

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 Π4.4: Εκτίμηση επικινδυνότητας (*Risk assessment*) στα λιμάνια μελέτης

Υποενότητα Εργασίας: Εκτίμηση επικινδυνότητας (*Risk Assessment*) στα λιμάνια μελέτης

Περιεχόμενα

Περιγραφή Παραδοτέου	3
1. Εισαγωγή	4
1.1. Η έννοια της επικινδυνότητας	4
1.2. Κανονικοποίηση/ Στάθμιση παραγόντων	14
1.3. Υπολογισμός Δείκτη Διακινδύνευσης	18
1.4. Μεθοδολογία αξιολόγησης της επικινδυνότητας (διακινδύνευσης) της κλιματικής αλλαγής στα λιμάνια	19
2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	21
2.1. Εκτίμηση επικινδυνότητας εξαιτίας του ανεμολογικού κινδύνου	21
2.2. Εκτίμηση επικινδυνότητας ακραίας θερμοκρασίας	23
2.3. Εκτίμηση επικινδυνότητας Θαλάσσιας Στάθμης	25
2.3.1. <i>Εκτίμηση Διαλιμενικής επικινδυνότητας.....</i>	<i>25</i>
2.3.2. <i>Εκτίμηση Ενδολιμενικής επικινδυνότητας</i>	<i>28</i>
2.3.2.1. <i>Αλεξανδρούπολη</i>	<i>28</i>
2.3.2.2. <i>Ηγουμενίτσα.....</i>	<i>30</i>
2.3.2.3. <i>Χαλκίδα</i>	<i>32</i>
2.3.2.4. <i>Ηράκλειο.....</i>	<i>34</i>
Βιβλιογραφία	36

Περιγραφή Παραδοτέου

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας της Κ.Αστα λιμάνια αναφέρεται στις δυνητικές επιπτώσεις σε υποδομές/ υπηρεσίες εξαιτίας κάποιας/ων έκφρασης της κλιματικής αλλαγής. Η ανάλυση ακολουθεί την προτεινόμενη στο AR6 (IPCC, 2022) στην οποία η Εκτίμηση της Επικινδυνότητας εκφράζεται ως συνάρτηση των παραγόντων (i) Κίνδυνος (Κ), (ii) Τρωτότητα (Τ) (ευαισθησία και ικανότητα προσαρμογής) και (iii) Έκθεση (Ε).

$$\text{Επικινδυνότητα} = f(K, T, E)$$

Η μεθοδολογία για την εκτίμηση της επικινδυνότητας βασίζεται στην έννοια της Αλυσίδας Επιπτώσεων (Impact Chain–IC), η οποία χρησιμοποιείται παγκοσμίως, σε περιφερειακό και τοπικό επίπεδο, τόσο για ερευνητικούς σκοπούς, όσο και για λήψη αποφάσεων (GIZ, 2017).

Στη βάση των προσομοιώσεων των κλιματικών μοντέλων για το παρόν και το μελλοντικό κλίμα, θα παραχθούν χάρτες/αποτελέσματα με τις τιμές επικινδυνότητας στους υπό διερεύνηση κλιματικούς κινδύνους, καθώς και των παραγόντων αυτής (Κ,Ε,Τ) για όλα τα λιμάνια μελέτης.

Η προσέγγιση αυτή θα αποτελέσει βασικό εργαλείο στο πλαίσιο ενός κύκλου πολιτικής προσαρμογής για τη στήριξη στη λήψη αποφάσεων των υπευθύνων χάραξης πολιτικής. Τα αποτελέσματα θα υποδείξουν τα κύρια περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά στοιχεία που επηρεάζονται στα λιμάνια μελέτης.

Σύνθεση Ομάδας Έργου Παραδοτέου

Ματίνα Λεσιώτη, MSc

Φραγκίσκος Μαρκοζανές

Μαρία Χατζάκη, Αναπλ.Καθηγήτρια

Κατερίνα Καρδισιά, Επίκ. Καθηγήτρια

1. Εισαγωγή

1.1. Η έννοια της επικινδυνότητας

Στην έκθεση AR5 της IPCC (IPCC, 2014), αναλύεται η μεθοδολογία αξιολόγησης της διακινδύνευσης που σχετίζεται με τις κλιματικές συνθήκες (*climate risk assessment*) μέσω της οποίας υποκαταστάθηκε το μοντέλο εκτίμησης της τρωτότητας στην κλιματική αλλαγή (*climate change vulnerability assessment*), στο οποίο βασιζόταν η έκθεση AR4 της IPCC (IPCC, 2007). Επιπλέον, η νέα αυτή προσέγγιση ακολουθείται και στην πλέον πρόσφατη έκθεση AR6 της IPCC (IPCC, 2022). Το 2017 δημοσιεύτηκε από τον Γερμανικό Οργανισμό Διεθνούς Συνεργασίας (Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit – GIZ) η έκθεση στην οποία περιγράφεται η μετατόπιση του ενδιαφέροντος της επιστημονικής κοινότητας από την έννοια της τρωτότητας (*vulnerability*) σε αυτή της διακινδύνευσης (*risk*) που διαμορφώνεται εξαιτίας των επιπτώσεων (*impacts*) της κλιματικής αλλαγής. Η κατεύθυνση αυτή είναι σύμφωνη με την πέμπτη έκθεση αξιολόγησης (AR5) της IPCC και έχει στόχο να ενισχύσει τις μεθόδους αξιολόγησης της διακινδύνευσης καταστροφών (*disaster risk*), καθώς και τις στρατηγικές διαχείρισης και μείωσής της.

Η προσέγγιση προτείνεται για την αξιολόγηση του κινδύνου που ενέχουν οι φυσικές καταστροφές για τα οικοσυστήματα, η οποία βασίζεται στην ενσωμάτωση της έννοιας της διακινδύνευσης (*risk*) στο μεθοδολογικό πλαίσιο που υιοθετείται για την αξιολόγηση των κινδύνων. Παράλληλα, προωθείται η ενοποίηση των τομέων ερευνητικού ενδιαφέροντος αναφορικά με τη μείωση του κινδύνου καταστροφών (*Disaster Risk Reduction – DRR*) και την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή (*Climate Change Adaptation – CCA*), καθώς είναι πλέον ευρέως αποδεκτό ότι ένα μεγάλο ποσοστό των επιπτώσεων που συνδέονται με τις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες προκαλείται από την εκδήλωση επικίνδυνων/ακραίων γεγονότων (GIZ & EURAC, 2017).

Συγκεκριμένα, το μοντέλο διαμορφώνεται ως εξής: Ένα κλιματικό σήμα (*climate signal*) μπορεί να επιφέρει μια άμεση φυσική επίπτωση (*direct physical impact*) προκαλώντας ταυτόχρονα μια αλληλουχία ενδιάμεσων επιπτώσεων (*intermediate impacts*) και η οποία τελικά οδηγεί στη διακινδύνευση (*risk*) ενός συστήματος. Για παράδειγμα, τα ακραία καιρικά φαινόμενα (κλιματική ένδειξη) μπορεί να εντείνουν το φαινόμενο της διάβρωσης (άμεση

φυσική επίπτωση), και σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά της παραλίας, να οδηγήσουν στην απώλεια των παράκτιων οικοτόπων (αντίκτυπος διακινδύνευσης).

Για την ανάπτυξη αυτού μοντέλου διακινδύνευσης, τα συστατικά του μέρη επαναπροσδιορίστηκαν ενώ συμπεριλήφθηκαν σε αυτό κι ορισμένα ακόμη στοιχεία. Οι έννοιες της ευαισθησίας (sensitivity) και της προσαρμοστικής ικανότητας (adaptive capacity) εντάσσονται στην τρωτότητα (vulnerability) ενός συστήματος, ενώ ακόμα εισάγεται ο κίνδυνος (hazard), μέσω του οποίου λαμβάνονται υπόψη τα γεγονότα ή οι τάσεις που σχετίζονται με τις κλιματικές συνθήκες και οι συνέπειές τους (GIZ & EURAC, 2017).

Καταλυτικό ρόλο στη διαμόρφωση του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης διαδραματίζουν οι “αλυσίδες επιπτώσεων” (impact chains), οι οποίες συμβάλλουν στην ανάδειξη, κατανόηση και κατηγοριοποίηση των επιμέρους προσδιοριστικών παραγόντων της διακινδύνευσης.

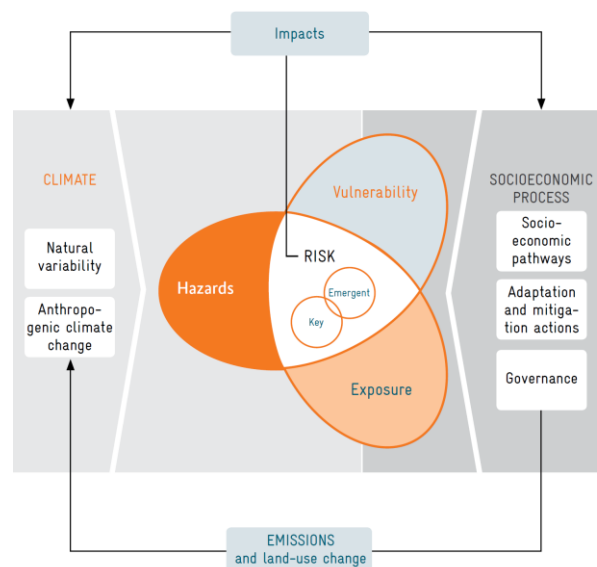
Σε αυτό το πλαίσιο, **η έννοια της διακινδύνευσης εκφράζεται μέσω της αλληλεπίδρασης τριών συνιστωσών: της τρωτότητας (vulnerability), της έκθεσης (exposure) και του κινδύνου (hazard) που περιγράφουν το υπό εξέταση σύστημα (Εικόνα 1).**

Διακινδύνευση (Risk)

“Η πιθανότητα για συνέπειες [= επιπτώσεις] όπου διακυβεύεται κάτι που έχει αξία και όπου το αποτέλεσμα είναι αβέβαιο (...). Η διακινδύνευση προκύπτει από την αλληλεπίδραση της τρωτότητας, της έκθεσης και του κινδύνου (...)”

Η κλιματική διακινδύνευση (climate risk) είναι η πιθανότητα για συγκεκριμένες συνέπειες που σχετίζονται με το κλίμα (κλιματικές επιπτώσεις) για κάτι που έχει αξία (περιουσίες, άνθρωποι, οικοσύστημα, πολιτισμός, ...). Τυπικά, το σύστημα θα επηρεαστεί από περισσότερους από έναν κλιματικούς κινδύνους. Πρέπει κατ’ αρχάς να προσδιοριστεί το είδος των κινδύνων και οι κλιματικές επιπτώσεις που οδηγούν σε διακινδύνευση και ποιος ή τι κινδυνεύει. Παραδείγματα διακινδύνευσης είναι: λειψυδρία για τους μικροκαλλιεργητές (από τη λειψυδρία ως δυνητική συνέπεια των κλιματικών επιπτώσεων, κινδυνεύουν οι μικροκαλλιεργητές), επισιτιστική ανασφάλεια για τον αγροτικό πληθυσμό, εξαφάνιση ειδών για τη βιοποικιλότητα.

Η διακινδύνευση είναι κάτι όπου «το αποτέλεσμα είναι αβέβαιο». Σε μια εκτίμηση διακινδύνευσης, αυτή η αβεβαιότητα μπορεί να αντιμετωπιστεί με διαφορετικούς τρόπους. Μια σαφής αξιολόγηση της πιθανότητας για συγκεκριμένες συνέπειες με βάση ένα γεγονός καθορισμένου μεγέθους, όπως συνηθίζεται για διακριτά επικίνδυνα γεγονότα (π.χ. τυφώνας κατηγορίας 4), δεν είναι εφικτή για τη διακινδύνευση που σχετίζεται με τις πολλαπλές δυνητικές μεταβολές των μελλοντικών κλιματικών συνθηκών. Ωστόσο, η μεθοδολογία αυτή προτείνει τον τρόπο να καταστεί αυτή η πιθανότητα σαφής όπου είναι δυνατόν, ιδίως στην επιλογή δεικτών κινδύνου.



Εικόνα 1. Απεικόνιση των βασικών εννοιών της έκθεσης IPCC WGII AR5. Η διακινδύνευση (risk) των επιπτώσεων που σχετίζονται με το κλίμα προκύπτει από την αλληλεπίδραση των κινδύνων που σχετίζονται με το κλίμα (συμπεριλαμβανομένων των επικίνδυνων γεγονότων και τάσεων) με την τρωτότητα και την έκθεση των ανθρώπινων και φυσικών συστημάτων (IPCC 2014).

Οι κρίσιμες έννοιες του μοντέλου διακινδύνευσης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, σύμφωνα με την πέμπτη έκθεση αξιολόγησης της IPCC (Εικόνα 2), ορίζονται ως εξής:

Κίνδυνος (Hazard)

“Πιθανότητα εμφάνισης ενός φυσικού -ή προκαλούμενου από τον άνθρωπο- γεγονότος ή τάσης ή φυσικής επίπτωσης αυτού που μπορεί να επιφέρει ανθρώπινες απώλειες, τραυματισμούς ή άλλες επιπτώσεις στην υγεία, καθώς, επίσης, ζημιές και απώλειες υποδομών, ιδιοκτησίας, οικοσυστημάτων και περιβαλλοντικών πόρων. Στην έκθεση της

IPCC, ο όρος κίνδυνος συνήθως αναφέρεται στα σχετιζόμενα με το κλίμα φυσικά γεγονότα ή τάσεις ή στις φυσικές τους επιπτώσεις.”

- Ένας κίνδυνος σχετίζεται με μία συγκεκριμένη διακινδύνευση για ένα συγκεκριμένο κοινωνικο-οικολογικό σύστημα ή μέρη του (εκτεθειμένα στοιχεία).
- Ένας κίνδυνος μπορεί να είναι ένα κλιματικό γεγονός (π.χ. ένα συμβάν έντονης βροχόπτωσης), αλλά μπορεί επίσης να είναι η **άμεση φυσική επίδραση** (π.χ. πλημμύρα).
- Ένας κίνδυνος δεν είναι απαραίτητα ένα ακραίο καιρικό γεγονός (π.χ. τροπική καταιγίδα, πλημμύρα), αλλά μπορεί επίσης να είναι η **έναρξη μίας τάσης** (π.χ. λιγότερο νερό από το λιώσιμο του χιονιού, αύξηση σε μέση θερμοκρασία, άνοδος της στάθμης της θάλασσας).
- Εάν είναι δυνατόν, θα πρέπει να εκτιμηθεί η **πιθανότητα** ενός συγκεκριμένου επικίνδυνου συμβάντος ή τάσης. Αυτό μπορεί να γίνει ορίζοντας τους κινδύνους ως κρίσιμα κλιματικά γεγονότα ή κρίσιμες φυσικές επιπτώσεις (π.χ. «γεγονότα έντονων βροχοπτώσεων» αντί για «βροχή» ή «μέρες καύσωνα» αντί της «θερμοκρασίας»). Στη συνέχεια, αυτό καθορίζεται περαιτέρω με τον ορισμό κατωφλίων και προσδιορισμό συχνοτήτων (π.χ. αριθμός ημερών με βροχόπτωση > 50 mm).
- Στο πλαίσιο μιας αξιολόγησης κλιματικής διακινδύνευσης, θεωρείται ότι ο κίνδυνος αντιπροσωπεύει **ένα εξωτερικό κλιματικό σήμα**, το οποίο δεν εξαρτάται από την έκθεση ή την τρωτότητα του εξεταζόμενου συστήματος και δεν μπορεί να επηρεαστεί από την προσαρμογή ή άλλα μέτρα που επιδιώκουν να αντιμετωπιστούν με απώλειες και ζημιές που σχετίζονται με το κλίμα.

Έκθεση (Exposure)

“Η παρουσία πληθυσμού, μέσων βιοπορισμού, ειδών και οικοσυστημάτων, περιβαλλοντικών διεργασιών, υπηρεσιών, πόρων, υποδομών, αλλά και οικονομικών, κοινωνικών και πολιτιστικών αγαθών σε περιοχές και χώρους που θα μπορούσαν να επηρεαστούν αρνητικά.”

- Η έκθεση σχετίζεται με συγκεκριμένα εκτεθειμένα στοιχεία (ή στοιχεία σε κίνδυνο), π.χ. άνθρωποι, υποδομές, οικοσυστήματα.

- Ο βαθμός έκθεσης μπορεί να εκφραστεί με απόλυτους αριθμούς, πυκνότητες ή αναλογίες κ.λπ. των στοιχείων που κινδυνεύουν (π.χ. πυκνότητα πληθυσμού σε περιοχή που επηρεάζεται από ξηρασία).
- Μια αλλαγή στην έκθεση με την πάροδο του χρόνου (π.χ. αλλαγή του αριθμού των ατόμων που ζουν περιοχές επιρρεπείς στην ξηρασία) μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει σημαντικά την διακινδύνευση.

Τρωτότητα (Vulnerability)

“Η τάση ή προδιάθεση αρνητικής επίδρασης. Η τρωτότητα περιλαμβάνει ένα ευρύ σύνολο εννοιών και στοιχείων, συμπεριλαμβανομένης της ευαισθησίας (sensitivity or susceptibility) ενός συστήματος και της έλλειψης ικανότητας (capacity) του τελευταίου να ανταπεξέλθει (cope) και να προσαρμοστεί (adapt).”

- Η τρωτότητα αναφέρεται σε εκείνα τα χαρακτηριστικά των εκτεθειμένων στοιχείων και του συστήματος στο οποίο είναι ενσωματωμένα (π.χ. η τρωτότητα του πληθυσμού και του άμεσου περιβάλλοντός τους σε ένα χωριό που βρίσκεται σε περιοχή επιρρεπή στην ξηρασία) που μπορεί να αυξήσει (ή να μειώσει) τις πιθανές συνέπειες ενός συγκεκριμένου κλιματικού κινδύνου.
- Η τρωτότητα αποτελείται από τα ακόλουθα δύο βασικά στοιχεία:

Ευαισθησία (Sensitivity)

Καθορίζεται από εκείνους τους παράγοντες που επηρεάζουν άμεσα τις επιπτώσεις ενός κινδύνου. Μπορεί να περιλαμβάνει φυσικές ιδιότητες ενός συστήματος, όπως για παράδειγμα τα οικοδομικά υλικά των κατοικιών ή τον τύπο εδάφους σε γεωργικές εκτάσεις αλλά και κοινωνικά, οικονομικά και πολιτιστικά χαρακτηριστικά, όπως η ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού και η κατανομή του εισοδήματος.

Ικανότητα (Capacity)

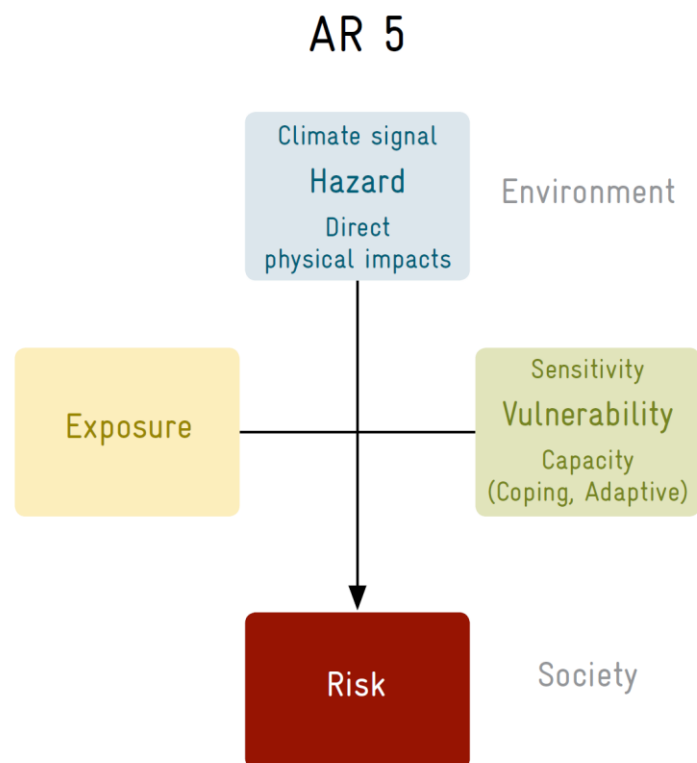
Στο πλαίσιο των αξιολογήσεων της κλιματικής διακινδύνευσης αναφέρεται στην ικανότητα των κοινωνιών και κοινοτήτων να προετοιμαστούν και να ανταποκριθούν στις παρούσες και μελλοντικές κλιματικές επιπτώσεις. Περιλαμβάνει:

Ικανότητα αντιμετώπισης (Coping capacity)

“Η ικανότητα του πληθυσμού, των οργανισμών και των συστημάτων να αντιμετωπίζουν, να διαχειρίζονται και να ξεπερνούν τις δυσμενείς συνθήκες βραχυπρόθεσμα έως μεσοπρόθεσμα, μέσω των διαθέσιμων δεξιοτήτων και πόρων (για παράδειγμα η ύπαρξη συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης) αλλά και των υφιστάμενων αξιών, πεποιθήσεων κι ευκαιριών.”

Προσαρμοστική ικανότητα (Adaptive capacity)

“Η ικανότητα του πληθυσμού, των συστημάτων, ιδρυμάτων και άλλων οργανισμών να προσαρμόζονται στις πιθανές ζημιές, να εκμεταλλεύονται τις διαθέσιμες ευκαιρίες ή να ανταποκρίνονται στις ενδεχόμενες επιπτώσεις (π.χ. μέσω της γνώσης για την ανάπτυξη νέων μεθόδων καλλιέργειας).”



Εικόνα 2. Οι συνιστώσες της κλιματικής διακινδύνευσης κατά την έκθεση AR5.

Επιπτώσεις (Impacts)

“Επιδράσεις στα φυσικά και ανθρώπινα συστήματα. Στην έκθεση IPCC, ο όρος επιπτώσεις χρησιμοποιείται κυρίως για να αναφερθεί στις επιδράσεις στα φυσικά και ανθρώπινα συστήματα των ακραίων καιρικών και κλιματικών φαινομένων και της κλιματικής αλλαγής. Οι επιπτώσεις γενικά αναφέρονται σε επιδράσεις στις ζωές, τα μέσα διαβίωσης, την υγεία, τα οικοσυστήματα, τις οικονομίες, τις κοινωνίες, τους πολιτισμούς, τις υπηρεσίες και τις υποδομές λόγω της αλληλεπίδρασης κλιματικών αλλαγών ή **επικίνδυνων κλιματικών γεγονότων (hazardous climate events)** που συμβαίνουν μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο με την **τρωτότητα** μιας **εκτεθειμένης** κοινωνίας ή συστήματος. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα γεωφυσικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των πλημμυρών, της ξηρασίας και της ανόδου της στάθμης της θάλασσας, είναι ένα υποσύνολο επιπτώσεων που ονομάζονται **φυσικές επιπτώσεις (physical impacts)**.”

- Οι «επιπτώσεις» είναι ο πιο γενικός όρος για την περιγραφή των συνεπειών, που κυμαίνονται από άμεσες φυσικές επιπτώσεις ενός κινδύνου έως έμμεσες συνέπειες για την κοινωνία (οι λεγόμενες **κοινωνικές επιπτώσεις**), και οι οποίες τελικά οδηγούν σε διακινδύνευση.
- Οι επιπτώσεις είναι τα βασικά δομικά στοιχεία των **αλυσίδων επιπτώσεων (impact chains)** που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της διακινδύνευσης.

Προσαρμογή (Adaptation)

“Η διαδικασία προσαρμογής στις υφιστάμενες ή εκτιμώμενες κλιματικές συνθήκες και στις επιπτώσεις τους. / Στα ανθρωπογενή περιβάλλοντα, μέσω της διαδικασία αυτής επιδιώκεται ο μετριασμός ή η αποφυγή των δυσμενών επιπτώσεων και η αξιοποίηση των ευκαιριών που επιφέρουν κάποιο όφελος.”

Με βάση έκθεση της IPCC σχετικά με την υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 1,5°C (SR15) διευκρινίζεται περαιτέρω ότι στα πλαίσια της αξιολόγησης των επιπτώσεων που συνδέονται με τις κλιματικές συνθήκες (climate impacts), η έννοια της διακινδύνευσης χρησιμοποιείται συχνά για να περιγράψει το ενδεχόμενο δυσμενών συνεπειών ενός κινδύνου που σχετίζεται με τις πρώτες, στις ζωές, στα μέσα βιοπορισμού, στην υγεία κι ευεξία, στα οικοσυστήματα και είδη, στην οικονομία, στις κοινωνίες και στον πολιτισμό, στις

υπηρεσίες, συμπεριλαμβανομένων και των υπηρεσιών ενός οικοσυστήματος, αλλά και στις υποδομές. Δυσμενείς επιπτώσεις ενδέχεται να επέλθουν τόσο λόγω του επικείμενου αντίκτυπου της κλιματικής αλλαγής όσο και λόγω της ελλιπούς ανταπόκρισης στις διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες. Επιπλέον, στην SR15 αναφέρεται εξίσου ότι η διακινδύνευση προκύπτει ως αποτέλεσμα της συνύπαρξης του ενδεχόμενου κλιματικού κινδύνου, της τρωτότητας του επηρεαζόμενου συστήματος και της έκθεσης αυτού στον πρώτο διαχρονικά (IPCC, 2018).

Αναλυτικότερα, ο κίνδυνος περιγράφει είτε ένα κλιματικό γεγονός, όπως για παράδειγμα οι υψηλές τιμές ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, είτε μια άμεση φυσική επίπτωση, όπως η ξηρασία, ενώ δεν εμφανίζεται απαραίτητα ως ένα ακραίο μετεωρολογικό φαινόμενο καθώς μπορεί να αποτελεί εξίσου μια διαχρονική τάση, όπως είναι η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας. Σε αυτό το πλαίσιο, ο κίνδυνος νοείται ως μια εξωτερική κλιματική ένδειξη (external climate signal), η οποία δεν εξαρτάται από την έκθεση ή την τρωτότητα ενός συστήματος καθώς η προσαρμογή του τελευταίου στις δυσμενείς συνθήκες ή άλλα μέτρα αντιμετώπισης των κλιματικών επιπτώσεων, δεν επιδρούν στην εμφάνιση των παραγόντων κινδύνου.

Εντούτοις, τα μέτρα προσαρμογής μπορούν να περιορίσουν την διακινδύνευση του συστήματος αναφοράς, μειώνοντας την τρωτότητά του και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμα και τον βαθμό της έκθεσης αυτού. Ο παράγοντας της τρωτότητας, ειδικότερα, μπορεί να ελαττωθεί είτε μειώνοντας την ευαισθησία είτε ενισχύοντας την προσαρμοστική ικανότητα που παρουσιάζει το εν λόγω σύστημα (GIZ & EURAC, 2017).

Ακόμη, η τρωτότητα χαρακτηρίζεται από το σύνολο των ιδιοτήτων των εκτεθειμένων στοιχείων και του συστήματος όπου αυτά απαντώνται, οι οποίες μπορούν είτε να ενισχύσουν είτε να καταστείλουν την επίδραση των επιπτώσεων ενός ενδεχόμενου κινδύνου που συνδέεται με τις κλιματικές συνθήκες (climate hazard). Όσον αφορά τον βαθμό της έκθεσης των στοιχείων αυτών, μπορεί να περιγραφεί με τη χρήση απόλυτων τιμών, πυκνοτήτων ή αναλογιών, προσδιορίζοντας για παράδειγμα το μέγεθος ή την πληθυσμιακή πυκνότητα μιας περιοχής που πλήττεται από ορισμένες δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Από την άλλη μεριά, στις επιπτώσεις ενός υφιστάμενου κινδύνου περιλαμβάνονται μεταξύ άλλων οι άμεσες φυσικές επιπτώσεις αλλά και οι έμμεσες συνέπειες αυτού για την κοινωνία (social impacts), οι οποίες συμβάλλουν από κοινού στον προσδιορισμό της παραμέτρου διακινδύνευσης για το σύστημα αναφοράς. Υπογραμμίζεται εξίσου ότι οι επιπτώσεις συνιστούν τα κυριότερα στοιχεία των “αλυσίδων επιπτώσεων” μέσω των οποίων περιγράφονται οι σχέσεις αιτιών και αποτελέσματος που αναπτύσσονται εντός των συστημάτων (GIZ & EURAC, 2017).

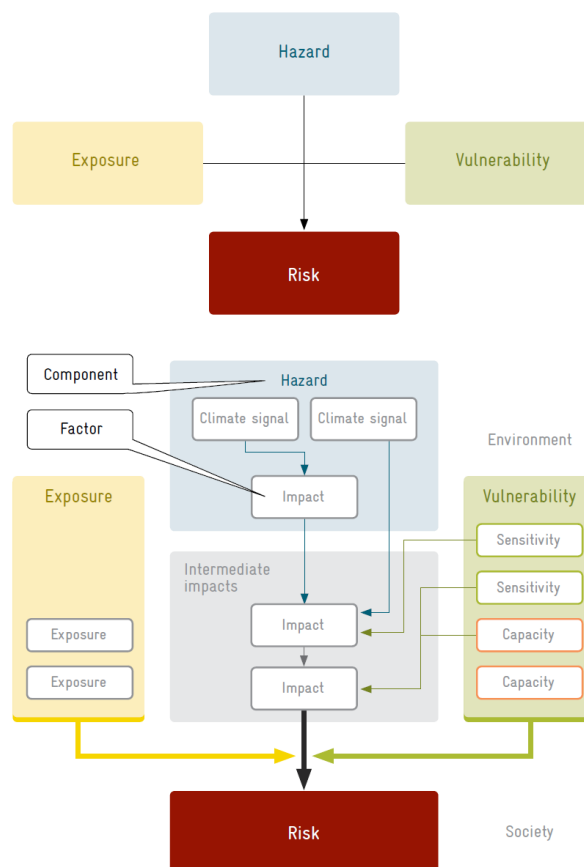
Το πρωταρχικό βήμα για την ανάπτυξη μιας “αλυσίδας επιπτώσεων” είναι ο εντοπισμός των κρισιμότερων κλιματικών επιπτώσεων που εμφανίζονται στην περιοχή ενδιαφέροντος και, εν συνεχεία, η κατηγοριοποίησή τους με βάση τους τομείς στους οποίους εντάσσονται και τη θεματολογία που καλύπτουν, ώστε να προσδιοριστεί ποιες από αυτές σχετίζονται με το αντικείμενο μελέτης και συνεπώς χρειάζεται να ληφθούν υπόψη στην ανάλυση. Με γνώμονα την εκάστοτε παράμετρο διακινδύνευσης που επιλέγεται να διερευνηθεί, καθορίζονται οι **ενδιάμεσες επιπτώσεις (intermediate impacts)** που οδηγούν σε αυτή και μέσω των οποίων αποκαλύπτονται και οι συναφείς **κλιματικοί κίνδυνοι (climate hazards)** που πλήττουν το σύστημα αναφοράς, δηλαδή τα κλιματικά φαινόμενα, οι τάσεις και οι άμεσες φυσικές επιπτώσεις αυτών.

Οι ενδιάμεσες επιπτώσεις εξαρτώνται, επίσης, από την τρωτότητα του συστήματος υποδηλώνοντας αντίστοιχα τα στοιχεία που διακρίνουν τους παράγοντες ευαισθησίας (sensitivity) και προσαρμοστικής ικανότητας (adaptive capacity) στο μοντέλο εκτίμησης της διακινδύνευσης. Πιο συγκεκριμένα, συντελούν στον εντοπισμό των ιδιοτήτων του φυσικού περιβάλλοντος, καθώς και ορισμένων κοινωνικοοικονομικών πτυχών που καθιστούν το σύστημα ευάλωτο ως προς τις συνέπειες που επιφέρουν οι κίνδυνοι. Επιπλέον, βάσει των προκαθορισμένων ενδιάμεσων επιπτώσεων, άρα και των κινδύνων, προσδιορίζονται τα στοιχεία που περιγράφουν την ικανότητα ενός συστήματος να ανταπεξέλθει ευκολότερα σε δυσμενείς καταστάσεις και να προσαρμοστεί στις μελλοντικές συνθήκες. Αυτά μπορεί να σχετίζονται με τους τομείς της γνώσης και των επιστημών, τα τεχνολογικά μέσα ή/και τους οικονομικούς πόρους.

Στο επόμενο στάδιο ανάπτυξης των “αλυσίδων επιπτώσεων” καθορίζεται ο παράγοντας της **έκθεσης (exposure)** του εκάστοτε μοντέλου εκτίμησης, επισημαίνοντας τα στοιχεία

υψίστης σημασίας που απαντώνται στο σύστημα αναφοράς, τα οποία αναμένεται να επωμισθούν τις δυσμενείς επιπτώσεις που αποδίδονται στην παράμετρο διακινδύνευσης. Υπογραμμίζεται ότι η έννοια της έκθεσης συχνά συγχέεται με την τρωτότητα του συστήματος και πιο συγκεκριμένα με την παράμετρο ευαισθησίας, γι' αυτό και τα εκτεθειμένα στοιχεία που επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό συγκριτικά με τα υπόλοιπα, είναι προτιμότερο να συγκαταλέγονται στον παράγοντα της τρωτότητας.

Ακόμη, πρέπει να σημειωθεί ότι οι “αλυσίδες επιπτώσεων” συμβάλλουν καθοριστικά στη διερεύνηση και τέλος στον εντοπισμό των κατάλληλων μέτρων που μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να επέλθει μείωση της τρωτότητας ή/και της έκθεσης του συστήματος αναφοράς. Τα μέτρα αυτά εντάσσονται στον παράγοντα της προσαρμοστικής ικανότητας (adaptive capacity) του μοντέλου επικινδυνότητας (Εικόνα 3).



Εικόνα 3. Δομή αλυσίδας επιπτώσεων σύμφωνα με την προσέγγιση της AR5 IPCC. Γενική επισκόπηση των εννοιών (επάνω) και αναλυτική δομή (κάτω) (Πηγή: GIZ & EURAC, 2017).

Ένας δείκτης κρίνεται ορθός και μπορεί να ενταχθεί στο μοντέλο εφόσον είναι ακριβής, σαφώς ορισμένος, απολύτως συναφής με τον παράγοντα που προσδιορίζει, ενώ παράλληλα συνάδει με τη χωρική και χρονική κλίμακα της ανάλυσης και προέρχεται από μια έγκυρη, αξιόπιστη, προσιτή πηγή απ' όπου είναι δυνατή κι η απόκτηση δεδομένων μελλοντικά.

Επιπλέον, οποιαδήποτε μεταβολή (αύξηση ή μείωση) του δείκτη πρέπει να υποδηλώνει ξεκάθαρα την επίδρασή της (θετική ή αρνητική) στον παράγοντα στον οποίο εντάσσεται. Για το λόγο αυτό στο στάδιο εκτίμησης της διακινδύνευσης επιλέγονται οι πλέον καταλληλότεροι δείκτες κινδύνου, τρωτότητας και έκθεσης και προσδιορίζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αντανakλούν κρίσιμες καταστάσεις ή την έκβαση αυτών, αλλά και να μπορούν να αξιοποιηθούν στη μετέπειτα ανάλυση.

1.2. Κανονικοποίηση/ Στάθμιση παραγόντων

Για την εκτίμηση της διακινδύνευσης είναι απαραίτητη η κανονικοποίηση των τιμών κάθε επιλεγμένου δείκτη, καθώς οι επιμέρους δείκτες συχνά εκφράζονται σε ανόμοιες κλίμακες (κατηγορική, τακτική, αριθμητική κ.ά.. Με τον όρο “κανονικοποίηση” νοείται η μετατροπή των τιμών ενός συνόλου δεικτών, που ορίζονται βάσει διαφορετικής κλίμακας και μονάδας μέτρησης, σε μια κοινή κλίμακα από μηδέν (0) έως ένα (1) όπου οι υψηλότερες τιμές υποδεικνύουν συνθήκες που επιβαρύνουν το σύστημα αναφοράς και ταυτόχρονα ενισχύουν την πιθανότητα εμφάνισης δυσμενών επιπτώσεων.

Οι τιμές των δεικτών που ορίζονται βάσει μιας αριθμητικής κλίμακας κανονικοποιούνται ως ακολούθως:

$$X_{i,0 \text{ to } 1} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1)$$

όπου X_i : η τιμή που θα μετασχηματιστεί, X_{min} : η ελάχιστη τιμή του δείκτη, X_{max} : η μέγιστη τιμή του δείκτη και $X_{i,0 \text{ to } 1}$: η νέα κανονικοποιημένη τιμή εντός του εύρους 0 έως 1.

Στην περίπτωση κατηγορικών δεικτών στην οποία δεν μπορεί να εφαρμοστεί ο παραπάνω μετασχηματισμός, πραγματοποιείται μετασχηματισμός της κατηγορικής κλίμακας σε τακτική κλίμακα μέτρησης αναθέτοντας μια τιμή από το ένα (1) έως το πέντε (5) στις

διακριτές κατηγορίες του εκάστοτε δείκτη ανάλογα με την επίδρασή του ως προς τη διακινδύνευση.

Ειδικότερα, οι κατηγορίες που αξιολογούνται με την τιμή 1 δρουν κατασταλτικά ως προς τη διακινδύνευση, ενώ αντίθετα με την τιμή 5 προσδιορίζονται οι συνθήκες στις οποίες αποδίδονται οι δριμύτερες επιπτώσεις που εκδηλώνονται στο σύστημα αναφοράς (Πίνακας 1). Οι τιμές 1, 2, 3, 4, και 5 επιλέγονται αντίστοιχα για καθεμία κατηγορία σύμφωνα με την υπάρχουσα σχετική βιβλιογραφία και την κρίση των εμπειρογνομόνων ή άλλων αρμόδιων φορέων και στη συνέχεια τροποποιούνται ώστε να αντιστοιχιστούν στην προκαθορισμένη κλίμακα εύρους από 0 έως 1 (Πίνακας 2).

Πίνακας 1. Ενδεικτική ταξινόμηση των τιμών ενός δείκτη ανάλογα με την επίδρασή του ως προς την διακινδύνευση (Πηγή: GIZ & EURAC, 2017)

Metric class value within range of 0 to 1	Categorical class value within the range of 1 to 5	Description
0 – 0.2	1	optimal (no improvement necessary or possible)
> 0.2 – 0.4	2	rather positive
> 0.4 – 0.6	3	neutral
> 0.6 – 0.8	4	rather negative
> 0.8 – 1	5	critical (could lead to severe consequences)

Για την αξιολόγηση της επικινδυνότητας, οι επιμέρους δείκτες που περιγράφουν τη διακινδύνευση (risk) αθροίζονται ανά συνιστώσα διαμορφώνοντας αντίστοιχα τους σύνθετους δείκτες κινδύνου (hazard), τρωτότητας (vulnerability) και έκθεσης (exposure). Σε περίπτωση, όμως, που ορισμένοι παράγοντες κρίνονται πιο σημαντικοί από τους υπόλοιπους για την έκβαση της ανάλυσης, θα πρέπει να οριστούν για εκείνους διαφορετικοί συντελεστές βαρύτητας. Επομένως, για τους δείκτες που καθορίζονται από παράγοντες

που συμβάλλουν περισσότερο από άλλους στην ενίσχυση της διακινδύνευσης, δίνεται μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας και αντίστροφα. Παρ' όλα αυτά, αν θεωρηθεί ότι η επίδραση όλων των παραγόντων στην παράμετρο διακινδύνευσης είναι ισάξια, ορίζεται ο ίδιος συντελεστής βαρύτητας για το σύνολο των δεικτών που συνθέτουν το μοντέλο επικινδυνότητας (Fritzsche et al., 2014).

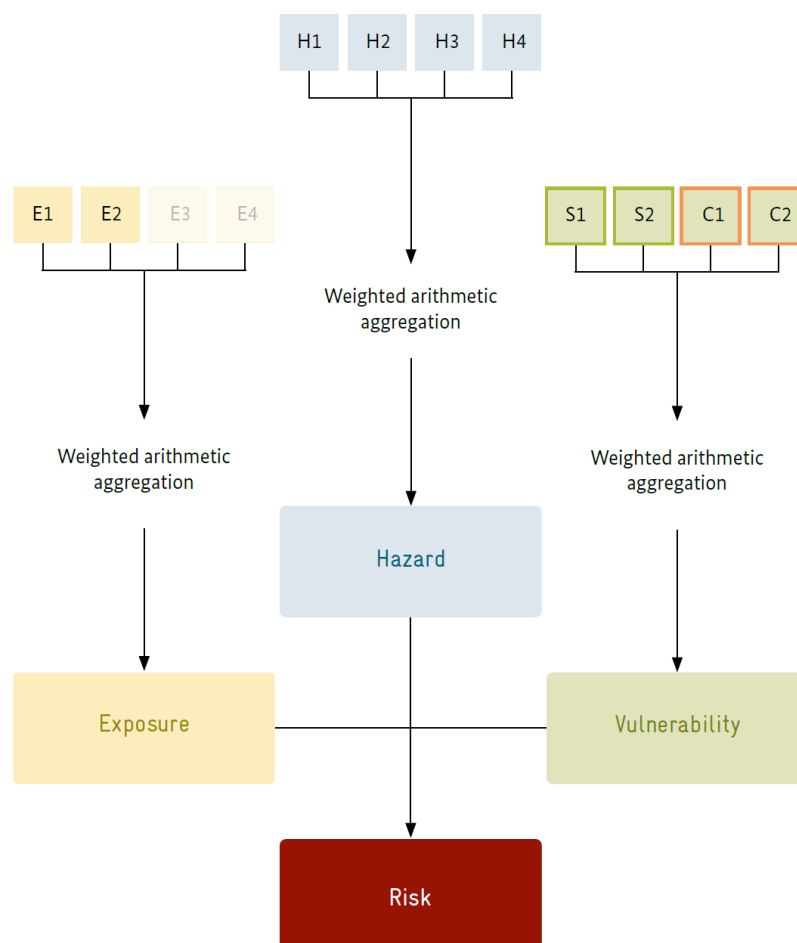
Πίνακας 2. Μετασχηματισμός των κανονικοποιημένων τιμών του δείκτη από κατηγορική κλίμακα σε τιμές εύρους 0 έως 1 (Πηγή: adelphi/EURAC 2014).

indicator values – categorical			Indicator value range (0 to 1) metric
Class No.	Class value within range of 0 to 1	Description	
1	0 – 0.2	optimal (no improvement necessary or possible)	0.1
2	> 0.2 – 0.4	rather positive	0.3
3	> 0.4 – 0.6	neutral	0.5
4	> 0.6 – 0.8	rather negative	0.7
5	> 0.8 – 1	critical (system no longer functions)	0.9

Για την αξιολόγηση της επικινδυνότητας, οι επιμέρους δείκτες που περιγράφουν τη διακινδύνευση (risk) αθροίζονται ανά συνιστώσα διαμορφώνοντας αντίστοιχα τους σύνθετους δείκτες κινδύνου (hazard), τρωτότητας (vulnerability) και έκθεσης (exposure). Σε περίπτωση, όμως, που ορισμένοι παράγοντες κρίνονται πιο σημαντικοί από τους υπόλοιπους για την έκβαση της ανάλυσης, θα πρέπει να οριστούν για εκείνους διαφορετικοί συντελεστές βαρύτητας. Επομένως, για τους δείκτες που καθορίζονται από παράγοντες που συμβάλλουν περισσότερο από άλλους στην ενίσχυση της διακινδύνευσης, δίνεται μεγαλύτερος συντελεστής βαρύτητας και αντίστροφα. Παρ' όλα αυτά, αν θεωρηθεί ότι η επίδραση όλων των παραγόντων στην παράμετρο διακινδύνευσης είναι ισάξια, ορίζεται ο ίδιος συντελεστής βαρύτητας για το σύνολο των δεικτών που συνθέτουν το μοντέλο επικινδυνότητας (Fritzsche et al., 2014).

Το σύνολο των μεμονωμένων δεικτών επικινδυνότητας αθροίζονται ανάλογα με τη συνιστώσα στην οποία εντάσσονται, ώστε να προσδιοριστούν αντίστοιχα ο κίνδυνος (hazard), η ευαισθησία (sensitivity), η προσαρμοστική ικανότητα (adaptive capacity) και η έκθεση (exposure), σύμφωνα με την ιεραρχική δομή του μοντέλου.

Τέλος, αθροίζονται η ευαισθησία και προσαρμοστική ικανότητα με την εφαρμογή της ίδιας μεθόδου άθροισης (σταθμισμένος μέσος όρος) και με αυτόν τον τρόπο υπολογίζεται ο σύνθετος δείκτης για την τρωτότητα (vulnerability), ο οποίος σε συνδυασμό με τους σύνθετους δείκτες για τον κίνδυνο και την έκθεση, συντελεί στον προσδιορισμό της διακινδύνευσης (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Άθροιση των επιμέρους δεικτών του μοντέλου εκτίμησης της διακινδύνευσης (Πηγή: GIZ & EURAC, 2017).

1.3. Υπολογισμός Δείκτη Διακινδύνευσης

Στη συνέχεια, τα τρία βασικά δομικά στοιχεία του μοντέλου επικινδυνότητας αθροίζονται με σκοπό τη δημιουργία του σύνθετου δείκτη διακινδύνευσης που ενδέχεται να εμφανίσει το υπό μελέτη σύστημα.

Ειδικότερα, ο σύνθετος δείκτης διακινδύνευσης ορίζεται βάσει των κύριων προσδιοριστικών παραγόντων του και των συντελεστών στάθμισης αυτών ως εξής:

$$\text{Διακινδύνευση} = \frac{\text{Κίνδυνος} * w_k + \text{Τρωτότητα} * w_\tau + \text{Έκθεση} * w_\epsilon}{w_k + w_\tau + w_\epsilon} \quad (2)$$

όπου w_k , w_τ , και w_ϵ οι συντελεστές βαρύτητας των συνιστωσών κινδύνου, τρωτότητας κι έκθεσης, αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της συγκεκριμένης μεθόδου υποδηλώνουν τον βαθμό επικινδυνότητας που πρόκειται δυνητικά να εμφανίσει το σύστημα ενδιαφέροντος. Δεδομένου ότι όλοι οι δείκτες που αξιοποιούνται στη μελέτη έχουν ήδη τροποποιηθεί σε προηγούμενο στάδιο ώστε να εκφράζονται βάσει μια κοινής κλίμακας μέτρησης από μηδέν (0) έως ένα (1) και, παράλληλα, οι μεγαλύτερες τιμές τους να αντιστοιχούν σε υψηλότερο βαθμό διακινδύνευσης και αντίστροφα, οι τιμές του τελικού σύνθετου δείκτη μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε κατηγορίες, από πολύ χαμηλή έως πολύ υψηλή διακινδύνευση, όπως περιγράφεται στον παρακάτω Πίνακα 3.

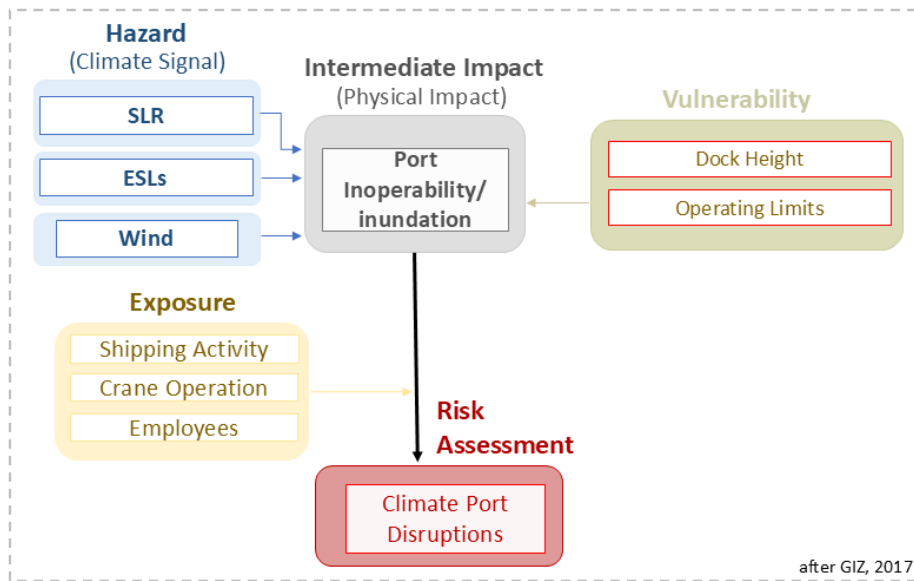
Πίνακας 3. Κατηγορίες διακινδύνευσης (Πηγή: GIZ & EURAC 2017).

Metric risk class value within range of 0 to 1	Risk class value within the range of 1 to 5	Description
0 – 0.2	1	very low
> 0.2 – 0.4	2	low
> 0.4 – 0.6	3	intermediate
> 0.6 – 0.8	4	high
> 0.8 – 1	5	very high

1.4. Μεθοδολογία αξιολόγησης της επικινδυνότητας (διακινδύνευσης) της κλιματικής αλλαγής στα λιμάνια

Η αξιολόγηση της διακινδύνευσης (risk) των κλιματικών επιπτώσεων προκύπτει από την αλληλεπίδραση των κλιματικών κινδύνων με την τρωτότητα και την έκθεση των λιμένων. Η ανάπτυξη της αλυσίδας επιπτώσεων επιτρέπει τον προσδιορισμό και την επιλογή των παραμέτρων που επηρεάζουν κάθε μία από τις συνιστώσες. Έτσι, οι συνιστώσες της αλυσίδας επιπτώσεων στα λιμάνια προσαρμόζονται ως ακολούθως (Εικόνα 5):

- **Διακινδύνευση (Risk)** αναφέρεται στο ενδεχόμενο οι κίνδυνοι της κλιματικής αλλαγής (πχ. άνοδος θαλάσσιας στάθμης, ακραίες θερμοκρασίες κλπ) να έχουν αντίκτυπο στις λιμενικές υποδομές.
- **Κίνδυνος (Hazard)** (Κλιματικό Σήμα) ορίζεται η δυνητική εμφάνιση ενός ακραίου φυσικού γεγονός πχ. άνοδος θαλάσσιας στάθμης, ακραίες θερμοκρασίες κλπ) που μπορεί να προκαλέσει διακοπή στη λειτουργικότητα των λιμενικών υποδομών ή σε ζημιές (Π4.1).
- **Τρωτότητα (Vulnerability)** ορίζεται ως *τάση ή προδιάθεση της λιμενικής υποδομής να επηρεαστεί αρνητικά* και η οποία καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της υποδομής (πχ. ύψος προβλητών) (Π4.2).
- **Ενδιάμεση Επίπτωση (Intermediate Impact)** θεωρείται η διακοπή στη λειτουργικότητα ή η κατάκλυση της λιμενικής υποδομής που ως αποτέλεσμα της επίδρασης του κινδύνου (πχ. άνοδος θαλάσσιας στάθμης, υψηλές θερμοκρασίες κλπ). (Παραδοτέο 5.1).
- **Έκθεση (Exposure)** ορίζεται το πλήθος των εμπορικών δραστηριοτήτων που εξυπηρετεί ένας λιμένας. Για τις ανάγκες του παρόντος παραδοτέου η Έκθεση διερευνάται λαμβάνοντας υπόψη τις συνολικές ροές εσόδων και ανά εμπορική δραστηριότητα (Παραδοτέο 4.3).



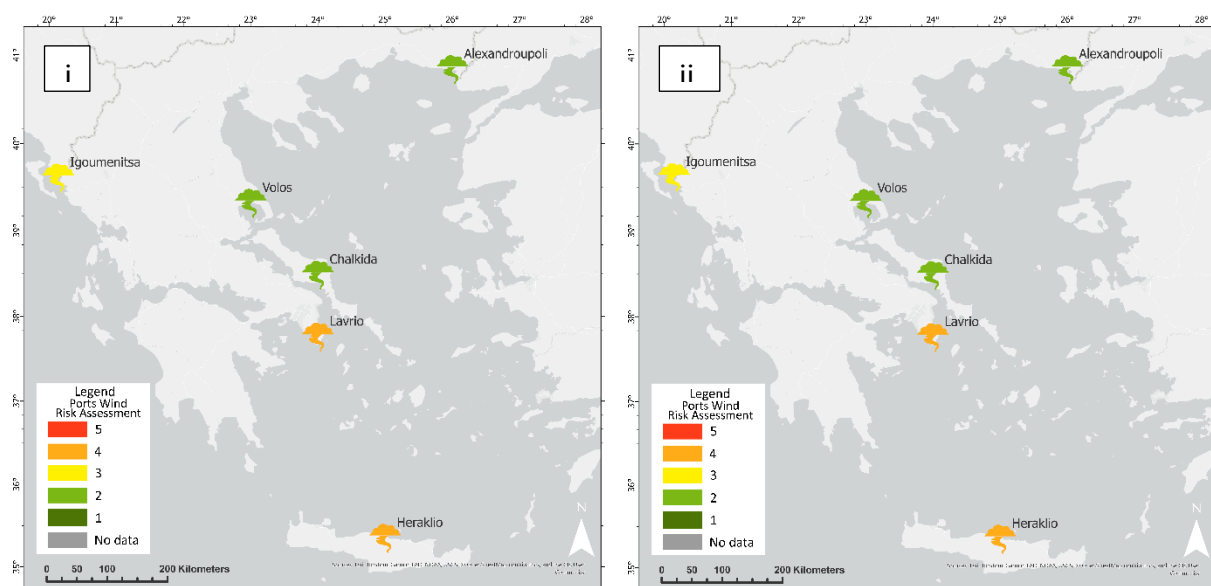
Εικόνα 5. Θεωρητική αλυσίδα επιπτώσεων για την εκτίμηση του αντικτύπου της κλιματικής αλλαγής στα λιμάνια.

2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

2.1. Εκτίμηση επικινδυνότητας εξαιτίας του ανεμολογικού κινδύνου

Στην *Εικόνα 6* απεικονίζεται η χωρική κατανομή της επικινδυνότητας που σχετίζεται με τον ανεμολογικό κίνδυνο στα λιμάνια μελέτης, υπό (i) τις παρούσες συνθήκες και (ii) το μελλοντικό κλιματικό σενάριο SSP5-8.5 για το 2050. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, υπό τις παρούσες κλιματικές συνθήκες, τα περισσότερα εξεταζόμενα λιμάνια κατατάσσονται σε χαμηλά έως μέτρια επίπεδα επικινδυνότητας. Συγκεκριμένα, λιμάνια όπως ο Βόλος, η Χαλκίδα και η Αλεξανδρούπολη εμφανίζουν χαμηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 2), ενώ η Ηγουμενίτσα παρουσιάζει ελαφρώς αυξημένη τιμή (επίπεδο 3). Αντίθετα, το Λαύριο και το Ηράκλειο καταγράφουν υψηλότερη επικινδυνότητα (επίπεδο 4), υποδηλώνοντας μεγαλύτερη έκθεση σε ισχυρούς ανέμους ήδη από τη σημερινή περίοδο.

Η σύγκριση μεταξύ παρούσας κατάστασης και μελλοντικού σεναρίου SSP5-8.5 (2050) δεν αναδεικνύει ουσιαστικές μεταβολές στην κατηγοριοποίηση της επικινδυνότητας. Τα εξεταζόμενα λιμάνια διατηρούν τα ίδια επίπεδα επικινδυνότητας, γεγονός που σχετίζεται με τις σταθερές συνθήκες ανέμου στο μέλλον, όπως προέκυψε από την ανάλυση ανεμολογικού κινδύνου (Παραδοτέο 4.1).



Εικόνα 6. Εκτίμηση έντασης επικινδυνότητας ανεμολογικού κινδύνου για τα λιμάνια μελέτης στην παρούσα κατάσταση (i) και στο μελλοντικό σενάριο SSP5-8.5 (2050) (ii).

Πίνακας 4. Συγκεντρωτικός πίνακας με κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης των λιμένων μελέτης λόγω ανεμολογικού κινδύνου.

Λιμάνι	Παρούσα κατάσταση			
	Κίνδυνος	Τρωτότητα	Έκθεση	Διακινδύνευση
Λαύριο	5	4	3	4
Χαλκίδα	2	3	1	2
Ηράκλειο	2	4	5	4
Βόλος	1	3	5	3
Αλεξανδρούπολη	1	3	2	2

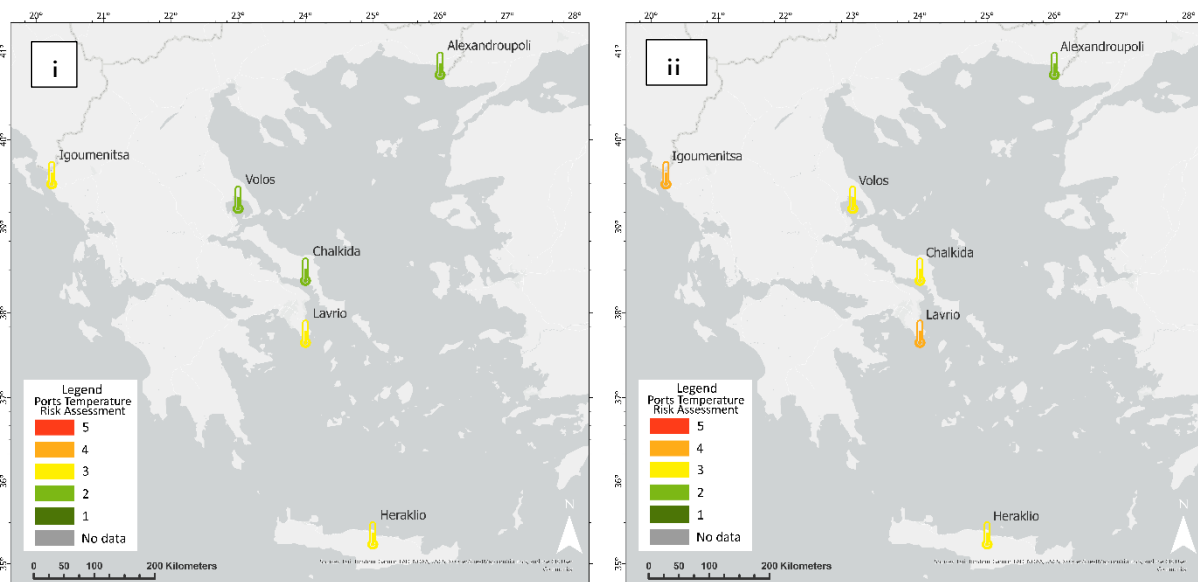
Πίνακας 5. Συγκεντρωτικός πίνακας με κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης των λιμένων μελέτης λόγω ανεμολογικού κινδύνου.

Λιμάνι	SSP5-8.5 (2050)			
	Κίνδυνος	Τρωτότητα	Έκθεση	Διακινδύνευση
Λαύριο	5	4	4	4
Χαλκίδα	2	3	1	2
Ηράκλειο	2	4	5	4
Βόλος	1	3	5	3
Αλεξανδρούπολη	1	3	2	2

2.2. Εκτίμηση επικινδυνότητας ακραίας θερμοκρασίας

Σύμφωνα με την *Εικόνα 7*, η οποία απεικονίζει την εκτίμηση επικινδυνότητας λόγω ακραίων θερμοκρασιών υπό τις παρούσες κλιματικές συνθήκες, τα περισσότερα εξεταζόμενα λιμάνια κατατάσσονται σε χαμηλά έως μέτρια επίπεδα επικινδυνότητας. Συγκεκριμένα, η Αλεξανδρούπολη, ο Βόλος και η Χαλκίδα εμφανίζουν χαμηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 2), ενώ η Ηγουμενίτσα, το Λαύριο και το Ηράκλειο παρουσιάζουν μέτρια επικινδυνότητα (επίπεδο 3). Η κατανομή αυτή υποδηλώνει ότι, στην παρούσα περίοδο, ο κίνδυνος από ακραίες θερμοκρασίες είναι γενικά περιορισμένος, με ελαφρώς αυξημένες πιέσεις να εντοπίζονται κυρίως σε πιο νότιες και δυτικές παράκτιες περιοχές.

Σύμφωνα με την εικόνα, η οποία απεικονίζει την εκτίμηση επικινδυνότητας λόγω ακραίων θερμοκρασιών για το σενάριο SSP5-8.5 για το 2050, τα περισσότερα εξεταζόμενα λιμάνια κατατάσσονται σε μέτρια έως υψηλά επίπεδα επικινδυνότητας. Συγκεκριμένα, η Ηγουμενίτσα και το Λαύριο εμφανίζουν υψηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 4), ενώ ο Βόλος, η Χαλκίδα και το Ηράκλειο παρουσιάζουν μέτρια επικινδυνότητα (επίπεδο 3). Τέλος, η Αλεξανδρούπολη παρουσιάζει χαμηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 2).



Εικόνα 7. Εκτίμηση έντασης επικινδυνότητας ακραίας θερμοκρασίας για τα λιμάνια μελέτης στην παρούσα κατάσταση (i) και στο μελλοντικό σενάριο SSP5-8.5 (ii).

Πίνακας 6. Συγκεντρωτικός πίνακας με κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης των λιμένων μελέτης για τις ακραίες θερμοκρασίες.

Λιμάνι	Παρούσα κατάσταση			
	Κίνδυνος	Τρωτότητα	Έκθεση	Διακινδύνευση
Λαύριο	1	3.5	3	3
Χαλκίδα	2	3.5	1	2
Ηράκλειο	1	3.5	5	3
Βόλος	1	3.5	5	3
Αλεξανδρούπολη	1	3.5	2	2

Πίνακας 7. Συγκεντρωτικός πίνακας με κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης των λιμένων μελέτης για τις ακραίες θερμοκρασίες.

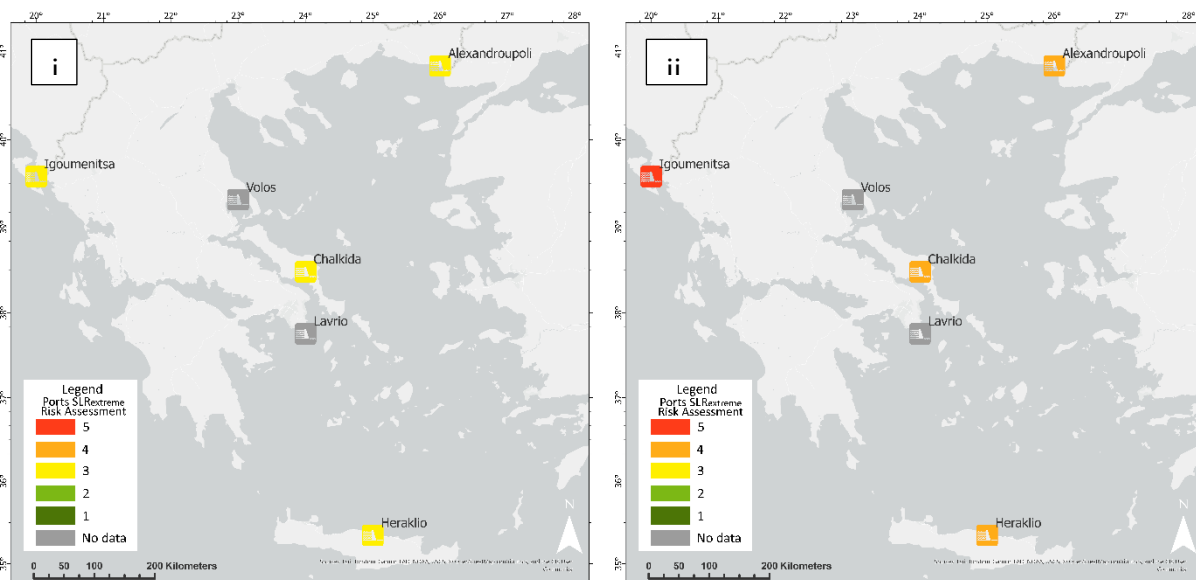
Λιμάνι	SSP5-8.5			
	Κίνδυνος	Τρωτότητα	Έκθεση	Διακινδύνευση
Λαύριο	3	3.5	4	4
Χαλκίδα	5	3.5	1	3
Ηράκλειο	1	3.5	5	3
Βόλος	2	3.5	5	4
Αλεξανδρούπολη	4	3.5	2	3

2.3. Εκτίμηση επικινδυνότητας Θαλάσσιας Στάθμης

2.3.1. Εκτίμηση Διαλιμενικής επικινδυνότητας

Η *Εικόνα 8*, απεικονίζει την εκτίμηση επικινδυνότητας λόγω ακραίας θαλάσσιας στάθμης υπό τις παρούσες κλιματικές συνθήκες. Με βάση τα αποτελέσματα τα εξεταζόμενα λιμάνια για τα οποία ήταν διαθέσιμα τα δεδομένα θαλάσσιας στάθμης κατατάσσονται σε μέτρια επίπεδα επικινδυνότητας. Συγκεκριμένα, η Αλεξανδρούπολη, η Ηγουμενίτσα, η Χαλκίδα και το Ηράκλειο εμφανίζουν μέτρια επικινδυνότητα (επίπεδο 3). Για τον Βόλο και το Λαύριο δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα στην παρούσα φάση. Η κατανομή αυτή υποδηλώνει ότι, στην παρούσα περίοδο, η επικινδυνότητα από την ακραία θαλάσσια στάθμη είναι ομοιόμορφη στα λιμάνια για τα οποία υπάρχουν στοιχεία, επηρεάζοντας εξίσου τη βόρεια, τη δυτική, την κεντρική και τη νότια νησιωτική ζώνη.

Στην περίπτωση εκτίμησης επικινδυνότητας λόγω ακραίας θαλάσσιας στάθμης για το σενάριο SSP5-8.5 με ορίζοντα το 2050 (*Εικόνα 8ii*), η Ηγουμενίτσα φτάνει στο μέγιστο επίπεδο επικινδυνότητας (επίπεδο 5), ενώ η Αλεξανδρούπολη, η Χαλκίδα και το Ηράκλειο ανεβαίνουν στο επίπεδο 4.



Εικόνα 8. Εκτίμηση έντασης επικινδυνότητας θαλάσσιας στάθμης για τα λιμάνια μελέτης στην παρούσα κατάσταση (i) και στο μελλοντικό σενάριο SSP5-8.5 (ii).

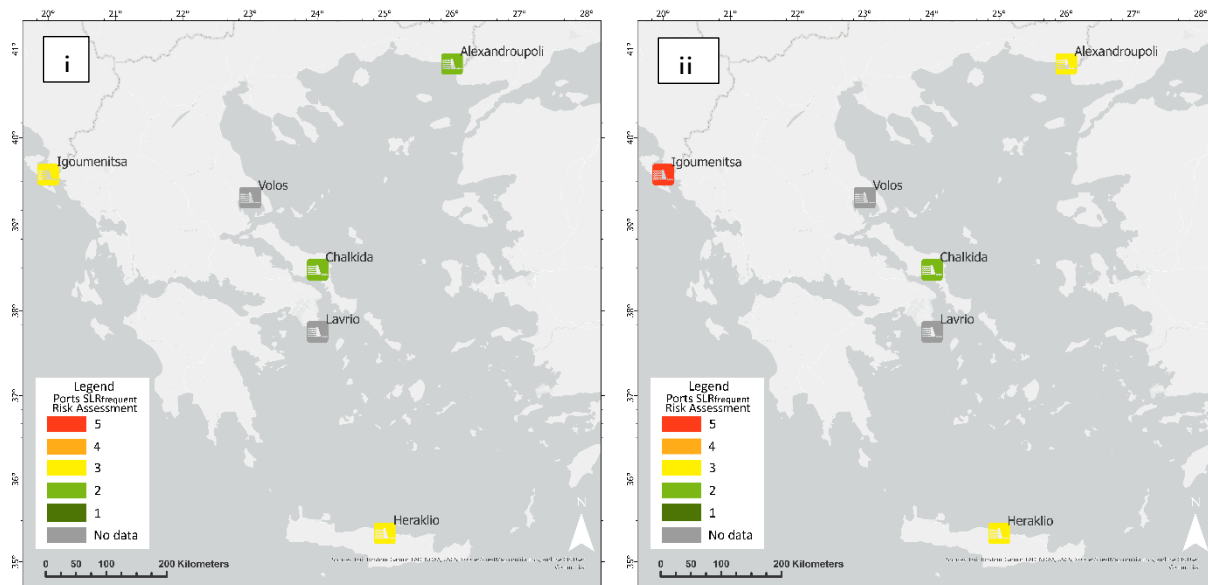
Πίνακας 8. Συγκεντρωτικός πίνακας με κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης των λιμένων μελέτης για τη θαλάσσια στάθμη.

Λιμάνι	Παρούσα κατάσταση			
	Κίνδυνος	Τρωτότητα	Έκθεση	Διακινδύνευση
Λαύριο	-	5	3	-
Χαλκίδα	4	5	1	3
Ηράκλειο	1	3	5	3
Βόλος	1	4	5	3
Αλεξανδρούπολη	-	5	2	-

Πίνακας 9. Συγκεντρωτικός πίνακας με κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης των λιμένων μελέτης για τη θαλάσσια στάθμη.

Λιμάνι	SSP5-8.5			
	Κίνδυνος	Τρωτότητα	Έκθεση	Διακινδύνευση
Λαύριο	-	5	4	-
Χαλκίδα	5	5	1	4
Ηράκλειο	5	3	5	4
Βόλος	5	4	5	5
Αλεξανδρούπολη	-	5	2	-

Λαμβάνοντας υπόψη τις επικρατούσες συνθήκες θαλάσσιας στάθμης (μεγαλύτερη συχνότητα) (Εικόνα 9), τα εξεταζόμενα λιμάνια κατατάσσονται σε χαμηλά έως μέτρια επίπεδα επικινδυνότητας. Συγκεκριμένα, η Ηγουμενίτσα και το Ηράκλειο εμφανίζουν μέτρια επικινδυνότητα (επίπεδο 3), ενώ η Αλεξανδρούπολη και η Χαλκίδα παρουσιάζουν χαμηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 2). Στην περίπτωση της μελλοντικής προβολής, για το σενάριο SSP5-8.5 με ορίζοντα το 2050, παρατηρείται μια σημαντική κλιμάκωση της επικινδυνότητας σε σχέση με τις παρούσες συνθήκες. Συγκεκριμένα, η Ηγουμενίτσα εμφανίζει πολύ υψηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 5), ενώ η Αλεξανδρούπολη και το Ηράκλειο παρουσιάζουν μέτρια επικινδυνότητα (επίπεδο 3). Η Χαλκίδα διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα επικινδυνότητας (επίπεδο 2), ενώ για τον Βόλο και το Λαύριο δεν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα.



Εικόνα 9. Εκτίμηση έντασης επικινδυνότητας θαλάσσιας στάθμης για τα λιμάνια μελέτης στην παρούσα κατάσταση (i) και στο μελλοντικό σενάριο SSP5-8.5 (ii).

Πίνακας 10. Συγκεντρωτικός πίνακας με κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης των λιμένων μελέτης για τη θαλάσσια στάθμη.

Λιμάνι	Παρούσα κατάσταση			
	Κίνδυνος	Τρωτότητα	Έκθεση	Διακινδύνευση
Λαύριο	-	3	3	-
Χαλκίδα	1	5	1	2
Ηράκλειο	1	3	5	3
Βόλος	1	4	5	3
Αλεξανδρούπολη	-	4	2	-

Πίνακας 11. Συγκεντρωτικός πίνακας με κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης των λιμένων μελέτης για τη θαλάσσια στάθμη.

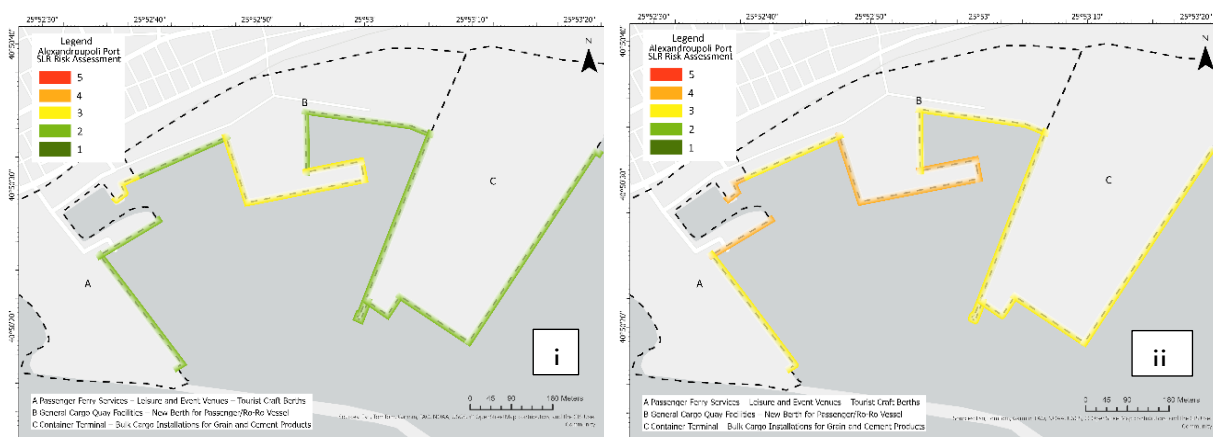
Λιμάνι	SSP5-8.5			
	Κίνδυνος	Τρωτότητα	Έκθεση	Διακινδύνευση
Λαύριο	-	3	4	-
Χαλκίδα	1	5	1	2
Ηράκλειο	1	3	5	3
Βόλος	5	4	5	5
Αλεξανδρούπολη	-	4	2	-

2.3.2. Εκτίμηση Ενδολιμενικής επικινδυνότητας

2.3.2.1. Αλεξανδρούπολη

Η Εκτίμηση Ενδολιμενικής επικινδυνότητας εξαιτίας της θαλάσσιας στάθμης για το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης υπό τις παρούσες συνθήκες (Εικόνα 10i), υποδεικνύουν ότι οι υποδομές του λιμένα κατατάσσονται σε χαμηλά έως μέτρια επίπεδα επικινδυνότητας. Συγκεκριμένα, το μεγαλύτερο μέρος των κρηπιδωμάτων στις ζώνες Α, Β και C εμφανίζει χαμηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 2). Ωστόσο, ορισμένα τμήματα στον κεντρικό τομέα (ζώνη Β) και στο βόρειο τμήμα της ζώνης Α παρουσιάζουν μέτρια επικινδυνότητα (επίπεδο 3).

Η αντίστοιχη εκτίμηση της ενδολιμενικής επικινδυνότητας λόγω θαλάσσιας στάθμης για το λιμάνι της Αλεξανδρούπολης για το σενάριο SSP5-8.5 με ορίζοντα το 2050, υποδεικνύει μια σαφή επιδείνωση των συνθηκών σε σχέση με την παρούσα κατάσταση. Το μεγαλύτερο μέρος των κρηπιδωμάτων στις ζώνες Α, Β και C κατατάσσεται πλέον σε μέτρια επίπεδα επικινδυνότητας (επίπεδο 3). Επιπλέον, ορισμένα τμήματα στον κεντρικό τομέα (ζώνη Β) και στο βόρειο άκρο της ζώνης Α εμφανίζουν υψηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 4). Η κατανομή αυτή υποδηλώνει ότι, έως το 2050, η επικινδυνότητα από τη θαλάσσια στάθμη αναμένεται να αυξηθεί συνολικά σε όλο το εύρος των λιμενικών εγκαταστάσεων, με τις πιέσεις να γίνονται εντονότερες στα σημεία που ήδη εμφάνιζαν ευπάθεια.



Εικόνα 10. Εκτίμηση έντασης επικινδυνότητας θαλάσσιας στάθμης για τον λιμένα Αλεξανδρούπολης στην παρούσα κατάσταση (i) και στο μελλοντικό σενάριο SSP5-8.5 (ii).

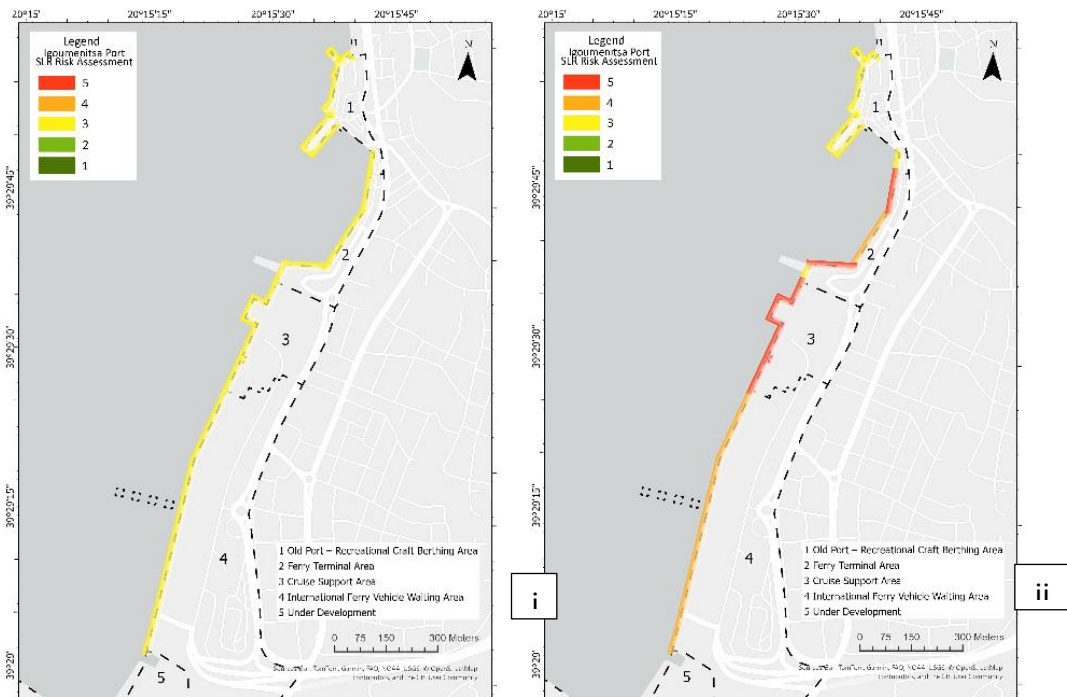
Πίνακας 12. Κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης του λιμένα Αλεξανδρούπολης για τη θαλάσσια στάθμη.

Αλεξανδρούπολη	Παρούσα κατάσταση				SSP5-8.5				
	Αποβάθρες	Κινδ.	Τρωτ.	Έκθ.	Διακινδ.	Κινδ.	Τρωτ.	Έκθ.	Διακινδ.
A1		1	3	1	2	2	3	1	3
A2		1	4	1	2	5	4	1	4
A8		2	4	1	3	5	4	1	4
B1		1	4	1	2	3	4	1	3
B2		2	4	1	3	5	4	1	4
B3		2	4	1	3	5	4	1	4
B4		3	5	1	3	5	5	1	4
B5		2	4	1	3	5	4	1	4
B6		1	4	1	2	3	4	1	3
B7		1	4	1	2	3	4	1	3
Γ1		1	3	1	2	2	3	1	3
Γ2		1	4	1	2	3	4	1	3
Γ3		1	4	1	2	3	4	1	3
Γ4		1	4	1	2	3	4	1	3

2.3.2.2. Ηγουμενίτσα

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας λόγω θαλάσσιας στάθμης για το λιμάνι της Ηγουμενίτσας υπό τις παρούσες συνθήκες, κατατάσσει τις υποδομές του λιμένα ομοιόμορφα σε μέτρια επίπεδα. Συγκεκριμένα, το σύνολο του παραλιακού μετώπου που καλύπτει το Παλιό Λιμάνι (ζώνη 1), τον Τερματικό Σταθμό Φέρι (ζώνη 2), την Περιοχή Υποστήριξης Κρουαζιέρας (ζώνη 3) και τον Χώρο Αναμονής Διεθνών Φέρι (ζώνη 4) εμφανίζει μέτρια επικινδυνότητα (επίπεδο 3).

Η αντίστοιχη εκτίμηση της επικινδυνότητας λόγω θαλάσσιας στάθμης, υπό το σενάριο SSP5-8.5 με ορίζοντα το 2050, υποδεικνύει μια δραματική επιδείνωση των συνθηκών, με το σύνολο των υποδομών να κατατάσσεται στο ανώτατο επίπεδο. Συγκεκριμένα, το παραλιακό μέτωπο σε όλες τις λειτουργικές ενότητες — Παλιό Λιμάνι (ζώνη 1), Τερματικός Σταθμός Φέρι (ζώνη 2), Περιοχή Υποστήριξης Κρουαζιέρας (ζώνη 3) και Χώρος Αναμονής Διεθνών Φέρι (ζώνη 4)— εμφανίζει πολύ υψηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 5).



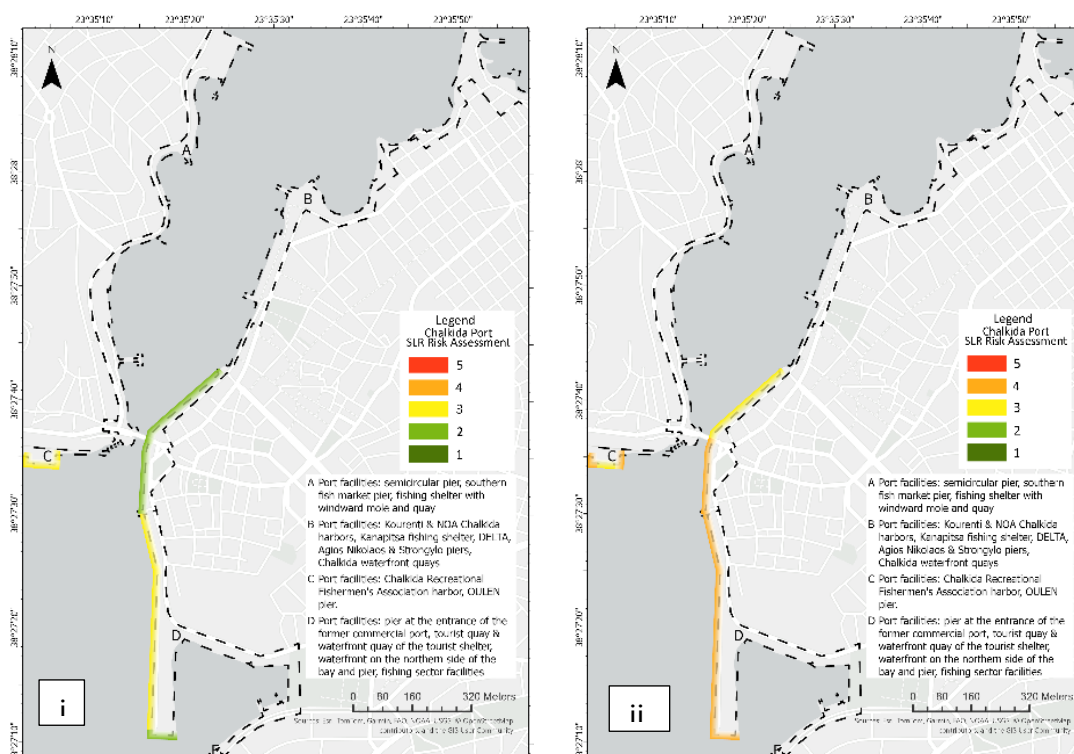
Εικόνα 11. Εκτίμηση έντασης επικινδυνότητας θαλάσσιας στάθμης για τον λιμένα Ηγουμενίτσας στην παρούσα κατάσταση (i) και στο μελλοντικό σενάριο SSP5-8.5 (ii).

Πίνακας 13. Κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης του λιμένα Ηγουμενίτσας για τη θαλάσσια στάθμη.

Ηγουμενίτσα	Παρούσα κατάσταση				SSP5-8.5			
	Αποβάθρες	Κινδ.	Τρωτ.	Έκθ.	Διακινδ.	Κινδ.	Τρωτ.	Έκθ.
1-1	1	3	5	3	1	3	5	4
1-2	1	3	5	3	1	3	5	4
1-3	1	3	5	3	1	3	5	4
1-4	1	4	5	3	1	4	5	4
1-5	1	4	5	3	1	4	5	4
1-6	1	4	5	3	1	4	5	4
1-7	1	3	5	3	1	3	5	4
1-8	1	4	5	3	1	4	5	4
1-9	1	4	5	3	1	4	5	4
1-10	1	4	5	3	1	4	5	4
1-11	1	4	5	3	1	4	5	4
2-1	1	4	5	3	5	4	5	4
2-2	1	4	5	3	4	4	5	4
2-3	1	4	5	3	5	4	5	3
2-4	1	3	5	3	1	3	5	3
3	1	4	5	3	5	4	5	3
4	1	3	5	3	2	3	5	3

2.3.2.3. Χαλκίδα

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας λόγω θαλάσσιας στάθμης για το λιμάνι της Χαλκίδας υπό τις παρούσες κλιματικές συνθήκες, δείχνει ότι οι υποδομές του λιμένα βρίσκονται σε σχετικά χαμηλά επίπεδα έκθεσης, με το μεγαλύτερο μέρος των κρηπιδωμάτων στις λιμενικές εγκαταστάσεις (ζώνες A και D) να εμφανίζει χαμηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 2). Μοναδική εξαίρεση αποτελεί η ζώνη C (λιμένας ερασιτεχνών αλιέων), η οποία παρουσιάζει μέτρια επικινδυνότητα (επίπεδο 3). Αναφορικά με το 2050, το σενάριο SSP5-8.5 (2050), η ανάλυση υποδεικνύει μια οριζόντια κλιμάκωση του κινδύνου σε όλες τις υποδομές. Οι περιοχές που παρουσίαζαν χαμηλή επικινδυνότητα μεταπίπτουν πλέον σε μέτρια επικινδυνότητα (επίπεδο 3), καλύπτοντας το μεγαλύτερο μέρος του παραλιακού μετώπου και των τουριστικών εγκαταστάσεων (ζώνες A και D). Παράλληλα, η ζώνη C αναβαθμίζεται σε υψηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 4).



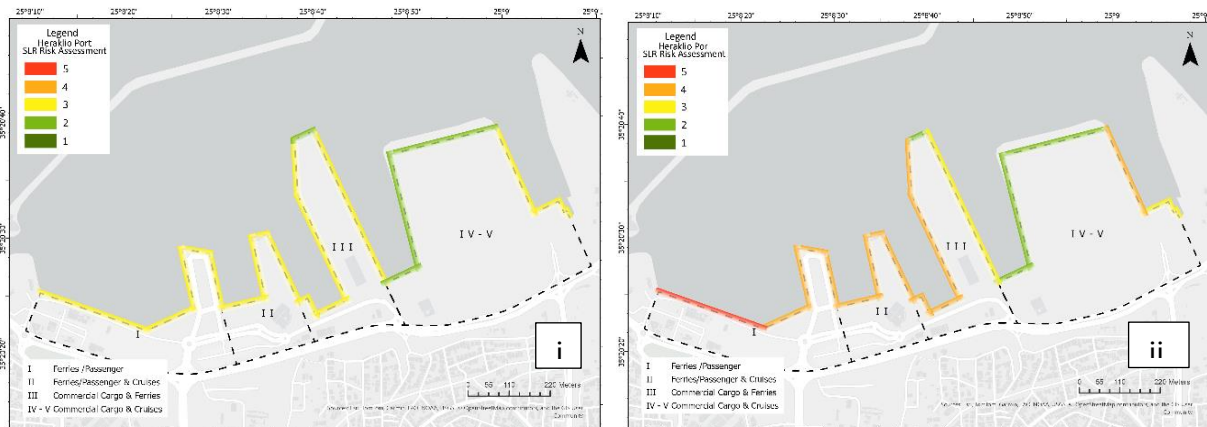
Εικόνα 12. Εκτίμηση έντασης επικινδυνότητας θαλάσσιας στάθμης για τον λιμένα Χαλκίδας στην παρούσα κατάσταση (i) και στο μελλοντικό σενάριο SSP5-8.5 (ii).

Πίνακας 14. Κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης του λιμένα Χαλκίδας για τη θαλάσσια στάθμη.

Χαλκίδα	Παρούσα κατάσταση				SSP5-8.5				
	Αποβάθρες	Κινδ.	Τρωτ.	Έκθ.	Διακινδ.	Κινδ.	Τρωτ.	Έκθ.	Διακινδ.
Γ2		4	5	1	3	5	5	1	4
Γ3		4	5	1	3	5	5	1	3
Γ4		4	5	1	3	5	5	1	4
Δ1		2	4	1	3	3	4	1	4
Δ2		2	4	1	3	3	4	1	4
Δ3		1	3	1	2	2	3	1	4

2.3.2.4. Ηράκλειο

Η εκτίμηση της επικινδυνότητας λόγω θαλάσσιας στάθμης για το λιμάνι του Ηρακλείου υπό τις παρούσες κλιματικές συνθήκες, εμφανίζει μια διαβαθμισμένη εικόνα ανάλογα με τη χρήση των κρηπιδωμάτων. Οι ζώνες I (Επιβατηγό λιμάνι) και II (Επιβατηγό και Κρουαζιερόπλοια) παρουσιάζουν μέτρια επικινδυνότητα (επίπεδο 3), ενώ στις ζώνες III, IV και V, οι οποίες εξυπηρετούν εμπορικές δραστηριότητες και κρουαζιέρα, η επικινδυνότητα κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα (επίπεδο 2). Η αντίστοιχη εκτίμηση για το μελλοντικό σενάριο SSP5-8.5 (2050), υποδεικνύει ότι οι ζώνες I και II παρουσιάζουν υψηλή επικινδυνότητα (επίπεδο 4), με ορισμένα τμήματα στο δυτικό άκρο της ζώνης I να αγγίζουν το επίπεδο 5 (πολύ υψηλή επικινδυνότητα). Παράλληλα, οι εμπορικές ζώνες III, IV και V μεταπίπτουν από το χαμηλό στο μέτριο επίπεδο επικινδυνότητας (επίπεδο 3).



Εικόνα 13. Εκτίμηση έντασης επικινδυνότητας θαλάσσιας στάθμης για τον λιμένα Ηρακλείου στην παρούσα κατάσταση (i) και στο μελλοντικό σενάριο SSP5-8.5 (ii).

Πίνακας 15. Κανονικοποιημένες τιμές του Κινδύνου, της Τρωτότητας, της Έκθεσης και της Διακινδύνευσης του λιμένα Ηρακλείου για τη θαλάσσια στάθμη.

Ηράκλειο Αποβάθρες	Παρούσα κατάσταση				SSP5-8.5			
	Κινδ.	Τρωτ.	Έκθ.	Διακινδ.	Κινδ.	Τρωτ.	Έκθ.	Διακινδ.
I1	1	3	5	3	5	3	5	4
I2	1	3	5	3	5	3	5	4
I3	1	3	5	3	5	3	5	4
I4	1	3	5	3	5	3	5	4
I5	1	3	5	3	5	3	5	4
II1	1	3	5	3	3	3	5	4
II2	1	3	5	3	5	3	5	4
II3	1	3	5	3	5	3	5	4
II4	1	3	5	3	5	3	5	4
III1	1	3	5	3	3	3	5	4
III2	1	3	5	3	5	3	5	4
III3	1	3	5	3	5	3	5	4
III4	1	3	5	3	5	3	5	4
III5	1	1	5	3	1	1	5	3
III6	1	2	5	3	1	2	5	3
IV/V1	1	1	5	3	1	1	5	3
IV/V2	1	1	5	3	1	1	5	3
IV/V3	1	1	5	3	1	1	5	3
IV/V4	1	3	5	3	5	3	5	4
IV/V5	1	2	5	3	1	2	5	3

Βιβλιογραφία

ESPO, 2023. Environmental Report 2023 – EcoPortsinSights 2023

Intergovernmental Panel on Climate Change (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2018). *Climate Change 2018: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (2017). *Vulnerability Sourcebook: Concept and Guidelines for Standardised Vulnerability Assessments*. Bonn/Eschborn.

Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University Press.

Fritzsche, K., Schneiderbauer, S., Bubeck, P., Kienberger, S., Buth, M., Zebisch, M., & Kahlenborn, W. (2014). *The vulnerability sourcebook: Concept and guidelines for standardized vulnerability assessments*. Bonn, Germany: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Intergovernmental Panel on Climate Change (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge University Press.