



Ενίσχυση της ανθεκτικότητας για τα ελληνικά λιμάνια (ResPorts)

ΠΑΡΑΔΟΤΕΟ Π3.1

Πρόγνωση κλιματικών κινδύνων, ακραίων φαινομένων και αξιολόγησης έκθεσης των λιμένων στην Κλιματική Αλλαγή



ResportsP



ResPorts Project



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ (Ε.Υ.)	
Ακρωνύμιο:	ResPorts
Τίτλος στα Ελληνικά:	Ενίσχυση ανθεκτικότητας για τα ελληνικά λιμάνια
Τίτλος στα Αγγλικά:	Reinforcement of resilience for Greek Ports
Συντονιστής της Ε.Υ.:	Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Ιστότοπος:	https://resports.stt.aegean.gr
Διάρκεια:	30 μήνες

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ	
Αριθμός και Τίτλος Παραδοτέου:	Π3.1 Πρόγνωση Κλιματικών κινδύνων, ακραίων φαινομένων και αξιολόγηση έκθεσης των λιμένων στην Κλιματική Αλλαγή
Αριθμός και Τίτλος Πακέτου Εργασίας	ΠΕ3. Προβλέψεις Κλιματικών Κινδύνων και Αξιολόγηση πιθανών επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής στους λιμένες
Είδος Παραδοτέου:	Έκθεση
Υπεύθυνος Εταίρος:	Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλάσσιων Βιοεπιστημών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Συγγραφείς:	Α. Πολυδωροπούλου, Ι. Μονιούδη, Δ. Χατζηστρατής, Κ. Μοσχόπουλος, Α.Φ. Βελεγράκης, , Ο. Σχινάς, Ε. Ντάβας, Ε. Λαμπάκη, Συμβολή: Α. Χατζηπαυλής
Ημερομηνία Υποβολής:	04/04/2025

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΡΑΔΟΤΕΟΥ			
0.1	04/04/2025	Draft	
0.2	28/04/2025	Final	

Το ερευνητικό έργο με τίτλο «Ενίσχυση της ανθεκτικότητας για τα ελληνικά λιμάνια – ResPorts υλοποιείται στο πλαίσιο του Προγράμματος «Φυσικό Περιβάλλον & Καινοτόμες Δράσεις 2022/ Άξονας Προτεραιότητας 3 «Έρευνα και Εφαρμογή», με συνολικό προϋπολογισμό 199.647,00 Ευρώ. Το έργο χρηματοδοτείται από το Πράσινο Ταμείο με Δικαιούχο το Τμήμα Ναυτιλίας και Επιχειρηματικών Υπηρεσιών του Πανεπιστημίου Αιγαίου



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



Πίνακας περιεχομένων

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	6
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	15
2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ	15
2.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΙΣ ΥΠΟΔΟΜΕΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ	16
3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	18
3.1 ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ.....	18
3.1.1 Ακραίες Θαλάσσιες Στάθμες.....	18
3.1.2 Υπολογισμός πλημμυρικού κινδύνου με στατική μέθοδο ('bathtub').....	18
3.1.3 Δυναμική προσομοίωση πλημμύρας.....	19
3.2 ΚΑΤΩΦΛΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ	21
3.2.1 Δείκτης Θερμότητας (heat index)	22
3.2.2 Θανατηφόρες συνθήκες θερμότητας.....	22
3.2.3 Επιβλαβείς επιπτώσεις ακραίων θερμοκρασιών στις μεταφορές	23
3.2.4 Αύξηση κόστους ενέργειας.....	23
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	25
4.1 ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΣ ΚΙΝΔΥΝΟΣ	25
4.1.1 Στατική Μέθοδος.....	25
4.1.2 Δυναμικές προσομοιώσεις LISFLOOD-FP.....	28
4.2 ΚΑΤΩΦΛΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ	33
4.2.1 Δείκτης θερμότητας (heat index).....	33
4.2.2 Θανατηφόρες συνθήκες θερμότητας.....	36
4.2.3 Επιβλαβείς επιπτώσεις ακραίων θερμοκρασιών στις μεταφορές	40
4.2.3 Αύξηση κόστους ενέργειας.....	42
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ- ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ	46
5.1.1 Μέτρα προσαρμογής για συνθήκες καύσωνα.....	47
6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	49
7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	54



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»





Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1. Πίνακας των επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής σε υποδομές και λειτουργίες μεταφορών. Πηγή UNECE, 2020	12
Πίνακας 2. Οι 15 λιμένες με τον υψηλότερο εκτιμώμενο αριθμό ημερών ετησίως κατά τις οποίες ο Heat Index θα ξεπεράσει τους 39.4°C, υποδηλώνοντας υψηλό κίνδυνο για τους εργαζόμενους σε εξωτερικούς χώρους.....	35
Πίνακας 3. Οι 10 λιμένες με τον υψηλότερο εκτιμώμενο αριθμό ημερών ετησίως κατά τις οποίες η πιθανότητα θνησιμότητας υπερβαίνει το όριο του 95%.....	39
Πίνακας 4. Οι 15 λιμένες με τον υψηλότερο εκτιμώμενο αριθμό ημερών ετησίως κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει τους 32°C.	42
Πίνακας 5. Οι 10 λιμένες με τον υψηλότερο εκτιμώμενο αριθμό ημερών ετησίως κατά τις οποίες το κόστος ενέργειας θα αυξηθεί κατά 10%	45



Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1. Αποτελέσματα της πλημμύρας στον λιμένα Βόλου έπειτα από το πέρασμα του κυκλώνα Daniel.	11
Εικόνα 2. Κλιματικοί κίνδυνοι για την υγεία. Πηγή: ΕΕΑ, 2024	16
Εικόνα 3. Κλιματικοί κίνδυνοι για τις υποδομές (ΕΕΑ, 2024)	17
Εικόνα 4. Σύγκριση της ανάλυσης και ακρίβειας του DEM του Ελληνικού Κτηματολογίου (αριστερά) με το EU-DEM (δεξιά)	19
Εικόνα 5. Κατώφλια για θανατηφόρες συνθήκες θερμότητας. Η μπλε γραμμή είναι το όριο που διαχωρίζει καλύτερα τα θανατηφόρα και τα μη θανατηφόρα θερμικά συμβάντα και η κόκκινη γραμμή είναι το όριο πιθανότητας 95%. Οι περιοχές στα δεξιά των κατωφλίων ταξινομούνται ως θανατηφόρες και εκείνες στα αριστερά ως μη θανατηφόρες. (Δεδομένα από Mora et al., 2017).	23
Εικόνα 6. ESLs για τους ελληνικούς λιμένες για το baseline (πάνω), το 2050 (αριστερά) και 2100 (δεξιά) υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη	25
Εικόνα 7. Διαφορά του τοπογραφικού υψομέτρου των προβλητών με την προβλεπόμενη ESL εξαιρουμένης της συνιστώσας της κυματικής ανύψωσης για την ιστορική περίοδο (1986-2014)	26
Εικόνα 8. Διαφορά του τοπογραφικού υψομέτρου των προβλητών με την προβλεπόμενη ESL εξαιρουμένης της συνιστώσας της κυματικής ανύψωσης για το 2050 υπό τα σενάρια RCP4.5 (αριστερά) και RCP8.5 (δεξιά).	27
Εικόνα 9. Διαφορά του τοπογραφικού υψομέτρου των προβλητών με την προβλεπόμενη ESL εξαιρουμένης της συνιστώσας της κυματικής ανύψωσης για το 2100 υπό τα σενάρια RCP4.5 (αριστερά) και RCP8.5 (δεξιά).	27
Εικόνα 10. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς (αριστερά) και με κυματική ανύψωση (δεξιά) για το 2050 για τον λιμένα του Βόλου υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.	29
Εικόνα 11. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς (αριστερά) και με κυματική ανύψωση (δεξιά) για τον λιμένα του Βόλου για το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.	29
Εικόνα 12. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς (αριστερά) και με κυματική ανύψωση (δεξιά) για τον λιμένα της Χίου για το 2050 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.	30
Εικόνα 13. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς (αριστερά) και με κυματική ανύψωση (δεξιά) για τον λιμένα της Χίου για το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.	30
Εικόνα 14. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας με κυματική ανύψωση για τον λιμένα του Ηρακλείου για το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.	31
Εικόνα 15. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για το 2050 (πάνω) και 2100 (κάτω) υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη. Εσωτερικός λιμένας Μυτιλήνης (πάνω αριστερά), Άγιος Νικόλαος (πάνω δεξιά), Ίος (κάτω αριστερά), Σκόπελος (κάτω αριστερά).	32
Εικόνα 16. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες ο δείκτης θερμότητας (Heat Index) υπερβαίνει τους 103°F (39.4°C), υποδηλώνοντας πολύ υψηλό κίνδυνο για τους εργαζόμενους σε εξωτερικούς χώρους.	33



Εικόνα 17. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες ο δείκτης θερμότητας (Heat Index) υπερβαίνει τους 115°F (46.1°C), υποδηλώνοντας πολύ υψηλό κίνδυνο για τους εργαζόμενους σε εξωτερικούς χώρους.	34
Εικόνα 18. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες ξεπερνιέται το όριο που διαχωρίζει τα θανατηφόρα από τα μη θανατηφόρα θερμικά συμβάντα (μπλε γραμμή της Εικόνας 5).	37
Εικόνα 19. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες η πιθανότητα θνησιμότητας υπερβαίνει το όριο του 95% (κόκκινη γραμμή της Εικόνας 5).	38
Εικόνα 20. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει τους 32°C.	41
Εικόνα 21. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες το κόστος ενέργειας θα αυξηθεί κατά 10%.	43
Εικόνα 22. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες το κόστος ενέργειας θα αυξηθεί κατά 20%.	44



Λίστα Ακρωνυμίων

Αγγλικά ακρωνύμια

Ακρωνύμιο	Περιγραφή
DEM	Digital Elevation Models
ESL	Extreme Sea Levels
GIS	Geographical Information Systems
LSO	Large Scale Orthophotos
LU/LC	Land Use/Land Cover
RCP	Representative Concentration Pathway

Ελληνικά Ακρωνύμια

Ακρωνύμιο	Περιγραφή
ΑΘΣ	Ακραία Θαλάσσια Στάθμη
ΑΕΠ	Ακαθάριστο Εθνικό Προϊόν
ΚΜ & Α	Κλιματική Μεταβλητότητα και Αλλαγή
ΜΣΘ	Μέση Θαλάσσια Στάθμη



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



Περίληψη

Το παρόν παραδοτέο αφορά στην πρόγνωση των Κλιματικών Κινδύνων (όπως Ακραίες Θαλάσσιες Στάθμες και ακραίες θερμοκρασίες) (δράση Δ3.1) και στην αξιολόγηση της έκθεσης των ελληνικών λιμένων στους κινδύνους αυτούς (δράση Δ3.2), υπό το πρίσμα της Κλιματικής Μεταβλητότητας και Αλλαγής (**KM & A**), σε διαφορετικούς χρόνους εντός του 21^{ου} αιώνα και κάτω από διαφορετικά σενάρια εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Οι προβλέψεις Ακραίας Θαλάσσιας Στάθμης (Extreme Sea Levels – **ESLs**) κατά μήκος της ελληνικής ακτογραμμής με χωρική ανάλυση 25 km, αποκτήθηκαν από την ανοικτή βάση δεδομένων του Joint Research Center (JRC) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Συγκεντρώθηκαν δεδομένα, για ακραία γεγονότα θύελλας με περίοδο επαναφοράς 100 ετών, για την περίοδο αναφοράς 1980-2014 και για μελλοντικές προβλέψεις για τα έτη 2050 και 2100, κάτω από δυο σενάρια Κλιματικής Αλλαγής, ένα μετριοπαθές (RCP4.5) και ένα απαισιόδοξο (RCP8.5). Υπολογίστηκε ο πλημμυρικός κίνδυνος για όλους τους λιμένες της ελληνικής επικράτειας τόσο υπό τις παρούσες συνθήκες όσο και υπό συνθήκες KM & A. Η αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε μέσω της στατικής μεθόδου "bathtub", συγκρίνοντας τις προβλεπόμενες ESLs με την τοπογραφική ανύψωση των προβλητών του εκάστοτε λιμένα. Για ακριβέστερη εκτίμηση της έκθεσης σε θαλάσσιες πλημμύρες, εφαρμόστηκε επιπρόσθετα το υδροδυναμικό μοντέλο LISFLOOD-FP σε 13 επιλεγμένους λιμένες, παρέχοντας λεπτομερείς προβλέψεις των εκτάσεων που εν δυνάμει θα πλημμυρίσουν κάτω από ακραία επεισόδια θύελλας, παρόλο που η εφαρμογή του δεν προβλεπόταν στο αρχικό τεχνικό δελτίο του έργου.

Όσο αφορά στην έκθεση σε ακραίες θερμοκρασίες, συμπεριλαμβανομένων και δεικτών συνδυασμού με σχετική υγρασία, χρησιμοποιήθηκαν κατώφλια λειτουργικότητας για τον προσδιορισμό των κλιματικών συνθηκών υπό τις οποίες ενδέχεται να παρεμποδιστεί η λειτουργία των λιμένων. Η προσέγγιση περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα: **α)** προσδιορισμός των κατωφλίων λειτουργικότητας (π.χ. ακραίες θερμοκρασίες κάτω από τις οποίες θα μπορούσε να επηρεαστεί σοβαρά η λειτουργία των λιμένων), **β)** συγκέντρωση κλιματικών δεδομένων και **γ)** συγκριτική ανάλυση των παραπάνω, με στόχο την εκτίμηση της συχνότητας υπέρβασης των κατωφλίων σε μελλοντικές συνθήκες.

Όσο αφορά στις βροχοπτώσεις, οι προγνώσεις δείχνουν μια γενική μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα στο μέλλον. Επίσης για τα ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης, οι προγνώσεις εμφανίζονται μεικτές και χαμηλής αξιοπιστίας. Όσον αφορά στους ανέμους, αν και αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για τις υποδομές και λειτουργία των λιμένων, η αξιολόγηση της σημερινής έκθεσης των λιμένων στους ακραίους ανέμους απαιτεί δεδομένα υψηλής χωρο-χρονικής διακριτικότητας σε τοπική κλίμακα, ενώ προβλέψεις κάτω από Κλιματική Αλλαγή δεν μπορούν, προς το παρόν, να γίνουν με αποδεκτή αξιοπιστία. Συνεπώς, για τους παραπάνω λόγους, θεωρήθηκε άσκοπο να γίνει αξιολόγηση της έκθεσης των ελληνικών λιμένων στις βροχοπτώσεις και ανέμους στα πλαίσια του Έργου ResPorts.



1 Εισαγωγή

Τα λιμάνια και οι συνδεδεμένοι δρόμοι, σιδηρόδρομοι και εσωτερικές πλωτές οδοί σχηματίζουν πολύπλοκα συστήματα μεταφορών που μπορεί να είναι ευάλωτα σε διάφορους κλιματικούς κινδύνους, καθώς και στις μεταβολές και αλλαγές τους. Τα λιμάνια είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένα στην μόνιμη άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας λόγω της Κλιματικής Μεταβλητότητας και Αλλαγής (KM & A), στη βραχυχρόνια (επεισοδιακή) αύξηση λόγω των μετεωρολογικών παλινροιών και ισχυρών κυματισμών σε περιπτώσεις θύελλας, στους ανέμους, στις ακραίες φαινόμενα ποτάμιων και έντονων βροχοπτώσεων, καθώς και στις αυξανόμενες μέσες και ακραίες θερμοκρασίες (Sánchez-Arcilla et al. 2016· Asariotis et al. 2024), με τον κίνδυνο των σχετικών επιπτώσεων να αυξάνεται λόγω της Κλιματικής Μεταβλητότητας και Αλλαγής (KM & A), εάν δεν ληφθούν αποτελεσματικά μέτρα προσαρμογής (Izaguirre et al. 2021).

Στην περίπτωση μεγάλων λιμανιών, πλησίον των οποίων συνήθως συναντάται μεγάλη αστική ανάπτυξη, αυτοί οι κλιματικοί κίνδυνοι μπορούν επίσης να επηρεάσουν μεγάλους πληθυσμούς και ένα ευρύ φάσμα ενδιαφερόμενων φορέων και κοινωνικοοικονομικών δραστηριοτήτων (Hanson et al. 2011· Becker et al. 2018). Οι επιπτώσεις αναμένεται να είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τα λιμάνια σε ευάλωτα μικρά αναπτυσσόμενα νησιωτικά κράτη λόγω της υψηλής συγκέντρωσης πληθυσμού, υποδομών και υπηρεσιών στις παράκτιες περιοχές (Monioudi et al. 2018).

Εκτός από τις ζημιές στις υποδομές, οι μεταβαλλόμενοι κλιματικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν τις λιμενικές λειτουργίες, προκαλώντας εκτεταμένες διακοπές και καθυστερήσεις, καθώς και σημαντικές οικονομικές απώλειες που σχετίζονται με το εμπόριο. Η ζήτηση για μεταφορές μπορεί επίσης να επηρεαστεί μέσω, για παράδειγμα, κλιματικών αλλαγών που επηρεάζουν τη δημογραφία, τη βιομηχανική και αγροτική παραγωγή, το εμπόριο, την κατανάλωση και τα πρότυπα τουρισμού (Asariotis 2020).

Η αύξηση της μέσης και ακραίας στάθμης της θάλασσας μπορεί να προκαλέσει παράκτιες πλημμύρες και κατακλύσεις λιμανιών (Hanson and Nicholls 2012· Izaguirre et al. 2021), με τις βορειοδυτικές ευρωπαϊκές, βορειοδυτικές αμερικανικές και νοτιοανατολικές ασιατικές ακτές, καθώς και εκείνες των μικρών νησιωτικών αναπτυσσόμενων κρατών (Small Island Developing States - SIDS), να προβλέπεται ότι θα επηρεαστούν ιδιαίτερα (Vousdoukas et al. 2018· Giardino et al. 2018).

Επαναλαμβανόμενες κατακλύσεις λιμανιών από ακραία καιρικά φαινόμενα μπορούν να καταστήσουν τα συστήματα μεταφορών μη λειτουργικά κατά τη διάρκεια των γεγονότων, να προκαλέσουν ζημιές σε τερματικούς σταθμούς, εμπορευματικά κέντρα, αποθηκευτικούς χώρους, φορτία και πλοία και να διαταράξουν τις εφοδιαστικές αλυσίδες για μεγάλες χρονικές περιόδους (UNECE 2014).

Οι ζημιές και οι λειτουργικές διακοπές από ακραία κύματα, που μπορούν να προκαλέσουν παράκτια διάβρωση, υπερχειλίση λιμενικών υποδομών, πλημμύρες αποβάθρας και κυματική αναταραχή εντός λιμένων που δυσχεραίνει την πρόσβαση, τον χειρισμό και την πρόσδεση πλοίων, αναμένεται επίσης να αυξηθούν λόγω της κλιματικής αλλαγής (Camus et al. 2019· Rossouw and Theron 2012).

Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας και η συχνότητα/διάρκεια των κυμάτων καύσωνα θα δημιουργήσουν σημαντικές προκλήσεις για την ασφάλεια και την υγεία του προσωπικού και των επιβατών. Μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία, να υποβαθμίσουν τις ασφαλοστρωμένες επιφάνειες των λιμανιών,



να προκαλέσουν καθιζήσεις ασφάλτου, ζημιές σε γέφυρες, στρέβλωση σιδηροδρομικών γραμμών και περιορισμούς ταχύτητας, καθώς και βλάβες στον εξοπλισμό (UNECE 2015), και να αυξήσουν τις ενεργειακές ανάγκες και το κόστος για ψύξη (Monioudi et al. 2018).

Οι έντονες βροχοπτώσεις (ραγδαίες βροχές) μπορούν να επηρεάσουν σοβαρά τα λιμάνια και τις συνδεδεμένες μεταφορικές τους υποδομές. Οι πλημμύρες από έντονες βροχοπτώσεις και ποτάμια φαινόμενα μπορούν να βλάψουν τη δομική ακεραιότητα των υποδομών, να μειώσουν την δυνατότητα ελιγμών των πλοίων, καθώς και να προκαλέσουν ατυχήματα στους παρακείμενους δρόμους λόγω κακής ορατότητας και ζημιών στο οδόστρωμα. Για παράδειγμα, στις 5-6 Σεπτεμβρίου 2023, ο κυκλώνας "Daniel" (Εικόνα 1) έπληξε την Θεσσαλία, με ως και 700mm βροχόπτωση σε 24 ώρες, ποσότητα που αντιστοιχεί κανονικά σε 18 μήνες μέσης βροχόπτωσης¹. Οι επακόλουθες πλημμύρες οδήγησαν σε διακοπή των λιμενικών δραστηριοτήτων στο Βόλο για αρκετές ημέρες, με τα δρομολόγια των επιβατικών πλοίων προς τις Σποράδες να εκτρέπονται προς το λιμάνι του Αγίου Κωνσταντίνου, περίπου 160km μακριά. Παράλληλα, μετά τις ζημιές που προκλήθηκαν στα δίκτυα ηλεκτροδότησης της περιοχής, ο Διαχειριστής Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΔΕΔΔΗΕ) χρειάστηκε να ναυλώσει πλοίο για τη μεταφορά ηλεκτρογεννητριών και οικοδομικών υλικών. Το παράδειγμα αυτό δείχνει ότι η ταχεία αποκατάσταση της λειτουργίας των λιμανιών είναι προτεραιότητα και υπογραμμίζει τον κρίσιμο ρόλο της ανθεκτικότητας.



Εικόνα 1. Αποτελέσματα της πλημμύρας στον λιμένα Βόλου έπειτα από το πέρασμα του κυκλώνα Daniel

Οι συνδεδεμένοι σιδηρόδρομοι μπορούν επίσης να τεθούν σε κίνδυνο λόγω βλαβών στις γραμμές και τον εξοπλισμό τους, διάβρωσης γεφυρών/αναχωμάτων από πλημμύρες, καταστροφής αγωγών αποστράγγισης, πλημμύρας σηράγγων, εμποδίων στις γραμμές, κατολισθήσεων/λασπορροών και μειωμένης πρόσβασης σε

¹https://www.avgi.gr/koinonia/459700_dramatiki-i-katastasi-se-bolo-kai-pilio-dekades-egklobismenoi



αποθήκες και σταθμούς. Οι εσωτερικές πλωτές οδοί και τα κανάλια επηρεάζονται επίσης τόσο από πλημμύρες όσο και από ξηρασίες. Οι πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν αναστολή της ναυσιπλοΐας, ζημιές στις λιμενικές εγκαταστάσεις και τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας, προσχώσεις λόγω ιζηματογένεσης και μεταβολές στη μορφολογία των υδάτινων οδών (UNECE 2014).

Αντίστοιχα, τα χαμηλά επίπεδα νερού κατά τη διάρκεια ξηρασιών μπορούν να εμποδίσουν την πρόσβαση μεγαλύτερων πλοίων, διακόπτοντας σημαντικές εφοδιαστικές γραμμές και προκαλώντας δαπανηρές καθυστερήσεις και διαταραχές· αυτό συνέβη το 2023 στη Διώρυγα του Παναμά, η οποία διακινεί περίπου το 5% του παγκόσμιου εμπορίου (Moreno 2023). Οι ξηρασίες θεωρούνται γενικά μεγαλύτερη απειλή για τις εσωτερικές πλωτές οδούς της Ευρώπης από ό,τι οι πλημμύρες (UNECE 2020).

Οι ακραίοι άνεμοι μπορούν επίσης να είναι ιδιαίτερα καταστροφικοί (Folkman et al. 2021; Gu and Liu, 2025), καθώς μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στις υποδομές και διακοπές στη λειτουργία από αλλαγές στα θαλάσσια κανάλια/ιζηματογένεση αδυναμία λειτουργίας γερανών, ανατροπές οχημάτων και ζημιές στις συνδεδεμένες σιδηροδρομικές και οδικές αρτηρίες, καθώς και να θέσουν σε κίνδυνο τις διαδικασίες πρόσδεσης πλοίων (UNECE 2014· 2015). Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται συνοπτικά οι επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής σε υποδομές και λειτουργίες μεταφορών.

Πίνακας 1. Πίνακας των επιπτώσεων της Κλιματικής Αλλαγής σε υποδομές και λειτουργίες μεταφορών. Πηγή UNECE, 2020

Παράγοντας/ Κίνδυνος	Επιπτώσεις		
	Λιμένες	Σιδηρόδρομοι	Οδικό δίκτυο
Θερμοκρασία			
Υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες, καύσωνες ξηρασία, αλλαγές στον αριθμό ζεστών και κρύων ημερών	Ζημιές σε υποδομές, ναυτιλιακό εξοπλισμό και φορτία, υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας για ψύξη, ζητήματα επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας κατά τη διάρκεια ακραίων θερμοκρασιών	Δημιουργία καμπυλώσεων στις σιδηροδρομικές ράγες, υπερθέρμανση/αστοχία υποδομών, προβλήματα σήμανσης, περιορισμοί ταχύτητας, μείωση διάρκειας ζωής υποδομών, αυξημένες ανάγκες ψύξης, συντομότερα παράθυρα συντήρησης, υψηλότερα κόστη κατασκευής και συντήρησης, αλλαγές ζήτησης, ζητήματα επαγγελματικής υγείας και ασφάλειας κατά τη διάρκεια ακραίων θερμοκρασιών	Θερμική φόρτιση υποβάθμιση οδοστρώματος, ρηγματώσεις ασφάλτου, θερμικές ζημιές σε γέφυρες, κατολισθήσεις σε οδούς, μείωση της διάρκειας ζωής, αυξημένες ανάγκες ψύξης, ζητήματα υγείας και ασφάλειας σε ακραίες θερμοκρασίες, συντομότερα παράθυρα συντήρησης, αυξημένα κόστη κατασκευής και συντήρησης, αλλαγές στη ζήτηση υπηρεσιών
Βροχόπτωση			
Αλλαγές στις μέσες τιμές; αλλαγές στην ένταση, τύπο, και συχνότητα	Πλημμύρα και ζημιές λιμενικών υποδομών, μικρότερη ευχέρεια ελιγμών και πρόσδεσης πλοίων λόγω αυξημένης	Πλημμύρες, ζημιές, διάβρωση γεφυρών, πλημμύρες σε συστήματα αποχέτευσης και σήραγγες, κατολισθήσεις, ροές λάσπης και κατακρημνίσεις,	Πλημμύρες, ζημιές δρόμων και γεφυρών, αυξημένες κατολισθήσεις, ροές λάσπης, διάβρωση γεφυρών, αστοχίες έργων και



ακραίων φαινομένων (πλημμύρες και ξηρασίες)	στάθμης και ταχύτητας νερού	ζημιές σε αναχώματα, επιχειρησιακά προβλήματα, καθυστερήσεις, αλλαγές στη ζήτηση	εξοπλισμού, κακή ορατότητα, μειωμένη πρόσφυση οχημάτων, καθυστερήσεις, αλλαγές στη ζήτηση
Ισχυροί άνεμοι			
Αλλαγές έντασης και συχνότητας ισχυρών ανέμων	Προβλήματα στη ναυσιπλοΐα και την πρόσδεση πλοίων, ακυρώσεις/καθυστερήσεις , ζημιές εξοπλισμού	Βλάβες σε εγκαταστάσεις και catenary, υπερβολική αύξηση τάσης, κίνδυνοι από πεσμένα ηλεκτροφόρα καλώδια/ δέντρα, εκτροχιασμοί διαταραχές στη λειτουργικότητα	Ζημιές σε περιφράξεις, αυξημένος κίνδυνος οδικών ατυχημάτων λόγω μειωμένης σταθερότητας των οχημάτων, ζημιές σε υποδομές (π.χ., σήμανση), κίνδυνοι από πεσμένα ηλεκτροφόρα καλώδια/ δέντρα), κλείσιμο γεφυρών
Στάθμη θάλασσας/κυματισμοί			
Άνοδος της Μέσης (RMSL) και Ακραίας στάθμης (ESL), ισχυροί κυματισμοί	Πλημμύρα υποδομών λιμανιών, ζημιές στις λιμενικές εγκαταστάσεις, απαιτήσεις εκβάθυνσης, δυσκολίες πρόσδεσης και ναυσιπλοΐας, αυξημένο κόστος προστασίας λιμανιών; επιπτώσεις σε κρίσιμα σημεία διέλευσης, καθυστερήσεις, διακοπές εφοδιαστικής αλυσίδας	Διάβρωση γεφυρών, ζημιές σε εγκαταστάσεις και παράκτιων υποδομών πλημμύρες, ζημιές σιδηροδρομικών γραμμών, αναχωμάτων, γεφυρών και σωληνώσεων, πλημμύρα υπόγειων σερράγγων, καθυστερήσεις, διακοπές εφοδιαστικής αλυσίδας	Αυξημένοι κίνδυνοι μόνιμης και περιστασιακής πλημμύρας, διάβρωση παράκτιων δρόμων, ζημιές και αποκοπές δρόμων και γεφυρών, καθυστερήσεις, διακοπές εφοδιαστικής αλυσίδας

Οι οικονομικές απώλειες από ζημιές σε υποδομές και διαταραχές/καθυστερήσεις στη λειτουργία των λιμένων, με αλυσιδωτές επιπτώσεις στις διασυνδεδεμένες παγκόσμιες εφοδιαστικές αλυσίδες, μπορεί να είναι εκτεταμένες. Μελέτη του Environmental Defense Fund ([EDF 2022](#)) εκτιμά ότι οι σημερινές μέσες ετήσιες ζημιές από καταιγίδες σε λιμένες ανέρχονται σε περίπου \$3 δισεκατομμύρια, ενώ σύμφωνα με τους [Verschuur et al. \(2023a\)](#), ο κίνδυνος από φυσικές καταστροφές αποτιμάται ως \$7,5 δισεκατομμύρια ετησίως, με επιπλέον \$63,1 δισεκατομμύρια εμπορίου να βρίσκονται σε κίνδυνο. Ο συστημικός ετήσιος κίνδυνος για τις παγκόσμιες θαλάσσιες μεταφορές, το εμπόριο και τα δίκτυα εφοδιαστικής αλυσίδας έχει εκτιμηθεί σε \$81 δισεκατομμύρια, με (τουλάχιστον) \$122 δισεκατομμύρια οικονομικής δραστηριότητας επίσης να διατρέχουν κίνδυνο ([Verschuur et al., 2023b](#)).

Στο παρόν παραδοτέο αξιολογείται η έκθεση 155 λιμένων στους κινδύνους της παράκτιας πλημμύρας και των ακραίων θερμοκρασιών (και) σε συνδυασμό με την σχετική υγρασία υπό την KM & A. Για το σκοπό αυτό υπολογίζονται οι προβλεπόμενες Ακραίες Θαλάσσιες Στάθμες (ESLs), ανώτατες και μέσες τιμές ημερήσιας



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Παρόλο που οι βροχοπτώσεις (και οι συνεπαγόμενες πλημμύρες - fluvial and pluvial floods) και οι ισχυροί άνεμοι αποτελούν επίσης σημαντικούς κινδύνους για τους λιμένες, η πρόβλεψη/αξιολόγηση τους ήταν εκτός του σκοπού του συγκεκριμένου Έργου. Επιπλέον, όσον αφορά στις πλημμύρες από την βροχόπτωση (pluvial floods), προγνώσεις από μοντέλα υψηλής ανάλυσης από το EURO-CORDEX, δείχνουν μια γενική μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα στο μέλλον. Σχετική μελέτη από τους [Kostopoulou & Giannakopoulos \(2023\)](#) προβλέπουν μείωση της ετήσιας βροχόπτωσης κατά 5 – 20% υπό το σενάριο RCP4.5 και 5 – 25% υπό το RCP8.5 για την περίοδο 2041–2070, με περαιτέρω μειώσεις το 2071–2100. Όσον αφορά στα ακραία φαινόμενα βροχόπτωσης, οι προγνώσεις εμφανίζονται μεικτές και χαμηλής αξιοπιστίας ([Zanis et al, 2024](#)). Αν και ορισμένες μελέτες υποδηλώνουν πιθανή ένταση των ακραίων βροχοπτώσεων, αυτές οι μεταβολές αξιολογούνται (ως επί το πλείστον) μη σημαντικές για όλες τις χρονικές περιόδους και σενάρια. Όσον αφορά στις ποτάμιες πλημμύρες λιμένων, η αξιολόγηση τους απαιτεί την χρήση μοντέλων πλημμύρας ξηράς που απαιτούν δεδομένα μεγάλης χωρο-χρονικής διακριτικότητας σε τοπική κλίμακα· συνεπώς η αξιολόγηση του κινδύνου ποτάμιας πλημμύρας για 155 Ελληνικούς λιμένες δεν ήταν δυνατή στα πλαίσια του συγκεκριμένου Έργου. Όσον αφορά στους ανέμους, αν και αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για τις υποδομές και λειτουργία των λιμένων, η αξιολόγηση της παρούσας έκθεσης των λιμένων στους ακραίους ανέμους απαιτεί επίσης δεδομένα υψηλής χωρο-χρονικής διακριτικότητας σε τοπική κλίμακα, ενώ προβλέψεις κάτω από την Κλιματική Αλλαγή δεν φαίνεται ότι σήμερα μπορούν να γίνουν με αποδεκτή αξιοπιστία ([UNECE, 2020](#)).

Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω δεν έγινε περαιτέρω αξιολόγηση της έκθεσης των 155 Ελληνικών λιμένων στις βροχοπτώσεις και ανέμους στα πλαίσια του Έργου RESPORTS.



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Οι παράκτιες πλημμύρες και οι υψηλές/ακραίες θερμοκρασίες που φαίνεται ότι θα ενταθούν λόγω της κλιματικής μεταβλητότητας και Αλλαγής (ΚΜ&Α) (IPCC, 2023) αποτελούν σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία, κοινωνία και οικονομία, καθώς και για τις μεταφορικές υποδομές, ιδιαίτερα σε παράκτιες περιοχές. Οι καύσωνες αυξάνουν τη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα, επηρεάζοντας κυρίως ευάλωτες ομάδες, ενώ προκαλούν φθορές στα συστήματα μεταφορών. Παράλληλα, οι παράκτιες πλημμύρες, λόγω της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και ακραίων καιρικών φαινομένων, απειλούν λιμάνια και άλλες παράκτιες κρίσιμες υποδομές, διαταράσσοντας την οικονομική και κοινωνική σταθερότητα. Η κατανόηση αυτών των κινδύνων είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών μέτρων προσαρμογής. Χωρίς παρέμβαση, οι καύσωνες θα επιβαρύνουν περαιτέρω τα συστήματα και υποδομές, ενώ οι παράκτιες πλημμύρες θα οδηγήσουν σε δαπανηρές επισκευές/συντηρήσεις και διακοπές στις εφοδιαστικές αλυσίδες/ μεταφορές. Η παρούσα σύντομη ανασκόπηση εξετάζει τις επιπτώσεις αυτών των κινδύνων.

2.1 Επιπτώσεις της θερμοκρασίας στην ανθρώπινη υγεία

Οι υψηλές θερμοκρασίες αποτελούν μεγάλο και επείγοντα κλιματικό κίνδυνο για την ανθρώπινη υγεία, επηρεάζοντας διαφορετικές πληθυσμιακές ομάδες με διαφορετικούς τρόπους. Απαιτούνται περισσότερες και πιο άμεσες ενέργειες για τη μείωση των κινδύνων για την υγεία από τη ζέστη σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους, καθώς και από τις δασικές πυρκαγιές. Παράλληλα, πρέπει να προετοιμαστούμε καλύτερα για την αντιμετώπιση εξάρσεων νοσημάτων που μεταδίδονται μέσω εντόμων και υδάτων, που συνδέονται με ακραίες καιρικές συνθήκες. Θερμότερα καλοκαίρια, ηπιότεροι χειμώνες και πιο συχνές πλημμύρες η παρατεταμένες ξηρασίες δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για την εξάπλωση λοιμωδών νοσημάτων, ενώ οι υποδομές υγείας μπορούν να επηρεαστούν άμεσα από την Κλιματική Αλλαγή, π.χ., μέσω εκτεταμένων πλημμυρών ή υψηλών θερμοκρασιών.

Η Κλιματική Αλλαγή επηρεάζει την ασφάλεια και την υγεία των εργαζομένων μέσω του θερμικού στρες, της έκθεσης της υπεριώδους ακτινοβολίας, της επαφής με παθογόνους οργανισμούς, της ρύπανσης του αέρα σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους και των ακραίων καιρικών φαινομένων. Το 23% των εργαζομένων στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) αναφέρουν ότι εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες στον χώρο εργασίας τους (Eurofound, 2017). Το θερμικό στρες, που έχει ήδη επιπτώσεις στο ανθρώπινο δυναμικό της ΕΕ, επηρεάζει αρνητικά την υγεία των εργαζομένων μέσω αυξημένης δυσφορίας, μείωσης της γνωστικής λειτουργίας και της αύξησης εργατικών ατυχημάτων. Οι ακραίες θερμοκρασίες και οι συχνές καύσωνες στη Νότια Ευρώπη το 2020 και το 2023 προκάλεσαν περιστατικά θερμοπληξίας και θανάτους μεταξύ υπαίθριων εργαζομένων, ιδίως σε τομείς όπως η γεωργία, οι κατασκευές και η συντήρηση δρόμων (Martínez-Solanas et al., 2018; Nybo, 2021). Οι άνθρωποι σε κλειστούς χώρους διατρέχουν επίσης κίνδυνο από την αυξημένη θερμική καταπόνηση, ειδικά όταν η εργασία τους απαιτεί έντονη σωματική δραστηριότητα ή τη χρήση προστατευτικού ρουχισμού.

Η άνοδος των θερμοκρασιών επηρεάζει διαφορετικά το εργατικό δυναμικό στην ΕΕ, με μεγαλύτερο αντίκτυπο στις χώρες της νότιας Ευρώπης (van Daalen et al., 2022). Οι εργατοώρες έχουν μειωθεί λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας (EEA, 2024), με τη μεγαλύτερη μείωση να καταγράφεται στην Κύπρο, την Ελλάδα και την Ισπανία (Dasgupta et al., 2021; van Daalen et al., 2022). Η ακραία ζέστη μπορεί να καταστήσει



επικίνδυνη την εργασία στους λιμένες, περιορίζοντας το ωράριο εργασίας (Notteboom, Pallis, & Rodrigue, 2022). Η αποτελεσματικότητα της εργασίας αναμένεται να μειωθεί περαιτέρω (Dasgupta et al., 2021). Οι προηγούμενοι μεγάλοι καύσωνες στην Ευρώπη (Αύγουστος 2003, Ιούλιος 2010 και Ιούλιος 2015) οδήγησαν σε μείωση του ΑΕΠ κατά 0,3 – 0,5% (EEA, 2024).

Climate risks for 'Health' cluster	Urgency to act	Risk severity			Policy characteristics		
		Current	Mid-century	Late century (low/high warming scenario)	Policy horizon	Policy readiness	Risk ownership
Heat stress – general population	Urgent action needed	+++	+++	+++	Long	Medium	National
Population/built environment due to wildfires (hotspot region: southern Europe)	Urgent action needed	+++	+++	+++	Medium	Medium	Co-owned
Population/built environment due to wildfires	Urgent action needed	+++	++	++	Medium	Medium	Co-owned
Wellbeing due to non-adapted buildings (*)	Urgent action needed	++	++	++	Long	Medium	Co-owned
Heat stress – outdoor workers (hotspot region: southern Europe)	Urgent action needed	+++	+++	+++	Short	Medium	Co-owned
Heat stress – outdoor workers	Urgent action needed	+++	+++	+++	Short	Medium	Co-owned
Pathogens in coastal waters	Further investigation	+	+	+	Medium	Medium	Co-owned
Health systems and infrastructure	Further investigation	+++	++	++	Medium	Medium	National
Infectious diseases	Further investigation	+++	++	++	Short	Advanced	Co-owned

Legends and notes

Urgency to act

- Urgent action needed
- More action needed
- Further investigation
- Sustain current action
- Watching brief

Risk severity

- Catastrophic
- Critical
- Substantial
- Limited

Confidence

Low: +
Medium: ++
High: +++

(*) Urgency based on high warming scenario (late century).

Εικόνα 2. Κλιματικοί κίνδυνοι για την υγεία. Πηγή: EEA, 2024

2.2 Επιπτώσεις της θερμοκρασίας στις υποδομές και μεταφορές

Οι ανθρώπινες κοινωνίες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες σε κλιματικούς κινδύνους, με τις πλημμύρες να είναι οι πιο επείγουσες που πρέπει να αξιολογηθούν και να αντιμετωπιστούν. Άλλοι κλιματικοί κίνδυνοι επηρεάζουν τα κτίρια, το ενεργειακό σύστημα και το σύστημα μεταφορών. Ο συνδυασμός κλιματικών φαινομένων (π.χ., ξηρασίες και ακραία ζέστη, καταιγίδες και έντονες βροχοπτώσεις) μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο. Οι παράκτιες μεταφορικές υποδομές είναι ιδιαίτερα ευάλωτες σε κινδύνους, η άνοδος της μέσης και ακραίας στάθμης της θάλασσας, οι παράκτιες πλημμύρες και διάβρωση και η οξίνιση των ωκεανών (EEA, 2024). Επιπλέον, οι καύσωνες προκαλούν θερμική διαστολή μεταλλικών στοιχείων, αστοχία υποδομών, και καταπόνηση/στρέβλωση οδοστρωμάτων και σιδηροδρομικών γραμμών στις παράκτιες περιοχές (Jacobs et al., 2018; Liban et al., 2023; EEA, 2024).

Συγκεκριμένα για τους λιμένες, οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να υποβαθμίσουν τις πλακόστρωτες περιοχές αποθήκευσης (Christodouloy & Demirel, 2018) και να προκαλέσουν ρήγματα στην ασφάλτο, ζημιές σε γέφυρες, στρέβλωση σιδηροδρομικών γραμμών, αστοχίες στον εξοπλισμό, ζημιές στα φορτία και υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας για ψύξη (Monioudi et al., 2018; UNCTAD, 2020; UNECE, 2020). Οι αυξήσεις στις μέσες θερμοκρασίες και η συχνότητα/διάρκεια των κυμάτων καύσωνα θα δημιουργήσουν σημαντικές προκλήσεις



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



για την ασφάλεια και την υγεία του προσωπικού και των επιβατών· η υπερβολική ζέση μπορεί να βλάψει τις λιμενικές λειτουργίες καθιστώντας επικίνδυνες τις εξωτερικές εργασίες (Notteboom, Pallis & Rodrigue, 2022) και επηρεάζοντας τον τρόπο χειρισμού των μεταφερόμενων φορτίων (π.χ. μπορεί να χρειαστούν περισσότερες μονάδες ψύξης ή κλιματισμού) (Becker, 2012).

Climate risks for 'Infrastructure' cluster	Urgency to act	Risk severity			Policy characteristics		
		Current	Mid-century	Late century (low/high warming scenario)	Policy horizon	Policy readiness	Risk ownership
Pluvial and fluvial flooding		+++	+++	++	Long	Medium	Co-owned
Coastal flooding		+++	+++	+++	Long	Advanced	Co-owned
Damage to infrastructure and buildings (*)		++	++	++	Long	Medium	Co-owned
Energy disruption due to heat and drought (hotspot region: southern Europe)		++	++	++	Medium	Medium	Co-owned
Energy disruption due to heat and drought		++	++	+	Medium	Medium	Co-owned
Energy disruption due to flooding		++	++	++	Long	Advanced	Co-owned
Marine transport		++	++	++	Medium	Medium	Co-owned
Land-based transport		++	++	++	Medium	Medium	Co-owned

Legends and notes

Urgency to act

- Urgent action needed
- More action needed
- Further investigation
- Sustain current action
- Watching brief

Risk severity

- Catastrophic
- Critical
- Substantial
- Limited

Confidence

Low: +
Medium: ++
High: +++

(*) Urgency based on high warming scenario (late century).

Εικόνα 3. Κλιματικοί κίνδυνοι για τις υποδομές (ΕΕΑ, 2024)



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



3 Μεθοδολογία

3.1 Πλημμυρικός κίνδυνος

3.1.1

Ακραίες Θαλάσσιες Στάθμες

Οι προβλεπόμενες Ακραίες Θαλάσσιες Στάθμες (ESLs) κατά μήκος των ακτογραμμών έχουν υπολογιστεί από τους Vousdoukas et al, 2018 σε παγκόσμια κλίμακα με χωρική ανάλυση 25km. Οι προβλέψεις έχουν γίνει μέσω του αριθμητικού υδροδυναμικού μοντέλου Delft3D-Flow τροφοδοτούμενο από τα πεδία ανέμου και ατμοσφαιρικής πίεσης που αντιστοιχούν στις κλιματικές συνθήκες των RCP4.5 και RCP8.5 σεναρίων που υπολογίστηκαν από συστοιχία 8 κλιματικών μοντέλων (Vousdoukas et al, 2017). Για την αξιολόγηση της απόδοσης του μοντέλου πραγματοποιήθηκε επανάλυση (re – analysis) για την περίοδο 1980 – 2014 (baseline) με δεδομένα εισόδου/οριακές συνθήκες από πεδία ανέμου/ατμοσφαιρικής πίεσης εξαγμένα από τη βάση δεδομένων ERA – Interim. Οι προβλεπόμενες ESLs συγκρίθηκαν με χρονοσειρές θαλάσσιας στάθμης για την ίδια ιστορική περίοδο διαθέσιμες στο <http://webcritech.jrc.ec.europa.eu/SeaLevelsDb>.

Η ακραία στάθμη θάλασσα (ESL) υπολογίστηκε ως το άθροισμα της μελλοντικής μακροπρόθεσμης σχετικής ανόδου της μέσης στάθμης θάλασσας (RSLR), της αστρονομικής παλίρροιας η_{tide} και της βραχυχρόνιας (επεισοδιακής) ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας η_{ce} λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας (storm surge). Παράλληλα, εκτός από τις ESLs, κατά τη διάρκεια ακραίων γεγονότων οι λιμένες επηρεάζονται και από τους αντίστοιχους κυματισμούς (Toimil et al., 2017). Επειδή για μια δεδομένη περίοδο επαναφοράς οι ESLs δεν συμπίπτουν απαραίτητα με τους ακραίους κυματισμούς ίδιας περιόδου επαναφοράς χρησιμοποιήθηκαν bivariate copula statistics (Li et al, 2018) προκειμένου να συνδεθούν πιθανολογικά οι ESLs με τους ακραίους κυματισμούς που είναι πιο πιθανό να συμπέσουν. Η συνολική στάθμη νερού συσχετίστηκε με το κυματικό ύψος και περίοδο με τον μη παραμετρικό συντελεστή συσχέτισης Spearman και στη συνέχεια τα ζεύγη τιμών που προέκυψαν προσαρμόστηκαν σε 7 διαφορετικούς τύπους κατανομών ώστε να διερευνηθεί ο βαθμός εξάρτησης. Για μια δεδομένη τιμή ESL, υπολογίστηκε η πιθανότητα υπέρβασης στην οριακή κατανομή της συνολικής θαλάσσιας στάθμης. Η ανάλυση εξάρτησης copula, η οποία βασίστηκε στα δεδομένα της επανάλυσης των Vousdoukas et al (2017) για τη περίοδο 1980 - 2014, επέτρεψε να ληφθεί για κάθε τιμή η_{ce} το αντίστοιχο πιο πιθανό σημαντικό ύψος κύματος (H_s), περίοδο (T_p).

Συγκεντρώθηκαν δεδομένα από τη βάση δεδομένων του Joint Research Center (JRC) της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (<https://data.jrc.ec.europa.eu/collection/lis coast>), για ακραία γεγονότα θύελλας με περίοδο επαναφοράς 100 έτη, για την περίοδο αναφοράς 1980-2014 και για μελλοντικές προβλέψεις για τα έτη 2050 και 2100, κάτω από δυο σενάρια Κλιματικής Αλλαγής, ένα μετριοπαθές (RCP4.5) και ένα απαισιόδοξο (RCP8.5). Μέσω γεωχωρικής ανάλυσης σε περιβάλλον GIS αναζητήθηκαν τα κοντινότερα σημεία στα 155 λιμάνια (αναλόγως της χωρικής ανάλυσης).

3.1.2

Υπολογισμός πλημμυρικού κινδύνου

με στατική μέθοδο ('bathtub')

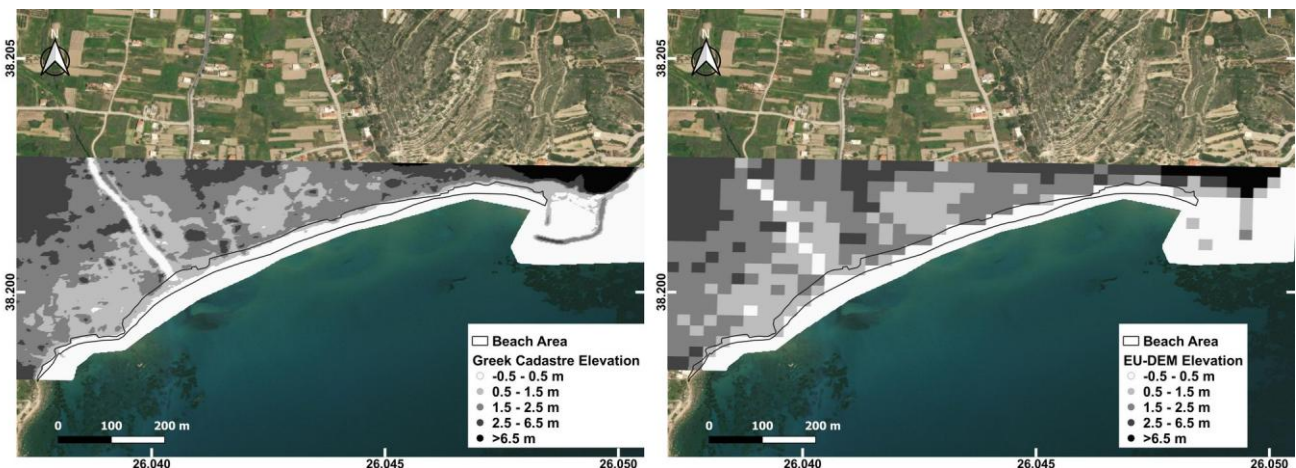
Για το σύνολο των λιμένων του Ελληνικού χώρου υπολογίστηκε ο πλημμυρικός κίνδυνος τόσο υπό τις σημερινές συνθήκες όσο και υπό την KM & A. Η αξιολόγηση έγινε εφαρμόζοντας τη στατική μέθοδο 'bathtub' για κάθε έναν λιμένα. Η συγκεκριμένη μέθοδος λειτουργεί σε περιβάλλον GIS και συγκρίνει τις



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



προβλεπόμενες ESLs με την τοπογραφία παράκτιων περιοχών και καταγράφοντας ως κατακλυόμενα τα τμήματα όπου το υψόμετρο είναι χαμηλότερο από την ESL. Για την εξαγωγή της παράκτιας τοπογραφίας για κάθε λιμένα χρησιμοποιήθηκε η σειρά δεδομένων Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους του έργου LSO25' (LSO - Large Scale Orthophotos) του Ελληνικού Κτηματολογίου που προέρχονται από αεροφωτογραφίες υψηλής ανάλυσης που λήφθηκαν μεταξύ 2014-2016. Το κάθε DEM έχει μέγεθος εικονοστοιχείου 2m, ανάλυση που επιτρέπει την αποτύπωση των εδαφικών υψομέτρων και κλίσεων με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με προϊόντα ελεύθερης πρόσβασης όπως το EU-DEM ανάλυσης 25m ή και χαμηλότερη, καθώς η ακρίβεια των υψομέτρων στο DEM του Κτηματολογίου (RMSE = 0,38m, [Chrisafinos and Kavvadas, 2016](#)) είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του EU DEM (RMSE = 1,63m, spacedata.copernicus.eu/GEO1988-CopernicusDEM-RP-001_ValidationReport_I3.0.pdf) όπως σημειώνεται και από τους [Velegrakis et al, 2024](#) (Εικόνα 4). Δεδομένου ότι τα υψόμετρα κατά μήκος των προβλητών ενός λιμένα δεν αναμένεται να διαφοροποιούνται σημαντικά, υπολογίστηκε μια μέση τιμή υψομέτρου προβλήτας για κάθε λιμένα η οποία και συγκρίθηκε με τις ESL. Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα ESL που αντιστοιχούν στην περίοδο baseline (1980-2014) θεωρώντας ότι αντιπροσωπεύουν τις σημερινές τιμές τα οποία εξάχθηκαν από τη βάση δεδομένων των [Vousdoukas et al. \(2018\)](#). Η Ακραία θαλάσσια στάθμη -ESL που χρησιμοποιείται αντιστοιχεί σε ακραίο γεγονός με περίοδο επαναφοράς 100 ετών. Οι ESLs εξάχθηκαν από τη βάση δεδομένων των [Vousdoukas et al. \(2018\)](#) για τη περίοδο baseline (1980-2014) που θεωρούμε ότι αντιστοιχεί στη σημερινή κατάσταση καθώς και για τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 για το 2050 και 2100. Καθώς οι ESLs έχουν υπολογιστεί με ανάλυση 25km κατά μήκος της ακτογραμμής, σε κάθε λιμένα έγινε σύγκριση του τοπογραφικού υψομέτρου με το κοντινότερο σημείο για το οποίο υπάρχουν προβλέψεις ESL. Οι πλημμυρικοί χάρτες που προκύπτουν έχουν εποπτικό ρόλο για την αναγνώριση των λιμένων με το μεγαλύτερο πρόβλημα στα διαφορετικά σενάρια ESL.



Εικόνα 4. Σύγκριση της ανάλυσης και ακρίβειας του DEM του Ελληνικού Κτηματολογίου (αριστερά) με το EU-DEM (δεξιά)

3.1.3

Δυναμική προσομοίωση πλημμύρας

Για την πρόβλεψη της παράκτιας πλημμύρας κάτω από συνθήκες θύελλας έχει αναπτυχθεί πληθώρα υδροδυναμικών αριθμητικών μοντέλων ([Dawson et al, 2005](#), [Gallien et al, 2014](#)) τα οποία περιγράφουν την ροή του νερού βασιζόμενα στις εξισώσεις Navier Stokes όπου εφαρμόζονται οι αρχές διατήρησης της ορμής



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



και της μάζας (Kantha et al, 2000). Τα μοντέλα προσομοιώνουν με δυναμικό τρόπο την ροή του νερού στο παράκτιο περιβάλλον και περιγράφουν την εξέλιξη του πλημμυρικού φαινομένου με το χρόνο λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία και την τραχύτητα του εδάφους καθώς και τυχόν έργα προστασίας.

Λόγω των παραπάνω τα υδροδυναμικά μοντέλα μπορούν να υπολογίσουν το πλημμυρικό εύρος και βάθος ακριβέστερα σε σχέση με τη στατική μέθοδο λόγω των απλουστεύσεων της τελευταίας (Vousdoukas et al, 2016) με τις επιδόσεις τους να αυξάνονται σημαντικά όταν η εισαγόμενη τοπογραφία είναι υψηλής ανάλυσης και ακρίβειας (Makris et al, 2023) επιτρέποντας την αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας σε κρίσιμες υποδομές (Bove et al, 2020). Ταυτόχρονα όμως η αύξηση της χωρικής ανάλυσης συνεπάγεται και την αύξηση του υπολογιστικού κόστους το οποίο πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Με τον στόχο να δοθούν ακριβείς προβλέψεις της έκθεσης στον θαλάσσιο πλημμυρικό κίνδυνο υπολογίζοντας με ακρίβεια τις λιμενικές εκτάσεις που προβλέπεται να κατακλυστούν σε πλημμυρικά επεισόδια αποφασίστηκε η εφαρμογή ενός υδροδυναμικού μοντέλου στους 13 λιμένες που ανταποκρίθηκαν στην έρευνα ερωτηματολογίου (βλ. Παραδοτέο 2.3). Συγκεκριμένα επιλέχθηκε το αδρανειακό μοντέλο LISFLOOD-FP (Bates and de Roo, 2000) το οποίο περιγράφεται κατωτέρω. Το LISFLOOD-FP είναι ένα απλοποιημένο δισδιάστατο υδροδυναμικό μοντέλο πεπερασμένων διαφορών το οποίο προσομοιώνει την δυναμική της πλημμύρας σε προσχεδιασμένο κάρναβο χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Elevation Model – DEM) και πληροφορίες για την εισροή νερού στα όρια του καννάβου.

Συγκεκριμένα, το LISFLOOD-FP εφαρμόζει την αρχή της συνέχειας στα ρευστά ώστε να υπολογιστεί το βάθος σε κάθε κελί του καννάβου ενώ η ροή του νερού διοχετεύεται κατά μήκος του εδάφους χρησιμοποιώντας έναν απλό αλγόριθμο αποθήκευσης που βασίζεται στη διαφορά της υδραυλικής κεφαλής μεταξύ γειτονικών κελιών (Bates et al, 2005). Σε κάθε κελί, το υπολογισμένο ύψος της υδάτινης επιφάνειας πάνω από το τοπογραφικό υψόμετρο καθώς και ο συντελεστής τριβής εδάφους Manning χρησιμοποιούνται ώστε να υπολογιστεί ο ρυθμός ροής. Η υδάτινη ροή περιγράφεται μέσω των εξισώσεων της αρχής διατήρησης της ορμής και της συνέχειας της μάζας:

$$h_{(i,j)}^{(t+\Delta t)} = h_{(i,j)}^t + \frac{\Delta t * Q_{(xi,j-1)}^t - Q_{(xi,j-1)}^t - Q_{(yi,j-1)}^t - Q_{(yi,j)}^t}{\Delta x^2} \quad [1]$$

$$Q^t = \frac{q_t - \frac{gh_{flow}^t * \Delta t * \Delta(h^t + z)}{\Delta x}}{1 + gh_{flow}^t * \Delta t n^2 * |q^{(t-\Delta t)}| (h_{flow}^t)^{(10/3)}} \Delta x \quad [2]$$

όπου Q_t η ροή σε χρόνο t ανάμεσα στα κελιά, υπολογισμένη στην μπροστινή πλευρά των κελιών χρησιμοποιώντας ένα σχήμα κεντραρισμένης διαφοράς αναλυμένο στην x ή y κατεύθυνση; h_{ij} είναι το υδάτινο βάθος στο κέντρο του κελιού i,j ; h_{flow} είναι το βάθος ανάμεσα στα κελιά που είναι δυνατή η ροή; z είναι το τοπογραφικό ύψος στο κελί; n είναι ο συντελεστής τριβής εδάφους; g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας; q είναι η ροή από το προηγούμενο χρονικό βήμα, Δt , και Δx είναι το πλάτος του κελιού. Ως εκ τούτου, οι πλημμυρικές ροές διακριτοποιούνται σε ένα πλέγμα τετράγωνων κελιών, επιτρέποντας έτσι στο μοντέλο να αναπαραστήσει δισδιάστατες ροές στην επιφάνεια του εδάφους. Ο σχεδιασμός του LISFLOOD-FP είναι τέτοιος που επιτρέπει την εύκολη εισαγωγή των αποτελεσμάτων (αρχεία `ascii`) σε περιβάλλον GIS για περαιτέρω ανάλυση. Πρέπει να τονιστεί ότι το μοντέλο αρχικά σχεδιάστηκε για τη προσομοίωση ποτάμιων πλημμυρών, όμως πλέον εφαρμόζεται και σε παράκτια συστήματα επιτυχώς (Bates et al, 2005, Seenath et al, 2016).



Τα αποτελέσματα του μοντέλου μέχρι τώρα συμφωνούν με μετρήσεις του πλημμυρικού εύρους από επιτόπιες καταγραφές καθώς και από δορυφορικές εικόνες, ενώ είναι άμεσα συγκρίσιμα και με πιο σύνθετα μοντέλα όπως το TELEMAC (Hervouet, 2000) που χρησιμοποιούν μη προσχεδιασμένο κάνναβο (unstructured grid) και απαιτούν μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ (Seenath et al, 2016). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το LISFLOOD να έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία και στην πρόβλεψη του πλημμυρικού κινδύνου σε πανευρωπαϊκή κλίμακα (Le Gal et al, 2022). Δεδομένου ότι το LISFLOOD-FP δεν μοντελοποιεί τις σύνθετες διεργασίες κυμάτων μέσα στις λιμενικές λεκάνες, όπως ανακλάσεις κυμάτων και δημιουργία στάσιμων κυματισμών, εφαρμόστηκε ένα συντηρητικό σενάριο το οποίο παραλείπει την κυματική ανύψωση από την ESL υποθέτοντας ότι όλη η εισερχόμενη κυματική ενέργεια εξασθενεί από τους κυματοθραύστες και επομένως η υποδομή του λιμένα επηρεάζεται αποκλειστικά από την άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας και τη μετεωρολογική παλίρροια. Για τους λιμένες που συμμετείχαν στα Ζωντανά Εργαστήρια (Living Labs) του έργου ResPorts υπολογίστηκε επιπλέον το πλημμυρικό εύρος συμπεριλαμβάνοντας και την κυματική ανύψωση.

Η διάρκεια της προσομοίωσης ορίστηκε σε 10 ώρες, τυπική για την περιοχή της Μεσογείου ενώ η εδαφική τριβή έχει υπολογιστεί μέσω του συνόλου δεδομένων Copernicus Παράκτια Ζώνη LU/LC (<https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-hydro/eu-hydro-coastline>) και του τοπογραφικού υψομετρικού μοντέλου (DEM) από το Ελληνικό Κτηματολόγιο DEM με χωρική ανάλυση 2m. Λόγω απουσίας χρονοσειρών της θάλασσας στάθμης επιλέχθηκε η στατική μέθοδος (Stationary) όπου οι τιμές εισόδου της θάλασσας στάθμης που εισάγονται στο μοντέλο θεωρούνται σταθερές για όλη τη διάρκεια του χρόνου προσομοίωσης της θύελλας.

3.2 Κατώφλια λειτουργικότητας

Χρησιμοποιήθηκαν κατώφλια λειτουργικότητας για τον προσδιορισμό των κλιματικών συνθηκών υπό τις οποίες ενδέχεται να παρεμποδιστεί η λειτουργία των λιμένων. Η προσέγγιση περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα: **α)** προσδιορισμός των κατωφλίων λειτουργικότητας (π.χ. ακραίες θερμοκρασίες κάτω από τις οποίες θα μπορούσε να επηρεαστεί σοβαρά η λειτουργία των λιμένων)· δεδομένου ότι δεν υπήρχαν διαθέσιμα συγκεκριμένα κατώφλια ανά λιμένα, χρησιμοποιήθηκαν γενικά κατώφλια, **β)** συγκέντρωση κλιματικών δεδομένων και **γ)** τα όρια λειτουργίας και τα κλιματικά δεδομένα συγκρίθηκαν για να εκτιμηθεί η συχνότητα υπέρβασης των κατωφλίων. Χρησιμοποιήθηκε παράθυρο εικοσαετίας και εκτιμήθηκε ο μέσος αριθμός των ημερών ανά έτος, για τις οποίες ξεπερνιούνται τα κατώφλια λειτουργικότητας. Έγιναν εκτιμήσεις για τις εξής περιόδους:

- Ιστορική περίοδος 1986-2005
- Προβλέψεις για την περίοδο 2041-2060, με βάση τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5
- Προβλέψεις για την περίοδο 2081-2100, με βάση τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5

Τα δεδομένα θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας που χρησιμοποιήθηκαν, αντλήθηκαν από την βάση δεδομένων κλιματικών προγνώσεων υψηλής ακρίβειας EURO-CORDEX (<https://www.euro-cordex.net/>), τα οποία έχουν παραχθεί στο πλαίσιο του Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment με την εφαρμογή state-of-the-art κλιματικών μοντέλων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα με ημερήσιες τιμές μέσης και μέγιστης θερμοκρασίας και ημερήσιες τιμές σχετικής υγρασίας τα οποία έχουν υπολογιστεί μέσω της αλληλουχίας του παγκόσμιου κλιματικού μοντέλου CNRM-CERFACS-CM5 και του περιφερειακού



(regional) για την περιοχή της Ευρώπης μοντέλου CNRM-ALADIN52 σε κάνναβο με χωρική ανάλυση 0,11°, που ισοδυναμεί περίπου με 12km στο γεωγραφικό πλάτος της Ελλάδας.

3.2.1

Δείκτης Θερμότητας (heat index)

Η ικανότητα του προσωπικού (και επιβατών) των λιμένων να εργάζεται με ασφάλεια σε εξωτερικούς χώρους εξαρτάται από τον δείκτη θερμότητας, δηλαδή από έναν συνδυασμό θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Ο υπολογισμός του Heat Index είναι μια βελτίωση ενός αποτελέσματος που προέκυψε από ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης, η οποία πραγματοποιήθηκε από τον Lans P. Rothfus και περιγράφηκε σε ένα Τεχνικό Παράρτημα (SR 90-23) της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (NWS) το 1990.

Η εξίσωση παλινδρόμησης του Rothfus είναι:

$$HI = -42.379 + 2.04901523 \times T + 10.14333127 \times RH - .22475541 \times T \times RH - .00683783 \times T \times T - .05481717 \times RH \times RH + .00122874 \times T \times T \times RH + .00085282 \times T \times RH \times RH - .00000199 \times T \times T \times RH \times RH \quad [3]$$

όπου T είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Φαρενάιτ (°F) και RH είναι η σχετική υγρασία σε ποσοστό (%). Ο HI είναι ο Heat Index, εκφρασμένος ως φαινομενική θερμοκρασία σε βαθμούς Φαρενάιτ. Εάν η σχετική υγρασία (RH) είναι μικρότερη από 13% και η θερμοκρασία βρίσκεται μεταξύ 80 και 112 °F, τότε η ακόλουθη προσαρμογή αφαιρείται από τον HI :

$$ADJUSTMENT = \left(\frac{13 - RH}{4} \right) \times \sqrt{\frac{17 - |T - 95|}{17}} \quad [4]$$

Αντίθετα, εάν η σχετική υγρασία (RH) είναι μεγαλύτερη από 85% και η θερμοκρασία βρίσκεται μεταξύ 80 και 87 °F, τότε η ακόλουθη προσαρμογή προστίθεται στον HI :

$$ADJUSTMENT = \left(\frac{RH - 85}{10} \right) \times \left(\frac{87 - T}{5} \right) \quad [5]$$

Η παλινδρόμηση του Rothfus δεν είναι κατάλληλη όταν οι συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας δίνουν έναν δείκτη θερμότητας χαμηλότερο από περίπου 80 °F. Σε αυτές τις περιπτώσεις, εφαρμόζεται μια απλούστερη εξίσωση για να υπολογιστούν τιμές συμβατές με τα αποτελέσματα του Steadman:

$$HI = 0.5 \times \{T + 61.0 + [(T - 68.0) \times 1.2] + (RH \times 0.094)\} \quad [6]$$

Στην πράξη, η απλή εξίσωση υπολογίζεται πρώτα και το αποτέλεσμα λαμβάνεται ως μέσος όρος με την θερμοκρασία. Εάν η προκύπτουσα τιμή του δείκτη θερμότητας είναι 80°F (26,7°C) ή υψηλότερη, εφαρμόζεται η πλήρης εξίσωση παλινδρόμησης μαζί με οποιαδήποτε από τις παραπάνω προσαρμογές.

Έγιναν εκτιμήσεις θεωρώντας δύο (2) κατώφλια λειτουργικότητας:

- Heat index > 103°F ή 39,4°C, που σηματοδοτεί **υψηλό κίνδυνο** σε εξωτερικούς χώρους.
- Heat index > 115°F ή 46,1°C, που σηματοδοτεί **πολύ υψηλό κίνδυνο** σε εξωτερικούς χώρους.

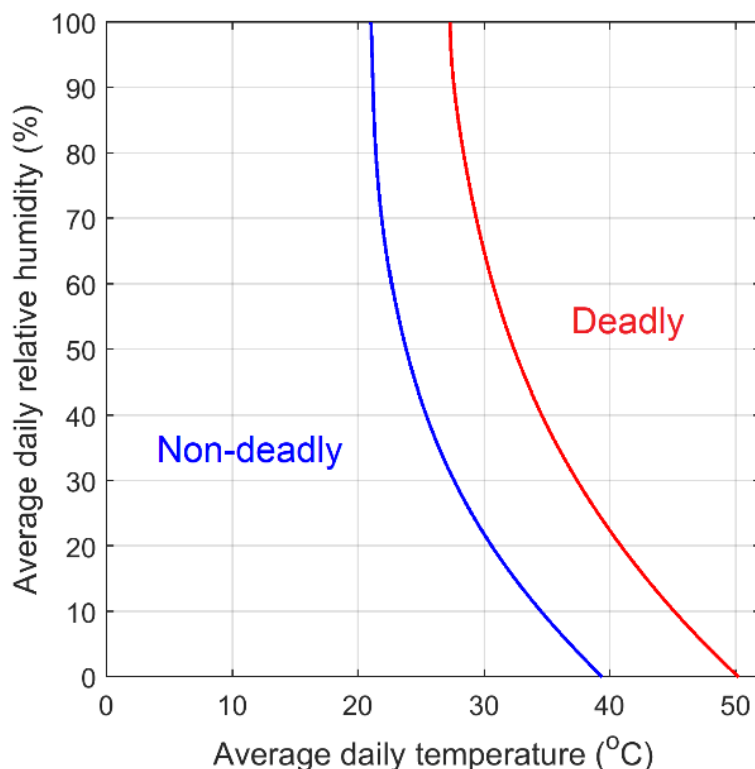
3.2.2

Θανατηφόρες συνθήκες θερμότητας

Η αλλαγή του κλίματος μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο εμφάνισης συνθηκών που υπερβαίνουν την ανθρώπινη θερμορυθμιστική ικανότητα. Σύμφωνα με τους [Mora et al., 2017](#) συνδυασμοί θερμοκρασίας και



υγρασίας που πέφτουν πάνω στην κόκκινη καμπύλη του [Εικόνας 5](#) και δεξιά από αυτήν αποτελούν συνθήκες αυξημένου κινδύνου θνησιμότητας. Η μπλε καμπύλη διαχωρίζει τις θανατηφόρες/μη θανατηφόρες (επικίνδυνες) συνθήκες από αυτές του περιορισμένου κινδύνου.



Εικόνα 5. Κατώφλια για θανατηφόρες συνθήκες θερμότητας. Η μπλε γραμμή είναι το όριο που διαχωρίζει καλύτερα τα θανατηφόρα και τα μη θανατηφόρα θερμικά συμβάντα και η κόκκινη γραμμή είναι το όριο πιθανότητας 95%. Οι περιοχές στα δεξιά των κατωφλίων ταξινομούνται ως θανατηφόρες και εκείνες στα αριστερά ως μη θανατηφόρες. (Δεδομένα από Mora et al., 2017).

3.2.3 Επιβλαβείς επιπτώσεις ακραίων θερμοκρασιών στις μεταφορές

Ο αριθμός των ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (T_{max}) υπερβαίνει τους 32°C επιλέχθηκε ως δείκτης εκτίμησης των δυνητικών επιβλαβών επιπτώσεων στις μεταφορές. Σε αυτές τις θερμοκρασίες, ενδέχεται να προκληθούν ζημιές στο μεταφορικό δίκτυο (προβλήματα στο οδόστρωμα, αυλακώσεις και παραμορφώσεις λόγω κυκλοφορίας), οι οποίες μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένο κίνδυνο ατυχημάτων και καθυστερήσεων (UNECE, 2020).

3.2.4

Αύξηση κόστους ενέργειας

Η υπερβολική ζέστη μπορεί επίσης να αυξήσει τη ζήτηση ενέργειας και το κόστος για συστήματα εξαερισμού και ψύξης (HVAC). Σύμφωνα με ένα γενικό πρότυπο, η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C θα οδηγήσει σε αύξηση κατά 5% των ενεργειακών απαιτήσεων (με βάση την τρέχουσα τεχνολογία) (UNCTAD, 2017)

Εξετάστηκαν τα εξής κατώφλια:

- Αύξηση θερμοκρασίας κατά 2°C (σε σχέση με την 1986-2005) και του ενεργειακού κόστους κατά 10%



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



- Αύξηση της θερμοκρασίας κατά 4 °C (σε σχέση με την περίοδο 1986-2005) και του ενεργειακού κόστους κατά 20%



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»

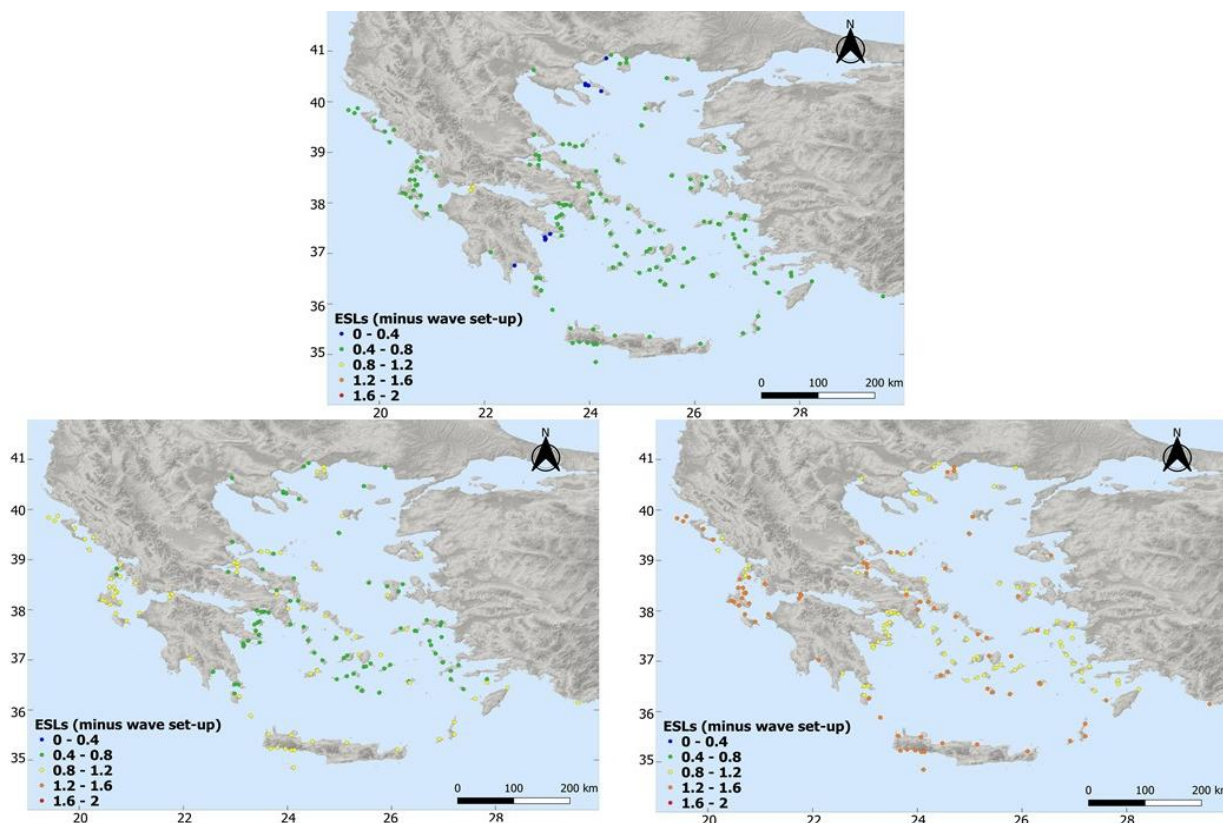


4 Αποτελέσματα

4.1 Πλημμυρικός Κίνδυνος

4.1.1 Στατική Μέθοδος

Οι ESLs και εξαιρώντας την συνιστώσα της κυματικής ανύψωσης προβλέπεται να αυξηθούν σε σχέση με την σημερινή περίοδο (baseline) κυρίως λόγω της ανόδου της Μέσης Θαλάσσιας Στάθμης (ΜΘΣ) η οποία δεν φαίνεται να έχει σπουδαίες διακυμάνσεις στη χωρική κατανομή ενώ οι μετεωρολογικές παλίρροιες δεν προβλέπεται να αυξηθούν ιδιαίτερα σε ένταση, διατηρώντας ωστόσο σημαντικές διαφορές (~0.3m) στη χωρική κατανομή τους. Για το έτος 2050 (Εικόνα 6), κάτω από το απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5 παρουσιάζεται μεγάλη αύξηση ιδιαίτερα στους λιμένες της νότιας Κρήτης καθώς και σε αυτούς του Ιονίου καθώς σε αυτές τις τοποθεσίες η μετεωρολογική παλίρροια αποκτά μεγαλύτερες τιμές. Για παράδειγμα στην Χώρα Σφακίων και Λουτρά Χανίων προβλέπεται να φτάσει μέχρι 0,73 m για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη ενώ στον Πειραιά είναι 0,4m. Οι ESLs το έτος 2100 παρουσιάζουν κατακόρυφη αύξηση καθώς στους περισσότερους λιμένες εμφανίζονται τιμές μεταξύ 1,2-1,6 m. Αυτή η αύξηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στην προβλεπόμενη ραγδαία αύξηση της μέσης θαλάσσιας στάθμης που είναι κατά μέσο όρο 0,8 m στον ελληνικό χώρο.



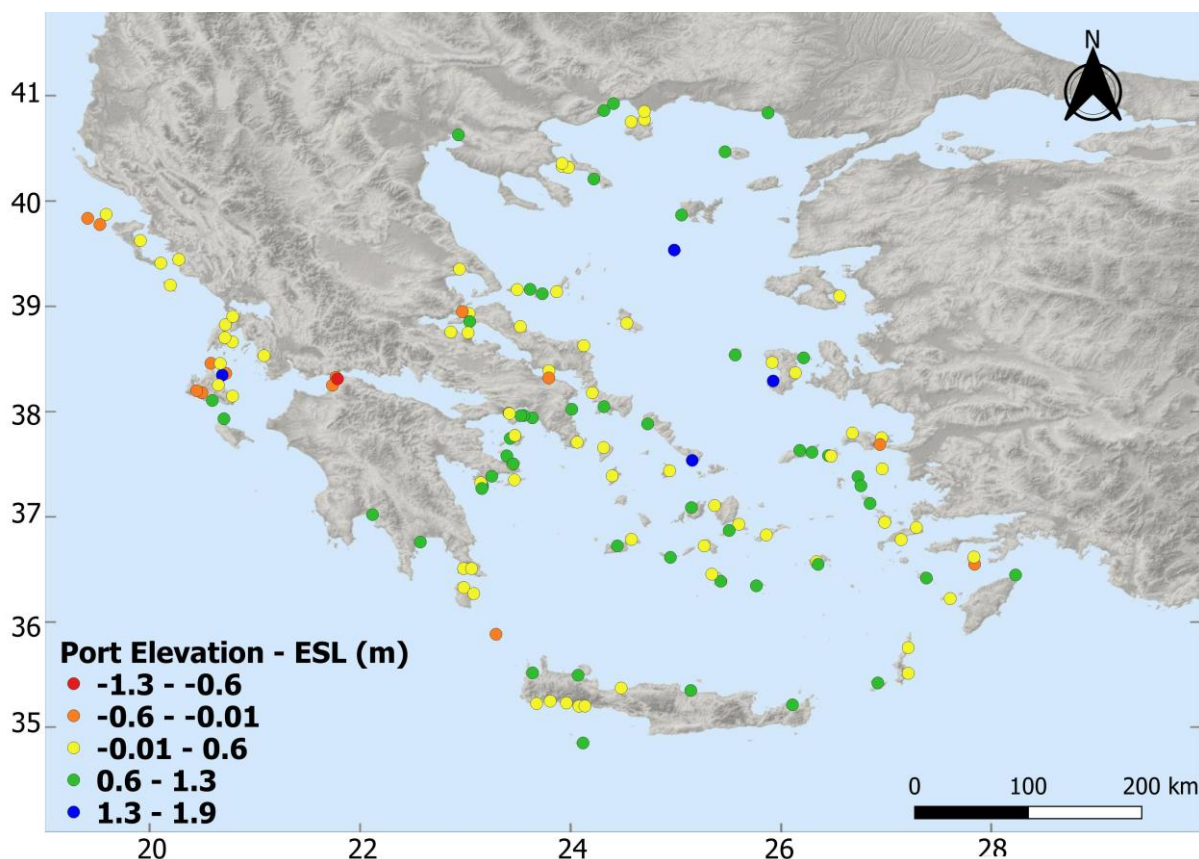
Εικόνα 6. ESLs για τους ελληνικούς λιμένες για το baseline (πάνω), το 2050 (αριστερά) και 2100 (δεξιά) υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



Συγκρίνοντας με το μέσο υψόμετρο των προβλητών για 139 λιμένες (για 16 λιμένες δεν υπήρχαν επαρκή τοπογραφικά δεδομένα) όπως αποτυπώνεται στα τοπογραφικά δεδομένα του Ελληνικού Κτηματολογίου, φαίνεται ότι η πλειονότητα των ελληνικών λιμένων έχει σήμερα (με βάση την ιστορική περίοδο) επαρκή ανύψωση προβλητών ώστε σε περίπτωση θύελλας να μην κατακλυστούν.. Παρόλα αυτά, 16 λιμένες εμφανίζουν αυξημένη έκθεση στον πλημμυρικό κίνδυνο (πορτοκαλί και κόκκινα χρώματα στην Εικόνα 7) με μεγαλύτερες τιμές στο Ρίο, Αντίρριο και Πάτρα με ως και 60cm διαφορά της προβλεπόμενης θαλάσσιας στάθμης σε σχέση με το ύψος προβλήτας.



Εικόνα 7. Διαφορά του τοπογραφικού υψομέτρου των προβλητών με την προβλεπόμενη ESL εξαιρουμένης της συνιστώσας της κυματικής ανύψωσης για την ιστορική περίοδο (1986-2014)

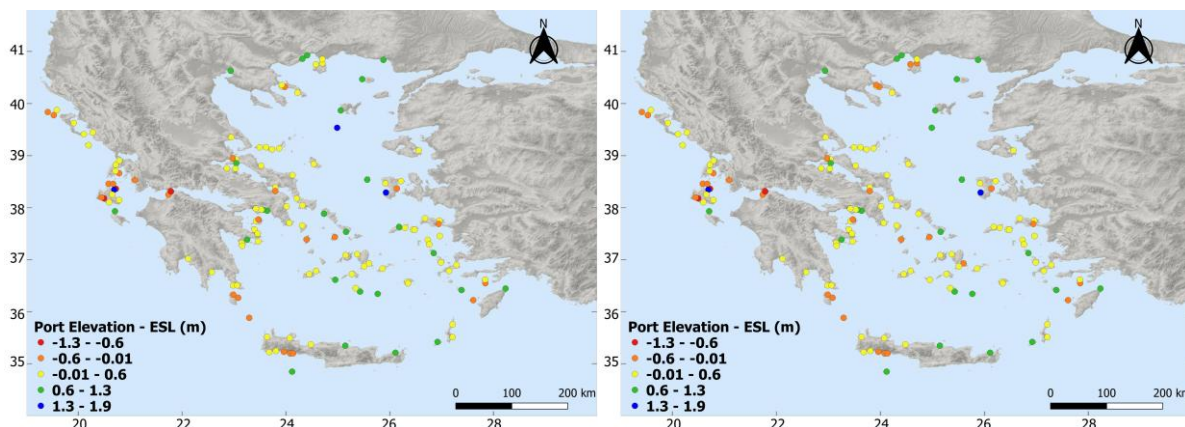
Για το έτος 2050 (Εικόνα 8), για το μετριοπαθές σενάριο RCP4.5 30 λιμένες εμφανίζονται να είναι χαμηλότεροι από την προβλεπόμενη ESL ενώ στην μεγάλη πλειοψηφία τους (90 λιμένες) η τοπογραφική ανύψωση υπερβαίνει την ESL λιγότερο από 0,6 m. Με δεδομένο πως η σύγκριση γίνεται με την μέση τιμή της τοπογραφικής ανύψωσης της προβλήτας μπορεί να γίνει η υπόθεση πως και σε αυτούς τους λιμένες θα υπάρχουν τμήματα που θα είναι χαμηλότερα από τις ESLs καθιστώντας κάποια σημεία ευάλωτα στον πλημμυρικό κίνδυνο. Παρόμοιες είναι οι προβλέψεις και για το απαισιόδοξο σενάριο με μια μικρή αύξηση των λιμένων με άμεση έκθεση στον πλημμυρικό κίνδυνο (σε 34) ενώ γίνονται πολύ πιο δυσσιώνες για το 2100 (Εικόνα 9) όπου 60 και 93 λιμένες για το RCP4.5 και RCP8.5 αντίστοιχα φαίνεται να βρίσκονται χαμηλότερα από την προβλεπόμενη ESL. Μάλιστα, σε 9 και 19 λιμένες αντίστοιχα για τα δυο σενάρια η προβλεπόμενη



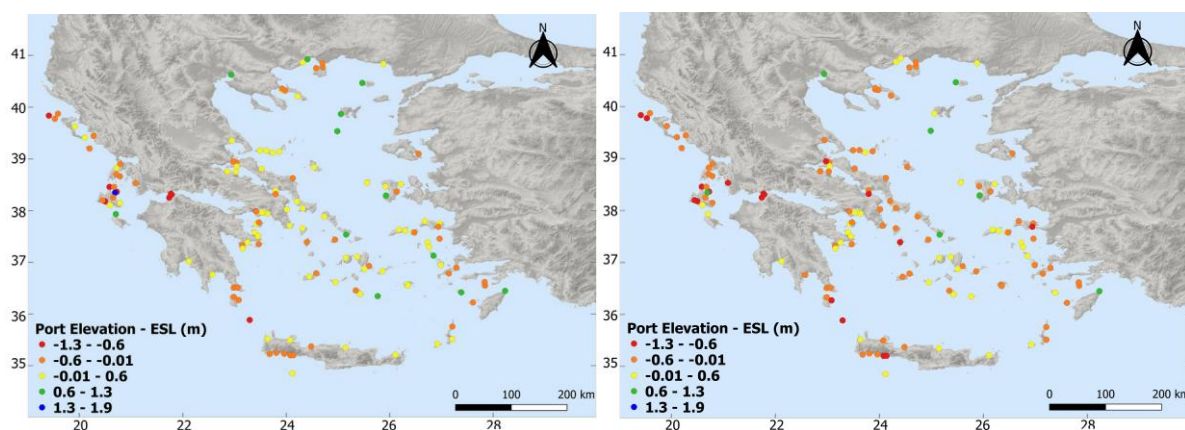
Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



ΑΘΣ θα ξεπεράσει παραπάνω από 0.6 m το υψόμετρο των προβλητών υποδεικνύοντας αυξημένη έκθεση στον πλημμυρικό κίνδυνο. Παίρνοντας υπόψιν πως αυτές αποτελούν συντηρητικές προβλέψεις καθώς η κυματική συνιστώσα δεν έχει ληφθεί υπόψιν, είναι φανερό πως η πλειοψηφία των ελληνικών λιμένων εμφανίζεται εκτεθειμένη στον πλημμυρικό κίνδυνο.



Εικόνα 8. Διαφορά του τοπογραφικού υψομέτρου των προβλητών με την προβλεπόμενη ESL εξαιρουμένης της συνιστώσας της κυματικής ανύψωσης για το 2050 υπό τα σενάρια RCP4.5 (αριστερά) και RCP8.5 (δεξιά).



Εικόνα 9. Διαφορά του τοπογραφικού υψομέτρου των προβλητών με την προβλεπόμενη ESL εξαιρουμένης της συνιστώσας της κυματικής ανύψωσης για το 2100 υπό τα σενάρια RCP4.5 (αριστερά) και RCP8.5 (δεξιά).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι προβλήματα στη λειτουργία των λιμένων λόγω Ακραίας Θαλάσσιας Στάθμης μπορεί να προκύψουν ακόμα και αν τα λιμάνια δεν πλημμυρίσουν (δηλ. ακόμα και αν η θαλάσσια στάθμη δεν ξεπεράσει το ύψος της προβλήτας). Σύμφωνα με τις καθορισμένες προδιαγραφές ασφαλούς λειτουργίας λιμένων, η ελάχιστη συνιστώμενη απόσταση από το λεγόμενο "βύθισμα αέρα"—δηλαδή την κατακόρυφη απόσταση μεταξύ της υποδομής φόρτωσης/εκφόρτωσης και της μέγιστης στάθμης της θάλασσας υπό ακραίες συνθήκες—δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 1,5m, προκειμένου να αποτραπεί ο κίνδυνος υπερχειλίσης κατά τη διάρκεια των εμπορικών δραστηριοτήτων (Karditsa et al., 2025). Βάσει της εν λόγω προδιαγραφής, διαπιστώνεται ότι ακόμη και υπό τις παρούσες συνθήκες, το 97% των λιμένων παρουσιάζει προβλήματα μη ασφαλούς λειτουργίας κατά τη διάρκεια ακραίων φαινομένων, καθώς μόνον σε 24 λιμένες η υψομετρική διαφορά της προβλήτας υπερβαίνει το όριο των 1,5 μέτρων. Το



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



εύρημα αυτό αναδεικνύει την ανάγκη άμεσης ενίσχυσης της ανθεκτικότητας των λιμενικών υποδομών έναντι φαινομένων που αναμένεται να ενταθούν υπό τις συνθήκες της κλιματικής αλλαγής.

4.1.2

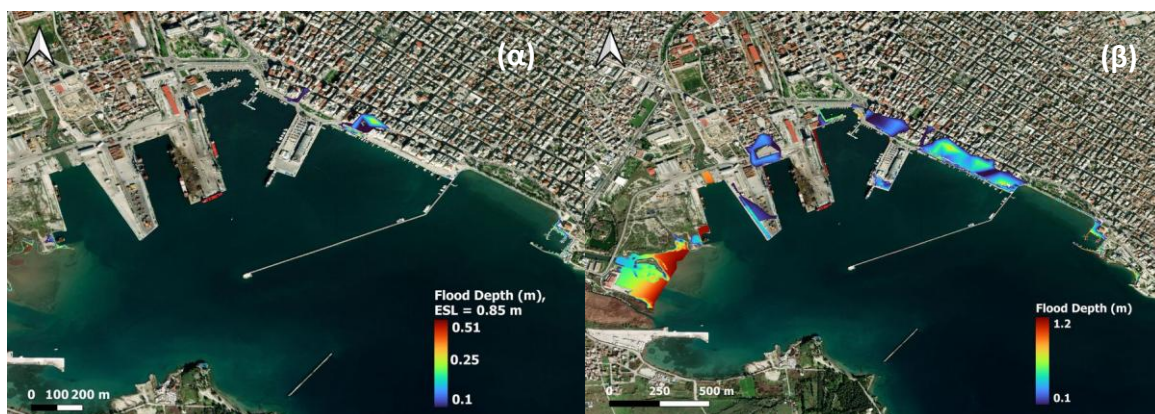
FP

Δυναμικές προσομοιώσεις LISFLOOD-

Παρακάτω παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα του πλημμυρικού μοντέλου LISFLOOD-FP για το απαισιόδοξο κλιματικό σενάριο για τα έτη 2050 και 2100 ξεχωριστά. Τα μέγιστα πλημμυρικά εύρη υπολογίζονται και συγκρίνονται με τα εμβαδά των λιμένων (βλ. Παραδοτέο 2.1) ενώ επιπρόσθετα εκτιμώνται οι επιπτώσεις από το πλημμυρικό επεισόδιο στους δρόμους που συνδέονται με το λιμάνι και στις γειτονικές κατοικημένες περιοχές.

Στο λιμάνι του Βόλου (Εικόνα 10α), στο συντηρητικό σενάριο δεν παρατηρείται πλημμύρα στις κύριες αποβάθρες του λιμανιού. Ωστόσο, τμήματα του παραλιακού δρόμου στο ανατολικό τμήμα του λιμανιού κατακλύζονται, με την πλημμύρα να επεκτείνεται έως και 105 m προς την ενδοχώρα, επηρεάζοντας συνολικά μια κατοικημένη περιοχή περίπου 10.000m².

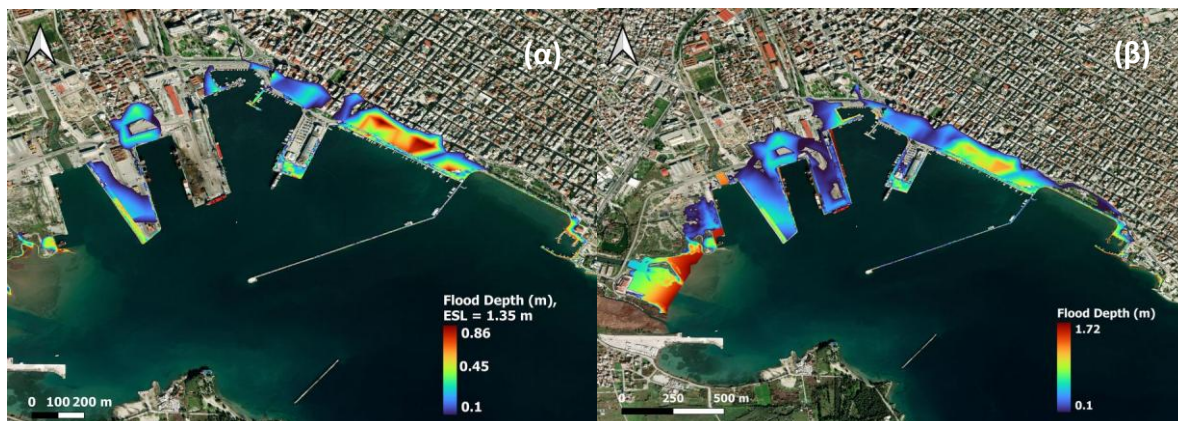
Η προσθήκη της κυματικής ανύψωσης (wave setup) στην προσομοίωση οδηγεί σε δραματική αύξηση της έκτασης της πλημμύρας στη μεγαλύτερη λιμενική περιοχή, με περισσότερα από 109.000 m² να κατακλύζονται και το βάθος της πλημμύρας να φτάνει έως και τα 70cm (Εικόνα 10β). Προβλέπεται η κατάκλιση τμημάτων των τριών κύριων αποβάθρων του λιμανιού, ενώ στο ανατολικό τμήμα η πλημμύρα εκτιμάται ότι θα εξαπλωθεί πάνω από 130m επιπλέον προς την ενδοχώρα, επηρεάζοντας κατοικίες, τουριστικές επιχειρήσεις, αλλά και σημαντικές υποδομές, όπως οι εγκαταστάσεις του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. Οι προβλέψεις γίνονται πιο δυσοίωνες για το έτος 2100 (Εικόνα 11α), όπου ήδη στο συντηρητικό σενάριο προβλέπεται κάλυψη μεγαλύτερης λιμενικής έκτασης σε σχέση με το 2050 και με μεγαλύτερα βάθη πλημμύρας στο πλέον ευάλωτο ανατολικό τμήμα του λιμένα. Στην περίπτωση που συμπεριληφθεί και η επίδραση των κυματισμών (Εικόνα 11β) ο λιμένας προβλέπεται να πλημμυρίσει σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90% της έκτασης του καθιστώντας αδύνατη την λειτουργία και θέτοντας σε κίνδυνο κρίσιμες υποδομές.



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



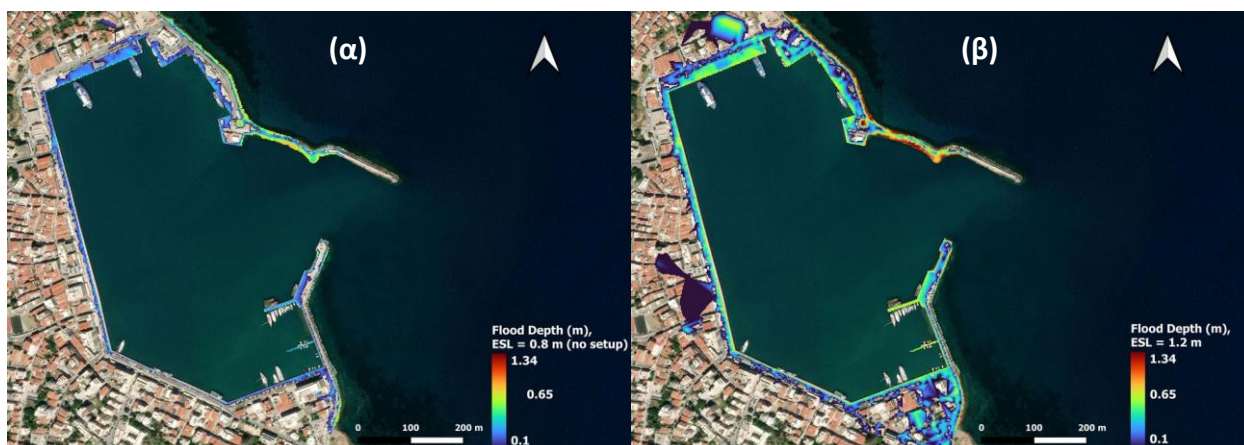
Εικόνα 10. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς (αριστερά) και με κυματική ανύψωση (δεξιά) για το 2050 για τον λιμένα του Βόλου υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.



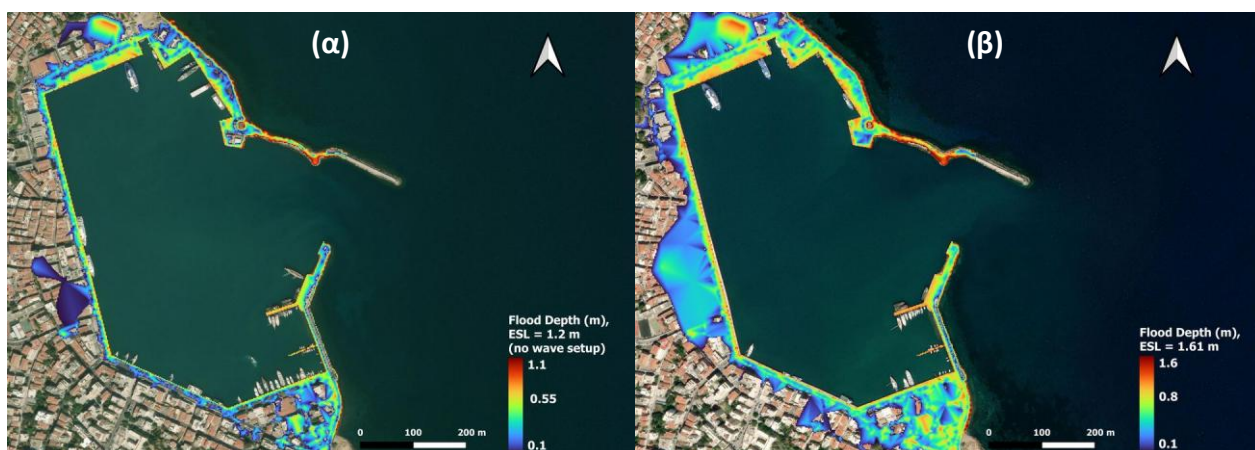
Εικόνα 11. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς (αριστερά) και με κυματική ανύψωση (δεξιά) για τον λιμένα του Βόλου για το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.

Στον λιμένα της Χίου, σύμφωνα με το συντηρητικό σενάριο όπου εξαιρείται η κυματική ανύψωση (**Εικόνα 12α**), για το έτος 2050 προβλέπεται κατάκλιση 3.800m^2 της κυρίως αποβάθρας του λιμένα στη βόρεια πλευρά που ισοδυναμεί σε περισσότερο από 60% της έκτασης του λιμένα. Επίσης προβλέπεται να πλημμυρίσει ο παράκτιος δρόμος περιμετρικά της λιμενολεκάνης με συνολική έκταση 20.600m^2 καθώς και το νότιο τμήμα το οποίο αποτελεί χώρο πρόσδεσης για σκάφη. Στην περίπτωση που οι κυματισμοί περάσουν και διαδοθούν εντός του λιμένα (**Εικόνα 12β**) αυξάνει σημαντικά το εύρος και τις επιπτώσεις της πλημμύρας καθώς περισσότερα 60.300m^2 θα πλημμυρίσουν συνολικά στην περιοχή συμπεριλαμβανομένης της συνολικής έκτασης ($\sim 7.000\text{m}^2$) του λιμένα με το πλημμυρικό βάθος στην κυρίως αποβάθρα να φτάνει τα 60cm. Οι κατοικίες πίσω από τον λιμένα προβλέπεται να επηρεαστούν επίσης με το πλημμυρικό εύρος να φτάνει περισσότερα από 100m προς την στεριά και το βάθος πλημμύρας να ξεπερνά τα 65cm σε ορισμένα σημεία. Στο νότιο τμήμα του λιμένα η πλημμύρα εισχωρεί πάνω από 150m, με κατάκλιση περίπου 15.000m^2 απειλώντας τις ιδιοκτησίες και κατοικίες με υλικές ζημιές. Επιπρόσθετα, ο παράκτιος δρόμος εμφανίζεται πλήρως πλημμυρισμένος με νερό επηρεάζοντας τις τουριστικές επιχειρήσεις που δραστηριοποιούνται κατά μήκος του. Παρόμοια φαίνεται η πλημμυρική πρόβλεψη και για την συντηρητική περίπτωση για το έτος 2100 (**Εικόνα 13**) ενώ οι προβλέψεις γίνονται πιο δυσσιώνες στην περίπτωση που περιληφθεί και η κυματική συνιστώσα καθώς το πλημμυρικό βάθος στον λιμένα αναμένεται να φτάσει ή και να ξεπεράσει το 1m. Επιπλέον, οι ροές του πλημμυρικού κύματος αναμένεται να εισχωρήσουν σε περισσότερα σημεία του αστικού ιστού της πόλης ιδιαίτερα στο τμήμα όπισθεν του κεντρικού παραλιακού δρόμου αλλά και στο νότιο τμήμα όπου προβλέπεται διπλασιασμός της πλημμυρισμένης έκτασης σε σχέση με το έτος 2050.





Εικόνα 12. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς (αριστερά) και με κυματική ανύψωση (δεξιά) για τον λιμένα της Χίου για το 2050 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.



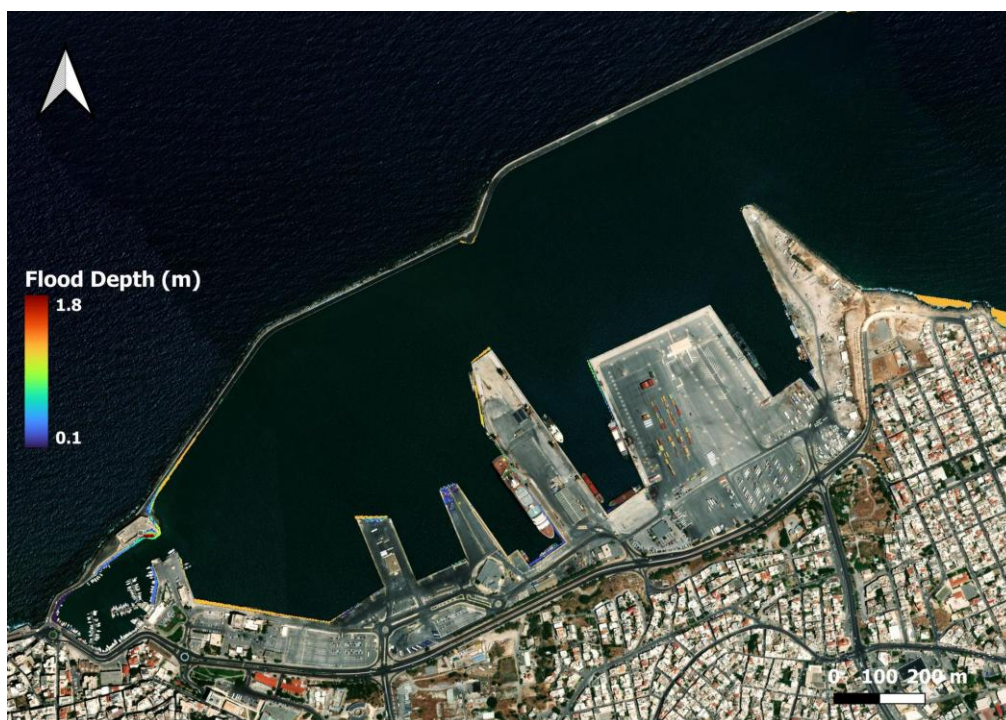
Εικόνα 13. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς (αριστερά) και με κυματική ανύψωση (δεξιά) για τον λιμένα της Χίου για το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.

Στο λιμάνι του Ηρακλείου, οι προσομοιώσεις και για τα δύο σενάρια για το έτος 2050 και η συντηρητική για το έτος 2100 δεν οδήγησαν σε πλημμύρα λόγω του επαρκούς ύψους των υφιστάμενων αποβαθρών και του κυματοθραύστη και ως εκ τούτου δεν δείχνονται. Ακόμη και για το έτος 2100 συμπεριλαμβάνοντας την κυματική ανύψωση οι επιπτώσεις από τις πλημμύρες αναμένεται να είναι περιορισμένες με αραιές πλημμύρες στις δύο κύριες αποβάθρες στη νότια πλευρά όπου φτάνουν τα επιβατηγά οχηματαγωγά πλοία και λιγότερο από 2.000m² πλημμυρισμένης περιοχής συνολικά (Εικόνα 14).



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»





Εικόνα 14. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας με κυματική ανύψωση για τον λιμένα του Ηρακλείου για το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.

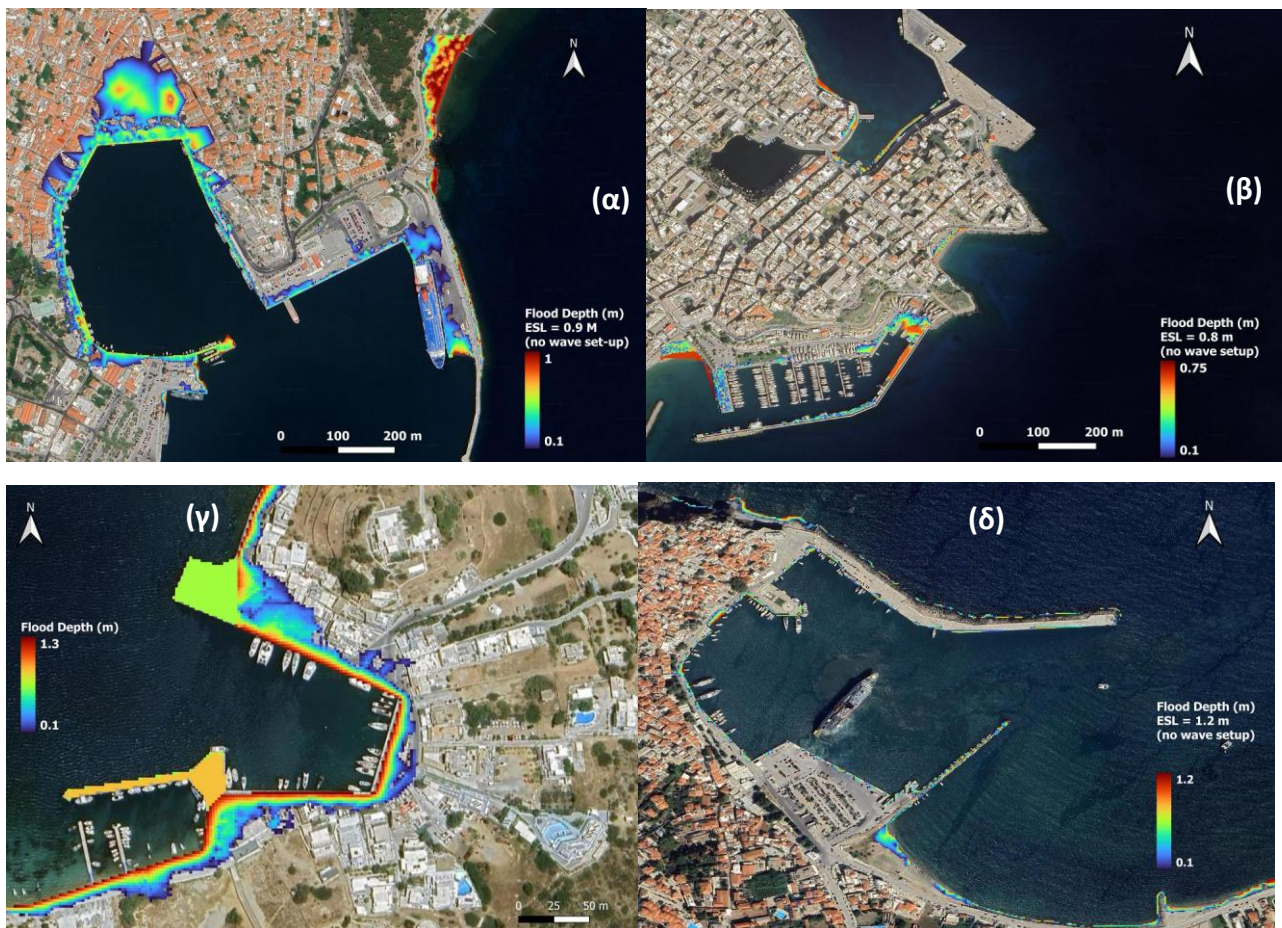
Στην συνέχεια παρατίθενται ορισμένες χαρακτηριστικές περιπτώσεις από τις δυναμικές προσομοιώσεις και για τους υπόλοιπους λιμένες (Εικόνα 15) για περιπτώσεις χωρίς την κυματική ανύψωση για ακραίο γεγονός με περίοδο επαναφοράς 100 έτη στο σενάριο RCP8.5. Οι πιο δυσμενείς προβλέψεις εμφανίζονται για τον εσωτερικό λιμένα Μυτιλήνης (Εικόνα 15α), όπου για το έτος 2050 υπό το απαισιόδοξο σενάριο, προβλέπεται ότι περίπου το ένα τέταρτο της έκτασης του λιμένα (~10.700m²) θα κατακλυστεί συμπεριλαμβανομένης και της κύριας αποβάθρας όπου σταθμεύουν τα επιβατηγά πλοία. Παράλληλα φαίνεται πως το αστικό κομμάτι πέριξ της λεκάνης του λιμένα είναι πολύ εκτεθειμένο στον πλημμυρικό κίνδυνο καθώς όλο το παράκτιο μέτωπο θα κατακλυστεί πλήρως. Στο βόρειο τμήμα η πλημμυρική εισχώρηση φαίνεται πως θα ξεπεράσει τα 150m εντός της κατοικημένης ζώνης με περισσότερα από 15.000m² πλημμύρας, στα δυτικά περισσότερο από 60m και στο νότιο τμήμα περισσότερο από 30m κατακλύζοντας μια έκταση μεγαλύτερη των 5.300m². Για το ίδιο έτος αναφοράς (2050), εκτεθειμένο στον πλημμυρικό κίνδυνο φαίνεται και το λιμάνι του Αγίου Νικολάου (Εικόνα 15β). Συγκεκριμένα, στο βόρειο τμήμα όπου βρίσκεται η αποβάθρα φορτοεκφόρτωσης των επιβατηγών πλοίων προβλέπεται κατάκλιση του μεγαλύτερου κομματιού με περίπου 2.800m² ενώ στην μαρίνα σκαφών στο νότιο τμήμα θα υπάρξει κατάκλιση πάνω από 80% της εσωτερικής αποβάθρας με το πλημμυρικό κύμα να εισχωρεί περισσότερο από 45m αλλά και της προβλήτας στην δυτική είσοδο της μαρίνας. Σημειώνεται ότι το 2024 έγιναν έργα κατασκευής παράκτιου τοίχου στον λιμένα, αλλά λόγω των υπαρχόντων κενών ο πλημμυρικός κίνδυνος δεν θα αντιμετωπισθεί.

Για το έτος 2100, ολέθρια εμφανίζονται τα αποτελέσματα για το λιμάνι της Ίου καθώς πάνω από το 90 % της έκτασης του θα πλημμυρίσει (Εικόνα 15γ). Το πλημμυρικό κύμα ειδικά στο βόρειο τμήμα φαίνεται ότι θα πλήξει και κάποιες κατοικίες πέριξ του λιμανιού καθώς θα φτάσει μέχρι και πάνω από 30m προς την στεριά.



Σημειώνεται πως λόγω έλλειψης τοπογραφικής πληροφορίας για τις προβλήτες εκατέρωθεν της εισόδου του λιμένα συμπληρώθηκαν υψόμετρα με την μέθοδο της γραμμικής παρεμβολής (extrapolation) με βάση τις τιμές υψόμετρου των γειτονικών κελιών του DEM του Κτηματολογίου, οπότε τα αποτελέσματα σε αυτά τα δύο τμήματα είναι περιορισμένης αξιοπιστίας (πράσινο και πορτοκαλί τμήμα στην Εικόνα 15γ). Τέλος ο λιμένας της Σκοπέλου εμφανίζεται πιο θωρακισμένος απέναντι στον πλημμυρικό κίνδυνο καθώς για το έτος 2100 προβλέπεται κατάκλιση μικρότερη του 1% της συνολικής επιφάνειας του λιμένα με σποραδικές εξάρσεις στην κεντρική αποβάθρα.

Τα πλήρη αποτελέσματα των προσομοιώσεων παρατίθενται στο Παράρτημα καθώς και στο διαδικτυακό χώρο του Συστήματος Υποστήριξης Λήψης Αποφάσεων (ΣΥΛΑ)/ Decision Support System (DSS) του έργου ResPorts (<https://resports-dss.stt.aegean.gr>). Σημειώνεται πως τα αποτελέσματα προσομοιώσεων που έδειξαν μηδενική πλημμύρα για κάποιον λιμένα δεν συμπεριλαμβάνονται στο παράρτημα για λόγους εξοικονόμησης χώρου.



Εικόνα 15. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για το 2050 (πάνω) και 2100 (κάτω) υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη. Εσωτερικός λιμένας Μυτιλήνης (πάνω αριστερά), Άγιος Νικόλαος (πάνω δεξιά), Ίος (κάτω αριστερά), Σκόπελος (κάτω δεξιά).

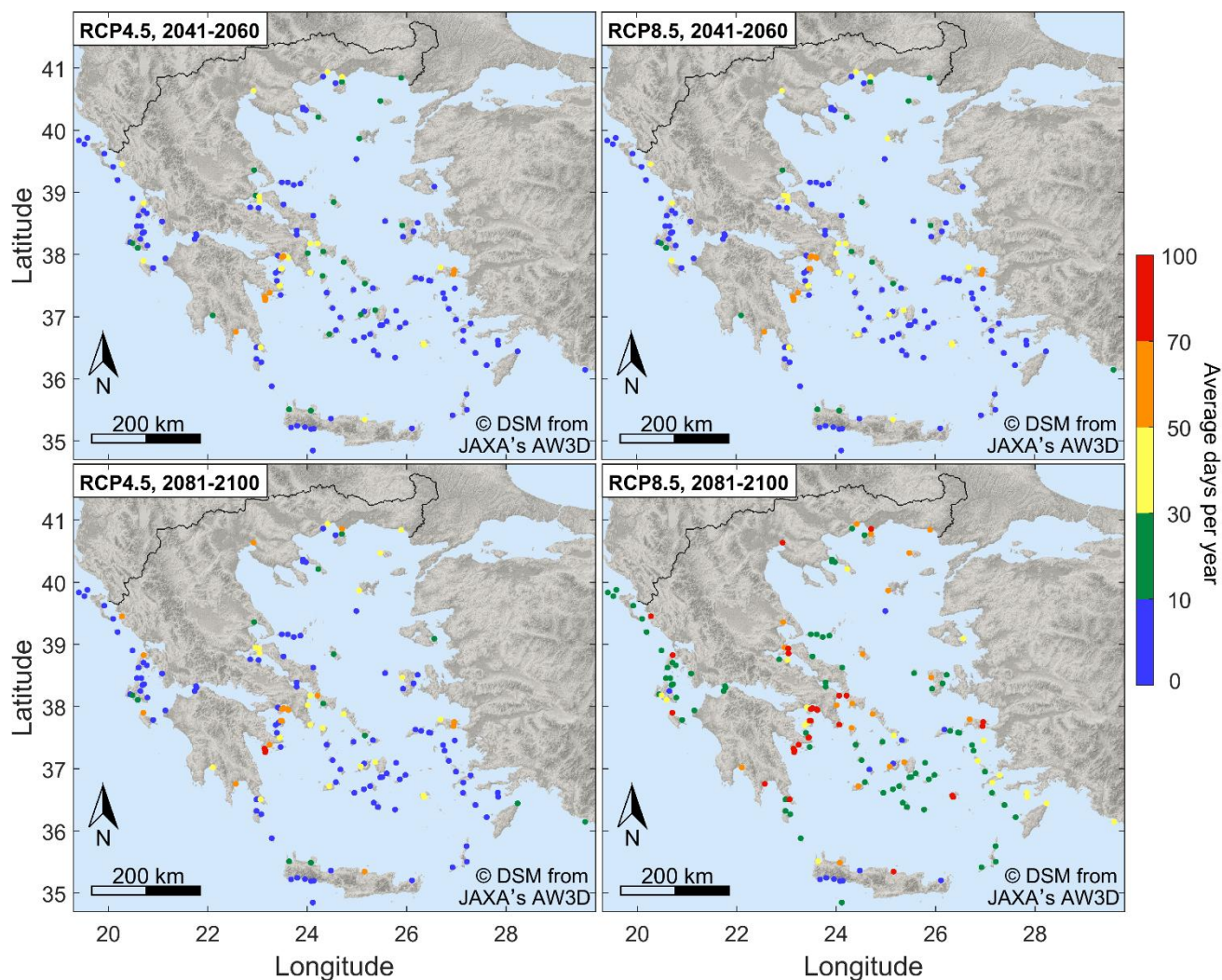


4.2 Κατώφλια λειτουργικότητας

4.2.1

Δείκτης θερμότητας (heat index)

Για την ιστορική περίοδο (1986-2005) εκτιμήθηκε ότι σε 15 λιμένες (10% του συνόλου), το προσωπικό που εργάζεται σε εξωτερικούς χώρους διέτρεχε **υψηλό** κίνδυνο (πιθανότητα θερμικής εξάντλησης ή θερμοπληξίας υπό παρατεταμένη έκθεση ή/και έντονη σωματική δραστηριότητα) για περισσότερες από 20 ημέρες ετησίως. Επιπλέον, σε 5 λιμένες εκτιμήθηκε **πολύ υψηλός** κίνδυνος (υψηλή πιθανότητα θερμοπληξίας λόγω συνεχούς έκθεσης) για περισσότερες από 5 ημέρες τον χρόνο.



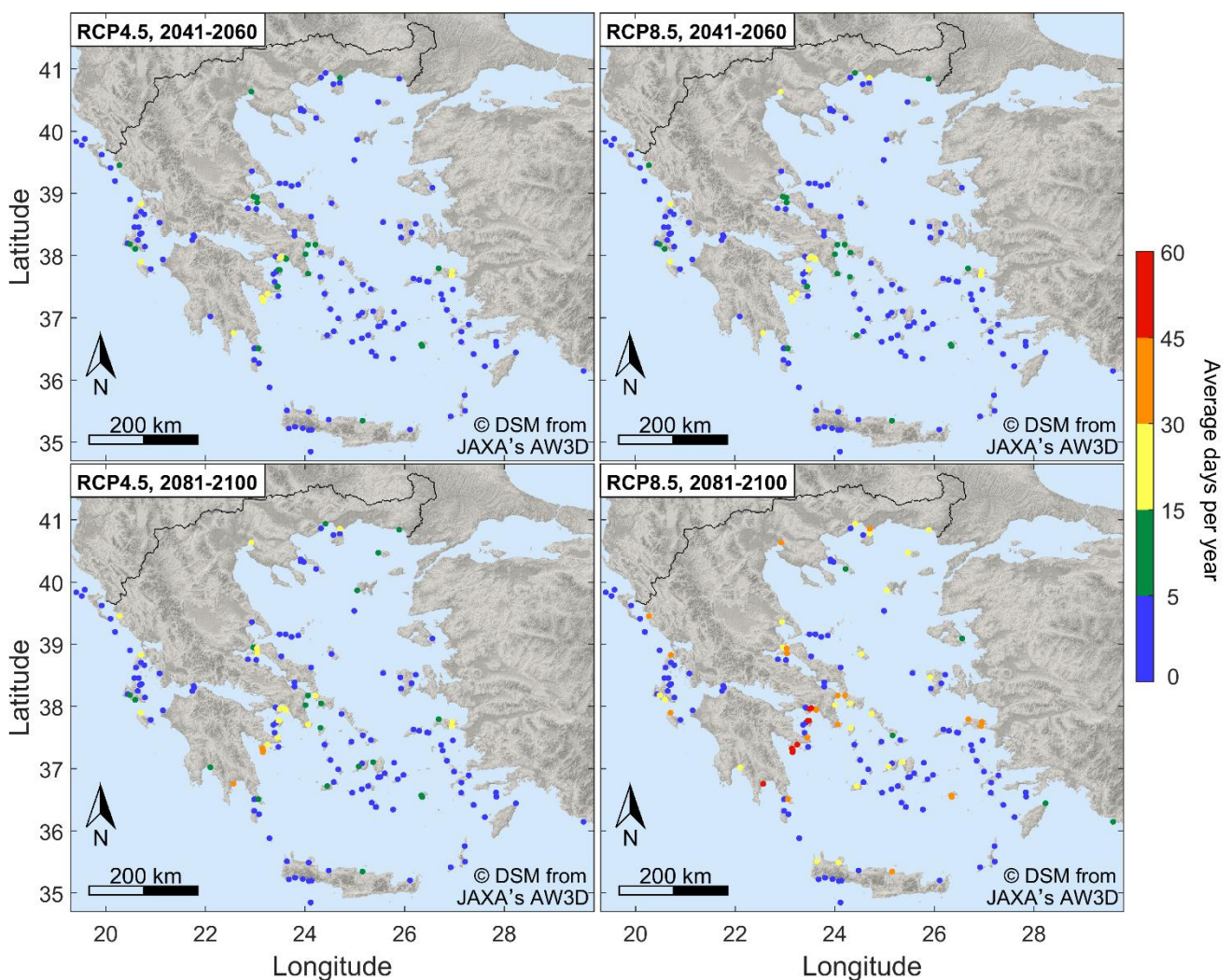
Εικόνα 16. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες ο δείκτης θερμότητας (Heat Index) υπερβαίνει τους 103°F (39.4°C), υποδηλώνοντας πολύ υψηλό κίνδυνο για τους εργαζόμενους σε εξωτερικούς χώρους.

Για τη μελλοντική περίοδο 2041–2060, ακόμα και υπό το μετριοπαθές κλιματικό σενάριο RCP4.5, προβλέπεται σημαντική αύξηση της έκθεσης σε θερμικό κίνδυνο. Συγκεκριμένα, προβλέπεται ότι σε 46



λιμένες (30%) και 7 λιμένες (5%) το υπαίθριο προσωπικό θα εκτίθεται σε **υψηλό** και **πολύ υψηλό κίνδυνο** αντίστοιχα για πάνω από 20 ημέρες κατ' έτος (Εικόνες 16 και 17). Αξιοσημείωτο είναι ότι σε 9 (6%) λιμένες ο αριθμός των ημερών έκθεσης σε **υψηλό** θερμικό κίνδυνο αναμένεται να υπερβαίνει τις 50 ανά έτος (Εικόνα 16).

Η κατάσταση εμφανίζεται ακόμη πιο επιβαρυνμένη υπό το απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5 για την ίδια περίοδο (2041–2060). Σύμφωνα με τις προβλέψεις, σε 50 λιμένες (32%) το υπαίθριο προσωπικό αναμένεται να εκτίθεται σε **υψηλό** θερμικό κίνδυνο για περισσότερες από 20 ημέρες ετησίως (Εικόνα 16), ενώ σε 39 λιμένες θα αντιμετωπίζει **πολύ υψηλό** θερμικό κίνδυνο (Εικόνα 17) για πάνω από 5 ημέρες κατ' έτος. Αξιοσημείωτο είναι ότι σε 13 λιμένες (8%) ο αριθμός των ημερών έκθεσης σε **υψηλό** θερμικό κίνδυνο αναμένεται να υπερβεί τις 50 ετησίως, γεγονός που υποδηλώνει έντονη επιβάρυνση των συνθηκών εργασίας και την ανάγκη για ενίσχυση μέτρων προστασίας της υγείας των εργαζομένων (Εικόνα 16).



Εικόνα 17. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες ο δείκτης θερμότητας (Heat Index) υπερβαίνει τους 115°F (46.1°C), υποδηλώνοντας πολύ υψηλό κίνδυνο για τους εργαζόμενους σε εξωτερικούς χώρους.



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



Για τη μελλοντική περίοδο 2081–2100, και σύμφωνα με τις προβλέψεις υπό το μετριοπαθές σενάριο RCP4.5, αναμένεται ότι σε 52 (34%) και 14 λιμένες (9%) το υπαίθριο εργατικό δυναμικό θα εκτίθεται σε **υψηλό** και **πολύ υψηλό** κίνδυνο αντίστοιχα για πάνω από 20 ημέρες κατ' έτος (**Εικόνες 16 και 17**). Επίσης σε 20 (13%) λιμένες ο αριθμός των ημερών έκθεσης σε **υψηλό** θερμικό κίνδυνο αναμένεται να υπερβαίνει τις 50 ανά έτος (**Εικόνα 16**).

Η εικόνα γίνεται ακόμη πιο ανησυχητική υπό το απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5 για την ίδια περίοδο (2081–2100). Οι προβλέψεις καταδεικνύουν ότι σε 93 λιμένες (60%) το υπαίθριο προσωπικό θα εκτίθεται σε **υψηλό** θερμικό κίνδυνο για περισσότερες από 20 ημέρες ανά έτος (**Εικόνα 16**), ενώ σε 56 λιμένες (36%) η έκθεση σε **πολύ υψηλό** θερμικό κίνδυνο θα ξεπερνά τις 5 ημέρες ετησίως (**Εικόνα 17**). Ιδιαίτερης σημασίας είναι το γεγονός ότι σε 48 (31%) και 16 (10%) λιμένες, ο αριθμός των ημερών έκθεσης σε **υψηλό** θερμικό κίνδυνο αναμένεται να υπερβαίνει τις 50 και 80 αντίστοιχα ετησίως (**Εικόνα 16**). Παράλληλα, σε 44 (28%) και 7 (5%) λιμένες προβλέπεται ότι η έκθεση σε **πολύ υψηλό** θερμικό κίνδυνο θα υπερβαίνει τις 20 και 50 ημέρες αντίστοιχα ανά έτος (**Εικόνα 17**). Οι εκτιμήσεις αυτές αναδεικνύουν τις σοβαρές και διαρκώς εντεινόμενες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις συνθήκες εργασίας και στην ασφάλεια των εργαζομένων σε λιμενικές εγκαταστάσεις, τονίζοντας την ανάγκη για στενευμένες προσαρμοστικές πολιτικές και ενίσχυση της ανθεκτικότητας των κρίσιμων υποδομών.

Πίνακας 2. Οι 15 λιμένες με τον υψηλότερο εκτιμώμενο αριθμό ημερών ετησίως κατά τις οποίες ο Heat Index θα ξεπεράσει τους 39.4°C, υποδηλώνοντας υψηλό κίνδυνο για τους εργαζόμενους σε εξωτερικούς χώρους.

Α/Α Λιμένα	Ονομασία Λιμένα	Heat index>39.4°C				
		Ιστορική περίοδος (1986-2005)	RCP4.5 (2041-2060)	RCP8.5 (2041-2060)	RCP4.5 (2081-2100)	RCP8.5 (2081-2100)
1	Πειραιάς	25,35	46,2	51,3	57,35	86,3
3	Αγία Μαρίνα Αίγινας	23,7	48,55	52,65	60,05	87,55
27	Βαθύ Σάμου	23,55	50,95	50,9	57,9	81,9
36	Γύθειο	32,4	58,7	59,9	66,45	92,45
45	Ερμιόνη	29,05	57,45	60,35	67,05	92,35
53	Θεσσαλονίκη	20,45	46,25	48	55,25	78,1
73	Κόστα Ερμιονίδας	34,65	61,3	63,45	70,75	97,65
106	Πέραμα	25,35	46,2	51,3	57,35	86,3
108	Παλούκια Σαλαμίνας	34,1	58,1	62,95	69,25	94,85
115	Πυθαγόρειο	23,55	50,95	50,9	57,9	81,9
118	Πόρτο Χέλι	34,65	61,3	63,45	70,75	97,65
123	Σαλαμίνα	34,1	58,1	62,95	69,25	94,85
133	Σουβάλα Αίγινας	23,7	48,55	52,65	60,05	87,55
136	Σπέτσες	34,65	61,3	63,45	70,75	97,65
137	Σχινάρι Ζακύνθου	21,85	45,05	47,35	54,05	76,9
Μέσος όρος		28,07	53,26	56,10	62,94	88,93



Οι 15 λιμένες με τον μεγαλύτερο εκτιμώμενο αριθμό ημερών ετησίως κατά τις οποίες ο δείκτης θερμότητας (Heat Index) υπερβαίνει το όριο των 39,4°C—κατώφλι που συνδέεται με υψηλό κίνδυνο για εργαζομένους σε εξωτερικούς χώρους—παρουσιάζονται στον [Πίνακα 2](#). Για τους συγκεκριμένους λιμένες, ο μέσος αριθμός ημερών ανά έτος κατά τις οποίες σημειώνεται υπέρβαση του ορίου λειτουργικότητας κυμαίνεται από περίπου 28 ημέρες κατά την ιστορική περίοδο, σε περίπου 89 ημέρες για την περίοδο 2081–2100, σύμφωνα με τις προβλέψεις του απαισιόδοξου σεναρίου RCP8.5.

Μεταξύ των εν λόγω λιμένων περιλαμβάνονται σημαντικές λιμενικές εγκαταστάσεις στρατηγικής σημασίας, όπως ο Πειραιάς, η Θεσσαλονίκη και το Πέραμα. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στους λιμένες Κόστα Ερμιονίδας, Παλούκια Σαλαμίνας, Πόρτο Χέλι, Σαλαμίνα και Σπέτσες, οι οποίοι εμφανίζουν τη συχνότερη υπέρβαση του λειτουργικού κατωφλίου, γεγονός που υποδεικνύει αυξημένες επιπτώσεις στην ασφάλεια και αποδοτικότητα των λιμενικών εργασιών.

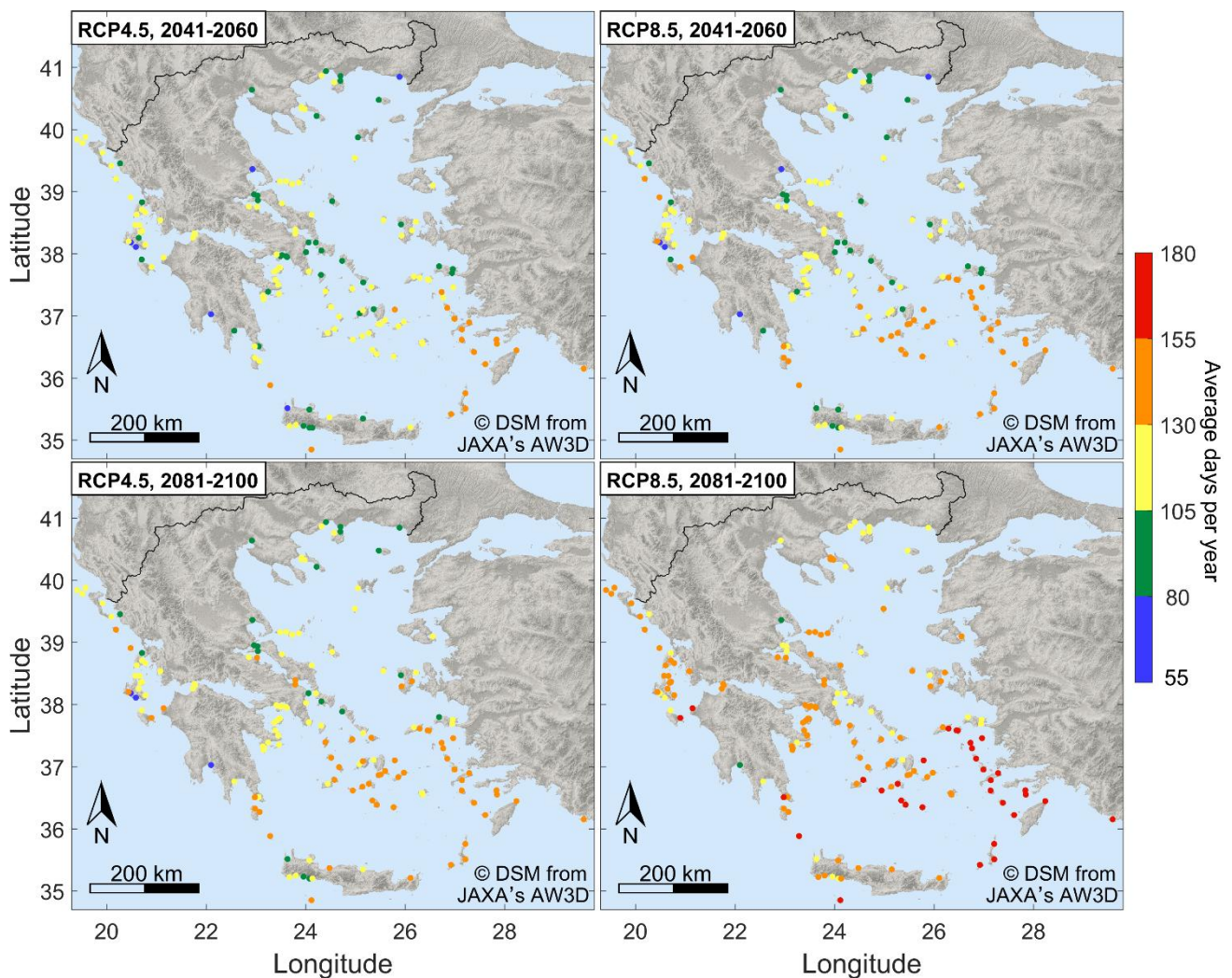
Ενδεικτικά, για τους τρεις λιμένες όπου πραγματοποιήθηκαν ζωντανά εργαστήρια για την περίοδο 2081–2100 υπό το σενάριο RCP8.5 προβλέπονται τα εξής:

- Στο Ηράκλειο, παρατηρείται η μεγαλύτερη θερμική επιβάρυνση, με 84,3 ημέρες ετησίως κατά τις οποίες ο Heat Index υπερβαίνει τους 39,4°C (υψηλός κίνδυνος) και 36,8 ημέρες όπου υπερβαίνει τους 46,1°C (πολύ υψηλός κίνδυνος).
- Ο λιμένας του Βόλου αναμένεται να παρουσιάζει 50,1 ημέρες υψηλού και 16,1 ημέρες πολύ υψηλού θερμικού κινδύνου ετησίως.
- Στη Χίο, αν και οι τιμές είναι χαμηλότερες, προβλέπονται 28 ημέρες υψηλού και 1,6 ημέρες πολύ υψηλού κινδύνου.

4.2.2 Θανατηφόρες συνθήκες θερμότητας

Για την ιστορική περίοδο (1986-2005) εκτιμήθηκε ότι σε 148 (95%) και 80 (52%) λιμένες, το όριο που διαχωρίζει τα θανατηφόρα από τα μη θανατηφόρα θερμικά συμβάντα για το προσωπικό που εργάζεται σε εξωτερικούς χώρους ξεπερνιέται για περισσότερες από 50 και 100 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα. Επιπλέον, σε 7 λιμένες εκτιμήθηκε υπέρβαση του ορίου υψηλής πιθανότητας θνησιμότητας για τουλάχιστον 1 ημέρα τον χρόνο.





Εικόνα 18. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες ξεπερνιέται το όριο που διαχωρίζει τα θανατηφόρα από τα μη θανατηφόρα θερμικά συμβάντα (μπλε γραμμή της Εικόνας 5).

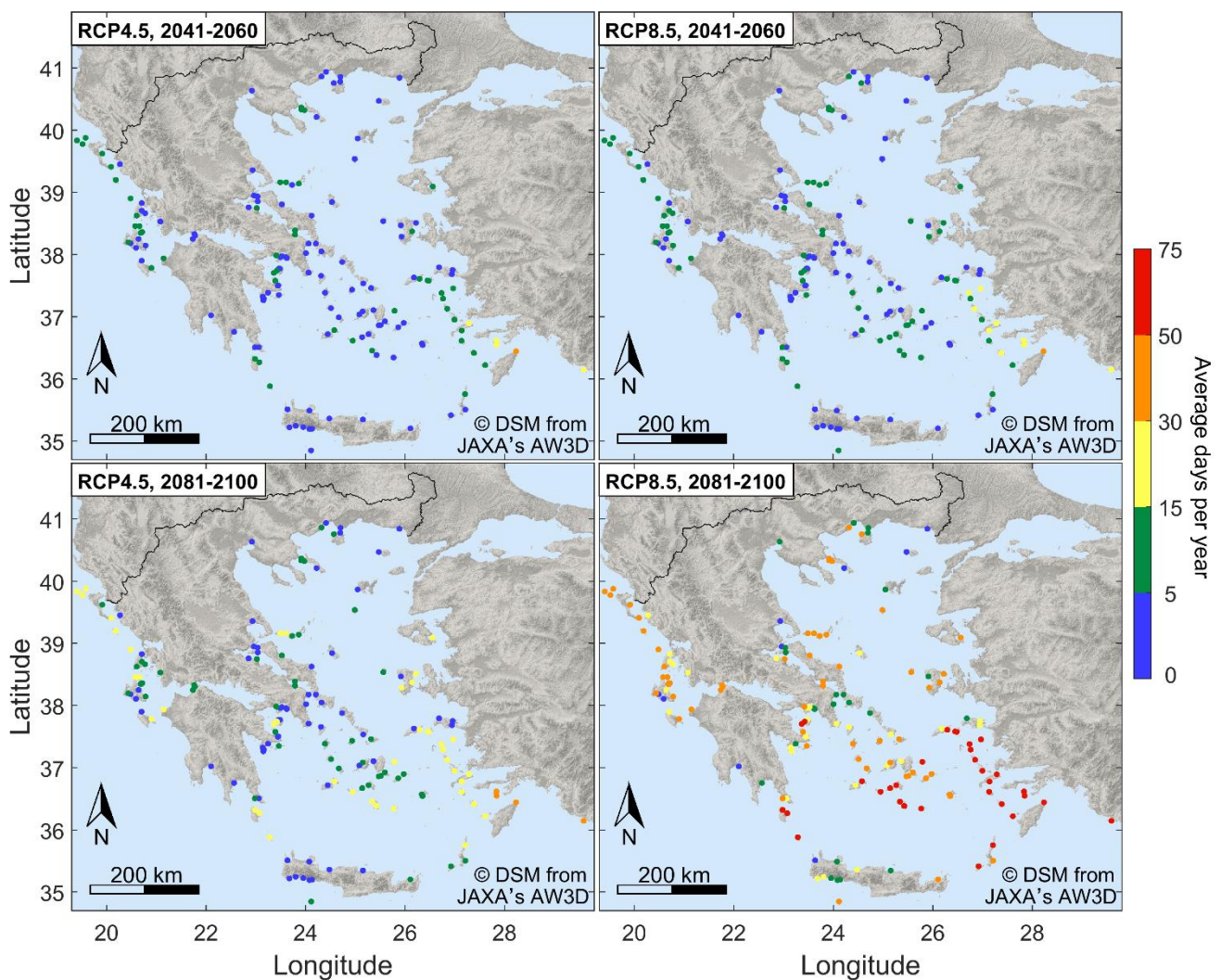
Για τη μελλοντική περίοδο 2041–2060, ακόμα και υπό το μετριοπαθές κλιματικό σενάριο RCP4.5, προβλέπεται σημαντική αύξηση των θανατηφόρων θερμικών συνθηκών. Συγκεκριμένα, σε όλους τους λιμένες (100%) και σε 117 λιμένες (75%) αναμένεται υπέρβαση του κρίσιμου ασφαλούς ορίου για περισσότερες από 50 και 100 ημέρες κατ’ έτος, αντίστοιχα (Εικόνα 18). Επιπρόσθετα, σε 57 (37%), 15 (10%) και 3 λιμένες προβλέπεται να σημειώνονται περισσότερες από 5, 10 και 20 ημέρες υψηλής πιθανότητας θνησιμότητας ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα 19).

Η κατάσταση επιδεινώνεται περαιτέρω υπό το απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5 για την ίδια περίοδο (2041–2060). Οι προβλέψεις δείχνουν ότι σε 127 λιμένες (82%) και 46 λιμένες (30%) το όριο ασφαλούς θερμικής έκθεσης θα υπερβαίνεται για πάνω από 100 και 130 ημέρες κατ’ έτος αντίστοιχα (Εικόνα 18). Παράλληλα, σε 79 (51%), 25 (16%) και 5 λιμένες αναμένεται υπέρβαση του ορίου υψηλής πιθανότητας θνησιμότητας για περισσότερες από 5, 10 και 20 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα 19).



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»





Εικόνα 19. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες η πιθανότητα θνησιμότητας υπερβαίνει το όριο του 95% (κόκκινη γραμμή της Εικόνας 5).

Για την περίοδο 2081–2100, και σύμφωνα με τις προβλέψεις υπό το μετριοπαθές σενάριο RCP4.5, αναμένεται ότι σε 139 (90%) και 56 (36%) λιμένες το όριο που διαχωρίζει τις ασφαλείς από τις θανατηφόρες συνθήκες θα ξεπερνιέται για περισσότερες από 100 και 130 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα 18). Επίσης σε 77 (50%) και 21 (14%) λιμένες ο αριθμός των ημερών υψηλής πιθανότητας θνησιμότητας αναμένεται να υπερβαίνει τις 10 και 20 αντίστοιχα ανά έτος (Εικόνα 19).

Η εικόνα γίνεται ακόμη πιο ανησυχητική υπό το απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5 για την ίδια περίοδο (2081–2100). Οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι σε 154 (99%) και 51 (33%) λιμένες το όριο που διαχωρίζει τις θανατηφόρες από τις μη θανατηφόρες συνθήκες θα ξεπερνιέται για περισσότερες από 100 και 150 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα 18). Ιδιαίτερα αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι σε 133 (86%), 110 (71%) και 32 λιμένες



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



(21%) αναμένεται υπέρβαση των 10, 20 και 50 ημερών ετησίως, αντίστοιχα, κατά τις οποίες εκτιμάται υψηλή πιθανότητα θνησιμότητας (Εικόνα 19).

Ο Πίνακας 3 παρουσιάζει τους 10 λιμένες με τον υψηλότερο προβλεπόμενο αριθμό ημερών ανά έτος, κατά τις οποίες υπερβαίνεται το κατώφλι υψηλής πιθανότητας θνησιμότητας. Πρόκειται για λιμένες σε νησιωτικές περιοχές με υψηλή σχετική υγρασία, η οποία αυξάνει το ανεκτό όριο θερμοκρασίας. Για αυτούς τους λιμένες, ο μέσος αριθμός ημερών ανά έτος με υπέρβαση του λειτουργικού κατωφλίου κυμαίνεται από περίπου 16 ημέρες για την περίοδο 2041–2060 υπό το μετριοπαθές σενάριο RCP4.5, έως περίπου 62 ημέρες για την περίοδο 2081–2100 σύμφωνα με το απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στον λιμένα της Ρόδου, καθώς καταγράφεται η συχνότερη υπέρβαση του λειτουργικού ορίου.

Πίνακας 3. Οι 10 λιμένες με τον υψηλότερο εκτιμώμενο αριθμό ημερών ετησίως κατά τις οποίες η πιθανότητα θνησιμότητας υπερβαίνει το όριο του 95%.

Α/Α Λιμένα	Ονομασία Λιμένα	Πιθανότητα θνησιμότητας υπερβαίνει το όριο του 95%			
		RCP4.5 (2041-2060)	RCP8.5 (2041-2060)	RCP4.5 (2081-2100)	RCP8.5 (2081-2100)
122	Ρόδος	30,3	34,2	43,25	74.1
89	Μεγίστη Καστελόριζου	22,6	26,3	34,05	66,95
109	Πανορμίτης (Σύμη)	17,85	21,7	30,8	63.25
139	Σύμη	17,85	21,7	30,8	63.25
76	Κώς	16,05	20,25	29,3	62.25
7	Αγαθονήσι	14,95	19,2	27,6	60.15
77	Λέρος (Λακκί)	14,4	18,15	28,05	60.5
24	Αρκιοί Δωδεκανήσου	12,95	16	26,25	59.25
67	Καρδάμaina Κω	12,75	16,5	26	57.55
141	Τήλος Δωδεκανήσου	12,4	15,45	26,8	61.65
Μέσος όρος		15.62	19,07	28,64	61,77

Παρακάτω παρουσιάζεται η αναλυτική περιγραφή των εκτιμήσεων για την περίοδο 2081–2100, βάσει του απαισιόδοξου σεναρίου κλιματικής αλλαγής RCP8.5, για έξι χαρακτηριστικούς λιμένες — τους τρεις μεγαλύτερους (Πειραιάς, Θεσσαλονίκη, Πέραμα) και τους τρεις λιμένες στους οποίους διεξήχθησαν ζωντανά εργαστήρια (Βόλος, Ηράκλειο, Χίος):

Οι προβλέψεις καταδεικνύουν τα κάτωθι:

- Στους τρεις μεγαλύτερους λιμένες (Πειραιάς, Θεσσαλονίκη, Πέραμα), το όριο μεταξύ θανατηφόρων και μη θανατηφόρων θερμικών συνθηκών αναμένεται να ξεπερνιέται για περισσότερες από 120 ημέρες ετησίως. Επίσης προβλέπεται έκθεση σε συνθήκες με $\geq 95\%$ πιθανότητα θνησιμότητας για περίπου 10,5 ημέρες ανά έτος — ποσοστό που δημιουργεί σοβαρές επιπτώσεις στη λειτουργικότητα και την ασφάλεια του προσωπικού.
- Ο λιμένας του Ηρακλείου, παρουσιάζει για 132 ημέρες ετησίως υπέρβαση του ασφαλούς θερμικού ορίου και για 7,5 ημέρες ανά έτος υπέρβαση του ορίου υψηλής πιθανότητας θνησιμότητας.



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



- Ο Βόλος, παρουσιάζει συγκριτικά μικρότερη έκθεση, με 104.7 ημέρες σε επικίνδυνες συνθήκες και μόλις 1,15 ημέρες με υψηλή πιθανότητα θνησιμότητας.
- Η περίπτωση της Χίου είναι πιο ανησυχητική: προβλέπεται έκθεση για 149,35 ημέρες ετησίως σε θερμικές συνθήκες άνω του κρίσιμου ορίου και 49,1 ημέρες ετησίως με $\geq 95\%$ πιθανότητα θνησιμότητας. Τα ευρήματα αυτά σχετίζονται πιθανώς με τη συνύπαρξη υψηλών θερμοκρασιών και σημαντικής σχετικής υγρασίας.

Οι παραπάνω εκτιμήσεις καταδεικνύουν σοβαρές επιπτώσεις στις συνθήκες εργασίας και στην ασφάλεια των εργαζομένων σε λιμενικές εγκαταστάσεις, αναδεικνύοντας την επιτακτική ανάγκη για προσαρμοστικά μέτρα και στρατηγικές διαχείρισης κινδύνου στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής.

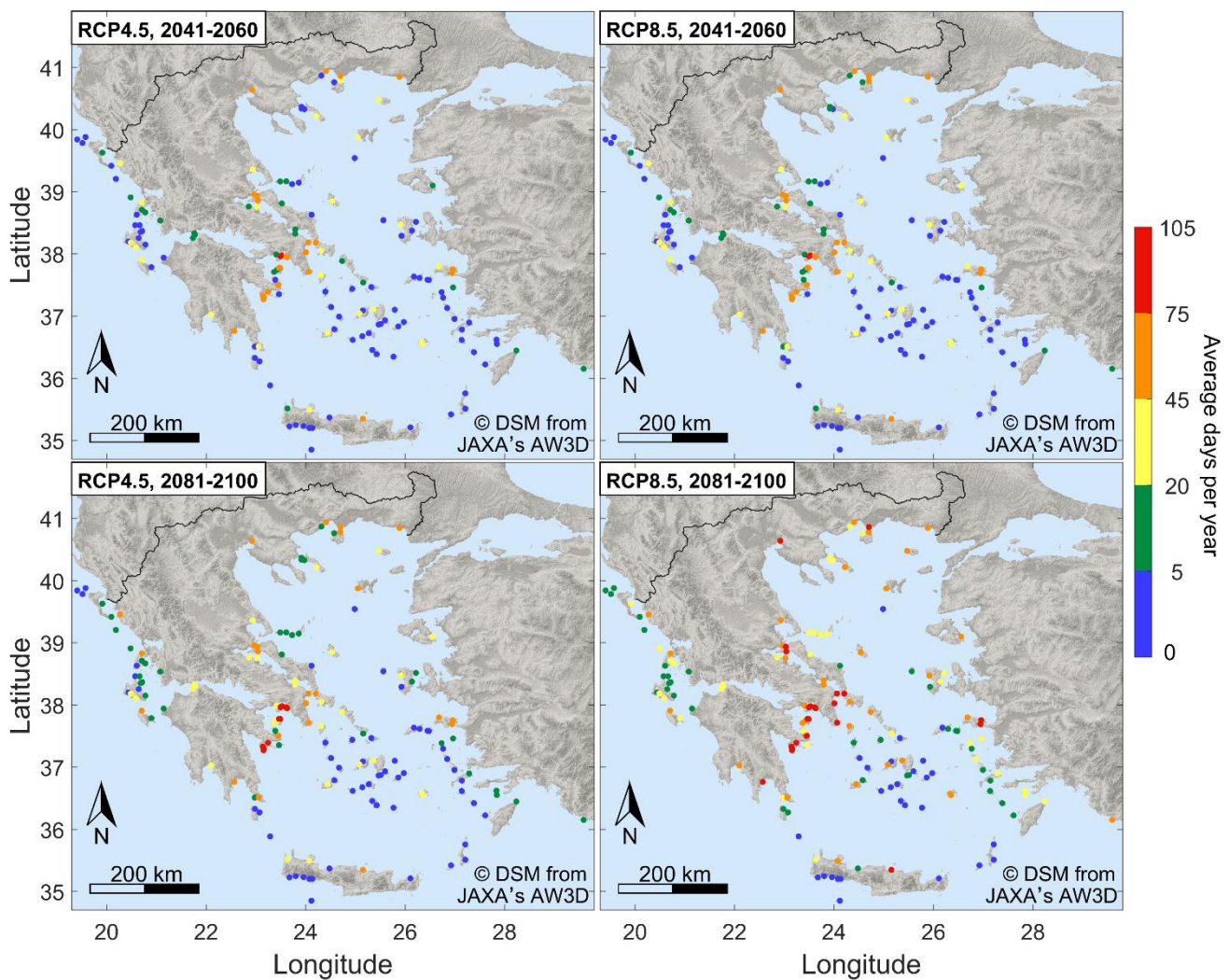
1.1.1 Επιβλαβείς επιπτώσεις ακραίων θερμοκρασιών στις μεταφορές

Για την ιστορική περίοδο (1986-2005) εκτιμάται ότι σε 40 (26%) και 27 (17%) λιμένες, το όριο των 32°C ξεπερνιόταν με πιθανόν επιβλαβές επιπτώσεις στις υποδομές ή/και στη λειτουργία τους για περισσότερες από 10 και 20 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα.

Για τη μελλοντική περίοδο 2041–2060, ακόμα και υπό το μετριοπαθές κλιματικό σενάριο RCP4.5, αυξάνεται σημαντικά ο αριθμός των ημερών που θα υπάρξουν πιθανόν επιβλαβές επιπτώσεις. Συγκεκριμένα, σε 51 (33%) και 23 (15%) αναμένεται υπέρβαση του ορίου των 32°C για περισσότερες από 20 και 50 ημέρες κατ' έτος, αντίστοιχα. Υπό το απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5 για την ίδια περίοδο (2041–2060), οι προβλέψεις δείχνουν ότι σε 53 (34%), 27 (17%) και 2 λιμένες το κρίσιμο όριο μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας θα υπερβαίνεται για πάνω από 20, 50 και 80 ημέρες κατ' έτος αντίστοιχα (Εικόνα 20).

Για την περίοδο 2081–2100, και σύμφωνα με τις προβλέψεις υπό το μετριοπαθές σενάριο RCP4.5, αναμένεται ότι σε 64 (41%), 30 (19%) και 4 λιμένες το κρίσιμο όριο των 32°C θα ξεπερνιέται για περισσότερες 20, 50 και 80 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα. Η εικόνα γίνεται ακόμη πιο ανησυχητική υπό το απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5 για την ίδια περίοδο (2081–2100). Οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι 93 (60%), 48 (31%) και 22 (14%) λιμένες θα υπάρξουν επιβλαβείς επιπτώσεις για περισσότερες από 20, 50 και 80 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα 20).





Εικόνα 20. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει τους 32°C.

Οι 15 λιμένες με τον μεγαλύτερο εκτιμώμενο αριθμό ημερών ετησίως κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει το όριο των 32°C παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Για τους συγκεκριμένους λιμένες, ο μέσος αριθμός ημερών ανά έτος κατά τις οποίες σημειώνεται υπέρβαση του ορίου λειτουργικότητας κυμαίνεται από περίπου 45 ημέρες κατά την ιστορική περίοδο, σε περίπου 95 ημέρες για την περίοδο 2081–2100, σύμφωνα με τις προβλέψεις του απαισιόδοξου σεναρίου RCP8.5.

Μεταξύ των εν λόγω λιμένων περιλαμβάνονται σημαντικές λιμενικές εγκαταστάσεις στρατηγικής σημασίας, όπως ο Πειραιάς, η Θεσσαλονίκη και το Πέραμα. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στους λιμένες Παλούκια Σαλαμίνας, Σαλαμίνα, Κόστα Ερμιονίδας, Πόρτο Χέλι και Σπέτσες, οι οποίοι εμφανίζουν τη συχνότερη υπέρβαση του λειτουργικού κατωφλίου, γεγονός που υποδεικνύει αυξημένες επιπτώσεις στις υποδομές ή/και στη λειτουργία των λιμενικών εγκαταστάσεων.



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



Πίνακας 4. Οι 15 λιμένες με τον υψηλότερο εκτιμώμενο αριθμό ημερών ετησίως κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει τους 32°C.

Α/Α Λιμένα	Ονομασία Λιμένα	Μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία $\geq 32^{\circ}\text{C}$				
		Ιστορική περίοδος (1986-2005)	RCP4.5 (2041-2060)	RCP8.5 (2041-2060)	RCP4.5 (2081-2100)	RCP8.5 (2081-2100)
108	Παλούκια Σαλαμίνας	54,45	75,9	80,05	84,65	103,75
123	Σαλαμίνα	54,45	75,9	80,05	84,65	103,75
73	Κόστα Ερμιόνιδας	49,3	70,15	74,25	78,75	97,9
118	Πόρτο Χέλι	49,3	70,15	74,25	78,75	97,9
136	Σπέτσες	49,3	70,15	74,25	78,75	97,9
1	Πειραιάς	46,4	70,05	74,05	80,25	98,8
106	Πέραμα	46,4	70,05	74,05	80,25	98,8
3	Αγία Μαρίνα Αίγινας	43,8	66,8	70,95	76,2	95,95
133	Σουβάλα Αίγινας	43,8	66,8	70,95	76,2	95,95
45	Ερμιόνη	43,6	67,25	71,2	75,45	92,5
36	Γύθειο	41,7	64,3	68,1	72,75	92,05
53	Θεσσαλονίκη	40,4	61,7	62,85	70,8	86,05
31	Γαλατάς Τροιζηνίας	37,2	59,6	63,2	70,05	88,15
117	Πόρος Τροιζηνίας	37,2	59,6	63,2	70,05	88,15
70	Κεραμωτή	35,6	62,1	62,55	68,05	81,7
Μέσος όρος		44,86	67,37	70,93	76,37	94,62

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα αποτελέσματα για τους τρεις λιμένες όπου διεξήχθησαν τα ζωντανά εργαστήρια. Για την περίοδο 2081–2100 υπό το σενάριο RCP8.5 προβλέπονται τα εξής:

- Στο Ηράκλειο, παρατηρείται η μεγαλύτερη θερμική επιβάρυνση, με 86 ημέρες ετησίως κατά τις οποίες η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία υπερβαίνει τους 32°C.
- Στο λιμένα του Βόλου, προβλέπεται υπέρβαση του κρίσιμου ορίου για 59 ημέρες ετησίως, γεγονός που συνιστά αυξημένο επιχειρησιακό κίνδυνο
- Στη Χίο, παρότι η επιβάρυνση είναι συγκριτικά χαμηλότερη, εκτιμώνται 31 ημέρες ετησίως με θερμοκρασίες άνω του κρίσιμου ορίου.

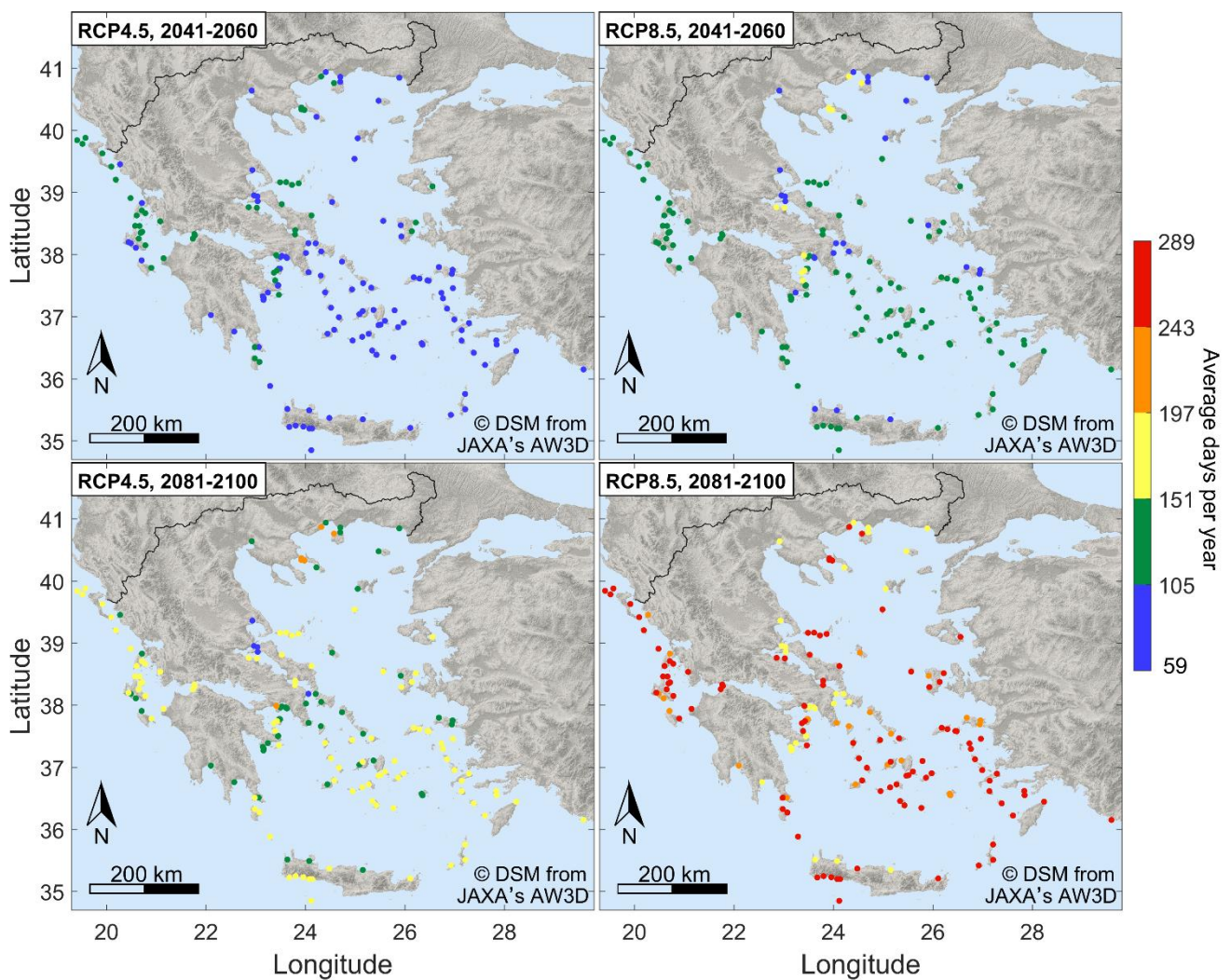
4.2.3 Αύξηση κόστους ενέργειας

Οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι η προβλεπόμενη αύξηση της θερμοκρασίας λόγω Κλιματικής Αλλαγής θα οδηγήσει σε σημαντική αύξηση του ενεργειακού κόστους για συστήματα εξαερισμού και ψύξης (HVAC).



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»





Εικόνα 21. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες το κόστος ενέργειας θα αυξηθεί κατά 10%.

Για την περίοδο 2041–2060, υπό το μετριοπαθές κλιματικό σενάριο RCP4.5, στο 100% και 35% (55) των λιμένων αναμένεται αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2 °C και συνεπαγόμενη αύξηση του ενεργειακού κόστους κατά 10% για περισσότερες από 55 και 100 ημέρες κατ’ έτος, αντίστοιχα (Εικόνα 21). Επίσης σε 143 (92%) και 39 (25%) λιμένες ο αριθμός των ημερών όπου το ενεργειακό κόστος θα αυξηθεί κατά 20% (λόγω αύξησης της θερμοκρασίας κατά 4°C) αναμένεται να υπερβεί τις 20 και 50 αντίστοιχα ανά έτος (Εικόνα 22).

Υπό το απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5 για την ίδια περίοδο (2041–2060), οι προβλέψεις δείχνουν ότι σε 141 (91%) και 12 (8%) λιμένες το ενεργειακό κόστος θα αυξηθεί κατά 10% για πάνω από 100 και 150 ημέρες κατ’ έτος αντίστοιχα (Εικόνα 21). Ενώ αύξηση του ενεργειακού κόστους κατά 20% αναμένεται στο 100%, 55% (85) και 29% (45) των λιμένων για περισσότερες από 20, 50 και 70 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα 22).

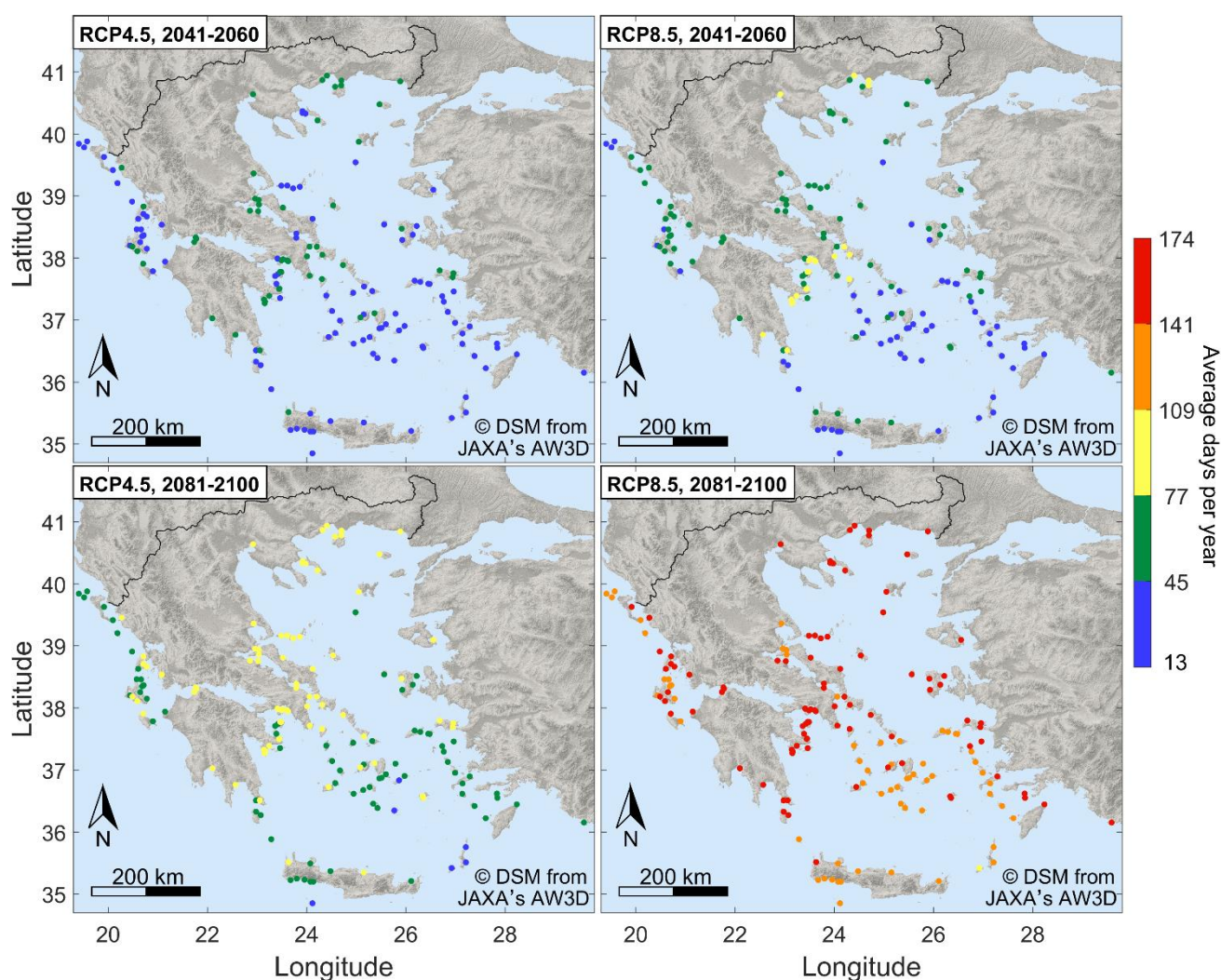


Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



Για την περίοδο 2081–2100, και σύμφωνα με το μετριοπαθές σενάριο RCP4.5, αναμένεται ότι σε 153 (99%), 102 (66%) και 5 λιμένες το κόστος για εξαερισμό και ψύξης θα αυξηθεί κατά 10% για περισσότερες από 100, 150 και 200 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα 21). Αύξηση του κόστους κατά 20% αναμένεται στο 100%, 88% (136) και 57% (88) των λιμένων για περισσότερες από 20, 50 και 70 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα 22).

Η εικόνα γίνεται ακόμη πιο ανησυχητική υπό το απαισιόδοξο σενάριο RCP8.5 για την ίδια περίοδο (2081–2100). Οι εκτιμήσεις δείχνουν ότι στο 100%, 77% (119) και 45% (70) των λιμένων το κόστος για εξαερισμό και ψύξη θα αυξηθεί κατά 10% για περισσότερες από 150, 200 και 270 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα 21). Αύξηση του κόστους κατά 20% αναμένεται σε 100%, 22% (34) και 3% (4) των λιμένων για περισσότερες από 100, 150 και 170 ημέρες ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα 22).



Εικόνα 22. Μέσος ετήσιος αριθμός ημερών κατά τις οποίες το κόστος ενέργειας θα αυξηθεί κατά 20%.



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



Οι 10 λιμένες με τον μεγαλύτερο εκτιμώμενο αριθμό ημερών ετησίως κατά τις οποίες το κόστος για εξαερισμό και ψύξη θα αυξηθεί κατά 10% παρουσιάζονται στον **Πίνακα 5**. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στους λιμένες Ελευθερές και Πρίνος Θάσου, οι οποίοι εμφανίζουν τη συχνότερη υπέρβαση του λειτουργικού κατωφλίου.

Πίνακας 5. Οι 10 λιμένες με τον υψηλότερο εκτιμώμενο αριθμό ημερών ετησίως κατά τις οποίες το κόστος ενέργειας θα αυξηθεί κατά 10%

Α/Α Λιμένα	Ονομασία Λιμένα	Αύξηση θερμοκρασίας κατά 2 °C (σε σχέση με την περίοδο 1986-2005) και του ενεργειακού κόστους κατά 10%			
		RCP4.5 (2041-2060)	RCP8.5 (2041-2060)	RCP4.5 (2081-2100)	RCP8.5 (2081-2100)
42	Ελευθερές	129,5	164,2	213,1	286,65
114	Πρίνος Θάσου	128,75	164,4	213,35	287,7
17	Αμμουλιανή (Νησίς)	122,05	160,05	204,15	282,5
143	Τρυπητή Χαλκιδικής	122,05	160,05	204,15	282,5
84	Μέγαρα	120,85	161,85	198,1	287,65
145	Φανερωμένη Σαλαμίνας	120,85	161,85	198,1	287,65
2	Αίγινα	118	159,05	195,7	285,25
12	Αγκίστρι Αίγινας	118	159,05	195,7	285,25
102	Ουρανούπολη Χαλκιδικής	120,8	154,6	202,3	276,5
92	Μυτιλήνη	120,5	146,0	194,9	276,8
Μέσος όρος		122,14	159,11	201,96	283,85

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα αποτελέσματα για τους τρεις λιμένες όπου διεξήχθησαν τα ζωντανά εργαστήρια. Για την περίοδο 2081–2100 υπό το σενάριο RCP8.5 προβλέπονται τα εξής:

- Βόλος: Αναμένεται αύξηση ενεργειακού κόστους 10% και 20% για περισσότερες από 160 και 134 ημέρες/έτος αντίστοιχα.
- Ηράκλειο: Για 188 ημέρες/έτος προβλέπεται αύξηση του κόστους για εξαερισμό και ψύξης κατά 10% και για 138 ημέρες προβλέπεται αύξηση κατά 20%.
- Χίος: Παρουσιάζει τη μεγαλύτερη επιβάρυνση, με 273 ημέρες/έτος όπου το ενεργειακό κόστος είναι αυξημένο κατά 10% και 149 ημέρες όπου η αύξηση είναι 20%.



5 Συμπεράσματα- Συστάσεις

Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης καταδεικνύουν την αυξημένη έκθεση των ελληνικών λιμένων στον πλημμυρικό κίνδυνο υπό ακραία θαλάσσια συμβάντα, ειδικά στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής. Για το 2050, υπό το σενάριο RCP8.5, τουλάχιστον 34 λιμένες προβλέπεται να βρίσκονται χαμηλότερα από την αναμενόμενη στάθμη της θάλασσας, ενώ για το 2100 ο αριθμός αυτός αυξάνεται δραματικά σε 93 λιμένες. Ιδιαίτερη ανησυχία προκαλούν οι προβλέψεις για λιμένες όπως της **Μυτιλήνης**, της **Ίου** και του **Βόλου**, όπου η έκταση της πλημμύρας μπορεί να ξεπεράσει το 90% της συνολικής επιφάνειας του λιμανιού, επηρεάζοντας κρίσιμες υποδομές και κατοικημένες περιοχές.

Η παρούσα μελέτη ανέδειξε τη σημασία της χρήσης Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (DEM) υψηλής χωρικής ανάλυσης για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στους ελληνικούς λιμένες. Τα DEM υψηλής ανάλυσης επιτρέπουν ακριβέστερες εκτιμήσεις των πλημμυρικών επιπτώσεων, καθώς αποτυπώνουν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια τη γεωμορφολογία των λιμενικών υποδομών και των παράκτιων περιοχών. **Η ακρίβεια στην τοπογραφική αποτύπωση είναι κρίσιμη, καθώς ακόμα και μικρές διαφοροποιήσεις στο υψόμετρο των προβλητών ή των υποδομών μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων και να οδηγήσουν είτε σε υποεκτίμηση είτε σε υπερεκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου.**

Η χρήση δυναμικών προσομοιώσεων πλημμυρών με αριθμητικά μοντέλα, όπως το LISFLOOD-FP, αποδείχθηκε καθοριστική για μια πιο ακριβή αξιολόγηση του κινδύνου σε λιμενικές εγκαταστάσεις. Οι στατικές μέθοδοι εκτίμησης, αν και χρήσιμες για αρχικές εκτιμήσεις, δεν μπορούν να αποδώσουν την πολυπλοκότητα της πλημμυρικής διαδικασίας και τη χωρική και χρονική εξέλιξη του φαινομένου. Οι δυναμικές προσομοιώσεις επιτρέπουν την εκτίμηση των πραγματικών πλημμυρικών συνθηκών, λαμβάνοντας υπόψη την αλληλεπίδραση των θαλάσσιων διεργασιών με την τοπογραφία και τις υποδομές, και προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για την ανάπτυξη στρατηγικών προσαρμογής και προστασίας.

Οι προβλέψεις που παρουσιάζονται στη μελέτη είναι συντηρητικές, καθώς έχουν βασιστεί αποκλειστικά στα ακραία ύψη της θαλάσσιας στάθμης (Extreme Sea Levels), χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τη συνιστώσα της κυματικής ανύψωσης (wave setup). Αυτό συνεπάγεται ότι σε πραγματικές συνθήκες καταιγίδων, η έκταση και το βάθος των πλημμυρών ενδέχεται να είναι μεγαλύτερα από τις εκτιμήσεις, ειδικά σε λιμένες όπου η διάχυση της κυματικής ενέργειας από τα κυματοφράγματα και τους μόλους είναι περιορισμένη. **Τα ευρήματα δείχνουν ότι οι ελληνικοί λιμένες, ιδιαίτερα αυτοί με χαμηλές προβλήτες και περιορισμένα μέτρα προστασίας, είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι σε πλημμύρες υπό συνθήκες ακραίων καιρικών φαινομένων, ενώ οι κίνδυνοι αυτοί αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά στο μέλλον λόγω της ανόδου της μέσης στάθμης της θάλασσας.**

Συνολικά, τα αποτελέσματα αυτά καθιστούν σαφή την **ανάγκη για λήψη μέτρων προσαρμογής στις λιμενικές υποδομές, όπως η αύξηση του υψομέτρου των προβλητών, η ενίσχυση των κυματοθραυστών και η εφαρμογή συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για ακραία καιρικά φαινόμενα.** Με την κλιματική αλλαγή να επιταχύνει την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και την ένταση των ακραίων καταιγίδων, η προστασία των ελληνικών λιμανιών αποτελεί κρίσιμη προτεραιότητα για τη διατήρηση της ασφάλειας και της λειτουργικότητας τους στο μέλλον.



Με βάση τη μελέτη για τα κατώφλια λειτουργικότητας, διαπιστώνεται ότι η κλιματική αλλαγή επιδρά πολλαπλά και με αυξανόμενη ένταση στις λιμενικές εγκαταστάσεις, επηρεάζοντας άμεσα τόσο τις συνθήκες εργασίας όσο και τη λειτουργική επάρκεια των υποδομών. Οι προβλέψεις για τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 καταδεικνύουν σημαντική αύξηση των ημερών ανά έτος κατά τις οποίες το υπαίθριο προσωπικό εκτίθεται σε **υψηλό ή πολύ υψηλό** θερμικό κίνδυνο, ενώ παράλληλα αυξάνεται δραστικά και ο αριθμός των ημερών με πιθανότητα θνησιμότητας λόγω θερμοπληξίας. Επιπλέον, **το ποσοστό των λιμένων όπου η μέγιστη θερμοκρασία υπερβαίνει το κρίσιμο όριο των 32°C αυξάνεται σημαντικά, με αυξημένο κίνδυνο για βλάβες στο δίκτυο μεταφορών, καθυστερήσεις και μειωμένη επιχειρησιακή ασφάλεια**. Παράλληλα, **το ενεργειακό κόστος για συστήματα ψύξης και εξαερισμού (HVAC) εκτιμάται ότι θα αυξηθεί δραματικά**. Συνολικά, τα αποτελέσματα τεκμηριώνουν την επείγουσα ανάγκη για στοχευμένο σχεδιασμό και υλοποίηση προσαρμοστικών πολιτικών, ενίσχυση της ανθεκτικότητας των υποδομών, καθώς και προστασία της υγείας και ασφάλειας των εργαζομένων στους λιμένες της χώρας στο πλαίσιο ενός επιδεινούμενου θερμικού περιβάλλοντος.

5.1.1

καύσιμα

Μέτρα προσαρμογής για συνθήκες

Τα προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης των heatwaves χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: υποδομής (infrastructure based και λειτουργικά (operational based):

Μέτρα για την υποδομή

- **Ανθεκτικά δομικά υλικά:** Χρήση υλικών που αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες για κατασκευές όπως αποβάθρες, αποθήκες και εξοπλισμό. Αυτό μειώνει τη φθορά και την ανάγκη για συχνές επισκευές.
- **Πράσινες οροφές και σκίαση:** Εγκατάσταση πράσινων οροφών ή δέντρων γύρω από τις εγκαταστάσεις, που βοηθούν στη μείωση της θερμοκρασίας μέσω φυσικού δροσισμού και σκίασης.
- **Ανακλαστικές επιφάνειες:** Εφαρμογή υλικών υψηλής αντανάκλασης σε δρόμους, αποβάθρες και πάρκινγκ, ώστε να μειώνεται η απορρόφηση της θερμότητας.
- **Βελτιστοποίηση του ηλεκτρικού δικτύου:** Αναβάθμιση των συστημάτων ψύξης και των κρίσιμων εγκαταστάσεων για να εξασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία σε περιόδους υψηλών θερμοκρασιών.

Μέτρα για τη λειτουργικότητα

- **Ρύθμιση ωραρίου εργασίας:** Προσαρμογή των ωραρίων εργασίας ώστε οι πιο απαιτητικές δραστηριότητες να πραγματοποιούνται τις ώρες με χαμηλότερες θερμοκρασίες (π.χ. νωρίς το πρωί ή αργά το απόγευμα).
- **Διαλείμματα και προστατευμένοι χώροι για τους εργαζόμενους:** Εξασφάλιση ότι οι εργαζόμενοι έχουν πρόσβαση σε κλιματιζόμενους ή δροσισμένους χώρους για τακτικά διαλείμματα, μειώνοντας τον κίνδυνο θερμικού stress.



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



- **Χρήση IoT (Internet of Things) και αισθητήρων θερμοκρασίας:** Εγκατάσταση συστημάτων παρακολούθησης για την έγκαιρη ανίχνευση και ειδοποίηση για αυξημένες θερμοκρασίες, επιτρέποντας την άμεση λήψη μέτρων.
- **Ψεκασμός επιφανειών:** Εφαρμογή μεθόδων ψεκασμού νερού σε κρίσιμες υποδομές (όπως αποβάθρες και εξωτερικούς χώρους) για μείωση της θερμοκρασίας μέσω εξάτμισης.
- **Εναλλακτικές τεχνολογίες και καύσιμα:** Ενθάρρυνση της χρήσης ηλεκτροκίνητων ή άλλων χαμηλών εκπομπών οχημάτων για τις μεταφορές εντός του λιμένα, μειώνοντας τη θερμότητα που παράγεται από παραδοσιακούς κινητήρες.

Επιπρόσθετα των ανωτέρω προτείνονται ως συμπληρωματικές δράσεις οι εξής:

- **Ολιστικός λιμενικός σχεδιασμός:** Ο σχεδιασμός των λιμενικών υποδομών να λαμβάνει υπόψη τις προβλεπόμενες κλιματικές μεταβολές, ενσωματώνοντας μέτρα ανθεκτικότητας κατά τις θερμοκρασιακές αυξήσεις.
- **Εκπαίδευση και ευαισθητοποίηση:** Εκπαίδευση του προσωπικού σχετικά με τους κινδύνους των heatwaves και τις βέλτιστες πρακτικές για την αντιμετώπισή τους.
- **Συνεργασία με μετεωρολογικές υπηρεσίες:** Αξιοποίηση προγνωστικών δεδομένων και συνεργασία με τοπικές και εθνικές μετεωρολογικές αρχές για έγκαιρες προειδοποιήσεις και σχεδιασμό αντιμέτρων.



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



6 Βιβλιογραφία

- Asariotis R.A., Monioudi I.N., Mohos Naray V., Velegrakis A.F., Vousdoukas M.I., Mentaschi L., Feyen L., 2024. Climate change and seaports: hazards, impacts and policies and legislation for adaptation. *Anthropocene coasts* 7, 14. <https://doi.org/10.1007/s44218-024-00047-9>
- Asariotis R (2020) Climate change and adaptation for coastal transport infrastructure: A sustainable development challenge for SIDS in the Caribbean and beyond. In: Wang Y (ed) *Coastal and Marine Environments*, 2nd edn. CRC Press, Boca Raton, pp 253–264
- Bates, Paul D., De Roo, A.P.J., 2000. A simple raster-based model for flood inundation simulation. *J. Hydrology* 236, 54-77 [doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00278-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00278-X)
- Bates, P., Dawson, R., Hall, J., Horritt, W., Nicholls, R., Wicks, J., Hassan, M., 2005. Simplified two-dimensional numerical modelling of coastal flooding and example applications. *Coast. Eng.* 52 (9), 793-810. doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.06.001
- Becker, A., Inoue, S., Fischer, M. *et al.* Climate change impacts on international seaports: knowledge, perceptions, and planning efforts among port administrators. *Climatic Change* 110, 5–29 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0043-7>
- Becker A, Ng AKY, McEvoy D, Mullett J (2018) Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains. *WIREs Climate Change* 9:e508. <https://doi.org/10.1002/wcc.508>
- Bove, G., Becker, A., Sweeney, B., Vousdoukas, M., Kulp, S., 2020. A method for regional estimation of climate change exposure of coastal infrastructure: Case of USVI and the influence of digital elevation models on assessments. *Science of the Total Environment* 710 (2020) 136-162 doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136162
- Camus P, Tomás A, Díaz-Hernández G, Rodríguez B, Izaguirre C, Losada IJ (2019) Probabilistic assessment of port operation downtimes under climate change. *Coast Eng* 147:12–24. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2019.01.007>
- Chrisafinos, D., Kavvadas, I., 2016. Quality assessment of the new backgrounds LSO25. Paper presented at the 14th National Conference on Chartography of the Greek Scientific Association of Chartography ‘The Chartography in a changing world’, Thessaloniki (in Greek)
- Christodoulou, A., & Demirel, H. (2018). Impacts of climate change on transport. *A Focus on Airports, Seaports and Inland Waterways*. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/378464>
- Dasgupta, S., et al., 2021, ‘Effects of climate change on combined labour productivity and supply: an empirical, multi-model study’, *The Lancet Planetary Health* 5(7), pp. e455—e465 (DOI: 10.1016/S2542-5196(21)00170-4). [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00170-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00170-4)



Dawson, R., Sayers, P., Hall, J., Hassan, M., Bates, P., 2005. Efficient broad scale coastal flood risk assessment. In: McKee Smith, J. (Ed.), Coastal Engineering 2004: Proceedings of the 29th International Conference, Lisbon, Portugal 19-24th September 2004. World Scientific, New Jersey, ISBN: 981-256-298-2, pp. 3061– 3073.

EEA (2024) European Environment Agency, *European climate risk assessment*, Publications Office of the European Union, 2024, <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/european-climate-risk-assessment>

Eurofound, 2017, *Sixth European Working Conditions Survey — Overview report (2017 update)*, Publications Office of the European Union, Luxembourg <https://www.eurofound.europa.eu/en/publications/2016/sixth-european-working-conditions-survey-overview-report>

Folkman D, Gharehgozli A, Mileski J, Galvao CB (2021) Port resiliency and the effects of hurricanes on port operations. *Int J Adv Ops Manage* 13:409–430. <https://doi.org/10.1504/IJAOM.2021.120779>

Gallien, T.W., Sanders, B.F., Flick, R.E., 2014. Urban coastal flood prediction: integrating wave overtopping, flood defences and drainage. *Coast. Eng.* 91, 18e28

Giardino A, Nederhoff K, Voudoukas M (2018) Coastal hazard risk assessment for small islands: assessing the impact of climate change and disaster reduction measures on Ebeye (Marshall Islands). *Reg Environ Change* 18:2237–2248. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1353-3>

Gu B, Liu J. 2025. A systematic review of resilience in the maritime transport, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 28:3, 257-278, <https://doi.org/10.1080/13675567.2023.2165051>

Hanson S, Nicholls R, Ranger N, Hallegatte S, Corfee-Morlot J, Herweijer C, Chateau J (2011) A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Clim Change* 104:89–111. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9977-4>

Hanson SE, Nicholls RJ (2020) Demand for Ports to 2050: Climate Policy, Growing Trade and the Impacts of Sea-Level Rise. *Earths Future* 8:e2020EF001543. <https://doi.org/10.1029/2020EF001543>

Hervouet, Jean-Michel, 2000. TELEMAC modelling system: an overview. *Hydrol. Process.* 14, 2209e2210

IPCC *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.; Core Writing Team, Lee, H., Romero, J., Eds.; Geneva, Switzerland, 2023;*

Izaguirre C, Losada IJ, Camus P, Vigh JL, Stenek V (2021) Climate change risk to global port operations. *Nat Clim Chang* 11:14–20. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00937-z>

Jacobs, J.M., et al. (2018). Ch. 12: Transportation. In: *Impacts, risks, and adaptation in the United States: Fourth national climate assessment, volume II*. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, p. 499 <https://nca2018.globalchange.gov/chapter/12/>



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



- Kantha, L.H., Clayson, C.A., 2000. Numerical Models of Oceans and Oceanic Processes. Academic Press, USA
- Karditsa A, Roumpis E., Markozanes F., Lesioti S., Monioudi I., Poulos S., Hatzaki M. and Vaggelas G. (2025) The Impact of Sea Level Rise on the Port of Heraklio: Operational Risk Assessment and Economic Implications, *Technical Annals*.
- Kostopoulou, E.; Giannakopoulos, C. Projected Changes in Extreme Wet and Dry Conditions in Greece. *Climate* 2023, 11, 49. <https://doi.org/10.3390/cli11030049>
- Le Gal, M., Fernandez-Montblanc, T., Montez, J., Souto Ceccon, P., E., Enrico, D., Gastal, V., Delbour, S., Ciavola, P., 2022. A flood map catalogue for integration into a European flood awareness system (ECFAS). EGU22, 24th EGU General Assembly, 23-27 May, 2022, Vienna. doi:10.5194/egusphere-egu22-9832
- Liban, C. B., et al. (2023). Ch. 13: Transportation. *Fifth National Climate Assessment*. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, p. 13-8. <https://nca2018.globalchange.gov/chapter/12/>
- Makris, C., Mallios, Z., Androulidakis, Y., Krestenitis, Y., 2023. CoastFLOOD: A high resolution model for the simulation of coastal inundation due to storm surges. *Hydrology* 2023, 10, 103. www.mdpi.com/2306-5338/10/5/103
- Martínez-Solanas, È., López-Ruiz, M., Wellenius, G. A., Gasparrini, A., Sunyer, J., Benavides, F. G., & Basagaña, X. (2018). Evaluation of the impact of ambient temperatures on occupational injuries in Spain. *Environmental health perspectives*, 126(6), 067002. <https://doi.org/10.1289/EHP2590>
- Monioudi, I. N., Asariotis, R., Becker, A., Bhat, C., Dowding-Gooden, D., Esteban, M., ... & Witkop, R. (2018). Climate change impacts on critical international transportation assets of Caribbean Small Island Developing States (SIDS): the case of Jamaica and Saint Lucia. *Regional Environmental Change*, 18, 2211-2225. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1360-4>
- Mora, C., Dousset, B., Caldwell, I. et al. Global risk of deadly heat. *Nature Clim Change* 7, 501–506 (2017). <https://doi.org/10.1038/nclimate3322>
- Moreno E (2023) Panama Canal water levels at historic lows, restrictions to remain. Reuters. <https://www.reuters.com/world/americas/panama-canal-water-levels-historic-lows-restrictions-remain-2023-09-06/>
- Notteboom, T., Pallis, A., & Rodrigue, J. P. (2022). *Port economics, management and policy*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429318184>
- Nybo, L., 2021, *Heat-Shield: Final report for each industrial sector* https://www.heat-shield.eu/files/ugd/441f54_da74daf748864d84a83de7e06995f2b6.pdf



Rossouw M, Theron A (2012) Investigation of potential climate change impacts on ports and maritime operations around the southern African coast. In: Asariotis R, Benamara .H (eds) Maritime Transport and the Climate Change Challenge. Routledge/Earthscan, London and New York, pp 286–304

Sánchez-Arcilla A, Sierra JP, Brown S, Casas-Prat M, Nicholls RJ, Lionello P, Conte D (2016) A review of potential physical impacts on harbours in the Mediterranean Sea under climate change. Reg Environ Change 16:2471–2484. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0972-9>

Seenath, A., Wilson, M., Miller, K., 2016. Hydrodynamic versus GIS modelling for coastal flood vulnerability assessment: Which is better for guiding coastal management? Ocean & Coastal Management 120 (2016) 99–109 doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.11.019

Toimil, A., Losada, I. J., Camus, P., and Díaz-Simal, P. (2017). Managing coastal erosion under climate change at the regional scale. *Coastal Engineering* 128, 106–122. doi: 10.1016/j.coastaleng.2017.08.004

UNECE (2014) Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks. United Nations Publications, New York and Geneva. https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp5/publications/climate_change_2014.pdf. Accessed 18 Jan 2025

UNECE (2014) Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks. United Nations Publications, New York and Geneva. https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp5/publications/climate_change_2014.pdf. Accessed 18 Jan 2025

UNECE (2015) Transport for Sustainable Development: The case of Inland transport. Transport Trends and Economics Series, ECE/TRANS/251. United Nations Publications, New York and Geneva. https://unece.org/DAM/trans/publications/Transport_for_Sustainable_Development_UNECE_2015.pdf

UNECE (2020) Bowyer, P., Hänsel, S., Smalley, E., Velegrakis, A., Dagan, M., & Wyrowski, L. (2020). *Climate change impacts and adaptation for transport networks and nodes* (No. ECE/TRANS/283).

UNCTAD (2020). *Climate Change Impacts and Adaptation for Coastal Transport Infrastructure: A Compilation of Policies and Practices*. UN.

van Daalen, K. R., et al., 2022, 'The 2022 Europe report of the Lancet Countdown on health and climate change: towards a climate resilient future', *The Lancet Public Health* 7(11), pp. e942—e965 [DOI: 10.1016/S2468-2667\(22\)00197-9](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(22)00197-9)

Vousdoukas M., Voukouvalas, E., Mentaschi L., Dottori, F., Giardino, A., Bouziotas, D., Bianchi, A., Salamon, P., Feyen, L., 2016. Developments in large-scale coastal flood hazard mapping. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 16, 1841–1853 [doi:10.5194/nhess-16-1841-2016](https://doi.org/10.5194/nhess-16-1841-2016)

Vousdoukas, M. I., Mentaschi, L., Voukouvalas, E., Verlaan, M., and Feyen, L. (2017). Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts. *Earth's Future* 5, 304–323. doi: 10.1002/2016EF000505



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



Vousdoukas MI, Mentaschi L, Voukouvalas E, Verlaan M, Jevrejeva S, Jackson LP, Feyen L (2018) Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. Nat Commun 9:2360. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04692-w>

Zanis, P.; Georgoulas, A.K.; Velikou, K.; Akritidis, D.; Kalisoras, A.; Melas, D. Future Projections of Precipitation Extremes for Greece Based on an Ensemble of High-Resolution Regional Climate Model Simulations. Atmosphere 2024, 15, 601. <https://doi.org/10.3390/atmos15050601>

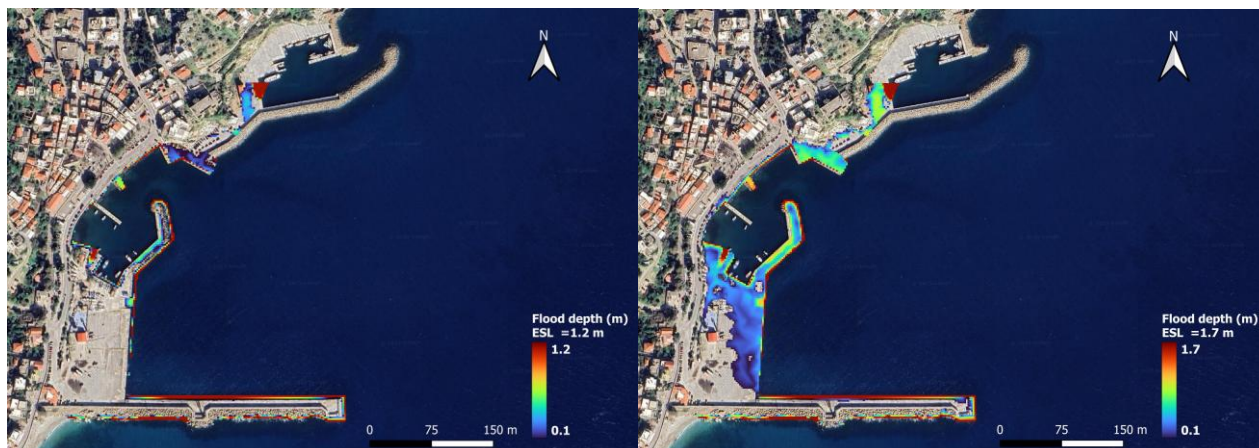


Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



7 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Αποτελέσματα Δυναμικών Προσομοιώσεων Πλημμύρας Λιμένων



Εικόνα Π-1. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για τον λιμένα του Αγίου Κήρυκου για το 2050 και το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.

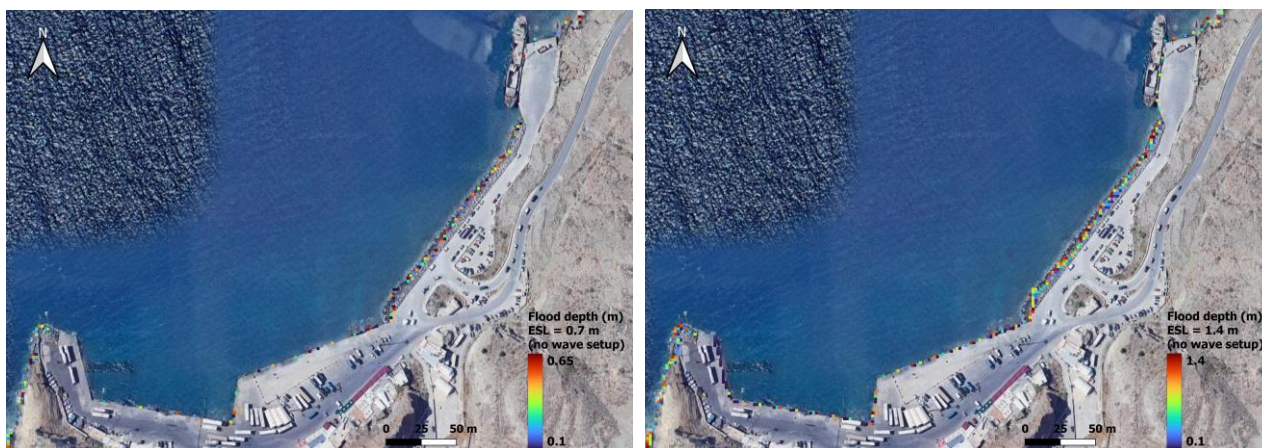


Εικόνα Π-2. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για τον λιμένα του Αγίου Νικολάου για το 2050 και το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.

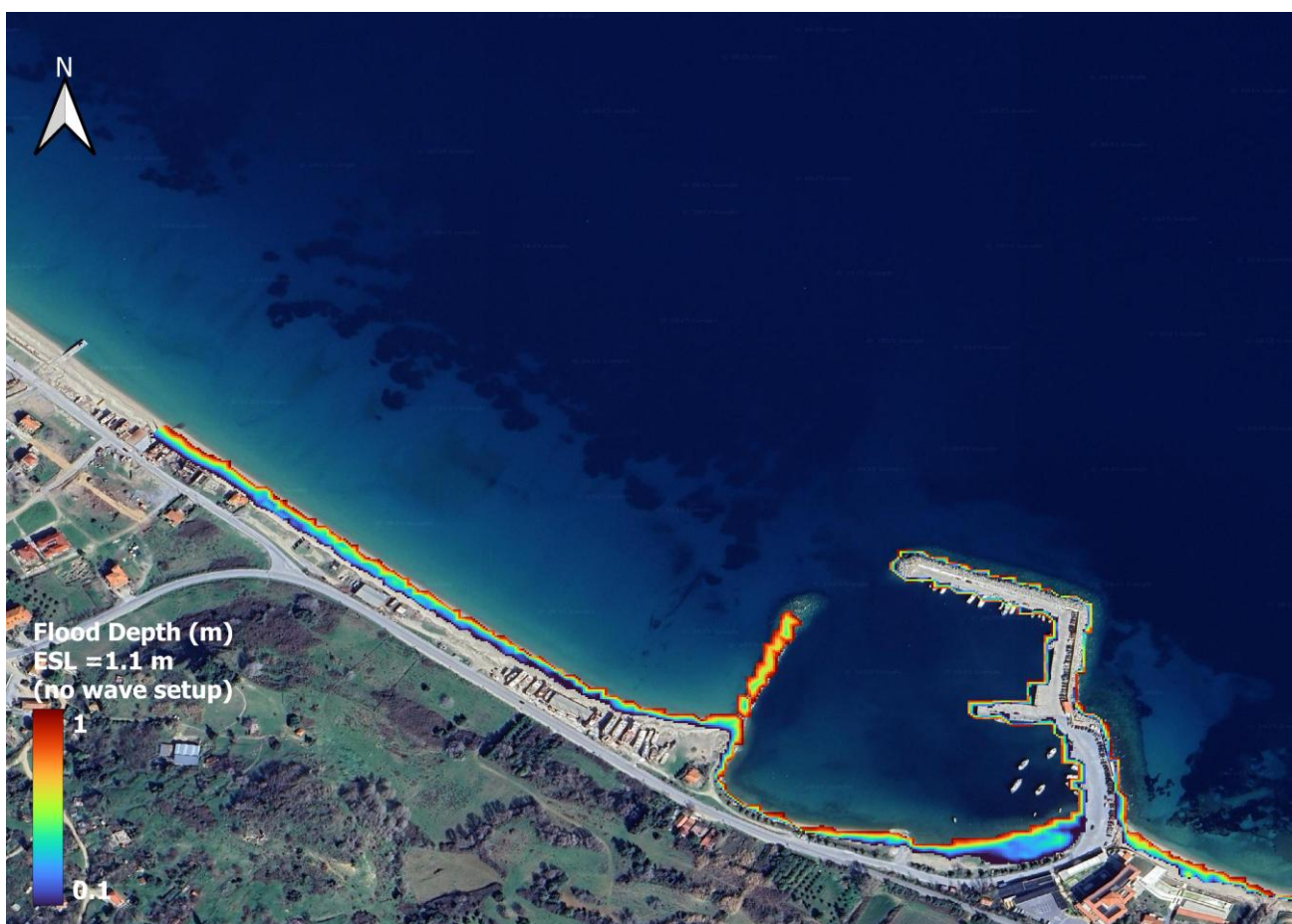


Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»





Εικόνα Π-3. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για τον λιμένα του Αθηρίου (Σαντορίνη) για το 2050 και το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.

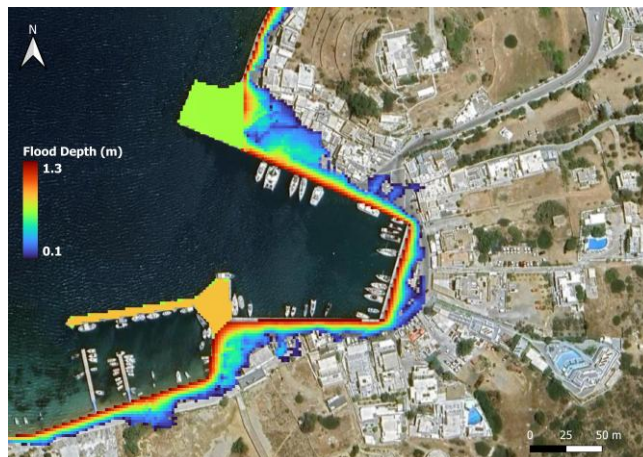


Εικόνα Π-4. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για τον λιμένα της Ιερισσού για το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη. Σημειώνεται πως πραγματοποιήθηκε προσομοίωση πλημμύρας και για το 2050 αλλά έδειξε μηδενική έκθεση στον πλημμυρικό κίνδυνο ως εκ τούτου δεν συμπεριλαμβάνεται στο παράρτημα.

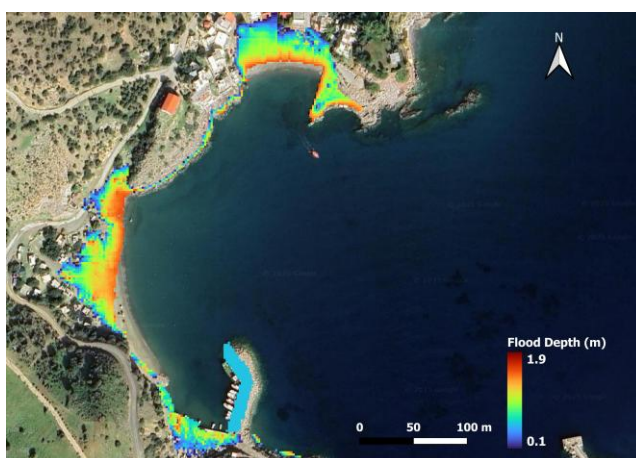
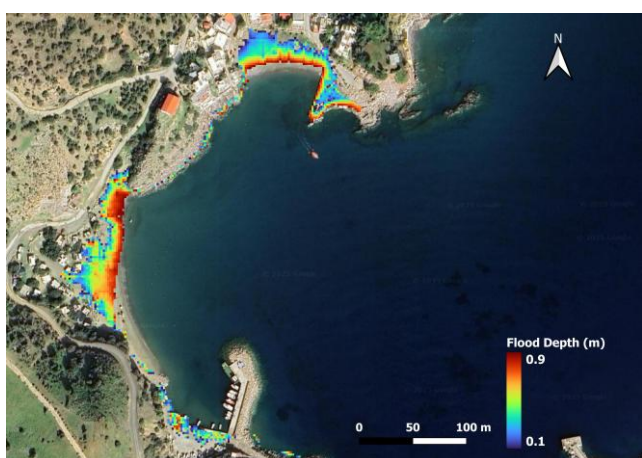


Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»

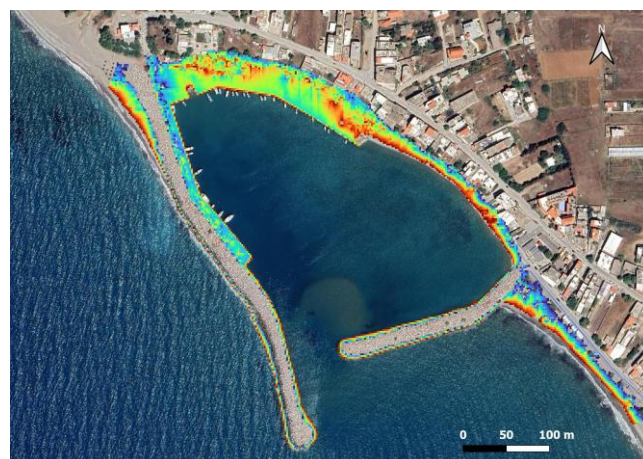




Εικόνα Π-5. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για τον λιμένα της Ίου για το 2050 και το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.



Εικόνα Π-6. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για το αλιευτικό καταφύγιο Καλών Λιμένων (Λιμενικό Ταμείο Φαιστού) για το 2050 και το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.

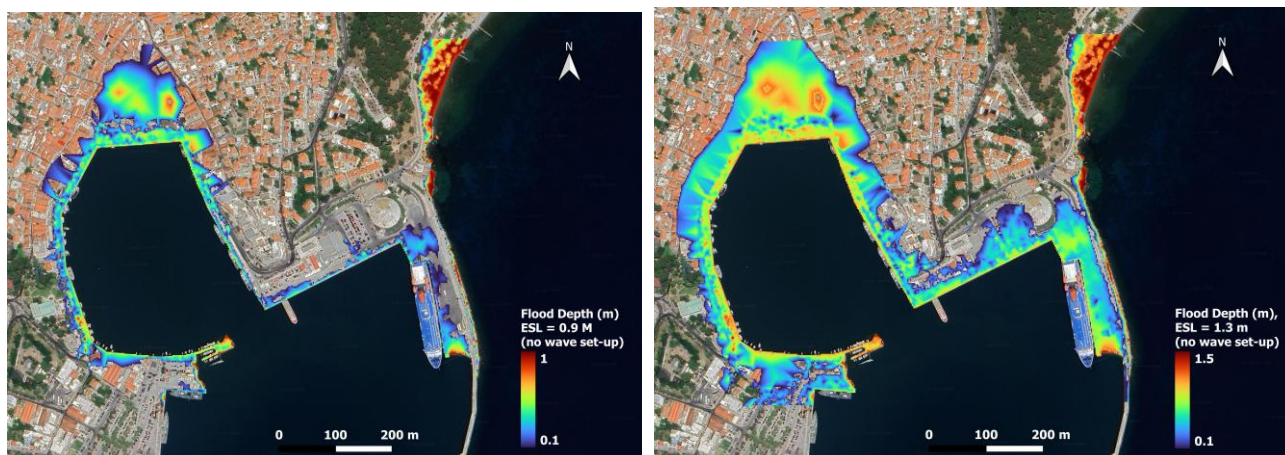


Εικόνα Π-7. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για το αλιευτικό καταφύγιο Κόκκινου Πύργου (Λιμενικό Ταμείο Φαιστού) για το 2050 και το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»





Εικόνα Π-8. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για τον λιμένα Μυτιλήνης για το 2050 και το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.

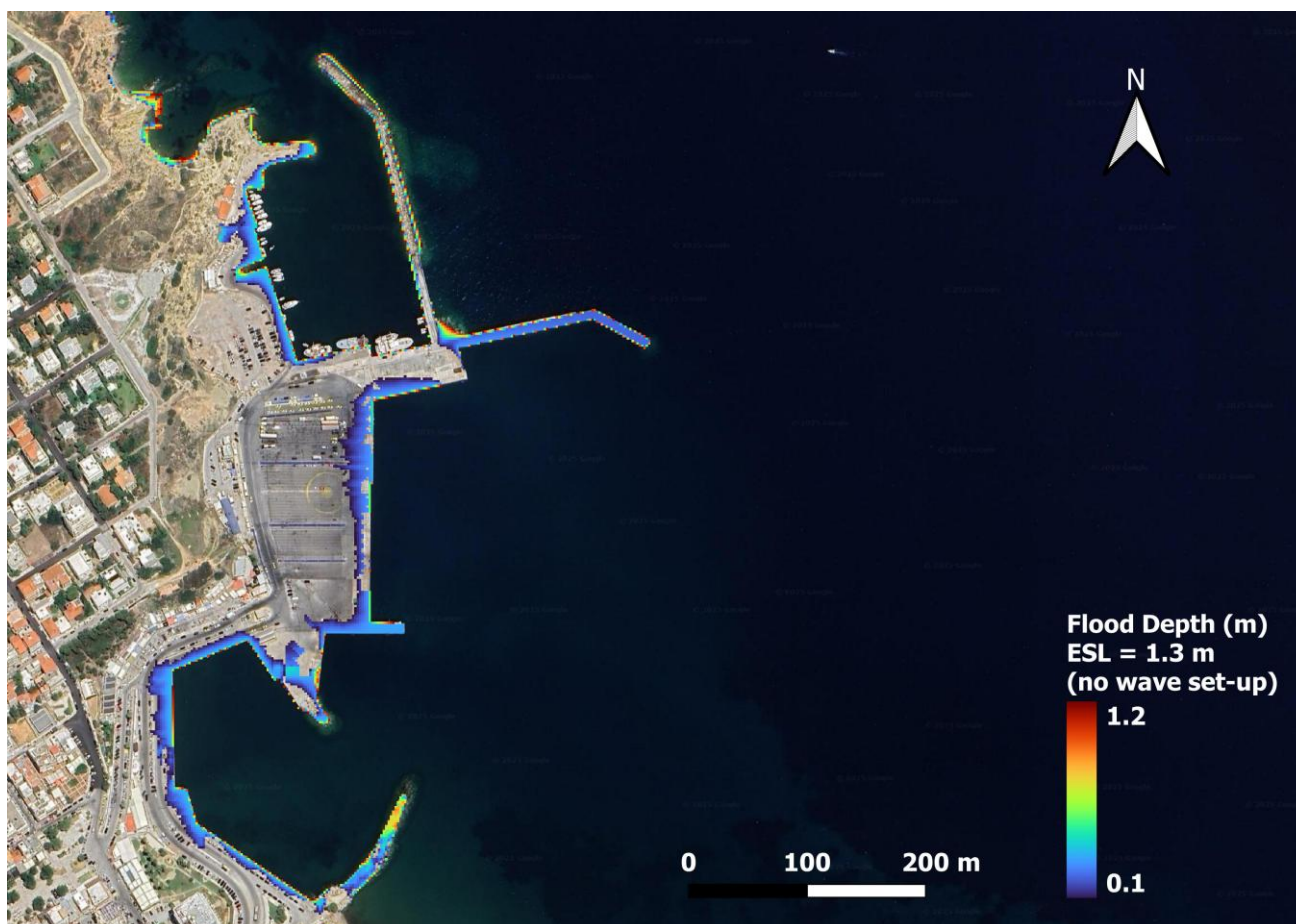


Εικόνα Π-9. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για τον λιμένα Λαυρίου για το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη. Σημειώνεται πως πραγματοποιήθηκε προσομοίωση πλημμύρας και για το 2050 αλλά έδειξε μηδενική έκθεση στον πλημμυρικό κίνδυνο ως εκ τούτου δεν συμπεριλαμβάνεται στο παράρτημα.



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»



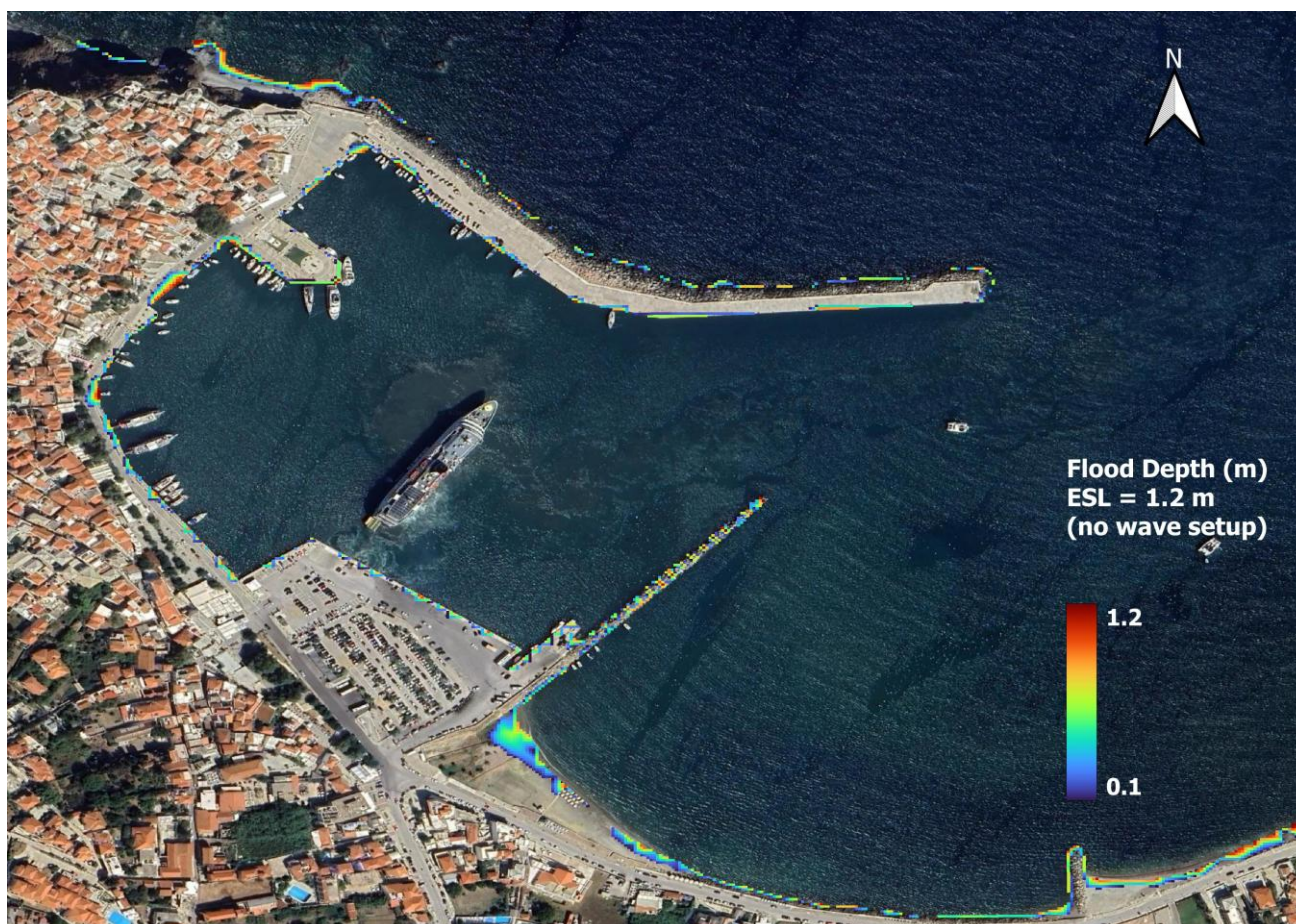


Εικόνα Π-10. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για τον λιμένα Ραφήνας για το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη. Σημειώνεται πως πραγματοποιήθηκε προσομοίωση πλημμύρας και για το 2050 αλλά έδειξε μηδενική έκθεση στον πλημμυρικό κίνδυνο ως εκ τούτου δεν συμπεριλαμβάνεται στο παράρτημα.

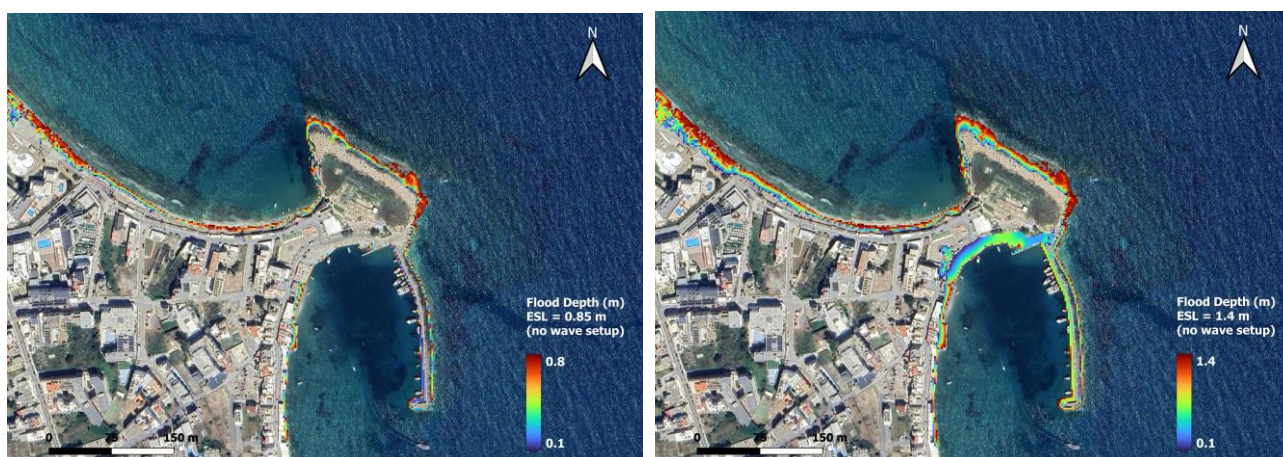


Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
 ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
 Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
 ΕΦΑΡΜΟΓΗ»





Εικόνα Π-11. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για τον λιμένα Σκοπέλου για το 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη. Σημειώνεται πως πραγματοποιήθηκε προσομοίωση πλημμύρας και για το 2050 αλλά έδειξε μηδενική έκθεση στον πλημμυρικό κίνδυνο ως εκ τούτου δεν συμπεριλαμβάνεται στο παράρτημα.



Εικόνα Π-12. Αποτελέσματα προσομοίωσης πλημμύρας χωρίς κυματική ανύψωση για τον λιμένα Χερσονήσου για το 2050 και 2100 υπό το σενάριο RCP8.5 για θύελλα με περίοδο επαναφοράς 100 έτη.



Χρηματοδοτικό Πρόγραμμα «ΦΥΣΙΚΟ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΑΙΝΟΤΟΜΕΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ 2022» / Άξονας
Προτεραιότητας 3 «ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ»

