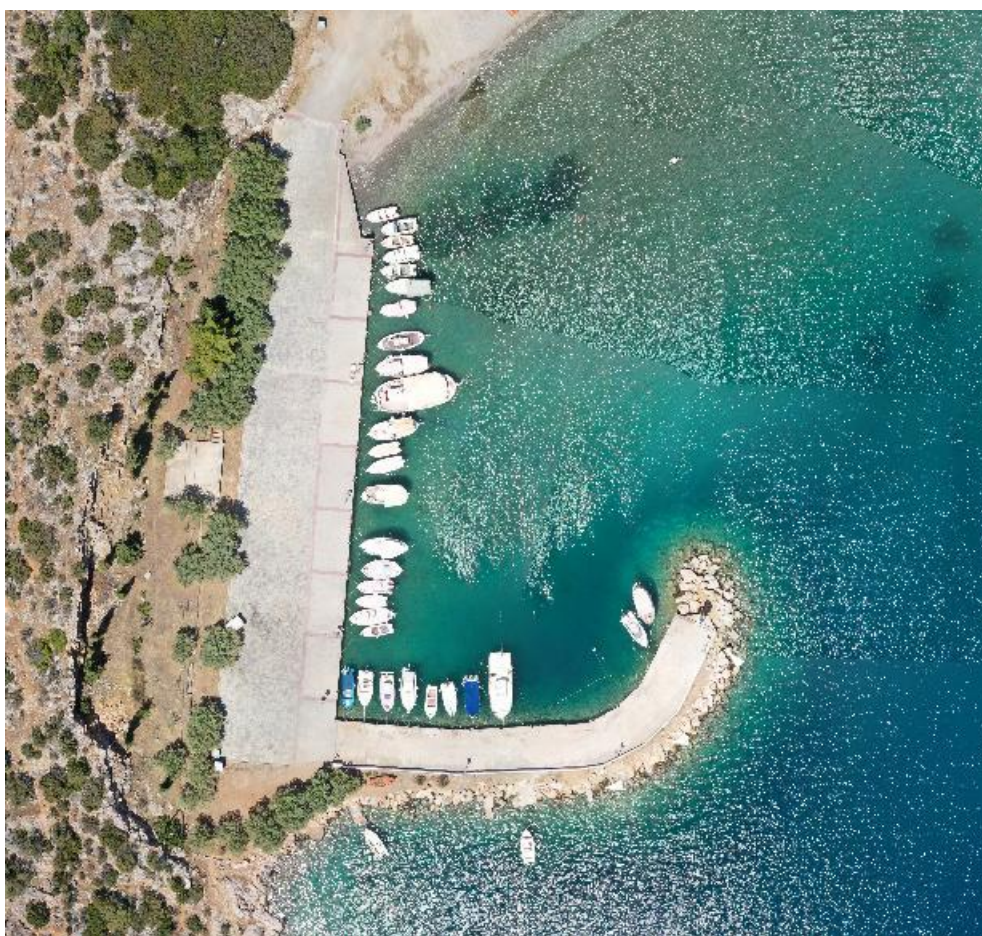




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ
ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΛΙΜΕΝΙΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ**



Σταυρούλα Μπρουζιούτη

Επιβλέπουσα: Βασιλική Τσουκαλά, Καθηγήτρια ΕΜΠ
Συνεπιβλέπουσα: Χριστίνα Τσάιμου, Υπ. Διδάκτορας

Αθήνα, Οκτώβριος 2022

Διπλωματική Εργασία

«Εφαρμογή μεθόδων παρακολούθησης για την εκτίμηση της τρωτότητας λιμενικών υποδομών»

Σταυρούλα Μπρουζιούτη

Επιβλέπουσα: Βασιλική Τσουκαλά, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Συνεπιβλέπουσα: Χριστίνα Τσάιμου, Υπ. Διδάκτορας

Αθήνα, Οκτώβριος 2022

Σταυρούλα Μπρουζιούτη

Copyright © Σταυρούλα Μπρουζιούτη, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια της συγγραφέως. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς την συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων της συγγραφέως (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Stavroula Brouziouti, 2022

All rights reserved.

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτριά μου και επιβλέπουσα της διπλωματικής μου εργασίας, Βασιλική Τσουκαλά, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα και συνεπιβλέπουσα της διπλωματικής μου εργασίας, Χριστίνα Τσάιμου, για την αμέριστη βοήθεια και τη συνεργασία που αναπτύξαμε.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που με στήριξαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εφαρμογή μεθόδων παρακολούθησης για την εκτίμηση της τρωτότητας λιμενικών υποδομών

Σταυρούλα Μπρουζιούτη

Επιβλέπουσα: Βασιλική Τσουκαλά, Καθηγήτρια ΕΜΠ

Συνεπιβλέπουσα: Χριστίνα Τσάιμου, Υπ. Διδάκτορας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι λιμένες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία, στις μεταφορές αλλά και στην ασφάλεια των παράκτιων περιοχών και πληθυσμών. Ωστόσο, οι εναλλασσόμενες και συχνά ακραίες καιρικές συνθήκες έχουν ως αποτέλεσμα την φθορά ή/ και την αστοχία των λιμενικών υποδομών, ενώ οι επαναλαμβανόμενες φορτίσεις (π.χ. πλοίων, εμπορευματοκιβωτίων κλπ.), η γήρανση των υποδομών, η απουσία ενεργειών αποκατάστασης και η ανεπαρκής συντήρησή τους αποτελούν ανασταλτικούς παράγοντες στην προσπάθεια αντιμετώπισης των πιθανών κινδύνων που απειλούν την ομαλή λειτουργία των λιμένων. Κατά συνέπεια, λόγω των συνεχόμενων πιέσεων που ασκούνται στους λιμένες από φυσικούς, ανθρωπογενείς και περιβαλλοντικούς παράγοντες αυξάνεται η τρωτότητά τους και η ευαισθησία τους σε επικείμενες απειλές.

Η τρωτότητα των λιμενικών υποδομών έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές τα τελευταία χρόνια. Γενικά, οι λιμένες εντάσσονται στο ευρύτερο πλαίσιο των παράκτιων συστημάτων. Ωστόσο, πρόσφατες έρευνες επικεντρώνονται στην διακριτοποίησή της τρωτότητας των λιμένων από την παράκτια τρωτότητα, καθώς οι λιμενικές υποδομές παίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία και στην λειτουργικότητα των λιμένων. Η τρωτότητα των λιμένων εκτιμάται λαμβάνοντας υπόψη φυσικές, τεχνικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικό-οικονομικές παραμέτρους διερευνώντας τόσο την υφιστάμενη κατάστασή τους (υφιστάμενη τρωτότητα) όσο και την πιθανή μελλοντική κατάσταση όπως αυτήν μπορεί να προκύψει λόγω των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (μελλοντική τρωτότητα).

Η εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την τρωτότητα των λιμένων δείχνει ότι απουσιάζει η έννοια της καταγραφής και της αποτύπωσης της κατάστασης λιμενικών υποδομών στις υφιστάμενες μεθοδολογίες εκτίμησης της τρωτότητας. Η κατάσταση των λιμενικών υποδομών και, πιο συγκεκριμένα, η παρουσία ή απουσία φθορών και αστοχιών αποτελεί μια βασική παράμετρο της εκτίμησης της τρωτότητας των λιμένων, καθώς ο βαθμός που οι λιμενικές υποδομές είναι τρωτές στις οποιοσδήποτε απειλές λόγω κλιματικής αλλαγής εξαρτάται από την λειτουργική και δομική ακεραιότητά τους. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η καταγραφή της κατάστασης των λιμενικών υποδομών με εφαρμογή μεθόδων παρακολούθησης και η ένταξη σχετικών παραμέτρων παρακολούθησης της κατάστασης στον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας. Η παρακολούθηση εμπεριέχει διάφορες μεθόδους από κλασικές, όπως η οπτική επισκόπηση, έως και σύγχρονες μεθόδους τηλεπισκόπησης με χρήση Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ), για την καταγραφή φθορών και αστοχιών στις λιμενικές υποδομές και την καταγραφή της κατάστασής τους. Παράλληλα, η εφαρμογή των μεθόδων που βασίζονται στην αξιοποίηση ΣμηΕΑ συμβάλλει στην περιοδική αξιολόγηση της κατάστασης των υποδομών μέσω διεξαγωγής προγραμματισμένων επιτόπιων καταγραφών.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, διερευνάται η αξιοποίηση σύγχρονων μεθόδων παρακολούθησης λιμενικών υποδομών με χρήση ΣμηΕΑ για την εκτίμηση της τρωτότητας λιμένων. Συγκεκριμένα,



εξετάστηκαν τέσσερα αλιευτικά καταφύγια του Δήμου Θηβαίων στον Κορινθιακό Κόλπο (Παραλία Σαράντη, Άγιος Νικόλαος, Αλυκή, Άγιος Βασίλειος), όπου πραγματοποιήθηκε συλλογή στοιχείων με ΣμηΕΑ. Τα στοιχεία αυτά επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν περαιτέρω προκειμένου να προκύψουν οι κατάλληλες πληροφορίες για την υφιστάμενη κατάσταση των λιμενικών υποδομών των αλιευτικών καταφυγίων. Στην συνέχεια, στον δείκτη τρωτότητας των καταφυγίων ενσωματώθηκαν νέες παράμετροι που αφορούν την κατάσταση των υποδομών λαμβάνοντας υπόψη υφιστάμενες πρακτικές. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της συνολικής διερεύνησης αναδεικνύεται η σημαντικότητα ενσωμάτωσης παραμέτρων που σχετίζονται με την κατάσταση των λιμενικών υποδομών στην διαδικασία υπολογισμού του δείκτη τρωτότητας.

Λέξεις κλειδιά: Λιμένες, Αλιευτικά καταφύγια, Τρωτότητα, Παρακολούθηση κατάστασης λιμενικών υποδομών, ΣμηΕΑ, Εκτίμηση τρωτότητας



DIPLOMA THESIS

Application of monitoring methods to assess the vulnerability of port infrastructure

Stavroula Brouziouti

Supervisor: Vasiliki Tsoukala, Professor NTUA

Co-supervisor: Christina Tsaimou, PhD candidate

ABSTRACT

Ports play a decisive role in the global economy, in transport and in the security of coastal areas and populations. However, alternating and often extreme weather conditions result in the deterioration and/or failure of port infrastructure, while repeated loading (e.g. of ships, containers, etc.), aging of infrastructure, lack of remedial actions and their insufficient maintenance are inhibiting factors in the effort to deal with the possible risks that threaten the smooth operation of the ports. Consequently, due to the continuous pressures exerted on ports by natural, anthropogenic and environmental factors, their vulnerability and susceptibility to impending threats is increasing.

The vulnerability of port infrastructures has occupied many researchers in recent years. In general, ports are part of the wider framework of coastal systems. However, recent research focuses on distinguishing port vulnerability from coastal vulnerability, as port infrastructure plays an important role in port protection and functionality. The vulnerability of ports is assessed taking into account physical, technical, environmental and socio-economic parameters by investigating both their existing situation (current vulnerability) and the possible future situation as it may arise due to the effects of climate change (future vulnerability).

The extensive literature review on port vulnerability shows that the concept of recording and capturing the state of port infrastructure is absent from existing vulnerability assessment methodologies. The condition of port infrastructure and, more specifically, the presence or absence of deterioration and failure is a key parameter of port vulnerability assessment, as the degree to which port infrastructure is vulnerable to any threats due to climate change depends on its functional and structural integrity. For this reason, it is necessary to record the state of port infrastructures by applying monitoring methods and to include relevant parameters for monitoring the state in the calculation of the vulnerability index. Monitoring includes various methods from classic, such as visual survey, to modern remote sensing methods using Unmanned Aircraft Vehicle (UAV), to record damage and failures in port infrastructures and record their condition. At the same time, the application of the methods based on the utilization of UAV contributes to the periodic assessment of the condition of the infrastructures by conducting scheduled on-site recordings.

In the context of this thesis, the utilization of modern port infrastructure monitoring methods using UAV for the assessment of port vulnerability is investigated. Specifically, four fishing shelters of the Municipality of Thebes in the Gulf of Corinth were examined (Saranti Beach, Agios Nikolaos, Aliko, Agios Vasilios), where data collection was carried out with UAV. These data were further processed and analyzed in order to obtain the appropriate information on the current state of the port infrastructure of the fishing sanctuaries. Subsequently, new parameters related to the state of the infrastructure were integrated into the vulnerability index of the shelters, taking into account existing practices. According to the results of the



overall investigation, the importance of integrating parameters related to the state of port infrastructures in the process of calculating the vulnerability index is highlighted.

Keywords: Ports, Fishing sanctuaries, Vulnerability, Port infrastructure condition monitoring, UAV, Vulnerability assessment



Περιεχόμενα

Κατάλογος εικόνων	i
Κατάλογος πινάκων.....	iv
Συνοτομογραφίες και Ακρωνύμια.....	v
1. Εισαγωγή	1
1.1. Γενικά.....	1
1.2. Σκοπός	1
1.3. Συνοπτική περιγραφή κεφαλαίων	2
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	3
2.1. Η τρωτότητα στη βιβλιογραφία	3
2.1.1. Παράκτια τρωτότητα.....	5
2.1.2. Τρωτότητα λιμένων	10
2.2. Τρωτότητα και η ανάγκη παρακολούθησης	19
3. Παρακολούθηση (Monitoring).....	21
3.1. Γενικά.....	21
3.2. Η παρακολούθηση των λιμενικών υποδομών.....	21
3.3. Παρακολούθηση με μεθόδους τηλεπισκόπησης.....	24
3.3.1. Γενικά.....	24
3.3.2. Παρακολούθηση με μη επανδρωμένα αεροσκάφη	25
4. Μελέτη περίπτωσης.....	30
4.1. Αλιευτικό Καταφύγιο Παραλίας Σαράντη	31
4.2. Αλιευτικό Καταφύγιο Αγίου Νικολάου	36
4.3. Αλιευτικό Καταφύγιο Αλυκής.....	38
4.4. Αλιευτικό Καταφύγιο Αγίου Βασιλείου.....	42
4.5. Επί τόπου μετρήσεις.....	46
5. Μεθοδολογία	49
5.1. Εκτίμηση τρωτότητας λιμενικών υποδομών με εφαρμογή περιοδικού προγράμματος παρακολούθησης	49
5.2. Προτεινόμενες παράμετροι τρωτότητας λιμενικών υποδομών αλιευτικών καταφυγίων	52
5.3. Προτάσεις νέων παραμέτρων	61
5.4. Συλλογή στοιχείων με χρήση ΣμηΕΑ	64
6. Υπολογισμός παραμέτρων	69



6.1.	Τεχνικές παράμετροι	69
6.1.1.	Τεχνικές παράμετροι ενίσχυσης δείκτη τρωτότητας	69
6.1.2.	Τεχνικές παράμετροι βιβλιογραφίας	83
6.2.	Φυσικές παράμετροι	85
6.2.1.	Ανεμολογικά δεδομένα	85
6.2.2.	Ύψος και περίοδος κύματος	86
6.2.3.	Εύρος παλίρροιας	88
6.2.4.	Σεισμικά φαινόμενα	89
6.2.5.	Τιμές φυσικών παραμέτρων	91
6.3.	Περιβαλλοντικές παράμετροι	91
6.4.	Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι	92
6.5.	Συνολικοί πίνακες παραμέτρων	94
7.	Αποτελέσματα εκτίμησης τρωτότητας	96
8.	Συμπεράσματα και Προτάσεις	104
8.1.	Συμπεράσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης	104
8.2.	Συμπεράσματα από την εκτίμηση του Δείκτη Τρωτότητας Λιμένων	105
8.3.	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	106
9.	Βιβλιογραφικές Αναφορές	107



Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση παράκτιας τρωτότητας (ιδία επεξεργασία).....	6
Εικόνα 2.2 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε τεχνική παράμετρο τρωτότητας ακτών.....	7
Εικόνα 2.3 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε φυσική παράμετρο τρωτότητας ακτών.....	8
Εικόνα 2.4 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε κοινωνικοοικονομική παράμετρο τρωτότητας ακτών.....	9
Εικόνα 2.5 Βιβλιογραφική ανασκόπηση παράκτιας τρωτότητας (ιδία επεξεργασία).....	12
Εικόνα 2.6 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε τεχνική παράμετρο τρωτότητας λιμένων	15
Εικόνα 2.7 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε φυσική παράμετρο τρωτότητας λιμένων	16
Εικόνα 2.8 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε περιβαλλοντική παράμετρο τρωτότητας λιμένων.....	17
Εικόνα 2.9 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε κοινωνικοοικονομική παράμετρο τρωτότητας λιμένων.....	18
Εικόνα 3.1 Καταγραφή πορείας θωράκισης λιμένα μέσω ΣμηΕΑ (Tsaïμου et al, 2022)	26
Εικόνα 3.2 Ρωγμή στην επιφάνεια σκυροδέματος, λήψη από drone (Seo et al, 2018)	27
Εικόνα 3.3 Φθορές σε βάθρο σύμμικτης γέφυρας (Seo et al, 2018).....	27
Εικόνα 3.4 Αποτύπωση αποβάθρας με drone (Jofre-Briceno et al, 2021)	28
Εικόνα 3.5 Αποτύπωση φράγματος και των φθορών του στην Κίνα (Zhao et al , 2021).....	28
Εικόνα 4.1 Χάρτης με τα όρια του Δήμου Θηβαίων	30
Εικόνα 4.2 Τοποθεσία Παραλίας Σαράντη	31
Εικόνα 4.3 Ορθοφωτοχάρτης Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021).....	32
Εικόνα 4.4 Όψη του προσήνεμου μόλου του αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021).....	32
Εικόνα 4.5 Αλιευτικό καταφύγιο Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021).....	33
Εικόνα 4.6 Αποβάθρα αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021)	33
Εικόνα 4.7 Αποβάθρα και προφυλακτήριος τοίχος αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021)	34
Εικόνα 4.8 Όψη αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021)	34
Εικόνα 4.9 Προσήνεμος μόλος και δέστρες αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021)	35
Εικόνα 4.10 Αποβάθρα και κρηπιδότοιχος αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021).....	35
Εικόνα 4.11 Τοποθεσία Αγίου Νικολάου	36
Εικόνα 4.12 Ορθοφωτοχάρτης Αγίου Νικολάου (ΕΛΕ, 2021)	36
Εικόνα 4.13 Λιμενικές εγκαταστάσεις Αγίου Νικολάου (ΕΛΕ, 2021).....	37
Εικόνα 4.14 Υπήνεμος μόλος στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Νικολάου (ΕΛΕ, 2021)	37
Εικόνα 4.15 Δάπεδο στάθμευσης στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Νικολάου (ΕΛΕ, 2021).....	38



Εικόνα 4.16 Τοποθεσία Αλυκής (ΕΛΕ, 2021)	38
Εικόνα 4.17 Ορθοφωτοχάρτης Αλυκής (ΕΛΕ, 2021).....	39
Εικόνα 4.18 Προσήμεος μόλος αλιευτικού καταφυγίου Αλυκής (ΕΛΕ, 2021)	39
Εικόνα 4.19 Προφυλακτήριος τοίχος και θωράκιση αλιευτικού καταφυγίου Αλυκής (ΕΛΕ, 2021)	40
Εικόνα 4.20 Προσήμεος μόλος με θωράκιση αλιευτικού καταφυγίου Αλυκής (ΕΛΕ, 2021)	40
Εικόνα 4.21 Προφυλακτήριος τοίχος αλιευτικού καταφυγίου Αλυκής (ΕΛΕ, 2021)	41
Εικόνα 4.22 Όψη αλιευτικού καταφυγίου Αλυκής προς τον οικισμό (ΕΛΕ, 2021)	41
Εικόνα 4.23 Προβλήτας αλιευτικού καταφυγίου Αλυκής με δέστρες (ΕΛΕ, 2021)	42
Εικόνα 4.24 Τοποθεσία Αγίου Βασιλείου	43
Εικόνα 4.25 Ορθοφωτοχάρτης Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021).....	43
Εικόνα 4.26 Αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021)	44
Εικόνα 4.27 Προσήμεος μόλος και προφυλακτήριος τοίχος Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021)	44
Εικόνα 4.28 Προβλήτας αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021)	45
Εικόνα 4.29 Προβλήτας αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021)	45
Εικόνα 4.30 Λιθορριπή και προφυλακτήριος τοίχος αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021)..	46
Εικόνα 4.31 Επικαλύψεις φωτογραφιών μη επανδρωμένου αεροσκάφη για τις τέσσερις περιοχές μελέτης	47
Εικόνα 5.1 Διάγραμμα ροής τρωτότητας λιμένα με παρακολούθηση λιμενικών υποδομών (ιδία επεξεργασία)	49
Εικόνα 5.2 Διάγραμμα ροής συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων μη επανδρωμένου αεροσκάφη (ιδία επεξεργασία)	64
Εικόνα 5.3 Εσωτερικό έργο προβλήτα στην Παραλία Σαράντη.....	65
Εικόνα 5.4 Εξωτερικό έργο κυματοθραύστη με θωράκιση στο αλιευτικό καταφύγιο Αλυκής.....	65
Εικόνα 5.5 Εξωτερικό έργο προφυλακτήριου τοίχου στο αλιευτικό καταφύγιο Παραλίας Σαράντη	65
Εικόνα 5.6 Επικάλυψη και προσδιορισμός κλίμακας φωτογραφίας με χρήση ΣμηΕΑ (Visockiene et al, 2016)	66
Εικόνα 5.7 Σημείο ελέγχου στο λιμάνι του Λαυρίου (Τσάιμου, 2022)	67
Εικόνα 5.8 Σημεία ελέγχου εδάφους (GCP) σε αυτοκινητόδρομο στην Ισπανία (Ferrer-Gonzalez et al, 2020)	68
Εικόνα 6.1 Επιφάνεια προβλήτα αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη με ρηγματώσεις.....	69
Εικόνα 6.2 Διάβρωση προβλήτα αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΤΕΣ2)	70
Εικόνα 6.3 Αποκόλληση προβλήτα αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη	70
Εικόνα 6.4 Αποκόλληση κατά μήκος των δεστρών στο αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη	71
Εικόνα 6.5 Αποκόλληση προβλήτα αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΤΕΣ3)	71



Εικόνα 6.7 Προφυλακτήριος τοίχος αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη	72
Εικόνα 6.7 Μετακίνηση θωράκισης στο αλιευτικό καταφύγιο Παραλίας Σαράντη (ΤΕΞ2).....	72
Εικόνα 6.8 Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Νικολάου (ΤΕΣ1) ...	73
Εικόνα 6.9 Διάβρωση ανωδομής αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Νικολάου	74
Εικόνα 6.10 Μετακίνηση θωράκισης υπήνεμου μόλου αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Νικολάου.....	74
Εικόνα 6.11 Προφυλακτήριος τοίχος αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Νικολάου.....	75
Εικόνα 6.12 Διάβρωση ανωδομής στο αλιευτικό καταφύγιο Αλυκής (ΤΕΣ2).....	75
Εικόνα 6.13 Αποκόλληση σκυροδέματος στο αλιευτικό καταφύγιο Αλυκής (ΤΕΣ3)	76
Εικόνα 6.14 Προβλήτας αλιευτικού καταφυγίου Αλυκή	76
Εικόνα 6.15 Μετακίνηση θωράκισης στο αλιευτικό καταφύγιο Αλυκής (ΤΕΞ2)	77
Εικόνα 6.16 Αξιολόγηση εξωτερικών έργων αλιευτικού καταφυγίου Αλυκή	78
Εικόνα 6.17 Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου (ΤΕΣ1)	79
Εικόνα 6.18 Διάβρωση ανωδομής στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου (ΤΕΣ2).....	79
Εικόνα 6.19 Αποκόλληση σκυροδέματος στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου (ΤΕΣ3)	80
Εικόνα 6.20 Μετακίνηση θωράκισης στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου (ΤΕΞ2)	80
Εικόνα 6.21 Εξωτερικά έργα στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου	81
Εικόνα 6.22 Προφυλακτήριος τοίχος στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου.....	82
Εικόνα 6.23 Επεξεργασία ορθοφωτοχαρτών στο QGIS για την εύρεση τεχνικών παραμέτρων.....	83
Εικόνα 6.24 Χωρητικότητα σκαφών αλιευτικών καταφυγίων.....	84
Εικόνα 6.25 Ανεμολόγιο	85
Εικόνα 6.26 Ανάπτυγμα θάλασσας για τους λιμένες.....	87
Εικόνα 6.27 Σεισμική δραστηριότητα 2018-2022	90
Εικόνα 6.28 Σεισμική δραστηριότητα άνω των 4 ρίχτερ από το 2003	90
Εικόνα 7.1 Δείκτης Τρωτότητας λιμενικών υποδομών Δήμου Θηβαίων με εφαρμογή μεθόδων παρακολούθησης.....	101
Εικόνα 7.2 Δείκτης Τρωτότητας λιμενικών υποδομών Δήμου Θηβαίων χωρίς την εφαρμογή μεθόδων παρακολούθησης.....	103



Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1 Παράμετροι με βάση την βιβλιογραφία για την τρωτότητα των λιμένων	13
Πίνακας 3.1 Στοιχεία Υποδομής και αστοχίες με βάση τον ASCE, 2015	22
Πίνακας 3.2 Μέθοδοι παρακολούθησης λιμενικών υποδομών, ASCE 2015.....	23
Πίνακας 3.3 Τύποι μη επανδρωμένων οχημάτων, Shojaei et al, 2018, Τσουκαλά κ.α 2020.....	24
Πίνακας 4.1 Δημοτικές Ενότητες και Κοινότητες Θήβας (Πηγές: thiva.gr, wikipedia.org)	31
Πίνακας 4.2 Στοιχεία κάμερας μη επανδρωμένου αεροσκάφους.....	46
Πίνακας 4.3 Στοιχεία πτήσεων μη επανδρωμένου αεροσκάφη	48
Πίνακας 5.1 Τεχνικές παράμετροι για την εκτίμηση τρωτότητας αλιευτικών καταφυγίων.....	54
Πίνακας 5.2 Φυσικές παράμετροι για την εκτίμηση τρωτότητας αλιευτικών καταφυγίων	55
Πίνακας 5.3 Περιβαλλοντικές παράμετροι για την εκτίμηση τρωτότητας αλιευτικών καταφυγίων	56
Πίνακας 5.4 Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι για την εκτίμηση τρωτότητας αλιευτικών καταφυγίων	57
Πίνακας 5.5 Νέοι παράγοντες εσωτερικών έργων	63
Πίνακας 5.6 Νέοι παράγοντες εξωτερικών έργων	63
Πίνακας 6.1 Πίνακας βαθμολόγησης εσωτερικών έργων υποδομής.....	82
Πίνακας 6.2 Πίνακας βαθμολόγησης εξωτερικών έργων υποδομής.....	82
Πίνακας 6.3 Τεχνικές παράμετροι λιμένων βιβλιογραφίας.....	85
Πίνακας 6.4 Ύψος και περίοδος κύματος.....	88
Πίνακας 6.5 Ύψος παλίρροιας.....	88
Πίνακας 6.6 Φυσικές παράμετροι λιμένων.....	91
Πίνακας 6.7 Περιβαλλοντικές παράμετροι λιμένων	92
Πίνακας 6.8 Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι λιμένων	93
Πίνακας 6.9 Συνολικός πίνακας τιμών παραμέτρων	94
Πίνακας 7.1 Αποτελέσματα μετά την αδιαστατοποίηση.....	96
Πίνακας 7.2 Κατάταξη παραμέτρων στις συνιστώσες της τρωτότητας.....	98
Πίνακας 7.3 Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας λιμενικών υποδομών	100
Πίνακας 7.4 Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας λιμενικών εγκαταστάσεων χωρίς τις παραμέτρους λιμενικών υποδομών.....	102



Συντομογραφίες και Ακρωνύμια

BIM	Building Information modelling (Μοντέλο Δομικών Πληροφοριών)
DEM	Digital Elevation Model (Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους)
DT	Destructive Testing (Καταστρεπτικές μέθοδοι)
EVI	Environmental Vulnerability Index (Περιβαλλοντικός Δείκτης Τρωτότητας)
GCP	Ground Control Point (Σημεία Ελέγχου Εδάφους)
GIS	Geographical Information System (Σύστημα Γεωγραφικών Δεδομένων)
GPR	Ground Penetrating Radar (Γεωραντάρ)
IoT	Internet of Things (Διαδίκτυο των πραγμάτων)
Lidar	Light detection and ranging (Φωτοεντοπισμός)
PhVI	Physical Vulnerability Index (Φυσικός Δείκτης Τρωτότητας)
PVI	Port Vulnerability Index (Δείκτης Τρωτότητας Λιμένα)
NDT	Non Destructive Testing (Μη καταστρεπτικές μέθοδοι)
RS	Remote Sensing (Τηλεπισκόπηση)
TVI	Technical Vulnerability Index (Τεχνικός Δείκτης Τρωτότητας)
SHM	Structural Health Monitoring (Παρακολούθηση της Δομικής Κατάστασης)
SVI	Socioeconomic Vulnerability Index (Κοινωνικοοικονομικός Δείκτης Τρωτότητας)
UAV	Unmanned Aerial Vehicles (Μη επανδρωμένα Αερόχημα)
UGV	Unmanned Ground Vehicle (Μη επανδρωμένο όχημα εδάφους)
UMV	Unmanned Marine Vehicle (Μη επανδρωμένο θαλάσσιο όχημα)
USV	Unmanned Surface Vehicle (Μη επανδρωμένο όχημα νερού)
UUV	Unmanned Underwater Vehicle (Μη επανδρωμένο υποβρύχιο)
ΕΛΕ	Εργαστήριο Λιμενικών Έργων
ΣμηΕΑ	Συστήματα μη Επανδρωμένου Αεροσκαφών



1. Εισαγωγή

1.1. Γενικά

Οι λιμένες και οι λιμενικές υποδομές παίζουν σημαντικό ρόλο στην οικονομία, αλλά και στην ίδια την κοινωνία, ειδικά στη χώρα μας, όπου περίπου το 85 % της συνολικής περιμέτρου της να είναι ακτογραμμή. Το μεγαλύτερο κομμάτι του εγχώριου εμπορίου εισαγωγών και εξαγωγών μεταφέρεται με θαλάσσια μέσα.

Όλοι οι λιμένες, όπως και γενικά όλες οι κατασκευές σχεδιάζονται και κατασκευάζονται για μια συγκεκριμένη περίοδο σχεδιασμού, συνήθως τα 50 χρόνια. Ωστόσο, οι εναλλασσόμενες και συχνά ακραίες καιρικές συνθήκες έχουν ως αποτέλεσμα την φθορά ή/ και την αστοχία των λιμενικών υποδομών, ενώ οι επαναλαμβανόμενες φορτίσεις (π.χ. πλοίων, εμπορευματοκιβωτίων κλπ.), η γήρανση των υποδομών, η απουσία ενεργειών αποκατάστασης και η ανεπαρκής συντήρησή τους αποτελούν ανασταλτικούς παράγοντες στην προσπάθεια αντιμετώπισης των πιθανών κινδύνων που απειλούν την ομαλή λειτουργία των λιμένων. Κατά συνέπεια, λόγω των συνεχόμενων πιέσεων που ασκούνται στους λιμένες από φυσικούς, ανθρωπογενείς και περιβαλλοντικούς παράγοντες αυξάνεται η τρωτότητά τους και η ευαισθησία τους σε επικείμενες απειλές.

Η τρωτότητα των λιμενικών υποδομών έχει απασχολήσει πολλούς ερευνητές τα τελευταία χρόνια, ενώ πρόκειται για ένα πολύπαραγοντικό ζήτημα. Η τρωτότητα ορίζεται η προσπάθεια αποτύπωσης του βαθμού που επηρεάζεται ένας λιμένας από το απαιτητικό φυσικό περιβάλλον, αλλά και από την ίδια την παρέμβαση του ανθρώπου. Γενικά, οι λιμένες εντάσσονται στο ευρύτερο πλαίσιο των παράκτιων συστημάτων. Ωστόσο, πρόσφατες έρευνες επικεντρώνονται στην διακριτοποίησή της τρωτότητας των λιμένων από την παράκτια τρωτότητα. Για την εκτίμηση της τρωτότητας των λιμενικών υποδομών αξιοποιούνται παράμετροι και διαχωρίζονται σε κατηγορίες (τεχνικές, φυσικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικοοικονομικές). Επίσης διαχωρίζονται με βάση την επίπτωση που έχουν στις λιμενικές υποδομές (αν αντιστέκονται, αν είναι εκτεθειμένες ή αν τις κάνουν ευαίσθητες προς την τρωτότητα).

Η εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση σχετικά με την τρωτότητα των λιμένων δείχνει ότι απουσιάζει η έννοια της καταγραφής και της αποτύπωσης της κατάστασης λιμενικών υποδομών στις υφιστάμενες μεθοδολογίες εκτίμησης της τρωτότητας. Η κατάσταση των λιμενικών υποδομών και, πιο συγκεκριμένα, η παρουσία ή απουσία φθορών και αστοχιών αποτελεί μια βασική παράμετρο της εκτίμησης της τρωτότητας των λιμένων, καθώς ο βαθμός που οι λιμενικές υποδομές είναι τρωτές στις οποιεσδήποτε απειλές λόγω κλιματικής αλλαγής εξαρτάται από την λειτουργική και δομική ακεραιότητά τους. Για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη η καταγραφή της κατάστασης των λιμενικών υποδομών με εφαρμογή μεθόδων παρακολούθησης και η ένταξη σχετικών παραμέτρων παρακολούθησης της κατάστασης στον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, διερευνάται η αξιοποίηση σύγχρονων μεθόδων παρακολούθησης λιμενικών υποδομών με χρήση ΣμηΕΑ για την εκτίμηση της τρωτότητας λιμένων. Συγκεκριμένα, εξετάστηκαν τέσσερα αλιευτικά καταφύγια του Δήμου Θηβαίων στον Κορινθιακό Κόλπο (Παραλία Σαράντη, Άγιος Νικόλαος, Αλυκή, Άγιος Βασίλειος), όπου πραγματοποιήθηκε συλλογή στοιχείων με ΣμηΕΑ.

1.2. Σκοπός

Καθώς παρατηρείται ότι δεν έχει ενταχθεί η κατάσταση της λιμενικής υποδομής, ζήτημα καθοριστικής σημασίας για να υπολογιστεί η τρωτότητα του λιμένα, σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο εμπλουτισμός του δείκτη τρωτότητας λιμένων με εφαρμογή μεθόδων παρακολούθησης.



Για να διαπιστωθεί η τρωτότητα των λιμενικών υποδομών, παράλληλα με τις παραδοσιακές μορφές παρακολούθησης, γίνεται προσπάθεια να ενταχθούν και νέες (ASCE, 2015). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιείται η τηλεπισκόπηση με χρήση Συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ), για την καταγραφή φθορών και αστοχιών στις λιμενικές υποδομές και την καταγραφή της κατάστασής τους. Παράλληλα, αυτή εφαρμογή των ΣμηΕΑ συμβάλλει στην περιοδική αξιολόγηση της κατάστασης των υποδομών μέσω διεξαγωγής προγραμματισμένων επιτόπιων καταγραφών.

Δίνεται η δυνατότητα συνολικά της διερεύνησης τόσο την υφιστάμενη κατάστασή τους (υφιστάμενη τρωτότητα) όσο και την πιθανή μελλοντική κατάσταση όπως αυτήν μπορεί να προκύψει λόγω των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (μελλοντική τρωτότητα).

Οι λιμένες μπορεί να έρθουν αντιμέτωποι με νέες συνθήκες, διαφορετικές από τις αντίστοιχες του σχεδιασμού που μπορεί να οφείλονται σε απρόσμενα καιρικά ή φυσικά φαινόμενα ή στην κλιματική αλλαγή. Η γνώση της κατάστασης της υποδομής, της αναγκαίας στιγμής επέμβασης στις υποδομές και η πρόβλεψη της συμπεριφοράς των λιμενικών υποδομών σε μελλοντικές προκλήσεις είναι σημαντικές για τη σωστή διαχείριση των λιμενικών υποδομών και την εκτίμηση της τρωτότητας.

1.3. Συνοπτική περιγραφή κεφαλαίων

Η δομή της συγκεκριμένες διπλωματικής ορίζεται ως εξής:

Στο κεφάλαιο 2 πραγματοποιείται εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση ακτών και λιμένων και την ανάλυση παραμέτρων που χρησιμοποιούνται.

Στο κεφάλαιο 3 διερευνάται η παρακολούθηση λιμενικών υποδομών γενικά και ειδικά με την μέθοδο της τηλεπισκόπησης.

Στο κεφάλαιο 4 περιλαμβάνεται η μελέτη περίπτωσης και παρουσιάζονται τα τέσσερα αλιευτικά καταφύγια.

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάζεται η μεθοδολογία και οι παλιές και νέες παράμετροι αξιολόγησης λιμενικών υποδομών.

Στο κεφάλαιο 6 υπολογίζονται τα αποτελέσματα ανά κατηγορία παραμέτρων και για κάθε αλιευτικό καταφύγιο.

Στο κεφάλαιο 7 παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και οι προτάσεις.

Στο κεφάλαιο 8 αναφέρονται οι βιβλιογραφικές αναφορές.



2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Οι λιμένες παίζουν σημαντικό ρόλο στην παγκόσμια οικονομία ως βασικοί κόμβοι στο παγκόσμιο δίκτυο εμπορικών συναλλαγών. Επίσης, αποτελούν ανθεκτικές και κρίσιμες υποδομές, που θα πρέπει να είναι ανθεκτικές σε καιρικά φαινόμενα. Ενδεχόμενες καταστροφές που μπορεί να επηρεάσουν έναν λιμένα, μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην τοπική οικονομία, στην τροφοδοσία της εφοδιαστικής αλυσίδας και στον παραθαλάσσιο πληθυσμό (Izaguirre et al, 2020).

Ωστόσο, οι λιμένες συχνά εκτίθενται σε ακραία καιρικά φαινόμενα λόγω της τοποθεσίας τους στις ακτές (Chhetri et al, 2015). Αντιμετωπίζουν την εκθετικά αυξανόμενη επίδραση, σε συχνότητα και σοβαρότητα, των αλλαγών των σχετικών παραμέτρων της θάλασσας, όπως η μέση επιφάνεια της θάλασσας, το ύψος του κύματος, η αλμυρότητα και η οξύτητα, η παλίρροια, τα ποσοστά ιζημάτων. Οι λειτουργίες του λιμένα αναμένεται να επηρεάζονται όλο και περισσότερο από την θερμοκρασία, την βροχόπτωση, τον άνεμο και την συχνότητα και σοβαρότητα των καταιγίδων (McIntosh et al, 2020).

Συχνά στην βιβλιογραφία αναφέρεται η σπουδαιότητα της σημασίας των λιμένων στην οικονομία χωρών ή περιοχών (Ragued et al, 2011, McLaughlin et al, 2011, Christodoulou et al, 2018), καθώς οι λιμένες αποτελούν ένα σύνθετο σύστημα μεταφορών, αποθήκευσης και εμπορίου, με αντίκτυπο τόσο στους κατοίκους και στις γύρω περιοχές αλλά και γεωστρατηγικά. Επιπρόσθετα και οι μικρότεροι λιμένες παίζουν ρόλο στις τοπικές οικονομίες, τόσο για την αλιεία όσο και για τον τουρισμό (Sarpanto et al, 2021, Kontogianni et al, 2018).

Εκτός από το σημαντικό ρόλο που παίζουν οι λιμένες επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από την κλιματική αλλαγή, τα φυσικά καιρικά φαινόμενα και έχουν αυξανόμενες ανάγκες για συντήρηση και ενίσχυση των υποδομών. Κατά συνέπεια, προκύπτει η ανάγκη για μελέτη μεγάλου όγκου δεδομένων και ανάπτυξη δείκτη τρωτότητας με παραμέτρους που ανταποκρίνονται τόσο σε φυσικά, περιβαλλοντικά και κοινωνικοοικονομικά, όσο και σε τεχνικά χαρακτηριστικά των υποδομών. Γι' αυτό η τρωτότητα των ακτών και των λιμενικών υποδομών συγκεντρώνει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια

2.1. Η τρωτότητα στη βιβλιογραφία

Η τρωτότητα ορίζεται ως η τάση ή η προδιάθεση ενός συστήματος να επηρεάζεται αρνητικά. Η τρωτότητα εμπεριέχει μια ποικιλία εννοιών και στοιχείων συμπεριλαμβανομένου της ευαισθησίας ή της επιρρέπειας σε φθορές και της έλλειψης να ανταπεξέρχεται και να προσαρμόζεται (IPCC,2014).

Πρόκειται για ένα ευρύ και γενικό ορισμό, που θέτει την τρωτότητα ως τη συγκεκριμένη προϋπάρχουσα κατάσταση του συστήματος με βάση τα κριτήρια της ευαισθησίας, των περιορισμών, των αδυναμιών ή των αστοχιών (Kontogianni et al, 2018). Στην βιβλιογραφία η τρωτότητα εκτιμάται μέσα από τον προσδιορισμό διαφόρων παραγόντων. Μεγάλο μέρος ερευνητών επικεντρώνεται στο κατά πόσο οι λιμενικές υποδομές είναι τρωτές στην κλιματική αλλαγή (Hallegate, et al, 2010, Kontogianni et al, 2018, Vandarakis et al, 2021) ή σε ακραία καιρικά φαινόμενα (Alexandrakis et al, 2014, Izaguirre et al, 2020) με συνήθως ιδιαίτερη μνεία στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Όπως αναφέρεται και στο IPCC (2007) οι περισσότερες παράκτιες περιοχές στον κόσμο βιώνουν τα αποτελέσματα της κλιματικής αλλαγής. Άλλοι ερευνητές προσεγγίζουν την τρωτότητα ως προς τα ατυχήματα, τις εκρήξεις και τρομοκρατικές ενέργειες (Cao et al, 2019) ή στην απελευθέρωση τοξικών υλικών (Becker et al, 2011) ή ως προς τη δυνατότητα επαναφοράς του συστήματος λιμένα ή συνολικά των μεταφορών (Achilloroulou et al, 2020). Επιπρόσθετα άλλοι ερευνητές εξετάζουν παράγοντες για την τρωτότητα όπως τα σεισμικά φαινόμενα και τσουνάμι (Wood et al, 2004, Ragued et al, 2011) ή και σε πλημμυρικά φαινόμενα (Balica et al, 2013, Akukwe et al, 2015, Len et al, 2018) που μπορούν άμεσα να πλήξουν τις λιμενικές υποδομές και τους παράκτιους οικισμούς.



Στις ακτές μεγάλο ενδιαφέρον συγκεντρώνει επίσης η κλιματική αλλαγή (Gornitz et al, 1994, Kumar et al, 2012, Becker et al, 2017) και τα ακραία καρικά φαινόμενα (Kumar et al, 2012, Lam et al, 2016, Mahendra et al, 2011). Επίσης οι ιστορικές αλλαγές στις ακτές παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον ως παράμετρος στην τρωτότητα των ακτών (Yin et al, 2012, Jana et al, 2016, Bevacqua et al, 2018, Cohen et al, 2020).

Για τον υπολογισμό της, δηλαδή την ποσοτικοποίηση της τρωτότητας, χρησιμοποιούνται σχεδόν σε όλη την βιβλιογραφία διάφορες παράμετροι, οι οποίες χωρίζονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες (τεχνικές, φυσικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές). Η επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων εγείρει συζητήσεις και προβληματισμούς καθώς για την αξιολόγηση του πιθανού κινδύνου που επιδρά στην τρωτότητα ενός συστήματος είναι σημαντικό να βρεθούν και να μετρηθούν τα στοιχεία που συμβάλλουν σε αυτό (Boruff et al, 2005). Πρόκειται, δηλαδή, για ένα πολυδιάστατο πρόβλημα, όπου οι παράμετροι είναι «μετρήσιμες, ευδιάκριτες ποσότητες που αξιοποιούνται ως προσεγγίσεις για μια διάσταση του συστήματος που δεν μπορεί να μετρηθεί άμεσα και ικανοποιητικά η ίδια» (McIntosh et al, 2017).

Με τις παραμέτρους επιδιώκεται να προσδιοριστούν η έκθεση, η ευαισθησία και η ανθεκτικότητα των λιμένων που με βάση το IPCC, 2014 ορίζονται ως εξής:

Έκθεση: Η ύπαρξη ανθρώπων, μέσα βιοπορισμού, ειδών ή οικοσυστήματος, περιβαλλοντικών συστημάτων, υπηρεσιών και πόρων, υποδομών ή οικονομικών, κοινωνικών ή πολιτισμικών περιουσιών σε μέρη ή περιβάλλον που θα μπορούσαν να επηρεαστούν δυσμενώς.

Ευαισθησία: ο βαθμός στον οποίο, ένα σύστημα επηρεάζεται είτε δυσμενώς ή ευμενώς, από κλιματικά φαινόμενα. Τα κλιματικά φαινόμενα εμπεριέχουν όλα τα στοιχεία της κλιματικής αλλαγής, συμπεριλαμβανομένου των μέσω κλιματικών χαρακτηριστικών, την κλιματική ποικιλότητα και την συχνότητα και το μέγεθος των ακραίων φαινομένων. (IPCC 2001)

Ανθεκτικότητα: Η ιδιότητα των κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών συστημάτων να ανταπεξέρχονται σε επικίνδυνο/η περιστατικό ή τάση ή ενόχληση ή αναδιοργάνωση με τέτοιο τρόπο που θα διατηρούν τις βασικές λειτουργίες, την ταυτότητα και την δομή τους, ενώ την ίδια ώρα διατηρούν την ικανότητα τους για προσαρμογή, μάθηση και μετατροπή.

Η διαδικασία της αντιστοίχισης των παραμέτρων στις συνιστώσες της τρωτότητας, δηλαδή στην έκθεση, ευαισθησία και ανθεκτικότητα, ακολουθείται ακριβώς ώστε να μπορούν να ομογενοποιηθούν και να αξιοποιηθούν διαφορετικά στοιχεία και δεδομένα που μετριοούνται σε διαφορετικές κλίμακες και απασχολούν διάφορα πεδία που σε άλλες περιπτώσεις δεν θα ήταν δυνατό να οδηγήσουν σε ασφαλή και λογικά συμπεράσματα, επομένως απαιτείται η αξιολόγηση της τρωτότητας με ποσοτικό τρόπο, όπου πολλοί διαφορετικοί παράμετροι που συνήθως παρουσιάζονται σε διάφορες κατηγορίες δεδομένων μπορούν να αξιοποιηθούν (Kontogianni et al, 2018). Η κατηγοριοποίηση και η ομογενοποίηση των παραμέτρων κάνει δυνατή την ανάπτυξη δείκτη τρωτότητας, για τον υπολογισμό του οποίου βρίσκονται διάφοροι τρόποι στην βιβλιογραφία. Ο δείκτης αυτός συμπυκνώνει το βαθμό τρωτότητας που έχει υπολογιστεί για κάθε κατηγορία και δίνει με σχετική ευκολία συγκριτική εικόνα ανάμεσα στους λιμένες ή στις ακτές που διερευνώνται. Ανάλογα με την προσέγγιση, τα διαθέσιμα στοιχεία και τις υπάρχουσες βάσεις δεδομένων, αλλά και την προσέγγιση κάθε ερευνητή υπάρχει διαφοροποίηση στην αξιοποίηση των παραμέτρων και στην ένταξη αυτών στον δείκτη.

Το συνεχώς αυξανόμενο ενδιαφέρον για την τρωτότητα ακτών και παράκτιων κατασκευών και τα νέα τεχνολογικά δεδομένα έχουν ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη σύγχρονων μεθοδολογιών για την παρακολούθηση της εξέλιξης της τρωτότητας αυτών βασιζόμενες σε νέα μέσα (π.χ. τηλεπισκόπηση, γεωπληροφορικά προγράμματα) και επιτυγχάνουν μεγαλύτερη ακρίβεια (π.χ. ανάλυση φωτογραφιών,



εύρος στοιχείων). Λαμβάνοντας υπόψη την χρονική σχετικότητα των παραμέτρων, όπως των αντίστοιχων παραμέτρων που αφορούν στην κατάσταση των λιμενικών υποδομών, το πλαίσιο της επιστημονικής προσέγγισης της τρωτότητας και τα νέα δεδομένα μπορεί να παρακολουθηθεί τόσο η υφιστάμενη τρωτότητα, όσο και να υπάρχει συνεχόμενη επισκόπηση και εκτίμηση της μελλοντικής τρωτότητας (Benacqua et al, 2018, Cohen et al, 2020). Η αναγνώριση την εξέλιξης της παράκτιας ζώνης και εν συνέχεια της τρωτότητας δίνει την δυνατότητα ενός προληπτικού σχεδιασμού προσαρμοσμένο από της σχετικές αρχές και τους διαχειριστές, με δυνατότητα επέκτασης στην ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή και στην βιωσιμότητα των παράκτιων ζωνών (Tsaimou et al, 2022).

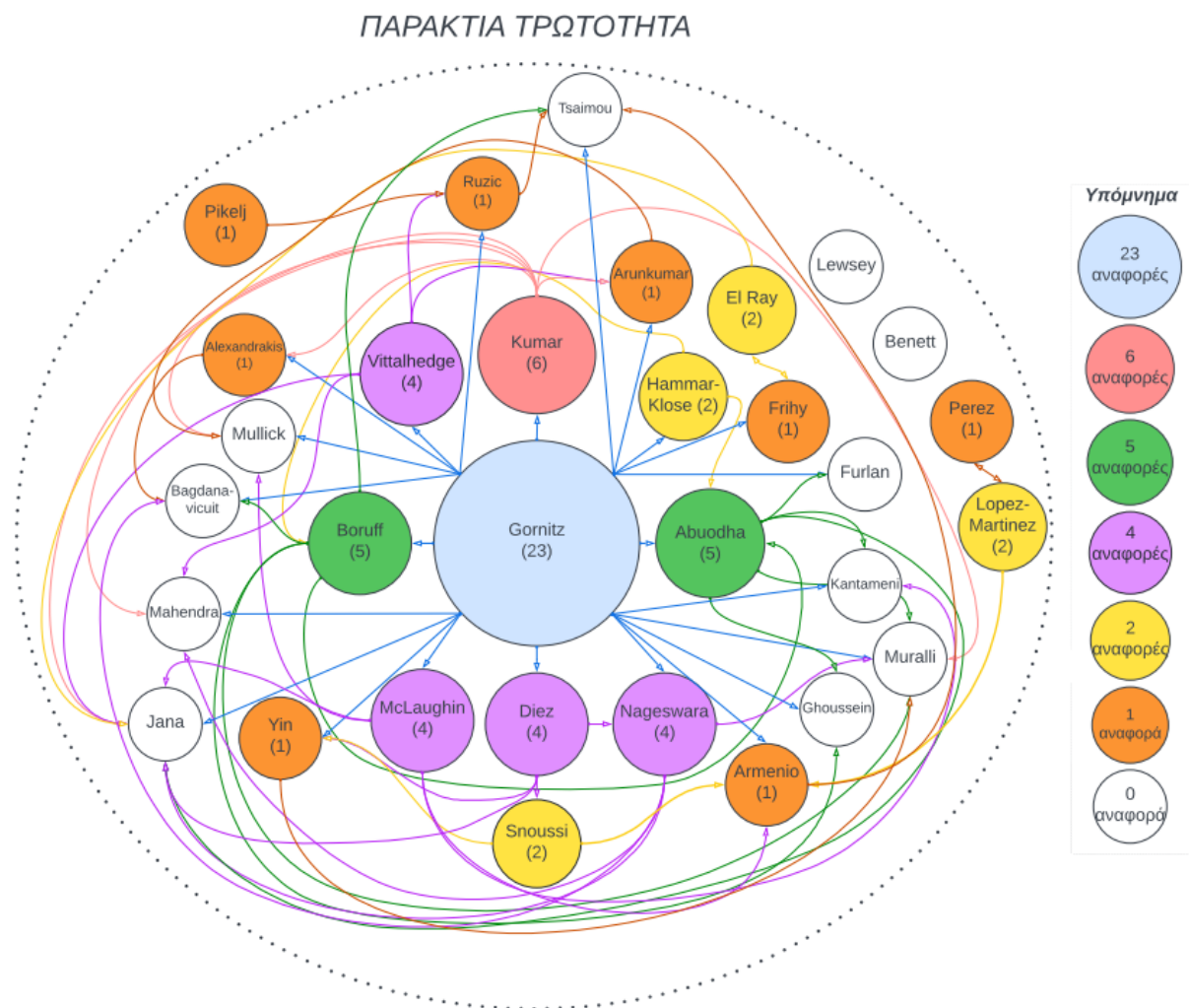
2.1.1. Παράκτια τρωτότητα

Για την διερεύνηση της τρωτότητας των λιμενικών υποδομών λαμβάνεται υπόψη ότι έχουν κατασκευαστεί σε παράκτια περιβάλλοντα και επηρεάζονται από κοινούς παράγοντες με τις ακτές, αλλά και από πιο εξειδικευμένους. Ακόμα η βιβλιογραφία του δείκτη τρωτότητας των ακτών είναι πιο διαδεμονή, προφανώς και για ιστορικούς λόγους καθώς ο δείκτης αναπτύχθηκε μελετώντας την διάβρωση των ακτών κάτω από την επίδραση κυρίως φυσικών φαινομένων.

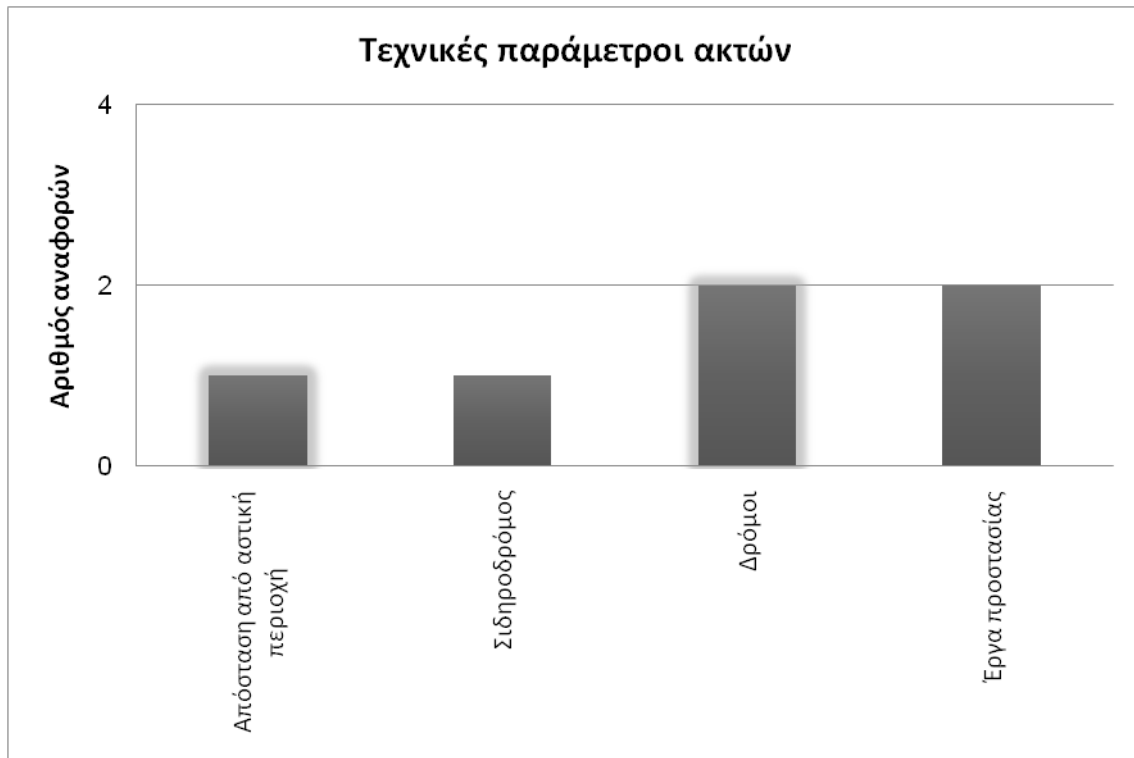
Λόγω των παραπάνω, γίνεται στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση για την παράκτια τρωτότητα, με βάση την οποία δημιουργήθηκε το γράφημα της Εικόνας 2.1. Για την παράκτια τρωτότητα μελετήθηκαν 40 βιβλιογραφίες, ενώ η διερεύνηση αυτών ολοκληρώθηκε Μάρτιο του 2022. Στο διάγραμμα παρακάτω έχει γίνει προσπάθεια να σχηματιστούν οι αναφορές. Παρατηρείται ότι μεγάλο κομμάτι των βιβλιογραφικών αναφορών κινείται γύρω από τον Gornitz et al (1999). Η κατεύθυνση των βελών αποτυπώνει την πορεία διάχυσης των πληροφοριών. Το μέγεθος του κύκλου αποτυπώνει τον αριθμό των αναφορών σε άλλους συγγραφείς ο οποίος αναγράφεται στις παρενθέσεις. Επιπρόσθετα, οι συγγραφείς με ίδιο αριθμό αναφορών έχουν το ίδιο χρώμα. Ενώ η βιβλιογραφία αναφέρεται με βάση τον πρώτο συγγραφέα.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση, μεγάλο κομμάτι της βιβλιογραφίας κινείται σε παρόμοιους άξονες και παρόμοιο σκεπτικό. Δηλαδή οι παράκτιες και νησιώτικες κοινωνίες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής λόγω του άμεσου της εξάρτησης των προϊόντων και των υπηρεσιών με το θαλάσσιο οικοσύστημα, την εγγύτητα των οικιών και των υποδομών με την αύξηση της επιφάνειας της θάλασσας και τα ακραία καιρικά φαινόμενα και τα αυξανόμενα απρόσμενα καιρικά μοτίβα (Bennett et al, 2015).

Στις Εικόνες 2.2, 2.3, 2.4 παρουσιάζονται ραβδογραφήματα όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση της βιβλιογραφίας, τα οποία απεικονίζουν ο αριθμός των αναφορών στις οποίες εντοπίζονται οι παράμετροι τρωτότητας για κάθε κατηγορία παραμέτρων, τεχνικές, φυσικές και κοινωνικοοικονομικές αντίστοιχα. Οι παράμετροι με έντονο περίγραμμα εντοπίζονται και στην τρωτότητα των λιμένων.



Εικόνα 2.1 Βιβλιογραφική ανασκόπηση παράκτιας τρωτότητας (ιδία επεξεργασία)



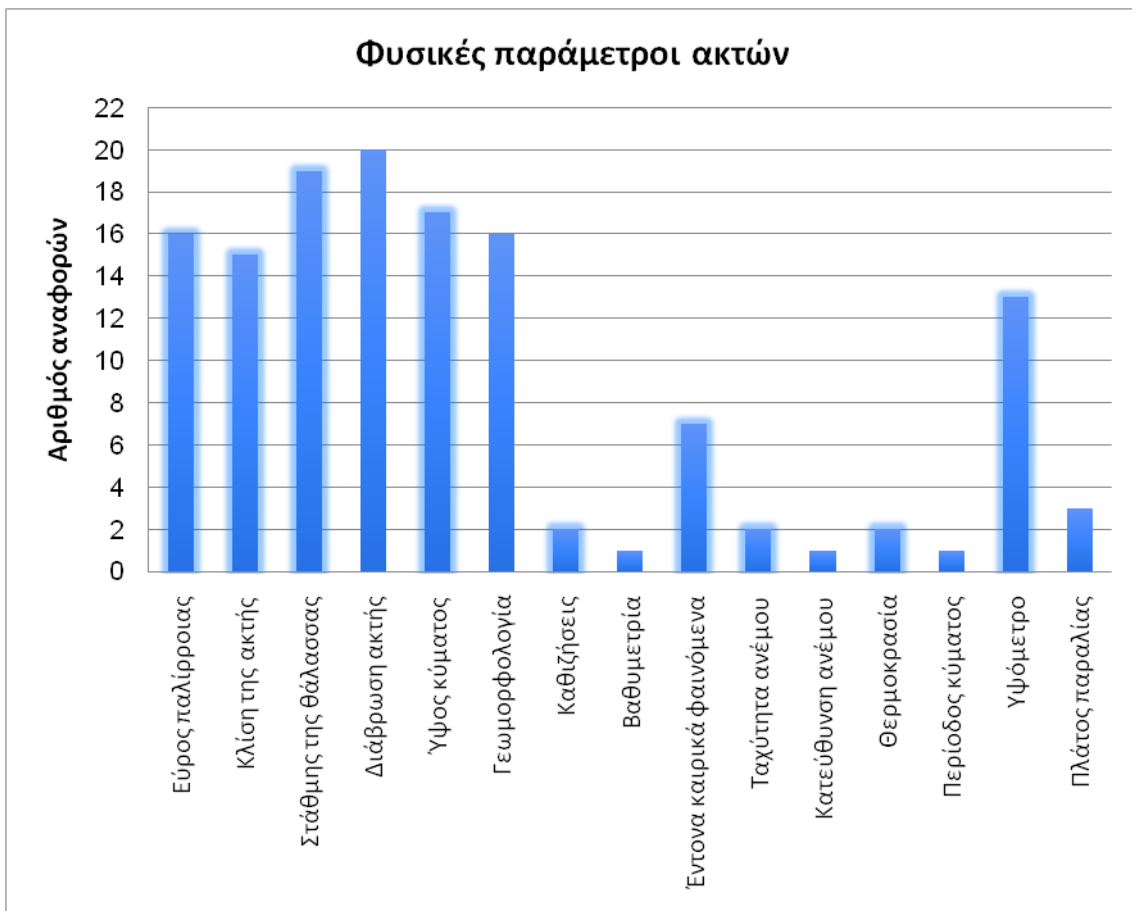
Εικόνα 2.2 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε τεχνική παράμετρο τρωτότητας ακτών

Οι τεχνικές παράμετροι στην παράκτια τρωτότητα είναι περιορισμένες. Οι μεταφορές από και προς τον λιμένα, η ύπαρξη δρόμων και σιδηροδρόμων, ξεχωρίζουν σε συνδυασμό με την απόσταση από αστική περιοχή (McLaughlin et al, 2002, Murali et al, 2013). Όσον αφορά στα έργα προστασίας, υπολογίζονται όλα τα έργα που μπορούν να αντιστρέψουν τις καταστροφικές συνέπειες της πλημμύρας. Κατά συνέπεια, οι λιμενικές υποδομές και οι παράκτιες κατασκευές εντάσσονται στην κατηγορία των έργων αυτών ακόμα και αν ο πρωτεύον ρόλος τους δεν είναι αυτός (Kantamaneni et al, 2018).

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 2.3 τα γεωμορφολογικά δεδομένα της ακτής διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο με το ύψος κύματος και την στάθμη της θάλασσας να ακολουθούν. Η κλίση της ακτής είναι μια σημαντική παράμετρος, καθώς μαζί με το υψόμετρο της ακτής και την γεωμορφολογία, αξιοποιούνται για την εκτίμηση της σχετικής τρωτότητας σε πλημμύρες και στην πιθανή γρήγορη διάβρωση της ακτής, καθώς οι παράκτιες περιοχές με χαμηλή κλίση θα υποχωρούσαν ταχύτερα από υψηλότερες περιοχές (Yin, et al 2012, Kantamaneni et al, 2018). Η γεωμορφολογία της ακτής διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό του αντίκτυπου της ανόδου της στάθμης της θάλασσας (Nageswara Rao et al, 2009) και στο σχετικό βαθμό διάβρωσης διαφορετικών εδαφών και μορφών (Kumar et al, 2012), όπως οι βραχώδεις ακτές ή οι αμμώδεις παραλίες, ακόμα και ανθρωπογενής δομές (οπλισμένο σκυρόδεμα, τοίχοι αντιστήριξης κτλ.) (Vandarakis et al, 2021). Σημαντικό γενικά είναι το υψόμετρο της ακτής και η εκτίμηση της χερσαίας έκτασης που απειλείται (Nageswara Rao et al, 2009, Kumar et al, 2012, Jana et al, 2016, Reaz Akter Mullick et al, 2019).

Οι ακτές υπόκεινται πάντα σε αλλαγές λόγω των παράκτιων διεργασιών, οι οποίες οφείλονται στα κυματικά χαρακτηριστικά, στην κυκλοφορία κοντά στην ξηρά, στα χαρακτηριστικά ιζημάτων, στην μορφή της παραλίας κτλ. (Jana et al, 2016). Το γενικό πλαίσιο καθορισμού των φυσικών παραμέτρων έγκειται στην αξιολόγηση της επίδρασης της ανόδου της στάθμης της θάλασσας και της αύξησης των ακραίων καιρικών

φαινομένων στα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της ακτής. Γίνεται προσπάθεια στην βιβλιογραφία είτε να εκτιμηθεί η τοπική άνοδος της στάθμης της θάλασσας (Mahendra et al, 2011) είτε η γενική αύξηση και να συνυπολογιστεί στον δείκτη (Snoussi et al, 2008). Κατά αυτή την διαδικασία αξιοποιούνται υψομετρικά δεδομένα δορυφόρων και τοπογραφικοί χάρτες, καθώς υπάρχει έλλειψη τόσο σε μηνιαίες μετρήσεις όσο και σε βάσεις δεδομένων (Snoussi et al, 2008, McLaughin et al, 2011). Επίσης, το φαινόμενο της ανόδου της στάθμης της θάλασσας έχει αρκετές προεκτάσεις. Ως άμεσο αποτέλεσμα της ανόδου προκύπτει η βύθιση της παράκτιας γης και τα επιβαρυντικά γεγονότα της πλημμύρας. Ως μακροπρόθεσμο αποτέλεσμα αναγνωρίζεται η αυξημένη αποσάθρωση και η διάβρωση των υπόγειων υδάτων (Jana et al, 2016). Η άνοδος της στάθμης είναι μια σημαντική επίπτωση για την κοινωνία και για το περιβάλλον (Kumar et al, 2012), καθώς μπορούν να χαθούν και μεγάλες εκτάσεις γης (Lewsey et al, 2004).



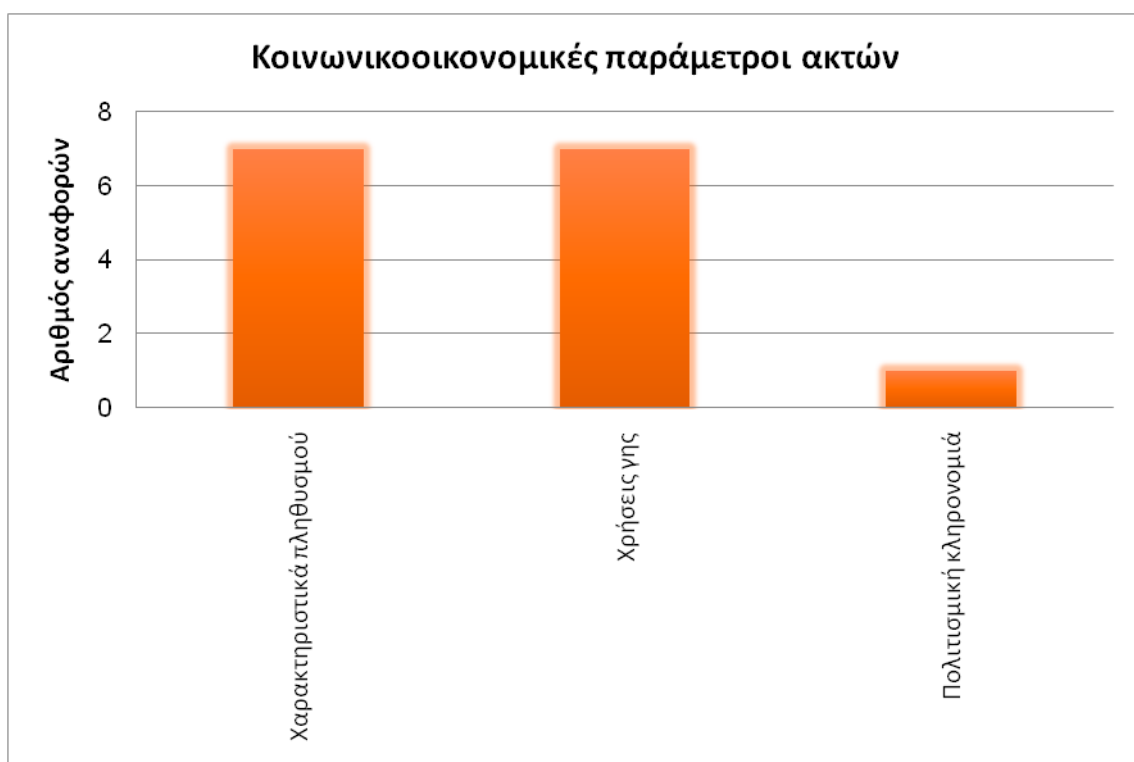
Εικόνα 2.3 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε φυσική παράμετρο τρωτότητας ακτών

Πέρα από την στάθμη της θάλασσας, μελετάτε και το φαινόμενο της παλίρροιας και το εύρος της. Οι παλίρροιες που προκαλούνται από την βαρυτική έλξη της Σελήνης είναι περιοδικές και πολύ αναμενόμενες. Το παλιρροιακό εύρος είναι η κατακόρυφη διαφορά μεταξύ της υψηλότερης παλίρροιας και της χαμηλότερης άπτης (Kumar et al, 2012, Jana et al, 2016). Από άποψη της τρωτότητας, είναι προφανές να χαρακτηρίζονται οι παράκτιες περιοχές υψηλής παλιρροϊκής περιοχής ως εξαιρετικά ευάλωτες (Yin et al 2012, Jana et al 2016).

Επίσης τα φυσικά και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά ανά περιοχή είναι αναγκαία για την εκτίμηση της τρωτότητας. Το ύψος κύματος, αλλά και τα άλλα χαρακτηριστικά του (μήκος, περίοδος) σε μικρότερο

βαθμό, βρίσκονται στη βιβλιογραφία. Με την αύξηση του μήκος κύματος και τελικά την αύξηση της κυματικής ενέργειας, χάνεται γη και η ακτή θα βρεθεί μπροστά σε αυξανόμενη διάβρωση και πλημμύρα κατά μήκος της (Jana et al, 2016). Το μέσο μήκος κύματος χρησιμοποιείται ως προσέγγιση της κυματικής ενέργειας, που οδηγεί σε μετακίνηση των ιζημάτων (Kumar et al, 2012, Yin, et al 2012). Τέλος για τον υπολογισμό των ακραίων καιρικών φαινομένων χρησιμοποιούνται οι πιθανότητες και στατιστική για να εκτιμηθούν οι μελλοντικές συχνότητες με βάση τα ιστορικά αρχεία (Mahendra et al, 2011). Οι μεγάλες καταστροφές σε ανθρώπινες ζωές και υλικά αποδίδονται κυρίως στην ξαφνική πλημμύρα των παράκτιων περιοχών από καταιγίδες (Kumar et al, 2012).

Παρατηρείται ότι στις παραμέτρους των ακτών δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός ανάμεσα στις φυσικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους. Σε μεγάλο κομμάτι της βιβλιογραφίας, δεν υπάρχει κατηγοριοποίηση των παραμέτρων (Gornitz et al, 1994, Hammar-Klose et al, 2003, Boruff et al, 2005, Kumar et al, 2010), με αποτέλεσμα την δυσκολία στην δημιουργία ραβδογραφημάτων με βάση των αριθμό αναφορών.



Εικόνα 2.4 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε κοινωνικοοικονομική παράμετρο τρωτότητας ακτών

Στις κοινωνικοοικονομικές παραμέτρους των ακτών βρέθηκαν τρεις παράμετροι, όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4. Οι Lewsey et al, 2004 αναφέρουν ότι το μεγαλύτερο εύρος του παράκτιου ανοιχτού χώρου που θα μπορούσε να αναπτυχθεί εύκολα, έχει χτιστεί εδώ και πολύ καιρό και η συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού συνέβαλε στην καταπάτηση επικίνδυνων περιοχών. Θέση που θα μπορούσε να φωτογραφίσει την ανάπτυξη των παράκτιων περιοχών σχεδόν παντού. Οπότε η μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού σε μαζί με την επικινδυνότητα πλημμύρας λόγω πολλών παραγόντων κάνουν την παράκτια περιοχή ευάλωτη (Jana et al, 2016).

Οι χρήσεις γης και η αξιοποίηση δορυφορικών εικόνων και χαρτών και η ανάπτυξη χωρικών βάσεων δεδομένων μαζί με γεωπληροφορικά λογισμικά, μπορούν να αποτυπωθούν και εκτιμηθούν πληρέστερα (Snoussi et al, 2008, Yin, et al 2012, Reaz Akter Mullick et al, 2019). Εν τέλει οι χρήσεις γης και η ενδεχόμενη



απώλεια γης από οικονομικής άποψης και για τον πληθυσμό και η ευαισθησία των υποδομών δείχνουν την τρωτότητα των ακτών.

Από τα διαγράμματα ξεχωρίζει το προβάδισμα των φυσικών παραμέτρων στους δείκτες τρωτότητας των ακτών, όπως είναι και λογικό. Ειδικά η παράκτια διάβρωση, η στάθμη της θάλασσας και το ύψος του κύματος παίζουν σημαντικό ρόλο. Ο πληθυσμός και οι χρήσεις γης αναφέρονται ισάριθμα. Όπως φαίνεται και αποτυπώνεται και στην βιβλιογραφία η συμπερίληψη των κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων στο δείκτη τρωτότητας ακτών είναι ιδιαίτερα σημαντική παράλο που αποτελεί μία δύσκολη διαδικασία (Hedge et al, 2007). Οι τεχνικές παράμετροι που βρέθηκαν έχουν να κάνουν με τις υποδομές και τις αποστάσεις αυτών από την ακτή. Αξιοσημείωτη είναι η απουσία των περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Ένα στοιχείο της αποτελεσματικής διαχείρισης των ακτών είναι η ικανότητα πρόβλεψης και ανταπόκρισης των παράκτιων ζωνών σε σύντομες και μακροπρόθεσμες κλιματικές διακυμάνσεις, αφού οποιαδήποτε αλλαγή στις κλιματικές διεργασίες θα επηρεάσουν τελικά την παράκτια ζώνη με κάθε τρόπο (Gornitz et al, 1994). Συνολικά σε εννιά (9) έρευνες, αναφέρεται η ανάγκη δημιουργίας βάσεων δεδομένων των παραμέτρων (Gornitz et al, 1994, Hammar-Klose et al, 2003, Lewsey et al, 2004, Hedge et al, 2007, Diez et al, 2007, Murali et al, 2013, Alexandrakis et al, 2014, Johnston et al, 2014, Jana et al, 2016). Γεωγραφικά δεδομένα και βάσεις δεδομένων πρέπει να προωθηθούν με στόχο οι διαχειριστές να έχουν συνεχή πρόσβαση σε πληροφορίες για την κατάσταση των πόρων και για να εκτιμήσουν την τρωτότητα τους στην κλιματική αλλαγή (Lewsey et al, 2004).

2.1.2. Τρωτότητα λιμένων

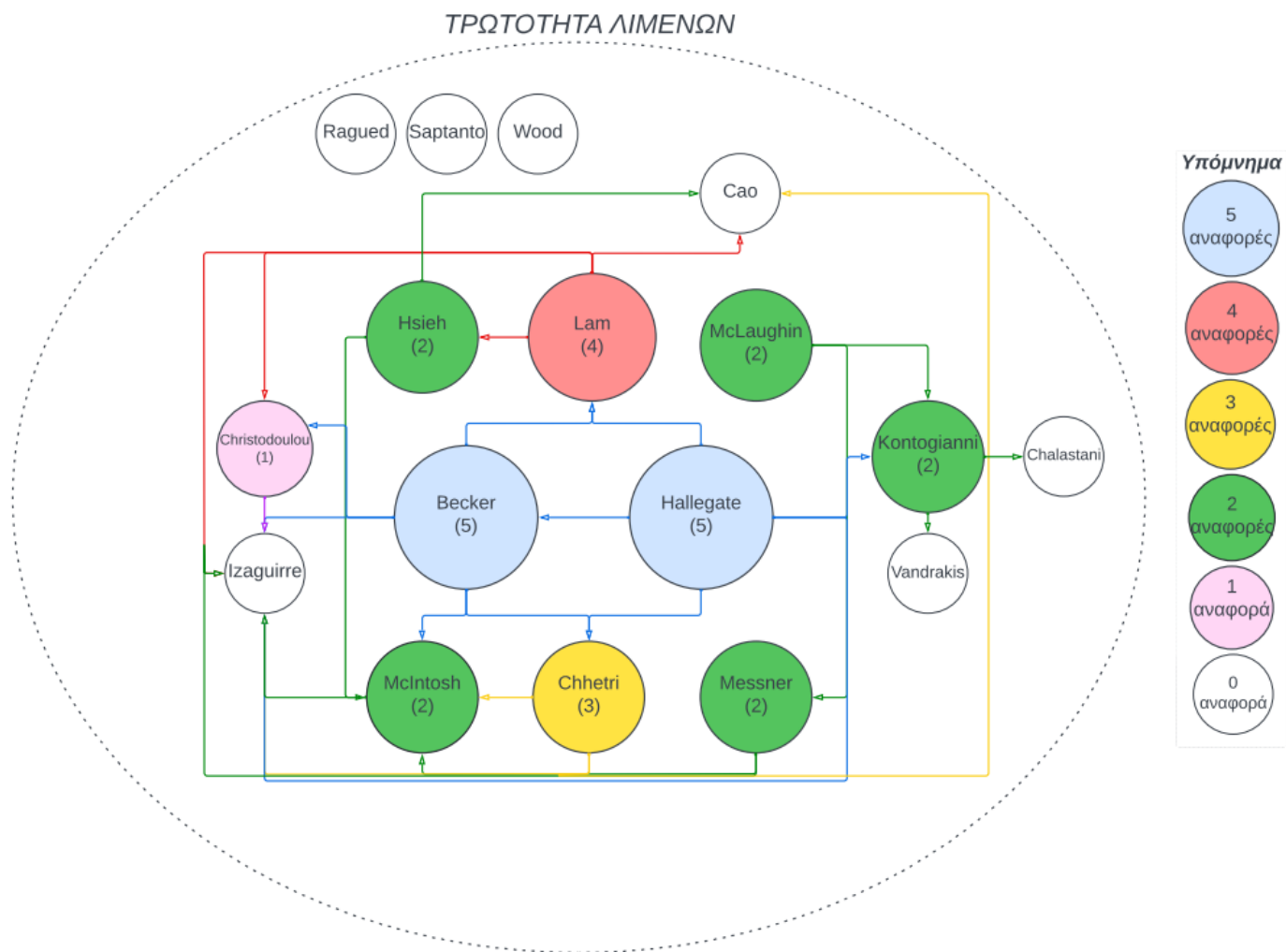
Η τρωτότητα των λιμένων γνωρίζει μικρότερη ερευνητική δραστηριότητα σε σχέση με την τρωτότητα των ακτών. Προφανώς η προσαρμογή του δείκτη στους λιμένες είναι πιο δύσκολη και πολυπαραγοντική, αλλά μπορεί να αποτελέσει και ένα σημαντικό εργαλείο στην ανάπτυξη ανθεκτικότητας των υποδομών. Καταστροφικοί κίνδυνοι των θαλάσσιων μεταφορών έχουν ερευνηθεί και συζητηθεί από διάφορες πεδία και ερευνητικές ομάδες, όπου το κάθε πεδίο χρησιμοποιεί τις δικές τις μεθόδους, έννοιες, σκελετό και μοντέλα ρίσκων (Lam et al, 2016). Κοινά πάντως και στις δύο περιπτώσεις η βιβλιογραφία εστιάζει στην τρωτότητα λόγω κλιματικής αλλαγής.

Ο σκοπός της αξιολόγησης της τρωτότητας των λιμένων είναι να ταυτοποιήσει τις κρίσιμες υποδομές και υπηρεσίες του συστήματος επιχειρήσεων λιμένα και να δώσει προστατευτικές στρατηγικές για να μετριάσει το αρνητικό αντίκτυπο της αποτυχίας του λιμένα (Hsieh et al, 2014). Στην Εικόνα 2.5 παρατίθενται διάγραμμα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση της τρωτότητας των λιμένων. Για την τρωτότητα των λιμένων μελετήθηκαν 25 βιβλιογραφίες, ενώ η διερεύνηση αυτών ολοκληρώθηκε Μάρτιο του 2022. Στο διάγραμμα έχει γίνει προσπάθεια να σχηματιστούν οι αναφορές. Παρατηρείται ότι μεγάλο κομμάτι των βιβλιογραφικών αναφορών κινείται γύρω από τους Hallegate, et al, 2010 και Becker et al, 2011. Η κατεύθυνση των βελών αποτυπώνει την πορεία διάχυσης των πληροφοριών. Το μέγεθος του κύκλου αποτυπώνει τον αριθμό των αναφορών σε άλλους συγγραφείς ο οποίος αναγράφεται στις παρενθέσεις. Επιπρόσθετα, οι συγγραφείς με ίδιο αριθμό αναφορών έχουν το ίδιο χρώμα. Ενώ η βιβλιογραφία αναφέρεται με βάση τον πρώτο συγγραφέα.

Παρόλο που η υφιστάμενη βιβλιογραφία εστιάζει κυρίως σε μεγάλους λιμένες, η εφαρμογή του δείκτη σε μικρότερης έκτασης λιμένων παρουσιάζει μεγαλύτερα προβλήματα. Μπορεί να προκύψουν περιορισμοί από την έλλειψη και την χαμηλή ακρίβεια των πληροφοριών σε μερικούς λιμένες (ιδιαίτερα σε μικρούς ή πολύ μικρούς λιμένες), που μπορούν να παρουσιάσουν μεροληψία στην ανάλυση της τρωτότητας (Izaguirre et al, 2020).



Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι παράμετροι για την εκτίμηση της τρωτότητας των λιμένων σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσα διπλωματικής εργασίας. Αρχικά συγκεντρώθηκαν και μελετήθηκαν οι βιβλιογραφίες και στη συνέχεια ομαδοποιήθηκαν με βάση τα τεχνικά, φυσικά, περιβαλλοντικά ή κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 2.5 Βιβλιογραφική ανασκόπηση παράκτιας τρωτότητας (ιδία επεξεργασία)



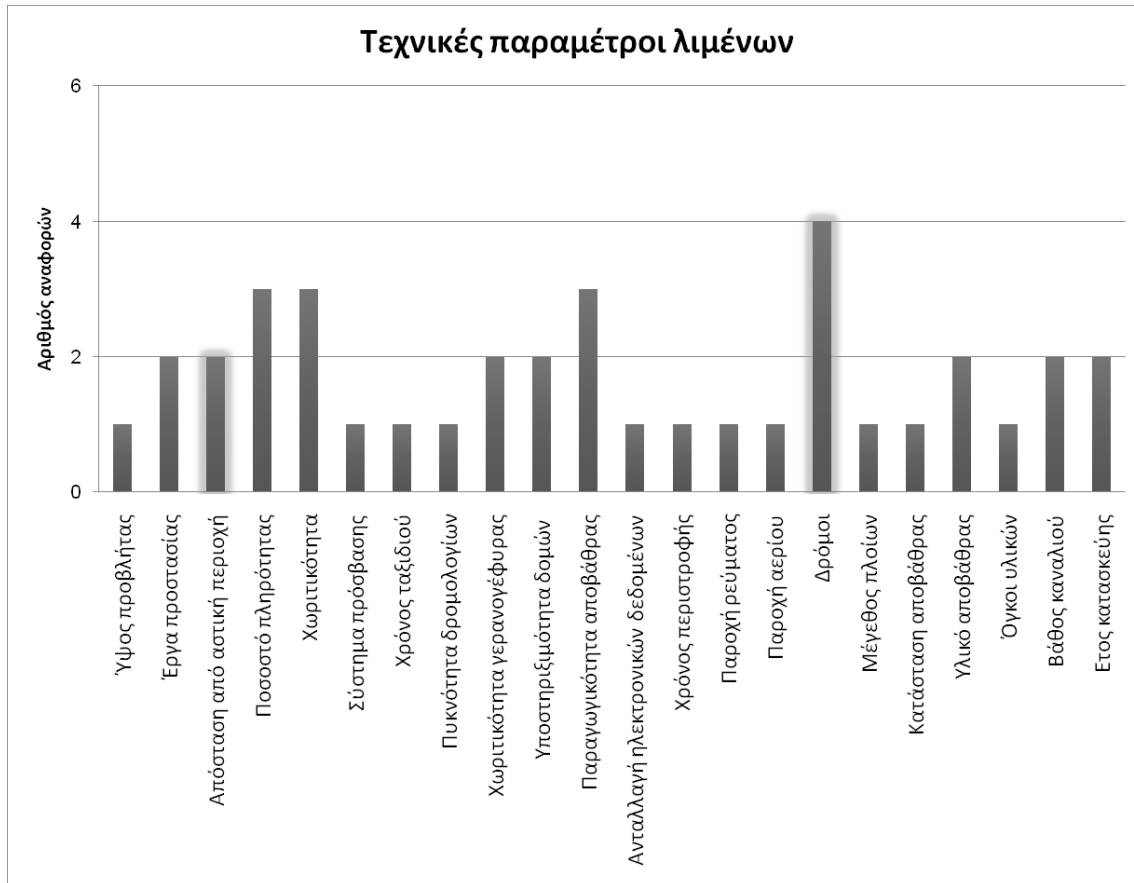
Πίνακας 2.1 Παράμετροι με βάση την βιβλιογραφία για την τρωτότητα των λιμένων

	Παράμετροι	Βιβλιογραφικές αναφορές
Τεχνικές	Ύψος προβλήτα	Kontogianni et al, 2018
	Έργα προστασίας	Kantamaneni et al, 2018, Izaguirre et al, 2020
	Απόσταση από αστική περιοχή	Kontogianni et al, 2018, Messner et al, 2013
	Ποσοστό πληρότητας	Kontogianni et al, 2018, McIntosh et al, 2019, Hsieh et al, 2014
	Χωρητικότητα	Kontogianni et al, 2018, McIntosh et al, 2019, ART, 2012
	Σύστημα πρόσβασης	Hsieh et al, 2014
	Χρόνος ταξιδιού	Hsieh et al, 2014
	Πυκνότητα δρομολογίων	Hsieh et al, 2014
	Χωρητικότητα γερανογέφυρας	Hsieh et al, 2014, Izaguirre et al, 2020
	Υποστηρικτικότητα δομών	Hsieh et al, 2014, Izaguirre et al, 2020
	Παραγωγικότητα αποβάθρας	Hsieh et al, 2014, ART, 2012, Izaguirre et al, 2020
	Ανταλλαγή ηλεκτρονικών δεδομένων	Hsieh et al, 2014
	Χρόνος περιστροφής	Hsieh et al, 2014
	Παροχή ρεύματος	Hsieh et al, 2014
	Παροχή αερίου	Hsieh et al, 2014
	Δρόμοι	Wood et al, 2004, Messner et al, 2013, Sarpanto et al, 2021, Izaguirre et al, 2020
	Μέγεθος πλοίων	Wood et al, 2004
	Κατάσταση αποβάθρας	Kontogianni et al, 2018, ART, 2012
	Υλικό αποβάθρας	Kontogianni et al, 2018, Ragued et al, 2011
	Όγκοι υλικών	Kontogianni et al, 2018
Βάθος καναλιού	McIntosh et al, 2019, Izaguirre et al, 2020	
Έτος κατασκευής	Wood et al, 2004, Ragued et al, 2011	
Φυσικές	Έντονα καιρικά φαινόμενα	Izaguirre et al, 2020, Kontogianni et al, 2018, McIntosh et al, 2019, Wood et al, 2004, McIntosh et al, 2020, Messner et al, 2013, Lam et al, 2016, Ragued et al, 2011, Christodoulou et al, 2018, Hallegate et al, 2010, Sarpanto et al, 2021, ART, 2012
	Ταχύτητα ανέμου	Izaguirre et al, 2020, Chhetri et al, 2015, Lam et al, 2016, ART, 2012
	Εύρος παλίρροιας	McIntosh et al, 2019, Wood et al, 2004, McIntosh et al, 2020, Messner et al, 2013, Christodoulou et al, 2018, ART, 2012
	Στάθμη της θάλασσας	McIntosh et al, 2019, McIntosh et al, 2017, McIntosh et al, 2020, Messner et al, 2013, McLaughin et al, 2011, Christodoulou et al, 2018, ART, 2012, Hallegate et al, 2010
	Πλημμυρικά φαινόμενα	Izaguirre et al, 2020, McIntosh et al, 2019, Wood et al, 2004, Lam et al, 2016, ART, 2012
	Θερμοκρασία	Izaguirre et al, 2020, McIntosh et al, 2019, Chhetri et al, 2015, McLaughin et al, 2011
	Αριθμός καταστροφών	Izaguirre et al, 2020, McIntosh et al, 2019, Wood et al, 2004, McIntosh et al, 2020, Lam et al, 2016
	Υψόμετρο	Kontogianni et al, 2018, McIntosh et al, 2019, Messner et al, 2013



	Ύψος κύματος	Izaguirre et al, 2020, Kontogianni et al, 2018, ART, 2012
	Μήκος κύματος	Kontogianni et al, 2018
	Κλίση ακτής	Messner et al, 2013, Kantamaneni et al, 2018
	Βροχή	Izaguirre et al, 2020, McIntosh et al, 2020, Chhetri et al, 2015, McLaughin et al, 2011
	Καθιζήσεις	McIntosh et al, 2017, Wood et al, 2004, Lam et al, 2016
	Σεισμός	Lam et al, 2016, Raged et al, 2011
Περιβαλλοντικές	Δείκτης περιβαλλοντικής ευαισθησίας	McIntosh et al, 2019, McIntosh et al, 2020
	Προστατευόμενο οικοσύστημα	McIntosh et al, 2019, McIntosh et al, 2020, Wood et al, 2004
	Ατμοσφαιρική ρύπανση	McIntosh et al, 2019
	Είδη προς εξαφάνιση	McIntosh et al, 2019
Κοινωνικοοικονομικές	Κόστος ανά καταστροφή	McIntosh et al, 2019, McIntosh et al, 2020, Lam et al, 2016
	Επαγγελματική χρήση	Kontogianni et al, 2018, Sarpanto et al, 2021
	Παραγωγικότητα εργασίας	Hsieh et al, 2014
	Αύξηση επενδύσεων	Hsieh et al, 2014
	Ελεύθερη εμπορική ζώνη	Hsieh et al, 2014
	Πληθυσμός	Kontogianni et al, 2018, McIntosh et al, 2019, Wood et al, 2004, McIntosh et al, 2020, McIntosh et al, 2017, Sarpanto et al, 2021, ART, 2012
	Πολιτισμική κληρονομιά	Kantamaneni et al, 2018
	Εργασιακή απασχόληση	McIntosh et al, 2019, Wood et al, 2004, Lam et al, 2016, Sarpanto et al, 2021, ART, 2012
	Χρήσεις γης	Wood et al, 2004
Αξία γης	Wood et al, 2004, McIntosh et al, 2017	

Στις Εικόνες 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 παρουσιάζονται τα ραβδογραφήματα όπως αυτά προέκυψαν από την ανάλυση της βιβλιογραφίας, τα οποία απεικονίζουν τον αριθμό των αναφορών στις οποίες εντοπίζονται οι παράμετροι τρωτότητας για κάθε κατηγορία παραμέτρων, τεχνικές, φυσικές περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές αντίστοιχα. Οι παράμετροι με έντονο περίγραμμα εντοπίζονται και στη τρωτότητα των ακτών.



Εικόνα 2.6 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε τεχνική παράμετρο τρωτότητας λιμένων

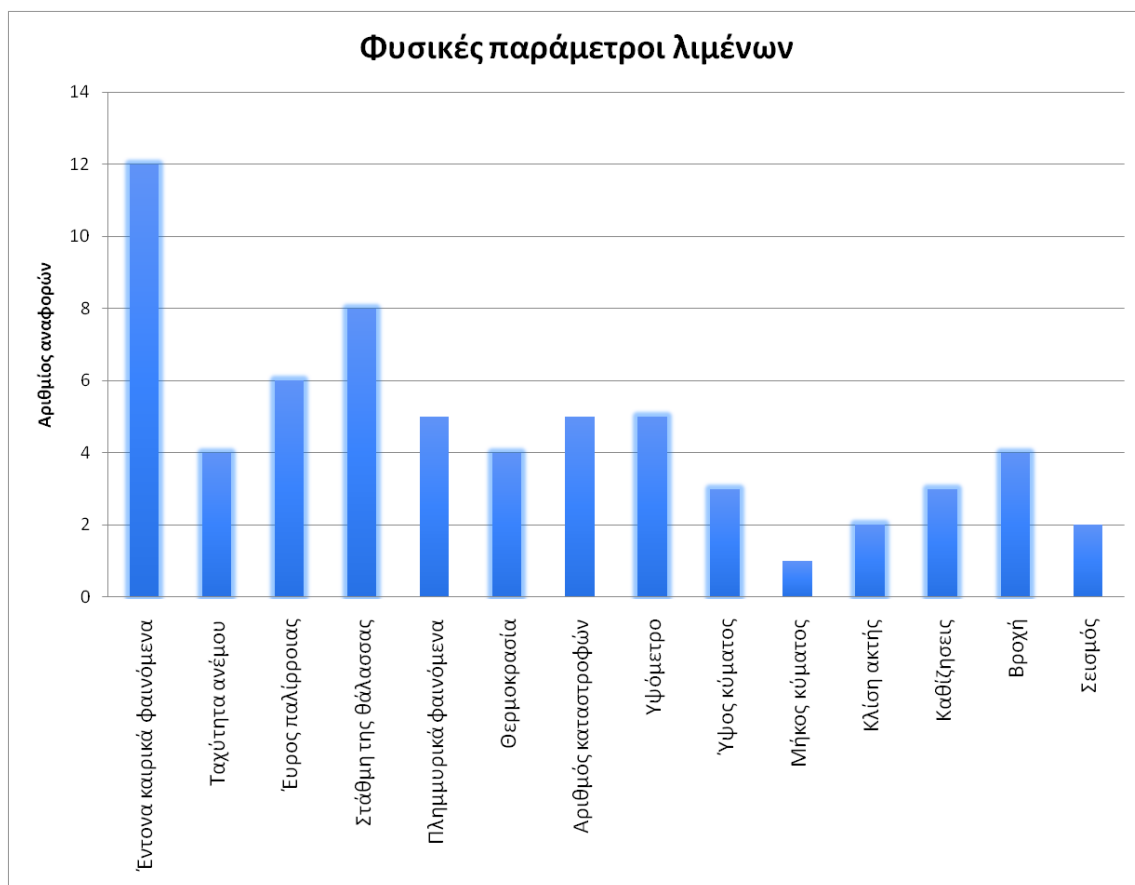
Οι τεχνικές παράμετροι που βρέθηκαν μπορούν να διαχωριστούν ενδεικτικά σε τρεις κατηγορίες, σε αυτές που έχουν να κάνουν με την κατασκευή, σε αυτές που έχουν να κάνουν με την υποστήριξη των παραγωγικών διαδικασιών του λιμένα και σε αυτές των μεταφορών από και προς αυτούς.

Στο κατασκευαστικό κομμάτι εντάσσονται το ύψος του προβλήτα, δηλαδή η διαφορά υψομέτρου από την οριζόντια επιφάνεια του προβλήτα έως την στάθμη της θάλασσας, όπου όσο μικρότερη η διαφορά τόσο πιο ευάλωτο (Kontogianni et al, 2018), και τα έργα προστασίας, δηλαδή, προστατευτικοί τοίχοι ή η ίδια η λιμενική υποδομή που προφυλάσσει από πλημμύρες, διάβρωση και καιρικά φαινόμενα (Kantamaneni et al, 2018, Izaguirre et al, 2020). Εντοπίζεται επίσης η χωρητικότητα, που σχετίζεται με το είδους του λιμένα (εμπορικός, τερματικός, αλιευτικός, αναψυχής κ.α.) (ART, 2012, Kontogianni et al, 2018, McIntosh et al, 2019). Το βάθος του καναλιού απαιτείται κυρίως σε μεγάλους λιμένες, καθώς η μεταφορά ιζημάτων μπορεί να γεμίσει τον πυθμένα και να διαταράξει την λειτουργία του καναλιού (McIntosh et al, 2019, Izaguirre et al, 2020).

Σημαντικοί παράμετροι αν και βρίσκονται σε μικρή συχνότητα είναι η κατάσταση της αποβάθρας, λόγω διάβρωσης, προσκρούσεων, φθοράς και λειτουργικών φορτίων. Στην βιβλιογραφία Kontogianni et al, 2018 η κατάσταση της αποβάθρας και των λιμενικών υποδομών προσεγγίζεται μόνο ως το υλικό κατασκευής και ο όγκος του υλικού που χρησιμοποιήθηκε. Στην βιβλιογραφία Raguéd et al, 2011 η κατάσταση της λιμενικής υποδομής προσεγγίζεται με βάση το χρόνο ζωής, το μέγεθος, τα χαρακτηριστικά των υλικών και τις επεμβάσεις στην υποδομή καθώς πολλές φορές οι αποβάθρες έχουν υποστεί σημαντική αναμόρφωση, ενώ κάποιες έχουν κατασκευαστεί σε στάδια, τα οποία παίζουν επίσης σημαντικό ρόλο στην ανθεκτικότητά τους, σε φυσικά φαινόμενα ή φορτία (Raguéd et al, 2011).

Όσον αφορά στην υποστήριξη των παραγωγικών διαδικασιών κυρίως πρόκειται για παραμέτρους (σύστημα πρόσβασης, χρόνος ταξιδιού, πυκνότητα δρομολογίων, παραγωγικότητας αποβάθρας, παροχή ρεύματος και αερίου, υποστηρικτικότητα υποδομών) της βιβλιογραφίας των Hsieh et al (2014) και Izaguirre et al (2020) που ασχολούνται με μεγάλες λιμενικές υποδομές, με μεταφορά και αποθήκευση εμπορευματοκιβωτίων που έχουν μεγάλη εμπορική και οικονομική σημασία. Προφανώς ανάλογα με το είδος του λιμένα και των εργασιών οι λιμένες επηρεάζονται διαφορετικά από την κλιματική αλλαγή και τα συναφή φυσικά φαινόμενα. Όμως, οι εργασίες παρεμποδίζονται σε όλα ανεξαρτήτως μεγέθους (Messner et al, 2013, Hsieh et al, 2014, Izaguirre et al, 2020). Βέβαια το ποσοστό πληρότητας, ποσοστό δηλαδή κατάληψης θέσεων χωρητικότητας, που βρίσκεται και σε άλλες βιβλιογραφίες (Hsieh et al, 2014, Kontogianni et al, 2018) μπορεί να δώσει κρίσιμα συμπεράσματα για όλων των ειδών τους λιμένες.

Όσον αφορά τις μεταφορές εντοπίστηκαν δύο παράμετροι. Αυτή της ύπαρξης δρόμων από και προς τον λιμένα ως μέσο διαφυγής και επικοινωνίας (Wood et al, 2004) και την απόσταση από τα αστικά κέντρα, όπου όσο πιο μακριά είναι τόσο πιο ευάλωτοι οι λιμένες (Kontogianni et al, 2018).



Εικόνα 2.7 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε φυσική παράμετρο τρωτότητας λιμένων

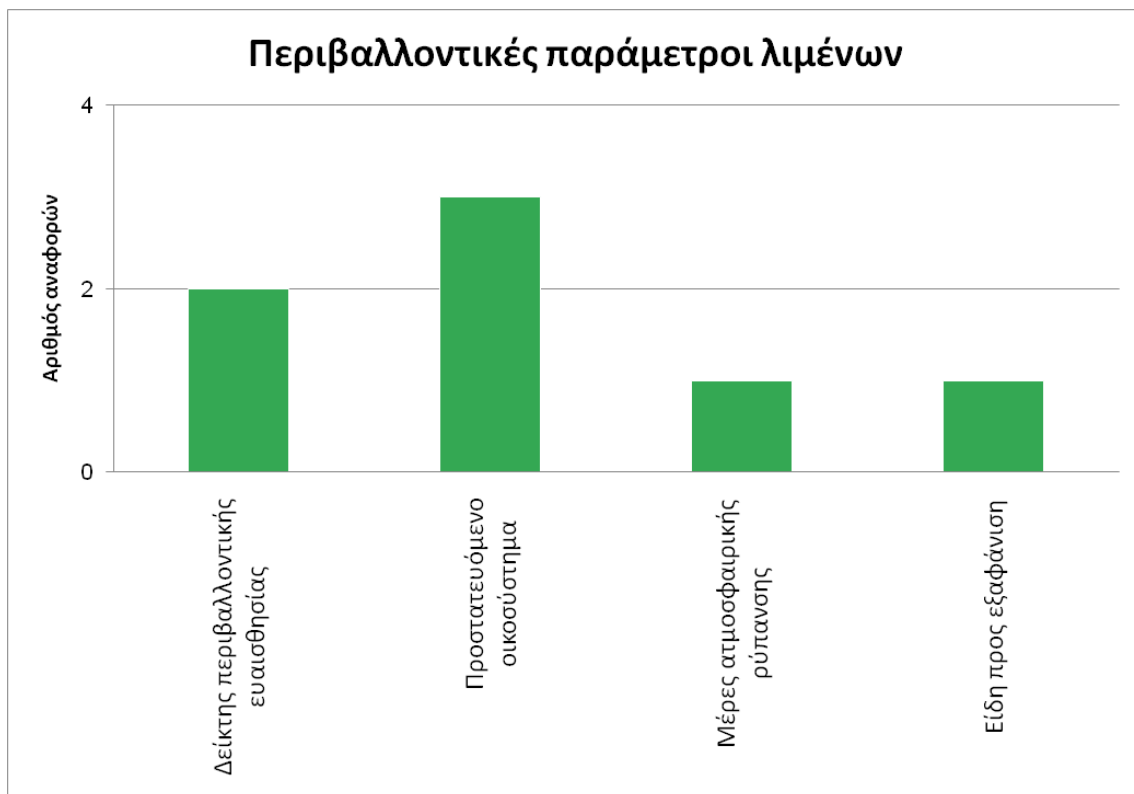
Οι φυσικές παραμέτρους που εντοπίζονται στις περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές αφορούν στα έντονα καιρικά φαινόμενα και συγκεκριμένα στην συχνότητα και στην ύπαρξη αυτών στις συγκεκριμένες περιοχές (Wood et al, 2004, Kantamaneni et al, 2018, McIntosh et al, 2019, McIntosh et al, 2020, Izaguirre et al, 2020). Αντίστοιχα, και η στάθμη της θάλασσας είτε εντοπίζεται ως η στάθμη αυτή καθαυτή είτε ως άνοδος ή μείωση (Messner et al, 2013, Christodoulou et al, 2018, McIntosh et al, 2020). Εντοπίζεται επίσης το ύψος του κύματος, όπως και στις ακτές (ART, 2012, Kontogianni et al, 2018, Izaguirre et al, 2020). Όλα τα

παραπάνω, η πλημμύρα και η υπερχειλίση, δημιουργούν προβλήματα τόσο στην ίδια την λιμενική υποδομή και στις περιβάλλουσες εγκαταστάσεις και μεταφορικές υποδομές, στο πληθυσμό, όσο και στις εργασίες του λιμανιού (McLaughin et al, 2011, Messner et al, 2013, Izaguirre et al, 2020).

Η ταχύτητα του ανέμου, το εύρος της παλίρροιας, το υψόμετρο, η κλίση της ακτής, το υψόμετρο και η καθιζήσεις υπολογίζονται από τα μετεωρολογικά ή γεωλογικά δεδομένα. Τα πλημμυρικά φαινόμενα εντοπίζονται μετά από ακραία καιρικά φαινόμενα ή στις κοίτες των ποταμών (Wood et al, 2004, ART, 2012, Lam et al, 2016, McIntosh et al, 2019, Izaguirre et al, 2020). Η θερμοκρασία, η οποία εκφράζεται ως οι μέρες με τις υψηλότερες θερμοκρασίες ή ως μέσος όρος, επηρεάζει τόσο τις κτιριακές υποδομές και όσο και τα οδοστρώματα (McLaughin et al, 2011, Chhetri et al, 2015, McIntosh et al, 2019).

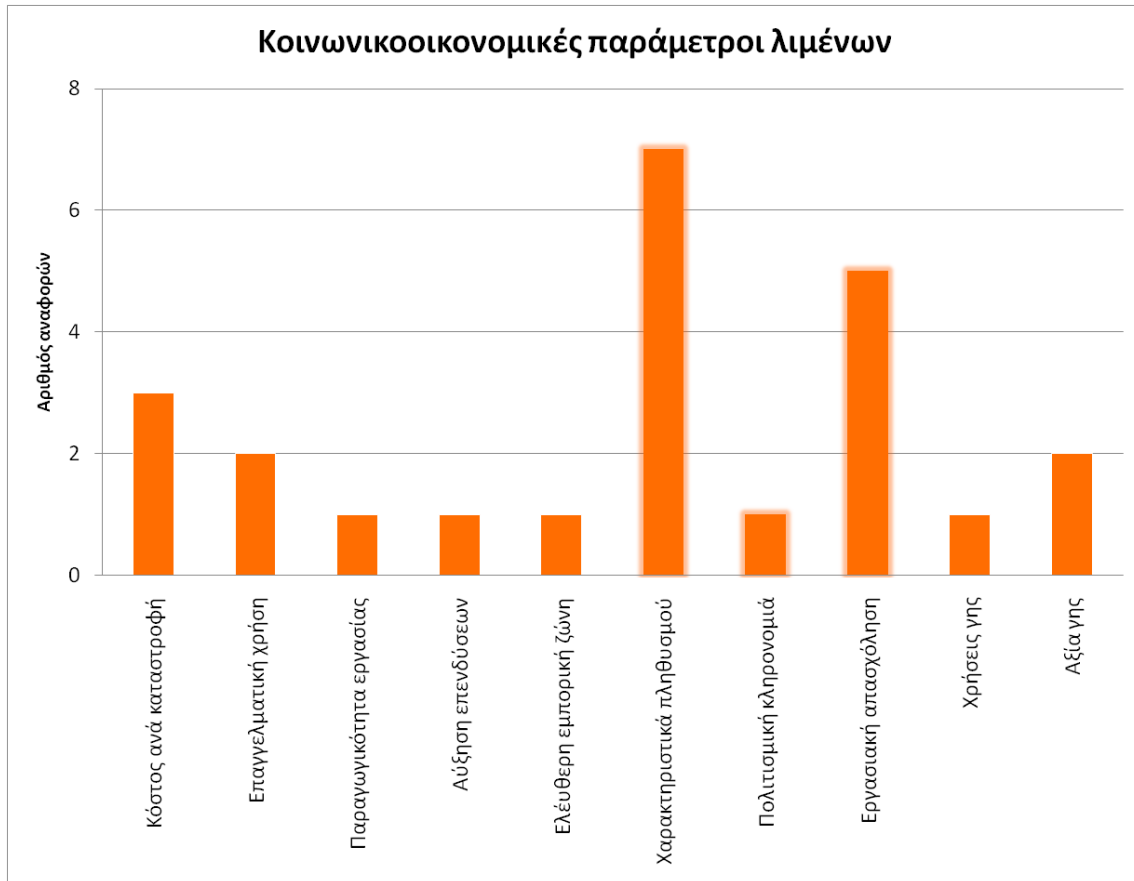
Οι σεισμοί, και συγκεκριμένα η συχνότητα και το μέγεθος τους, απασχολούν κυρίως ερευνητές που εξετάζουν σεισμογενείς χώρες. Οι σεισμοί έχουν διαφορετικό αντίκτυπο ανάλογα με την εστία του σεισμού, την ηλικία και την κατάσταση της αποβάθρας, καθώς και τον αντισεισμικό σχεδιασμό που έχουν κατασκευαστεί (Ragued et al, 2011, ART, 2012).

Τέλος όσον αφορά τον αριθμό καταστροφών, σε αυτές συνυπολογίζονται τόσο καταστροφές λόγω φυσικών φαινομένων (καιρικά φαινόμενα, σεισμοί) όσο και καταστροφές λόγω ατυχημάτων.



Εικόνα 2.8 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε περιβαλλοντική παράμετρο τρωτότητας λιμένων

Στις περιβαλλοντικές παραμέτρους εντοπίζεται ο δείκτης περιβαλλοντικής ευαισθησίας της περιοχής. Το προστατευόμενο οικοσύστημα (χλωρίδα και πανίδα) και τα είδη προς εξαφάνιση, και η ατμοσφαιρική ρύπανση, οι μέρες δηλαδή που είναι πάνω από το κανονικό, επίσης εντοπίζονται στην βιβλιογραφία (Wood et al, 2004, McIntosh et al, 2019, McIntosh et al, 2020).



Εικόνα 2.9 Αριθμός βιβλιογραφικών αναφορών για κάθε κοινωνικοοικονομική παράμετρο τρωτότητας λιμένων

Στις κοινωνικοοικονομικές παραμέτρους σημαντικό ρόλο παίζουν τα χαρακτηριστικά του πληθυσμού της παράκτιας πόλης ή περιοχής. Η έκθεση του πληθυσμού και των περιουσιακών στοιχείων (κατοικίες, επιχειρήσεις, γη) που θα επηρεαστούν από πλημμύρα ελλείπει αντιπλημμυρικής προστασίας (Hallegate, et al, 2010) είναι σημαντικές παράμετροι. Σημαντική είναι εδώ η εργασιακή απασχόληση γύρω από τον λιμένα και γύρω από αυτό, καθώς οποιαδήποτε καταστροφή δημιουργεί προβλήματα στους κατοίκους (Wood et al, 2004, ART, 2012, Lam et al, 2016, McIntosh et al, 2019, Sarpanto et al, 2021). Στην διεθνή βιβλιογραφία βρέθηκε το κόστος ανά καταστροφή (φυσικά φαινόμενα, ατυχήματα, εκρήξεις, χημικά ατυχήματα, τρομοκρατικές ενέργειες) και η πολιτισμική κληρονομιά (Lam et al, 2016, Kantameni et al, 2018, McIntosh et al, 2019, McIntosh et al, 2020).

Τέλος οι χρήσεις γης και η αξία βρέθηκαν σε δύο βιβλιογραφίες (Wood et al, 2004, McIntosh et al, 2017), ενώ όπως είδαμε στην παράκτια τρωτότητα παίζουν σημαντικότερο ρόλο. Αντίστοιχα με τις τεχνικές παραμέτρους υπάρχουν και εδώ παράμετροι όπως η παραγωγικότητα της εργασίας, την αύξηση επενδύσεων και την ελεύθερη εμπορική ζώνη από την βιβλιογραφία του Hsieh et al, 2014 που αντιστοιχούν σε μεγάλους λιμένες.

Βασιζόμενοι στην βιβλιογραφική ανασκόπηση, υπάρχει μεγάλη ζήτηση στην ανάπτυξη ανθεκτικότητας στις θαλάσσιες μεταφορές (Lam et al, 2016). Ο σκοπός της αξιολόγησης της τρωτότητας των λιμένων είναι να ταυτοποιήσουν κρίσιμων υποδομών και υπηρεσιών του συστήματος επιχειρήσεων λιμένα και να αναπτυχθούν προστατευτικές στρατηγικές για να μετριάσει το αρνητικό αντίκτυπο της αποτυχίας του λιμένα (Hsieh et al, 2014). Όμως, όπως φαίνεται από την Εικόνα 2.6 του γραφήματος των τεχνικών παραμέτρων η υποδομή ή ο χρόνος που χρειάζεται για να επιστρέψει στις πλήρεις δυνατότητες του μετά από καταστροφή (Cao et al, 2019) παίρνεται στην πράξη από λίγο έως καθόλου υπόψη. Και εδώ όπως και



στις ακτές υπερισχύει η παράμετρος τις αποστάσεις από αστικές περιοχές ή η ύπαρξη δρόμων ενώ η κατάσταση της υποδομής αυτής καθεαυτής δεν υπολογίζεται. Επίσης έχουν υπολογιστεί κάποιες παράμετροι που ανταποκρίνονται κυρίως σε μεγάλους λιμένες.

Οι φυσικές παράμετροι παίζουν και εδώ τον ρόλο τους, σαφώς σε μικρότερο βαθμό από τις ακτές, με ιδιαίτερη βαρύτητα να πέφτει στα ακραία καιρικά φαινόμενα και στην στάθμη της θάλασσας. Εξάλλου υπάρχει κοινή αποδοχή σε όλη την βιβλιογραφία ότι οι λιμένες, εκτός από τους οικισμούς, είναι πιθανό να είναι πιο τρωτοί στην κλιματική αλλαγή καθώς είναι τοποθετημένοι σε περιοχές εκτεθειμένες στην αύξηση του επιπέδου της θάλασσας και σε καταιγίδες ή σε εκβολές ποταμών ευαίσθητα σε πλημμύρες (Kontogianni et al, 2018).

Η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει δυσανάλογα τις περιοχές και τις οικονομίες που βασίζονται σε λιμένες ανάλογα με την γεωγραφική τους θέση και τις προσαρμοστικές ικανότητες των ίδιων των λιμένων και των κοινοτήτων στις οποίες βρίσκονται (Becker et al, 2011). Γενικά δίνεται μικρή έμφαση στις πληροφορίες πραγματικού χρόνου (Chalastani et al, 2022) και στην παρακολούθηση των λιμενικών υποδομών και περισσότερη στην καταγραφή φυσικών παραμέτρων και περιβαλλοντικών επιπτώσεων με βάση και τις βιβλιογραφικές αναφορές.

2.2. Τρωτότητα και η ανάγκη παρακολούθησης

Οι λιμένες εκτίθενται συνεχώς σε ακραία καιρικά φαινόμενα λόγω της τοποθεσίας τους στις ακτές, με αποτέλεσμα να πρέπει να ανταποκρίνονται και να προσαρμόζονται στην προβλεπόμενη επίδραση της κλιματικής αλλαγής, και συγκεκριμένα στα ακραία φυσικά φαινόμενα (Chetri et al, 2015). Για αυτούς ακριβώς τους λόγους υπάρχει μεγάλη ανάγκη της γνώσης της κατάστασης της υποδομής από μηχανικής άποψης. Παρόλο που οι περισσότεροι ερευνητές εστιάζουν στην κλιματική αλλαγή και στην ανάγκη ανάπτυξης σεναρίων με βάση π.χ. την αύξηση της στάθμης της θάλασσας, η παρακολούθηση της υποδομής ανά τακτά χρονικά διαστήματα και η τρωτότητα των λιμένων από την σκοπιά της υποδομής δεν έχει ωριμάσει προκειμένου να μπορεί να δώσει την δυνατότητα και στην επιμέλεια προτάσεων συντήρησης-αποκατάστασης και σε σενάρια παρούσας αξίας. Επειδή ακριβώς πρόκειται για μια δυναμική διαδικασία και όχι σταθερή απαιτείται συνεχής ανανέωση της βάσης δεδομένων με νέα στοιχεία. Η υφιστάμενη κατάσταση τρωτότητας μπορεί να θεωρηθεί ως το πρώτο βήμα για την δημιουργία βάσης δεδομένων, προκειμένου να αναπτυχθεί και να συντελέσει σημαντικό εργαλείο για την πρόβλεψη μελλοντικών αλλαγών και τις μελλοντικής τρωτότητας.

Σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι ενώ δεν έχει προχωρήσει σε μεγάλο βαθμό η παρακολούθηση των λιμενικών υποδομών για την παρακολούθηση παραμέτρων, όπως οι φυσικές, σε διάφορους λιμένες έχουν εγκατασταθεί μετεωρολογικοί σταθμοί ή αισθητήρες που συλλέγουν διάφορα μετεωρολογικά δεδομένα, όπως η τωρινή παλίρροια, τα κύματα, η θερμοκρασία και η αλατότητα (Wooldridge et al, 1999). Επίσης παρακολουθούνται οι χρήσεις γης και οι αλλαγές αυτών καθώς υπάρχει ισχυρή αλληλεπίδραση. Επίσης διερευνάται η δυνατότητα καταγραφής της ρύπανσης της ατμόσφαιρας μέσω αυτών (Alvear et al, 2018). Στοιχεία που δείχνουν την ανάγκη έγκαιρης αποκτήσεις και συνεχείς παρακολουθήσεις παραμέτρων.

Μία από τις βασικές παραμέτρους είναι η κατάσταση της υποδομής παίζει καθοριστικό ρόλο στην τρωτότητα του λιμένα συνδυασμένα προφανώς με τις υπόλοιπες παραμέτρους, τόσο φυσικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές. Σήμερα η παρακολούθηση της εξέλιξης της κατάστασης της υποδομής για την αξιολόγηση της και η γρήγορη λήψη απόφασης με τις νέες τεχνολογίες μπορούν να πάρουν νέα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά. Υφιστάμενες πρακτικές και νέες μεθοδολογίες, που



έχουν ωριμάσει και αυτοματοποιηθεί, μπορούν να δώσουν μια πιο λεπτομερή ανάλυση (Visockiene et al, 2016, Chalastani et al, 2022).

Εξελισσόμενες τεχνολογίες στην τηλεπισκόπηση, στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information System, GIS), και στην αριθμητική μοντελοποίηση κατατάσσουν τα διαθέσιμα δεδομένα σε χωρικές και χρονικές κλίμακες για όλες τις παραμέτρους που έχουν συμπεριληφθεί (Kumar et al, 2012). Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) επεξεργάζονται χωρικές πληροφορίες συνδέοντας την τοποθεσία με την χαρακτηριστική πληροφορία. Οι προετοιμασία πληροφοριών και η χαρτογράφηση της χωρικής σχέσης ανάμεσα σε φυσικά καταστροφικά φαινόμενα και τα στοιχεία υπό απειλή απαιτούν την χρήση GIS. Οι τεχνικές της τηλεπισκόπησης με GIS και GPS έχουν αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμες για ανάλυση σεναρίων και ανάπτυξη δραστηρίων διοικητικών πλάνων (Jana et al, 2016). Επίσης η ανάπτυξη βάσεων δεδομένων πλέον μπορούν να διευκολύνουν περισσότερο την επεξεργασία πληροφοριών, που ήδη έχει ξεκινήσει για τις ακτές σε κάποιες χώρες.

Στο κενό που εντοπίζεται στην βιβλιογραφία, δηλαδή στην ένταξη της κατάστασης της υποδομής στον δείκτη τρωτότητας, θα προσπαθήσει να συμβάλει η παρούσα διπλωματική. Η ένταξη των τεχνικών χαρακτηριστικών θα γίνει με την δημιουργία νέων παραμέτρων, συγκεκριμένα στα εξωτερικά και εσωτερικά έργα. Θα αξιοποιηθεί η διεθνής πείρα για την εύρεση της τρωτότητας, τόσο στους λιμένες όσο και στις ακτές. Με την μέθοδο της τηλεπισκόπησης και την αξιοποίηση μη επανδρωμένων αεροσκαφών θα ενταχθούν στον δείκτη της τρωτότητας η κατάσταση των υποδομών, θα αξιολογηθεί δηλαδή κατά κάποιο τρόπο στην παρούσα φάση η δυνατότητα των λιμενικών εγκαταστάσεων να αντισταθούν σε φυσικά φαινόμενα που αντικειμενικά έχουν μεγάλο αντίκτυπο σε αυτές τις υποδομές, σε φθορές λόγω φορτίων, ατυχημάτων κτλ. Επίσης θα ληφθεί υπόψη η μεταβλητότητα στην κατάσταση των κατασκευών. Αυτό μπορεί να αποτελέσει βάση για να αναπτυχθεί ένα εργαλείο, ένα σύστημα παρακολούθησης, όπου ο φορέας διαχείρισης θα μπορεί με μεγαλύτερη βεβαιότητα να εκτιμήσει την μελλοντική τρωτότητα.



3. Παρακολούθηση (Monitoring)

3.1. Γενικά

Οι υφιστάμενες υποδομές υπόκεινται σε περιβαλλοντικές και εξωτερικές φυσικές δυνάμεις (ASCE, 2015) καθώς και σε διεργασίες γήρανσης, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η λειτουργική και δομική κατάστασή τους. Λόγω αυτής της μεταβλητότητας είναι αναγκαία και η συστηματική παρακολούθηση των υποδομών. Ο τρόπος παρακολούθησης της κατάστασης των υποδομών από την κατασκευή τους μέχρι το τέλος του κύκλου ζωής τους στην εποχή των μεγάλων δεδομένων (big data), του 5G, του διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things) και συνολικά μεγάλων τεχνολογικών επιτευγμάτων, έχει βελτιωθεί, απλοποιηθεί και ταυτόχρονα προσφέρει νέες δυνατότητες.

Οι ψηφιακές τεχνολογίες έχουν την δυνατότητα να παρέχουν γρήγορες αξιολογήσεις ανθεκτικότητας με ένα ποσοτικό και μηχανικό τρόπο για τις υποδομές, οι οποίες είναι εκτεθειμένες σε πολλούς φυσικούς και ανθρωπογενείς κινδύνους και σε διάφορες φορτίσεις κατά την διάρκεια ζωής τους (Achillorouliou et al, 2020). Η διαδικασία ψηφιοποίησης, δηλαδή η εφαρμογή ψηφιακών τεχνολογιών είναι ευρέως διαδεδομένη και στους λιμένες (Agatic et al, 2020).

Η παρακολούθηση, ως έννοια δεν είναι καινούργια, εντοπίζεται ήδη από τα τέλη του 20^{ου} αιώνα, ούτε μπορεί να περιοριστεί σε ένα τομέα. Η αξιοποίηση της δε θα μπορούσε παρά να συνοδεύεται και από μια πληθώρα μεθόδων ή συνδυασμό μεθόδων, που ανάλογα με το πεδίο που εφαρμόζεται δίνει τα απαραίτητα ή επιθυμητά στοιχεία. Όποιες τεχνικές και να επιλεγθούν, κατά την διεξαγωγή οποιαδήποτε δειγματοληψίας είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες μέθοδοι και εξοπλισμός για να διασφαλίσουν ότι τα δεδομένα είναι συνεπή και έγκυρα. Είναι επίσης σημαντικό να κατανοηθεί η πιθανότητα σφαλμάτων στην περιβαλλοντική παρακολούθηση, είτε λόγω εξοπλισμού, είτε λόγω της διαδικασίας, είτε λόγω λάθος ερμηνείας των αποτελεσμάτων (Wooldridge et al, 1999).

Ενώ μερικές αστοχίες μπορούν να εντοπιστούν οπτικά ή με τακτικά μέσα, άλλες μπορεί να κρύβονται μέσα στην δομή των μελών ή των δομικών στοιχείων. Η χρήση εξειδικευμένων τεχνικών παρακολούθησης συχνά σχετίζονται με διάφορες μη καταστρεπτικές δοκιμές (NDT) και εν μέρει οι καταστρεπτικές μεθόδους μπορεί να χρησιμοποιηθούν για μια πιο εξονυχιστική έρευνα για την κατάσταση της δομής (ASCE, 2015). Δίπλα στις πιο παραδοσιακές μεθόδους τα τελευταία χρόνια κερδίζει έδαφος η τηλεπισκόπηση με την ένταξη των ΣμηΕΑ στην παρακολούθηση των υποδομών (Tsaimou et al, 2022).

3.2. Η παρακολούθηση των λιμενικών υποδομών

Οι λιμένες και οι υποστηρικτικές τους εγκαταστάσεις διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο τόσο παγκόσμια όσο και στην Ελλάδα. Η διακοπή της εύρυθμης λειτουργίας ενός λιμένα σχεδόν με βεβαιότητα θα επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις, εάν πρόκειται για κομβικό λιμένα ακόμα και στην παγκόσμια εφοδιαστική αλυσίδα και στην κοινωνία, ενώ για μικρότερους λιμένες αναψυχής και αλιείας θα επιφέρει οικονομικά και κοινωνικά προβλήματα στην περιοχή πέριξ του λιμανιού. Η συσσωρευμένη βλάβη θα μπορούσε να είναι αποτέλεσμα γήρανσης, έκθεσης της υποδομής σε δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες ή κόπωση. Απότομη απώλεια της δυνατότητας ή της λειτουργικότητας μπορεί να είναι απόρροια φυσικών ή ανθρωπογενών καταστροφών, όπως οι πυρκαγιές (Achillorouliou et al, 2020). Η παρακολούθηση, η συστηματική και συνεχόμενη μέτρηση των άμεσων και έμμεσων αποτελεσμάτων της δραστηριότητας μας στο περιβάλλον ή της ρύπανσης του, μπορεί να παίξει κομβικό ρόλο στην υλοποίηση των πολιτικών του λιμένα και της αξιολόγησης της αποτελεσματικότητας των επιλογών της διαχείρισης (Wooldridge et al, 1999).



Οι λιμένες σχεδιάζονται, όπως όλες οι κατασκευές, για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, συνήθως 50 έτη. Η τοποθεσία τους όμως στην ακτογραμμή, με την επίδραση ακραίων φυσικών φαινομένων και τους διάφορους μηχανισμούς διάβρωσης, τα κάνει ευάλωτα και τρωτά. Αυτές οι δομές εκτίθενται συνεχώς στο θαλάσσιο περιβάλλον, επομένως έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες που τα διαφοροποιούν από άλλες υποδομές σχεδιασμένες σε λιγότερο επιθετικό περιβάλλον. Έγκαιρη ανίχνευση πιθανών δομικών παθολογιών των στοιχείων υποδομής και η έγκαιρη εκτέλεση των δραστηριοτήτων συντήρησης διασφαλίζουν την λειτουργικότητα και την ασφάλεια των χρηστών (Jofre-Briceno et al, 2021).

Πίνακας 3.1 Στοιχεία Υποδομής και αστοχίες με βάση τον ASCE, 2015

	Τύπος έργων	Στοιχεία Υποδομής	Αστοχίες
Επίγεια	Εσωτερικό	Αποβάθρα	Αποκόλληση Ρηγμάτωση Διάβρωση σπλισμού Ανάβλυση Ογκομετρικές αλλαγές σκυροδέματος
	Εξωτερικό	Υποστυλώματα και δοκάρια	Αποκόλληση Ρηγμάτωση Διάβρωση σπλισμού Στροφή-μετατοπίσεις στέψεις Ογκομετρικές αλλαγές σκυροδέματος
	Εξωτερικό	Προφυλακτήριος τοίχος	Αποκόλληση Ρηγμάτωση Διάβρωση σπλισμού Στροφή-μετατοπίσεις στέψεις Ογκομετρικές αλλαγές σκυροδέματος
	Εξωτερικό	Κρηπιδότοιχος	Αποκόλληση Ρηγμάτωση Διάβρωση σπλισμού Στροφή-μετατοπίσεις στέψεις Ογκομετρικές αλλαγές σκυροδέματος
Υποβρύχια		Υποσκαφές	Μετακίνηση ιζημάτων Αλλαγή κατανομής φορτίσεων
		Θεμελιώσεις	Στροφή Αστάθεια Διάβρωση

Γενικά μπορούν να χωριστούν ως εξής με βάση και τον Πίνακα 3.1:

- τα εξωτερικά έργα (έργα προστασίας και οι κυματοθραύστες): κατάσταση και ύπαρξη προφυλακτήριων τοίχων, όπως και των λιθορριπών, κατάσταση κάτω από την στάθμη της θάλασσας, κατάσταση σκυροδέματος (ρηγματωμένο ή μη), απόθεση υλικού, μετατοπίσεις στέψης.
- τα εσωτερικά έργα (έργα εξυπηρέτησης λειτουργίας- προβλήτες, αποβάθρες): κατάσταση σκυροδέματος και τύπος διάβρωσης, διάβρωση σπλισμού, αναβλύσεις ή αποκολλήσεις υλικού, υποσκαφές.
- και ο εξοπλισμός (εάν υπάρχει): κινητές γέφυρες, γερανογέφυρες κτλ.

Αναλόγως με τα διαφορετικά επίπεδα επιθετικότητας, θα αναπτυχθούν διαφορετικές παθολογίες που επηρεάζουν σε διαφορετικό βαθμό τα στοιχεία που συνθέτουν την υποδομή. Ειδικότερα η διενέργεια



επιθεωρήσεων, δοκιμών και γενικότερα η συλλογή πληροφοριών για την ανάπτυξη στρατηγικών διατήρησης γίνεται πολύπλοκη όσον αφορά την θάλασσα (Jofre-Briceno et al, 2021).

Οι τρόποι παρακολούθησης των λιμενικών εγκαταστάσεων παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2 και είναι οι ακόλουθοι:

Πίνακας 3.2 Μέθοδοι παρακολούθησης λιμενικών υποδομών, ASCE 2015

Παρακολούθηση υποδομής			
Οπτικοί μέθοδοι	Μη καταστρεπτικοί μέθοδοι (NDT)	Καταστρεπτικοί μέθοδοι (DT)	Παρακολούθηση δομικής κατάστασης (SHM)
Επιθεωρήσεις	Θερμογραφία	Λήψη πυρήνων	Μετρητές καταπόνησης
Παχύμετρα	Σύστημα γεωραντάρ (GPR)	Λήψη υλικού	Κλινόμετρα
	Ακουστική εκπομπή	Τεστ ιόντων χλωρίου	Μετρητές επιταχύνσεως
	Τεχνικές δόνησης		Θερμόμετρα
	Σφυρί του Schmidt		BIM
	Τεστ ηχούς		Μη επανδρωμένα ταχύτητα (UAV)
	Υπερηχητικό τεστ		Τηλεπισκόπηση (Remote Sensing)

Ο λόγος που η παρακολούθηση της δομικής κατάστασης (SHM) δεν εντάσσεται στις μη καταστρεπτικές μεθόδους, παρόλο που ουσιαστικά αποτελεί τέτοια, είναι ότι οι SHM τροφοδοτούν συνεχόμενα δεδομένα μέσα σε ένα αόριστο χρονικό διάστημα σε αντίθεση με τις NDT όπου γίνεται η δοκιμή μέσα σε πεπερασμένο χρόνο (ASCE, 2015).

Οι επιθεωρήσεις είναι αναγκαίο κομμάτι του αποτελεσματικού προγράμματος διαχείρισης και συντήρησης παραθαλάσσιων εγκαταστάσεων. Παίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία του κοινού, παρέχουν αξιόπιστες υπηρεσίες, προστατεύουν το περιβάλλον και μειώνουν κόστη συντήρησης και κατασκευής. Η επιθεώρηση των εγκαταστάσεων θα πρέπει να θεωρείται ως στιγμιότυπο της αξιολόγησης της εγκατάστασης σε μια χρονική στιγμή κατά την διάρκεια ύπαρξης της κατασκευής και να γίνονται σε σταθερή βάση. Εκεί είναι που η μέθοδος της τηλεπισκόπησης μαζί με την χρήση ΣμηΕΑ μπορούν να δώσουν νέα ώθηση στην παρακολούθηση των λιμενικών εγκαταστάσεων (ASCE, 2015).

Στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής θα διερευνηθεί η κατάσταση και η τρωτότητα των εξωτερικών και εσωτερικών έργων. Ωστόσο, η γενικότερη προσέγγιση της παρακολούθησης και της ένταξης νέων παραμέτρων που σχετίζονται με την κατάσταση των υποδομών στην διαδικασία εκτίμησης της τρωτότητας μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες υποδομές όπως για παράδειγμα αυτές που σχετίζονται με τον εξοπλισμό. Επίσης, πρέπει να σημειωθεί ότι, στις εγχώριες εγκαταστάσεις εντοπίζονται συχνά λιμένες που έχουν ξεπεράσει κατά πολύ τον χρόνο ζωής τους, χωρίς καμιά ουσιαστική παρέμβαση αποκατάστασης και συντήρησης.

Η παρακολούθηση των λιμενικών εγκαταστάσεων έχει γίνει επιτακτική ανάγκη, ενώ φαίνεται η δυσκολία που υπάρχει στην αποτελεσματική απογραφή στοιχείων, στην έλλειψη υφιστάμενων πληροφοριών, την καθυστέρηση στην ψηφιοποίηση πληροφοριών και στη μικρή έως ανύπαρκτη χρήση εργαλείων διαχείρισης περιουσιακών στοιχείων (Jofre-Briceno et al, 2021). Για αυτό τον λόγο οι νέες μέθοδοι της τηλεπισκόπησης είναι σημαντικό όπλο στα χέρια των μηχανικών. Ειδικά η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών μπορεί να δώσει νέα ώθηση καθώς η ευελιξία τους είναι μεγάλη και αυτό το γεγονός τους επιτρέπει εύκολα



και γρήγορα να αλλάξουν παρατηρούμενη θέση και γωνία, ενώ μπορούν να πετάξουν σχεδόν παντού (Koeva et al, 2016).

3.3. Παρακολούθηση με μεθόδους τηλεπισκόπησης

3.3.1. Γενικά

Η παρακολούθηση ή οι επιθεωρήσεις αποτελούν ανέκαθεν βασικό συστατικό στοιχείο της αξιολόγησης της υποδομής ως προαπαιτούμενο για την λήψη αποφάσεων για την διαχείριση αυτών, ανεξαρτήτου είδους. Για αυτό τον λόγο πρόκειται για συγκεκριμένη μεθοδολογία που αποτυπώνει την υφιστάμενη κατάσταση (ASCE, 2015). Η πολυπλοκότητα του θαλάσσιου περιβάλλοντος έχει ωθήσει τους ειδικούς να αναπτύξουν τεχνικούς οδηγούς που θεσπίζουν μια σειρά προτύπων για τις λιμενικές υποδομές. Αυτά τα πρότυπα συνδέονται με το υλικό που χρησιμοποιείται (συνήθως σπλισμένο σκυρόδεμα), την χρήση αντιδιαβρωτικών και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών, τις κατασκευαστικές πρακτικές και άλλα ζητήματα συντήρησης (Jofre-Briceno et al, 2021).

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και των νέων επιτευγμάτων της επιστήμης δίνεται η δυνατότητα για γρήγορη και από απόσταση παρακολούθηση, με ένα τρόπο αυτοματοποιείται, ψηφιοποιείται και βελτιώνεται η παρακολούθηση των μεταφορικών και άλλων υποδομών.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι τηλεπισκόπησης (δορυφόροι, αεροφωτογραφίες, θερμική απεικόνιση, απεικόνιση με ραντάρ- light detection and ranging (Lidar)) (Campbell & Wynne, 2011). Ο βασικός στόχος είναι η λήψη και επεξεργασία φωτογραφιών για την άντληση πληροφοριών για την περιοχή ή το αντικείμενο μελέτης και στην συνέχεια ακόμα και η αξιοποίηση λογισμικών γεωπληροφορικής για περαιτέρω διερεύνηση. Η χρήση των μη επανδρωμένων αεροσκαφών κερδίζει έδαφος τα τελευταία χρόνια.

Πίνακας 3.3 Τύποι μη επανδρωμένων οχημάτων, Shojaei et al, 2018, Τσουκαλά κ.α 2020

Τύπος	Περιβάλλον λειτουργίας
Μη επανδρωμένο όχημα εδάφους (Unmanned Ground Vehicle, UGV)	Έδαφος και στέρες επιφάνειες
Μη επανδρωμένο αερόχημα (UAV)	Άνωθεν του εδάφους
Μη επανδρωμένο υποβρύχιο (Unmanned Underwater Vehicle, UUV)	Υποθαλάσσιες συνθήκες
Μη επανδρωμένο όχημα νερού (Unmanned Surface Vehicle, USV)	Επιφάνεια νερού / θάλασσας
Μη επανδρωμένο θαλάσσιο όχημα (Unmanned Marine Vehicle, UMV)	Υποθαλάσσιες συνθήκες & Επιφάνεια νερού / θάλασσας

Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα 3.3 τα είδη των μη επανδρωμένων οχημάτων δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης και καταγραφής μεγάλου εύρους περιοχές, ακόμα και τις πιο δυσπρόσιτες. Για παράδειγμα στο περιβάλλον του λιμένα η ψηφιακή φωτογραφία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απεικόνιση τυπικών συνθηκών και ελαττωμάτων μαζί με την οπτική επισκόπηση, άνωθεν του εδάφους. Από την άλλη η υποβρύχια φωτογραφία δίνει πληρέστερη εικόνα για τις υποθαλάσσιες συνθήκες (ASCE, 2015).

Πέρα από την αξιοποίηση των φωτογραφιών, ερευνητές τα τελευταία χρόνια όπως οι Jofre-Briceno, Munoz-La Rivera, Atencio, και Herrera (2021) κάνουν προσπάθεια με την χρήση UAVs και προυπάρχοντων χαρτών να κατασκευαστεί ένα τρισδιάστατο μοντέλο αποβάθρας με το λογισμικό BIM. Το BIM επιτρέπει την



ενοποίηση και την συνεργασία μεταξύ των ενδιαφερόμενων σε ένα έργο μέσω παραμετρικών μοντέλων και διευκολύνει την συνεχή ενημέρωση του. Έτσι μόλις αναπτυχθεί το μοντέλο, μέσω δημιουργίας νεφών σημείων, είναι δυνατή η τροποποίηση παραμέτρων καθώς και η προσθήκη ή και η αφαίρεση στοιχείων.

3.3.2. Παρακολούθηση με μη επανδρωμένα αεροσκάφη

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι αποτελεσματικά στην παρακολούθηση και στις επιθεωρήσεις. Έχουν μπει στον τομέα της ναυτιλίας και των μεταφορών και έχουν επιτυχώς αυξήσει την ασφάλεια και την προστασία. Γενικά στις υποδομές έχει παρατηρηθεί ότι τα συστήματα παρακολούθησης μπορούν να δώσουν έγκαιρη προειδοποίηση νωρίς μετά την έναρξη τις αλλοιώσεις της υποδομής είτε λόγω τις συσσώρευσης βλαβών, είτε λόγω ενός ακραίου γεγονότος (Achillorouliou et al, 2020). Ειδικά στις γέφυρες έχει γίνει πιο εκτεταμένη μελέτη για την ένταξη των ΣμηΕΑ στην παρακολούθηση της εξέλιξης της υποδομής (Seo et al, 2018, Fan et al, 2019, Feroz et al, 2021). Ακόμα τα μεγάλα έργα υποδομής είναι περίπλοκες διεργασίες που απαιτούν προσεκτική επιτόπια έρευνα, παρακολούθηση και έλεγχο. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη είναι αποτελεσματικά εργαλεία και μέσα στα εργοτάξια (Fan et al, 2019).

Έχει αναπτυχθεί κατάλληλη τεχνολογία για παροχή δεδομένων υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης και για υψηλής ακρίβειας ορθοφωτοχάρτες, για την συλλογή γεωχωρικών δεδομένων. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη δίνουν την δυνατότητα για λήψη εικόνων και καταγραφή πληροφοριών των εγκαταστάσεων σε όλο τους του εύρος, ενώ μπορούν να εξοπλιστούν με διαφόρων ειδών καμερών και άλλου εξοπλισμού. Η σωστή ενίσχυση με σύγχρονες τεχνολογίες και μεθόδους τηλεπισκόπησης, επιτρέπουν τόσο την απομακρυσμένη πρόσβαση στην κατάσταση της υποδομής, όσο και την συνεχή ενημέρωση πληροφοριών για τους ενδιαφερόμενους σχεδιαστές (Fernandez, et al, 2016).

Στη ναυτιλία τα ΣμηΕΑ κυρίως έχουν ενταχθεί ώστε να ελέγχουν την ασφάλεια πλοίων φορτίων και για την επισκόπηση εργασιών σε δύσβατα μέρη. Επίσης χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της κίνησης και την εκπομπή ρύπων των πλοίων, για τον εντοπισμό πειρατών ή άλλων απειλών και να υποστήριξη διαφόρων επιχειρήσεων. Χρησιμοποιούνται στην ερευνητικές και σωστικές αποστολές και αξιοποιούν νέες τεχνολογίες όπως το 5G και άλλα (Krystosik-Gromadzinska, 2021). Είναι αξιόπιστα και αποτελεσματικά, και η χρήση τους ελαχιστοποιεί το κόστος και μειώνει τον χρόνο (d'Oleire-Oltmanns et al, 2012).

Στις λιμενικές υποδομές, για τους λόγους που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, είναι φανερό η ανάγκη για συστηματική παρακολούθηση και καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης των υποδομών προκειμένου να διερευνηθεί η λειτουργική τους επάρκεια, καθώς επίσης και η προοπτική χρήση τους σε συνθήκες διαφορετικές από τις αντίστοιχες του σχεδιασμού (Τσουκαλά κ.α., 2021).

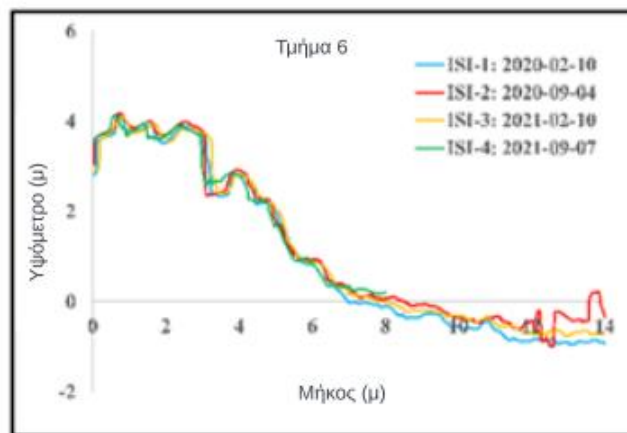
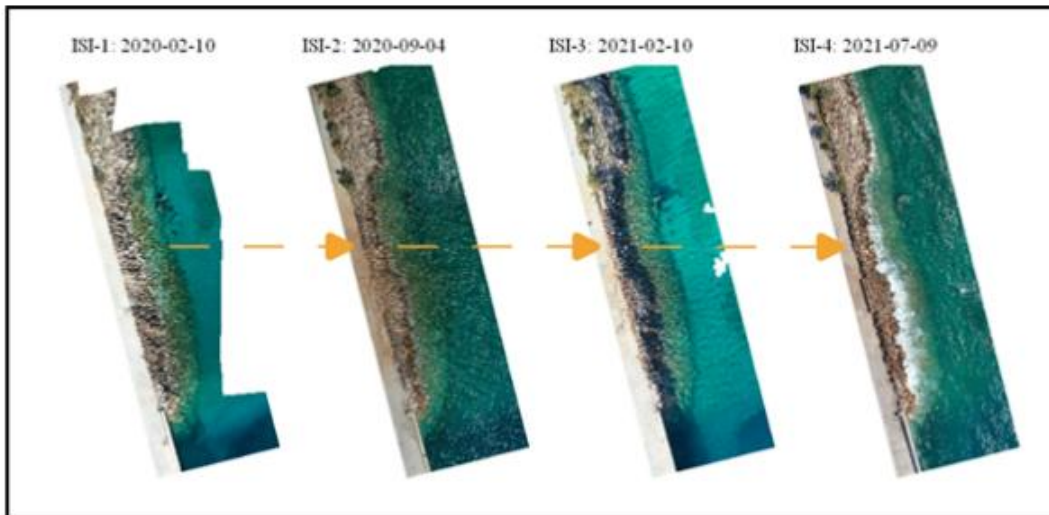
Με βάση αυτές τις δυνατότητες, τα ΣμηΕΑ δεν έχουν ενταχθεί και αξιοποιηθεί στον βαθμό που θα μπορούσαν στην παρακολούθηση των λιμενικών υποδομών. Ενώ και αυτά καθαυτά αλλά και σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους επιθεώρησης των υποδομών μπορούν να συμβάλλουν στον εντοπισμό φθορών και αστοχιών, στην κατάλληλη διάταξη πόρων, σε μελλοντικές προβλέψεις. Έτσι θα υπάρχει σαφέστερη εικόνα όσον αφορά τα εξωτερικά έργα στα εξής:

- ύπαρξη προφυλακτήριων τοίχων και κατάσταση τους, αν έχουμε εμφανή ρωγμές ή σπλισμό, αν έχει ανατραπεί κομμάτι του
- κατάσταση προσήνεμου και κατάσταση ή ύπαρξη υπήνεμου μόλου
- ύπαρξη, το είδος ή κατάσταση θωράκισης και του κυματοθραύστη, σημεία όπου ο κυματισμός έχει δημιουργήσει κενά
- κατάσταση σκυροδέματος, ρηγματωμένο ή μη
- απόθεση υλικού κατά μήκος λιμένα ή κυματοθραύστη και υποσκαφές

- μετατοπίσεις στέψης

Και όσων αφορά τα εσωτερικά έργα:

- κατάσταση αποβάθρας, σημεία διάβρωσης, σημεία ανάβλυσης υλικού, σημεία αποκόλλησης, ρωγμές και σπλισμός
- κατάσταση σκυροδέματος κατακόρυφου κρηπιδότοιχου, ρωγμές, φθορές λόγω φορτίων, προσκρούσεων ή τάσεων σχοινιών
- μετατοπίσεις και στροφές αποβάθρας



Εικόνα 3.1 Καταγραφή πορείας θωράκισης λιμένα μέσω ΣμηΕΑ (Tsaïmou et al, 2022)

Η Εικόνα 3.2 δίνει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για τις νέες δυνατότητες στην περιοδική αξιοποίηση και καταγραφή των λιμενικών υποδομών. Στο πλαίσιο της μελέτης των λιμενικών εγκαταστάσεων του Λαυρίου από τους Tsaïmou, Kagkelis, Karantzalos και Tsoukala (2022) αποτυπώνεται η εξέλιξη της διάβρωσης και των ενεργειών αποκατάστασης στο συγκεκριμένο τμήμα της θωράκισης από της 19.02.2022 έως της 09.07.2021. Μετέπειτα οι συγκεκριμένες φωτογραφίες και οι μετρήσεις αποτυπώνονται στο διάγραμμα όπου φαίνεται η υποχώρηση της θωράκισης ανά μήκος προς υψόμετρο.

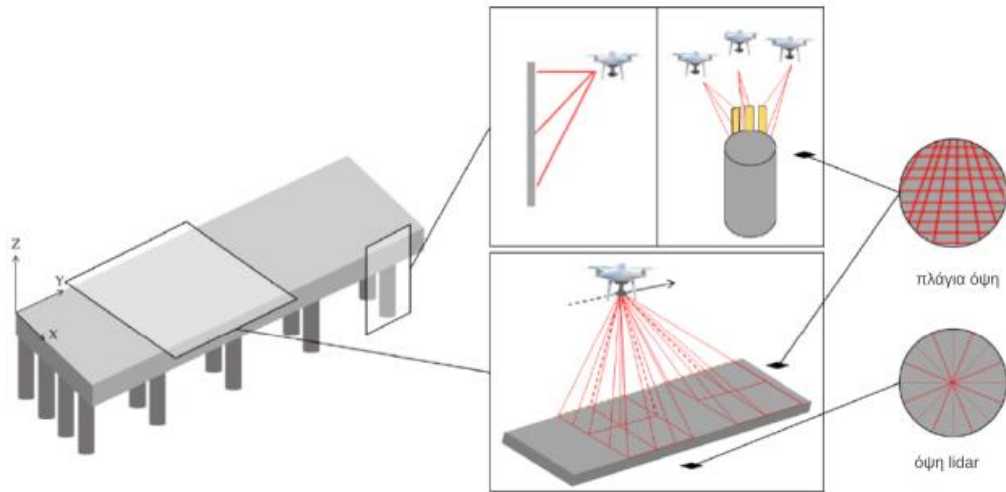


Εικόνα 3.2 Ρωγμή στην επιφάνεια σκυροδέματος, λήψη από drone (Seo et al, 2018)



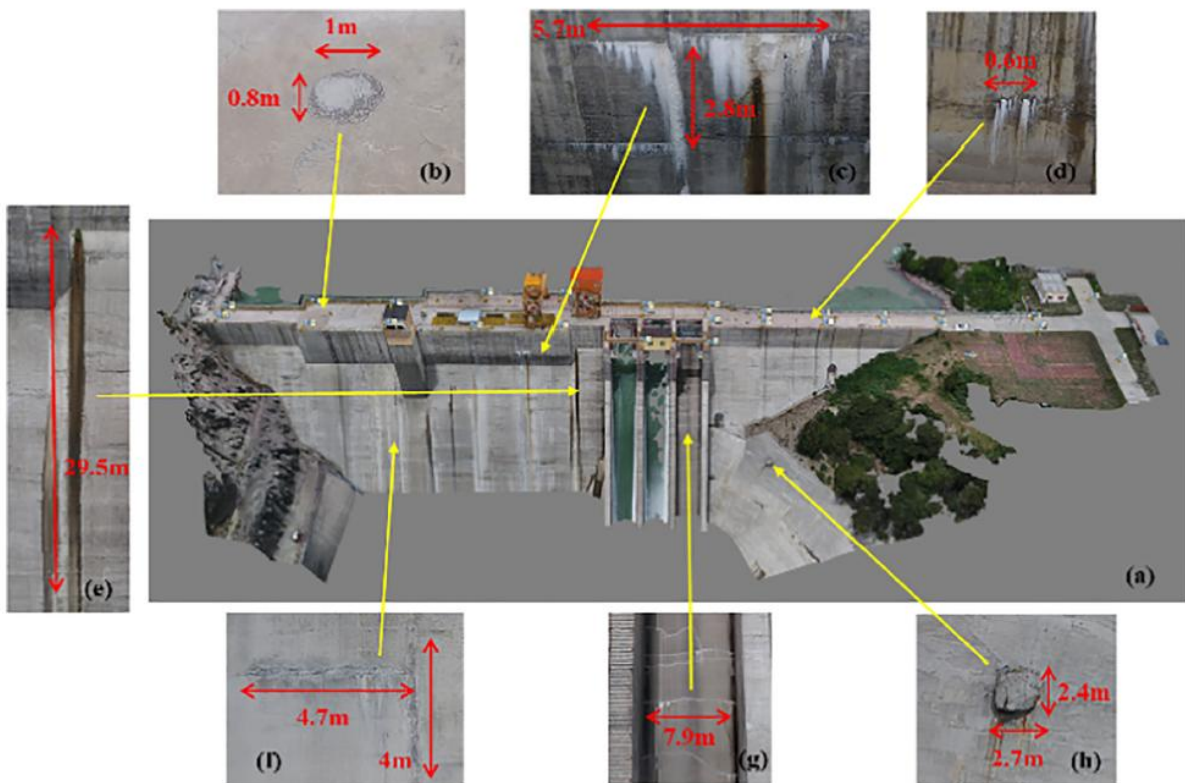
Εικόνα 3.3 Φθορές σε βάθρο σύμμικτης γέφυρας (Seo et al, 2018)

Στις Εικόνες 3.2 και 3.3 από την βιβλιογραφία Seo et al, 2018 αξιοποιείται τα ΣμηΕΑ για την επισκόπηση και καταγραφή φθορών κυρίως σε ξύλινες γέφυρες. Στην Εικόνα 3.2 φαίνεται διαγώνια ρωγμή στην επιφάνεια του σκυροδέματος. Στην Εικόνα 3.3 στο βάθρο της γέφυρας καταγράφονται ρωγμές στο σκυρόδεμα, έκθεση του οπλισμού και διαφυγή νερού.



Εικόνα 3.4 Αποτύπωση αποβάθρας με drone (Jofre-Briceno et al, 2021)

Στην βιβλιογραφία του Jofre-Briceno et al, 2021 με την χρήση ΣμηΕΑ αποτυπώνεται η αποβάθρα λιμένα και κατασκευάζεται με την βοήθεια του Building Information Modeling (BIM) το μοντέλο της αποβάθρας (Εικόνα 3.4). Στην συνέχεια πάνω στο μοντέλο μπορεί να αποτυπωθεί η κατάσταση και η αναγκαιότητα επέμβασης σε κάθε δομικό στοιχείο.



Εικόνα 3.5 Αποτύπωση φράγματος και των φθορών του στην Κίνα (Zhao et al, 2021)

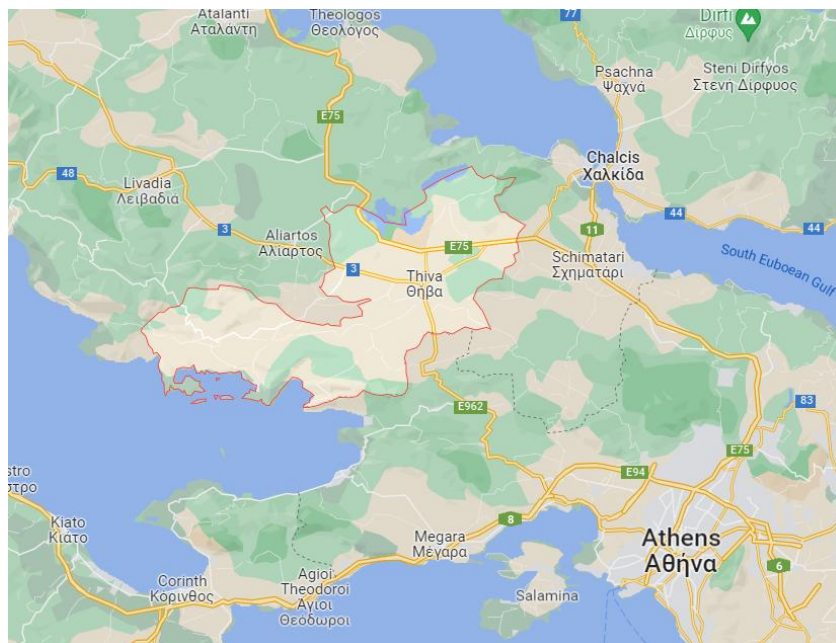
Οι ερευνητές Zhao, Kang, Li και Ma (2021) αξιοποιώντας ΣμηΕΑ και προσαρμόζοντάς τις μετρήσεις των αεροσκάφη για κεκλιμένο επίπεδο, με την μέθοδο της φωτογραμμετρίας αποτύπωσαν σε τρισδιάστατο μοντέλο το φράγμα και σημείωσαν και τις φθορές στο σπλισμένο σκυρόδεμα (Εικόνα 3.5).



Οι φθορές και τα εργαλεία, με τα οποία καταγράφονται αυτές, αποτυπώνουν την κατάσταση της υποδομής και την εξέλιξη της. Ο μεγάλος όγκος φθορών ή υπάρξει δομικών προβλημάτων δείχνει την τρωτότητα των λιμενικών εγκαταστάσεων και την δυνατότητα να αντισταθεί σε μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες ή ακραία φαινόμενα. Για όλα αυτά η χρήση ΣμηΕΑ δίνουν πολύ χρήσιμες πληροφορίες που θα ενταχθούν στον δείκτη τρωτότητας, σε συνδυασμό με της επί τόπου επιθεωρήσεις. Δίνουν δηλαδή την δυνατότητα να αναπτυχθεί ένα εργαλείο διαχείρισης για την βελτιστοποίηση παραδοσιακών διαδικασιών συντήρησης (Jofre-Briceno et al, 2021).

4. Μελέτη περίπτωσης

Ο δήμος Θηβαίων ανήκει στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας με έκταση 822,92 τ.χλμ. και έχει πληθυσμό 36477 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Ο δήμος χωρίζεται σε τέσσερις δημοτικές ενότητες, που είναι οι εξής: Θηβαίων, Βαγιών, Θίσβης, Πλαταιών. Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζονται οι δημοτικές ενότητες και κοινότητες του Δήμου Θηβαίων. Η έδρα του δήμου είναι η Θήβα. Οι δημοτικές ενότητες Θίσβης και Πλαταιών βρέχονται από την θάλασσα στον Κορινθιακό Κόλπο. Στο κεντρικό-βόρειο τμήμα του δήμου υπάρχει η πεδιάδα της Θήβας με την Λίμνη Υλίκη και λίγο ανατολικότερα η Λίμνη Παραλίμνη. Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής θα διερευνηθούν οι αλιευτικοί λιμένες και οι λιμένες αναψυχής του Σαράντη, του Αγίου Νικολάου και της Αλυκής που ανήκουν στην δημοτική κοινότητα Θίσβης και του Άγιου Βασιλείου που ανήκει στην δημοτική κοινότητα Πλαταιών. Λιμένες χωρίς παραλία, όπως αυτό του Αγίου Ιωάννη, παρότι αλιευτικό, δε θα εξεταστεί καθώς είναι σημαντική και την αλληλεπίδραση λιμανιού και παραλίας.



Εικόνα 4.1 Χάρτης με τα όρια του Δήμου Θηβαίων

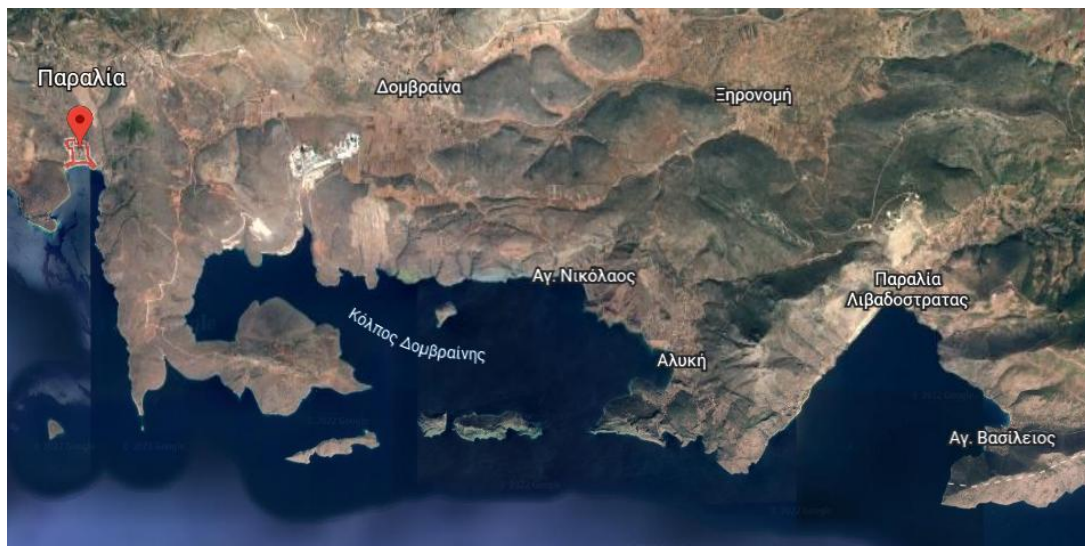
Ακολουθεί περιγραφή των λιμενικών εγκαταστάσεων των αλιευτικών καταφυγίων που διερευνώνται στην παρούσα διπλωματική εργασία. Οι φωτογραφίες που περιλαμβάνονται στην περιγραφή ελήφθησαν κατά την επιτόπια επίσκεψη που πραγματοποίησε το εργαστήριο λιμενικών έργων τον Ιούλιο 2021 και οι ορθοφωτοχάρτες (Εικόνες 4.3, 4.12, 4.17, 4.25) είναι αποτέλεσμα επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων ΕΜΠ που ελήφθησαν κατά την επίσκεψη αυτή (Tsaimou, Sartampakos, & Tsoukala, 2022).

Πίνακας 4.1 Δημοτικές Ενότητες και Κοινότητες Θήβας (Πηγές: thiva.gr, wikipedia.org)

Δημοτική ενότητα	Κοινότητα	Θέση της Δημοτικής Ενότητας
Θηβαίων	Θηβαίων Αμπελοχωρίου Ελεώνος Μουρικού Νεοχωρακίου Υπάτου	
Βαγιών	Βαγιών	
Θιάβης	Θιάβης Δομβραΐνας Προδρόμου Ελλοπίας Ξηρονομής	
Πλαταίων	Πλαταίων Λεύκτρων Λουτουφίου Μελισσοχωρίου Καπαρελλίου	

4.1. Αλιευτικό Καταφύγιο Παραλίας Σαράντη

Ο λιμένας της παραλίας Σαράντη έχει κατασκευαστεί στα δυτικά της παραλίας και έχει έκταση 740,65 τ.μ. Ο οικισμός έχει 160 κατοίκους. Βρίσκεται στον Κορινθιακό Κόλπο. Στις Εικόνες 4.2 και 4.3 παρουσιάζεται η τοποθεσία του οικισμού.



Εικόνα 4.2 Τοποθεσία Παραλίας Σαράντη



Εικόνα 4.3 Ορθοφωτοχάρτης Παραλίας Σαράντι (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.4 Όψη του προσήνεμου μόλου του αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντι (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.5 Αλιευτικό καταφύγιο Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.6 Αποβάθρα αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.7 Αποβάθρα και προφυλακτήριος τοίχος αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.8 Όψη αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.9 Προσήνεμος μόλος και δέστρες αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021)



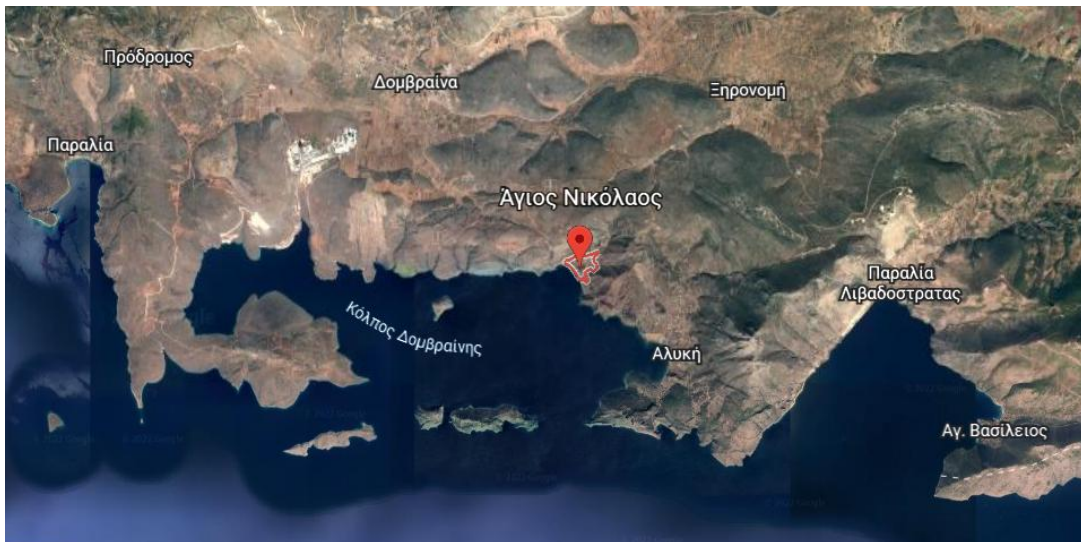
Εικόνα 4.10 Αποβάθρα και κρηπιδότοιχος αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΕΛΕ, 2021)

Στην Εικόνα 4.4 φαίνεται ο προσήνεμος μόλος του αλιευτικού καταφυγίου της Παραλίας Σαράντη. Ο προσήνεμος μόλος είναι ενισχυμένος με προφυλακτήριο τοίχο με λιθορριπή από φυσικούς ογκόλιθους, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.7 και 4.9. Ο λιμένας περικλείεται από την παραλία (Εικόνα 4.5), ενώ έχει παρατηρηθεί ότι σε περιόδους με μεγάλη ζήτηση σκάφη δένουν και πίσω από τον μόλο. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.6 το σκυρόδεμα στην αποβάθρα έχει υποστεί φθορά. Έχει δημιουργηθεί αυλάκι περίπου 40 εκατοστών. Επίσης σε όλο το μήκος της αποβάθρας στο σημείο των δεσμών, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στις Εικόνες 4.8, 4.9, 4.10, υπάρχει φθορά είτε λόγω διάβρωσης του σκυροδέματος, είτε λόγω πρόσκρουσης (αυτοσχέδια ελαστικά υπάρχουν σε περιορισμένα σημεία), είτε λόγω τάσεων από τα σχοινιά. Ακόμα υπάρχει υποδομή για φωτισμό και φάρος.



4.2. Αλιευτικό Καταφύγιο Αγίου Νικολάου

Ο λιμένας του Αγίου Νικολάου βρίσκεται δυτικά του οικισμού και συνδέεται με χωματόδρομο. Στις Εικόνες 4.11 και 4.12 παρουσιάζεται η τοποθεσία του οικισμού. Ο λιμένας του Αγίου Νικολάου είναι ο μόνος από τους τέσσερις που εξετάζονται με αδειοδοτημένη λιμενική υποδομή. Βρίσκεται στον κόλπο της Δομβραίνης. Έχει έκταση 1029,75 τ.μ. ενώ από μαρτυρίες κατοίκων και αρμόδιων φορέων έχει καταγραφεί ότι δεν προσφέρει ασφάλεια για τα ελλιμενισμένα σκάφη. Για αυτό τον λόγο προτιμάται ο λιμένας της Αλυκής που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση.



Εικόνα 4.11 Τοποθεσία Αγίου Νικολάου



Εικόνα 4.12 Ορθοφωτοχάρτης Αγίου Νικολάου (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.13 Λιμενικές εγκαταστάσεις Αγίου Νικολάου (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.14 Υπήνεμος μόλος στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Νικολάου (ΕΛΕ, 2021)

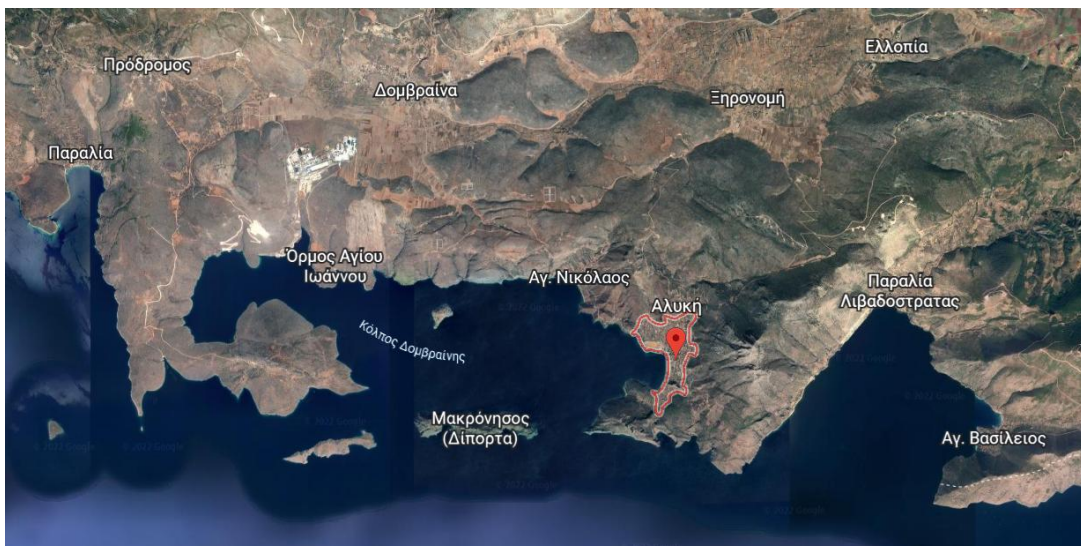


Εικόνα 4.15 Δάπεδο στάθμευσης στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Νικολάου (ΕΛΕ, 2021)

Ο λιμένας του Αγίου Νικολάου έχει προσήνεμο και υπήνεμο μόλο, όπως αποτυπώνεται στις Εικόνες 4.13 και 4.14. Ο προσήνεμος μόλος διαθέτει προφυλακτήριο τοίχο από οπλισμένο σκυρόδεμα, ενώ δεν διαθέτει θωράκιση. Διαθέτει δάπεδο στάθμευσης κατασκευασμένο από άσφαλτο με διαγράμμιση, που διαχωρίζεται από το επίπεδο του λιμένα με κιγκλιδώματα (Εικόνα 4.15). Επίσης διαθέτει υποδομή φωτισμού και φάρο.

4.3. Αλιευτικό Καταφύγιο Αλυκής

Ο λιμένας της Αλυκής έχει έκταση 759,99 τ.μ. και βρίσκεται στον οικισμό της Αλυκής μέσα στον κόλπο της Δομβραίνης. Στις Εικόνες 4.16 και 4.17 παρουσιάζεται η τοποθεσία του οικισμού. Η Αλυκή έχει πληθυσμό 279 κατοίκους. Μέσα στον οικισμό βρίσκεται και η αρχαία πόλη Τίφα.



Εικόνα 4.16 Τοποθεσία Αλυκής (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.17 Ορθοφωτοχάρτης Αλυκής (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.18 Προσήμεος μόλος αλιευτικού καταφυγίου Αλυκής (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.19 Προφυλακτήριος τοίχος και θωράκιση αλιευτικού καταφυγίου Αλυκής (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.20 Προσήνεμος μόλος με θωράκιση αλιευτικού καταφυγίου Αλυκής (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.21 Προφυλακτήριος τοίχος αλιευτικού καταφυγίου Αλικής (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.22 Όψη αλιευτικού καταφυγίου Αλικής προς τον οικισμό (ΕΛΕ, 2021)

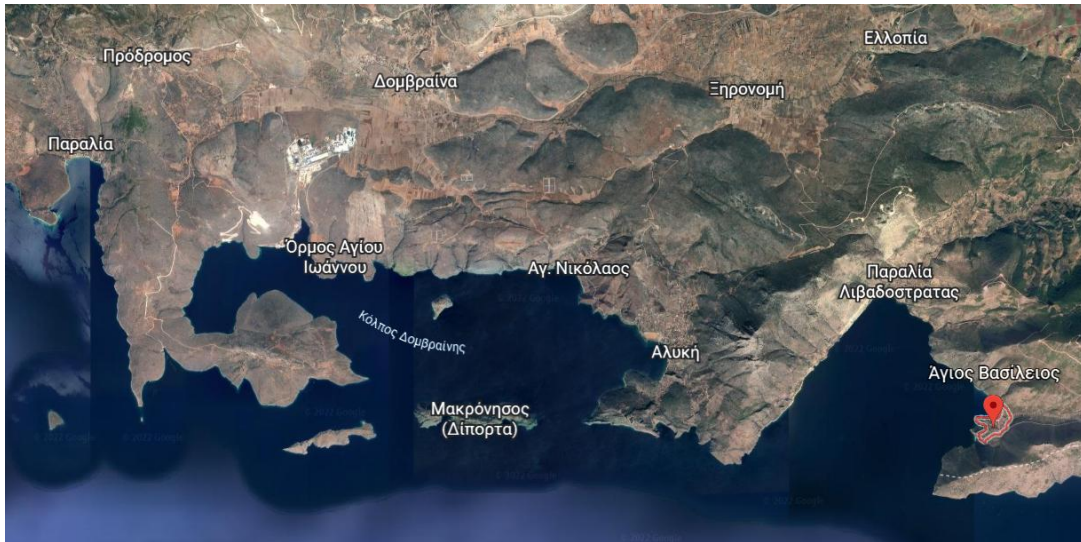


Εικόνα 4.23 Προβλήτας αλιευτικού καταφυγίου Αλυκής με δέστρες (ΕΛΕ, 2021)

Ο λιμένας της Αλυκής διαθέτει προσήνεμο μόλο (Εικόνα 4.19) με προφυλακτήριο τοίχο (Εικόνα 4.21) και ενισχυμένο με λιθορριπή (Εικόνα 4.20). Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.19 μέρος του τοίχου προς τον πόδα του μόλου έχει καταστραφεί. Στην αποβάθρα υπάρχουν αυτοσχέδιες δέστρες και ελαστικά, ενώ φαίνεται ότι μέσα στον λιμένα στο σημείο που δένουν τα σκάφη σε μικρό βάθος υπάρχουν μεγάλοι ογκόλιθοι (Εικόνα 4.23). Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 4.22 δίπλα στον λιμένα υπάρχουν καταστήματα εστίασης, χωρίς σαφή διαχωρισμό από τον λιμένα. Από μαρτυρίες έχει παρατηρηθεί ότι σε περιόδους με αυξημένη κίνηση πολλά σκάφη αναγκάζονται να δέσουν από την άλλη μεριά του λιμανιού, εκεί που βρίσκεται το κατάστημα. Επίσης υπάρχει υποδομή φωτισμού και φάρος.

4.4. Αλιευτικό Καταφύγιο Αγίου Βασιλείου

Ο λιμένας του Αγίου Βασιλείου είναι στον οικισμό του Αγίου Βασιλείου στον Κορινθιακό Κόλπο. Έχει έκταση 646,54 τ.μ. Στις Εικόνες 4.24 και 4.25 παρουσιάζεται η τοποθεσία του οικισμού. Ο οικισμός έχει 100 κατοίκους πληθυσμό. Στον λιμένα έχουν παρατηρηθεί κατολισθήσεις.



Εικόνα 4.24 Τοποθεσία Αγίου Βασιλείου



Εικόνα 4.25 Ορθοφωτοχάρτης Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.26 Αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.27 Προσήνεμος μόλος και προφυλακτήριος τοίχος Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.28 Προβλήτας αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.29 Προβλήτας αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021)



Εικόνα 4.30 Λιθορριπή και προφυλακτήριος τοίχος αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Βασιλείου (ΕΛΕ, 2021)

Ο λιμένας του Αγίου Βασιλείου διαθέτει προσήνεμο μόλο ενισχυμένο με ογκόλιθους και προφυλακτήριο τοίχο (Εικόνα 4.27 και 4.28). Όπως φαίνεται και από τις Εικόνες 4.26 και 4.29, ο χώρος του λιμανιού επεκτείνεται εις μήκος ενώ επί της ουσίας δεν διαχωρίζεται από τον δρόμο του οικισμού. Ο προφυλακτήριος τοίχος έχει υποστεί φθορά, καθώς είναι εμφανής ο σπλισμός (Εικόνα 4.27 και 4.30). Επίσης ο λιμένας στην περιοχή της θωράκισης διαθέτει ξύλινο βατήρα για τους λούόμενους. Ο λιμένας είναι θωρακισμένος, αλλά δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός από την λιμενολεκάνη. Υπάρχει υποδομή φωτισμού και φάρος.

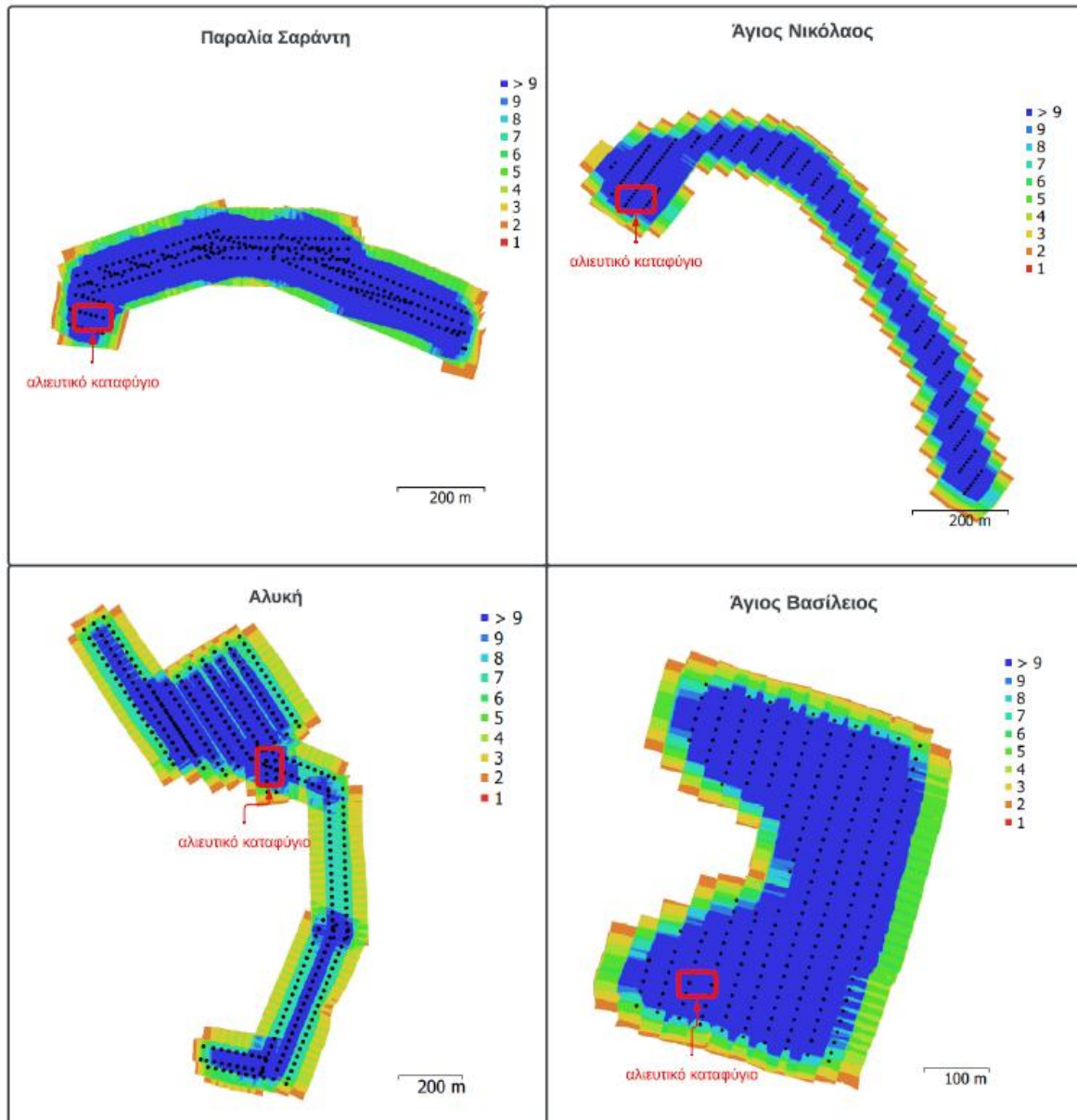
4.5. Επί τόπου μετρήσεις

Τον Ιούλιο του 2021 το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων (ΕΛΕ) του ΕΜΠ στο πλαίσιο ερευνητικού προγράμματος πραγματοποίησε επιτόπιες επιθεωρήσεις στις μελέτες περιοχής. Σκοπός των επιθεωρήσεων ήταν η παραγωγή ορθοφωτοχαρτών και Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DEM) μέσω της συλλογής γεωαναφερμένων εικόνων. Για τις αποτυπώσεις και την παραγωγή ορθοφωτοχαρτών για τους λιμένες και τις παράκτιες περιοχές των περιοχών Σαράντη, Αγίου Νικολάου, Αλυκής και Αγίου Βασιλείου χρησιμοποιήθηκε μη επανδρωμένο αερόχημα τύπου DJI Mavic 2 Pro. Το αερόχημα ήταν εξοπλισμένο με μοντέλο κάμερας L1D-20c (10.26mm), με ανάλυση 5742x3648 με εστιακή απόσταση 10.26 μm και μέγεθος εικονοστοιχείων 2.41x2.41 μm. Οι εκτάσεις που καλύφθηκαν για τους ορθοφωτοχάρτες περιέκλειαν όλη την περιοχή του λιμένα και της ακτής για πιο ακριβή συντεταγμένες και ορθότερη οριοθέτηση των λιμένων.

Πίνακας 4.2 Στοιχεία κάμερας μη επανδρωμένου αεροσκάφους

Μοντέλο Κάμερας	Ανάλυση	Εστιακή απόσταση	Μέγεθος εικονοστοιχείων	Προβαθμονομημένο
L1D-20c (10.26mm)	5472 x 3648	10.26 mm	2.41 x 2.41 μm	Όχι

Παρακάτω στην Εικόνα 4.31 φαίνονται οι επικαλύψεις εικόνων για κάθε περιοχή μελέτης. Ο στόχος ήταν να αποτυπωθεί η παράκτια περιοχή και γύρω από τον λιμένα για να υπάρχει η παρακολούθηση της εξέλιξης της ακτής και της μετακίνησης ιζημάτων, ως αποτέλεσμα και των παρεμβάσεων στην ακτή, οι συγκεκριμένοι χάρτες δεν αποτυπώνουν μόνο τις λιμενικές υποδομές. Η περιοχή του εκάστοτε λιμένα ανά περιοχή αποτυπώνεται με το κόκκινο ορθογώνιο. Στις συγκεκριμένες περιοχές παρατηρείται μεγάλη επικάλυψη (9 και πάνω), από όπου μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τόσο το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Elevation Model-DEM), όσο και ο παραγόμενος χάρτης είναι καλής ποιότητας. Το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιήθηκε για τους ορθοφωτοχάρτες είναι το ελληνικό σύστημα συντεταγμένων GGRS87/Greek Grid (EPSG:2100).



Εικόνα 4.31 Επικαλύψεις φωτογραφιών μη επανδρωμένου αεροσκάφη για τις τέσσερις περιοχές μελέτης

Από τα στοιχεία του Πίνακα 4.3 προκύπτει ότι τα ύψη πτήσεων κυμάνθηκαν από τα 107 έως τα 115 m. Ο μεγαλύτερος αριθμός λήσεων και η μεγαλύτερη ανάλυση επιτεύχθηκε στην Αλυκή, ενώ η πυκνότητα σημείων είναι η μικρότερη σε σχέση με τις άλλες περιοχές, καθώς και η καλυπτόμενη έκταση είναι η



μεγαλύτερη. Ο Άγιος Νικόλαος έχει το μικρότερο αριθμό λήψεων, ενώ έχει την μικρότερη καλυπτόμενη περιοχή. Η Παραλία Σαράντη παρουσιάζει την μεγαλύτερη πυκνότητα σημείων.

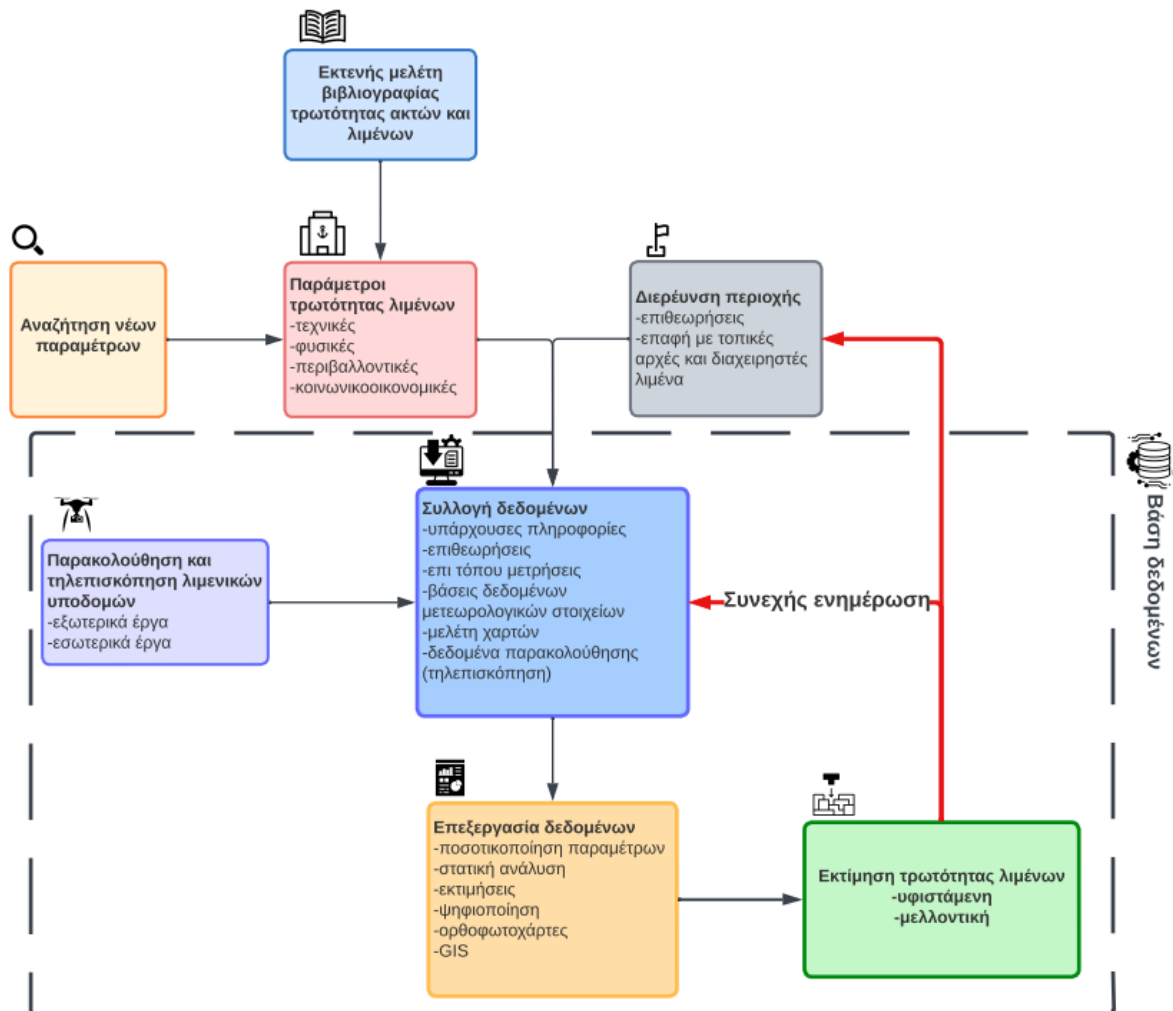
Πίνακας 4.3 Στοιχεία πτήσεων μη επανδρωμένου αεροσκάφη

	Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Ύψος πτήσης (m)	107	107	112	115
Αριθμός λήψεων	294	174	356	305
Ανάλυση (cm/rix)	42,8	50,3	61,7	51,4
Πυκνότητα σημείων (points/ m ²)	5,46	3,95	2,63	3,78
Καλυπτόμενη έκταση περιοχής (km ²)	0,205	0,178	0,538	0,226

5. Μεθοδολογία

Τα κατασκευαστικά υλικά και κατ' επέκταση και οι υποδομές έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, αντοχή και κύκλο ζωής, είναι τρωτά στην πάροδο των χρόνων. Αυτό αποτυπώνεται συνήθως ανάγλυφα σε μια πορεία χρόνων, ιδιαίτερα χωρίς την απαραίτητη φροντίδα των υποδομών. Η ανάγκη διαχείρισης των λιμενικών υποδομών που βρίσκονται σε εχθρικό περιβάλλον και τις κάνει ευάλωτες στη διάβρωση είναι μεγάλη. Αν και υπάρχει ερευνητικό ενδιαφέρον για ανάπτυξη δείκτη στους λιμένες, συνήθως ακολουθούν το γενικό σκεπτικό που διέπει την παράκτια τρωτότητα. Η εστίαση κυρίως σε φυσικά φαινόμενα ή κοινωνικοοικονομικές παραμέτρους αφήνουν απέξω, εκτός λίγων εξαιρέσεων, την ουσία της υποδομής των λιμένων, δηλαδή την παρέμβαση των ανθρώπων στο περιβάλλον με σκοπό την ανάπτυξης υποδομής που θα αποσκοπεί στην κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών, όπως ελλιμενισμός, προστασία, εμπόριο, αποθήκευση κ.α. Στην συνέχεια αναλύεται η μεθοδολογία για την ανάπτυξη του δείκτη τρωτότητας λιμενικών υποδομών με ενταγμένες τις νέες παραμέτρους αξιολόγησης της υποδομής.

5.1. Εκτίμηση τρωτότητας λιμενικών υποδομών με εφαρμογή περιοδικού προγράμματος παρακολούθησης



Εικόνα 5.1 Διάγραμμα ροής τρωτότητας λιμένα με παρακολούθηση λιμενικών υποδομών (ιδία επεξεργασία)

Στην Εικόνα 5.1 αποτυπώνεται το διάγραμμα ροής τρωτότητας λιμένα που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο αυτής της διπλωματικής. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα εξής:



- Διερευνήθηκε η υφιστάμενη βιβλιογραφία και προσέγγιση της τρωτότητας ακτών και λιμένων. Έγινε εκτενής βιβλιογραφική επισκόπηση (Εικόνες 2.1 και 2.5).
- Καταγράφηκαν οι παράμετροι (τεχνικές, φυσικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικοοικονομικές) που μπορούν να αξιοποιηθούν σε αλιευτικούς λιμένες και σε λιμένες αναψυχής, όπως αυτοί που εξετάζονται στον Κορινθιακό Κόλπο.
- Με βάση κενά που εντοπίστηκαν σε προηγούμενες μεθοδολογίες αλλά και τις νέες δυνατότητες της τηλεπισκόπησης, εντάχθηκαν και νέες τεχνικές παράμετροι. Για τις νέες παραμέτρους πάρθηκαν υπόψη οι δύο βασικές λειτουργίες των λιμενικών υποδομών, δηλαδή η εξυπηρέτηση κοινού και η προστασία (εσωτερικά και εξωτερικά έργα). Η παρακολούθηση με ΣμηΕΑ δίνει δυνατότητες ενσωμάτωσης στον δείκτη πληροφορίες με περιοδικά χαρακτηριστικά και για τις υπόλοιπες κατηγορίες παραμέτρων.
- Ταυτόχρονα με την ολοκλήρωση της επιλογής των παραμέτρων (τεχνικές, φυσικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικοοικονομικές) διερευνάται η περιοχή με επιθεωρήσεις και σε επαφή με τοπικές αρχές και διαχειριστές των λιμένων παρακολουθούνται με περιοδικό τρόπο οι υποδομές. Κατά αυτό τον τρόπο υπάρχει αλληλεπίδραση ανάμεσα στα χαρακτηριστικά της περιοχής και τις παραμέτρους
- Συλλέγονται δεδομένα για την υπάρχουσα κατάσταση, για την υφιστάμενη υποδομή, για τις παρούσες χρήσεις γης και τα κλιματολογικά δεδομένα, καθώς μπορεί να παρθούν υπόψη και μελλοντικές εκτιμήσεις.
- Στην συλλογή δεδομένων συμπεριλαμβάνονται δεδομένα που συλλέχθηκαν από το ΣμηΕΑ (φωτογραφίες και ορθοφωτοχάρτες).
- Τα δεδομένα επεξεργάζονται με την βοήθεια των ορθοφωτοχαρτών του GIS και της ψηφιοποίησης και οι παράμετροι ομογενοποιούνται και ποσοτικοποιούνται με την βοήθεια της στατικής ανάλυσης, ενώ μπορεί να γίνουν και εκτιμήσεις.
- Τέλος εκτιμάται η τρωτότητα υφιστάμενη και μελλοντική. Σε αυτήν την μελέτη περίπτωσης η παρακολούθηση της υποδομής ξεκινά από το σημείο μηδέν (reference point), με απώτερο σκοπό να αναπτυχθεί μια βάση δεδομένων ανά λιμένα και συνολικά για την περιοχή, όπου με βάση την συλλογή και επεξεργασία δεδομένων και την περιοδική παρακολούθηση της υποδομής και τις περιοχής θα μπορεί με μεγαλύτερη ακρίβεια να εκτιμηθεί τόσο η παρούσα, όσο και η μελλοντική τρωτότητα.

Έχει σημασία να αναφερθεί ότι για την στατική ανάλυση των δεδομένων εντοπίζονται διαφορετικοί τρόποι υπολογισμού, ενώ να σημειωθεί ότι κυρίως αξιοποιούνται για να καθορίσουν τον δείκτη τρωτότητας ακτών ή πλημμυρών.

Στον Boruff et al, 2005 για τον υπολογισμό της τρωτότητας της ακτής οι παράμετροι βαθμολογούνται σε ενιαία κλίμακα από το 1 έως το 5 και ο δείκτης παράκτιας τρωτότητας υπολογίζεται με βάση την εξίσωση

$$CVI = \sqrt{\frac{a*b*c*d*e*f}{n}} \text{ (Σχ. 5.1),}$$

όπου ο CVI (Coastal Vulnerability Index) είναι ο δείκτης παράκτιας τρωτότητας και τα a,b,c,d,e,f οι παράμετροι.

Αντίστοιχη βαθμονόμηση των παραγόντων γίνεται και στις βιβλιογραφίες του Hsieh, 2014, McIntosh και Becker, 2017.



Στις βιβλιογραφίες Balica et al, 2013, Weis et al, 2016, Len et al, 2018 και οι παράμετροι διαχωρίζονται σε τρεις συνιστώσες. Στις παραμέτρους της έκθεσης, δηλαδή κατά πόσο η ύπαρξη ανθρώπων, υποδομών και περιουσιών θα μπορούσαν να επηρεαστούν δυσμενώς καθώς είναι εκτεθειμένα και να αυξήσουν την τρωτότητα. Στις παραμέτρους της ευαισθησίας, δηλαδή κατά πόσο ένα σύστημα επηρεάζεται από καιρικά φαινόμενα ή άλλες διεργασίες και αυξάνει την τρωτότητα. Στις παραμέτρους της ανθεκτικότητας, δηλαδή η ικανότητα του συστήματος να αντισταθεί σε έντονα φαινόμενα και στην τρωτότητα (IPCC, 2014). Να σημειωθεί επίσης ότι οι βιβλιογραφίες Balica et al, 2013, Len et al, 2018 εξετάζουν την τρωτότητα με βάση πλημμυρικά φαινόμενα και χρησιμοποιούν την παρακάτω γενική εξίσωση

$$V = \frac{E \cdot S}{R} \text{ (Σχ. 5.2) ,}$$

όπου V (Vulnerability) η τρωτότητα, E (Exposure) η έκθεση, S (Sensitivity) η ευαισθησία και R (Resilience) η ανθεκτικότητα.

Οι Weis et al, 2016 εξετάζει την τρωτότητα με βάση πλημμύρες και έντονα καιρικά φαινόμενα. Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό είναι η

$$V = E \cdot S \cdot AC \text{ (Σχ. 5.3),}$$

Όπου AC (Adaptive Capacity) η προσαρμοστική ικανότητα, δηλαδή η ικανότητα των υποδομών να μπορούν να ανταπεξέλθουν στην τρωτότητα.

Στους Balica et al, 2013 και υπολογίζονται χωριστά τον δείκτη τρωτότητας για κάθε κατηγορία παραμέτρων (κοινωνική, οικονομική, φυσική και περιβαλλοντική) με βάση τον διαχωρισμό τους στις παραπάνω τρεις συνιστώσες. Στο τέλος για τον υπολογισμό του συνολικού δείκτη τρωτότητας στους Len et al, 2018 οι υποδείκτες αθροίζονται, ενώ στους Balica et al, 2013 υπολογίζεται ο μέσος όρος των υποδεικτών.

Λόγω της μεγάλης ανομοιογένειας των τιμών των παραμέτρων στις βιβλιογραφίες Balica et al, 2013, Hsieh, 2014, και Kontogianni et al, 2018 χρησιμοποιείται η μέθοδος αδιαστατοποίησης, χρησιμοποιώντας ένα προκαθορισμένο ελάχιστο και μέγιστο (0-1),

$$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^t)}{\max_c(x_q^t) - \min_c(x_q^t)} \text{ (Σχ. 5.4),}$$

όπου η παράμετρος x_{qc}^t σε γενικό χώρο c και στον χώρο t μετατρέπεται σε I_{qc}^t με τιμές από 0 έως 1. Οι $\max_c(x_q^t)$ και $\min_c(x_q^t)$ είναι η ελάχιστη και μέγιστη τιμή της x_{qc}^t για όλους τους χώρους την στιγμή t (OECD, 2008).

Τέλος στις βιβλιογραφίες Gornitz et al, 1994 και Kontogianni et al, 2018 οι υποδείκτες των κατηγοριών πολλαπλασιάζονται με διαφορετικά βάρη ώστε να προκύψει ο τελικός δείκτης τρωτότητας. Η διαδικασία αυτή από τους παραπάνω ερευνητές χρησιμοποιείται καθώς κρίνεται ότι η υποδείκτες έχουν διαφορετική βαρύτητα και σημασία στην διαμόρφωση του δείκτη τρωτότητας της ακτής για τους Gornitz et al, 1994 και των λιμένων για τους Kontogianni et al, 2018.

Με βάση την βιβλιογραφική ανασκόπηση γύρω από τον υπολογισμό του δείκτη τρωτότητας στην παρούσα διπλωματική εργασία θα χρησιμοποιηθεί η εξής μεθοδολογία:

1. Οι παράμετροι διαχωρίζονται στις κατηγορίες τεχνικών, φυσικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών. Ακόμα κατατάσσονται στις συνιστώσες της τρωτότητας (έκθεση, ευαισθησία, ανθεκτικότητα) με βάση και τις βιβλιογραφίες IPCC, 2014 και McIntosh et al, 2019.
2. Γίνεται αδιαστατοποίηση όλων των τιμών από το ελάχιστο ως το μέγιστο (1,2) για την ομαλή ομογενοποίηση των τιμών με την Σχ. 5.4 για τιμές από 1 έως 2.



3. Για κάθε κατηγορία παραμέτρων θα υπολογίζεται ξεχωριστός δείκτης τρωτότητας, καθώς προσφέρει ευρύτερη εικόνα της κατάστασης του λιμένα. Έτσι οι συνιστώσες της έκθεσης, ευαισθησίας και ανθεκτικότητας θα υπολογίζονται με βάση

$$E \text{ ή } S \text{ ή } AC = \sqrt{\frac{a_1 * a_2 * \dots * a_n}{n}} \text{ (Σχ. 5.5).}$$

Οι υποδείκτες της τρωτότητας, δηλαδή ο τεχνικός δείκτης τρωτότητας (TVI), ο φυσικός δείκτης τρωτότητας (PhVI), ο περιβαλλοντικός δείκτης τρωτότητας (EVI) και ο κοινωνικοοικονομικός δείκτης τρωτότητας (SVI) υπολογίζονται με βάση την εξίσωση.

$$TVI \text{ ή } PhVI \text{ ή } EVI \text{ ή } SVI = E * S * AC \text{ (Σχ. 5.6).}$$

Ο λόγος για τον οποίο επιλέχθηκε η παραπάνω εξίσωση είναι ότι για όλες τις παραμέτρους χρησιμοποιήθηκε ενιαία κλίμακα. Έτσι οι λιμένες με τη μεγαλύτερη ανθεκτικότητα στην τρωτότητα έχουν μικρότερη τιμή σε σχέση με αυτά με την μικρότερη ανθεκτικότητα. Έτσι για να αποτυπωθεί λογικά και μαθηματικά, οι λιμενικές υποδομές με την μεγαλύτερη ανθεκτικότητα, παρουσιάζουν την μικρότερη τιμή, οπότε και την μικρότερη τρωτότητα.

4. Τέλος θα προστεθούν όλοι οι υποδείκτες, που θεωρούνται ισοβαρής, ανά κατηγορία που θα δώσει τον PVI (Port Vulnerability Index), τον Δείκτη Τρωτότητας Λιμένα.

$$PVI = TVI + PhVI + EVI + SVI \text{ (Σχ. 5.7)}$$

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν οι παράμετροι που αναπτύχθηκαν μέσω της ανάλυσης ορθοφωτοχαρτών, σε συνδυασμό με επί τόπου επιθεωρήσεις για να συμπεριληφθούν στον δείκτη. Επί της ουσίας γίνεται προσπάθεια να αναπτυχθεί ένας γενικής εφαρμογής δείκτης (Brown et al, 2015) που να επιτρέπει την παρακολούθηση, αξιολόγηση της τρωτότητας και στην συνέχεια της ανάπτυξης βάσης δεδομένων. Ένα τέτοιο σύστημα απαιτείται και για την ανάπτυξη της μελλοντικής τρωτότητας και την ουσιαστική αξιοποίηση των λιμένων.

5.2. Προτεινόμενες παράμετροι τρωτότητας λιμενικών υποδομών αλιευτικών καταφυγίων

Με βάση την μελέτη της βιβλιογραφίας προτείνονται οι τεχνικές παράμετροι του Πίνακα 5.1, οι φυσικές παράμετροι του Πίνακα 5.2, οι περιβαλλοντικές παράμετροι του Πίνακα 5.3 και οι κοινωνικοοικονομικές του Πίνακα 5.4. Η εκτίμηση της τρωτότητας ακόμα και σε μικρότερους λιμένες αποτελεί ένα σύνθετο και πολυπαραγοντικό πρόβλημα, που απαιτεί την καλή γνώση της περιοχής και των λειτουργιών του λιμένα καθώς και την συστηματική παρακολούθηση των υποδομών και των φθορών. Η επιλογή των παραμέτρων έγινε λαμβάνοντας υπόψη την διεθνή βιβλιογραφία της παράκτιας τρωτότητας και της τρωτότητας λιμένων. Επίσης λήφθηκε υπόψη η διαθεσιμότητα δεδομένων στα συγκεκριμένα αλιευτικά, για τα οποία δεν υπάρχει ο ίδιος όγκος πληροφοριών όπως σε αυτά που πολλές φορές εντοπίζονται στην βιβλιογραφία.

Όσον αφορά τις νέες παραμέτρους, εσωτερικών και εξωτερικών έργων, μελετήθηκαν τα εγχειρίδια ASCE, 2015 και Appledore Marine Engineering, 2016. Στα δύο αυτά εγχειρίδια παρουσιάζονται πληθώρα φθορών, λιμένων, τόσο για την ανωδομή, όσο και για τις φθορές κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Ακόμα παρουσιάζονται οι φθορές διαφόρων τύπων κατασκευαστικού υλικού λιμένων και προβλήτων. Παίρνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά των αλιευτικών καταφυγίων στη μελέτη περιοχής, δηλαδή τα κατασκευαστικά υλικά και το μέγεθος, και την εκτίμηση τρωτότητας με βάση κυρίως τα στοιχεία της ανωδομής επιλέχθηκαν οι φθορές των ρωγμών, της διάβρωσης και της αποκόλλησης. Από αυτή τη διαδικασία προέκυψαν οι παράμετροι των ρωγμών στην επιφάνεια του προβλήτα (TEΣ1) και οι ρωγμές στο σκυρόδεμα στα εξωτερικά έργα (TEΣ1). Αντίστοιχα επιλέχθηκαν η διάβρωση της ανωδομής (TEΣ2) και η αποκόλληση του σκυροδέματος (TEΣ3). Η βαθμολόγηση στο ASCE, 2015 μετά την οπτική επιθεώρηση χωρίζεται επίσης σε



πέντε κατηγορίες, παίρνει όμως υπόψη συνδυασμένα κριτήρια μαζί με ποσοστά επί της συνολικής επιφάνειας των φθορών. Τα ποσοστά που επιλέχθηκαν για τη διαφορετική βαθμολόγηση στη παρούσα εκτίμηση έγινε προσπάθεια να ακολουθήσουν το σκεπτικό του εγχειριδίου. Η βαθμολόγηση, εδώ, έγινε με ενιαία κλίμακα και όχι με συνδυασμένα κριτήρια ενώ το συγκεκριμένο εγχειρίδιο μελετά μεγαλύτερης λιμενικές εγκαταστάσεις. Για αυτούς τους λόγους το ποσοστό ανά βαθμολογική κλίμακα για την αξιολόγηση των παραμέτρων παίρνεται κατά 10% μειωμένο σε σχέση με το εγχειρίδιο. Μεγαλύτερη δυσκολία υπήρξε για τα εξωτερικά έργα της μετακίνησης της θωράκισης (ΤΕΞ2) και του προστατευτικού τοίχου (ΤΕΞ3).

Αυτές οι παράμετροι επιλέχθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής. Η μεθοδολογία προσφέρεται μελλοντικά να εμπλουτιστεί ανάλογα με τις λιμενικές υποδομές διερεύνησης, το μέγεθος του λιμένα και την αξιοποίηση των ΣμηΕΑ με διάφορα εργαλεία ή άλλου τύπου μεθόδου τηλεπισκόπησης ή να επιλεγθούν διαφορετικές παράμετροι από αυτές που παρουσιάζονται παρακάτω. Σε περίπτωση αξιολόγησης μεγαλύτερων λιμενικών εγκαταστάσεων, θα μπορούσαν να ενσωματωθούν παράμετροι του όγκου μεταφοράς εμπορευμάτων ή εμπορευματοκιβωτίων, εάν πρόκειται για λιμένα-διαμετακομιστικό κόμβο, η παραγωγικότητα της εργασίας ανά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, οι φθορές στην επιφάνεια του σκυροδέματος λόγω μεγάλων στατικών φορτίων ή και οι φθορές στον κατακόρυφο κρηπιδότοιχο λόγω πρόσκρουσης μεγάλου πλοίου.



Πίνακας 5.1 Τεχνικές παράμετροι για την εκτίμηση τρωτότητας αλιευτικών καταφυγίων

α/α	Κατηγορία	Παράμετροι	Επεξήγηση	Μονάδες Μέτρησης	Βιβλιογραφία
Τεχνικές παράμετροι					
T1	Υλικά	Κατασκευαστικά υλικά	Είδος υλικού		Kontogianni et al, 2018
T2	Βάθος	Βάθος λιμενολεκάνης	Βάθος στο άκρο του προσήνεμου μόλου	Μέτρα (m)	McIntosh et al, 2019
T3	Μέγεθος	Μέγεθος λιμένα	Μέγεθος λιμένα με βάση την επιφάνεια	Τετραγωνικά μέτρα (m ²)	McIntosh et al, 2019
T4	Υποδομή	Απόσταση από κεντρικούς δρόμους	Απόσταση από το κέντρο βάρους του λιμένα ως το κεντρικό δρόμο του οικισμού	Μέτρα (m)	Tsoukala
T5		Απόσταση από κοντινότερο λιμένα	Απόσταση από το κέντρο βάρους του λιμένα ως το κέντρο βάρους του κοντινότερου λιμένα	Μέτρα (m)	Tsoukala
T6	Θέσεις αγκυροβόλησης	Ποσοστό κατάληψης θέσεων	Ποσοστό κατάληψης μέσω της εκτίμησης θέσεων χωρητικότητας και παρακολούθηση κατάληψης αυτών μέσω φωτογραφιών	Ποσοστό (%)	Hsieh et al, 2014 και Kontogianni et al, 2018
T7	Χωρητικότητα	Χωρητικότητα σκαφών	Χωρητικότητα σκαφών	Αριθμός	Kontogianni et al, 2018 και McIntosh et al, 2019
TEΣ1	Υποδομή	Εσωτερικά έργα	Ρωγμές στην επιφάνεια του προβλήτα	Διάφορα	
TEΣ2			Διάβρωση ανωδομής	Διάφορα	
TEΣ3			Αποκόλληση σκυροδέματος	Διάφορα	
TEΞ1		Εξωτερικά έργα	Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος	Διάφορα	
TEΞ2			Μετακίνηση θωράκισης του κυματοθραύστη	Διάφορα	
TEΞ3			Διάβρωση προφυλακτήριου τοίχου	Διάφορα	



Πίνακας 5.2 Φυσικές παράμετροι για την εκτίμηση τρωτότητας αλιευτικών καταφυγίων

α/α	Κατηγορία	Παράμετροι	Επεξήγηση	Μονάδες Μέτρησης	Βιβλιογραφία
Φυσικές παράμετροι					
Φ1	Υετός	Ετήσιος Υετός	Ετήσια στοιχεία συνολικής βροχόπτωσης	Χιλιοστόμετρα (mm)	McIntosh et al, 2019
Φ2	Ακραία φαινόμενα/ καταστροφές	Μέγεθος σεισμών	Ισχυρότερος σεισμός στην στον οικισμό του λιμένα	Σκάλα ρίχτερ	McIntosh et al, 2019
Φ3		Κίνδυνος πλημμύρας	Κίνδυνος παράκτιας περιοχής	Ναι/όχι	Tsoukala
Φ4	Παλίρροια	Εύρος παλίρροιας	Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας λόγω αστρονομικής παλίρροιας	Μέτρα (m)	Gornitz et al, 1994, Hammar-Klose et al, 2003 και McIntosh et al, 2019
Φ5	Κύμα	Ύψος κύματος	Ύψος κύματος με την μέθοδο SMB για συγκεκριμένη χρονική περίοδο	Μέτρα (m)	Hammar-Klose et al, 2003, Alexandrakis et al, 2014 και Kontogianni et al, 2018
Φ6		Περίοδος κύματος	Περίοδος για συγκεκριμένη χρονική περίοδο	Δευτερόλεπτα (sec)	Alexandrakis et al, 2014
Φ7	Άνεμος	Ταχύτητα ανέμου	Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου	Μέτρα (m)/δευτερόλεπτα (sec)	Alexandrakis et al, 2014
Φ8	Θερμοκρασία	Μέση ετήσια θερμοκρασία	Μέση ετήσια θερμοκρασία	°C	Alexandrakis et al, 2014



Πίνακας 5.3 Περιβαλλοντικές παράμετροι για την εκτίμηση τρωτότητας αλιευτικών καταφυγίων

α/α	Κατηγορία	Παράμετροι	Επεξήγηση	Μονάδες Μέτρησης	Βιβλιογραφία
Περιβαλλοντικές παράμετροι					
Π1	Ρύπανση του αέρα	Μέρες ρύπανσης πάνω από το επιτρεπτό όριο	Μέρες ρύπανσης πάνω από το επιτρεπτό όριο	Αριθμός	McIntosh et al, 2019
Π2	Είδη υπό εξαφάνιση	Αριθμός ειδών υπό εξαφάνιση	Αριθμός ειδών χλωρίδας και πανίδας	Αριθμός	McIntosh et al, 2019
Π3	Περιοχή ενδιαιτημάτων	Αριθμός περιοχών ενδιαιτημάτων	Αριθμός περιοχών ενδιαιτημάτων στην περιοχή του λιμένα	Αριθμός	McIntosh et al, 2019
Π4	Ιχθυοκαλλιέργειες	Ιχθυοκαλλιέργειες	Απόσταση λιμένα από ιχθυοκαλλιέργειες	Μέτρα (m)	Tsoukala



Πίνακας 5.4 Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι για την εκτίμηση τρωτότητας αλιευτικών καταφυγίων

α/α	Κατηγορία	Παράμετροι	Επεξήγηση	Μονάδες Μέτρησης	Βιβλιογραφία
Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι					
K1	Πολιτισμός	Πολιτισμική κληρονομιά	Αρχαιολογικοί χώροι και ιστορικά μνημεία	Ναι/όχι	McLaughin et al, 2002
K2	Χρήση	Επαγγελματική χρήση	Ποσοστό επαγγελματικής χρήσης μέσω της εκτίμησης κατάληψης θέσεων χωρητικότητας και κατάληψη θέσεων από επαγγελματικά σκάφη μέσω φωτογραφιών	Ποσοστό (%)	Kontogianni et al, 2018
K3	Χρήσεις γης	Χρήση γης	Η οικονομική ή πολιτισμική σημασία της περιοχής γύρω από τον λιμένα	Είδος χρήσης γης	McLaughin et al, 2002
K4	Απόσταση από οικισμό/ πόλη	Απόσταση από αστική περιοχή	Απόσταση από το κέντρο βάρους του λιμένα έως τον οικισμό	Μέτρα (m)	Kontogianni et al, 2018
K5	Πληθυσμός και άλλα χαρακτηριστικά	Πληθυσμός	Αριθμός πληθυσμού οικισμού	Αριθμός	McIntosh et al, 2019
K6		Ποσοστό του πληθυσμού άνω των 65 ετών	Ποσοστό του πληθυσμού άνω των 65 ετών του οικισμού	Ποσοστό (%)	McIntosh et al, 2019
K7		Ποσοστό ανεργίας	Ποσοστό ανεργίας οικισμού	Ποσοστό (%)	Boruff et al, 2005
K8		Μέσος αριθμός μελών νοικοκυριών	Μέσος αριθμός μελών νοικοκυριών οικισμού	Αριθμός	Boruff et al, 2005



5.2.1. Τεχνικές παράμετροι

Στην συνέχεια αναλύονται οι τεχνικές παράμετροι με βάση την ερμηνεία και τον τρόπο υπολογισμού.

- **T1-Υλικά**
Εξετάζεται το είδος υλικού κατασκευής των λιμένων (οπλισμένο σκυρόδεμα, ξύλινη κατασκευή, μεταλλική κατασκευή, σύμμικτη κατασκευή). Για τον υπολογισμό της παραμέτρου παρατηρείται το είδος του υλικού των λιμενικών υποδομών από τους ορθοφωτοχάρτες και από της επιτόπιες φωτογραφίες. Το οπλισμένο σκυρόδεμα, με βάση την βιβλιογραφία των Kontogianni et al, 2018, θεωρείται το λιγότερο τρωτό σε σχέση με τα άλλα είδη κατασκευής. Στη προκειμένη περίπτωση όλοι οι λιμένες είναι κατασκευασμένοι με οπλισμένο σκυρόδεμα.
- **T2-Βάθος λιμενολεκάνης**
Ως βάθος λιμενολεκάνης εξετάζεται το βάθος στο άκρο του προσήνεμου μόλου. Η εύρεση του βάθους γίνεται με την βοήθεια των χαρτών Sonar του Navionics (www.navionics.com).
- **T3-Μέγεθος λιμένα**
Εξετάζεται ως προς την επιφάνεια του λιμένα. Εισάγονται οι ορθοφωτοχάρτες στο ελεύθερο λογισμικό QGIS. Υπολογίζεται το μέγεθος σε τετραγωνικά μέτρα με βοήθεια της εντολής AREA.
- **T4-Απόσταση από κεντρικούς δρόμους**
Εξετάζεται η απόσταση με βάση το οδικό δίκτυο μέχρι τους κεντρικούς δρόμους του οικισμού. Από το κέντρο βάρους του λιμένα υπολογίζονται στο περιβάλλον του QGIS η απόσταση από τους κεντρικούς δρόμους των οικισμών.
- **T5-Απόσταση από κοντινότερο λιμένα**
Εξετάζεται η απόσταση μέχρι το κοντινότερο γειτονικό λιμένα. Η απόσταση μετριέται με βάση την πορεία που θα ακολουθούσε περίπου ένα σκάφος. Από το κέντρο βάρους του λιμένα υπολογίζονται στο περιβάλλον του QGIS η απόσταση μέχρι τον κοντινότερο λιμένα.
- **T6-Ποσοστό κατάληψης θέσεων**
Το ποσοστό των καταλυμένων θέσεων προς τη χωρητικότητα σκαφών λιμένα (T7). Γίνεται εκτίμηση ποσοστό κατάληψης θέσεων στον λιμένα μέσω μελέτης διαφορετικών δορυφορικών εικόνων.
- **T7-Χωρητικότητα σκαφών**
Η κανονική χωρητικότητα των σκαφών του λιμένα. Γίνεται εκτίμηση χωρητικότητας σκαφών με βάση το μέγεθος, δορυφορικές εικόνες και τη σχεδίαση στο πρόγραμμα AutoCAD.
- **ΤΕΣ1-Ρωγμές στην επιφάνεια του προβλήτα**
Ως ρωγή στην επιφάνεια του προβλήτα προσμετρούνται εγκάρσιες, οριζόντιες ή και διαμήκειες ρωγμές. Γίνεται εκτίμηση του ποσοστού ρηγμάτωσης επί της επιφάνειας του προβλήτα. Μέσω των ορθοφωτοχαρτών εντοπίζονται οι ρωγμές, και υπολογίζεται η επιφάνεια που καταλαμβάνουν (QGIS). Στη συνέχεια διαιρείται με το μέγεθος του λιμένα (T3). Με βάση το ποσοστό ταξινομείται στην κλίμακα που επιλέχθηκε στον Πίνακα 5.5. Οι προβλήτες των λιμένων χωρίς ρωγμές είναι οι λιγότερο τρωτοί.
- **ΤΕΣ2-Διάβρωση ανωδομής**
Ως διάβρωση προσμετρούνται οι χημικές και «τυπικές» διαβρώσεις (ASCE, 2015). Γίνεται εκτίμηση του ποσοστού διάβρωσης ανωδομής επί της επιφάνειας του προβλήτα. Μέσω των ορθοφωτοχαρτών εντοπίζονται οι διαβρώσεις, και υπολογίζεται η επιφάνεια που καταλαμβάνουν (QGIS). Στη συνέχεια διαιρείται με το μέγεθος του λιμένα (T3). Με βάση το ποσοστό ταξινομείται στην κλίμακα που επιλέχθηκε στον Πίνακα 5.5. Οι προβλήτες των λιμένων χωρίς διαβρώσεις είναι οι λιγότερο τρωτοί.



- **ΤΕΞ3-Αποκόλληση σκυροδέματος**

Γίνεται εκτίμηση του ποσοστού αποκόλλησης σκυροδέματος επί της επιφάνειας του προβλήτα. Μέσω των ορθοφωτοχαρτών εντοπίζονται οι αποκολλήσεις, και υπολογίζεται η επιφάνεια που καταλαμβάνουν (QGIS). Στη συνέχεια διαιρείται με το μέγεθος του λιμένα (Τ3). Με βάση το ποσοστό ταξινομείται στην κλίμακα που επιλέχθηκε στον Πίνακα 5.5. Οι προβλήτες των λιμένων χωρίς αποκολλήσεις είναι το λιγότερο τρωτοί.

- **ΤΕΞ1-Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος**

Εκτιμάται το μήκος ρηγματώσης στην επιφάνεια σκυροδέματος στα εξωτερικά έργα. Επειδή το σπλισμένο σκυρόδεμα στα εξωτερικά έργα εντοπίζεται κυρίως σε μικτές διατομές, η ρωγμή υπολογίζεται ως μήκος και όχι ως ποσοστό. Με τη χρήση του QGIS εκτιμάται το μήκος. Ταξινομείται στην κλίμακα που επιλέχθηκε στον Πίνακα 5.6. Οι λιμένες χωρίς ρωγμές είναι και οι λιγότερο ευάλωτοι.

- **ΤΕΞ2-Μετακίνηση θωράκισης κυματοθραύστη**

Ως μετακίνηση θωράκισης παίρνεται υπόψη, οποιαδήποτε αλλαγή στην μορφή του σχεδιασμένου κυματοθραύστη. Γίνεται εκτίμηση του ποσοστού μετακίνησης επί της συνολικής επιφάνειας του κυματοθραύστη. Μέσω των ορθοφωτοχαρτών εντοπίζονται οι μετακινήσεις, και υπολογίζεται η επιφάνεια που καταλαμβάνουν (QGIS). Με βάση το ποσοστό ταξινομείται στην κλίμακα που επιλέχθηκε στον Πίνακα 5.6. Οι λιμένες χωρίς μετακίνηση θωράκισης είναι οι λιγότερο τρωτοί.

- **ΤΕΞ3-Διάβρωση προφυλακτήριου τοίχου**

Ως διάβρωση εκτιμάται οι ρωγμές και η διάβρωση σπλισμού στην επιφάνεια του προφυλακτήριου τοίχου. Γίνεται εκτίμηση του ποσοστού διάβρωσης επί της συνολικής επιφάνειας του τοίχου, μέσω φωτογραφιών. Με βάση το ποσοστό ταξινομείται στην κλίμακα που επιλέχθηκε στον Πίνακα 5.6. Οι λιμένες χωρίς διάβρωση του προφυλακτήριου τοίχου είναι οι λιγότερο τρωτοί.

5.2.2. Φυσικές παράμετροι

Στην συνέχεια αναλύονται οι φυσικές παράμετροι με βάση την ερμηνεία και τον τρόπο υπολογισμού.

- **Φ1-Υετός**

Η ετήσια συνολική βροχόπτωση σε χιλιοστά είναι απαραίτητη για την εκτίμηση της τρωτότητας. Μέσω του Κλιματικού Άτλαντα της Ελλάδας εντοπίζεται ο ετήσιος υετός για της περιοχές των λιμένων. Οι λιμένες με την μικρότερη βροχόπτωση είναι και οι λιγότερο τρωτοί.

- **Φ2-Μέγεθος σεισμών**

Σε μια από τις πιο σεισμογενείς χώρες της Ευρώπης, είναι σημαντική η γνώση της σεισμικότητας της περιοχής. Επιλέγεται ως κλίμακα το μέγεθος του σεισμού σε επιφανειακό βάθος <15 km. Έγινε αναζήτηση στην βάση δεδομένων του εργαστηρίου σεισμολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Έγιναν δυο αναζητήσεις για την περιοχή μελέτης. Η πρώτη για του σεισμούς από την 01.06.2018 έως την 01.09.22 για τους σεισμούς από 1-8 στη σκάλα ρίχτερ. Η δεύτερη για το διάστημα από την 01.06.2004 έως την 01.09.22 για τους σεισμούς από 4-8 στη σκάλα ρίχτερ. Η περιοχή με τον μικρότερο μέγεθος σεισμών θεωρείται και η λιγότερο τρωτή.

- **Φ3-Κίνδυνος πλημμύρας**

Εκτιμάται ως ο κίνδυνος πλημμύρας της παράκτιας περιοχής. Για τον κίνδυνο πλημμύρας αξιοποιήθηκε χάρτης ζώνης κινδύνου πλημμύρας για σενάριο υψηλής πιθανότητας του καταλόγου γεωχωρικών δεδομένων του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). Η περιοχή με το μικρότερο κίνδυνο θεωρείται η λιγότερο τρωτή, ενώ στη παρούσα περιοχή μελέτης όλοι οι λιμένες λαμβάνουν την ίδια τιμή.



- **Φ4-Παλίρροια**

Η άνοδος στάθμης θάλασσας λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας υπολογίζεται με χρήση της παρακάτω αναλυτικής σχέσης (Dean & Dalrymble, 1992):

$$\frac{\partial \eta}{\partial x} = \frac{\pi \tau_{sx}}{\rho g (h + \eta)}, (\text{Σχ. 5.8})$$

όπου: η (m): η άνοδος της στάθμης θάλασσας λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας, η (-): εμπειρικός συντελεστής τριβής πυθμένα με τυπικές τιμές 1.15-1.30, ρ (kg/m³): η πυκνότητα του θαλασσινού νερού (λαμβάνεται 1025), h (m): το βάθος της υφαλοκρηπίδας όπου ο πυθμένας επιδρά σημαντικά στα κυματικά χαρακτηριστικά, τ_{sx} (kg/m²): η διατμητική τάση του ανέμου στο οριακό στρώμα θάλασσας-ατμόσφαιρας.

Για την επίλυση της εξίσωσης χρησιμοποιήθηκε ο υπολογισμός της μετεωρολογικής παλίρροιας με χρήση υπολογιστικών φύλλων του I. Κρεσενίτη και του Χ. Μακρή. Όπου με βάση τη ταχύτητα του ανέμου $U(z)$ (m/sec), το ύψος μέτρησης ταχύτητας ανέμου z (m), το βάθος της λιμενολεκάνης h_0 (m), το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής ϕ (°) και την γωνία πνοής του ανέμου θ (°) υπολογίστηκε η παλίρροια με την θεώρηση ότι πρόκειται για υφαλοκρηπίδα με σταθερό βάθος.

- **Φ5-Ύψος κύματος**

Το ύψος κύματος είναι από τα σημαντικότερα μεγέθη σχεδιασμού των λιμένων. Για το ύψος κύματος έγιναν υπολογισμοί με την μέθοδο SMB. Αρχικά υπολογίζεται το ανάπτυγμα πελάγους F_{eff} για την κατεύθυνση των Νότιων, Νοτιοδυτικών και Δυτικών ανέμων, καθώς αυτή θα επηρεάσουν περισσότερο την ακτή και τους λιμένες στον Βόρειο Κορινθιακό. Σχεδιάζεται στον σχεδιαστικό πρόγραμμα AutoCAD το ανάπτυγμα σε τομέα $\pm 45^\circ$ από την κύρια διεύθυνση πνοής ανέμου ανά 5° . Το ανάπτυγμα υπολογίζεται ως εξής:

$$F_{eff} = \frac{\sum f_i \cdot \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \quad (\text{Εξ. 5.9}).$$

Στην συνέχεια υπολογίζεται το $\Phi = \frac{g \cdot F_{eff}}{U^2}$ (Εξ. 5.10), όπου το $g=9,81$ m/sec² και το U (m/sec).

Τέλος το ύψος κύματος H_s (m) και η περίοδος κύματος T_p (sec) υπολογίζονται από τις εξής εξισώσεις:

$$H_s = 0,283 \cdot \tanh(0,0125 \cdot \Phi^{0,42}) \cdot \frac{U^2}{g} \quad (\text{Σχ. 5.11})$$

Οι λιμένες με το μικρότερο ύψος κύματος θεωρούνται και οι λιγότερο τρωτοί.

- **Φ6-Περίοδος κύματος**

Για τη περίοδο του κύματος έγιναν υπολογισμοί με την μέθοδο SMB.

$$T_p = 7,54 \cdot \tanh(0,077 \cdot \Phi^{0,25}) \cdot \frac{U}{g} \quad (\text{Σχ. 5.12}).$$

Οι λιμένες με τη μικρότερη περίοδο θεωρούνται και οι λιγότερο τρωτοί.

- **Φ7-Ταχύτητα ανέμου**

Βρέθηκε η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου από τους κλιματικούς χάρτες ανέμου της EMY.

- **Φ8-Μέση ετήσια θερμοκρασία**

Βρέθηκε η μέση ετήσια θερμοκρασία από τον κλιματικό άτλαντά της EMY.

5.2.3. Περιβαλλοντικές παράμετροι

- **Π1-Μέρες ατμοσφαιρικής ρύπανσης**



Βρέθηκαν οι μέρες ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τον σταθμό μέτρησης ατμοσφαιρικής ρύπανσης Αλιάρτου μέσω του geodata.gov.gr. Η περιοχή με τη λιγότερες μέρες ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι οι λιγότερο τρωτές. Σε αυτή την περίπτωση όλες οι περιοχές έχουν την ίδια τιμή.

- **Π2,Π3-Είδη υπό εξαφάνιση- Περιοχή ενδιαιτημάτων**

Εκτιμάται τα είδη προς εξαφάνιση και η περιοχή ενδιαιτημάτων. Η αναζήτηση γίνεται στους χάρτες NATURA.

- **Π4-Απόσταση από ιχθυοκαλλιέργειες**

Βρέθηκαν οι κοντινές ιχθυοκαλλιέργειες και μετρήθηκαν οι αποστάσεις από τους λιμένες με την βοήθεια του QGIS.

5.2.4. Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι

- **K1-Πολιτισμός**

Στην παράμετρο του πολιτισμού προσμετρούνται οι αρχαιολογικοί χώροι, τα ιστορικά μνημεία και περιοχές μεγάλης πολιτισμικής σημασίας. Μέσω του πολιτιστικού χάρτη του Υπουργείου Πολιτισμού βρέθηκαν οι αρχαιολογικοί χώροι. Η εκτίμηση της τρωτότητας έγινε με βάση την οδική απόσταση από των λιμένων από τους χώρους πολιτισμού.

- **K2-Χρήση λιμένα**

Έγινε εκτίμηση ποσοστού επαγγελματικής χρήσης μέσω της κατάληψης θέσεων χωρητικότητας και κατάληψη θέσεων από επαγγελματικά σκάφη μέσω φωτογραφιών.

- **K3-Χρήσεις γης**

Η οικονομική ή πολιτισμική σημασία της περιοχής γύρω από τον λιμένα βρέθηκε με την βοήθεια του Corine 2000. Στη παρούσα περίπτωση όλες οι λιμένες λαμβάνουν την ίδια τιμή, καθώς έχουν παρόμοιες χρήσεις γης.

- **K4-Απόσταση από οικισμό/πόλη**

Μετρήθηκε με την βοήθεια του QGIS η απόσταση από το κέντρο βάρους του λιμένα ως τον κεντρικό δρόμο του οικισμού/πόλης.

- **K5,K6,K7,K8-Πληθυσμός και άλλα χαρακτηριστικά**

Από τα στατιστικά στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ επιλέχθηκαν ο πληθυσμός, το ποσοστό του πληθυσμού άνω των 65, το ποσοστό ανεργίας και ο μέσος αριθμός μελών νοικοκυριών. Αυτή η επιλογή ώστε από να υπάρχει αντιπροσωπευτικό δείγμα των κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων του πληθυσμού και να δώσει όσο γίνεται μια πληρέστερη εικόνα της έκθεσης και της ευαισθησίας του δείκτη.

5.3. Προτάσεις νέων παραμέτρων

Προτείνονται να ενταχθούν στον δείκτη τρωτότητας οι παράμετροι των Πινάκων 5.5, 5.6. Η προσθήκη αυτών των παραμέτρων στον δείκτη τρωτότητας πραγματοποιήθηκε δεδομένου της απουσίας παραμέτρων της κατάστασης των λιμενικών υποδομών. Η αξιοποίηση της τηλεπισκόπησης για την παρακολούθηση της τρωτότητας των λιμένων, δε σημαίνει την εγκατάλειψη παλιότερων και αποτελεσματικών μεθόδων των οπτικών επιθεωρήσεων, αλλά την συνδυαστική αξιοποίηση και των δύο μεθόδων για την καλύτερη δυνατή εκτίμηση του δείκτη.

Για τον καθορισμό των παραμέτρων, στα εσωτερικά και στα εξωτερικά έργα, διερευνήθηκαν οι βιβλιογραφίες ASCE, 2015 και Appledore Marine Engineering, 2016 και λήφθηκε υπόψη η δυνατότητα εντοπισμού φθορών μέσω των ορθοφωτοχαρτών και φωτογραφιών. Για τα εσωτερικά έργα επιλέχθηκαν οι παράμετροι των ρωγμών στην επιφάνεια του προβλήτα, η διάβρωση της ανωδομής και η αποκόλληση του σκυροδέματος. Ενώ για τα εξωτερικά έργα επιλέχθηκαν οι παράμετροι των ρωγμών στην επιφάνεια του



σκυροδέματος, συγκεκριμένα για εξωτερικά έργα και εκεί που υπάρχει μικτή διατομή εσωτερικών και εξωτερικών έργων, η μετακίνηση της θωράκισης του κυματοθραύστη, η διάβρωση του προφυλακτήριου τοίχου. Όλες αυτές οι παράμετροι κάνουν τις λιμενικές υποδομές τρωτές και ευάλωτες.

Για τη βαθμολόγηση της κατάστασης των λιμενικών υποδομών με πάθησαν υπόψη οι βιβλιογραφίες Huang et al, 2009, ASCE, 2015 και Zhang et al, 2017. Όμως λόγω τις σχετικά περιορισμένης βιβλιογραφίας στην βαθμολόγηση λιμενικών υποδομών και πόσο μάλλον μικρών αλιευτικών καταφυγίων, έγιναν και παραδοχές.

1. Για τον υπολογισμό των παραμέτρων της υποδομής στον δείκτη οι πίνακες θα βαθμολογηθούν από το 1 έως το 5 αύξων προς τις συνθήκες που δημιουργούν συνθήκες μεγαλύτερης τρωτότητας.
2. Για τα εσωτερικά έργα για όλες τις παραμέτρους η βαθμολόγηση 1 ισούται με την μη δυνατότητα εντοπισμού φθορών. Η βαθμολόγηση 5 ισούται με τον εντοπισμό φθορών σε πάνω από το 15% της επιφάνειας του λιμένα για όλες τις παραμέτρους. Ο λόγος για τον οποίο δεν επιλέχθηκε μεγαλύτερο ποσοστό, είναι επειδή θεωρήθηκε ότι αν οι φθορές επεκτείνονται πάνω από το 1/5 της επιφάνειας του λιμένα, η λειτουργικότητα του θα ήταν πολύ μικρή. Οι ενδιάμεσες βαθμολογήσεις πάνε κλιμακωτά, όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.5.
3. Για τα εξωτερικά έργα (Πίνακας 5.6) το ένα ισούται με την μη δυνατότητα εντοπισμού φθορών για τις παραμέτρους. Για την παράμετρο των ρωγμών στην επιφάνεια του σκυροδέματος στα εξωτερικά έργα επιλέχθηκε η βαθμολόγηση να ακολουθήσει το μήκος της ρωγμής και όχι το ποσοστό επιφάνειας, καθώς πλέον δεν εξετάζεται η λειτουργικότητα με βάση την εξυπηρέτηση του κοινού, αλλά η επιρροή κάθε ρωγμής στην ασφάλεια και ευστάθεια των λιμενικών υποδομών. Για την μετακίνηση της θωράκισης του κυματοθραύστη επιλέχθηκε ως δυσμενέστερο σενάριο η μετακίνηση πάνω από το 40% της επιφάνειας, όπου ουσιαστικά δεν θα υφίσταται ο κυματοθραύστης σχεδίασης και θα μπορούσε να θεωρηθεί πρακτικά αθωράκιστος. Η μετακίνηση της θωράκισης εντοπίζεται είτε μέσω της μη ομοιόμορφης κατανομή της θωράκισης, είτε λόγω εμφανών λίθων της θωράκισης στο βυθό της θάλασσας, είτε μέσω παλιότερων δορυφορικών εικόνων. Για την διάβρωση σπλισμού ακολουθήθηκε το ίδιο σκεπτικό με τα εσωτερικά έργα.



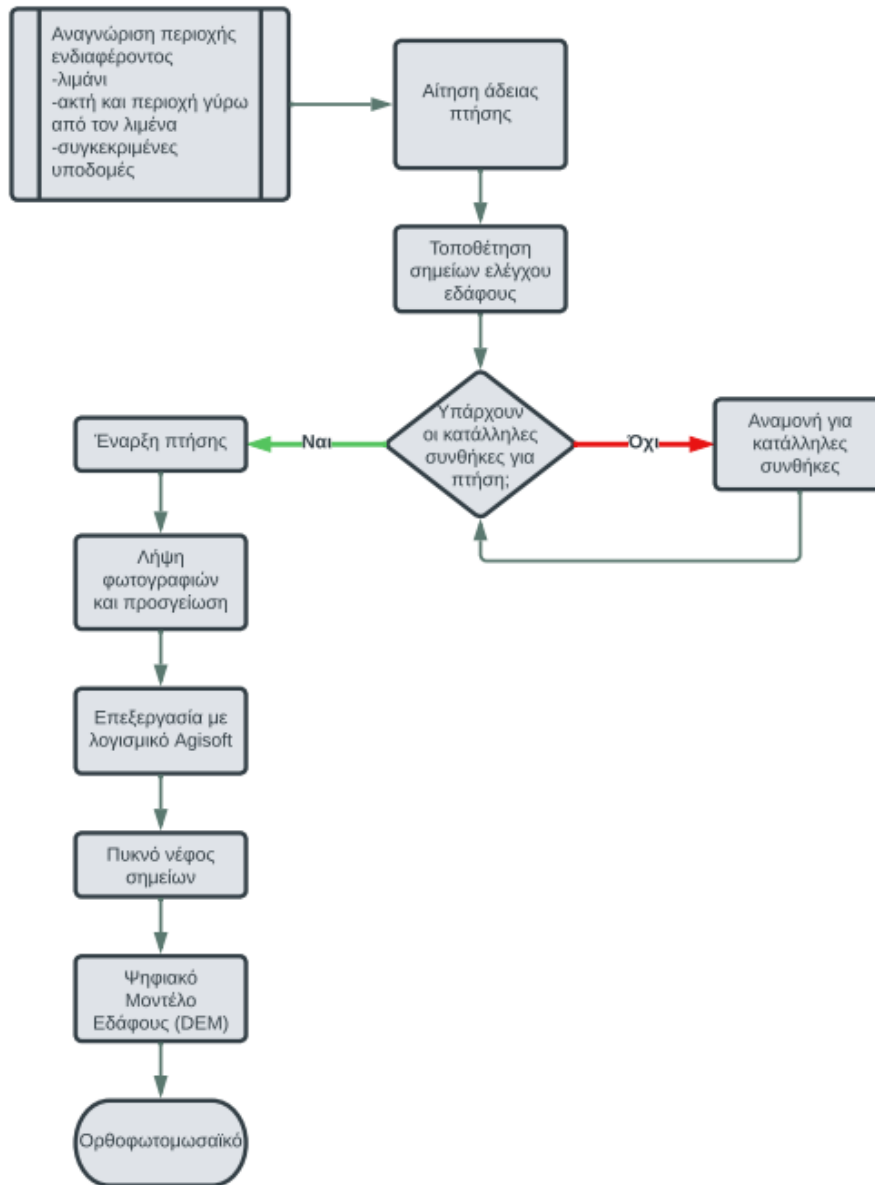
Πίνακας 5.5 Νέοι παράγοντες εσωτερικών έργων

Εσωτερικά έργα					
ΤΕΣ1		ΤΕΣ2		ΤΕΣ3	
Ρωγμές στην επιφάνεια του προβλήτα		Διάβρωση ανωδομής		Αποκόλληση σκυροδέματος	
Χωρίς ρηγμάτωση	1	Καθόλου	1	Καθόλου	1
Επιφανειακή ρηγμάτωση <5% της επιφάνειας	2	Σε επιφάνεια <5%	2	Σε επιφάνεια <5%	2
Ρηγμάτωση 5%-10% της επιφάνειας	3	Σε επιφάνεια 5%-10%	3	Σε επιφάνεια 5%-10%	3
Ρηγμάτωση 10%-15% της επιφάνειας με διάβρωση οπλισμό	4	Σε επιφάνεια 10%-15%	4	Σε επιφάνεια 10%-15%	4
Ρηγμάτωση 15%-25% της επιφάνειας με εμφανή οπλισμό	5	Σε επιφάνεια >15%	5	Σε επιφάνεια >15%	5

Πίνακας 5.6 Νέοι παράγοντες εξωτερικών έργων

Εξωτερικά έργα					
ΤΕΞ1		ΤΕΞ2		ΤΕΞ3	
Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος		Μετακίνηση θωράκισης κυματοθραύστη		Διάβρωση προφυλακτήριου τοίχου	
Χωρίς ρηγμάτωση	1	Χωρίς μετακίνηση	1	Υπαρξη τοίχου χωρίς εμφανή ρωγμές	1
Αποκόλληση <20 εκατ.	2	Μετακίνηση θωράκισης σε ποσοστό <10% επί της επιφάνειας του	2	Επιφανειακή ρηγμάτωση <5% της επιφάνειας	2
Αποκόλληση 20 εκατ.- 1μ	3	Μετακίνηση θωράκισης σε ποσοστό 10%-20% επί της επιφάνειας του	3	Ρηγμάτωση 5%-10% της επιφάνειας	3
Αποκόλληση 1μ.-2μ.	4	Μετακίνηση θωράκισης σε ποσοστό 20%-40% επί της επιφάνειας του	4	Ρηγμάτωση 10%-15% της επιφάνειας με διάβρωση οπλισμό	4
Αποκόλληση >1μ., με διάβρωση χάλυβα	5	Μετακίνηση θωράκισης σε ποσοστό >40% επί της επιφάνειας του	5	Ρηγμάτωση >15% της επιφάνειας με εμφανή οπλισμό	5

5.4. Συλλογή στοιχείων με χρήση ΣμηΕΑ



Εικόνα 5.2 Διάγραμμα ροής συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων μη επανδρωμένου αεροσκάφη (ιδία επεξεργασία)

Αρχικά, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.2, αναγνωρίζεται η περιοχή μελέτης οι λιμένες και τα εσωτερικά και εξωτερικά έργα. Τα εσωτερικά αποτελούνται από τα έργα εξυπηρέτησης λειτουργίας-προβλήτες και αποβάθρες (Εικόνα 5.3), ενώ τα εξωτερικά έργα από τα έργα προστασίας και τους κυματοθραύστες (Εικόνες 5.4, 5.5).



Εικόνα 5.3 Εσωτερικό έργο προβλήτα στην Παραλία Σαράντη



Εικόνα 5.4 Εξωτερικό έργο κυματοθραύστη με θωράκιση στο αλιευτικό καταφύγιο Αλικής



Εικόνα 5.5 Εξωτερικό έργο προφυλακτήριου τοίχου στο αλιευτικό καταφύγιο Παραλίας Σαράντη

Στην συνέχεια, ζητείται άδεια από τις λιμενικές αρχές και εφόσον εγκριθεί. Η πτήση προγραμματίζεται και πραγματοποιείται κάτω από κατάλληλες καιρικές συνθήκες και από πιστοποιημένο πιλότο. Η πτήση



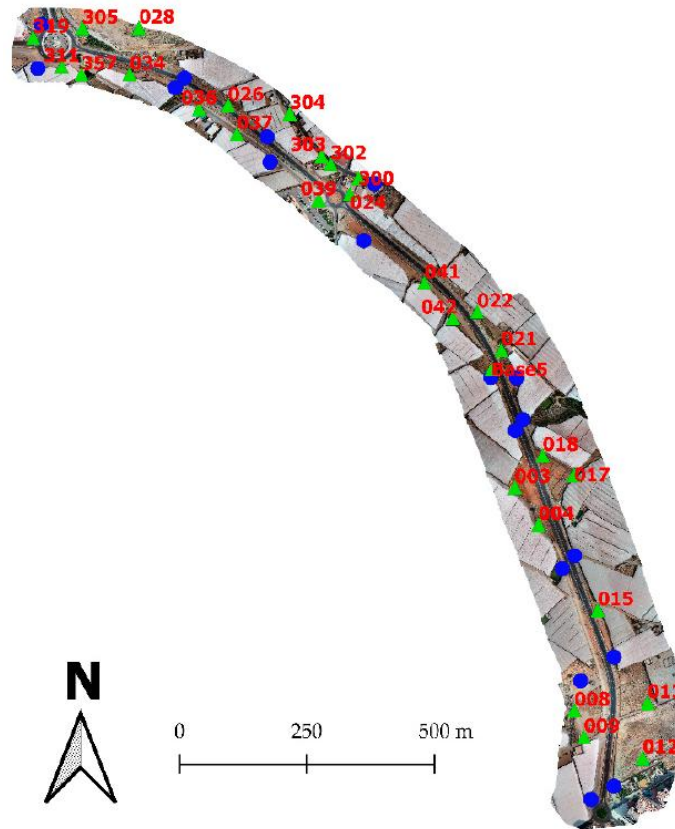
G, 2013; Wolf et al, 2014; Aber et al, 2019). Ουσιαστικά, με την μέθοδο της φωτογραμμετρίας πραγματοποιούνται ακριβείς μετρήσεις σε τρισδιάστατα αντικείμενα και χαρακτηριστικά του εδάφους έχοντας ως βάση δισδιάστατες φωτογραφίες (Koena et al, 2018). Τα τελευταία χρόνια η αερομεταφερόμενη φωτογραμμετρία μέσω UAV σε χαμηλό υψόμετρο και σε πολύ υψηλή χωρική ανάλυση έχει κερδίσει γρήγορα δημοτικότητα στην παράκτια γεωμορφολογία. Αυτή η επιτυχία έγινε δυνατή λόγω της ανάπτυξης της ψηφιακής φωτογραμμετρίας και της εισαγωγής μικρών, εύχρηστων και οικονομικών UAV (Cohen et al, 2020).

Το ύψος της πτήσης του αεροσκάφη είναι παραμετροποιημένο, το οποίο, ανάλογα με την ευαισθησία του αισθητήρα, καθορίζει την χωρική ανάλυση των κάθετων εικόνων: όσο μεγαλύτερο το υψόμετρο, τόσο χαμηλότερη η ανάλυση. Προγραμματίζονται επικάλυψη δύο διαδοχικών φωτογραφιών και πλευρική επικάλυψη δύο παράλληλων λωρίδων φωτογραφιών (συνιστάται 80 και 60% αντίστοιχα). Η ταχύτητα του UAV εξαρτάται από αυτές τις παραμέτρους. Η ταχύτητα πρέπει να είναι αρκετά αργή για να αποφευχθεί αλλοίωση των φωτογραφιών (Cohen et al, 2020).

Για την εγγύηση της ακρίβειας στα ψηφιακά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την φωτογραμμετρία, είναι απαραίτητη η χωροθέτηση σημείων ελέγχου εδάφους (GCP) (Εικόνες 5.7, 5.8). Τα GCP χρησιμοποιούνται για την γεωαναφορά του τρισδιάστατου νέφους σημείων, ενώ ένα από τα προβλήματα που προκύπτουν συνήθως είναι ο αριθμός των GCP που πρέπει να καθοριστούν για να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια. Είναι γενικά αποδεκτό ότι εντός λογικών πλαισίων, η πληθώρα σημείων λειτουργεί θετικά στην ακρίβεια των εικόνων (Ferrer-Gonzalez et al, 2020, Jimenez-Jimenez et al 2021). Στην Εικόνα 5.8 οι μπλε κουκίδες είναι τα σημεία ελέγχου εδάφους.



Εικόνα 5.7 Σημείο ελέγχου στο λιμάνι του Λαυρίου (Τσάιμου, 2022)



Εικόνα 5.8 Σημεία ελέγχου εδάφους (GCP) σε αυτοκινητόδρομο στην Ισπανία (Ferrer-Gonzalez et al, 2020)

Η φωτογραφίες του ΣμηΕΑ και τα σημεία ελέγχου εισάγονται στο λογισμικό Agisoft 1.4.3. Το εξειδικευμένο λογισμικό είναι σχετικά εύκολο να χρησιμοποιηθεί. Αυτά τα προγράμματα εκτελούν ανάλυση αντιστοιχίας των πίξελ των εικόνων και τα «ράβουν» μαζί σαν πανόραμα. Υπολογίζουν τις γωνίες των σημείων λήψεων και των πίξελ για να υπολογίσουν τα βάθη του πεδίου ή τις διαφορές στο υψόμετρο για να αναπαραστήσουν το ανάγλυφο (Cohen et al, 2020). Έτσι δημιουργείται αρχικά το πυκνό νέφος σημείων ενώ στην συνέχεια κατασκευάζεται το ψηφιακό μοντέλο εδάφους από το οποίο προκύπτει το ορθοφωτομοσαϊκό.

6. Υπολογισμός παραμέτρων

Με βάση την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε παραπάνω θα υπολογιστούν οι παράμετροι για την διερεύνηση του δείκτη τρωτότητας για κάθε αλιευτικό καταφύγιο. Έχοντας καταλήξει στις παραμέτρους που θα χρησιμοποιηθούν, η επιλογή ορθών τιμών και οι σωστοί υπολογισμοί, θα έχουν ως αποτέλεσμα ο Δείκτης Τρωτότητας Λιμένων να αντικατοπτρίζει την πραγματική εικόνα για την τρωτότητα των λιμένων.

6.1. Τεχνικές παράμετροι

Στις τεχνικές παράμετροι θα εξεταστούν αρχικά οι παράμετροι ενίσχυσης δείκτη τρωτότητας και στη συνέχεια οι παράμετροι της βιβλιογραφίας. Η επεξεργασία των ορθοφωτοχαρτών για την διερεύνηση της έκτασης των φθορών έγινε μέσω του γεωπληροφορικού προγράμματος QGIS.

6.1.1. Τεχνικές παράμετροι ενίσχυσης δείκτη τρωτότητας

Τα αποτελέσματα προκύπτουν από ανάλυση ορθοφωτοχαρτών και την επαλήθευση από επιτόπιες φωτογραφίες.

Παραλία Σαράντη

Στην επιφάνεια της υπάρχουν κάθετες ρωγμές (παράμετρος ΤΕΣ1) με μικρό πλάτος, σε επιφάνεια μικρότερη του 5% του προβλήτα (Εικόνα 6.1). Η διαβρωμένη επιφάνεια ανέρχεται στα $3,5\text{m}^2$ (ΤΕΣ2), δηλαδή στο 0,5% της συνολικής επιφάνειας του λιμένα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.1 και 6.2.



Εικόνα 6.1 Επιφάνεια προβλήτα αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη με ρηγματώσεις

ΤΕΣ2-Διάβρωση ανωδομής



Εικόνα 6.2 Διάβρωση προβλήτα αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΤΕΣ2)

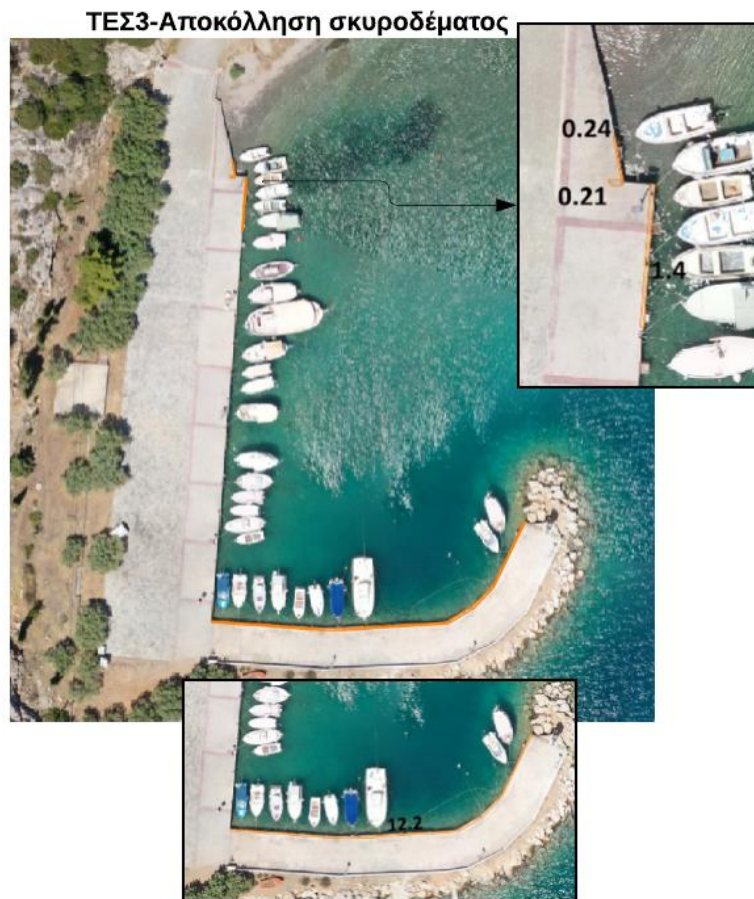
Όσον αφορά την αποκόλληση υπάρχει ρωγμή αποκόλλησης (ΤΕΣ3) μήκους περίπου 0,75 m, όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.3. Επίσης υπάρχει αποκόλληση κατά μήκος των δεσμών (Εικόνα 6.4). Η συνολική αποκολλημένη επιφάνεια ανέρχεται στα 14,05 m² (Εικόνα 6.5), που σημαίνει ότι το ποσοστό της αποκολλημένης επιφάνειας προς τη συνολική είναι περίπου 2%.



Εικόνα 6.3 Αποκόλληση προβλήτα αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη



Εικόνα 6.4 Αποκόλληση κατά μήκος των δεσμών στο αλιευτικό καταφυγίου Παραλίας Σαράντη



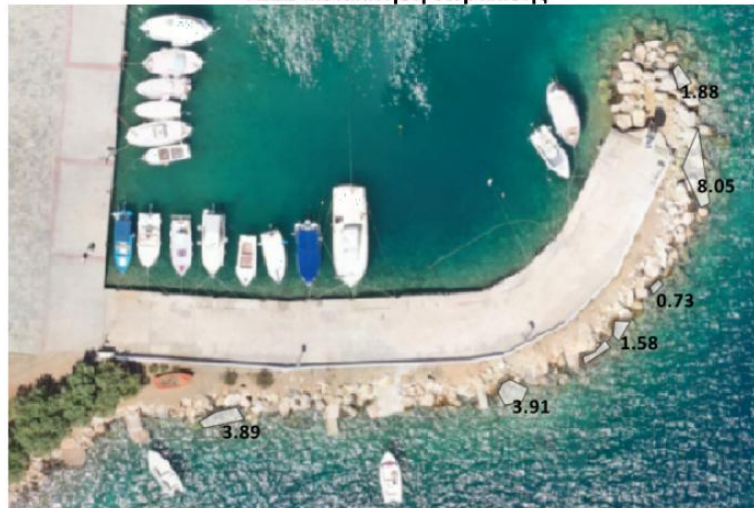
Εικόνα 6.5 Αποκόλληση προβλήτα αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη (ΤΕΞ3)

Όπως φαίνεται από την Εικόνα 6.7 δεν υπάρχουν φθορές στο σκυρόδεμα (ΤΕΞ1) των εξωτερικών έργων και στον προφυλακτήριο τοίχο (ΤΕΞ3). Υπάρχουν μικρές μετακινήσεις της θωράκισης (ΤΕΞ2) της τάξης του 6,6% της συνολικής επιφάνειας του κυματοθραύστη (Εικόνα 6.7).



Εικόνα 6.6 Προφυλακτήριος τοίχος αλιευτικού καταφυγίου Παραλίας Σαράντη

ΤΕΞ2-Μετακίνηση θωράκισης



Εικόνα 6.7 Μετακίνηση θωράκισης στο αλιευτικό καταφύγιο Παραλίας Σαράντη (ΤΕΞ2)

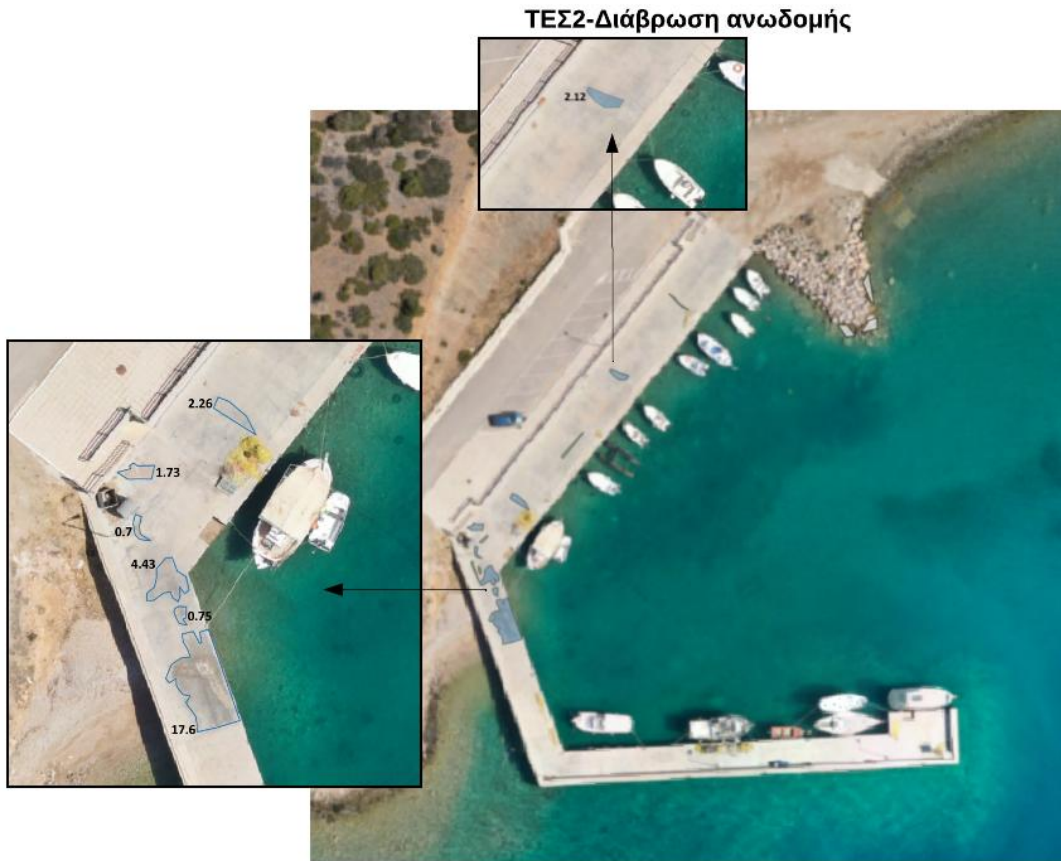
Άγιος Νικόλαος

Στον Άγιο Νικόλαο, τον πιο πρόσφατα κατασκευασμένο λιμένα από τους τέσσερις, υπάρχει μικρή ρηγμάτωση (ΤΕΣ1) σε $3,14\text{m}^2$ της επιφάνειας, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.8. Διάβρωση εντοπίστηκε στο 2,9% της επιφάνειας (Εικόνα 6.9). Αποκόλληση δεν εντοπίστηκε.

ΤΕΣ1-Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος



Εικόνα 6.8 Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Νικολάου (ΤΕΣ1)



Εικόνα 6.9 Διάβρωση ανωδομής αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Νικολάου

Ο προσήνεμος μόλος είναι αθωράκιστος, ενώ στον υπήνεμο (Εικόνα 6.10) υπάρχουν μικρές μετακινήσεις (ΤΕΞ2) της τάξης του 4%. Στον προφυλακτήριο τοίχο δεν βρέθηκαν φθορές (Εικόνα 6.11).



Εικόνα 6.10 Μετακίνηση θωράκισης υπήνεμου μόλου αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Νικολάου



Εικόνα 6.11 Προφυλακτήριος τοίχος αλιευτικού καταφυγίου Αγίου Νικολάου

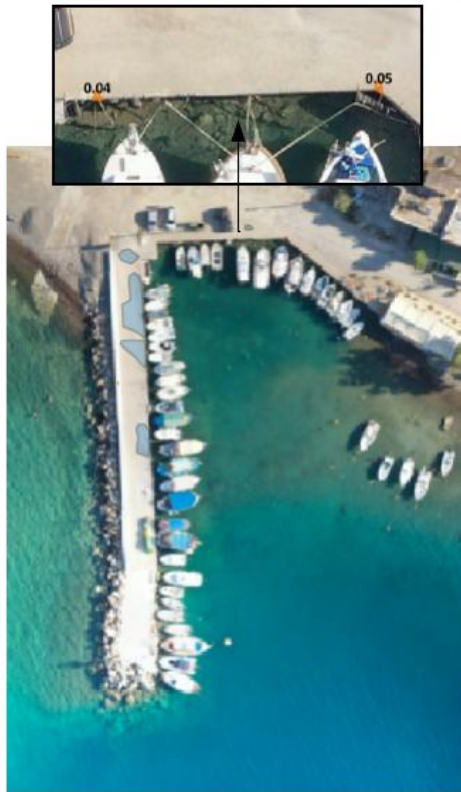
Αλυκή

Στην Αλυκή υπάρχει διάβρωση της ανωδομής (ΤΕΣ2) της τάξης του 8,8% της επιφάνειας (Εικόνα 6.12). Αποκόλληση (ΤΕΣ3) εντοπίζεται σε δύο σημεία ανάμεσα στις πλάκες σκυροδέματος (Εικόνα 6.13).



Εικόνα 6.12 Διάβρωση ανωδομής στο αλιευτικό καταφύγιο Αλυκής (ΤΕΣ2)

ΤΕΣ3-Αποκόλληση σκυροδέματος



Εικόνα 6.13 Αποκόλληση σκυροδέματος στο αλιευτικό καταφύγιο Αλυκής (ΤΕΣ3)

Ενώ παρατηρείται και ελαφριά ρηγμάτωση από επί τόπου επισκοπήσεις και εκτεταμένη απόξεση (Εικόνα 6.14). Ο σπλισμός δεν έχει διαβρωθεί σε κάποιο σημείο.



Εικόνα 6.14 Προβλήτας αλιευτικού καταφυγίου Αλυκή

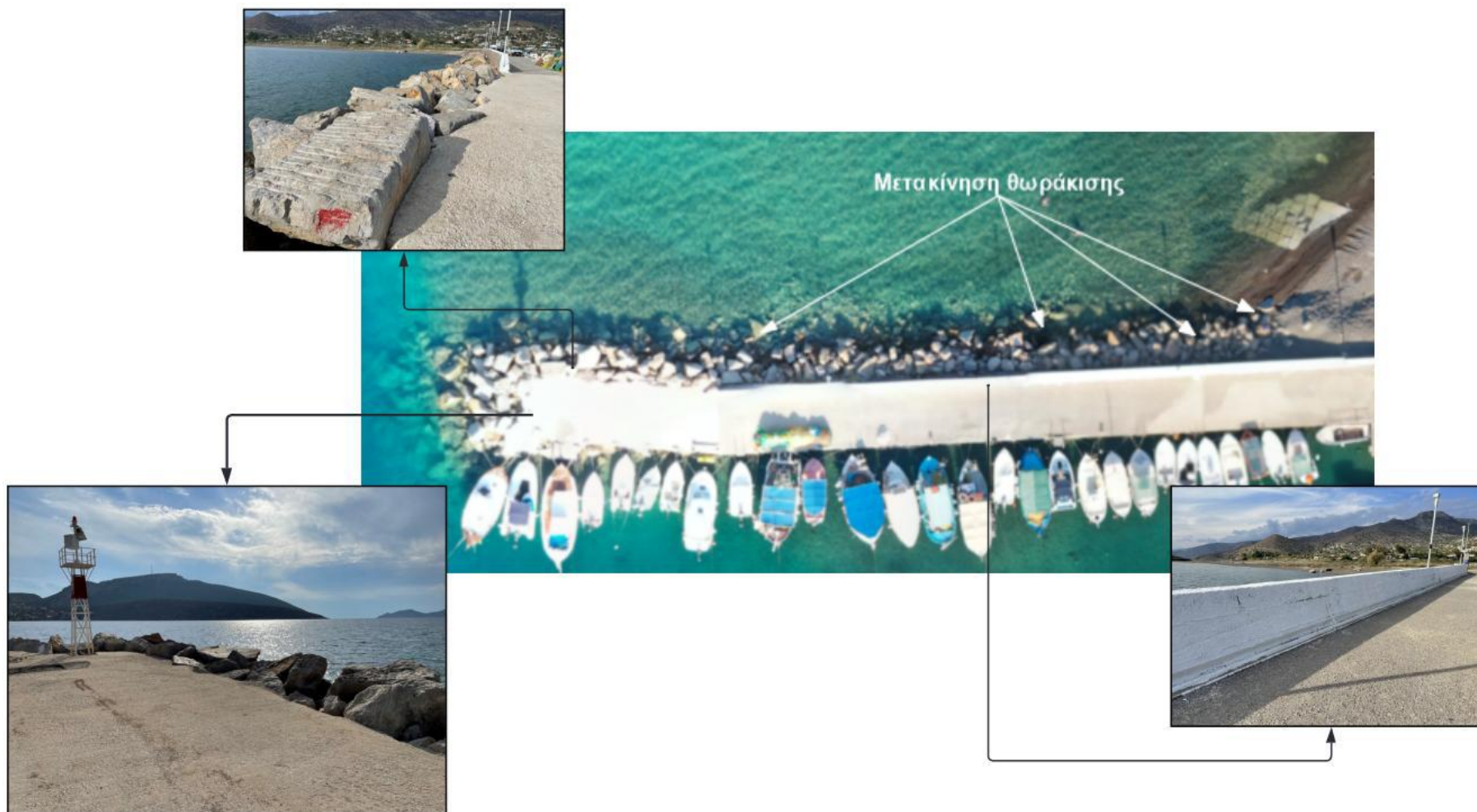
Στα εξωτερικά έργα, Εικόνα 6.16, υπάρχει αποκόλληση και ρηγμάτωση περίπου 1,5 m ενώ υπάρχει και περιοχή περίπου 2m που έχει διαβρωθεί το σκυρόδεμα (ΤΕΞ1). Υπάρχει μετακίνηση θωράκισης περίπου



στο 12,8% της επιφάνειας του κυματοθραύστη (ΤΕΞ2), όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.15. Ο προφυλακτήριος τοίχος φαίνεται σε καλή κατάσταση χωρίς εμφανή ρηγμάτωση σπλισμού, όμως σε σημείο προς το ακροπόδιο υπάρχει ανατροπή κομματιού μικρού μέρους του δευτερεύον προφυλακτήριου τοίχου (ΤΕΞ3). Τα εξωτερικά έργα του αλιευτικού καταφυγίου Αλυκής παρουσιάζονται στην Εικόνα 6.16.



Εικόνα 6.15 Μετακίνηση θωράκισης στο αλιευτικό καταφύγιο Αλυκής (ΤΕΞ2)

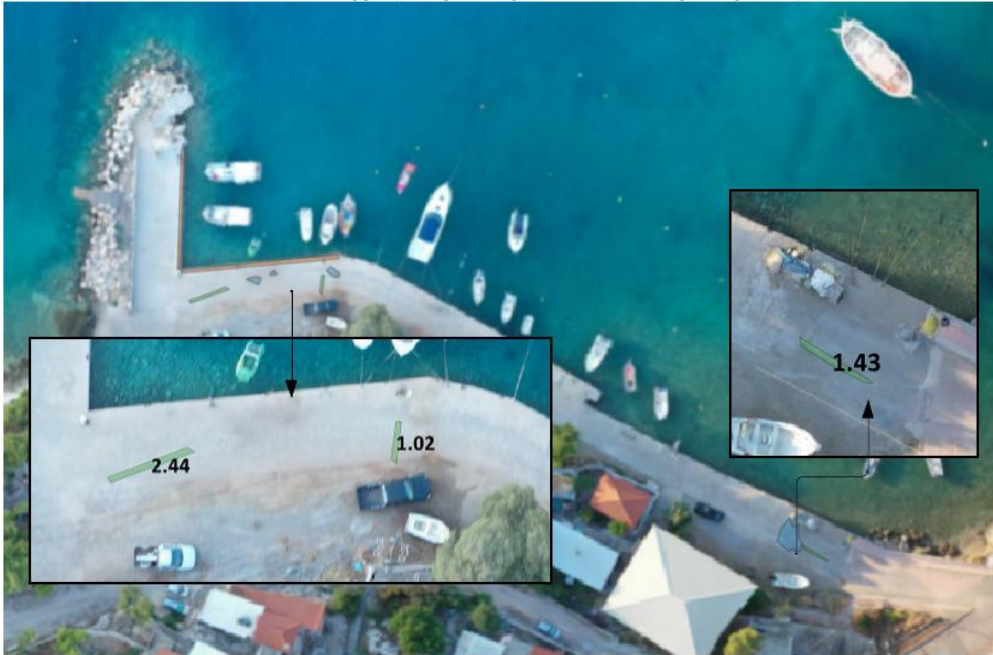


Εικόνα 6.16 Αξιολόγηση εξωτερικών έργων αλιευτικού καταφυγίου Αλυκή

Άγιος Βασίλειος

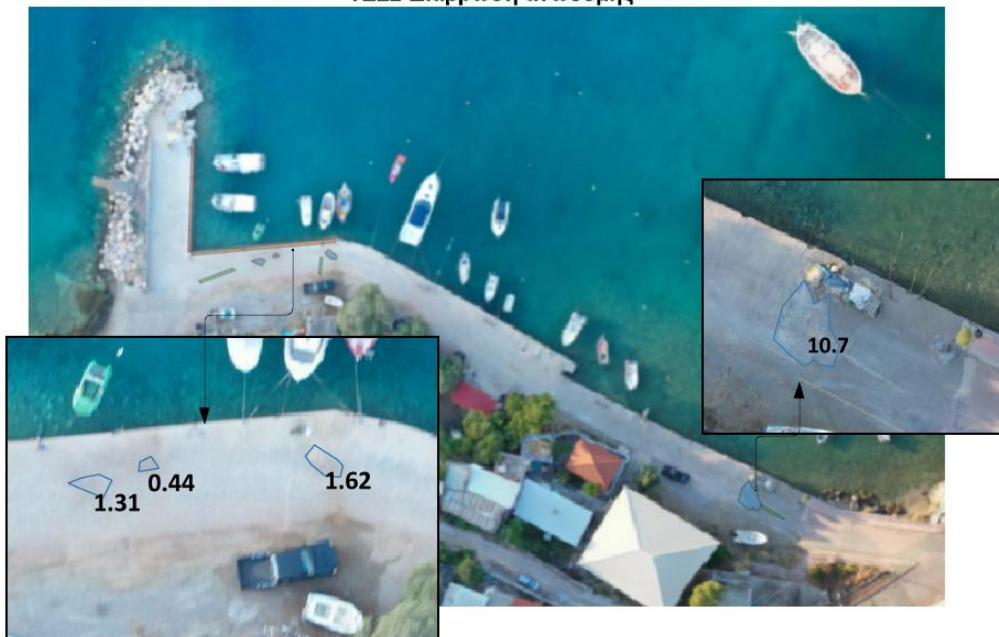
Στον Άγιο Βασίλειο παρατηρείται επιφανειακή ρηγμάτωση (Εικόνα 6.17), σε επιφάνεια $4,89\text{m}^2$. Ενώ πρόκειται για τρεις εμφανείς περιπτώσεις το μήκος των ρωγμών επεκτείνεται γύρω στα δύο μέτρα (ΤΕΣ1). Επίσης υπάρχει διάβρωση σε περιοχή 2,2% της συνολικής επιφάνειας (ΤΕΣ2), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 6.18. Η αποκόλληση (Εικόνα 6.19) είναι πιο έντονη στην άκρη του προβλήτα στην περιοχή των δεστρών σε επιφάνεια περίπου 3% της συνολικής (ΤΕΣ3).

ΤΕΣ1-Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος



Εικόνα 6.17 Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου (ΤΕΣ1)

ΤΕΣ2-Διάβρωση ανωδομής



Εικόνα 6.18 Διάβρωση ανωδομής στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου (ΤΕΣ2)

ΤΕΣ3-Αποκόλληση σκυροδέματος



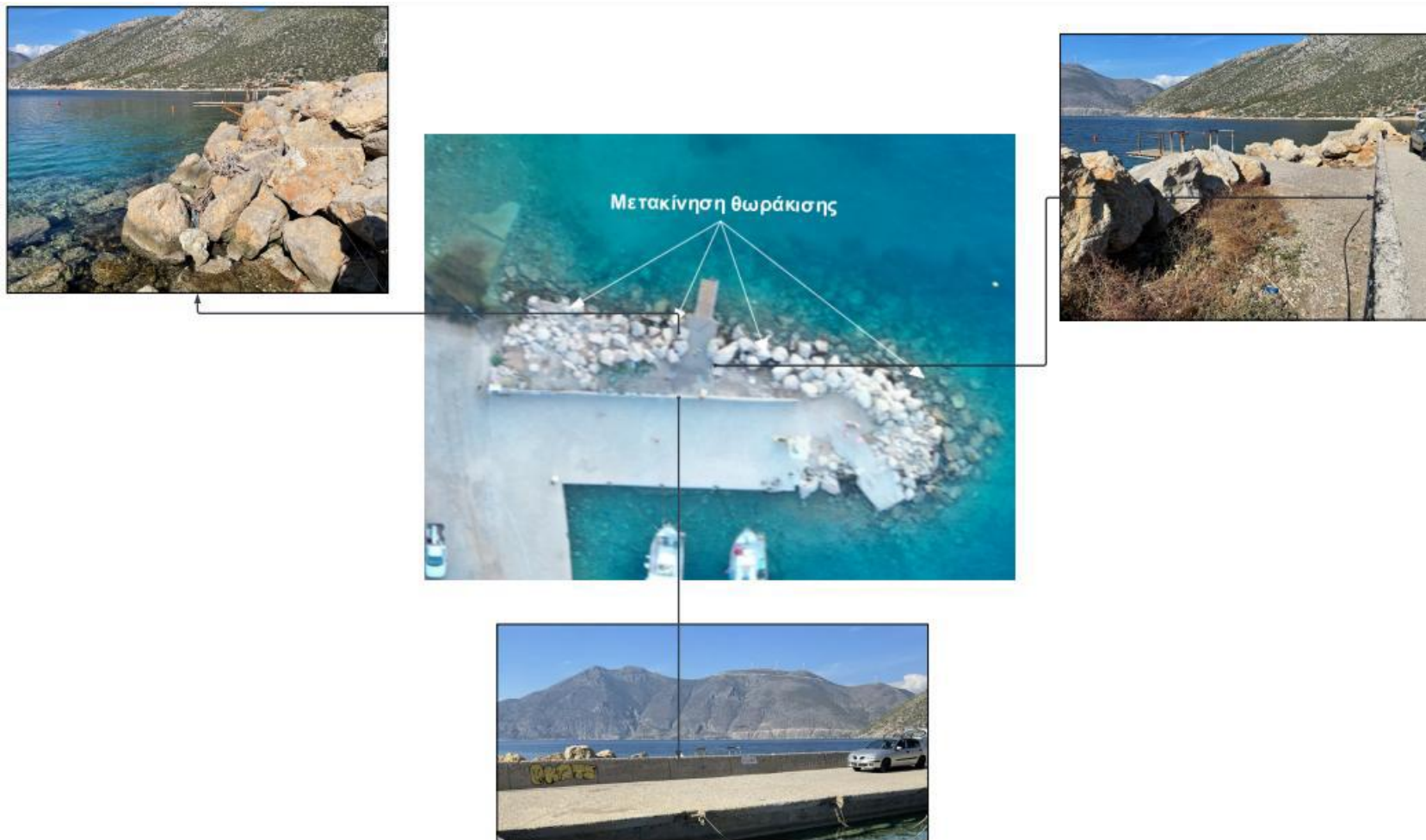
Εικόνα 6.19 Αποκόλληση σκυροδέματος στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου (ΤΕΣ3)

Το μεγαλύτερο πρόβλημα στα εξωτερικά έργα του λιμένα του Αγίου Βασιλείου παρουσιάζει ο προφυλακτήριος τοίχος, όπως φαίνεται από τις Εικόνες 6.21 και 6.22 στο μεγαλύτερο του μέρος είναι ρηγματωμένος με διαβρωμένο σπλισμό (ΤΕΞ3). Υπάρχει επίσης μετακίνηση της θωράκισης σε επιφάνεια περίπου 6,7% επί της συνολικής επιφάνειας (ΤΕΞ2) (Εικόνα 6.20).

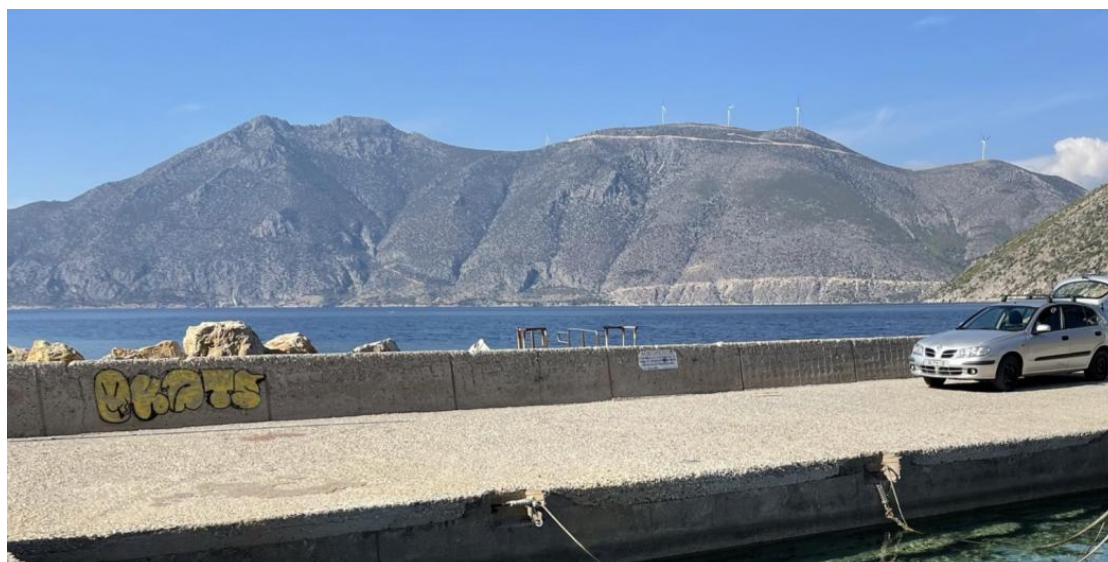
ΤΕΞ2-Μετακίνηση θωράκισης



Εικόνα 6.20 Μετακίνηση θωράκισης στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου (ΤΕΞ2)



Εικόνα 6.21 Εξωτερικά έργα στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου



Εικόνα 6.22 Προφυλακτήριος τοίχος στο αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου

Στον Πίνακα 6.1 παρουσιάζεται η συνολική βαθμολόγηση των λιμενικών υποδομών.

Πίνακας 6.1 Πίνακας βαθμολόγησης εσωτερικών έργων υποδομής

		Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Εσωτερικά έργα					
ΤΕΣ1	Ρωγμές στην επιφάνεια του προβλήτα	2	2	2	2
ΤΕΣ2	Διάβρωση ανωδομής	2	2	3	2
ΤΕΣ3	Αποκόλληση σκυροδέματος	2	1	2	2

Από τον Πίνακα 6.1 συμπεραίνονται τα εξής:

- Όλοι οι λιμένες βαθμολογήθηκαν το ίδιο για τις ρωγμές επιφάνειας του προβλήτα. Σε όλους εντοπίζονται παρόμοιες φθορές μικρής έκτασης.
- Το αλιευτικό καταφύγιο της Αλυκής είναι πιο τρωτό στην διάβρωση της ανωδομής σε σχέση με τους υπόλοιπους τρεις λιμένες.
- Το αλιευτικό καταφύγιο του Αγίου Νικολάου είναι το λιγότερο τρωτό στην αποκόλληση σκυροδέματος, καθώς πρόκειται και για το πιο πρόσφατα κατασκευασμένο. Το αλιευτικό καταφύγιο της Παραλίας Σαράντη της Αλυκής και του Αγίου Βασιλείου είναι το ίδιο τρωτά.

Πίνακας 6.2 Πίνακας βαθμολόγησης εξωτερικών έργων υποδομής

		Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Εξωτερικά έργα					
ΤΕΞ1	Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος	1	1	4	1
ΤΕΞ2	Μετακίνηση θωράκισης κυματοθραύστη	2	2	3	2
ΤΕΞ3	Διάβρωση προφυλακτήριου τοίχου	1	1	2	5

Από τον Πίνακα 6.2 φαίνονται τα εξής:

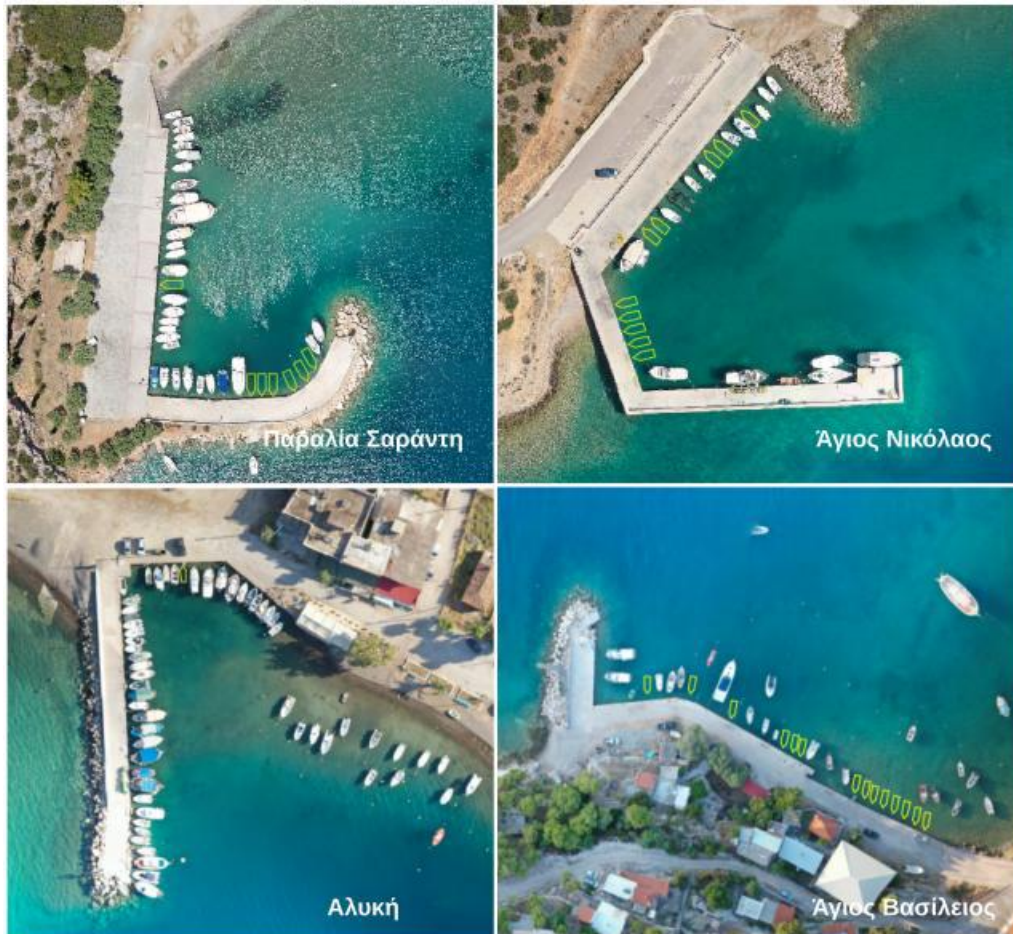
- Το αλιευτικό καταφύγιο της Αλυκής είναι με διαφορά το πιο τρωτό, σε σχέση με τα υπόλοιπα, όσον αφορά της παραμέτρους στην επιφάνεια του σκυροδέματος.
- Το αλιευτικό καταφύγιο της Αλυκής είναι το πιο τρωτό, όσον αφορά την μετακίνηση θωράκισης κυματοθραύστη και ακολουθεί οι υπόλοιποι λιμένες.
- Στα αλιευτικά καταφύγια της Παραλίας Σαράντη και του Αγίου Νικολάου δεν εντοπίζεται κάποια φθορά στη διάβρωση του προστατευτικού τοίχου, οπότε είναι και τα λιγότερο τρωτά. Στο αλιευτικό καταφύγιο της Αλυκής εντοπίζεται μικρή φθορά, ενώ το πιο τρωτό με την μεγαλύτερη δυσμενή βαθμολόγηση είναι το αλιευτικό καταφύγιο του Αγίου Βασιλείου.

6.1.2. Τεχνικές παράμετροι βιβλιογραφίας



Εικόνα 6.23 Επεξεργασία ορθοφωτοχαρτών στο QGIS για την εύρεση τεχνικών παραμέτρων

Στην Εικόνα 6.23 παρουσιάζεται η επεξεργασία των ορθοφωτοχαρτών στο QGIS για την εύρεση του μεγέθους του λιμένα, της απόστασης από τους κοντινότερους κεντρικούς δρόμους και της απόστασης από τους κοντινότερους λιμένες. Για την απόσταση των δρόμων μετρήθηκε η οδική απόσταση, ενώ για τους λιμένες η απόσταση που και διένυε κατά προσέγγιση κάποιο σκάφος.



Εικόνα 6.24 Χωρητικότητα σκαφών αλιευτικών καταφυγίων

Στην Εικόνα 6.24 αποτυπώνεται προσεγγιστικά μέσω του σχεδιαστικού προγράμματος AutoCAD η χωρητικότητα των αλιευτικών καταφυγίων. Με βάση την χωρητικότητα, το ποσοστό κατάληψης θέσεων από τις υπάρχουσες αλλά και άλλες δορυφορικές φωτογραφίες, προκύπτει το ποσοστό κατάληψης θέσεων.

Από τον Πίνακα 6.3 φαίνονται τα εξής:

- Όλοι οι λιμένες είναι κατασκευασμένοι από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Ο Άγιος Νικόλαος διαθέτει το μικρότερο βάθος λιμενολεκάνης που τον κάνει, τον πιο τρωτό, ενώ ακολουθούν ο Άγιος Βασίλειος με ένα μέτρο βαθύτερη λιμενολεκάνη. Η Αλυκή είναι η λιγότερα τρωτή με το μεγαλύτερο βάθος, ενώ ακολουθεί η Παραλία Σαράντη.
- Ο Άγιος Νικόλαος έχει την μεγαλύτερη έκταση λιμένα, πράγμα που τον καθιστά πιο τρωτό και ακολουθούν Αλυκή και Παραλία Σαράντη, με παρόμοια έκταση, και τέλος ο Άγιος Βασίλειος.
- Το αλιευτικό καταφύγιο του Αγίου Νικολάου είναι το πιο απομακρυσμένο από τον κεντρικό δρόμο, οπότε και το πιο τρωτό και ακολουθούν Παραλία Σαράντη, Αλυκή και Άγιος Βασίλειος.
- Ο λιμένες της Παραλίας Σαράντη, είναι ο πιο τρωτός, καθώς είναι ο πιο απομακρυσμένος από τον κοντινότερο λιμένα και ακολουθούν ο Άγιος Βασίλειος, ο Άγιος Νικόλαος και τέλος η Αλυκή.
- Την μεγαλύτερη χωρητικότητα σκαφών την διαθέτει η Αλυκή και είναι πιο τρωτή. Ακολουθούν ο λιμένας της Παραλίας Σαράντη και τέλος με την μικρότερη και ίση χωρητικότητα ο Άγιος Νικόλαος και ο Άγιος Βασίλειος.



Πίνακας 6.3 Τεχνικές παράμετροι λιμένων βιβλιογραφίας

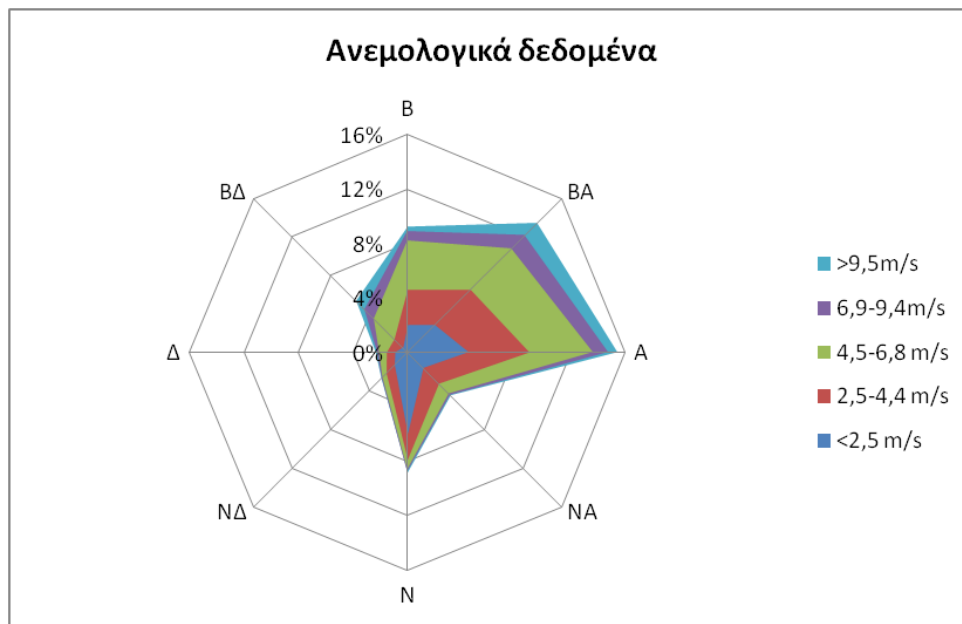
			Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Τεχνικές παράμετροι						
T1	Υλικά	Κατασκευαστικά υλικά	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Οπλισμένο Σκυρόδεμα
T2	Βάθος	Βάθος λιμενολεκάνης	6 m	3 m	6,5 m	4 m
T3	Μέγεθος	Μέγεθος λιμένα	740,65 m ²	1029,75 m ²	759,99 m ²	646,54 m ²
T4	Υποδομή	Απόσταση από κεντρικούς δρόμους	287,71 m	667,45 m	204,53 m	200,17 m
T5		Απόσταση από κοντινότερο λιμένα	19215,20 m	3746,14 m	3681,37 m	12688,72 m
T6	Θέσεις αγκυροβόλησης	Ποσοστό κατάληψης θέσεων	86%	37%	100%	43%
T7	Χωρητικότητα	Χωρητικότητα σκαφών	37	35	45	35

6.2. Φυσικές παράμετροι

Η συλλογή των στοιχείων των φυσικών παραμέτρων έγινε ως εξής. Αρχικά εντοπίστηκαν και έγινε επεξεργασία των ανεμολογικών δεδομένων. Στην συνέχεια με βάση αυτά υπολογίστηκαν οι κυματισμοί και η παλίρροια. Τέλος συλλέχθηκαν τα υπόλοιπα στοιχεία των φυσικών παραμέτρων.

6.2.1. Ανεμολογικά δεδομένα

Τα ανεμολογικά δεδομένα συλλέχθηκαν από τον Βέλο Κορινθίας. Με βάση αυτά παρουσιάζεται το παρακάτω ανεμολόγιο της Εικόνας 6.25.



Εικόνα 6.25 Ανεμολόγιο



Η άνεμοι με την μεγαλύτερη συχνότητα είναι ο Βόρειος, Βορειανατολικός και Ανατολικός. Λόγω της εξέτασης των λιμένων στον Βόρειο Κορινθιακό Κόλπο και την δημιουργία κυμάτων προς τους λιμένες θα εξεταστούν οι Δυτικοί, Νοτιοδυτικοί και Νότιοι άνεμοι. Ο άνεμος με την μεγαλύτερη ταχύτητα, αλλά με μικρή συχνότητα είναι το 12,3 m/sec, δηλαδή τα 6 Beaufort.

6.2.2. Ύψος και περίοδος κύματος

Αρχικά σχεδιάστηκε το ανάπτυγμα θάλασσας (Εικόνα 6.26) για κάθε λιμένα και για τους τρεις ανέμους.

Από τον Πίνακα 6.4 προκύπτει ότι για τον δυτικό άνεμο το μεγαλύτερο κύμα και η μεγαλύτερη περίοδος εντοπίζονται στον Άγιο Βασίλειο. Ο Άγιος Νικόλαος έχει το ακριβώς επόμενο μικρότερο ύψος κύματος και περίοδο ενώ ακολουθεί με μικρή διαφορά η Αλυκή. Η Παραλία Σαράντη επηρεάζεται το λιγότερο από τον δυτικό άνεμο.

Για τον νοτιοδυτικό άνεμο το μεγαλύτερο κύμα και η μεγαλύτερη περίοδος εντοπίζονται στον Άγιο Νικόλαο, ακολουθούν η Παραλία Σαράντη και ο Άγιος Βασίλειος. Η Αλυκή επηρεάζεται το λιγότερο. Παρόλα αυτά οι διακυμάνσεις στο ύψος κύματος και στην περίοδο για τον νοτιοδυτικό άνεμο είναι μικρότερες σε σχέση με τον δυτικό.

Για τον νότιο άνεμο το μεγαλύτερο κύμα και η μεγαλύτερη περίοδος εντοπίζονται στην Παραλία Σαράντη, ακολουθεί ο Άγιος Νικόλαος. Στην συνέχεια ακολουθούν Αλυκή και Άγιος Βασίλειος με αρκετά μικρά ύψη κύματος.



Εικόνα 6.26 Ανάπτυγμα θάλασσας για τους λιμένες



Πίνακας 6.4 Ύψος και περίοδος κύματος

ΓΙΑ ΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (12,3 m/s)							
Παραλία Σαράντη		Άγιος Νικόλαος		Αλυκή		Άγιος Βασίλειος	
F_{eff} (m)	271,69	F_{eff} (m)	3905,09	F_{eff} (m)	3700,73	F_{eff} (m)	7382,88
Φ	17,62	Φ	253,22	Φ	239,96	Φ	478,72
H_s (m)	0,18	H_s (m)	0,55	H_s (m)	0,54	H_s (m)	0,72
T_p (s)	1,48	T_p (s)	2,82	T_p (s)	2,78	T_p (s)	3,27

ΓΙΑ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (12,3 m/s)							
Παραλία Σαράντη		Άγιος Νικόλαος		Αλυκή		Άγιος Βασίλειος	
F_{eff} (m)	5109,91	F_{eff} (m)	6208,73	F_{eff} (m)	1398,74	F_{eff} (m)	4726,23
Φ	331,34	Φ	402,59	Φ	90,70	Φ	306,46
H_s (m)	0,62	H_s (m)	0,67	H_s (m)	0,36	H_s (m)	0,60
T_p (s)	3,00	T_p (s)	3,14	T_p (s)	2,21	T_p (s)	2,94

ΓΙΑ ΝΟΤΙΟ ΑΝΕΜΟ (12,3 m/s)							
Παραλία Σαράντη		Άγιος Νικόλαος		Αλυκή		Άγιος Βασίλειος	
F_{eff} (m)	9226,11	F_{eff} (m)	6102,39	F_{eff} (m)	421,27	F_{eff} (m)	90,81
Φ	598,24	Φ	395,69	Φ	27,32	Φ	5,89
H_s (m)	0,79	H_s (m)	0,67	H_s (m)	0,22	H_s (m)	0,11
T_p (s)	3,44	T_p (s)	3,12	T_p (s)	1,65	T_p (s)	1,13

Για τους υπολογισμούς θα επιλεγθούν οι υψηλότερες τιμές που μπορούν να παρατηρηθούν στους λιμένες.

6.2.3. Εύρος παλίρροιας

Αρχικά παρατηρείται από τον Πίνακα 6.5 ότι για τις τρεις κατευθύνσεις ανέμου και για τους τέσσερις λιμένες δεν υπάρχει ύψος παλίρροιας που να είναι μεγαλύτερο από 2,3 εκατοστά. Για τον δυτικό άνεμο το μεγαλύτερο ύψος παλίρροιας το παρουσιάζει η Παραλία Σαράντη, ενώ ακολουθούν ο Άγιος Νικόλαος και η Αλυκή. Για τον Άγιο Βασίλειο έχουμε μηδενικό ύψος παλίρροιας.

Πίνακας 6.5 Ύψος παλίρροιας

ΓΙΑ ΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (12,3 m/s)							
Παραλία Σαράντη		Άγιος Νικόλαος		Αλυκή		Άγιος Βασίλειος	
$U(z)$ (m/sec)	12,3	$U(z)$ (m/sec)	12,3	$U(z)$ (m/sec)	12,3	$U(z)$ (m/sec)	12,3
z (m)	19	z (m)	19	z (m)	19	z (m)	19
l (m)	10000	l (m)	10000	l (m)	10000	l (m)	10000
h_o (m)	16	h_o (m)	10	h_o (m)	12	h_o (m)	17
x (m)	9999	x (m)	9999	x (m)	9999	x (m)	9999
ϕ (°)	38	ϕ (°)	38	ϕ (°)	38	ϕ (°)	38
θ (°)	0	θ (°)	85	θ (°)	86	θ (°)	90

$\eta(x)$ (m)	0,017	$\eta(x)$ (m)	0,002	$\eta(x)$ (m)	0,002	$\eta(x)$ (m)	0,000
---------------	-------	---------------	-------	---------------	-------	---------------	-------



ΓΙΑ ΝΟΤΙΟΔΥΤΙΚΟ ΑΝΕΜΟ (12,3 m/s)							
Παραλία Σαράντη		Άγιος Νικόλαος		Αλυκή		Άγιος Βασίλειος	
U(z) (m/sec)	12,3	U(z) (m/sec)	12,3	U(z) (m/sec)	12,3	U(z) (m/sec)	12,3
z (m)	19	z (m)	19	z (m)	19	z (m)	19
l (m)	10000	l (m)	10000	l (m)	10000	l (m)	10000
h _o (m)	16	h _o (m)	10	h _o (m)	12	h _o (m)	17
x (m)	9999	x (m)	9999	x (m)	9999	x (m)	9999
φ (°)	38	φ (°)	38	φ (°)	38	φ (°)	38
θ (°)	45	θ (°)	40	θ (°)	49	θ (°)	45

η(x) (m)	0,012	η(x) (m)	0,021	η(x) (m)	0,015	η(x) (m)	0,012
-----------------	--------------	-----------------	--------------	-----------------	--------------	-----------------	--------------

ΓΙΑ ΝΟΤΙΟ ΑΝΕΜΟ (12,3 m/s)							
Παραλία Σαράντη		Άγιος Νικόλαος		Αλυκή		Άγιος Βασίλειος	
U(z) (m/sec)	12,3	U(z) (m/sec)	12,3	U(z) (m/sec)	12,3	U(z) (m/sec)	12,3
z (m)	19	z (m)	19	z (m)	19	z (m)	19
l (m)	10000	l (m)	10000	l (m)	10000	l (m)	10000
h _o (m)	16	h _o (m)	10	h _o (m)	12	h _o (m)	17
x (m)	9999	x (m)	9999	x (m)	9999	x (m)	9999
φ (°)	38	φ (°)	38	φ (°)	38	φ (°)	38
θ (°)	90	θ (°)	85	θ (°)	4	θ (°)	0

η(x) (m)	0,000	η(x) (m)	0,002	η(x) (m)	0,023	η(x) (m)	0,016
-----------------	--------------	-----------------	--------------	-----------------	--------------	-----------------	--------------

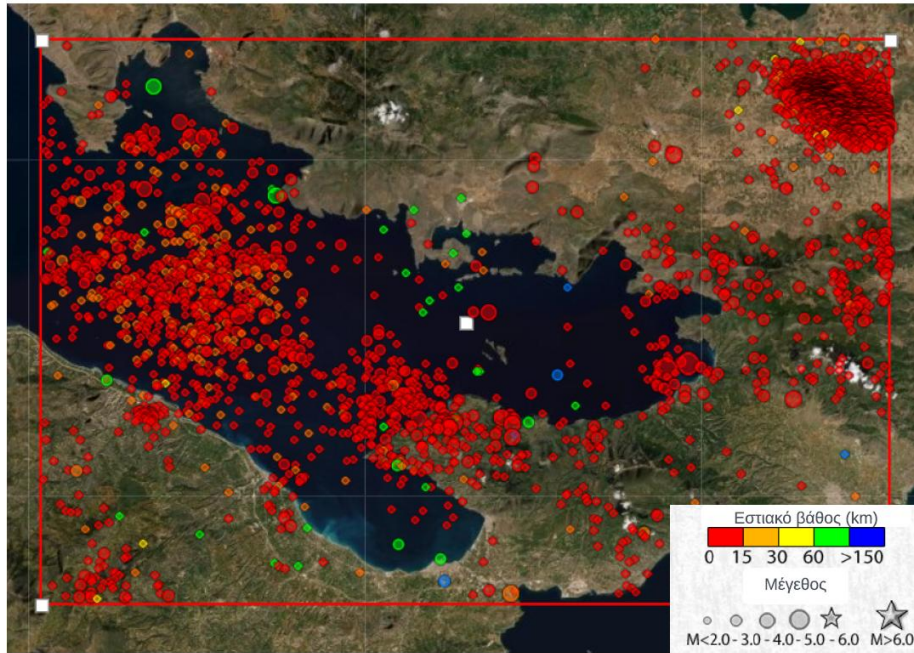
Για τον νοτιοδυτικό άνεμο το μεγαλύτερο ύψος παλίρροιας το παρουσιάζει ο Άγιος Νικόλαος, ενώ ακολουθούν η Αλυκή. Η παραλία Σαράντη και ο Άγιος Βασίλειος έχουν το μικρότερο ύψος παλίρροιας.

Για τον νότιο άνεμο το μεγαλύτερο ύψος παλίρροιας το παρουσιάζει η Αλυκή, ενώ ακολουθούν ο Άγιος Βασίλειος. Στην συνέχεια ακολουθεί ο Άγιος Νικόλαος με σχεδόν μηδενικό ύψος παλίρροιας. Για την Παραλία Σαράντη έχουμε μηδενικό ύψος παλίρροιας.

Για τους υπολογισμούς θα επιλεγθούν οι υψηλότερες τιμές που μπορούν να παρατηρηθούν στους λιμένες.

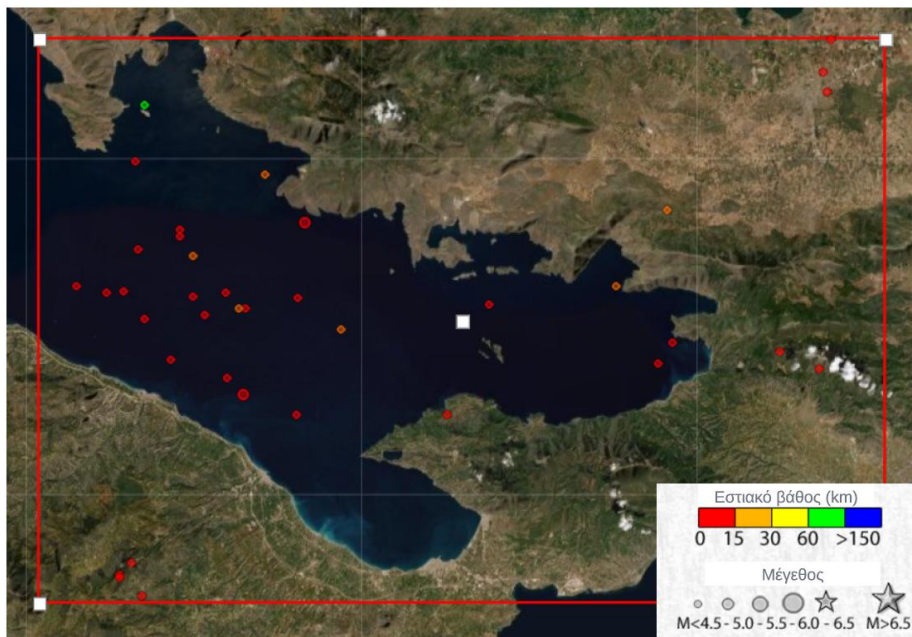
6.2.4. Σεισμικά φαινόμενα

Με την βοήθεια της βάσης δεδομένων του εργαστηρίου Σεισμολογίας του ΕΚΠΑ έγιναν δύο αναζητήσεις. Η μια έγινε για την ευρύτερη περιοχή από την 01.06.2018-10.06.2022 για όλους τους καταγεγραμμένους σεισμούς (Εικόνα 6.27). Η δεύτερη έγινε από το 2013 μέχρι σήμερα για τους σεισμούς πάνω από 4 βαθμούς ρίχτερ (Εικόνα 6.28).



Εικόνα 6.27 Σεισμική δραστηριότητα 2018-2022

Εντοπίστηκαν οι κοντινότεροι σεισμοί με το μικρότερο εστιακό βάθος στους λιμένες. Στην Παραλία Σαράντη ο μεγαλύτερος σεισμός ήταν 1,5 ρίχτερ με βάθος το πολύ 15 μέτρα. Στον Άγιο Νικόλαο ο μεγαλύτερος σεισμός είναι 1 ρίχτερ με βάθος το πολύ 15 μέτρα. Στην Αλυκή ο μεγαλύτερος σεισμός ήταν 1,5 ρίχτερ με βάθος το πολύ 15 μέτρα.



Εικόνα 6.28 Σεισμική δραστηριότητα άνω των 4 ρίχτερ από το 2003

Ο μόνος λιμένας στον οποίο σε κοντινή απόσταση εντοπίστηκε σεισμός μεγαλύτερος των τεσσάρων ρίχτερ είναι ο Άγιος Βασίλειος με εστιακό βάθος περίπου 15 μέτρα.



6.2.5. Τιμές φυσικών παραμέτρων

Παρακάτω παρατίθενται οι τιμές των φυσικών παραμέτρων.

Πίνακας 6.6 Φυσικές παράμετροι λιμένων

			Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Φυσικές παράμετροι						
Φ1	Υετός	Ετήσιος Υετός	463,30 mm	438,84 mm	400,97 mm	382,29 mm
Φ2	Ακραία φαινόμενα/ καταστροφές	Μέγεθος σεισμών	1,5 ρίχτερ	1 ρίχτερ	1,5 ρίχτερ	4,3 ρίχτερ
Φ3		Κίνδυνος πλημμύρας	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Φ4	Παλίρροια	Εύρος παλίρροιας	0,017 m	0,021 m	0,023 m	0,016m
Φ5	Κύμα	Ύψος κύματος	0,79 m	0,67 m	0,54 m	0,72 m
Φ6		Περίοδος κύματος	3,44 sec	3,14 sec	2,78 sec	3,27 sec
Φ7	Άνεμος	Ταχύτητα ανέμου	3,8 m/sec	4,1 m/sec	4,2 m/sec	4,9 m/sec
Φ8	Θερμοκρασία	Μέση ετήσια θερμοκρασία	17,57°C	16,70°C	17,70°C	17,39°C

Από τον Πίνακα 6.6 φαίνονται τα εξής:

- Στην Παραλία Σαράντη εντοπίζεται το μεγαλύτερο ετήσιο υετό, από το οποίο προκύπτει ότι είναι το πιο τρωτό. Ακολουθούν ο Άγιος Νικόλαος, η Αλυκή και ο Άγιος Βασίλειος.
- Ο μεγαλύτερος σεισμός εντοπίζεται στον Άγιο Βασίλειο. Ακολουθούν η Παραλία Σαράντη και η Αλυκή με την ίδια τιμή και στο τέλος ο Άγιος Νικόλαος.
- Με βάση την βάση δεδομένων του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας δεν προκύπτει κίνδυνος πλημμύρας στις τέσσερις περιοχές.
- Οι τιμές των ευρών παλίρροιας έχουν μικρές διαφορές. Η μεγαλύτερη εντοπίζεται στον Άγιο Βασίλειο και ακολουθεί Αλυκή, Άγιος Νικόλαος και Παραλία Σαράντη.
- Το μεγαλύτερο ύψος κύματος και η μεγαλύτερη περίοδος συναντάτε στην Παραλία Σαράντη και είναι και η πιο τρωτή σε σχέση με αυτό. Ακολουθούν Άγιος Βασίλειος, Άγιος Νικόλαος και Αλυκή.
- Η μεγαλύτερη μέση ταχύτητα ανέμου εντοπίζεται στον Άγιο Βασίλειο, πράγμα που τον κάνει πιο τρωτό. Ακολουθούν η Αλυκή, ο Άγιος Νικόλαος και η Παραλία Σαράντη.
- Η μεγαλύτερη μέση ετήσια θερμοκρασία εντοπίζεται στην Αλυκή, πράγμα που την κάνει πιο τρωτό. Ακολουθούν η Παραλία Σαράντη, ο Άγιος Βασίλειος και ο Άγιος Νικόλαος.

6.3. Περιβαλλοντικές παράμετροι

Για τις μέρες ατμοσφαιρικής ρύπανσης αξιοποιήθηκαν οι μετρήσεις από το σταθμό μετρήσεων ρύπανσης του Καπαρελλίου Βοιωτίας και προκύπτει ίδια τιμή για όλες τις περιοχές. Οι ίδιες τιμές προκύπτουν για τα είδη υπό εξαφάνιση και την περιοχή ενδιατημάτων, καθώς όλος ο Κορινθιακός Κόλπος έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή Natura. Οι αποστάσεις από τις ιχθυοκαλλιέργειες υπολογίστηκαν μέσω QGIS.



Πίνακας 6.7 Περιβαλλοντικές παράμετροι λιμένων

			Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Περιβαλλοντικές παράμετροι						
Π1	Ρύπανση του αέρα	Μέρες ρύπανσης πάνω από το επιτρεπτό όριο	14	14	14	14
Π2	Είδη υπό εξαφάνιση	Αριθμός ειδών υπό εξαφάνιση	Περιοχή Natura με ζώα υπό εξαφάνιση, όπως τα δελφίνια του Κορινθιακού.			
Π3	Περιοχή ενδιαιτημάτων	Αριθμός περιοχών ενδιαιτημάτων				
Π4	Ιχθυοκαλλιέργειες	Απόσταση από ιχθυοκαλλιέργειες	8509,69 m	10971,79 m	12123,06 m	17941,15 m

Από τον Πίνακα 6.7 προκύπτουν τα εξής:

- Οι τέσσερις λιμένες είναι το ίδιο τρωτοί όσον αφορά την ρύπανση του αέρα, τον αριθμό ειδών υπό εξαφάνιση και τον αριθμό περιοχών ενδιαιτημάτων.
- Ο Άγιος Βασίλειος έχει την μεγαλύτερη απόσταση από τις ιχθυοκαλλιέργειες ενώ ακολουθούν η Αλυκή, ο Άγιος Νικόλαος και η Παραλία Σαράντη.

6.4. Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι

Για τον υπολογισμό των κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων αξιοποιήθηκαν διάφοροι τρόποι. Για τον υπολογισμό αποστάσεων όπως η απόσταση από αστική περιοχή και η απόσταση από την πολιτιστική κληρονομιά χρησιμοποιήθηκε το GIS. Για τις χρήσεις γης αξιοποιήθηκαν οι χάρτες του Corine 200 ενώ για το ποσοστό επαγγελματικής χρήσης έγιναν εκτιμήσεις.

Για τα στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ βρέθηκαν τα στοιχεία για τις περιοχές του Δήμου Θήβας, στην συνέχεια εντοπίστηκαν οι οικισμοί και τα αντίστοιχα στοιχεία που επιλέχθηκαν για τις παραμέτρους.

Παρακάτω παρατίθενται ο συνολικός πίνακας για τις κοινωνικοοικονομικές παραμέτρους.



Πίνακας 6.8 Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι λιμένων

			Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι						
K1	Πολιτισμός	Πολιτισμική κληρονομιά	Ναι σε οδική απόσταση 7036,32 m	Όχι	Ναι	Όχι
K2	Χρήση	Επαγγελματική χρήση	81%	100%	76%	90%
K3	Χρήσεις γης	Χρήση γης	Ασυνεχής αστική περιοχή, ελαιώνες	Γεωργία	Ασυνεχής αστική περιοχή, γεωργία	Ασυνεχής αστική περιοχή, γεωργία, ελαιώνες
K4	Απόσταση από οικισμό/ πόλη	Απόσταση από αστική περιοχή	287,71 m	667,45 m	0	0
K5	Πληθυσμός και άλλα χαρακτηριστικά	Πληθυσμός	160	16	279	100
K6		Ποσοστό του πληθυσμού άνω των 65 ετών	31,41%	9,62%	38,41%	31,15%
K7		Ποσοστό ανεργίας	17,31%	23,08%	17,39%	14,75%
K8		Μέσος αριθμός μελών νοικοκυριών	2	3	2	2

Από τον Πίνακα 6.8 φαίνονται τα εξής:

- Μέσα στον οικισμό της Αλυκής εντοπίζεται μνημείο πολιτισμικής κληρονομιάς, πράγμα το οποίο το καθιστά και πιο τρωτό. Στην Παραλία Σαράντη εντοπίζεται μνημείο σε απόσταση περίπου 7 km από τον λιμένα, οπότε είναι λιγότερο τρωτό από την Αλυκή. Στον Άγιο Νικόλαο και Βασίλειο δεν εντοπίζονται μνημεία πολιτισμικής κληρονομιάς.
- Στον Άγιο Νικόλαο σχεδόν όλα τα ελλιμενισμένα σκάφη είναι σκάφη επαγγελματικής χρήσης πράγμα που το κάνει πιο τρωτό από τους υπόλοιπους λιμένες. Ακολουθούν ο Άγιος Βασίλειος, η Παραλία Σαράντη και η Αλυκή.
- Οι χρήσεις γης μπορούν να θεωρηθούν παρόμοιες και για τις τέσσερις περιοχές.
- Ο Άγιος Νικόλαος είναι ο πιο απομακρυσμένος από αστική περιοχή, οπότε και ο πιο τρωτός και ακολουθεί η Παραλία Σαράντη. Τα αλιευτικά καταφύγια της Αλυκής και του Αγίου Βασιλείου είναι ενσωματωμένα στους οικισμούς.
- Η Αλυκή διαθέτει τον μεγαλύτερο πληθυσμό, οπότε είναι και η πιο τρωτή. Ακολουθούν η Παραλία Σαράντη, ο Άγιος Βασίλειος και ο Άγιος Νικόλαος.
- Στην Αλυκή εντοπίζεται το μεγαλύτερο ποσοστό πληθυσμού άνω των 65 ετών, οπότε είναι και η πιο τρωτή. Ακολουθούν η Παραλία Σαράντη, ο Άγιος Βασίλειος και ο Άγιος Νικόλαος.
- Στον Άγιο Νικόλαο εντοπίζεται το μεγαλύτερο ποσοστό ανεργίας, οπότε είναι και το πιο τρωτό. Ακολουθούν η Αλυκή, η Παραλία Σαράντη και ο Άγιος Βασίλειος.
- Ο Άγιος Νικόλαος είναι ο μόνος με μεγαλύτερο μέσο αριθμό μελών νοικοκυριού, πράγμα που τον κάνει πιο τρωτό. Οι υπόλοιποι οικισμοί έχουν τον ίδιο αριθμό μελών νοικοκυριού.



6.5. Συνολικοί πίνακες παραμέτρων

Παρακάτω παρουσιάζεται ο Συνολικός πίνακας τιμών παραμέτρων για όλες τις κατηγορίες ανά αλιευτικό καταφύγιο.

Πίνακας 6.9 Συνολικός πίνακας τιμών παραμέτρων

			Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Τεχνικές παράμετροι						
ΤΕΣ1	Υποδομή- Εσωτερικά έργα	Ρωγμές στην επιφάνεια του προβλήτα	2	2	2	2
ΤΕΣ2		Διάβρωση ανωδομής	2	2	3	2
ΤΕΣ3		Αποκόλληση σκυροδέματος	2	1	2	2
ΤΕΞ1	Υποδομή- Εσωτερικά έργα	Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος	1	1	4	1
ΤΕΞ2		Μετακίνηση θωράκισης του κυματοθραύστη	2	2	3	2
ΤΕΞ3		Διάβρωση προφυλακτήριου τοίχου	1	1	2	5
T1	Υλικά	Κατασκευαστικά υλικά	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Οπλισμένο Σκυρόδεμα	Οπλισμένο Σκυρόδεμα
T2	Βάθος	Βάθος λιμενολεκάνης	6	3	6,5	4
T3	Μέγεθος	Μέγεθος λιμένα	740,65	1029,75	759,99	646,54
T4	Υποδομή	Απόσταση από κεντρικούς δρόμους	287,71	667,45	204,53	200,17
T5		Απόσταση από κοντινότερο λιμένα	19215,2	3746,14	3681,37	12688,72
T6	Θέσεις αγκυροβόλησης	Ποσοστό κατάληψης θέσεων	86	37	100	43
T7	Χωρητικότητα	Χωρητικότητα σκαφών	37	30	45	35
			Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Φυσικές παράμετροι						
Φ1	Υετός	Ετήσιος Υετός	463,3	438,84	400,97	382,29
Φ2	Ακραία φαινόμενα/ καταστροφές	Μέγεθος σεισμών	1,5	1	1,5	4,3
Φ3		Κίνδυνος πλημμύρας	Όχι	Όχι	Όχι	Όχι
Φ4	Παλίρροια	Εύρος παλίρροιας	0,017	0,021	0,023	0,01
Φ5	Κύμα	Ύψος κύματος	0,79	0,67	0,54	0,72
Φ6		Περίοδος κύματος	3,44	3,14	2,78	3,27
Φ7	Άνεμος	Ταχύτητα ανέμου	3,8	4,1	4,2	4,9
Φ8	Θερμοκρασία	Μέση ετήσια θερμοκρασία	17,57	16,7	17,7	17,39
			Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Περιβαλλοντικές παράμετροι						



Π1	Ρύπανση του αέρα	Μέρες ρύπανσης πάνω από το επιτρεπτό όριο	14	14	14	14
Π2	Είδη υπό εξαφάνιση	Αριθμός ειδών υπό εξαφάνιση	Περιοχή Natura με ζώα υπό εξαφάνιση, όπως τα δελφίνια του Κορινθιακού.			
Π3	Περιοχή ενδιαιτημάτων	Αριθμός περιοχών ενδιαιτημάτων				
Π4	Ιχθυοκαλλιέργειες	Απόσταση από ιχθυοκαλλιέργειες	8509,69	10971,79	12123,06	17941,15
			<i>Παραλία Σαράντη</i>	<i>Άγιος Νικόλαος</i>	<i>Αλυκή</i>	<i>Άγιος Βασίλειος</i>

Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι

K1	Πολιτισμός	Πολιτισμική κληρονομιά	Ναι σε οδική απόσταση 7036,32 m	Όχι	Ναι	Όχι
K2	Χρήση	Επαγγελματική χρήση	81,00	100	76	90
K3	Χρήσεις γης	Χρήση γης	Ασυνεχής αστική περιοχή, ελαιώνες	Γεωργία	Ασυνεχής αστική περιοχή, γεωργία	Ασυνεχής αστική περιοχή, γεωργία, ελαιώνες
K4	Απόσταση από οικισμό/ πόλη	Απόσταση από αστική περιοχή	287,71	667,45	0	0
K5	Πληθυσμός και άλλα χαρακτηριστικά	Πληθυσμός	160	16	279	100
K6		Ποσοστό του πληθυσμού άνω των 65 ετών	31,41	9,62	38,41	31,15
K7		Ποσοστό ανεργίας	17,31	23,08	17,39	14,75
K8		Μέσος αριθμός μελών νοικοκυριών	2	3	2	2



7. Αποτελέσματα εκτίμησης τρωτότητας

Στο παρόν κεφάλαιο με βάση των υπολογισμό των παραμέτρων του κεφαλαίου 6 θα γίνει η εκτίμηση της τρωτότητας. Αρχικά γίνεται η αδιαστατοποίηση για κάθε παράμετρο με βάση τη Σχ.5.4 για τιμές από 1 έως 2 (βλέπε κεφάλαιο 5.1). Στο Πίνακα 7.1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

Πίνακας 7.1 Αποτελέσματα μετά την αδιαστατοποίηση

			Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Τεχνικές παράμετροι						
ΤΕΣ1	Υποδομή- Εσωτερικά έργα	Ρωγμές στην επιφάνεια του προβλήτα	1,00	1,00	1,00	1,00
ΤΕΣ2		Διάβρωση ανωδομής	1,00	1,00	2,00	1,00
ΤΕΣ3		Αποκόλληση σκυροδέματος	2,00	1,00	2,00	2,00
ΤΕΞ1	Υποδομή- Εσωτερικά έργα	Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος	1,00	1,00	2,00	1,00
ΤΕΞ2		Μετακίνηση θωράκισης του κυματοθραύστη	1,00	1,00	2,00	1,00
ΤΕΞ3		Διάβρωση προφυλακτήριου τοίχου	1,00	1,00	1,25	2,00
T1	Υλικά	Κατασκευαστικά υλικά	1,00	1,00	1,00	1,00
T2	Βάθος	Βάθος λιμενολεκάνης	1,86	1,00	2,00	1,29
T3	Μέγεθος	Μέγεθος λιμένα	1,25	2,00	1,30	1,00
T4	Υποδομή	Απόσταση από κεντρικούς δρόμους	1,19	2,00	1,01	1,00
T5		Απόσταση από κοντινότερο λιμένα	2,00	1,00	1,00	1,58
T6	Θέσεις αγκυροβόλησης	Ποσοστό κατάληψης θέσεων	1,78	1,00	2,00	1,10
T7	Χωρητικότητα	Χωρητικότητα σκαφών	1,47	1,00	2,00	1,33
			Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Φυσικές παράμετροι						
Φ1	Υετός	Ετήσιος Υετός	2,00	1,70	1,23	1,00
Φ2	Ακραία φαινόμενα/ καταστροφές	Μέγεθος σεισμών	1,15	1,00	1,15	2,00
Φ3		Κίνδυνος πλημμύρας	1,00	1,00	1,00	1,00
Φ4	Παλίρροια	Εύρος παλίρροιας	1,54	1,85	2,00	1,00
Φ5	Κύμα	Ύψος κύματος	2,00	1,52	1,00	1,72
Φ6		Περίοδος κύματος	2,00	1,55	1,00	1,74
Φ7	Άνεμος	Ταχύτητα ανέμου	1,00	1,27	1,36	2,00
Φ8	Θερμοκρασία	Μέση ετήσια θερμοκρασία	1,87	1,00	2,00	1,69
			Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Περιβαλλοντικές παράμετροι						
P1	Ρύπανση του αέρα	Μέρες ρύπανσης πάνω από το επιτρεπτό όριο	1,00	1,00	1,00	1,00
P2	Είδη υπό εξαφάνιση	Αριθμός ειδών υπό εξαφάνιση	1,00	1,00	1,00	1,00
P3	Περιοχή ενδιατημάτων	Αριθμός περιοχών ενδιατημάτων	1,00	1,00	1,00	1,00



P4	Ιχθυοκαλλιέργειες	Απόσταση από ιχθυοκαλλιέργειες	1,00	1,26	1,38	2,00
			<i>Παραλία Σαράντη</i>	<i>Άγιος Νικόλαος</i>	<i>Αλυκή</i>	<i>Άγιος Βασίλειος</i>
Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι						
K1	Πολιτισμός	Πολιτισμική κληρονομιά	1,50	1,00	2,00	1,00
K2	Χρήση	Επαγγελματική χρήση	1,21	2,00	1,00	1,58
K3	Χρήσεις γης	Χρήση γης	2,00	2,00	2,00	2,00
K4	Απόσταση από οικισμό/ πόλη	Απόσταση από αστική περιοχή	1,43	2,00	1,00	1,00
K5	Πληθυσμός και άλλα χαρακτηριστικά	Πληθυσμός	1,55	1,00	2,00	1,32
K6		Ποσοστό του πληθυσμού άνω των 65 ετών	1,76	1,00	2,00	1,75
K7		Ποσοστό ανεργίας	1,31	2,00	1,32	1,00
K8		Μέσος αριθμός μελών νοικοκυριών	1,00	2,00	1,00	1,00

Στη συνέχεια στον Πίνακα 7.2 γίνεται η κατηγοριοποίηση των παραμέτρων στις συνιστώσες της τρωτότητας.

Οι τεχνικές παράμετροι εσωτερικών και εξωτερικών έργων κατατάσσονται στην συνιστώσα της προσαρμοστικής ικανότητας, καθώς η καλή κατάσταση της υποδομής αποτυπώνει και την δυνατότητα αντίστασης στην τρωτότητα. Στις παραμέτρους προσαρμοστικής ικανότητας εντάσσεται το βάθος της λιμενολεκάνης καθώς, όσο μεγαλύτερο τόσο μεγαλύτερη ευκολία προσφέρει στα σκάφη και μεγαλύτερη ανεξαρτησία από φυσικά φαινόμενα ή απόθεσης υλικών. Συνολικά παρέχει μεγαλύτερη ασφάλεια. Οι παράμετροι απόσταση από κεντρικούς δρόμους και άλλους λιμένες κατατάσσεται στην κατηγορία ευαισθησίας, καθώς η μεγάλη απόσταση από τα παραπάνω τα κάνει ευάλωτα σε περίπτωση ανάγκη. Οι υπόλοιπες παράμετροι εντάσσεται στην κατηγορία της έκθεσης, καθώς όσο μεγαλύτερο ο λιμένας, η χωρητικότητα και κατάληψη θέσεων τόσο πιο εκτεθειμένο είναι.

Όλες οι φυσικές παράμετροι εντάσσονται στην κατηγορία της έκθεσης, καθώς πρόκειται για φυσικά φαινόμενα (υετός, άνεμος, κύματα, θερμοκρασία) ή καταστροφές (σεισμοί), στα οποία ο λιμένας είναι εκτεθειμένος. Ακόμα και η αύξηση της θερμοκρασίας παίζει ρόλο, καθώς όσο μεγαλύτερη τόσο πιο εκτεθειμένο το οπλισμένο σκυρόδεμα, το οποίο είναι ευάλωτο σε εναλλαγές θερμοκρασίας και σε αύξηση αυτών, ειδικά αφού έχει κατασκευαστεί σε προγενέστερη φάση με διαφορετικές προδιαγραφές.

Για τις περιβαλλοντικές παραμέτρους στις τρεις από τις τέσσερις παραμέτρους έχουμε ίδιες τιμές για όλους τους λιμένες. Οι μέρες περιβαλλοντικής ρύπανσης προήλθαν από τον ίδιο σταθμό κοντά σε αυτές, ενώ όλη η περιοχή του Κορινθιακού έχει χαρακτηριστεί περιοχή Natura. Η μόνη διαφοροποίηση υπάρχει στην απόσταση από τις ιχθυοκαλλιέργειες, καθώς όσο μικρότερη η απόσταση από τον λιμένα τόσο πιο εκτεθειμένα, π.χ. σε περίπτωση ατυχήματος.

Τέλος οι κοινωνικοοικονομικές παράμετροι εντάσσονται όλες στην ευαισθησία. Καθώς ο πληθυσμός, η ύπαρξη αρχαιολογικών χώρων, το ποσοστό της επαγγελματικής χρήσης, και οι χρήσεις γης καθιστούν την περιοχή ευάλωτη σε επικείμενες αλλαγές.



Πίνακας 7.2 Κατάταξη παραμέτρων στις συνιστώσες της τρωτότητας

		Έκθεση	Ευαισθησία	Προσαρμοστική Ικανότητα	Ερμηνεία
Τεχνικές παράμετροι	ΤΕΣ1	Ρωγμές στην επιφάνεια του προβλήτα		•	Μικρή επιφάνεια ρωγμών υποδηλώνει υψηλή προσαρμοστική ικανότητα
	ΤΕΣ2	Διάβρωση ανωδομής		•	Μικρή επιφάνεια διάβρωσης υποδηλώνει υψηλή προσαρμοστική ικανότητα
	ΤΕΣ3	Αποκόλληση σκυροδέματος		•	Μικρή επιφάνεια αποκόλλησης υποδηλώνει υψηλή προσαρμοστική ικανότητα
	ΤΕΞ1	Ρωγμές στην επιφάνεια του σκυροδέματος		•	Μικρή επιφάνεια ρωγμών υποδηλώνει υψηλή προσαρμοστική ικανότητα
	ΤΕΞ2	Μετακίνηση θωράκισης του κυματοθραύστη		•	Μικρή μετακίνηση θωράκισης υποδηλώνει υψηλή προσαρμοστική ικανότητα
	ΤΕΞ3	Διάβρωση προφυλακτήριου τοίχου		•	Μικρή διάβρωση προφυλακτήριου υποδηλώνει υψηλή προσαρμοστική ικανότητα
	T1	Κατασκευαστικά υλικά		•	Το οπλισμένο σκυρόδεμα υποδηλώνει υψηλή προσαρμοστική ικανότητα
	T2	Βάθος λιμενολεκάνης		•	Το μεγάλο βάθος λιμενολεκάνης υποδηλώνει υψηλή προσαρμοστική ικανότητα ως προς τη μεταφορά ιζημάτων ή/και ατυχήματα σκαφών
	T3	Μέγεθος λιμένα	•		Όσο μεγαλύτερος λιμένας, τόσο πιο εκτεθειμένος
	T4	Απόσταση από κεντρικούς δρόμους		•	Όσο μεγαλύτερη απόσταση, τόσο πιο ευαίσθητο σε περίπτωση ανάγκης
	T5	Απόσταση από κοντινότερο λιμένα		•	Όσο μεγαλύτερη απόσταση, τόσο πιο ευαίσθητο σε περίπτωση ανάγκης
	T6	Ποσοστό κατάληψης θέσεων	•		Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό, τόσο πιο εκτεθειμένος σε καιρικά φαινόμενα
T7	Χωρητικότητα σκαφών	•		Όσο μεγαλύτερη η χωρητικότητα, τόσο πιο εκτεθειμένος σε καιρικά φαινόμενα	



Φυσικές παράμετροι	Φ1	Ετήσιος Υετός	•			Όσο μεγαλύτερος ο ετήσιος υετός, τόσο πιο εκτεθειμένος ο λιμένας
	Φ2	Μέγεθος σεισμών	•			Όσο πιο κοντά στο μεγαλύτερο καταγεγραμμένο σεισμό, τόσο πιο εκτεθειμένος ο λιμένας
	Φ3	Κίνδυνος πλημμύρας	•			Όσο μεγαλύτερος ο κίνδυνος πλημμύρας, τόσο πιο εκτεθειμένος ο λιμένας
	Φ4	Εύρος παλίρροιας	•			Όσο μεγαλύτερο το εύρος παλίρροιας, τόσο πιο εκτεθειμένος ο λιμένας
	Φ5	Ύψος κύματος	•			Όσο μεγαλύτερο το ύψος κύματος, τόσο πιο εκτεθειμένος ο λιμένας
	Φ6	Περίοδος κύματος	•			Όσο μεγαλύτερη η περίοδος κύματος, τόσο πιο εκτεθειμένος ο λιμένας
	Φ7	Ταχύτητα ανέμου	•			Όσο μεγαλύτερη η ταχύτητα του ανέμου, τόσο πιο εκτεθειμένος ο λιμένας
	Φ8	Μέση ετήσια θερμοκρασία	•			Όσο μεγαλύτερη η μέση ετήσια θερμοκρασία, τόσο πιο εκτεθειμένος ο λιμένας
Περιβαλλοντικές παράμετροι	Π1	Μέρες ρύπανσης πάνω από το επιτρεπτό όριο		•		Πολλές μέρες ρύπανσης πάνω από το όριο υποδηλώνουν μεγάλη ευαισθησία του λιμένα
	Π2	Αριθμός ειδών υπό εξαφάνιση		•		Μεγάλος αριθμός ειδών υπό εξαφάνιση υποδηλώνει μεγάλη ευαισθησία του λιμένα
	Π3	Αριθμός περιοχών ενδιαίτημάτων		•		Μεγάλος αριθμός περιοχών ενδιαίτημάτων υποδηλώνει μεγάλη ευαισθησία του λιμένα
	Π4	Απόσταση από ιχθυοκαλλιέργειες		•		Μικρή απόσταση από ιχθυοκαλλιέργειες υποδηλώνει υψηλή ευαισθησία
Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι	Κ1	Πολιτισμική κληρονομιά		•		Μικρή απόσταση από πολιτισμική κληρονομιά υποδηλώνει υψηλή ευαισθησία
	Κ2	Χρήση γης		•		Χρήσεις γης υποδηλώνουν υψηλή ευαισθησία
	Κ3	Επαγγελματική χρήση		•		Μεγάλο ποσοστό επαγγελματικής χρήσης υποδηλώνει υψηλή ευαισθησία
	Κ4	Απόσταση από αστική περιοχή		•		Μεγάλη απόσταση από αστική περιοχή



					υποδηλώνει υψηλή ευαισθησία
K5	Πληθυσμός		•		Μεγάλος πληθυσμός υποδηλώνει υψηλή ευαισθησία
K6	Ποσοστό του πληθυσμού άνω των 65 ετών		•		Μεγάλο ποσοστό πληθυσμού άνω των ετών υποδηλώνει υψηλή ευαισθησία
K7	Ποσοστό ανεργίας		•		Μεγάλο ποσοστό ανεργίας υποδηλώνει υψηλή ευαισθησία
K8	Μέσος αριθμός μελών νοικοκυριών		•		Μεγάλος μέσος αριθμός μελών νοικοκυριών υποδηλώνει υψηλή ευαισθησία

Οι τιμές του Πίνακα 7.3 προκύπτουν με βάση τις Σχέσεις του κεφαλαίου 5.1. Για την προσαρμοστική των τεχνικών παραμέτρων εντάσσονται στην Σχέση 5.5 όλες οι παράμετροι που ανήκουν σε αυτή, αντίστοιχα υπολογίζεται και για τις άλλες δύο συνιστώσες (έκθεση και ευαισθησία). Η τιμή του υποδείκτη των τεχνικών παραμέτρων προκύπτει από την Σχέση 5.6. Αντίστοιχα υπολογίζονται οι υποδείκτες των φυσικών, περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων. Τέλος ο Δείκτης Τρωτότητας Λιμένων υπολογίζεται με την πρόσθεση των υποδεικτών, όπως παρουσιάζεται και στη Σχέση 5.7.

Πίνακας 7.3 Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας λιμενικών υποδομών

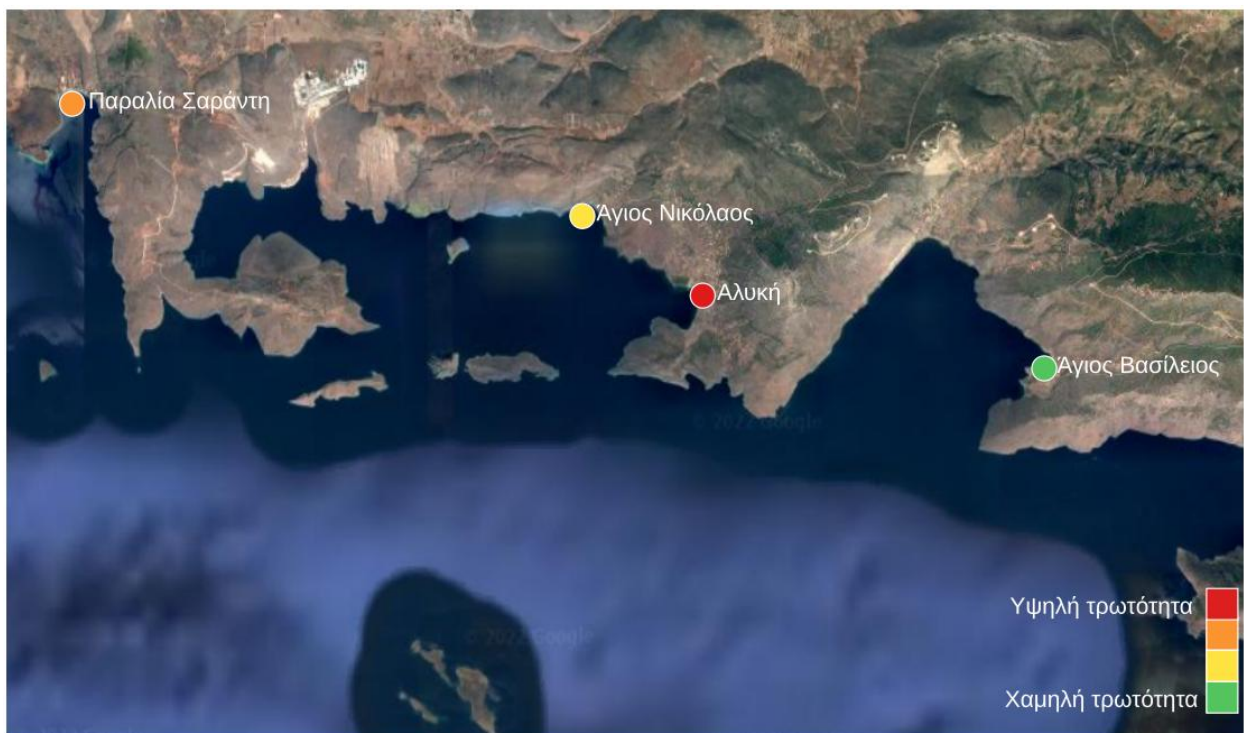
	Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Τεχνικές παράμετροι				
Προσαρμοστική Ικανότητα	0,91	0,33	2,11	0,76
Έκθεση	1,09	1,00	0,71	0,89
Ευαισθησία	1,04	0,82	1,31	0,70
TVI	1,03	0,27	1,97	0,47
	Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Φυσικές παράμετροι				
Έκθεση	1,82	1,08	0,98	1,59
PhVI	1,82	1,08	0,98	1,59
	Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Περιβαλλοντικές παράμετροι				
Έκθεση	0,50	0,56	0,59	0,71
EVI	0,50	0,56	0,59	0,71
	Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλειος
Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι				
Ευαισθησία	1,52	2,00	1,62	0,96
SVI	1,52	2,00	1,62	0,96
PVI	4,87	3,92	5,16	3,72

Από τον Πίνακα 7.3 συμπεραίνεται ότι:

- Το αλιευτικό καταφύγιο του Αγίου Νικόλα παρουσιάζει την μεγαλύτερη προσαρμοστική ικανότητα στις τεχνικές παραμέτρους, ενώ ακολουθεί ο Άγιος Βασίλειος, η Παραλία Σαράντη και με μεγάλη

διαφορά η Αλυκή. Ο Άγιος Νικόλαος είναι το πιο πρόσφατα κατασκευασμένο αλιευτικό καταφύγιο και η Αλυκή ο μεγαλύτερος οικισμός με μεγάλη αξιοποίηση του λιμένα και μεγάλο ποσοστό κάλυψης θέσεων. Στην έκθεση των τεχνικών παραμέτρων των λιμενικών υποδομών λιγότερο τρωτή είναι η Αλυκή ενώ ακολουθεί ο Άγιος Βασίλειος, ο Άγιος Νικόλαος και τέλος η Παραλία Σαράντη με μικρή διαφορά. Στην ευαισθησία λιγότερο τρωτό κατατάσσεται ο Άγιος Βασίλειος και ακολουθεί ο Άγιος Νικόλαος, η Παραλία Σαράντη και η Αλυκή. Συνολικά για τον υποδείκτη των τεχνικών παραμέτρων των λιμενικών υποδομών (TVI) λιγότερο τρωτό είναι το αλιευτικό καταφύγιο του Άγιου Νικόλα και ακολουθεί ο Άγιος Βασίλειος, η παραλία Σαράντη και η Αλυκή.

- Στις φυσικές παραμέτρους που όλες κατατάσσονται στη συνιστώσα της έκθεσης, ο υποδείκτης τρωτότητας φυσικών παραμέτρων (PhVI) διαμορφώνεται ως εξής. Το αλιευτικό καταφύγιο Αλυκής είναι το λιγότερο τρωτό και ακολουθούν ο Άγιος Νικόλαος, ο Άγιος Βασίλειος και η Παραλία Σαράντη.
- Στις περιβαλλοντικές παραμέτρους που όλες κατατάσσονται στην συνιστώσα της ευαισθησίας, ο υποδείκτης τρωτότητας περιβαλλοντικών παραμέτρων (EVI) διαμορφώνεται ως εξής. Το αλιευτικό καταφύγιο της Παραλίας Σαράντη είναι το λιγότερο τρωτό και ακολουθούν ο Άγιος Νικόλαος, η Αλυκή και η Άγιος Βασίλειος. Οι διαφορές στον υποδείκτη είναι πολύ μικρές
- Στις κοινωνικοοικονομικές παραμέτρους που όλες κατατάσσονται στην συνιστώσα της ευαισθησίας, ο υποδείκτης τρωτότητας κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων (SVI) διαμορφώνεται ως εξής. Το αλιευτικό καταφύγιο του Αγίου Βασιλείου είναι το λιγότερο τρωτό και ακολουθούν η Παραλία Σαράντη, η Αλυκή και ο Άγιος Νικόλαος.
- Τέλος ο συνολικός δείκτης τρωτότητας λιμενικών υποδομών (PVI) διαμορφώνεται ως εξής. Το αλιευτικό καταφύγιο Αγίου Βασιλείου είναι το λιγότερο τρωτό και ακολουθούν ο Άγιος Νικόλαος, η Παραλία Σαράντη και η Αλυκή.



Εικόνα 7.1 Δείκτης Τρωτότητας λιμενικών υποδομών Δήμου Θεβαίων με εφαρμογή μεθόδων παρακολούθησης



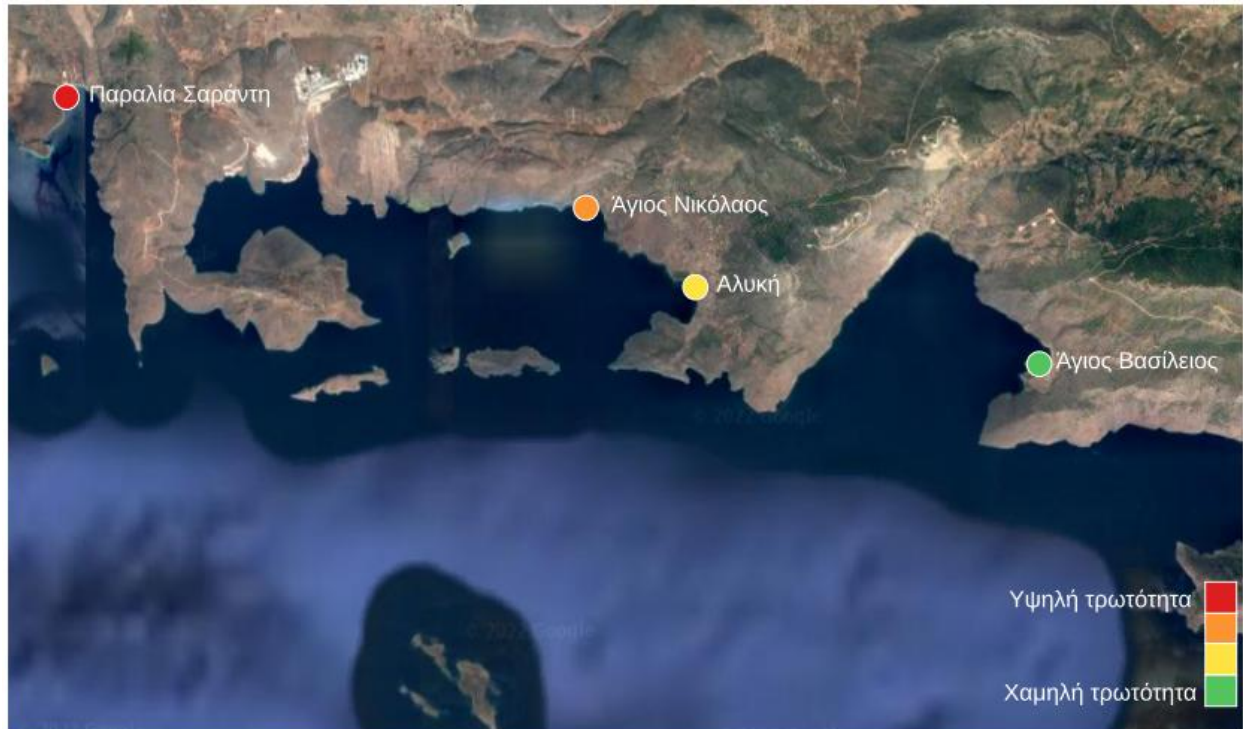
Στην Εικόνα 7.1 αποτυπώνονται στο χάρτη τα αποτελέσματα του υπολογισμού του δείκτη τρωτότητας. Τα χρώματα αποτυπώνουν τον βαθμό τρωτότητας.

Πίνακας 7.4 Αποτελέσματα Δείκτη Τρωτότητας λιμενικών εγκαταστάσεων χωρίς τις παραμέτρους λιμενικών υποδομών

	Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλης
Τεχνικές παράμετροι				
Προσαρμοστική Ικανότητα	0,96	0,71	1,00	0,80
Έκθεση	1,09	1,00	0,71	0,89
Ευαισθησία	1,04	0,82	1,31	0,70
TVI	1,09	0,58	0,93	0,50
	Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλης
Φυσικές παράμετροι				
Έκθεση	1,82	1,08	0,98	1,59
PhVI	1,82	1,08	0,98	1,59
	Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλης
Περιβαλλοντικές παράμετροι				
Έκθεση	0,50	0,56	0,59	0,71
EVI	0,50	0,56	0,59	0,71
	Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλης
Κοινωνικοοικονομικές παράμετροι				
Ευαισθησία	1,52	2,00	1,62	0,96
SVI	1,52	2,00	1,62	0,96
	Παραλία Σαράντη	Άγιος Νικόλαος	Αλυκή	Άγιος Βασίλης
PVI	4,93	4,22	4,13	3,75

Στον Πίνακα 7.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του δείκτη αν δεν παίρνονται υπόψη οι παράμετροι εσωτερικών και εξωτερικών έργων για λόγους σύγκρισης με τα αποτελέσματα του Πίνακα 7.3. Φαίνονται τα εξής:

- Στις τιμές της προσαρμοστικής ικανότητας στις τεχνικές παραμέτρους υπάρχουν πολλοί μικρές διαφορές ανάμεσα τους σε σχέση με τα αποτελέσματα του Πίνακα 7.3. Ενώ η σειρά κατάταξης από το λιγότερο τρωτό στο μεγαλύτερο παραμένει η ίδια (Άγιος Νικόλαος, Άγιος Βασίλειος, Παραλία Σαράντη και Αλυκή). Οι τιμές της συνιστώσας της έκθεσης και ευαισθησίας παραμένει η ίδια, ενώ η κατάταξη του TVI είναι Άγιος Βασίλειος, Άγιος Νικόλαος, Αλυκή και Παραλία Σαράντη. Η διαφορά έγκειται στον TVI ανάμεσα στην Αλυκή και στην Παραλία Σαράντη που υποδηλώνει ότι οι λιμενικές υποδομές της Αλυκής την καθιστούν πιο τρωτή και ανάμεσα στον Άγιο Νικόλαο και τον Άγιο Βασίλειο που οι διαφορές των τιμών του Πίνακα 6.11 είναι πολύ μικρές.
- Οι υποδείκτες PhVI, EVI, SVI παραμένουν οι ίδιοι.
- Όπως ήταν λογικό και από την ανάλυση του υποδείκτη TVI του Πίνακα 7.4 η τελική κατάταξη του δείκτη PVI είναι η εξής: Άγιος Βασίλειος, Αλυκή, Άγιος Νικόλαος, Παραλία Σαράντη. Η ανάλυση χωρίς την αξιολόγηση των λιμενικών υποδομών βγάζει σε αρκετά διαφορετικά συμπεράσματα σε σχέση με την τρωτότητα των αλιευτικών καταφυγίων.



Εικόνα 7.2 Δείκτης Τρωτότητας λιμενικών υποδομών Δήμου Θηβαίων χωρίς την εφαρμογή μεθόδων παρακολούθησης

Στην Εικόνα 7.2 αποτυπώνονται στον χάρτη τα αποτελέσματα του υπολογισμού του δείκτη τρωτότητας χωρίς τις παραμέτρους υποδομής. Τα χρώματα αποτυπώνουν τον βαθμό τρωτότητας.



8. Συμπεράσματα και Προτάσεις

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε δείκτης τρωτότητας, με τον οποίο υπολογίστηκαν οι βαθμοί τρωτότητας και ταξινομήθηκαν για τα τέσσερα αλιευτικά καταφύγια του δήμου Θήβας στον Κορινθιακό Κόλπο. Σε αυτόν τον δείκτη τρωτότητας πέρα από παραμέτρους τεχνικούς, φυσικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικοοικονομικούς που εντοπίστηκαν στην βιβλιογραφία, εντάχθηκαν και παράμετροι που υπολογίστηκαν με βάση την κατάσταση των λιμενικών υποδομών. Από την βιβλιογραφία επιλέχθηκαν οι παράμετροι εκείνοι που είναι κατάλληλες για μικρούς λιμένες και αλιευτικά καταφύγια, ενώ άλλες αποκλείστηκαν λόγω μη ύπαρξης στοιχείων. Γενικά η συλλογή στοιχείων σε μερικές περιπτώσεις ήταν δύσκολη, γεγονός που αναδεικνύει την ανάγκη δημιουργίας και ανάπτυξης βάσης δεδομένων με κλιματολογικές, τεχνικές και περιβαλλοντικές παραμέτρους.

Για να εντοπιστούν οι φθορές αξιοποιήθηκαν σύγχρονες μέθοδοι παρακολούθησης και ειδικότερα χρησιμοποιήθηκε ΣμηΕΑ, όπου με βάση της λήψεις αυτών συντάχθηκαν ορθοφωτοχάρτες. Με αυτόν τον τρόπο έγινε η αξιολόγηση του δείκτη τρωτότητας λιμένων. Η επιλογή τεχνικών παραμέτρων έγινε με βάση την δυνατότητα αναγνώρισης των βασικών φθορών στα τέσσερα αλιευτικά καταφύγια του Κορινθιακού Κόλπου. Η ένταξη αυτών στον δείκτη οδηγεί σε πολύ πιο σαφή συμπεράσματα για την τρωτότητα του λιμένα.

8.1. Συμπεράσματα βιβλιογραφικής ανασκόπησης

Από την βιβλιογραφική ανασκόπηση της παράκτιας τρωτότητας και της τρωτότητας των λιμενικών υποδομών, προκύπτει ότι:

1. Στη βιβλιογραφία βρέθηκαν 15 κοινές παράμετροι στην παράκτια τρωτότητα και στην τρωτότητα των λιμενικών υποδομών. Συγκεκριμένα όσον αφορά τις τεχνικές εντοπίστηκαν οι παράμετροι απόσταση από αστική περιοχή και ύπαρξη δρόμων, για τις φυσικές οι παράμετροι εύρος παλίρροιας, στάθμη της θάλασσας, ύψος κύματος, καθιζήσεις, έντονα καιρικά φαινόμενα, ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία και υψόμετρο και για τις κοινωνικοοικονομικές οι παράμετροι χαρακτηριστικά πληθυσμού, χρήσεις γης και πολιτισμική κληρονομιά. Παρατηρείται ότι η παράκτια τρωτότητα και η τρωτότητα λιμενικών υποδομών αντιμετωπίζονται πολλές φορές με κοινό σκεπτικό, καθώς οι λιμένες εντάσσονται στο ευρύτερο πλαίσιο παράκτιων συστημάτων.
2. Οι λιμένες αποτελούν μέρος των παράκτιων συστημάτων, όμως έχουν και την αυτοτέλεια τους ως σύστημα, καθώς πρόκειται για επέμβαση του ανθρώπου στο παράκτιο περιβάλλον. Οι λιμενικές υποδομές αξιολογούνται με βάση την παρεχόμενη προστασία και λειτουργικότητα. Για αυτούς τους λόγους στην βιβλιογραφική ανασκόπηση βρέθηκαν και μια σειρά από παραμέτρους που διαφοροποιούνται σε σχέση με την παράκτια τρωτότητα. Στις τεχνικές παραμέτρους των λιμένων εντάσσονται παράμετροι που έχουν να κάνουν με την ίδια την υποδομή, όπως το ύψος του προβλήτα και τα έργα προστασίας, με την λειτουργικότητα, όπως η χωριτικότητα και ο χρόνος ταξιδιού και με την παραγωγική διαδικασία, όπως η παραγωγικότητα της αποβάθρας και ο χρόνος περιστοφής. Ακόμα στις φυσικές εντοπίζονται παράμετροι όπως ο αριθμός των καταστροφών και οι σεισμοί, ενώ στις ακτές παίζουν μεγαλύτερο ρόλο οι γεωμορφολογικές παράμετροι. Τέλος στις κοινωνικοοικονομικές εντάσσονται και εδώ παράμετροι που συσχετίζονται με την παραγωγική διαδικασία, όπως η επαγγελματική χρήση και η παραγωγικότητα της εργασίας.
3. Η πληθώρα παραμέτρων που εντοπίστηκαν για την τρωτότητα των λιμενικών υποδομών δεν περιλαμβάνει την κατάσταση της λιμενικής υποδομής που επηρεάζει αντικειμενικά την τρωτότητα.



Η κατάσταση των λιμενικών υποδομών δεν είναι αμετάβλητη, επηρεάζεται από τον χρόνο, τα καιρικά φαινόμενα, τις αστοχίες, άρα συμμετέχει στον δυναμικό χαρακτήρα της τρωτότητας.

8.2. Συμπεράσματα από την εκτίμηση του Δείκτη Τρωτότητας Λιμένων

Οι λιμένες αποτελούν κρίσιμες υποδομές και η διαχείριση και συντήρηση υφιστάμενων εγκαταστάσεων έχουν συγκεντρώσει μεγάλο ενδιαφέρον. Η καταγραφή και η διαχείριση φθορών, όπως επίσης και η πρόβλεψη της κατάστασης των λιμενικών υποδομών μπορούν και παίρνουν την εποχή των έξυπνων λιμένων νέα, αναβαθμισμένα χαρακτηριστικά. Η τηλεπισκόπηση, και ειδικά η χρήση μη επανδρωμένων αεροσκάφη, είναι ένα πολύ αποτελεσματικό εργαλείο. Συνδυαστικά με τις παραδοσιακές μορφές παρακολούθησης της υποδομής, η χρήση ΣμηΕΑ δίνει την δυνατότητα γρήγορης συλλογής και προώθησης στοιχείων για τις λιμενικές εγκαταστάσεις και η δημιουργία βάσης δεδομένων για κάθε λιμένα ξεχωριστά μπορεί να διευκολύνει κατά πολύ το έργο των αρμόδιων αρχών.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής για την χρήση ΣμηΕΑ παρατηρείται ότι:

1. Η λήψη φωτογραφιών και η επεξεργασία αυτών για την δημιουργία ορθοφωτοχαρτών δίνει την συνολική εικόνα των λιμενικών υποδομών καθώς και της παράκτιας ζώνης και της γύρω περιοχής. Ο γεωεντοπισμός και η επεξεργασία σε γεωπληροφορικό πρόγραμμα, δίνουν την δυνατότητα σωστής διαχείρισης των πληροφοριών και τον υπολογισμό διάφορων χαρακτηριστικών. Ουσιαστικά η μέθοδος της τηλεπισκόπησης βοηθάει στην καταγραφή της και αξιολόγηση κατάστασης ανωδομής και τον εντοπισμός φθορών και αστοχιών σε εξωτερικά και εσωτερικά έργα.
2. Παρατηρείται ότι οι παράμετροι με κοινές τιμές για όλα τα αλιευτικά καταφύγια δεν παίζουν ρόλο στη διαμόρφωση του δείκτη, καθώς με την διαδικασία της αδιακριτοποίησης οι τιμές τους είναι οι ίδιες. Συγκεκριμένα για τις τεχνικές παραμέτρους τέτοιες είναι οι ρωγμές στην επιφάνεια του προβλήτα (ΤΕΣ1) και τα κατασκευαστικά υλικά (Τ1). Για τις φυσικές ο κίνδυνος πλημμύρας (Φ3). Για τις περιβαλλοντικές οι μέρες ρύπανσης πάνω από το επιτρεπόμενο όριο (Π1), ο αριθμός ειδών υπό εξαφάνιση (Π2) και ο αριθμός περιοχών ενδιαιτημάτων (Π3). Για τις κοινωνικοοικονομικές η χρήση γης (Κ3).
3. Ο υποδείκτης των περιβαλλοντικών παραμέτρων συμβάλλει λιγότερο σε σχέση με τους άλλους στην διαμόρφωση του τελικού δείκτη τρωτότητας λιμενικών υποδομών. Οι τρεις από τις τέσσερις παραμέτρους έχουν κοινές τιμές με αποτέλεσμα η τιμή του υποδείκτη ανά αλιευτικό καταφύγιο να διαφοροποιείται ελάχιστα
4. Η καλή κατάσταση των υποδομών και η υψηλή προσαρμοστική ικανότητα ελαχιστοποιεί κατά πολύ τον υποδείκτη των τεχνικών παραμέτρων, οπότε συμβάλλει ενισχυτικά στον δείκτη τρωτότητας. Καθώς όλοι οι υποδείκτες συμβάλλουν αντίστοιχα στην διαμόρφωση του τελικού δείκτη τρωτότητας λιμενικών υποδομών η εξαγωγή συμπερασμάτων μόνο από την προσαρμοστική ικανότητα μπορεί να οδηγήσει σε λανθασμένα συμπεράσματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το αλιευτικό καταφύγιο του Άγιου Νικολάου. Ενώ οι τιμές της έκθεσης και της ευαισθησίας είναι παρόμοιες με τα άλλα αλιευτικά καταφύγια, η μεγάλη προσαρμοστική ικανότητα του δίνει προβάδισμα στον υποδείκτη τεχνικών παραμέτρων. Αυτό δε σημαίνει ότι το αλιευτικό καταφύγιο του Αγίου Νικολάου θα εμφανίσει γενικά τη μικρότερη τρωτότητα. Το αλιευτικό καταφύγιο του Αγίου Νικολάου είναι το δεύτερο λιγότερο τρωτό, λόγω της τιμής των κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων.
5. Οι τεχνικές παράμετροι παρακολούθησης της λιμενικής υποδομής μεταβάλλουν την προσαρμοστική ικανότητα σε σχέση με τον υπολογισμό χωρίς τις παραμέτρους παρακολούθησης. Στην συνιστώσα της προσαρμοστικής ικανότητας στον υπολογισμό χωρίς τις παραμέτρους



παρακολούθησης προκύπτουν όμοιες τιμές, χωρίς μεγάλες διακυμάνσεις και δίνουν περιορισμένη εικόνα για την πραγματική κατάσταση των λιμενικών υποδομών. Δεν ισχύει το ίδιο για τις συνιστώσες της έκθεσης και της ευαισθησίας, όπου και για τις δύο περιπτώσεις η τιμές τους παραμένουν οι ίδιες.

6. Η ένταξη των τεχνικών παραμέτρων παρακολούθησης λιμενικής υποδομής στον δείκτη τρωτότητας λιμένων αλλάζει την κατάταξη των λιμένων σε σχέση με τον δείκτη χωρίς τις νέες παραμέτρους. Αυτό αποδεικνύει τον σημαντικό ρόλο που παίζουν οι υποδομές στην τρωτότητα των λιμένων. Η οπτική γωνία εξέτασης του δείκτη μπορεί να παίρνει υπόψη διαφορετικές παραμέτρους των τεχνικών υποδομών κάθε φορά. Όμως, συνολικά, η μη αξιολόγηση με λογικό τρόπο της κατάστασης των λιμενικών υποδομών μπορεί να οδηγήσουν σε λάθος συμπεράσματα και χρόνο παρεμβάσεων.

8.3. Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Για την διερεύνηση και περαιτέρω ανάπτυξη του δείκτη τρωτότητας των λιμενικών υποδομών, καθώς και την πρόβλεψη της μελλοντικής τρωτότητας προτείνετε η διαμόρφωση ψηφιακών βάσεων δεδομένων. Σαν σημείο μηδέν μπορεί να ληφθεί τα δεδομένα από τον υπολογισμό της υφιστάμενης τρωτότητας. Με βάση την πρόβλεψη της τρωτότητας καθώς και την περιοδική παρακολούθηση, υπάρχει η δυνατότητα έγκαιρης και κατάλληλης στιγμής επέμβασης στις λιμενικές υποδομές, παίρνοντας υπόψη και την γρήγορη βελτίωση της ανθεκτικότητας της υποδομής, αν η τρωτότητα δε προχωρήσει σε μεγαλύτερο βαθμό από τις δυνατότητες που έχει το λιμενικό σύστημα.

Επίσης πιο λεπτομερειακή αξιολόγηση του δείκτη τρωτότητας, μπορούν να ενταχθούν στις μεθόδους παρακολούθησης τηλεπισκόπησης και άλλα μέσα όπως τα μη επανδρωμένα υποβρύχια ή θαλάσσια οχήματα για την επισκόπηση της υποθαλάσσιας κατάστασης ή άλλων παραμέτρων, όπως η διαφορά ύψους αποβάθρας με στάθμη της θάλασσας. Επίσης τα ΣμηΕΑ μπορούν να εξοπλιστούν με διαφορετικού τύπου μηχανισμού καταγραφής, όπως οι θερμικές κάμερες. Για συνεχόμενη παρακολούθηση μπορούν να ενταχθούν συστήματα δομικής κατάστασης, όπου με αισθητήρες να μετριοούνται οι δονήσεις ή η αύξηση ανόδου της θάλασσας. Τέλος θα μπορούσε να γίνει ανάλυση ευαισθησίας για τους συντελεστές βαρύτητας των υποδεικτών του δείκτη τρωτότητας λιμένων.



9. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Aber, J. S., Marzloff, I., Ries, J. B., & Aber, S. E. (2019). *Small-Format Aerial Photography and UAS Imagery Principles, Techniques, and Geoscience Applications*. Elsevier.
- Abuodha, P., & Woodroffe, C. (2006). Assessing vulnerability of coasts to climate change: A review of approaches and their application to the Australian coast.
- Achillopoulou, D. V., Mitoulis, S. A., Argyroudis, S. A., & Wang, Y. (2020). Monitoring of transport infrastructure exposed to multiple hazards: a roadmap for building resilience. *Science of the Total Environment*.
- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *ScienceDirect*.
- Agatic, A., & Kolanovic, I. (2020). Improving the seaport service quality by implementing digital technologies. *Scientific Journal of Maritime Research*.
- Agisoft PhotoScan User Manual: Standard Edition, Version 1.4*. (2018). Agisoft LLC.
- Akukwe, T. I., & Ogbodo, C. (2015, January-March). Spatial Analysis of Vulnerability to Flooding in Port Harcourt Metropolis, Nigeria. *SAGE*.
- Alexandrakis, G., & Poulos, S. E. (2014). An holistic approach to beach erosion vulnerability assessment. *Scientific Reports*.
- Alvear, O., Calafate, C. T., Zema, N. R., Natalizio, E., Hernandez-Orallo, E., Cano, J.-C., et al. (2018). A Discretized Approach to Air Pollution Monitoring Using UAV-based Sensing. *Mobile Networks and Applications*.
- Appledore Marine Engineering, L. (2016). *Design of Marine Facilities: Engineering for Port and Harbor Structures*. ASCE.
- Armenio, E., Mossa, M., & Petrillo, A. F. (2021). Coastal vulnerability analysis to support strategies for tackling COVID-19 infection. *Ocean and Coastal Management*.
- Aroch, R., Sokol, M., & Venglar, M. (2016). Structural Health Monitoring of Major Danube Bridges in Bratislava. *ScienceDirect*.
- ART. (2012). *Vulnerability & Risk Assessment Report*. San Francisco Bay Conservation and Development Commission.
- ASCE. (2015). *Waterfront Facilities Inspection and Assessment*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers.
- ASEAN-Japan Transport Partnership. (2009). *Guidelines on Strategic Maintenance for Port Structures*.
- Bagdanaviciute, I., Kelsaite, L., & Soomere, T. (2014). Multi-criteria evaluation approach to coastal vulnerability index development in micro-tidal low-lying areas. *Ocean & Coastal Management*.
- Balica, S., Popescu, I., Beevers, L., & Wright, N. (2013). Parametric and physically based modelling techniques for flood risk and vulnerability assessment: a comparison.
- Barazzetti, L., Brumana, R., Oreni, D., Previtali, M., & Roncoroni, F. (2014). True-orthophoto generation from UAV images: implementation of a combined photogrammetric and computer vision approach. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.



- Becker, A., Inoue, S., Fischer, M., & Schwegler, B. (2011). Climate change impacts on international seaports: knowledge, perceptions, and planning efforts among port administrations. *Climate Change*.
- Bennett, N. J., Dearden, P., & Peredo, A. M. (2015). Vulnerability to multiple stressors in coastal communities: a study of the Andaman coast of Thailand. *Climate and Development*.
- Bevacqua, A., Yu, D., & Zhang, Y. (2018). Coastal vulnerability: Evolving concepts in understanding vulnerable people and places. *Environmental Science and Policy*.
- Boruff, B. J., Emrich, C., & Cutter, S. L. (2005). Erosion Hazard Vulnerability of US Coastal Counties. *Journal of Coastal Research*.
- Brown, D., Platt, S., Bevington, J., Saito, K., Adams, B., Chenvidyakarn, T., et al. (2015). Monitoring and Evaluating Post-Disaster Recovery Using High-Resolution Satellite Imagery - Towards Standardised Indicators for Post-Disaster Recovery. *8th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Applications*.
- Brown, D., Saito, K., Spence, R., & Chenvidjakarn, T. (2008). Indicators for Measuring, Monitoring and Evaluating Post-Disaster Recovery. *6th International Workshop on Remote Sensing for Disaster Applications*.
- Brown, J. M., Morrissey, K., Knight, P., Prime, T. D., Almeida, L. P., Masselink, G., et al. (2018). A coastal vulnerability assessment for planning climate resilient infrastructure. *Ocean and Coastal Management*.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing* (5η ed.). Νέα Υόρκη: The Guilford Press.
- Cao, X., & Siu Lee Lam, J. (2019). A fast reaction-based port vulnerability assessment: Case of Tianjin Port explosion. *ScienceDirect*.
- Chalastani, V., Pantelidis, A., Tsaimou, C., & Tsoukala, V. (2022). Development of a Complex Vulnerability Index for Fishing Shelters- The Case of Cyprus. *7th IAHR Congress*.
- Chhetri, P., Corcoran, J., Gekara, V., Maddox, C., & McEvoy, D. (2015). Seaport resilience to climate change: mapping vulnerability to sea-level rise. *Journal of Spatial Science*.
- Ching-Pong Poo, M. (2020). *Climate change adaptation for seaports and airports*.
- Christodoulou, A., Christidis, P., & Demirel, H. (2018). Sea-level rise in ports: a wider focus on impacts. *Marit Econ Logist*.
- Cohen, O., & Hequette, A. (2020). Recent Advances in Coastal Survey Techniques: From GNSS to LiDAR and Digital Photogrammetry - Examples on the Northern Coast of France. In *Spatial Variability in Environmental Science - Patterns, Processes, and Analyses*.
- Collins, F., & Blin, F. (2019). *Ageing Infrastructure - A Life-Cycle Approach*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Colomina, I., & Molina, P. (2017). Unmanned Aerial Systems for Photogrammetry and Remote Sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, pp. 9–97.
- Dean, G. R., & Dalrymple, A. R. (2002). *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge University Press.
- Diez, P. G., Perillo, G. M., & Piccolo, M. C. (2007). Vulnerability to Sea- Level Rise on the Coast of the Buenos Aires Province. *Journal of Coastal Research*.
- d'Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K. D., & Ries, J. B. (2012). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. *Remote Sensing*.



- DURACON. (2016). Reinforced Concrete Durability in Marine Environments DURACON Project: Long Term Exposure. *Corrosion, The Journal of Science and Engineering*.
- Elkhrachy, I. (2021). Accuracy Assessment of Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry. *Alexandria Engineering Journal*.
- El-Raey, M. (1997). Vulnerability assessment of the coastal zone of the Nile delta of Egypt, to the impacts of sea level rise. *Ocean & Coastal Management*.
- Fan, J., & Saadeghvaziri, M. A. (2019). Application of Drones in Infrastructures: Challenges and Opportunities. *ICARD 2019 : International Conference on Aerial Robotics and Drone*.
- Fernandez, P., Santana, J. M., Ortega, S., Trujillo, A., Suarez, J. P., Dominguez, C., et al. (2016). SmartPort: A Platform for Sensor Data Monitoring in a Seaport Based on FIWARE. *Sensors*.
- Feroz, S., & Abu Dabou, S. (2021). UAV-Based Remote Sensing Applications for Bridge Condition Assessment. *Remote sensing*.
- Ferrer-Gonzalez, E., Aguera-Vega, F., Carvajal-Ramirez, F., & Martinez-Carricondo, P. (2020). UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Distribution of Ground Control Points. *Remote Sensing*.
- Field, C. V. (2014). *IPCC*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Frihy, O. E. (2003). The Nile Delta- Alexandria Coast: Vulnerability to Sea- Level Rise, Consequences and Adaptation.
- Fujino, Y., & Siringoringo, D. (2010). Bridge monitoring in Japan: the needs and strategies. *Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance*.
- Furlan, E., Dalla Pozza, P., Michetti, M., Torresan, S., Critto, A., & Marcomini, A. (2021). Development of a Multi-Dimensional Coastal Vulnerability Index: Assessing vulnerability to inundation scenarios in the Italian coast. *Science of the Total Environment*.
- Gallopin, G. (1997). Indicators and Their Use: Information for Decision-making. In *Sustainability Indicators*.
- Gawin, D., Pesavento, F., & Schrefler, B. (2002). Modelling of hygro-thermal behaviour and damage of concrete at temperature above the critical point of water. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*.
- Ghoussein, Y., Mhaweij, M., Jaffal, A., Fadel, A., El Hourany, R., & Faour, G. (2018). Vulnerability assessment of the South-Lebanese coast: A GIS-based approach. *ScienceDirect*.
- Gornitz, V. M., Daniels, R. C., White, T. W., & Birdwell, K. R. (1994). The Development of a Coastal Risk Assessment Database: Vulnerability to Sea- Level Rise in the U.S. Southeast. *Journal of Coastal Research*.
- Hallegate, S., Ranger, N., Mestre, O., Patrice, D., Corfee-Morlot, J., Herweijer, C., et al. (2010). Assessing climate change impacts, sea level rise and storm surge risk in port cities: a case study on Copenhagen. *Climate Change*.
- Hammar-Klose, E. S., Pendleton, E. A., Thieler, E. R., & Williams, S. J. (2003). Coastal Vulnerability Assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea- Level Rise. *USGS*.
- Hedge, A. V., & Reju, V. R. (2007). Development of Coastal Vulnerability Index for Mangalore Coast, India. *Journal of Coastal Research*.



- Hsieh, C.-H. (2014). Disaster risk assessment of ports based on the perspective of vulnerability. *Nat Hazards*.
- Hsieh, C.-H., Tai, H.-H., & Lee, Y.-N. (2014). Port vulnerability assessment from the perspective of critical infrastructure interdependency. *Maritime Policy & Management*.
- Huang, C., & Wei, Z. (2009). Research on Structural Health Monitoring of Seaport Wharf. In *Computational Structural Engineering*.
- Ibrahim, M. E. (2016). Nondestructive Testing and Structural Health Monitoring of Marine Composite Structures. In *Marine Applications of Advanced Fibre-Reinforced Composites* (pp. 147-183). Melbourne, Australia.
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Cambridge University.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Cambridge University.
- Izaguirre, C., Losada, I. J., Camus, P., Gonzalez-Lamuno, P., & Stenek, V. (2020). Seaport climate change impact assessment using a multi-level methodology. *Maritime Policy & Management*.
- Izaguirre, C., Losada, I., Camus, P., Vigh, J., & Stenek, V. (2020). Climate change risk to global port operations. *Nature Climate Change*.
- Jana, A. B., & Hegde, A. V. (2016). GIS Based Approach for Vulnerability Assessment of the Karnataka Coast, India. *Advances in Civil Engineering*.
- Jimenez-Jimenez, S. I., Ojeda-Bustamante, W., de Jesus Marcial-Pablo, M., & Enciso, J. (2021). Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: Methodology and Accuracy. *ISPRS*.
- Jofre-Briceno, C., Munoz-La Rivera, F., Atencio, E., & Herrera, R. F. (2021). Implementation of Facility Management for Port Infrastructure through the Use of UAVs, Photogrammetry and BIM. *Sensors*.
- Johnston, A., Slovinsky, P., & Yates, K. (2014). Assessing the vulnerability of coastal infrastructure to sea level rise using multi-criteria analysis in Scarborough, Maine (USA). *ScienceDirect*.
- Kantamaneni, K., Gallagher, A., & Du, X. (2018). Assessing and mapping regional coastal vulnerability for port environments and coastal cities. *Journal of Coastal Conservation*.
- Khaloo, A., Lattanzi, D., Cunningham, K., Dell'Andrea, R., & Riley, M. (2017). Unmanned Aerial Vehicle Inspection of the Placer River Trail Bridge through Image-Based 3D Modelling. *Structure and Infrastructure Engineering*, 14 (1), pp. 124-136.
- Koeva, M., Muneza, M., Gevaert, C., Gerke, M., & Nex, F. (2016). Using UAVs for map creation and updating. A case study study in Rwanda. *Survey Review*.
- Kontogianni, A., Damigos, D., Kyrtzoglou, T., Tourkolias, C., & Skourtsos, M. (2018). Development of a composite climate change vulnerability index for small craft harbours. *Environmental Hazards*.
- Krystosik-Gromadzinska, A. (2021). The use of drones in the maritime sector - areas and benefits. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*.
- Kumar, A. A., & Kunte, P. D. (2012). Coastal vulnerability assessment for Chennai, east coast of India using geospatial techniques. *Nat Hazards*.
- Kumar, T. S., Mahendra, R., Nayak, S., Radhakrishnan, K., & Sahu, K. (2010). Coastal Vulnerability Assessment for Orissa State, East Coast of India. *Journal of Coastal Research*.



- Lam, J. S., & Lassa, J. A. (2016). Risk assessment framework for exposure of cargo and ports to natural hazards and climate extremes. *Maritime Policy & Management*.
- Lee, J.-H., & Kalkan, I. (2012). Analysis of Thermal Environmental Effects on Precast, Prestressed Concrete Bridge Girders: Temperature Differentials and Thermal Deformations. *Advances in Structural Engineering*.
- Len, N. L., Bolong, N., Roslee, R., Tongkul, F., Karim bin Mirasa, A., & Ayog, J. L. (2018). Flood Vulnerability Index for Critical Infrastructure Towards Flood Risk Management. *ASM*.
- Lewsey, C., Cid, G., & Kruse, E. (2004). Assessing climate change impacts on coastal infrastructure in the Eastern Caribbean. *ScienceDirect*.
- Li, K., Zhang, D., Li, Q., & Fan, Z. (2018). Durability for concrete structures in marine environments of HZM project: Design, assessment and beyond. *Cement and Concrete Research*.
- Li, M., Cheng, D., Yang, X., Luo, G., Liu, N., Meng, C., et al. (2021). High precision slope deformation monitoring by UAV with industrial photogrammetry. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*.
- Lopez-Martinez, F., Gil-Guirado, S., & Perez-Morales, A. (2017). Who can you trust? Implications of institutional vulnerability in flood exposure along the Spanish Mediterranean coast. *Environmental Science and Policy*.
- Ma, Q., Guo, R., Zhao, Z., Lin, Z., & He, K. (2015). Mechanical properties of concrete at high temperature- A review. *Construction and Building Materials*.
- Mahendra, R., Mohanty, P., Bisoyi, H., Srinivasa Kumar, T., & Nayak, S. (2011). Assessment and management of coastal multi-hazard vulnerability along the Cuddalore-Villupuram, east coast of India using geospatial techniques. *ScienceDirect*.
- Marques, M., & Andrade, F. O. (2017). Automated computation of two dimensional fetch fields: case study of the Salto Caxias reservoir in southern Brazil. *Lake and Reservoir Management*.
- McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., & White, K. S. (2001). *IPCC*. University of Cambridge Press.
- McIntosh, R. D., & Becker, A. (2020). Applying MCDA to weight indicators of seaport vulnerability to climate and extreme weather impacts for U.S. North Atlantic ports. *Environment Systems and Decisions*.
- McIntosh, R. D., & Becker, A. (2019). Expert evaluation of open-data indicators of seaport vulnerability to climate and extreme weather impacts for U.S. North Atlantic ports. *ScienceDirect*.
- McIntosh, R. D., & Becker, A. (2017). Seaport Climate Vulnerability Assessment at the Multi Scale: A review of Approaches. In *In Resilience and Risk: Methods and Application in Environment, Cyber and Social Domains* (pp. 205-224).
- McLaughin, B. J., Murrell, S. D., & DesRoches, S. (2011). Case Study: Assessment of the Vulnerability of Port Authority of NY & NJ Facilities To the Impacts of Climate Change. *T & DI Congress*.
- McLaughin, S., McKenna, J., & Cooper, J. (2002). Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities. *Journal of Coastal Research*.
- Medvedev, A., Telnova, N., Alekseenko, N., Koshkarev, A., Kuznetchenko, P., Asmaryan, S., et al. (2020). UAV-Derived Data Application for Environmental Monitoring of the Coastal Area of Lake Sevan, Armenia with a Changing Water Level. *Remote sensing*.



- Messner, S., Moran, L., Reub, G., & Campbell, J. (2013). Climate change and sea level rise impacts at ports and a consistent methodology to evaluate vulnerability and risk. *WIT Transaction on Ecology and the Environment*.
- Mizuno, K. (2018). System of Inspection and Diagnosis for Port Structures Using Unmanned Boat. *PIANC De Paepe-Willems Award Winner 2018*.
- Mukhti, J. A., Wurjanto, A., Pitajeng, R., & Savitry, K. A. (2018). Simplified Maintenance Management System for Berth Structure of Ports. *International Journal of Engineering and Technology*, 9 (6), pp. 4053-4061.
- Munoz-La Rivera, F., Jofre-Briceno, C., Atencio, E., & Herrera, R. F. (2021). Implementation of Facility Management for Port Infrastructure through the Use of UAVs, Photogrammetry and BIM. *Sensors*.
- Murali, R. M., Ankita, M., Amrita, S., & Vethamony, P. (2013). Coastal vulnerability assessment of Puducherry coast, India, using the analytical hierarchy process. *Natural Hazards and Earth System Sciences*.
- Nageswara Rao, K., Subraelu, P., Venkateswara Rao, T., Hema Malini, B., Ratheesh, R., Bhattacharya, S., et al. (2009). Sea- level rise and coastal vulnerability: an assessment of Andhra Pradesh coast, India through remote sensing and GIS. *Coast Conserv.*
- Ngadiman, N., Kaamin, M., Sahat, S., Mokhtar, M., Nor Farah, A. A., Kadir, A. A., et al. (2016). Production of Orthophoto Map Using UAV Photogrammetry: A Case Study in UTHM Pagoh Campus. *3rd International Conference on Applied Science and Technology (ICAST '18)*.
- OECD;. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators*.
- Oscó, L. P., Marcato Junior, J., Marques Ramos, A. P., de Castro Jorge, L. A., Fatholahi, S. N., de Andrade Silva, J., et al. (2021). A review on deep learning in UAV remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation*.
- PIANC. (2008). *Life Cycle Management of Port Structures Recommended Practice for Implementation - Report n° 103*. Bruxelles.
- Pikelj, K., & Juracic, M. (2013). Eastern Adriatic Coast (EAC): Geomorphology and Coastal Vulnerability of a Karstic Coast. *Journal of Coastal Research*.
- Polder, R. B., & de Rooij, M. R. (2005). Durability of marine concrete structures- field investigations and modelling. *HERON*.
- Pratiwi, W., Putra, F., Triwulan, Tajunnisa, Y., Husin, N., & Wulandari, K. (2021). A review of concrete durability in marine environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Ragued, B., Wotherspoon, L. M., & Ingham, J. M. (2011). A Review of New Zealand Port Infrastructure and Their Vulnerability to Natural Hazards.
- Rajabi, A., Saryazdi, A. K., Belfkih, A., & Duvallat, C. (2018). Towards Smart Port: An Application of AIS Data. *2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications*.
- Reaz Akter Mullick, M., Tanim, A., & Samiul Islam, S. (2019). Coastal vulnerability analysis of Bangladesh coast using fuzzy logic based geospatial techniques. *ScienceDirect*.
- Ruzic, I., Jovancevic, S. D., Benac, C., & Krvavica, N. (2019). Assessment of the Coastal Vulnerability Index in an Area of Complex Geological Conditions on the Krk Island, Northeast Adriatic Sea. *geosciences*.



- Sarpanto, S., Boer, M., Sulistiono, & Taryono. (2021). Vulnerability analysis for demersal fisheries in the Banten Region (A case study of Karangantu Port). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Seo, J., Wacker, J. P., & Duque, L. (2018). Evaluating the Use of Drones for Timber Bridge Inspection. *USDA*.
- Shojaei, A., Izadi Moud, H., & Ian, F. (2018). Current and Future Applications of Unmanned Surface, Underwater and Ground Vehicles in Construction.
- Shojaei, A., Moud, H. I., & Flood, I. (2018). Proof of Concept for the Use of Small Unmanned Surface Vehicle in Built Environment Management. *Construction Research Congress, April 2–4, 2018*. New Orleans, Louisiana.
- Shojaei, A., Moud, H. I., Razkenari, A., Flood, I., & Hakim, H. (2018). Feasibility Study of Small Unmanned Surface Vehicle Use in Built Environment Assessment. *Institute of Industrial and Systems Engineering (IISE) Conference & Expo*. Orlando, FL.
- Shoukry, S. N., William, G. W., Downie, B., & Riad, M. Y. (2010). Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*.
- Smith, P. E. (2016). Types of Marine Concrete Structures. In *Marine Concrete Structures - Design, Durability and Performance* (pp. 17-64).
- Snoussi, M., Ouchani, T., & Niazi, S. (2008). Vulnerability assessment of the impact of sea-level rise and flooding on the Moroccan coast: The case of the Mediterranean eastern zone. *ScienceDirect*.
- Taddia, Y., Corbau, C., Zambello, E., & Pelledrinelli, A. (2019). UAVs for Structure-From-Motion Coastal Monitoring: A Case Study to Assess the Evolution of Embryo Dunes over a Two- Year Time Frame in the Po River Delta, Italy. *sensors*.
- Tsaimou, C. N., Sartampakos, P., & Tsoukala, V. K. (2022). UAV-based Remote Sensing Practices for Assessing Coastal Vulnerability. *39th IAHR World Congress*.
- Tsaimou, C., Chalastani, V., Sartampakos, P., & Tsoukala, V. (2021, September 1-4). Integrating seaport infrastructure monitoring approaches to improve smartness and climate adaptive capacity. *17th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2021)*.
- Tsaimou, C., Kagkelis, G., Papadimitriou, A., Chalastani, V., Sartampakos, P., Chondros, M., et al. (2022). Advanced Multi-Area Approach for Coastal Vulnerability Assessment. *7th IAHR Europe Congress*.
- Tsoukala, V. K., Tsaimou, C. N., & Sartampakos, P. (2022). UAV-based Remote Sensing Practices for Assessing Coastal Vulnerability. *39th IAHR World Congress*.
- Tsoukala, V., Tsaimou, C., & Chelioti, K. (2022, October 12-14). Unmanned Aerial Vehicles: A Survey on Monitoring Advancements for Port Infrastructure Applications. *12th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*.
- Tsaimou, C., Kagkelis, D., & Karantzalos, K., Tsoukala, V., (2022, October 12-14). Remote Sensing Synergies for Port Infrastructure Monitoring and Condition Assessment. *12th International Conference on Engineering, Project, and Production Management*.
- U.S. Department of Homeland Security. (2010). *Aging Infrastructure: Issues, Research, and Technology*. Buildings and Infrastructure Protection Series.



- Vandarakis, D., Panagiotopoulos, I. P., Loukaidi, V., Hatiris, G.-A., Drakopoulou, P., Kikaki, A., et al. (2021). Assessment of the Coastal Vulnerability to the Ongoing Sea Level Rise for the Exquisite Rhodes Island (SE Aegean Sea, Greece). *Water*.
- Vecchi, E., Tavasci, L., De Nigris, N., & Gandolfi, S. (2021). GNSS and Photogrammetric UAV Derived Data for Coastal Monitoring: A Case of Study in Emilia-Romagna, Italy. *Journal of Marine Science and Engineering*.
- Visockiene, J., Puziene, R., Stanionis, A., & Tumeliene, E. (2016). Unmanned Aerial Vehicle for Photogrammetry: Analysis of Orthophoto Images over the Territory of Lithuania. *International Journal of Aerospace Engineering*.
- Weis, S., Agostini, V., Roth, L., Gilmer, B., Schill, S., Knowles, J., et al. (2016). Assessing vulnerability: an integrated approach for mapping adaptive capacity, sensitivity, and exposure. *Climatic Change*.
- Wells, J., & Lovelace, B. (2018). *Improving the Quality of Bridge Inspections Using Unmanned Aircraft Systems (UAS)*, MN/RC 2018-26. Minnesota: Minnesota Department of Transportation Research Services & Library.
- Wood, N. J., & Wood, J. W. (2004). Vulnerability of Port and Harbor Communities to Earthquake and Tsunami Hazards: The Use of GIS in Community Hazard Planning. *Coastal Management*.
- Wooldridge, C. F., McMullen, C., & Howe, V. (1999). Environmental management of ports and harbours - implementation of policy through scientific monitoring. *Marine Policy*.
- Xiao, J., & Koenig, G. (2004). Study on concrete at high temperature in China-an overview. *Fire Safety Journal*.
- Yi, Y., Zhu, D., Guo, S., Zhang, Z., & Shi, C. (2020). A review on the deterioration and approaches to enhance the durability of concrete in the marine environment. *Cement and Concrete Composites*.
- Yin, J., Yin, Z., Wang, J., & Xu, S. (2012). National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise for the Chinese coast. *Springer*.
- Zanutta, A., Lambertini, A., & Vittuari, L. (2020). UAV Photogrammetry and Ground Surveys as a Mapping Tool for Quickly Monitoring Shoreline and Beach Changes. *Journal of Marine Science and Engineering*.
- Zhang, Y., Kim, C.-W., Tee, K. F., & Lam, J. S. (2017). Optimal Sustainable Life Cycle Maintenance Strategies for Port Infrastructures. *Journal of Cleaner Production*.
- Zhao, S., Kang, F., Li, J., & Ma, C. (2021). Structural health monitoring and inspection of dams based on UAV photogrammetry with image 3D reconstruction. *Automation in Construction*.
- Εργαστήριο Λιμενικών Έργων. (2021). *Στάδιο Α - Συλλογή και αξιολόγηση βασικών δεδομένων περιβάλλοντος, διερεύνηση προοπτικών ανάπτυξης και ολοκληρωμένης διαχείρισης της παράκτιας ζώνης του Δ. Θηβαίων λαμβάνοντας υπόψη την τρωτότητα και τις πιθανές επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή*.
- Λοΐζος, Α., & Πλατή, Χ. (2021). *ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΟΔΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ*. ΕΜΠ.
- Μέμος, Κ. (2008). Εισαγωγή στα λιμενικά έργα.
- Μέμος, Κ. (2008). *Λιμενικά Συστήματα*. Αθήνα: ΕΜΠ.
- Μουτζούρης, Κ. (2009). *ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ*. ΑΘΗΝΑ: ΕΜΠ.



Τσάιμου, Χ. (2022). Ανάπτυξη συστήματος αποτύπωσης και παρακολούθησης της υφιστάμενης κατάστασης υποδομών λιμένων με σύγχρονες μεθόδους (Διπλωματική εργασία μεταπτυχιακών σπουδών). *Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο*.

Τσουκαλά, Β. Κ., Τσάιμου, Χ. Ν., Σαρταμπάκος, Π., Κουμπάρκης, Γ., & Κυριαζόπουλος, Ε. Α. (2021). Μητρώο συντήρησης και αποκατάστασης υφιστάμενων λιμενικών εγκαταστάσεων. *Θαλάσσιοι και Ωκεάνιοι Χώροι, Περιβάλλον, Βιώσιμη Ανάπτυξη και Διεθνές Δίκαιο*, Τιμητικός (Πολιτική και Διακυβέρνηση- Προκλήσεις στον 21ο αιώνα).



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος

Εφαρμογή μεθόδων παρακολούθησης για την εκτίμηση της
τρωτότητας λιμενικών υποδομών