

Χρηματοδοτικό πρόγραμμα

«ΦΥΣΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ 2022»

Άξονας Προτεραιότητας 3

«ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ»

Τίτλος Έργου

**Στρατηγική δράση για τον Μετριασμό και την Προσαρμογή της Κλιματικής Αλλαγής
στα Λιμάνια**



Παραδοτέο 2.3: Υφιστάμενο κλιματικό καθεστώς στους λιμένες μελέτης

Υποενότητα Εργασίας: Υφιστάμενο κλιματικό καθεστώς & μελλοντικές κλιματικές προβολές στους λιμένες μελέτης



Περιεχόμενα

Περιγραφή Παραδοτέου	3
Σύνθεση Ομάδας Έργου Παραδοτέου	3
1 Εισαγωγή.....	4
2 Δεδομένα.....	5
2.1 Δεδομένα παρατηρήσεων σταθμών	5
2.2 Δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης	5
2.3 Δεδομένα κλιματικών μοντέλων	6
2.4 Δεδομένα θαλάσσιας στάθμης.....	7
2.4.1 Δεδομένα παρατηρήσεων θαλάσσιας στάθμης	7
2.4.2 Δεδομένα προσομοιώσεων θαλάσσιας στάθμης	8
3 Μεθοδολογία	10
3.1 Επεξεργασία Κλιματικών Δεδομένων.....	10
3.1.1 Δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας	10
3.1.2 Κλιματικοί δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης	11
3.1.3 Περίοδοι επαναφοράς ακραίων τιμών ανέμου	16
3.2 Επεξεργασία δεδομένων θαλάσσιας στάθμης	17
3.2.1 Στατιστική ανάλυση.....	17
3.2.2 Φασματική ανάλυση	17
4 Υφιστάμενο κλιματικό καθεστώς	19
4.1 Κλιματικά χαρακτηριστικά πλησίον των λιμανιών μελέτης.....	19
4.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά στα λιμάνια – Θερμοκρασία & Βροχόπτωση.....	25
4.3 Ανεμολογικά χαρακτηριστικά στα λιμάνια.....	35
4.4 Άνοδος θαλάσσιας στάθμης.....	41
5 Μελλοντικές κλιματικές συνθήκες	92
5.1 Μελλοντικές ανεμολογικές συνθήκες	92
5.2 Μελλοντικές συνθήκες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης	112
5.3 Μελλοντικές συνθήκες θαλάσσιας στάθμης.....	125
5.3.1 Μελλοντική άνοδος θαλάσσιας στάθμης.....	125
5.3.2 Δείκτες μεταβολής θαλάσσιας στάθμης.....	127
5.3.3 Ακραίες τιμές θαλάσσιας στάθμης	129
6 Βιβλιογραφία	135

Περιγραφή Παραδοτέου

Στόχος του Παραδοτέου Π2.3 είναι η συγκέντρωση των απαραίτητων δεδομένων για τους υπό διερεύνηση κλιματικούς κινδύνους (ακραία καιρικά φαινόμενα, άνοδος θαλάσσιας στάθμης) στα λιμάνια μελέτης, τόσο για την καταγραφή των παρατηρούμενων μεταβολών όσο και για τη συλλογή της απαραίτητης πληροφορίας αναφοράς για την εκτίμηση των επερχόμενων κλιματικών μεταβολών.

Η πληροφορία θα στηριχθεί σε:

- i. ιστορικά παρατηρησιακά δεδομένα ανέμου από τους πλησιέστερους σταθμούς της ΕΜΥ και στάθμης θάλασσας από τους παλιρροιογράφους της Υδρογραφικής Υπηρεσίας (ΥΥ)
- ii. ανοιχτά δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης ECMWF-ERA5 (μέσω της πλατφόρμας Copernicus CDS) σε πλέγμα χωρικής ανάλυσης $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$
- iii. δεδομένα των μελλοντικών προβολών από κλιματικά μοντέλα τεχνολογίας αιχμής βασισμένα στις νέες εκδόσεις σεναρίων μελλοντικών προβολών SSP1-2.6, SSP2-4.5 και SSP5-8.5 ή των αντίστοιχων RCPs. Για τη λεπτομερή αξιολόγηση/σχεδιασμό επιπτώσεων και προσαρμογής, θα επιλεγούν αποτελέσματα των RCMs της πρωτοβουλίας CORDEX (<https://cordex.org>) καθώς παρέχουν πληροφορίες σε μικρότερες χωρικές κλίμακες. Στην περίπτωση που οι νέες προσομοιώσεις (CMIP6-CORDEX) δεν διατίθενται κατά την υλοποίηση του έργου, οι μελλοντικές προβολές του κλίματος θα βασιστούν στην προηγούμενη γενιά προσομοιώσεων (CMIP5-CORDEX).

Λαμβάνοντας υπόψη τη διάρκεια ζωής των λιμενικών υποδομών (περίπου στα 30 χρόνια), η εφαρμογή θα υλοποιηθεί για το βραχυπρόθεσμο (2021–2040) και μεσοπρόθεσμο μέλλον (2041–2060) της πρόσφατης έκθεσης του IPCC για τις επιπτώσεις (IPCC, 2022).

Σύνθεση Ομάδας Έργου Παραδοτέου

Μαρία Χατζάκη, Αναπλ. Καθηγήτρια

Πλάτωνας Πατλάκας, Επιστημονικός Συνεργάτης

Φραγκίσκος Μαρκοζάνες, Επιστημονικός Συνεργάτης

Σεραφείμ Πούλος, Καθηγητής

1 Εισαγωγή

Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, οι καταιγίδες, οι πλημμύρες, οι ισχυροί άνεμοι, αλλά και οι υψηλές θερμοκρασίες και τα ακραία κύματα καύσωνα μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στις υποδομές των λιμανιών και να διακόψουν ή να περιορίσουν την λειτουργία τους επηρεάζοντας έτσι την εφοδιαστική αλυσίδα. Αυτές οι αλλαγές δεν απειλούν μόνο την οικονομία αλλά επηρεάζουν επίσης τις τοπικές κοινότητες και το περιβάλλον. Για να αντιμετωπίσουν αυτές τις προκλήσεις, τα λιμάνια πρέπει να προετοιμαστούν επενδύοντας σε ανθεκτικές στον κλιματικό κίνδυνο κατασκευές και να στραφούν σε χαμηλών εκπομπών λύσεις.

Προετοιμάζοντας το έδαφος για την αντιμετώπιση κινδύνων που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή, τα λιμάνια μπορούν να παραμείνουν ζωτικής σημασίας για την οικονομία, προστατεύοντας παράλληλα τον πλανήτη.

2 Δεδομένα

2.1 Δεδομένα παρατηρήσεων σταθμών

Στην ευρύτερη περιοχή των υπό εξέταση λιμανιών, υπάρχουν διαθέσιμοι μετεωρολογικοί σταθμοί της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, καθώς και του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών

Από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, αποκτήθηκαν δεδομένα που προέρχονται από τους κάτωθι μετεωρολογικούς σταθμούς:

- Αλεξανδρούπολη
- Κέρκυρα (καθώς βρίσκεται πολύ κοντά στον σταθμό της Ηγουμενίτσας)
- Ηράκλειο

για την περίοδο 1955-2023. Στα υπόλοιπα λιμάνια, δεν υπάρχει γειτονικός μετεωρολογικός σταθμός της ΕΜΥ.

Για όλα τα λιμάνια, αποκτήθηκαν και τα δεδομένα του ΕΑΑ που όμως καλύπτουν μικρότερη χρονική περίοδο:

- Αλεξανδρούπολη, από 10/2008
- Αλεξανδρούπολη-Λιμάνι, από 12/2021
- Ηγουμενίτσα, από 11/2006
- Βόλος-Λιμάνι, από 8/2022
- Βόλος, από 2/2007
- Χαλκίδα, από 2/2011
- Λαύριο, από 10/2008
- Ηράκλειο-Λιμάνι, από 5/2007

Στην παρούσα έκθεση περιγράφεται η υφιστάμενη κλιματική κατάσταση, όπως προκύπτει από τους μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ για τα τρία λιμάνια (Αλεξανδρούπολη, Ηγουμενίτσα, Ηράκλειο) για τα οποία διαθέτουμε τις πλέον πολυετείς καταγραφές.

Επιπρόσθετα, για όλα τα λιμάνια, αναλύεται η υφιστάμενη κατάσταση με δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης μετά από υποβιβασμό κλίμακας, όπως περιγράφεται στις ακόλουθες παραγράφους.

2.2 Δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης

Το Ευρωπαϊκό Κέντρο Μεσοπρόθεσμων Μετεωρολογικών Προγνώσεων (ECMWF), στο πλαίσιο του C3S (Copernicus Climate Change Service), παράγει τα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης (reanalysis) ERA5. Η βάση δεδομένων ERA5 ξεκίνησε να λειτουργεί το 2016 και βασίζεται στο προγνωστικό σύστημα (IFS) Cy41r2. Διατίθενται δεδομένα με οριζόντια χωρική ανάλυση 31 χιλιομέτρων (~0,25°), κατακόρυφη

χωρική ανάλυση 137 επιπέδων με ανώτερο ατμοσφαιρικό στρώμα στο 1 Pa. Πρόκειται για σαφώς βελτιωμένη χωρική ανάλυση σε σχέση με τον προκάτοχό του (ERA-Interim), που τα δεδομένα παρέχονταν με 79 χιλιόμετρα οριζόντια και κατακόρυφα σε 60 επίπεδα, με ανώτερο στρώμα στα 10 Pa. Επίσης, η εξαγωγή δεδομένων σε ωριαία βάση, ενώ προγενέστερα η συχνότητα κυμαινόταν από τρεις ώρες, για δεδομένα πρόγνωσης, έως έξι ώρες, για δεδομένα αναλύσεων (Hersbach et al., 2020).

Η αναδρομική ανάλυση συνδυάζει δεδομένα μοντέλων με παρατηρήσεις από όλο τον κόσμο σε ένα παγκόσμιο πλήρες και συνεπές σύνολο δεδομένων και παράγει δεδομένα που πηγαίνουν αρκετές δεκαετίες πίσω στο χρόνο, παρέχοντας μια ακριβή περιγραφή του κλίματος του παρελθόντος.

Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν τα πεδία θερμοκρασίας, υετού και ανέμου για την πλέον πρόσφατη περίοδο 1990–2022 για τα οποία εφαρμόστηκε μεθοδολογία υποβιβασμού κλίμακας όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

2.3 Δεδομένα κλιματικών μοντέλων

Για την εκτίμηση των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα κλιματικών παραμέτρων περιοχικών κλιματικών μοντέλων (RCMs), που έχουν προκύψει από προσομοιώσεις με διαφορετικές οριακές συνθήκες από παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (GCMs) και για την ιστορική περίοδο (historical) και για τρία μελλοντικά σενάρια εκπομπών: τα RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5.

Οι προσομοιώσεις Regional Climate Model (RCM) υψηλής οριζόντιας ανάλυσης παρέχονται από το ερευνητικό πρόγραμμα Coordinated Regional Downscaling Experiment (CORDEX). Τα πειράματα προσομοίωσης είναι προϊόν διαφόρων RCM που οδηγούνται από διάφορα Παγκόσμια Κλιματικά Μοντέλα (GCM). Τα δεδομένα RCM έχουν υψηλή χωρική ανάλυση (0,11°) που καλύπτει τον τομέα EURO-CORDEX.

Συγκεκριμένα, οι προσομοιώσεις που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη, έχουν προκύψει από τους ακόλουθους 9 συνδυασμούς περιοχικών και παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων.

- The RCA4 regional climate model of the Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) driven by 3 global climate models:
 - the HadGEM2-ES of the Met Office Hadley Centre (**RCA4-MOHC**),
 - the MPI-ESM-LR of the Max Planck Institute for Meteorology (**RCA4-MPI**),
 - the EC-EARTH global climate model; an Earth system model developed by a European consortium (**RCA4-ICEARTH**).
- The HIRHAM5 regional climate model of the Danish Meteorological Institute (DMI) driven by EC-EARTH global climate model (**HIRHAM5-ICEARTH**).
- The RACMO22E regional climate model of the Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) driven by 3 global climate models:
 - the CNRM-CM5 of the Météo France Institute (**RACMO22-CNRM**),
 - the HadGEM-ES of the Met Office Hadley Centre (**RACMO22-MOHC**) and
 - the EC-EARTH global climate model; an Earth system model developed by a European consortium (**RACMO22-ICEARTH**).

- The REMO2009 regional climate model of the Climate Service Center Germany (HZG-GERICS) driven by the MPI-ESM-LR global climate model of the Max Planck Institute for Meteorology (**REMO2009-MPI**).
- The CCLM4-8-17 regional climate model of the Brandenburg University of Technology (BTU Cottbus) driven by the EC-EARTH global climate model; an Earth system model developed by a European consortium (**CCLM-ICEARTH**).

Οι προσομοιώσεις καλύπτουν μια περίοδο από το 1950 έως το 2100 (εκτός από το HadGEM-ES που οι προσομοιώσεις είναι διαθέσιμες έως το 2098). Η ιστορική περίοδος κάθε πειράματος αναφέρεται στην περίοδο 1950-2005, ενώ η μελλοντική περίοδος είναι 2006–2100 υπό την επίδραση τριών σεναρίων εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Representative Concentration Pathways - RCPs) που υιοθετήθηκαν από την IPCC για την Πέμπτη Έκθεση Αξιολόγησης (5th Assessment Report - AR5): τα RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5.

Για την ευκολότερη παρακολούθηση των αποτελεσμάτων, για τις διαφορετικές προσομοιώσεις ακολουθείται η κάτωθι ονοματολογία:

- **RCA4-ICEARTH**
- **RCA4-MOHC**
- **RCA4-MPI**
- **HIRHAM5-ICEARTH**
- **RACMO22E-CNRM**
- **RAMCO22E-MOHC**
- **RAMCO22E-ICEARTH**
- **REMO2009-MPI**
- **CCLM-ICEARTH**

2.4 Δεδομένα θαλάσσιας στάθμης

2.4.1 Δεδομένα παρατηρήσεων θαλάσσιας στάθμης

Συλλέχθηκαν δεδομένα με ωριαίες τιμές θαλάσσιας στάθμης για τους εξεταζόμενους λιμένες, από την Ελληνική Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού. Οι διαθέσιμες καταγραφές της Θαλάσσιας Στάθμης καλύπτουν τις παρακάτω περιόδους για τους εκάστοτε λιμένες της παρούσας μελέτης (<https://hnhs.gr/online/elefthera-geochorika-dedomena/>).

α. Αλεξανδρούπολη (1990-2019, 2021-2023)

β. Βόρεια Χαλκίδα (1990-2014, 2014-2023)

γ. Ηράκλειο(1997-2023)

δ. Κέρκυρα (2004-2023), πλησιέστερος σταθμός στην Ηγουμενίτσα.

Για τον κάθε λιμένα από όπου συλλέχθηκαν δεδομένα παρουσιάζονται και οι θέσεις όπως δίνονται από την Υδρογραφική Υπηρεσία και την μελέτη «Στατιστικά Στοιχεία της Στάθμης της Θάλασσας Ελληνικών

Λιμένων» (B' Έκδοση, 2015) η οποία περιλαμβάνει πληροφορίες για τους σταθμηγράφους της ΥΥ: (https://www.hnhs.gr/el/?option=com_opencart&Itemid=269&route=product/category&path=86)

Σημειώνεται ότι η Υδρογραφική Υπηρεσία δεν διαθέτει παλιρροιογράφους στις περιοχές Βόλου, Λαυρίου και Ηγουμενίτσας.

Αναφορικά με τους παλιρροιογράφους Αλεξανδρουπόλεως, Β. Χαλκίδας και Ηρακλείου, το μηδέν του παλιρροιομέτρου ταυτίζεται με το μηδενικό επίπεδο του παλιρροιογράφου και συμπίπτει με την κατώτατη ρηχία. Για τον παλιρροιογράφο της Κέρκυρας το μηδέν του παλιρροιομέτρου ταυτίζεται με το μηδενικό επίπεδο του παλιρροιογράφου και βρίσκεται στη στέψη του παλιρροιομέτρου (ο παλ/φος γράφει προς τα κάτω). Συναφώς, οι τιμές της στάθμης θάλασσας αναφέρονται σε μέτρα. Τα κενά διαμήκους της χρονοσειράς οφείλονται είτε σε έλλειψη καταγραφών λόγω τεχνικών προβλημάτων είτε λόγω κακής ποιότητας καταγραφών όπου και αφαιρέθηκαν.

2.4.2 Δεδομένα προσομοιώσεων θαλάσσιας στάθμης

Τα δεδομένα για τη διερεύνηση της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας αντλήθηκαν από το CMIP6 και το Copernicus Climate Change Service (C3S), που προσφέρουν υψηλή χωρική και χρονική ανάλυση, και καλύπτουν τόσο την παγκόσμια όσο και την περιφερειακή κλίμακα. Το C3S προϊόν είναι το «Global Sea Level Change Time Series from 1950 to 2050 Derived from Reanalysis and High-Resolution CMIP6 Climate Projections», το οποίο παρέχει μια ολοκληρωμένη παγκόσμια αξιολόγηση της αλλαγής της στάθμης της θάλασσας. Τα ιστορικά δεδομένα (1950-2020) προκύπτουν από τη σύνθεση παρατηρήσεων και αποτελεσμάτων μοντέλων, ενώ οι προβλέψεις για την περίοδο 2021-2050 βασίζονται σε πέντε παγκόσμια κλιματικά μοντέλα (GCM) της Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) και του προγράμματος High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP) για τρία διαφορετικά κλιματικά σενάρια, SSP1-2.6 (χαμηλές εκπομπές), SSP2-4.5 (μεσαίες εκπομπές) και SSP5-8.5 (υψηλές εκπομπές).

Η χωρική ανάλυση των δεδομένων φτάνει τα $0,25^\circ$ (~25 km) στα 100 km από την ακτογραμμή, ενώ η χρονική ανάλυση περιλαμβάνει δυναμικές προσομοιώσεις της στάθμης των υδάτων σε διαστήματα 10 λεπτών, χρησιμοποιώντας το υδροδυναμικό μοντέλο Deltares GTSM. Το σύνολο δεδομένων επιτρέπει την ποσοτικοποίηση της μέσης στάθμης της θάλασσας, της μεταβλητότητάς της, καθώς και των ακραίων φαινομένων, παρέχοντας παράλληλα στατιστικούς δείκτες για παλίρροιες, κύματα καταιγίδων και ακραίες στάθμες. Επιπλέον, περιλαμβάνονται υπολογισμοί περιόδων επαναφοράς για 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75 και 100 έτη, με στόχο την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ακραίων επιπέδων θάλασσας υπό διάφορες συνθήκες.

Για την αξιολόγηση των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με τις κλιματικές προβολές, χρησιμοποιούνται και οι προσομοιώσεις και από τα πέντε παγκόσμια κλιματικά μοντέλα. Οι προβλέψεις επικεντρώνονται στα συγκεκριμένα λιμάνια μελέτης, παρουσιάζοντας την άνοδο της συνολικής στάθμης της θάλασσας από το 1950 έως το 2050, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση παλιρροιών, κυμάτων καταιγίδων και πλημμυρών. Αν και η μελέτη δεν περιλαμβάνει τη συνιστώσα της μελλοντικής ανόδου λόγω τήξης παγετώνων ή θερμικής διαστολής, προσφέρει πολύτιμα εργαλεία για την ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις θάλασσες.



Επιπρόσθετα, για την εκτίμηση της μελλοντικής ανόδου θαλάσσιας στάθμης για τρία διαφορετικά κλιματικά σενάρια, SSP1-2.6 (χαμηλές εκπομπές), SSP2-4.5 (μεσαίες εκπομπές) και SSP5-8.5 (υψηλές εκπομπές), αξιοποιήθηκε αξιοποιεί και το εργαλείο της NASA Sea Level Projection Tool, το οποίο επιτρέπει στους χρήστες να οπτικοποιήσουν και να κατεβάσουν τα δεδομένα προβολής της στάθμης της θάλασσας από την 6η έκθεση αξιολόγησης της IPCC (AR6) (<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/sis-water-level-change-indicators-cmip6?tab=overview>).

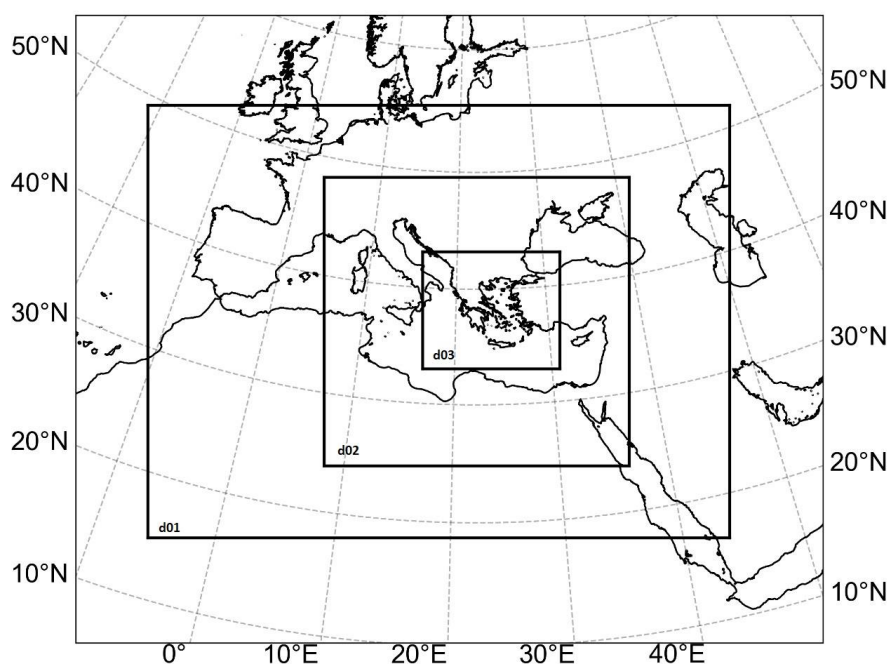
3 Μεθοδολογία

3.1 Επεξεργασία Κλιματικών Δεδομένων

3.1.1 Δυναμικός υποβιβασμός κλίμακας

Για τον δυναμικό υποβιβασμό κλίμακας χρησιμοποιείται το μοντέλο Advanced Research WRF (ARW) έκδοση 4.1.3 (Skamarock et al. 2008, Skamarock et al. 2019, Powers et al. 2017). Το WRF-ARW είναι ένα ατμοσφαιρικό μοντέλο περιορισμένης περιοχής που έχει σχεδιαστεί για επιχειρησιακή πρόγνωση και ερευνητικές δραστηριότητες (Patlakas et al. 2023, Otero-Casal et al. 2019). Βασίζεται σε έναν πλήρως συμπιεστό, μη υδροστατικό δυναμικό πυρήνα. Στο κατακόρυφο επίπεδο έχει κατακόρυφες συντεταγμένες που ακολουθούν το έδαφος, βασισμένες στη μάζα, υβριδικές κατακόρυφες συντεταγμένες σίγμα-πίεσης που βασίζονται στην ξηρή υδροστατική πίεση, με επιτρεπόμενη την κατακόρυφη επιμήκυνση του πλέγματος, ενώ για το οριζόντιο πλέγμα χρησιμοποιείται η κλιμάκωση του πλέγματος Arakawa C. Το μοντέλο διαθέτει δυνατότητες αμφίδρομης διαδραστικής ένθεσης και δυνατότητα μεταβλητού χρονικού βήματος για τις ολοκληρώσεις του μοντέλου. Επιπλέον, διατίθενται διάφορα σχήματα και παραμετροποιήσεις για τη μικροφυσική και την αναπαράσταση των σωρειτών, καθώς και για την επιφάνεια, το πλανητικό οριακό στρώμα (PBL) και τη φυσική της ατμοσφαιρικής ακτινοβολίας.

Το μοντέλο διαμορφώθηκε ώστε να εκτελείται σε τρεις διαδραστικά grid nests (Σχήμα 2.1). Το εξωτερικό πλέγμα καλύπτει ολόκληρη τη λεκάνη της Μεσογείου και μεγάλα τμήματα της Βόρειας Αφρικής, ενώ το εσωτερικό καλύπτει την Ελλάδα. Η ανάλυση του οριζόντιου πλέγματος είναι 13,5 - 4,5 - 1,5 km για κάθε nest, αντίστοιχα. Στην κατακόρυφο, το μοντέλο έχει 48 στρώματα.



Σχήμα 3.1. Τα 3 διαδραστικά domains του μοντέλου WRF

Το εσωτερικό nesting είναι ικανό να προσομοιώνει τις μετεωρολογικές συνθήκες με μεγάλη ακρίβεια. Επιπλέον, η ικανότητά να λειτουργεί σε κλίμακες ανάλυσης νεφών οδηγεί σε καλύτερες επιδόσεις όσον αφορά την αναπαράσταση ακραίων βροχοπτώσεων.

Το μοντέλο WRF διαμορφώθηκε με τρόπο ώστε να εξισορροπείται η καλύτερη δυνατή ρύθμιση και η αποτελεσματικότητά του όσον αφορά την υπολογιστική ισχύ και τον χρόνο εκτέλεσης. Αυτή η διαμόρφωση αναπαριστά τις επικρατούσες μετεωρολογικές διεργασίες με τον βέλτιστο τρόπο. Οι κύριες φυσικές επιλογές και παραμετροποιήσεις που χρησιμοποιήθηκαν συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1. Τα σχήματα φυσικής και οι ιδιότητες του μοντέλου WRF

Microphysics	Single-moment six-class scheme (Hong and Lim, 2006)
Cumulus Parameterization	Multiscale Kain–Fritsch scheme (Kain, 2004) (coarse grid)
Long wave radiation physics	RRTM Longwave model (Mlawer et al., 1997)
Short wave radiation physics	Dudhia shortwave radiation schemes (Dudhia, 1989)
Planet boundary layer	YSU scheme
Surface layer option	Monin–Obukhov similarity scheme (Beljaars, 1995)
Land-surface physics	Thermal Diffusion scheme

Όσον αφορά τις πλευρικές συνθήκες, χρησιμοποιούνται τα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης ERA5.

Τα δεδομένα για το υψόμετρο του εδάφους λαμβάνονται από τον Παγκόσμιο Ψηφιακό Χάρτη Υψομέτρων ASTER (GDEM) από το USGS (United States Geological Survey) (Slater et al. 2011) με ανάλυση 30 m και οι πληροφορίες για τις χρήσεις γης από τη βάση δεδομένων Corine (Coordination of Information on the Environment) (2010) με ανάλυση 250 m.

3.1.2 Κλιματικοί δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης

Για την αποτίμηση των κινδύνων της παράκτιας διάβρωσης, υπολογίστηκαν οι κλιματικοί δείκτες που σχετίζονται με ακραία βροχόπτωση ή ξηρασία, καθώς και με ακραίες θερμοκρασίες, σύμφωνα με τη λίστα των ακραίων κλιματικών δεικτών που προτείνονται από το CCI/CLIVAR Expert Team for Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI) (<https://www.clivar.org/panel-about-etccdi>) και από το Climpact.

Οι κλιματικοί δείκτες ακραίας βροχόπτωσης ή ξηρασίας και ακραίων θερμοκρασιών (Zhang et al. 2005) υπολογίστηκαν με τη βιβλιοθήκη Climpact στο περιβάλλον της γλώσσας προγραμματισμού R.

Στη συνέχεια, δίνονται οι ορισμοί των βασικότερων ακραίων δεικτών:

FD, Number of frost days

Annual count of days when TN (daily minimum temperature) $< 0^{\circ}C$. Let TN_{ij} be daily minimum temperature on day i in year j . Count the number of days where:

$$TN_{ij} < 0^{\circ}C$$

SU, Number of summer days

Annual count of days when TX (daily maximum temperature) $> 25^{\circ}C$. Let TX_{ij} be daily maximum temperature on day i in year j . Count the number of days where:

$$TX_{ij} > 25^{\circ}C$$

ID, Number of icing days

Annual count of days when TX (daily maximum temperature) $< 0^{\circ}C$. Let TN_{ij} be daily maximum temperature on day i in year j . Count the number of days where:

$$TX_{ij} < 0^{\circ}C$$

TR, Number of tropical nights

Annual count of days when TN (daily minimum temperature) $> 20^{\circ}C$. Let TN_{ij} be daily minimum temperature on day i in year j . Count the number of days where:

$$TN_{ij} > 20^{\circ}C$$

TX_x, Monthly maximum value of daily maximum temperature

Let TX_x be the daily maximum temperatures in month k , period j . The maximum daily maximum temperature each month is then:

$$TX_{xkj} = \max(TX_{xkj})$$

TN_x, Monthly maximum value of daily minimum temperature

Let TN_x be the daily minimum temperatures in month k , period j . The maximum daily minimum temperature each month is then:

$$TN_{xkj} = \max(TN_{xkj})$$

TX_n, Monthly minimum value of daily maximum temperature

Let TX_n be the daily maximum temperatures in month k , period j . The minimum daily maximum temperature each month is then:

$$TX_{nkj} = \max(TX_{nkj})$$

TN_n, Monthly minimum value of daily minimum temperature

Let TN_n be the daily minimum temperatures in month k , period j . The minimum daily minimum temperature each month is then:

$$TN_{nkj} = \max(TX_{nkj})$$

TN10p, Percentage of days when TN < 10th percentile

Let TN_{ij} be the daily minimum temperature on day i in period j and let $TN_{in}10$ be the calendar day 10th percentile centred on a 5-day window for the base period. The percentage of time for the base period is determined where:

$$TN_{ij} < TN_{in}10$$

TX10p, Percentage of days when TX < 10th percentile

Let TX_{ij} be the daily maximum temperature on day i in period j and let $TX_{in}10$ be the calendar day 10th percentile centred on a 5-day window for the base period. The percentage of time for the base period is determined where:

$$TX_{ij} < TX_{in}10$$

TN90p, Percentage of days when TN > 90th percentile

Let TN_{ij} be the daily minimum temperature on day i in period j and let $TN_{in}90$ be the calendar day 90th percentile centred on a 5-day window for the base period. The percentage of time for the base period is determined where:

$$TN_{ij} > TN_{in}90$$

TX90p, Percentage of days when TX > 90th percentile

Let TX_{ij} be the daily maximum temperature on day i in period j and let $TX_{in}90$ be the calendar day 90th percentile centred on a 5-day window for the base period. The percentage of time for the base period is determined where:

$$TX_{ij} > TX_{in}90$$

HWDTx90, Length of the longest heatwave

Heatwave duration (HWD) as defined by 90th percentile of TX

HWFTx90, Number of days that contribute to heatwaves

Heatwave frequency (HWF) as defined by the 90th percentile of TX

WSDI, Warm spell duration index

Annual count of days with at least 6 consecutive days when $TX > 90^{\text{th}}$ percentile. Let TX_{ij} be the daily maximum temperature on day i in period j and let $TX_{in}90$ be the calendar day 90th percentile centred on a 5-day window for the base period. Then the number of days per period is summed where, in intervals of a set number consecutive days:

$$TX_{ij} > TX_{in}90$$

CSDI, Cold spell duration index

Annual count of days with at least 6 consecutive days when $TN < 10^{\text{th}}$ percentile. Let TN_{ij} be the daily maximum temperature on day i in period j and let TN_{in10} be the calendar day 10^{th} percentile centred on a 5-day window for the base period. Then the number of days per period is summed where, in intervals of a set number of consecutive days:

$$TN_{ij} < TN_{in10}$$

DTR, Daily temperature range

Monthly mean difference between TX and TN. Let TX_{ij} and TN_{ij} be the daily maximum and minimum temperature respectively on day i in period j . If I represents the number of days in j , then:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^I (TX_{ij} - TN_{ij})}{I}$$

RX1day

Let RR_{ij} be the daily precipitation amount on day i in period j . Then maximum 1-day values for period j are:

$$Rx1day_j = \max(RR_{ij})$$

Rx5day

Let RR_{kj} be the precipitation amount for the 5-day interval ending k , period j . Then maximum 5-day values for period j are:

$$Rx5day_j = \max(RR_{kj})$$

SDII

Let RR_{wj} be the daily precipitation amount on wet days, $w(RR \geq 1mm)$ in period j . If W represents number of wet days in j , then:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W}$$

R10

Let RR_{ij} be the daily precipitation amount on day i in period j . Count the number of days where:

$$RR_{ij} \geq 10mm$$

R20

Let RR_{ij} be the daily precipitation amount on day i in period j . Count the number of days where:

$$RR_{ij} \geq 20mm$$

Rnn

Let RR_{ij} be the daily precipitation amount on day i in period j . If mm represents any reasonable daily precipitation value then, count the number of days where:

$$RR_{ij} \geq nmm$$

CDD*

Let RR_{ij} be the daily precipitation amount on day i in period j . Count the largest number of consecutive days where:

$$RR_{ij} < 1mm$$

CWD*

Let RR_{ij} be the daily precipitation amount on day i in period j . Count the largest number of consecutive days where:

$$RR_{ij} \geq 1mm$$

R95pTOT

Let RR_{wj} be the daily precipitation amount on a wet day $w(RR \geq 1.0mm)$ in period j and let RR_{wn95} be the 95th percentile of precipitation on wet days in the reference period. If W represents the number of wet days in the period, then:

$$R95p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn95}$$

R99p

Let RR_{wj} be the daily precipitation amount on a wet day $w(RR \geq 1.0mm)$ in period j and let RR_{wn99} be the 99th percentile of precipitation on wet days in the reference period. If W represents number of wet days in the period, then:

$$R99p_j = \sum_{w=1}^W RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn99}$$

PRCPTOT

Let RR_{ij} be the daily precipitation amount on day i in period j . If I represents the number of days in j then

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$$

3.1.3 Περίοδοι επαναφοράς ακραίων τιμών ανέμου

Η μέθοδος Block Maxima χρησιμοποιεί τη θεωρία GEV (Jenkinson 1955). Για την εφαρμογή αυτή, οι χρονοσειρές χωρίζονται σε μπλοκ ίδιου μεγέθους και η μέγιστη τιμή κάθε μπλοκ χρησιμοποιείται για τη δημιουργία του συνόλου δεδομένων για την εφαρμογή της μεθόδου.

Η επιλογή του μεγέθους του μπλοκ είναι μείζονος σημασίας, καθώς ένα πολύ μικρό μπορεί να οδηγήσει σε υπερεκτίμηση και αυξημένη μεροληψία. Από την άλλη πλευρά, πολύ μεγάλα μπλοκ θα οδηγήσουν σε μικρότερα σύνολα δεδομένων, μεγάλη μεταβλητότητα (Coles 2001) και μάλλον αναξιόπιστη εκτίμηση. Αυτοί οι λόγοι οδήγησαν στη χρήση ετήσιων μπλοκ (Annual Maxima), επειδή μικρότερες περίοδοι μπορεί να παραβιάζουν τις αρχές της θεωρίας GEV (Coles 2001). Το δείγμα που δημιουργείται με την επιλογή των ετήσιων μέγιστων τιμών, χρησιμοποιείται για την προσαρμογή μιας κατανομής που ανήκει στην οικογένεια GEV.

Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η ταχύτητα του ανέμου περιγράφεται καλά από την κατανομή Weibull (Hennessey 1977), ενώ οι ακραίες τιμές (AM) συχνά προσεγγίζονται από τον πρώτο τύπο της GEV (Cook 1985).

Η τελευταία, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του Gumbel:

$$F(x) = \frac{1}{a} e^{-z-e^{-z}}$$

όπου $z = \frac{x-\beta}{\alpha}$, β = παράμετρος θέσης, α = παράμετρος κλίμακας, απαιτεί την εκτίμηση μόνο δύο παραμέτρων, οδήγησε σε αυτή την επιλογή.

Η εκτίμηση των παραμέτρων της κατανομής προσαρμογής βασίζεται σε δύο μεθόδους. Η πρώτη είναι η μέθοδος μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood-ML) (Cramér 1946; Hazewinkel 2001) και η δεύτερη είναι η μέθοδος των ροπών (MoM) (Cramér 1946; Kendall & Stuart 1987). Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ML, η παράμετρος θέσης (β) και η παράμετρος κλίμακας (α) απαιτεί την εκτίμηση μόνο δύο παραμέτρων, οδήγησε σε αυτή την επιλογή. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ML, η παράμετρος θέσης (β) και η παράμετρος κλίμακας (α) μπορούν να εκτιμηθούν μέσω της ταυτόχρονης αριθμητικής επίλυσης των ακόλουθων εξισώσεων:

$$\bar{x} - \frac{\sum_{t=1}^n x_t \exp(-x_t/a)}{\sum_{t=1}^n \exp(-x_t/a)} - a = 0 \quad \text{και} \quad -a \cdot \log\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{x_i}{a}\right)\right] - \beta = 0$$

όπου x_1, \dots, x_n είναι ένα τυχαίο δείγμα, \bar{x} είναι ο μέσος όρος του δείγματος και α, β η παράμετρος κλίμακας και θέσης, αντίστοιχα.

Προκειμένου να επαληθευτεί η καταλληλότητα της επιλογής της κατανομής, τα υπό μελέτη ακατέργαστα δεδομένα (από μοντέλα ή παρατηρήσεις) συγκρίνονται με τις αντίστοιχες τιμές της θεωρητικής κατανομής. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις είτε γραφικές είτε αναλυτικές, όπως τα διαγράμματα πιθανοτήτων (P-P plots), τα διαγράμματα ποσοστημορίων (Q-Q plots) (Coles 2001) και ο έλεγχος Kolmogorov-Smirnov (Marsaglia et al. 2003).

Το επόμενο βήμα είναι η εκτίμηση της ακραίας ταχύτητας ανέμου (U_T) με την προτιμώμενη περίοδο επαναφοράς (T) μέσω της σχέσης $F(U_T) = 1 - (1/T)$ που οδηγεί στα ακόλουθα αποτελέσματα (Palutikof et al., 1999):

$$U_T = \begin{cases} \beta + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]^k \right\} & k \neq 0 \\ \beta - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] & k = 0 \end{cases}$$

όπου α , β και k είναι η παράμετρος κλίμακας, θέσης και σχήματος, αντίστοιχα.

Η αβεβαιότητα της ακραίας ταχύτητας του ανέμου κατανέμεται κανονικά και εκφράζεται μέσω του 95% διαστήματος εμπιστοσύνης που ισούται με $1.96 \cdot \sigma(U_T)$, όπου, $\sigma(U_T) = \pi \cdot \alpha \sqrt{\frac{1+1.14k_T+1.10k_T^2}{6n}}$, n είναι ο αριθμός των μεγίστων, $k_T = \frac{\sqrt{6}(\ln T - \gamma_E)}{\pi}$, και γ_E είναι η σταθερά του Euler.

3.2 Επεξεργασία δεδομένων θαλάσσιας στάθμης

3.2.1 Στατιστική ανάλυση

Για το σύνολο των δεδομένων θαλάσσιας στάθμης πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση σε γλώσσα προγραμματισμού R ως εξής:

A) Υπολογίζοντας τυπικά στατιστικά μέτρα θέσεων και διασποράς (περιγραφικά), όπως η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, το εύρος, η διάμεσος, η διακύμανση, τα τεταρτημόρια και το ενδοτεταρτημοριακό εύρος.

B) Υπολογίζοντας τα ιστογράμματα, τα θηκογράμματα, καθώς και

- τις συναρτήσεις αθροιστικής κατανομής (PDF),
- τις συναρτήσεις κατανομής πιθανότητας (CDF),
- τις συναρτήσεις σημείου πιθανότητας (PPF)

Γ) Υπολογίζοντας τα ακραία φαινόμενα, τη συχνότητα και πυκνότητα αυτών και την διάρκεια σε ώρες για την θαλάσσια στάθμη ορίζοντας κατώφλια ορίων ασφαλείας (min/max).

3.2.2 Φασματική ανάλυση

Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε φασματική ανάλυση για τον προσδιορισμό περιοδικών μοτίβων και την αναπαράσταση των δεδομένων στο πεδίο της συχνότητας ώστε απομονώσουμε τις μετεωρολογικές παραμέτρους.

Σκοπός της φασματικής ανάλυσης είναι:

1. Προσδιορισμός περιοδικών μοτίβων: Μπορεί να αποκαλύψει εάν υπάρχουν εποχικά ή περιοδικά μοτίβα στις διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας. Για παράδειγμα, εάν υπάρχουν σταθερές διακυμάνσεις σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα (π.χ. ημερήσια, μηνιαία), η φασματική ανάλυση θα βοηθήσει στον εντοπισμό αυτών των κύκλων.

2. Αναπαράσταση στο πεδίο της συχνότητας: Μετασχηματίζοντας τα δεδομένα της χρονοσειράς σας από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας (χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως ο μετασχηματισμός Fourier), μπορείτε να απεικονίσετε πόση από την ενέργεια του σήματος συγκεντρώνεται σε διαφορετικές συχνότητες.

3. Μείωση του θορύβου: Μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό και το φιλτράρισμα του θορύβου από το σήμα, επιτρέποντάς σας έτσι να επικεντρωθείτε στις υποκείμενες τάσεις και κύκλους.

4. Πρόβλεψη: Η κατανόηση των συνιστωσών συχνότητας μπορεί να βοηθήσει στην πρόβλεψη μελλοντικών τιμών της χρονοσειράς με βάση τα εντοπισμένα μοτίβα.

Ο αλγόριθμος φασματικής ανάλυσης χρονοσειρών STL που εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη ακολουθεί τα παρακάτω στάδια:

1. Εποχιακή ανάλυση:

Ο αλγόριθμος STL εκτιμά πρώτα την εποχιακή συνιστώσα. Εντοπίζει και εξάγει επαναλαμβανόμενα μοτίβα στα δεδομένα (π.χ. ημερήσιους, μηνιαίους ή ετήσιους κύκλους).

Τα δεδομένα εξομαλύνονται με τη χρήση Loess, πράγμα που σημαίνει ότι εκτελείται τοπική παλινδρόμηση σε μικρά υποσύνολα των δεδομένων για την εκτίμηση της εποχικής συνιστώσας. Το μέγεθος του υποσυνόλου καθορίζεται από συγκεκριμένες παραμέτρους του αλγόριθμου.

Η εποχιακή συνιστώσα αφαιρείται από τα δεδομένα για να απομονωθεί το υπόλοιπο, το οποίο αποτελείται από την τάση και το θόρυβο.

Μετά την αφαίρεση της εποχικότητας, ο αλγόριθμος εκτιμά την τάση. Αυτό γίνεται με τη χρήση ενός άλλου “εξομαλυντή” Loess για τη σύλληψη μακροπρόθεσμων τάσεων στα δεδομένα. Το βήμα αυτό προσδιορίζει τη γενική ανοδική ή καθοδική κίνηση με την πάροδο του χρόνου, αγνοώντας τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις.

2. Υπόλοιπο χρονοσειράς:

Αφού εξαχθούν οι εποχικές συνιστώσες και οι συνιστώσες τάσης, απομένει το υπόλοιπο. Αυτό είναι το μέρος των δεδομένων που δεν μπορεί να εξηγηθεί από τις εποχικές συνιστώσες ή τις συνιστώσες τάσης. Το υπόλοιπο αντιπροσωπεύει συνήθως τυχαίο θόρυβο ή ακανόνιστες διακυμάνσεις.

3. Επαναληπτική διαδικασία:

Η μέθοδος STL είναι επαναληπτική. Διατρέχει τα στάδια της φασματικής ανάλυσης πολλές φορές, βελτιώνοντας τις εκτιμήσεις για την εποχικότητα, την τάση και το υπόλοιπο με κάθε επανάληψη. Αυτό την καθιστά ευέλικτη και ικανή να χειρίζεται πολύπλοκα δεδομένα χρονοσειρών που ενδέχεται να έχουν μη σταθερή εποχικότητα ή τάση ενώ παράλληλα είναι ανθεκτική μέθοδος ως προς τις ακραίες τιμές.

4 Υφιστάμενο κλιματικό καθεστώς

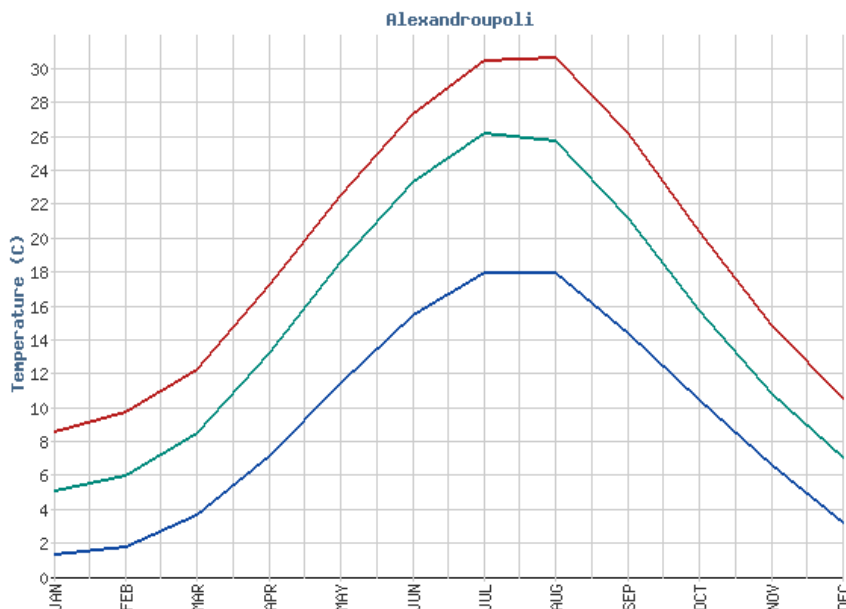
Το παρόν κεφάλαιο περιγράφει τις υφιστάμενες κλιματικές συνθήκες σε κάθε λιμάνι μελέτης. Παρουσιάζονται τα 6 λιμάνια (από Βορρά προς Νότο: Αλεξανδρούπολη, Ηγουμενίτσα, Βόλος, Χαλκίδα, Λαύριο, Ηράκλειο) και παρουσιάζονται τα κλιματικά χαρακτηριστικά όπως έχουν προκύψει από τη διαδικασία δυναμικού υποβιβασμού κλίμακας των δεδομένων αναδρομικής ανάλυσης ERA5 με το μοντέλο WRF. Υπολογίζονται οι μέσες κλιματολογικές τιμές, καθώς και οι τιμές ακραίων κλιματικών δεικτών θερμοκρασίας και βροχόπτωσης και οι περίοδοι επαναφοράς ακραίων ανεμολογικών γεγονότων.

Επίσης, παρουσιάζεται η κλιματολογία των μετεωρολογικών σταθμών της ΕΜΥ που βρίσκονται πλησιέστερα στα λιμάνια μελέτης.

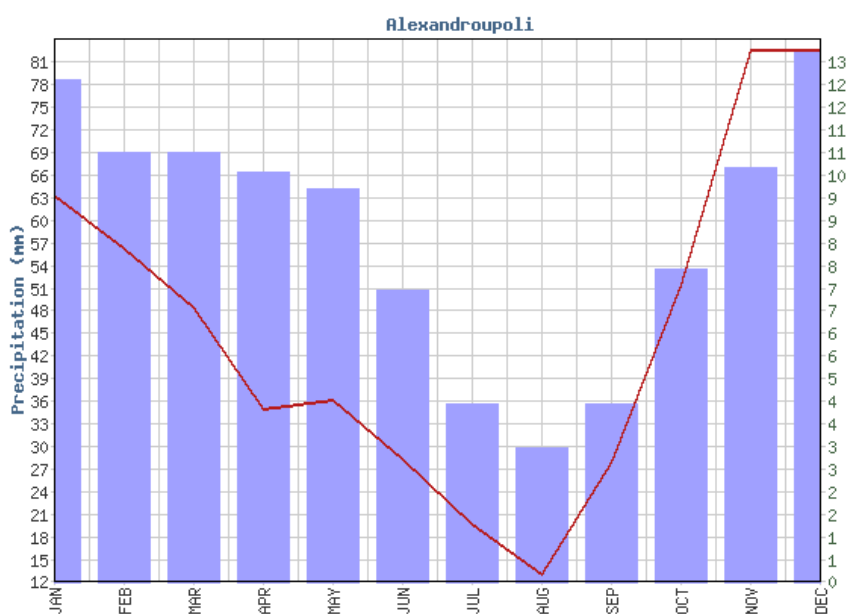
4.1 Κλιματικά χαρακτηριστικά πλησίον των λιμανιών μελέτης

Στην παράγραφο αυτή δίνονται τα κλιματικά διαγράμματα για τους μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ που βρίσκονται πλησίον των λιμανιών μελέτης.

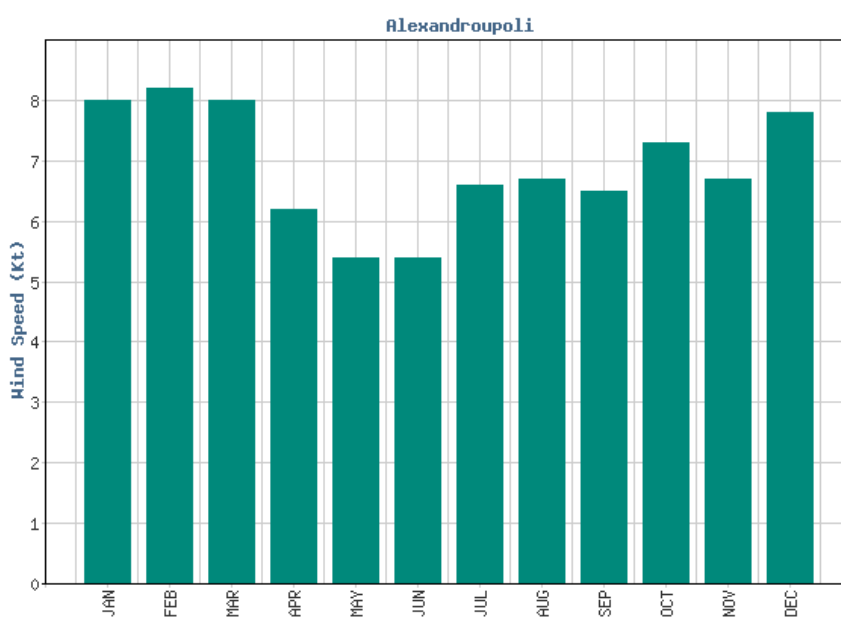
Αλεξανδρούπολη (ΕΜΥ)



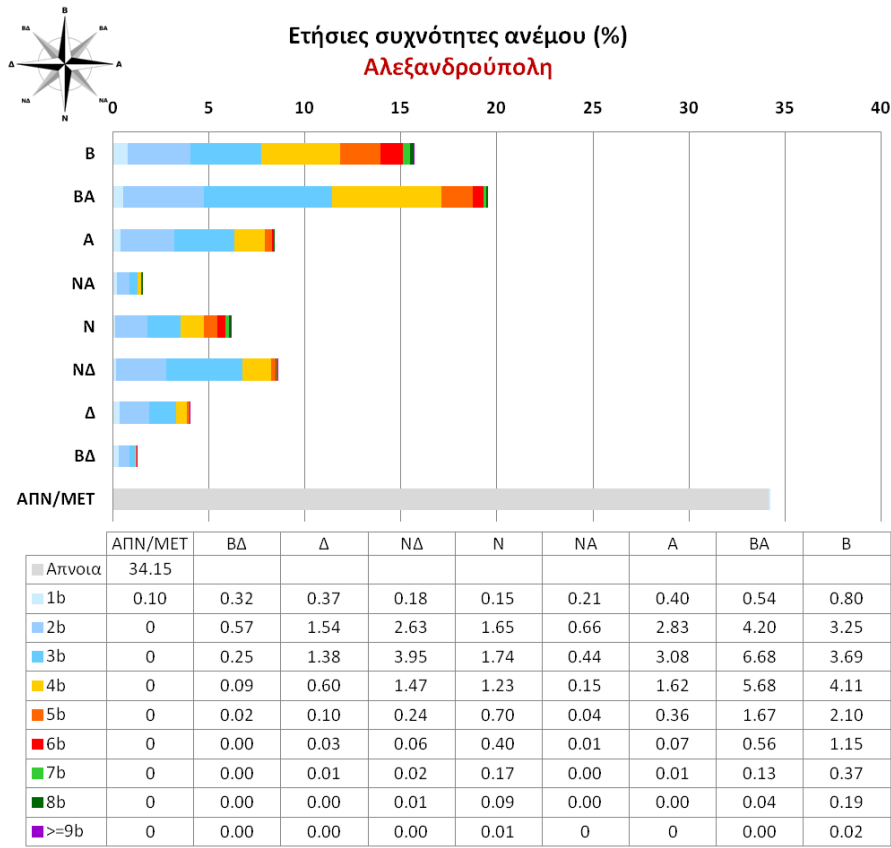
Σχήμα 4.1. Ενδοετήσια κύμανση μέγιστης, μέσης και ελάχιστης θερμοκρασίας για την Αλεξανδρούπολη



Σχήμα 4.2. Μηνιαίο ύψος υετού (μπάρες) και ημέρες υετού ανά μήνα (γραμμή) για την Αλεξανδρούπολη.

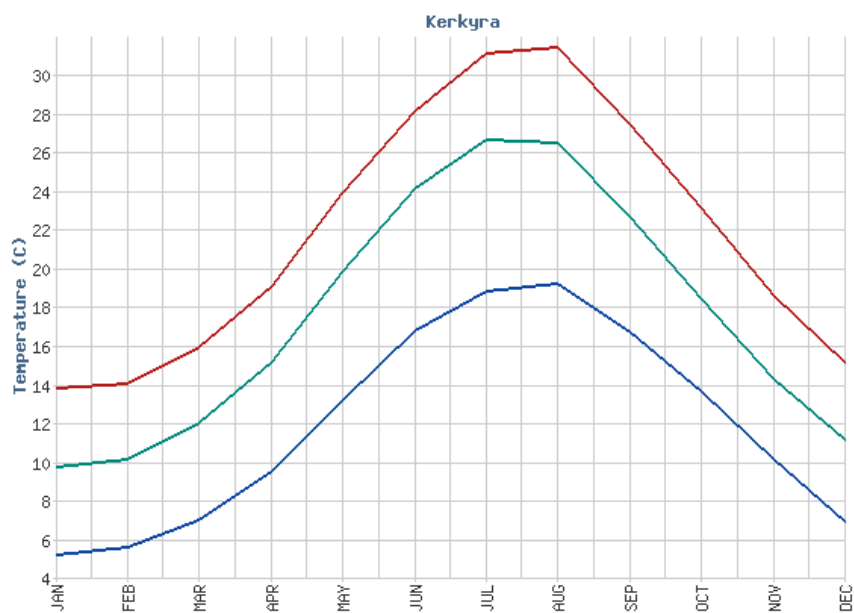


Σχήμα 4.3. Μηνιαία κατανομή της έντασης του ανέμου σε κόμβους για την Αλεξανδρούπολη.

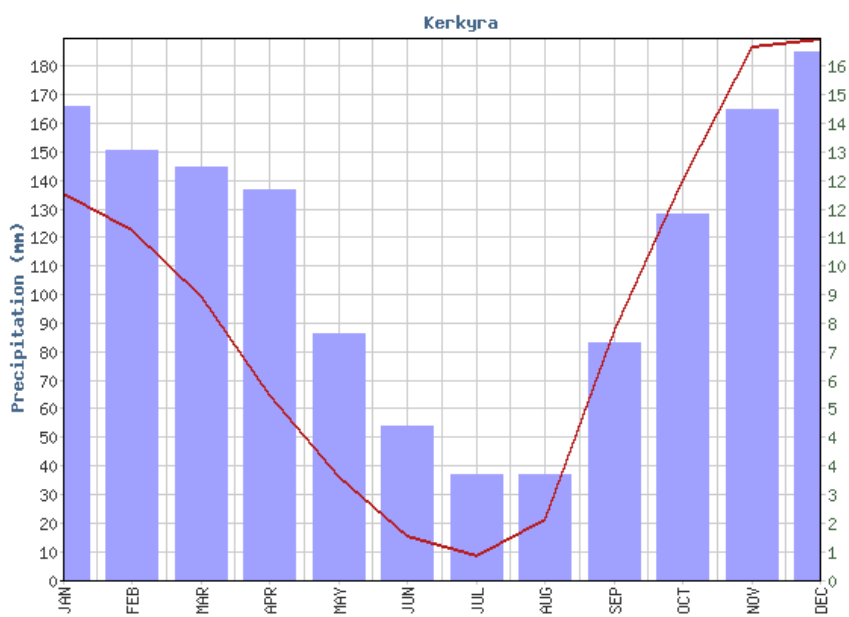


Σχήμα 4.4. Ετήσιες συχνότητες ανέμου ανά διεύθυνση και ανά ένταση για την Αλεξανδρούπολη.

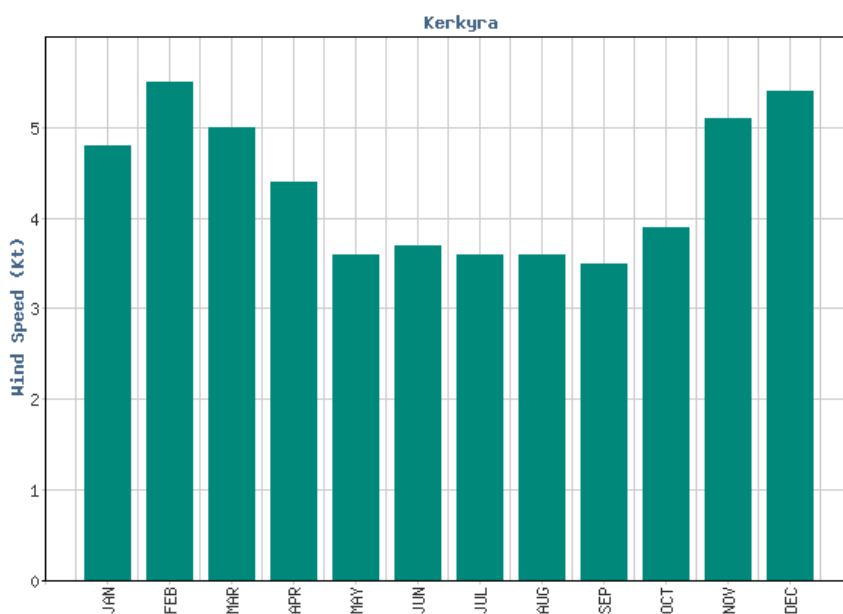
Ηγουμενίτσα (Κέρκυρα – ΕΜΥ)



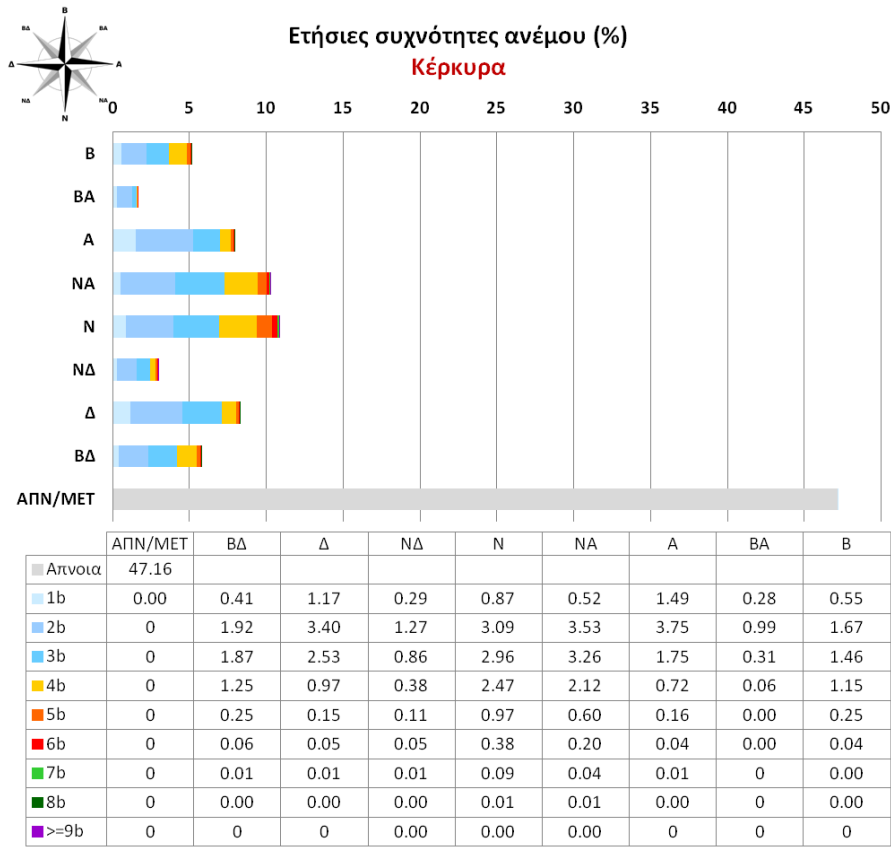
Σχήμα 4.5 Ενδοετήσια κύμανση μέγιστης, μέσης και ελάχιστης θερμοκρασίας για την Κέρκυρα



Σχήμα 4.6. Μηνιαίο ύψος υετού (μπάρρες) και ημέρες υετού ανά μήνα (γραμμή) για την Κέρκυρα.

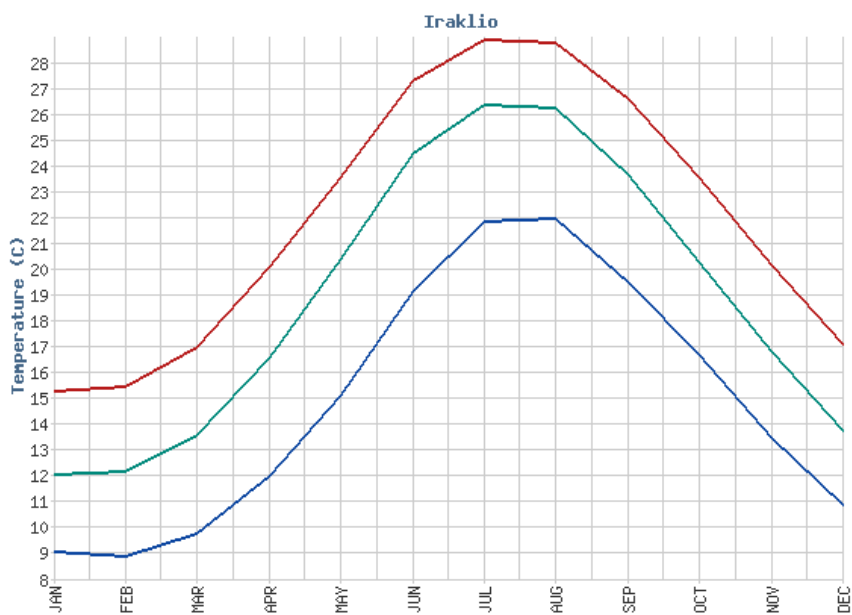


Σχήμα 4.7. Μηνιαία κατανομή της έντασης του ανέμου σε κόμβους για την Κέρκυρα.

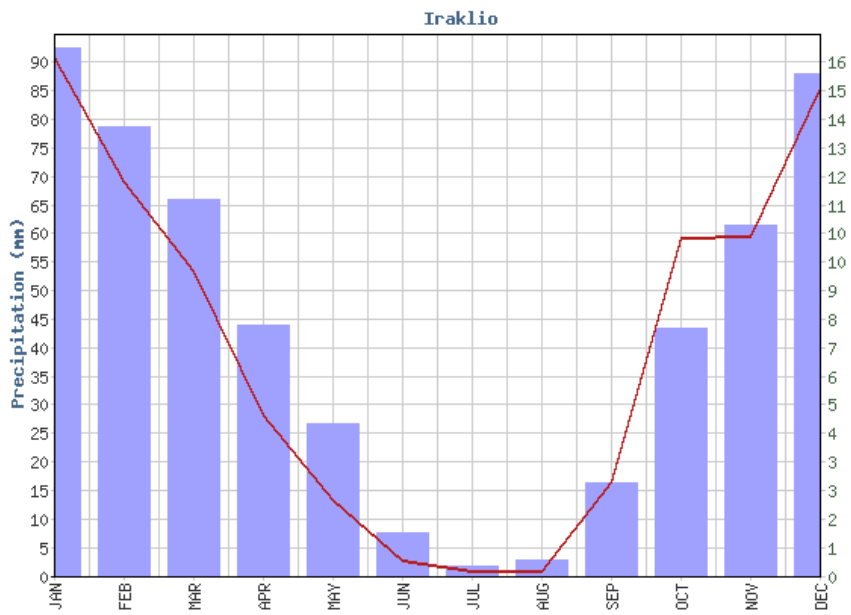


Σχήμα 4.8. Ετήσιες συχνότητες ανέμου ανά διεύθυνση και ανά ένταση για την Κέρκυρα.

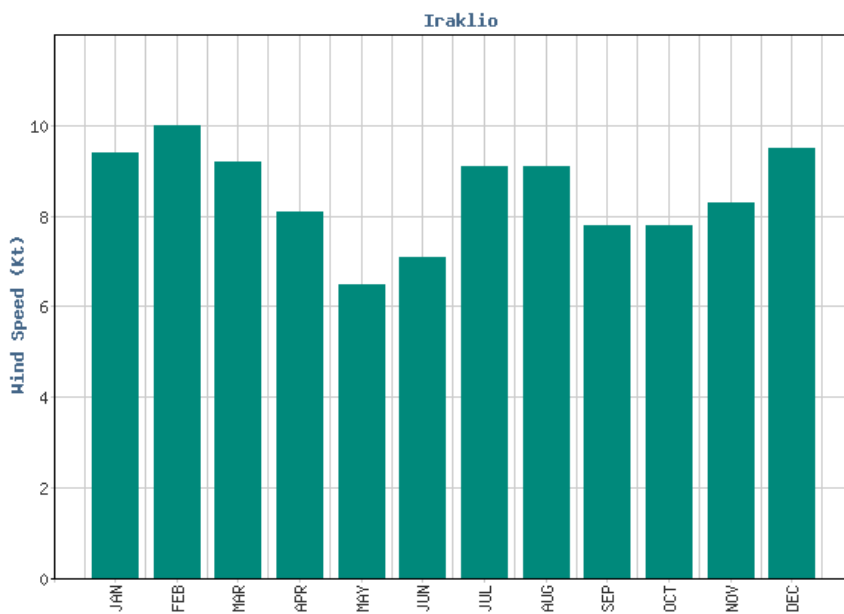
Ηράκλειο (ΕΜΥ)



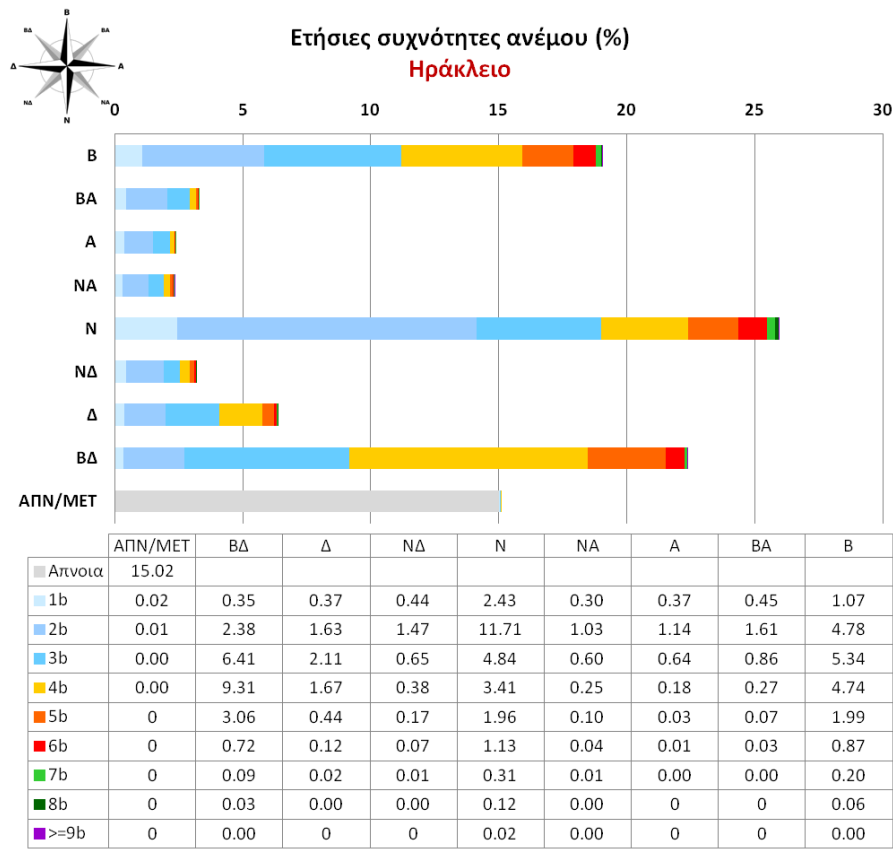
Σχήμα 4.9. Ενδοετήσια κύμανση μέγιστης, μέσης και ελάχιστης θερμοκρασίας για το Ηράκλειο



Σχήμα 4.10. Μηνιαίο ύψος υετού (μπάρες) και ημέρες υετού ανά μήνα (γραμμή) για το Ηράκλειο.



Σχήμα 4.11. Μηνιαία κατανομή της έντασης του ανέμου σε κόμβους για το Ηράκλειο.



Σχήμα 4.12. Ετήσιες συχνότητες ανέμου ανά διεύθυνση και ανά ένταση για το Ηράκλειο.

4.2 Κλιματικά χαρακτηριστικά στα λιμάνια – Θερμοκρασία & Βροχόπτωση

Για τη μελέτη της παρούσας κλιματικής κατάστασης στα υπό μελέτη λιμάνια, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης ERA5 αρχικής χωρικής ανάλυσης 0.25°x0.25°, στα οποία πραγματοποιήθηκε υποβιβασμός κλίμακας με τη χρήση του μοντέλου WRF, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 3.

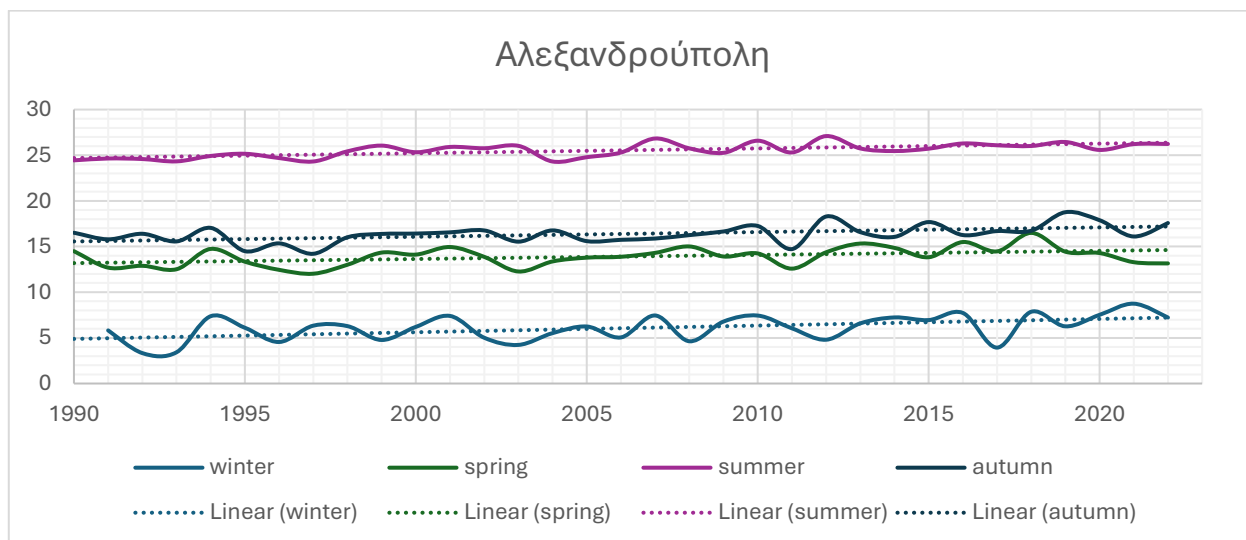
Αλεξανδρούπολη

Για το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης καταγράφονται οι μηνιαίες κλιματολογικές τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 4.13.

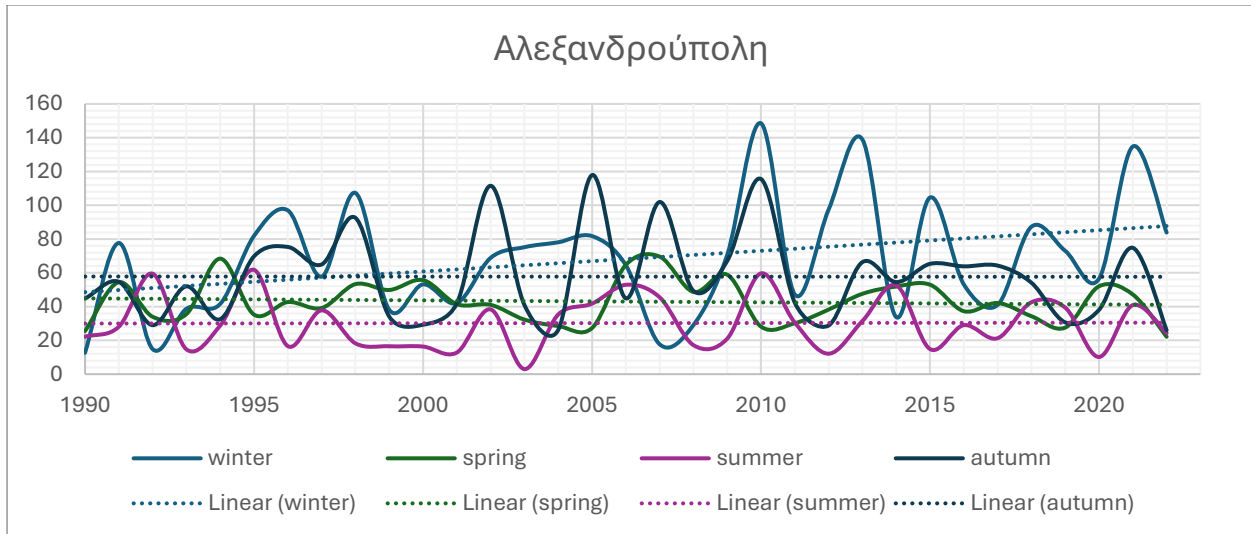


Σχήμα 4.13. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και ύψους βροχής για την Αλεξανδρούπολη για το διάστημα 1990-2022.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για το διάστημα 1990-2022 παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα (Σχήμα 4.14 και Σχήμα 4.15).



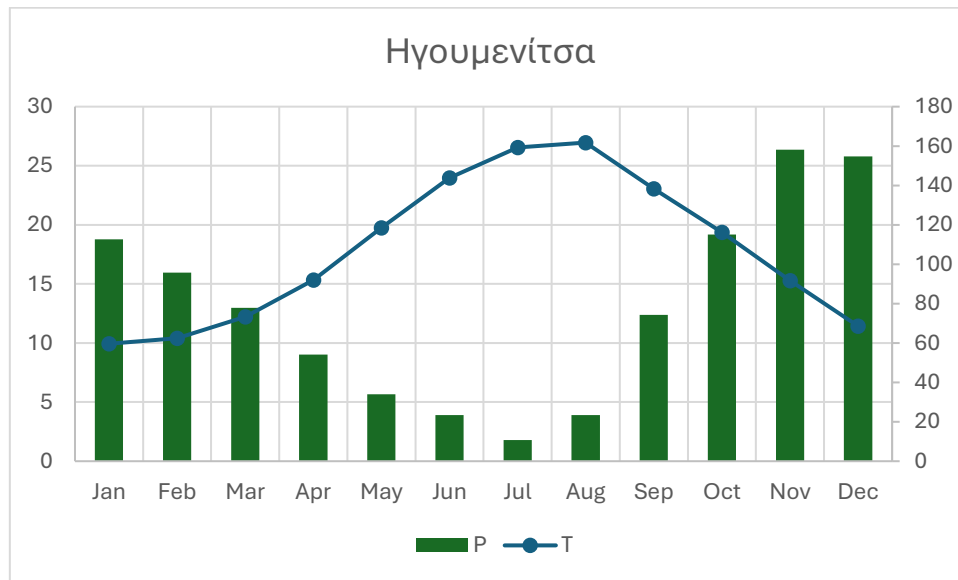
Σχήμα 4.14. Χρονική μεταβολή των εποχιακών μέσων θερμοκρασιών καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για την Αλεξανδρούπολη.



Σχήμα 4.15. Χρονική μεταβολή των εποχιακών υψών βροχής καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για την Αλεξανδρούπολη.

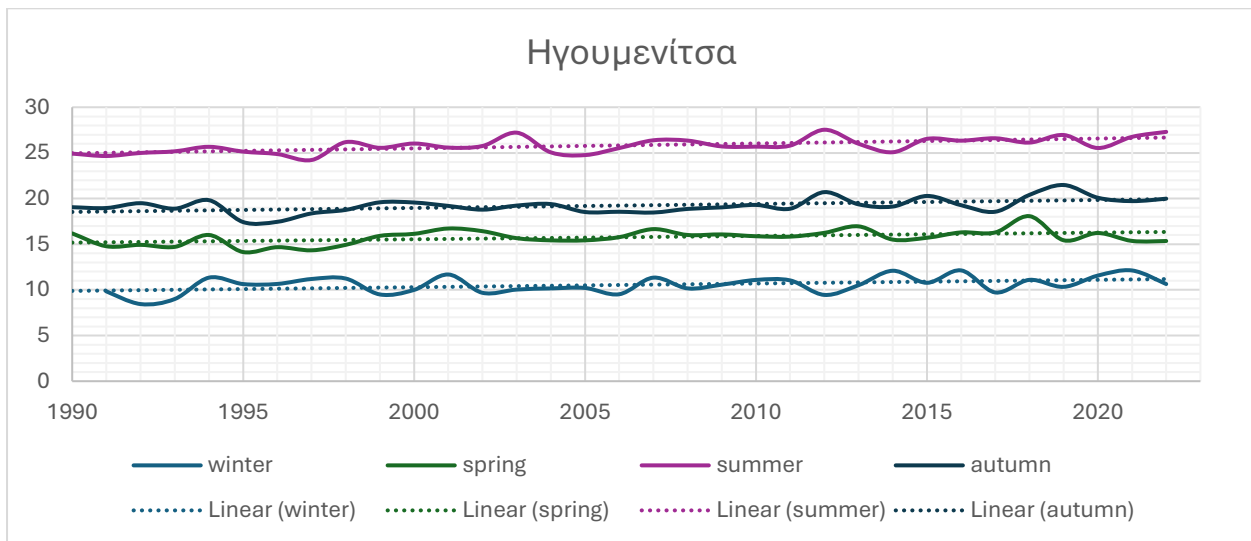
Ηγουμενίτσα

Για το λιμάνι της Ηγουμενίτσας καταγράφονται οι μηνιαίες κλιματολογικές τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 4.16.

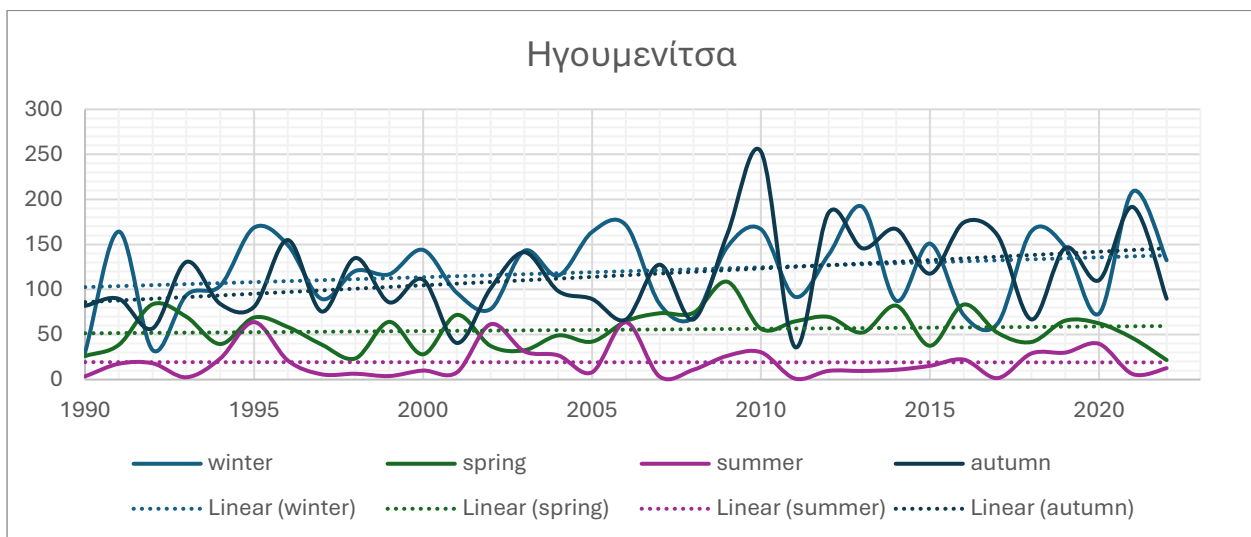


Σχήμα 4.16. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και ύψους βροχής για την Ηγουμενίτσα για το διάστημα 1990-2022.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για το διάστημα 1990-2022 παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



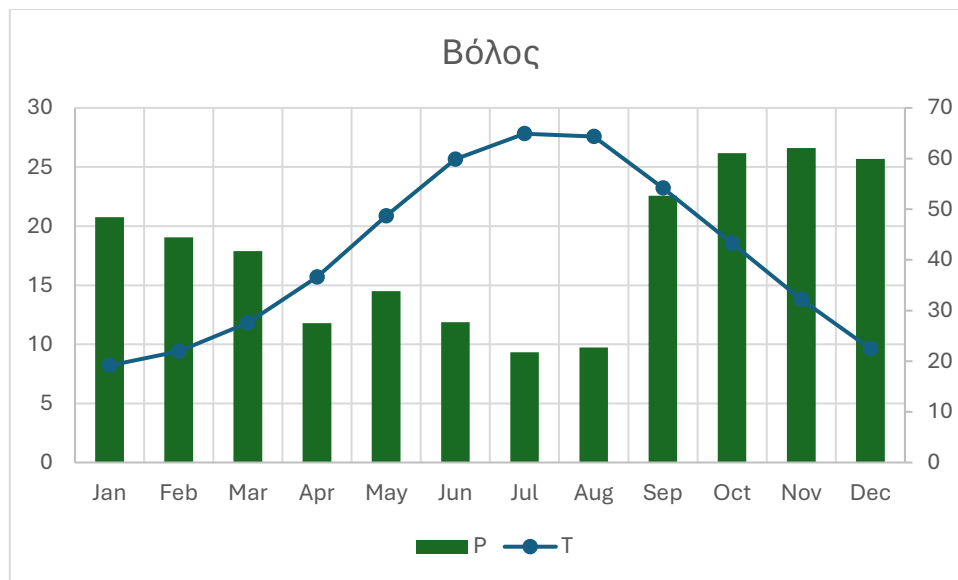
Σχήμα 4.17. Χρονική μεταβολή των εποχιακών μέσων θερμοκρασιών καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για την Ηγουμενίτσα.



Σχήμα 4.18. Χρονική μεταβολή των εποχιακών υψών βροχής καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για την Ηγουμενίτσα.

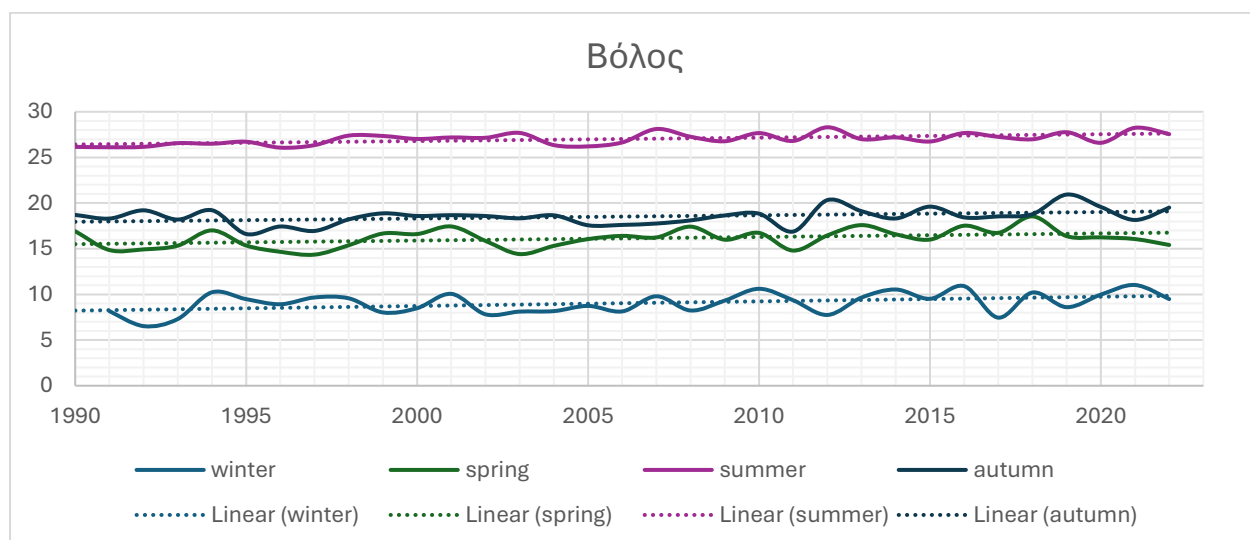
Βόλος

Για το λιμάνι του Βόλου καταγράφονται οι μηνιαίες κλιματολογικές τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 4.19.

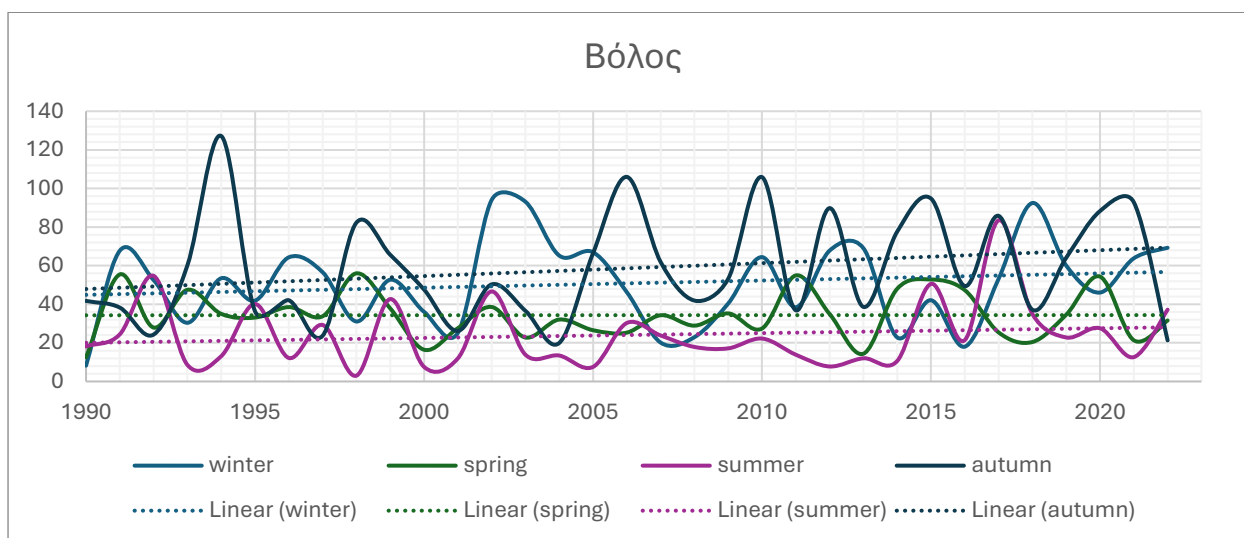


Σχήμα 4.19. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και ύψους βροχής για τον Βόλο για το διάστημα 1990-2022.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για το διάστημα 1990-2022 παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



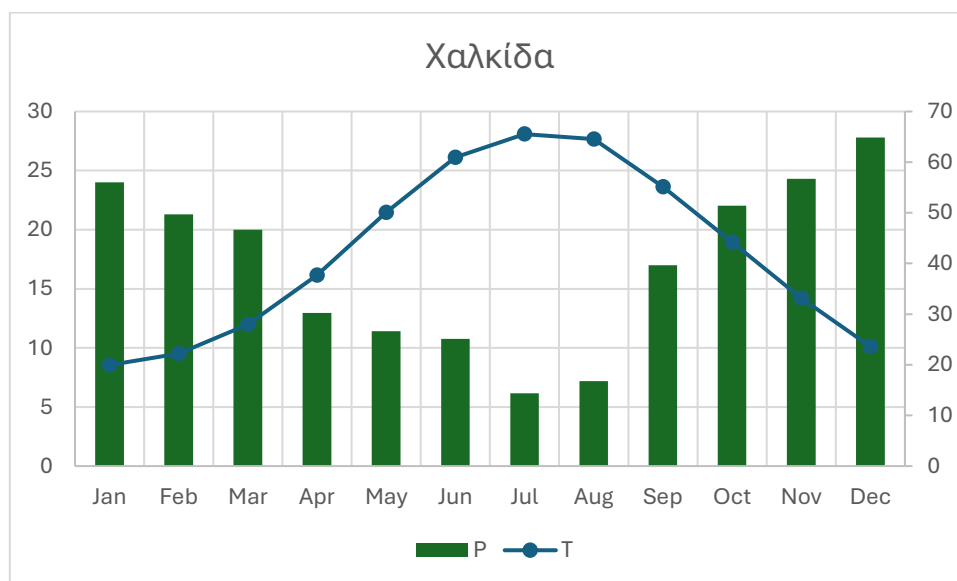
Σχήμα 4.20. Χρονική μεταβολή των εποχιακών μέσων θερμοκρασιών καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για τον Βόλο.



Σχήμα 4.21. Χρονική μεταβολή των εποχιακών υψών βροχής καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για τον Βόλο.

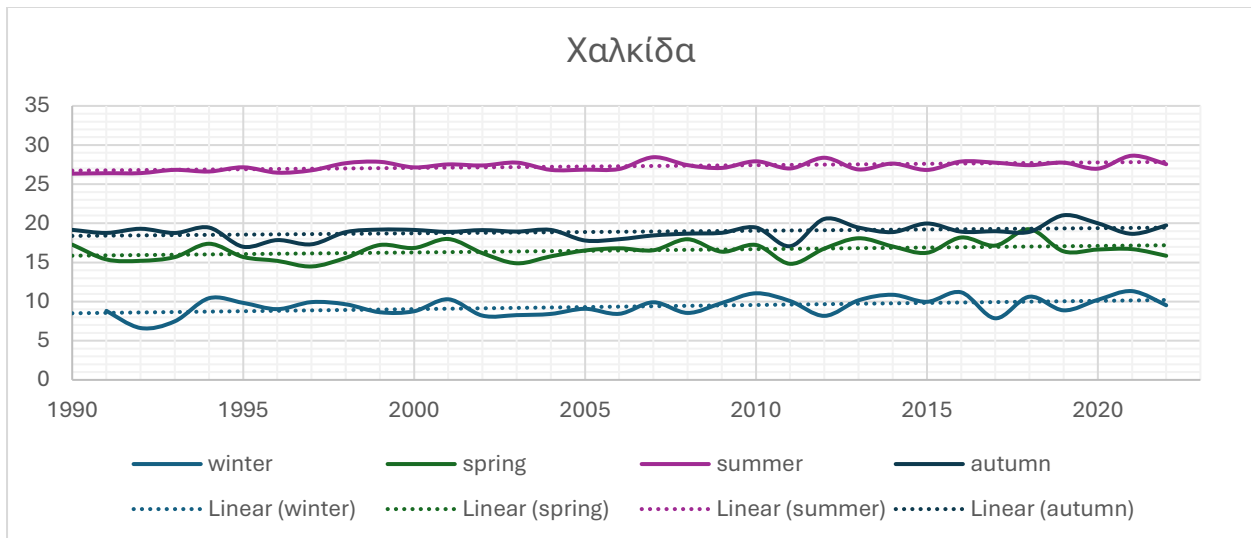
Χαλκίδα

Για το λιμάνι τη Χαλκίδα καταγράφονται οι μηνιαίες κλιματολογικές τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 4.22.

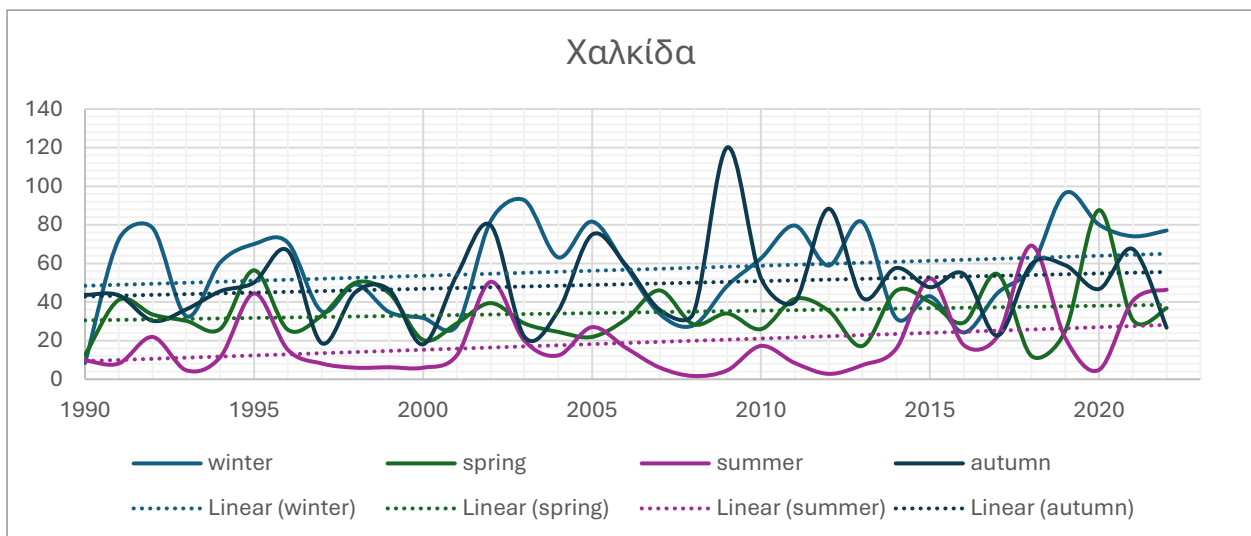


Σχήμα 4.22. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και ύψους βροχής για τον Βόλο για το διάστημα 1990-2022.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για το διάστημα 1990-2022 παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



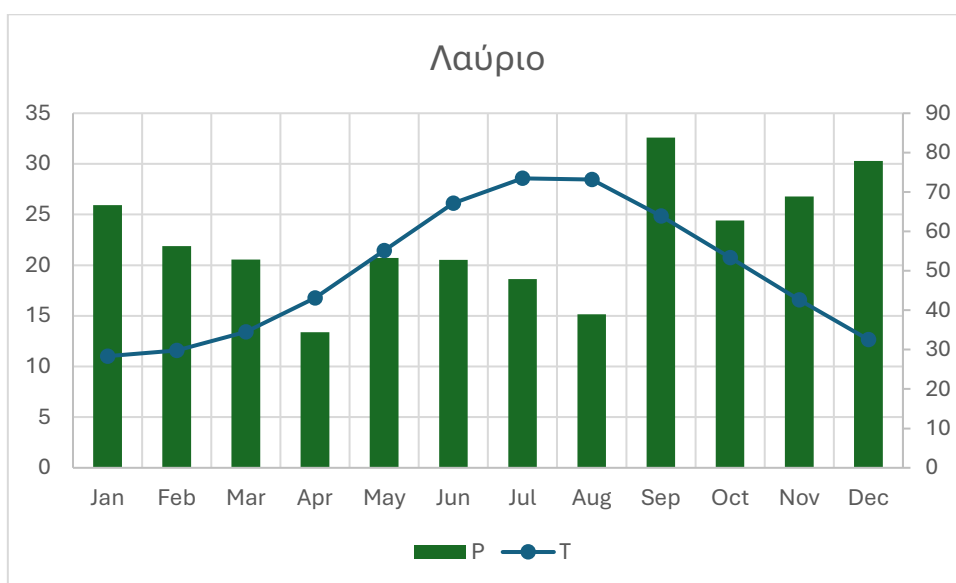
Σχήμα 4.23. Χρονική μεταβολή των εποχιακών μέσων θερμοκρασιών καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για τη Χαλκίδα.



Σχήμα 4.24. Χρονική μεταβολή των εποχιακών υψών βροχής καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για τη Χαλκίδα.

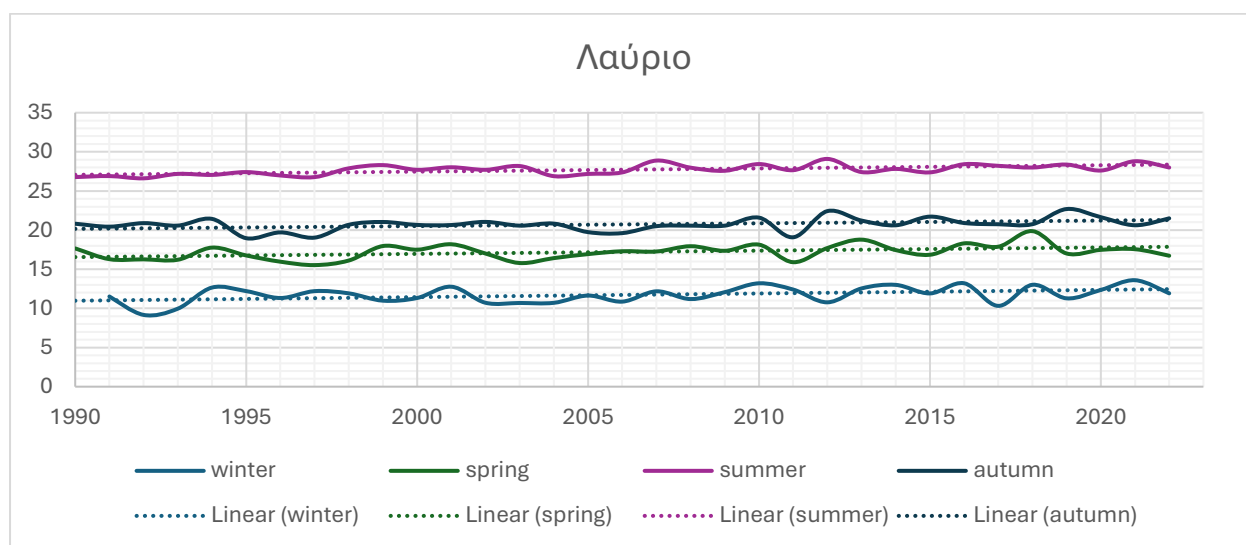
Λαύριο

Για το λιμάνι του Λαυρίου καταγράφονται οι μηνιαίες κλιματολογικές τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 4.25.

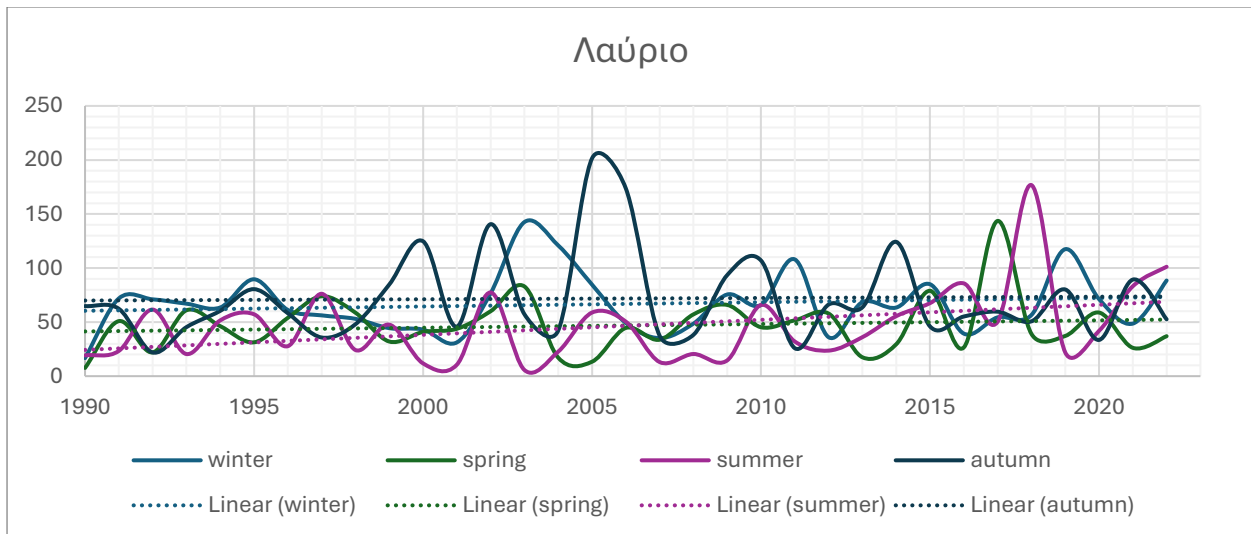


Σχήμα 4.25 Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και ύψους βροχής για το Λαύριο για το διάστημα 1990-2022.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για το διάστημα 1990-2022 παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



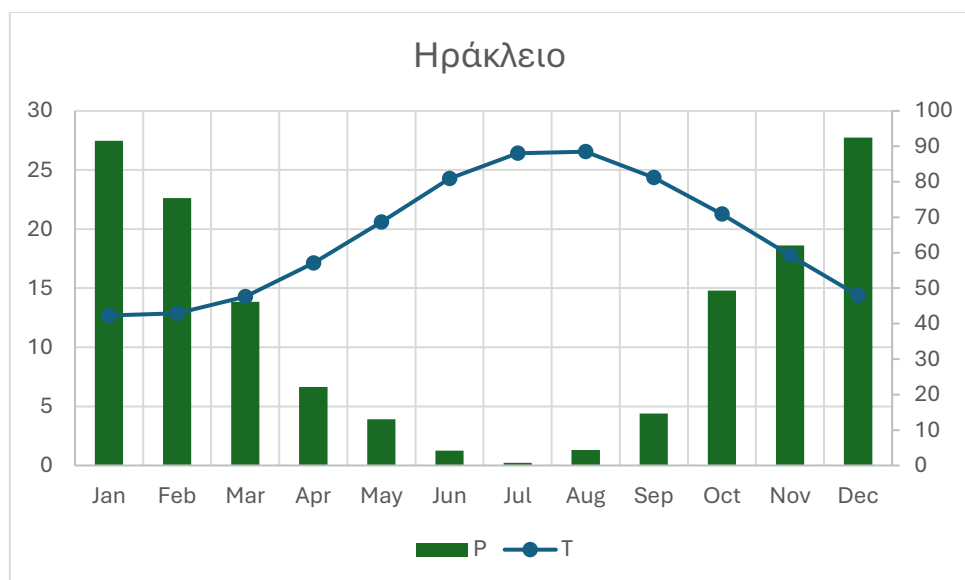
Σχήμα 4.26. Χρονική μεταβολή των εποχιακών μέσων θερμοκρασιών καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για το Λαύριο.



Σχήμα 4.27. Χρονική μεταβολή των εποχιακών υψών βροχής καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για το Λαύριο.

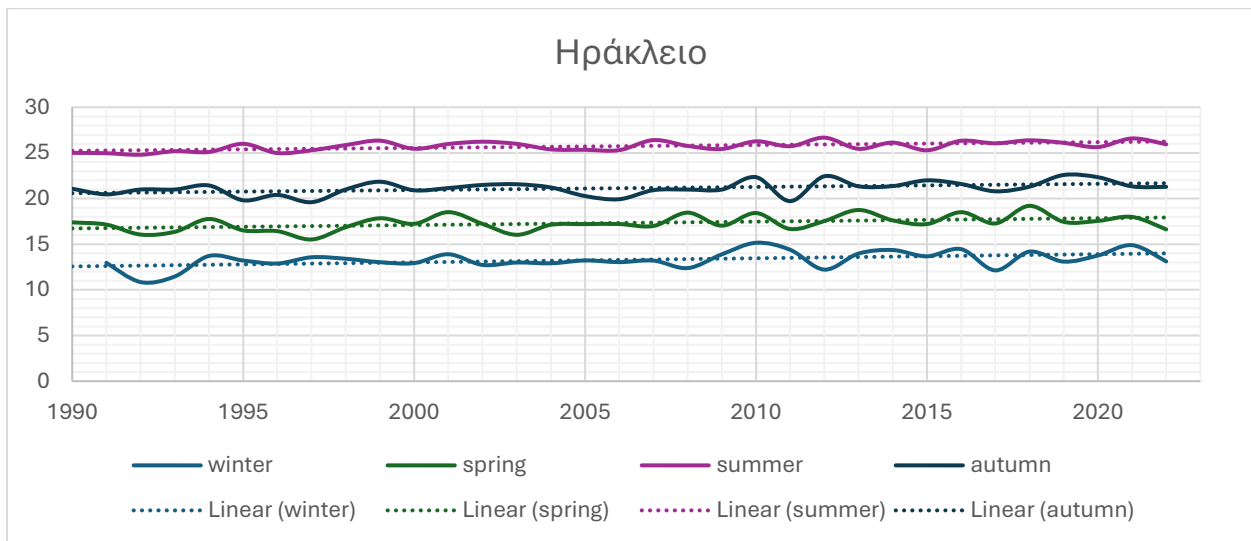
Ηράκλειο

Για το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης καταγράφονται οι μηνιαίες κλιματολογικές τιμές που φαίνονται στο Σχήμα 4.28.

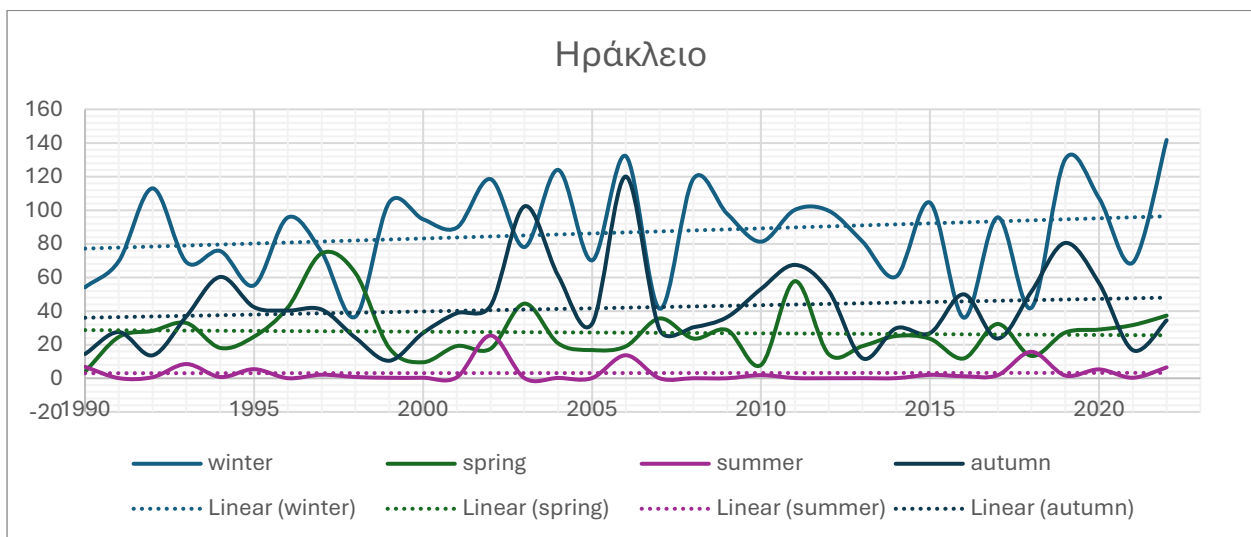


Σχήμα 4.28. Μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας και ύψους βροχής για το Ηράκλειο για το διάστημα 1990-2022.

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης για το διάστημα 1990-2022 παρουσιάζονται στα ακόλουθα διαγράμματα.



Σχήμα 4.29. Χρονική μεταβολή των εποχιακών μέσων θερμοκρασιών καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για το Ηράκλειο.

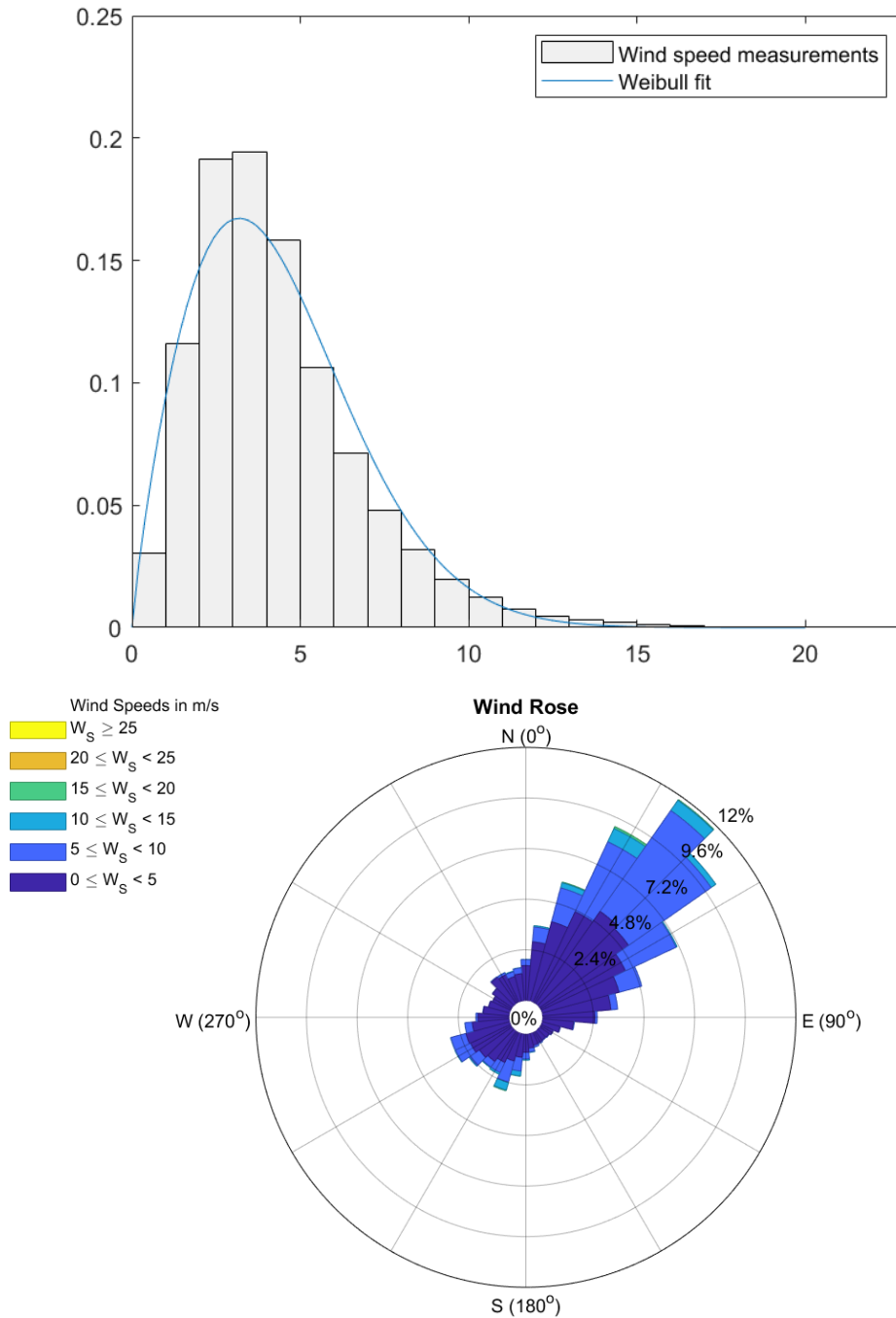


Σχήμα 4.30. Χρονική μεταβολή των εποχιακών υψών βροχής καθώς και οι γραμμικές τάσεις αυτών για το Ηράκλειο.

4.3 Ανεμολογικά χαρακτηριστικά στα λιμάνια

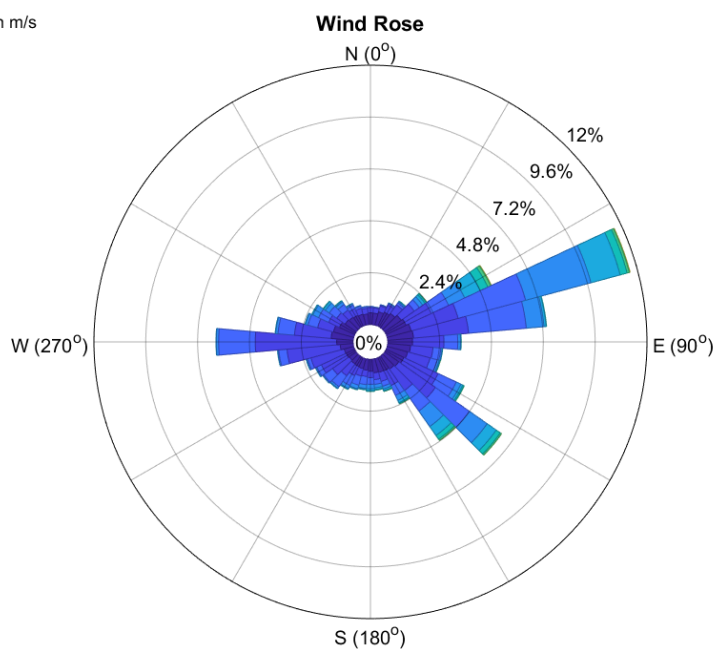
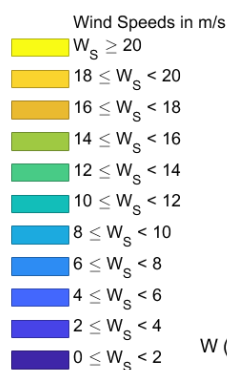
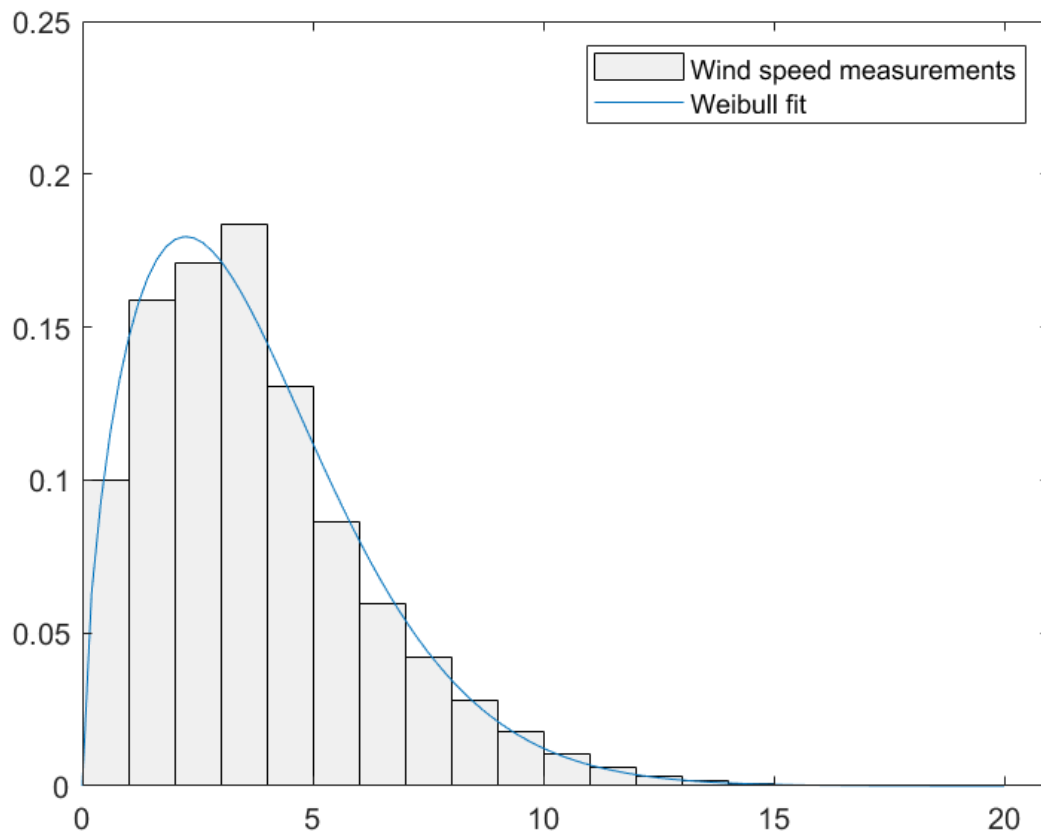
Από την ανάλυση της έντασης και της διεύθυνσης του ανέμου για τα 6 λιμάνια προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Αλεξανδρούπολη



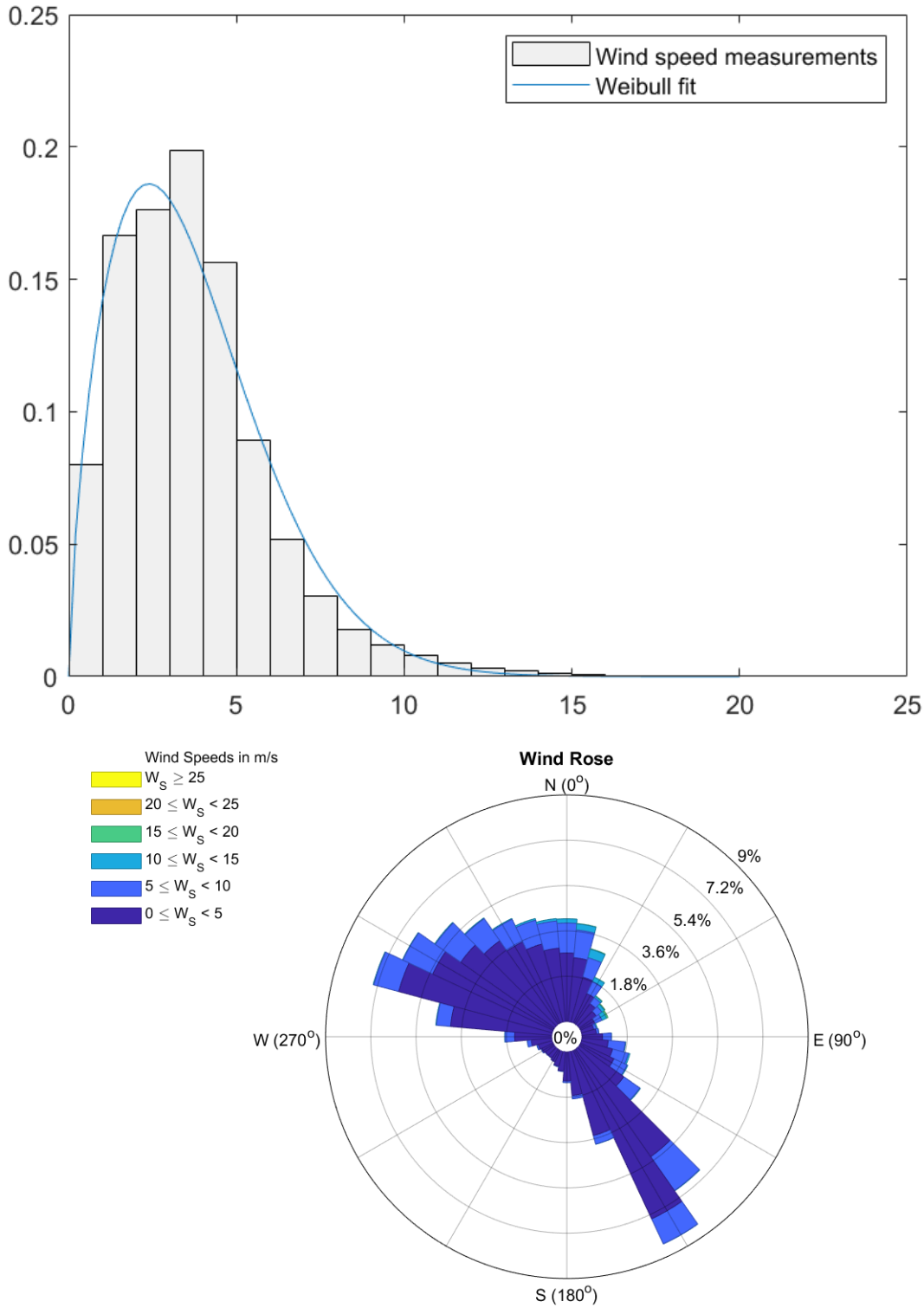
Σχήμα 4.31. Επάνω: Κατανομή συχνοτήτων (ραβδόγραμμα) έντασης του ανέμου (οριζόντιος άξονας σε m/s) και προσαρμογή της κατανομής Weibull (συνεχής γραμμή). Κάτω: Ροδόγραμμα ανέμου για το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης.

Ηγουμενίτσα



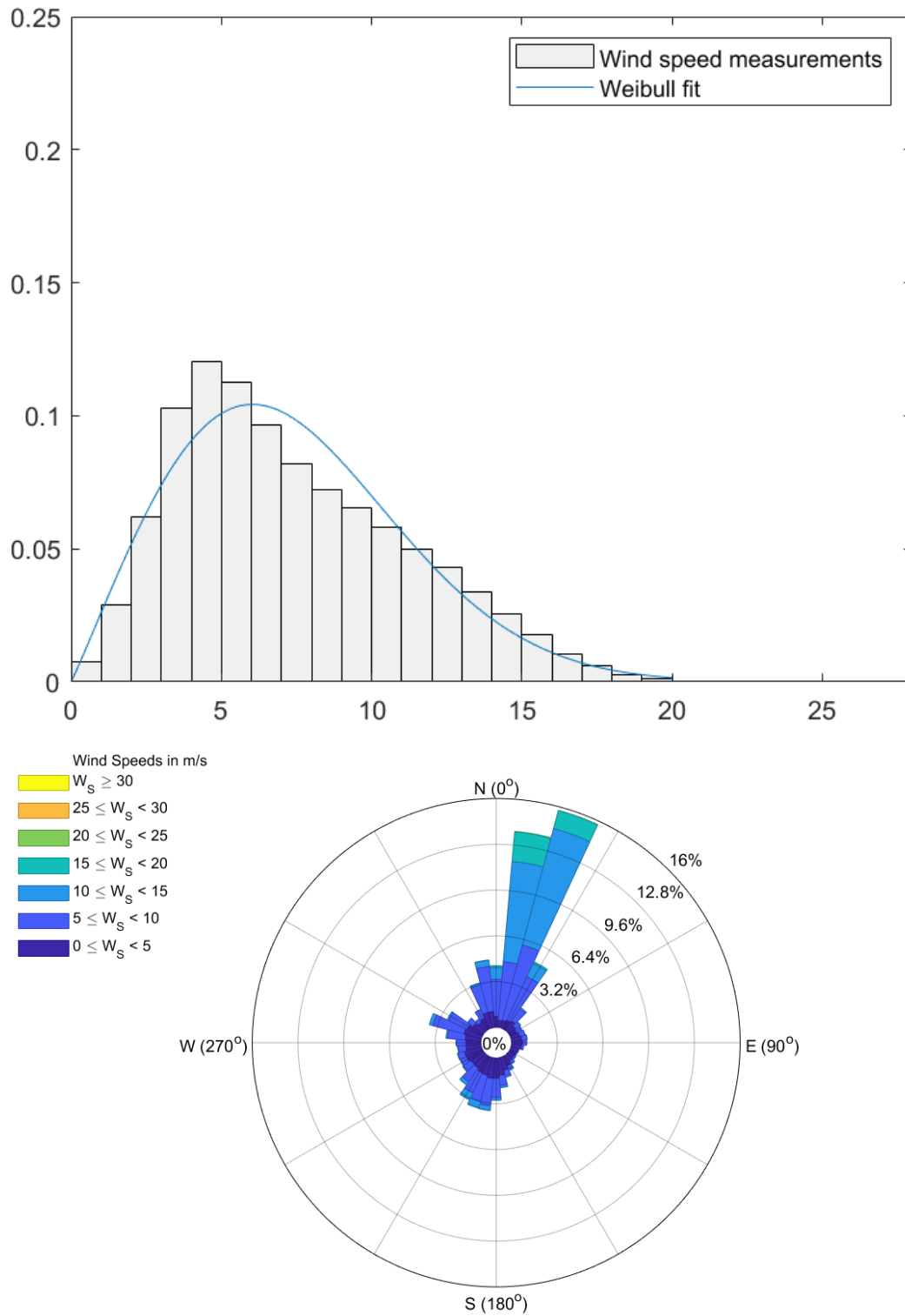
Σχήμα 4.32. Όπως παραπάνω, αλλά για το λιμάνι της Ηγουμενίτσας

Βόλος



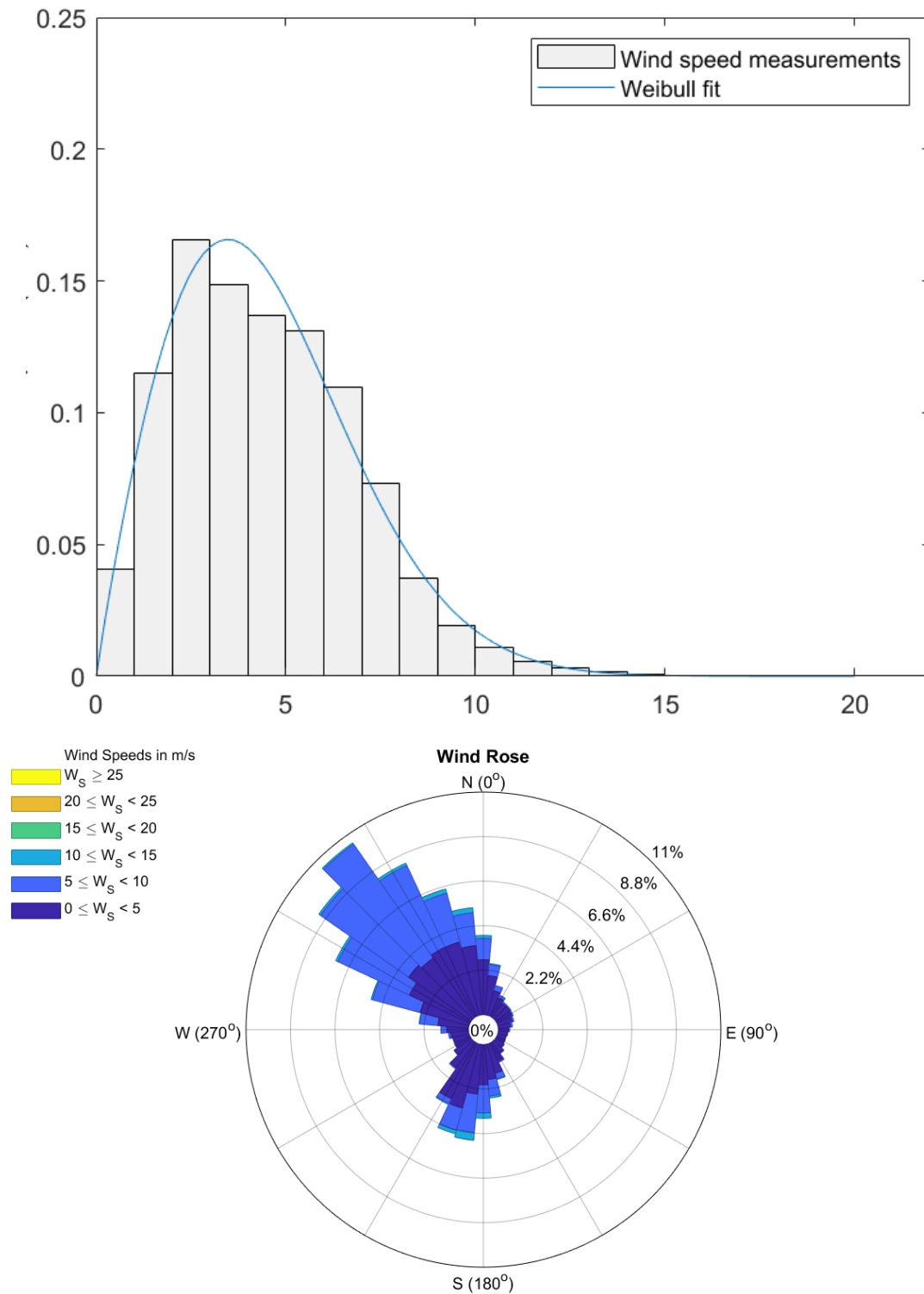
Σχήμα 4.33. Όπως παραπάνω αλλά για το λιμάνι του Βόλου

Λαύριο



Σχήμα 4.35. Όπως παραπάνω αλλά για το λιμάνι του Λαυρίου

Ηράκλειο



Σχήμα 4.36. Όπως παραπάνω αλλά για το λιμάνι του Ηρακλείου

4.4 Άνοδος θαλάσσιας στάθμης

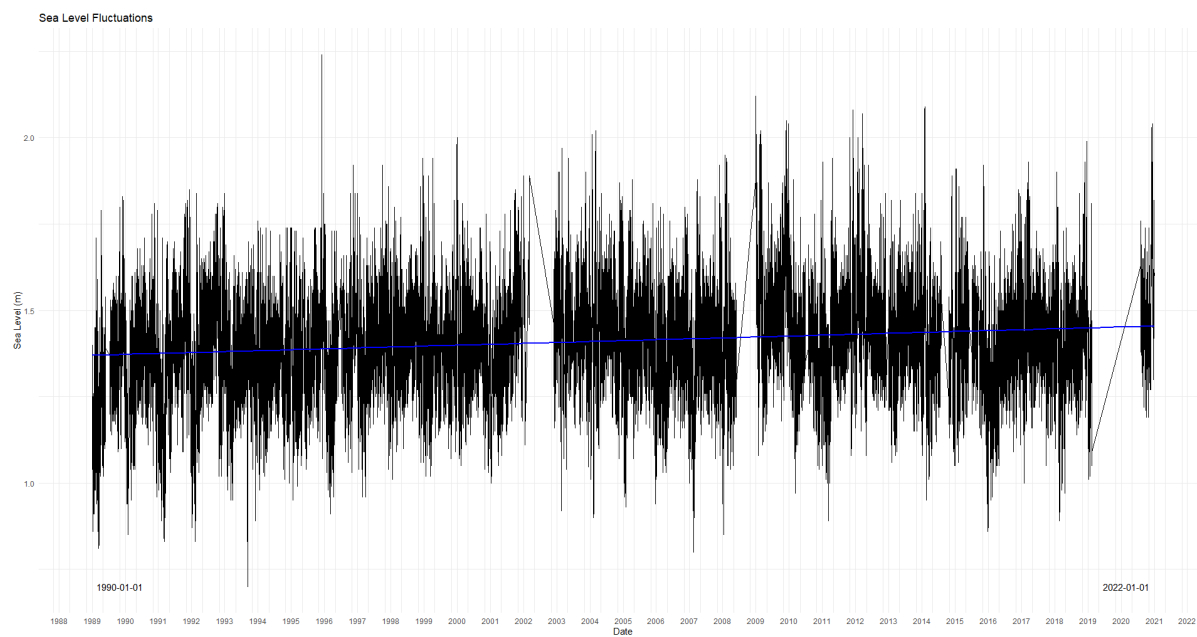
Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται οι στατιστικές αναλύσεις και οι χρονοσειρές για τα δεδομένα καταγραφής θαλάσσιας στάθμης τόσο από τους σταθμηγράφους της Υδρογραφικής Υπηρεσίας όπου υπήρξαν διαθέσιμα δεδομένα όσο και για τα ανοιχτά δεδομένα υψηλής ανάλυσης CMIP6.

Επίσης, δίνεται η εκάστοτε χρονοσειρά όπως προέκυψε από την επεξεργασία των δεδομένων της θαλάσσιας στάθμης και η φασματική ανάλυση μέσω του αλγορίθμου φασματικής ανάλυσης χρονοσειρών STL.

Αλεξανδρούπολη

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	40° 50' 38".90	25° 52' 41".78

Η χρονοσειρά για τον Λιμένα Αλεξανδρούπολης για τα δεδομένα της Υδρογραφικής Υπηρεσίας.

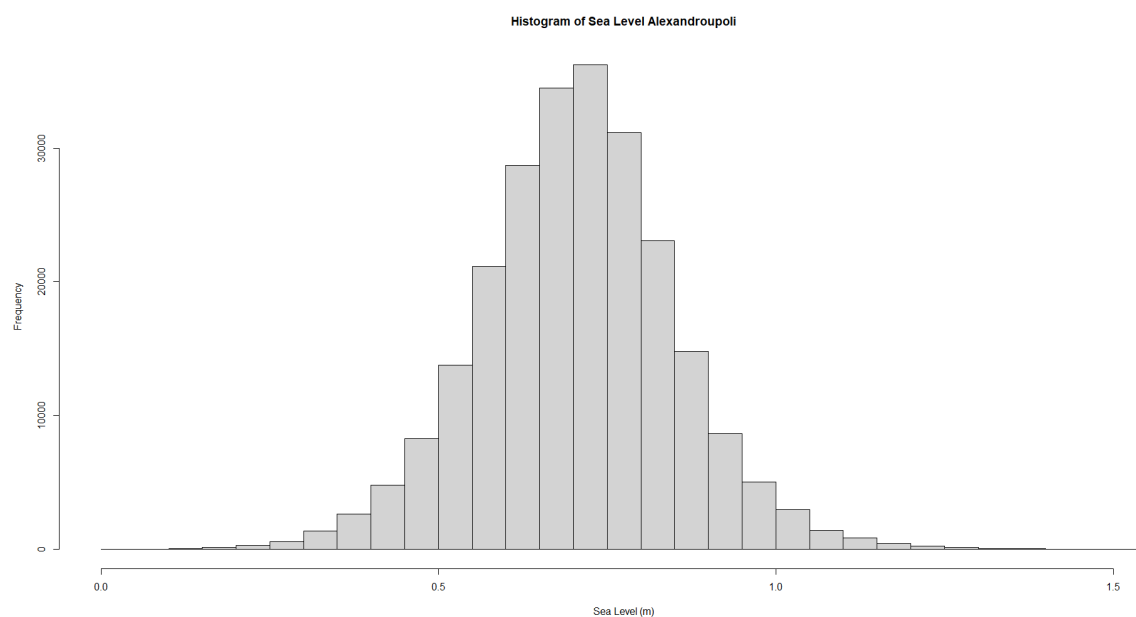


Σχήμα 4.37. Η χρονοσειρά για τα έτη καταγραφής 1990 – 2022 μαζί με την τάση (μπλε γραμμή).

Στατιστικά Μέτρα

Πίνακας Στατιστικών για τον Λιμένα Αλεξανδρούπολης

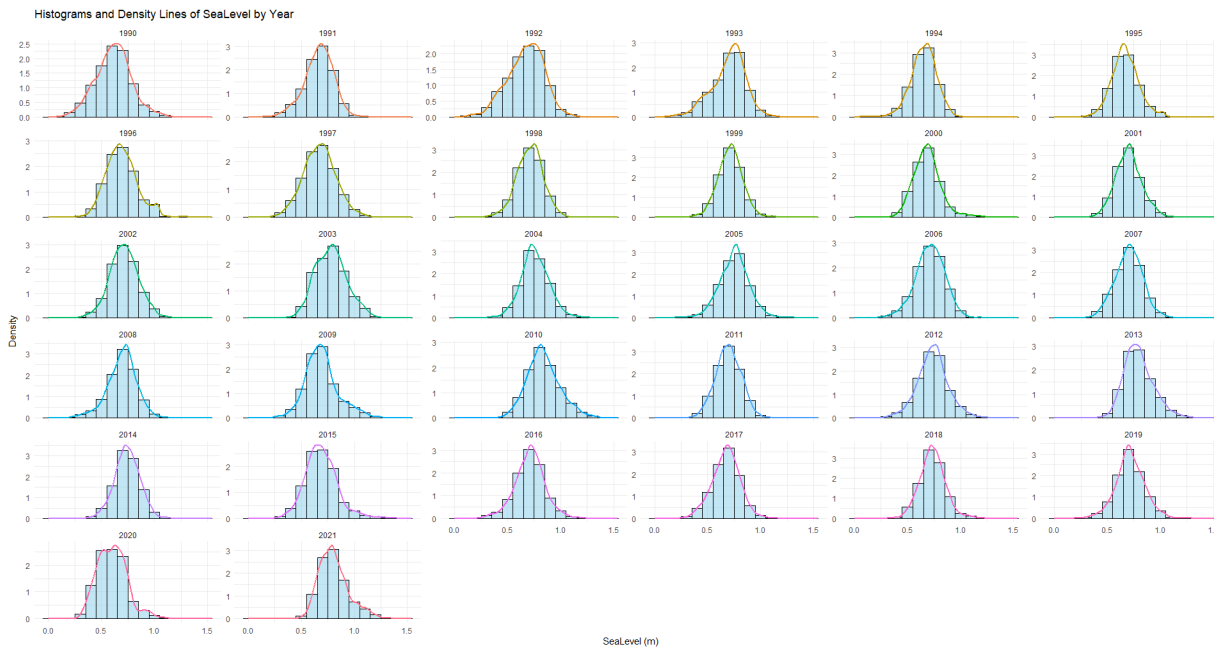
Descriptive Statistics Alexandroupoli Port							
Variable	Count (n)	Min	1st Qu.	Median or 2nd Qu.	Mean	3rd Qu	Max
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATIONS (MIXED TIDE)	241.038	0.00	0.620	0.710	0.710	0.800	1.540
Descriptive Statistics Alexandroupoli Port							
Variable	Std. Dev.	Obs. Range (min-max)	Variance	Percentiles			
				0.90%	0.95%	0.99%	
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATIONS (MIXED TIDE)	0.144565	1.540	0.02089	0.89	0.95	1.07	



Σχήμα 4.38 Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων της Θαλάσσιας Στάθμης (Μικτή Παλίρροια) για τα έτη 1990 – 2022, Λιμένας Αλεξανδρούπολης

Το ιστόγραμμα παρουσιάζει συμμετρική καμπανοειδή κατανομή, υποδηλώνοντας ότι η πλειοψηφία των μετρήσεων της στάθμης της θάλασσας κυμαίνεται γύρω από μια κεντρική τιμή με λιγότερα περιστατικά εξαιρετικά χαμηλών ή υψηλών μεταπτώσεων της θαλάσσιας στάθμης. Η κεντρική τάση η κορυφή του ιστογράμματος εμφανίζει την τιμή 0.75 m καταδεικνύοντας ότι κατά την χρονική περίοδο 1990-2020 οι περισσότερες καταγραφές κυμάνθηκαν γύρω από αυτή την τιμή. Το εύρος, με ελάχιστη καταγεγραμμένη τιμή 0 m και μέγιστη καταγραφή το 1.54 m, βρέθηκε να είναι 1.54 m ωστόσο για τον υπολογισμό του

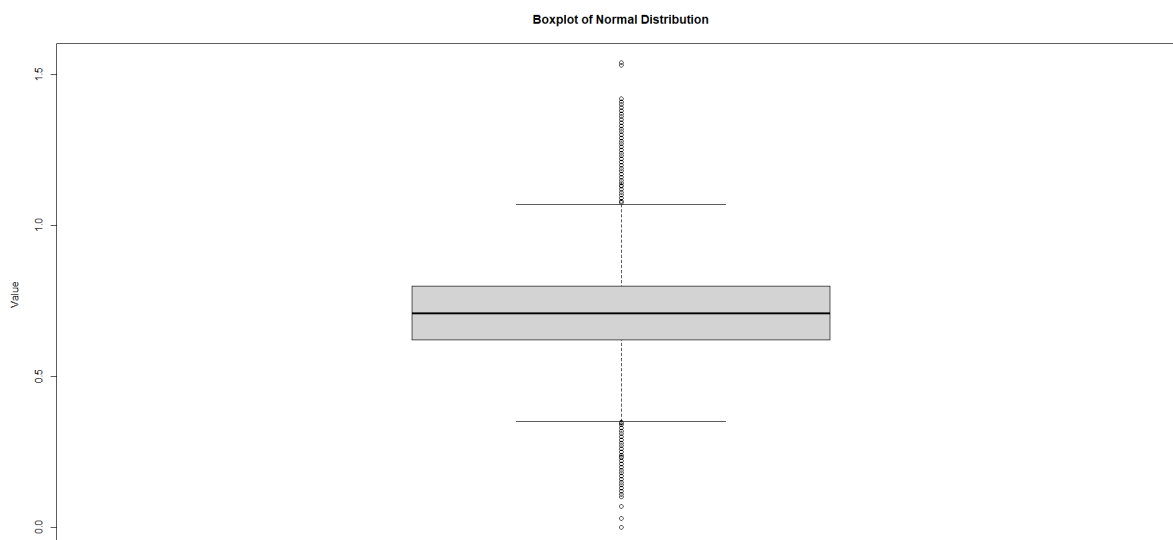
υπεισέρχονται μόνο δύο τιμές, οι πλέον ακραίες με αποτέλεσμα να μην φανερώνει την μεταβλητότητα των υπολοίπων. Επιπλέον η διασπορά (0.02089925) δηλώνει μέτρια διακύμανση της θαλάσσιας στάθμης με τις περισσότερες τιμές να παραμένουν κοντά στη μέση τιμή.



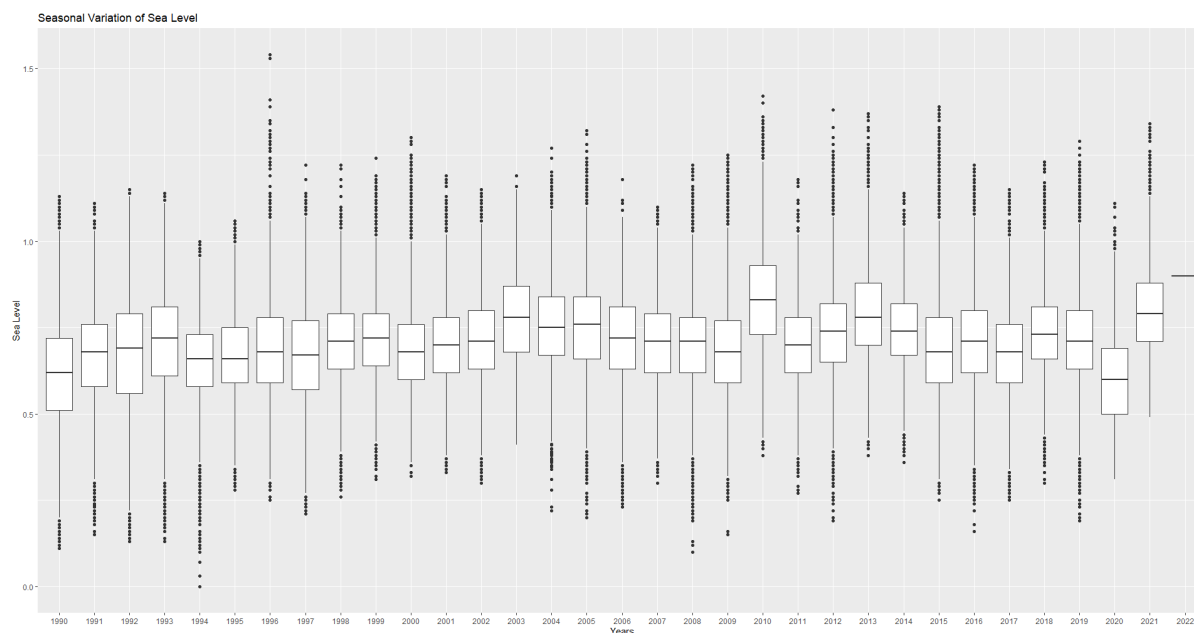
Σχήμα 3.39. Ιστογράμματα κατανομής συχνοτήτων για κάθε έτος καταγραφής 1990 -2022 μαζί με το διάγραμμα πυκνότητας, Λιμένας Αλεξανδρούπολης.

Συνολικά τα ιστογράμματα παρουσιάζουν κανονικές κατανομές, με την κεντρική κορυφή να αντιπροσωπεύει την πιο συχνή τιμή της στάθμης της θάλασσας συνήθως κοντά στα 0,7 έως 0,8 μέτρα, σε όλα τα έτη. Η διασπορά των κατανομών παραμένει παρόμοια, υποδεικνύοντας σταθερή μεταβλητότητα των επιπέδων της θάλασσας από έτος σε έτος με αραιά περιστατικά πολύ χαμηλών ή υψηλών διακυμάνσεων.

Η κεντρική τάση, όπως αντιπροσωπεύεται από τη διάμεσο, είναι περίπου 0,75 μέτρα υποδηλώνοντας ότι το 50% των καταγραφών για τη θαλάσσια στάθμη βρίσκεται κάτω από αυτή την τιμή με τις περισσότερες τιμές να βρίσκονται συγκεντρωμένες γύρω από τη διάμεσο. Τα whiskers εκτείνονται από περίπου 0,3 μέτρα (κατώτερο whisker) έως 1,2 μέτρα (ανώτερο whisker). Όσον αφορά τις ακραίες τιμές οι κατώτερες βρίσκονται κάτω από 0,3 μέτρα ενώ οι ανώτερες ακραίες τιμές, πάνω από 1,2 μέτρα και αντιστοιχούν σε σπάνιες, υψηλές στάθμες θάλασσας. Το διάγραμμα παρουσιάζει συμμετρία, υποδεικνύοντας μια ισορροπημένη κατανομή της θαλάσσιας στάθμης χωρίς σημαντική λοξότητα. Το συνολικό εύρος, συμπεριλαμβανομένων των ακραίων τιμών, εκτείνεται από περίπου 0,0 μέτρα έως 1,5 μέτρα, αντιπροσωπεύοντας την πλήρη μεταβλητότητα των δεδομένων.



Σχήμα 4.40. Box Plot με τη Συνολική Μεταβολή θαλάσσιας Στάθμης για την περίοδο 1990 – 2022, Λιμένας Αλεξανδρούπολης



Σχήμα 4.41. Box Plot με τις Συνολικές Μεταβολές θαλάσσιας Στάθμης για την περίοδο 1990 – 2022, Λιμένας Αλεξανδρούπολης

Οι τιμές της θαλάσσιας στάθμης κάθε έτους ομαδοποιούνται σε ξεχωριστά διαγράμματα, επιτρέποντας την οπτική σύγκριση της μεταβλητότητας και των τάσεων της στάθμης της θάλασσας με την πάροδο του χρόνου. Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται ότι οι διάμεσοι της στάθμης της θάλασσας αυξομειώνονται εντονότερα από έτος σε έτος υποδεικνύοντας αλλαγές στη μεταβλητότητα όπως επίσης φαίνεται να έχουν ελαφρώς μεγαλύτερη διακύμανση ως προς το ύψος. Συνεπώς φαίνεται να υπάρχει ένα ελαφρύ εποχικό

μοτίβο στις διάμεσες τιμές. Επίσης ορισμένα boxplots παρουσιάζουν λοξότητα όπου οι καταγραφές της θαλάσσιας στάθμης συγκεντρώνονται περισσότερο στη μία πλευρά της διαμέσου.

Επίσης αρκετά έτη παρουσιάζουν σημαντικό αριθμό ακραίων τιμών πάνω ή κάτω από το κύριο πλαίσιο, κυρίως στο άνω εύρος υποδεικνύοντας γεγονότα που προκάλεσαν ασυνήθιστα υψηλά επίπεδα θάλασσας. Η παρουσία πολλών ακραίων τιμών υποδηλώνει μη κανονική κατανομή σε ορισμένες περιόδους. Επιπλέον το εύρος της θαλάσσιας στάθμης ποικίλλει μεταξύ των ετών, με ορισμένα έτη (π.χ. 1996) να παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα (μεγαλύτερα στίγματα) σε σύγκριση με άλλα (π.χ. 2014). Συνεπώς το διάγραμμα υποδηλώνει ότι, υπάρχει μεταβαλλόμενη μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια των εποχών επί της περιόδου καταγραφών.

Συναρτήσεις Πιθανοτήτων

A. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF)

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF) απεικονίζει την εκτιμώμενη πυκνότητα των τιμών της στάθμης της θάλασσας. Ο άξονας y αναπαριστά την πυκνότητα, υποδεικνύοντας πόσο συγκεντρωμένες είναι οι τιμές εντός συγκεκριμένων ευρών της θαλάσσιας στάθμης. Η κορυφή της καμπύλης βρίσκεται στο 1,2 m υποδεικνύοντας τις πιο συχνές τιμές στάθμης θάλασσας, δείχνοντας πού είναι πιο συγκεντρωμένος ο κύριος όγκος των δεδομένων.

Στο γράφημα, οι τιμές της θαλάσσιας στάθμης κυμαίνονται μεταξύ 1,0 και 1,3 μέτρων. Αυτό υποδηλώνει ότι οι περισσότερες μετρήσεις της στάθμης της θάλασσας μεταξύ 1990 και 2022 εμπίπτουν σε αυτό το εύρος. Οι ουρές της καμπύλης εκτείνονται προς τιμές κάτω από 1,0 μέτρο και πάνω από 1,3 μέτρα, αντιπροσωπεύοντας λιγότερο συχνές ακραίες τιμές της στάθμης της θάλασσας. Ένα στενότερο εύρος υποδηλώνει μικρότερη μεταβλητότητα στο σύνολο δεδομένων, με τις περισσότερες τιμές στάθμης της θάλασσας να συγκεντρώνονται γύρω από το κεντρικό εύρος. Το συμμετρικό σχήμα της καμπύλης υποδηλώνει μια ισορροπημένη κατανομή, χωρίς σημαντική λοξότητα. Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη ισούται με 1, αντιπροσωπεύοντας τη συνολική πιθανότητα του συνόλου δεδομένων.

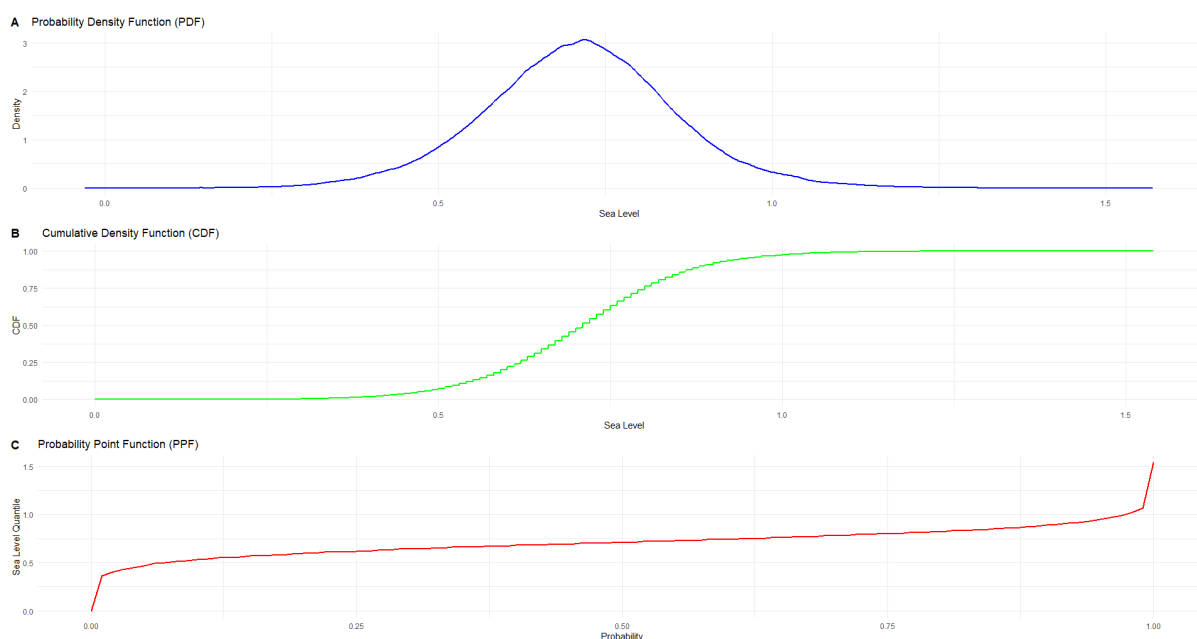
B. Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (CDF)

Η συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (CDF) αντιπροσωπεύει τη σωρευτική πιθανότητα των τιμών της στάθμης της θάλασσας. Ο άξονας y δείχνει τη σωρευτική πιθανότητα, που κυμαίνεται από 0 έως 1, υποδεικνύοντας το ποσοστό των τιμών της στάθμης της θάλασσας κάτω από ένα συγκεκριμένο όριο. Επίσης η απότομη κλίση της CDF μεταξύ 1,0 και 1,3 μέτρων δείχνει ότι ένα σημαντικό μέρος των δεδομένων της στάθμης της θάλασσας βρίσκεται εντός αυτού του εύρους.

Τα πιο επίπεδα τμήματα του CDF στα ακραία επίπεδα (κάτω από το 1,0 μέτρο ή πάνω από το 1,3 μέτρα) υποδηλώνουν ότι αυτά τα ακραία επίπεδα της θάλασσας είναι σπάνια. Μέχρι τη στιγμή που η αθροιστική πιθανότητα φτάνει το 1,0 (100%), τα επίπεδα της θάλασσας πλησιάζουν τα 1,4 μέτρα, επιβεβαιώνοντας ότι όλες οι παρατηρούμενες τιμές πέφτουν κάτω από αυτό το ανώτατο όριο.

C. Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (PPF)

Η συνάρτηση είναι μη φθίνουσα, πράγμα που σημαίνει ότι υψηλότερες πιθανότητες αποδίδουν υψηλότερες τιμές στάθμης θάλασσας. Το διάγραμμα της συνάρτησης σημείου πιθανότητας είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την κατανόηση των ορίων για συγκεκριμένες πιθανότητες, όπως το 90ο εκατοστημόριο, το οποίο υποδεικνύει τη στάθμη της θάλασσας κάτω από την οποία πέφτει το 90% των παρατηρήσεων. Η ομαλή κλίση της PPF μεταξύ των πιθανοτήτων 0,25 και 0,75 αντικατοπτρίζει τη σχετικά ομοιόμορφη κατανομή των επιπέδων της θάλασσας σε αυτό το κεντρικό εύρος. Στα κατώτερα και ανώτερα άκρα (κοντά στις πιθανότητες 0,0 και 1,0), η πιο απότομη κλίση του PPF υποδηλώνει τη σπανιότητα των ακραίων επιπέδων της θάλασσας κάτω από 1,0 μέτρα ή πάνω από 1,3 μέτρα.



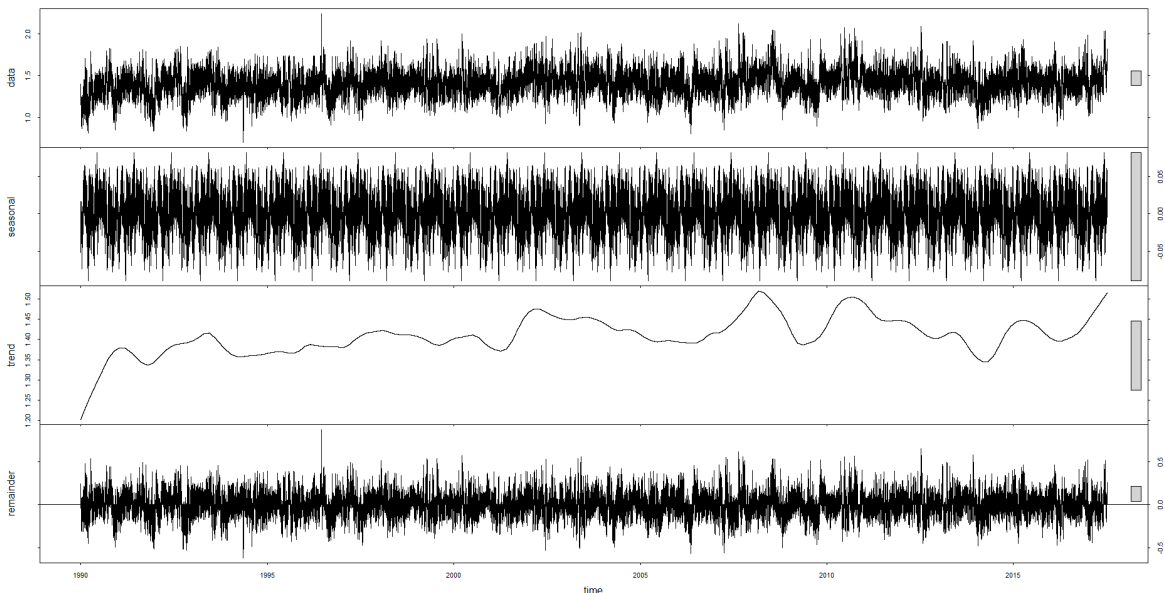
Σχήμα 4.42. Οι PDF: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (μπλε καμπύλη), CDF Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (πράσινη καμπύλη), PPF: Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (κόκκινη καμπύλη). για τα έτη των καταγραφών 1990 – 2020.

Φασματική Ανάλυση Χρονοσειράς

- i. Το Σχήμα 4.43 δείχνει τα αρχικά δεδομένα της στάθμης της θάλασσας στάθμης (raw data χρονοσειρά). Η στάθμη της θάλασσας αυξομειώνεται τακτικά, λόγω παλιρροιακών και εποχιακών επιδράσεων. Δεν υπάρχουν ορατές μακροπρόθεσμες τάσεις σε αυτό το τμήμα ωστόσο η μεταβλητότητα εμφανίζεται συνεπής κατά τη διάρκεια των ετών, χωρίς απότομες ή σημαντικές αλλαγές στο πλάτος.
- ii. Το δεύτερο διάγραμμα αντιπροσωπεύει την εποχικότητα στα δεδομένα, η οποία δείχνει επαναλαμβανόμενα μοτίβα που εμφανίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα (ωριαία, ημερήσια ή ετήσια). Στην περίπτωση της Αλεξανδρούπολης, αυτές οι διακυμάνσεις αντικατοπτρίζουν περιοδικές αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας, οι οποίες οδηγούνται από τα παλιρροιακά μοτίβα. Δίπλα στο διάγραμμα της «εποχικότητας» δίνεται η κλίμακα της εποχικής συνιστώσας. Στην εικόνα,

η εποχιακή συνιστώσα κυμαίνεται γύρω στο 0 με εύρος από περίπου -0,05 έως 0,05 μέτρα. Αυτό δείχνει ότι οι εποχιακές μεταβολές της στάθμης της θάλασσας έχουν μικρό εύρος το οποίο συμφωνεί με το παλιρροιακό αστρονομικό εύρος για τις Ελληνικές θάλασσες το οποίο κυμαίνεται με μια μέση τιμή από 10 – 20 (cm).

- iii. Το τρίτο διάγραμμα δείχνει την τάση, η οποία αντιπροσωπεύει τη μακροπρόθεσμη κίνηση της στάθμης της θάλασσας. Δείχνει αν η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται, μειώνεται ή παραμένει σταθερή με την πάροδο του χρόνου. Από το διάγραμμα, μπορούμε να δούμε ότι υπάρχει μια γενική ανοδική τάση της θαλάσσιας στάθμης μετά το 2000, με κάποιες διακυμάνσεις στην κλίση. Η τάση κινείται αργά, και στο διάγραμμα, κυμαίνεται από περίπου 0,5 έως 0,7 μέτρα κατά τη διάρκεια της περιόδου καταγραφών. Αυτό δείχνει μια σταδιακή αύξηση της γενικής τάσης της στάθμης της θάλασσας με την πάροδο του χρόνου. Επίσης υπάρχουν διακυμάνσεις στην κλίση που υποδηλώνουν περιόδους ταχύτερης ή βραδύτερης ανόδου της στάθμης της θάλασσας, που πιθανώς συνδέονται με τοπικούς παράγοντες.
- iv. Το κάτω διάγραμμα δείχνει το υπόλοιπο των εναπομείναντων συχνοτήτων (δηλ. αυτό που απομένει μετά την αφαίρεση της τάσης και της εποχικότητας). Η συνιστώσα του υπολοίπου αντιπροσωπεύει κάθε τυχαία διακύμανση ή θόρυβο που δεν μπορεί να αποδοθεί στην εποχικότητα ή την τάση. Φαίνεται ότι το υπόλοιπο των συχνοτήτων είναι αρκετά ευμετάβλητο, δηλαδή υπάρχουν ακανόνιστες διακυμάνσεις που δεν καταγράφονται από την τάση ή την εποχικότητα. Η κλίμακα στο διάγραμμα «Remainder» αντιπροσωπεύει το θόρυβο ή την ανεξήγητη διακύμανση μετά την αφαίρεση της τάσης και της εποχικότητας. Το εύρος κυμαίνεται μεταξύ περίπου -0,4 και 0,4 μέτρων. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει σημαντικός θόρυβος ή βραχυπρόθεσμη διακύμανση στα δεδομένα.



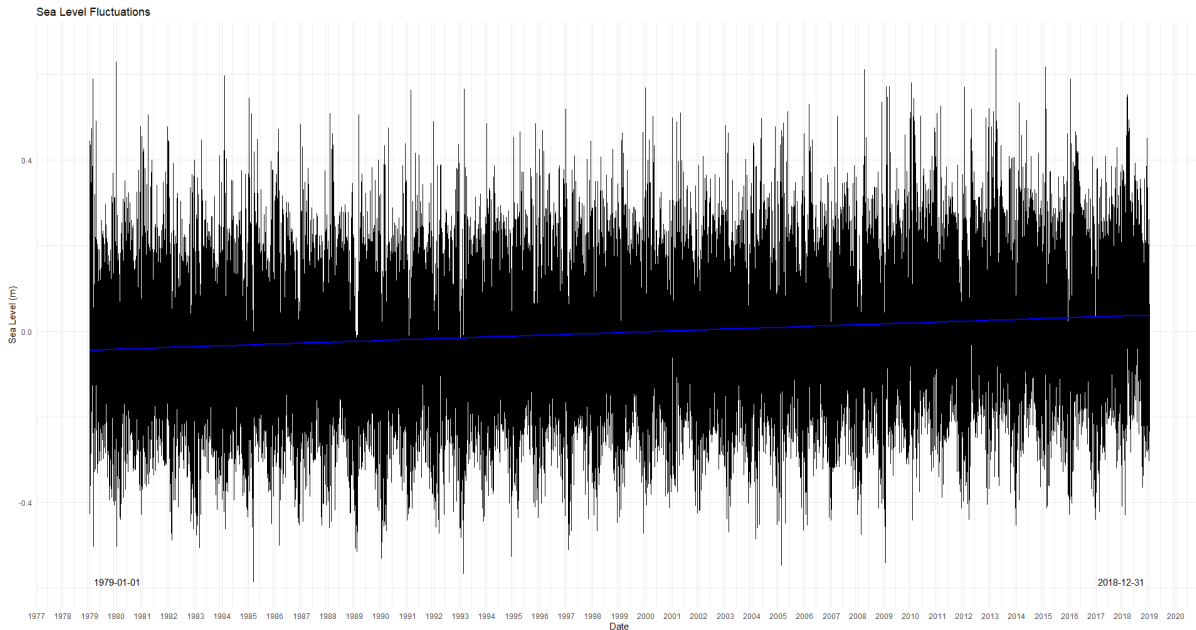
Σχήμα 4.43. Φασματική ανάλυση χρονοσειράς για όλα τα έτη καταγραφών 1990 – 2022.

Αποτελέσματα από τα δεδομένα ERA5 Reanalysis για την περίοδο 1979 -2018.

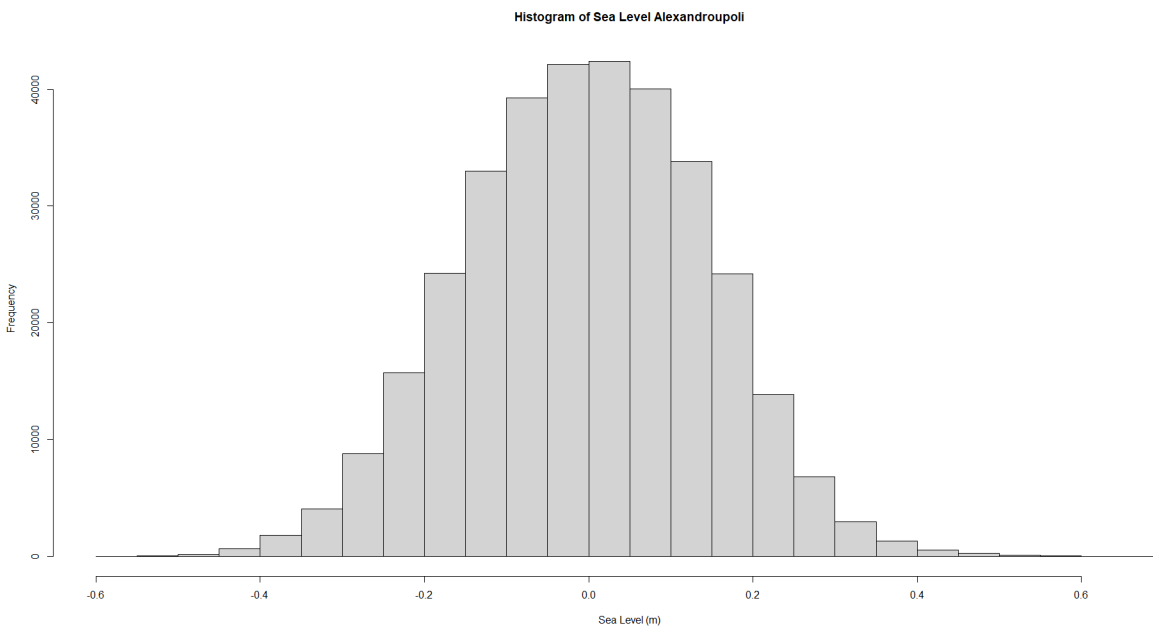
Το ιστόγραμμα του Σχήματος 4.45 παρουσιάζει συμμετρική καμπανοειδή κατανομή, υποδηλώνοντας ότι η πλειοψηφία των μετρήσεων της στάθμης της θάλασσας κυμαίνεται γύρω από μια κεντρική τιμή με λιγότερα περιστατικά εξαιρετικά χαμηλών ή υψηλών μεταπτώσεων της θαλάσσιας στάθμης. Η κορυφή του ιστογράμματος, η μέγιστη συχνότητα εμφανίζεται γύρω στα 0,7 μέτρα αντιπροσωπεύοντας την πιο κοινή τιμή στάθμης της θάλασσας για την περίοδο 1979 – 2018. Το εύρος, με ελάχιστη καταγεγραμμένη τιμή -0.58 m και μέγιστη καταγραφή τα 0.66 m, βρέθηκε να είναι 1.54 m ωστόσο για τον υπολογισμό του υπεισέρχονται μόνο δύο τιμές, οι πλέον ακραίες με αποτέλεσμα να μην φανερώνει την μεταβλητότητα των υπολοίπων. Επιπλέον η διασπορά (0.0212) δηλώνει χαμηλή διακύμανση της θαλάσσιας στάθμης με τις περισσότερες τιμές να παραμένουν κοντά στη μέση τιμή και με τις περισσότερες παρατηρήσεις να συγκεντρώνονται μεταξύ -0,2 μέτρων και 0,2 μέτρων. Οι ακραίες τιμές, πέραν των $\pm 0,4$ μέτρων, είναι σπάνιες.

Πίνακες Στατιστικών για τον Λιμένα Αλεξανδρούπολης

Descriptive Statistics Alexandroupoli Port							
Variable	Count (n)	Min	1st Qu.	Median or 2nd Qu.	Mean	3rd Qu	Max
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATIONS (MIXED TIDE)	336.030	-0.58	-0.1050	-0.0020	- 0.003	0.100	0.66
Descriptive Statistics Alexandroupoli Port							
Variable	Std.Dev	Obs. Range (min-max)	Variance	Percentiles			
				0.90%	0.95%	0.99%	
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATION S (MIXED TIDE)	0.1458	1.245	0.02128	0.182	0.230	0.327	

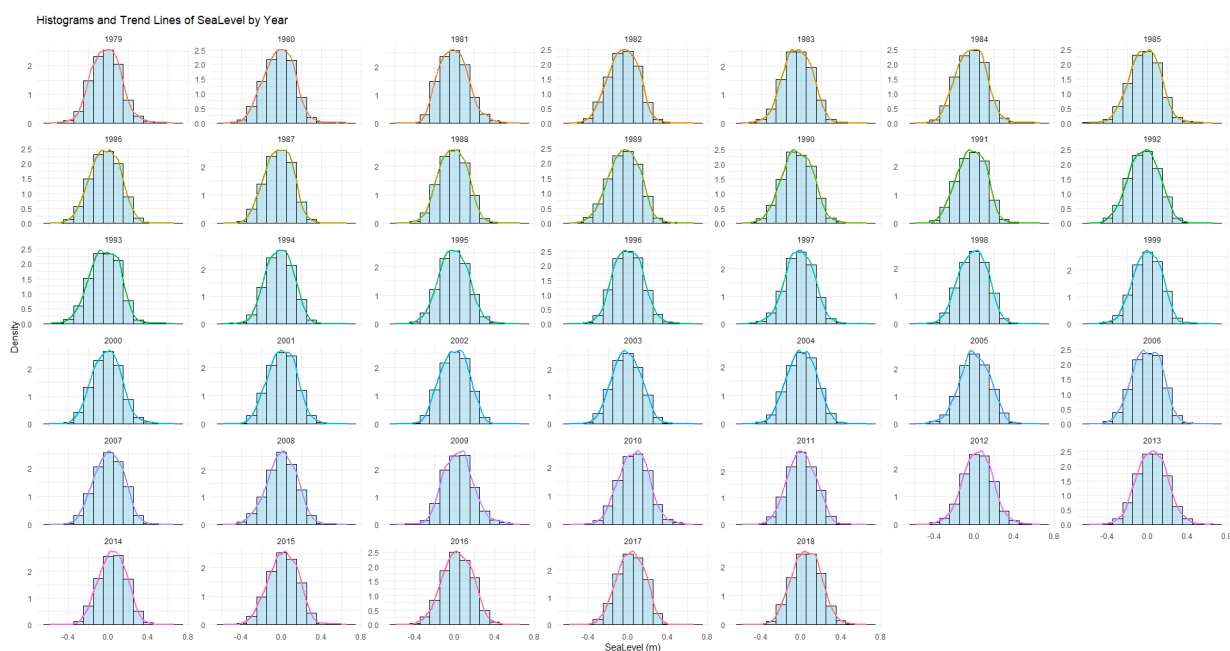


Σχήμα 4.44. Η χρονοσειρά για την θαλάσσια στάθμη τα έτη 1979 – 2018 μαζί με την τάση (μπλε γραμμή).

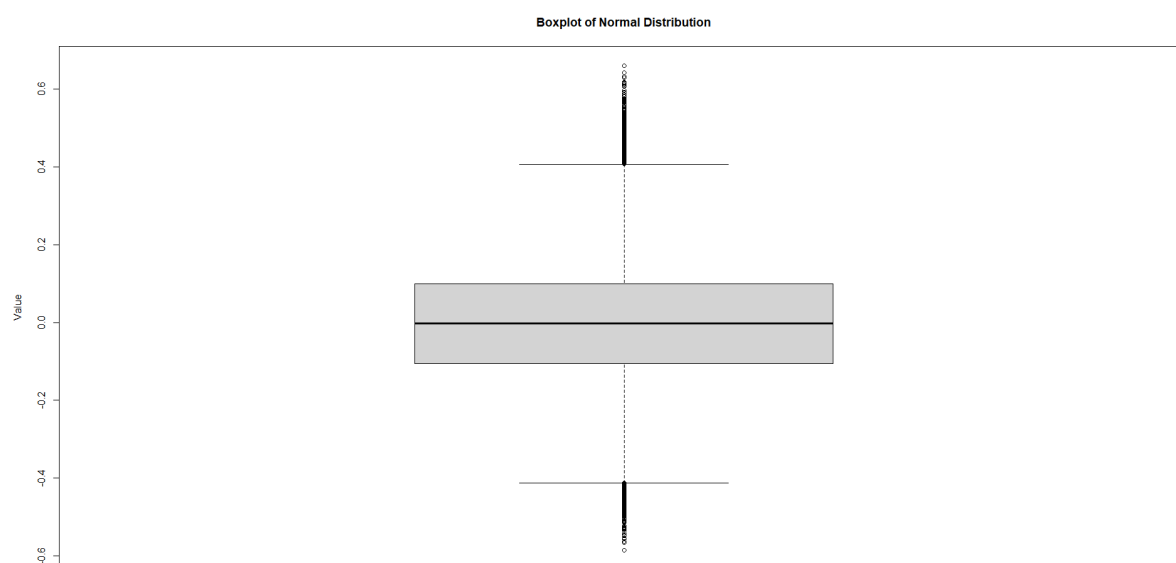


Σχήμα 4.45. Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων της Συνολικής Θαλάσσιας Στάθμης για τα έτη 1979 – 2018, Λιμένας Αλεξανδρούπολης.

Συνολικά, στο Σχήμα 4.46 κάθε ιστόγραμμα απεικονίζει μια κανονική κατανομή, με επίκεντρο μια σταθερή μέση τιμή κοντά στα 0,0 μέτρα, με μικρή μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια των ετών. Οι κατανομές παραμένουν συμμετρικές σε όλα τα έτη, υποδεικνύοντας ισορροπημένες διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας χωρίς σημαντική λοξότητα ή ανωμαλίες. Μια σταδιακή μετατόπιση σε ορισμένα διαγράμματα υποδηλώνει μια μικρή αλλά μακροπρόθεσμη αυξητική τάση ανόδου της θαλάσσιας στάθμης.



Σχήμα 4.46. Ιστογράμματα κατανομής συχνοτήτων για κάθε έτος καταγραφής 1979 -2018 μαζί με το διάγραμμα πυκνότητας, Λιμένας Αλεξανδρούπολης.

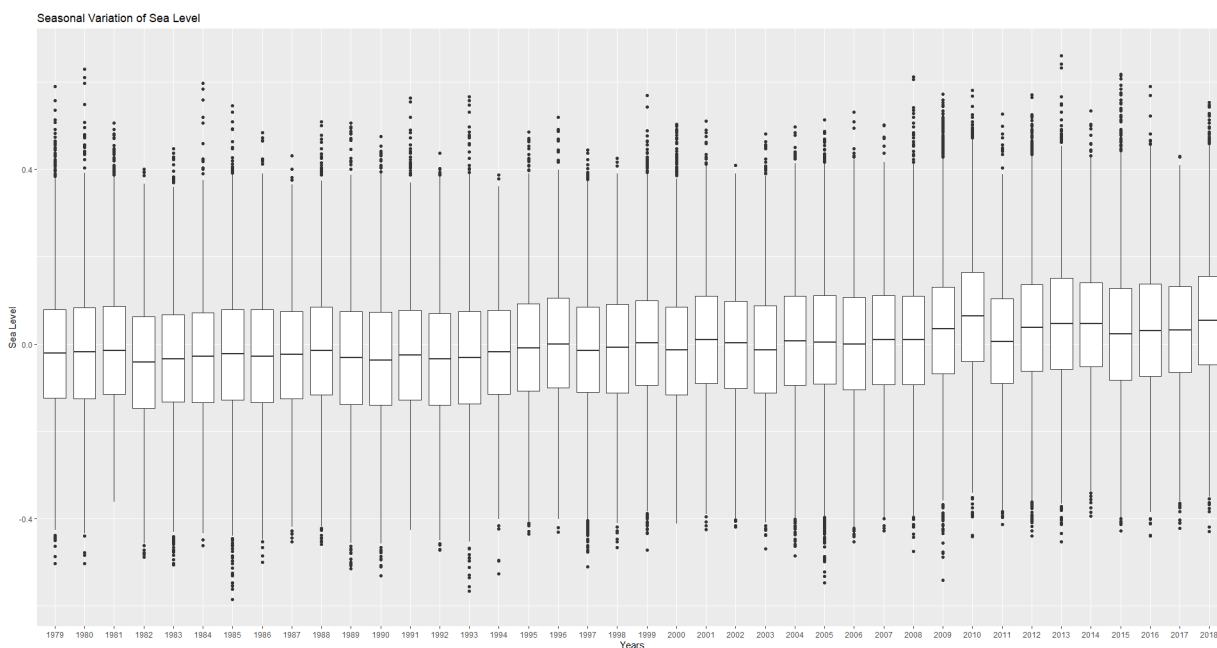


Σχήμα 4.47. Βoxplot συνολικά για όλα τα έτη καταγραφής 1979 – 2018.

Το boxplot στο Σχήμα 4.47 δείχνει μια συμμετρική κατανομή των τιμών της στάθμης της θάλασσας, με την πλειονότητα των παρατηρήσεων να συγκεντρώνεται εντός του διατεταρτημοριακού εύρους (IQR) από περίπου -0,1 μέτρα έως 0,1 μέτρα. Η διάμεση τιμή έχει κέντρο τα 0,0 μέτρα, υποδεικνύοντας μια ισορροπημένη και σταθερή κατάσταση της στάθμης της θάλασσας. Τα whiskers εκτείνονται σε περίπου -0,4 μέτρα και 0,4 μέτρα, αντιπροσωπεύοντας το τυπικό εύρος τιμών εντός 1,5 φορές το IQR. Η παρουσία ακραίων τιμών υποδηλώνει περιστασιακές ακραίες διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας, αν και είναι

σχετικά σπάνιες. Η συνολική κατανομή παρουσιάζει συνέπεια, με τις περισσότερες τιμές να συγκεντρώνονται γύρω από το κέντρο, αντανakλώντας συνθήκες στάθμης με ελάχιστη μεταβλητότητα.

Κάθε boxplot του Σχήματος 4.49 αντιπροσωπεύει την ετήσια κατανομή των τιμών της στάθμης της θάλασσας, αποτυπώνοντας τις τάσεις, τη μεταβλητότητα και τις ακραίες τιμές για το συγκεκριμένο έτος. Η διάμεσος για τη στάθμη της θάλασσας κυμαίνεται ελαφρώς μεταξύ των ετών χωρίς ακραίες μεταβολές από έτος σε έτος. Το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IQR), το οποίο αποτυπώνει το μεσαίο 50% των δεδομένων παραμένει σχετικά σταθερό, υποδηλώνοντας σταθερή εποχιακή μεταβλητότητα με την πάροδο του χρόνου. Ωστόσο, η μικρή ανοδική μετατόπιση των πλαισίων στα μεταγενέστερα έτη υποδηλώνει μια σταδιακή αύξηση των μεσοδιαστημάτων της στάθμης της θάλασσας που αντανakλά μια πιθανή μακροπρόθεσμη τάση. Όσον αφορά τις ακραίες τιμές είναι ιδιαίτερα εμφανείς στο ανώτερο εύρος, υποδεικνύοντας σποραδικά γεγονότα που οδηγούν σε ασυνήθιστα υψηλά επίπεδα θάλασσας, όπως καταιγίδες. Συνολικά, αυτό το διάγραμμα αναδεικνύει σταθερά αλλά ελαφρώς αυξανόμενα επίπεδα θάλασσας με την πάροδο του χρόνου, με περιοδικές ακραίες τιμές που συμβάλλουν στην ετήσια μεταβλητότητα.



Σχήμα 4.49. Box Plot με τις Συνολικές Μεταβολές θαλάσσιας Στάθμης για την περίοδο 1979 – 2018, Λιμένας Αλεξανδρούπολης.

Συναρτήσεις Πιθανοτήτων

A. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF)

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF) έχει καμπανοειδή μορφή υποδεικνύοντας μια κανονική κατανομή. Η κορυφή της εμφανίζεται γύρω στα 0,0 μέτρα, αντιπροσωπεύοντας την πιο συχνή τιμή θαλάσσιας στάθμης. Ο κύριος όγκος των των δεδομένων βρίσκεται μεταξύ -0,2 μέτρων και 0,4 μέτρων, με την υψηλότερη πυκνότητα να συγκεντρώνεται κοντά στο κέντρο. Όσον

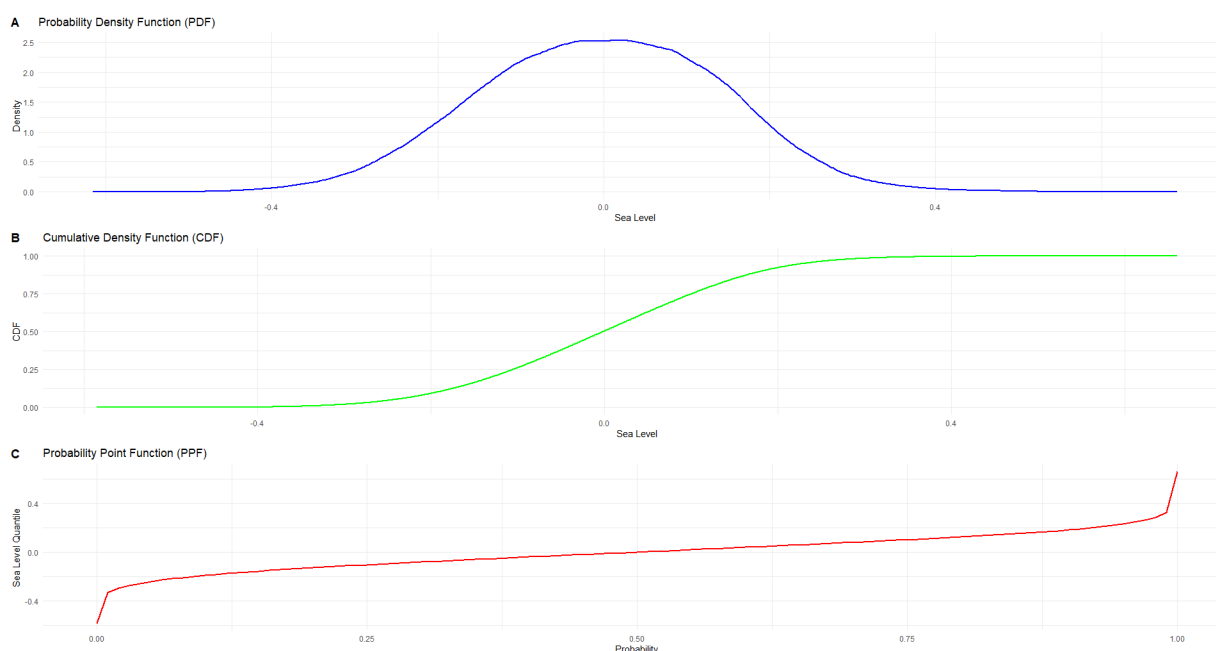
αφορά τις ουρές της καμπύλης εκτείνονται προς τα $-0,4$ μέτρα και $0,4$ μέτρα, αντικατοπτρίζοντας λιγότερο συχνές ακραίες τιμές υποδηλώνοντας ισορροπημένες διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας, με ίση πιθανότητα αποκλίσεων πάνω και κάτω από τη μέση τιμή.

B. Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (CDF)

Η συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (CDF) αντιπροσωπεύει τη σωρευτική πιθανότητα παρατήρησης τιμών στάθμης της θάλασσας κάτω από ένα δεδομένο όριο στα $0,0$ μέτρα, η CDF φτάνει το $0,5$, υποδεικνύοντας ότι το 50% των δεδομένων βρίσκεται κάτω από αυτή την τιμή (διάμεσος). Η απότομη κλίση μεταξύ $-0,1$ μέτρων και $0,2$ μέτρων φανερώνει ότι οι περισσότερες τιμές της στάθμης της θάλασσας συγκεντρώνονται γύρω από αυτό το εύρος. Η καμπύλη μειώνεται κοντά στα άκρα, επιβεβαιώνοντας ότι οι τιμές πέραν των $-0,4$ μέτρων ή των $0,4$ μέτρων είναι σπάνιες.

C. Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (PPF)

Δεδομένου ότι η συνάρτηση σημείου πιθανότητας προσδιορίζει την τιμή της στάθμης της θάλασσας που αντιστοιχεί σε μια δεδομένη αθροιστική πιθανότητα περίπου το 25% των πιθανοτήτων, η στάθμη της θάλασσας είναι περίπου $-0,1$ μέτρα, δηλαδή το 25% των δεδομένων πέφτει κάτω από αυτό το επίπεδο ενώ το υπόλοιπο 75% είναι περίπου $0,2$ μέτρα και κάτω. Η ομαλή κλίση μεταξύ των πιθανοτήτων $0,25$ και $0,75$ δείχνει ότι τα επίπεδα της θαλάσσιας στάθμης κατανέμονται ομοιόμορφα εντός του κεντρικού εύρους. Η απότομη άνοδος κοντά στις πιθανότητες $0,0$ και $1,0$ υπογραμμίζει τη σπανιότητα των ακραίων τιμών.



Σχήμα 4.50. Οι PDF: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (μπλε καμπύλη), CDF Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (πράσινη καμπύλη), PPF: Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (κόκκινη καμπύλη). για τα έτη των καταγραφών 1979 – 2018.

Ηγουμενίτσα

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)
ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑ	39° 30' 1".08	25° 52' 41".78

Αποτελέσματα από τα δεδομένα ERA5 Reanalysis για την περίοδο 1979 -2018.

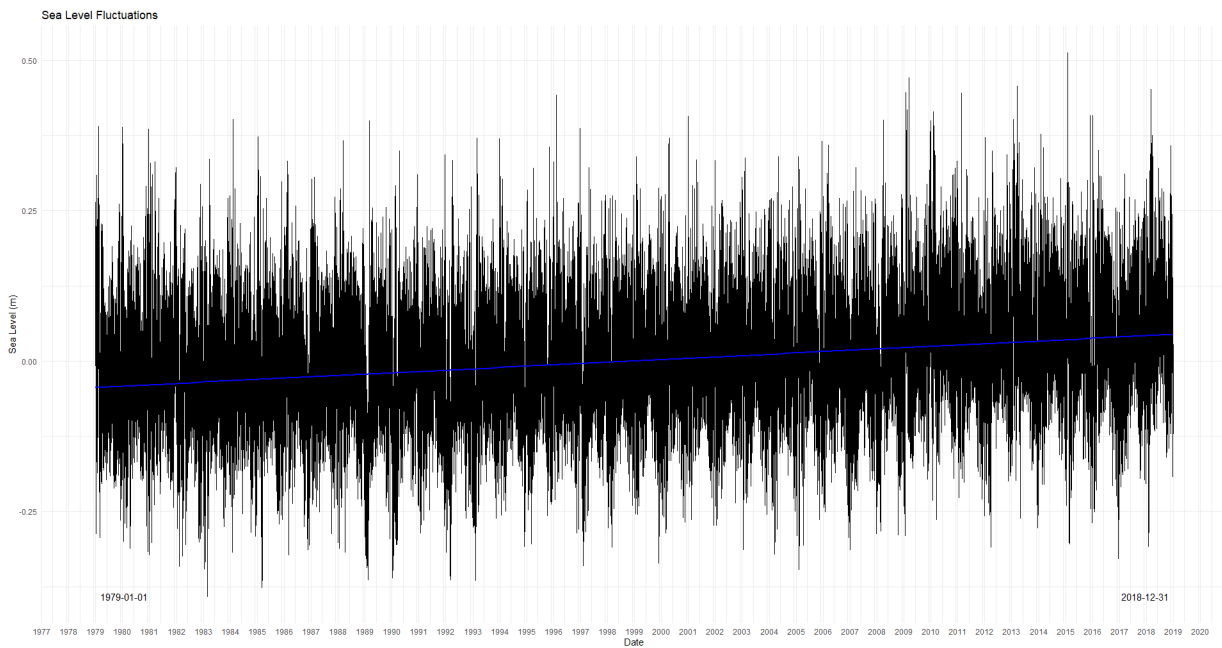
Πίνακες Στατιστικών για τον Λιμένα Ηγουμενίτσας.

Descriptive Statistics Igoumenitsa Port							
Variable	Count (n)	Min	1st Qu.	Median or 2nd Qu.	Mean	3rd Qu	Max
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATIONS (MIXED TIDE)	336.030	-0.391	-0.0650	0.000	0.000	0.064	0.512
Descriptive Statistics Igoumenitsa Port							
Variable	Std. Dev	Obs. Range (min-max)	Variance	Percentiles			
				0.90%	0.95%	0.99%	
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATIONS (MIXED TIDE)	0.09783	0,121	0.009571	0.124	0.161	0.240	

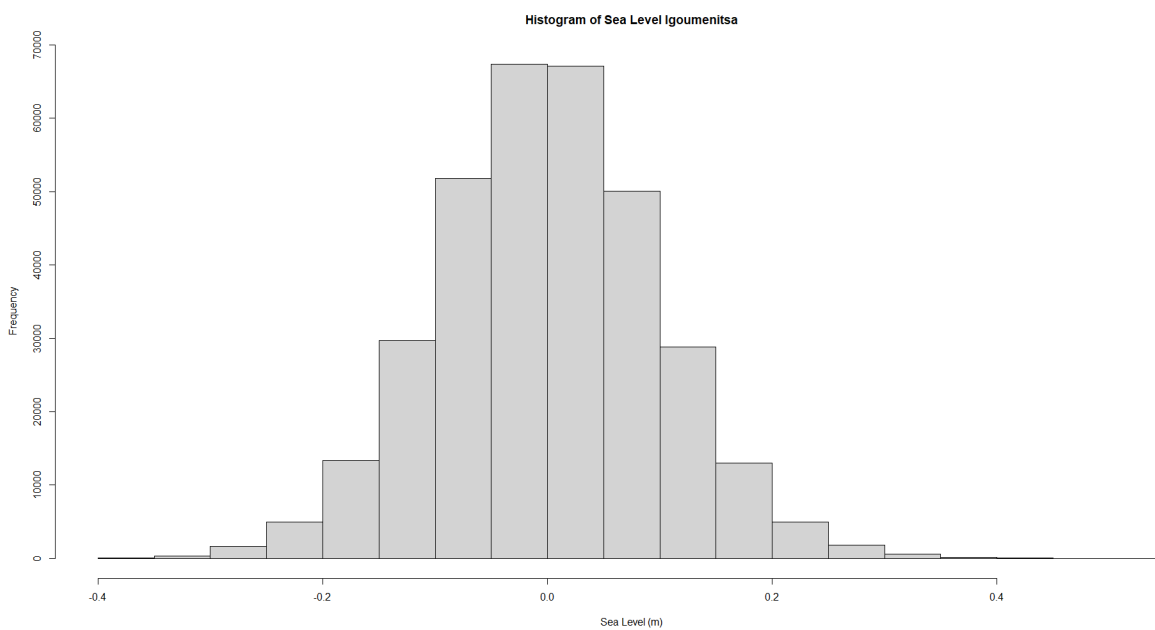
Το Σχήμα 4.51 περιέχει τη συνολική διαθέσιμη χρονοσειρά της θαλάσσιας στάθμης για την Ηγουμενίτσα.

Το ιστόγραμμα του Σχήματος 4.52 παρουσιάζει συμμετρική καμπανοειδή κατανομή, υποδηλώνοντας ότι η πλειοψηφία των μετρήσεων της στάθμης της θάλασσας κυμαίνεται γύρω από τη μέγιστη συχνότητα στα 0.0 m. Το εύρος των δεδομένων εκτείνεται από περίπου -0,4 μέτρα έως 0,4 μέτρα, με την πλειονότητα των τιμών να συγκεντρώνεται μεταξύ -0,2 μέτρα έως 0,2 μέτρα γεγονός που υποδεικνύει μια στενή διασπορά και χαμηλή μεταβλητότητα. Αυτή η συνοχή δείχνει ότι η στάθμη της θάλασσας στην Ηγουμενίτσα είναι γενικά σταθερά με περιορισμένες ακραίες διακυμάνσεις χωρίς σημαντική λοξότητα ή ανωμαλίες. Όσον αφορά τις ακραίες τιμές πέραν των $\pm 0,3$ μέτρων οι εμφανίσεις του είναι περιορισμένες, όπως αντιπροσωπεύεται από τις χαμηλότερες συχνότητες στα άκρα του ιστογράμματος.

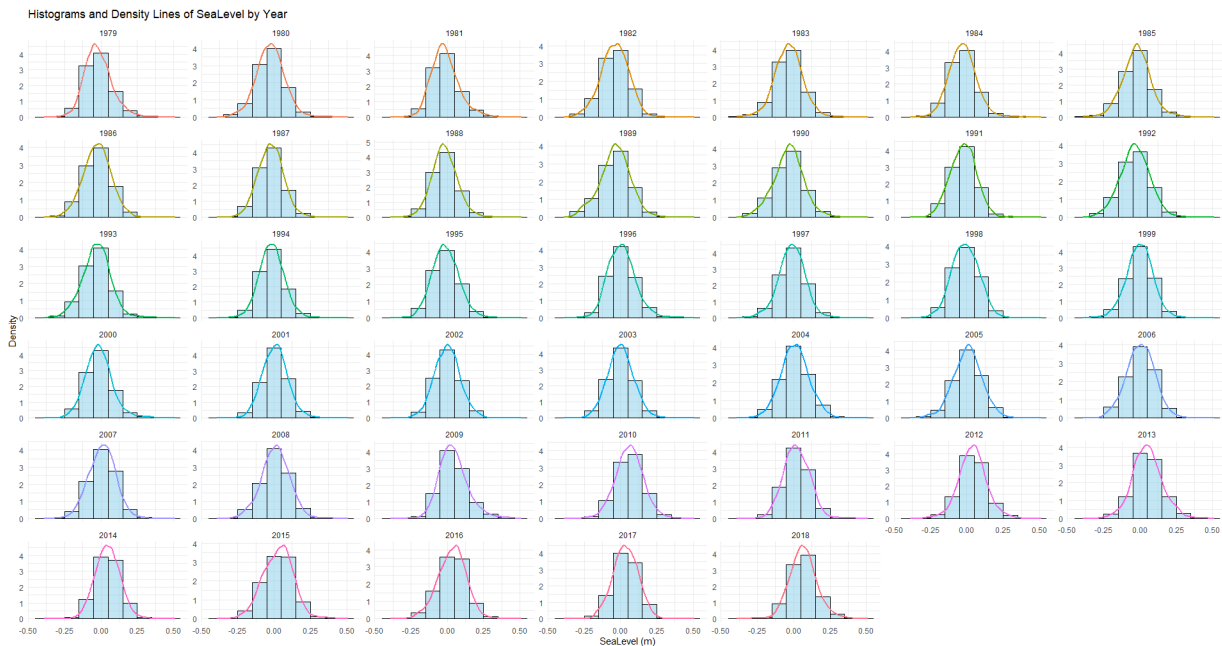
Συνολικά κάθε ιστόγραμμα του Σχήματος 4.53 απεικονίζει μια κανονική κατανομή, με επίκεντρο μια σταθερή μέση τιμή κοντά στα 0,0 μέτρα, με μικρή μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια των ετών. Οι κατανομές παραμένουν συμμετρικές σε όλα τα έτη, υποδεικνύοντας ισορροπημένες διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας χωρίς σημαντικές λοξότητες ή ανωμαλίες. Μια σταδιακή μετατόπιση σε ορισμένα διαγράμματα υποδηλώνει μια μικρή αλλά μακροπρόθεσμη αυξητική τάση ανόδου της θαλάσσιας στάθμης. Επίσης η διασπορά των κατανομών είναι σταθερή, με τα περισσότερα δεδομένα να συγκεντρώνονται μεταξύ -0,1 μέτρων και 0,1 μέτρων, υποδεικνύοντας χαμηλή μεταβλητότητα θαλάσσιας στάθμης.



Σχήμα 4.51. Η χρονοσειρά για την θαλάσσια στάθμη τα έτη 1979 – 2018 μαζί με την τάση (μπλε γραμμή), Λιμένας Ηγουμενίτσας.



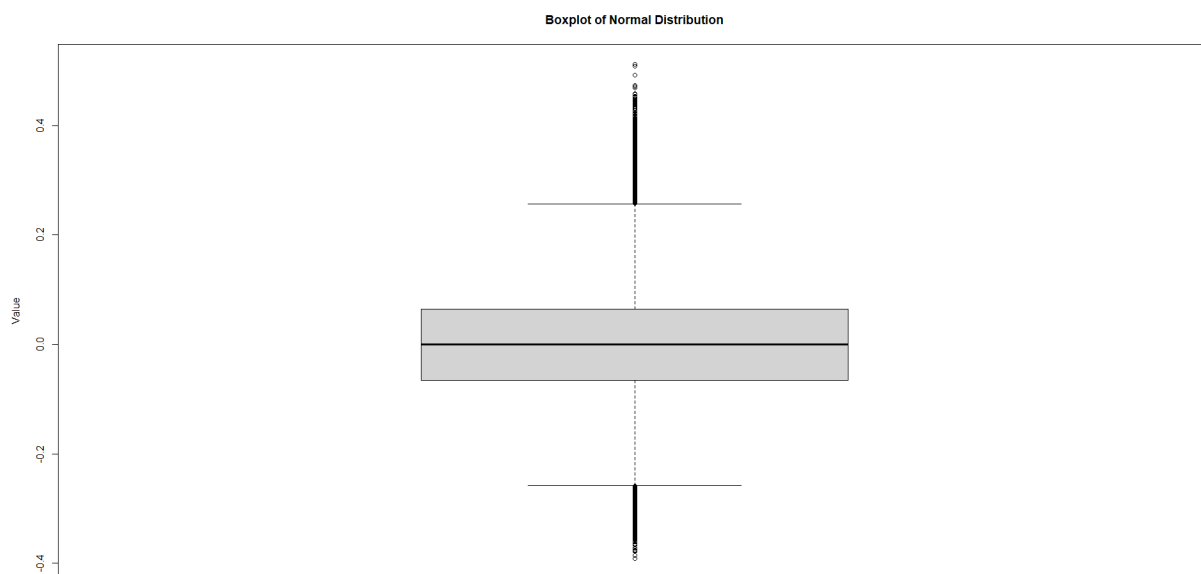
Σχήμα 4.52. Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας της Συνολικής Θαλάσσιας Στάθμης για τα έτη 1979 – 2018, Λιμένας Ηγουμενίτσας.



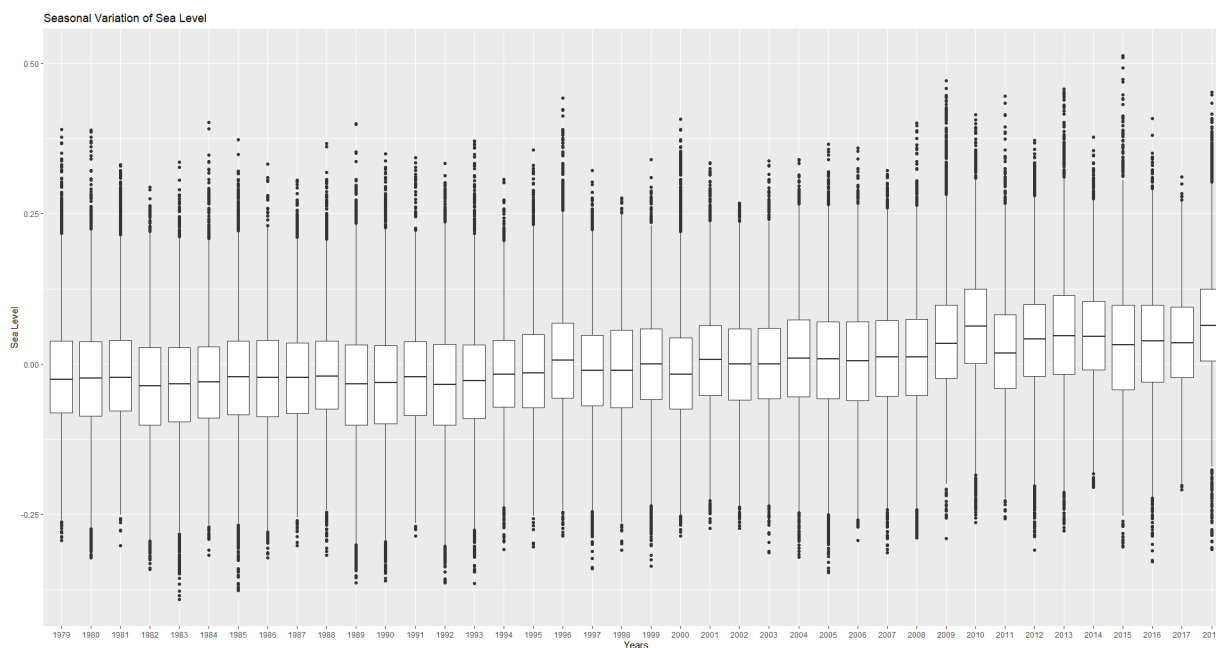
Σχήμα 4.53. Ιστογράμματα κατανομής συχνοτήτων για κάθε έτος καταγραφής 1979 -2018 μαζί με το διάγραμμα πυκνότητας, Λιμένας Ηγουμενίτσας.

Όσον αφορά την κεντρική τάση, η διάμεσος εμφανίζεται στο κέντρο του ενδοτεταρτημοριακού εύρους με ίσες αποστάσεις από τα τεταρτημόρια, υποδηλώνοντας μια συμμετρική κατανομή γύρω από το 0 m ενώ **το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IQR), το μεσαίο 50%** κυμαίνεται περίπου από το -0.1 0.1 υποδηλώνοντας χαμηλή μεταβλητότητα για τον κύριο όγκο των καταγραφών και προς τις δυο κατευθύνσεις, χωρίς λοξότητες. Όσον αφορά δε τις ακραίες τιμές για το άνω ακρο φαίνεται ότι αυξάνονται οι εμφανίσεις σε σχέση με κατώτερο άκρο υποδηλώνοντας μια μέτρια συχνότητα ακραίων επεισοδίων για την περίοδο καταγραφής των δεδομένων ωστόσο δεν είναι σαφές αν παρουσιάζουν αυξητική τάση (Σχήμα 4.54).

Συνολικά το ενδοτεταρτημοριακό εύρος είναι αρκετά σταθερά σε μέγεθος μεταξύ των ετών, υποδεικνύοντας σχετικά σταθερή μεταβλητότητα της θαλάσσιας στάθμης κατά τη διάρκεια της περιόδου των καταγραφών. Η διάμεση στάθμη της θάλασσας για κάθε έτος παραμένει σχετικά σταθερή, γενικά με κέντρο γύρω στα 0,0 μέτρα. Ωστόσο τα τελευταία έτη παρατηρείται μια μικρή ανοδική τάση η οποία υποδηλώνει μια μακροπρόθεσμη αλλά σαφής αυξητική τάση. Επιπλέον ένας σημαντικός αριθμός ακραίων τιμών είναι εμφανής ιδίως στο ανώτερο εύρος που αντιπροσωπεύουν ακραία γεγονότα. Αυτές οι ακραίες τιμές είναι σταθερά παρούσες σε όλα τα έτη και πιθανός να εμφανίζουν μια μικρή μακροπρόθεσμη αυξητική τάση.



Σχήμα 4.54. Βοχplot συνολικά για όλα τα έτη καταγραφής 1979 – 2018.



Σχήμα 4.55. Βοx Plot με τις Συνολικές Μεταβολές θαλάσσιας Στάθμης για κάθε έτος 1979 – 2018.

A. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF):

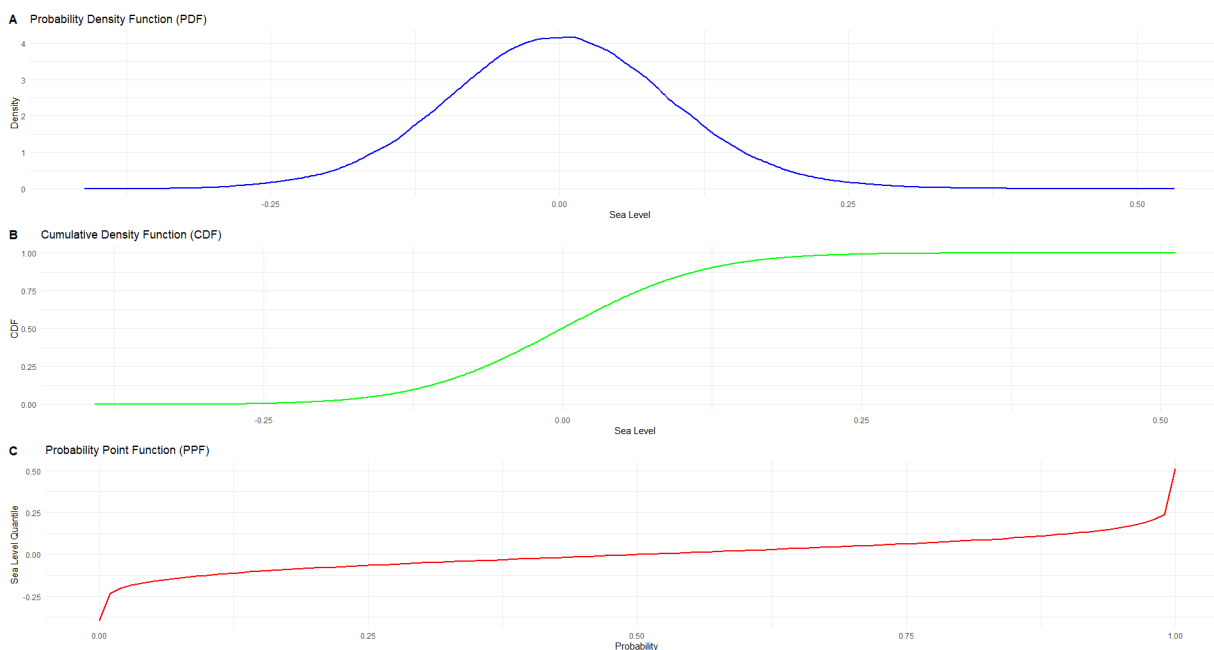
Η καμπύλη υποδηλώνει μια σχεδόν κανονική κατανομή, η κορυφή του διαγράμματος εμφανίζεται στο 0 m. Το συμμετρικό σχήμα του διαγράμματος υποδηλώνει ισορροπημένη πιθανότητα τιμών γύρω από τη μέση τιμή. Οι περισσότερες τιμές της στάθμης της θάλασσας συγκεντρώνονται μεταξύ -0,2 μέτρων και 0,2 μέτρων ενώ ελαττώνονται ως προς τις ουρές. Τέλος υπάρχει ομαλή απόκλιση και στα δύο άκρα καθώς οι ακραίες τιμές (τόσο αρνητικές όσο και θετικές) κοντά στα -0,2 και 0,4 μέτρα έχουν πολύ χαμηλές πυκνότητες.

B. Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (CDF)

Το διάγραμμα αντιπροσωπεύει τη σωρευτική πιθανότητα η στάθμη της θάλασσας να είναι μικρότερη ή ίση με μια συγκεκριμένη τιμή. Ξεκινά κοντά στο 0 υποδηλώνοντας ότι περίπου το 50% των δεδομένων βρίσκεται κάτω από αυτή την τιμή ενώ η απότομη κλίση μεταξύ -0,1 μέτρων και 0,1 μέτρων δηλώνει ότι ο κύριος όγκος των δεδομένων συγκεντρώνεται σε αυτό το εύρος. Η καμπύλη ως προς τις ουρές υποδεικνύει ότι οι ακραίες τιμές (κάτω από -0,25 μέτρα ή πάνω από 0,2 μέτρα) έχουν χαμηλή πιθανότητα ύπαρξης σε αυτές τις περιοχές.

C. Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (PPF):

Η συνάρτηση σημείου πιθανότητας προσδιορίζει την τιμή της θαλάσσιας στάθμης που αντιστοιχεί σε μια δεδομένη αθροιστική πιθανότητα. Περίπου το 25% των πιθανοτήτων, η στάθμη της θάλασσας είναι περίπου -0,1 μέτρα, δηλαδή το 25% των δεδομένων πέφτει κάτω από αυτή τη στάθμη ενώ το υπόλοιπο 75% είναι περίπου 0,1 μέτρα και κάτω. Η ομαλή κλίση μεταξύ των πιθανοτήτων 0,25 και 0,75 δείχνει ότι οι καταγραφές θαλάσσιας στάθμης κατανέμονται ομοιόμορφα εντός του κεντρικού εύρους. Η απότομη άνοδος κοντά στις πιθανότητες 0,0 και 1,0 υποδεικνύει τη σπανιότητα των ακραίων τιμών.



Σχήμα 4.56. Οι PDF: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (μπλε καμπύλη), CDF Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (πράσινη καμπύλη), PPF: Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (κόκκινη καμπύλη). για τα έτη των καταγραφών 1979 – 2018.

Βόλος

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)
ΒΟΛΟΣ	39° 21' 40"	22° 56' 33"

Αποτελέσματα από τα δεδομένα ERA5 Reanalysis για την περίοδο 1979 -2018.

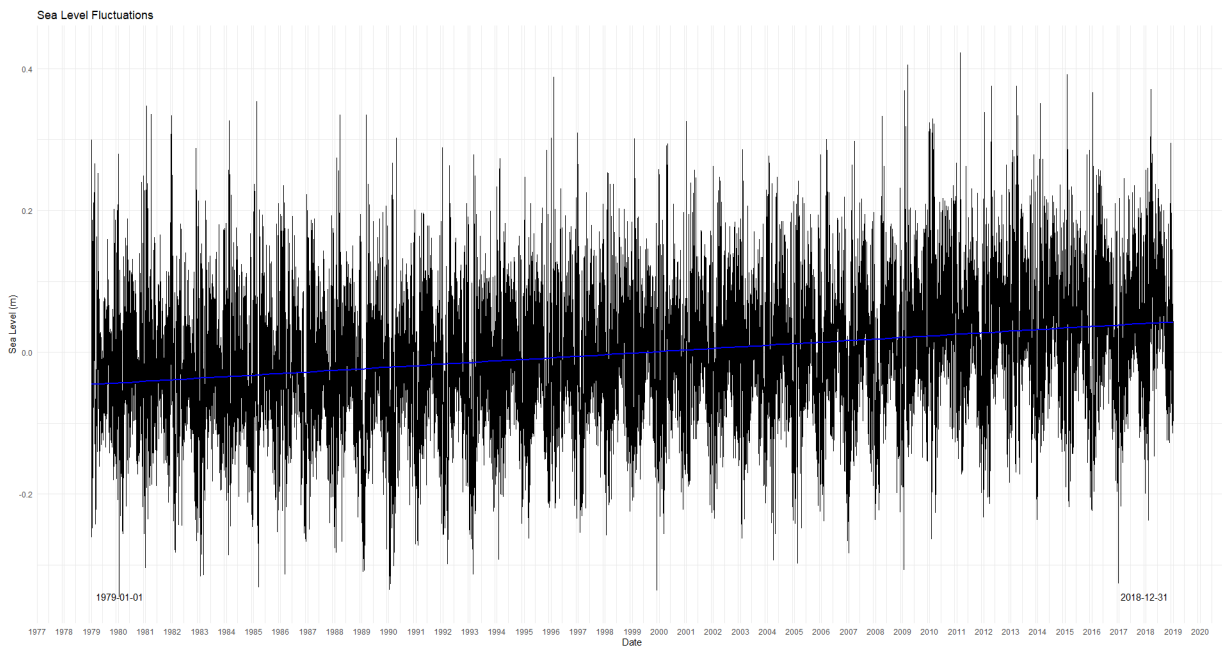
Πίνακας Στατιστικών για τον Λιμένα Βόλου

Descriptive Statistics Volos Port							
Variable	Count (n)	Min	1st Qu.	Median or 2nd Qu.	Mean	3rd Qu.	Max
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATIONS (MIXED TIDE)	336.030	-0.344	-0.057	-0.001	-0.0011	0.0550	0.422
Descriptive Statistics Volos Port							
				Percentiles			
Variable	Std. Dev	Obs. Range (min-max)	Variance	0.90%	0.95%	0.99%	
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATIONS (MIXED TIDE)	0.08722	0,121	0.009571	0.124	0.161	0.240	

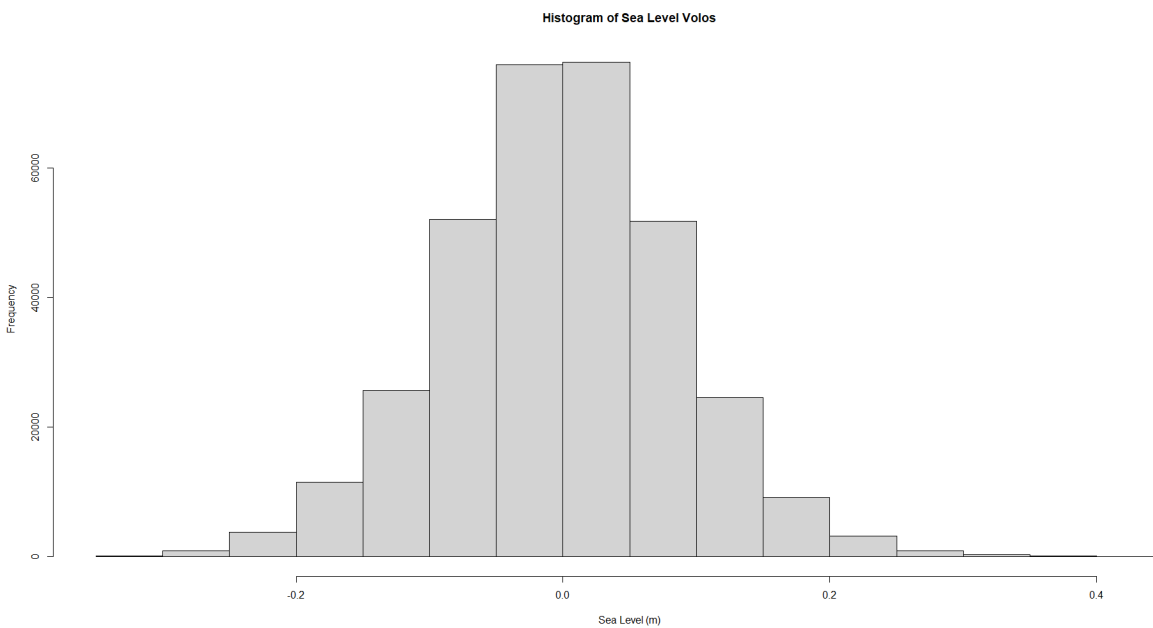
Η χρονοσειρά για τα δεδομένα ERA5 Reanalysis για τον λιμένα της Βόλου δίνεται στο Σχήμα 4.57.

Το ιστόγραμμα (Σχήμα 4.58) παρουσιάζει συμμετρική καμπανοειδή κατανομή, υποδηλώνοντας ότι η πλειοψηφία των μετρήσεων της στάθμης της θάλασσας κυμαίνεται γύρω γύρω από την κορυφή του διαγράμματος στα 0.0 μέτρα. Το κεντρικό εύρος των καταγραφών κυμαίνεται κατά κύριο λόγο από περίπου -0,2 μέτρα έως 0,2 μέτρα, με τις περισσότερες παρατηρήσεις να συγκεντρώνονται μεταξύ -0,1 μέτρα έως 0,1. Το ιστόγραμμα παρουσιάζει στενή διασπορά με χαμηλή μεταβλητότητα για το σύνολο των δεδομένων. Η κεντρική τάση η κορυφή του ιστογράμματος εμφανίζει την τιμή 0 m (Μέση Θαλάσσια Στάθμη) καταδεικνύοντας ότι κατά την χρονική περίοδο 1998-2023 οι περισσότερες καταγραφές κυμάνθηκαν γύρω από αυτή την τιμή. Το εύρος, με ελάχιστη καταγεγραμμένη τιμή -0.32 m και μέγιστη καταγραφή τα 0.38 m, βρέθηκε να είναι 0.07 m ωστόσο για τον υπολογισμό του υπεισέρχονται μόνο δύο τιμές, οι πλέον ακραίες με αποτέλεσμα να μην φανερώνει την μεταβλητότητα των υπολοίπων. Επιπλέον η διασπορά (0.0064) δηλώνει μέτρια διακύμανση της θαλάσσιας στάθμης. Επίσης φαίνεται να μην υπάρχουν σημαντικές ακραίες τιμές σε αυτό το ιστόγραμμα. Τα περισσότερα σημεία δεδομένων βρίσκονται εντός του εύρους που απεικονίζεται, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα ακραία γεγονότα της

στάθμης της θάλασσας (π.χ. καταιγίδες) είναι είτε σπάνια είτε δεν περιλαμβάνονται σε αυτό το σύνολο δεδομένων. Οσον αφορά τις ακραίες τιμές πέρα από τα $-0,2$ μέτρα και τα $0,2$ μέτρα είναι οι εμφανίσεις είναι σπάνιες.

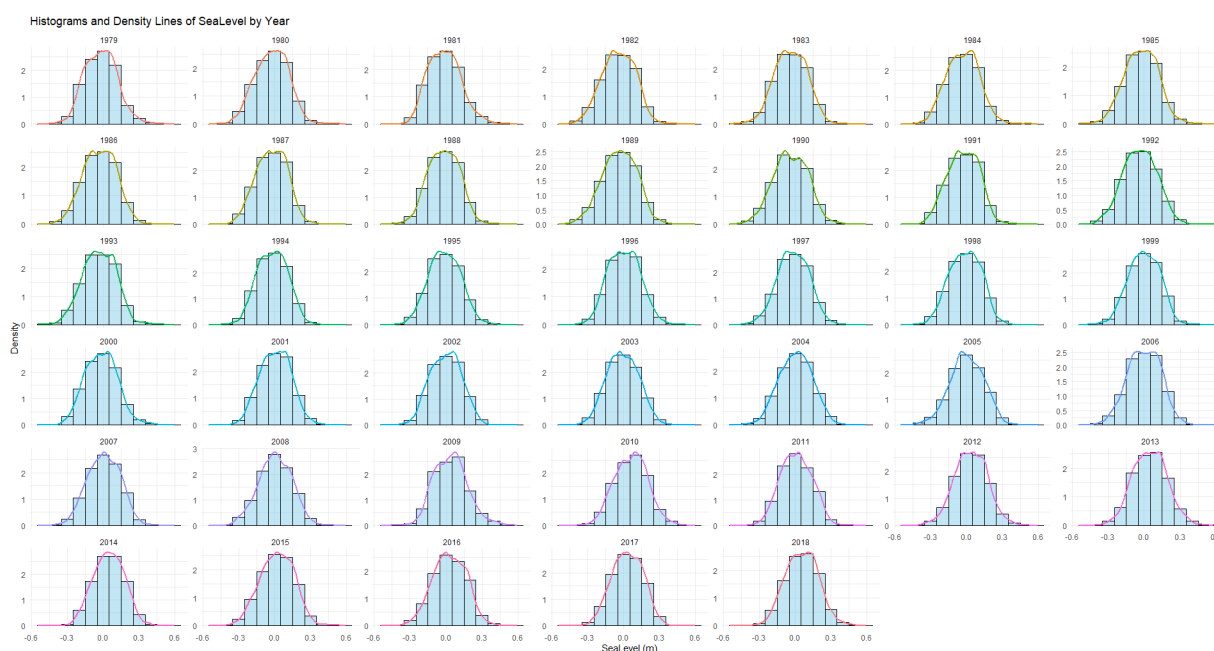


Σχήμα 4.57 Η χρονοσειρά για τα έτη καταγραφής 1979 – 2018 μαζί με την τάση (μπλε γραμμή).



Σχήμα 4.58. Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων της Συνολικής Θαλάσσιας Στάθμης για τα έτη 1979 – 2018, Λιμένας Βόλου.

Συνολικά, κάθε ιστογράμμα στο Σχήμα 4.59 απεικονίζει μια κανονική καμπανοειδή κατανομή, με επίκεντρο μια σταθερή μέση τιμή κοντά στα 0,0 μέτρα, με μικρή μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια των ετών. Οι κατανομές παραμένουν συμμετρικές σε όλα τα έτη, υποδεικνύοντας ισορροπημένες διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας χωρίς σημαντικές λοξότητες ή ανωμαλίες. Επίσης η διασπορά των κατανομών είναι σταθερή, με τα περισσότερα δεδομένα να συγκεντρώνονται μεταξύ -0,1 μέτρων και 0,1 μέτρων, υποδεικνύοντας χαμηλή μεταβλητότητα θαλάσσιας στάθμης. Οι ουρές των κατανομών εκτείνονται ελαφρώς πέρα από τα -0,2 μέτρα και τα 0,2 μέτρα, αλλά οι ακραίες τιμές είναι σπάνιες. Η συμμετρία κάθε ιστογράμματος υποδηλώνει ισορροπημένες διακυμάνσεις πάνω και κάτω από τη μέση τιμή, χωρίς σημαντική λοξότητα σε κανένα έτος.

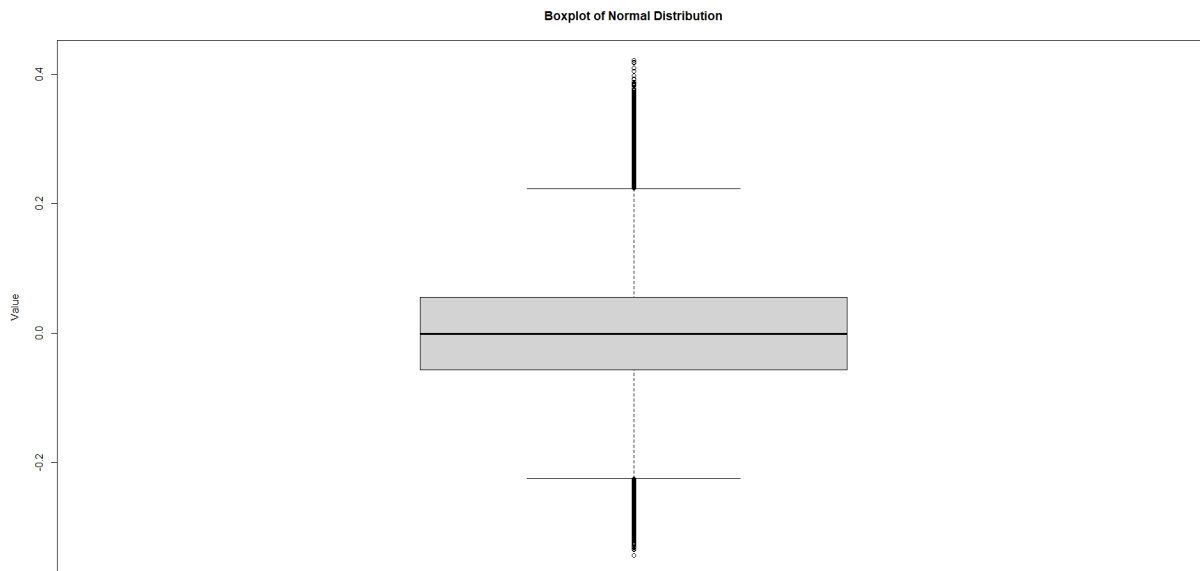


Σχήμα 4.59. Ιστογράμματα κατανομής συχνοτήτων για κάθε έτος καταγραφής 1979 -2018 μαζί με το διάγραμμα πυκνότητας, Λιμένας Βόλος.

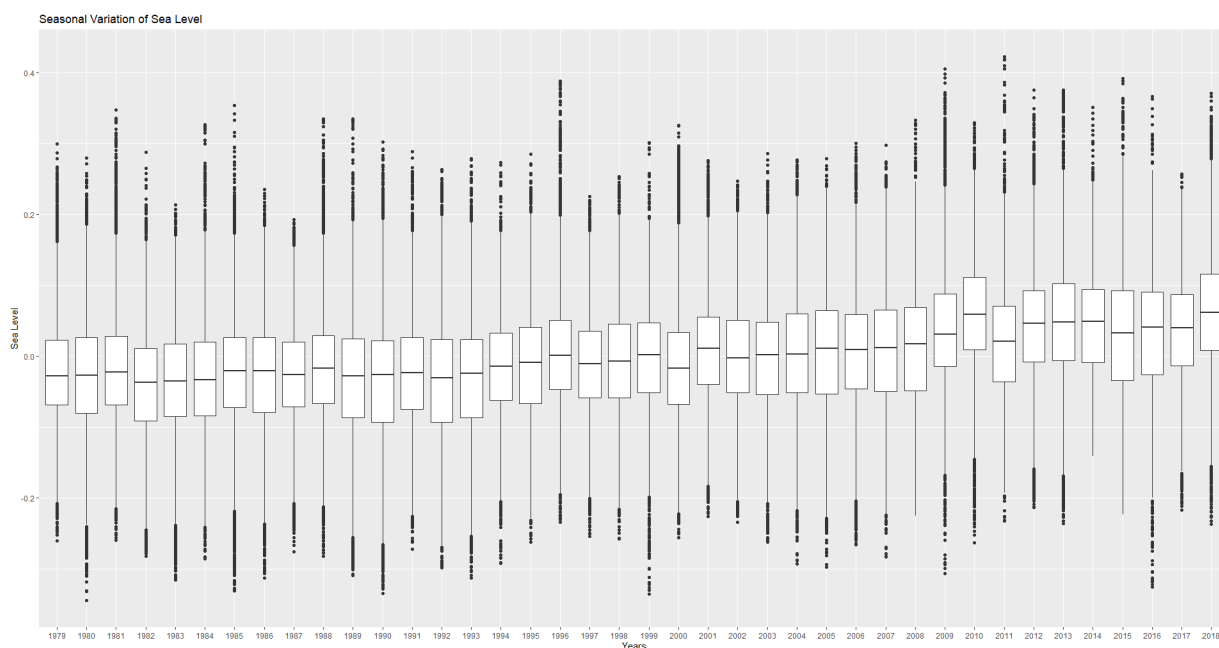
Όσον αφορά την κεντρική τάση η διάμεσος εμφανίζεται στο κέντρο του ενδοτεταρτημοριακού εύρους με ίσες αποστάσεις από τα τεταρτημόρια, υποδηλώνοντας μια συμμετρική κατανομή γύρω από το 0 m. Το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IQR) εκτείνεται περίπου από -0,1 έως 0,1 υποδεικνύοντας μέτρια μεταβλητότητα εντός του κεντρικού 50% των δεδομένων. Τα whiskers επεκτείνονται περαιτέρω σε περίπου -0,2 και 0,2, αποτυπώνοντας το μεγαλύτερο μέρος της μεταβλητότητας. Ένας σημαντικός αριθμός ακραίων τιμών, τόσο πάνω από το 0,4 όσο και κάτω από το -0,4 αντιπροσωπεύουν τις ακραίες τιμές. Το διάγραμμα δεν παρουσιάζει καμία αξιοσημείωτη λοξότητα ενισχύοντας την εικόνα της κανονικής συμμετρίας των καταγραφών (Σχήμα 4.60).

Το boxplot κάθε έτους (Σχήμα 4.61) εμφανίζει τη διάμεσο, το διατεταρτημοριακό εύρος (IQR), τα whiskers και τις ακραίες τιμές, προσφέροντας πληροφορίες για τις τάσεις της στάθμης της θάλασσας με την πάροδο του χρόνου. Φαίνεται μια σταδιακή ανοδική τάση της διάμεσης στάθμης της θάλασσας που υποδηλώνει μια μακροπρόθεσμη άνοδο της μέσης θαλάσσιας στάθμης κατά τη διάρκεια των δεκαετιών. Έτη με μεγαλύτερη μεταβλητότητα (π.χ. 1996, 2010) εμφανίζουν πλατύτερα και μεγαλύτερα περιθώρια, αντανακλώντας μεγαλύτερες διακυμάνσεις των επιπέδων της θάλασσας κατά τη διάρκεια αυτών των

περιόδων ενώ έτη με μικρότερη μεταβλητότητα (π.χ. 2014) υποδηλώνουν πιο σταθερές συνθήκες στάθμης της θάλασσας. Οι ακραίες τιμές κυριαρχούν στα περισσότερα έτη, με το εύρος τους να γίνεται πιο έντονο μετά το 2000 γεγονός που υποδηλώνει αύξηση των ακραίων γεγονότων της στάθμης της θάλασσας. Η συνολική αύξηση του ύψους των διάμεσων σε όλα τα έτη υπογραμμίζει μια σταθερή αύξηση τόσο των μέσων τιμών όσο και των ακραίων περιπτώσεων της στάθμης της θάλασσας.



Σχήμα 4.60. Βοξplot συνολικά για όλα τα έτη καταγραφής 1979 – 2018.



Σχήμα 4.61. Box Plot με τις Συνολικές Μεταβολές θαλάσσιας Στάθμης για κάθε έτος 1979 – 2018.

Συναρτήσεις Πιθανοτήτων

A. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF)

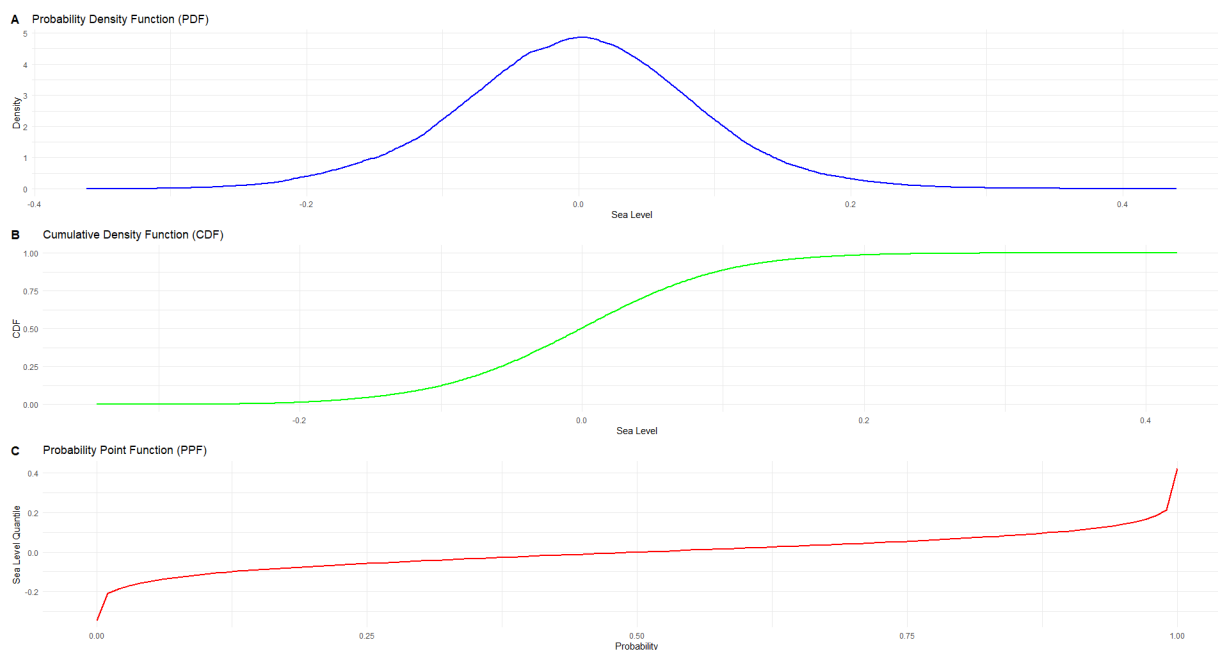
Η καμπύλη υποδηλώνει κανονική κατανομή, η κορυφή του διαγράμματος εμφανίζεται κοντά στα 0,0 μέτρα. Τα περισσότερα δεδομένα για τη θαλάσσια στάθμη συγκεντρώνονται μεταξύ -0,1 και 0,1 μέτρων, με την καμπύλη να στενεύει προς τις ουρές. Οι ουρές του διαγράμματος εκτείνονται σχετικά πέρα από τα -0,2 μέτρα και τα 0,2 μέτρα, αντιπροσωπεύοντας τις λιγότερο συχνές ακραίες τιμές. Η συμμετρία του PDF υποδηλώνει ισορροπημένες διακυμάνσεις, με παρόμοιες πιθανότητες αποκλίσεων πάνω και κάτω από τη μέση τιμή.

B. Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (CDF)

Το διάγραμμα αντιπροσωπεύει τη σωρευτική πιθανότητα η στάθμη της θάλασσας να είναι μικρότερη ή ίση με μια συγκεκριμένη τιμή. Το 50% των καταγραφών παρουσιάζονται κάτω από την διάμεσο ενώ η απότομη κλίση της CDF μεταξύ -0,1 και 0,2 μέτρων δείχνει ότι οι περισσότερες τιμές της στάθμης της θάλασσας συγκεντρώνονται σε αυτό το εύρος. Σε πιθανότητες κοντά στο 0 ή το 1, η συνάρτηση αντιστοιχεί στις ακραίες στάθμες θάλασσας εκτός του κεντρικού εύρους.

C. Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (PPF)

Για την πιθανότητα του 25%, η στάθμη της θάλασσας είναι περίπου -0,1 μέτρα, δηλαδή το 25% των δεδομένων βρίσκεται κάτω από αυτή την τιμή ενώ για την πιθανότητα του 75%, η θαλάσσια στάθμη είναι περίπου 0,2 μέτρα, δηλαδή το 75% των δεδομένων βρίσκεται κάτω από αυτό το επίπεδο. Η κεντρική κλίση της καμπύλης είναι ήπια, υποδεικνύοντας μια ομοιόμορφη κατανομή των δεδομένων εντός του μεσαίου εύρους.



Σχήμα 4.62. Οι PDF: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (μπλε καμπύλη), CDF Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (πράσινη καμπύλη), PPF: Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (κόκκινη καμπύλη). για τα έτη των καταγραφών 1979 – 2018.

Χαλκίδα

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)
ΧΑΛΚΙΔΑΣ	38° 28' 20".24	23° 35' 33".47

Αποτελέσματα από τα δεδομένα της Υδρογραφικής Υπηρεσίας για την περίοδο 1979 -2018.

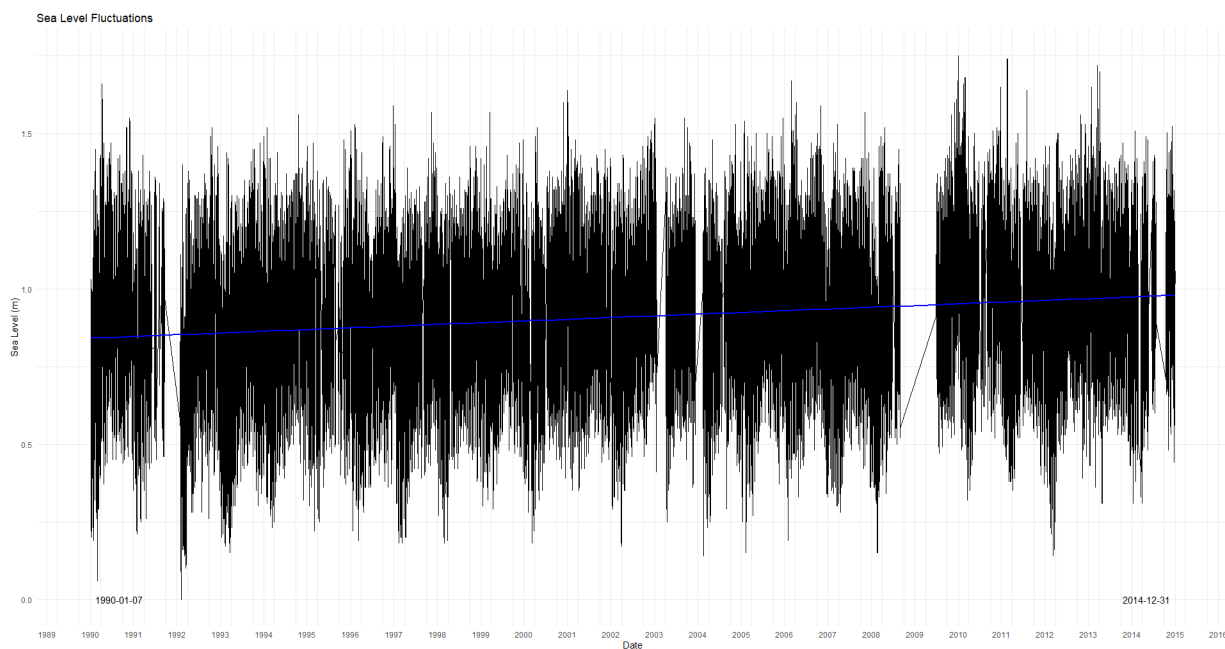
Πίνακες Στατιστικών για τον Λιμένα Β.Χαλκίδας

Descriptive Statistics Halkida Port							
Variable	Count (n)	Min	1 st Qu.	Median or 2 nd Qu.	Mean	3 rd Qu	Max
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATIONS (MIXED TIDE)	184.346	0.00	0.750	0.920	0.910	1.070	1.750
Descriptive Statistics Halkida Port							
					Percentiles		
Variable	Std.Dev.	Obs. Range (min-max)	Variance	0.90%	0.95%	0.99%	
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATIONS (MIXED TIDE)	0.23005	1.75	0.05292	1.21	1.28	1.40	

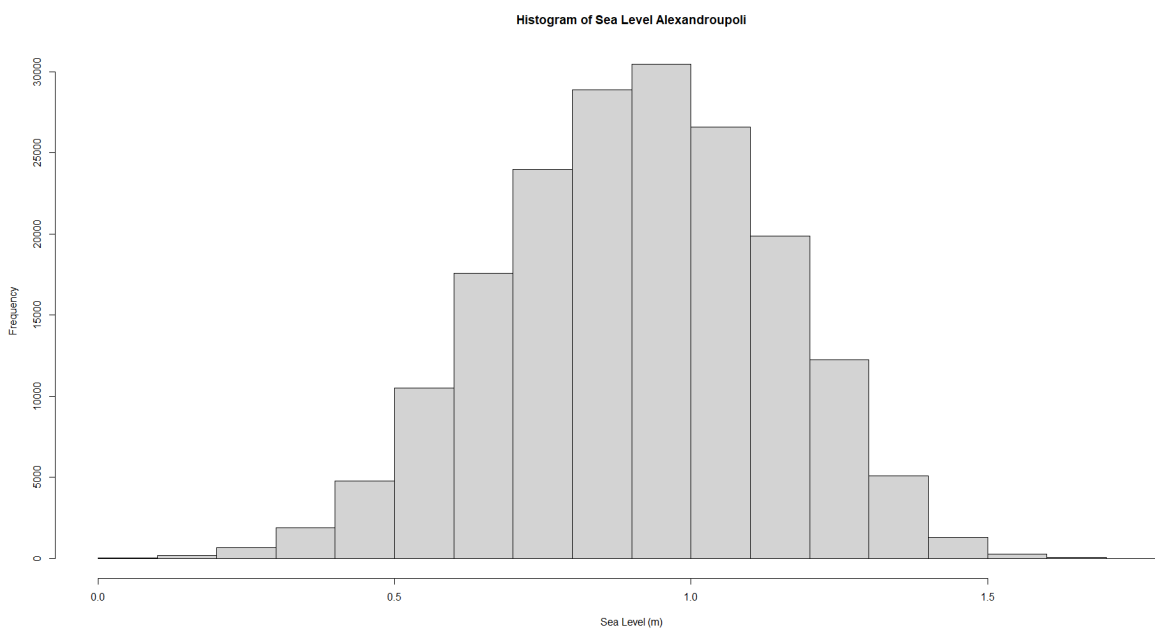
Η χρονοσειρά για τα δεδομένα της Υδρογραφικής Υπηρεσίας για τα έτη 1990 -2014 δίνεται στο Σχήμα 4.63.

Το ιστόγραμμα (Σχήμα 4.64) απεικονίζει την κατανομή των δεδομένων της στάθμης της θάλασσας που καταγράφηκαν στην Β. Χαλκίδα, υποδεικνύοντας μια σχεδόν κανονική κατανομή. Η θαλάσσια στάθμη κυμαίνεται κυρίως μεταξύ 0,5 m και 1,0 m με τη μεγαλύτερη συχνότητα να παρατηρείται γύρω στο 1,0 m, που αντιπροσωπεύει την κεντρική τάση. Η κατανομή είναι συμμετρική, υποδηλώνοντας ίσες διακυμάνσεις πάνω και κάτω από τη μέση τιμή, γεγονός που υποδηλώνει σταθερές συνθήκες. Η στάθμη της θάλασσας κυμαίνεται από περίπου 0,0 m έως 1,5 m, με λίγες ακραίες τιμές στις ουρές, που αντανakλούν ελάχιστες ανωμαλίες ή ακραία γεγονότα.

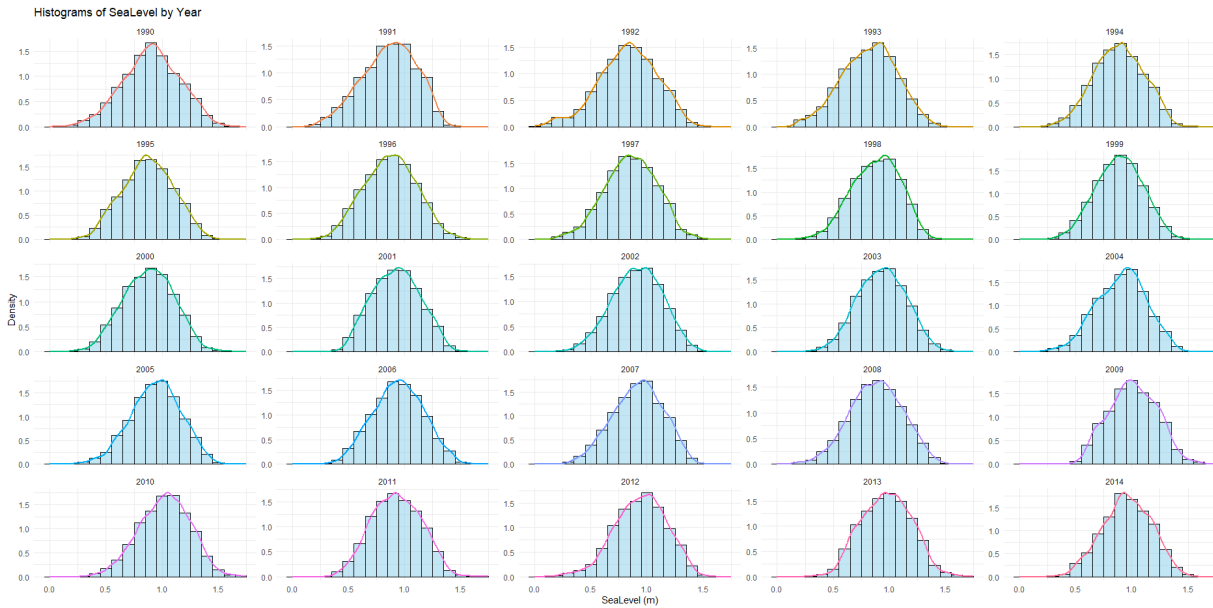
Συνολικά τα ετήσια ιστογράμματα (Σχήμα 4.65) της κατανομής της στάθμης της θάλασσας παρουσιάζουν μια σταθερή καμπανοειδή μορφή υποδεικνύοντας ότι τα επίπεδα της θάλασσας ακολουθούν μια σχεδόν κανονική κατανομή ετησίως. Η κεντρική τάση για τα περισσότερα έτη είναι περίπου 1,0 m, η οποία ευθυγραμμίζεται με τη γενική κατανομή που παρατηρείται στο συνολικό ιστόγραμμα. Το εύρος των τιμών της στάθμης της θάλασσας παραμένει σταθερό σε όλα τα έτη εκτεινόμενο περίπου από 0,5 m έως 1,5 m. Οι μέγιστες συχνότητες είναι επικεντρωμένες γύρω στο 1,0 m για όλα τα έτη, υποδεικνύοντας ελάχιστες μακροπρόθεσμες μετατοπίσεις για τη μέση θαλάσσια στάθμη. Ορισμένα έτη, όπως το 1995 και το 2000, παρουσιάζουν ελαφρώς ευρύτερες κατανομές, υποδεικνύοντας μεγαλύτερη μεταβλητότητα των επιπέδων της θάλασσας κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων.



Σχήμα 4.63. Η χρονοσειρά για τα έτη καταγραφής 1990 – 2014 μαζί με την τάση (μπλε γραμμή), Λιμένας Β. Χαλκίδας.

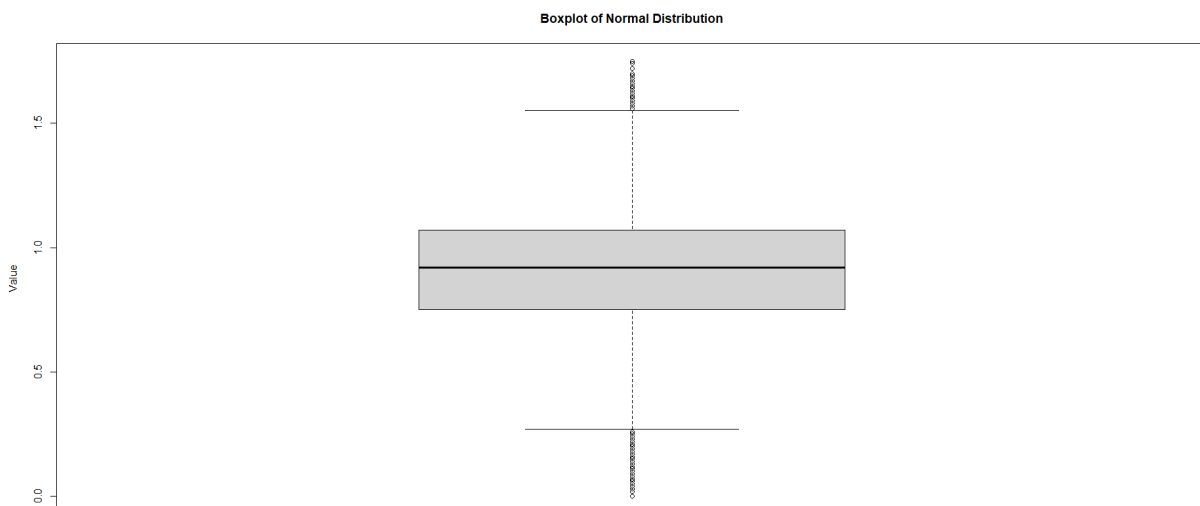


Σχήμα 4.64 Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας της Συνολικής Θαλάσσιας Στάθμης για τα έτη 1990 – 2014, Λιμένας Β. Χαλκίδας.



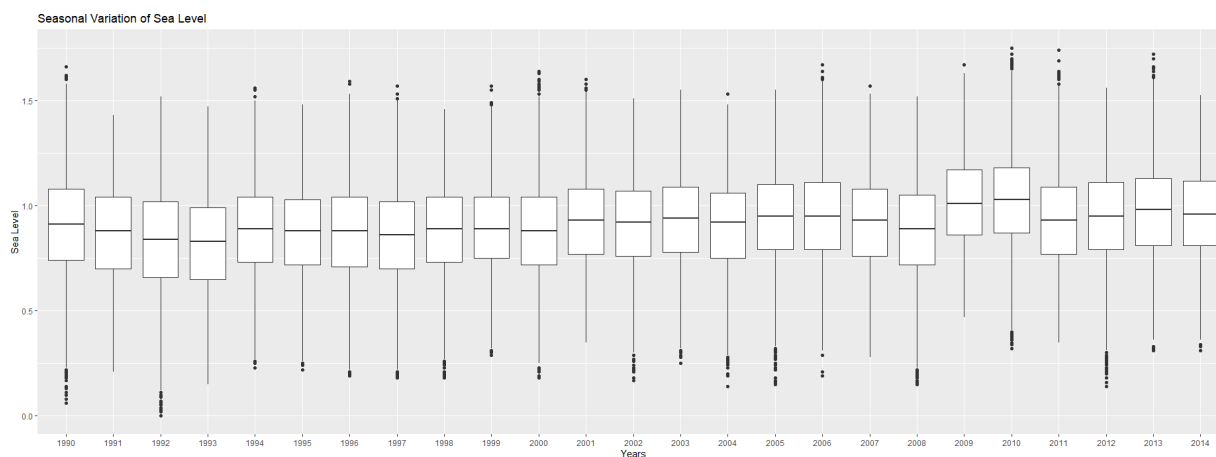
Σχήμα 4.65. Ιστογράμματα κατανομής συχνοτήτων της Συνολικής Θαλάσσιας Στάθμης για τα έτη 1990 – 2014, Λιμένας Β. Χαλκίδας.

Το boxplot του Σχήματος 4.66 δείχνει μια συμμετρική κατανομή με κέντρο γύρω από μια διάμεσο περίπου 1,0, με τα περισσότερα σημεία δεδομένων να εμπίπτουν στο ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IQR) 0.75 έως 1.25. Τα whiskers εκτείνονται από 0.3 m έως 1.5 m καλύπτοντας την πλειονότητα των δεδομένων. Οι ακραίες τιμές παρατηρούνται κοντά στο 0.0 m και λίγο πάνω από το 1.5 m με τις περισσότερες να βρίσκονται στο κάτω άκρο. Η συμμετρία του πλαισίου υποδηλώνει μια κανονική κατανομή, με περιορισμένη μεταβλητότητα και λίγες εξαιρέσεις πέραν του κεντρικού εύρους.



Σχήμα 4.66. Boxplot συνολικά για όλα τα έτη καταγραφής 1990 – 2014.

Συνολικά, για κάθε έτος καταγραφών (Σχήμα 4.67), η διάμεση στάθμη της θάλασσας παραμένει σταθερή γύρω στα 0.8 m, αντανακλώντας τη σταθερότητα των κεντρικών τιμών με την πάροδο του χρόνου. Το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IQR) που αντιπροσωπεύει το μεσαίο 50% των δεδομένων παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις από έτος σε έτος, αλλά παραμένει σε μεγάλο βαθμό σταθερό, υποδεικνύοντας σταθερή μεταβλητότητα των επιπέδων της θάλασσας. Όσον αφορά στις ακραίες τιμές είναι ελάχιστες και βρίσκονται κάτω από 0.5 m και πάνω από 1.1 m. Το διάγραμμα αποκαλύπτει μακροχρόνια σταθερότητα της μέσης στάθμης της θάλασσας με ελάχιστα και περιστασιακά ακραία γεγονότα .



Σχήμα 4.67. Box Plot με τις Συνολικές Μεταβολές θαλάσσιας Στάθμης για κάθε έτος 1990 – 2014.

Συναρτήσεις Πιθανοτήτων

A. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF)

Η καμπύλη έχει κορυφή γύρω στο 1 μέτρο, υποδεικνύοντας την πιο κοινή τιμή της στάθμης της θάλασσας. Η στάθμη της θάλασσας εμπίπτει κυρίως στο εύρος όπου παρατηρείται η υψηλότερη πυκνότητα των δεδομένων, γύρω από το 1.0 m. Η κατανομή είναι συμμετρική. Η διασπορά κυμαίνεται από περίπου 0,6 m έως 1,4 m, αντανακλώντας μια ισορροπημένη κατανομή των δεδομένων της στάθμης της θάλασσας. Παρατηρείται μια ελάχιστη λοξότητα. Μετρήσεις κάτω από 0.6 m ή πάνω από 1,4 m είναι ασυνήθιστες.

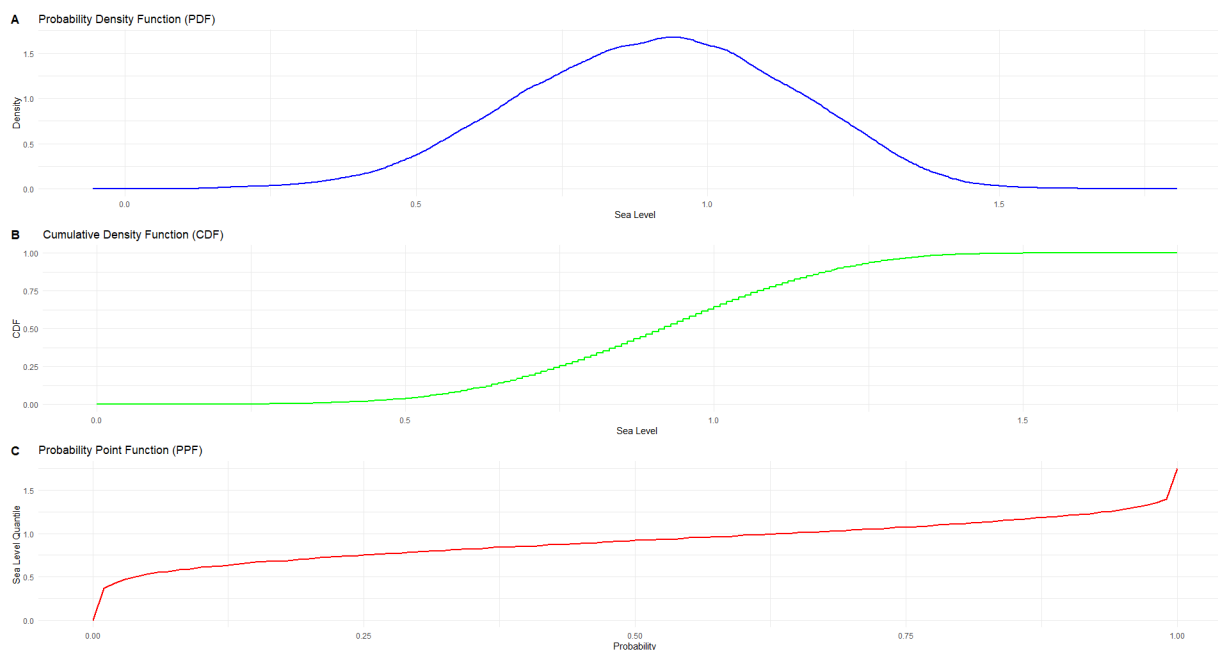
B. Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (CDF)

Δεδομένου ότι η αθροιστική πιθανότητα της θαλάσσιας στάθμης να είναι μικρότερη ή ίση με μια συγκεκριμένη τιμή το διάγραμμα ξεκινά κοντά στο 0,75 μέτρα υποδηλώνοντας ότι περίπου το 50% των δεδομένων βρίσκεται κάτω από αυτή την τιμή ενώ η απότομη κλίση μεταξύ 0,8 μέτρων και 1,2 μέτρων δηλώνει ότι ο κύριος όγκος των δεδομένων συγκεντρώνονται σε αυτό το εύρος. Γύρω στο 1,0 μέτρο προσδιορίζεται η διάμεσος. Μέχρι τα 1,3 μέτρα, η αθροιστική πιθανότητα πλησιάζει το 1,0, που σημαίνει ότι σχεδόν όλες οι τιμές λαμβάνονται υπόψη.

C. Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (PPF)

Η Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας (PDF) εμφανίζει τη κορυφή της καμπύλης γύρω στο 1,0 μέτρα η οποία είναι η πιο συχνά παρατηρούμενη στάθμη της θάλασσας. Το εύρος των τιμών της θαλάσσιας στάθμης εκτείνεται από περίπου 0,5 μέτρα έως 1,5 μέτρα. Η κατανομή είναι συμμετρική, υποδηλώνοντας

ισορροπημένες διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας γύρω από τη μέση τιμή. Οι ακραίες τιμές πέραν των 0,5 μέτρων και του 1,5 μέτρου είναι σπάνιες, όπως υποδηλώνουν οι κωνικές ουρές της καμπύλης.



Σχήμα 4.68. Οι PDF: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (μπλε καμπύλη), CDF Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (πράσινη καμπύλη), PPF: Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (κόκκινη καμπύλη). για τα έτη των καταγραφών 1990 – 2014.

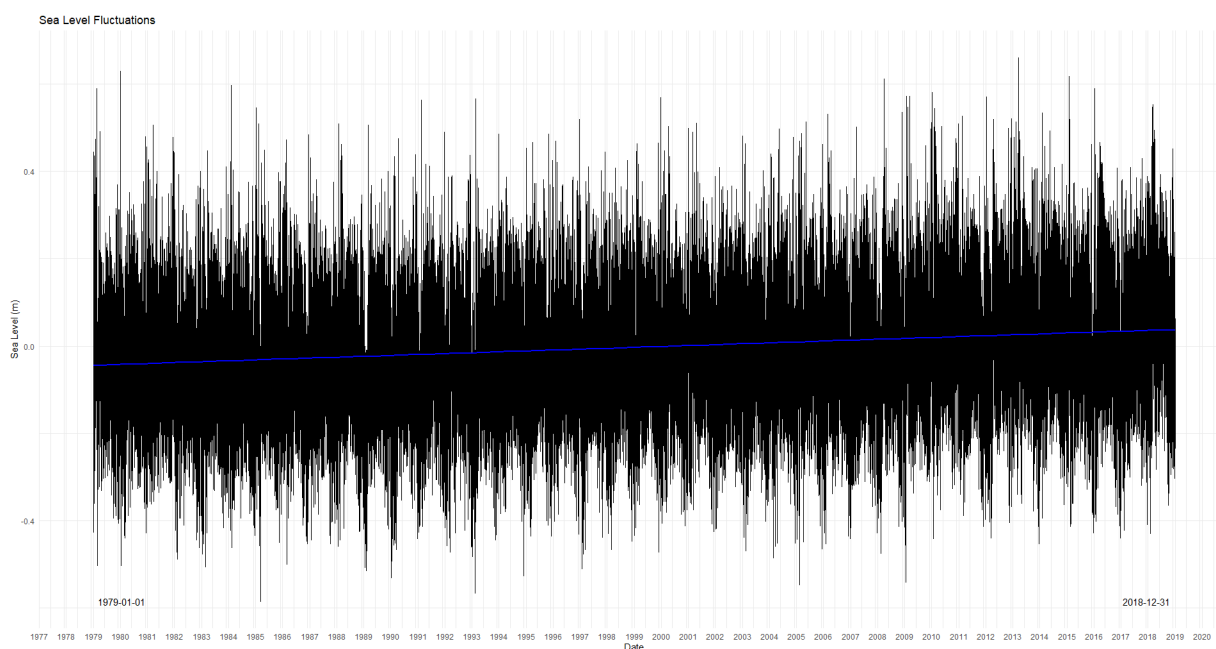
Αποτελέσματα από τα δεδομένα ERA5 Reanalysis για την περίοδο 1979 -2018.

Πίνακας Στατιστικών για τον Λιμένα Β. Χαλκίδας.

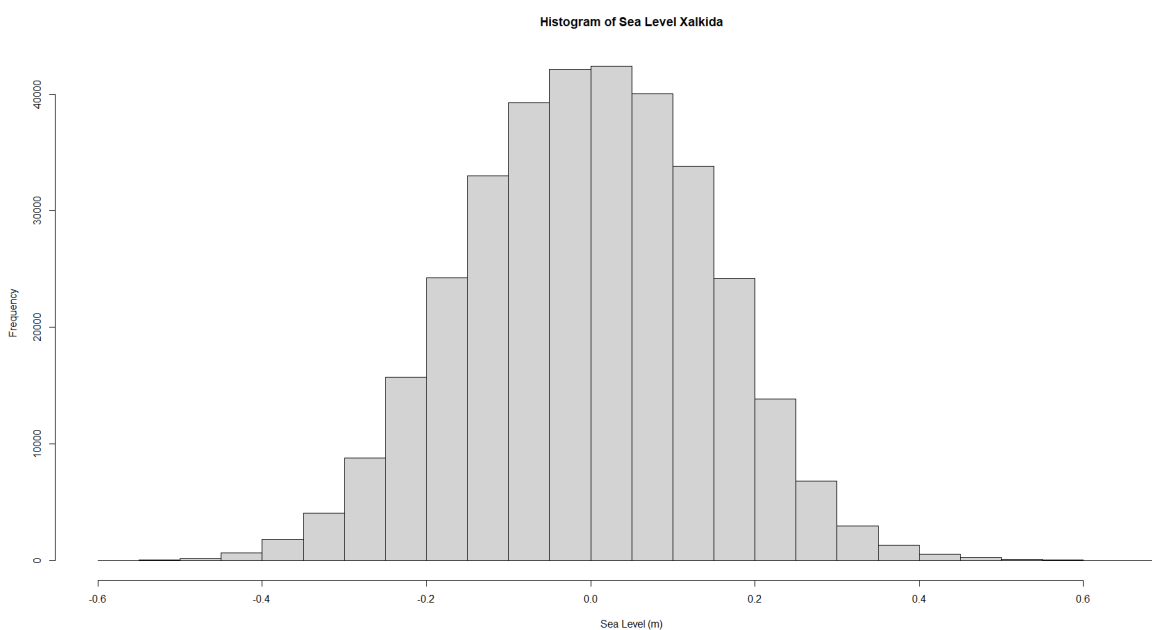
Descriptive Statistics Halkida Port							
Variable	Count (n)	Min	1 st Qu.	Median or 2 nd Qu.	Mean	3 rd Qu	Max
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATIONS (MIXED TIDE)	336.030	-0.344	-0.057	-0.001	-0.001	0.055	0.422
Descriptive Statistics Halkida Port							
					Percentiles		
Variable	Std.Dev.	Obs. Range (min-max)	Variance	0.90%	0.95%	0.99%	
HNHS SEA LEVEL FLUCTUATIONS (MIXED TIDE)	0.08722	0.0078	0.00760	0.107	0.141	0.212	

Η χρονοσειρά για τα ERA5 Reanalysis για το λιμένα της Β. Χαλκίδας δίνεται στο Σχήμα 4.69.

Το ιστόγραμμα (Σχήμα 4.70) υποδεικνύει κανονική κατανομή με κέντρο τα 0.0 m υποδεικνύοντας ότι η τυπική μέτρηση της στάθμης της θάλασσας βρίσκεται γύρω από αυτή την τιμή. Η συμμετρία αντανακλά ισορροπημένες διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας πάνω και κάτω από τη μέση τιμή ενώ η διασπορά των δεδομένων συγκεντρώνονται κυρίως μεταξύ -0,2 m και 0,2 m, με ελάχιστες εμφανίσεις πιο ακραίων τιμών. Οι ακραίες τιμές είναι σπάνιες, υποδεικνύοντας σχετικά σταθερές και προβλέψιμες τάσεις της θαλάσσιας στάθμης.

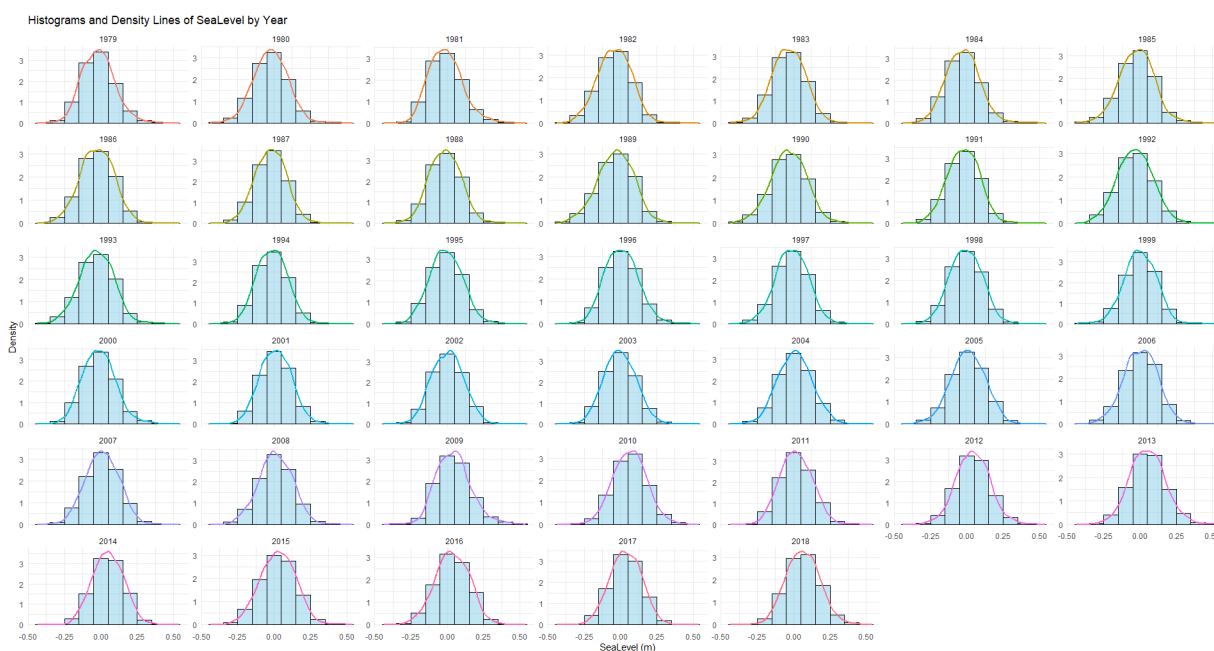


Σχήμα 4.69 Η χρονοσειρά για τα έτη καταγραφής 1979 – 2018 μαζί με την τάση (μπλε γραμμή), Λιμένας Β. Χαλκίδας.



Σχήμα 4.70. Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας της Συνολικής Θαλάσσιας Στάθμης για τα έτη 1979 – 2018, Λιμένας Β. Χαλκίδας.

Συνολικά, τα ιστογράμματα για τα έτη των καταγραφών (Σχήμα 4.71) παρουσιάζουν μια κορυφή γύρω από τα 0.0 m επιβεβαιώνοντας αυτή την τιμή ως την πιο κοινή μέτρηση της στάθμης της θάλασσας. Όσον αφορά την διασπορά κατανομής, οι καμπύλες πυκνότητας τονίζουν τη συγκέντρωση των τιμών της στάθμης της θάλασσας μεταξύ -0,2 m και 0,2 m, με τη συχνότητα να μειώνεται ομαλά της της ουρές του διαγράμματος. Η μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια των ετών κάπου παρουσιάζει ελαφρώς ευρύτερες ή στενότερες καμπύλες πυκνότητας, αντανακλώντας διαφορές στο εύρος και τη μεταβλητότητα των μετρήσεων της στάθμης της θάλασσας. Για παράδειγμα, το 1990 παρουσιάζει μια ευρύτερη καμπύλη, ενώ το 1995 έχει μια πιο οξεία κορυφή, υποδηλώνοντας μικρότερη μεταβλητότητα εκείνο το έτος. Ωστόσο τα ιστογράμματα υποδηλώνουν μια σταθερή τάση της στάθμης της θάλασσας με την πάροδο των ετών, χωρίς σημαντικές μετατοπίσεις ή ανωμαλίες στα δεδομένα.



Σχήμα 4.71. Ιστογράμματα κατανομής συχνοτήτων για κάθε έτος καταγραφής 1979 -2018 μαζί με το διάγραμμα πυκνότητας, Λιμένας Β.Χαλκίδας.

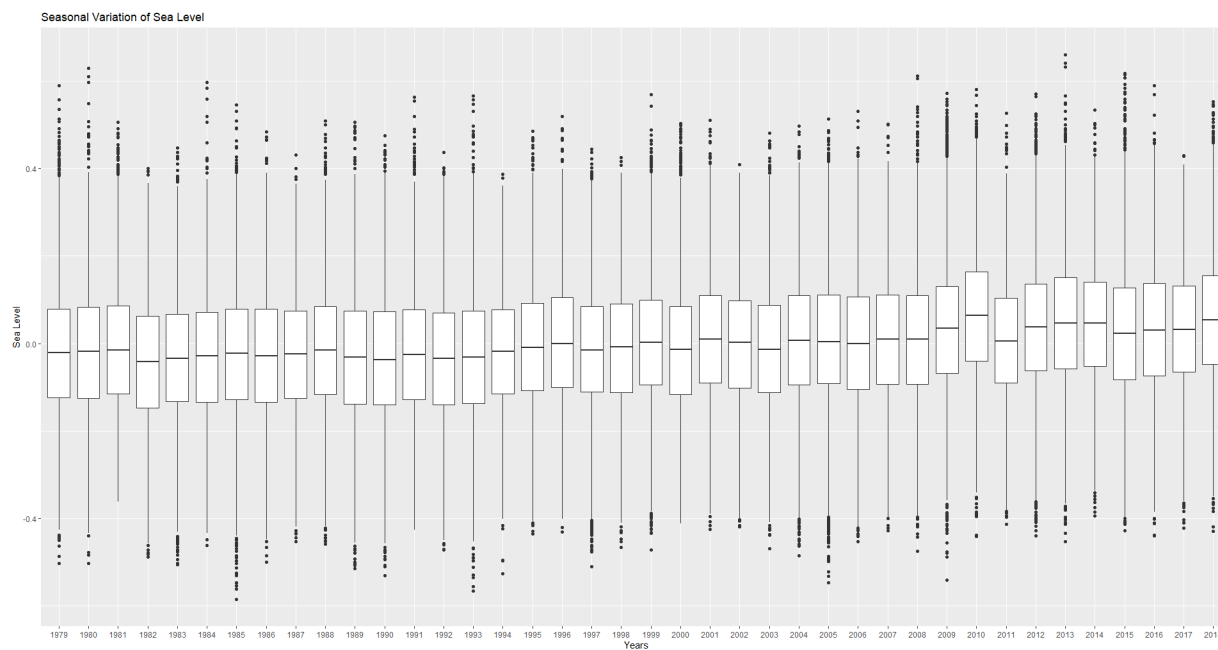
Το θηκόγραμμα (Σχήμα 4.72) αντιπροσωπεύει ένα σύνολο δεδομένων με συμμετρική κατανομή, με κέντρο τη διάμεσο περίπου στο 0.0 με ένα διατεταρτημοριακό εύρος (IQR) που εκτείνεται από -0,25 έως 0,25, υποδεικνύοντας χαμηλή μεταβλητότητα στο κεντρικό 50% των δεδομένων. Τα ακραία όρια εκτείνονται περίπου από -0,5 έως 0,5 καταγράφοντας τα περισσότερα δεδομένα ενώ υπάρχουν ακραίες τιμές πέρα από αυτά τα όρια, τόσο πάνω από το 0.5 όσο και κάτω από το -0.5 που αντικατοπτρίζουν σπάνιες ακραίες τιμές ωστόσο το ανώτερο άκρο παρουσιάζει περισσότερες εμφανίσεις. Η συνολική συμμετρία της κατανομής υποδηλώνει ένα ισορροπημένο σύνολο δεδομένων με ελάχιστη λοξότητα.

Συνολικά η ετήσια διακύμανση της στάθμης της θάλασσας από το 1979 έως το 2018 (Σχήμα 4.73) παρουσιάζει μια σταδιακή ανοδική τάση της μέσης τιμές. Η διάμεσος, η οποία ξεκινά από περίπου 0.4 μέτρα το 1979, αυξάνεται σταθερά σε περίπου 0.6 μέτρα μέχρι το 2019, υποδεικνύοντας μια μακροπρόθεσμη άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IQR), που εκτείνεται από περίπου 0.3 μέτρα έως 0.5 μέτρα τα προηγούμενα έτη αυξάνει ελαφρώς τα μεταγενέστερα έτη σε

0.4 μέτρα έως 0.6 μέτρα, υποδηλώνοντας αυξανόμενη μεταβλητότητα της μετρήσεις της στάθμης της θάλασσας. Οι ακραίες τιμές υπερβαίνουν τα 0.7 μέτρα στο υψηλότερο άκρο και πέφτουν κάτω από τα 0.2 μέτρα στο χαμηλότερο άκρο. Η πυκνότητα των ακραίων τιμών αυξάνεται στα μεταγενέστερα έτη, αντανακλώντας μεγαλύτερη συχνότητα ακραίων γεγονότων στάθμης της θάλασσας. Συνολικά, το σύνολο δεδομένων καταδεικνύει τόσο βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις όσο και μια σαφή μακροπρόθεσμη άνοδο της στάθμης της θάλασσας, αναδεικνύοντας μια συνεπή τάση.



Σχήμα 4.72 Boxplot συνολικά για όλα τα έτη καταγραφής 1979 – 2018.



Σχήμα 4.73. Box Plot με της Συνολικές Μεταβολές θαλάσσιας Στάθμης για κάθε έτος 1979 – 2018.

Συναρτήσεις Πιθανοτήτων

A. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF)

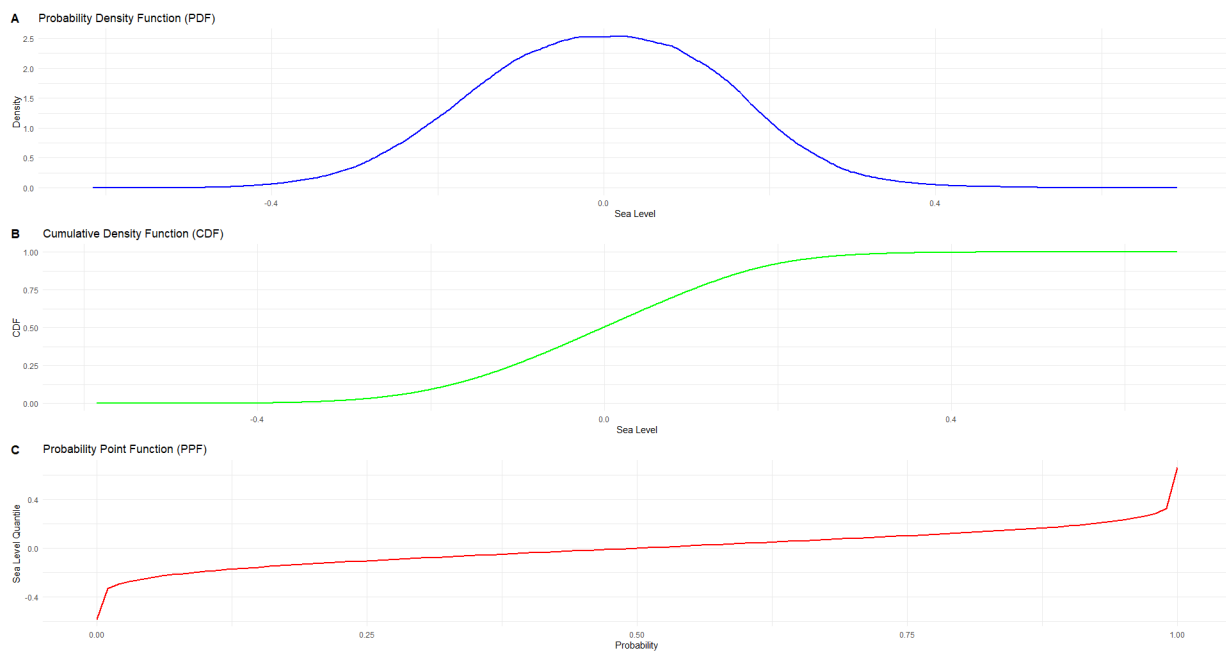
Η καμπύλη υποδηλώνει μια σχεδόν κανονική κατανομή, η κορυφή του διαγράμματος εμφανίζεται περίπου στα 0.6 μέτρα η οποία είναι η πιο συχνά παρατηρούμενη στάθμη της θάλασσας. Το συμμετρικό σχήμα του διαγράμματος υποδηλώνει ισορροπημένη πιθανότητα τιμών γύρω από τη μέση τιμή. μεταξύ 0.4 και 0.8 μέτρων, με την υψηλότερη πυκνότητα να συγκεντρώνεται κοντά στην κορυφή. Τέλος υπάρχει ομαλή απόκλιση και στα δύο άκρα καθώς οι ακραίες τιμές (τόσο αρνητικές όσο και θετικές) κοντά στα 0,4 και 0,8 μέτρα έχουν πολύ χαμηλές πυκνότητες.

B. Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (CDF)

Η Συνάρτηση Αθροιστικής Πυκνότητας (CDF) απεικονίζει τη σωρευτική πιθανότητα εμφάνισης της στάθμης της θάλασσας κάτω από ένα δεδομένο όριο. Η καμπύλη ξεκινά κοντά στο 0.0 για θαλάσσιες στάθμες γύρω στα 0.4 μέτρα και αυξάνεται ραγδαία μεταξύ 0.5 και 0.7 μέτρων δείχνοντας ότι η πλειονότητα των παρατηρήσεων της στάθμης της θάλασσας εμπίπτει σε αυτό το εύρος. Μέχρι τα 0.6 μέτρα, η αθροιστική πιθανότητα είναι 0.5, που σημαίνει ότι το 50% των καταγραφών είναι κάτω από αυτή την τιμή, επιβεβαιώνοντας τη διάμεσο της κατανομής. Η καμπύλη εξομαλύνεται καθώς πλησιάζει το 1.0 κοντά στα 0.8 μέτρα υποδεικνύοντας ότι σχεδόν όλες οι στάθμες της θάλασσας βρίσκονται κάτω από αυτό το όριο.

C. Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (PPF)

Η καμπύλη PPF είναι ομαλή και σταθερά αυξανόμενη, υποδεικνύοντας μια κατανομή των δεδομένων χωρίς απότομες αποκλίσεις ή ανωμαλίες. Στο 10ο εκατοστημόριο, η στάθμη της θάλασσας είναι περίπου 0.5 μέτρα, υποδεικνύοντας ότι μόνο το 10% των παρατηρούμενων τιμών πέφτει κάτω από αυτό το επίπεδο. Στη διάμεσο η στάθμη της θάλασσας είναι 0.6 μέτρα επιβεβαιώνοντας την κεντρική τάση που παρατηρείται στο PDF και στο CDF. Στο 90ο εκατοστημόριο η στάθμη της θάλασσας είναι περίπου 0.7 μέτρα, πράγμα που σημαίνει ότι το 90% των τιμών της στάθμης της θάλασσας είναι κάτω από αυτό το επίπεδο. Η σταδιακή κλίση του PPF αντανακλά την απουσία ακραίων τιμών ή απότομων αλλαγών στο σύνολο δεδομένων.



Σχήμα 4.74 Οι PDF: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (μπλε καμπύλη), CDF Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (πράσινη καμπύλη), PPF: Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (κόκκινη καμπύλη). για τα έτη των καταγραφών 1979 – 2018.

Λαύριο

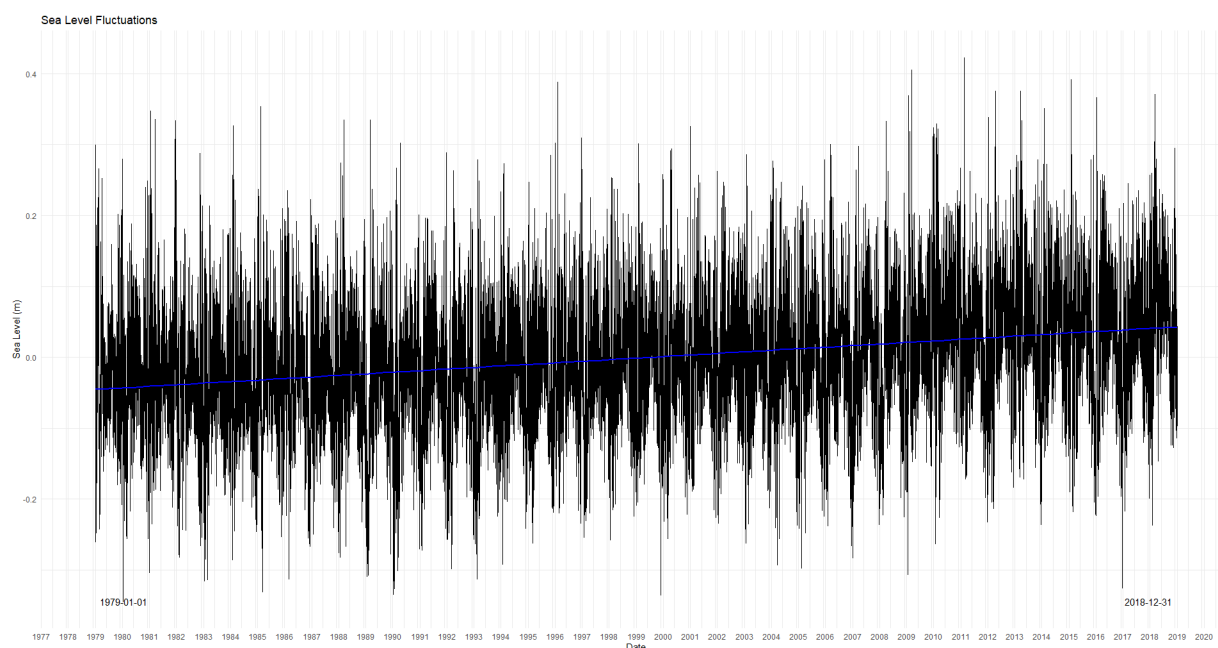
ΣΤΑΘΜΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)
ΛΑΥΡΙΟ	37°42'37"	24°04'46"

Αποτελέσματα από τα δεδομένα ERA5 Reanalysis για την περίοδο 1979 -2018.

Πίνακας Στατιστικών για τον Λιμένα Λαυρίου.

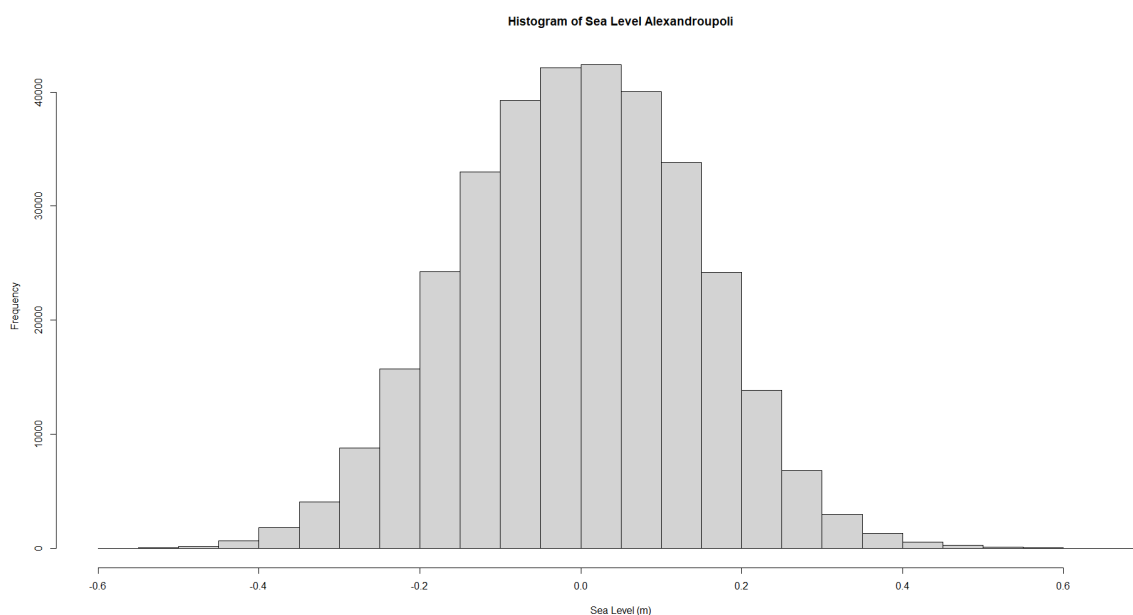
Descriptive Statistics Lavrio Port							
Variable	Count (n)	Min	1 st Qu.	Median or 2 nd Qu.	Mean	3 rd Qu	Max
ERA5 REANALYSIS-TOTAL WATER LEVEL	336.030	-0.344	-0.057	-0.001	-0.001	0.055	0.422
Descriptive Statistics Lavrio Port							
					Percentiles		
Variable	Std.Dev.	Obs. Range (min-max)	Variance	0.90%	0.95%	0.99%	
ERA5 REANALYSIS-TOTAL WATER LEVEL	0.0872	0.766	0.00760	0.107	0.141	0.212	

Η χρονοσειρά για τα δεδομένα ERA5 για την περίοδο 1979 -2018 δίνεται στο Σχήμα 4.75.



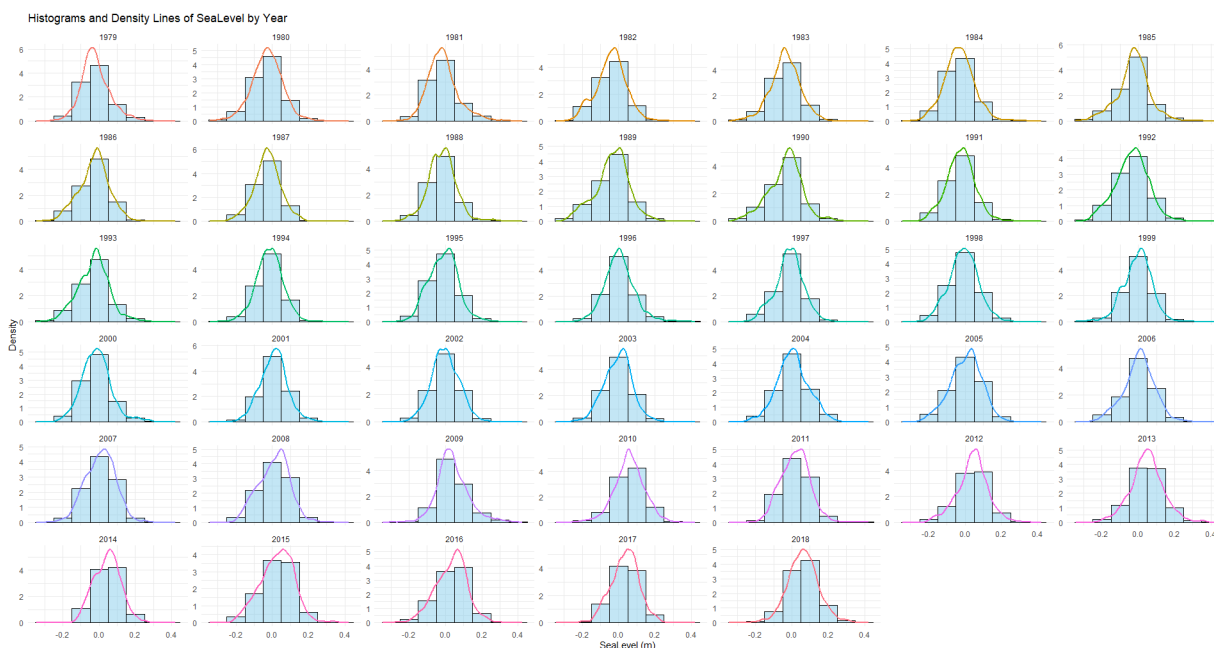
Σχήμα 4.75. Η χρονοσειρά ERA5 για τα έτη καταγραφής 1979 – 2018 μαζί με την τάση (μπλε γραμμή), Λιμένας Λαυρίου.

Οι μετρήσεις της στάθμης της θάλασσας στο Λαύριο δείχνουν μια συμμετρική κατανομή με κέντρο τα 0,0m (Σχήμα 4.76). Το εύρος εκτείνεται από περίπου -0,2m έως 0,4m, αντιπροσωπεύοντας μια μικρότερη διασπορά σε σύγκριση με τις προηγούμενες τοποθεσίες. Το ιστόγραμμα διατηρεί σχήμα καμπάνας, υποδεικνύοντας την κανονική κατανομή των μετρήσεων. Η διακύμανση εμφανίζεται σχετικά μικρή, υποδηλώνοντας πιο σταθερές συνθήκες στάθμης της θάλασσας. Οι ακραίες τιμές είναι λιγότερο συχνές, όπως φαίνεται από τις ταχέως μειούμενες συχνότητες και στα άκρα.



Σχήμα 4.76 Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητων της Συνολικής Θαλάσσιας Στάθμης για τα έτη 1979 – 2018, Λιμένας Λαυρίου.

Τα ετήσια ιστογράμματα των κατανομών της στάθμης της θάλασσας από το 1979 έως το 2018 (Σχήμα 4.77) απεικονίζουν τόσο τις βραχυπρόθεσμες διακυμάνσεις όσο και τις μακροπρόθεσμες τάσεις. Τα δεδομένα κάθε έτους παρουσιάζουν μια συμμετρική κατανομή σε καμπανοειδή μορφή. Με την πάροδο των δεκαετιών η κεντρική τάση των επιπέδων της θάλασσας μετατοπίζεται προς τα πάνω, με τον τρόπο να αυξάνεται από περίπου 0,5 μέτρα το 1980 σε περίπου 0,6 μέτρα το 2019. Ωστόσο η διασπορά παραμένει σταθερή, κυμαινόμενη κατά κύριο λόγο μεταξύ 0,4 και 0,8 μέτρων σε όλα τα έτη. Η τάση στα ιστογράμματα επιβεβαιώνουν μια σταθερή και σταδιακή αύξηση της μέσης στάθμης της θάλασσας. Τα διαγράμματα αποτυπώνουν αποτελεσματικά τόσο τη σταθερότητα της μεταβλητότητας όσο και την ανοδική τάση της θαλάσσιας στάθμης

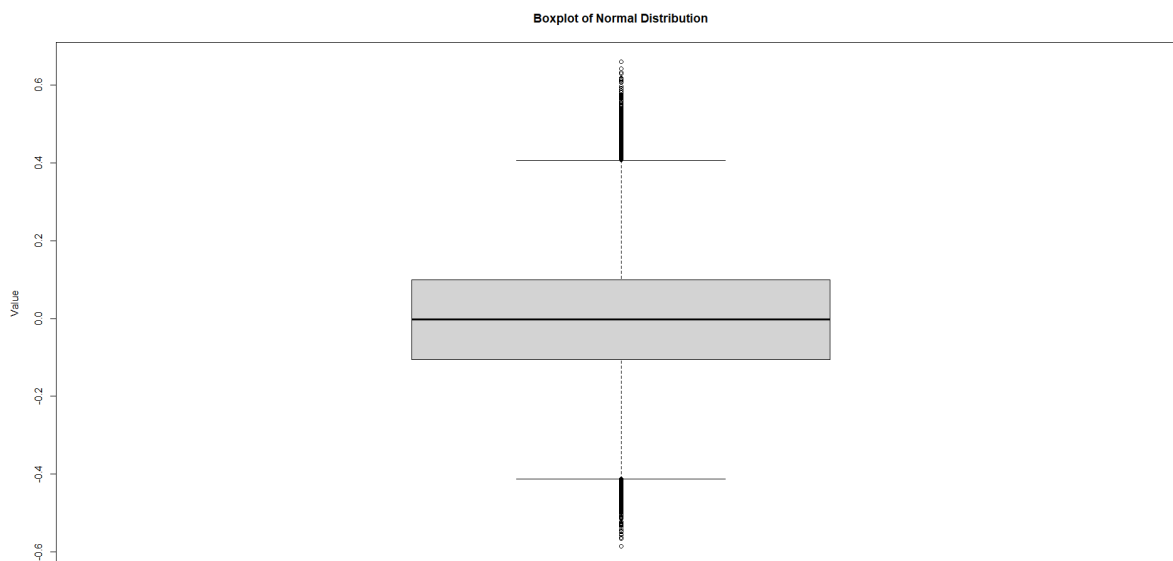


Σχήμα 4.77. Ιστογράμματα κατανομής συχνοτήτων για κάθε έτος καταγραφής 1979 -2018 μαζί με το διάγραμμα πυκνότητας, Λιμένας Λαυρίου.

Η διάμεση τιμή βρίσκεται κοντά στα 0.0 m, γεγονός που δείχνει ότι οι μισές τιμές της στάθμης της θάλασσας βρίσκονται πάνω και οι μισές κάτω από αυτό το σημείο. Το ενδοτεταρτημοριακό εύρος (IQR εκτείνεται από περίπου -0.1 m έως 0.1 m υποδεικνύοντας ότι το 50% των μετρήσεων της στάθμης της θάλασσας βρίσκεται εντός αυτού του εύρους. Αυτό το στενό εύρος αντανακλά ένα συνεπές και σταθερό πρότυπο στάθμης της θάλασσας για τα δεδομένα. Τα whiskers εκτείνονται σε περίπου -0,4 m και 0,4, αποτυπώνοντας το τυπικό εύρος των τιμών της στάθμης της θάλασσας. Πέρα από αυτά τα όρια, υπάρχουν αρκετές τιμές, οι οποίες αντιπροσωπεύουν ακραίες τιμές στάθμης θάλασσας που εμφανίζονται λιγότερο συχνά (Σχήμα 4.78).

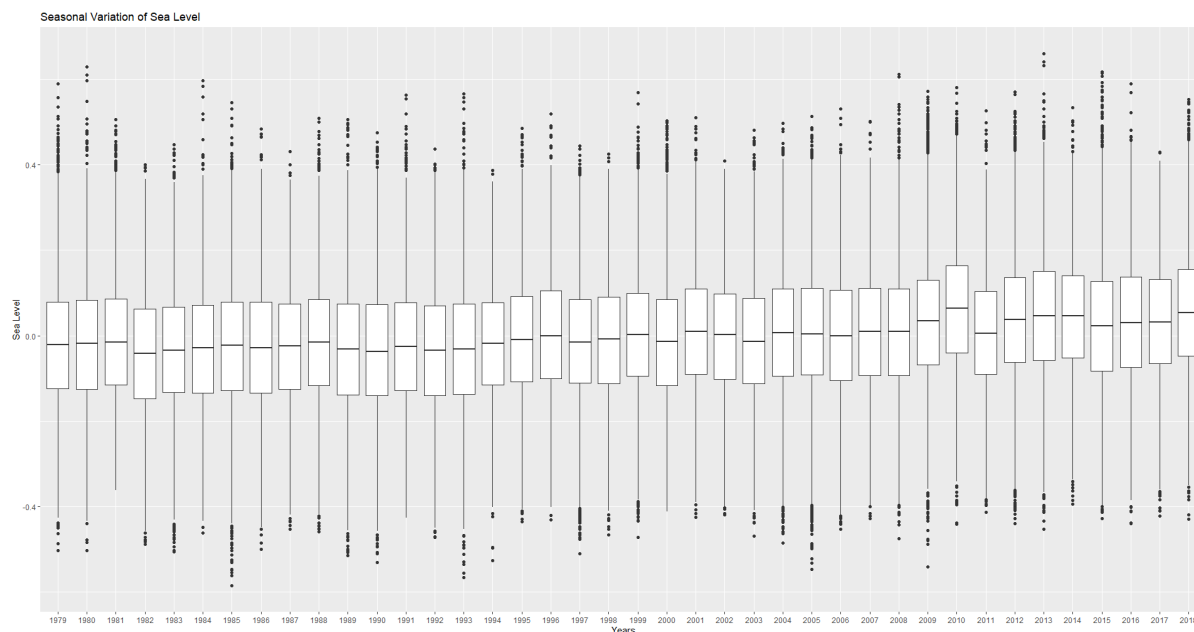
Συνολικά, για τα ετήσια θηκογράμματα (Σχήμα 4.79), η διάμεση στάθμη της παρουσιάζει μικρές διακυμάνσεις από έτος σε έτος με μια σταδιακή ανοδική τάση να είναι ορατή τα τελευταία χρόνια υποδεικνύοντας μια αργή άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας. Τα σταθερά μεγέθη των πλαισίων και η συμμετρία των περισσότερων κατανομών υποδηλώνουν μια ισορροπημένη διακύμανση της στάθμης

της θάλασσας. Ωστόσο η ελαφρά αύξηση των μέσων επιπέδων με την πάροδο του χρόνου υποδηλώνει την επίδραση μακροπρόθεσμων τάσεων. Συνολικά το ενδοετηρημοριακό εύρος είναι αρκετά σταθερά σε μέγεθος μεταξύ των ετών, υποδεικνύοντας σχετικά σταθερή μεταβλητότητα της θαλάσσιας στάθμης κατά τη διάρκεια της περιόδου των καταγραφών. Όσον αφορά τις ακραίες τιμές για το άνω άκρο φαίνεται ότι αυξάνονται οι εμφανίσεις σε σχέση με κατώτερο άκρο υποδηλώνοντας πρώτον μια μέτρια συχνότητα ακραίων επεισοδίων για την περίοδο καταγραφής των δεδομένων και δεύτερον μια μακροπρόθεσμη αυξητική τάση.



Σχήμα

4.78. Boxplot συνολικά για όλα τα έτη καταγραφής 1979 – 2018.



Σχήμα 4.79 Box Plot με τις Συνολικές Μεταβολές θαλάσσιας Στάθμης για κάθε έτος 1979 – 2018.

Συναρτήσεις Πιθανότητων

A. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF):

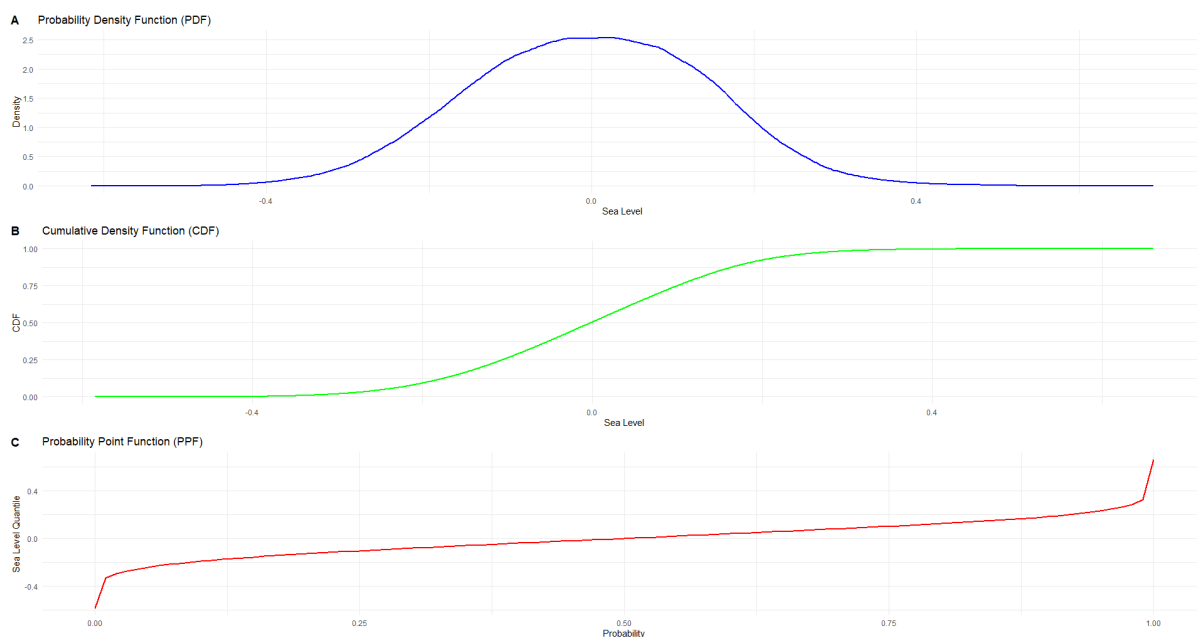
Η καμπύλη είναι καμπανοειδής που υποδηλώνει μια σχεδόν κανονική κατανομή, η κορυφή του διαγράμματος εμφανίζεται στο 0 m. Το συμμετρικό σχήμα του διαγράμματος υποδηλώνει ισορροπημένη πιθανότητα τιμών γύρω από τη μέση τιμή. Οι περισσότερες τιμές της στάθμης της θάλασσας συγκεντρώνονται μεταξύ -0,4 μέτρων και 0,4 μέτρων με την υψηλότερη πυκνότητα να συγκεντρώνεται μεταξύ -0,2 μέτρα και 0,2 μέτρα ενώ ελαττώνονται ως προς τις ουρές. Τέλος υπάρχει ομαλή απόκλιση και στα δύο άκρα καθώς οι ακραίες τιμές (τόσο αρνητικές όσο και θετικές) κοντά στα -0,2 και 0,4 μέτρα έχουν πολύ χαμηλές πυκνότητες.

B. Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (CDF)

Το CDF δείχνει τη σωρευτική πιθανότητα να είναι η στάθμη της θάλασσας κάτω από ένα δεδομένο όριο. Ξεκινώντας κοντά στο 0,0 για τα επίπεδα της θάλασσας στα 0,4 μέτρα, η καμπύλη αυξάνεται απότομα μεταξύ 0,5 και 0,7 μέτρων, όπου συγκεντρώνονται τα περισσότερα δεδομένα. Στα 0,6 μέτρα, η αθροιστική πιθανότητα είναι περίπου 0,5, επιβεβαιώνοντας ότι η τιμή αυτή αντιπροσωπεύει τη διάμεσο του συνόλου δεδομένων. Μέχρι τη στιγμή που η καμπύλη πλησιάζει τα 0,8 μέτρα, η αθροιστική πιθανότητα φτάνει κοντά στο 1,0, υποδεικνύοντας ότι σχεδόν τα περισσότερα δεδομένα εμπίπτουν σε αυτό το εύρος. Η εξομάλυνση καμπύλη ως προς τις ουρές υποδεικνύει ότι οι ακραίες τιμές έχουν χαμηλή πιθανότητα ύπαρξης.

C. Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (PDF)

Η συνάρτηση σημείου πιθανότητας προσδιορίζει την τιμή της θαλάσσιας στάθμης που αντιστοιχεί σε μια δεδομένη αθροιστική πιθανότητα και παρουσιάζει μια ομαλή, συνεχή αύξηση. Στο 10ο εκατοστημόριο, η στάθμη της θάλασσας είναι περίπου 0,5 μέτρα, υποδεικνύοντας ότι το 10% των παρατηρήσεων πέφτει κάτω από αυτό το επίπεδο. Η διάμεσος αντιστοιχεί σε θαλάσσια στάθμη 0,6 μέτρα σύμφωνα με τις αναλύσεις PDF και CDF. Στο 90ο εκατοστημόριο η στάθμη της θάλασσας είναι περίπου 0,7 μέτρα, που σημαίνει ότι το 90% των παρατηρούμενων τιμών είναι κάτω από αυτό το όριο. Η ομαλή εξέλιξη του PPF υποδηλώνει μια ομοιόμορφη κατανομή χωρίς απότομες αλλαγές, ή ακραίες τιμές.



Σχήμα 4.80. Οι PDF: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (μπλε καμπύλη), CDF Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (πράσινη καμπύλη), PPF: Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (κόκκινη καμπύλη). για τα έτη των καταγραφών 1979 – 2018.

Ηράκλειο

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ (Δεκ.Λεπτά Μοίρας)
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	35° 50' 38".90	25° 52' 41".78

Αποτελέσματα από τα δεδομένα της Υδρογραφικής Υπηρεσίας .

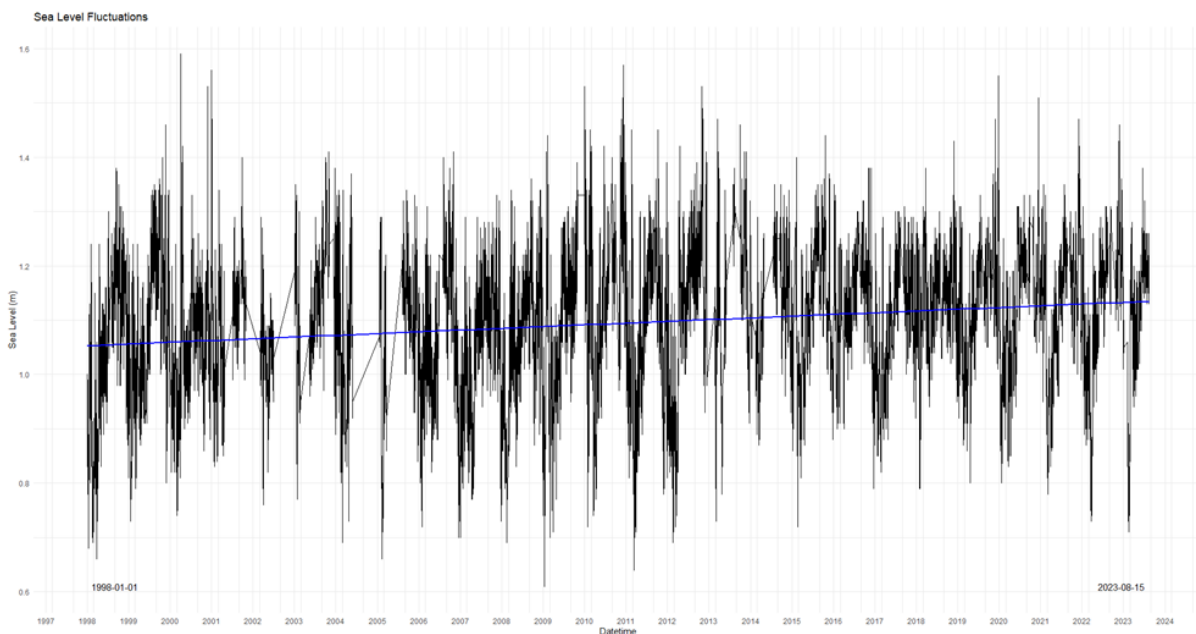
Πίνακας Στατιστικών για τον Λιμένα Ηρακλείου

Descriptive Statistics Heraklion Port							
Variable	Count (n)	Min	1 st Qu.	Median or 2 nd Qu.	Mean	3 rd Qu	Max
ERA5 REANALYSIS-TOTAL WATER LEVEL	171.738	0.160	0.560	0.660	0.645	0.730	1.140
Descriptive Statistics Heraklion Port							
					Percentiles		
Variable	Std.Dev.	Obs. Range (min-max)	Variance		0.90%	0.95%	0.99%

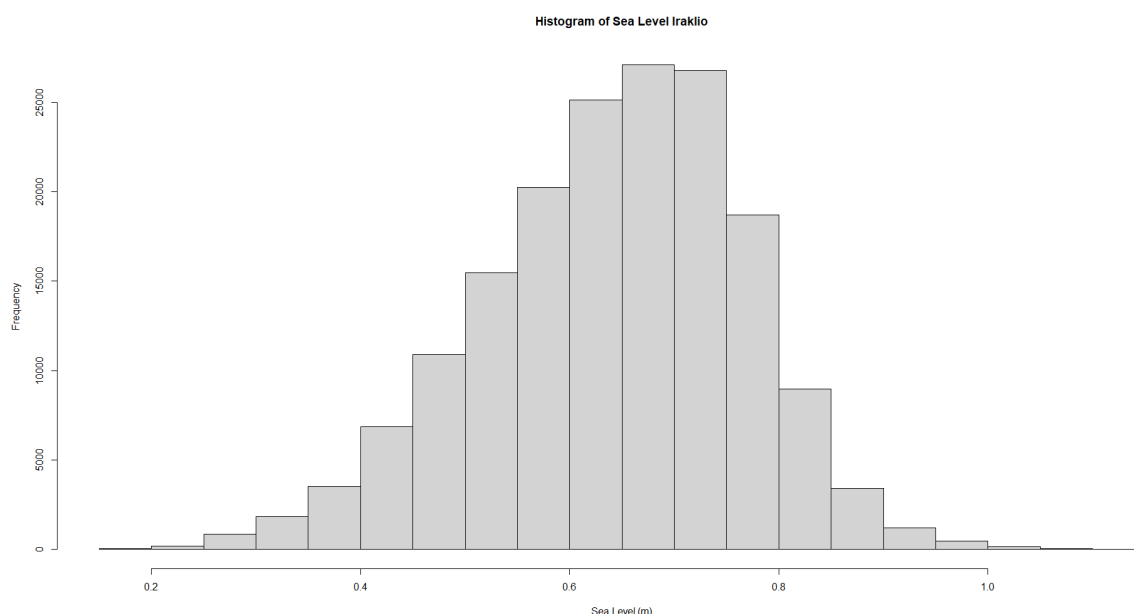
ERA5 REANALYSIS- TOTAL WATER LEVEL	0.124723	0.98	0.0155558	0.79	0.83	0.91
--	----------	------	-----------	------	------	------

Η χρονοσειρά με τα δεδομένα της Υδρογραφικής Υπηρεσίας δίνεται στο Σχήμα 4.81.

Το ιστόγραμμα (Σχήμα 4.82) παρουσιάζει συμμετρική καμπανοειδή κατανομή, υποδηλώνοντας ότι η πλειοψηφία των μετρήσεων της στάθμης της θάλασσας κυμαίνεται γύρω από μια κεντρική τιμή με λιγότερα περιστατικά εξαιρετικά χαμηλών ή υψηλών μεταπτώσεων της θαλάσσιας στάθμης. Η κεντρική τάση η κορυφή του ιστογράμματος εμφανίζει την τιμή 1.10 m καταδεικνύοντας ότι κατά την χρονική περίοδο 1998-2023 οι περισσότερες καταγραφές κυμάνθηκαν γύρω από αυτή την τιμή. Το εύρος, με ελάχιστη καταγεγραμμένη τιμή 0.61 m και μέγιστη καταγραφή τα 1.5 m, βρέθηκε να είναι 0.98 m ωστόσο για τον υπολογισμό του υπεισέρχονται μόνο δύο τιμές, οι πλέον ακραίες με αποτέλεσμα να μην φανερώνει την μεταβλητότητα των υπολοίπων. Επιπλέον η διασπορά (0.0155) δηλώνει μέτρια διακύμανση της θαλάσσιας στάθμης. Επίσης η κατανομή εμφανίζεται σχετικά συμμετρική, χωρίς έντονη λοξότητα προς τις δύο πλευρές. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες χαμηλότερες και υψηλότερες τιμές, αν και είναι σπάνιες, οι οποίες υποδηλώνουν περιστασιακές ακραίες συνθήκες στάθμης της θάλασσας και που οφείλονται σε μετεωρολογικούς παράγοντες. Συνολικά το ιστόγραμμα υποδηλώνει ότι η στάθμη της θάλασσας στο Ηράκλειο είναι σχετικά σταθερή, κυμαινόμενη γύρω από έναν κεντρικό μέσο όρο 1.10 μέτρων, με σπάνια περιστατικά πολύ χαμηλών ή υψηλών διακυμάνσεων.

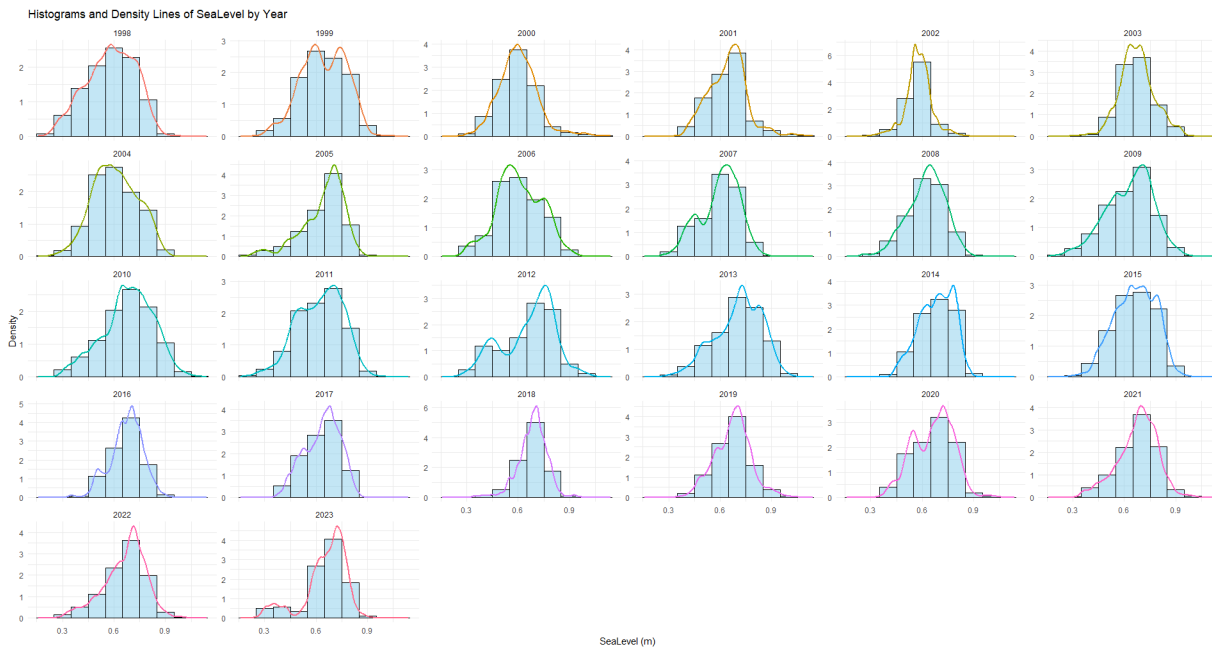


Σχήμα 4.81. Η χρονοσειρά για τα έτη καταγραφής 1990 – 2022 μαζί με την τάση (μπλε γραμμή).



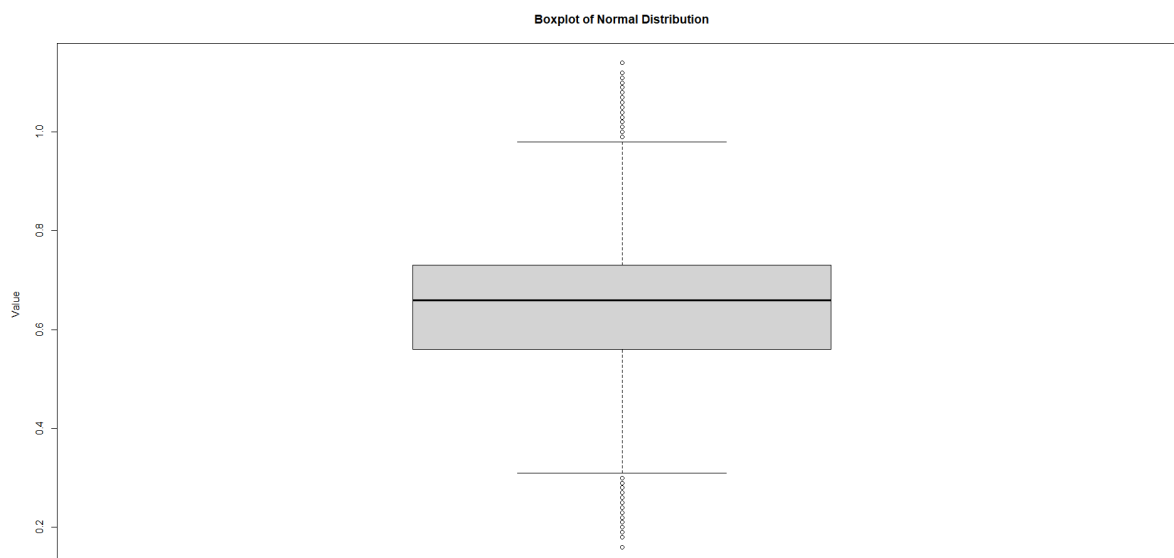
Σχήμα 4.82 Ιστόγραμμα κατανομής συχνοτήτων της Θαλάσσιας Στάθμης (Μικτή Παλίρροια) για τα έτη 1998 – 2023, Λιμένας Ηρακλείου.

Στο Σχήμα 4.83, φαίνεται ότι για τα περισσότερα έτη, η κορυφή της κατανομής βρίσκεται γύρω στο 1,0 μέτρο γεγονός που υποδηλώνει μια σταθερή στάθμη θάλασσας σε όλο το σύνολο των δεδομένων. Παρατηρούνται μικρές μετατοπίσεις στη θέση της κορυφής με ορισμένα έτη, όπως το 2007 και το 2015, να εμφανίζουν ελαφρώς χαμηλότερες κεντρικές τιμές. Το συνολικό σχήμα των κατανομών είναι κατά κύριο λόγο καμπανοειδές, υποδεικνύοντας συμμετρία και υποδηλώνοντας ότι τα δεδομένα ενδέχεται να ακολουθούν μια κανονική κατανομή. Ωστόσο, ορισμένα έτη, όπως το 2005, παρουσιάζουν ευρύτερες ή ελαφρώς λοξές κατανομές, υποδηλώνοντας αποκλίσεις. Ενώ η κεντρική τάση εμφανίζεται σταθερή με την πάροδο του χρόνου, είναι εμφανείς οι λεπτές διακυμάνσεις της διασποράς και της κύρτωσης μεταξύ των ετών. Αυτό υποδηλώνει ότι αν και η μέση στάθμη της θάλασσας παραμένει σταθερή, υπάρχει διαχρονική μεταβλητότητα. Για παράδειγμα οι στενότερες κατανομές το 2003 και το 2010 υποδηλώνουν μικρότερη μεταβλητότητα ενώ τα πιο πλατιά ιστογράμματα το 2008 και το 2020 υποδηλώνουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα κατά τη διάρκεια αυτών των ετών. Οι γραμμές πυκνότητας επιβεβαιώνουν ότι τα περισσότερα επίπεδα της θάλασσας συγκεντρώνονται μεταξύ 0,5 και 1,5 m, με σχετικά στενές κορυφές που υποδηλώνουν την έλλειψη ακραίων τιμών ή σημαντικών ακραίων τιμών.



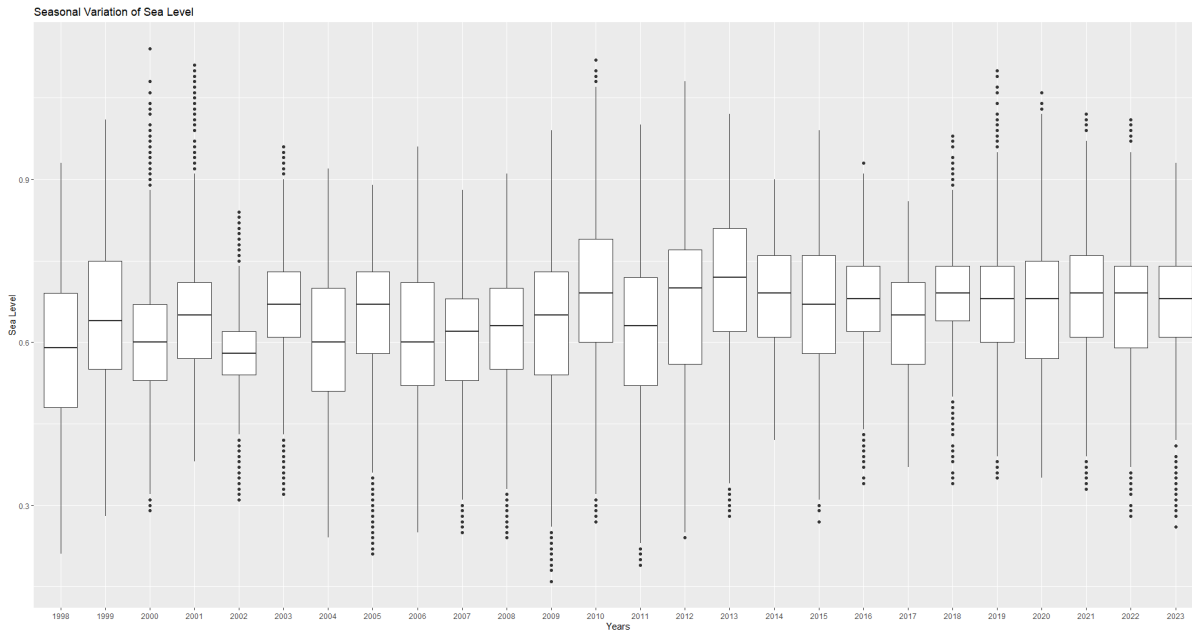
Σχήμα 4.83. Ιστογράμματα κατανομής συχνοτήτων για κάθε έτος καταγραφής 1998- 2023 μαζί με το διάγραμμα πυκνότητας, Λιμένας Ηρακλείου

Η διάμεση τιμή για τη στάθμη της θάλασσας δεν εμφανίζεται απόλυτα κεντραρισμένη εντός του διατεταρτημοριακού εύρους (IQR). Αντίθετα, βρίσκεται ελαφρώς πιο κοντά στο άνω τεταρτημόριο υποδηλώνοντας μια μικρή λοξότητα στην κατανομή. Συγκεκριμένα αυτό υποδηλώνει ότι το κατώτερο 50% των δεδομένων (από το ελάχιστο έως τη διάμεσο) είναι περισσότερο διασκορπισμένο από το ανώτερο 50%. Αυτή η μικρή ασυμμετρία υποδηλώνει ότι η κατανομή μπορεί να μην είναι απόλυτα συμμετρική, αλλά μάλλον ελαφρώς λοξή προς τις χαμηλότερες τιμές. Μια τέτοια παρατήρηση θα μπορούσε να υποδηλώνει ότι οι χαμηλότερες τιμές της στάθμης της θάλασσας εμφανίζονται με ελαφρώς μεγαλύτερη μεταβλητότητα σε σύγκριση με τις υψηλότερες τιμές της στάθμης της θάλασσας. Το συνολικό εύρος των δεδομένων, που εκτείνεται από τις ελάχιστες έως τις μέγιστες τιμές είναι περίπου 0,2 μέτρα έως 1,1 μέτρα γεγονός που υποδηλώνει ότι οι περισσότερες διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας καταγράφονται εντός αυτού του εύρους. Το ενδοτεταρτημοριακό εύρος του συνόλου δεδομένων κυμαίνεται περίπου μεταξύ 0,4 και 0,9 μέτρων. Οι ακραίες τιμές αναδεικνύουν περιστασιακές ακραίες τιμές της στάθμης της θάλασσας που αποκλίνουν από το τυπικό εύρος. Οι τιμές αυτές, αν και σπάνιες, υποδηλώνουν ότι το σύνολο δεδομένων περιλαμβάνει σπάνιες περιπτώσεις σημαντικά υψηλότερων ή χαμηλότερων επιπέδων θάλασσας (Σχήμα 4.84).



Σχήμα 4.84. Box Plot Συνολική Μεταβολή θαλάσσιας Στάθμης για την περίοδο 1998 - 2023.

Κάθε κατακόρυφο θηκόγραμμα στο Σχήμα 4.85 αντιπροσωπεύει την κατανομή των μετρήσεων της στάθμης της θάλασσας σε ένα συγκεκριμένο έτος. Τα έτη απεικονίζονται κατά μήκος του άξονα x (από το 1998 έως το 2023) και η στάθμη της θάλασσας απεικονίζεται κατά μήκος του άξονα y (κυμαίνεται από περίπου 0,8 έως 1,3). Συνολικά φαίνεται ότι οι διάμεσοι της στάθμης της θάλασσας αυξομειώνονται ελαφρώς από έτος σε έτος, αλλά δεν φαίνεται να παρουσιάζουν έντονη αυξητική ή μειωτική τάση συνολικά από το 1998 έως περίπου το 2023. Επιπλέον, τα θηκόγραμμα είναι αρκετά σταθερά σε μέγεθος μεταξύ των ετών, υποδεικνύοντας σχετικά σταθερή μεταβλητότητα της θαλάσσιας στάθμης κατά τη διάρκεια της περιόδου των καταγραφών, με περιστασιακές ακραίες εξάρσεις. Επίσης αρκετά έτη παρουσιάζουν σημαντικό αριθμό ακραίων τιμών πάνω ή κάτω από το κύριο πλαίσιο, υποδεικνύοντας γεγονότα που προκάλεσαν ασυνήθιστα υψηλά ή χαμηλά επίπεδα θάλασσας. Επιπλέον το εύρος της θαλάσσιας στάθμης ποικίλλει μεταξύ των ετών, με ορισμένα έτη (π.χ. 2010) να παρουσιάζουν μεγαλύτερη μεταβλητότητα (μεγαλύτερα στίγματα) σε σύγκριση με άλλα (π.χ. 1999, 2020). Συνεπώς το διάγραμμα υποδηλώνει ότι, ενώ υπάρχει μεταβλητότητα από έτος σε έτος, οι κατανομές της στάθμης της θάλασσας διαχρονικά διατηρούν ένα σχετικά σταθερό εύρος, εκτός από σποραδικές ακραίες τιμές.



Σχήμα 4.85. Box Plot με τις Συνολικές Μεταβολές θαλάσσιας Στάθμης για κάθε έτος 1998 – 2023.

Συναρτήσεις Πιθανοτήτων

A. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF)

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας παρουσιάζει την εκτιμώμενη πυκνότητα των τιμών της στάθμης της θάλασσας. Ο άξονας y αναπαριστά την πυκνότητα, η οποία δείχνει πόσο συγκεντρωμένες είναι οι τιμές σε συγκεκριμένες περιοχές (εύρος τιμών) των καταγραφών της θαλάσσιας στάθμης. Η κορυφή της καμπύλης υποδεικνύει τις πιο πιθανές τιμές της θαλάσσιας στάθμης, δείχνοντας πού είναι πιο συγκεντρωμένα τα σημεία δεδομένων, στο παραπάνω διάγραμμα το εύρος της στάθμης είναι από 1.10 – 1.2 το οποίο συμφωνεί και με τα προηγηθείσα στατιστικά μέτρα, υποδηλώνοντας ότι οι περισσότερες μετρήσεις της στάθμης της θάλασσας μεταξύ 1998 και 2023 εμπίπτουν σε αυτό το εύρος. Οι ουρές και στις δύο πλευρές δηλώνουν λιγότερο συχνές ακραίες τιμές της στάθμης της θάλασσας, με τιμές κοντά στα 0,7 μέτρα και πάνω από 1,5 μέτρα να είναι λιγότερο συχνές. Μια ευρύτερη διασπορά υποδηλώνει μεταβλητότητα στις τιμές της στάθμης της θάλασσας, ενώ μια πιο έντονη κορυφή υποδηλώνει ότι οι περισσότερες τιμές συγκεντρώνονται γύρω από ένα συγκεκριμένο σημείο. Το συμμετρικό σχήμα της κατανομής υποδηλώνει ότι η στάθμη της θάλασσας είναι σχετικά ισορροπημένη, χωρίς σημαντικές στρεβλώσεις στην κατανομή των τιμών. Το εμβαδόν κάτω από την καμπύλη ισούται με 1, αντιπροσωπεύοντας τη συνολική πιθανότητα.

B. Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (CDF)

Η Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας απεικονίζει τη σωρευτική πιθανότητα των τιμών της στάθμης της θάλασσας. Ο άξονας y δείχνει την αθροιστική πιθανότητα (CDF), που κυμαίνεται από 0 έως 1 και αντιπροσωπεύει το ποσοστό των δεδομένων που πέφτουν κάτω από μια ορισμένη τιμή θαλάσσιας στάθμης. Καθώς η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται, η CDF πλησιάζει το 1, με γνώμονα όλες οι τιμές της θαλάσσιας στάθμης θα ληφθούν υπόψη. Η κλίση της καμπύλης υποδεικνύει τον ρυθμό συσσώρευσης της

πιθανότητας μια απότομη κλίση υποδηλώνει μια ταχεία αύξηση της αθροιστικής πιθανότητας καθώς αυξάνεται η στάθμη της θάλασσας, ενώ μια πιο επίπεδη κλίση υποδηλώνει μια πιο αργή αύξηση. Περίπου στην τιμή 1,0 στον άξονα x , η CDF φτάνει περίπου στο 0,5 στον άξονα y , υποδηλώνοντας ότι περίπου το ήμισυ των παρατηρούμενων τιμών της θάλασσας είναι κάτω από αυτή την τιμή. Στο διάγραμμα η απότομη κλίση μεταξύ 0,8 και 1,3 μέτρων δείχνει ότι ένα σημαντικό μέρος των τιμών της στάθμης της θάλασσας βρίσκεται εντός του συγκεκριμένου εύρους. Γύρω από την περιοχή των 0.75 m η τιμή της CDF είναι κοντά στο 0, υποδεικνύοντας ότι πολύ λίγες τιμές είναι χαμηλότερες από αυτό το όριο. Μέχρι τη στιγμή που η τιμή της CDF φτάνει το 1.0 (100%), τα επίπεδα της θάλασσας έχουν φτάσει περίπου τα 1,3 μέτρα, πράγμα που σημαίνει ότι οι περισσότερες τιμές βρίσκονται κάτω από αυτό το επίπεδο.

C. Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (PPF)

Η συνάρτηση σημείου πιθανότητας είναι το αντίστροφο της συνάρτησης αθροιστικής πυκνότητας (CDF). Είναι επίσης γνωστή ως συνάρτηση τεταρτομορίων (quartiles). Για μια δεδομένη πιθανότητα, η PPF υποδεικνύει ποια τιμή της στάθμης της θάλασσας αντιστοιχεί σε αυτή την πιθανότητα. Ο άξονας y δείχνει τα σημεία της στάθμης της θάλασσας που αντιστοιχούν σε διάφορες πιθανότητες στον άξονα x . Καθώς η πιθανότητα αυξάνεται, η PPF δείχνει την αντίστοιχη τιμή της θαλάσσιας στάθμης στην εν λόγω αθροιστική πιθανότητα. Η συνάρτηση είναι μη φθίνουσα, πράγμα που σημαίνει ότι υψηλότερες πιθανότητες αποδίδουν υψηλότερες τιμές στάθμης θάλασσας. Το διάγραμμα της συνάρτησης σημείου πιθανότητας είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την κατανόηση των ορίων για συγκεκριμένες πιθανότητες, όπως το 90ο εκατοστημόριο, το οποίο υποδεικνύει τη στάθμη της θάλασσας κάτω από την οποία πέφτει το 90% των παρατηρήσεων. Η ομαλή κλίση της καμπύλης δείχνει ότι τα δεδομένα είναι ομοιόμορφα κατανομημένα για τις περισσότερες πιθανότητες (μεταξύ 0.25 και 0.75). Η ραγδαία αύξηση στο κατώτερο και ανώτερο άκρο (κοντά στις πιθανότητες 0.0 και 1.0) υποδηλώνει ότι τα ακραία επίπεδα της θάλασσας (πολύ χαμηλά ή πολύ υψηλά) εμφανίζονται λιγότερο συχνά. Για παράδειγμα, στο ανώτερο άκρο, η καμπύλη ανεβαίνει απότομα περίπου στις πιθανότητες 0.95-1.0, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα υψηλότερα επίπεδα της θάλασσας, πιο κοντά στα 1,5 μέτρα και πάνω, είναι σπάνια γεγονότα. Η συγκεκριμένη συνάρτηση χρησιμοποιείται για την εκτίμηση κινδύνου ή την ανάλυση κατωφλίων, προσδιορίζοντας συγκεκριμένα επίπεδα θάλασσας που σχετίζονται με διαφορετικές πιθανότητες εμφάνισης.



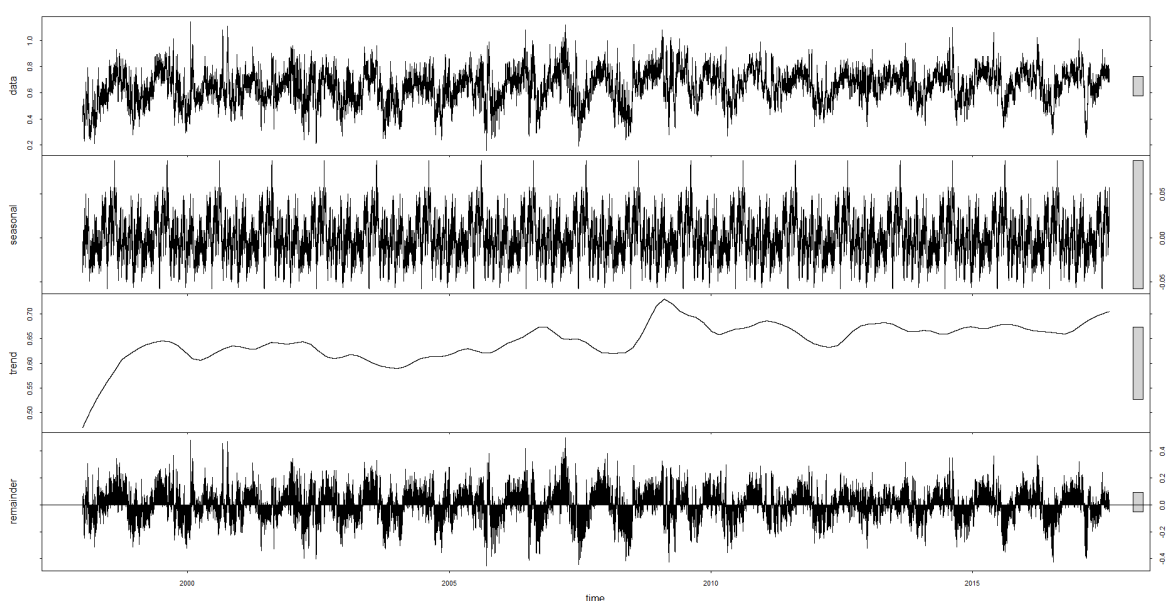
Σχήμα 4.86. Οι PDF: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (μπλε καμπύλη), CDF Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (πράσινη καμπύλη), PPF: Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (κόκκινη καμπύλη). για τα έτη των καταγραφών 1998 – 2023.

Φασματική ανάλυση

Στο Σχήμα 4.87:

- i. Το πρώτο διάγραμμα δείχνει τα αρχικά δεδομένα της στάθμης της θαλάσσιας στάθμης (raw data). Η στάθμη της θάλασσας αυξομειώνεται τακτικά, λόγω παλιρροιακών και εποχιακών επιδράσεων. Δεν υπάρχουν ορατές μακροπρόθεσμες τάσεις σε αυτό το τμήμα.
- ii. Το δεύτερο διάγραμμα αντιπροσωπεύει την εποχικότητα στα δεδομένα, η οποία δείχνει επαναλαμβανόμενα μοτίβα που εμφανίζονται σε τακτά χρονικά διαστήματα (ωριαία, ημερήσια ή ετήσια). Στην περίπτωση του Ηρακλείου, αυτές οι διακυμάνσεις αντικατοπτρίζουν περιοδικές αλλαγές στη στάθμη της θάλασσας, οι οποίες οδηγούνται από τα παλιρροιακά μοτίβα. Δίπλα στο διάγραμμα της «εποχικότητας» δίνεται η κλίμακα της εποχικής συνιστώσας. Στην εικόνα, η εποχιακή συνιστώσα κυμαίνεται γύρω στο 0 με εύρος από περίπου -0,05 έως 0,05 μέτρα. Αυτό δείχνει ότι οι εποχιακές μεταβολές της στάθμης της θάλασσας έχουν σχετικά μικρό εύρος το οποίο συμφωνεί με το παλιρροιακό αστρονομικό εύρος για τις Ελληνικές θάλασσες το οποίο κυμαίνεται με μια μέση τιμή από 10 – 20 (cm).
- iii. Το τρίτο διάγραμμα δείχνει την τάση, η οποία αντιπροσωπεύει τη μακροπρόθεσμη κίνηση της στάθμης της θάλασσας. Δείχνει αν η στάθμη της θάλασσας αυξάνεται, μειώνεται ή παραμένει σταθερή με την πάροδο του χρόνου. Από το διάγραμμα, μπορούμε να δούμε ότι υπάρχει μια γενική ανοδική τάση της θαλάσσιας στάθμης μετά το 2000, με κάποιες διακυμάνσεις στην κλίση. Η τάση κινείται αργά, και στο διάγραμμα, κυμαίνεται από περίπου 0,5 έως 0,7 μέτρα κατά τη διάρκεια της περιόδου καταγραφών. Αυτό δείχνει μια σταδιακή αύξηση της γενικής τάσης της στάθμης της θάλασσας με την πάροδο του χρόνου.

- iv. Το κάτω διάγραμμα δείχνει το υπόλοιπο των εναπομεινάντων συχνοτήτων (δηλ. αυτό που απομένει μετά την αφαίρεση της τάσης και της εποχικότητας). Η συνιστώσα του υπολοίπου αντιπροσωπεύει κάθε τυχαία διακύμανση ή θόρυβο που δεν μπορεί να αποδοθεί στην εποχικότητα ή την τάση. Φαίνεται ότι το υπόλοιπο των συχνοτήτων είναι αρκετά ευμετάβλητο, δηλαδή υπάρχουν ακανόνιστες διακυμάνσεις που δεν καταγράφονται από την τάση ή την εποχικότητα. Η κλίμακα στο διάγραμμα «Remainder» αντιπροσωπεύει τον θόρυβο ή την ανεξήγητη διακύμανση μετά την αφαίρεση της τάσης και της εποχικότητας. Τα υπόλοιπα κυμαίνονται μεταξύ περίπου -0,4 και 0,4 m. Αυτό δείχνει ότι υπάρχει σημαντικός θόρυβος ή βραχυπρόθεσμη διακύμανση στα δεδομένα. Σε αυτό το σημείο ο θόρυβος στη διακύμανση μπορεί να οφείλεται σε μετεωρολογικούς παράγοντες όπως οι καταιγίδες θυέλλης



Σχήμα 4.87 Φασματική ανάλυση χρονοσειράς για όλα τα έτη καταγραφών 1998 – 2023.

Αποτελέσματα από τα δεδομένα ERA5 Reanalysis για την περίοδο 1979 -2018.

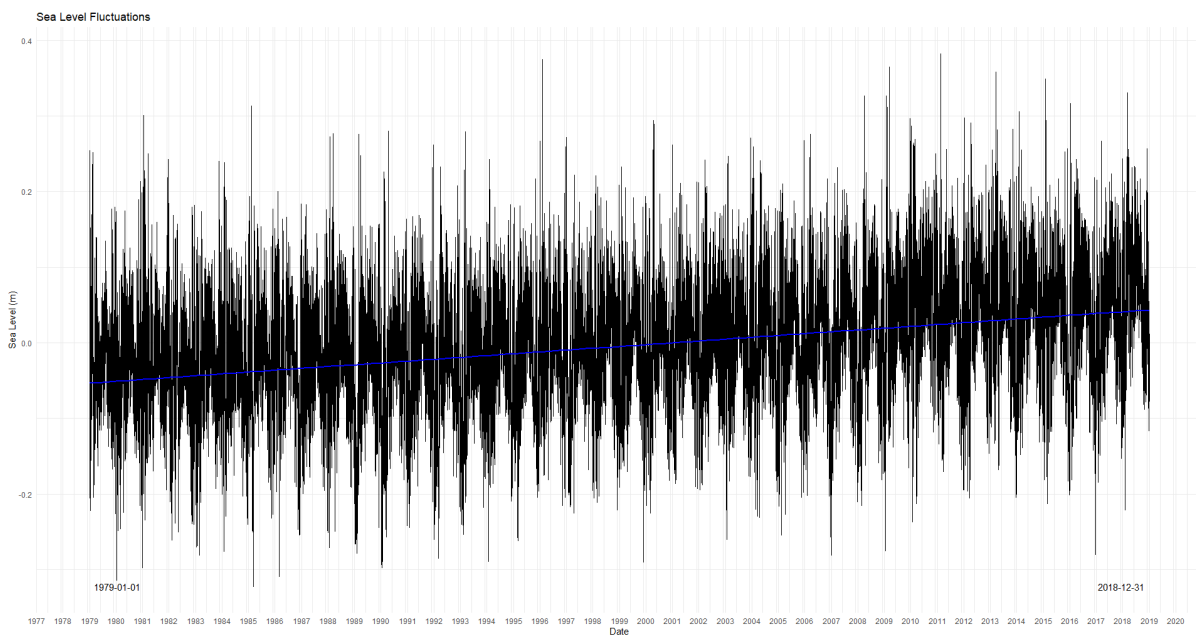
Πίνακες Στατιστικών για τον Λιμένα Ηρακλείου

Descriptive Statistics Heraklion Port							
Variable	Count (n)	Min	1 st Qu.	Median or 2 nd Qu.	Mean	3 rd Qu	Max
ERA5 REANALYSIS-TOTAL WATER LEVEL	336.030	-0.322	-0.057	-0.0040	-0.0047	0.048	0.382
Descriptive Statistics Heraklion Port							
					Percentiles		
Variable	Std.Dev.	Obs. Range (min-max)	Variance	0.90%	0.95%	0.99%	

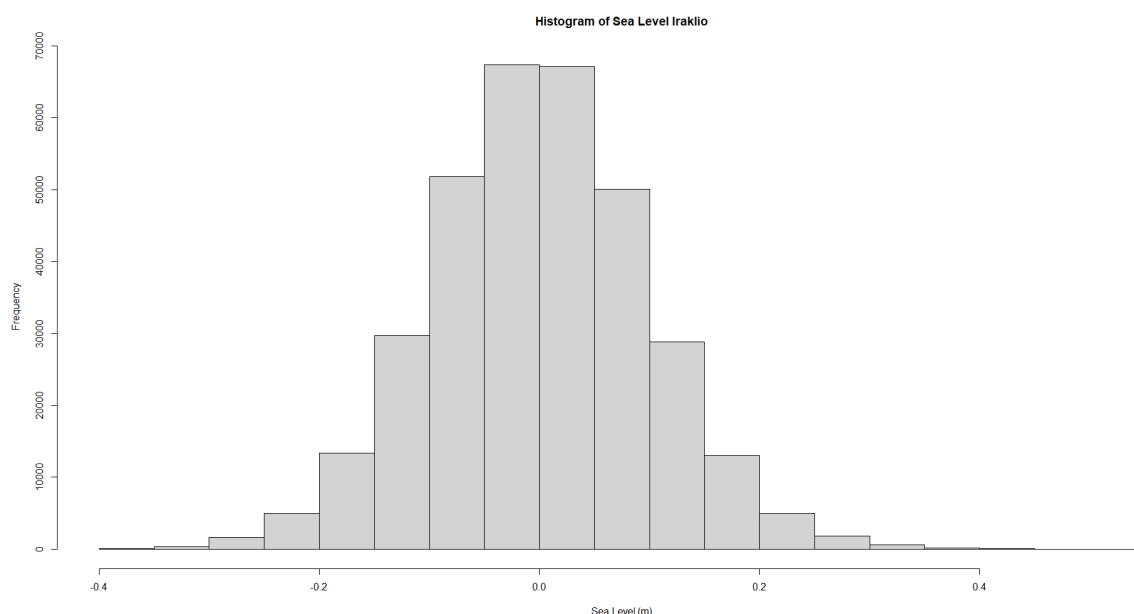
ERA5 REANALYSIS- TOTAL WATER LEVEL	0.0805327	0.704	0.0064855	0.096	0.125	0.187
---	-----------	-------	-----------	-------	-------	-------

Η χρονοσειρά για τα δεδομένα ERA5 για την περίοδο 1979 -2018 δίνεται στο Σχήμα 4.89.

Το ιστόγραμμα (Σχήμα 4.90) για τη θαλάσσια στάθμη στο Ηράκλειο απεικονίζει μια συμμετρική κατανομή σε σχήμα καμπάνας με κέντρο γύρω από τα 0 μέτρα που αντανακλά ένα κανονικό μοτίβο. Η πιο συχνά παρατηρούμενη τιμή της στάθμης της θάλασσας είναι στα 0 μέτρα, με την πλειοψηφία των τιμών να κυμαίνεται μεταξύ περίπου -0,3 μέτρα και 0,3 μέτρα. Οι ουρές του ιστογράμματος αποκλίνουν ομαλά προς τα -0,4 μέτρα και 0,4 μέτρα τονίζοντας τη σπάνια εμφάνιση ακραίων τιμών. Η κατανομή είναι σταθερή, ισορροπημένη και δεν παρουσιάζει σημαντική λοξότητα, υποδεικνύοντας ότι οι διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας γύρω από τη μέση τιμή είναι συνεπείς και προβλέψιμες.



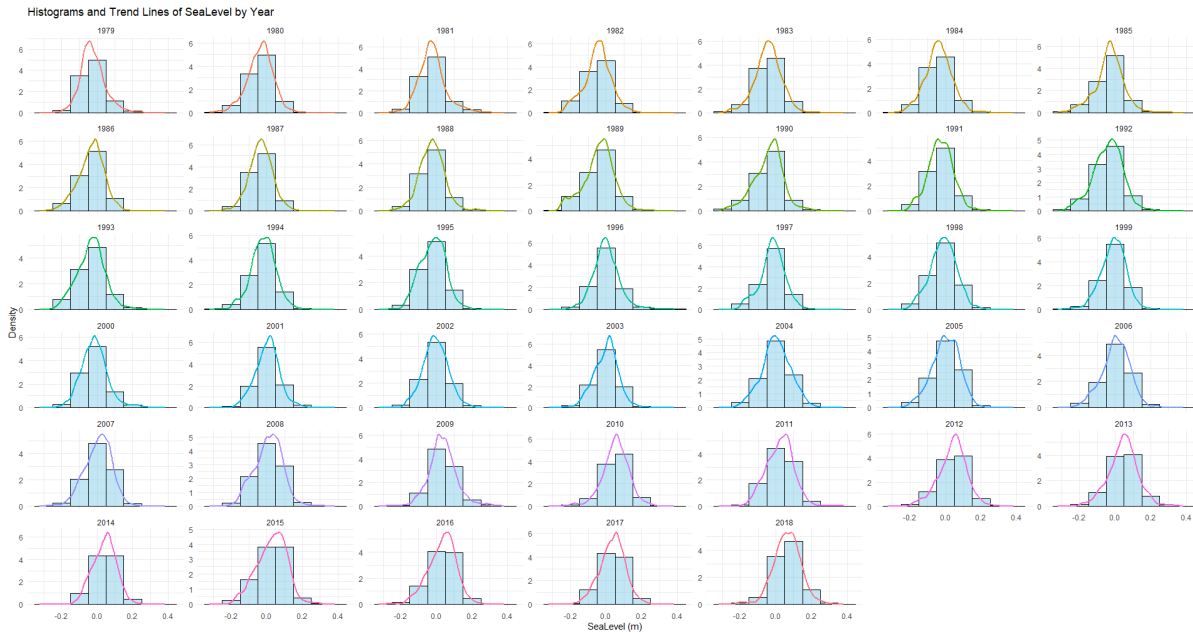
Σχήμα 4.89 Η χρονοσειρά για τα έτη καταγραφής 1979 – 2018 μαζί με την τάση (μπλε γραμμή), Λιμένας Ηρακλείου.



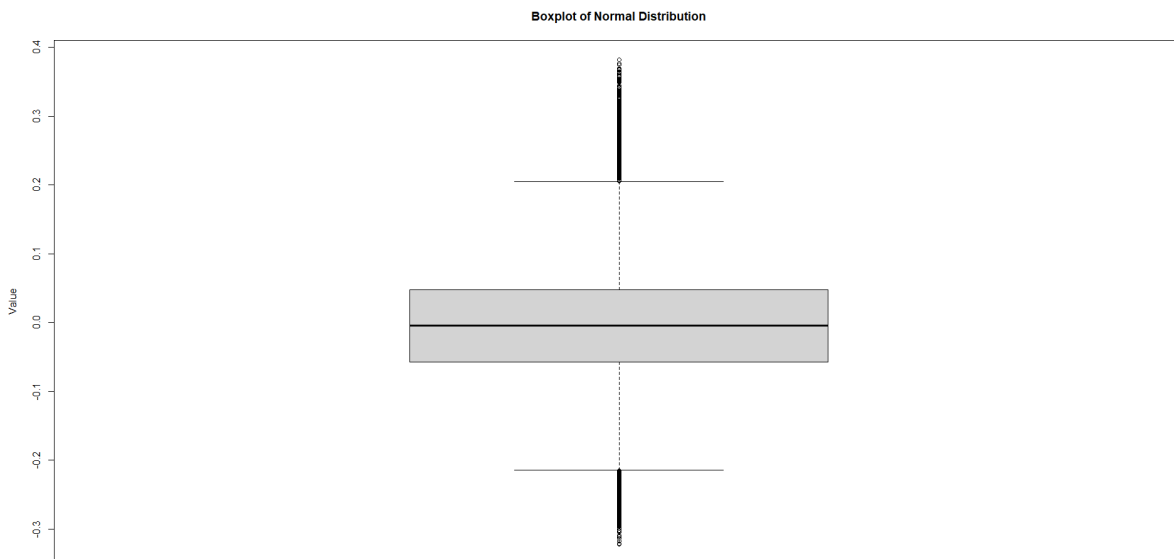
Σχήμα 4.90 Ιστόγραμμα κατανομής συχνότητας συνολικά για τη Θαλάσσια Στάθμη για τα έτη 1979 – 2018, Λιμένας Ηρακλείου.

Το Σχήμα 4.91 τα εμφανίζει ετήσια ιστογράμματα των κατανομών συχνότητας ανά έτος από το 1979 έως το 2018. Το ιστόγραμμα κάθε έτους παρουσιάζει μια συμμετρική καμπανοειδή κατανομή με κέντρο γύρω από τα 0 μέτρα με τον κύριο όγκο των δεδομένων να εμφανίζονται γύρω από αυτή την τιμή σε ένα εύρος περίπου από -0,3 μέτρα έως 0,3 μέτρα, ενώ οι ακραίες αποκλίσεις πέραν των -0,4 μέτρων και 0,4 μέτρων είναι σπάνιες. Παρατηρείται μια ελάχιστη μετατόπιση της κεντρικής τάσης, γεγονός που υποδηλώνει σταθερότητα στις αποκλίσεις της στάθμης της θάλασσας και πιθανός μια μακροπρόθεσμη αύξηση θαλάσσιας στάθμης. Στα διαγράμματα δεν παρατηρούνται σημαντικές λοξότητες ή ανωμαλίες στα δεδομένα.

Στο θηκόγραμμα του Σχήματος 4.92, η κατανομή εμφανίζεται συμμετρική γύρω από τη διάμεσο. Επίσης φαίνεται ότι η διάμεσος βρίσκεται πολύ κοντά στο 0 και το πλαίσιο (ενδοτεταρτημοριακό εύρος) εκτείνεται περίπου από -0,1 έως 0,1, παρουσιάζοντας το 50% του συνόλου των δεδομένων. Υπάρχουν αρκετά μεγάλα whiskers που εκτείνονται περίπου στο -0,4 και στο 0,4. Όσον αφορά τις ακραίες τιμές φαίνεται ότι συγκεντρώνονται τόσο στο άνω άκρος όσο στο κάτω με εμφανείς περισσότερες εμφανίσεις στο κάτω άκρο, ιδιαίτερα συγκεντρωμένες γύρω από το -0,4 και το 0,4.



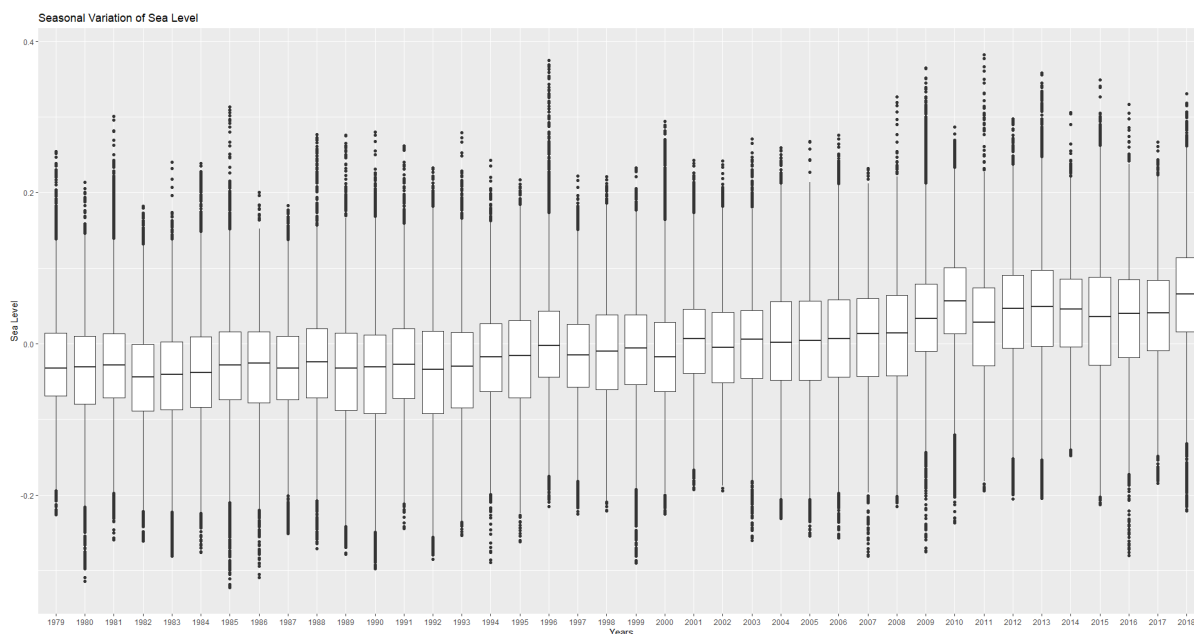
Σχήμα 4.91 Ιστογράμματα κατανομής συχνοτήτων για κάθε έτος καταγραφής 1979 -2018 μαζί με τα διάγραμματα πυκνότητας, Λιμένας Ηρακλείου.



Σχήμα 4.92 Boxplot συνολικά για όλα τα έτη καταγραφής 1979 – 2018.

Τα ετήσια θερμογράμματα του Σχήματος 4.93 παρουσιάζουν την εποχιακή διακύμανση της στάθμης της θάλασσας κατά τα έτη 1979 έως 2018. Η διάμεσος για τη στάθμη της θάλασσας παρουσιάζει μια σταδιακή ανοδική τάση, αυξάνοντας από περίπου 0.0 μέτρα στις αρχές της δεκαετίας του 1980 σε περίπου 0.1 μέτρα μέχρι το 2019, υποδεικνύοντας μια μακροπρόθεσμη άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Το διατεταρτημοριακό εύρος (IQR), το οποίο αντιπροσωπεύει το μεσαίο 50% των παρατηρήσεων, παραμένει σταθερό, εκτεινώντας περίπου από -0.1 μέτρα έως 0.1 μέτρα σε όλα τα έτη. Αυτή η σταθερότητα υποδηλώνει ότι η κεντρική διασπορά των διακυμάνσεων της στάθμης της θάλασσας δεν

έχει μεταβληθεί σημαντικά. Τα whiskers εκτείνονται από περίπου -0.2 μέτρα έως 0.2 μέτρα, παρουσιάζοντας τα περισσότερα δεδομένα ενώ παρατηρούνται ακραίες τιμές πέρα από αυτά τα εύρη και προς τις δύο κατευθύνσεις. Ο αριθμός και το εύρος των ακραίων τιμών, ιδίως στα μεταγενέστερα έτη, υποδηλώνουν σπάνια ακραία γεγονότα, αλλά δεν αποκλίνουν σημαντικά από τις ιστορικές τάσεις



Σχήμα 4.93. Box Plot με τις Ετήσιες Μεταβολές θαλάσσιας Στάθμης για κάθε έτος 1979 – 2018.

Συναρτήσεις Πιθανοτήτων

A. Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (PDF)

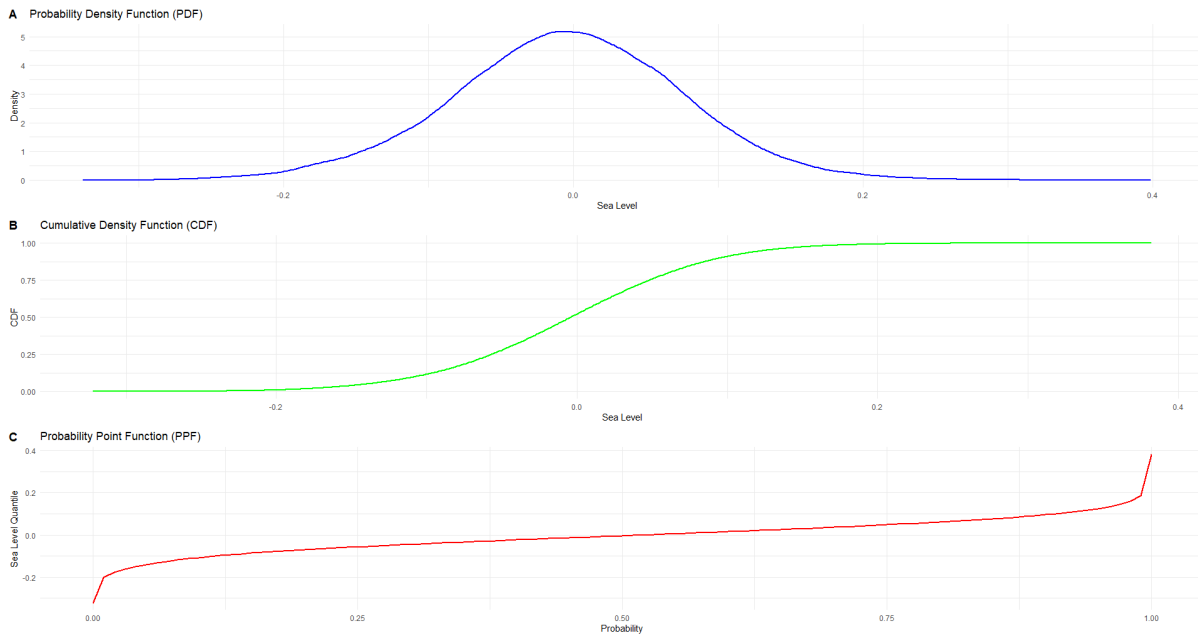
Η PDF εμφανίζει μια συμμετρική καμπύλη σε σχήμα καμπάνας, με κορυφή περίπου στα 0.0 μέτρα, υποδεικνύοντας ότι αυτή είναι η πιο συχνά παρατηρούμενη στάθμη της θάλασσας. Η κατανομή εκτείνεται από περίπου -0.2 μέτρα έως 0.2 μέτρα, με τις ουρές να αποκλίνουν ομαλά, αντανακλώνοντας τη σπανιότητα των ακραίων αποκλίσεων. Αυτό το ισορροπημένο σχήμα αναδεικνύει τη συνέπεια και τη συμμετρία των διακυμάνσεων της στάθμης της θάλασσας για τα έτη των καταγραφών.

B. Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (CDF)

Η CDF δείχνει τη σωρευτική πιθανότητα της στάθμης της θάλασσας κάτω από ένα δεδομένο όριο. Στα -0.2 μέτρα, η αθροιστική πιθανότητα αρχίζει κοντά στο 0.0 , ενώ φτάνει το 0.5 στα 0.0 μέτρα, επιβεβαιώνοντας ότι πρόκειται για τη διάμεση στάθμη της θάλασσας. Μέχρι τα 0.2 μέτρα, η αθροιστική πιθανότητα πλησιάζει το 1.0 , υποδεικνύοντας ότι σχεδόν όλες οι παρατηρήσεις εμπίπτουν σε αυτό το εύρος. Η πιο απότομη άνοδος εμφανίζεται μεταξύ -0.1 μέτρων και 0.1 μέτρων υποδηλώνει ότι οι περισσότερες τιμές βρίσκονται γύρω από τη μέση στάθμη της θάλασσας. Η καμπύλη ισοπεδώνεται προς τα άκρα, επιβεβαιώνοντας ότι οι τιμές κάτω από -0.3 μέτρα ή πάνω από 0.4 μέτρα είναι σπάνιες.

C. Συνάρτηση πιθανοτήτων (PPF):

Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (PPF): Η PPF απεικονίζει τις πιθανότητες στη στάθμη της θάλασσας, δείχνοντας μια ομαλή, γραμμική εξέλιξη. Στο 10ο εκατοστημόριο, η στάθμη της θάλασσας είναι περίπου στα -0.1 μέτρα-, στο 50ο εκατοστημόριο, στη διάμεσο είναι 0.0 στα μέτρα- και στο 90ο εκατοστημόριο η στάθμη της θάλασσας είναι περίπου 0.1 μέτρα. Αυτή η σταθερή κλίση επιβεβαιώνει την απουσία απότομων ανωμαλιών ή ακραίων διακυμάνσεων, υπογραμμίζοντας την προβλεψιμότητα πιθανοτήτων της κατανομής.



Σχήμα 4.94. Οι PDF: Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας (μπλε καμπύλη), CDF Συνάρτηση αθροιστικής πυκνότητας (πράσινη καμπύλη), PPF: Συνάρτηση σημείου πιθανότητας (κόκκινη καμπύλη). για τα έτη των καταγραφών 1979 – 2018.

5 Μελλοντικές κλιματικές συνθήκες

Η ανάλυση των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών γίνεται με γνώμονα τον προσδιορισμό των κλιματικών κινδύνων (climate hazards) και των ορίων υπερβάσεων αυτών (extreme thresholds), ώστε να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου στην αποτίμηση της κλιματικής επικινδυνότητας (risk assessments) στα λιμάνια μελέτης.

5.1 Μελλοντικές ανεμολογικές συνθήκες

Στα διαγράμματα που ακολουθούν, παρουσιάζεται η ανάλυση των περιόδων επαναφοράς για τις τιμές της έντασης του ανέμου. Σημειώνεται ότι οι καμπύλες που έχουν παραχθεί, θα χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της μεταβολής της συχνότητας εμφάνισης των ακραίων εντάσεων στο μελλοντικό κλίμα σε σύγκριση με τις υφιστάμενες συνθήκες.

Παρουσιάζονται τα δεδομένα ανά λιμάνι. Σε κάθε λιμάνι δίνονται 6 διαγράμματα αποτελούμενα από οικογένειες καμπυλών περιόδων επαναφοράς που αντιστοιχούν σε:

- Δύο μελλοντικές περιόδους, 2021-2040 και 2041-2060
- Τρία μελλοντικά σενάρια κλιματικής αλλαγής, RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5
- Εννέα προσομοιώσεις κλιματικών μοντέλων της πρωτοβουλίας EURO-CORDEX, τα hirham5-icearth, racmo22e-cnrm, ramco22e-mohc, rca4-icearth, rca4-mohc, rca4-mpi.

Σημειώνεται ότι σε κάθε διάγραμμα, παρουσιάζεται και η καμπύλη περιόδων επαναφοράς για το παρόν κλίμα, όπως έχει προκύψει από τα αποτελέσματα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης με δυναμικό υποβιβασμό κλίμακας, όπως περιγράφονται στη μεθοδολογία της παρούσας έκθεσης. Οι καμπύλες αυτές αποτελούν τις καμπύλες αναφοράς με τις οποίες συγκρίνονται οι προσομοιώσεις των κλιματικών μοντέλων σε κάθε διάγραμμα, αντίστοιχα.

Αναλυτικά, στα ακόλουθα διαγράμματα περιλαμβάνονται:

- ο Δυναμική υποβάθμιση 1990-2022 (Μαύρη συνεχής γραμμή): Αυτή η γραμμή αντιπροσωπεύει τις περιόδους επαναφοράς της ταχύτητας του ανέμου που προκύπτουν από τα δεδομένα της αναδρομικής ανάλυσης ERA5. Χρησιμεύει ως αναφορά για τη σύγκριση των ιστορικών και μελλοντικών προβλέψεων των μοντέλων.
- ο Ιστορική περίοδος 1971-2005 (Συνεχείς έγχρωμες γραμμές): Απεικονίζουν τις περιόδους επαναφοράς της ταχύτητας του ανέμου από τα έξι μοντέλα EURO-CORDEX κατά την ιστορική περίοδο.
- ο Μελλοντική περίοδος 2021-2040 ή 2041-2060 (Διακεκομμένες έγχρωμες γραμμές): Απεικονίζουν τις προβολές για τις δύο μελλοντικές περιόδους υπό τα τρία διαφορετικά σενάρια.

Αλεξανδρούπολη

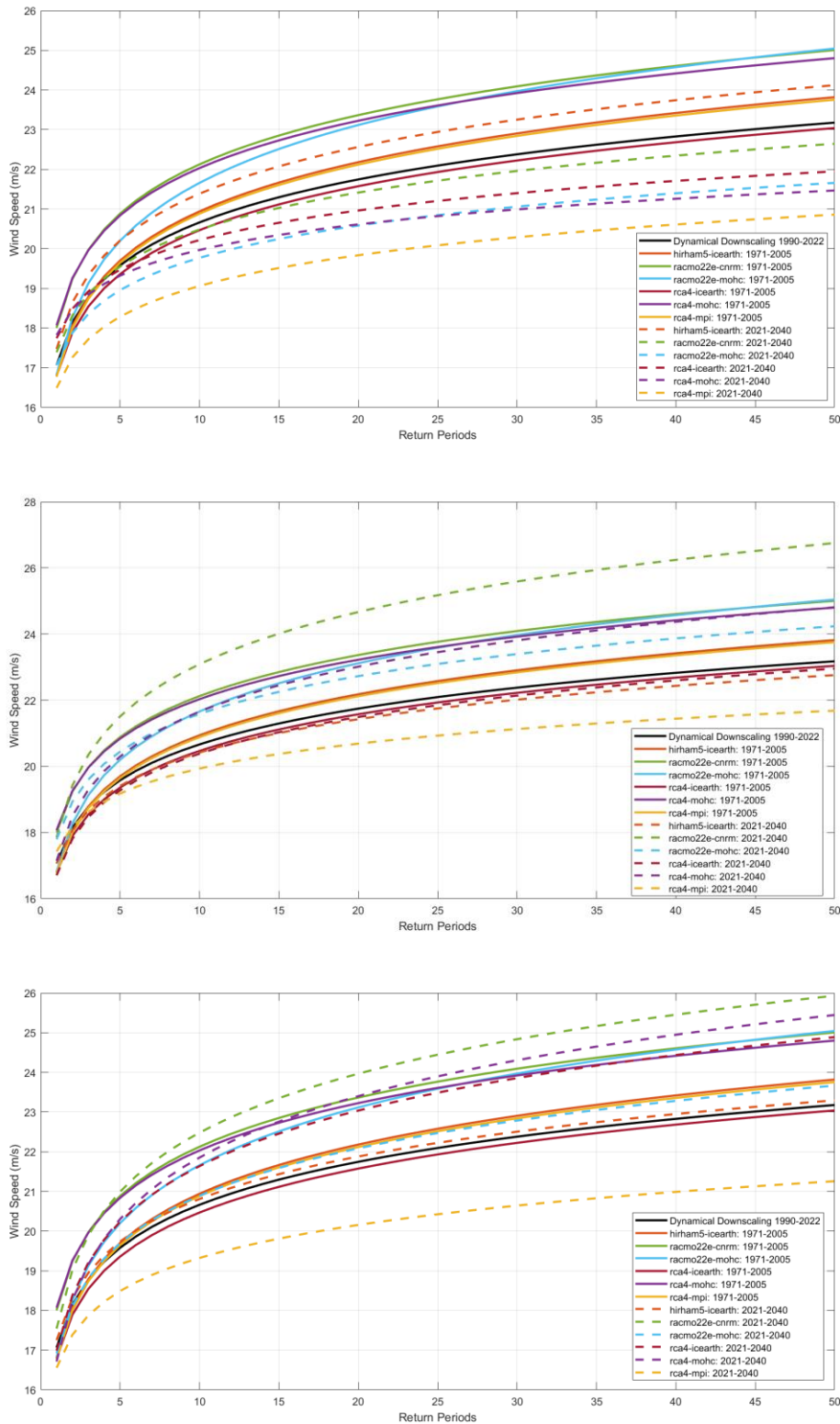
Με βάση τα διαθέσιμα σενάρια (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) για τις μελλοντικές περιόδους 2021-2040 (Σχήμα 5.1) και 2041-2060 (Σχήμα 5.2), παρατηρούνται τα εξής:

Για το σενάριο RCP2.6 (2021-2040 & 2041-2060), η ένταση του ανέμου για τις περισσότερες καμπύλες περιόδους επαναφοράς παραμένει σχεδόν σταθερή σε σχέση με την ιστορική περίοδο που αποδίδεται στο θετική επίδρασή του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής το σενάριο αυτό.

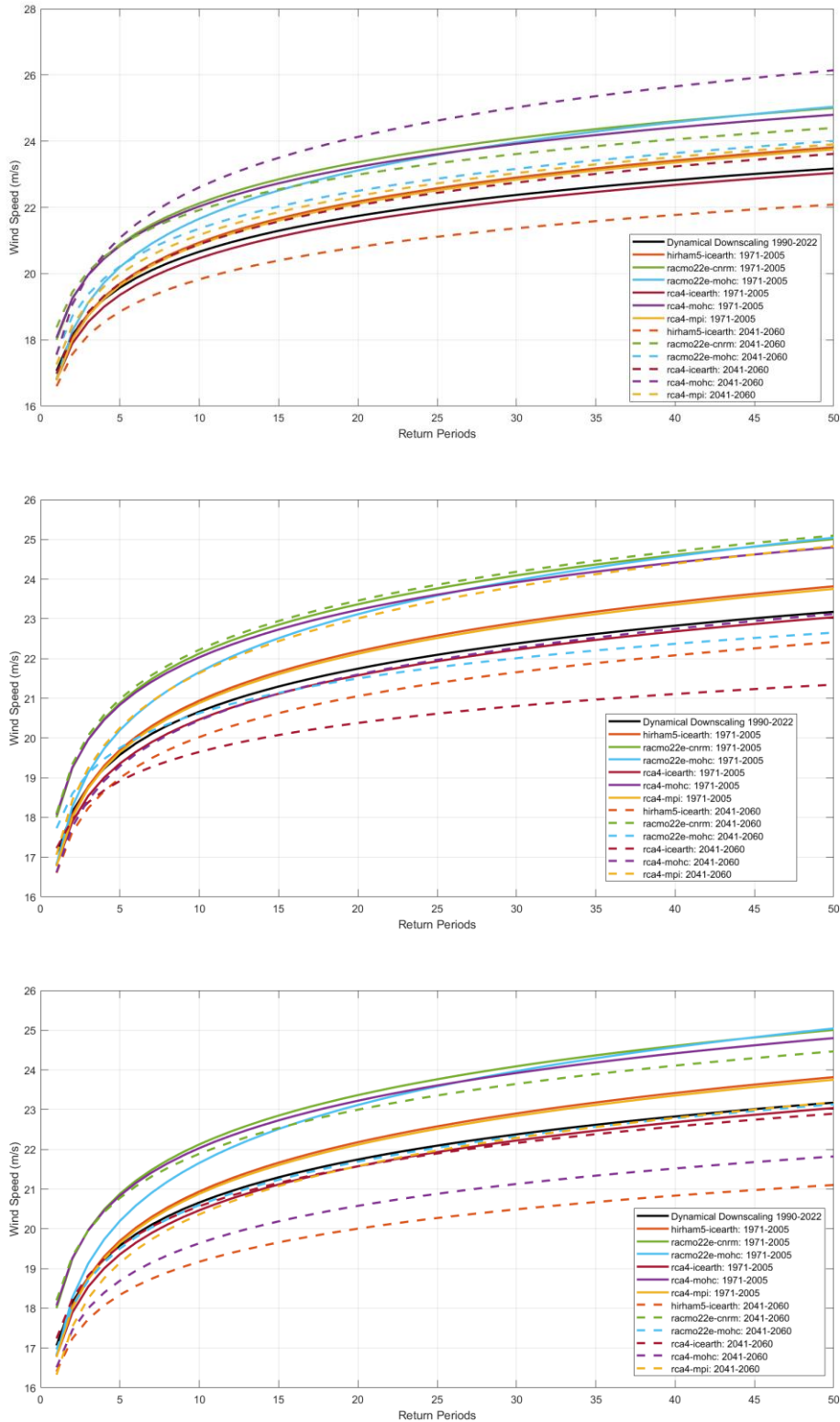
Για το σενάριο RCP4.5 (2021-2040 & 2041-2060), υπάρχει μία ελαφρά αυξητική τάση στις μέγιστες εντάσεις του ανέμου, ιδιαίτερα στις μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς (π.χ., >25 έτη), η οποία παρόλο που δεν είναι δραματική, δείχνει τις επιπτώσεις ενός μέτριου σεναρίου εκπομπών.

Για το σενάριο RCP8.5 (2021-2040 & 2041-2060), εμφανίζεται σημαντική αύξηση στις εντάσεις του ανέμου για μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, κυρίως κατά τη δεύτερη μελλοντική περίοδο (2041-2060). Υπενθυμίζεται ότι για το σενάριο αυτό οι μελλοντικές προβολές δείχνουν τις σοβαρές επιπτώσεις του μη περιορισμού της αύξησης εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Από τη σύγκριση των δύο μελλοντικών περιόδων βλέπουμε ότι κατά την περίοδο 2021-2040, η μεταβολή στην ένταση του ανέμου είναι μικρότερη και για τα τρία σενάρια. Η διαφορά μεταξύ τους είναι περιορισμένη, ενώ κατά την περίοδο 2041-2060 οι διαφοροποιήσεις γίνονται πιο έντονες, με το RCP8.5 να ξεχωρίζει λόγω των αυξημένων εντάσεων του ανέμου, ενώ το RCP2.6 διατηρεί σχεδόν σταθερά επίπεδα. Συμπερασματικά, το σενάριο RCP2.6 προσφέρει τη μεγαλύτερη σταθερότητα στις συνθήκες ανέμου, ενώ το RCP8.5 υποδεικνύει σοβαρότερες προκλήσεις για το μέλλον, ειδικά μετά το 2040.



Σχήμα 5.1. Περίοδοι επαναφοράς της έντασης του ανέμου κατά τη μελλοντική περίοδο 2021-2040 για το σενάριο RCP2.6 (επάνω), RCP4.5 (μέση), RCP8.5 (κάτω), σε σύγκριση με την ιστορική περίοδο των έξι περιοχικών μοντέλων και με τα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης για το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης.



Σχήμα 5.2. Όπως στο 5.1 αλλά για την μελλοντική περίοδο 2041-2060.

Ηγουμενίτσα

Με βάση τα διαθέσιμα σενάρια (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) για τις μελλοντικές περιόδους 2021-2040 (Σχήμα 5.3) και 2041-2060 (Σχήμα 5.4), προκύπτουν τα εξής:

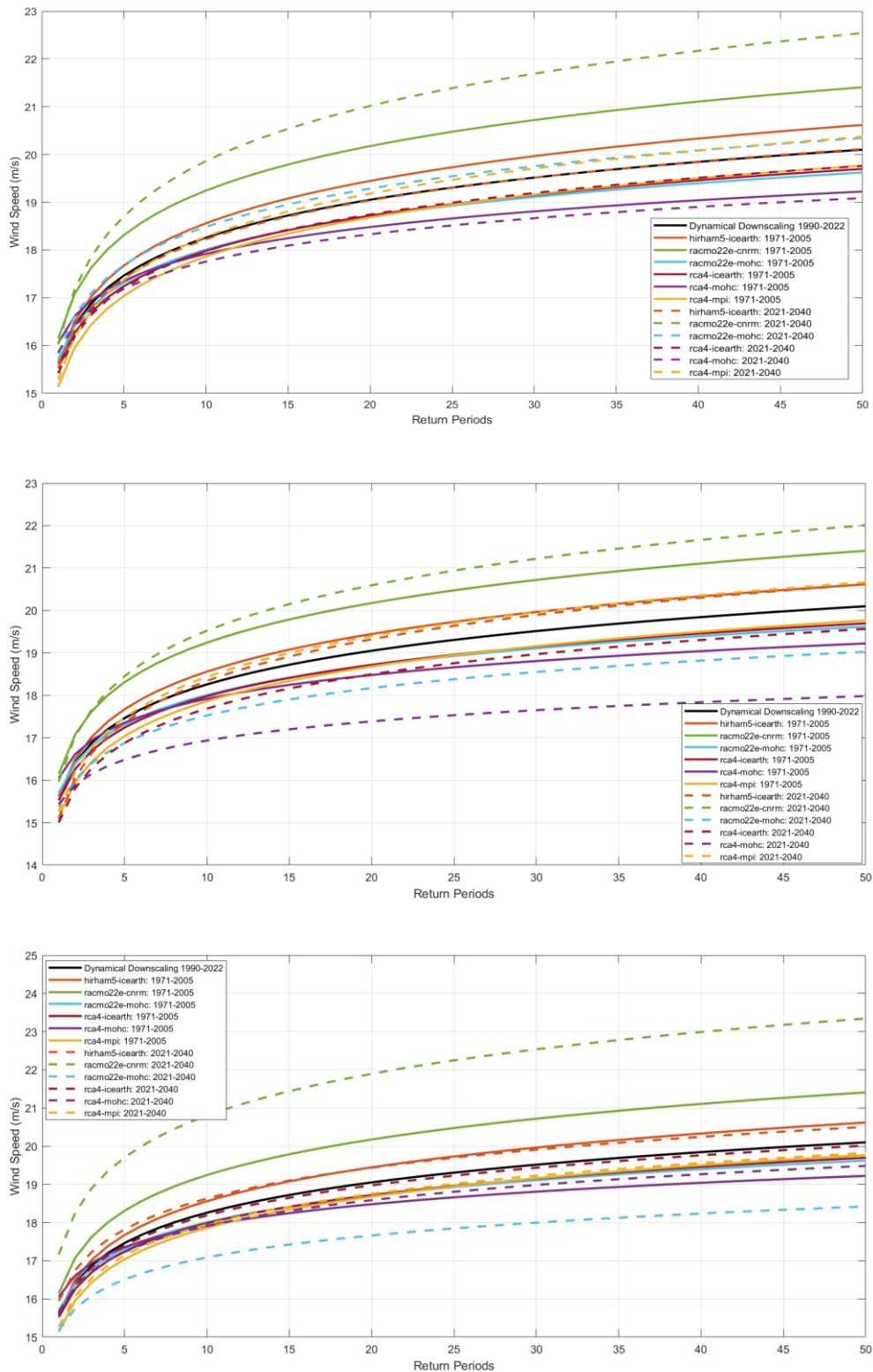
Για το σενάριο RCP2.6 (2021-2040 & 2041-2060), η ένταση του ανέμου παραμένει σταθερή ή μειώνεται ελαφρώς σε σχέση με την ιστορική περίοδο.

Για το σενάριο RCP4.5 (2021-2040 & 2041-2060), εμφανίζονται μικρές αυξήσεις στις εντάσεις του ανέμου, κυρίως για μεγάλες περιόδους επαναφοράς. Οι αλλαγές είναι περισσότερο αισθητές κατά τη δεύτερη μελλοντική περίοδο, υποδηλώνοντας μέτριες επιπτώσεις από το σενάριο αυτό.

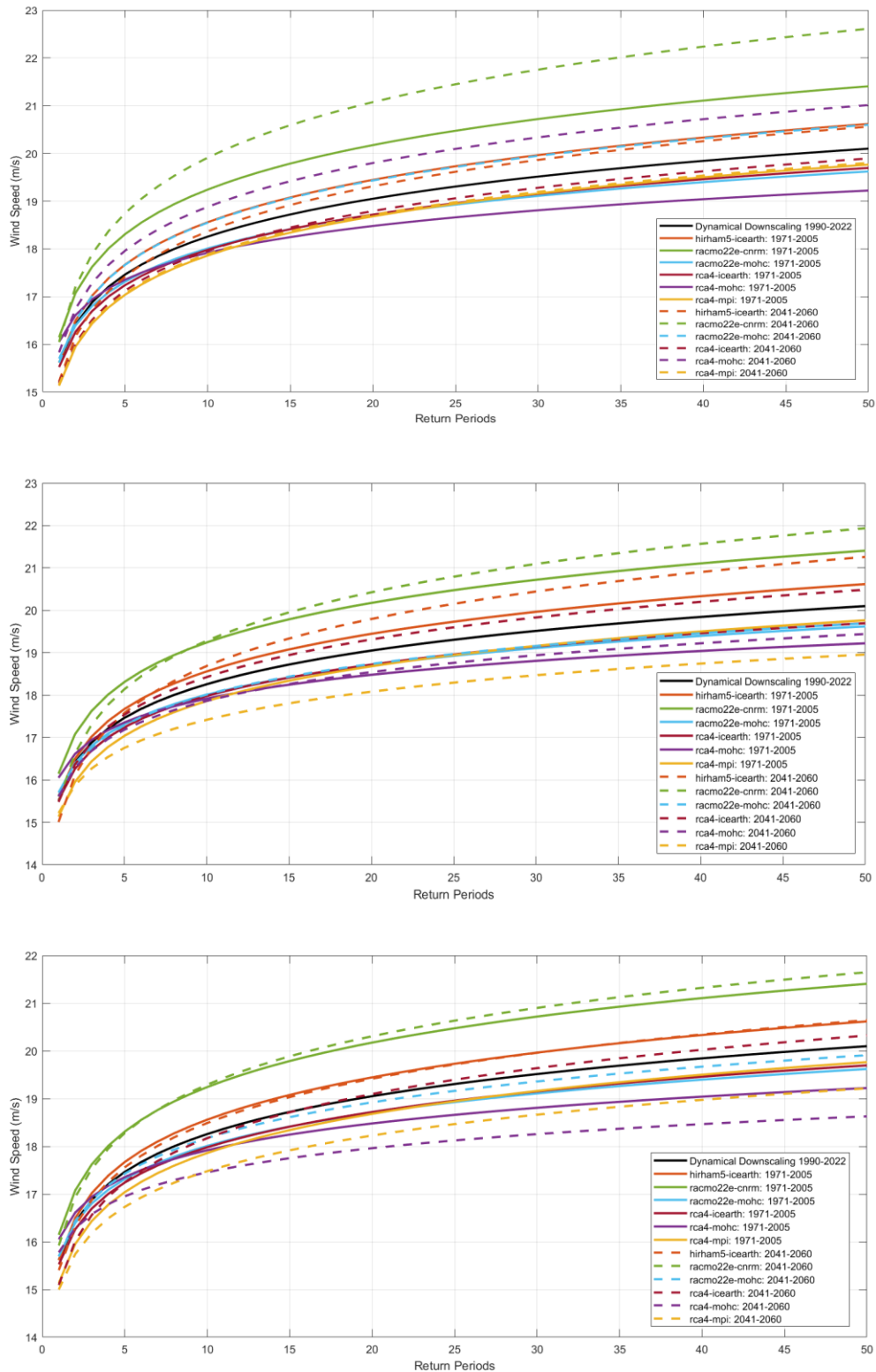
Για το σενάριο RCP8.5 (2021-2040 & 2041-2060), εμφανίζονται σημαντικές αυξήσεις στις εντάσεις του ανέμου, ειδικά στις μεγάλες περιόδους επαναφοράς κατά τη δεύτερη περίοδο.

Συγκριτικά, από τις δύο μελλοντικές περιόδους προκύπτει ότι για την περίοδο 2021-2040, οι διαφορές μεταξύ των σεναρίων είναι περιορισμένες. Με βάση RCP2.6 οι συνθήκες παραμένουν σταθερές ενώ τα RCP4.5 και RCP8.5 δείχνουν ήπιες αυξήσεις. Για την περίοδο 2041-2060, οι αποκλίσεις γίνονται εντονότερες, με το RCP8.5 να δίνει αυξημένες εντάσεις ανέμου, ενώ το RCP2.6 παραμένει σχεδόν αμετάβλητο.

Συμπερασματικά, το σενάριο RCP2.6 δείχνει σταθερότητα στις συνθήκες ανέμου, ενώ το RCP8.5 καταδεικνύει σημαντική αύξηση στις εντάσεις, ιδιαίτερα μετά το 2040. Αυτό υπογραμμίζει τη σημασία της λήψης μέτρων για την προστασία των λιμενικών υποδομών στο λιμάνι της Ηγουμενίτσας ως πρόληψη απέναντι στην επικράτηση του χειρότερου μελλοντικού σεναρίου.



Σχήμα 5.3. Περίοδοι επαναφοράς της έντασης του ανέμου κατά τη μελλοντική περίοδο 2021-2040 για το σενάριο RCP2.6 (επάνω), RCP4.5 (μέση), RCP8.5 (κάτω), σε σύγκριση με την ιστορική περίοδο των έξι περιοχικών μοντέλων και με τα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης για το λιμάνι της Ηγουμενίτσας.



Σχήμα 5.4. Όπως στο 5.3 αλλά κατά τη μελλοντική περίοδο 2041-2060.

Βόλος

Με βάση τα διαθέσιμα σενάρια (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) για τις μελλοντικές περιόδους 2021-2040 (Σχήμα 5.5) και 2041-2060 (Σχήμα 5.6), παρατηρούνται τα εξής:

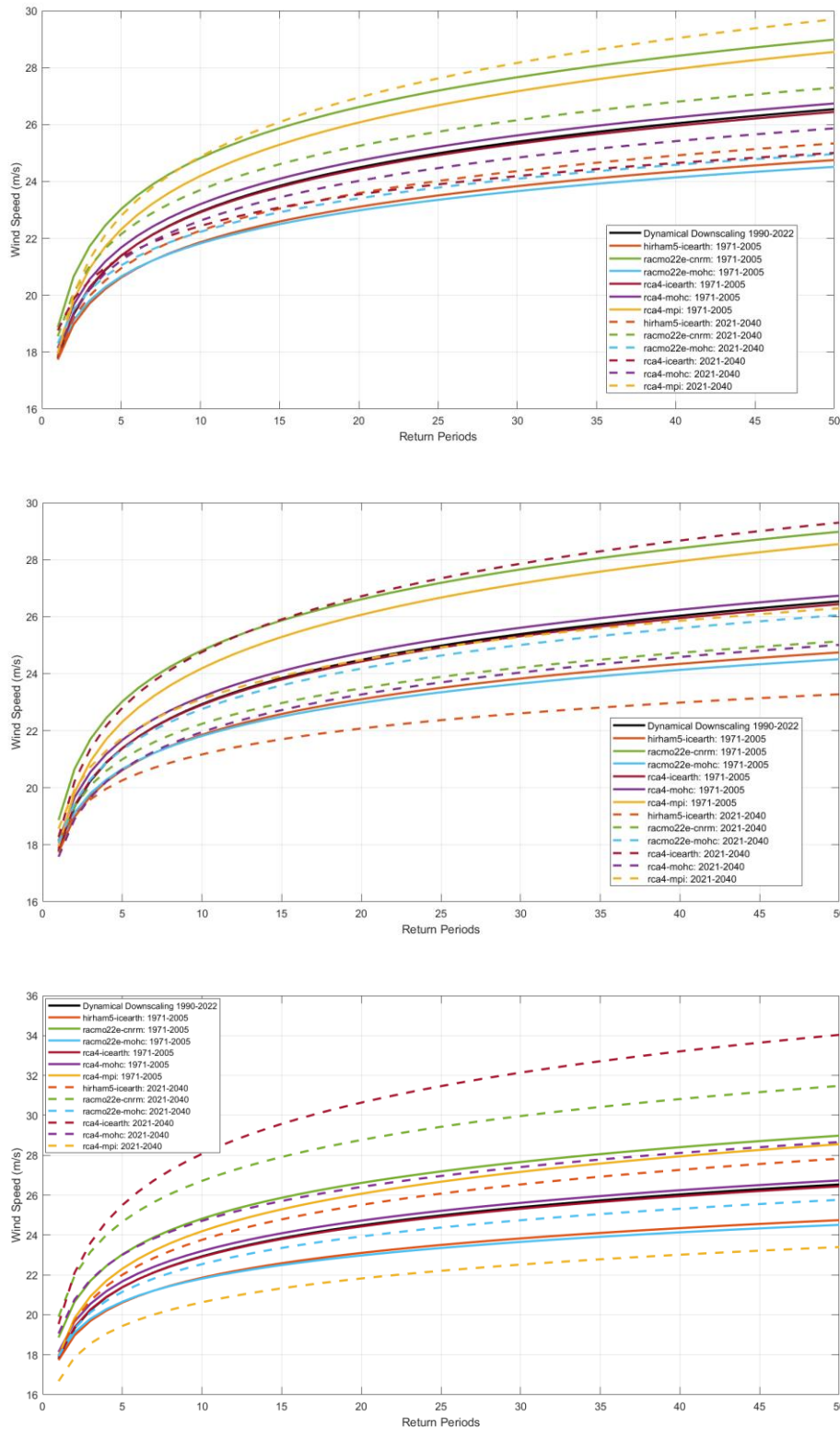
Για το σενάριο RCP2.6 (2021-2040 & 2041-2060), η ένταση του ανέμου παραμένει σταθερή ή παρουσιάζει μικρές διαφοροποιήσεις σε σχέση με την ιστορική περίοδο.

Για το σενάριο RCP4.5 (2021-2040 & 2041-2060), υπάρχει μία ελαφρά αύξηση στις μέγιστες εντάσεις ανέμου, ιδίως στις μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, ενώ οι αλλαγές αυτές είναι πιο εμφανείς κατά τη δεύτερη περίοδο (2041-2060).

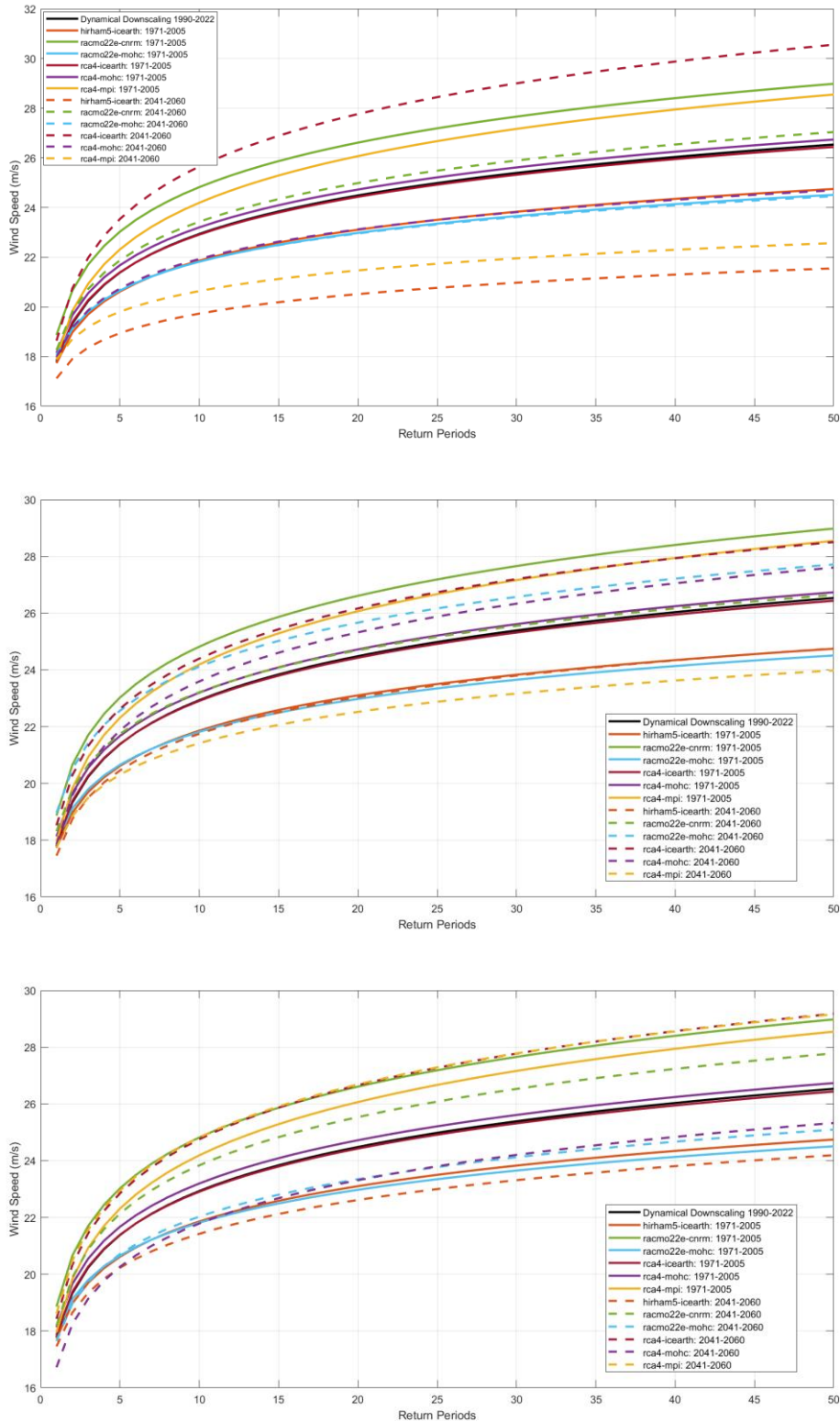
Για το σενάριο RCP8.5 (2021-2040 & 2041-2060), εμφανίζεται σημαντική αύξηση στις εντάσεις του ανέμου, κυρίως στις μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς και κατά τη δεύτερη μελλοντική περίοδο. Σε αυτό το μελλοντικό σενάριο, προβλέπονται οι σοβαρότερες επιπτώσεις στη συχνότητα και την ένταση ακραίων φαινομένων ανέμου.

Συγκριτικά, κατά την περίοδο 2021-2040, οι διαφορές ανάμεσα στα σενάρια είναι περιορισμένες, ενώ κατά την περίοδο 2041-2060, οι αποκλίσεις μεταξύ των σεναρίων γίνονται πιο έντονες, με το RCP8.5 να προβλέπει σαφώς αυξημένες εντάσεις ανέμου, ενώ το RCP2.6 διατηρεί σταθερά επίπεδα.

Συμπερασματικά, το σενάριο RCP2.6 διατηρεί την ένταση του ανέμου κοντά στις ιστορικές τιμές, ενώ το RCP8.5 δείχνει σημαντικές αυξήσεις, ιδιαίτερα μετά το 2040. Η εικόνα αυτή υπογραμμίζει την ανάγκη για δράσεις περιορισμού των εκπομπών, ειδικά για την προστασία των λιμενικών υποδομών στο Βόλο.



Σχήμα 5.5. Περίοδοι επαναφοράς της έντασης του ανέμου κατά τη μελλοντική περίοδο 2021-2040 για το σενάριο RCP2.6 (επάνω), RCP4.5 (μέση), RCP8.5 (κάτω), σε σύγκριση με την ιστορική περίοδο των έξι περιοχικών μοντέλων και με τα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης για το λιμάνι του Βόλου.



Σχήμα 5.6. Όπως στο 5.5 αλλά για την μελλοντική περίοδο 2041-2060.

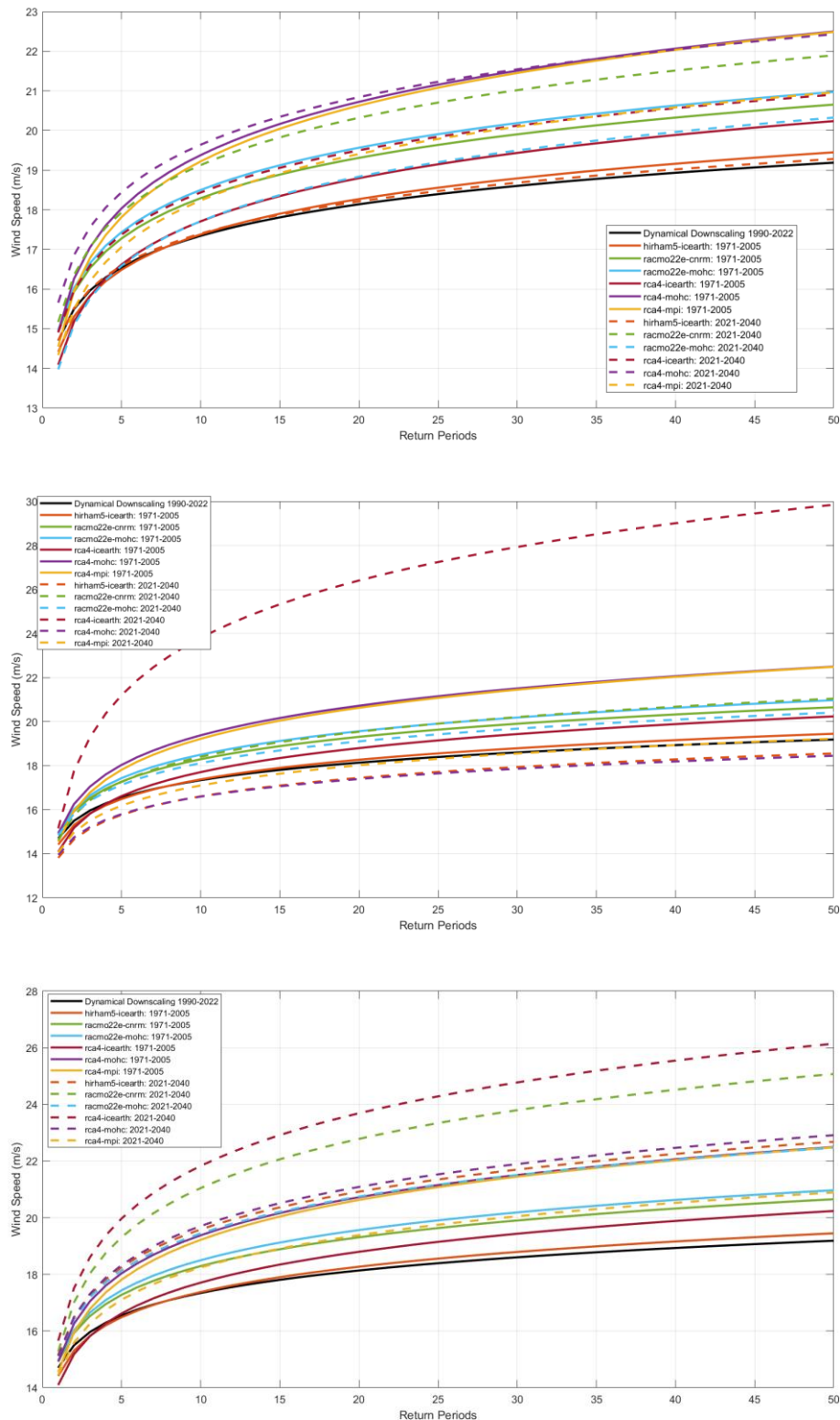
Χαλκίδα

Με βάση τα διαθέσιμα σενάρια (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) για τις μελλοντικές περιόδους 2021-2040 (Σχήμα 5.7) και 2041-2060 (Σχήμα 5.8), παρατηρούνται τα εξής:

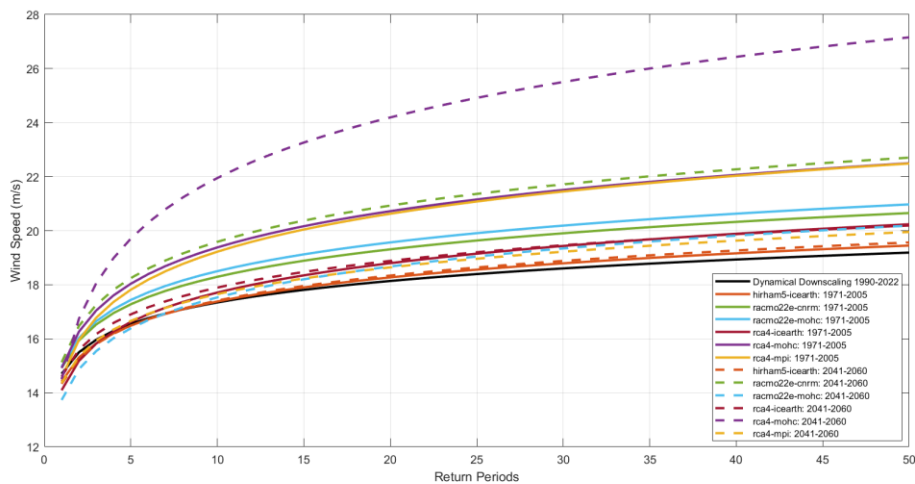
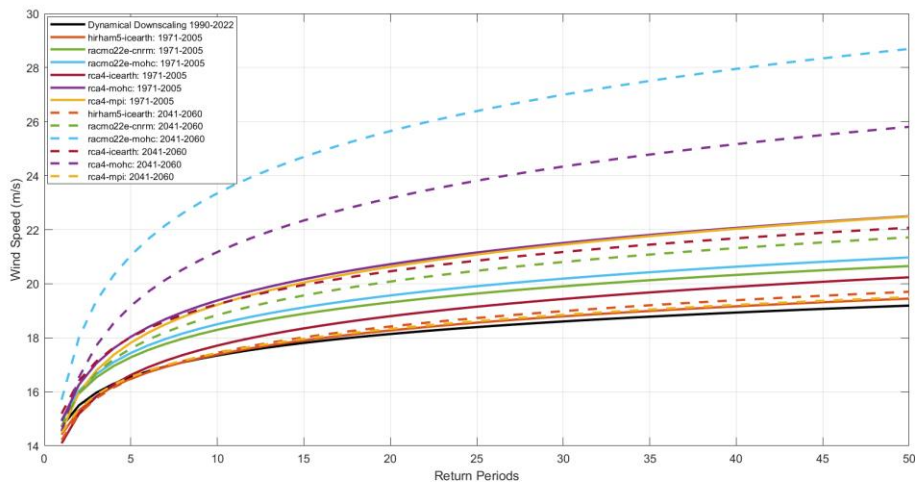
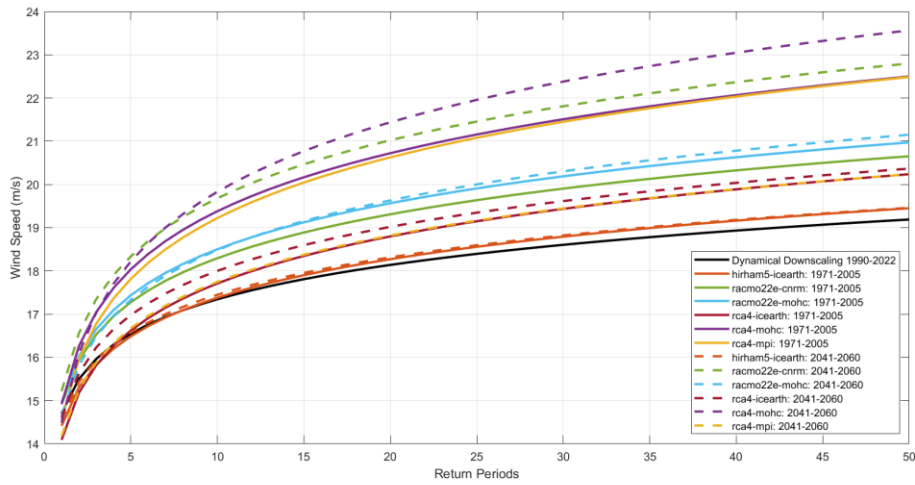
Σύμφωνα με το σενάριο RCP2.6, οι εντάσεις του ανέμου παρουσιάζουν σταθερότητα ή μικρές αποκλίσεις από την ιστορική περίοδο, τόσο κατά την περίοδο 2021-2040 όσο και κατά την περίοδο 2041-2060. Η σταθερή συμπεριφορά υποδηλώνει χαμηλό κίνδυνο για έντονες μεταβολές στην ακραία ένταση του ανέμου.

Σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5, ήπιες αυξήσεις παρατηρούνται στις μέγιστες εντάσεις ανέμου, κυρίως στις μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς και στη δεύτερη μελλοντική περίοδο. Οι μεταβολές είναι σημαντικές για τον σχεδιασμό, αλλά δεν χαρακτηρίζονται από έντονες αποκλίσεις.

Σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, οι αυξήσεις είναι αισθητές, ιδιαίτερα στις μεγάλες περιόδους επαναφοράς. Το σενάριο αυτό παρουσιάζει τον υψηλότερο κίνδυνο έντασης ανέμου για τη Χαλκίδα, ιδιαίτερα μετά το 2040.



Σχήμα 5.7. Περίοδοι επαναφοράς της έντασης του ανέμου κατά τη μελλοντική περίοδο 2021-2040 για το σενάριο RCP2.6 (επάνω), RCP4.5 (μέση), RCP8.5 (κάτω), σε σύγκριση με την ιστορική περίοδο των έξι περιοχικών μοντέλων και με τα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης για το λιμάνι της Χαλκίδας.



Σχήμα 5.8. Όπως στο 5.7 αλλά για την μελλοντική περίοδο 2041-2060.

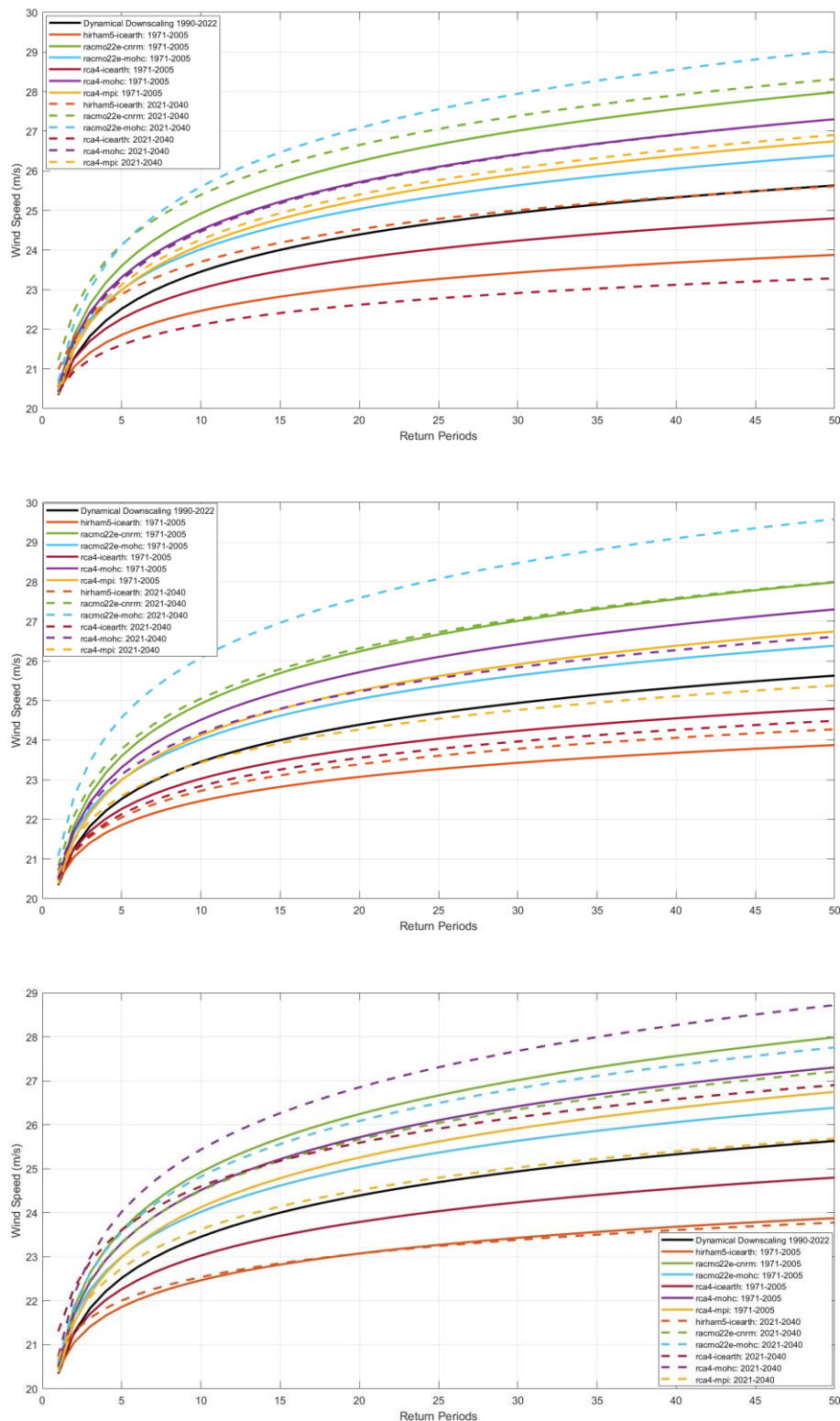
Λαύριο

Με βάση τα διαθέσιμα σενάρια (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) για τις μελλοντικές περιόδους 2021-2040 (Σχήμα 5/9) και 2041-2060 (Σχήμα 5.10), παρατηρούνται τα εξής:

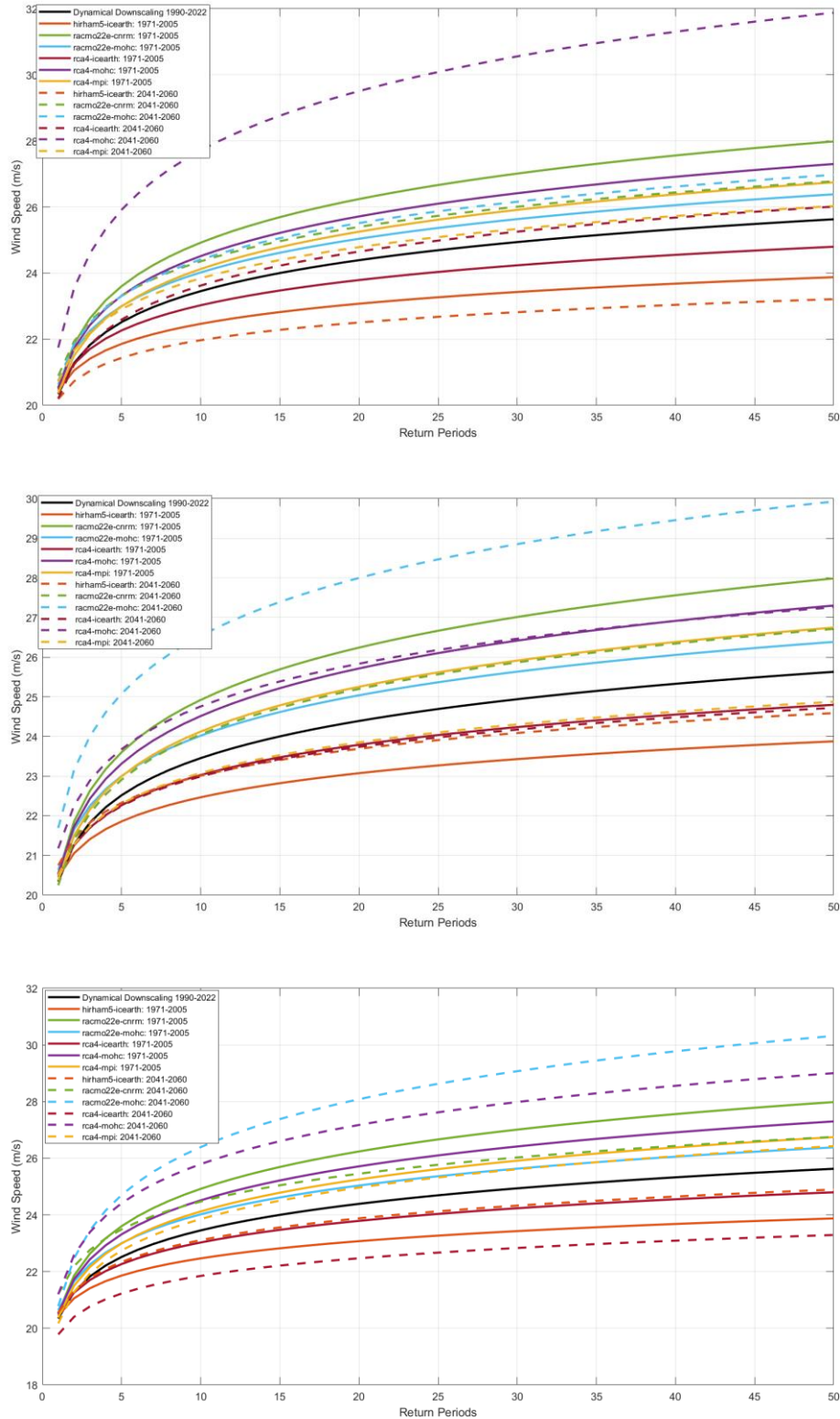
Σύμφωνα με το σενάριο RCP2.6, οι προβλέψεις δείχνουν σταθερότητα στις εντάσεις του ανέμου, με περιορισμένες αποκλίσεις από την ιστορική περίοδο. Οι αλλαγές είναι σχεδόν αμελητέες, υποδεικνύοντας ήπιες επιπτώσεις στο λιμάνι.

Σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5, σημειώνονται μικρές αυξήσεις στις εντάσεις του ανέμου, ιδιαίτερα στις μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, κυρίως στη δεύτερη περίοδο (2041-2060). Το λιμάνι ενδέχεται να χρειαστεί προσαρμογές για τις υποδομές του.

Σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, εμφανίζονται έντονες αυξήσεις στις μέγιστες εντάσεις ανέμου, ειδικά στις πιο σπάνιες περιόδους επαναφοράς. Το σενάριο αυτό παρουσιάζει τον υψηλότερο κίνδυνο για ακραίες συνθήκες ανέμου, επηρεάζοντας τη λειτουργικότητα και την ασφάλεια του λιμανιού.



Σχήμα 5.9. Περίοδοι επαναφοράς της έντασης του ανέμου κατά τη μελλοντική περίοδο 2021-2040 για το σενάριο RCP2.6 (επάνω), RCP4.5 (μέση), RCP8.5 (κάτω), σε σύγκριση με την ιστορική περίοδο των έξι περιοχικών μοντέλων και με τα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης για το λιμάνι του Λαυρίου.



Σχήμα 5.10. Όπως στο 5.9 αλλά για την μελλοντική περίοδο 2041-2060.

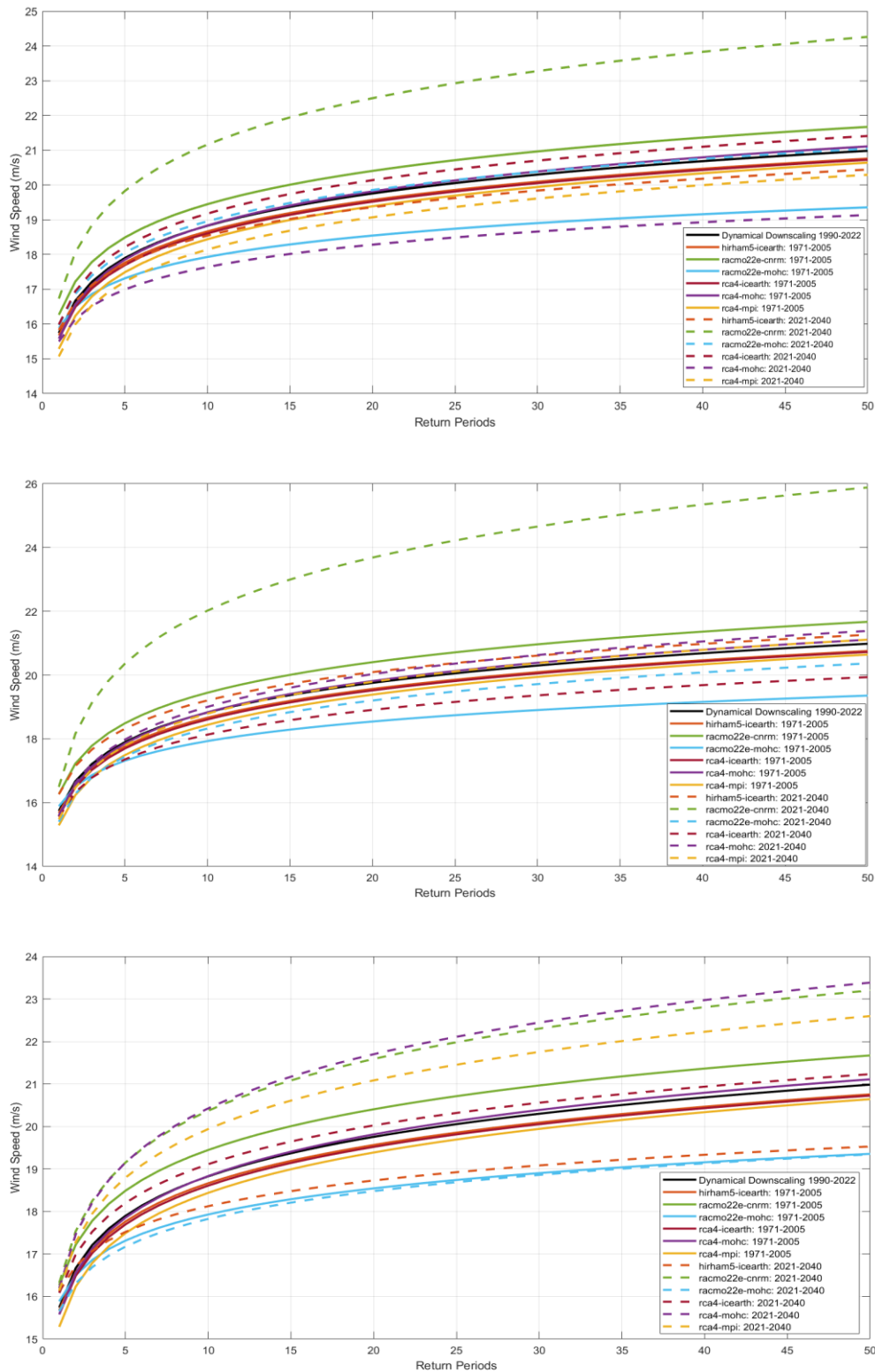
Ηράκλειο

Με βάση τα διαθέσιμα σενάρια (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) για τις μελλοντικές περιόδους 2021-2040 (Σχήμα 5.11) και 2041-2060 (Σχήμα 5.12), παρατηρούνται τα εξής:

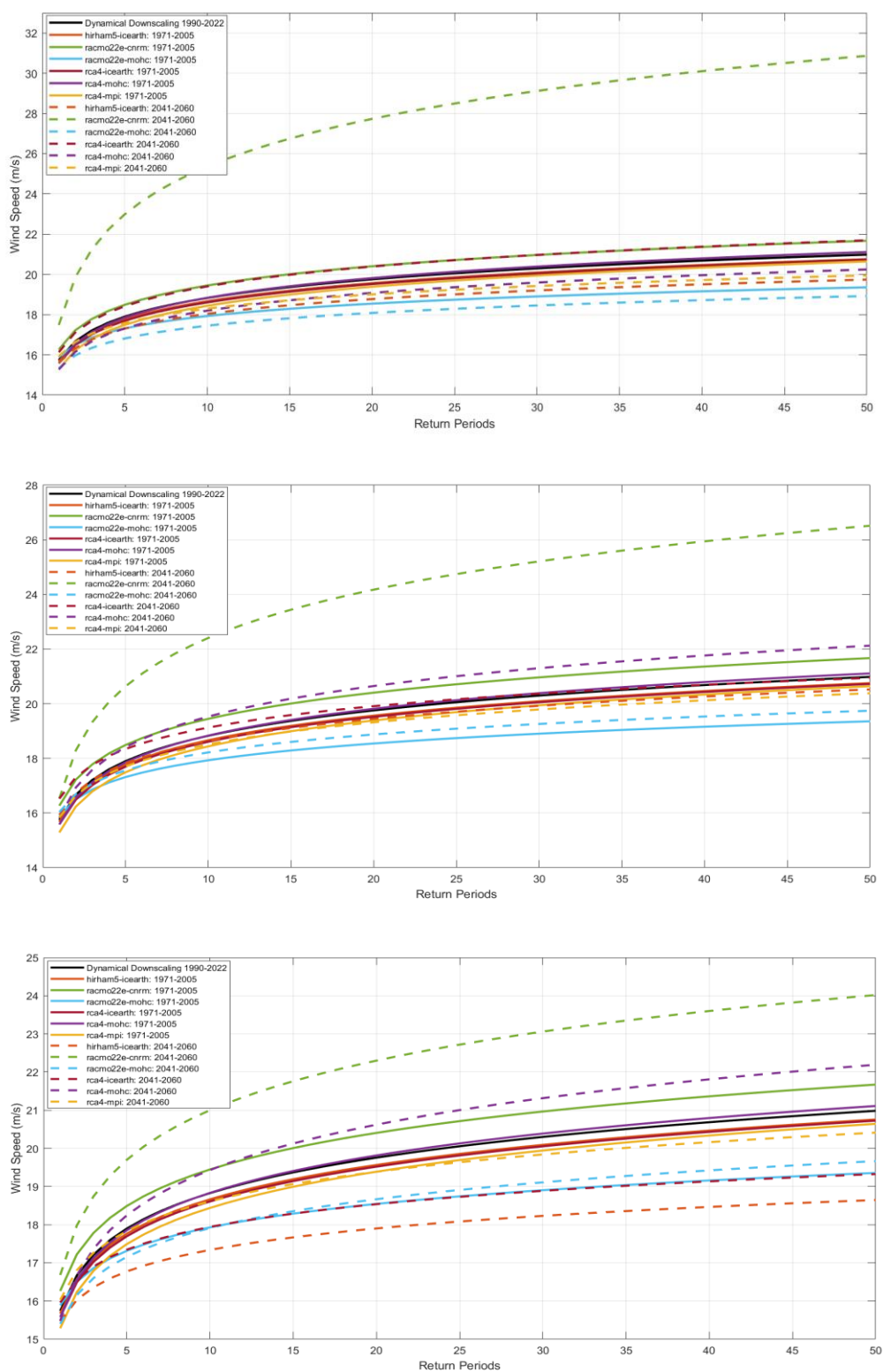
Σύμφωνα με το σενάριο RCP2.6, οι εντάσεις του ανέμου διατηρούνται σταθερές ή παρουσιάζουν ελαφρές μειώσεις, τόσο για την περίοδο 2021-2040 όσο και για την περίοδο 2041-2060. Οι επιπτώσεις είναι περιορισμένες, δείχνοντας χαμηλό κίνδυνο για ακραίες αλλαγές.

Σύμφωνα με το σενάριο RCP4.5, μικρές αυξήσεις καταγράφονται, κυρίως στις μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, με πιο έντονα φαινόμενα στη δεύτερη περίοδο. Οι αλλαγές αυτές υποδεικνύουν μέτριες επιπτώσεις στο λιμάνι.

Σύμφωνα με το σενάριο RCP8.5, οι προβλέψεις δείχνουν σαφείς αυξήσεις στις μέγιστες εντάσεις ανέμου, ιδίως στις μεγάλες περιόδους επαναφοράς και μετά το 2040. Το σενάριο αυτό αποτελεί το πιο ανησυχητικό για το Ηράκλειο, απαιτώντας αυξημένα μέτρα προσαρμογής.



Σχήμα 5.11. Περίοδοι επαναφοράς της έντασης του ανέμου κατά τη μελλοντική περίοδο 2021-2040 για το σενάριο RCP2.6 (επάνω), RCP4.5 (μέση), RCP8.5 (κάτω), σε σύγκριση με την ιστορική περίοδο των έξι περιοχικών μοντέλων και με τα δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης για το λιμάνι του Ηρακλείου.



Σχήμα 5.12. Όπως στο 5.11 αλλά για την μελλοντική περίοδο 2041-2060.

Συμπερασματικά, για την ιστορική περίοδο των κλιματικών προσομοιώσεων βλέπουμε ότι υπάρχει απόκλιση μεταξύ των καμπυλών των περιόδων επαναφοράς, υποδηλώνοντας διαφοροποίηση μεταξύ των διαφόρων μοντέλων στην αναπαράσταση των ταχυτήτων του ανέμου. Τα μοντέλα παρουσιάζουν εν γένει κοντινή συμπεριφορά, αλλά υπάρχουν και μοντέλα με έντονη διαφοροποίηση, γεγονός που υποδεικνύει την ανάγκη για χρήση πολλών κλιματικών προσομοιώσεων για την ορθή απεικόνιση της αβεβαιότητας των μελλοντικών προβολών. Η διακύμανση μεταξύ των προβλέψεων των μοντέλων αντανακλά τις εγγενείς αβεβαιότητες των περιοχικών μοντέλων, ιδίως σε εδάφη με πολύπλοκη τοπογραφία όπως στην περίπτωση της Ελλάδας.

Αναφορικά με τον σχεδιασμό των υποδομών των λιμανιών, αν οι μελλοντικές ακραίες τιμές του ανέμου προβλέπεται να παραμείνουν σταθερές ή να μειωθούν, όπως προβλέπεται από το σενάριο RCP2.6, οι υποδομές των λιμανιών μπορεί να μην απαιτούν ουσιαστικές προσαρμογές για τους κινδύνους από τον άνεμο. Ωστόσο, η αβεβαιότητα των προβλέψεων σημαίνει ότι εξακολουθεί να απαιτείται προσεκτική εξέταση. Πηγαίνοντας στο σενάριο RCP4.5, η προβλεπόμενη ήπια αύξηση στις μέγιστες εντάσεις ανέμου, κυρίως σε μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς, ενδέχεται να απαιτήσει μέτριες προσαρμογές στις υποδομές, ιδίως για κρίσιμες εγκαταστάσεις. Η ανάλυση της διακινδύνευσης θα πρέπει να βασιστεί στις εντάσεις ανέμου στις πιο μακροχρόνιες προβλέψεις. Τέλος, για το σενάριο RCP8.5, προβλέπεται σημαντική αύξηση στις μέγιστες εντάσεις ανέμου σε κάποιες από τις μελλοντικές προβολές, ειδικά για τις μεγαλύτερες περιόδους επαναφοράς και στη δεύτερη μελλοντική περίοδο (2041-2060). Αυτό το γεγονός υποδεικνύει ότι απαιτείται αναθεώρηση των προδιαγραφών σχεδιασμού για τις λιμενικές υποδομές, δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στην ανθεκτικότητα των εγκαταστάσεων σε ακραίες συνθήκες.

Αναφορικά με τις ναυτιλιακές λειτουργίες και με δεδομένο ότι τα ακραία ανεμολογικά φαινόμενα μπορούν να διαταράξουν τις λιμενικές δραστηριότητες, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι στο πλαίσιο του σεναρίου RCP2.6 μπορεί να μην διαφαίνεται σημαντική αύξηση των ακραίων ανεμολογικών φαινομένων, αλλά θα πρέπει να διατηρηθεί το σημερινό επίπεδο ετοιμότητας. Αντίθετα, για το σενάριο RCP4.5, η πιθανότητα αύξησης της συχνότητας των ακραίων επεισοδίων ανέμου μπορεί να διαταράξει τις λιμενικές δραστηριότητες και για τον λόγο αυτό απαιτείται η ενίσχυση των υφιστάμενων πρωτοκόλλων ασφαλείας και η προσαρμογή των επιχειρησιακών σχεδίων σε συνθήκες αυξημένου κινδύνου. Τέλος, πηγαίνοντας στο ακραίο μελλοντικό σενάριο RCP8.5, ο αυξημένος κίνδυνος από ακραία φαινόμενα ανέμου θα μπορούσε να επηρεάσει σημαντικά τις δραστηριότητες των λιμανιών. Στην προοπτική αυτού του σεναρίου, απαιτείται αναβάθμιση των σχεδίων έκτακτης ανάγκης, καθώς και εφαρμογή προηγμένων συστημάτων πρόγνωσης και παρακολούθησης του ανέμου.

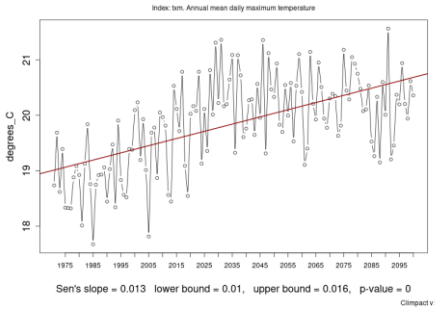
5.2 Μελλοντικές συνθήκες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης

Στο πλαίσιο της αποτύπωσης των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών στα υπό μελέτη λιμάνια, προσδιορίστηκαν μέσες και οι ακραίες κλιματικές τιμές θερμοκρασίας και βροχής με τον υπολογισμό περίπου 70 κλιματικών δεικτών θερμοκρασίας και βροχής καθώς και οι τάσεις αυτών για την περίοδο 1971-2100. Οι κλιματικοί δείκτες υπολογίστηκαν για τις 9 κλιματικές προσομοιώσεις που περιγράφονται στη μεθοδολογία της παρούσας έκθεσης και για 3 κλιματικά σενάρια. Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται ανά λιμάνι 8 δείκτες, οι οποίοι μεταξύ άλλων θα χρησιμοποιηθούν και στην πορεία του έργου και -ενδεικτικά- για τις προσομοιώσεις του μοντέλου RCA4-MPI και για τα 3 διαθέσιμα σενάρια κλιματικής αλλαγής.

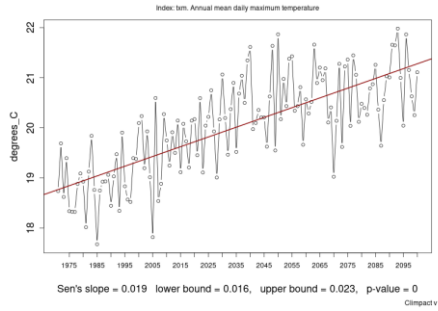
Οι επιλεγμένοι δείκτες ακραίων κλιματικών γεγονότων παρουσιάζονται στα διαγράμματα 5.13-5.18

Αλεξανδρούπολη

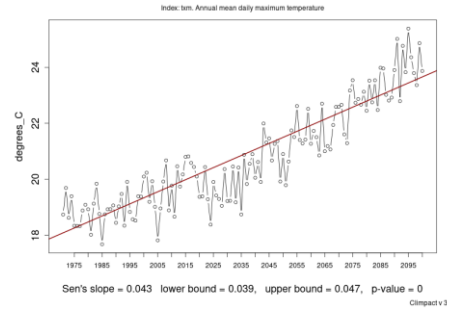
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp26 [40.9112°N, 25.9124°E]



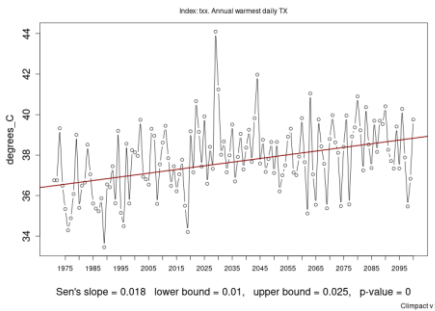
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp45 [40.9112°N, 25.9124°E]



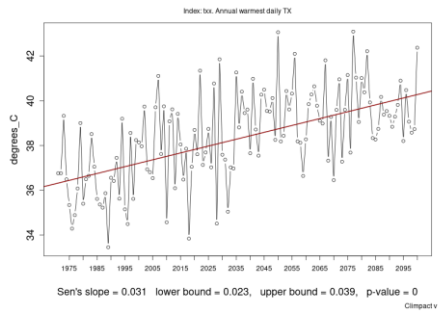
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp85 [40.9112°N, 25.9124°E]



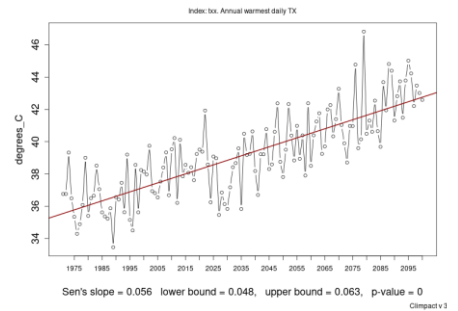
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp26 [40.9112°N, 25.9124°E]



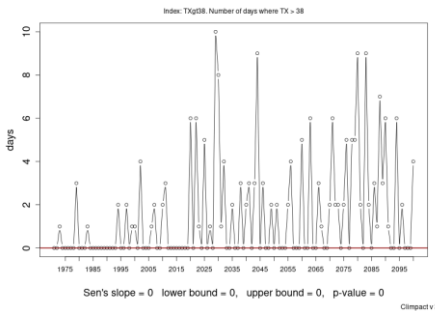
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp45 [40.9112°N, 25.9124°E]



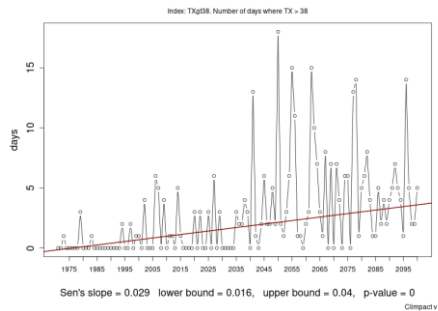
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp85 [40.9112°N, 25.9124°E]



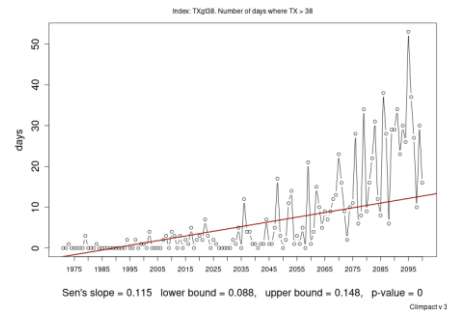
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp26 [40.9112°N, 25.9124°E]



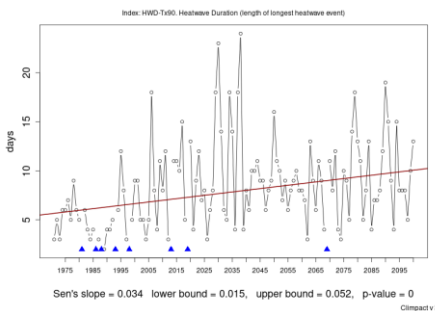
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp45 [40.9112°N, 25.9124°E]



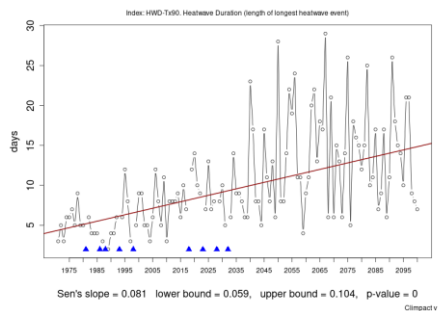
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp85 [40.9112°N, 25.9124°E]



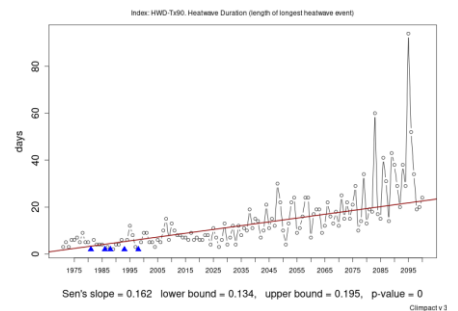
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp26 [40.9112°N, 25.9124°E]



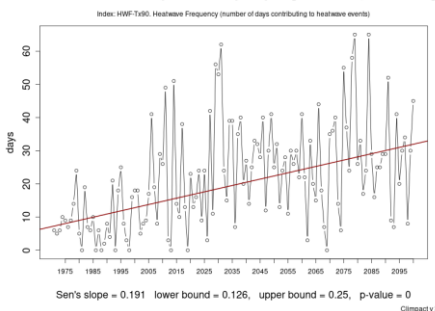
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp45 [40.9112°N, 25.9124°E]



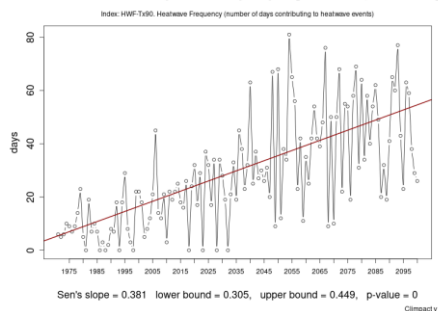
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp85 [40.9112°N, 25.9124°E]



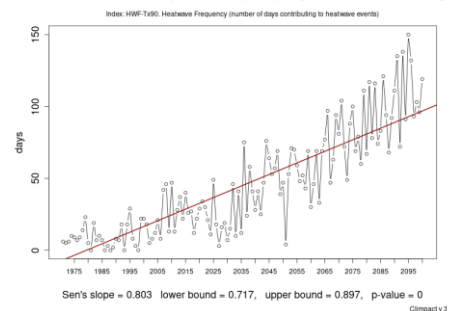
Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp26 [40.9112°N, 25.9124°E]

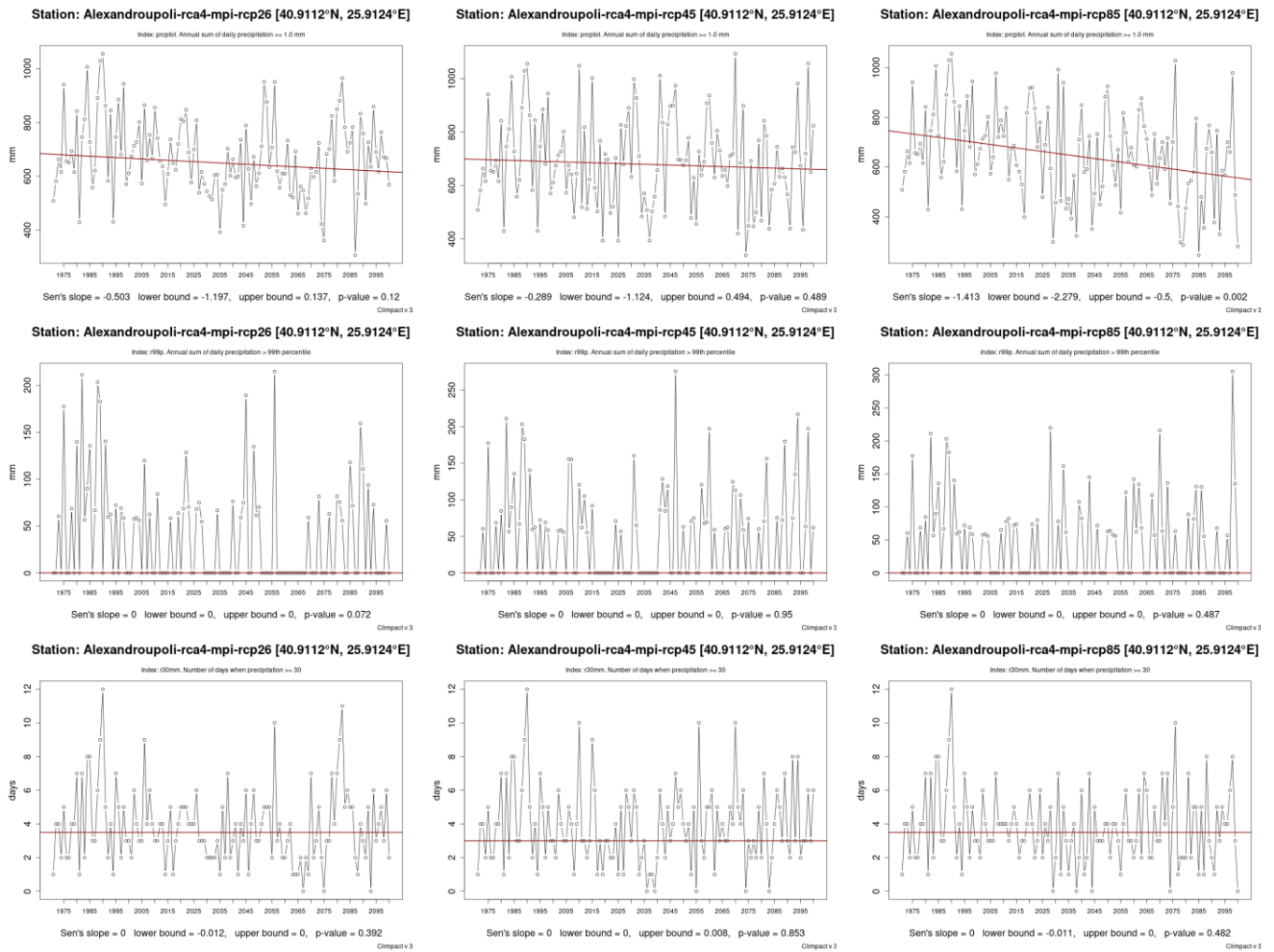


Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp45 [40.9112°N, 25.9124°E]



Station: Alexandroupoli-rca4-mpi-rcp85 [40.9112°N, 25.9124°E]



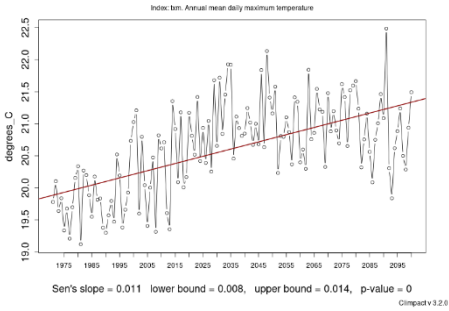


Σχήμα 5.13. Ακραίοι κλιματικοί δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για την Αλεξανδρούπολη για την περίοδο 1971-2100 από τις προσομοιώσεις RCA4-MPI για τα σενάρια RCP2.6 (αριστερή στήλη), RCP4.5 (μεσαία στήλη), και RCP8.5 (δεξιά στήλη). Οι δείκτες ανά γραμμή σχημάτων είναι: ετήσια μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία (txm), θερμότερη ημέρα του έτους (txx), αριθμός ημερών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 38°C (txgt38), ετήσια μέγιστη διάρκεια κύματος καύσωνα (HWd-Tx90), αριθμός ημερών που συνεισφέρουν στα κύματα καύσωνα κατ' έτος (HWF-Tx90), ετήσια βροχόπτωση (prcptot), ποσό βροχής κατ' έτος που αντιστοιχεί σε περισσότερο από το 99^ο ποσοστημόριο (r99p), αριθμός ημερών με βροχή >30mm (r30mm).

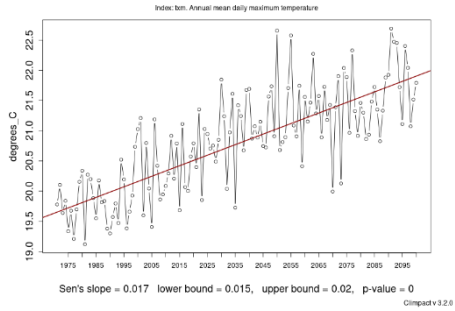


Ηγουμενίτσα

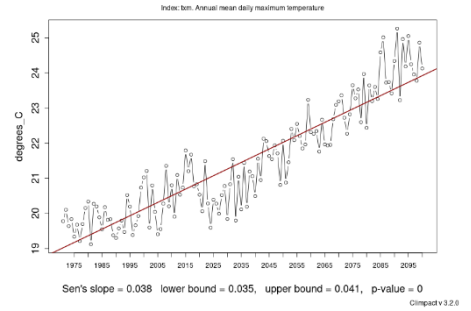
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp26 [39.5582°N, 20.2462°E]



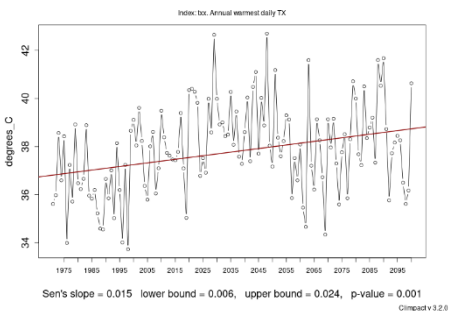
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp45 [39.5582°N, 20.2462°E]



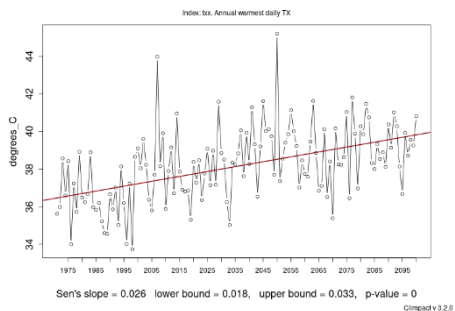
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp85 [39.5582°N, 20.2462°E]



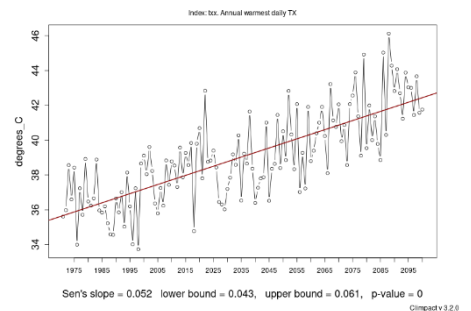
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp26 [39.5582°N, 20.2462°E]



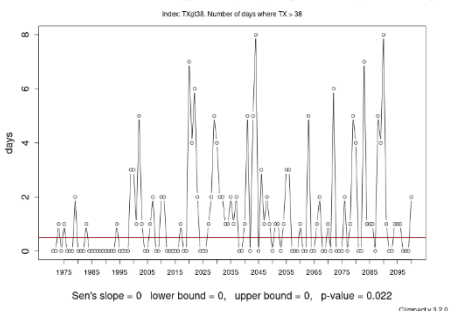
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp45 [39.5582°N, 20.2462°E]



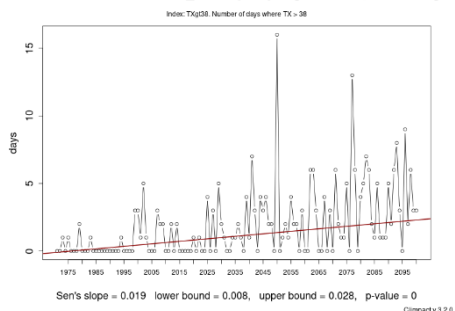
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp85 [39.5582°N, 20.2462°E]



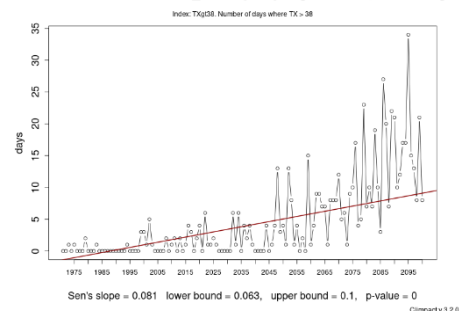
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp26 [39.5582°N, 20.2462°E]



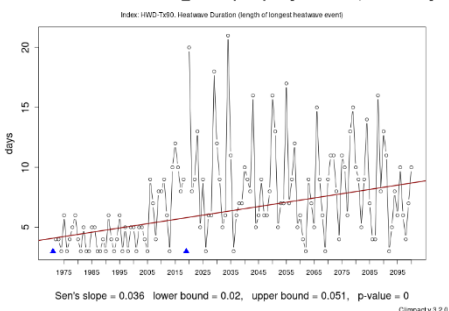
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp45 [39.5582°N, 20.2462°E]



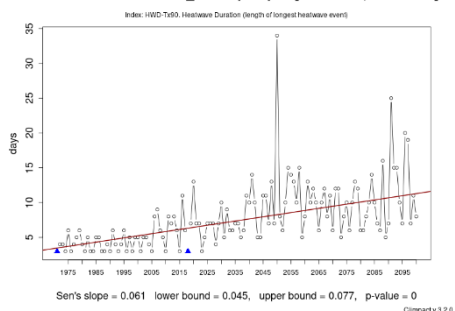
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp85 [39.5582°N, 20.2462°E]



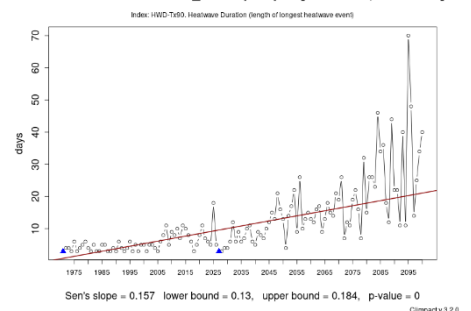
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp26 [39.5582°N, 20.2462°E]



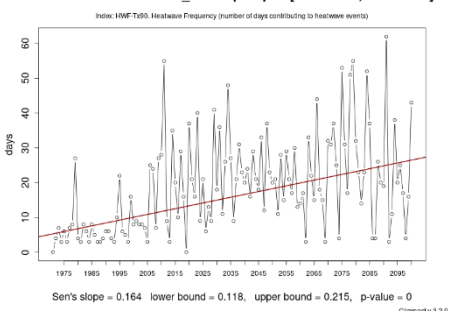
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp45 [39.5582°N, 20.2462°E]



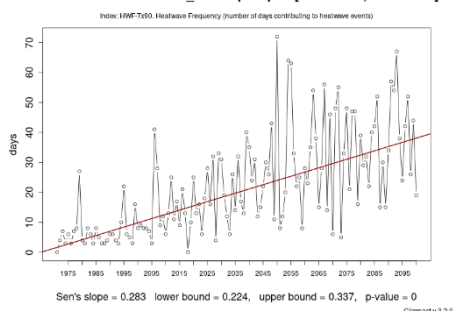
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp85 [39.5582°N, 20.2462°E]



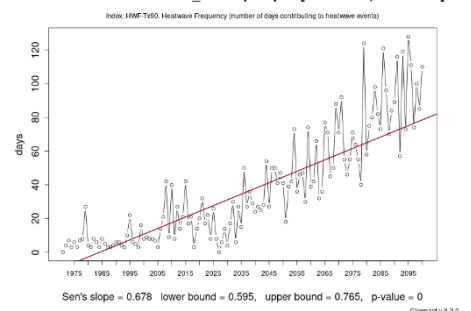
Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp26 [39.5582°N, 20.2462°E]

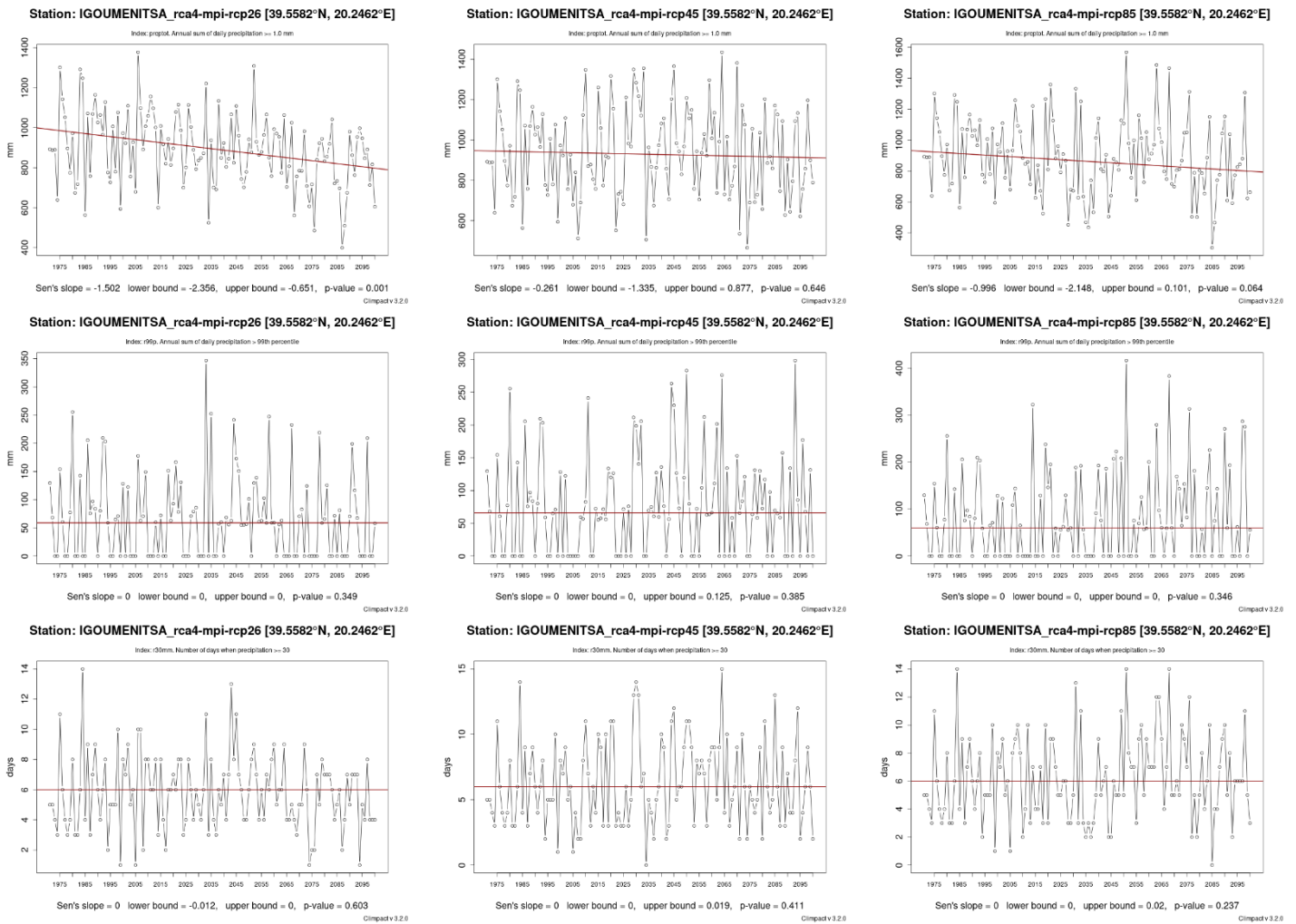


Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp45 [39.5582°N, 20.2462°E]



Station: IGOUMENITSA_rca4-mpi-rcp85 [39.5582°N, 20.2462°E]



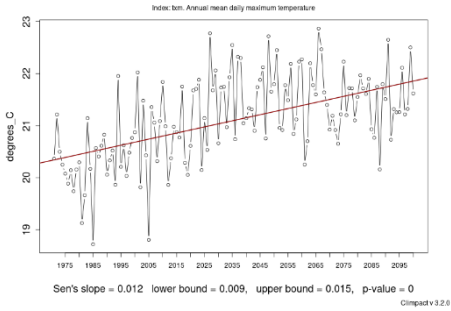


Σχήμα 5.14. Ακραίοι κλιματικοί δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για την Ηγουμενίτσα για την περίοδο 1971-2100 από τις προσομοιώσεις RCA4-MPI για τα σενάρια RCP2.6 (αριστερή στήλη), RCP4.5 (μεσαία στήλη), και RCP8.5 (δεξιά στήλη). Οι δείκτες ανά γραμμή σχημάτων είναι: ετήσια μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία (txm), θερμότερη ημέρα του έτους (txx), αριθμός ημερών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 38°C (txgt38), ετήσια μέγιστη διάρκεια κύματος καύσιωνα (HWd-Tx90), αριθμός ημερών που συνεχίζουν στα κύματα καύσιωνα κατ' έτος (HWF-Tx90), ετήσια βροχόπτωση (prcptot), ποσό βροχής κατ' έτος που αντιστοιχεί σε περισσότερο από το 99^ο ποσοστημόριο (r99p), αριθμός ημερών με βροχή >30mm (r30mm).

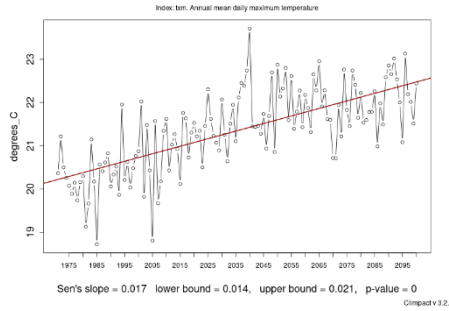


Βόλος

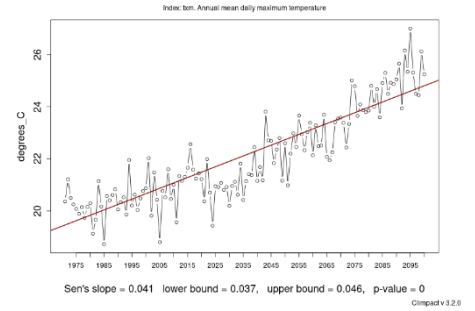
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp26 [39.3476°N, 22.8911°E]



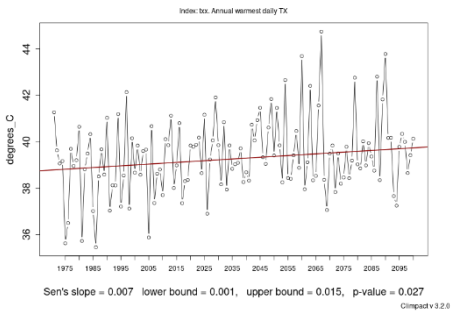
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp45 [39.3476°N, 22.8911°E]



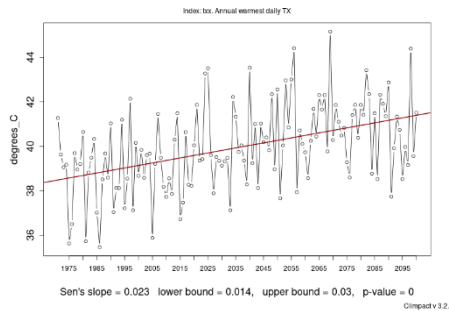
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp85 [39.3476°N, 22.8911°E]



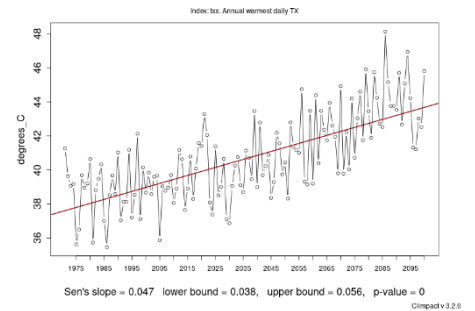
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp26 [39.3476°N, 22.8911°E]



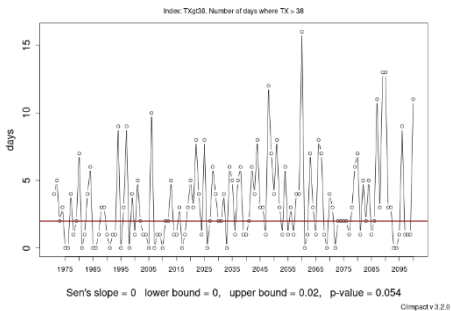
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp45 [39.3476°N, 22.8911°E]



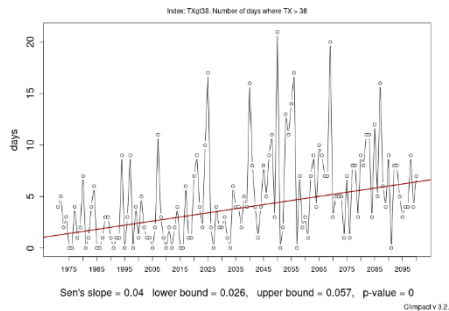
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp85 [39.3476°N, 22.8911°E]



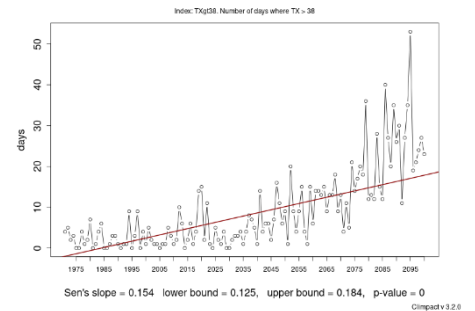
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp26 [39.3476°N, 22.8911°E]



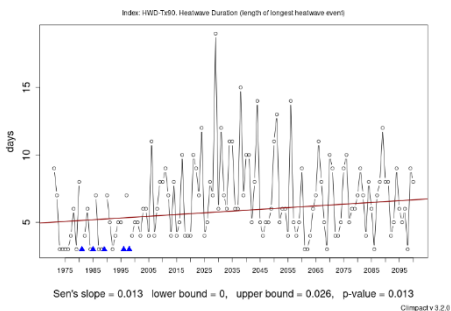
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp45 [39.3476°N, 22.8911°E]



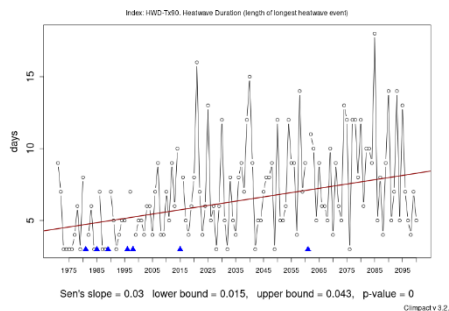
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp85 [39.3476°N, 22.8911°E]



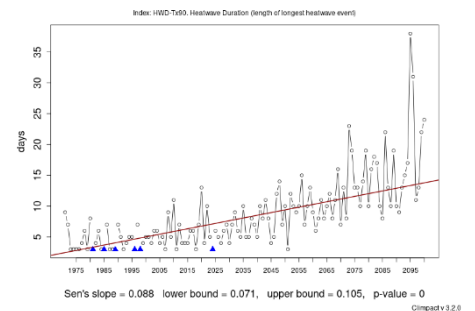
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp26 [39.3476°N, 22.8911°E]



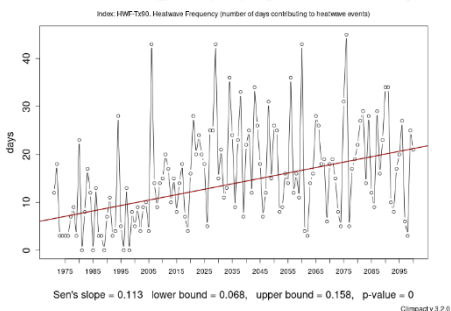
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp45 [39.3476°N, 22.8911°E]



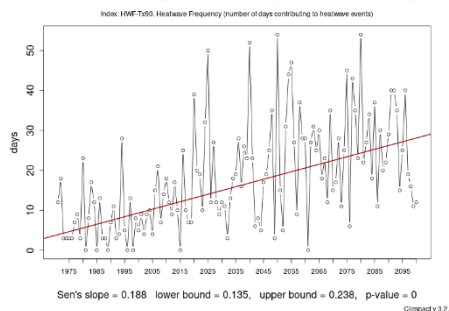
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp85 [39.3476°N, 22.8911°E]



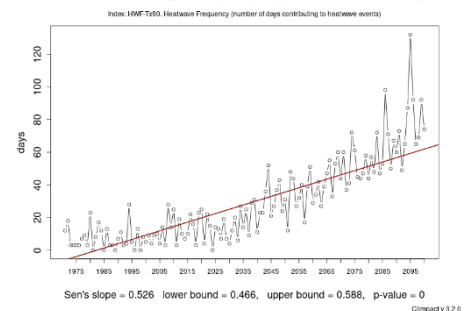
Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp26 [39.3476°N, 22.8911°E]

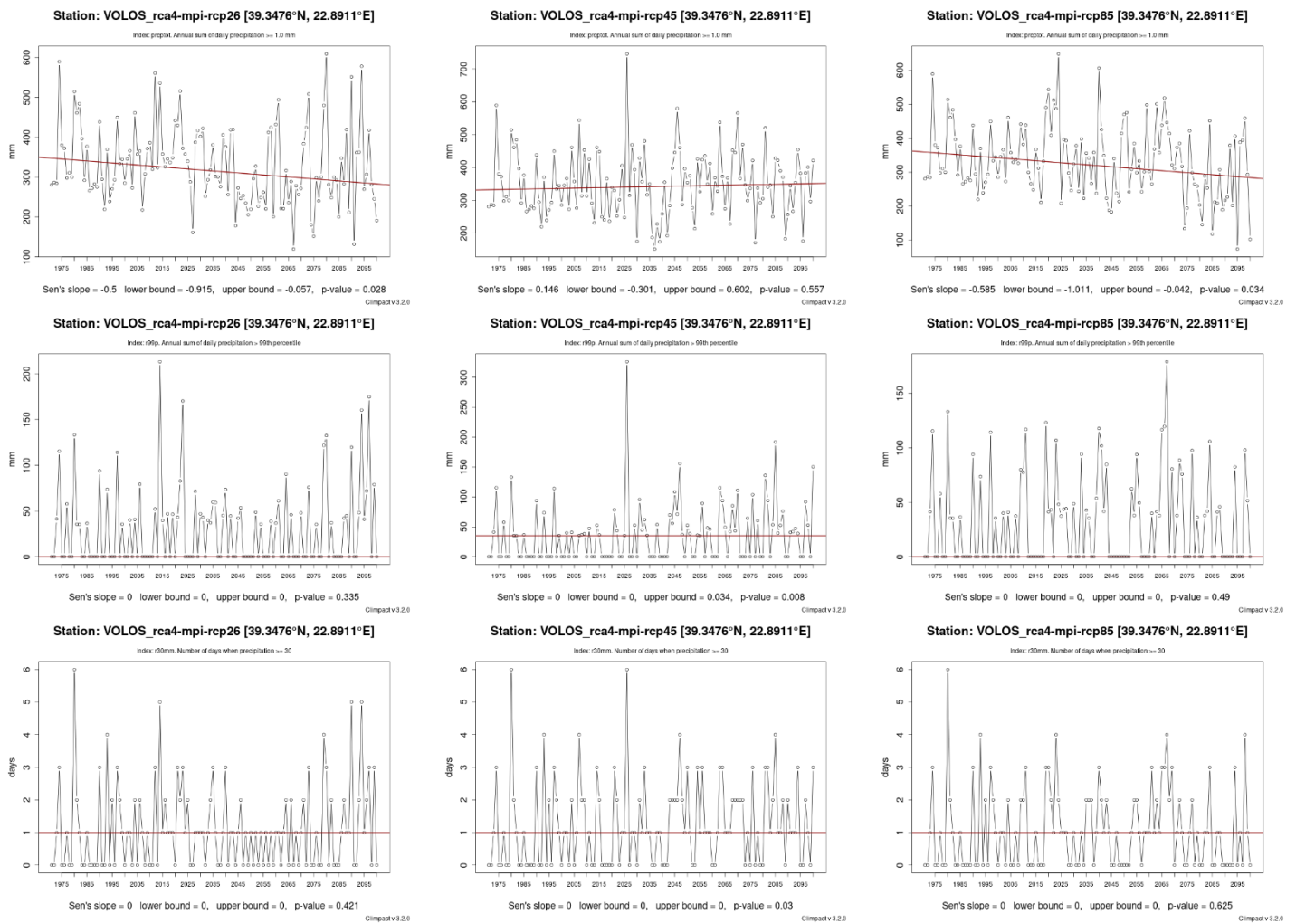


Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp45 [39.3476°N, 22.8911°E]



Station: VOLOS_rca4-mpi-rcp85 [39.3476°N, 22.8911°E]

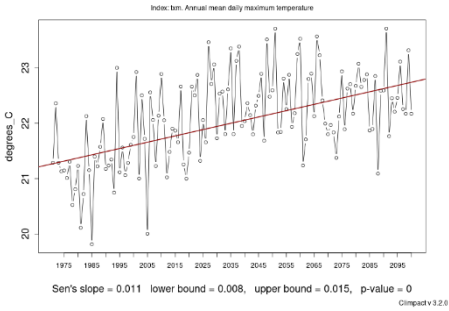




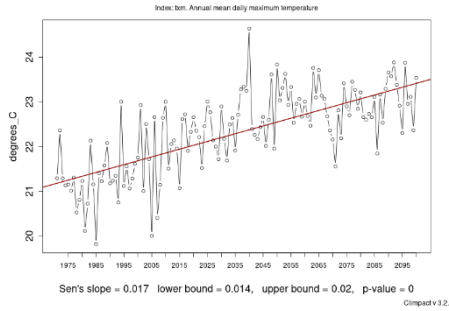
Σχήμα 5.15. Ακραίοι κλιματικοί δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για τον Βόλο για την περίοδο 1971-2100 από τις προσομοιώσεις RCA4-MPI για τα σενάρια RCP2.6 (αριστερή στήλη), RCP4.5 (μεσαία στήλη), και RCP8.5 (δεξιά στήλη). Οι δείκτες ανά γραμμή σχημάτων είναι: ετήσια μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία (txm), θερμότερη ημέρα του έτους (txx), αριθμός ημερών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 38°C (txgt38), ετήσια μέγιστη διάρκεια κύματος καύσιμα (HWd-Tx90), αριθμός ημερών που συνεισφέρουν στα κύματα καύσιμα κατ' έτος (HWF-Tx90), ετήσια βροχόπτωση (prcptot), ποσό βροχής κατ' έτος που αντιστοιχεί σε περισσότερο από το 99^ο ποσοστημόριο (r99p), αριθμός ημερών με βροχή >30mm (r30mm).

Χαλκίδα

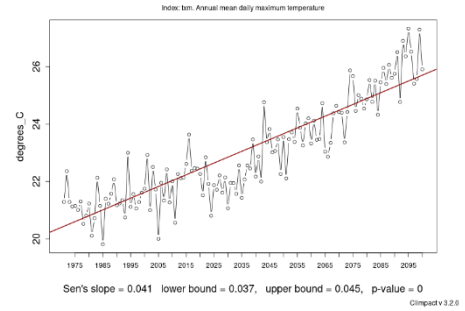
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp26 [38.423°N, 23.6371°E]



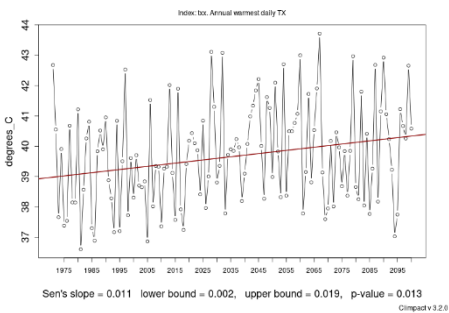
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp45 [38.423°N, 23.6371°E]



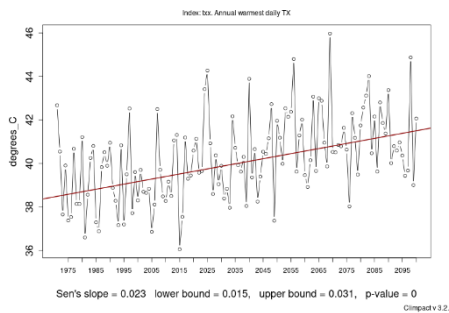
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp85 [38.423°N, 23.6371°E]



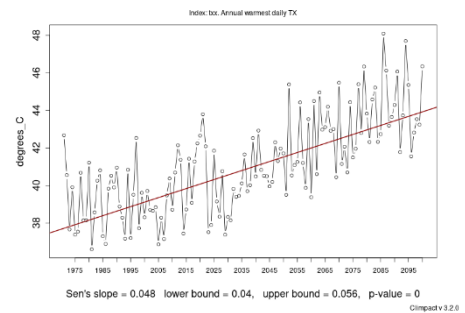
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp26 [38.423°N, 23.6371°E]



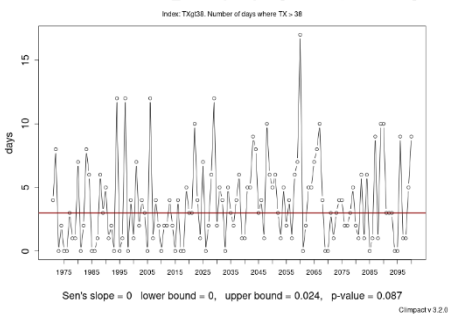
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp45 [38.423°N, 23.6371°E]



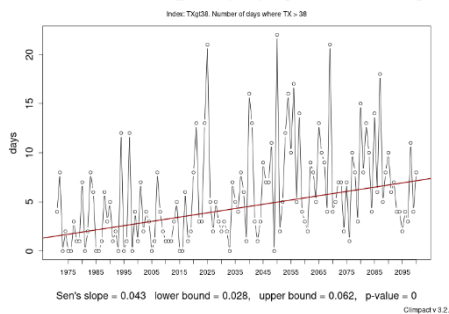
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp85 [38.423°N, 23.6371°E]



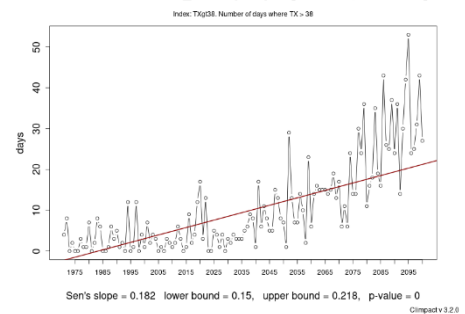
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp26 [38.423°N, 23.6371°E]



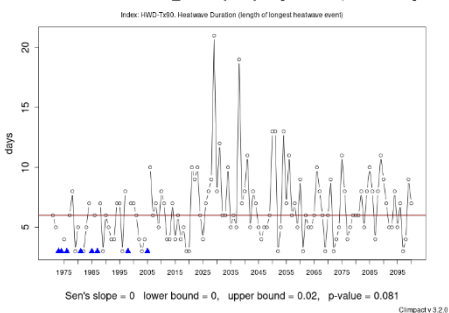
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp45 [38.423°N, 23.6371°E]



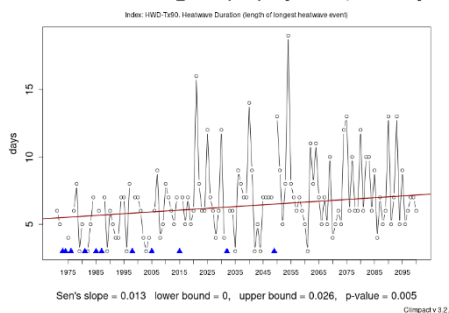
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp85 [38.423°N, 23.6371°E]



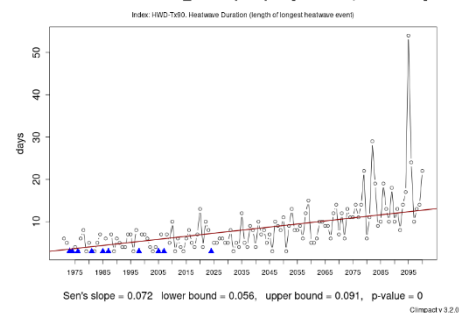
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp26 [38.423°N, 23.6371°E]



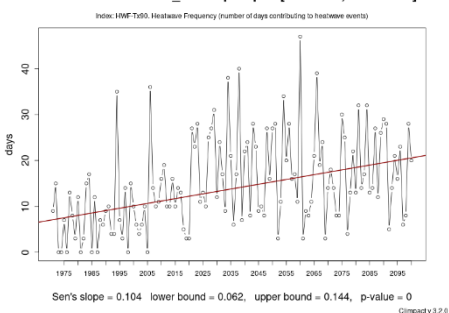
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp45 [38.423°N, 23.6371°E]



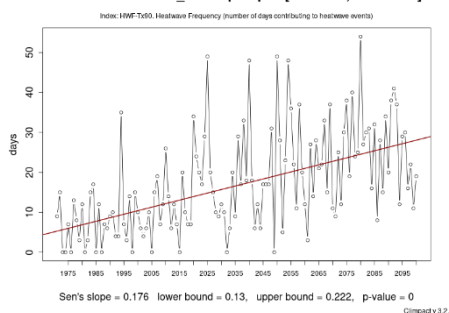
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp85 [38.423°N, 23.6371°E]



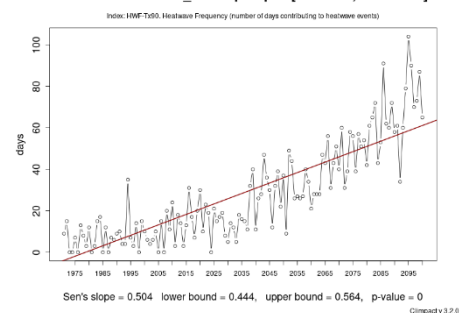
Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp26 [38.423°N, 23.6371°E]

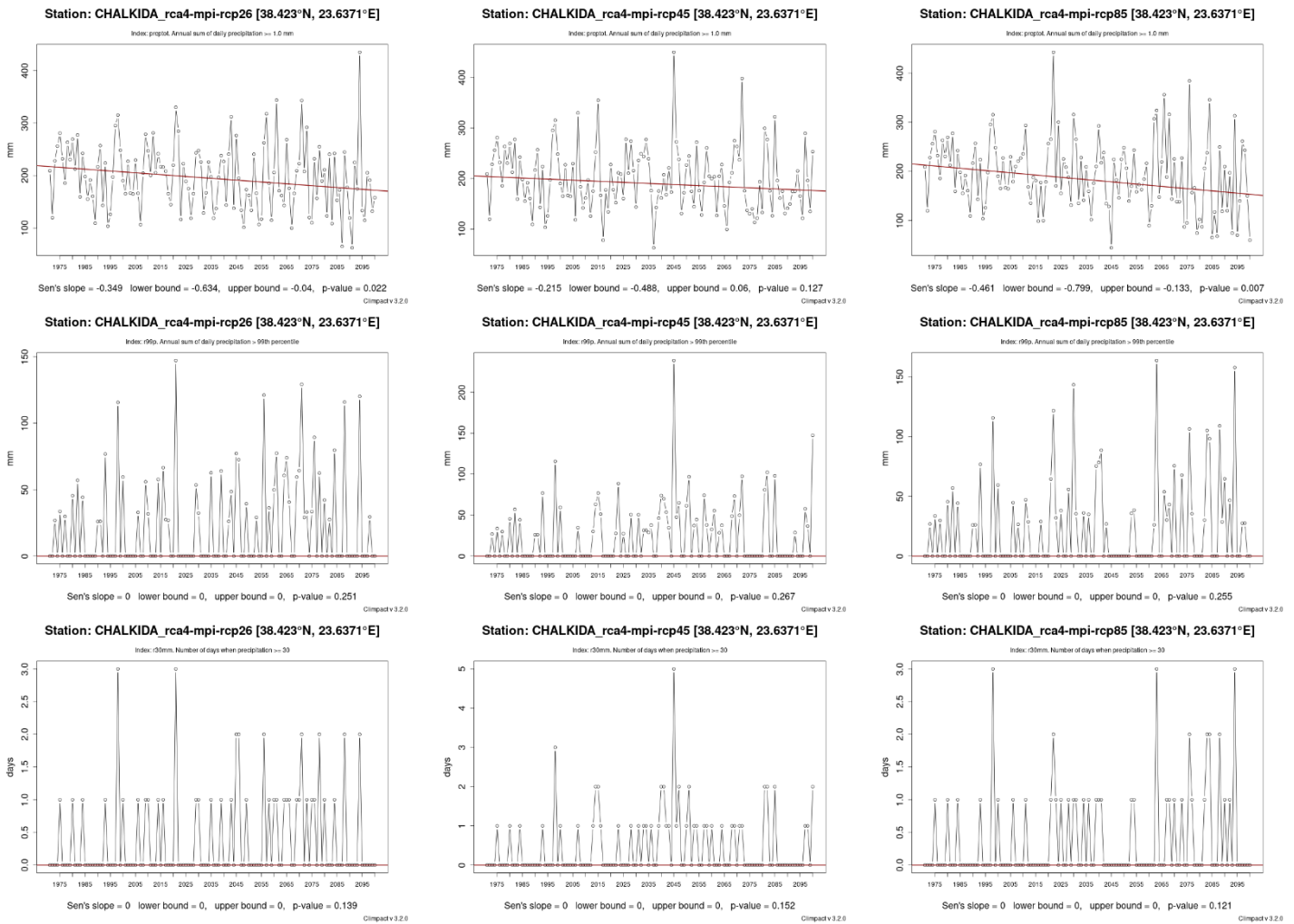


Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp45 [38.423°N, 23.6371°E]



Station: CHALKIDA_rca4-mpi-rcp85 [38.423°N, 23.6371°E]

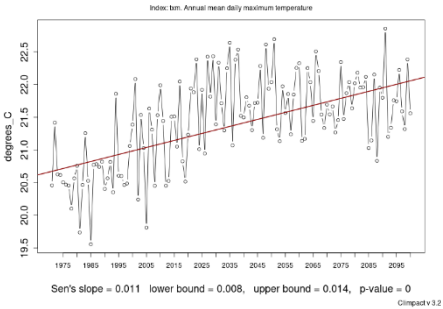




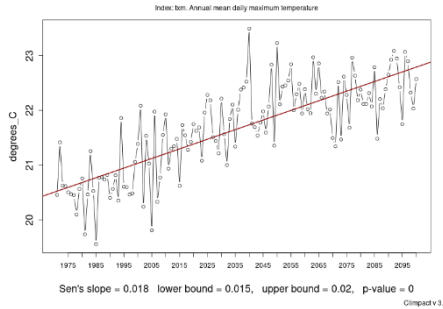
Σχήμα 5.16. Ακραίοι κλιματικοί δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για την Χαλκίδα για την περίοδο 1971-2100 από τις προσομοιώσεις RCA4-MPI για τα σενάρια RCP2.6 (αριστερή στήλη), RCP4.5 (μεσαία στήλη), και RCP8.5 (δεξιά στήλη). Οι δείκτες ανά γραμμή σχημάτων είναι: ετήσια μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία (txm), θερμότερη ημέρα του έτους (txx), αριθμός ημερών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 38°C (txgt38), ετήσια μέγιστη διάρκεια κύματος καύσωνα (HWd-Tx90), αριθμός ημερών που συνεισφέρουν στα κύματα καύσωνα κατ' έτος (HWF-Tx90), ετήσια βροχόπτωση (prcptot), ποσό βροχής κατ' έτος που αντιστοιχεί σε περισσότερο από το 99^ο ποσοστημόριο (r99p), αριθμός ημερών με βροχή >30mm (r30mm).

Λαύριο

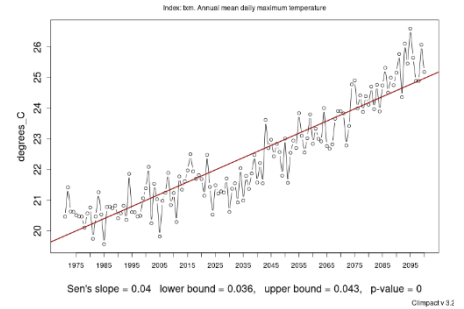
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp26 [37.7303°N, 24.1129°E]



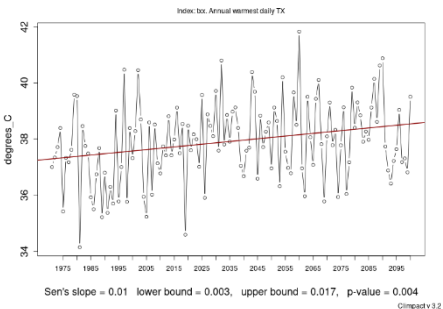
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp45 [37.7303°N, 24.1129°E]



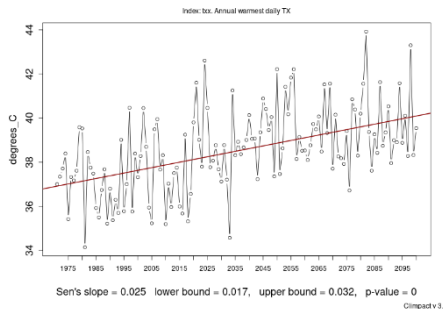
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp85 [37.7303°N, 24.1129°E]



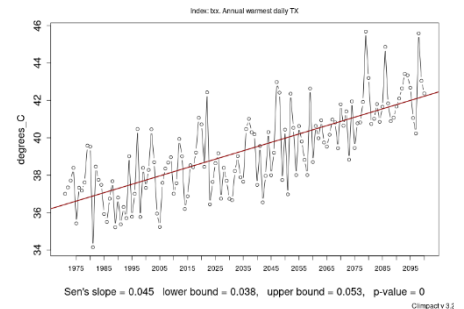
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp26 [37.7303°N, 24.1129°E]



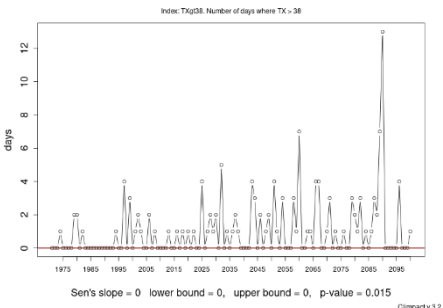
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp45 [37.7303°N, 24.1129°E]



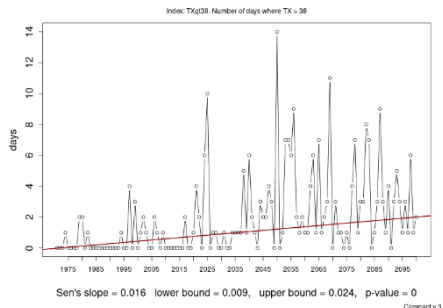
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp85 [37.7303°N, 24.1129°E]



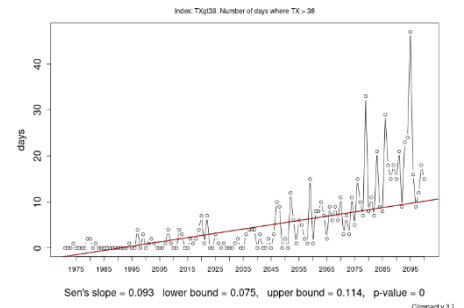
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp26 [37.7303°N, 24.1129°E]



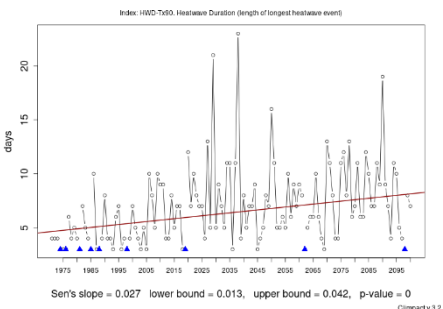
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp45 [37.7303°N, 24.1129°E]



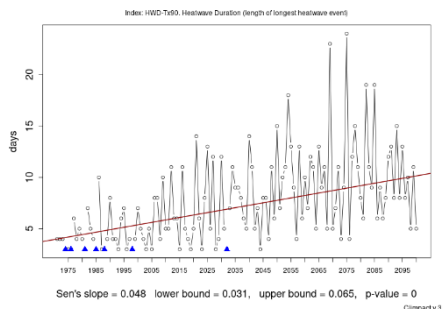
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp85 [37.7303°N, 24.1129°E]



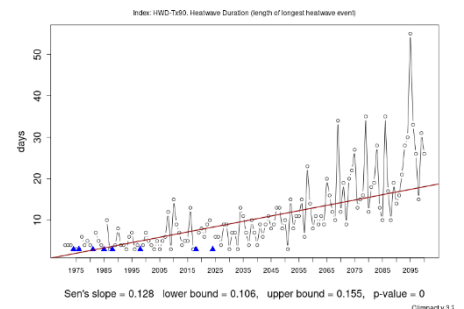
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp26 [37.7303°N, 24.1129°E]



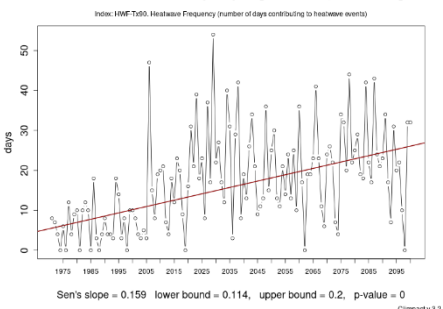
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp45 [37.7303°N, 24.1129°E]



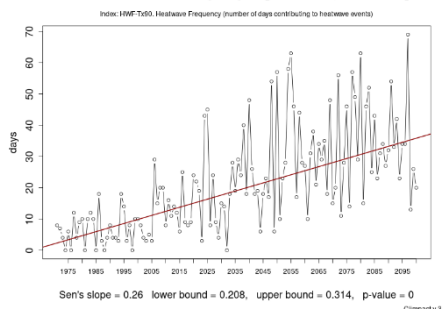
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp85 [37.7303°N, 24.1129°E]



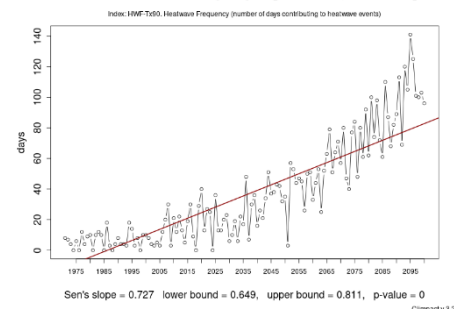
Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp26 [37.7303°N, 24.1129°E]

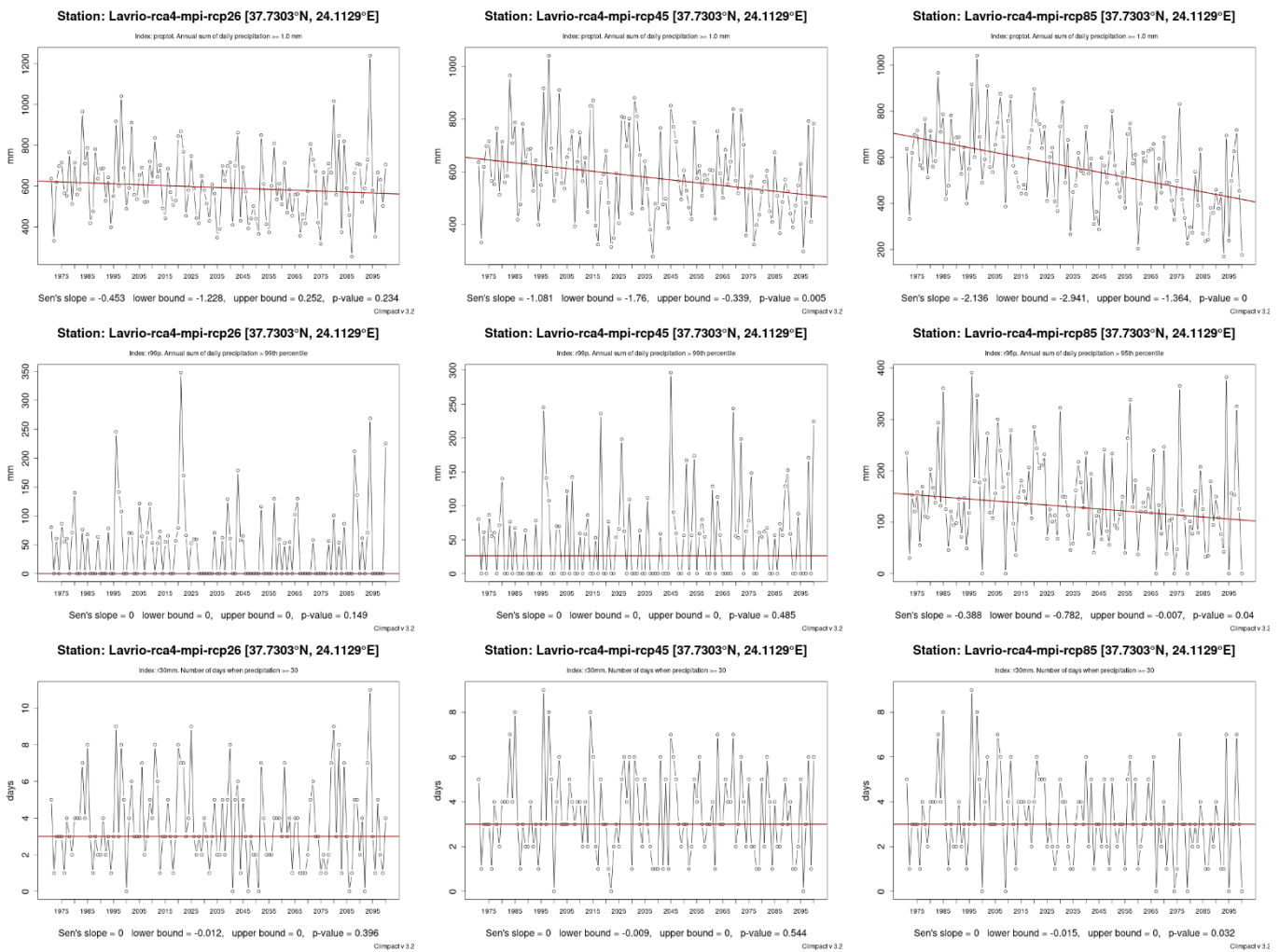


Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp45 [37.7303°N, 24.1129°E]



Station: Lavrio-rca4-mpi-rcp85 [37.7303°N, 24.1129°E]

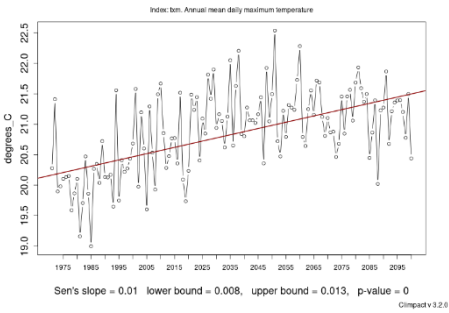




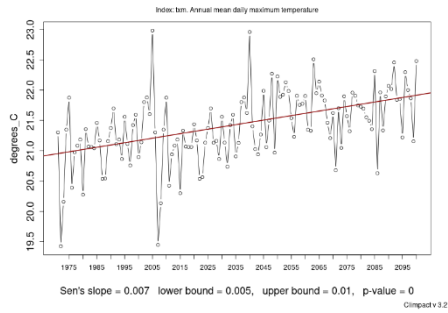
Σχήμα 5.17. Ακραίοι κλιματικοί δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για το Λαύριο για την περίοδο 1971-2100 από τις προσομοιώσεις RCA4-MPI για τα σενάρια RCP2.6 (αριστερή στήλη), RCP4.5 (μεσαία στήλη), και RCP8.5 (δεξιά στήλη). Οι δείκτες ανά γραμμή σχημάτων είναι: ετήσια μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία (txm), θερμότερη ημέρα του έτους (txx), αριθμός ημερών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 38°C (txgt38), ετήσια μέγιστη διάρκεια κύματος καύσινα (HWd-Tx90), αριθμός ημερών που συνεισφέρουν στα κύματα καύσινα κατ' έτος (HWF-Tx90), ετήσια βροχόπτωση (prcptot), ποσό βροχής κατ' έτος που αντιστοιχεί σε περισσότερο από το 99^ο ποσοστημόριο (r99p), αριθμός ημερών με βροχή >30mm (r30mm).

Ηράκλειο

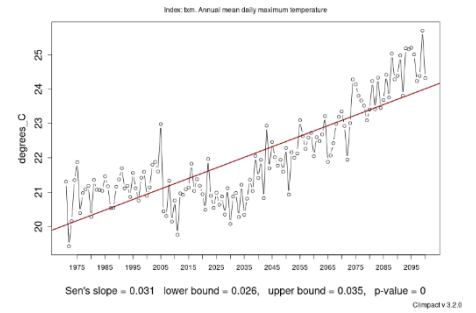
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp26 [35.3316°N, 25.1703°E]



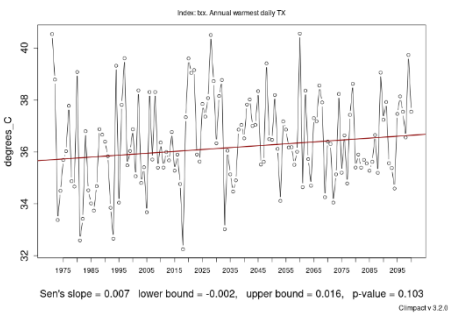
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp45 [35.3316°N, 25.1703°E]



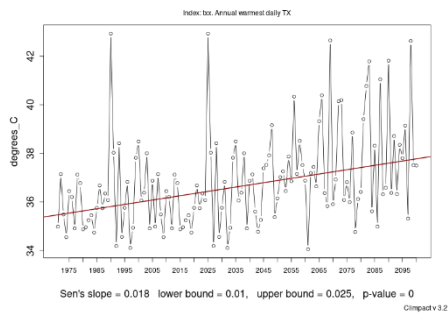
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp85 [35.3316°N, 25.1703°E]



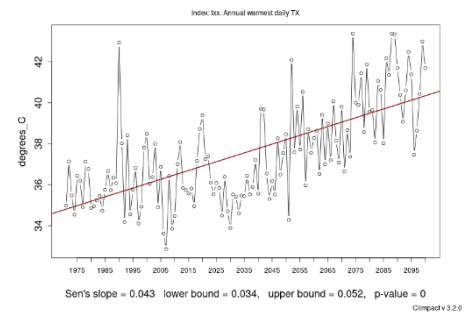
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp26 [35.3316°N, 25.1703°E]



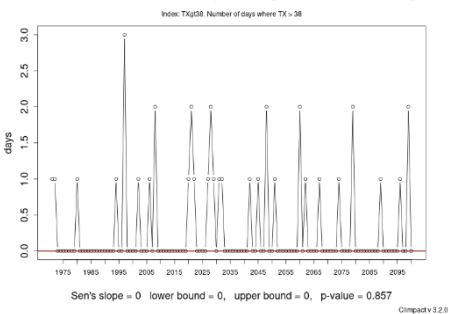
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp45 [35.3316°N, 25.1703°E]



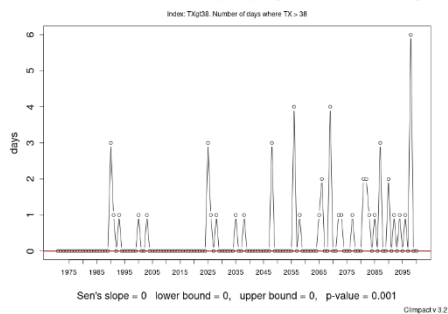
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp85 [35.3316°N, 25.1703°E]



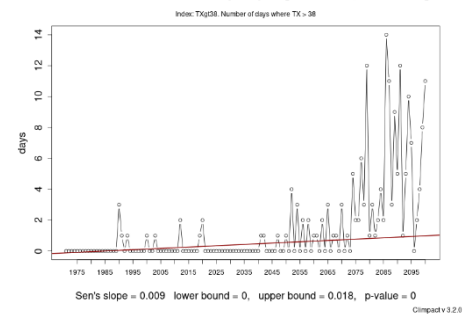
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp26 [35.3316°N, 25.1703°E]



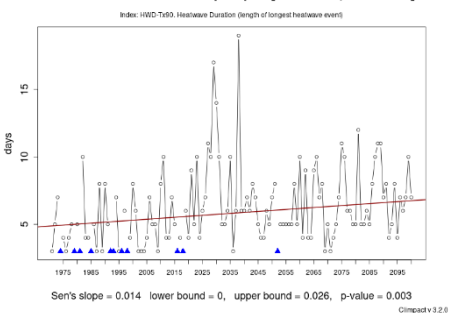
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp45 [35.3316°N, 25.1703°E]



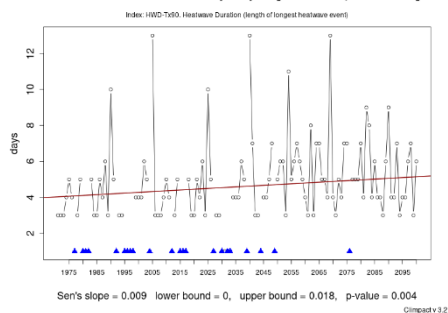
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp85 [35.3316°N, 25.1703°E]



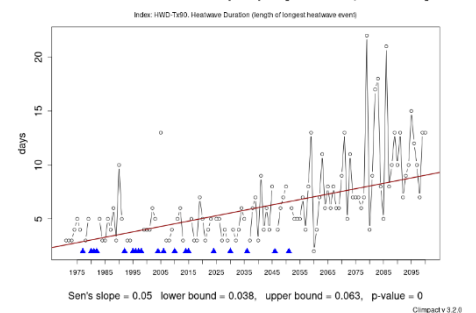
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp26 [35.3316°N, 25.1703°E]



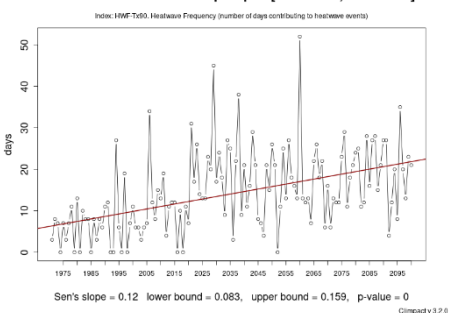
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp45 [35.3316°N, 25.1703°E]



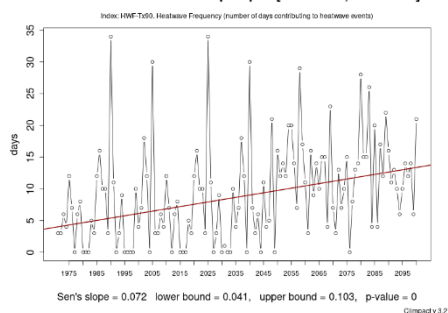
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp85 [35.3316°N, 25.1703°E]



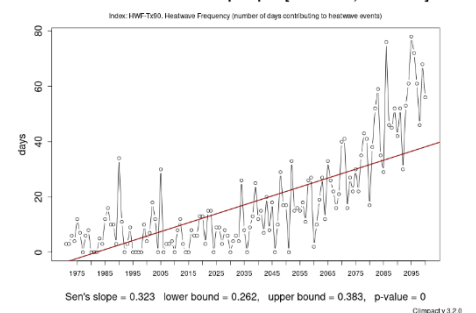
Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp26 [35.3316°N, 25.1703°E]

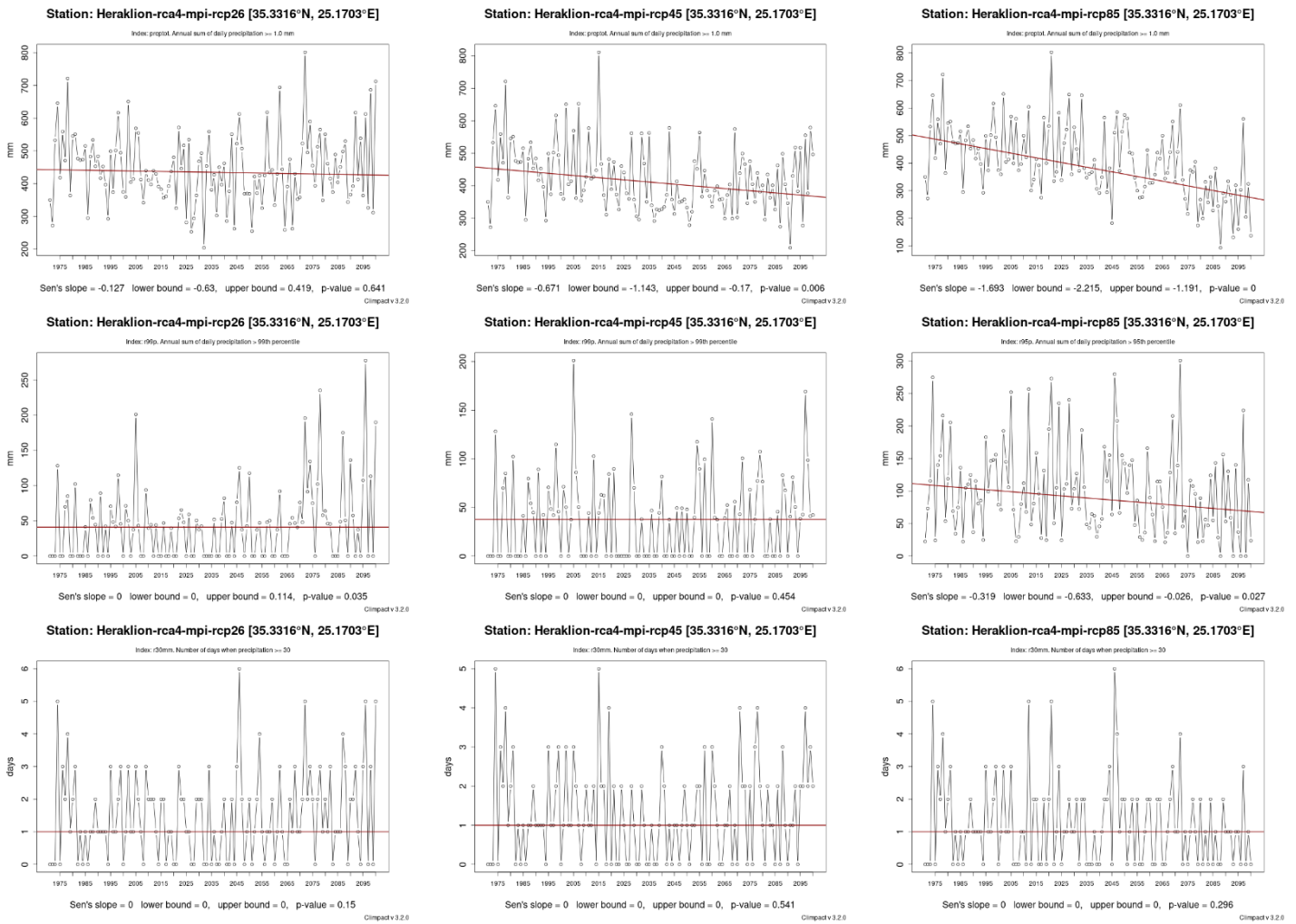


Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp45 [35.3316°N, 25.1703°E]



Station: Heraklion-rca4-mpi-rcp85 [35.3316°N, 25.1703°E]





Σχήμα 5.18. Ακραίοι κλιματικοί δείκτες θερμοκρασίας και βροχόπτωσης για το Ηράκλειο για την περίοδο 1971-2100 από τις προσομοιώσεις RCA4-MPI για τα σενάρια RCP2.6 (αριστερή στήλη), RCP4.5 (μεσαία στήλη), και RCP8.5 (δεξιά στήλη). Οι δείκτες ανά γραμμή σχημάτων είναι: ετήσια μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία (txm), θερμότερη ημέρα του έτους (txx), αριθμός ημερών με θερμοκρασία μεγαλύτερη των 38°C (txgt38), ετήσια μέγιστη διάρκεια κύματος καύσωνα (HWd-Tx90), αριθμός ημερών που συνεισφέρουν στα κύματα καύσωνα κατ' έτος (HWF-Tx90), ετήσια βροχόπτωση (prcptot), ποσό βροχής κατ' έτος που αντιστοιχεί σε περισσότερο από το 99^ο ποσοστημόριο (r99p), αριθμός ημερών με βροχή >30mm (r30mm).

Συμπερασματικά, η ανάλυση των κλιματικών δεικτών για τα λιμάνια που βασίστηκε στις προσομοιώσεις του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RCA4-MPI για την περίοδο 1971-2100 για τρία σενάρια εκπομπών, τα RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5, έδειξε ότι:

Όσον αφορά στη θερμοκρασία, το σενάριο RCP2.6 δείχνει περιορισμένες μεταβολές με ετήσια μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία (txm) που παραμένει σχεδόν σταθερή, ενώ η θερμότερη ημέρα του έτους (txx) και ο αριθμός των ημερών με θερμοκρασία πάνω από 38°C (txgt38) εμφανίζουν ελάχιστες αυξήσεις. Παρομοίως, η διάρκεια και η συχνότητα των κυμάτων καύσωνα (HWd-Tx90 και HWF-Tx90) δεν παρουσιάζουν σημαντικές αλλαγές, υποδηλώνοντας χαμηλό κίνδυνο για έντονα θερμικά φαινόμενα.

Αντίθετα, στο σενάριο RCP4.5 παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση στις θερμοκρασίες μετά το 2040. Η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία αυξάνεται ελαφρώς, ενώ η θερμότερη ημέρα και οι ημέρες με θερμοκρασίες άνω των 38°C αυξάνονται αισθητά. Παράλληλα, οι διάρκειες και οι συχνότητες των κυμάτων καύσωνα αρχίζουν να εντείνονται, με τις αλλαγές να είναι ιδιαίτερα εμφανείς στο δεύτερο μισό του αιώνα.

Τέλος, στο σενάριο RCP8.5, οι αλλαγές είναι δραματικές, ειδικά μετά το 2060. Η αύξηση της θερμοκρασίας αγγίζει σε κάποιες περιπτώσεις τους 0.5° ανά δεκαετία. Η θερμότερη ημέρα του έτους καταγράφει έντονες αυξήσεις, ενώ οι ημέρες με θερμοκρασίες πάνω από 38°C και η διάρκεια των κυμάτων καύσωνα διπλασιάζονται ή τριπλασιάζονται, καταδεικνύοντας τη σοβαρότητα της κλιματικής αλλαγής χωρίς περιοριστικά μέτρα εκπομπών.

Πρέπει να τονιστεί ότι σε όλους τους ακραίους δείκτες θερμοκρασίας και για όλα τα λιμάνια, η τάση αύξησης είναι στατιστικά σημαντική σε επίπεδο εμπιστοσύνης 99% ή και μεγαλύτερο, καθιστώντας την αύξηση των ακραίων γεγονότων θερμοκρασίας αδιαμφισβήτητη.

Όσον αφορά τη βροχόπτωση, στο σενάριο RCP2.6 η ετήσια βροχόπτωση (prcptot) παραμένει σχεδόν σταθερή ή μειώνεται ελαφρώς, ενώ τα ακραία επεισόδια βροχόπτωσης, όπως οι ημέρες με βροχή άνω των 30 mm (r30mm) και οι βροχές που ξεπερνούν το 99ο ποσοστημόριο (r99p), εμφανίζουν περιορισμένες μεταβολές. Στο σενάριο RCP4.5, ωστόσο, καταγράφεται μια μικρή αύξηση των ακραίων φαινομένων βροχόπτωσης, ιδιαίτερα μετά το 2040, με σταδιακή μείωση στη συνολική ετήσια βροχόπτωση. Στο σενάριο RCP8.5, οι αλλαγές είναι πιο έντονες, με τη συνολική βροχόπτωση να μειώνεται στατιστικά σημαντικά σε όλα τα λιμάνια με τιμές που φτάνουν έως και τα -20mm ανά δεκαετία, αλλά τα ακραία φαινόμενα σχεδόν δεν παρουσιάζουν μεταβολή.

Συνολικά, το σενάριο RCP2.6 υποδεικνύει σταθερότητα στις θερμοκρασίες και τις βροχοπτώσεις, ενώ το RCP4.5 παρουσιάζει μέτριες αυξήσεις στις θερμοκρασίες και τα ακραία φαινόμενα, ιδίως στο δεύτερο μισό του αιώνα. Το RCP8.5, από την άλλη, φανερώνει τις δραματικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, με εντονότερα θερμικά κύματα και ακραία επεισόδια βροχόπτωσης.

5.3 Μελλοντικές συνθήκες θαλάσσιας στάθμης

5.3.1 Μελλοντική άνοδος θαλάσσιας στάθμης

Στο πλαίσιο της αποτύπωσης των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών στα υπό μελέτη λιμάνια, παρουσιάζονται σύμφωνα με βάση το εργαλείο της NASA (<https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>) τα δεδομένα προβολής της θαλάσσιας στάθμης από την 6η έκθεση αξιολόγησης της IPCC (AR6).

Αλεξανδρούπολη

Η Άνοδος θαλάσσιας στάθμης στον Λιμένα Αλεξανδρούπολης δίνεται στον παρακάτω Πίνακα

Projected Sea Level Rise Under Different SSP Scenarios for Alexandroupoli					
Scenario	Sea Level Rise 2040	Sea Level Rise 2050	Sea Level Rise 2060	Sea Level Rise 2080	Sea Level Rise 2100

SSP1-2.6	0.14 m	0.19 m	0.24 m	0.33 m	0.41 m
SSP2-4.5	0.14 m	0.20 m	0.26 m	0.39 m	0.51 m
SSP3-7.0	0.20 m	0.21 m	0.27 m	0.43 m	0.61 m
SSP5-8.5	0.23 m	0.23 m	0.30 m	0.47 m	0.70 m

Ηγουμενίτσα

Η Άνοδος θαλάσσιας στάθμης στον Λιμένα Ηγουμενίτσας δίνεται στον παρακάτω Πίνακα

Projected Sea Level Rise Under Different SSP Scenarios for Igoumenitsa					
Scenario	Sea Level Rise 2040	Sea Level Rise 2050	Sea Level Rise 2060	Sea Level Rise 2080	Sea Level Rise 2100
SSP1-2.6	0.15 m	0.20 m	0.25 m	0.35 m	0.44 m
SSP2-4.5	0.15 m	0.22 m	0.28 m	0.42 m	0.56 m
SSP3-7.0	0.16 m	0.23 m	0.29 m	0.46 m	0.66 m
SSP5-8.5	0.17 m	0.24 m	0.32 m	0.50 m	0.76 m

Βόλος

Η Άνοδος θαλάσσιας στάθμης στον Λιμένα Βόλου δίνεται στον παρακάτω Πίνακα

Projected Sea Level Rise Under Different SSP Scenarios for Volos					
Scenario	Sea Level Rise 2040	Sea Level Rise 2050	Sea Level Rise 2060	Sea Level Rise 2080	Sea Level Rise 2100
SSP1-2.6	0.15 m	0.20 m	0.25 m	0.35 m	0.44 m
SSP2-4.5	0.15 m	0.22 m	0.28 m	0.42 m	0.56 m
SSP3-7.0	0.16 m	0.23 m	0.29 m	0.46 m	0.66 m
SSP5-8.5	0.17 m	0.24 m	0.32 m	0.50 m	0.76 m

Χαλκίδα

Η Άνοδος θαλάσσιας στάθμης στον Λιμένα Β.Χαλκίδα δίνεται στον παρακάτω Πίνακα

Projected Sea Level Rise Under Different SSP Scenarios for Halkida					
Scenario	Sea Level Rise 2040	Sea Level Rise 2050	Sea Level Rise 2060	Sea Level Rise 2080	Sea Level Rise 2100
SSP1-2.6	0.08 m	0.12 m	0.15 m	0.21 m	0.26 m

SSP2-4.5	0.08 m	0.13 m	0.17 m	0.27 m	0.36 m
SSP3-7.0	0.09 m	0.14 m	0.18 m	0.31 m	0.47 m
SSP5-8.5	0.10m	0.16 m	0.21 m	0.35 m	0.56 m

Λαύριο

Η Άνοδος θαλάσσιας στάθμης στον Λιμένα Λαυρίου δίνεται στον παρακάτω Πίνακα

Projected Sea Level Rise Under Different SSP Scenarios for Lavrio					
Scenario	Sea Level Rise 2040	Sea Level Rise 2050	Sea Level Rise 2060	Sea Level Rise 2080	Sea Level Rise 2100
SSP1-2.6	0.08 m	0.12 m	0.15 m	0.21 m	0.26 m
SSP2-4.5	0.08 m	0.13 m	0.17 m	0.27 m	0.36 m
SSP3-7.0	0.09 m	0.14 m	0.18 m	0.31 m	0.47 m
SSP5-8.5	0.10m	0.16 m	0.21 m	0.35 m	0.56 m

Ηράκλειο

Η Άνοδος θαλάσσιας στάθμης στον Λιμένα Ηρακλείου δίνεται στον παρακάτω Πίνακα

Projected Sea Level Rise Under Different SSP Scenarios for Heraklion					
Scenario	Sea Level Rise 2040	Sea Level Rise 2050	Sea Level Rise 2060	Sea Level Rise 2080	Sea Level Rise 2100
SSP1-2.6	0.20 m	0.34 m	0.47 m	0.59 m	0.20 m
SSP2-4.5	0.21 m	0.36 m	0.53 m	0.70 m	0.21 m
SSP3-7.0	0.21 m	0.38 m	0.58 m	0.81 m	0.21 m
SSP5-8.5	0.23 m	0.41 m	0.62 m	0.90 m	0.23 m

5.3.2 Δείκτες μεταβολής θαλάσσιας στάθμης

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η ανάλυση του συνόλου δεδομένων που παρέχει στατιστικούς δείκτες για τις παλίρροιες, τα κύματα καταιγίδων και τη στάθμη της θάλασσας, οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό της παγκόσμιας στάθμης της θάλασσας στις σημερινές συνθήκες και για την αξιολόγηση των αλλαγών στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Συγκεκριμένα, δίνονται σε μορφή πίνακα οι περίοδοι επαναφοράς (1, 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 έτη) για τη θαλάσσια στάθμη για τα έτη 2021 – 2050 της θαλάσσιας στάθμης με τη μελλοντική περίοδο να βασίζεται σε παγκόσμιες κλιματικές

προβλέψεις με χρήση του σεναρίου υψηλών εκπομπών SSP5-8.5. Σημειώνεται ότι η συνιστώσα της μελλοντικής ανόδου της θαλάσσιας στάθμης δεν περιλαμβάνεται στην παρούσα ανάλυση.

Αλεξανδρούπολη

Οι μελλοντικές περιόδους επαναφοράς: 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 έτη για την ακραία αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, όπως αυτή που προκύπτει από την ανάλυση και τις κλιματικές προβλέψεις υψηλής ανάλυσης CMIP6.

SSP5-8.5 Return Periods for Alexandroupoli								
2021 - 2050								
Variable	"rp1"	"rp2"	"rp5"	"rp10"	"rp25"	"rp50"	"rp75"	"rp100"
Total Water Level	0.321	0.348	0.384	0.411	0.447	0.474	0.489	0.5

Ηγουμενίτσα

Οι μελλοντικές περιόδους επαναφοράς: 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 έτη για την ακραία αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, όπως αυτή που προκύπτει από την ανάλυση και τις κλιματικές προβλέψεις υψηλής ανάλυσης CMIP6.

SSP5-8.5 Return Periods for Igoumenitsa								
2021 - 2050								
Variable	"rp1"	"rp2"	"rp5"	"rp10"	"rp25"	"rp50"	"rp75"	"rp100"
Total Water Level	0.326	0.353	0.389	0.416	0.452	0.479	0.495	0.506

Βόλος

Οι μελλοντικές περιόδους επαναφοράς: 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 έτη για την ακραία αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, όπως αυτή που προκύπτει από την ανάλυση και τις κλιματικές προβλέψεις υψηλής ανάλυσης CMIP6.

SSP5-8.5 Return Periods for Volos								
2021 - 2050								
Variable	"rp1"	"rp2"	"rp5"	"rp10"	"rp25"	"rp50"	"rp75"	"rp100"
Total Water Level	0.294	0.32	0.356	0.383	0.418	0.445	0.46	0.471

Χαλκίδα

Οι μελλοντικές περιόδους επαναφοράς: 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 έτη για την ακραία αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, όπως αυτή που προκύπτει από την ανάλυση και τις κλιματικές προβλέψεις υψηλής ανάλυσης CMIP6.

SSP5-8.5 Return Periods for Halkida								
2021 - 2050								
Variable	"rp1"	"rp2"	"rp5"	"rp10"	"rp25"	"rp50"	"rp75"	"rp100"
Total Water Level	0.315	0.342	0.377	0.404	0.439	0.466	0.482	0.493

Λαύριο

Οι μελλοντικές περιόδους επαναφοράς: 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 έτη για την ακραία αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, όπως αυτή που προκύπτει από την ανάλυση και τις κλιματικές προβλέψεις υψηλής ανάλυσης CMIP6.

SSP5-8.5 Return Periods for Lavrio								
2021 - 2050								
Variable	"rp1"	"rp2"	"rp5"	"rp10"	"rp25"	"rp50"	"rp75"	"rp100"
Total Water Level	0.333	0.36	0.396	0.423	0.459	0.486	0.502	0.513

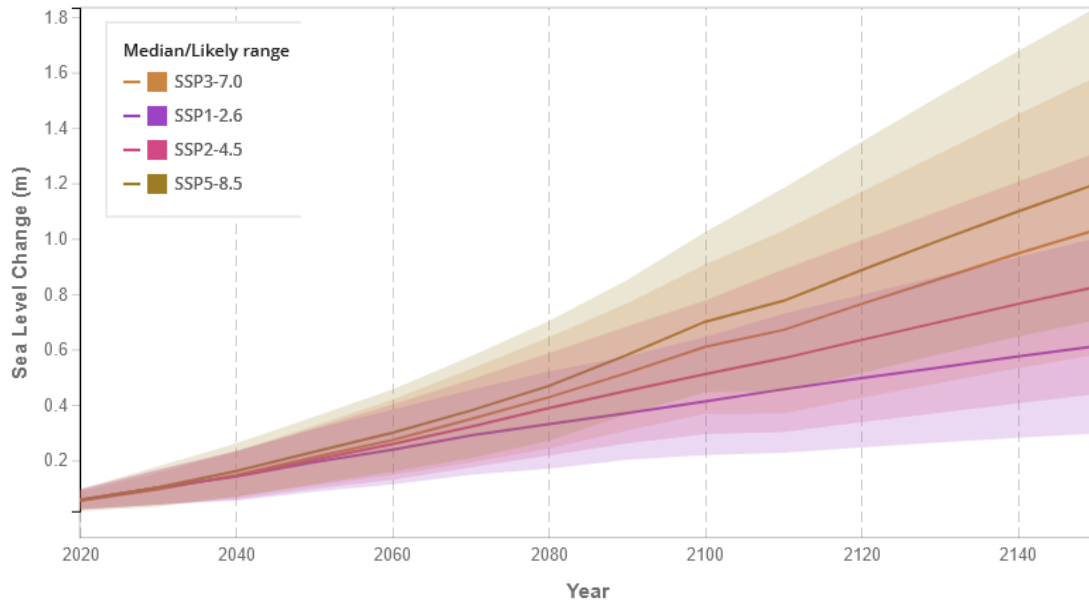
Ηράκλειο

Οι μελλοντικές περιόδους επαναφοράς: 1, 2, 5, 10, 25, 50, 75, 100 έτη για την ακραία αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, όπως αυτή που προκύπτει από την ανάλυση και τις κλιματικές προβλέψεις υψηλής ανάλυσης CMIP6.

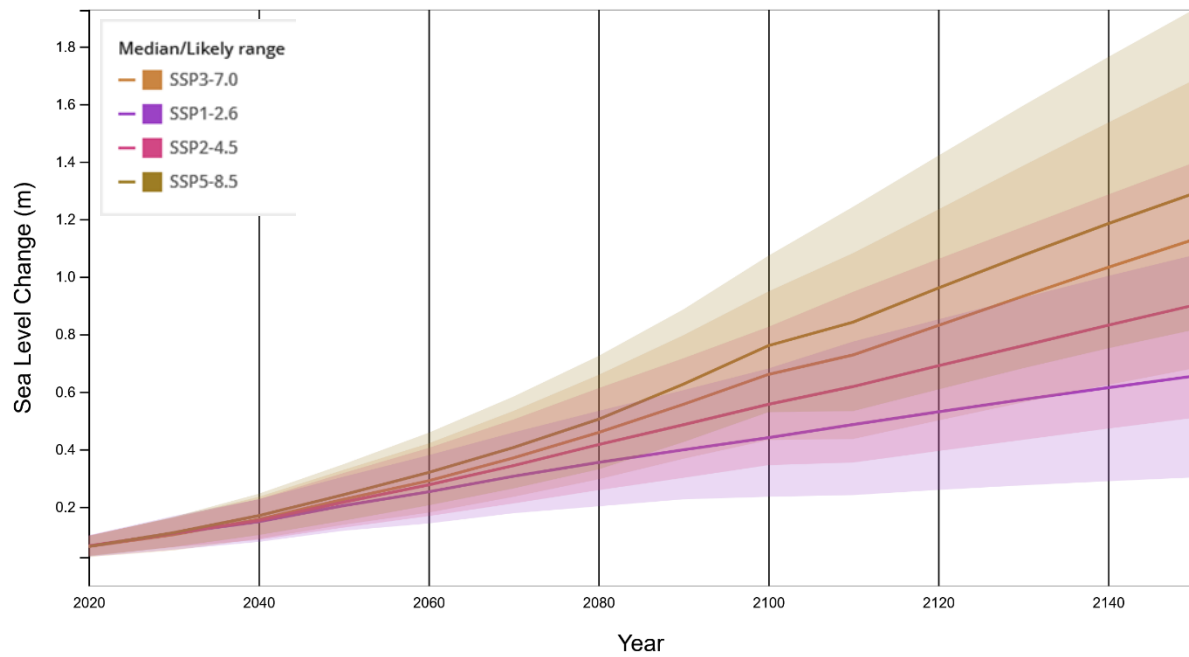
SSP5-8.5 Return Periods for Heraklion								
2021 - 2050								
Variable	"rp1"	"rp2"	"rp5"	"rp10"	"rp25"	"rp50"	"rp75"	"rp100"
Total Water Level	0.397	0.427	0.466	0.496	0.535	0.564	0.581	0.594

5.3.3 Ακραίες τιμές θαλάσσιας στάθμης

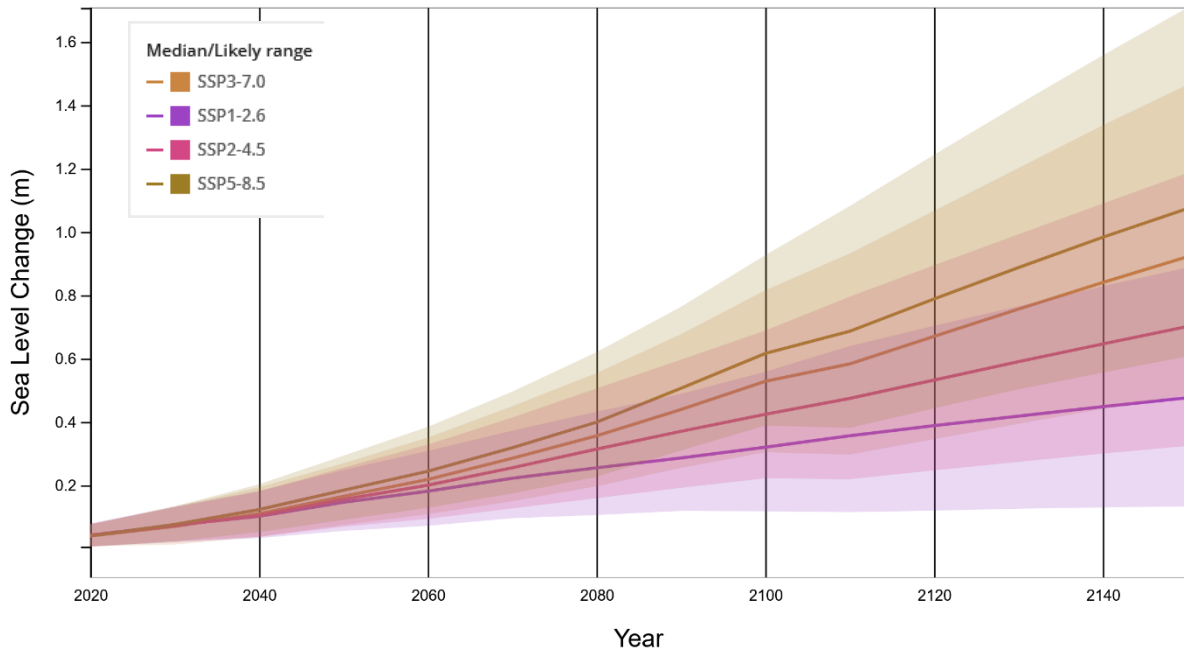
Στο παρόν κεφάλαιο, παρουσιάζονται ανά λιμάνι οι προβλέψεις ανόδου θαλάσσιας στάθμης που σχετίζονται με τη συνολική στάθμη της θάλασσας, συμπεριλαμβανομένων των παλιρροιών, των κυμάτων καταγίδων και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας από το 1950 έως το 2050 με βάση υδροδυναμικά μοντέλα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.19 έως 5.24



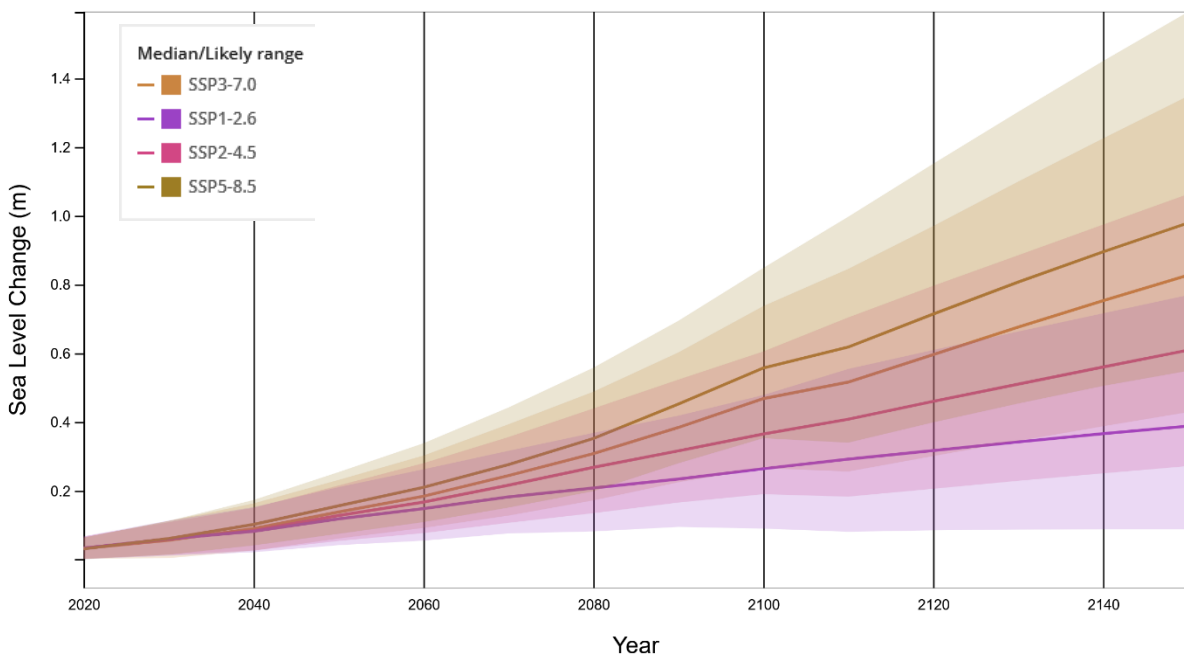
Σχήμα 5.19 Διάγραμμα πρόβλεψης μαζί με τις αβεβαιότητες για τη «Συνολική αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, Αλεξανδρούπολη.



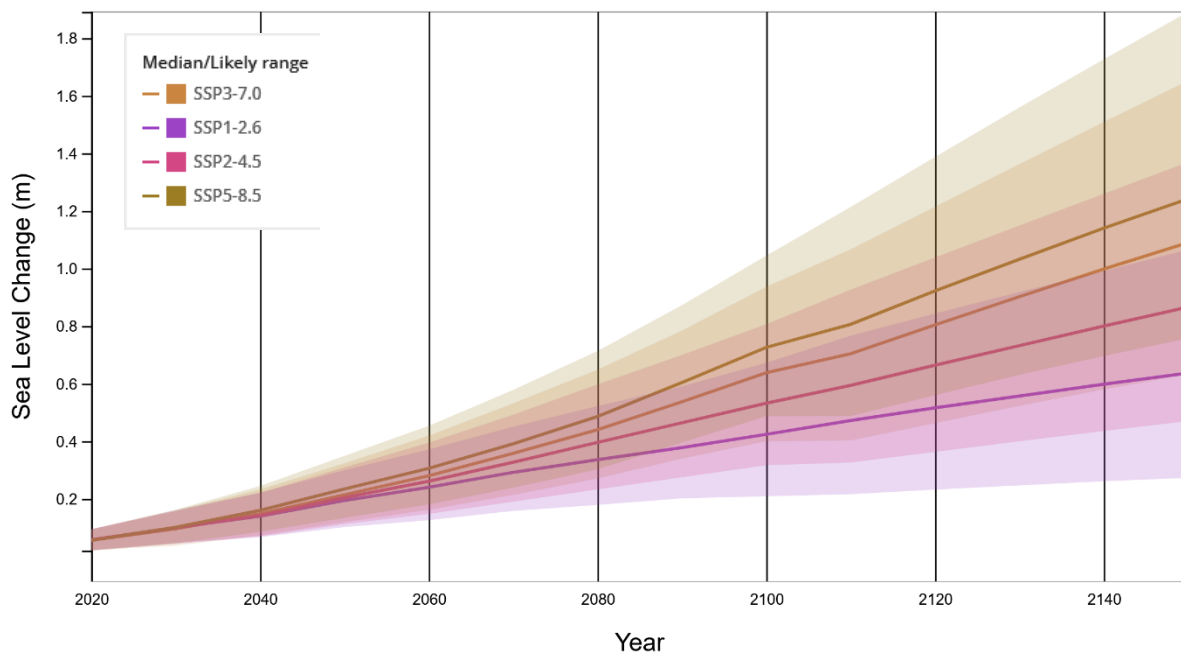
Σχήμα 5.20 Διάγραμμα πρόβλεψης μαζί με τις αβεβαιότητες για τη «Συνολική αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, Ηγουμενίτσα.



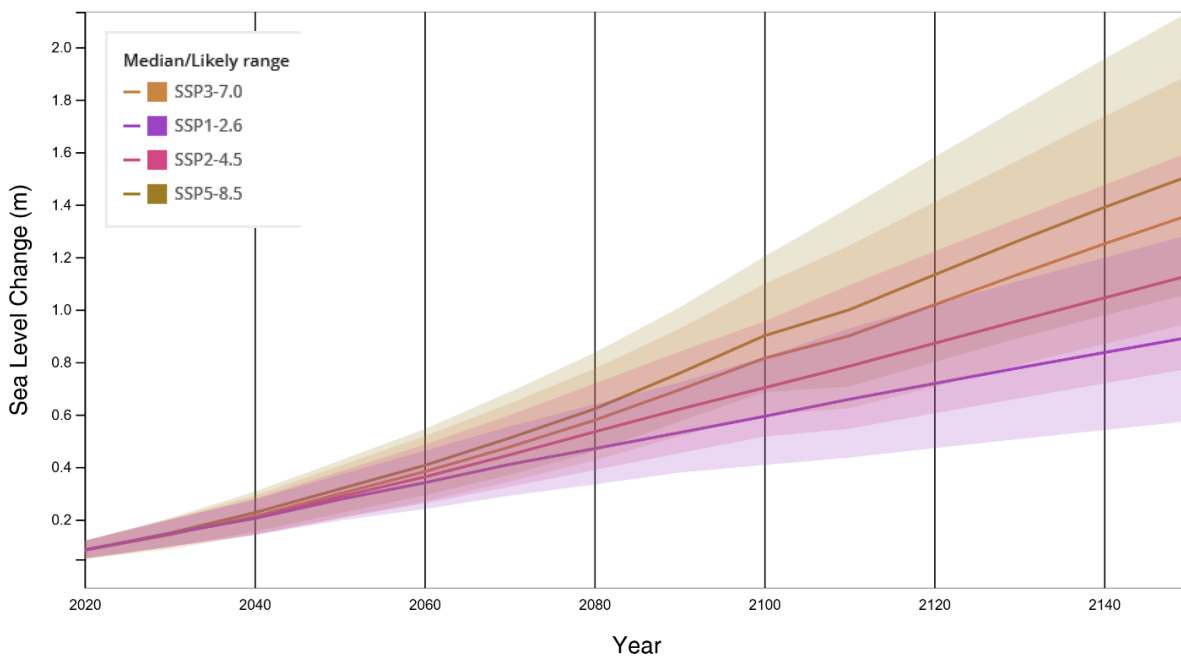
Σχήμα 5.21 Διάγραμμα πρόβλεψης μαζί με τις αβεβαιότητες για τη «Συνολική αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, Βόλος.



Σχήμα 5.22 Διάγραμμα πρόβλεψης μαζί με τις αβεβαιότητες για τη «Συνολική αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, Β. Χαλκίδα.

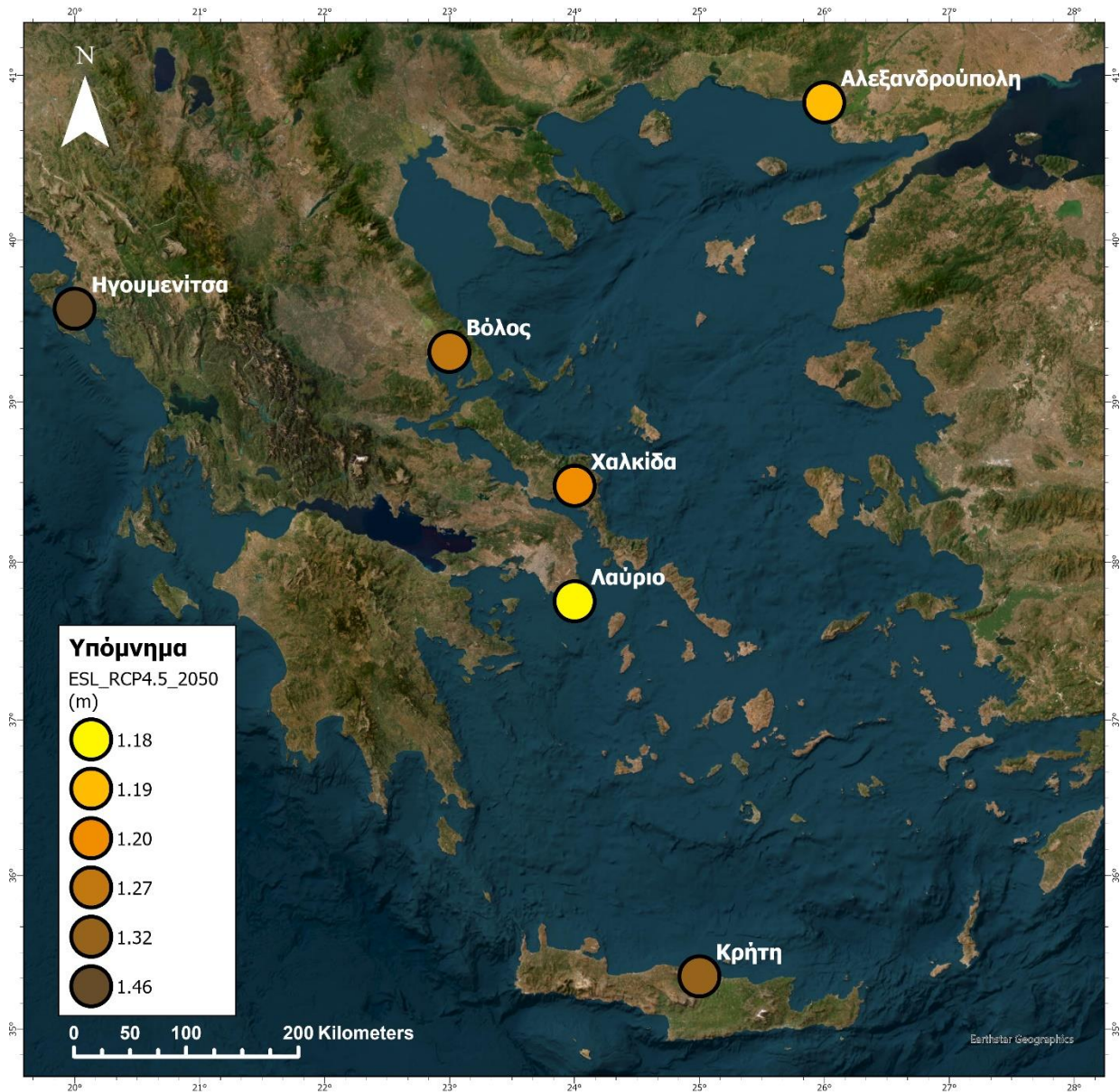


Σχήμα 5.23 Διάγραμμα πρόβλεψης μαζί με τις αβεβαιότητες για τη «Συνολική αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, Λαύριο.

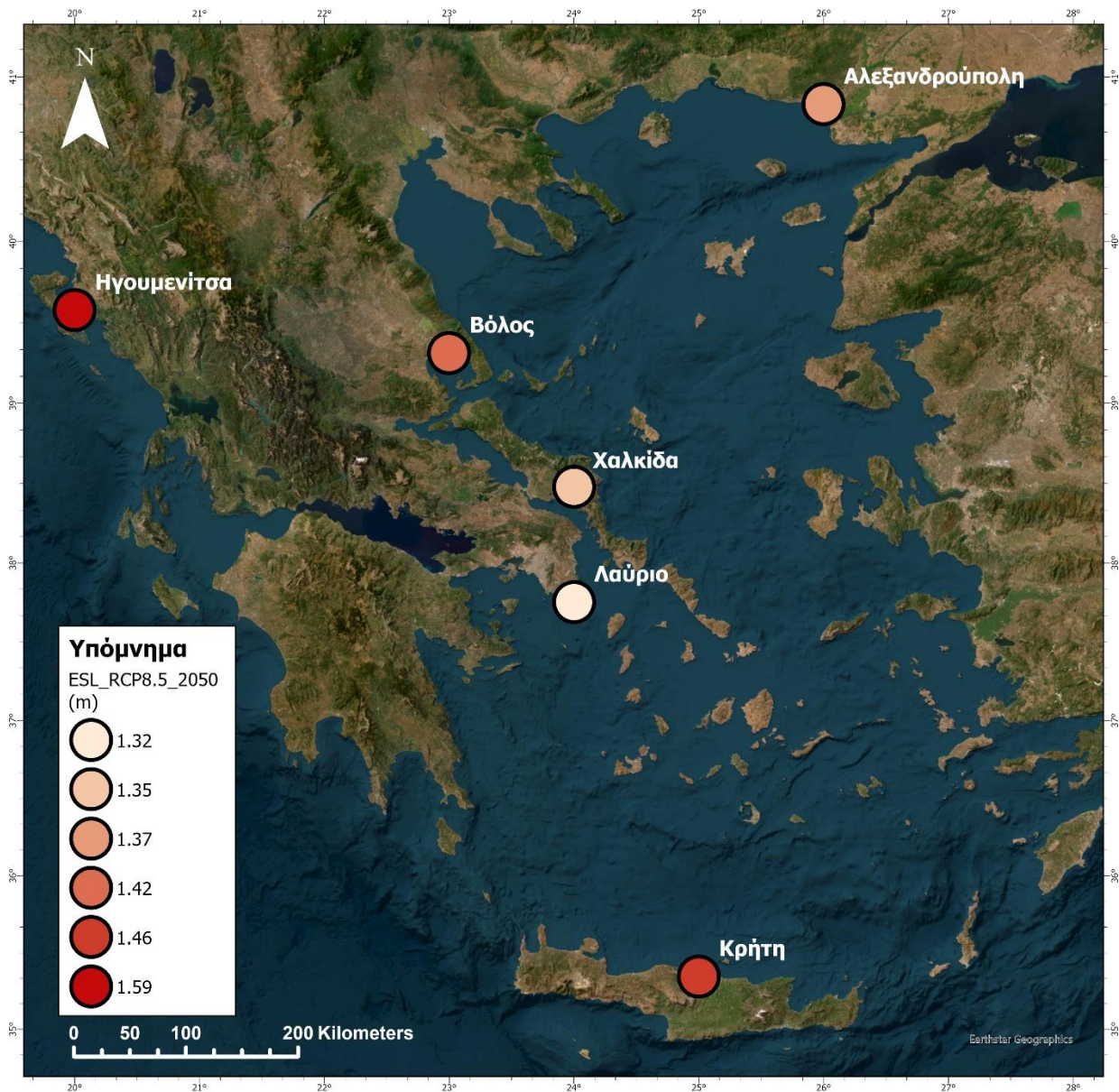


Σχήμα 5.24 Διάγραμμα πρόβλεψης μαζί με τις αβεβαιότητες για τη «Συνολική αλλαγή της στάθμης της θάλασσας, Ηράκλειο.

Στους ακόλουθους χάρτες (Σχήματα 5.25 και 5.26) παρουσιάζεται η χωρική κατανομή των τιμών της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης για τα δύο μελλοντικά σενάρια RCP4.5 και RCP4.6.



Σχήμα 5.25 Ακραίες τιμές μελλοντικής θαλάσσιας στάθμης με βάση το σενάριο RCP4.5 για το 2050.



Σχήμα 5.25 Ακραίες τιμές μελλοντικής θαλάσσιας στάθμης με βάση το σενάριο RCP8.5 για το 2050.

6 Βιβλιογραφία

- Beljaars, A. C. M., 1995: The parametrization of surface fluxes in large-scale models under free convection. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 121, 255–270, <https://doi.org/10.1002/qj.49712152203>.
- Dudhia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, 46, 3077–3107, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1989\)046<3077:NSOCOD.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1989)046<3077:NSOCOD.2.0.CO;2).
- Hersbach H, Bell B, Berrisford P, et al. The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc.* 2020; 146: 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hong, S.-Y., and J.-O. J. Lim, 2006: The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 42, 129–151.
- Kain, J. S., 2004: The Kain–Fritsch convective parameterization: An update. *J. Appl. Meteor.*, 43, 170–181, [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2004\)043<0170:TKCPAU.2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2004)043<0170:TKCPAU.2.0.CO;2).
- Mlawer, E. J., S. J. Taubman, P. D. Brown, M. J. Iacono, and S. A. Clough, 1997: Radiative transfer for inhomogeneous atmospheres: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. *J. Geophys. Res.*, 102, 16 663–16 682, <https://doi.org/10.1029/97JD00237>.
- Otero-Casal, C.; Patlakas, P.; Prósper, M.A.; Galanis, G.; Miguez-Macho, G. Development of a High-Resolution Wind Forecast System Based on the WRF Model and a Hybrid Kalman-Bayesian Filter. *Energies* 2019, 12, 3050. <https://doi.org/10.3390/en12163050>
- Patlakas, P., and Coauthors, 2023: The Development and Operational Use of an Integrated Numerical Weather Prediction System in the National Center for Meteorology of the Kingdom of Saudi Arabia. *Wea. Forecasting*, 38, 2289–2319, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-23-0034.1>.
- Powers, J. G. and Coauthors (2017). The Weather Research and Forecasting Model: Overview, System Efforts, and Future Directions. *Bulletin of the American Meteorological Society* 98: 1717-1737. doi: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-15-00308.1>
- Skamarock, C. and Coauthors (2019). A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4. In *A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4*.
- Skamarock, W. C., and Coauthors, 2008: A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-4751STR, 113 pp., <https://doi.org/10.5065/D68S4MVH>.
- Slater, J. A., B. Healy, G. Kroenung, W. Curtis, J. Haase, D. Hoegemann, C. Shockley, and K. Tracy, 2011: Global assessment of the new aster global digital elevation model. *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 77, 335–349, <https://doi.org/10.14358/PERS.77.4.335>.
- Zhang X, Alexander L, Hegerl G C, Jones P, Tank A K, Peterson T C, Trewin B and Zwiers F W 2011 Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* 2 851–70 Online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/wcc.147>