

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**



**ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π4.1:** Κλιματικός κίνδυνος στα λιμάνια μελέτης (*climate hazard*)

**Υποενότητα Εργασίας:** Διερεύνηση κλιματικού κινδύνου στα λιμάνια μελέτης (*Climate Hazard*)



## Περιεχόμενα

Περιγραφή Παραδοτέου .....	3
Σύνθεση Ομάδας Έργου Παραδοτέου .....	3
1 Εισαγωγή.....	4
2 Δεδομένα.....	5
2.1 Κλιματικά δεδομένα.....	5
2.2 Δεδομένα θαλάσσιας στάθμης.....	5
3 Μεθοδολογία .....	6
3.1 Ορισμός Κλιματικού Κινδύνου (Climate Hazard).....	6
3.2 Ορισμός επιπτώσεων κλιματικού κινδύνου (Impacts) .....	7
3.3 Κανονικοποίηση των κλιματικών δεικτών.....	7
4 Αποτελέσματα.....	9
4.1 Ανεμολογικός Κίνδυνος .....	9
4.1.1 Αριθμός ημερών υπέρβασης κατωφλίων έντασης ανέμου. ....	10
4.1.2 Προσδιορισμός και ταξινόμηση ανεμολογικού κινδύνου .....	17
4.2 Κίνδυνος ακραίας θερμοκρασίας .....	19
4.2.1 Προσδιορισμός και ταξινόμηση κινδύνου ακραίας θερμοκρασίας.....	19
4.3 Κίνδυνος θερμικής καταπόνησης .....	21
4.3.1 Δείκτης Θερμικής Καταπόνησης .....	21
4.3.2 Προσδιορισμός και ταξινόμηση κινδύνου θερμικής καταπόνησης.....	22
4.4 Κίνδυνος ακραίας ανόδου θαλάσσιας στάθμης .....	24
4.4.1 Αριθμός ημερών υπέρβασης κατωφλίων θαλάσσιας στάθμης- Ενδο-Λιμενική Σύγκριση .....	25
4.4.2 Προσδιορισμός και ταξινόμηση ενδολιμενικού κινδύνου ακραίας θαλάσσιας στάθμης.....	28
4.4.3 Αριθμός ημερών υπέρβασης κατωφλίων ακραίας θαλάσσιας στάθμης- Διαλιμενική Σύγκριση	32
4.4.4 Ακραία θαλάσσια στάθμη- Συμπεράσματα .....	35
5 Βιβλιογραφία .....	37

## Περιγραφή Παραδοτέου

Η διερεύνηση των κλιματικών κινδύνων στα λιμάνια μελέτης βασίστηκε σε μελλοντικές προβολές της κλιματικής αλλαγής και εστίασε στην εκτιμώμενη επιδείνωση των ακραίων καιρικών φαινομένων (καύσωνες και επικίνδυνες βιοκλιματικές συνθήκες, ισχυρές βροχοπτώσεις, έντονοι άνεμοι), καθώς και στην άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για τα σενάρια εκπομπών SSP2.6, SSP4.5 και SSP8.5, με χρονικό ορίζοντα το 2060 (IPCC, 2021), λαμβάνοντας υπόψη τη διάρκεια ζωής των λιμενικών υποδομών (περίπου 30 έτη) και την ανάγκη έγκαιρου σχεδιασμού μέτρων προσαρμογής για την προστασία κρίσιμων υποδομών.

## Σύνθεση Ομάδας Έργου Παραδοτέου

Μαρία Χατζάκη, Αναπλ. Καθηγήτρια

Φραγκίσκος Μαρκοζανές, BSc

Πλάτων Πατλάκας, Δρ.

Ματίνα Λεσιώτη, MSc

Ισαβέλλα Μονιούδη, Δρ.

Κατερίνα Καρδισιά, Επίκ. Καθηγήτρια

## 1 Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις για τις παράκτιες υποδομές, με τα λιμάνια να συγκαταλέγονται μεταξύ των πλέον εκτεθειμένων και ευάλωτων συστημάτων (Asariotis et al., 2024; León-Mateos et al., 2021). Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, η αυξανόμενη ένταση ακραίων καιρικών φαινομένων, οι θαλάσσιες πλημμύρες και τα παρατεταμένα κύματα καύσωνα δύνανται να προκαλέσουν σημαντικές επιπτώσεις στις λιμενικές υποδομές και λειτουργίες, οδηγώντας σε φυσικές φθορές, λειτουργικές διαταραχές και μειωμένη αξιοπιστία των λιμενικών κόμβων (Christodoulou et al., 2019; Monioudi et al., 2025a; Karditsa et al., 2024). Ακόμη και μικρές αυξήσεις της μέσης στάθμης της θάλασσας μπορούν να εντείνουν τη θαλάσσια κατάκλυση λιμενικών χώρων και τη συχνότητα διακοπών λειτουργίας, επηρεάζοντας την αποδοτικότητα των λιμένων και τη ροή των εμπορευματικών μεταφορών (Christodoulou et al., 2019).

Οι επιπτώσεις αυτές δεν περιορίζονται στο επίπεδο της τοπικής λειτουργίας των λιμένων, αλλά εκτείνονται στην ευρύτερη εφοδιαστική αλυσίδα, επηρεάζοντας την αξιοπιστία των μεταφορών, το κόστος λειτουργίας και τη σταθερότητα των δικτύων διακίνησης αγαθών σε εθνικό και διεθνές επίπεδο (Asariotis et al., 2024; León-Mateos et al., 2021). Σε εθνικό επίπεδο, μελέτες για το ελληνικό λιμενικό σύστημα καταδεικνύουν ότι ο συνδυασμός θαλάσσιων πλημμυρών και υψηλών θερμοκρασιών μπορεί να επηρεάσει τόσο τις υποδομές όσο και τους χρήστες και εργαζόμενους των λιμένων, αναδεικνύοντας την ανάγκη για ολοκληρωμένες εκτιμήσεις κινδύνου και στρατηγικές προσαρμογής (Monioudi et al., 2025a; Monioudi et al., 2025b; Karditsa et al., 2025).

Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή αυξάνει την έκθεση του εργατικού δυναμικού σε υψηλές θερμοκρασίες και ακραία καιρικά φαινόμενα, ενισχύοντας τον κίνδυνο θερμικού στρες, αφυδάτωσης, μειωμένης συγκέντρωσης και εργατικών ατυχημάτων, ιδίως σε υπαίθριους χώρους εργασίας όπως τα λιμάνια (ILO, 2019; Kjellstrom et al., 2016; ΕΛΙΝΥΑΕ, 2024). Η θερμική καταπόνηση μπορεί να επηρεάσει τη γνωστική λειτουργία και τα αντανάκλαστικά των εργαζομένων, αυξάνοντας τον κίνδυνο ατυχημάτων και επαγγελματικών ασθενειών (ΕΛΙΝΥΑΕ, 2024; Υπουργείο Εργασίας, 2022). Επιπλέον, οι υπαίθριες χειρωνακτικές εργασίες συγκαταλέγονται στις δραστηριότητες υψηλού κινδύνου κατά τη διάρκεια καυσώνων, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη λήψη τεχνικών και οργανωτικών μέτρων πρόληψης (Υπουργείο Εργασίας, 2022).

Η αποτελεσματική διαχείριση των παραπάνω κινδύνων απαιτεί τη συστηματική ενσωμάτωση κλιματικών παραμέτρων στον στρατηγικό και επιχειρησιακό σχεδιασμό των λιμένων, καθώς και την ανάπτυξη προσαρμοστικών και μετριαστικών μέτρων που ενισχύουν την ανθεκτικότητα των υποδομών και την προστασία των εργαζομένων. Η υιοθέτηση δεικτών ανθεκτικότητας, η αξιοποίηση συμμετοχικών προσεγγίσεων και η ενίσχυση των πολιτικών και κανονιστικών πλαισίων αποτελούν βασικά βήματα για την αντιμετώπιση των σύνθετων προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής στους λιμένες (León-Mateos et al., 2021; Polydoropoulou et al., 2025; Karditsa et al., 2025).

## 2 Δεδομένα

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται συνοπτικά τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση του κλιματικού κινδύνου. Η αναλυτική περιγραφή των δεδομένων και της μεθοδολογίας επεξεργασίας τους παρατίθεται στο Παραδοτέο Π2.3.

### 2.1 Κλιματικά δεδομένα

Για την αποτύπωση των υφιστάμενων κλιματικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών της EMY, καθώς και δεδομένα αναδρομικής ανάλυσης (reanalysis) ERA5 του Copernicus Climate Change Service (C3S/ECMWF), για την περίοδο 1950–2022. Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν πεδία θερμοκρασίας, υετού και ανέμου, στα οποία εφαρμόστηκε διαδικασία υποβιβασμού κλίμακας (downscaling).

Για την εκτίμηση των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από εννέα περιοχικά κλιματικά μοντέλα (RCMs) του προγράμματος EURO-CORDEX (hirham5-icearth, racmo22e-cnrm, ramco22e-mohc, rca4-icearth, rca4-mohc, και rca4-mpi), βασισμένα σε προσομοιώσεις παγκόσμιων κλιματικών μοντέλων (GCMs) που καλύπτουν την περίοδο 1950–2100. Η παρούσα ανάλυση πραγματοποιήθηκε την ιστορική περίοδο, καθώς και για δύο μελλοντικές περιόδους, 2021–2040 και 2041–2060, και τρία μελλοντικά σενάρια κλιματικής αλλαγής (RCP2.6, RCP4.5 και RCP8.5).

### 2.2 Δεδομένα θαλάσσιας στάθμης

Για την υφιστάμενη κατάσταση της στάθμης της θάλασσας χρησιμοποιήθηκαν ωριαία δεδομένα παλιρροιογράφων από την Ελληνική Υδρογραφική Υπηρεσία του Πολεμικού Ναυτικού για επιλεγμένους λιμένες της μελέτης, καθώς και δεδομένα από τον πλησιέστερο διαθέσιμο σταθμό όπου δεν υπήρχαν άμεσες καταγραφές.

Για τη μελέτη της μεταβολής και της μελλοντικής ανόδου της στάθμης της θάλασσας αξιοποιήθηκαν δεδομένα από το Copernicus Climate Change Service (C3S) και το CMIP6, καθώς και προβολές από κλιματικά μοντέλα υψηλής ανάλυσης για διαφορετικά κλιματικά σενάρια (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP5-8.5) για την περίοδο 1950-2050. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της μέσης στάθμης θάλασσας, της μεταβλητότητας και των ακραίων στάθμεων, στο πλαίσιο της ανάλυσης κλιματικού κινδύνου για τα εξεταζόμενα λιμάνια.

## 3 Μεθοδολογία

Στόχος των Παραδοτέων Π4.1 έως Π4.4 είναι η κατασκευή ενός ολοκληρωμένου μεθοδολογικού εργαλείου για την αποτίμηση της **κλιματικής διακινδύνευσης (climate risk)** σε φυσικά και ανθρωπογενή συστήματα, όπως αυτή ορίζεται και εφαρμόζεται στις δύο τελευταίες δημοσιευμένες εκθέσεις της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC AR5 και IPCC AR6). Ο κλιματικός κίνδυνος (hazard), η τρωτότητα (vulnerability) των συστημάτων, καθώς και η έκθεση (exposure) των συστημάτων στον κλιματικό κίνδυνο, αποτελούν τις τρεις συνιστώσες που απαρτίζουν την κλιματική διακινδύνευση.

Εν προκειμένω, στο παρόν παραδοτέο (Π4.1) παρουσιάζεται η μεθοδολογία προσδιορισμού του κλιματικού κινδύνου και εν συνεχεία, τα αποτελέσματα για την ταξινόμηση του κλιματικού κινδύνου που σχετίζεται με τους λιμένες μελέτης.

Τα δεδομένα για τον προσδιορισμό του κλιματικού κινδύνου προέρχονται από την ανάλυση που έχει προηγηθεί στο πλαίσιο του Παραδοτέου Π2.3.

Η ανάλυση των υφιστάμενων και 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.

### 3.1 Ορισμός Κλιματικού Κινδύνου (Climate Hazard)

Ο **κλιματικός κίνδυνος (climate hazard)** αφορά στη δυνητική εμφάνιση ενός φυσικού ή ανθρωπογενούς προκαλούμενου φυσικού γεγονότος ή ύπαρξης μίας τάσης ή μιας φυσικής επίπτωσης που μπορεί να προκαλέσει απώλειες ζωής, τραυματισμούς ή άλλες επιπτώσεις στην υγεία, καθώς και ζημιές και απώλειες σε περιουσία, υποδομές, μέσα βιοπορισμού, παροχή υπηρεσιών, οικοσυστήματα και περιβαλλοντικούς πόρους. Στις εκθέσεις της IPCC, ο όρος κλιματικός κίνδυνος αναφέρεται συνήθως σε φυσικά φαινόμενα ή τάσεις που σχετίζονται με το κλίμα ή στις φυσικές τους επιπτώσεις» (π.χ. IPCC 2014a, σ. 39).

Έτσι, ένας κλιματικός κίνδυνος μπορεί να είναι ένα γεγονός (π.χ. ένα επεισόδιο έντονης βροχόπτωσης), αλλά μπορεί επίσης να αποτελεί και μία άμεση φυσική επίπτωση. Δεν είναι κατ' ανάγκη ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο (π.χ. τροπική καταιγίδα, πλημμύρα), αλλά μπορεί να αφορά και μια βραδεία εξελισσόμενη τάση (π.χ. μειωμένη απορροή από έλλειμα βροχοπτώσεων, αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, άνοδος της στάθμης της θάλασσας, υφαλμύρωση κ.λπ.).

Όπου είναι δυνατόν, θα πρέπει να εκτιμάται η πιθανότητα εμφάνισης ενός συγκεκριμένου επικίνδυνου γεγονότος ή τάσης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον ορισμό των κινδύνων ως κρίσιμων γεγονότων ή κρίσιμων φυσικών επιπτώσεων (π.χ. «επεισόδια έντονης βροχόπτωσης» αντί για «βροχόπτωση» ή «ημέρες καύσωνα» αντί για «θερμοκρασία»). Σε μεταγενέστερο στάδιο της αξιολόγησης, αυτό εξειδικεύεται περαιτέρω μέσω του καθορισμού κατωφλίων και της αναγνώρισης συχνοτήτων (π.χ. «αριθμός ημερών με περισσότερα από 50 mm βροχής»).

Η ανάλυση βασίζεται στην επιλογή **δεικτών (hazard indicators)** που αποτυπώνουν κλιματικούς οδηγούς και κλιματικούς κινδύνους, όπως ακραίες θερμοκρασίες και έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίοι συνδέονται με την πρόκληση **ενδιάμεσων επιπτώσεων (intermediate impacts)** που εξηγούνται στη συνέχεια.

### 3.2 Ορισμός επιπτώσεων κλιματικού κινδύνου (Impacts)

Στις εκθέσεις της IPCC, ο όρος **επιπτώσεις (impacts)** χρησιμοποιείται κυρίως για να αναφερθεί στις επιδράσεις των ακραίων καιρικών και κλιματικών φαινομένων και της κλιματικής αλλαγής στα φυσικά και ανθρώπινα συστήματα. Οι επιπτώσεις γενικά αναφέρονται σε επιδράσεις στις ζωές, τα μέσα βιοπορισμού, την υγεία, τα οικοσυστήματα, τις οικονομίες, τις κοινωνίες, τους πολιτισμούς, τις υπηρεσίες και τις υποδομές, που προκύπτουν από την αλληλεπίδραση των κλιματικών μεταβολών ή των επικίνδυνων κλιματικών γεγονότων που λαμβάνουν χώρα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και της ευαλωτότητας μιας εκτεθειμένης κοινωνίας ή ενός συστήματος. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα γεωφυσικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των πλημμυρών, των ξηρασιών και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, αποτελούν υποσύνολο των επιπτώσεων και ονομάζονται φυσικές επιπτώσεις» (βλ. IPCC 2014a, σ. 39).

Συνοψίζοντας, ο όρος «επίπτωση» αποτελεί τον γενικότερο όρο για την περιγραφή των συνεπειών, οι οποίες εκτείνονται από τις άμεσες φυσικές επιπτώσεις ενός κινδύνου έως τις έμμεσες συνέπειες για την κοινωνία (οι λεγόμενες κοινωνικές επιπτώσεις).

Οι επιπτώσεις αποτελούν βασικά δομικά στοιχεία των **αλυσίδων επιπτώσεων (impact chains)**, τις οποίες θα εφαρμόσουμε για την αποτίμηση της κλιματικής διακινδύνευσης των λιμένων.

### 3.3 Κανονικοποίηση των κλιματικών δεικτών

Για την εφαρμογή τους στις αλυσίδες επιπτώσεων, οι κλιματικοί δείκτες που επιλέγονται για τον προσδιορισμό του κλιματικού κινδύνου, θα πρέπει πρώτα να περάσουν μία διαδικασία κανονικοποίησης. Οι τιμές των δεικτών μπορούν να κανονικοποιηθούν με δύο διαφορετικές προσεγγίσεις, ανάλογα με την κλίμακα μέτρησης. Στην περίπτωση αριθμητικών τιμών, απαιτείται ο έλεγχος της «κατεύθυνσης» του εύρους των τιμών και ο καθορισμός κατωφλίων.

Οι δείκτες που μετρώνται σε μετρική κλίμακα μετασχηματίζονται σε τιμές μεταξύ 0 και 1, όπου το «0» αντιπροσωπεύει βέλτιστη κατάσταση και το «1» κρίσιμη κατάσταση. Τα καθορισμένα κατώφλια ορίζουν το εύρος των τιμών του δείκτη που αντιστοιχούν στα επίπεδα κρισιμότητας. Πρέπει να διασφαλίζεται ότι η αύξηση ή η μείωση της τιμής του δείκτη αντανάκλα αντίστοιχη μεταβολή της κρισιμότητας σε σχέση με τον κίνδυνο.

Το τμήμα των τιμών μεταξύ του κατώτερου και του ανώτερου κατωφλίου ακολουθεί την Εξίσωση 1.

$$x_{norm} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

- $x_{norm}$ : κανονικοποιημένη τιμή

- $x_i$ : τιμή δείκτη
- $x_{min}$ : κατώτερο κατώφλι
- $x_{max}$ : ανώτερο κατώφλι

Ισχύει ότι, τιμές μικρότερες από  $x_{min}$  αντιστοιχίζονται στο  $x_{max}$ , ενώ τιμές μεγαλύτερες από  $x_{max}$  στο  $x_{min}$ , δηλαδή:

- αν  $x_i \leq x_{min} \rightarrow x_{norm} = x_{min}$
- αν  $x_i \geq x_{max} \rightarrow x_{norm} = x_{max}$
- αν  $x_{min} < x_i < x_{max}$ , τότε εφαρμόζεται η εξίσωση

Οι δείκτες που προσδιορίζονται με κατηγορικές τιμές και διατακτική κλίμακα κανονικοποιούνται με τη χρήση ενός σχήματος πέντε κλάσεων. Το σχήμα αυτό ορίζει επίπεδα από: **1 = βέλτιστη κατάσταση έως 5 = κρίσιμη κατάσταση**.

Οι ειδικοί του εκάστοτε πεδίου κατανέμουν τα χαρακτηριστικά κάθε δείκτη στις αντίστοιχες κλάσεις (π.χ. «δάσος», «δομημένη περιοχή» για την κάλυψη γης). Δείκτες για τους οποίους δεν υπάρχουν μετρημένα ή παρατηρησιακά δεδομένα (π.χ. «ποιότητα λειτουργίας Επιτροπών Διαχείρισης Λεκανών Απορροής») μπορούν να λαμβάνουν τιμές βάσει εμπειρογνωμοσύνης, επίσης σε πέντε κλάσεις. Για να καταστεί δυνατή η ενοποίηση όλων των δεικτών, το σχήμα των πέντε κλάσεων μετασχηματίζεται επίσης στο εύρος 0-1, όπως φαίνεται στον Πίνακα 3.1.

**Πίνακας 3.1** Σχηματική ταξινόμηση ταξινομικών μεταβλητών

Τιμή κλάσης (1-5)	Κανονικοποιημένη τιμή (0-1)	Περιγραφή
1	0.1	Βέλτιστη (δεν απαιτείται ή δεν είναι δυνατή βελτίωση)
2	0.3	Μάλλον θετική
3	0.5	Ουδέτερη
4	0.7	Μάλλον αρνητική
5	0.9	Κρίσιμη (μπορεί να οδηγήσει σε σοβαρές συνέπειες)

Στη συνέχεια, η ανάλυση του κλιματικού κινδύνου πραγματοποιείται τόσο σε διαλιμενικό επίπεδο, επιτρέποντας τη σύγκριση μεταξύ διαφορετικών λιμένων, όσο και σε ενδολιμενικό επίπεδο, αποτυπώνοντας τις χωρικές διαφοροποιήσεις του κινδύνου εντός των επιμέρους λιμενικών εγκαταστάσεων, ανάλογα με τις ανάγκες της υπό μελέτη κλιματικής διακινδύνευσης.

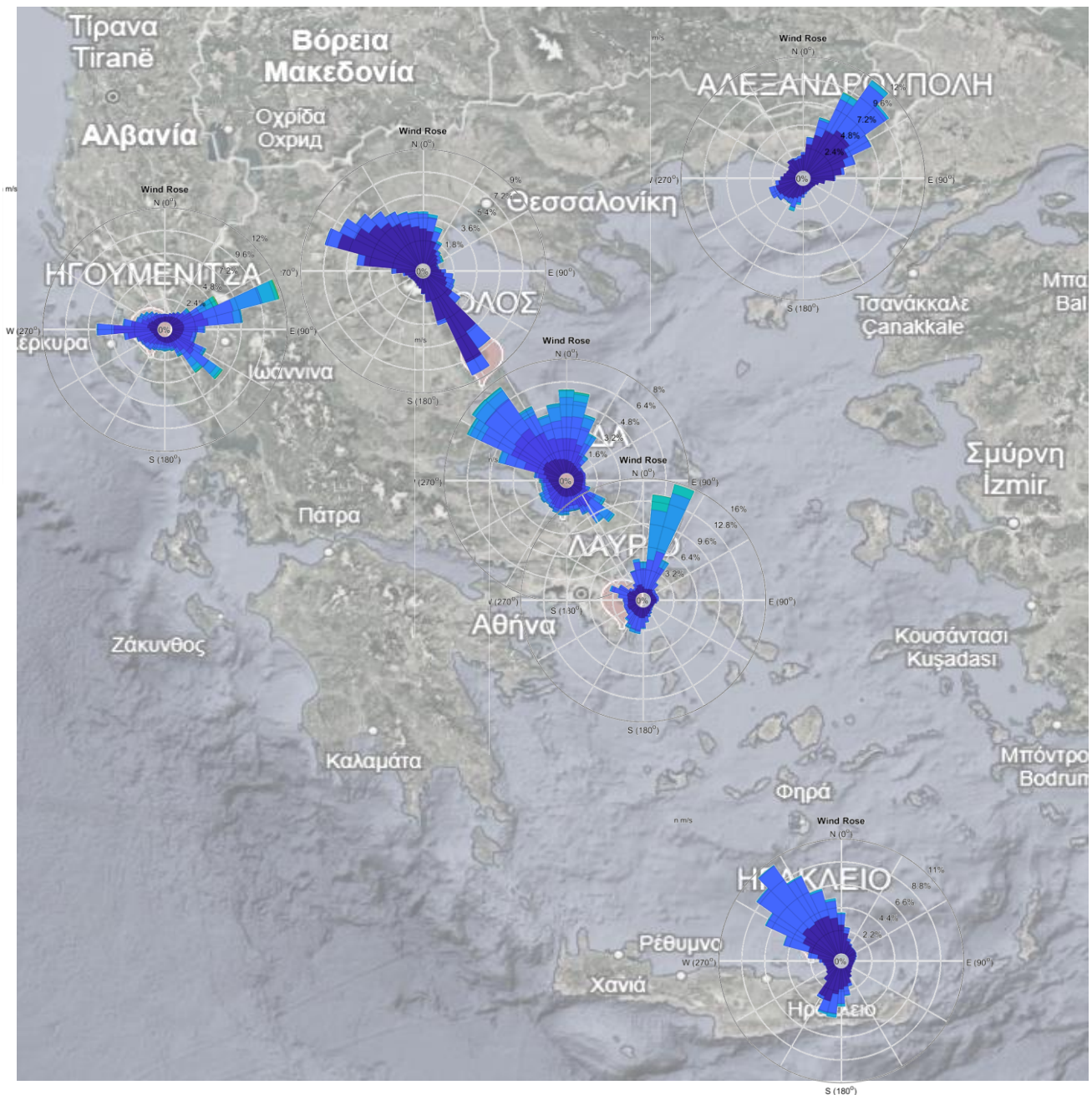
## 4 Αποτελέσματα

### 4.1 Ανεμολογικός Κίνδυνος

Από την ανάλυση της έντασης και της διεύθυνσης του ανέμου στα έξι λιμάνια (Εικόνα 3.1) προκύπτει ότι οι υφιστάμενες ανεμολογικές συνθήκες χαρακτηρίζονται κυρίως από ανέμους του βόρειου τομέα, με μέσες εντάσεις που αντιστοιχούν σε 3–4 μποφόρ (4–7 m/s), ενώ οι υψηλότερες ριπές εμφανίζονται κυρίως κατά τη χειμερινή περίοδο. Ειδικότερα, στην Αλεξανδρούπολη καταγράφονται συχνές ριπές από Β–ΒΑ διευθύνσεις, στην Ηγουμενίτσα επικρατούν Β–ΒΑ άνεμοι μέτριας έντασης, στον Βόλο παρατηρούνται κυρίαρχοι άνεμοι Β–ΒΔ και Ν–ΝΑ με αυξημένη μεταβλητότητα, ενώ η Χαλκίδα παρουσιάζει χαμηλότερες μέσες εντάσεις αλλά με την εμφάνιση αιφνίδιων ριπών. Το Λαύριο χαρακτηρίζεται από ισχυρούς Β–ΒΑ ανέμους, συχνά 5–6 μποφόρ (8–14 m/s), λόγω της έκθεσής του στα μελτέμια, ενώ στο Ηράκλειο επικρατούν ισχυροί Β–ΒΔ άνεμοι με συχνές ριπές που υπερβαίνουν τα 9 μποφόρ (>20 m/s).

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.



**Εικόνα 4.1.** Ροδογράμματα υφιστάμενης έντασης και διεύθυνσης ανέμου για τα λιμάνια μελέτης.

#### 4.1.1 Αριθμός ημερών υπέρβασης κατωφλίων έντασης ανέμου.

Στους παρακάτω Πίνακες 4.1 έως 4.6 καταγράφεται ο αριθμός των ημερών που ξεπερνούν επιλεγμένα κατώφλια έντασης ανέμου σε κάθε λιμένα μελέτης για κάθε σενάριο και κάθε περίοδο μελέτης.

**Πίνακας 4.1.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος με ένταση >4bft, >5bft, >6bft, >7bft και >8bft για την Αλεξανδρούπολη

Σενάριο		>4	>5	>6	>7	>8
RCP2.6	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	225.5	96.8	30.7	7.2	1.4
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	230.1	99.1	31.6	8.0	1.4
	Μεταβολή αριθμού ημερών	4.6	2.3	1.0	0.8	0.1
RCP4.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	225.5	96.8	30.7	7.2	1.4
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	230.1	99.8	30.0	7.0	1.2
	Μεταβολή αριθμού ημερών	4.5	3.0	-0.7	-0.2	-0.1
RCP8.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	225.5	96.8	30.7	7.2	1.4
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	229.5	97.7	28.8	6.8	1.1
	Μεταβολή αριθμού ημερών	4.0	0.9	-1.8	-0.4	-0.3

**Πίνακας 4.2.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος με ένταση >4bft, >5bft, >6bft, >7bft και >8bft για την Ηγουμενίτσα

Σενάριο		>4	>5	>6	>7	>8
RCP2.6	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	222.9	94.1	27.9	4.1	0.3
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	226.3	97.0	28.1	4.0	0.4
	Μεταβολή αριθμού ημερών	3.4	2.9	0.2	-0.1	0.1
RCP4.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	222.9	94.1	27.9	4.1	0.3
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	228.9	97.3	27.7	3.8	0.3
	Μεταβολή αριθμού ημερών	6.0	3.3	-0.2	-0.3	0.0
RCP8.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	222.9	94.1	27.9	4.1	0.3
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	220.6	92.7	26.0	3.8	0.2
	Μεταβολή αριθμού ημερών	-2.3	-1.3	-1.9	-0.3	0.0

**Πίνακας 4.3.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος με ένταση >4bft, >5bft, >6bft, >7bft και >8bft για τον Βόλο.

Σενάριο		>4	>5	>6	>7	>8
RCP2.6	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	220.5	88.2	30.0	7.9	1.6
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	223.6	89.0	30.6	8.3	1.6
	Μεταβολή αριθμού ημερών	3.1	0.8	0.5	0.5	0.0
RCP4.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	220.5	88.2	30.0	7.9	1.6
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	221.6	89.0	29.5	8.0	1.9
	Μεταβολή αριθμού ημερών	1.1	0.8	-0.5	0.1	0.2
RCP8.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	220.5	88.2	30.0	7.9	1.6
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	219.8	86.3	29.4	7.9	1.7
	Μεταβολή αριθμού ημερών	-0.7	-1.9	-0.7	0.0	0.1

**Πίνακας 4.4.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος με ένταση >4bft, >5bft, >6bft, >7bft και >8bft για τη Χαλκίδα

Σενάριο		>4	>5	>6	>7	>8
RCP2.6	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	264.7	102.1	15.4	1.6	0.2
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	267.3	104.3	15.6	1.7	0.3
	Μεταβολή αριθμού ημερών	2.6	2.2	0.2	0.1	0.1
RCP4.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	264.7	102.1	15.4	1.6	0.2
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	267.2	108.9	16.1	1.6	0.3
	Μεταβολή αριθμού ημερών	2.5	6.8	0.7	-0.1	0.1
RCP8.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	264.7	102.1	15.4	1.6	0.2
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	266.5	104.3	14.9	1.5	0.2
	Μεταβολή αριθμού ημερών	1.8	2.1	-0.6	-0.2	0.0

**Πίνακας 4.5.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος με ένταση >4bft, >5bft, >6bft, >7bft και >8bft για το Λαύριο

Σενάριο		>4	>5	>6	>7	>8
RCP2.6	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	291.4	145.2	50.3	10.6	1.4
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	293.2	147.0	51.6	11.0	1.5
	Μεταβολή αριθμού ημερών	1.9	1.9	1.3	0.4	0.0
RCP4.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	291.4	145.2	50.3	10.6	1.4
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	291.8	146.3	52.4	11.3	1.4
	Μεταβολή αριθμού ημερών	0.4	1.1	2.1	0.7	0.0
RCP8.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	291.4	145.2	50.3	10.6	1.4
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	292.4	145.9	51.5	10.8	1.4
	Μεταβολή αριθμού ημερών	1.0	0.7	1.2	0.3	0.0

**Πίνακας 4.6.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος με ένταση >4bft, >5bft, >6bft, >7bft και >8bft για το Ηράκλειο

Σενάριο		>4	>5	>6	>7	>8
RCP2.6	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	244.4	106.8	28.5	4.6	0.4
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	249.0	109.2	28.5	4.6	0.4
	Μεταβολή αριθμού ημερών	4.6	2.4	0.0	-0.1	0.0
RCP4.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	244.4	106.8	28.5	4.6	0.4
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	248.1	108.1	28.3	4.7	0.5
	Μεταβολή αριθμού ημερών	3.7	1.4	-0.2	0.1	0.1
RCP8.5	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	244.37	106.76	28.51	4.63	0.38
	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	246.25	106.80	27.06	4.60	0.36
	Μεταβολή αριθμού ημερών	1.88	0.04	-1.45	-0.03	-0.02

#### 4.1.2 Προσδιορισμός και ταξινόμηση ανεμολογικού κινδύνου

Για την ταξινόμηση του κλιματικού κινδύνου, λαμβάνονται υπόψη οι λειτουργικές ανάγκες των λιμένων ανάλογα με τις δραστηριότητες που αναπτύσσονται σε αυτά. Μία από τις κύριες λειτουργίες των λιμένων είναι η επιβατική κίνηση, η οποία διακόπτεται όταν η ένταση του ανέμου είναι μεγαλύτερη των 8Bf.

Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα ανέμου από τις προσομοιώσεις των κλιματικών μοντέλων, τα οποία παρέχονται σε ημερήσια χρονική ανάλυση, δεν είναι δυνατή η άμεση εκτίμηση του αριθμού ημερών ενδοημερήσιες χρονικές περιόδους με άνεμο  $\geq 8$  Bf, καθώς αυτό απαιτεί υποημερήσια πληροφορία. Για τον λόγο αυτό, η πιθανή συχνότητα λειτουργικών περιορισμών προσεγγίζεται μέσω δεικτών ημερήσιου μέσου ανέμου: οι ημέρες με ημερήσιο μέσο  $\geq 8$  Bf θεωρούνται ως περιπτώσεις υψηλής βεβαιότητας για παρατεταμένες δυσμενείς συνθήκες, ενώ οι ημέρες με ημερήσιο μέσο  $\geq 7$  Bf χρησιμοποιούνται ως δείκτης πιθανών ενδοημερήσιων υπερβάσεων του ορίου των  $\geq 8$  Bf εντός της ημέρας.

Επίσης, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η απαγόρευση απόπλου δεν αφορά την ένταση των ανέμων στους λιμένες αλλά στη διαδρομή που εκτελούν τα επιβατηγά πλοία, έτσι το κριτήριο των  $\geq 7$  Bf είναι επαρκές για

Για τον λόγο αυτό ο δείκτης που θα χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της **διακινδύνευσης διακοπής της επιβατικής κίνησης λόγω θυελλωδών ανέμων**, θα είναι ο αριθμός των ημερών με μέση ένταση ανέμου  $> 7$  Bf και σε αυτή την περίπτωση η μελέτη γίνεται σε διαλιμενικό επίπεδο, καθώς η διακοπή της επιβατικής κίνησης, αναφέρεται σε ολόκληρο το λιμάνι.

Από τους πίνακες Π4.1 έως Π4.6, ελέγχοντας σε όλα τα λιμάνια τον μέγιστο και τον ελάχιστο αριθμό ημερών που καταγράφονται κατά μέσο όρο κατ' έτος, έχουμε:

$$x_{min} = 0.1$$

$$x_{max} = 12.2$$

Οπότε εφαρμόζοντας την εξίσωση

$$x_{norm} = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

στις τιμές των Π4.1 έως Π4.6 προκύπτει ο Πίνακας 4.7:

Σε πολλές διεθνείς πρακτικές τερματικών, οι εργασίες φορτοεκφόρτωσης δυσκολεύουν ή σταματούν όταν οι ταχύτητες ανέμου υπερβαίνουν επίπεδα που αντιστοιχούν περίπου σε **7–8 Beaufort (13–20+ m/s)**, ανάλογα με τον τύπο εξοπλισμού και εκθέσεως. Τα επίπεδα αυτά δεν αποτελούν γενικό νομικό όριο, αλλά **λειτουργικά όρια ασφαλείας** που ορίζονται από τον κάθε τερματικό/λιμένα και τις εμπορικές διαδικασίες του.

Σύμφωνα με τον Οδηγό Καλής Πρακτικής για θέματα Ασφάλειας και Υγείας της Εργασίας για τις Λιμενικές Εργασίες του Ελληνικού Ινστιτούτου Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας (ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε., 2015), αναφορικά με τη φορτοεκφόρτωση εμπορευμάτων και εμπορευματοκιβωτίων με ανυψωτικά μέσα, **θα πρέπει να σταματούν οι εργασίες, όταν η ταχύτητα ξεπερνάει τα 10 m/s (περίπου 5 μποφόρ)**. Με βάση την οδηγία αυτή, κατασκευάζεται ο ακόλουθος πίνακας που αναγράφει τον μέσο αριθμό ημερών ανά έτος με ισχυρούς μέσους ημερήσιους ανέμους που ξεπερνούν τα 5 μποφόρ.

**Πίνακας 4.7.** Κανονικοποίηση του αριθμού των ημερών με ανέμους > 5Bft για όλα λιμάνια και σενάρια εκπομπών, στο παρόν και στα μέσα του αιώνα.

Σενάριο	Περίοδος	Αλεξανδρούπολη	Ηγουμενίτσα	Βόλος	Χαλκίδα	Λαύριο	Ηράκλειο
RCP2.6	Παρόν	0.17	0.13	0.03	0.26	0.97	0.34
	2041-2060	0.21	0.18	0.04	0.30	1.00	0.38
RCP4.5	Παρόν	0.17	0.13	0.03	0.26	0.97	0.34
	2041-2060	0.22	0.18	0.04	0.37	0.99	0.36
RCP8.5	Παρόν	0.17	0.13	0.03	0.26	0.97	0.34
	2041-2060	0.19	0.11	0.00	0.30	0.98	0.34

**Πίνακας 4.8.** Ταξινόμηση κλιματικού κινδύνου (1-5) εξ αιτίας ημερών με ανέμους > 5Bft για όλα λιμάνια και σενάρια εκπομπών, στο παρόν και στα μέσα του αιώνα.

Σενάριο	Περίοδος	Αλεξανδρούπολη	Ηγουμενίτσα	Βόλος	Χαλκίδα	Λαύριο	Ηράκλειο
RCP2.6	Παρόν	1	1	1	2	5	2
	2041-2060	2	1	1	2	5	2
RCP4.5	Παρόν	1	1	1	2	5	2
	2041-2060	2	1	1	2	5	2
RCP8.5	Παρόν	1	1	1	2	5	2
	2041-2060	1	1	1	2	5	2

## 4.2 Κίνδυνος ακραίας θερμοκρασίας

Ο κίνδυνος ακραίων θερμοκρασιών καθορίζεται από τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία. Οι εξωτερικές εργασίες θα πρέπει να παύουν όταν  $T_{max} > 38^{\circ}C$  (π.χ. Ireland et al., 2024).

### 4.2.1 Προσδιορισμός και ταξινόμηση κινδύνου ακραίας θερμοκρασίας

Από τον αριθμό των ημερών κατ' έτος που ξεπερνούν το κατώφλι των  $38^{\circ}C$  μέγιστης θερμοκρασίας, προσδιορίζεται η ταξινόμηση του θερμικού κινδύνου λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές ανά λιμάνι, σενάριο εκπομπών και αναφερόμενη περίοδο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.9 έως 4.10.

**Πίνακας 4.9.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος με μέγιστη θερμοκρασία  $>38^{\circ}C$  για την περίοδο αναφοράς (παρόν) και το μέσο του αιώνα (2041-2060), καθώς και η μεταβολή του αριθμού των ημερών μεταξύ των δύο περιόδων.

Λιμάνι	Σενάριο εκπομπών	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	Μεταβολή αριθμού ημερών
<b>Αλεξανδρούπολη</b>	<b>rcp26</b>	0.3	0.9	0.6
	<b>rcp45</b>	0.3	1.7	1.4
	<b>rcp85</b>	0.3	2.2	1.9
<b>Ηγουμενίτσα</b>	<b>rcp26</b>	0.4	1.2	0.8
	<b>rcp45</b>	0.4	1.9	1.5
	<b>rcp85</b>	0.4	2.2	1.8
<b>Βόλος</b>	<b>rcp26</b>	0.9	1.8	0.8
	<b>rcp45</b>	0.9	2.8	1.9
	<b>rcp85</b>	0.9	3.8	2.9
<b>Χαλκίδα</b>	<b>rcp26</b>	1.5	2.7	1.2
	<b>rcp45</b>	1.5	4.3	2.8
	<b>rcp85</b>	1.5	5.8	4.3
<b>Λαύριο</b>	<b>rcp26</b>	0.6	1.2	0.6
	<b>rcp45</b>	0.6	2.0	1.4
	<b>rcp85</b>	0.6	2.7	2.1
<b>Ηράκλειο</b>	<b>rcp26</b>	0.3	0.5	0.2
	<b>rcp45</b>	0.3	0.6	0.3
	<b>rcp85</b>	0.3	1.0	0.7

**Πίνακας 4.10.** Κανονικοποιημένες τιμές του μέσου αριθμού ημερών κατ' έτος με μέγιστη θερμοκρασία >38°C για την περίοδο αναφοράς (παρόν) και το μέσο του αιώνα (2041-2060) καθώς και η ταξινόμηση του θερμικού κινδύνου ανά λιμάνι, σενάριο εκπομπών και περίοδο μελέτης.

Λιμάνι	Σενάριο	Παρόν		2041-2060	
		Κανονικοποίηση αριθμού ημερών	Ταξινόμηση Κινδύνου	Κανονικοποίηση αριθμού ημερών	Ταξινόμηση Κινδύνου
Αλεξανδρούπολη	rcp26	0.00	1	0.11	1
	rcp45	0.00	1	0.25	2
	rcp85	0.00	1	0.35	2
Ηγουμενίτσα	rcp26	0.02	1	0.16	1
	rcp45	0.02	1	0.29	2
	rcp85	0.02	1	0.35	2
Βόλος	rcp26	0.11	1	0.27	2
	rcp45	0.11	1	0.45	3
	rcp85	0.11	1	0.64	4
Χαλκίδα	rcp26	0.22	2	0.44	3
	rcp45	0.22	2	0.73	4
	rcp85	0.22	2	1.00	5
Λαύριο	rcp26	0.05	1	0.16	1
	rcp45	0.05	1	0.31	2
	rcp85	0.05	1	0.44	3
Ηράκλειο	rcp26	0.00	1	0.04	1
	rcp45	0.00	1	0.05	1
	rcp85	0.00	1	0.13	1

## 4.3 Κίνδυνος θερμικής καταπόνησης

Οι επιβαρυμένοι θερμικά εργασιακοί χώροι έχουν επιπτώσεις στη σωματική και ψυχική υγεία, με την εξάντληση και κόπωση των φυσιολογικών μηχανισμών θερμορύθμισης του οργανισμού. Αυτό δεν συμβάλλει μόνο στην εμφάνιση συγκεκριμένων επαγγελματικών νοσημάτων αλλά περιορίζει σημαντικά και την ικανότητα του εργαζόμενου να αντιδράσει σωστά στα εξωτερικά ερεθίσματα ή να παρακολουθήσει σύνθετες διαδικασίες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται εκείνες οι προϋποθέσεις που οδηγούν σε εργατικά ατυχήματα ή επικίνδυνα περιστατικά.

### 4.3.1 Δείκτης Θερμικής Καταπόνησης

Ο δείκτης θερμικής καταπόνησης (Heat Index) αποτελεί μέτρο της αντιλαμβανόμενης θερμοκρασίας από τον ανθρώπινο οργανισμό, εκφραζόμενη σε βαθμούς Κελσίου, όταν η σχετική υγρασία συνυπολογίζεται με την πραγματική θερμοκρασία του αέρα. Ο δείκτης αποτυπώνει το συνδυασμένο αποτέλεσμα θερμοκρασίας και υγρασίας στη θερμική άνεση και στη φυσιολογική καταπόνηση του ανθρώπου.

Για τον υπολογισμό του δείκτη θερμικής καταπόνησης απαιτείται η μέτρηση:

- της θερμοκρασίας του αέρα (θερμοκρασία ξηρού θερμομέτρου) και
- της σχετικής υγρασίας.

Ο δείκτης μπορεί να προσδιοριστεί μέσω πινάκων συσχέτισης θερμοκρασίας και υγρασίας (βλ. Πίνακα 4.11).

Για την ανάγνωση του Πίνακα 4.11:

1. Εντοπίζεται η τιμή της θερμοκρασίας αέρα στην αριστερή στήλη.
2. Ακολουθείται οριζόντια η αντίστοιχη γραμμή έως τη στήλη που αντιστοιχεί στην κατά προσέγγιση σχετική υγρασία.
3. Η τιμή στη διασταύρωση των δύο μεγεθών αντιπροσωπεύει την αντιλαμβανόμενη θερμοκρασία.

Για παράδειγμα, θερμοκρασία αέρα 35 °C και σχετική υγρασία 50 %, η αντιλαμβανόμενη θερμοκρασία ανέρχεται περίπου στους 41 °C. Σε περιπτώσεις άμεσης έκθεσης στην ηλιακή ακτινοβολία, η αντιλαμβανόμενη θερμοκρασία μπορεί να αυξηθεί περαιτέρω έως και κατά 15 °C.

**Πίνακας 4.11.** Προσδιορισμός της τιμής του θερμικού δείκτη από τις τιμές θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας (επάνω) και ταξινόμηση κινδύνου από τις τιμές του δείκτη θερμότητας (κάτω) σε βαθμούς Κελσίου και βαθμούς Φαρενάιτ.

NOAA national weather service: heat index

Temperature Relative humidity	80 °F (27 °C)	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	86 °F (30 °C)	88 °F (31 °C)	90 °F (32 °C)	92 °F (33 °C)	94 °F (34 °C)	96 °F (36 °C)	98 °F (37 °C)	100 °F (38 °C)	102 °F (39 °C)	104 °F (40 °C)	106 °F (41 °C)	108 °F (42 °C)	110 °F (43 °C)
40%	80 °F (27 °C)	81 °F (27 °C)	83 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	94 °F (34 °C)	97 °F (36 °C)	101 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	109 °F (43 °C)	114 °F (46 °C)	119 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	136 °F (58 °C)
45%	80 °F (27 °C)	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	87 °F (31 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	96 °F (36 °C)	100 °F (38 °C)	104 °F (40 °C)	109 °F (43 °C)	114 °F (46 °C)	119 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)	
50%	81 °F (27 °C)	83 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	95 °F (35 °C)	99 °F (37 °C)	103 °F (39 °C)	108 °F (42 °C)	113 °F (45 °C)	118 °F (48 °C)	124 °F (51 °C)	131 °F (55 °C)	137 °F (58 °C)		
55%	81 °F (27 °C)	84 °F (29 °C)	86 °F (30 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	97 °F (36 °C)	101 °F (38 °C)	106 °F (41 °C)	112 °F (44 °C)	117 °F (47 °C)	124 °F (51 °C)	130 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)			
60%	82 °F (28 °C)	84 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	91 °F (33 °C)	95 °F (35 °C)	100 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	110 °F (43 °C)	116 °F (47 °C)	123 °F (51 °C)	129 °F (54 °C)	137 °F (58 °C)				
65%	82 °F (28 °C)	85 °F (29 °C)	89 °F (32 °C)	93 °F (34 °C)	98 °F (36 °C)	103 °F (39 °C)	108 °F (42 °C)	114 °F (46 °C)	121 °F (49 °C)	128 °F (53 °C)	136 °F (58 °C)					
70%	83 °F (28 °C)	86 °F (30 °C)	90 °F (32 °C)	95 °F (35 °C)	100 °F (38 °C)	105 °F (41 °C)	112 °F (44 °C)	119 °F (48 °C)	126 °F (52 °C)	134 °F (57 °C)						
75%	84 °F (29 °C)	88 °F (31 °C)	92 °F (33 °C)	97 °F (36 °C)	103 °F (39 °C)	109 °F (43 °C)	116 °F (47 °C)	124 °F (51 °C)	132 °F (56 °C)							
80%	84 °F (29 °C)	89 °F (32 °C)	94 °F (34 °C)	100 °F (38 °C)	106 °F (41 °C)	113 °F (45 °C)	121 °F (49 °C)	129 °F (54 °C)								
85%	85 °F (29 °C)	90 °F (32 °C)	96 °F (36 °C)	102 °F (39 °C)	110 °F (43 °C)	117 °F (47 °C)	126 °F (52 °C)	135 °F (57 °C)								
90%	86 °F (30 °C)	91 °F (33 °C)	98 °F (37 °C)	105 °F (41 °C)	113 °F (45 °C)	122 °F (50 °C)	131 °F (55 °C)									
95%	86 °F (30 °C)	93 °F (34 °C)	100 °F (38 °C)	108 °F (42 °C)	117 °F (47 °C)	127 °F (53 °C)										
100%	87 °F (31 °C)	95 °F (35 °C)	103 °F (39 °C)	112 °F (44 °C)	121 °F (49 °C)	132 °F (56 °C)										

Key to colors:  Caution  Extreme caution  Danger  Extreme danger

Heat index	Σημειώσεις
<b>27–32°C (81–90°F)</b>	Προσοχή (Caution): Πιθανή εμφάνιση κόπωσης μετά από παρατεταμένη έκθεση και σωματική δραστηριότητα. Συνέχιση της δραστηριότητας μπορεί να οδηγήσει σε θερμικές κράμπες.
<b>32–41°C (90–105°F)</b>	Αυξημένη Προσοχή (Extreme caution): Πιθανές θερμικές κράμπες και θερμική εξάντληση. Συνέχιση της δραστηριότητας μπορεί να οδηγήσει σε θερμοπληξία.
<b>41–54°C (105–130°F)</b>	Κίνδυνος (Danger): Θερμικές κράμπες και θερμική εξάντληση πιθανές· θερμοπληξία πολύ πιθανή με τη συνέχιση της δραστηριότητας.
<b>Άνω των 54°C (&gt;130°F)</b>	Ακραίος Κίνδυνος (Extreme danger): Άμεση θερμοπληξία.

#### 4.3.2 Προσδιορισμός και ταξινόμηση κινδύνου θερμικής καταπόνησης

Από τον αριθμό των ημερών κατ' έτος που ξεπερνούν το κατώφλι των 40°C του θερμικού δείκτη, προσδιορίζεται η ταξινόμηση του κινδύνου θερμικής καταπόνησης λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές ανά λιμάνι, σενάριο εκπομπών και αναφερόμενη περίοδο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους Πίνακες 4.12 έως 4.14.

**Πίνακας 4.12.** Αριθμός ημερών κατ' έτος με κίνδυνο θερμικής καταπόνησης (Heat Index > 40°C).

Λιμάνι	Περίοδος αναφοράς (1986-2005)	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	
		RCP4.5	RCP8.5
Αλεξανδρούπολη	7.15	26	29.4
Ηγουμενίτσα	12.95	39.55	40.35
Βόλος	4.95	19.2	20.8
Χαλκίδα	26.5	49.8	54.3
Λαύριο	18.2	37.9	40.35
Ηράκλειο	14.05	38.7	41.9

**Πίνακας 4.13.** Κανονικοποιημένος αριθμός ημερών κατ' έτος με κίνδυνο θερμικής καταπόνησης (Heat Index > 40°C).

Λιμάνι	Περίοδος αναφοράς (1986-2005)	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	
		RCP4.5	RCP8.5
Αλεξανδρούπολη	0.04	0.43	0.50
Ηγουμενίτσα	0.16	0.70	0.72
Βόλος	0.00	0.29	0.32
Χαλκίδα	0.44	0.91	1.00
Λαύριο	0.27	0.67	0.72
Ηράκλειο	0.18	0.68	0.75

**Πίνακας 4.14.** Ταξινόμηση κινδύνου θερμικής καταπόνησης (Heat Index > 40°C) ανά λιμάνι, σενάριο εκπομπών και περίοδο μελέτης.

Λιμάνι	Περίοδος αναφοράς (1986-2005)	Μέσο του αιώνα (2041-2060)	
		RCP4.5	RCP8.5
Αλεξανδρούπολη	1	3	3
Ηγουμενίτσα	1	4	4
Βόλος	1	2	2
Χαλκίδα	3	5	5
Λαύριο	2	4	4
Ηράκλειο	1	4	4

## 4.4 Κίνδυνος ακραίας ανόδου θαλάσσιας στάθμης

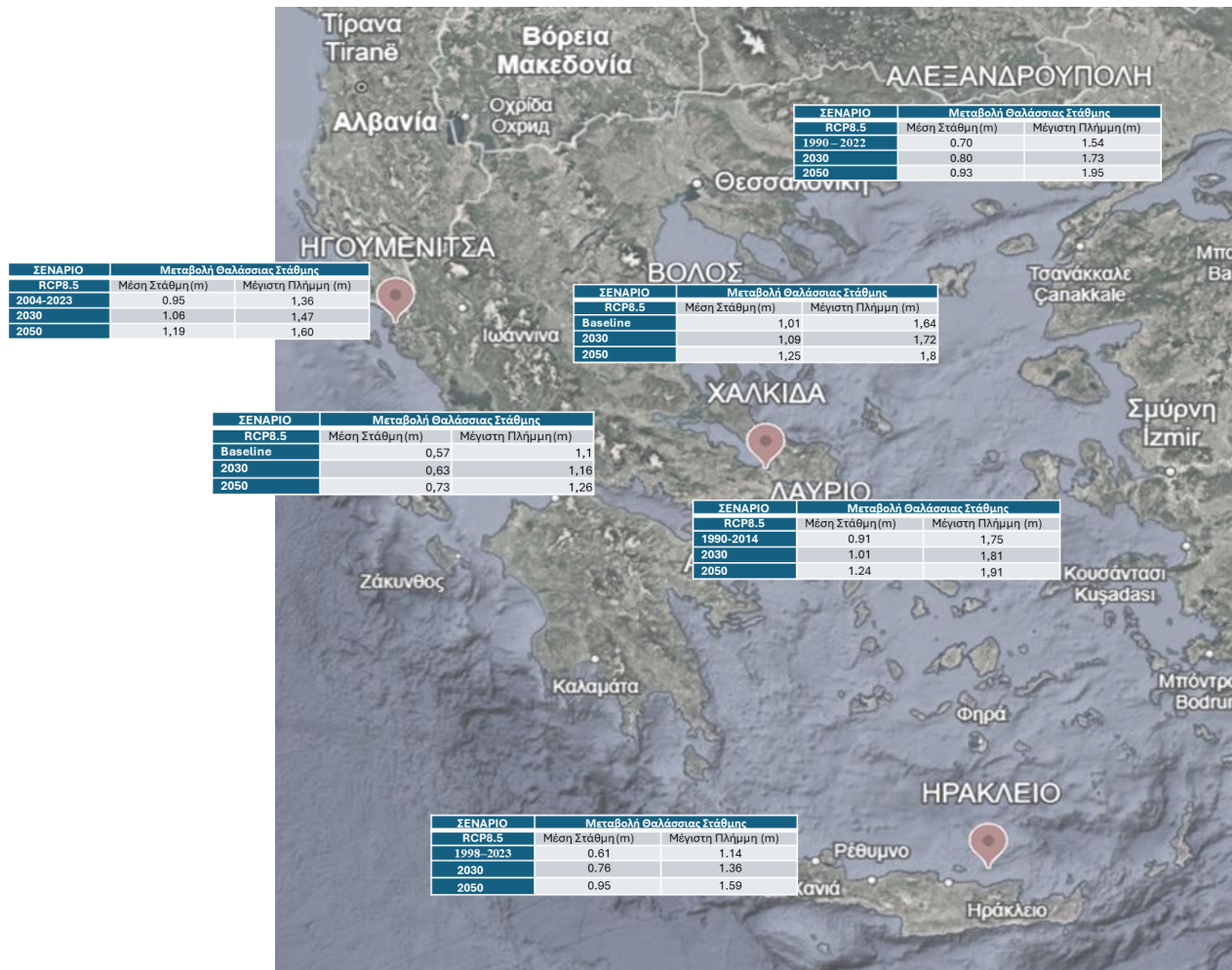
Η λειτουργικότητα των λιμένων υπό τις συνθήκες ανόδου της θάλασσας μπορεί να περιγραφεί καλύτερα ως πρόβλημα μεταξύ της Μέσης Θαλάσσιας Στάθμης (ΜΘΣ) και του εκάστοτε ύψους της θέσεως ελλιμενισμού, συναρτήσεως των χρήσεών τους. Η ακραία θαλάσσια στάθμη αφορά τα ανώτατα επίπεδα νερού όπως προκύπτουν αθροιστικά μέσω των συνιστωσών της Θαλάσσιας Στάθμης (SL), της αστρονομικής παλίρροιας (astronomical tide) και της μετεωρολογικής συνιστώσας (storm surge), στην οποία προστίθεται και η επικείμενη άνοδος της θαλάσσιας στάθμης λόγω κλιματικής αλλαγής. Το βασικό πρόβλημα για τις παράκτιες υποδομές, όπως οι λιμένες που εξετάζονται στην παρούσα μελέτη, είναι ότι η άνοδος της Θαλάσσιας Στάθμης δεν συνιστά μόνο ζήτημα μελλοντικής μόνιμης αύξησης της στάθμης, αλλά κυρίως ζήτημα μετατόπισης της κατανομής των τιμών της προς υψηλότερα επίπεδα. Ως συνέπεια, αυξάνεται η συχνότητα εμφάνιση ακραίων γεγονότων, οδηγώντας σε περισσότερες υπερβάσεις κρίσιμων κατωφλίων ασφάλειας και λειτουργικότητας μέσα σε μικρότερους χρονικούς ορίζοντες σχεδιασμού, υπό την παραδοχή ότι η διάταξη και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του λιμένα παραμένουν αμετάβλητα στην παρούσα φάση.

Σύμφωνα με εκτιμήσεις, η μέση στάθμη της θάλασσας σε παγκόσμιο επίπεδο είναι σχεδόν βέβαιο ότι θα συνεχίσει να αυξάνεται κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα με πιθανές τιμές για το 2100 σε σχέση με το 1995-2014 που κυμαίνονται από 0,28-0,55 m (SSP1-1,9) έως 0,63-1,01 m (SSP5-8,5), ενώ δεν αποκλείεται το ενδεχόμενο χαμηλής πιθανότητας και υψηλού αντίκτυπου αποτελεσμάτων που θα προσεγγίζουν τα 2 m έως το 2100.

Σε παγκόσμια κλίμακα οι προβολές αποτυπώνουν μια αυξανόμενη εντατικοποίηση του κινδύνου των παράκτιων πλημμυρών και της θαλάσσιας στάθμης μέσα στον 21ο αιώνα, καθώς ακόμη και σχετικά μικρά εύρη (δεκάδες εκατοστά) μπορούν να αυξήσουν δυσανάλογα την επικινδυνότητα των ακραίων επεισοδίων, λόγω μη γραμμικής μεταβολής της συχνότητας τους.

Για τις λιμενικές εγκαταστάσεις, ο κίνδυνος μεταφράζεται άμεσα σε απώλεια λειτουργικότητας/ασφάλειας. Όσο αυξάνει η θαλάσσια στάθμη μειώνεται το διαθέσιμο ελεύθερο ύψος (το ύψος κρηπιδώματος από τη ΜΘΣ), άρα περισσότερες θέσεις ελλιμενισμού ή/και κρίσιμες υποδομές (κρηπιδώματα, αποβάθρες, ζώνες επιβατών/φορτίων) θα υπερβαίνουν συχνότερα τα όρια ασφαλείας όπως αυτά ορίζονται από τις διεθνείς οδηγίες (βλ. Παραδοτέο 2.3).

Με βάση τα παραπάνω, η παρούσα μελέτη αξιολογεί τη λειτουργικότητα των λιμένων χρησιμοποιώντας κατώφλια ελεύθερου ύψους ανά κατηγορία δραστηριότητας και διερευνά την εμφάνιση οριακών σημείων (“tipping points”), στα οποία μικρές αυξήσεις της Μέσης Θαλάσσιας Στάθμης (ΜΘΣ) οδηγούν σε δυσανάλογη αύξηση της πιθανότητας και της συχνότητας υπέρβασης των λειτουργικών ορίων, υπό το κλιματικό σενάριο RCP8.5. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν ότι η λειτουργική ανθεκτικότητα των λιμενικών υποδομών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη συχνότητα και το μέγεθος των υπερβάσεων των καθορισμένων κατωφλίων λειτουργίας. Στην Εικόνα 4.2 παρουσιάζεται η μεταβολή της θαλάσσιας στάθμης για την περίοδο αναφοράς, το πρώτο τέταρτο (2030) και το μισό (2050) του αιώνα σε όλα τα λιμάνια μελέτης



**Εικόνα 4.2.** Μεταβολή Θαλάσσιας Στάθμης για την περίοδο αναφοράς, το πρώτο τέταρτο (2030) και το μισό (2050) του αιώνα σε όλα τα λιμάνια μελέτης.

#### 4.4.1 Αριθμός ημερών υπέρβασης κατωφλίων θαλάσσιας στάθμης- Ενδο-Λιμενική Σύγκριση

Στους παρακάτω Πίνακες 4.15 έως 4.24 καταγράφεται αρχικά ο υφιστάμενος αριθμός των ημερών που ξεπερνούν το κατώφλι ασφαλείας θαλάσσιας στάθμης (1.5 m) για το κλιματικό σενάριο RCP8.5 του εκάστοτε λιμένα μελέτης και για τις υπό μελέτη χρονικές περιόδους, σε συνδυασμό με τις κανονικοποιημένες τιμές και την κατάταξη κινδύνου για κάθε θέση ελλιμενισμού. Η κανονικοποίηση πραγματοποιείται σε ενδο-λιμενικό επίπεδο.

**Πίνακας 4.15.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος για τις υπερβάσεις των κατωφλίων ασφάλειας θαλάσσιας στάθμης για την Αλεξανδρούπολη.

Αποβάθρες	Θέσεις Ελλιμενισμού	Ύψος Θέσεων Ελλιμενισμού	Είδος Δραστηριότητας	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	2030	2050	Μεταβολή Αριθμού Ημερών
Dock A	A1	1.8	Εμπορική	7.8	25.6	74.9	49.3
	A2	1.6	Εμπορική	74.9	162.7	245.0	82.3
	A3	1.2	Τουριστική/ Αλιευτική	0.0	0.1	0.5	0.4
	A4	1.1	Τουριστική/ Αλιευτική	0.1	0.5	2.1	1.6
	A5	0.8	Τουριστική/ Αλιευτική	7.8	25.6	74.9	49.3
	A6	1.4	Τουριστική/ Αλιευτική	0.0	0.0	0.0	0
	A7	1.4	Τουριστική/ Αλιευτική	0.0	0.0	0.0	0
	A8	1.6	Εμπορική	74.9	162.7	245.0	82.3
Dock B	B1	1.7	Εμπορική	25.6	74.9	162.7	87.8
	B2	1.6	Εμπορική	74.9	162.7	245.0	82.3
	B3	1.6	Εμπορική	74.9	162.7	245.0	82.3
	B4	1.5	Εμπορική	162.7	245.0	290.4	45.4
	B5	1.6	Εμπορική	74.9	162.7	245.0	82.3
	B6	1.7	Εμπορική	25.6	74.9	162.7	87.8
	B7	1.7	Εμπορική	25.6	74.9	162.7	87.8
Dock Γ	Γ1	1.8	Εμπορική	7.8	25.6	74.9	49.3
	Γ2	1.7	Εμπορική	25.6	74.9	162.7	87.8
	Γ3	1.7	Εμπορική	25.6	74.9	162.7	87.8
	Γ4	1.7	Εμπορική	25.6	74.9	162.7	87.8

**Πίνακας 4.16.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος για τις υπερβάσεις των κατωφλίων ασφάλειας θαλάσσιας στάθμης για την Ηγουμενίτσα.

Αποβάθρες	Θέσεις Ελλιμενισμού	Ύψος Θέσεων Ελλιμενισμού	Είδος Δραστηριότητας	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	2030	2050	Μεταβολή Αριθμού Ημερών
Dock A	H1-2	1.8	Τουριστική/ Αλιευτική	0	0	0	0
	H1-3	1.8	Τουριστική/ Αλιευτική	0	0	0	0
	H1-4	1.6	Τουριστική/ Αλιευτική	0	0	0	0
	H1-5	1.7	Τουριστική/ Αλιευτική	0	0	0	0
	H1-6	1.7	Τουριστική/ Αλιευτική	0	0	0	0
	H1-7	1.8	Τουριστική/ Αλιευτική	0	0	0	0

	H1-8	1.7	Τουριστική/ Αλιευτική	0	0	0	0
	H1-11	1.7	Τουριστική/ Αλιευτική	0	0	0	0
Dock B	H2-1	1.6	Εμπορική	33.2	122.4	248.2	125.8
	H2-2	1.7	Εμπορική	5.7	38.3	155.2	116.8
	H2-3	1.6	Εμπορική	33.2	122.4	248.2	125.8
	H2-4	1.9	Εμπορική	0.00	0.7	12.5	11.8
Dock C	H3-1	1.6	Εμπορική	33.2	122.4	248.2	125.8
	H4	1.8	Εμπορική	0.5	7.0	57.9	50.9

**Πίνακας 4.17.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος για τις υπερβάσεις των κατωφλίων ασφάλειας θαλάσσιας στάθμης για τη Χαλκίδα.

Αποβάθρες	Θέσεις Ελλιμενισμού	Είδος Δραστηριότητας	Υψος Θέσεων Ελλιμενισμού	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	2030	2050	Μεταβολή Αριθμού Ημερών
Dock A	A3	Τουριστική/ Αλιευτική	1.3	0.0	0.0	0	0
	A4	Τουριστική/ Αλιευτική	1.3	0.0	0.0	0.2	0.2
	A5	Τουριστική/ Αλιευτική	1.0	0.0	0.0	0.2	0.2
	A6	Τουριστική/ Αλιευτική	0.7	2.2	5.5	19.0	13.5
	A7	Τουριστική/ Αλιευτική	0.7	58.5	82.0	128.9	46.9
Dock B	B1	Τουριστική/ Αλιευτική	0.8	28.0	44.9	82.0	37.1
	B2	Τουριστική/ Αλιευτική	0.8	28.0	44.9	82.0	37.1
	B4	Τουριστική/ Αλιευτική	1.2	0.1	0.2	1.0	0.8
	B5	Τουριστική/ Αλιευτική	1.3	0.0	0.0	0.2	0.2
	B6	Τουριστική/ Αλιευτική	1.3	0.0	0.0	0.2	0.2
	B7	Τουριστική/ Αλιευτική	1.0	2.2	5.5	19.0	13.5
	B9	Τουριστική/ Αλιευτική	1.2	0.1	0.2	1.0	0.8
Dock C	Γ1	Τουριστική/ Αλιευτική	0,8	28.0	44.9	82.0	37.1
	Γ2	Εμπορική	1.5	148.7	177.2	220.3	43.1
	Γ3	Εμπορική	1.5	148.7	177.2	220.3	43.1
	Γ4	Εμπορική	1.5	148.7	177.2	220.3	43.1
Dock D	Δ1	Εμπορική	1.7	58.5	82.0	128.9	46.9
	Δ2	Εμπορική	1.7	58.5	82.0	128.9	46.9
	Δ3	Εμπορική	1.8	28.0	44.9	82.0	37.1

	Δ5	Τουριστική/ Αλιευτική	0.8	58.5	82.0	128.9	46.9
	Δ6	Τουριστική/ Αλιευτική	0.8	28.0	44.9	82.0	37.1
	Δ7	Τουριστική/ Αλιευτική	0.8	28.0	44.9	82.0	37.1
	Δ8	Τουριστική/ Αλιευτική	0.9	9.5	19.0	44.9	25.9
	Δ9	Τουριστική/ Αλιευτική	0.8	28.0	44.9	82.0	37.1

**Πίνακας 4.18.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος για τις υπερβάσεις των κατωφλίων ασφάλειας θαλάσσιας στάθμης για το Ηράκλειο.

Αποβάθρ ες	Θέσεις Ελλιμενισμ ού	Ύψος Θέσεων Ελλιμενισμ ού	Είδος Δραστηρι ότητας	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	2030	2050	Μεταβολή Αριθμού Ημερών
Dock I	I - 1	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
	I - 2	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
	I - 3	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
	I - 4	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
	I - 5	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
Dock II	II - 1	1.9	Εμπορική	0.2	6.7	103.9	97.2
	II - 2	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
	II - 3	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
	II - 4	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
Dock III	III - 1	1.9	Εμπορική	0.2	6.7	103.9	97.2
	III - 2	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
	III - 3	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
	III - 4	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
	III - 5	2.2	Εμπορική	0.0	0.0	0.4	0.4
	III - 6	2.1	Εμπορική	0.0	0.0	3.6	3.6
Dock IV/V	IV/V - 1	2.2	Εμπορική	0.0	0.0	0.4	0.4
	IV/V - 2	2.2	Εμπορική	0.0	0.0	0.4	0.4
	IV/V - 3	2.2	Εμπορική	0.0	0.0	0.4	0.4
	IV/V - 4	1.8	Εμπορική	2.3	44.7	186.2	141.5
	IV/V - 5	2.1	Εμπορική	0.0	0.0	3.6	3.6

#### 4.4.2 Προσδιορισμός και ταξινόμηση ενδολιμενικού κινδύνου ακραίας θαλάσσιας στάθμης

Στο πλαίσιο της ενδο-λιμενικής μελέτης βάση του μέσου ετήσιου αριθμού ημερών υπέρβασης του λειτουργικού κατωφλίου θαλάσσιας στάθμης και για κάθε θέση ελλιμενισμού παρουσιάζονται οι τιμές

του δείκτη για την περίοδο αναφοράς (παρόν) και για τις μελλοντικές περιόδους 2030 και 2050 (σενάριο RCP8.5). Στη συνέχεια αποδίδεται η κλάση κινδύνου 1–5 σύμφωνα με το σχήμα ταξινόμησης.

**Πίνακας 4.19.** Μέσος αριθμός ημερών κατ’ έτος για τις υπερβάσεις των κατωφλίων ασφάλειας θαλάσσιας στάθμης για την Αλεξανδρούπολη.

Λιμάνι Αλεξανδρούπολης									
Προβλήτας	ΠΑΡΟΝ			2030			2050		
	Περίοδος Αναφοράς (days)	Κανονικοποίηση αριθμού ημερών	Ταξινόμηση Κινδύνου	2030 (days)	Κανονικοποίηση αριθμού ημερών	Ταξινόμηση Κινδύνου	2050 (days)	Κανονικοποίηση αριθμού ημερών	Ταξινόμηση Κινδύνου
A1	7.8	0.03	1	25.6	0.09	1	74.9	0.26	2
A2	74.9	0.26	2	162.7	0.56	3	245	0.84	5
A3	0	0	1	0.1	0.01	1	0.5	0.01	1
A4	0.1	0.01	1	0.5	0.01	1	2.1	0.01	1
A5	7.8	0.03	1	25.6	0.09	1	74.9	0.26	2
A6	0	0	1	0	0	1	0	0	1
A7	0	0	1	0	0	1	0	0	1
A8	74.9	0.26	2	162.7	0.56	3	245	0.85	5
B1	25.6	0.09	1	74.9	0.26	2	162.7	0.56	3
B2	74.9	0.26	2	162.7	0.56	3	245	0.84	5
B3	74.9	0.26	2	162.7	0.56	3	245	0.84	5
B4	162.7	0.56	3	245	0.84	5	290.4	1.00	5
B5	74.9	0.26	2	162.7	0.56	3	245	0.84	5
B6	25.6	0.09	1	74.9	0.26	2	162.7	0.56	3
B7	25.6	0.09	1	74.9	0.26	2	162.7	0.56	3
Γ1	7.8	0.03	1	25.6	0.09	1	74.9	0.26	2
Γ2	25.6	0.09	1	74.9	0.26	2	162.7	0.56	3
Γ3	25.6	0.09	1	74.9	0.26	2	162.7	0.56	3
Γ4	25.6	0.09	1	74.9	0.26	2	162.7	0.56	3

**Πίνακας 4.20.** Μέσος αριθμός ημερών κατ’ έτος για τις υπερβάσεις των κατωφλίων ασφάλειας θαλάσσιας στάθμης για την Ηγουμενίτσα.

Λιμάνι Ηγουμενίτσας									
Προβλήτας	ΠΑΡΟΝ			2030			2050		
	Περίοδος Αναφοράς (days)	Κανονικοποίηση αριθμού ημερών	Ταξινόμηση Κινδύνου	2030 (days)	Κανονικοποίηση αριθμού ημερών	Ταξινόμηση Κινδύνου	2050 (days)	Κανονικοποίηση αριθμού ημερών	Ταξινόμηση Κινδύνου
H1-2	0	0	1	0	0	1	0	0	1
H1-3	0	0	1	0	0	1	0	0	1
H1-4	0	0	1	0	0	1	0	0	1
H1-5	0	0	1	0	0	1	0	0	1
H1-6	0	0	1	0	0	1	0	0	1
H1-7	0	0	1	0	0	1	0	0	1
H1-8	0	0	1	0	0	1	0	0	1
H1-11	0	0	1	0	0	1	0	0	1

H2-1	33.2	0.13	1	122.39	0.49	3	248.16	1	5
H2-2	5.66	0.02	1	38.31	0.15	1	155.16	0.63	4
H2-3	33.2	0.13	1	122.39	0.49	3	248.16	1	5
H2-4	0	0	1	0.68	0.01	1	12.47	0.05	1
H3-1	33.2	0.13	1	122.39	0.49	3	248.16	1	5
H4	0.50	0.01	1	6.97	0.03	1	57.89	0.23	2

**Πίνακας 4.21.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος για τις υπερβάσεις των κατωφλίων ασφάλειας θαλάσσιας στάθμης για τη Χαλκίδα.

Λιμάνι Χαλκίδας									
Προβλήτ ας	ΠΑΡΟΝ			2030			2050		
	Περίοδο ς Αναφορ άς (days)	Κανονικο ποίηση αριθμού ημερών	Ταξινόμ ηση Κινδύν ου	2030 (days)	Κανονικοπο ίηση αριθμού ημερών	Ταξινό μηση Κινδύν ου	2050 (days)	Κανονικοποί ηση αριθμού ημερών	Ταξινόμηση Κινδύνου
A3	0	0	1	0	0	1	0	0	1
A4	0	0	1	0	0	1	0.2	0.01	1
A5	0	0	1	0	0	1	0.2	0.01	1
A6	2.2	0.01	1	5.5	0.03	1	19	0.09	1
A7	58.5	0.27	2	82	0.37	2	128.9	0.59	3
B1	28	0.13	1	44.9	0.20	2	82	0.37	2
B2	28	0.13	1	44.9	0.20	2	82	0.37	2
B4	0.1	0.01	1	0.2	0.01	1	1	0.00	1
B5	0	0	1	0	0	1	0.2	0.01	1
B6	0	0	1	0	0	1	0.2	0.01	1
B7	2.2	0.01	1	5.5	0.03	1	19	0.09	1
B9	0.1	0.01	1	0.2	0.01	1	1	0.01	1
Γ1	28	0.13	1	44.9	0.20	2	82	0.37	2
Γ2	148.7	0.68	4	177.2	0.80	5	220.3	1	5
Γ3	148.7	0.68	4	177.2	0.80	5	220.3	1	5
Γ4	148.7	0.68	4	177.2	0.80	5	220.3	1	5
Δ1	58.5	0.27	2	82	0.37	2	128.9	0.59	3
Δ2	58.5	0.27	2	82	0.37	2	128.9	0.59	3
Δ3	28	0.13	1	44.9	0.20	2	82	0.37	2
Δ5	58.5	0.27	2	82	0.37	2	128.9	0.58	3
Δ6	28	0.13	1	44.9	0.20	2	82	0.37	2
Δ7	28	0.1271	1	44.9	0.20	2	82	0.37	2
Δ8	9.5	0.0431	1	19	0.09	1	44.9	0.20	2
Δ9	28	0.1271	1	44.9	0.20	2	82	0.37	2

**Πίνακας 4.22.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος για τις υπερβάσεις των κατωφλίων ασφάλειας θαλάσσιας στάθμης για το Ηράκλειο.

Λιμάνι Ηρακλείου									
Προβλή τας	ΠΑΡΟΝ			2030			2050		
	Περίο δος Αναφ οράς (days)	Κανονικοποί ηση αριθμού ημερών	Ταξινόμ ηση Κινδύνο υ	2030 (days )	Κανονικ οποίηση αριθμού ημερών	Ταξινόμ ηση Κινδύνο υ	2050 (days )	Κανονικοποί ηση αριθμού ημερών	Ταξινόμ ηση Κινδύνο υ
I - 1	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
I - 2	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
I - 3	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
I - 4	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
I - 5	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
II - 1	0.2	0.01	1	6.7	0.04	1	103.9	0.56	3
II - 2	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
II - 3	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
II - 4	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
III - 1	0.2	0.01	1	6.7	0.04	1	103.9	0.56	3
III - 2	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
III - 3	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
III - 4	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
III - 5	0	0	1	0	0	1	0.4	0.01	1
III - 6	0	0	1	0	0	1	3.6	0.02	1
IV/V-1	0	0	1	0	0	1	0.4	0.01	1
IV/V-2	0	0	1	0	0	1	0.4	0.01	1
IV/V-3	0	0	1	0	0	1	0.4	0.01	1
IV/V-4	2.3	0.01	1	44.7	0.24	2	186.2	1	5
IV/V-5	0	0	1	0	0	1	3.6	0.02	1

**Πίνακας 4.23.** Συγκεντρωτικός πίνακας για τη δυσμενέστερη κατάσταση, για όλους τους λιμένες μελέτης βάση της κατάταξης κινδύνου.

Λιμάνια Μελέτης	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	2030	2050	Μεταβολή αριθμού ημερών
	<b>Δυσμενέστερη κατάσταση</b>			
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	3	5	5	2
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	1	3	5	3
ΧΑΛΚΙΔΑ	4	5	5	2
ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑ	1	3	5	3
ΛΑΥΡΙΟ	-	-	-	-
ΒΟΛΟΣ	-	-	-	-

**Πίνακας 4.24.** Συγκεντρωτικός πίνακας για την επικρατούσα κατάσταση για όλους τους λιμένες μελέτης βάση της κατάταξης κινδύνου.

Λιμάνια Μελέτης	Περίοδος αναφοράς (παρόν)	2030	2050	Μεταβολή αριθμού ημερών
<b>Επικρατούσα κατάσταση</b>				
ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΥΠΟΛΗ	1	1	5	2
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	1	1	1	1
ΧΑΛΚΙΔΑ	1	2	1	1
ΗΓΟΥΜΕΝΙΤΣΑ	1	2	5	4
ΛΑΥΡΙΟ	-	-	-	-
ΒΟΛΟΣ	-	-	-	-

#### 4.4.3 Αριθμός ημερών υπέρβασης κατωφλίων ακραίας θαλάσσιας στάθμης- Διαλιμενική Σύγκριση

Στους παρακάτω Πίνακες 4.26 έως 4.6 καταγράφεται ο αριθμός των ημερών που ξεπερνούν το κατώφλι ασφάλειας θαλάσσιας στάθμης 1.5 m για το κλιματικό σενάριο RCP8.5 για κάθε περίοδο καταγραφής, για κάθε λιμένα μελέτης ως ενιαίο σύνολο για την ευκολότερη διαλιμενική σύγκριση.

**Πίνακας 4.26.** Κανονικοποίηση του αριθμού των ημερών με υπερβάσεις > 1.5 m για το λιμάνι Αλεξανδρούπολη.

Προβλήτας_id	Υψος Στέψης	Χρήση	Περίοδος Αναφοράς	2030	2050
A1	1.8	Εμπορική	0.05	0.16	0.46
A2	1.6	Εμπορική	0.46	1	1
A3	1.2	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
A4	1.1	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
A5	0.8	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
A6	1.4	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
A7	1.4	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
A8	1.6	Εμπορική	0.46	1	1
B1	1.7	Εμπορική	0.16	0.46	1
B2	1.6	Εμπορική	0.46	1	1
B3	1.6	Εμπορική	0.46	1	1
B4	1.5	Εμπορική	1	1	1
B5	1.6	Εμπορική	0.46	1	1

B6	1.7	Εμπορική	0.16	0.46	1
B7	1.7	Εμπορική	0.16	0.46	1
C1	1.8	Εμπορική	0.05	0.16	0.46
C2	1.7	Εμπορική	0.16	0.46	1
C3	1.7	Εμπορική	0.16	0.46	1
C4	1.7	Εμπορική	0.16	0.46	1

**Πίνακας 4.27.** Κανονικοποίηση του αριθμού των ημερών με υπερβάσεις > 1.5 m για το λιμάνι Ηράκλειο.

Προβλήτας_id	Ύψος Στέψης	Χρήση	Περίοδος Αναφοράς	2030	2050
I - 1	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
I - 2	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
I - 3	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
I - 4	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
I - 5	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
II - 1	1.9	Εμπορική	0.01	0.04	0.64
II - 2	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
II - 3	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
II - 4	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
III - 1	1.9	Εμπορική	0.01	0.04	0.64
III - 2	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
III - 3	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
III - 4	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
III - 5	2.2	Εμπορική	0	0	0.01
III - 6	2.1	Εμπορική	0	0	0.02
IV/V - 1	2.2	Εμπορική	0	0	0.01
IV/V - 2	2.2	Εμπορική	0	0	0.01
IV/V - 3	2.2	Εμπορική	0	0	0.01
IV/V - 4	1.8	Εμπορική	0.01	0.27	1
IV/V - 5	2.1	Εμπορική	0	0	0.02

**Πίνακας 4.28.** Κανονικοποίηση του αριθμού των ημερών με υπερβάσεις > 1.5 m για το λιμάνι Χαλκίδα.

Προβλήτας_id	Ύψος Στέψης	Χρήση	Περίοδος Αναφοράς	2030	2050
A3	1.3	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
A4	1.3	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
A5	1	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
A6	0.7	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
A7	0.7	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
A11	1.6	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
B1	0.8	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-

B2	0.8	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
B4	1.2	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
B5	1.3	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
B6	1.3	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
B7	1	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
B9	1.2	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
Γ1	0.8	Εμπορική	0.91	1	1
Γ2	1.5	Εμπορική	0.91	1	1
Γ3	1.5	Εμπορική	0.91	1	1
Γ4	1.5	Εμπορική	0.36	0.50	0.79
Δ1	1.7	Εμπορική	0.36	0.50	0.79
Δ2	1.7	Εμπορική	0.36	0.50	0.79
Δ3	1.8	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
Δ5	0.7	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
Δ6	0.8	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
Δ7	0.8	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
Δ8	0.9	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
Δ9	0.8	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-

**Πίνακας 4.29.** Κανονικοποίηση του αριθμού των ημερών με υπερβάσεις > 1.5 m για το λιμάνι Ηγουμενίτσα.

Ύψος Στέψης	Χρήση	Περίοδος Αναφοράς	2030	2050
1.8	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
1.8	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
1.6	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
1.7	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
1.7	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
1.8	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
1.7	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
1.7	Τουριστική/ Αλιευτική	-	-	-
1.6	Εμπορική	0.20	0.75	1
1.7	Εμπορική	0.03	0.24	0.95
1.6	Εμπορική	0.20	0.75	1
1.9	Εμπορική	0	0.01	0.08
1.6	Εμπορική	0.20	0.75	1
1.8	Εμπορική	0.01	0.04	0.36

**Πίνακες 4.30-4.31.** Μέσος αριθμός ημερών κατ' έτος για τις υπερβάσεις των κατωφλίων ασφάλειας θαλάσσιας στάθμης για το Αλεξανδρούπολη.

Δυσμενέστερη κατάσταση

Λιμάνι	Παρόν (Baseline)	2030	2050
Αλεξανδρούπολη	5	5	5
Ηράκλειο	1	2	5
Χαλκίδα	5	5	5
Ηγουμενίτσα	2	4	5

Επικρατούσα κατάσταση

Λιμάνι	Παρόν (Baseline)	2030	2050
Αλεξανδρούπολη	1	5	5
Ηράκλειο	1	2	5
Χαλκίδα	5	5	5
Ηγουμενίτσα	2	4	5

#### 4.4.4 Ακραία θαλάσσια στάθμη- Συμπεράσματα

Η ενδολιμενική ταξινόμηση κινδύνου έδειξε ότι ορισμένες εμπορικές θέσεις ελλιμενισμού εμφανίζουν συστηματικά υψηλότερες τιμές ημερών υπέρβασης, συνεπώς και υψηλότερη κλάση κινδύνου, ήδη από την περίοδο αναφοράς ενώ άλλες διατηρούν χαμηλότερες κλάσεις υποδεικνύοντας μια σαφή χωρική ερμηνεία των διακυμάνσεων αυτών εντός κάθε λιμένα. Σε όλους τους λιμένες η εικόνα επιδεινώνεται προοδευτικά από το παρόν στο 2030 και στο 2050 ενώ σε κάποιες, ελάχιστες ωστόσο, θέσεις η αύξηση αυτή είναι ραγδαία ειδικά προς το 2050, συνεπώς ο λειτουργικός κίνδυνος δεν κατανέμεται ομοιόγραφα εντός των λιμένων. Στο σύνολο 78 θέσεων (όλες οι θέσεις ελλιμενισμού στα 4 λιμάνια), για το παρόν οι 74 θέσεις παραμένουν λειτουργικές ενώ το 2050 μόλις 40 θέσεις παραμένουν ανεπηρέαστες, με 23 θέσεις να αλλάζουν εκθετικά ως προς την ευαλωτότητά τους. Οι ευάλωτες και οριακές θέσεις χαρακτηρίζονται ως σημεία καμπίης (tipping points) για την λειτουργία του λιμένα καθώς μικρές μεταβολές στη στάθμη οδηγούν σε δυσανάλογη αύξηση ημερών υπέρβασης. Το αποτέλεσμα της ενδολιμενικής ανάλυσης υποδεικνύει την ανάγκη στοχευμένης προτεραιοποίησης μέτρων προσαρμογής για τις υψηλότερες κλάσεις κινδύνου.

Στη διαλιμενική ανάλυση, μετά την εφαρμογή της κοινής κανονικοποιημένης κλίμακας για τις εμπορικές θέσεις, μας δίνεται η δυνατότητα της άμεσης σύγκρισης της κρισιμότητας των υπερβάσεων της θαλάσσιας στάθμης μεταξύ διαφορετικών λιμένων και τυπολογιών. Η κανονικοποίηση πραγματοποιείται ώστε οι μελλοντικές υπερβάσεις να αποτυπώνονται ως μια πραγματική μετατόπιση προς τις κρίσιμες συνθήκες ενώ παράλληλα υπάρχει εικόνα της χωρικής αποτύπωσή τους. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν μια σαφή επιδείνωση από το παρόν προς το 2030 και ιδιαίτερα προς το 2050. Στο επίπεδο

δυσμενέστερης κατάστασης δεν υπάρχει λιμένας που να μην καταλήγει στις πολύ υψηλές κλάσης κινδύνου (κλάση 5) μέχρι το 2050 . Επίσης και στο επίπεδο της επικρατούσας κατάστασης παρατηρείται ανάλογη μετατόπιση προς τις υψηλότερες κλάσεις. Λιμάνια όπως η Αλεξανδρούπολη και η Χαλκίδα εμφανίζονται ήδη στην κλάση 5 στο παρόν ενώ αυτή η θέση τους παραμένει για όλες τις χρονικές περιόδους. Το Ηράκλειο μεταβαίνει από τις κλάσεις από το 1 στο 2 και για το 2050 στο 5 δηλώνοντας με αυτόν τον τρόπο την απότομη αλλαγή στην ασφάλεια της λειτουργικότητας των λιμενικών υποδομών. Συναφώς, η διαλιμενική ανάλυση τεκμηριώνει ότι η άνοδος της στάθμης δεν αποτελεί μόνο τοπικό πρόβλημα αλλά οδηγεί σε γενικευμένη κλιμάκωση του λειτουργικού κινδύνου σε διαλιμενικό επίπεδο υποστηρίζοντας και ενισχύοντας την απαίτηση ιεράρχησης μέτρων προσαρμογής τόσο εντός όσο και μεταξύ λιμένων.

## 5 Βιβλιογραφία

- Asariotis, R., Monioudi, I. N., Mohos Naray, V., Velegrakis, A. F., & Vousdoukas, M. I. (2024). Climate change and seaports: Hazards, impacts and policies and legislation for adaptation. *Anthropocene Coasts*. <https://doi.org/10.1007/s44218-024-00047-9>
- Christodoulou, A., Christidis, P., & Demirel, H. (2019). Sea-level rise in ports: A wider focus on impacts. *Maritime Economics & Logistics*, 21, 482–496. <https://doi.org/10.1057/s41278-018-0114-z>
- International Labour Organization (ILO). (2019). *Working on a warmer planet: The impact of heat stress on labour productivity and decent work*. Geneva: ILO.
- Ireland, A., Johnston, D, and Knott, R. (2024). Impacts of Extreme Heat on Labor Force Dynamics <https://www.monash.edu/business/che/impact-and-engagement/publications/2024/impacts-of-extreme-heat-on-labor-force-dynamics>
- Karditsa, A., Kourkouvelas, L., Vaggelas, G., Tsatsaronis, M., Manifava, K., & Hatzaki, M. (2025). Ports and climate change: Exploring stakeholder insights, governance and policy gaps in Greek ports. *Sustainability*, 17(24), 11111. <https://doi.org/10.3390/su172411111>
- Karditsa, A., Roumpis, E., Markozanes, F., Lesioti, M., Monioudi, I., Poulos, S., & Hatzaki, M. (2024). The impact of sea level rise on the Port of Heraklio: Operational risk assessment and economic implications. *Technical Annals*. <https://doi.org/10.12681/ta.40810>
- León-Mateos, F., Sartal, A., López-Manuel, L., & Quintás, M. A. (2021). Adapting our sea ports to the challenges of climate change: Development and validation of a Port Resilience Index. *Marine Policy*, 130, 104573. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104573>
- Monioudi, I. N., Chatzistratis, D., Moschopoulos, K., Velegrakis, A. F., Polydoropoulou, A., Chalazas, T., Bouhouras, E., Papaioannou, G., Karakikes, I., & Thanopoulou, H. (2025). Exposure of Greek ports to marine flooding and extreme heat under climate change: An assessment. *Water*, 17(13), 1897. <https://doi.org/10.3390/w17131897>
- Monioudi, I. N., Velegrakis, A. F., Polydoropoulou, A., Chatzistratis, D., Moschopoulos, K., Bouhouras, E., Papaioannou, G., Chalazas, T., Vaggelas, G. K., Chatzipavlis, A. E., et al. (2025). Ranking port criticality under climate change: An assessment of Greece. *Sustainability*, 17(24), 11113. <https://doi.org/10.3390/su172411113>
- Polydoropoulou, A., Bouhouras, E., Papaioannou, G., & Karakikes, I. (2025). Living labs for the resilience of ports against climate change disruptions. *Ocean & Coastal Management*, 261, 107528. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107528>
- Ελληνικό Ινστιτούτο Υγείας και Ασφάλειας της Εργασίας (ΕΛΙΝΥΑΕ). (2024). Θερμικό στρες και προστασία εργαζομένων σε συνθήκες καύσιμα. Αθήνα: ΕΛΙΝΥΑΕ.
- Ελληνικό Ινστιτούτο Υγείας και Ασφάλειας της Εργασίας (ΕΛΙΝΥΑΕ). (2025). Οδηγίες για τη θερμική καταπόνηση των εργαζομένων



Υπουργείο Εργασίας και Κοινωνικών Υποθέσεων. (2022). Εγκύκλιος: Πρόληψη της θερμικής καταπόνησης των εργαζομένων. Αθήνα.