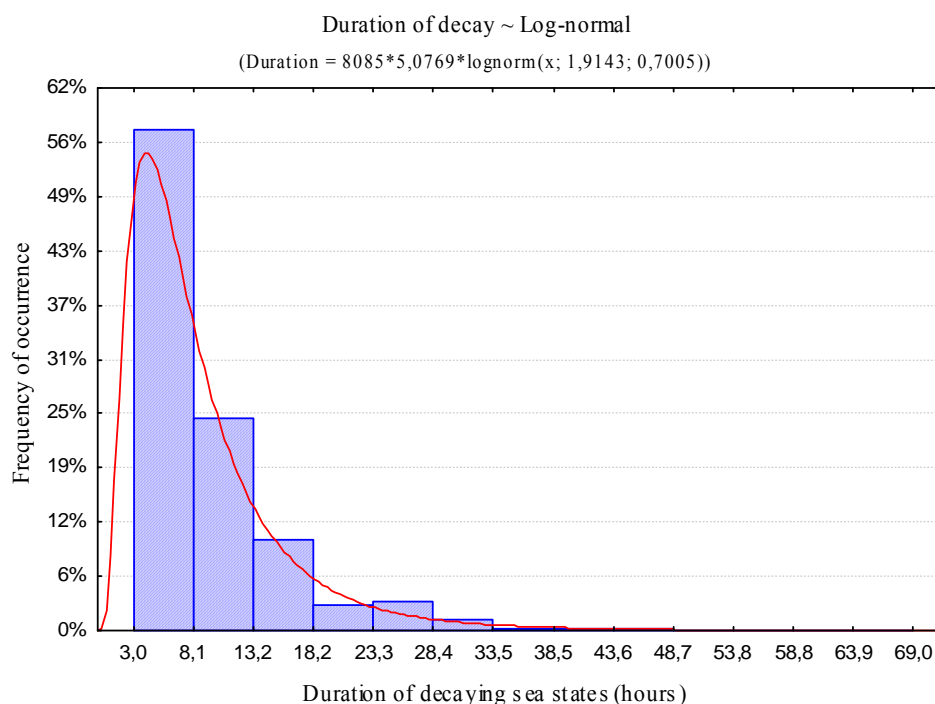
Επίσης, παρατηρείται ότι οι μέσες διάρκειες των αναπτυσσόμενων και των αποσβενύμενων καταστάσεων έχουν την ίδια σχεδόν συμπεριφορά με την διαφορά ότι οι μέσες διάρκειες των αναπτυσσόμενων καταστάσεων είναι μικρότερες αυτών των αποσβενύμενων. Αναλυτικότερα, οι μέσες διάρκειες έχουν εντονότερη αύξηση στην περιοχή των τιμών 0.1 με 0.6 και στη συνέχεια μια αύξηση μικρότερου ρυθμού σε σχέση με την προηγούμενη, με μικρή τάση σταθεροποίησης στην περιοχή των τιμών 1.9 με 2.0. Στις τιμές 2.5 και 3.0 παρατηρείται αύξηση έντονου ρυθμού. Τέλος, οι μέσες διάρκειες των αποσβενύμενων καταστάσεων είναι μεγαλύτερες από αυτές των αναπτυσσόμενων καταστάσεων. Αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι ο ρυθμός ανάπτυξης μιας κατάστασης θάλασσας είναι γρηγορότερος από τον ρυθμό απόσβεσής της.

#### 4.2.4. Ανάλυση των διαρκειών των καταστάσεων θάλασσας

Στη συνέχεια, εξετάζεται η στοχαστική συμπεριφορά της διάρκειας των αναπτυσσόμενων, αποσβενύμενων και στάσιμων καταστάσεων θάλασσας για όλα τα σφάλματα που εξετάστηκαν, όπως αυτές προήλθαν από τον αλγόριθμο κατάτμησης.

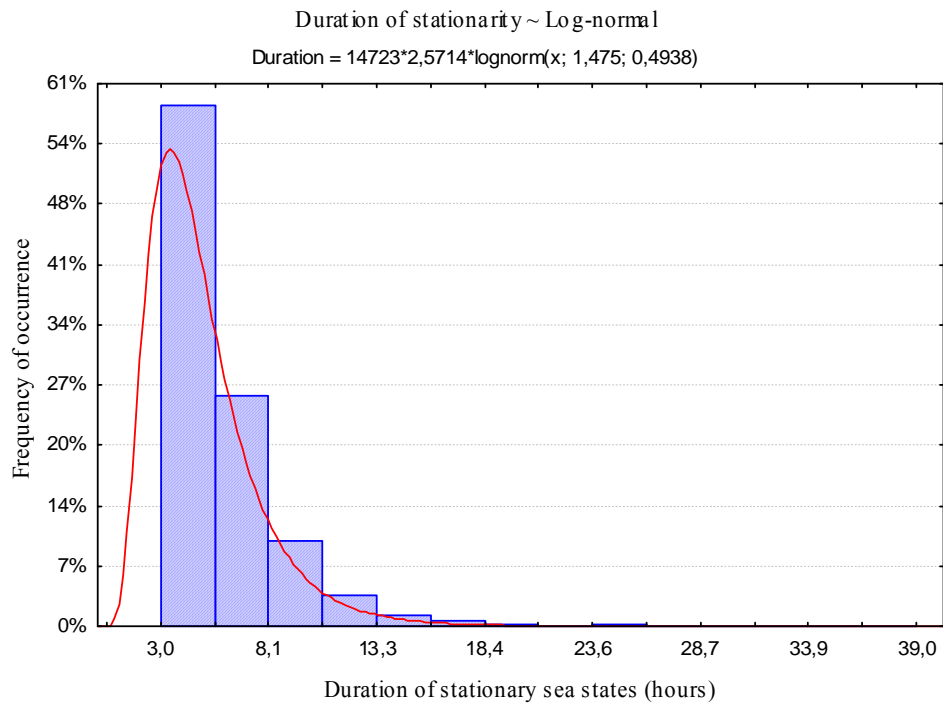
##### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,01.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας  
Σε αυτή την περίπτωση, καμία κατανομή δεν μπορούσε να περιγράψει ικανοποιητικά την διάρκεια των αναπτυσσόμενων καταστάσεων.
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.



Διάγραμμα 4: Ιστογράμμο της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

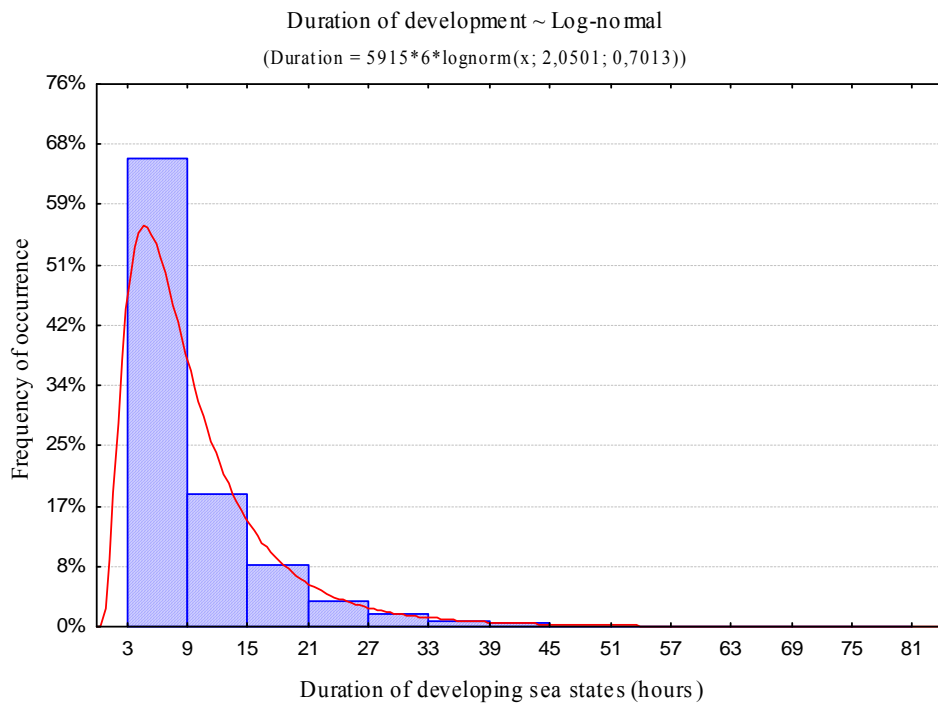
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 5: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal

**Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,03.**

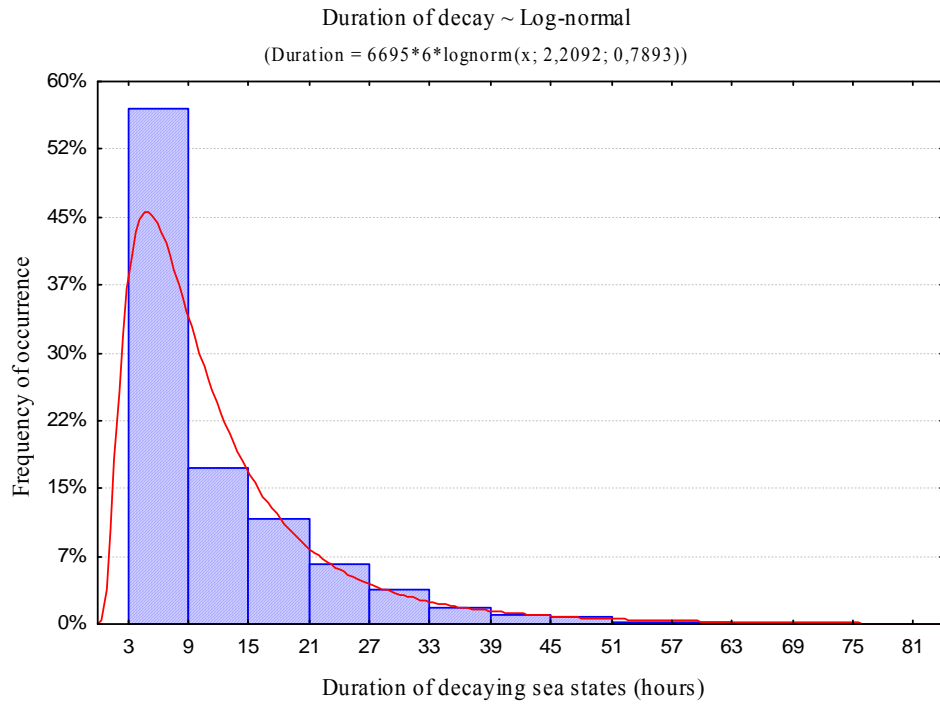
- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 6: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

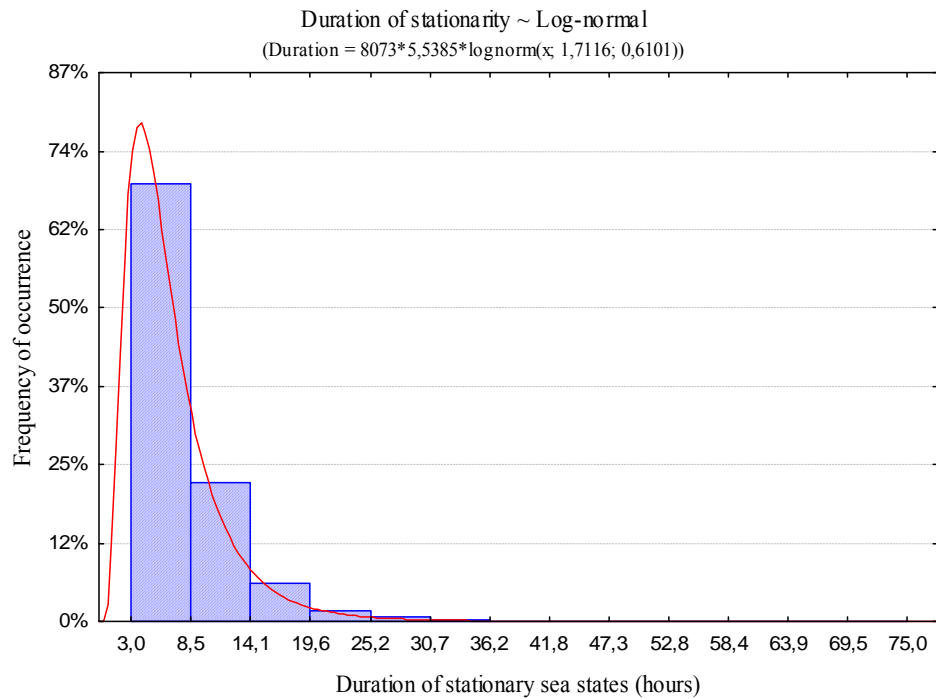


- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.



Διάγραμμα 7: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

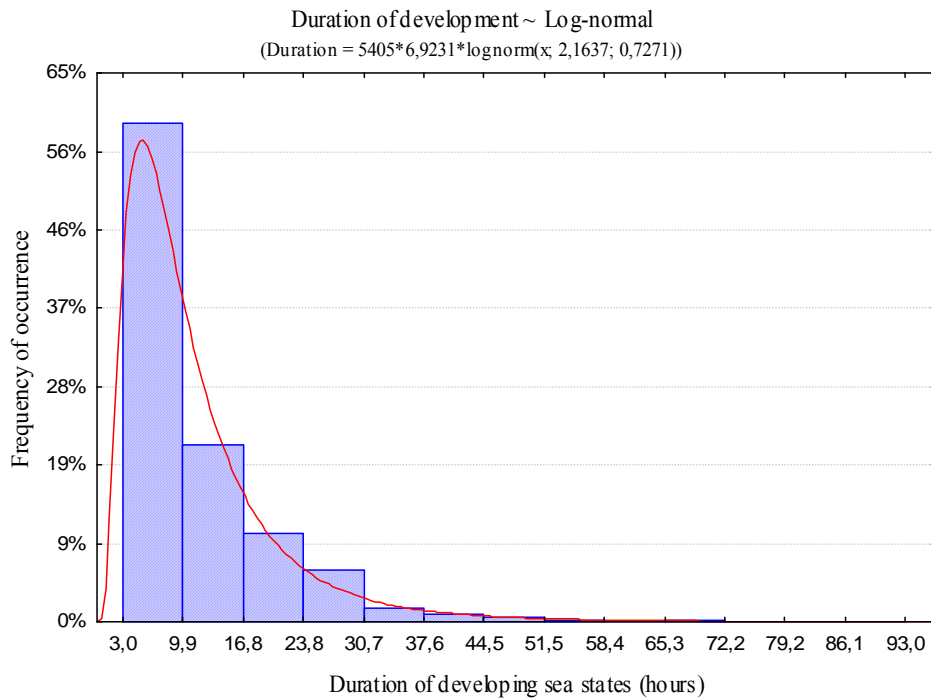
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 8: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

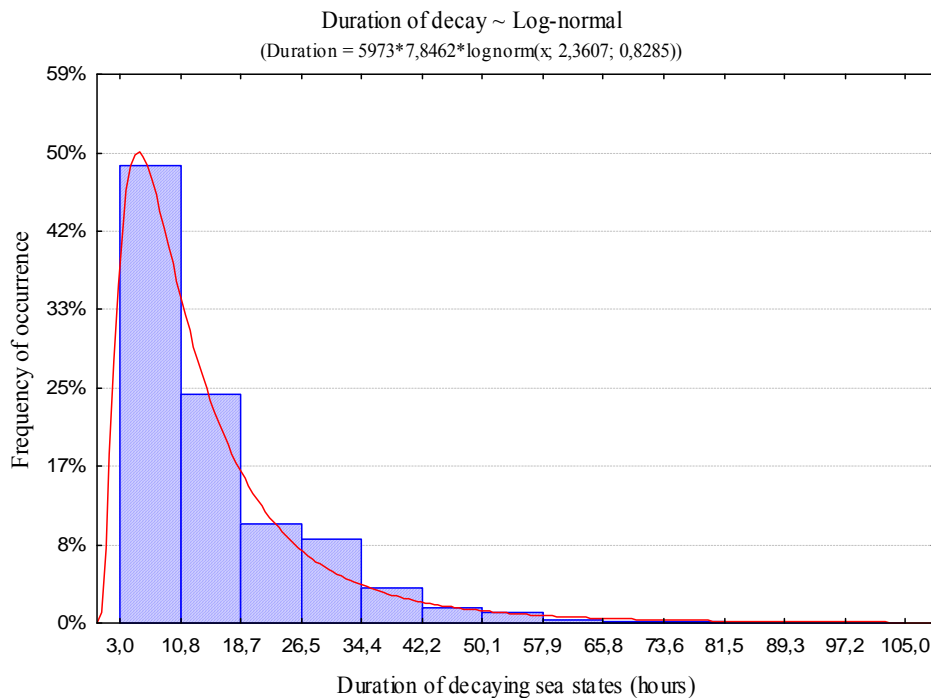
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,05.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



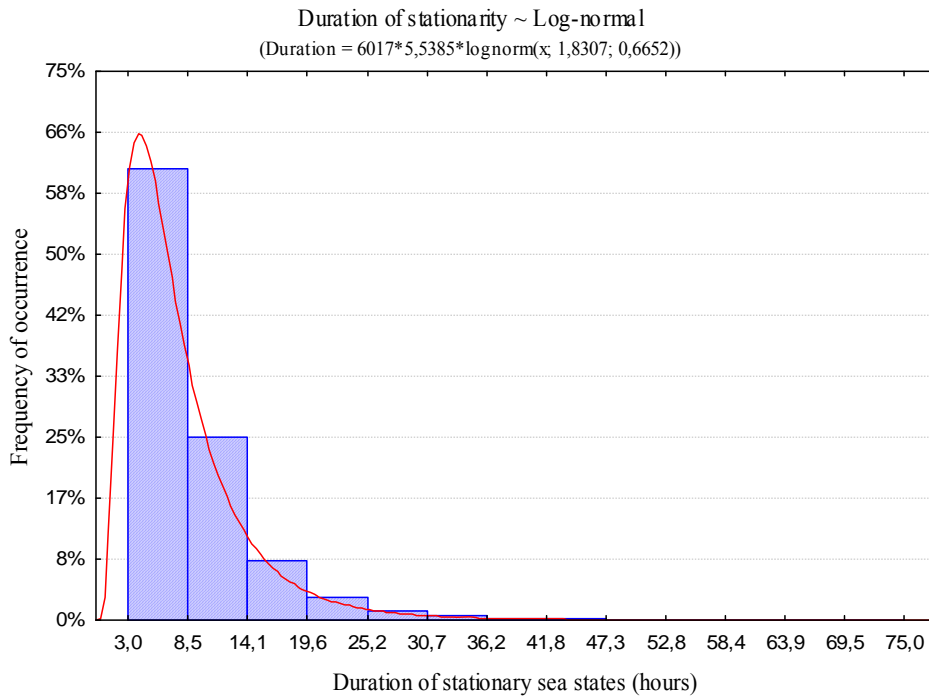
Διάγραμμα 9: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 10: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

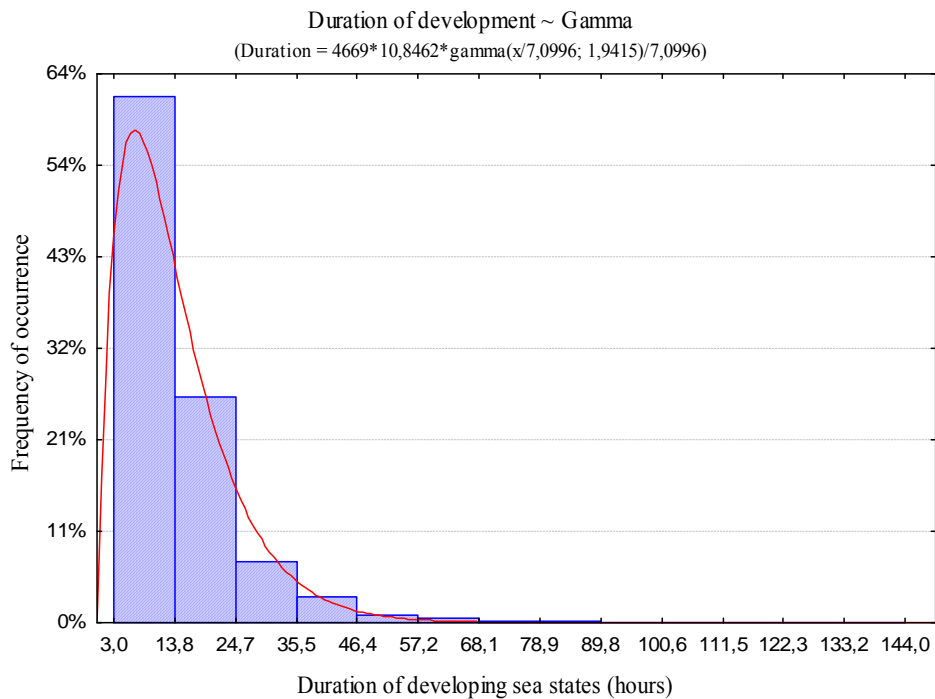
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 11: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

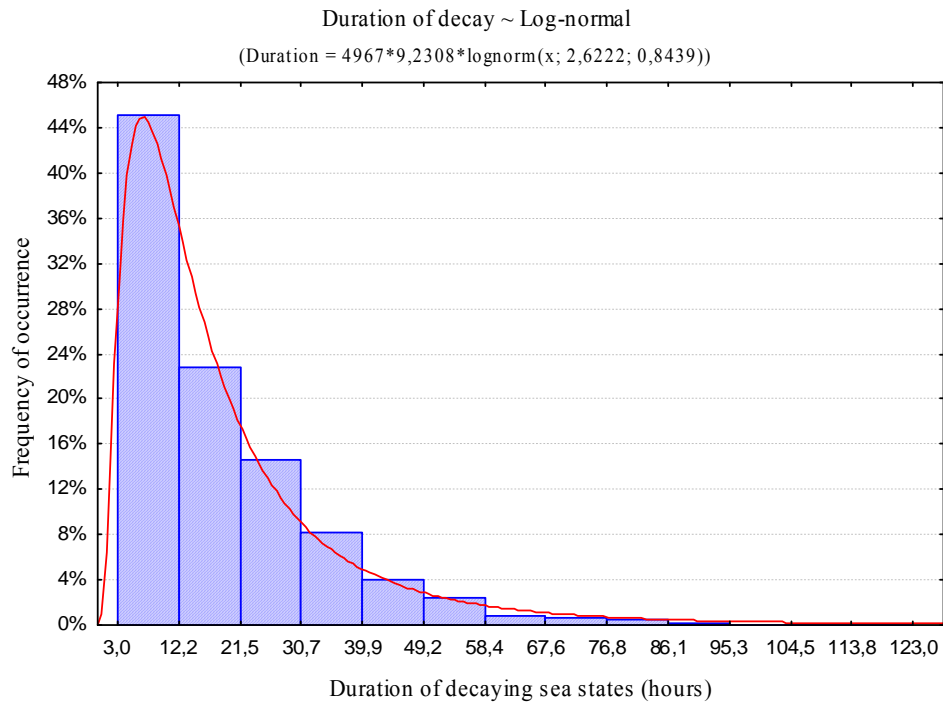
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,1.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



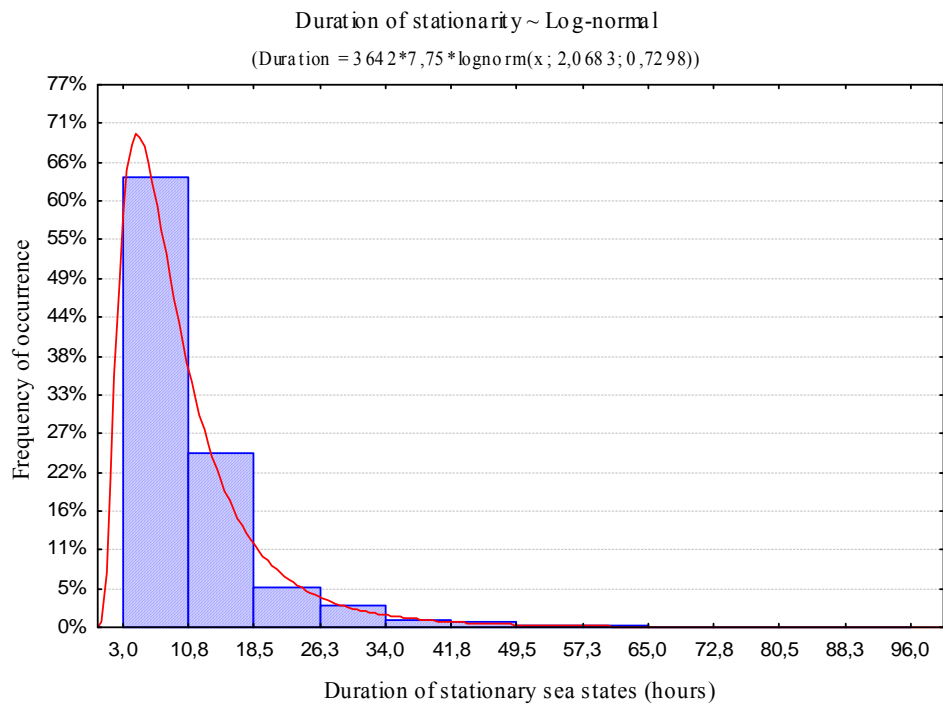
Διάγραμμα 12: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 13: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

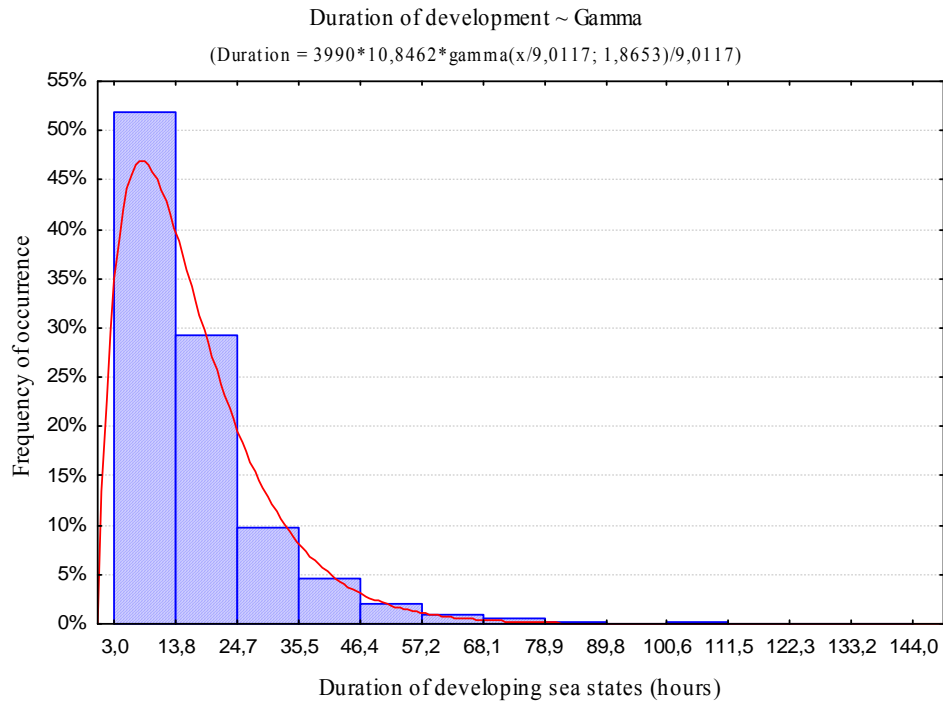
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 14: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

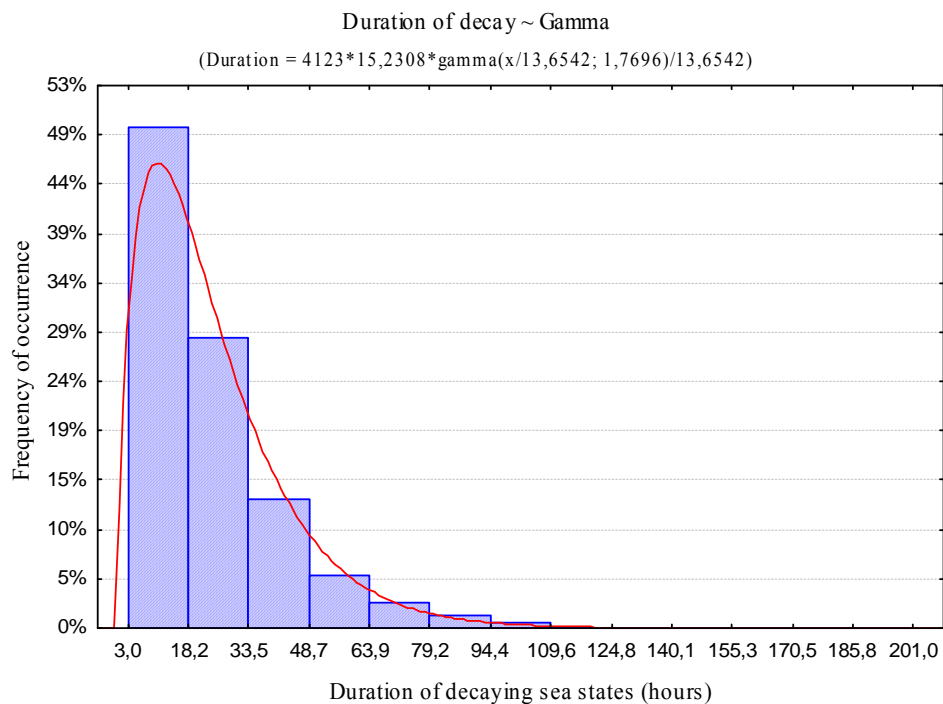
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,2.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



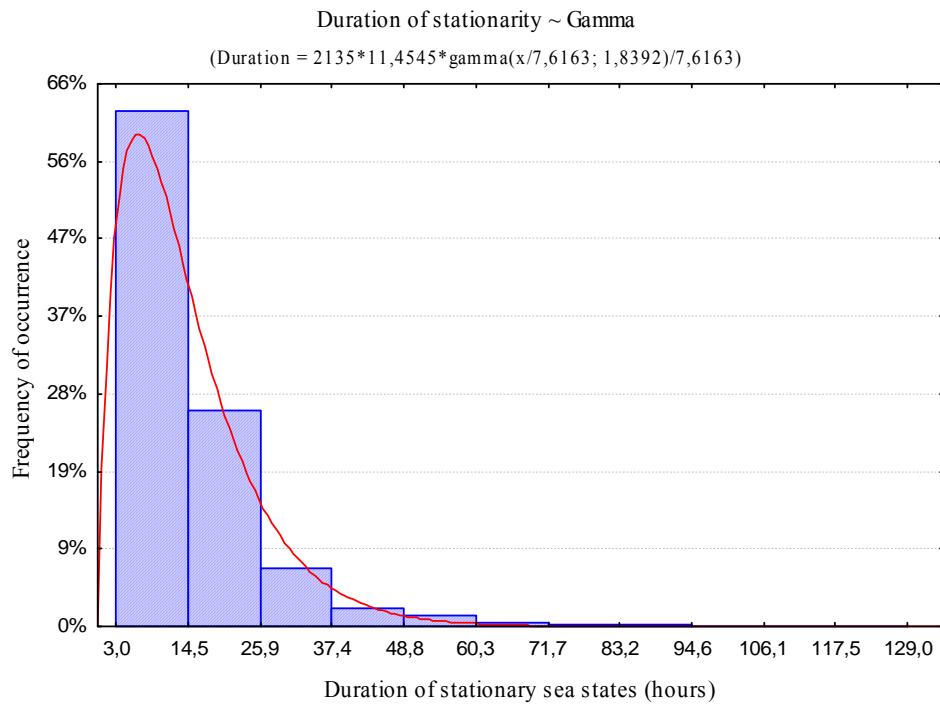
Διάγραμμα 15: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 16: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

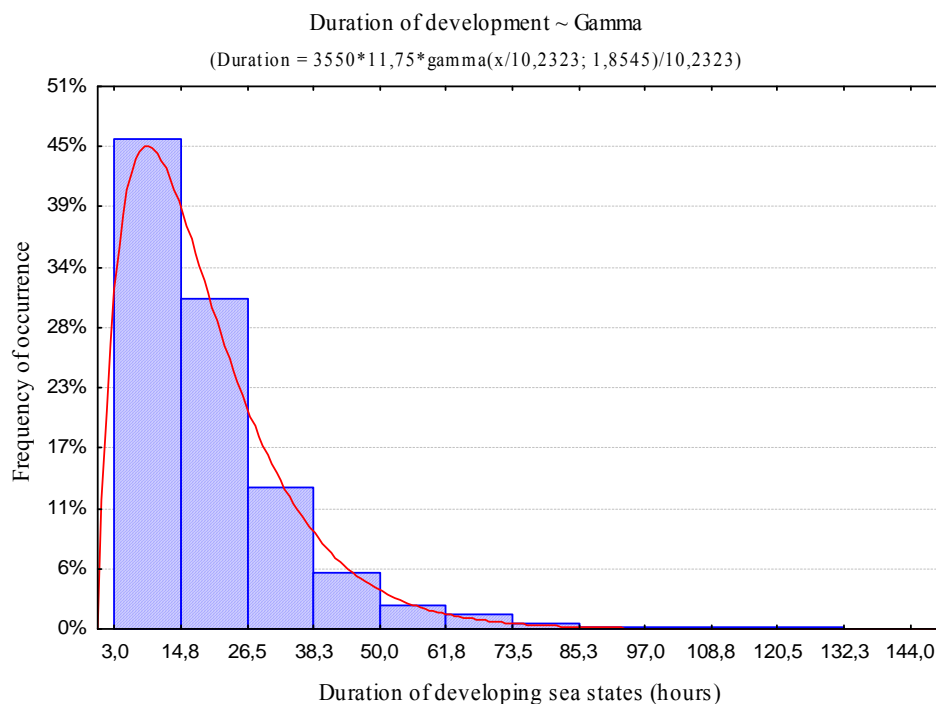
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 17: Ιστογράμμο της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

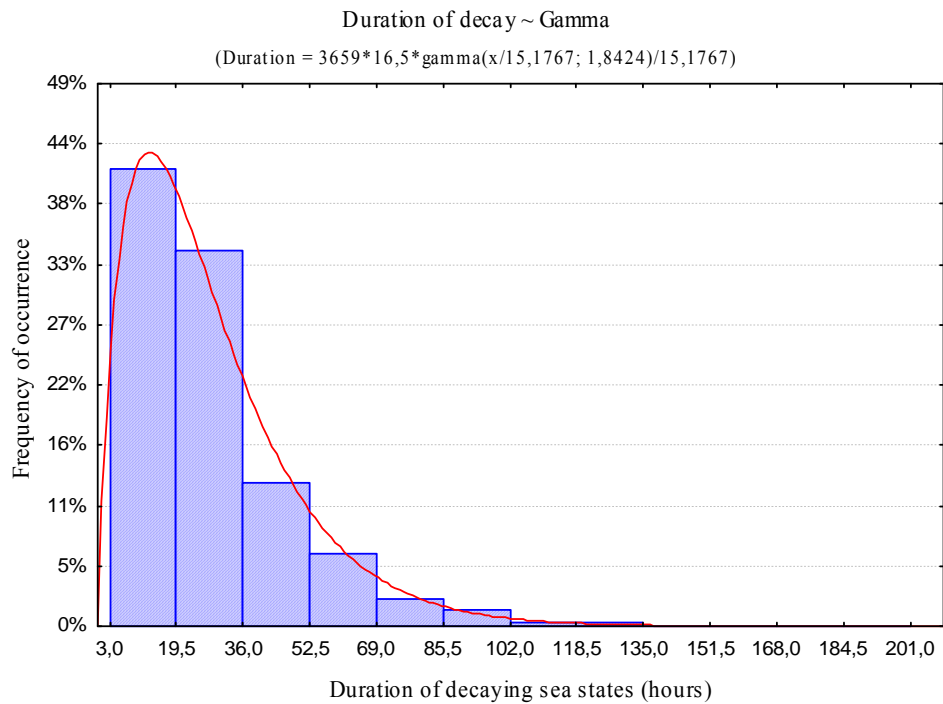
**Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,3.**

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.



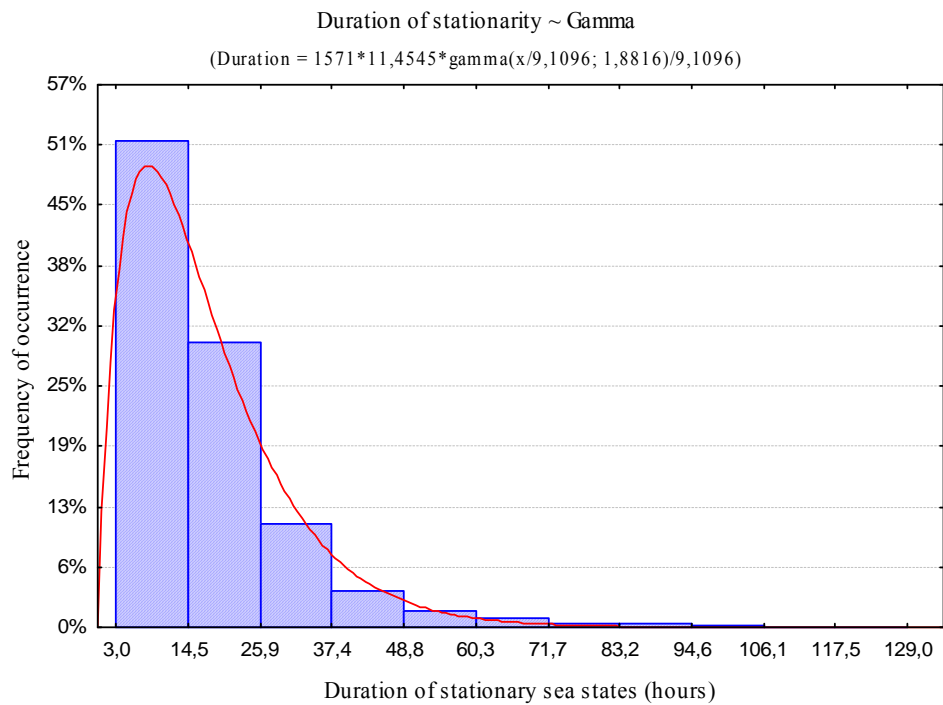
Διάγραμμα 18: Ιστογράμμο της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.



Διάγραμμα 19: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

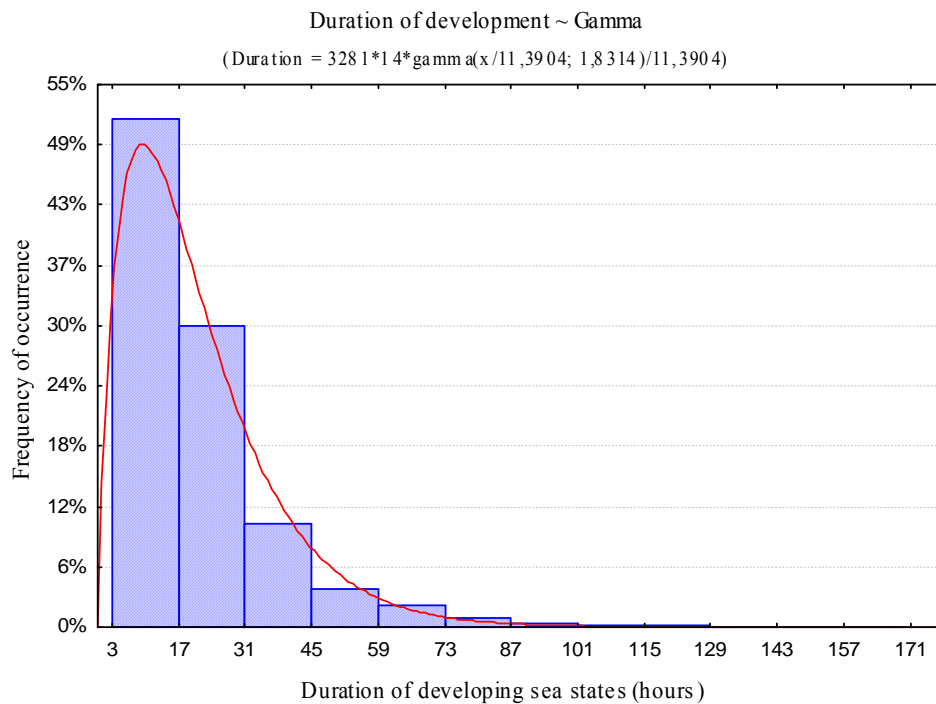
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.



Διάγραμμα 20: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

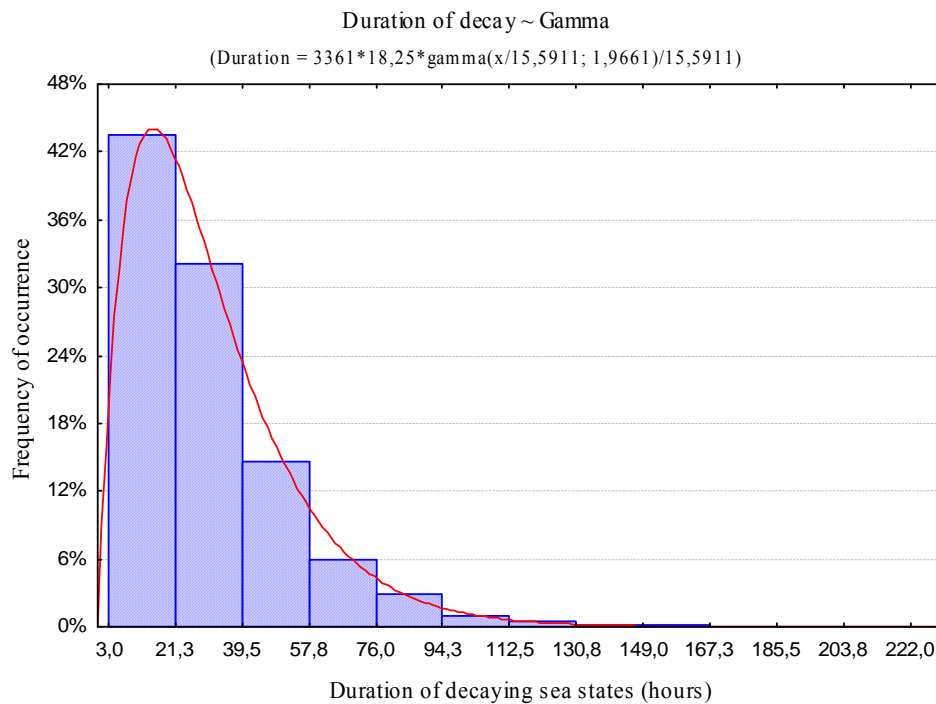
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,4.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 21: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

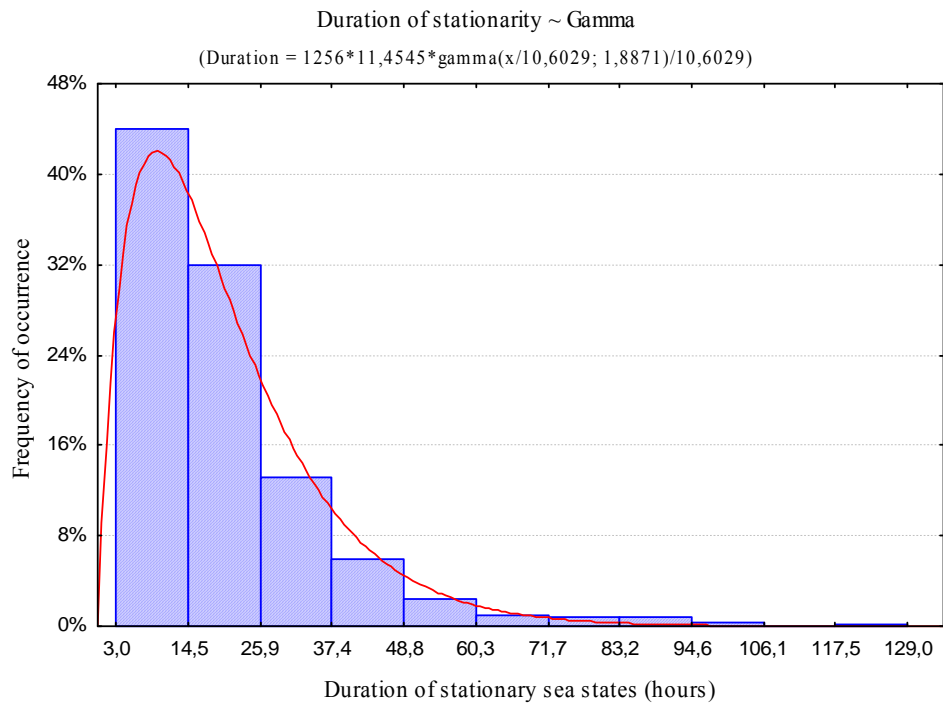
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.



Διάγραμμα 22: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.



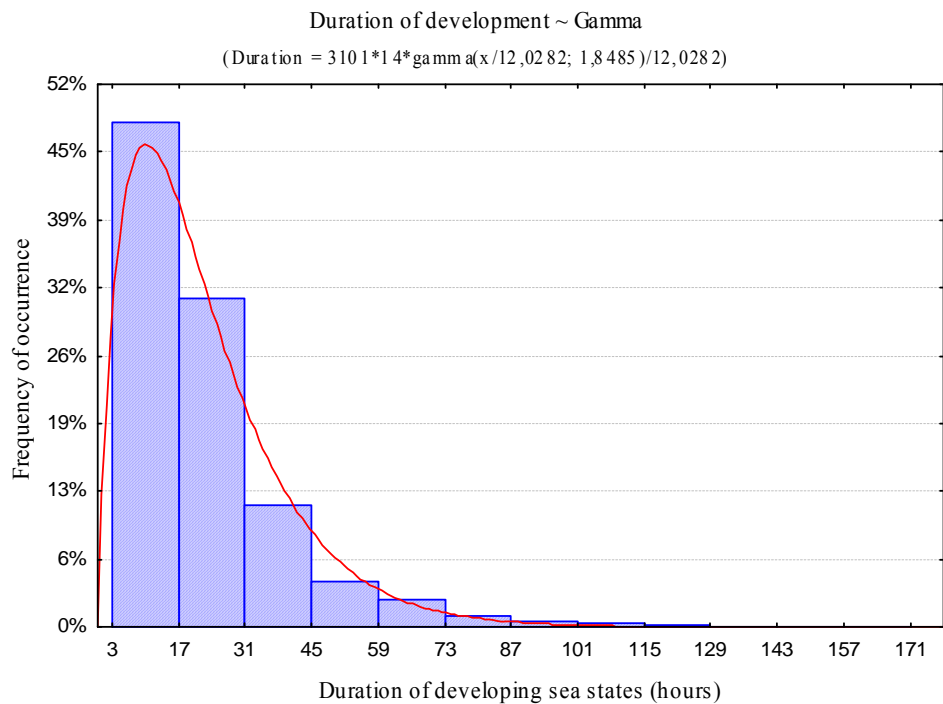
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.



Διάγραμμα 23: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

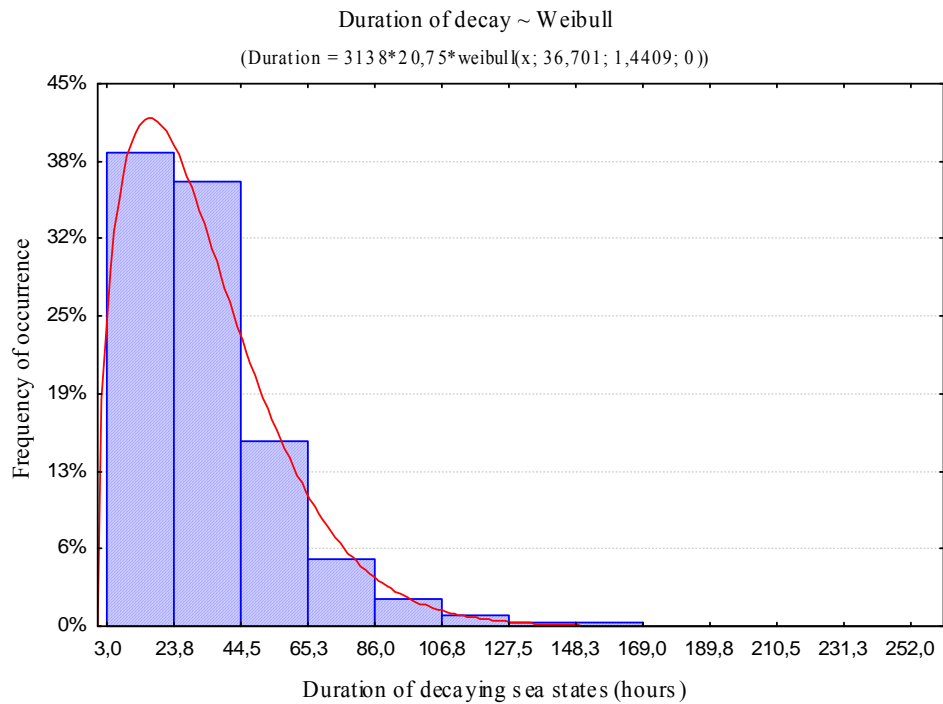
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,5.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.



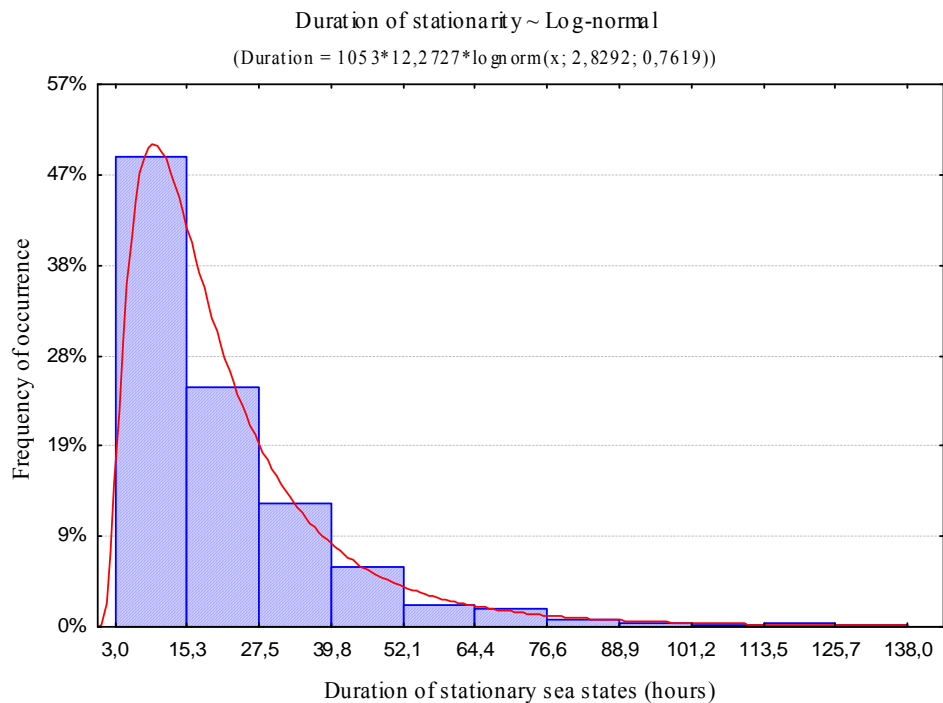
Διάγραμμα 24: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.



Διάγραμμα 25: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

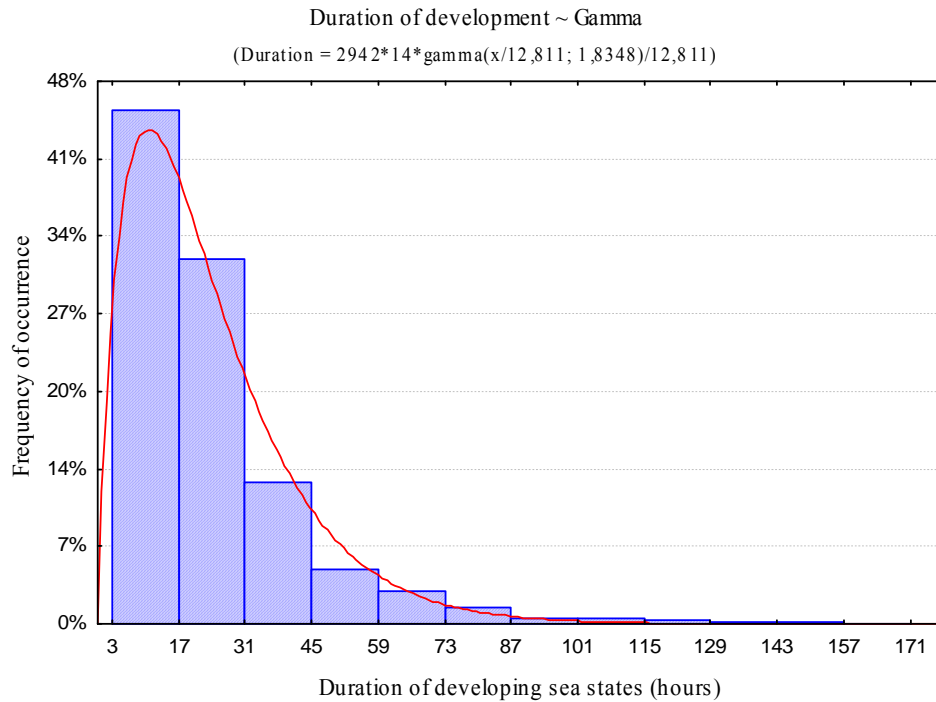
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.



Διάγραμμα 26: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

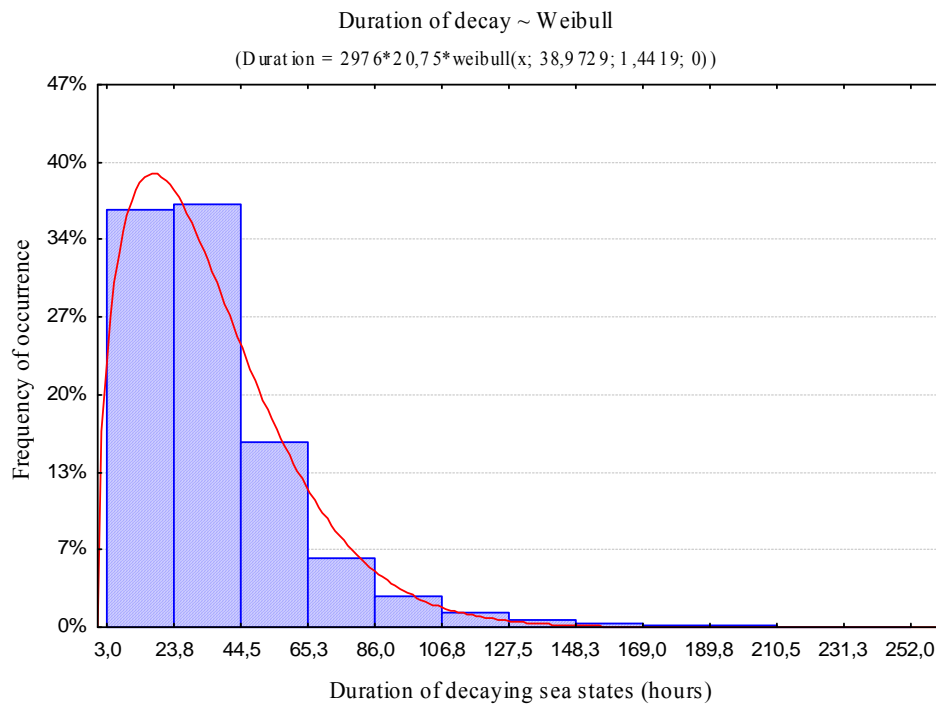
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,6.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας.



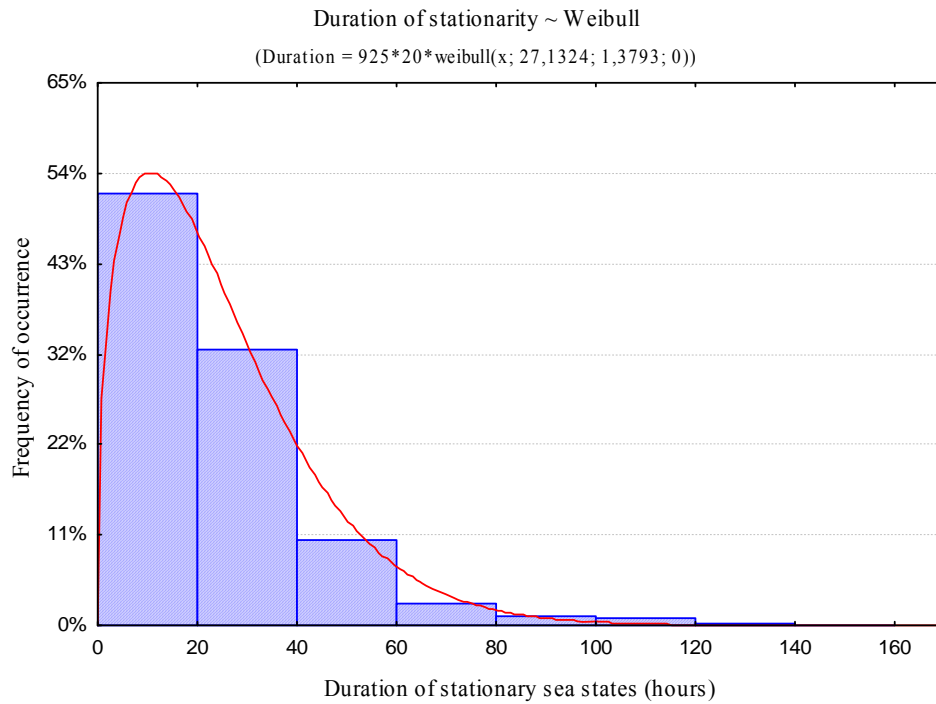
Διάγραμμα 27: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας.



Διάγραμμα 28: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

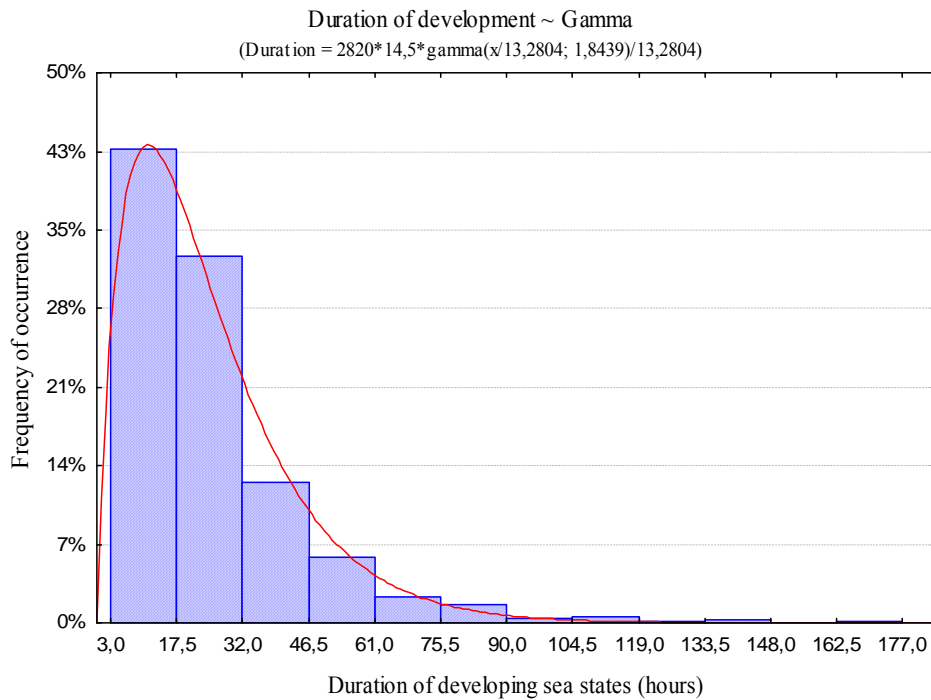
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας.



Διάγραμμα 29: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

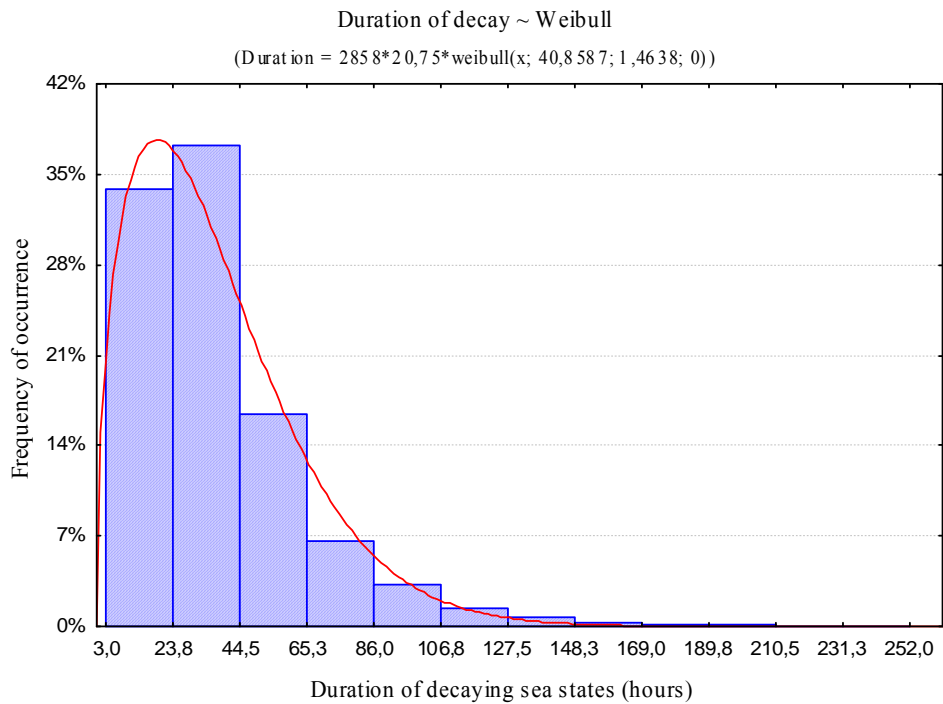
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,7.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



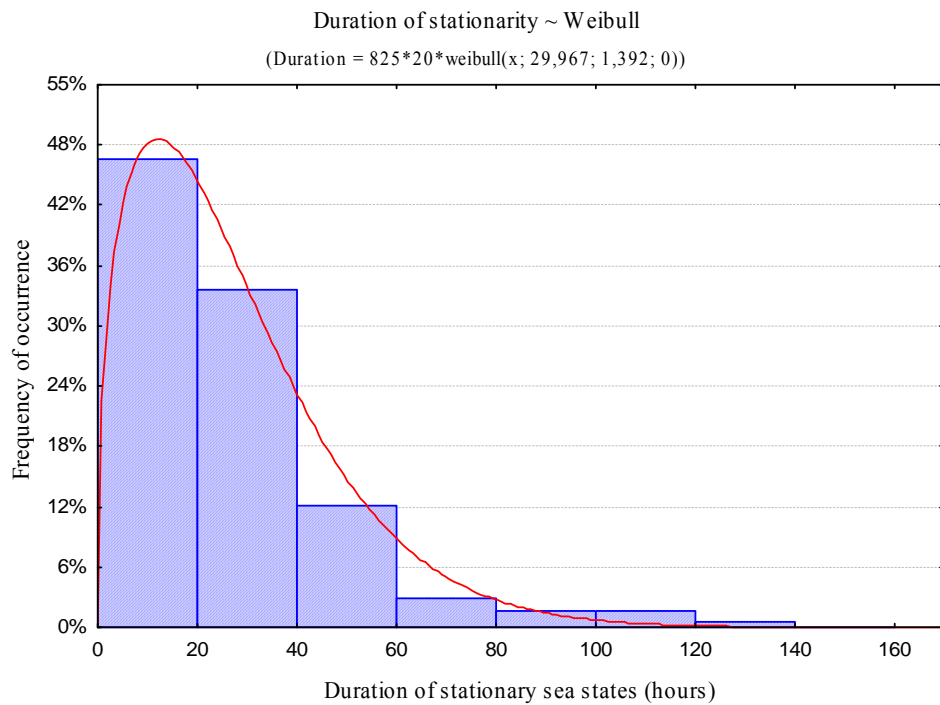
Διάγραμμα 30: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 31: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

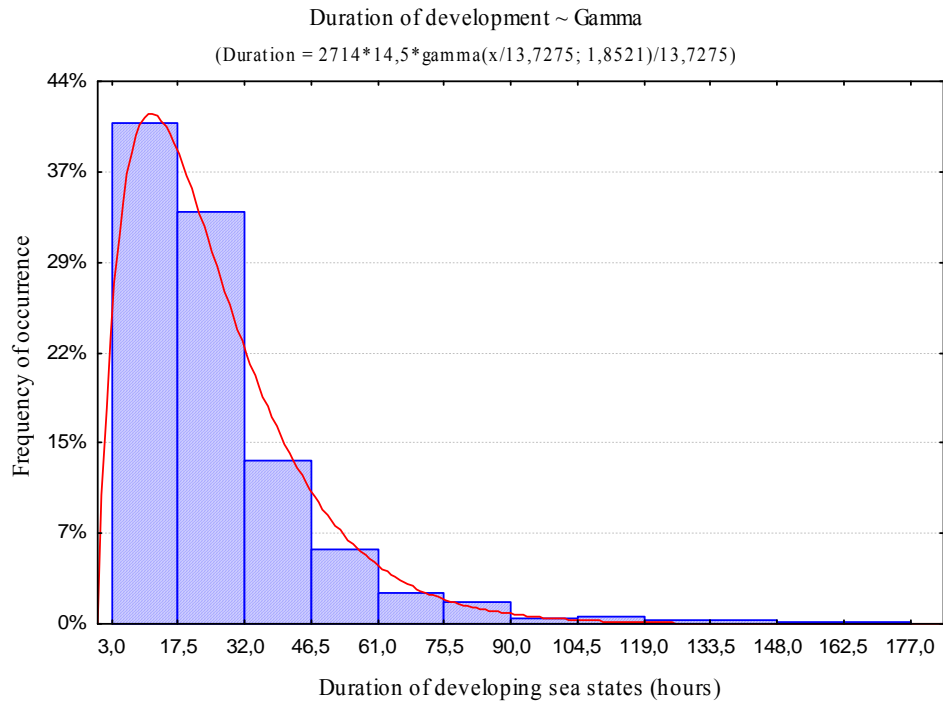
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 32: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

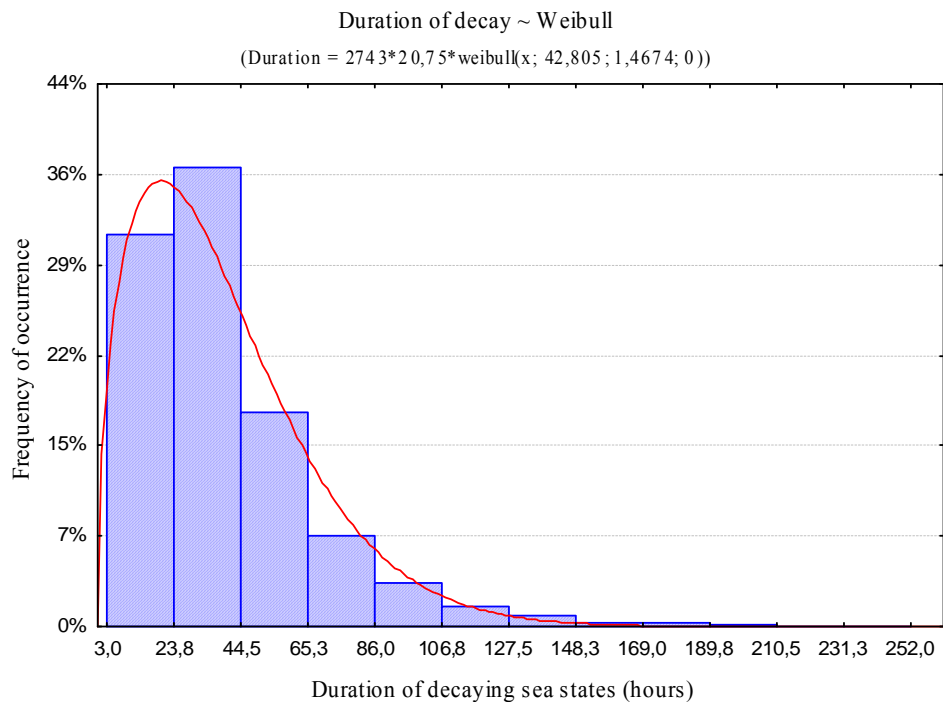
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,8.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



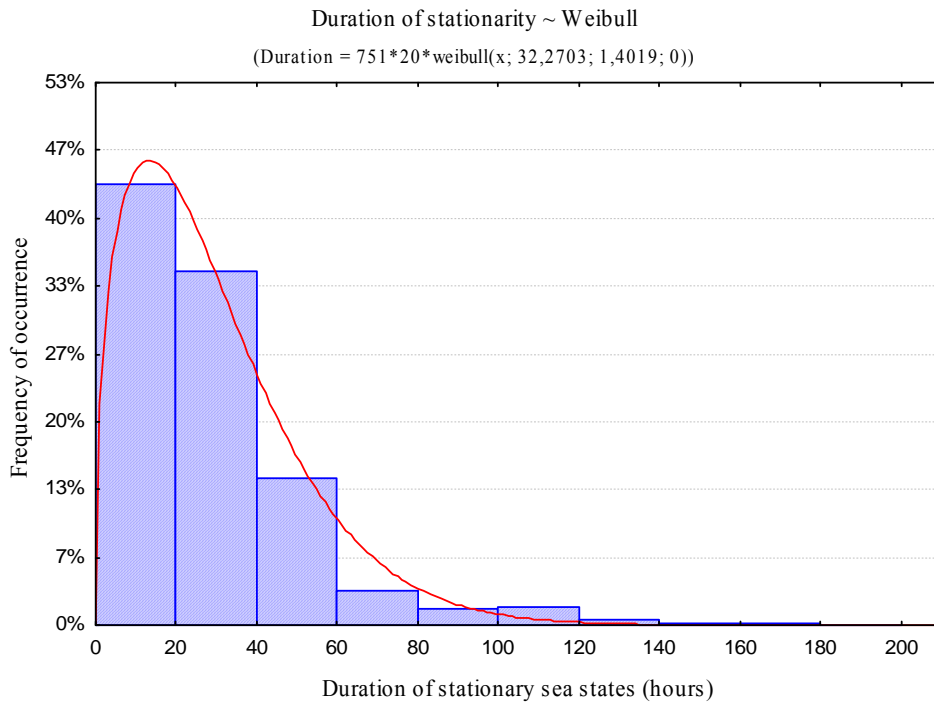
Διάγραμμα 33: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 34: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

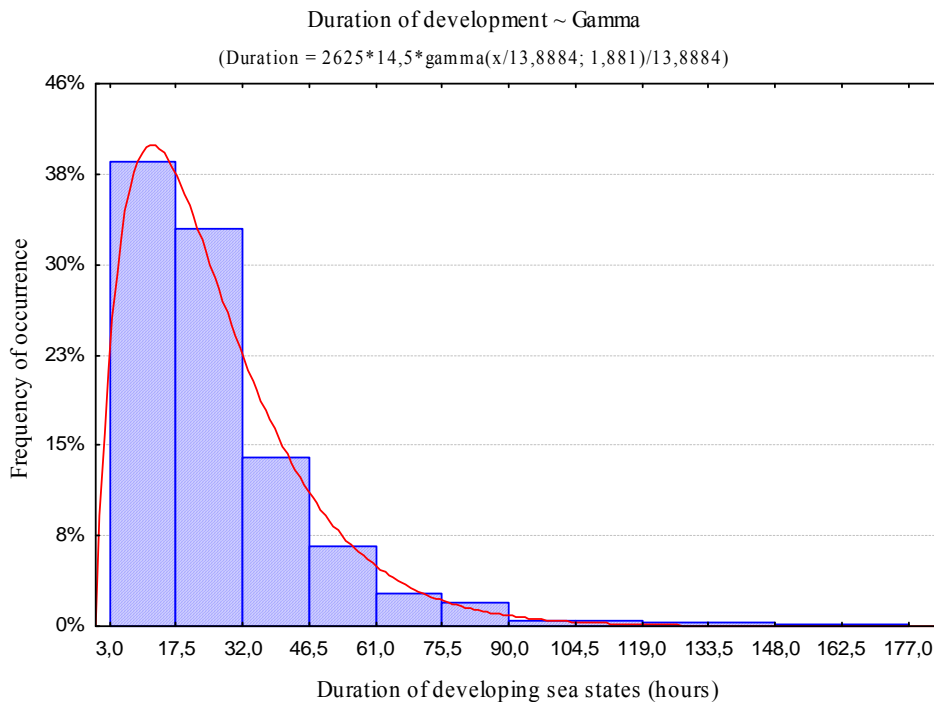
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 35: Ιστογράμμο της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

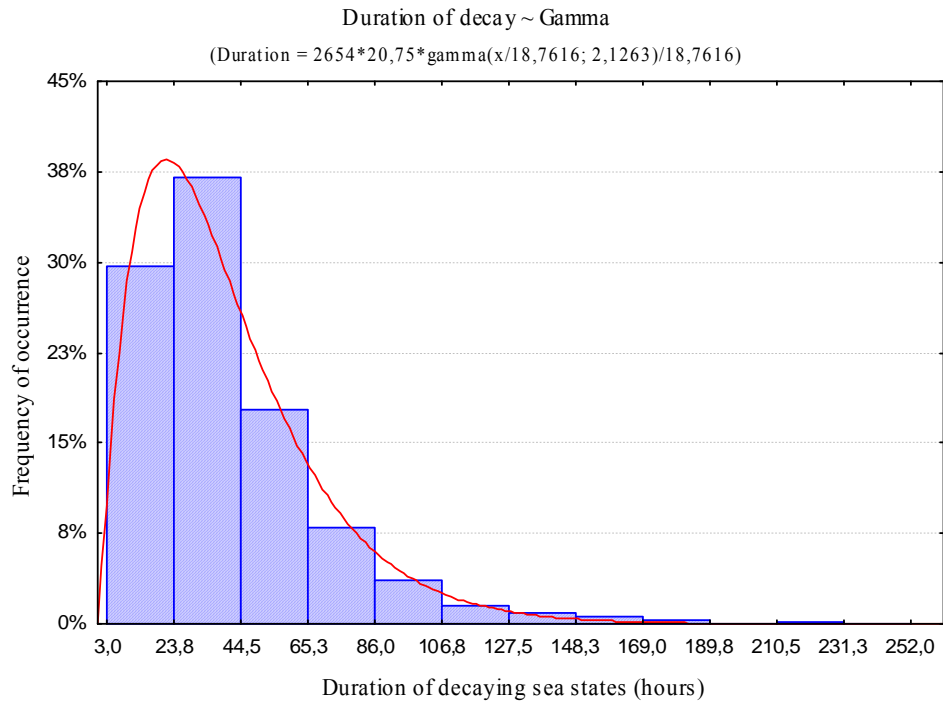
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,9.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



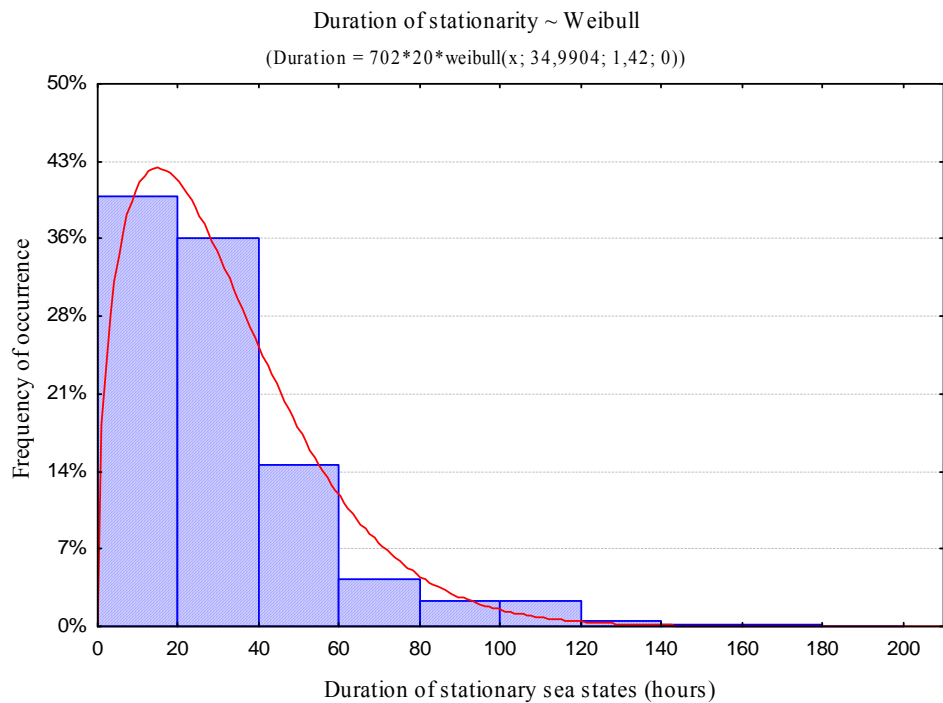
Διάγραμμα 36: Ιστογράμμο της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 37: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας

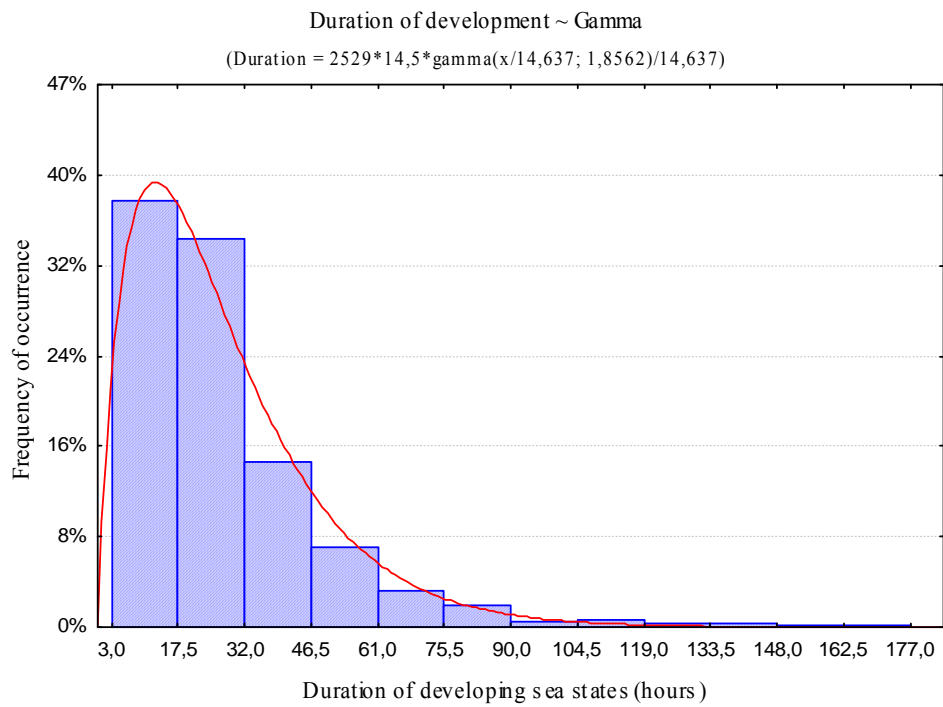


Διάγραμμα 38: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.



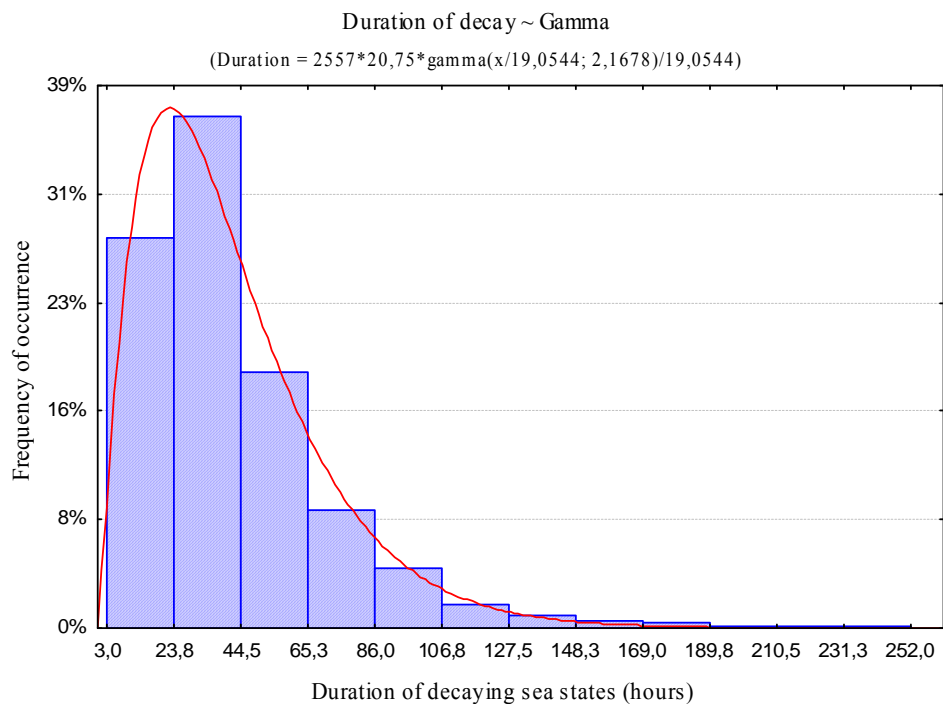
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,0.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



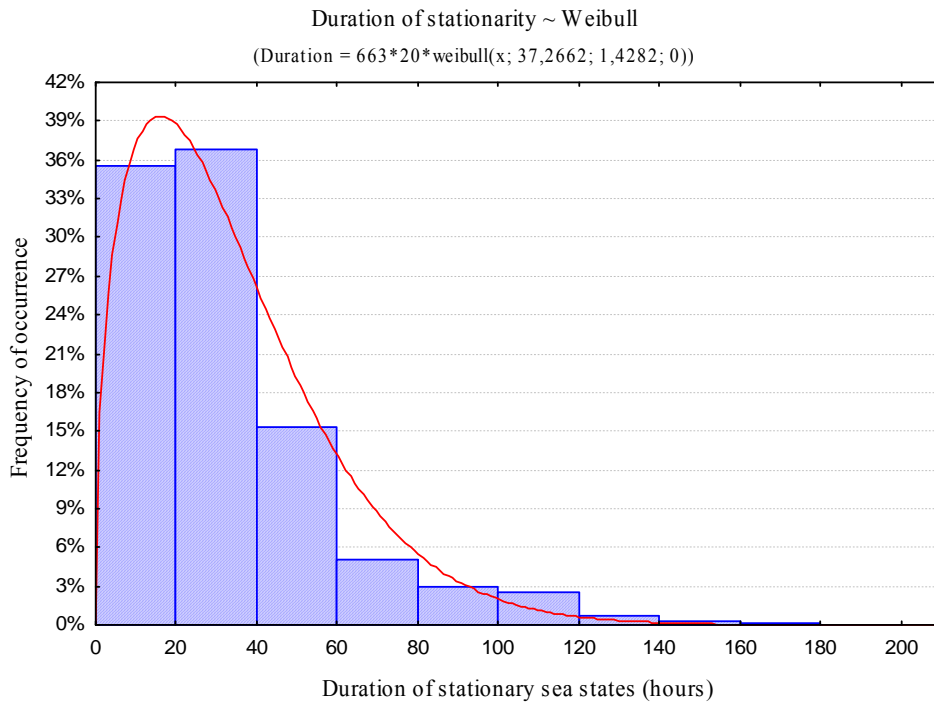
Διάγραμμα 39: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 40: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

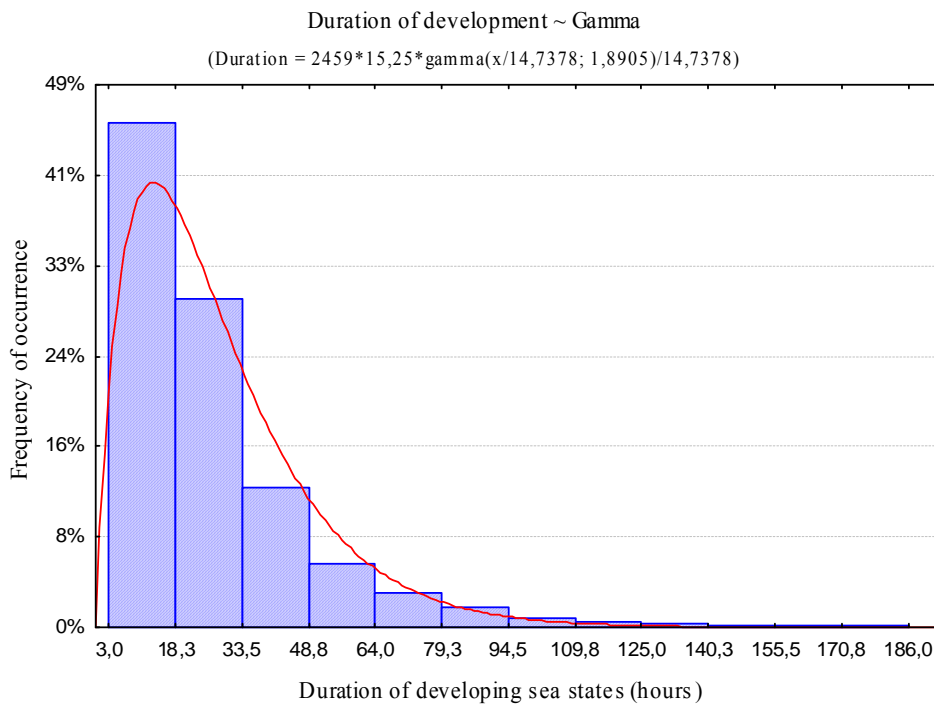
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 41: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

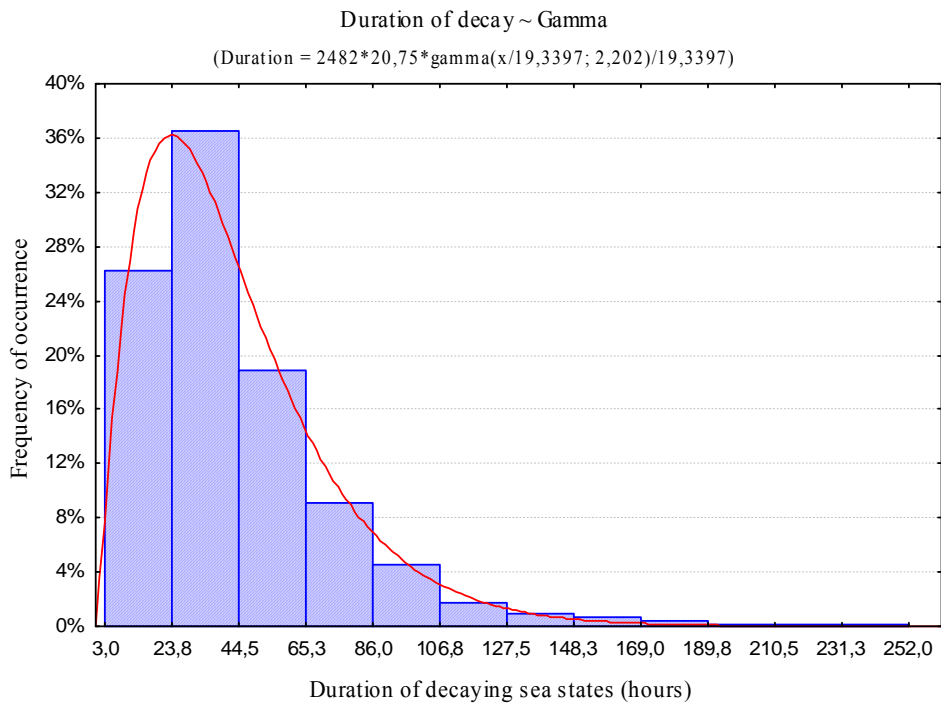
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,1.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



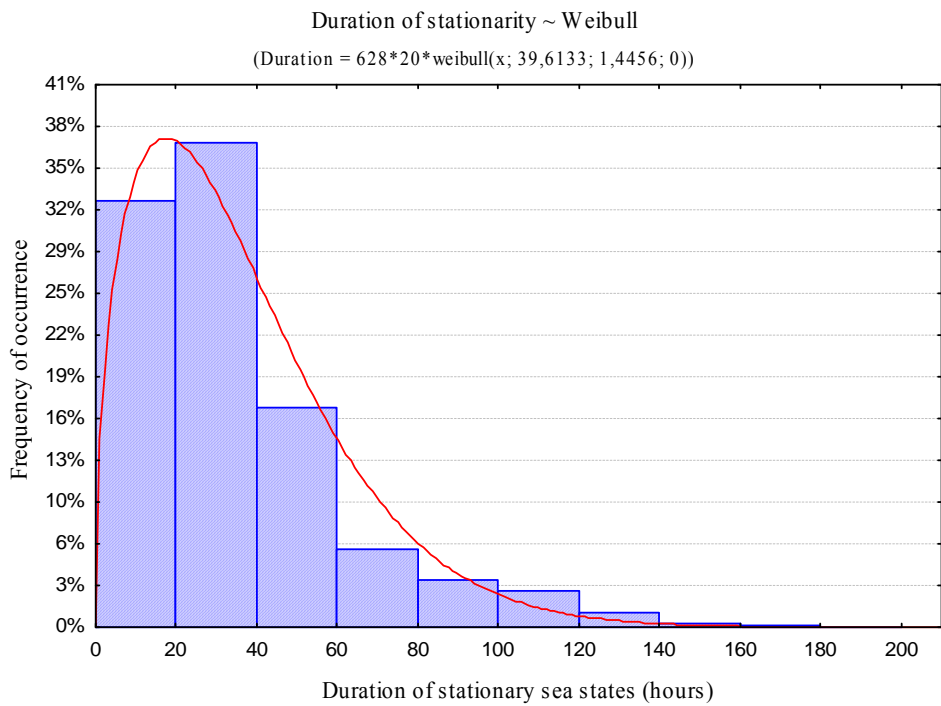
Διάγραμμα 42: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 43: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

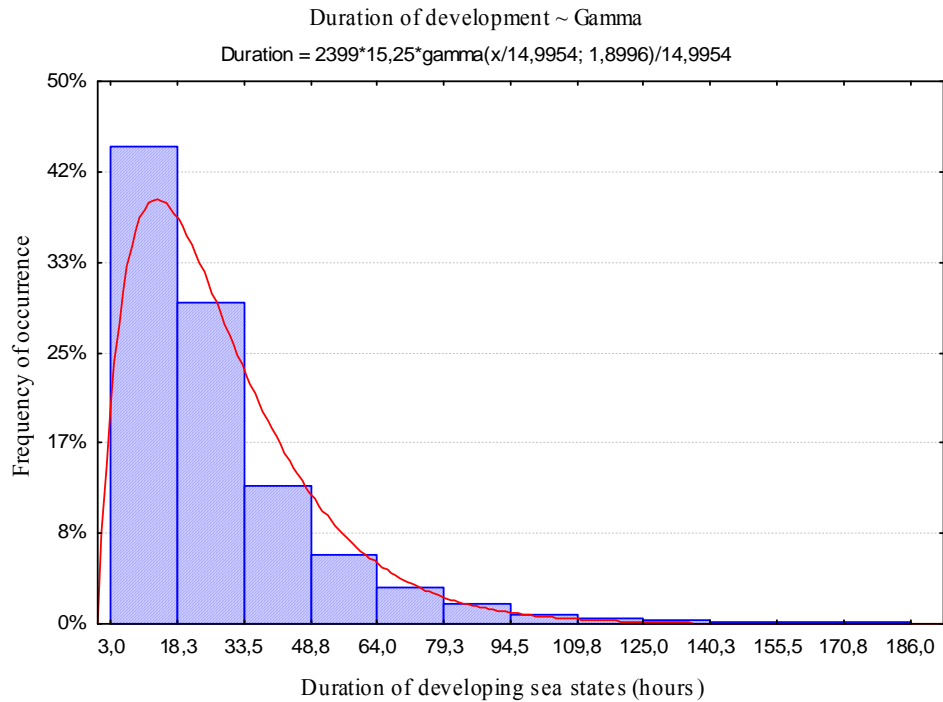
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 44: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

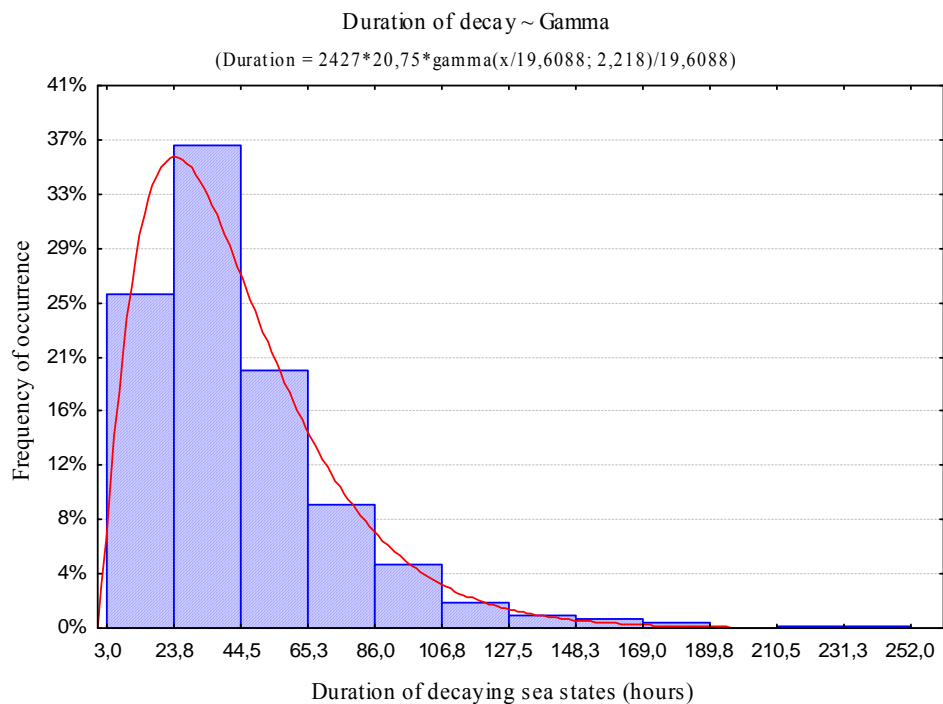
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,2.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



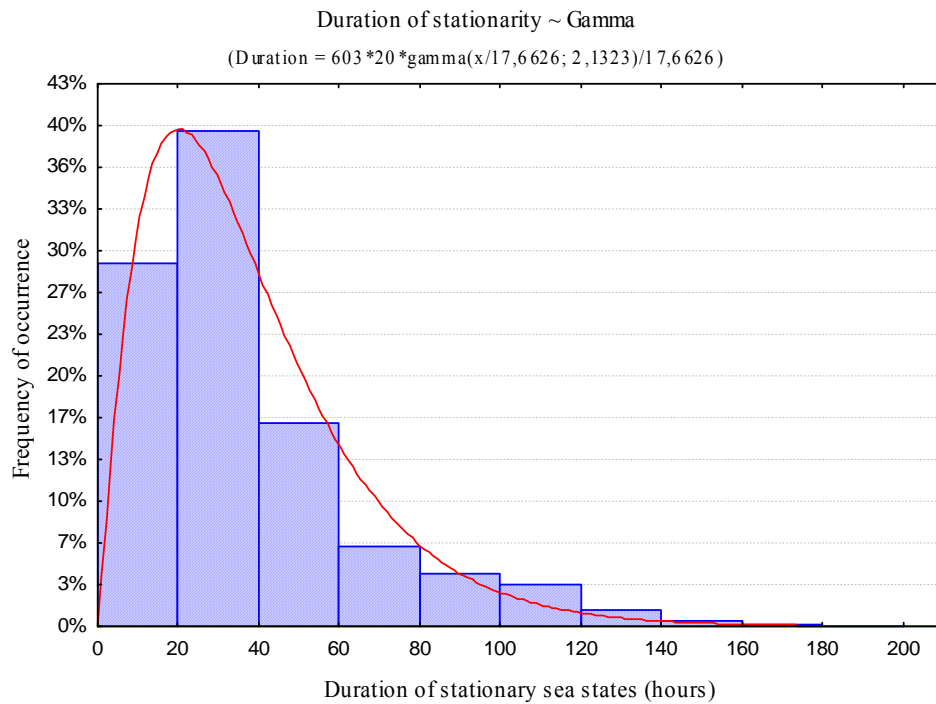
Διάγραμμα 45: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 46: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

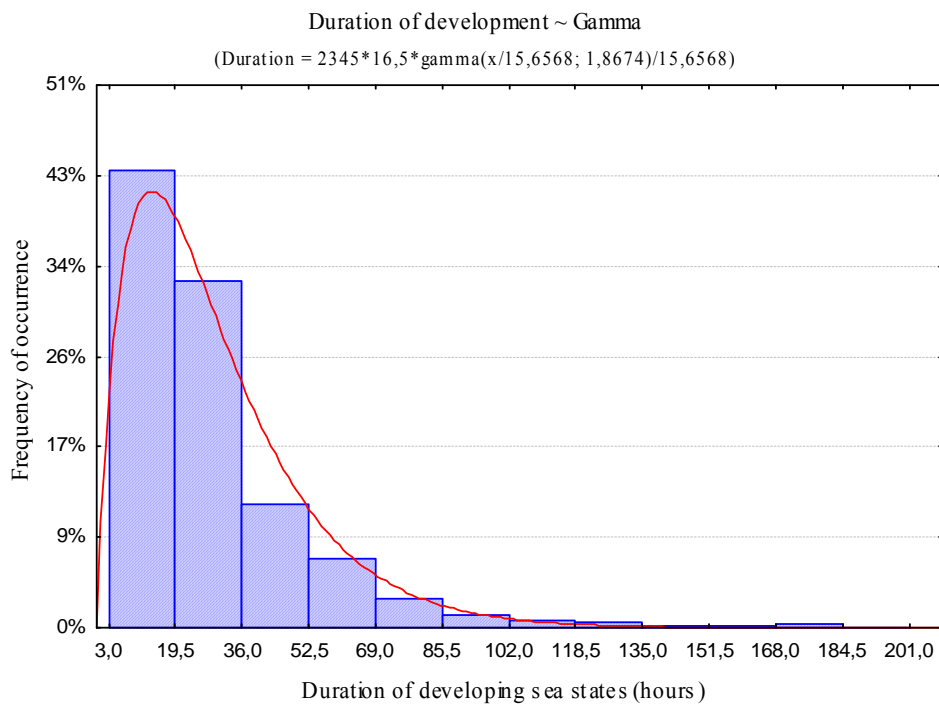
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 47: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

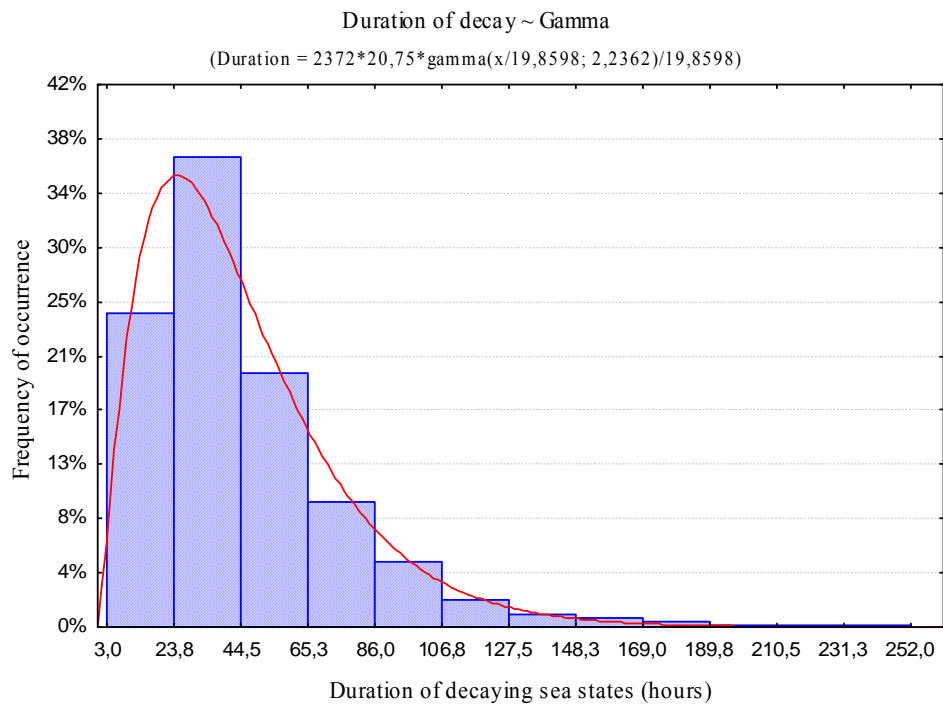
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,3.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



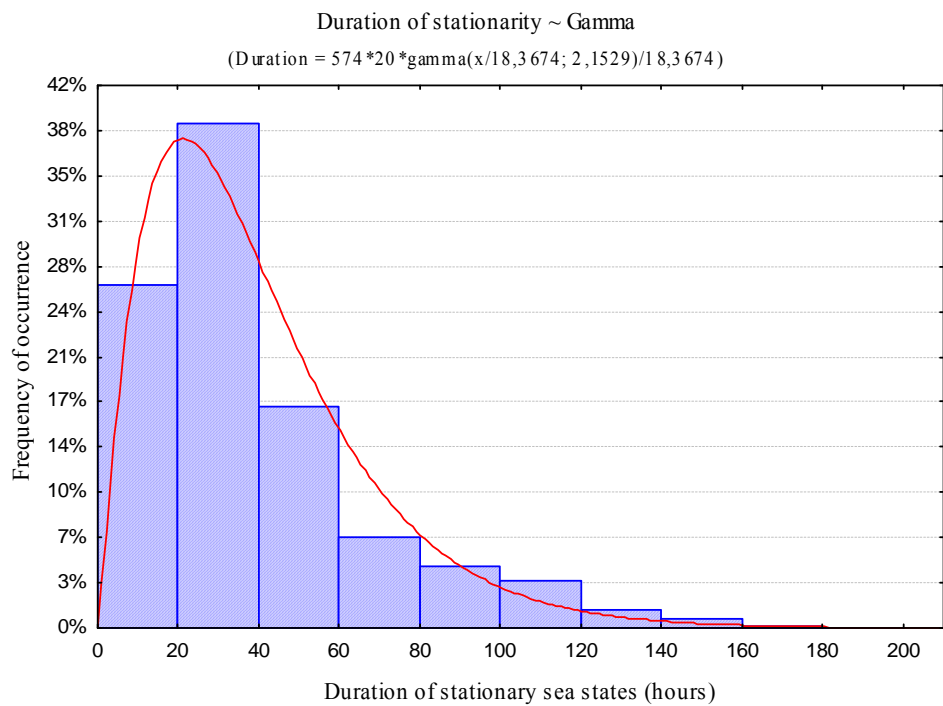
Διάγραμμα 48: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 49: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

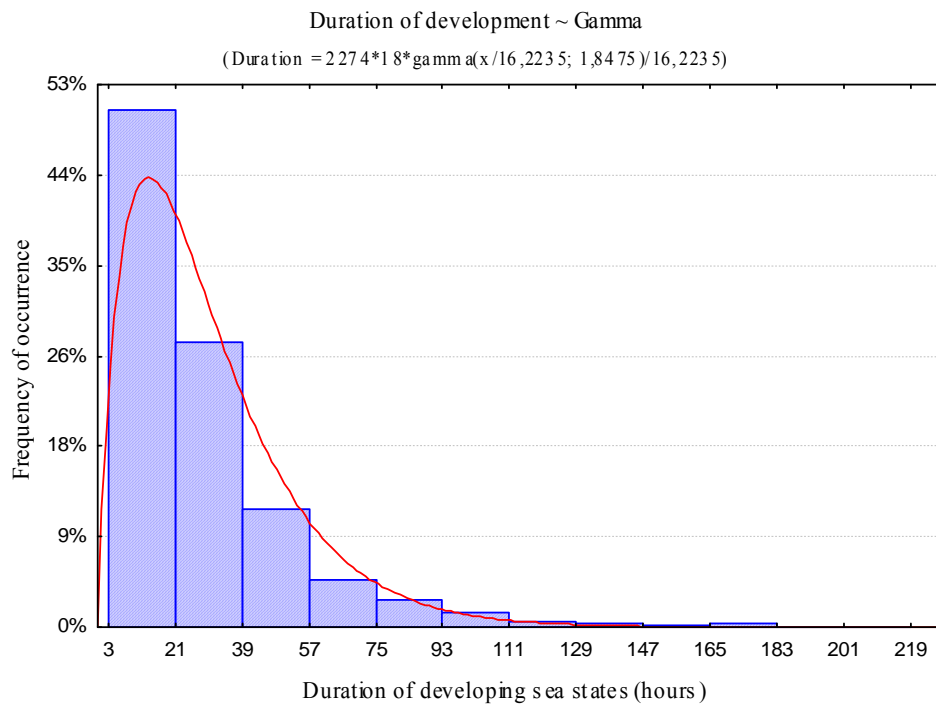
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 50: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

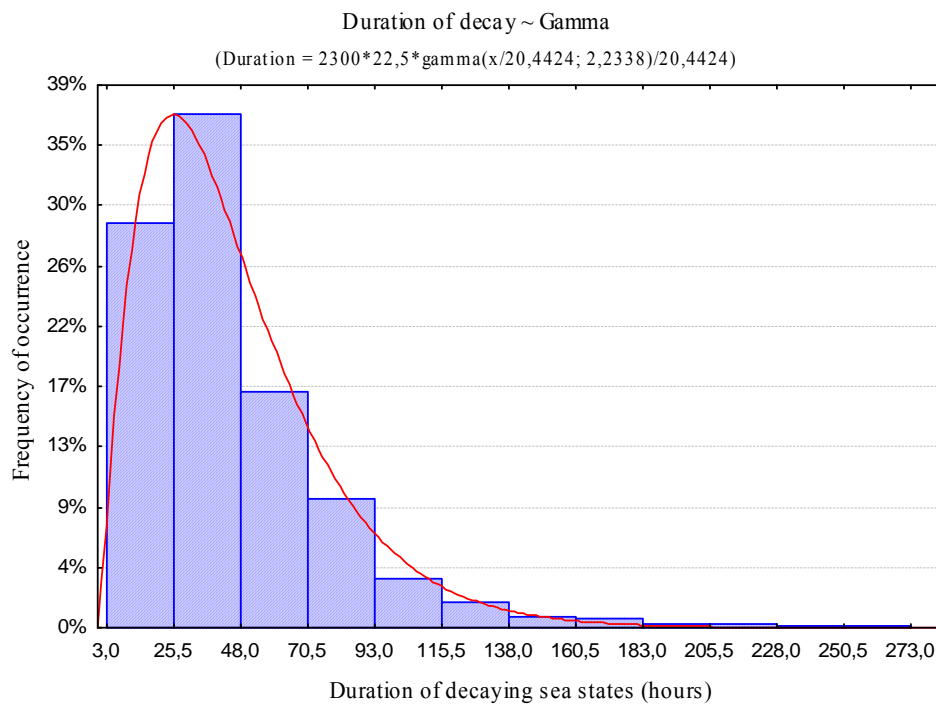
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,4.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



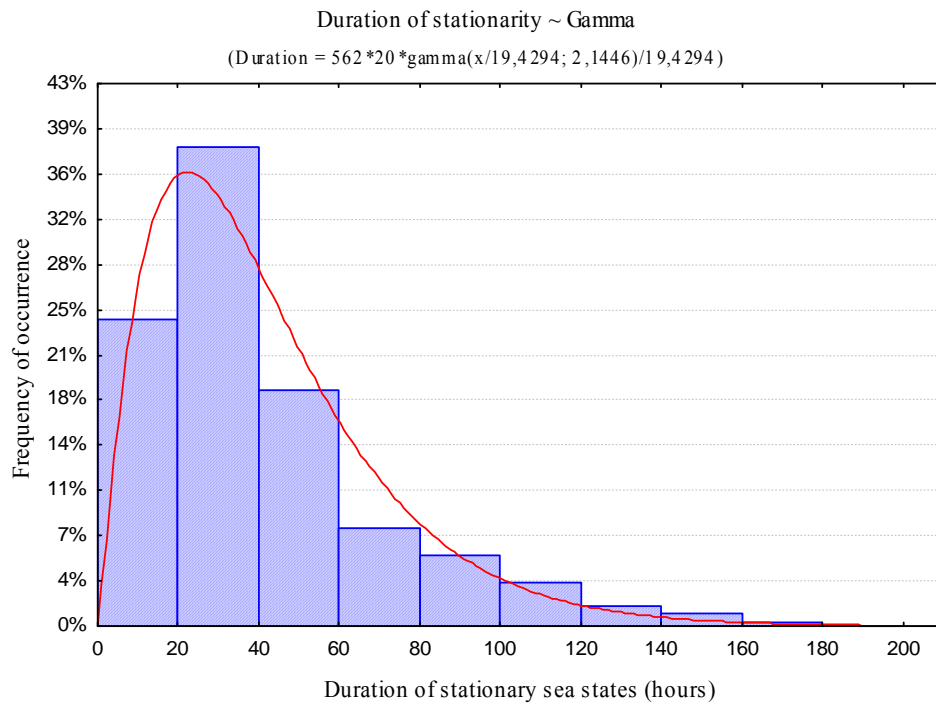
Διάγραμμα 51: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 52: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

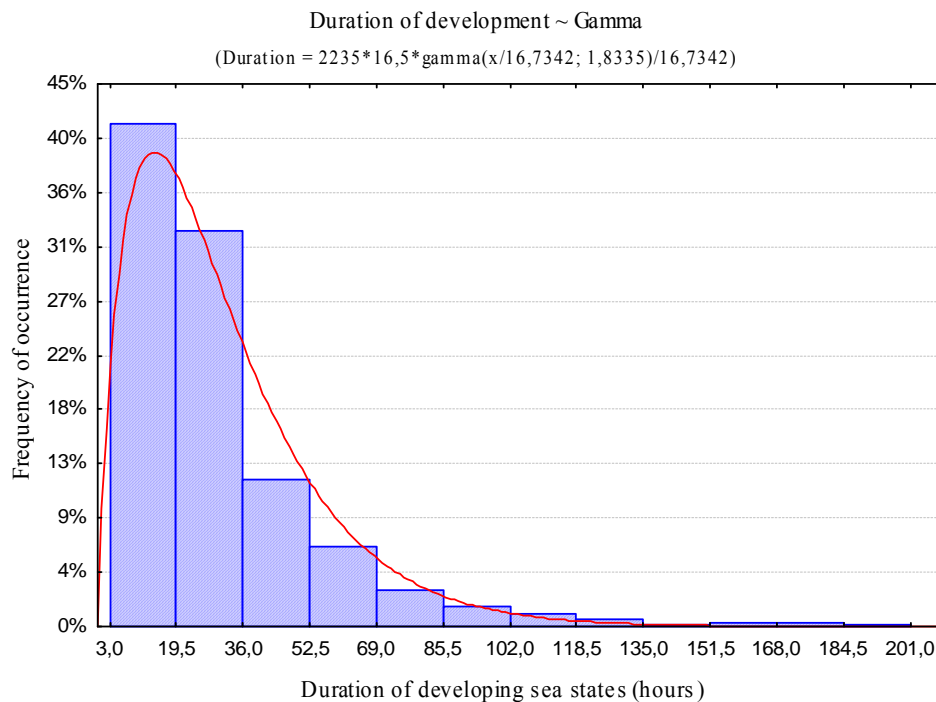
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 53: Ιστογράμμο της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,5.

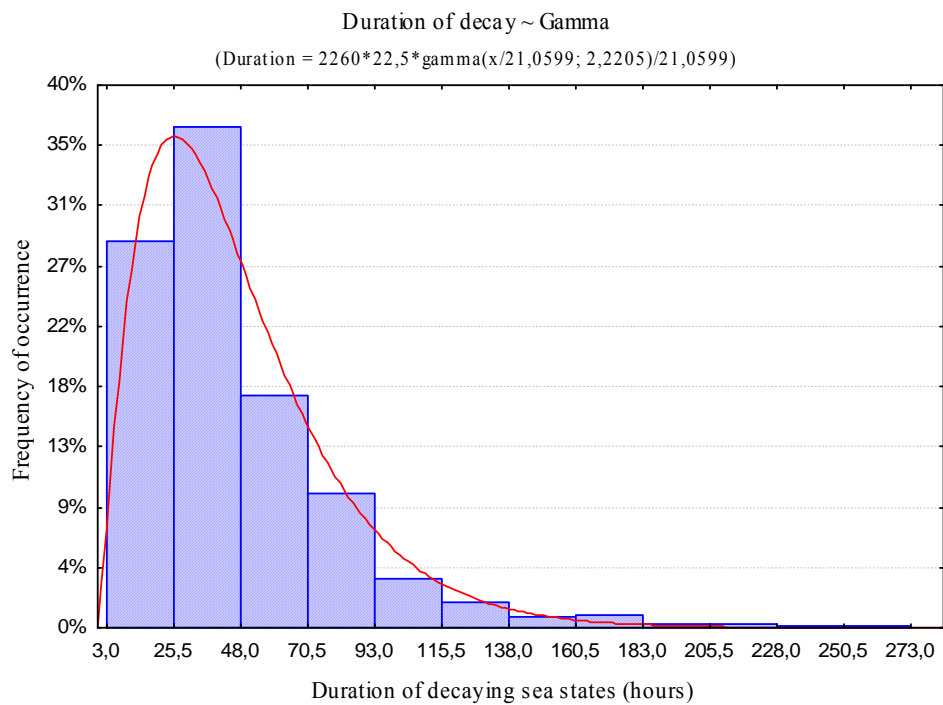
- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 54: Ιστογράμμο της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

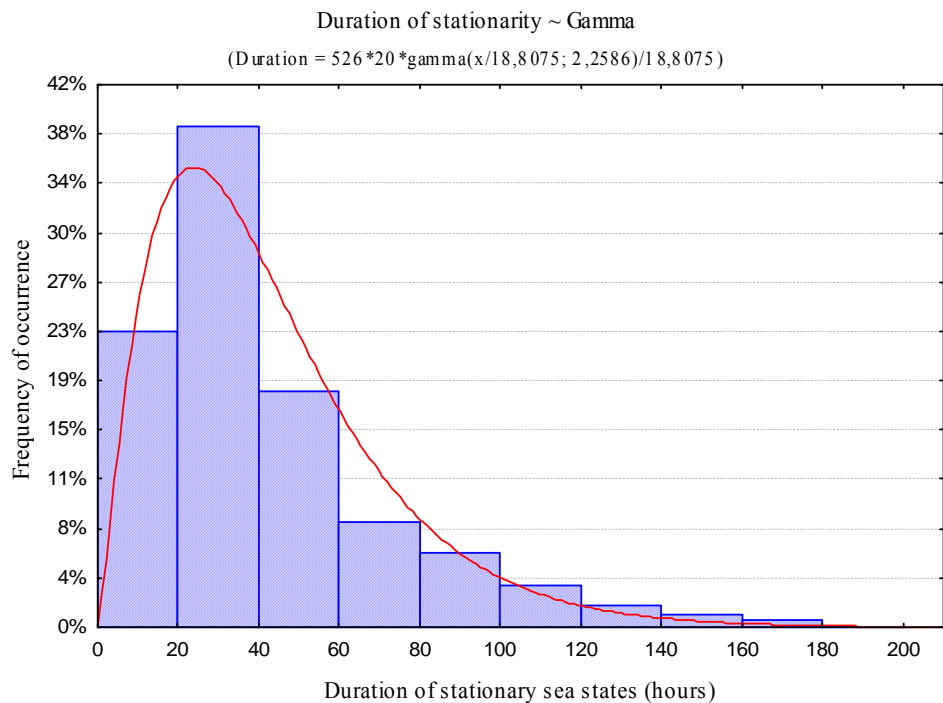


- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 55: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

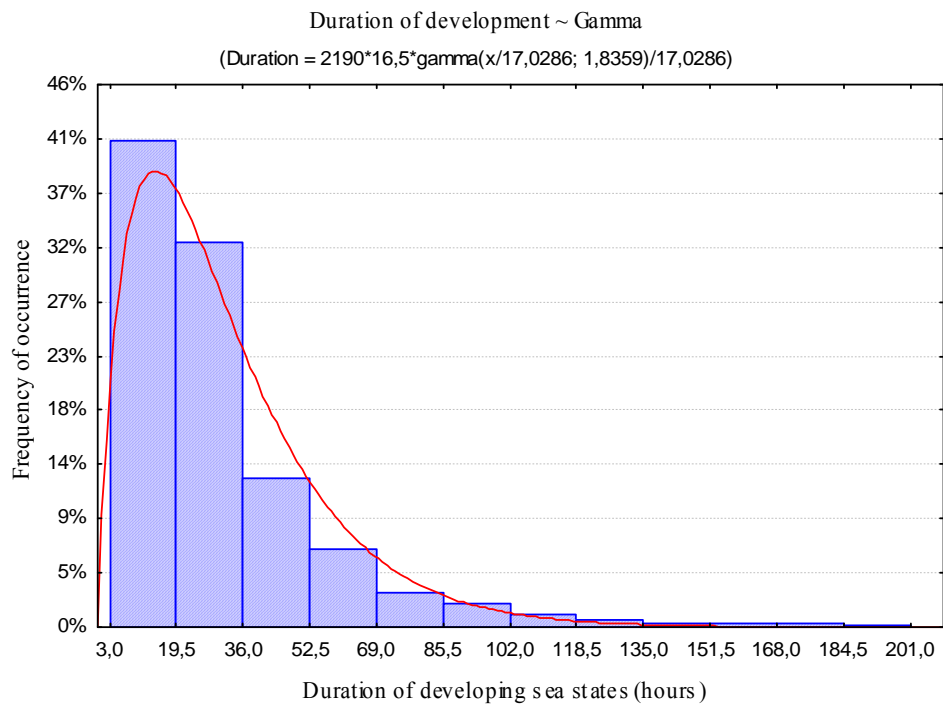
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 56: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

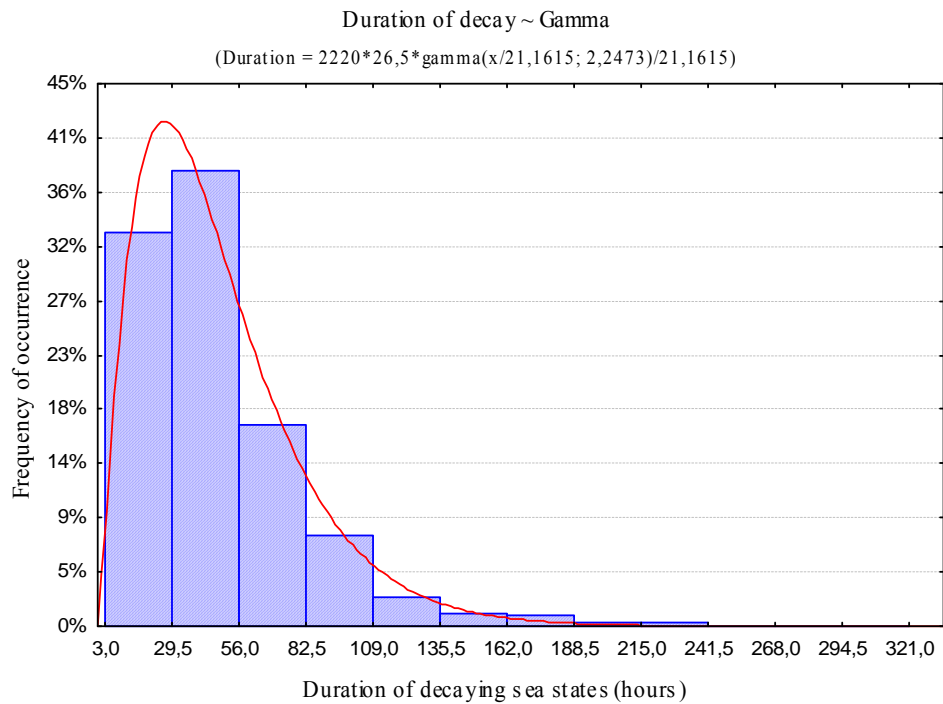
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,6.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



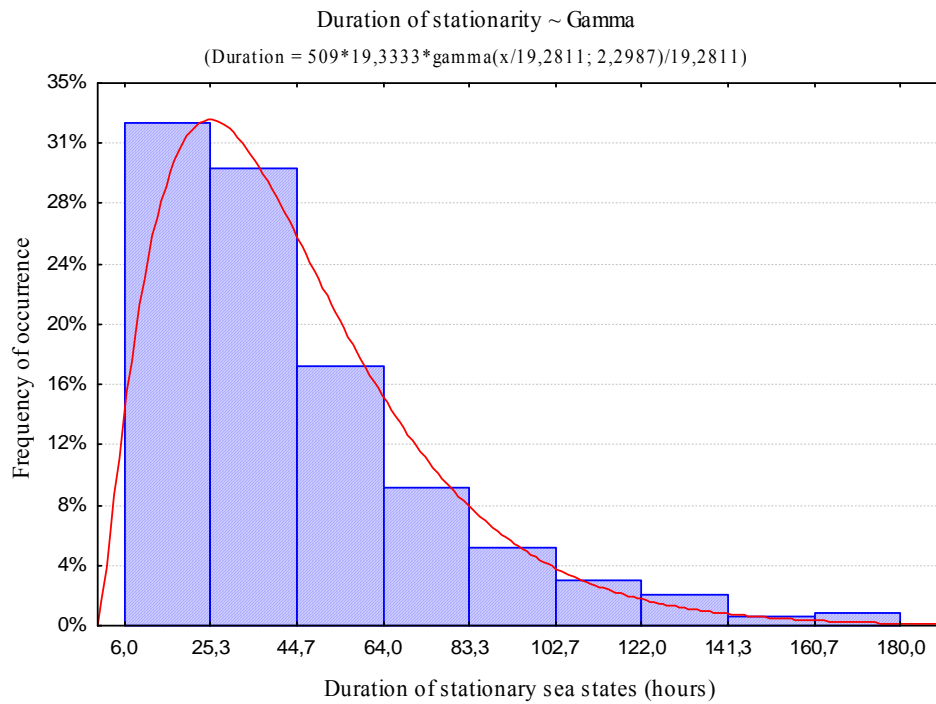
Διάγραμμα 57: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 58: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

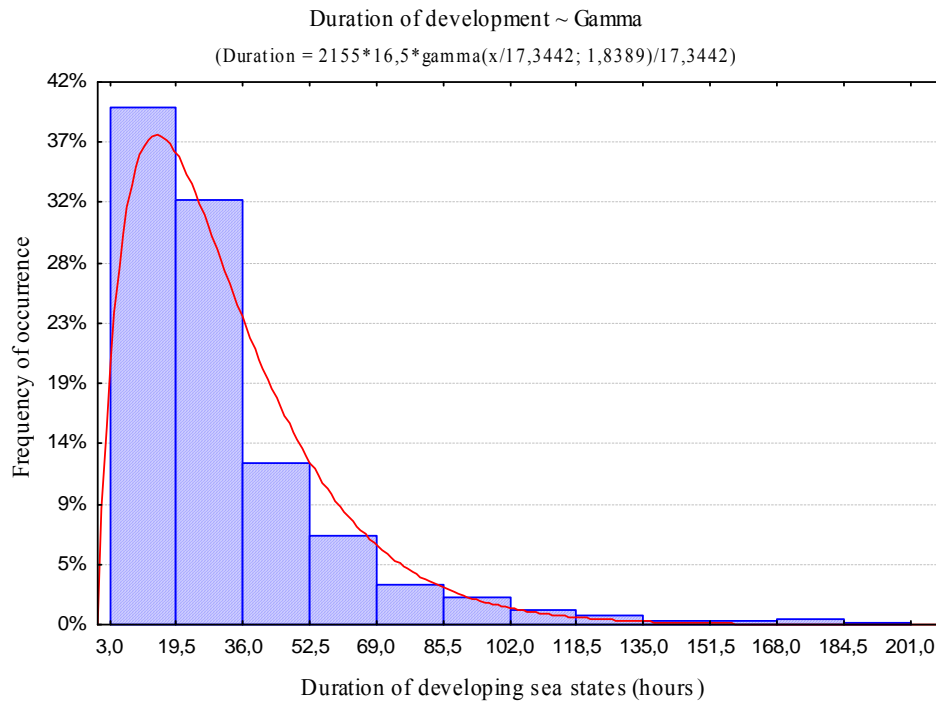
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 59: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

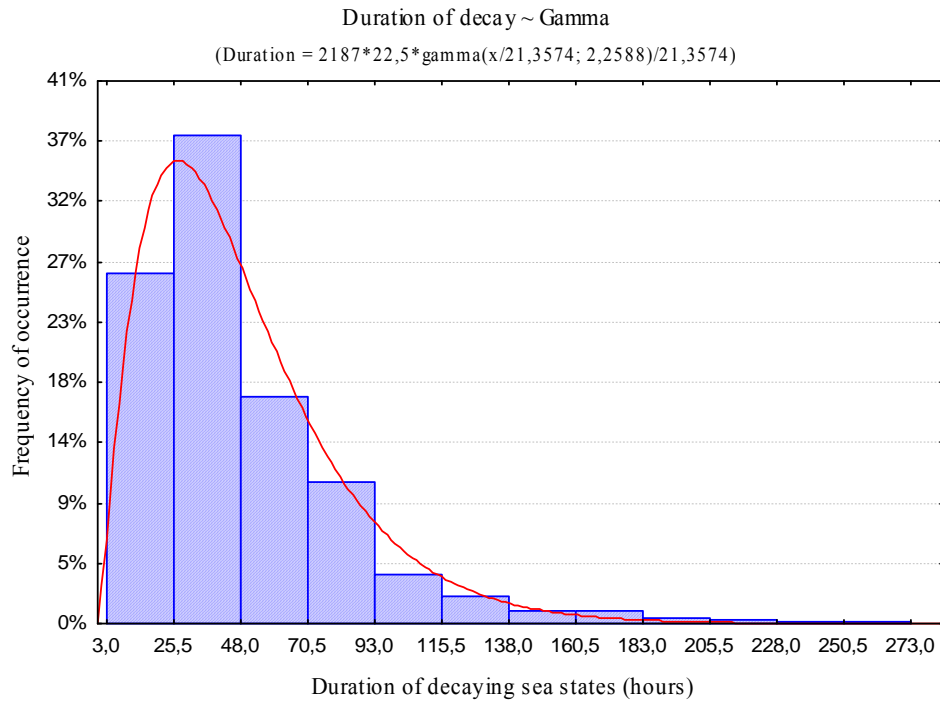
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,7.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



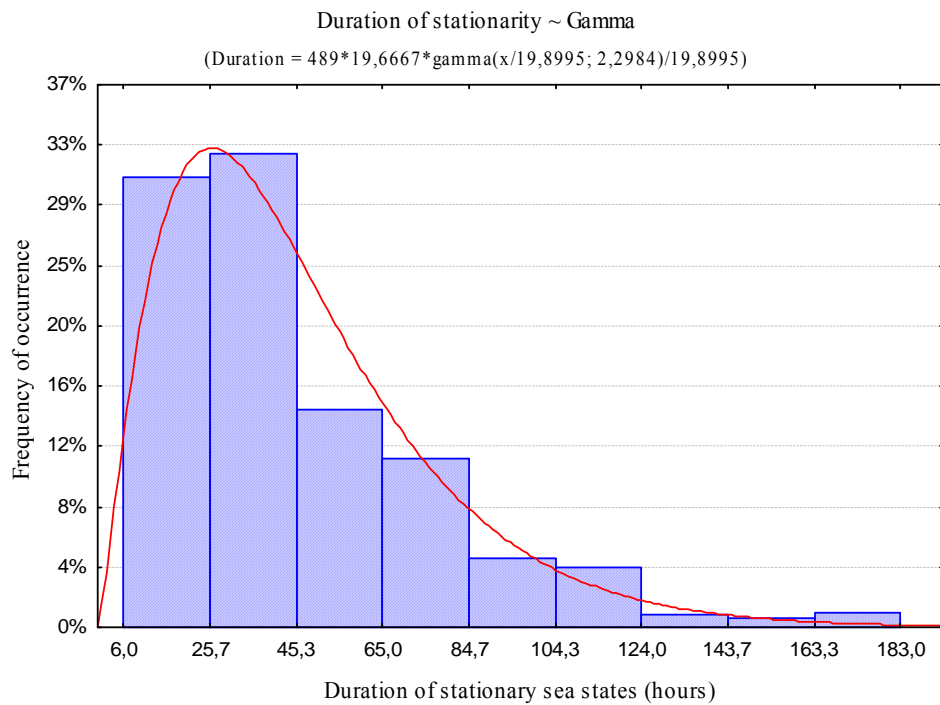
Διάγραμμα 60: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 61: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

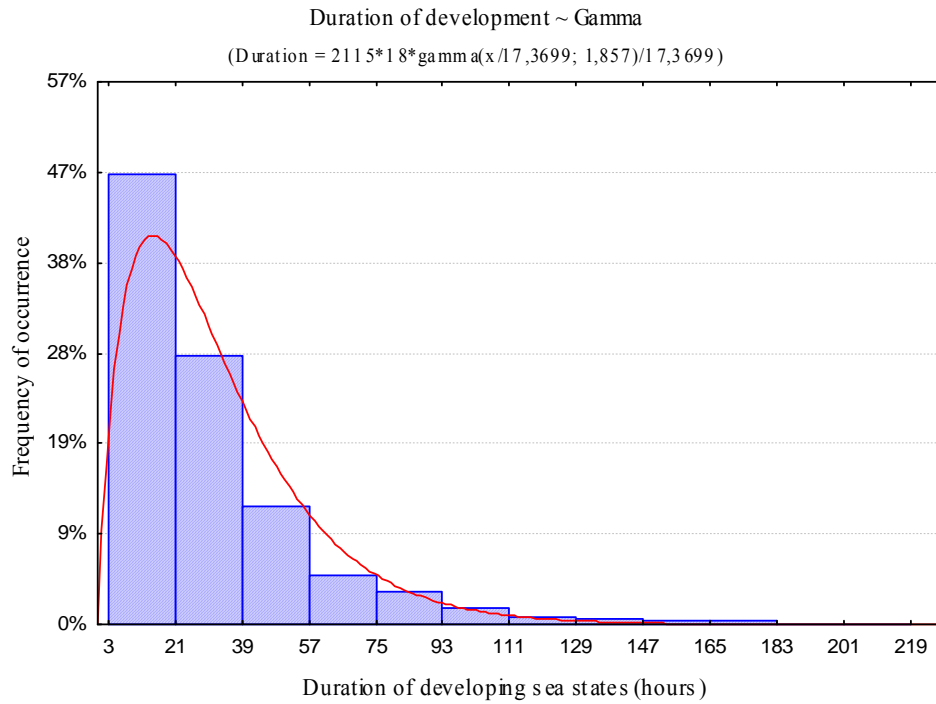
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 62: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

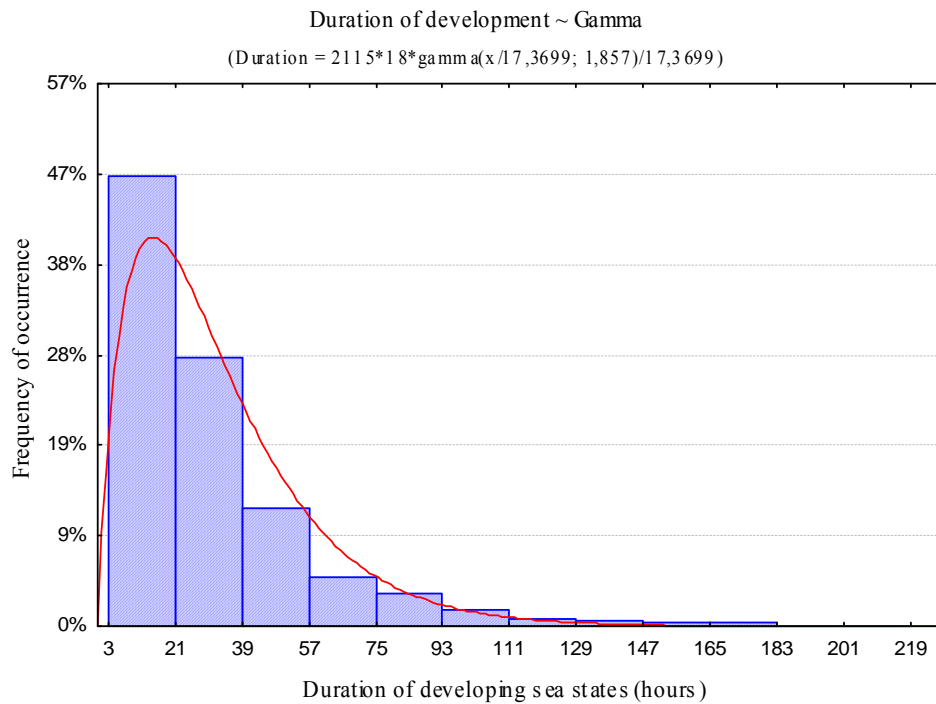
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,8.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



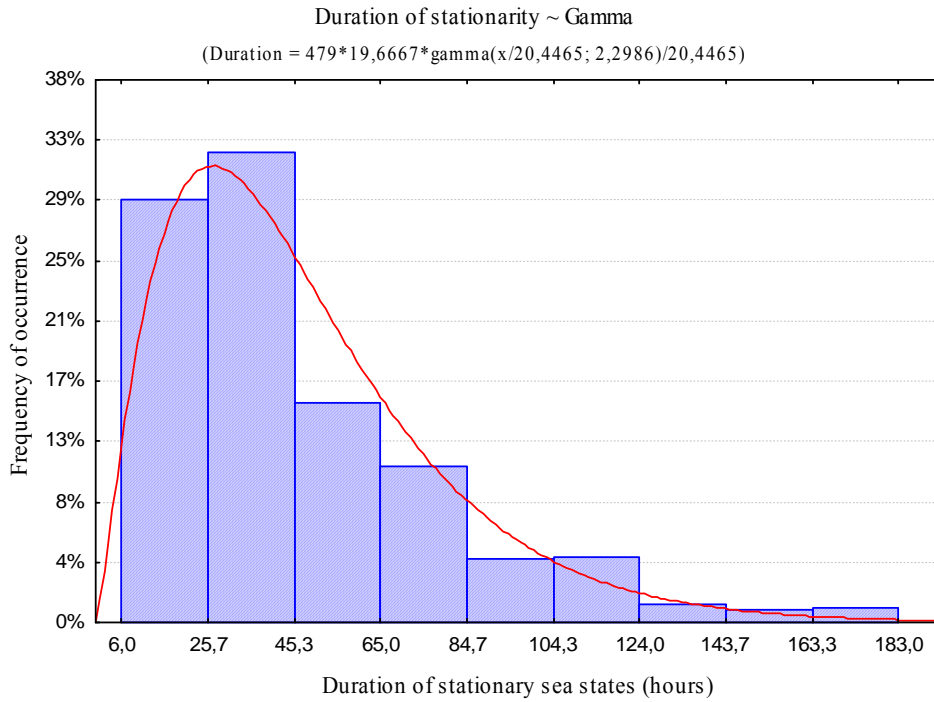
Διάγραμμα 63: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 64: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

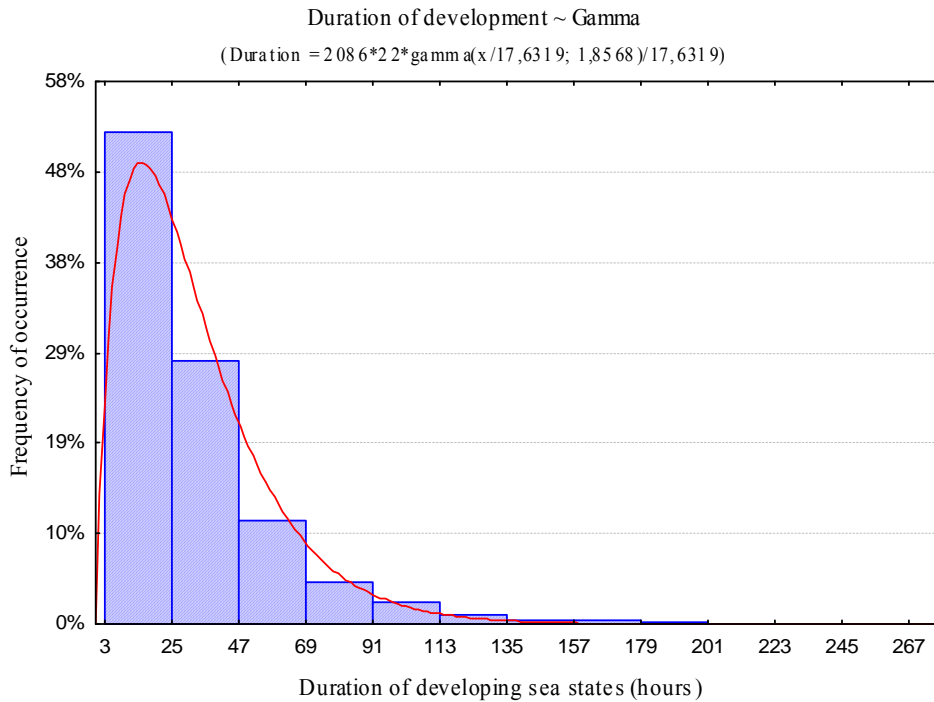
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 65: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

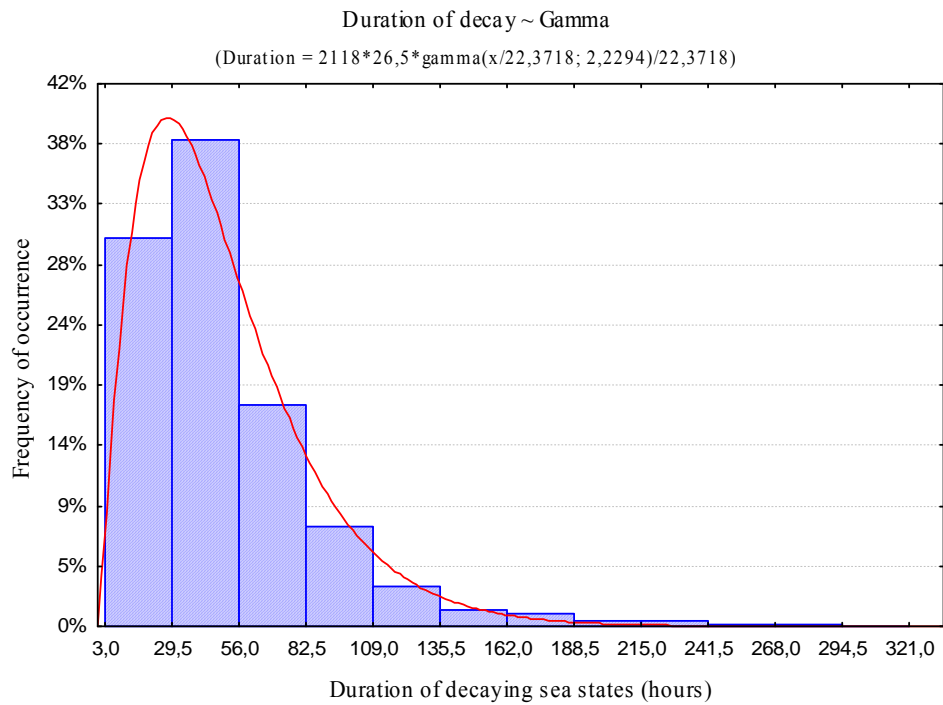
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,9.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



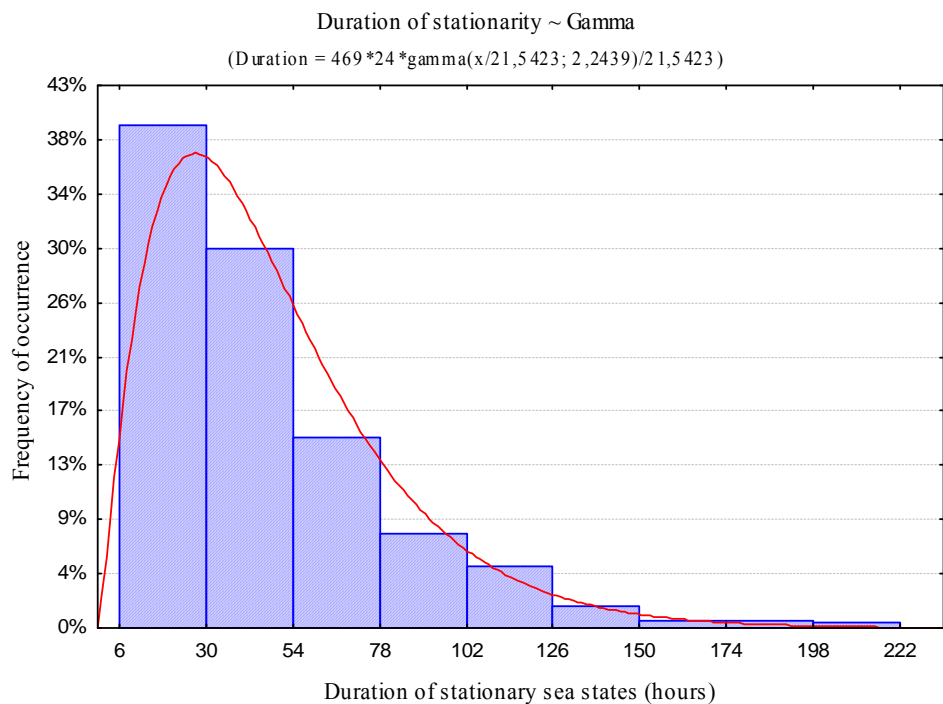
Διάγραμμα 66: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 67: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

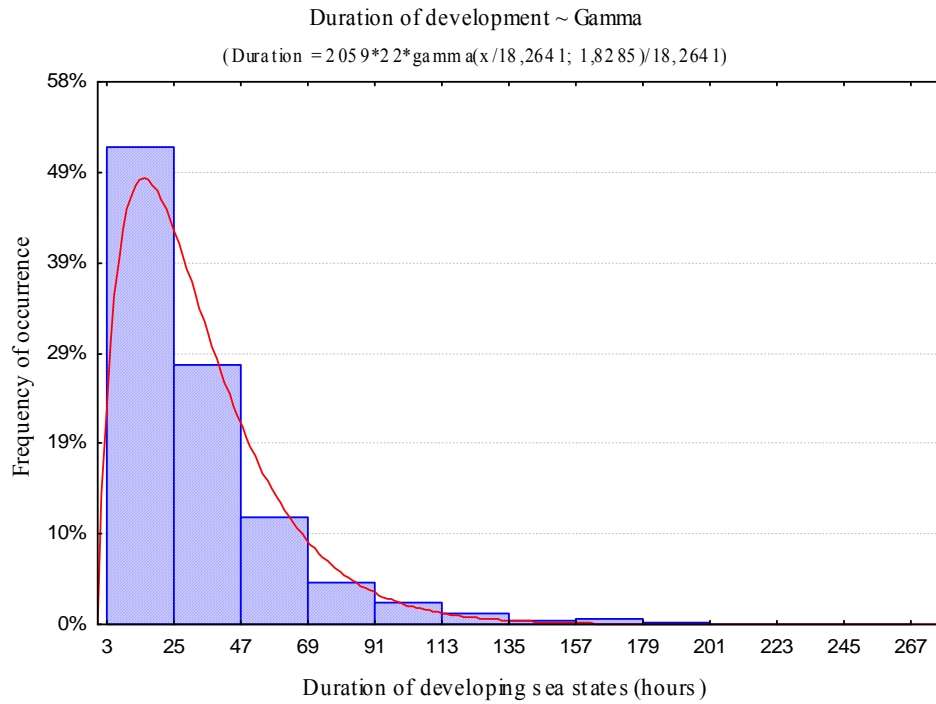
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 68: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

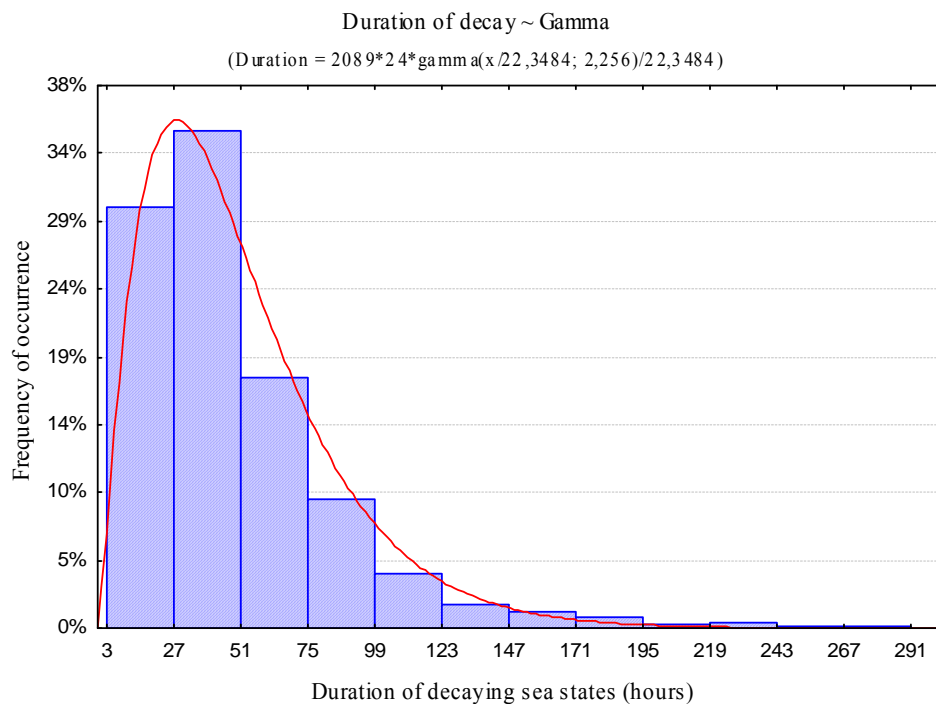
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 2,0.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 69: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

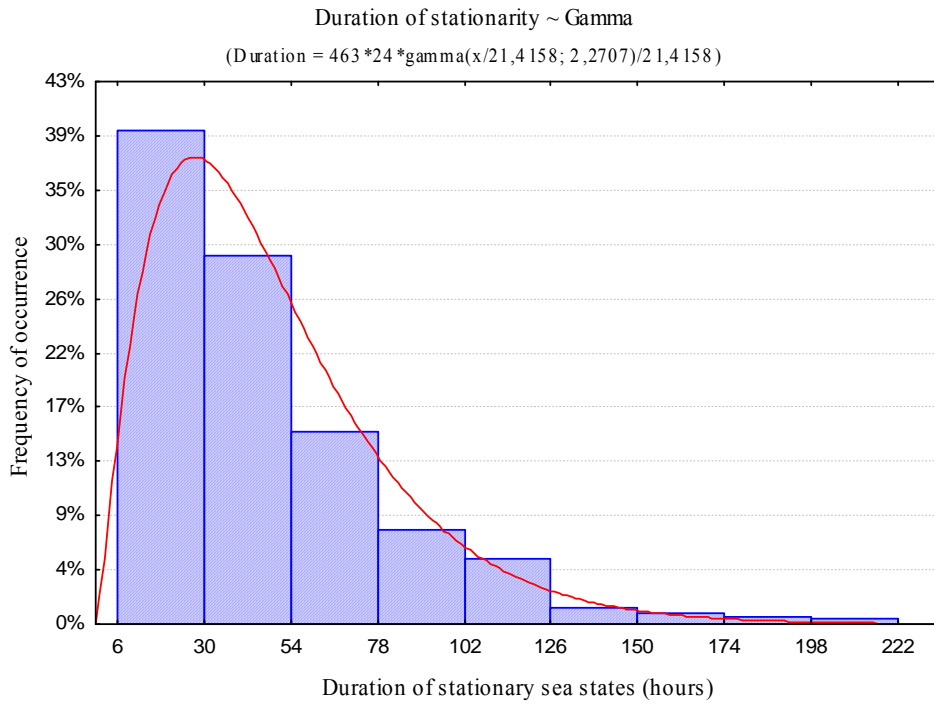
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 70: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.



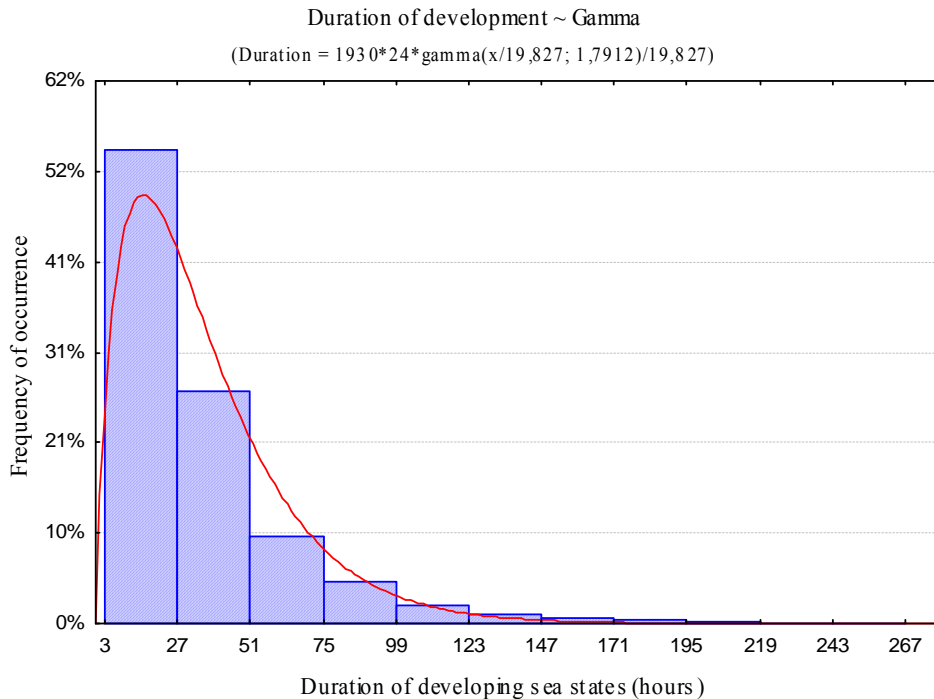
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 71: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

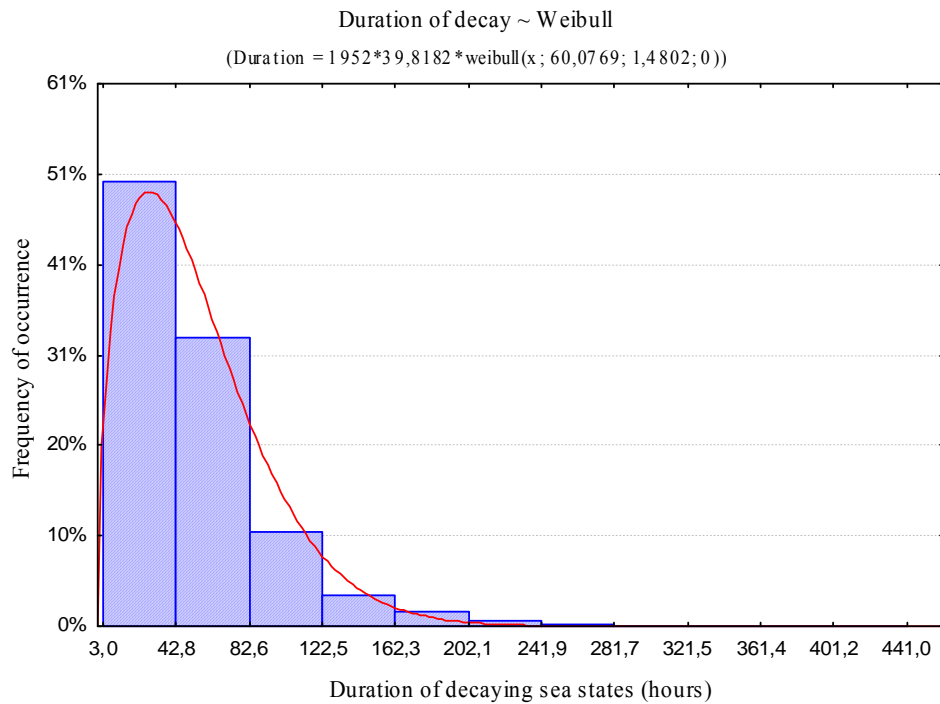
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 2,5.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



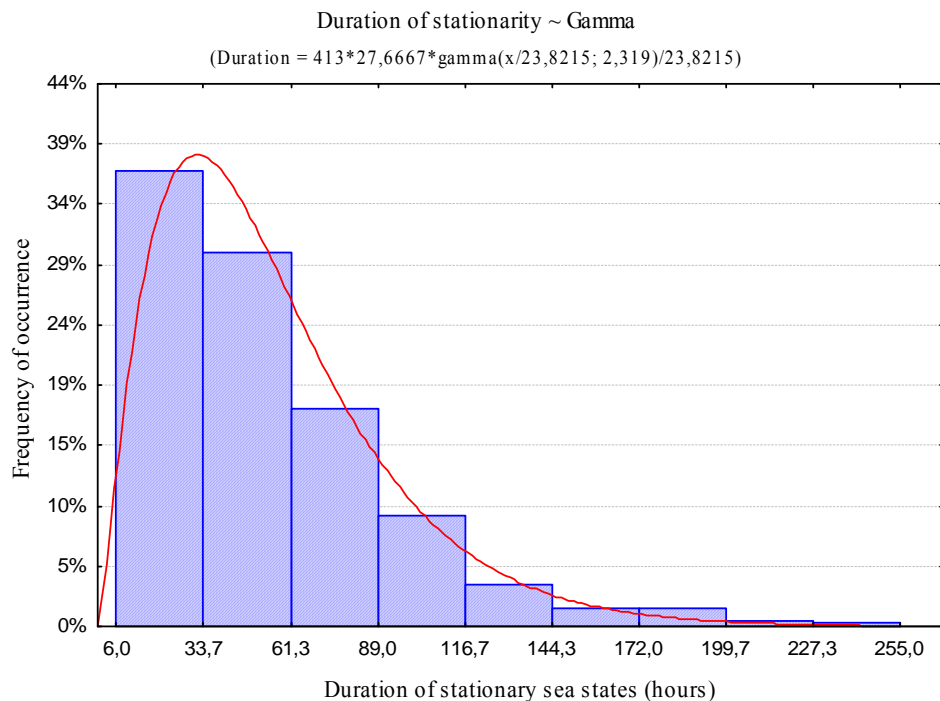
Διάγραμμα 72: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 73: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

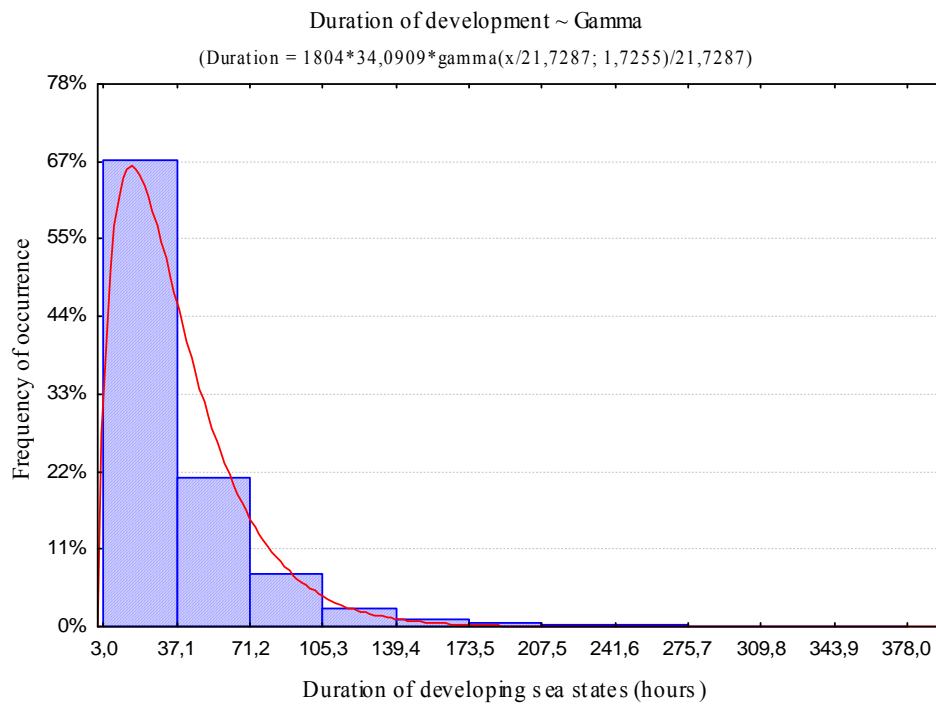
- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 74: Ιστόγραμμα της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

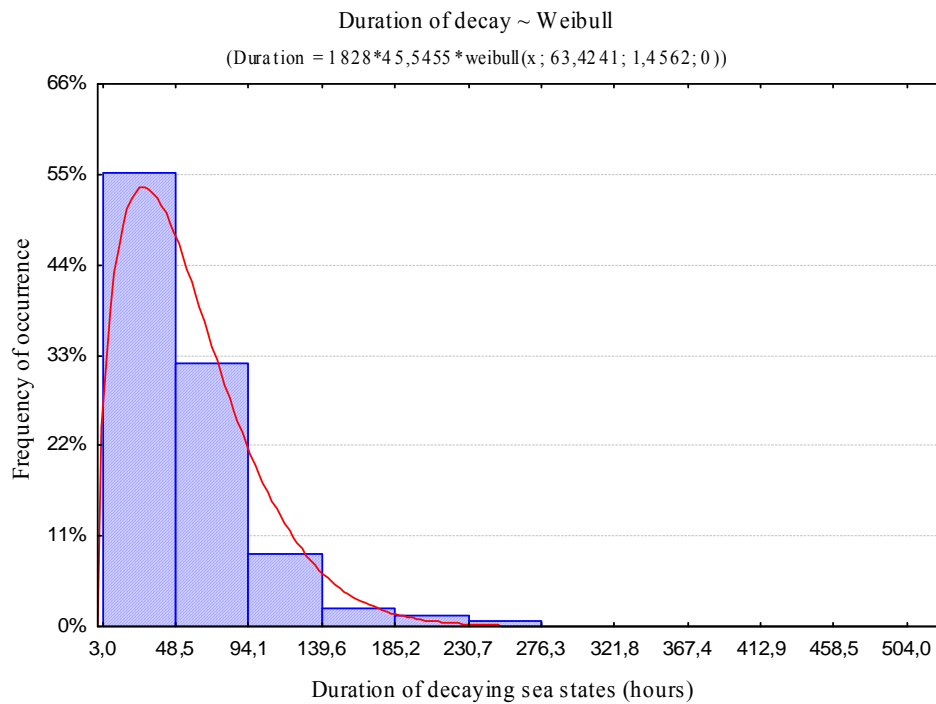
## Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 3,0.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



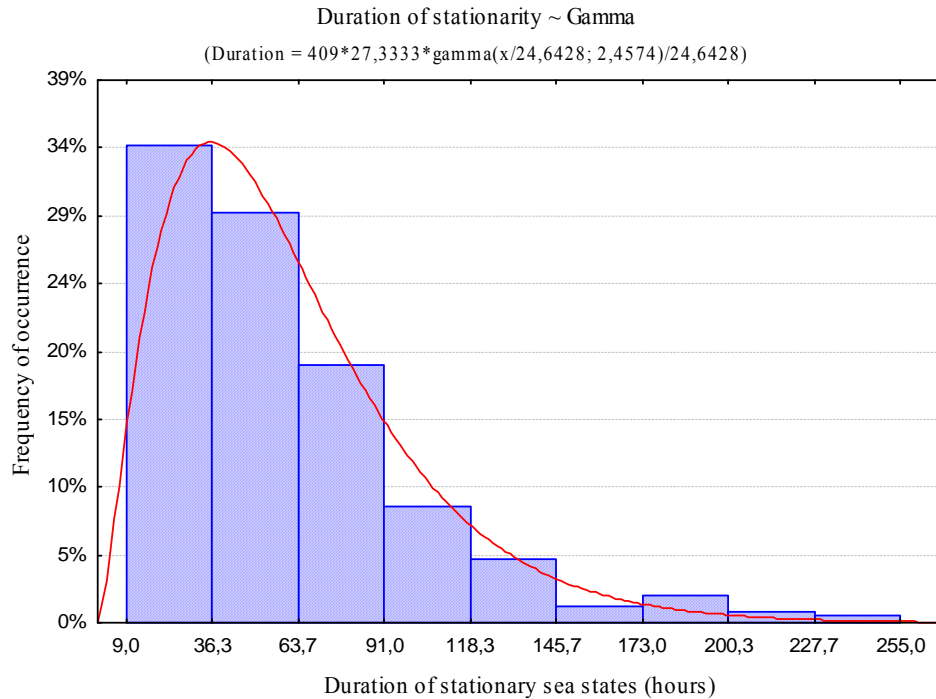
Διάγραμμα 75: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 76: Ιστόγραμμα της διάρκειας των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

- Στάσιμες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 77: Ιστογράμμο της διάρκειας των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

Στα παραπάνω διαγράμματα που αναφέρονται στις διάρκειες των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας παρατηρούνται 21 διαγράμματα (τιμές μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος από 0.1 μέχρι και το 3.0) στα οποία οι διάρκειες ακολουθούν την κατανομή Gamma (ποσοστό 87,5%) που περιγράφεται από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$f(x; \beta, c) = \left(\frac{x}{\beta}\right)^{c-1} \exp\left\{-\frac{x}{\beta}\right\} \left[\frac{1}{\beta \Gamma(c)}\right], \quad (1)$$

$x > \theta, \beta > 0, c > 0$ , όπου  $\beta$  είναι η παράμετρος κλίμακας,  $c$  η παράμετρος μορφής και  $\Gamma(\cdot)$  είναι η συνάρτηση Γάμμα. Οι κατανομές για τιμές μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος 0.1 και 0.2 παρουσιάζουν μέγιστα στο διάστημα  $[3, 13.8h]$ . Για την τιμή 0.3 το μέγιστο της κατανομής παρουσιάζεται στο διάστημα  $[3, 14.8h]$ . Οι κατανομές των τιμών 0.4, 0.5 και 0.6 παρουσιάζουν μέγιστα στο διάστημα  $[3, 17h]$ . Για τις τιμές 0.7, 0.8, 0.9 και 1.0 τα μέγιστα των κατανομών τους παρουσιάζονται στο διάστημα  $[3, 17.5h]$ . Για τις τιμές 1.1 και 1.2, στο διάστημα  $[3, 18.3h]$ . Για τις τιμές 1.3, 1.5, 1.6 και 1.7 στο διάστημα  $[3, 19.5h]$ . Για την τιμή 1.4 το μέγιστο της κατανομής παρουσιάζεται στο διάστημα  $[3, 21h]$ . Για τις τιμές του μέγιστου σφάλματος 1.9 και 2.0, στο διάστημα  $[3, 25h]$ . Τέλος, για τις τιμές του μέγιστου σφάλματος 2.5 και 3.0, το μέγιστο παρουσιάζεται στο διάστημα  $[3, 37h]$ . Στις μικρές τιμές του μέγιστου

επιτρεπόμενου σφάλματος 0.03 και 0.05 επικρατεί η κατανομή Lognormal και το μέγιστο των κατανομών είναι για τις δύο πρώτες στο διάστημα  $[3,9h]$  και για την τρίτη  $[3,8.5h]$ . Η κατανομή αυτή περιγράφεται από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$f(x; \sigma, \mu) = \frac{1}{\left[ x\sigma(2\pi)^{1/2} \right]} \exp \left\{ -\frac{[\log(x) - \mu]^2}{2\sigma^2} \right\}, \quad (2)$$

$0 < x < \infty$ ,  $\mu > 0$ ,  $\sigma > 0$ , όπου  $\mu$  είναι η παράμετρος κλίμακας,  $\sigma$  η παράμετρος μορφής.

Στις διάρκειες των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας παρατηρήθηκαν 4 ιστογράμματα που ακολουθούν την κατανομή Lognormal (ποσοστό 16,7%), 15 ιστογράμματα που ακολουθούν την Γάμμα κατανομή (ποσοστό 62,5%) και 6 ιστογράμματα που ακολουθούν την κατανομή Weibull (ποσοστό 25%). Το μέγιστο της κατανομής Lognormal για την τιμή 0.01 παρατηρήθηκαν στο διάστημα  $[3,8.1h]$ , για την τιμή 0.03 στο διάστημα  $[3,9h]$ , για την τιμή 0.05 στο διάστημα  $[3,9.9h]$  και για την τιμή 0.1 στο διάστημα  $[3,12.2h]$ , Τα μέγιστα της Γάμμα κατανομής παρατηρήθηκαν για την τιμή 0.2 στο διάστημα  $[3,18.2h]$ , για την τιμή 0.3 στο διάστημα  $[3,14.8h]$ , για την τιμή 0.4 στο διάστημα  $[3,21.3h]$ , για τις τιμές 0.9, 1.0, 1.1 και 1.2 στο διάστημα  $[3,23.8h]$ , για την τιμή 1.3 στο διάστημα  $[23.8,44.5h]$ , για τις τιμές 1.4, 1.5 και 1.7 στο διάστημα  $[25.5,48h]$ , για τις τιμές 1.6 και 1.9 στο διάστημα  $[29.5,56h]$ , για την τιμή 1.8 στο διάστημα  $[3,21h]$  και τέλος, για την τιμή 2.0 στο διάστημα  $[27,51h]$ . Τα μέγιστα της κατανομής Weibull παρατηρήθηκαν για την τιμή 0.5 στο διάστημα  $[3,23.8h]$ , για τις τιμές 0.6, 0.7 και 0.8 στο διάστημα  $[23.8,44.5h]$ , για την τιμή 2.5 στο διάστημα  $[3,42.8h]$  και τέλος, για την τιμή 3.0 στο διάστημα  $[3,48.5h]$ . Η τριών παραμέτρων κατανομή Weibull περιγράφεται από την ακόλουθη συνάρτηση:

$$f(x; \beta, c, \theta) = \frac{c}{\beta} \left[ \frac{x - \theta}{\beta} \right]^{c-1} \exp \left\{ -\left[ \frac{x - \theta}{\beta} \right]^c \right\}, \quad (3)$$

$x > \theta$ ,  $\beta > 0$ ,  $c > 0$ , όπου  $\beta$  είναι παράμετρος κλίμακας,  $c$  η παράμετρος μορφής και  $\theta$  είναι η παράμετρος θέσης της κατανομής.

Στις διάρκειες των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας παρατηρήθηκαν 14 ιστογράμματα που ακολουθούν την Γάμμα κατανομή (ποσοστό 56%). Τα μέγιστα της κατανομής αυτής για τις τιμές του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος 0.2, 0.3 και 0,4 παρουσιάστηκαν στο διάστημα  $[3,14.5h]$ , για τις τιμές 1.2, 1.3, 1.4 και 1.5 στο διάστημα  $[20,40h]$ , για την τιμή 1.6 στο διάστημα  $[6,25.3h]$ , για τις τιμές 1.7 και 1.8 στο διάστημα  $[25.7,45.3h]$ , για τις τιμές 1.9 και 2.0 στο διάστημα  $[6,30h]$ ,

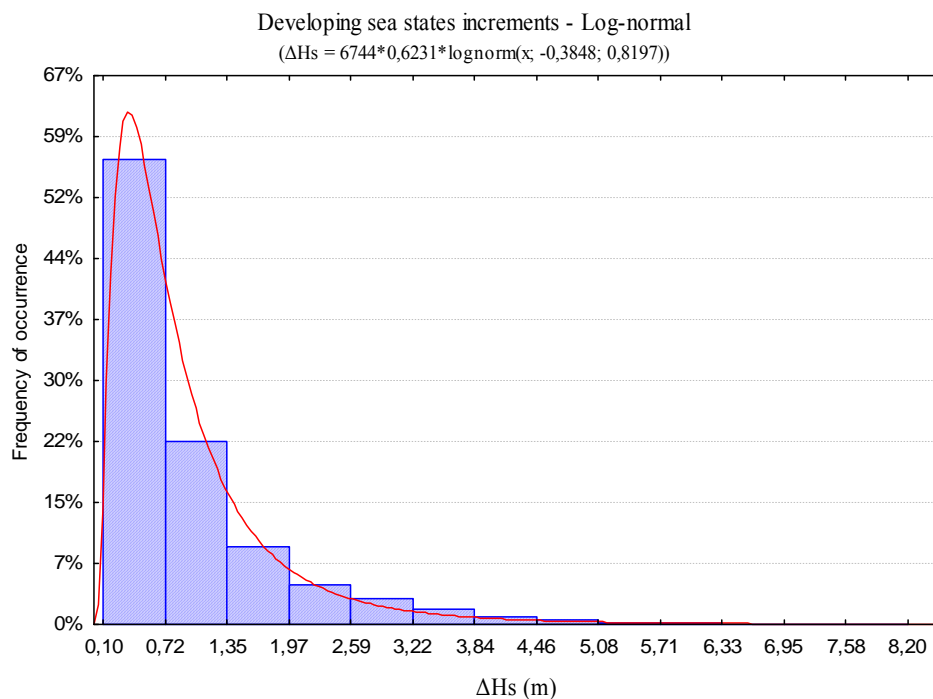
για την τιμή 2.5 στο διάστημα  $[6,33.7h]$  και τέλος, για την τιμή 3.0 στο διάστημα  $[9,36.3h]$ . Επίσης, 6 ιστογράμματα που ακολούθησαν την κατανομή Weibull (ποσοστό 24%) με μέγιστο για τις τιμές 0.6, 0.7, 0.8 και 0.9 στο διάστημα  $[0,20h]$  και για τις τιμές 1.0 και 1.1 στο διάστημα  $[20,40h]$ . Τέλος, 5 ιστογράμματα ακολούθησαν την κατανομή Log-normal (ποσοστό 20%). Στην τιμή 0.01 του μέγιστου σφάλματος, το μέγιστο της κατανομής βρίσκεται στο  $[3,5.6h]$ , στις τιμές 0.03 και 0.05 στο διάστημα  $[3,8.5h]$ , στην τιμή 0.1 στο διάστημα  $[3,10.8h]$  και τέλος, στην τιμή 0.5 στο διάστημα  $[3,15.3h]$ .

#### 4.2.5. Ανάλυση των $\Delta H_s$ των καταστάσεων θάλασσας

Στη συνέχεια, εξετάζεται η στοχαστική συμπεριφορά των μεταφορών των σημαντικών υψών των αναπτυσσόμενων και αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας για όλα τα σφάλματα που εξετάστηκαν, όπως αυτές προήλθαν από τον αλγόριθμο κατάτμησης.

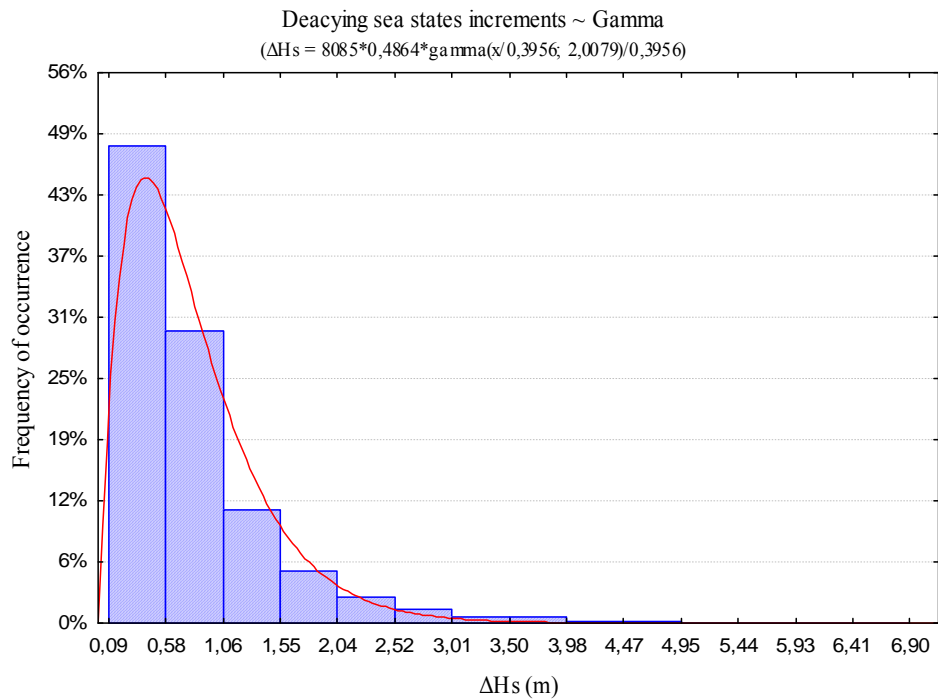
#### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,01.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 78: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Log-normal.

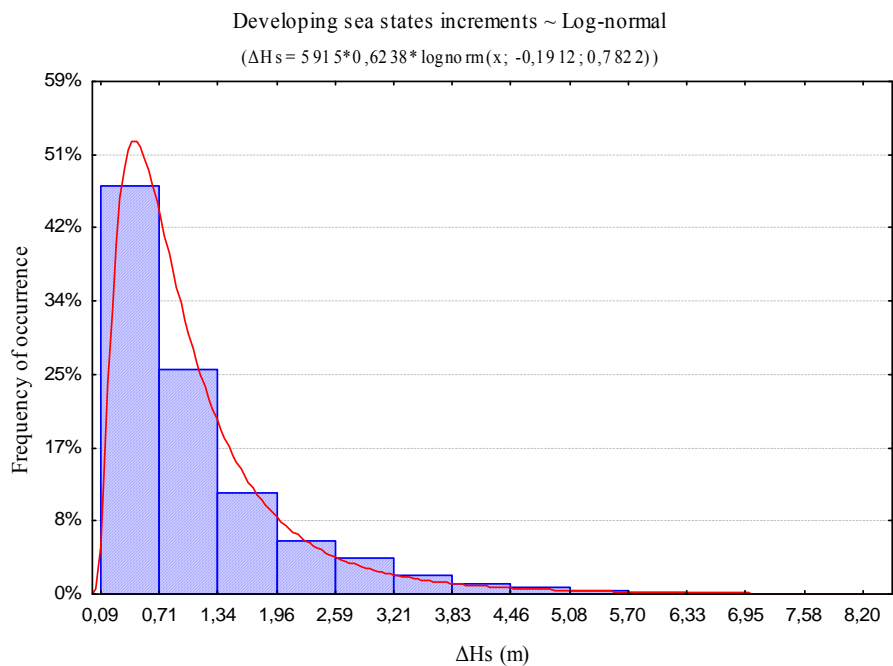
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 79: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

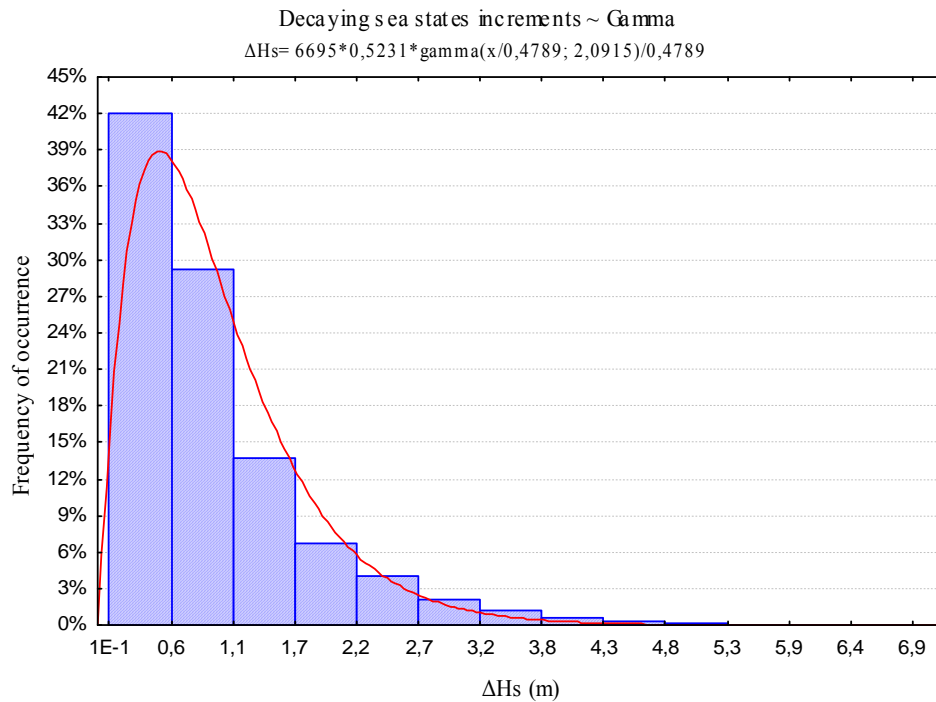
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,03.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 80: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Log-normal.

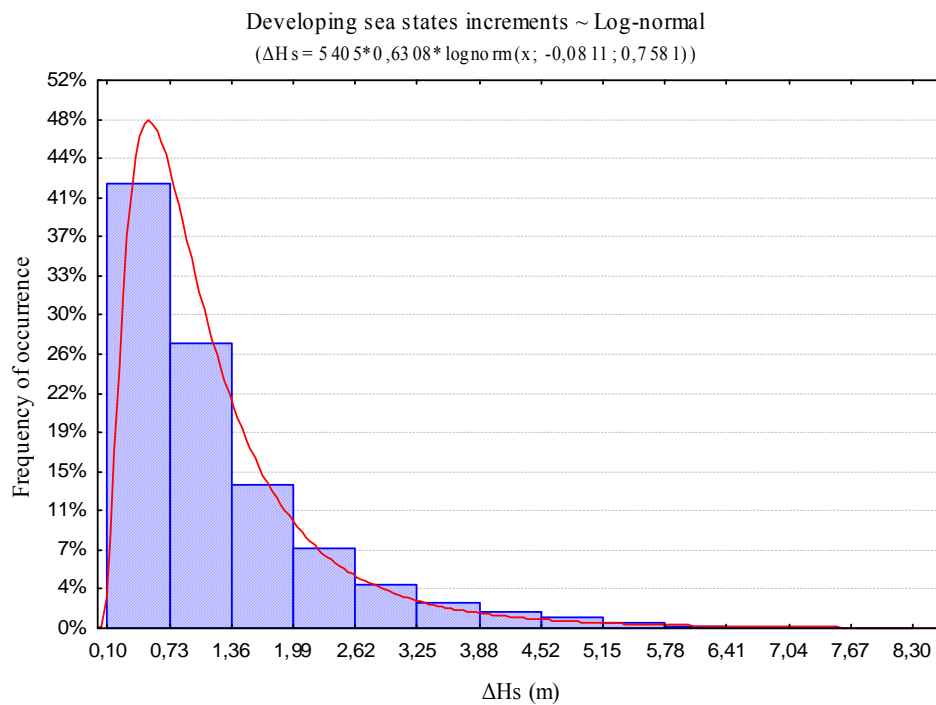
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 81: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

**Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,05.**

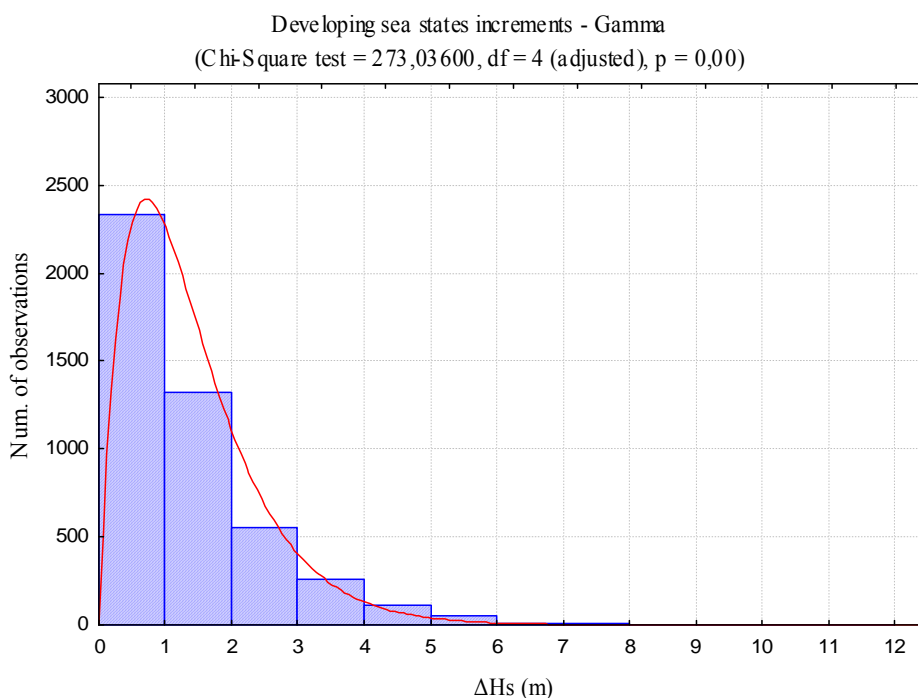
- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 82: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Log-normal.



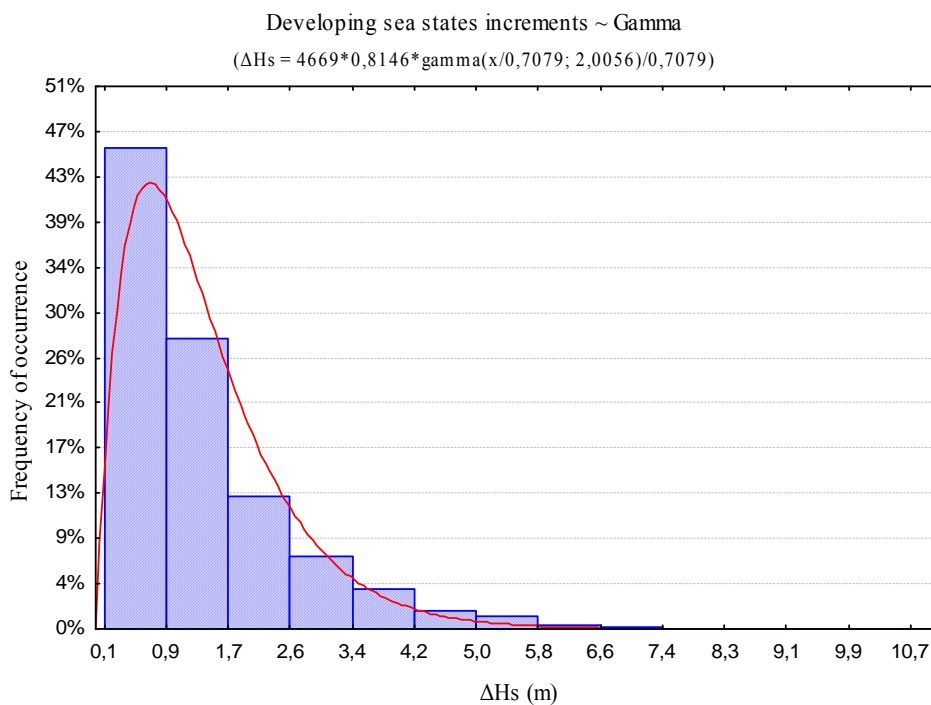
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 83: Ιστόγραμμα των  $\Delta Hs$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

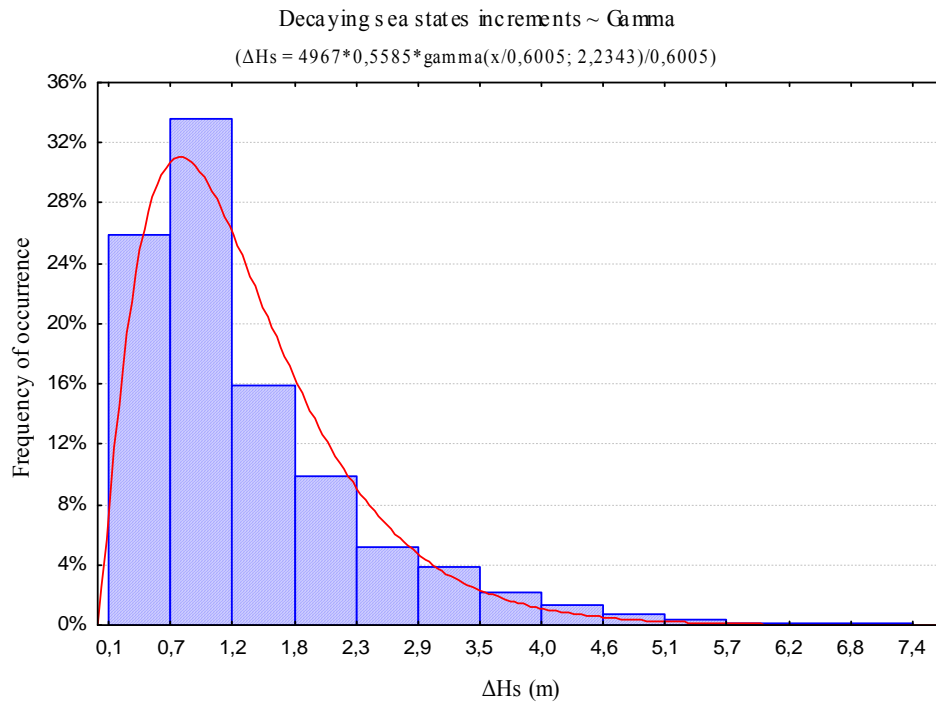
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,1.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 84: Ιστόγραμμα των  $\Delta Hs$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

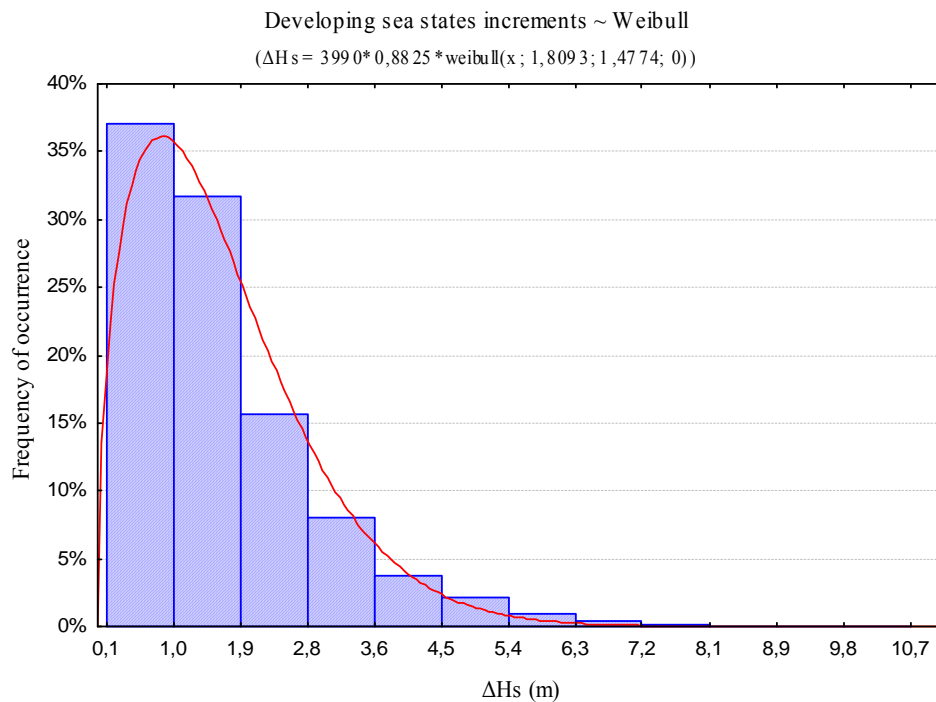
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 85: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

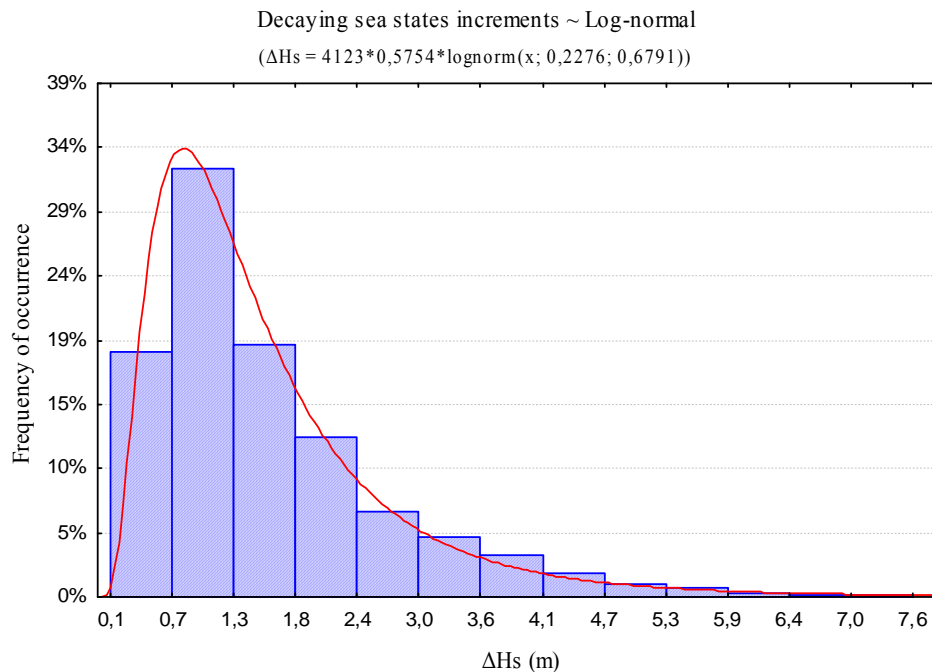
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,2.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 86: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

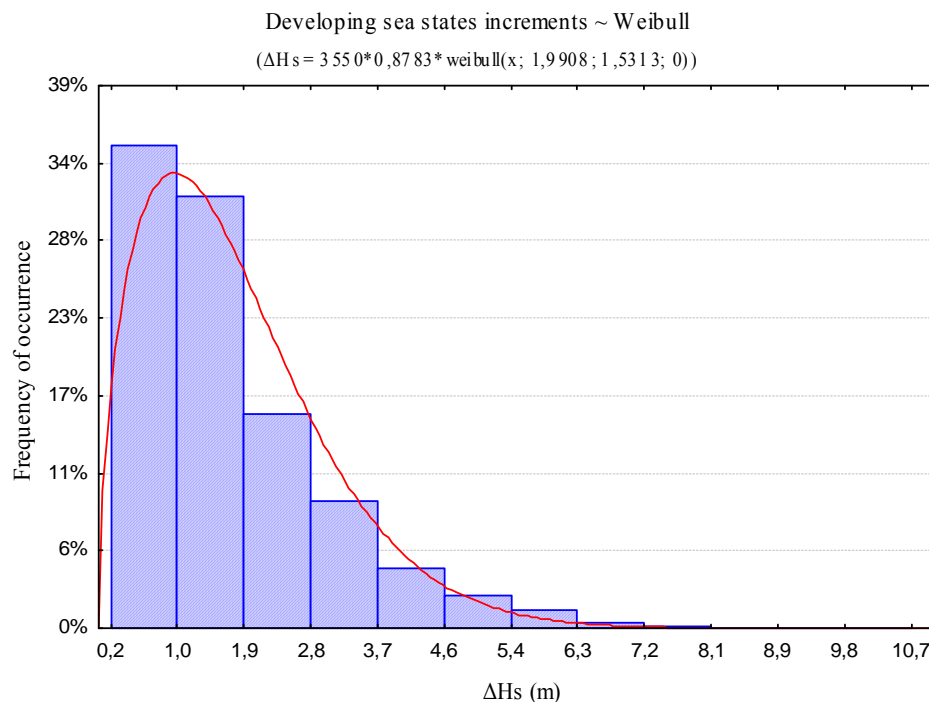
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 87: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Log-normal.

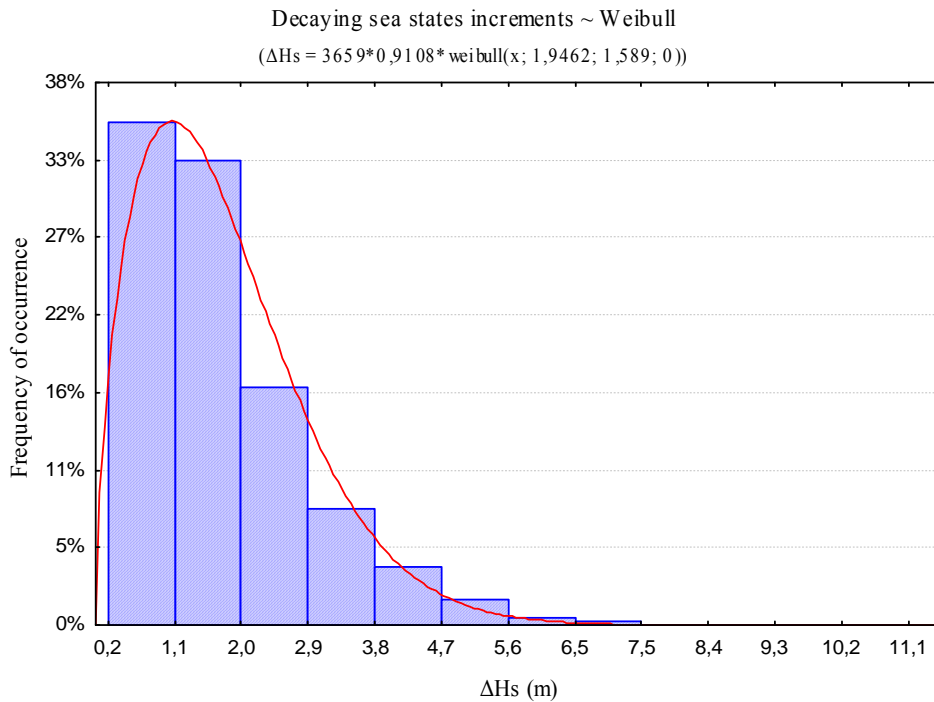
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,3.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 88: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

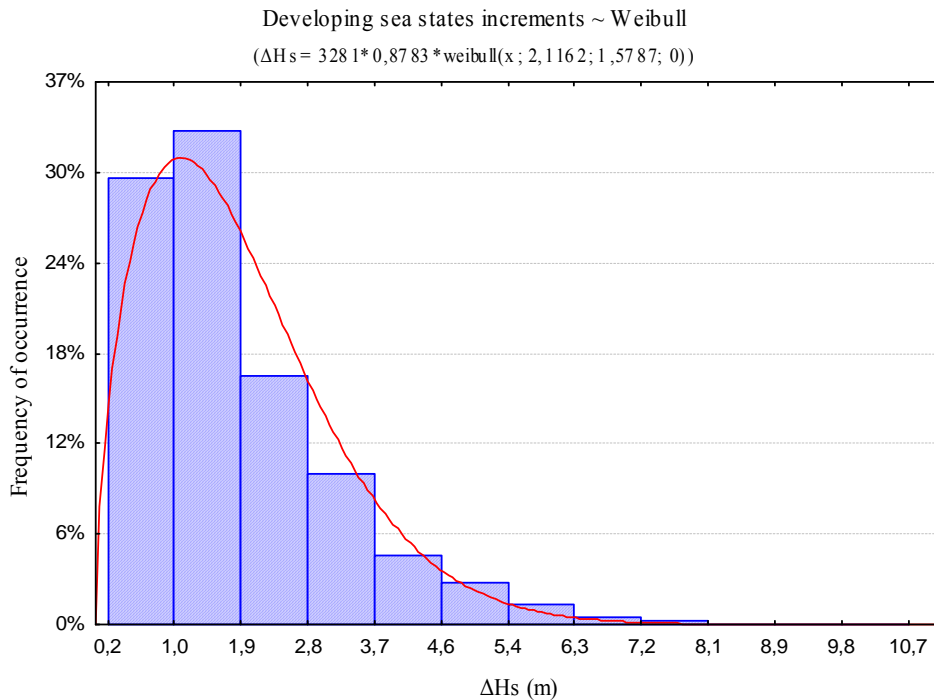
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 89: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

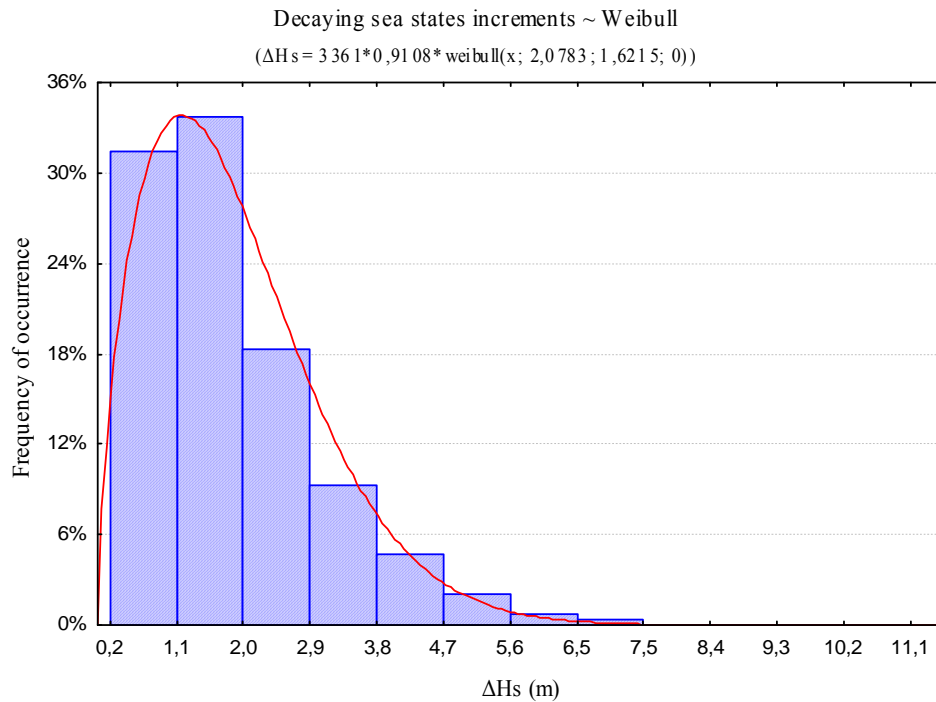
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,4.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 90: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

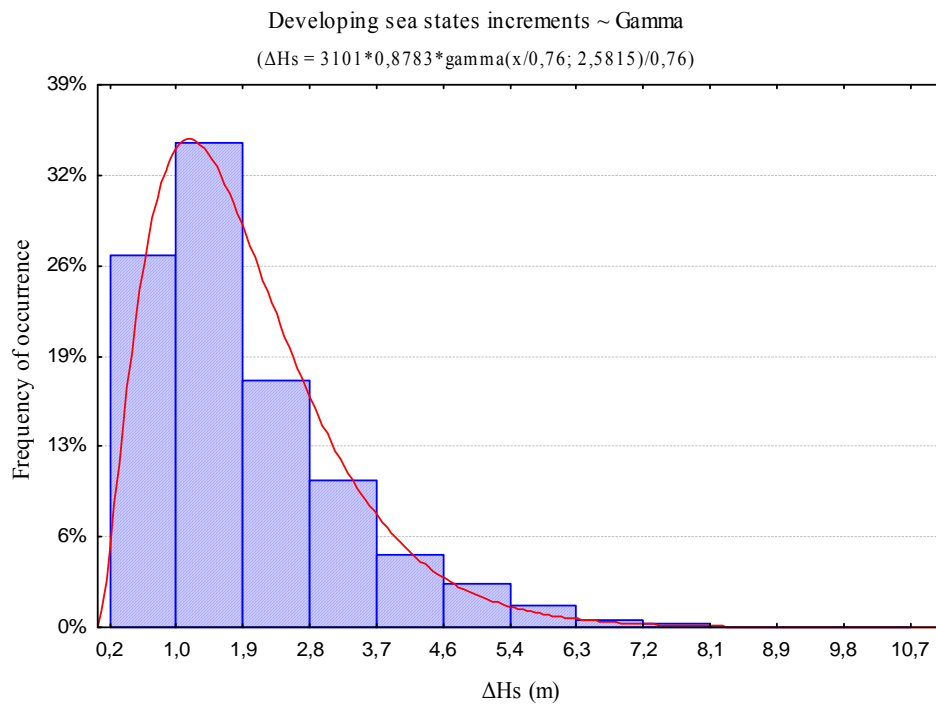
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 91: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

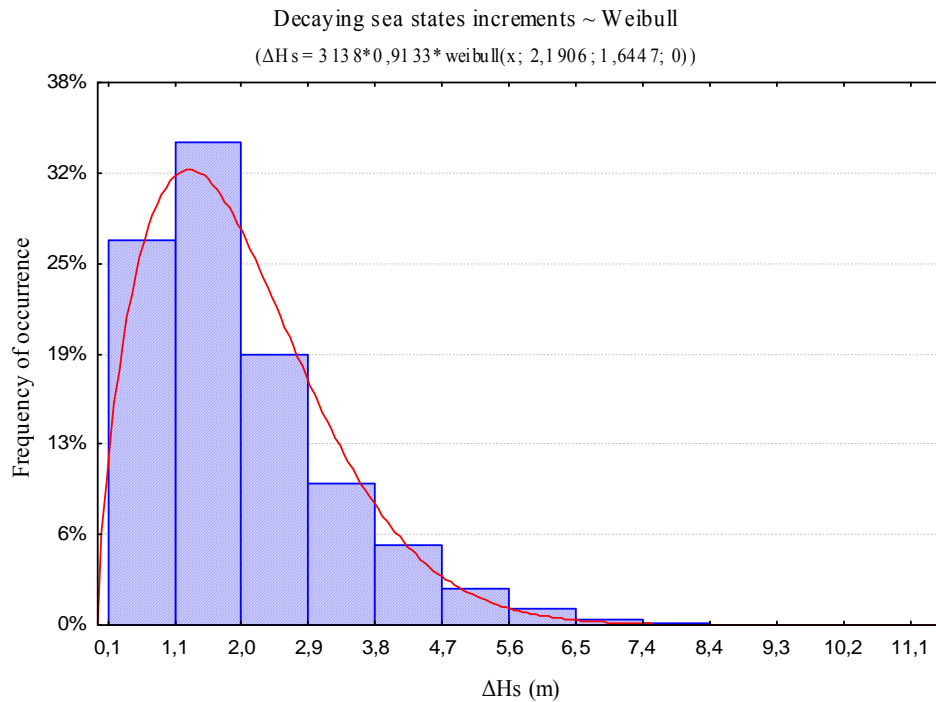
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,5.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 92: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

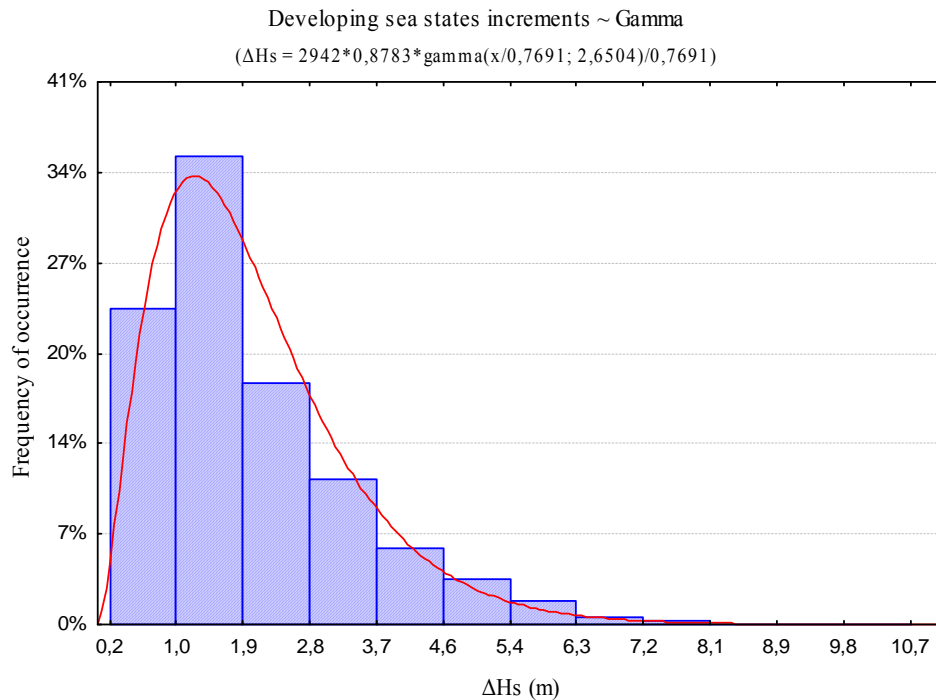
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 93: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την τριών παραμέτρων κατανομή Weibull.

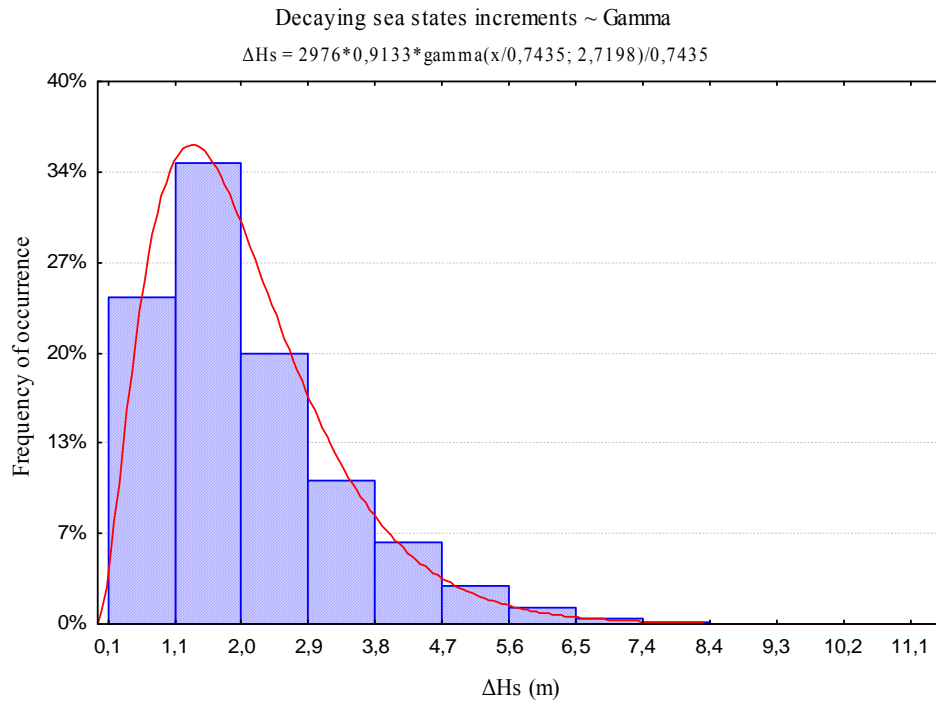
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,6.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 94: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

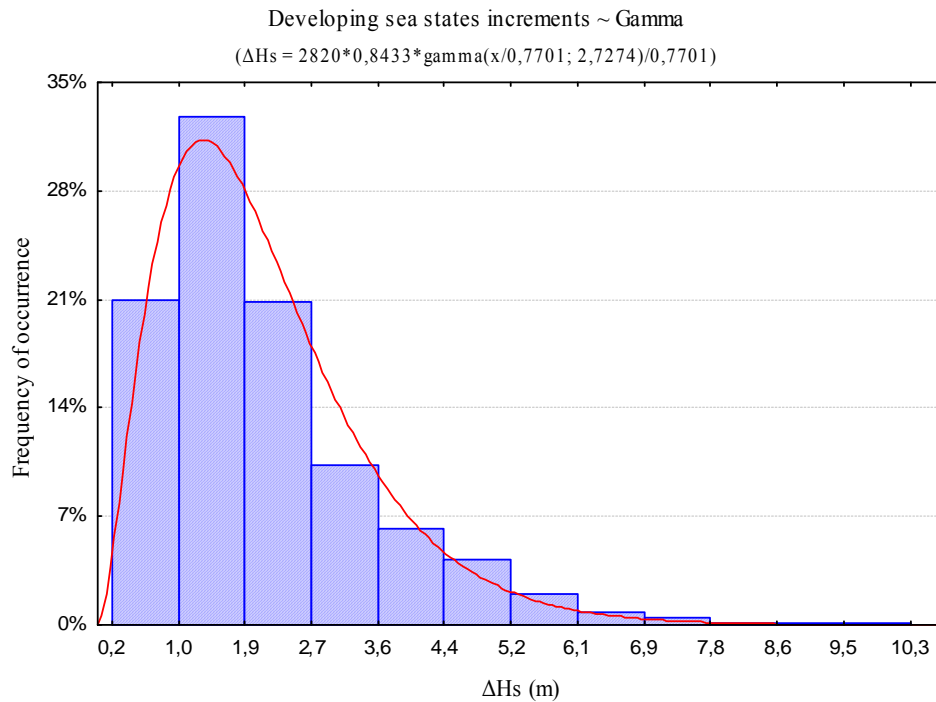
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 95: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

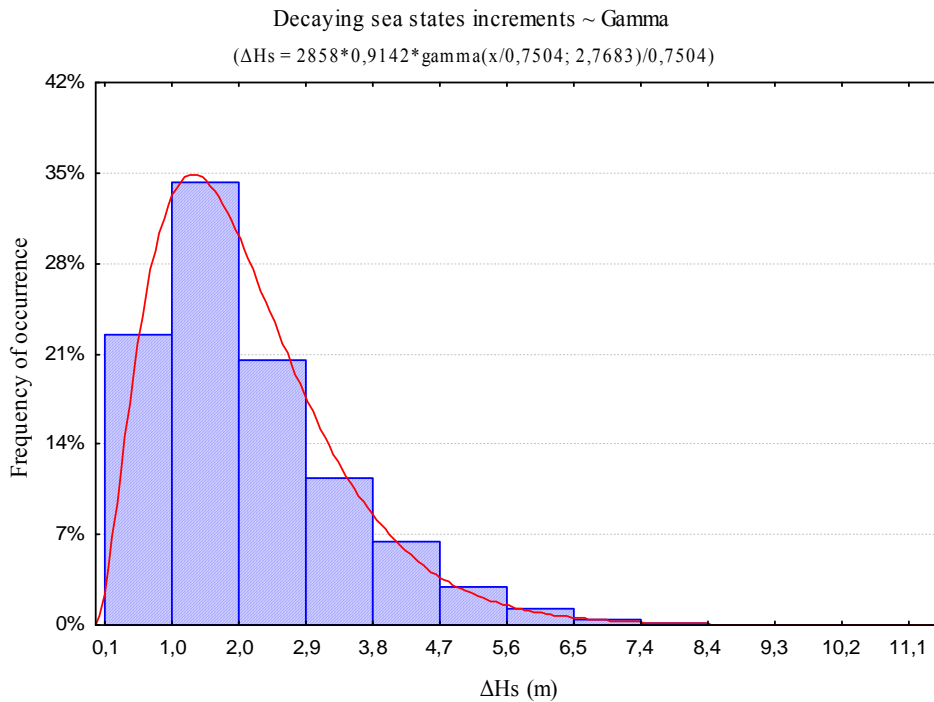
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,7.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 96: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

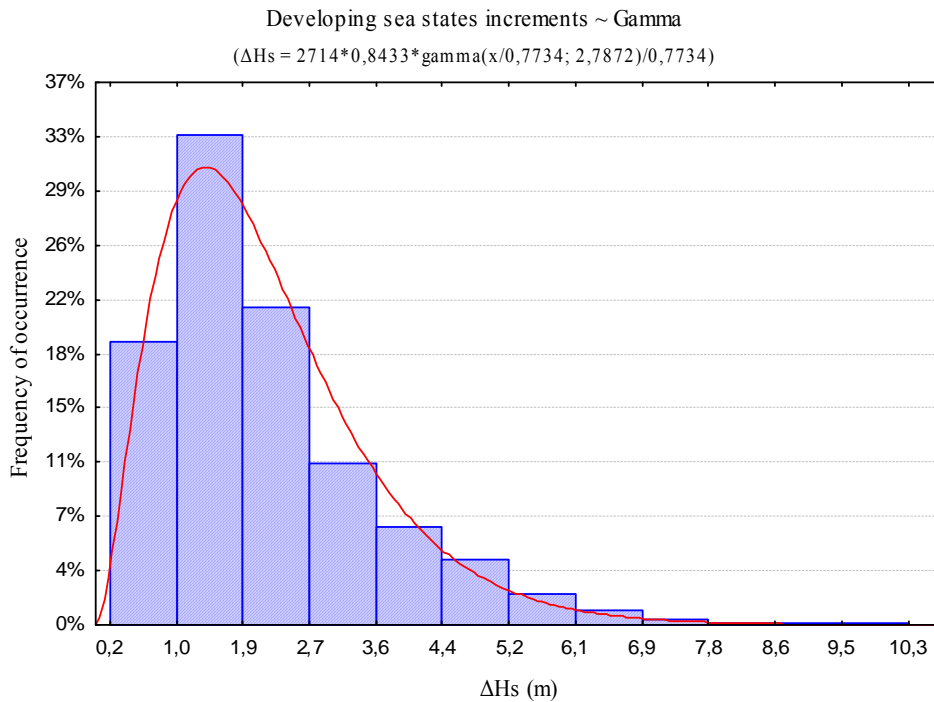
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 97: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,8.

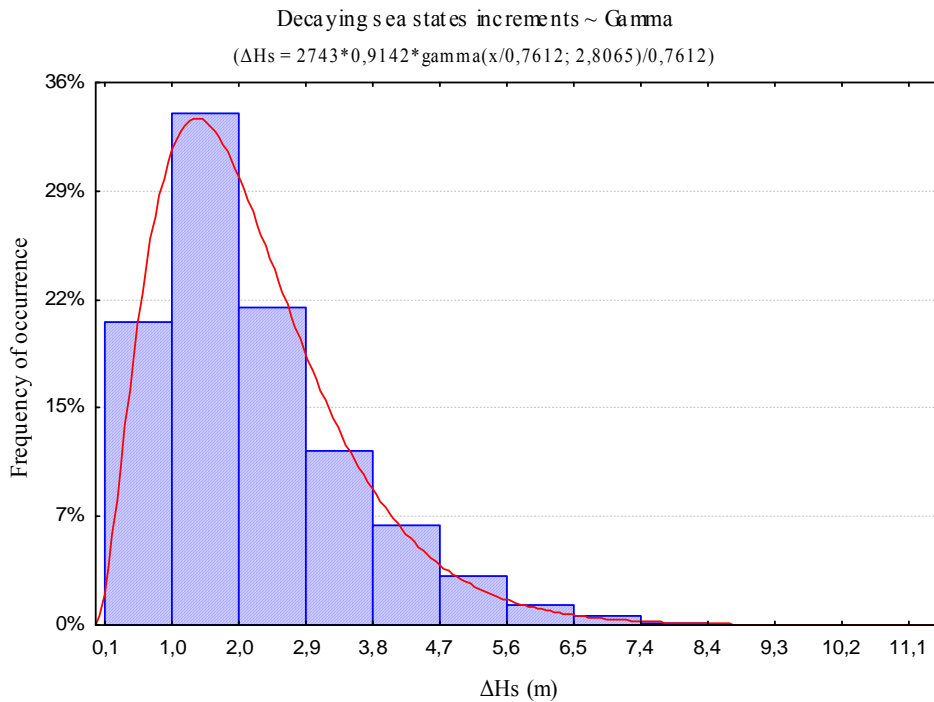
- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 98: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.



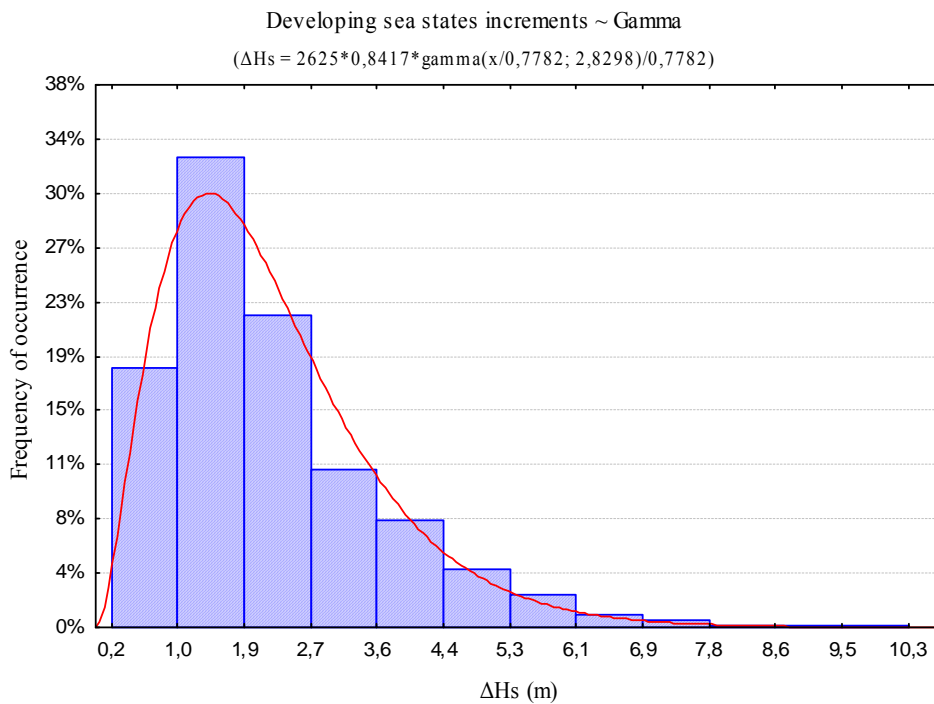
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 99: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

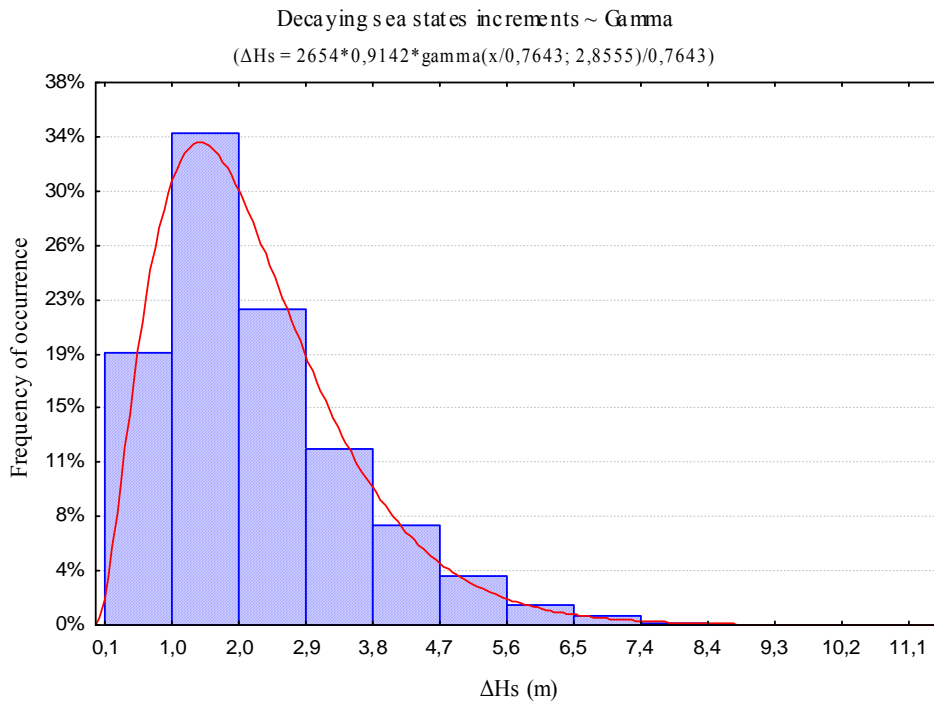
**Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0,9.**

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 100: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

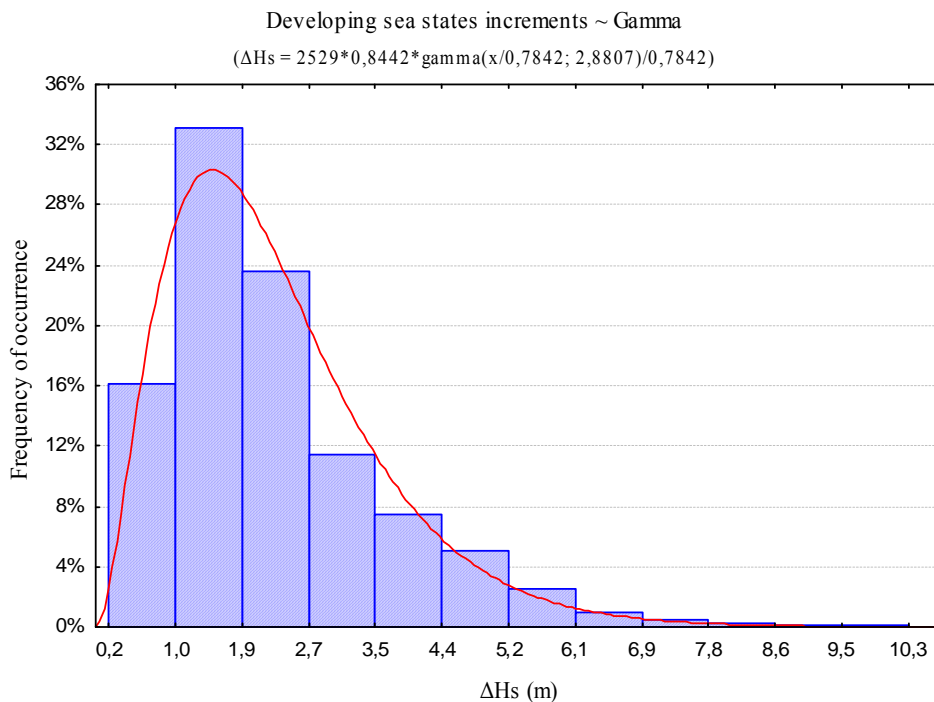
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 101: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

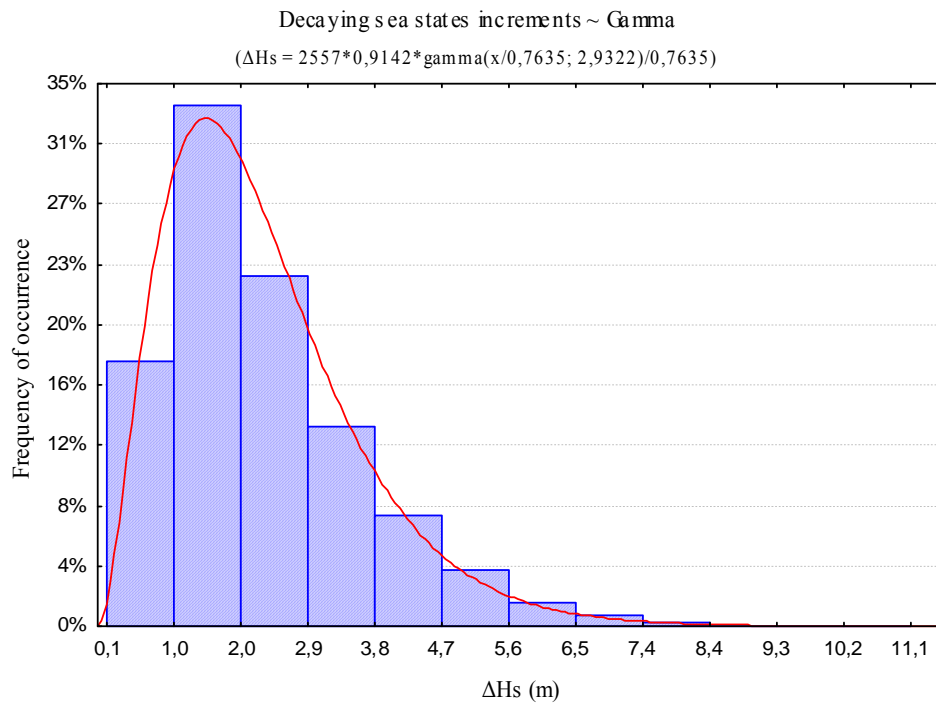
**Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,0.**

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 102: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

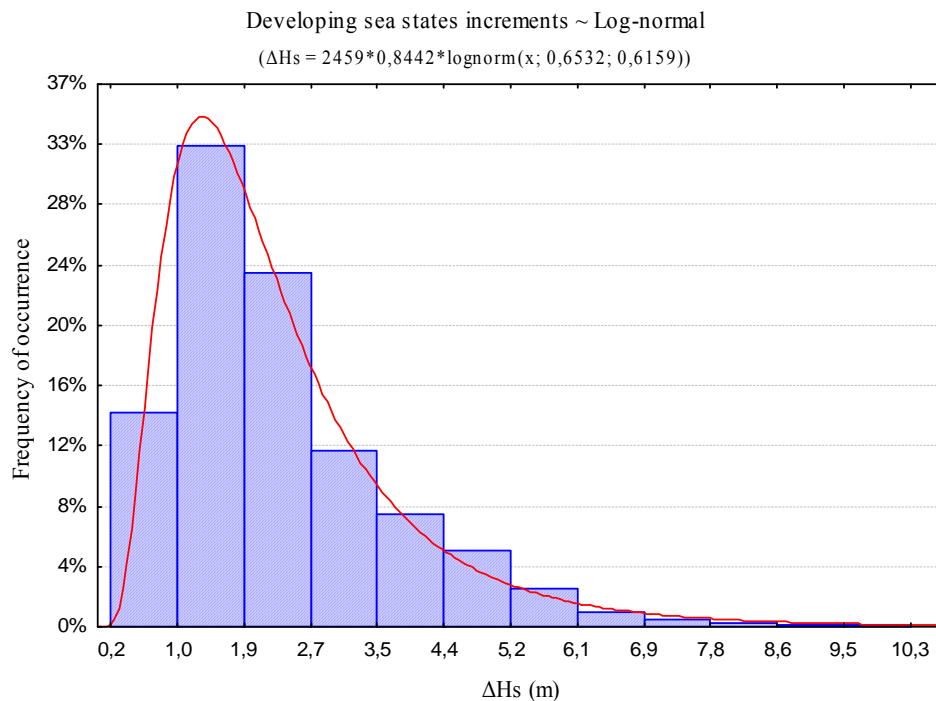
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 103: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

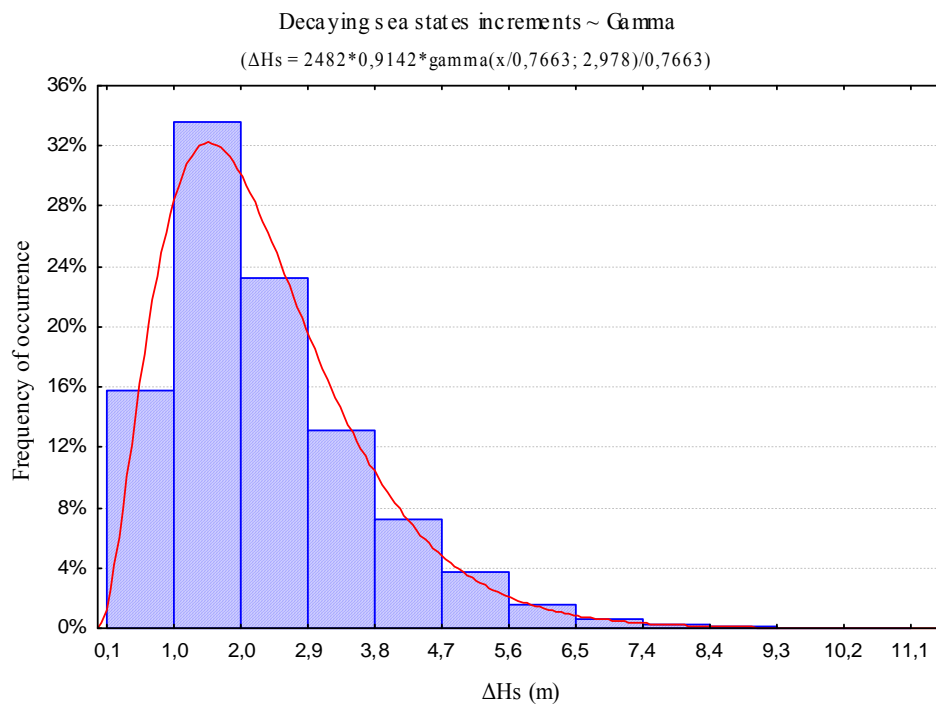
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,1.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 104: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.

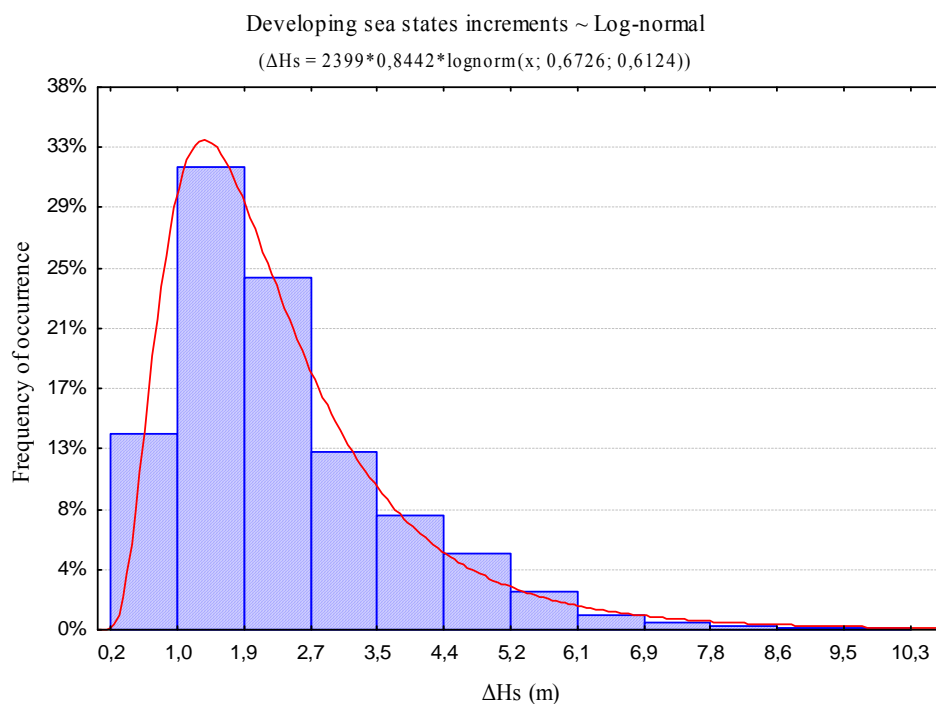
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 105: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

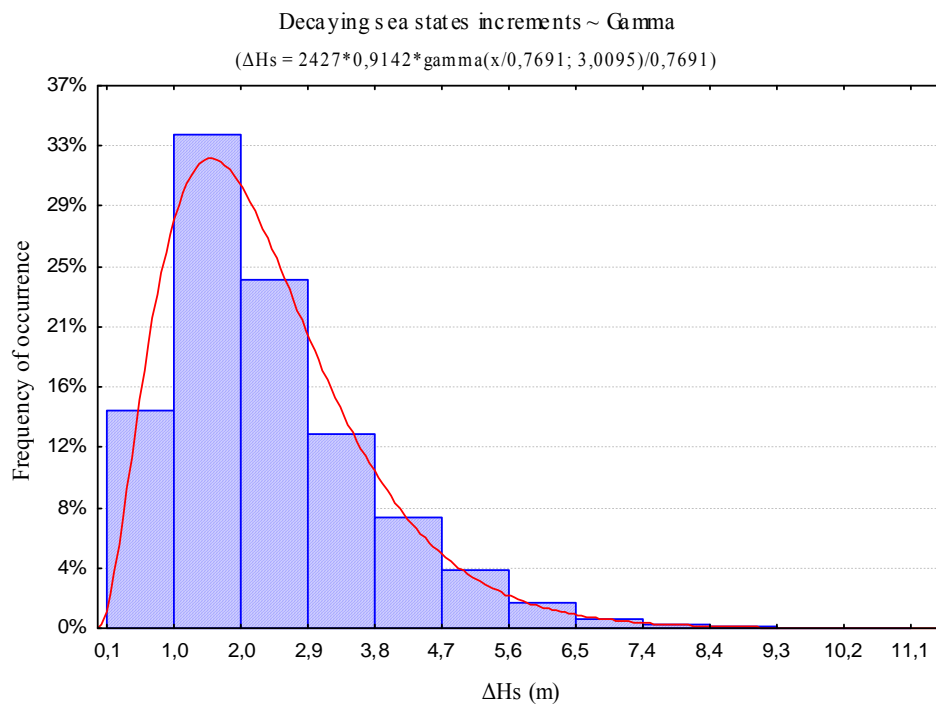
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,2.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 106: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.

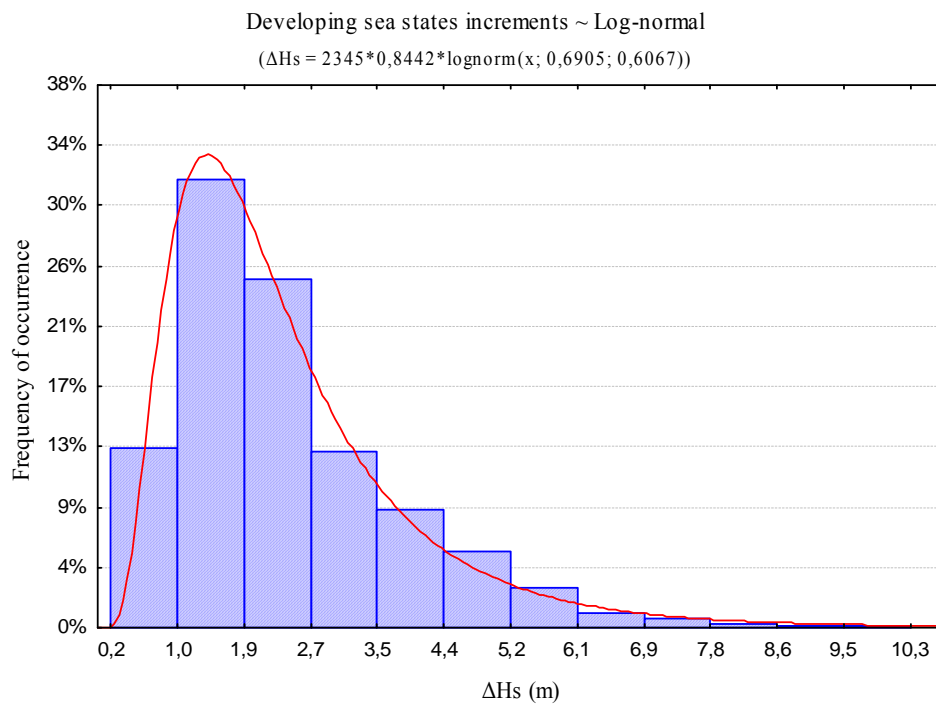
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 107: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

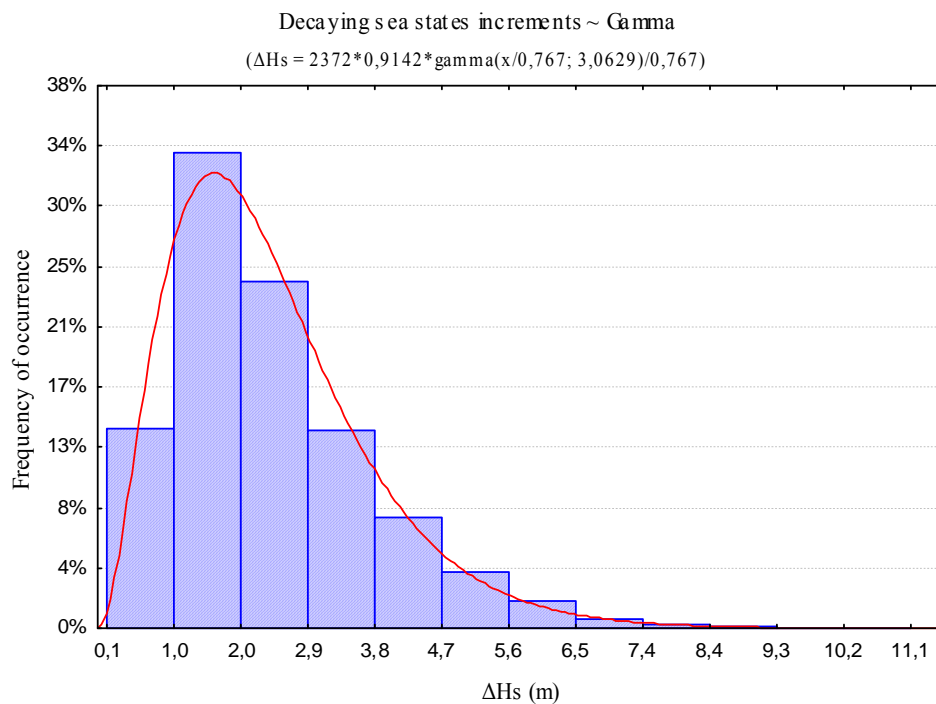
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,3.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 108: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.

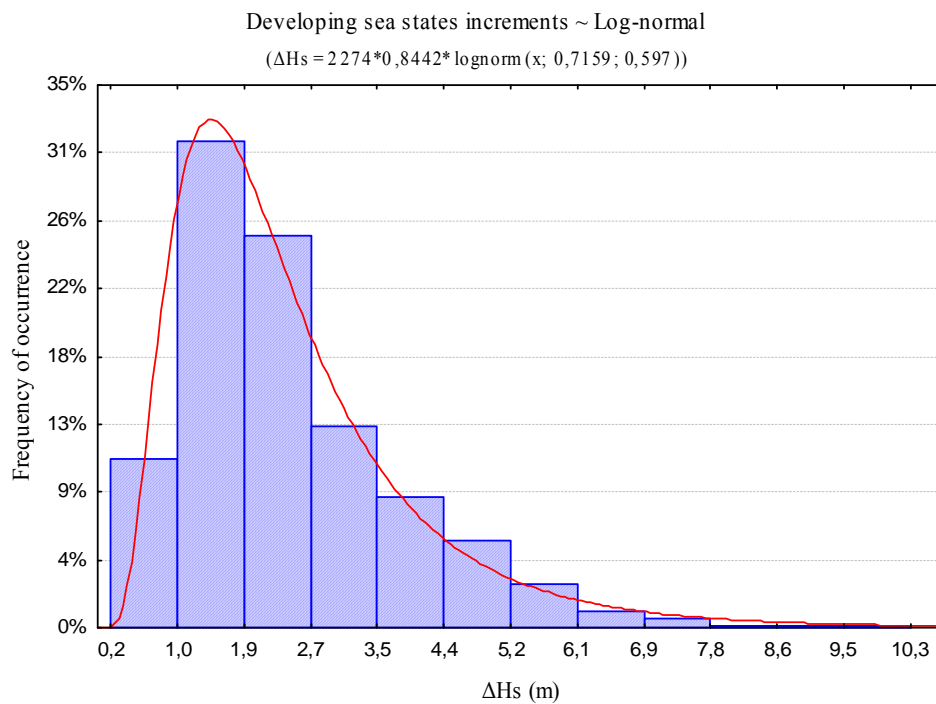
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 109: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

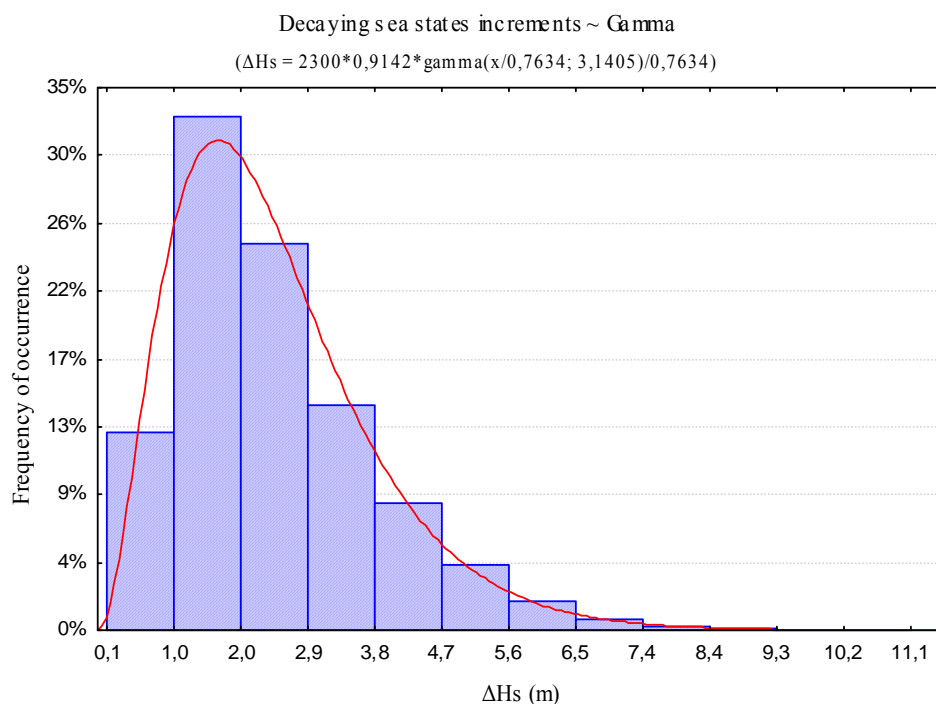
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,4.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 110: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.

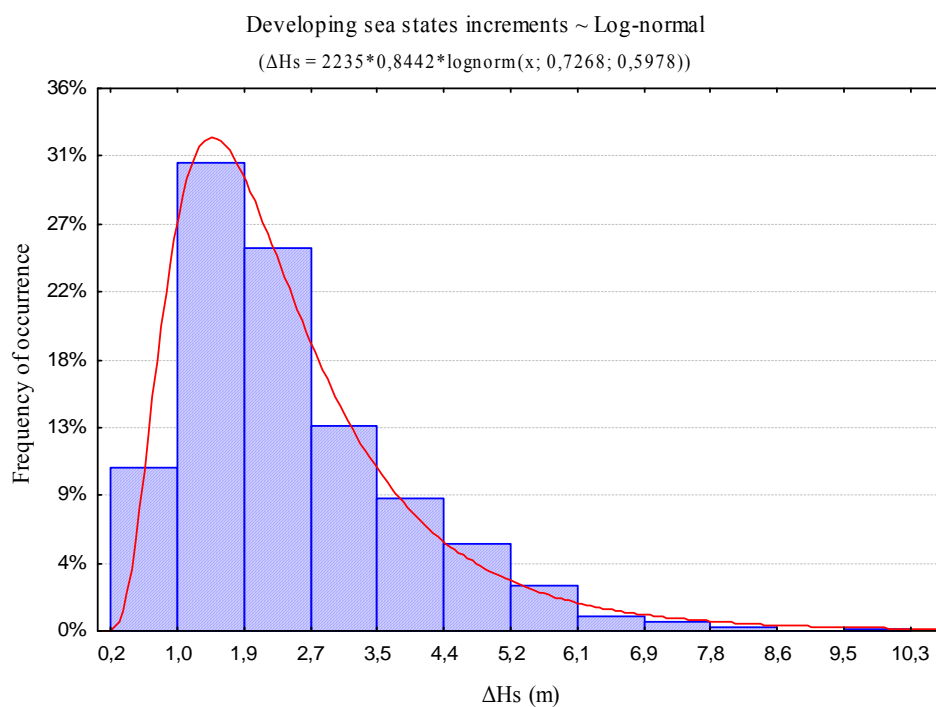
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 111: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

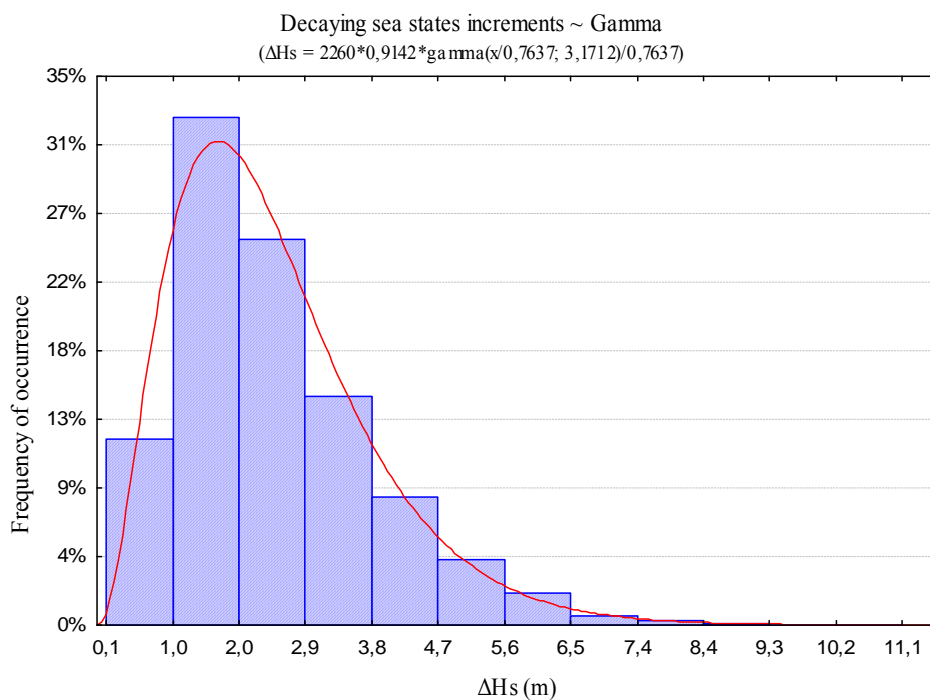
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,5.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 112: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.

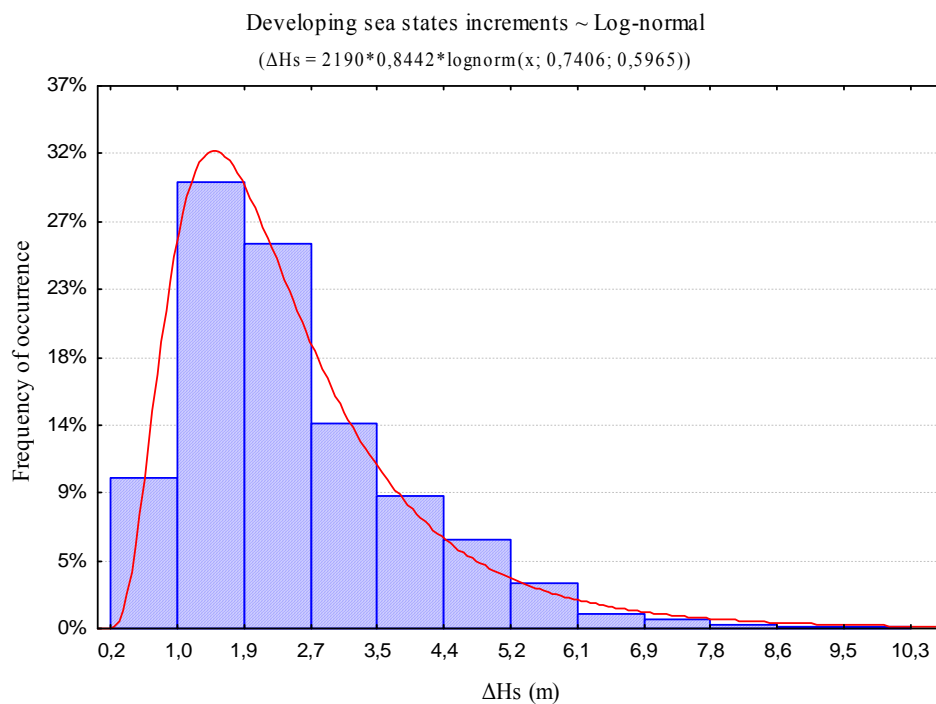
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 113: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,6.

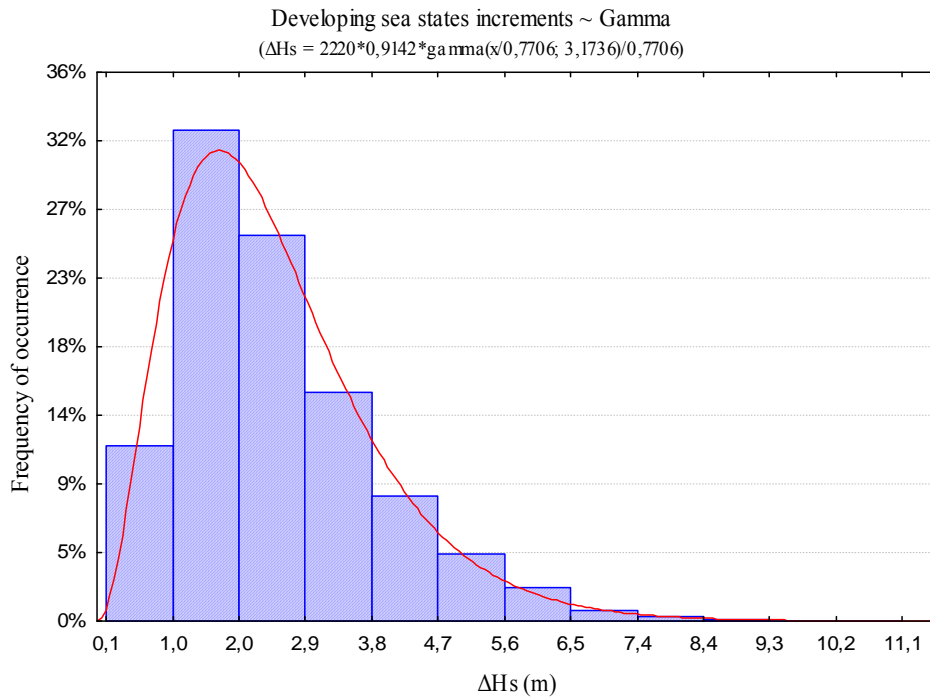
- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 114: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.



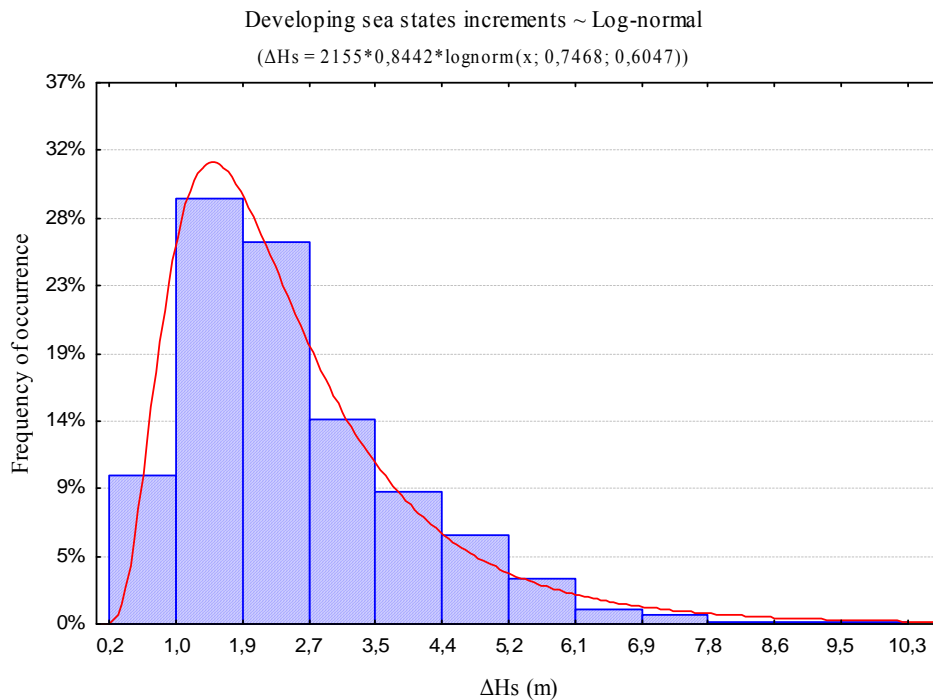
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 115: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

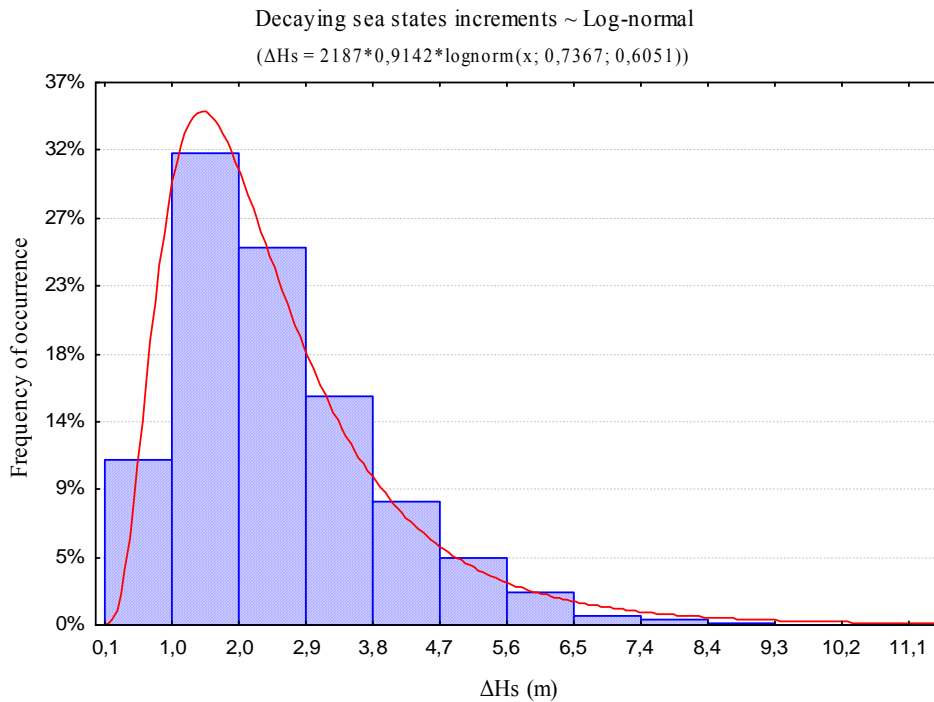
**Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,7.**

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 116: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.

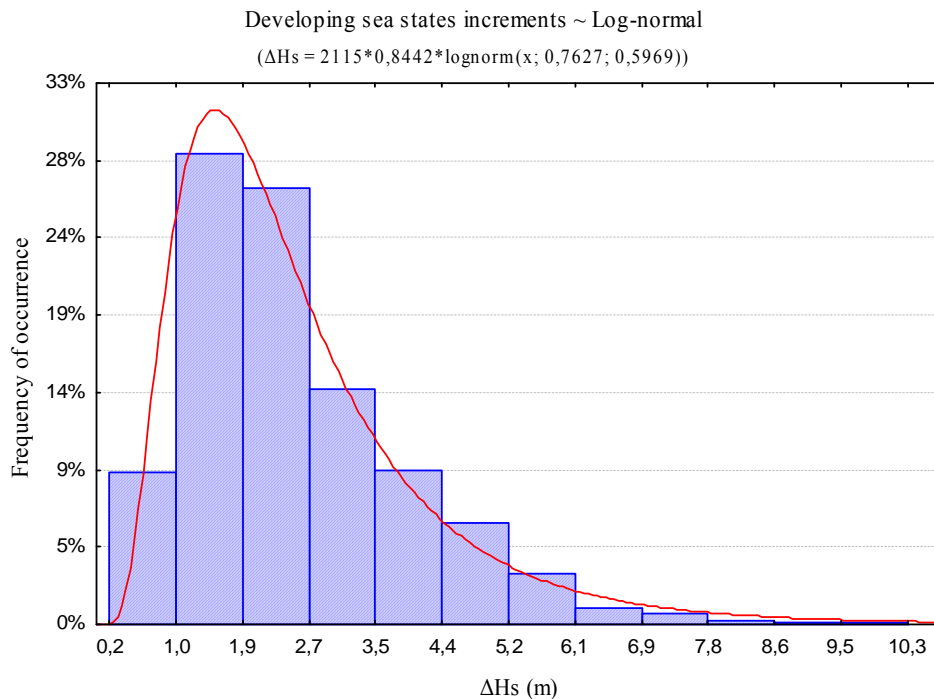
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 117: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

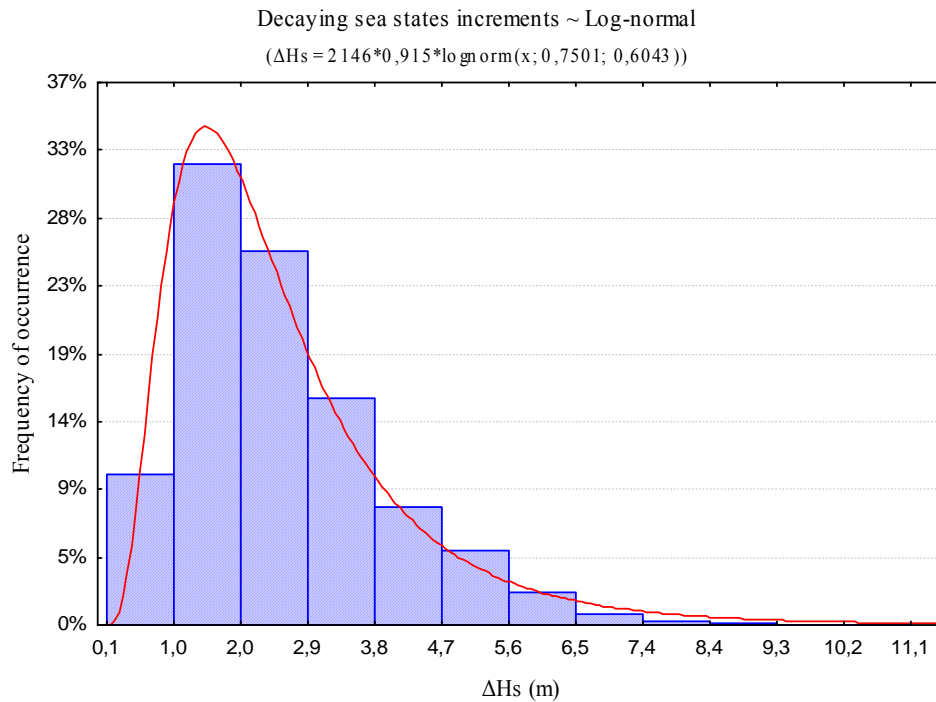
**Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,8.**

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 118: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.

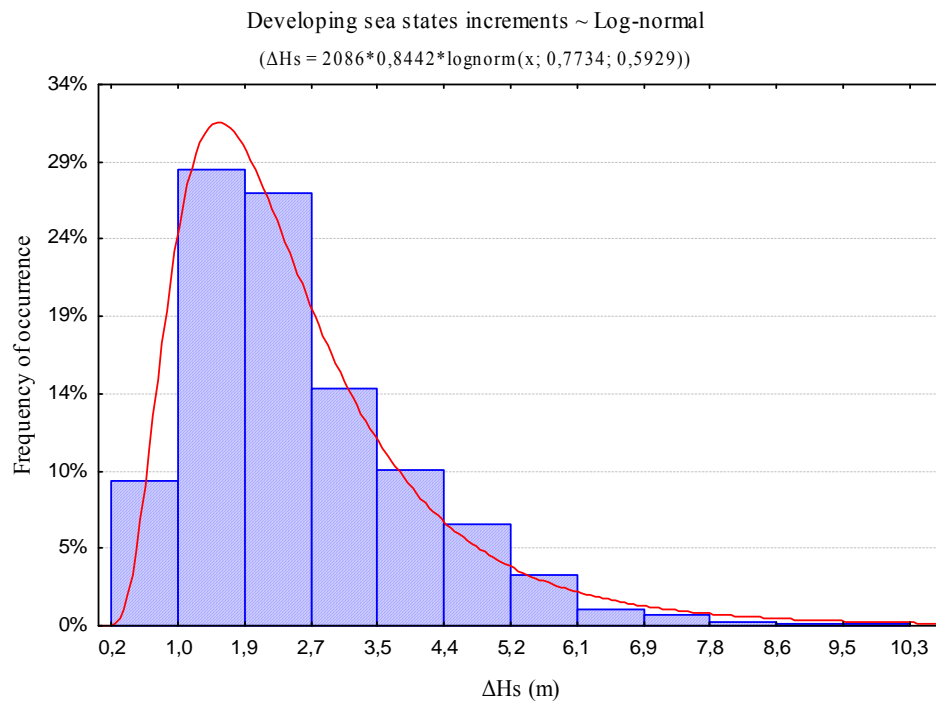
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 119: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

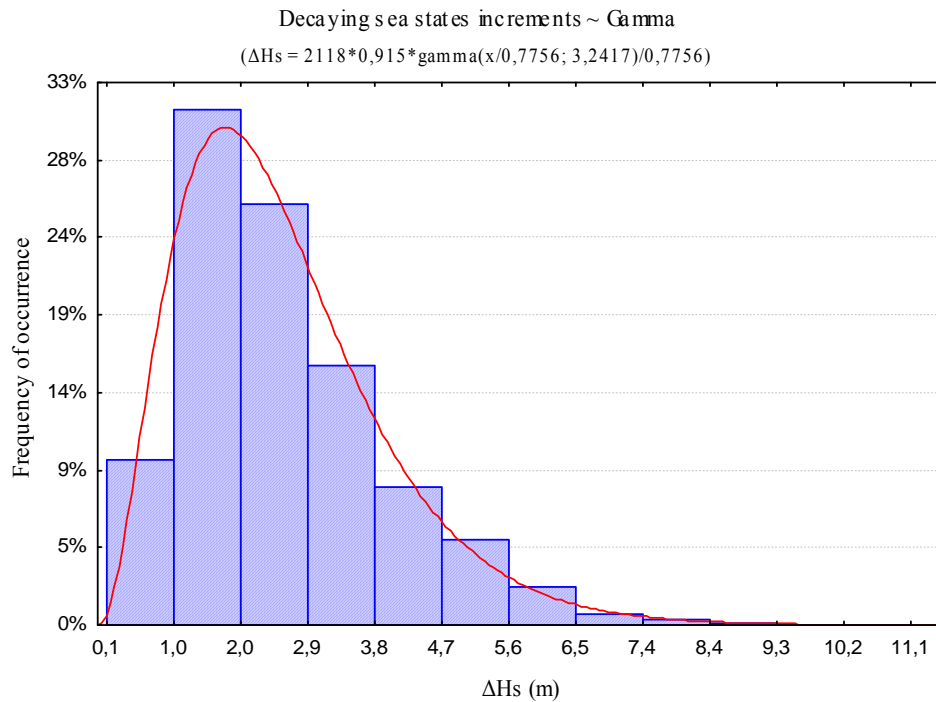
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 1,9.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 120: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.

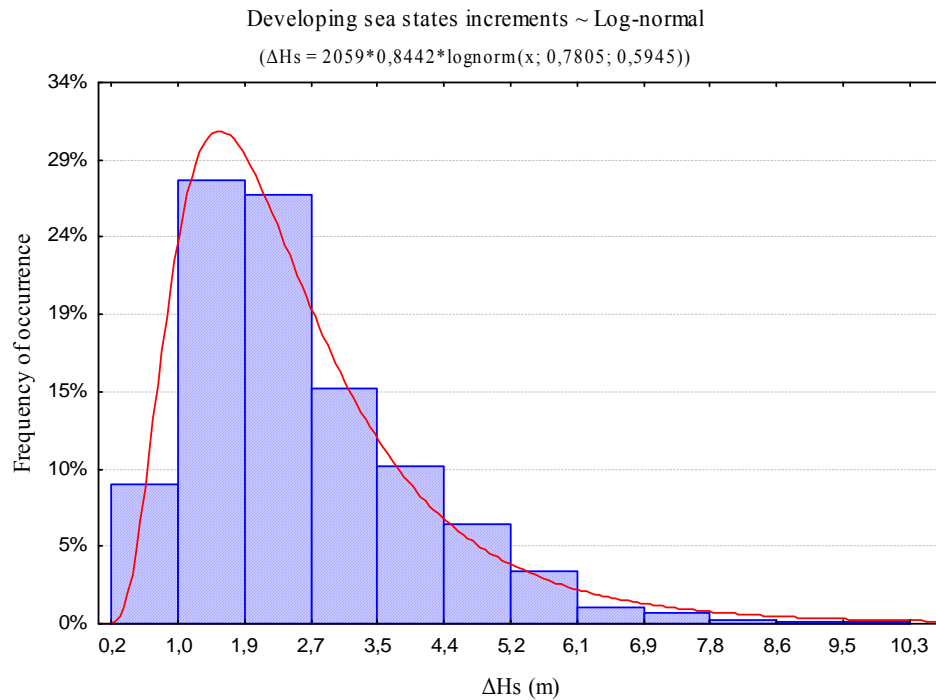
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 121: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

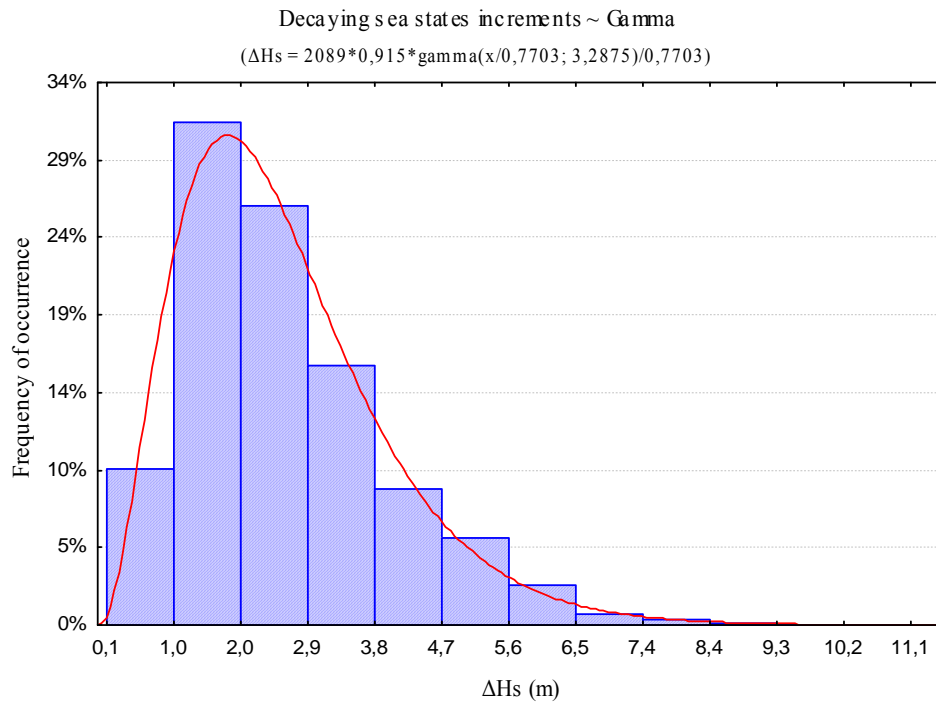
**Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 2,0.**

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 122: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.

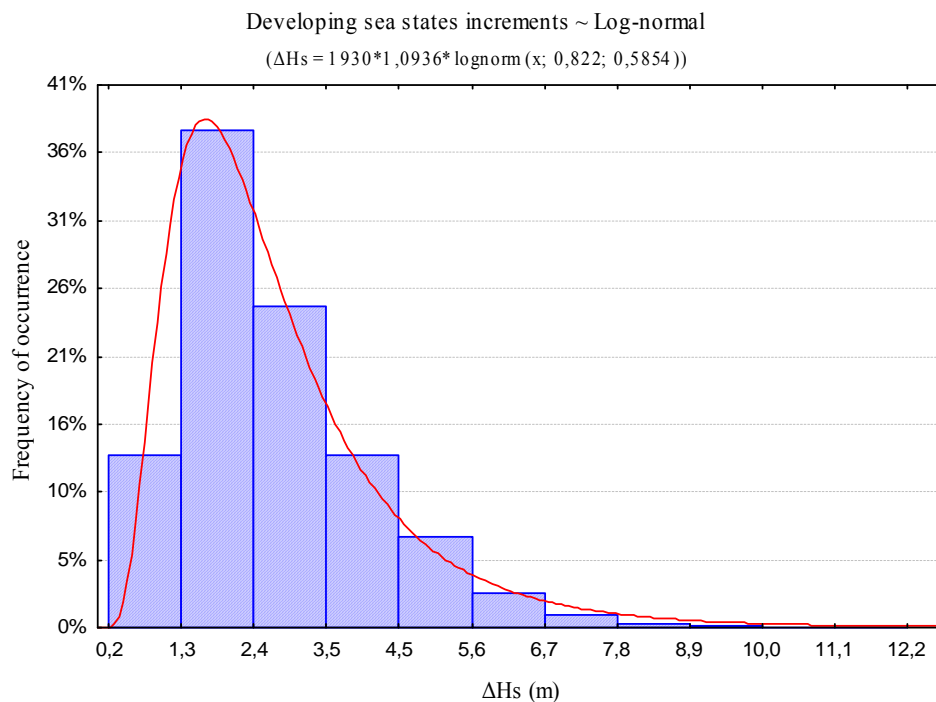
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 123: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Gamma.

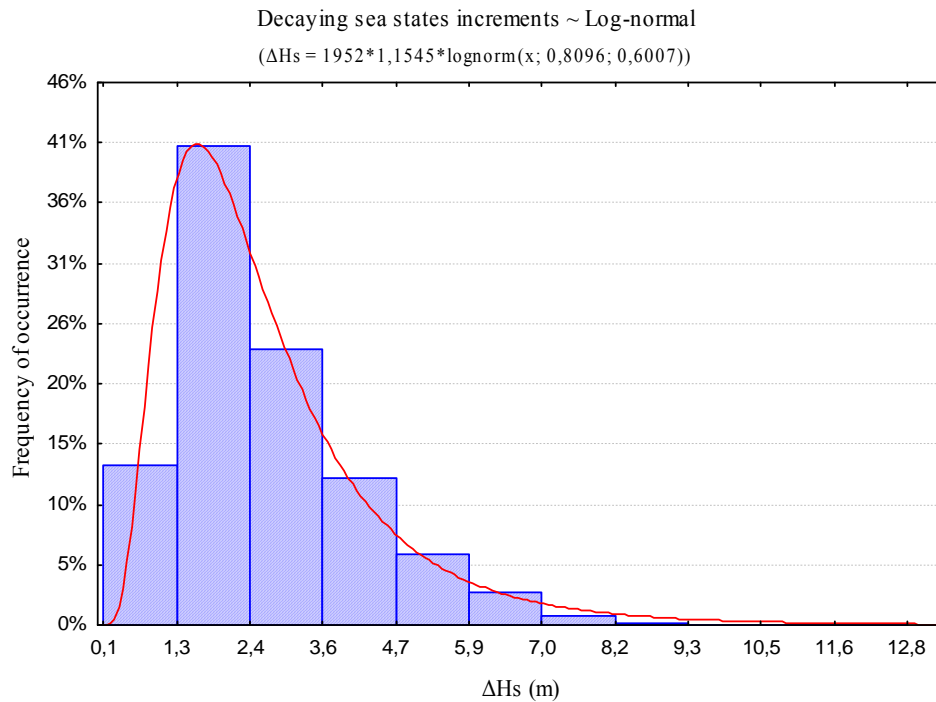
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 2,5.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 124: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.

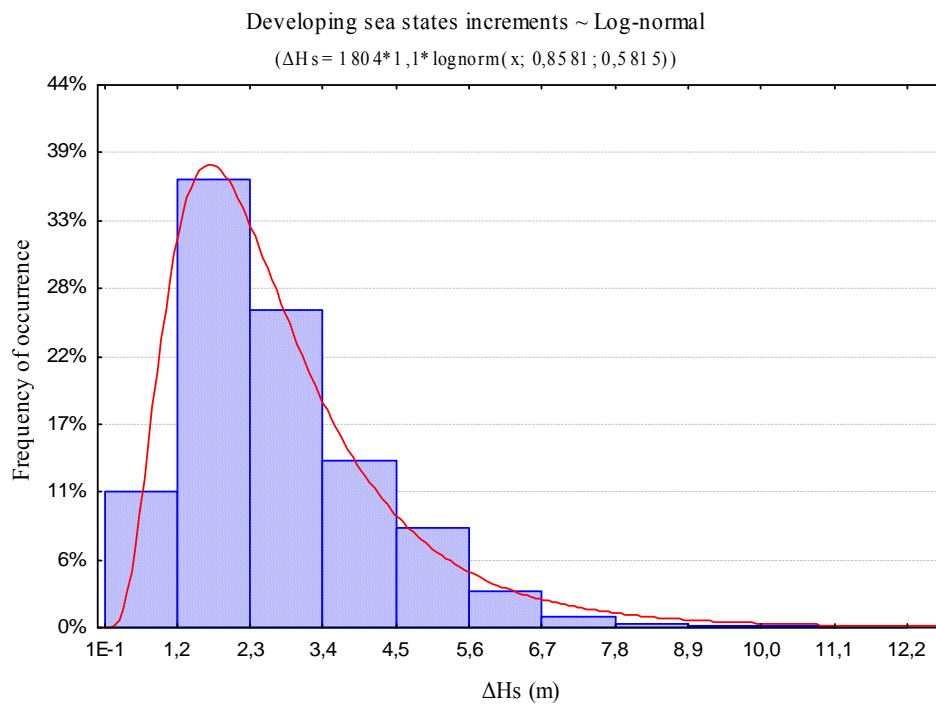
- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 125: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

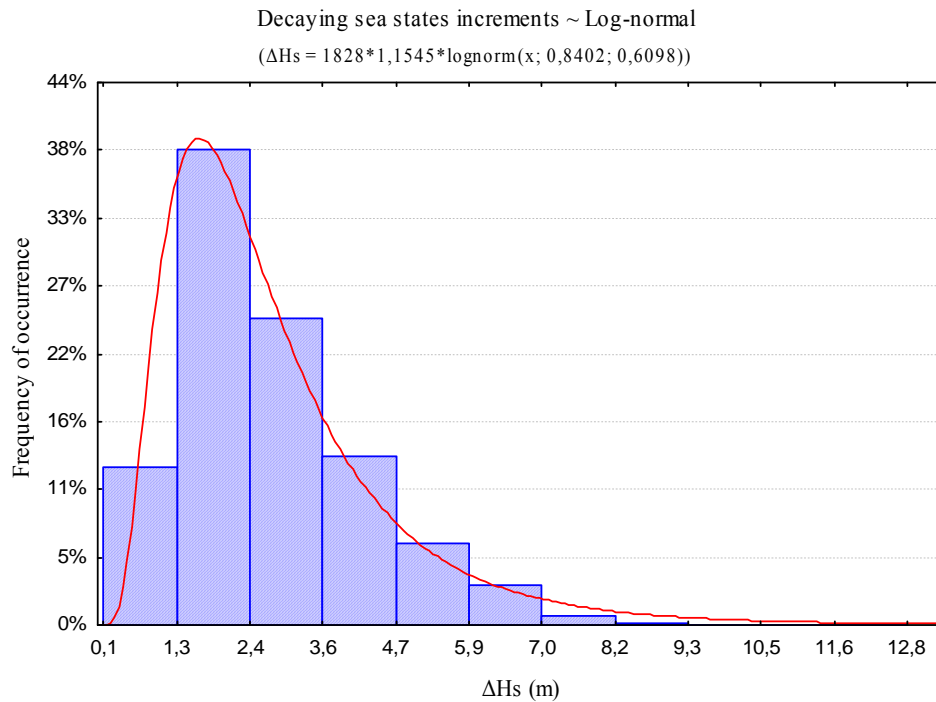
### Καταστάσεις θάλασσας με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 3,0.

- Αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 126: Ιστόγραμμα των  $\Delta H_s$  των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την δύο παραμέτρων κατανομή Lognormal.

- Αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας



Διάγραμμα 127: Ιστογράμματα των  $\Delta H_s$  των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας μαζί με την κατανομή Lognormal.

Στις αναπτυσσόμενες καταστάσεις θάλασσας παρατηρήθηκαν 15 ιστογράμματα που ακολουθούσαν την κατανομή Lognormal (ποσοστό 60%), 7 ιστογράμματα που ακολουθούσαν την κατανομή Gamma (ποσοστό 28%) και 3 ιστογράμματα που ακολουθούσαν την κατανομή Weibull (ποσοστό 12%). Τα μέγιστα των κατανομών για τις τιμές 0.01, 0.03 και 0.05 του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος παρατηρήθηκαν στο διάστημα  $[0.1, 0.7m]$ , για την τιμή 0.1 στο διάστημα  $[0.1, 0.9m]$ , για το 0.2 στο διάστημα  $[0.1, 1m]$  και για τις τιμές 0.3 και 0.4 στο διάστημα  $[0.2, 1m]$ . Από τις τιμές 0.5 μέχρι και 2.0 το μέγιστο διάστημα έγινε  $[1, 1.9m]$ . Τέλος, το μέγιστο διάστημα για τις τιμές 2.5 και 3.0 ήταν  $[1.3, 2.4m]$  και  $[1.2, 2.3m]$ , αντίστοιχα.

Στις αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας παρατηρήθηκαν 17 ιστογράμματα που ακολουθούσαν την κατανομή Gamma (ποσοστό 68%), 5 ιστογράμματα που ακολουθούσαν την κατανομή Lognormal (ποσοστό 20%) και 3 ιστογράμματα που ακολουθούσαν την κατανομή Weibull (ποσοστό 12%). Τα μέγιστα των κατανομών για τις τιμές 0.01 και 0.03 παρατηρήθηκαν στο διάστημα  $[0.1, 0.6m]$ , για το 0.05 στο διάστημα  $[0, 1m]$ , για το 0.1 στο διάστημα  $[0.7, 1.2m]$ , για το 0.2 στο διάστημα  $[0.7, 1.3m]$ , για το 0.3 στο διάστημα  $[0.3, 1.1m]$  και για τις τιμές 0.4, 0.5 και 0.6 στο διάστημα  $[1.1, 2m]$ . Από την τιμή 0.7 μέχρι και 2.0 το μέγιστο διάστημα έγινε  $[1, 2m]$ . Τέλος, το μέγιστο διάστημα για τις τιμές 2.5 και 3.0 ήταν  $[1.3, 2.4m]$ . Όπως

γίνεται αντιληπτό από τις παραπάνω παρατηρήσεις, τα μέγιστα των  $\Delta H_s$  στις αναπτυσσόμενες και αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας κυμαίνονται στα ίδια σχεδόν διαστήματα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σε αυτή την διπλωματική εργασία εξετάστηκαν οι μακροχρόνιες χρονοσειρές του σημαντικού ύψους κύματος μέσω του αλγόριθμου κατάτμησης “bottom-up” καθώς και οι διακυμάνσεις που εμφανίζουν από την συνεχή αύξηση του μέγιστου επιτρεπόμενου σφάλματος. Ο αλγόριθμος αυτός εντοπίζει και “περιγράφει” τις αναπτυσσόμενες, αποσβενύμενες και στάσιμες καταστάσεις θάλασσας που εμφανίζονται στην αρχική χρονοσειρά του σημαντικού ύψους κύματος. Με αυτό τον τρόπο η χρονοσειρά “συρρικνώνεται” σε μία συμπαγή και ποσοτικοποιημένη αναπαράσταση που παρέχει πληροφορίες για τις διάρκειες των καταστάσεων θάλασσας αλλά και την μεταβολή των υψών τους σε μακροχρόνιες περιόδους. Το μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα καθορίζεται από την απόκλιση μεταξύ των τιμών της αρχικής χρονοσειράς και της προσεγγιστικής γραμμής του μοντέλου γραμμικής παλινδρόμησης. Έτσι, με την σειρά του καθορίζει την διάρκεια και τα δεδομένα του κάθε τμήματος.

Μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου στα δεδομένα, η παραγόμενη πληροφορία (αποτελέσματα) αναλύεται στατιστικά σε ότι αφορά τις κλίσεις και εν συνεχεία τις διάρκειες και τις συσχετισμένες προσαυξήσεις ή απώλειες  $\Delta H_s$  που αφορούν και τα τρία είδη καταστάσεων θάλασσας. Από την ανάλυση αυτή προέκυψε ότι οι διάρκειες των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας περιγράφονται ικανοποιητικά, και σε ένα μεγάλο ποσοστό, από την κατανομή Gamma, με εξαίρεση τις περιπτώσεις όπου τα επιτρεπόμενα σφάλματα λαμβάνουν μικρές τιμές (0.01, 0.03 και 0.05). Σε αυτές τις περιπτώσεις επικρατεί η κατανομή Lognormal. Στις διάρκειες των αποσβενύμενων και στάσιμων καταστάσεων θάλασσας επικρατέστερη είναι η κατανομή Gamma, ενώ οι κατανομές Lognormal και Weibull εμφανίζονται σε μικρότερα ποσοστά. Όσο αφορά τις διακυμάνσεις (increments) των υψών των αναπτυσσόμενων καταστάσεων θάλασσας, η επικρατέστερη κατανομή βρέθηκε να είναι η Lognormal, σε αντίθεση με τις αποσβενύμενες καταστάσεις (decrements) όπου η επικρατέστερη κατανομή βρέθηκε να είναι η Gamma. Τα μέγιστα των κατανομών τόσο στις αναπτυσσόμενες όσο και στις αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας παρουσιάζονται στα ίδια σχεδόν κελιά.

Καθώς αυξάνεται το μέγιστο σφάλμα του αλγόριθμου κατάτμησης παρατηρείται ταυτόχρονα μείωση του πλήθους και των τριών καταστάσεων θάλασσας, όπως άλλωστε είναι αναμενόμενο. Επίσης, καθώς το μέγιστο σφάλμα αυξάνει, το πλήθος και των τριών καταστάσεων τείνει να σταθεροποιηθεί.

Στις στάσιμες καταστάσεις θάλασσας τα αποτελέσματα σχετικά με τις διακυμάνσεις των υψών των τμημάτων ήταν αναμενόμενα, αφού οι διαφορές τους είναι πολύ κοντά στο μηδέν και στις περισσότερες περιπτώσεις μηδέν. Οι μέσες τιμές των τελικών υψών των αναπτυσσόμενων και των αρχικών υψών των αποσβενύμενων καταστάσεων θάλασσας τείνουν να συμπίπτουν για όλες τις τιμές του μέγιστου σφάλματος. Το ίδιο παρατηρείται και για τις μέσες τιμές των τελικών υψών των αποσβενύμενων και των αρχικών υψών των αναπτυσσόμενων καταστάσεων.

Οι μέσες διάρκειες και των τριών καταστάσεων θάλασσας αυξάνουν συνεχώς καθώς αυξάνεται το μέγιστο σφάλμα. Όταν το μέγιστο σφάλμα λαμβάνει πολύ μεγάλες τιμές, η αύξηση αυτή γίνεται με εντονότερο ρυθμό. Η παρατήρηση αυτή μας οδηγεί στον αποκλεισμό των τιμών αυτών και στο περιορισμό στις περιοχές που το μέγιστο

επιτρεπόμενο σφάλμα λαμβάνει πολύ μικρές τιμές. Τέλος, οι μέσες διάρκειες των αποσβενύμενων καταστάσεων είναι μεγαλύτερες από τις αυτές των αναπτυσσόμενων καταστάσεων. Αυτό είναι αναμενόμενο δεδομένου ότι ο ρυθμός ανάπτυξης μιας κατάστασης θάλασσας είναι γρηγορότερος από τον ρυθμό απόσβεσής της.

Σε χρηματοοικονομικούς κλάδους, η μέθοδος της κατάτμησης είναι αρκετά δημοφιλής και διαδεδομένη επειδή χρησιμοποιείται σαν τεχνική μείωσης του αρχικού όγκου δεδομένων μίας μακροχρόνιας χρονοσειράς και παράγει τις γενικότερες τάσεις της. Αυτό αποτελεί και το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της μεθόδου. Επίσης, σε αυτούς του κλάδους είναι αναγκαία η μείωση του υπολογιστικού χρόνου, σε αντίθεση με την δική μας περίπτωση που κάτι τέτοιο δεν είναι μεγάλης σημασίας. Σημαντικό ρόλο παίζει και το γεγονός ότι σε αυτή την μέθοδο δεν γίνεται απευθείας εξαγωγή στάσιμων τμημάτων. Θυμίζουμε σε αυτό το σημείο ότι οι στάσιμες καταστάσεις θάλασσας προήλθαν από τις (εξαγόμενες από τον αλγόριθμο) αναπτυσσόμενες και αποσβενύμενες καταστάσεις με την εφαρμογή ενός απλού αριθμητικού κριτηρίου (κεφάλαιο 4, εδάφιο 4.1). Τέλος, από όσο είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε, στη διεθνή βιβλιογραφία δεν έχει γίνει μια εκτενής ανάλυση του μέγιστου σφάλματος, της επίδρασής του στα αποτελέσματα καθώς και του τρόπου επιλογής του.

Στη προκείμενη περίπτωση όπου έχουμε μια μακροχρόνια χρονοσειρά σημαντικού ύψους κύματος υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τις διάρκειες των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας από την στιγμή που αποτελούν μέρος του φυσικού φαινομένου του κυματισμού. Έτσι, ο αλγόριθμος κατάτμησης bottom-up με τον «προσωρινό αποκλεισμό» τον στάσιμων τμημάτων τείνει να χάνει σημαντική πληροφορία από την χρονοσειρά του σημαντικού ύψους. Με το πέρας της κατάτμησης της χρονοσειράς, μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε την μεγάλη ευαισθησία των αποτελεσμάτων σε σχέση με την αύξηση του μέγιστου σφάλματος. Μερικοί πιθανοί τρόποι βελτίωσης του αλγορίθμου, στο συγκεκριμένο τουλάχιστον φυσικό πρόβλημα που εξετάζουμε, είναι:

1. Η εξαγωγή των στάσιμων καταστάσεων θάλασσας από την αρχική χρονοσειρά  $H_s$  και η εν συνεχεία κατάτμησή της.
2. Η χρήση της γραμμική παρεμβολής για την τμηματική αναπαράσταση της χρονοσειράς. Η αισθητική ανωτερότητα της γραμμικής παρεμβολής μαζί με την χαμηλή υπολογιστική περιπλοκότητα την καθιστά αρκετά δημοφιλή σε γραφικές υπολογιστικές εφαρμογές.
3. Η εξέταση των δύο άλλων μεθόδων κατάτμησης, όπως ο αλγόριθμος «μετατοπιζόμενου παραθύρου» (sliding window) και ο αλγόριθμος «από πάνω προς τα κάτω» (top-down approach) (κεφάλαιο 3). Όσο αφορά όμως τον αλγόριθμο κατάτμησης «από πάνω προς τα κάτω» δεν θα περίμενε κανείς σημαντικές αλλαγές στα αποτελέσματα γιατί ο αλγόριθμος αυτός ακολουθεί την ίδια σχεδόν λογική με τον αλγόριθμο κατάτμησης «από κάτω προς τα πάνω», διαφέροντας μόνο στον τρόπο που γίνεται η αρχική κατάτμηση της χρονοσειράς.

Συνολικά όμως, η καλύτερη αναπαράσταση πιστεύεται ότι δίνεται από τα μέγιστα σφάλματα που λαμβάνουν πολύ μικρές τιμές. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο αλγόριθμος ελαχιστοποιεί την πιθανότητα συγχώνευσης πολυάριθμων τμημάτων. Σε αυτά όμως τα σφάλματα αναιρείται το βασικό πλεονέκτημα του αλγορίθμου κατάτμησης, που

είναι η μείωση του αρχικού όγκου δεδομένων καθώς και η μείωση του υπολογιστικού χρόνου, πλεονεκτήματα που στη δική μας περίπτωση δεν είναι μεγάλης σημασίας. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα σφάλματα που λαμβάνουν μικρές τιμές δίνουν μεγαλύτερο πλήθος καταστάσεων θάλασσας με μικρότερες διάρκειες. Το γεγονός αυτό όμως μας οδηγεί στην αρχική μας χρονοσειρά.

Για όλους τους παραπάνω λόγους, οδηγούμαστε στην ανεύρεση μιας μεθόδου που θα μας παρέχει την πιο ρεαλιστική απεικόνιση της χρονοσειράς σημαντικού ύψους κύματος. Έτσι, προτείνουμε να γίνει μια «βήμα προς βήμα» αναπαράσταση κατά την οποία αρχικά θα βρεθούν τα στάσιμα τμήματα της χρονοσειράς. Στη συνέχεια, να καταμετρηθούν μία προς μία οι αναπτυσσόμενες και αποσβενύμενες καταστάσεις θάλασσας καθώς και οι διάρκειες αυτών. Επόμενο βήμα θα είναι η συνένωση των διαδοχικών τμημάτων. Στη συνέχεια, να γίνει σύγκριση των αποτελεσμάτων που προήλθαν από τον αλγόριθμο κατάτμησης με μέγιστο επιτρεπόμενο σφάλμα 0.01 και των αποτελεσμάτων από την «βήμα προς βήμα» αναπαράσταση.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Athanassoulis, G.A., Vranas, P.B., Soukissian, T.H., (1992). "A New Model for Long-Term Stochastic Analysis and Prediction-Part I: Theoretical Background". *Journal of Ship Research*, Vol. 36, No. 1, pp. 1-16.
- [2] Αθανασσούλης, Γ.Α., Σουκισσιάν, Τ.Η., (1991). «Διάρκεια  $H_s$  - Καταστάσεων Θάλασσας στο σημείο 38.1° N – 25.4° E.» II Συνέδριο Περιβαλλοντικής Επιστήμης και Τεχνολογίας, 2-5 Σεπτεμβρίου 1991, Μολυβος, Μυτιλήνη.
- [3] Basseville, M., Nikiforov, IV. (1995 ). "Detection of Abrupt Changes: Theory and Application." Prentice-Hall, Inc.
- [4] Chu, CSJ. (1995). "Time Series Segmentation: A sliding Window Approach." *Information Sciences* 85, 147-173.
- [5] Downing, D.J., Fedorov, V.V., Lawkins, W.F., Morris, M.D., Ostrouchov, G. (2000). "Large data series: modeling the usual to identify the unusual", *Computational Statistics and Data Analysis*, Vol 32 (3), 245-258 (14).
- [6] Charbonnier, S. (2005). "On line extraction of temporal episodes from ICU high-frequency data: A visual support for signal interpretation", *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 78, 115-132.
- [7] Gionis, A., Mannila, H. (2004). "Segmentation algorithms for time series and sequence data." Tutorial on sequence segmentation available at <http://www.cs.helsinki.fi/u/gionis/>.
- [8] Kehagias, A., Nidelkou, Ev., Petridis, V. (2005). "A dynamic programming segmentation procedure for hydrological and environmental time series", *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, Vol 20, No 1-2, pp 77-94.
- [9] Keogh, E., Chu, S., Hart, D., Pazzani, M. (2001). "An Online Algorithm for Segmenting Time Series", *The IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)*.
- [10] Keogh, E., Chu, S., Hart, D., Pazzani, M. (2001). "Segmenting time series: A survey and novel approach", *Department of Information and Computer Science, University of California*.
- [11] Keogh, E., Kasetty, S. (2002). "On the Need for Time Series Data Mining Benchmarks: A Survey and Empirical Demonstration."
- [12] Kinsman, B., (1984). "Wind Waves: their generation and propagation on the ocean surface", New York, Dover Phoenix Editions.
- [13] Lemire, D. (2007). "A Better Alternative to Piecewise Linear Time Series Segmentation."

- [14 ] Makridakis, S., Wheelwright, S.C., Hyndman, R.J., (1998). “Forecasting. Methods and Applications”, John Wiley & Sons Inc, 3<sup>rd</sup> edition.
- [15] Massel, S.R., (1998). “Ocean Waves: their physics and prediction.”, Singapore, World Scientific.
- [16] Rawlings, J.O., Pantula, S.G., Dickey, D.A., (1998). “Applied regression analysis: a research tool.”, 2<sup>nd</sup> ed., New York, Springer – Verlag.
- [17] Shatkay, H., Zdonik, S.B., (1996). “Approximate queries and representations for the large data sequences.” In *proceeding of the 12<sup>th</sup> IEEE International Conference on Data Engineering*. New Orleans, LA, Feb 26- mar 1. pp 536-545.
- [18] Soukissian, T.H., Samalekos, PE (2006). “Analysis of the duration and intensity of sea states using segmentation of significant wave height time series.”
- [19] Soukissian, T.H, Theochari, Z., (2001). “Joint Occurrence of Sea State and Associated Durations”. International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE, Stavanger, Norway, Vol. III, 33.