ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου»

Κατεύθυνση: Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Καταστροφών

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΩΝ ΑΚΤΩΝ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΘΗΡΑΣ ΣΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΥΜΑΤΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ (ΤΣΟΥΝΑΜΙ)

Διπλωματική εργασία του Μπατζάκη Δημητρίου-Βασιλείου

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου»

Κατεύθυνση: Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Καταστροφών

ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΩΝ ΑΚΤΩΝ ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΘΗΡΑΣ ΣΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΚΥΜΑΤΑ ΒΑΡΥΤΗΤΑΣ (ΤΣΟΥΝΑΜΙ)

Διπλωματική εργασία του Μπατζάκη Δημητρίου-Βασιλείου

Επιβλέπων: Αναπληρωτής Καθηγητής Ευθύμιος Καρύμπαλης

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

i

Πρόλογος1
Περίληψη2
Abstract
1. Εισαγωγή
1.1. Τα τσουνάμι ως κίνδυνος4
1.2. Τα τσουνάμι στην Ελλάδα
1.3. Οι έννοιες της έκθεση και της τρωτότητας10
1.4. Η τρωτότητα στα τσουνάμι11
1.5. Ο σκοπός και οι στόχοι της εργασίας12
2. Η εκτίμηση της τρωτότητας
2.1. Η σημασία της εκτίμησης της τρωτότητας στο σχεδιασμό για την ασφάλεια
2.2. Τα μοντέλα εκτίμησης της τρωτότητας στα τσουνάμι14
2.3. Το μοντέλο «Εκτίμησης της Τρωτότητας στα Τσουνάμι Παπαθωμά (PTVA model)» 15
3. Η γεωγραφία του νησιωτικού συμπλέγματος της Θήρας17
3.1. Γενικά χαρακτηριστικά
3.2. Η γεωλογία
3.3. Το τεκτονικό καθεστώς
4. Ο προσδιορισμός της περιοχής μελέτης, το ακραίο «σενάριο» και η ανθρώπινη τρωτότητα 25
4.1. Οι μηχανισμοί γέννησης και τα χαρακτηριστικά των τσουνάμι στο Νότιο Αιγαίο
4.2. Η έκθεση των παράκτιων οικισμών29

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

4.3. Το «σενάριο» ακραίου run-up	39
4.4. Η εκτίμηση της ταχύτητας και του χρόνου διείσδυσης των πλημμυρικών ροών	
4.5. Η ικανότητα διαφυγής	
5. Η εκτίμηση της τρωτότητας των κτιρίων στον οικισμό του Καμαρίου	53
5.1. Ο οικισμός του Καμαρίου	53
5.2. Το μοντέλο ΡΤVΑ-3	60
5.3. Ο σχεδιασμός της βάσης δεδομένων και η συλλογή στοιχείων στο πεδίο	
5.4. Ο υπολογισμός του παράγοντα SV	66
5.4.1. Ο υπολογισμός της μεταβλητής Βν	67
5.4.2. Ο υπολογισμός της μεταβλητής <i>Prot</i>	
5.4.3. Ο υπολογισμός της μεταβλητής <i>Ex</i>	
5.4.4. Ο παράγοντας SV	101
5.5. Ο υπολογισμός του παράγοντα WV	103
5.6. Ο υπολογισμός της σχετικής τρωτότητας – <i>RVI</i>	106
5.7. Σχολιασμός των αποτελεσμάτων	108
6. Συμπεράσματα	111
Βιβλιογραφία	113

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Τα βασικά χαρακτηριστικά των τσουνάμι. Πηγή: Papadopoulos et al., 2014
Εικόνα 2. Ζωνοποίηση των περιοχών με σεισμικότητα ικανή να παράξει τσουνάμι στη λεκάνη της
Μεσογείου. Πηγή Sørensen et al., 2012
Εικόνα 3. Οι ζώνες γέννησης τσουνάμι στη λεκάνη της Μεσογείου και η ταξινόμησή τους ως προς τη
δυναμική παραγωγής των κυμάτων. Πηγή: Papadopoulos et al., 2014
Εικόνα 4. Οι εκτιμώμενες θέσεις γέννησης των σημαντικότερων τσουνάμι κατά τους ιστορικούς
χρόνους στον ελληνικό χώρο. Πηγή: Papadopoulos et al., 201410
Εικόνα 5. Μελέτες περίπτωσης εφαρμογής του μοντέλου ΡΤVΑ στο Ηράκλειο (αριστερά) και στην
Αλεξάνδρεια (δεξιά). Πηγή: Papathoma et al., 2003 και Eckert et al., 2012
Εικόνα 6. Πληθυσμιακή πυραμίδα της Θήρας. Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011
Εικόνα 7. Δορυφορική εικόνα με υπέρθεση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM) του νησιωτικού
συμπλέγματος της Θήρας. Πηγή: Κτηματολόγιο Α.Ε
Εικόνα 8. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης του νησιωτικού συμπλέγματος της Θήρας. Πηγή: Βουγιουκαλάκης, 1997
Εικόνα 9. Οι κύριες τεκτονικές συνιστώσες της διαδικασίας υποβύθισης. Πηγή: Dominey-Howes, 2004
Εικόνα 10. Σεισμικά επίκεντρα στη περιοχή του Νοτίου Αιγαίου. Πηγή: Bohnhoff et al., 2006 24
Εικόνα 11. Κατάλογος των καταγεγραμμένων τσουνάμι στον ελληνικό χώρο. Πηγή: Maramai et al.,
2014
Εικόνα 12. Διάγραμμα ροής ενεργειών για τον υπολογισμό της σχετικής έκθεσης σε κίνδυνο στους
παράκτιους οικισμούς της Θήρας
Εικόνα 13. Εποχιακή σχετική έκθεση του πληθυσμού κατά τη χειμερινή (αριστερά) και θερινή (δεξιά)
περίοδο

Εικόνα 14. Εποχιακή σχετική έκθεση του ευάλωτου πληθυσμού κατά τη χειμερινή (αριστερά) και
θερινη (δεζια) περιοδο
Εικόνα 15. Σχετική έκθεση του κτιριακού αποθέματος (αριστερά) και των εγκαταστάσεων των
κρίσιμων λειτουργιών (δεξιά)
Εικόνα 16. Σγετική έκθεση των κτισίων που στενάζουν την οικονομική δραστηριότητα (αριστερά) και
των κατοικιών (δεξιά)
Εικόνα 17. Εποχιακή σχετική κοινωνική έκθεση κατά τη χειμερινή (αριστερά) και θερινή (δεξιά) περίοδο
Εικόνα 18. Σχετική οικονομική (αριστερά) και φυσική έκθεση (δεξιά)
Εικόνα 19. Εποχιακή συνολική σχετική έκθεση κατά τη χειμερινή (αριστερά) και θερινή (δεξιά) περίοδο
Euclus 20. H ζ_{0} im terrétul vonc orn times Θ_{0} and σ_{0} or σ_{0} in the terreture von 10 m 41
Eukova 20. H çavı katakroonç orn viloo Θ npaç ano roouvahi he heytoro run-up 10 m
Εικόνα 21. Η ζώνη κατάκλυσης στους οικισμού του Καμαρίου (αριστερά) και της Περίσσας (δεξιά) 42
Εικόνα 22. Εκτιμώμενη απόσταση διείσδυσης των πλημμυρικών ροών από το τσουνάμι
Εικόνα 23. Εκτιμώμενες ταχύτητες διείσδυσης των πλημμυρικών ροών
Εικόνα 24. Εκτιμώμενοι χρόνοι διείσδυσης των πλημμυρικών ροών
Εικόνα 25. Αποστάσεις διαφυγής σε ασφαλές περιβάλλον
Εικόνα 26. Χρόνοι διαφυγής σε ασφαλές περιβάλλον
Εικόνα 27. Εκτιμώμενοι χρόνοι άφιξης κυμάτων τσουνάμι από τις γνωστές θέσεις γέννησής τους. Πηγή:
Dominey-Howes et al., 2000a, Yolsal, 2007 кал Shaw, 2012 кал Ulvrová et al., 2014 52
Εικόνα 28. Δορυφορική εικόνα του Καμαρίου. Πηγή: Google Maps
Εικόνα 29. Άποψη του Καμαρίου, λήψη φωτογραφίας από το Μέσα Βουνό στα νότια του οικισμού 54
Εικόνα 30. Πληθυσμιακή πυραμίδα του Καμαρίου

Εικόνα 31. Χαρακτηριστικά κτίσματα του παραλιακού μετώπου	
Εικόνα 32. Χρονικές περίοδοι κατασκευής των κτιρίων στον οικισμό του Καμαρίου.	Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ,
2011	
Εικόνα 33. Υλικό κατασκευής των κτιρίων στον οικισμό του Καμαρίου. Πηγή: ΕΛΣΤ	AT, 2011 58
Εικόνα 34. Χρήση κτιρίων στον οικισμό του Καμαρίου. Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011	59
Εικόνα 35. Άποψη της κεντρική πλατείας του Καμαρίου και των εμπορικών καταστη	μάτων γύρω από
αυτη	
Εικόνα 36. Κτίρια ο πρώτος όροφος των οποίων βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια το	υ εδάφους 60
Εικόνα 37. Το δελτίο καταγραφής των χαρακτηριστικών των κτιρίων που χρησιμοπ	οιήθηκαν για τις
ανάγκες εφαρμογής της μεθοδολογίας	
Εικόνα 38. Χωρική κατανομή της παραμέτρου s	70
Εικόνα 39. Χωρική κατανομή της παραμέτρου <i>m</i>	72
Εικόνα 40. Χωρική κατανομή της παραμέτρου g	75
Εικόνα 41. Χωρική κατανομή της παραμέτρου f	77
Εικόνα 42. Χωρική κατανομή της παραμέτρου <i>mo</i>	79
Εικόνα 43. Χωρική κατανομή της παραμέτρου <i>so</i>	
Εικόνα 44. Χωρική κατανομή της παραμέτρου <i>pc</i>	
Εικόνα 45. Χωρική κατανομή της μεταβλητής Βν	
Εικόνα 46. Χωρική κατανομή της παραμέτρου <i>prot_br</i>	
Εικόνα 47. Χωρική κατανομή της παραμέτρου <i>prot_nb</i>	91
Εικόνα 48. Χωρική κατανομή της παραμέτρου <i>prot_sw</i>	93
Εικόνα 49. Χωρική κατανομή της παραμέτρου prot_w	

Εικόνα 50. Χωρική κατανομή της μεταβλητής <i>Prot</i>	. 97
Εικόνα 51. Χωρική κατανομή της μεταβλητής Εχ	100
Εικόνα 52. Χωρική κατανομή του παράγοντα SV	102
Εικόνα 53. Χωρική κατανομή του παράγοντα WV	105
Εικόνα 54. Χωρική κατανομή του βαθμού της σχετικής τρωτότητας (<i>RVI</i>)	107
Εικόνα 55. Ποσοστιαία κατανομή του βαθμού της σχετικής τρωτότητας	109
Εικόνα 56. Διάγραμμα κατανομής της σχετικής τρωτότητας ως προς το βάθος της πλημμύρας	109

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 19. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου prot_br σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας	. 88
Πίνακας 20. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου prot_nb σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας	. 90
Πίνακας 21. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου <i>prot_sw</i> σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας	. 92
Πίνακας 22. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου <i>prot_w</i> σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας	. 94
Πίνακας 23. Κατανομή των τιμών της μεταβλητής <i>Prot</i> σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας	. 96
Πίνακας 24. Επαναταξινόμηση της μεταβλητής Εχ	. 98
Πίνακας 25. Κατανομή των τιμών της μεταβλητής Εx σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας	. 99
Πίνακας 26. Κατανομή των τιμών του παράγοντα SV σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας	101
Πίνακας 27. Επαναταξινόμηση του παράγοντα WV	103
Πίνακας 28. Κατανομή των τιμών του παράγοντα WV σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας	104
Πίνακας 29. Κατανομή του βαθμού σχετικής τρωτότητας (RVI) σε σχέση με το βάθος της πλημμύ	ορας
	106
Πίνακας 30. Βαθμός σχετικής τρωτότητας ανά χρήση κτιρίου	110

Πρόλογος

Το κείμενο που έπεται αποτελεί τη διπλωματική εργασία η οποία εκπονείται στο πλαίσιο του προγράμματος μεταπτυχιακών σπουδών «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου», στην κατεύθυνση της «Διαχείρισης Φυσικών και Ανθρωπογενών Καταστροφών», του τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου. Συνιστά μια απόπειρα εφαρμογής μεθοδολογικών προσεγγίσεων, που η επιστημονική εμπειρία έχει καταδείζει ως απαραίτητα εργαλεία στην προσπάθεια για την εδραίωση της ασφάλειας των ανθρώπινων κοινωνιών έναντι των φυσικών και τεχνολογικών κινδύνων, αξιοποιώντας σύγχρονες τεχνολογίες όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, που τις τελευταίες δεκαετίες έχουν αναδειχθεί ως πολύτιμοι βοηθοί στη διαχείριση των καταστροφών. Απώτερος σκοπός του πονήματος αυτού, είναι η συμβολή στην κατανόηση της ανάγκης πολύεπίπεδου σχεδιασμού για τη μείωση της τρωτότητας σε κοινωνίες με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, όπως οι νησιωτικές περιοχές, που καλούνται κατά τις πρώτες στιγμές της κρίσης να αντεπεξέλθουν σε αυτή λειτουργώντας ως κλειστά συστήματα.

Έχοντας ολοκληρώσει τις σπουδές μου στο μεταπτυχιακό πρόγραμμα, οφείλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στους καθηγητές του τμήματος Γεωγραφίας, οι οποίοι συνέβαλλαν με ουσιαστικό τρόπο στην βελτίωση των γνώσεών μου και στην ανάπτυξη της ικανότητας αναλυτικής σκέψης. Ιδιαιτέρως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας, Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Ευθύμιο Καρύμπαλη για την παροχή κάθε μορφής υποστήριξης και κυρίως για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου. Επίσης, ευχαριστώ τους φίλους και συνάδελφους γεωγράφους Μωυσή-Λουκά Μισθό και Γεράσιμο Βούλγαρη, τον μεν πρώτο για την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη συλλογή των στοιχείων στην έρευνα πεδίου και τον δε δεύτερο για τις ουσιαστικές συμβουλές του. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την ενθάρρυνση και όλα όσα μου προσέφερε, καθώς και τη σύντροφό μου Sarah El-Khoury για την έμπρακτη συμβολή της και την αμέριστη κατανόηση που επέδειξε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Περίληψη

Η νήσος Θήρα (Σαντορίνη), η οποία αποτελεί την περιοχή μελέτης, είναι ένας χώρος επιρρεπής στον κίνδυνο των τσουνάμι, εξαιτίας της θέσης της στο ευρύτερο γεωδυναμικό καθεστώς του ελληνικού χώρου. Η Θήρα γειτνιάζει με σημαντικές ρηξιγενείς ζώνες στη λεκάνη του Νοτίου Αιγαίου και αντιπροσωπεύει την πλέον ηφαιστειακά ενεργή δομή του ελληνικού ηφαιστειακού τόζου, καθώς αποτελείται από δύο ενεργά ηφαιστειακά κέντρα. Η σεισμικότητα και η ηφαιστειακή δραστηριότητα, σε συνδυασμό με τις υποθαλάσσιες κατολισθήσεις που ενεργοποιούνται από αυτές, είναι οι κύριοι μηγανισμοί γέννησης των τσουνάμι στην περιογή. Η έρευνα εστιάζει στις ανατολικές ακτές του νησιού, όπου η γεωμορφολογία και οι ανθρώπινες δραστηριότητες στους εκεί παράκτιους οικισμούς καθιστά την διερεύνηση της τρωτότητας αυτών ιδιαίτερα σημαντική. Για την επίτευξη του στόγου της εργασίας, που είναι η ποσοτικοποίηση της τρωτότητας του κτιριακού αποθέματος, κατασκευάστηκε, βασισμένο σε πραγματικά επιστημονικά στοιχεία από τη βιβλιογραφική επισκόπηση, ένα ακραίο «σενάριο» με τα χαρακτηριστικά ενός πιθανού τσουνάμι που μπορεί να πλήξει την παράκτια ζώνη του νησιού. Η διερεύνηση της τρωτότητας στο γεγονός αυτό, πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο οικισμού, με κριτήριο επιλογής αυτού, το βαθμό της σχετικής έκθεσης στο συγκεκριμένο κίνδυνο. Οι υπολογισμοί για την εκτίμηση της σχετικής τρωτότητας των κτιρίων του Καμαρίου υλοποιήθηκαν μέσω της εφαρμογής του αναλυτικού μοντέλου PTVA-3 και τα αποτελέσματα οπτικοποιήθηκαν με τη γρήση ΓΣΠ. Τα παραχθέντα χαρτογραφικά επίπεδα καταδεικνύουν τη χωρική κατανομή του βαθμού σχετικής τρωτότητας των κτιρίων, σε συνάρτηση με το βάθος της πλημμύρας και τη χρήση αυτών.

Λέξεις-κλειδιά: Φυσικές καταστροφές, Θαλάσσια κύματα βαρύτητας (τσουνάμι), Έκθεση, Τρωτότητα, Θήρα (Σαντορίνη) – Καμάρι.

Abstract

This study was carried out in Thera Island (Santorini), which is an area susceptible to the tsunami hazard, due to its relative position to the geodynamic status of the greater Greek area. Thera, neighbours major fault zones in the South Aegean basin, and with its two volcanic centres, it constitutes the most active volcanic structure of the Greek volcanic arc. Seismicity and volcanic activity, in combination with marine landslides triggered by them, are the main causes of tsunami in the area. This study focuses on the eastern coast of the island, as its geomorphology and human presence amplify the importance of its vulnerability assessment. In order to achieve the objective of this research, which is quantifying the vulnerability of the building stock, a 'worst-case scenario' was created, based on scientific facts as presented in the literature, with the characteristics of a tsunami that could affect the island's coastal zone. The scale of the vulnerability assessment was set on the level of human settlement, which was selected based on the degree of relative exposure to the natural hazards. The calculations of the relative vulnerability of buildings in Kamari, were conducted via the application of the PTVA-3 analytic model and the results were visualised by the use of GIS. The produced cartographic layers indicate the spatial distribution of the relative vulnerability of the buildings, in correlation with the inundation depth and their use.

Keywords: Natural disasters; Gravity sea waves (tsunami); Exposure; Vulnerability; Thera (Santorini) – Kamari.

1. Εισαγωγή

1.1. Τα τσουνάμι ως κίνδυνος

Τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας ή τσουνάμι είναι κύματα που δημιουργούνται από αίτια τα οποία είναι ικανά να προκαλέσουν με σφοδρότητα διαταραχή στην υδάτινη μάζα και να προσδώσουν σε αυτή υψηλή ενέργεια. Κυρίαρχο αίτιο γέννησης τσουνάμι σε παγκόσμιο επίπεδο είναι η σεισμική δραστηριότητα. Το μέγεθος τους συνδέεται άμεσα με τα χαρακτηριστικά του σεισμού όπως το μέγεθος, το εστιακό βάθος, το μήκος και η διεύθυνση της επιφανειακής διάρρηξης του ρήγματος. Τα πλέον μεγαλύτερα σε μέγεθος κύματα συνδέονται με τη διαδικασία υποβάθμισης στα όρια των τεκτονικών πλακών. Τσουνάμι επίσης, μπορεί να προκληθεί από την ηφαιστειακή δραστηριότητα και τα φαινόμενα από τα οποία συνοδεύεται, τις υποθαλάσσιες και παράκτιες κατολισθήσεις κ.α.

Τα χαρακτηριστικά των τσουνάμι είναι όμοια με αυτά ενός ανεμογενούς κύματος, όμως η ταχύτητα με την οποία μπορούν να ταξιδεύουν είναι εξαιρετικά μεγάλη, ανέρχεται στην τάξη των εκατοντάδων km/h και συνδέεται άμεσα με το βάθος του νερού στο οποίο διαδίδονται. Τα τσουνάμι έχουν την ιδιότητα να διατηρούν την κινητική τους ενέργεια τους σε μεγάλες αποστάσεις γεγονός που τα καθιστά ικανά να ταξιδεύουν προς οποιαδήποτε διεύθυνση μπορώντας δυνητικά να πλήξουν οποιαδήποτε παράκτια περιοχή. Επίσης, το ύψος ενός μεγάλου κύματος τσουνάμι (tsunami height) κατά την θραύση του στην ακτογραμμή είναι αισθητά μεγαλύτερο από τα συνήθη κύματα και μπορεί να φτάσει τα δεκάδες μέτρα.

Σημαντικά χαρακτηριστικά του κινδύνου (hazard) των τσουνάμι, που σχετίζονται τόσο με το μέγεθος όσο και με την έντασή τους, είναι το ύψος αναρρίχησης (run-up) των πλημμυρικών ροών (inundation flows) και η ζώνη κατάκλυσης (inundation zone) (Εικόνα 1). Το run-up εκφράζει την κατακόρυφη απόσταση του ορίου στο οποίο εκτείνεται η ζώνη κατάκλυσης στην ενδοχώρα από το επίπεδο στη στάθμης της θάλασσας. Ορίζει δηλαδή, το μέγιστο υψόμετρο στο οποίο οι πλημμυρικές ροές μπορούν να φτάσουν. Το μέγεθος του run-up συνδέεται με την ενέργεια που προσδίδει στο κύμα το αίτιο που το προκαλεί, τον τύπο της υφαλοκρηπίδας και τα χαρακτηριστικά της παράκτιας ζώνης κ.α. Η ζώνη κατάκλυσης εκφράζει στην απόσταση από την ακτογραμμή που διένυσαν οι ροές προς την ενδοχώρα. Κύματα με run-up μεγαλύτερο των 5 m θεωρούνται μεγάλα τσουνάμι· ικανά να προκαλέσουν καταστροφές.



Εικόνα 1. Τα βασικά χαρακτηριστικά των τσουνάμι. Πηγή: Papadopoulos et al., 2014

Είναι σαφές ότι παράκτιες ζώνες με εγγύτητα κυρίως σε όρια τεκτονικών πλακών και ιδιαίτερα σε ζώνες υποβύθισης (subduction zones) αλλά και σε υποθαλάσσιες ρηξιγενείς ζώνες χαρακτηρίζονται από υψηλή διακινδύνευση (risk). Οι επιπτώσεις ενός τσουνάμι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρωτογενείς επιπτώσεις συνδέονται με τις πλημμυρικές ροές και σχετίζονται με το εύρος της πλημμύρας που αυτές θα δημιουργήσουν καθώς και με την διάβρωση. Η ενέργεια των ροών είναι ικανή να «ξεπλύνει» το υλικό του αιγιαλού, να αποψιλώσει την κάθε μορφής βλάστηση, να προκαλέσει τραυματισμούς και θανάτους καθώς και σημαντικές βλάβες στις κατασκευές των παράκτιων κοινωνιών. Οι μεγαλύτερες καταστροφές, τόσο στο φυσικό όσο και στο ανθρωπογενές περιβάλλον, συμβαίνουν κυρίως από συντρίμμια και υλικά που παρασύρονται και μεταφέρονται από τις υδάτινες ροές κατά την προέλασή τους στην ενδοχώρα και κατά την οπισθοχώρηση τους (backwash) προς την ακτογραμμή. Το μέγεθος των συντριμμιών ποικίλει καθώς οι πλημμυρικές ροές μπορούν να μεταφέρουν από μικρά αντικείμενα όπως πέτρες, έως αντικείμενα μεγάλων διαστάσεων όπως αυτοκίνητα και πλοία.

Οι δευτερογενείς επιπτώσεις μπορούν να επισυμβούν σε μερικά λεπτά, ώρες ακόμα και αρκετές μέρες μετά το χτύπημα του κύματος. Συχνά, κατά τις πρώτες στιγμές, προκαλούνται πυρκαγιές από βλάβες σε δίκτυα των γραμμών ζωή μέσα στον αστικό ιστό. Κατά τις επόμενες μέρες εμφανίζονται μολύνσεις στα δίκτυα ύδρευσης καθώς και ασθένειες σε ανθρώπους, χαρακτηριστικότερη εκ των οποίων είναι το «tsunami lung» όπως ονομάζεται ένα είδος πνευμονίας που προκαλείται από εισπνεόμενα βακτήρια που βρίσκονται σε λιμνάζοντα αλμυρά νερά (Keller and De Vecchio, 2012). Τα τσουνάμι, μπορούν επίσης να προκαλέσουν δευτερογενείς καταστροφές κυρίως τεχνολογικής φύσης, όπως για παράδειγμα συνέβη πυρηνικό εργοστάσιο στην Ιαπωνική πόλη Fukushima. Ακόμα, τα τσουνάμι συνδέονται με οικονομικές επιπτώσεις στις κοινωνίες που πλήττονται και τουλάχιστον μία φορά στο παρελθόν συνετέλεσε στην παρακμή τουλάχιστον ενός πολιτισμού κατά τους προϊστορικούς χρόνους· του μινωικού. Σε γενικές γραμμές, μπορεί να ειπωθεί ότι η ένταση της καταστροφής στην παράκτια ζώνη μειώνεται ανάλογα με την απόσταση από την ακτογραμμή.

Η πρόσφατη εμπειρία των δύο γεγονότων του 2004 στον Ινδικό Ωκεανό και του 2011 στην Ιαπωνία, κατέδειξε ότι τόσο οι υπό ανάπτυξη όσο και οι ήδη ανεπτυγμένες κοινωνίες εμφορούνται από μικρό ή μεγάλο βαθμό τρωτότητας (vulnerability). Η γνώση για το αν σε μια παράκτια περιοχή έχει εκδηλωθεί κάποιο θαλάσσιο κύμα βαρύτητας στο παρελθόν θεωρείται σημαντική, καθώς μέσω αυτής διαφαίνεται το κατά πόσο η περιοχή είναι επιρρεπής στο συγκεκριμένο κίνδυνο. Ταυτοποίηση παλαιότερων γεγονότων γίνεται μέσω αρχαιολογικών και ιστορικών ενδείζεων. Άμεσες ή έμμεσες ενδείζεις μπορεί να προέρχονται από αναφορές σε ιστορικά κείμενα ενώ δομικές ενδείξεις απορρέουν από την μελέτη ερειπίων αρχαίων κατασκευών (βλ. Shaw, 2012). Ακόμα, κατά τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται σημαντική προσπάθεια ταυτοποίησης γεγονότων με την μελέτη της παράκτιας και υποθαλάσσιας στρωματογραφίας (βλ. Dominey-Howes et al., 2004, Shiki and Cita, 2008 κ.α.). Τα κύματα τσουνάμι συνδέονται με διαβρωτικές και αποθετικές διεργασίες και την δημιουργία ενός ιζηματογενούς επιπέδου στην στρωματογραφική κολόνα των παράκτιων ή υποθαλάσσιων περιοχών, που διεθνώς αποκαλείται «tsunamiite». Αντίστοιχα ιζήματα που εντοπίζονται στον πυθμένα της Μεσογείου και συνδέονται με τη δράση των θαλασσίων κυμάτων βαρύτητας είναι οι «homogenites».

1.2. Τα τσουνάμι στην Ελλάδα

Σε ολόκληρη τη Μεσόγειο μπορεί να αναγνωριστεί μια πληθώρα από γεωγραφικές ζώνες με χαρακτηριστικά ικανά να δημιουργήσουν θαλάσσια κύματα βαρύτητας. Η Ελλάδα είναι από τις πλέον επιρρεπείς χώρες στην εμφάνιση τσουνάμι εξαιτίας του γεωλογικού και σεισμο-τεκτονικού της καθεστώτος. Ο Ελληνικός χώρος βρίσκεται στα όρια σύγκλισης της αφρικανικής και ευρασιατικής λιθοσφαιρικής πλάκας και αποτελεί την πλέον σεισμογενή περιοχή της Ευρώπης. Οι δομές μεγάλης δυναμικής στα όρια των πλακών, καθώς και οι ρηξιγενείς ζώνες αποτέλεσμα του εφελκυσμού (π.χ. Κορινθιακός Κόλπος, τάφρος της Αμοργού κ.α.), έχουν συνδεθεί στο παρελθόν με την εμφάνιση κυμάτων τσουνάμι. Μηχανισμός γέννησης των κυμάτων αυτών θεωρείται είτε η επιφανειακή παραμόρφωση του βυθού από την ενεργοποίηση κάποιου ρήγματος ή η δευτερογενής ενεργοποίηση (triggering) υποθαλάσσιας κατολίσθησης μετά από σεισμό ή ηφαιστειακή δραστηριότητα.

Η σεισμικότητα στον ελληνικό χώρο είναι γεωγραφικά πολωμένη και χαρακτηρίζεται από σεισμο-τεκτονικές ζώνες που εντείνουν την εμφάνιση τεκτονικών εξάρσεων και τη γέννηση θαλασσίων κυμάτων βαρύτητας. Οι ζώνες αυτές (Εικόνες 2 και 3), σύμφωνα με τους Παπαζάχο και Παπαζάχου, 2003 και Papadopoulos et al., 2014, είναι:

- Το ανατολικό και δυτικό τμήμα του ελληνικού τόζου με το εξωτερικό ιζηματογενές τόξο, που συνδέει τις Δυναρικές Άλπεις (Ελληνίδες Οροσειρές, Ιόνια νησιά, Κρήτη, Ρόδος) με τις τουρκικές Ταυρίδες και την ελληνική τάφρο, η οποία αποτελείται από θαλάσσιες λεκάνες βάθους μέχρι 5 km και μικρότερες παράλληλες γραμμικές τάφρους. Η ζώνη αυτή διέρχεται από την περιοχή στα νοτιοανατολικά της Ρόδου, διασχίζει το χώρο νότια της Κρήτης και καταλήγει στα ανατολικά του Ιονίου Πελάγους.
- Η ζώνη του Αιγαίου, που περιλαμβάνει το ηφαιστειακό τόξο, το οποίο βρίσκεται σε μια μέση παράλληλη απόσταση 120 km από το ιζηματογενές τόξο, τις ρηξιγενείς ζώνες των Κυκλάδων, την τάφρο του Βορείου Αιγαίου με μέγιστο βάθος περίπου 1500 m και το δυτικό όριο της πλάκας της Ανατολίας.
- Τέλος, ο Κορινθιακός Κόλπος, που αποτελεί μια τεκτονική τάφρο η οποία ελέγχεται από τη σεισμικότητα.



Εικόνα 2. Ζωνοποίηση των περιοχών με σεισμικότητα ικανή να παράξει τσουνάμι στη λεκάνη της Μεσογείου. Πηγή: Sørensen et al., 2012



Εικόνα 3. Οι ζώνες γέννησης τσουνάμι στη λεκάνη της Μεσογείου και η ταξινόμησή τους ως προς τη δυναμική παραγωγής των κυμάτων. Πηγή: Papadopoulos et al., 2014

Από τους αρχαίους χρόνους έως σήμερα πολλά καταστροφικά τσουνάμι έχουν πλήξει τα νησιά και την ηπειρωτική Ελλάδα. Σύμφωνα με τον Bryant (2008), περίπου το 30% του συνόλου των σεισμών που συμβαίνουν στον ελληνικό χώρο προκαλούν τσουνάμι με μετρήσιμα χαρακτηριστικά, ενώ έχουν ταυτοποιηθεί περίπου 160 γεγονότα. Ο κυρίαρχος μηχανισμός γέννησης στον ελληνικό χώρο είναι οι σεισμοί και η επιφανειακή παραμόρφωση που εμφανίζεται σε υποθαλάσσια ρήγματα κατά την ενεργοποίησή τους. Χαρακτηριστικά γεγονότα σεισμικής προέλευσης είναι τα τσουνάμι του 365 μ.Χ. και 1303 μ.Χ. που προκλήθηκαν από ισχυρούς σεισμούς, πιθανόν μεγαλύτερους από 8 M_w, στο κεντρικό (νοτιοδυτικά της Κρήτης) και ανατολικό (μεταξύ Ρόδου και Κρήτης) τμήμα του ελληνικού τόξου, αντίστοιχα (Εικόνα 4). Τα δύο κύματα επηρέασαν σημαντικά παράκτιες περιοχές της Κρήτης, των νησιών των Κυκλάδων και της υπόλοιπης Ανατολικής Μεσογείου (Stiros, 2001, Shaw et al., 2008, Papadopoulos, 2014).

Έναν επίσης σημαντικό μηχανισμό γέννησης, αποτελούν οι κατολισθήσεις σε παράκτια ή υποθαλάσσια πρανή που προκαλούνται από τη μετακίνηση ασύνδετων ιζημάτων που ενεργοποιούνται είτε από την επίδραση μόνο της βαρύτητας είτε από την σεισμική ή ηφαιστειακή δραστηριότητα. Η δυναμική των τσουνάμι που έχουν σαν αίτιο τις κατολισθήσεις είναι εξίσου σημαντική και τα κύματα μπορούν να εμφανίσουν μεγάλα run-up, ικανά προκαλέσουν καταστροφή. Δύο από τα πιο γνωστά γεγονότα είναι το τσουνάμι του 1963 στον Κορινθιακό Κόλπο και το τσουνάμι του 1956 στις Κυκλάδες, με σημαντικά run-up (βλ. Galanopoulos, 1964, Dominey-Howes et al., 2000a).

Τέλος, φαινόμενα της ηφαιστειακής δραστηριότητα σχετίζονται με την εμφάνιση θαλασσίων κυμάτων βαρύτητας. Η ηφαιστειότητα στο Νότιο Αιγαίο συνδέεται με το γνωστότερο τσουνάμι, αυτό των προϊστορικών χρόνων. Η έκρηξη του ηφαιστείου της Θήρας και τα πολλαπλά φαινόμενα (κατάρρευση του ηφαιστειακού κώνου, πυροκλαστικές ροές κ.α.) που ακολούθησαν την ενεργοποίησή του κατά την Ύστερη Εποχή του Χαλκού προκάλεσαν, ενδεχομένως, το μεγαλύτερο τσουνάμι της Μεσογείου, που ευθύνεται για την αρχή της παρακμής του μινωικού πολιτισμού (Cita and Aloisi, 2000, McCoy and Heiken, 2000). Επίσης, η ηφαιστειακή δραστηριότητα ευθύνεται για το τσουνάμι του 1650 στο Νότιο Αιγαίο, αποτέλεσμα της κατάρρευσης του κώνου του ηφαιστείου Κολόμπο στα βορειοανατολικά της Θήρας, που είχε ως αποτέλεσμα την εκδήλωση τσουνάμι με runup της τάξης των δεκάδων μέτρων σε παράκτιες περιοχές των νησιών των Κυκλάδων και της Κρήτης (Dominey-Howes et al.,2000b).



Εικόνα 4. Οι εκτιμώμενες θέσεις γέννησης των σημαντικότερων τσουνάμι κατά τους ιστορικούς χρόνους στον ελληνικό χώρο. Πηγή: Papadopoulos et al., 2014

1.3. Οι έννοιες της έκθεση και της τρωτότητας

Η έκθεση (exposure) και η τρωτότητα (vulnerability) αποτελούν δυο βασικές έννοιες στη διαχείριση των φυσικών καταστροφών. Η έκθεση συνιστά μια σημαντική παράμετρο για το σχεδιασμό και την ανάπτυξη στρατηγικών για τη διαχείριση της διακινδύνευσης έναντι των φυσικών καταστροφών. Ερμηνεύεται σε μεγάλο βαθμό ως ένα προϊόν της φυσικής θέσης και των χαρακτηριστικών του φυσικού και δομημένου περιβάλλοντος που πλαισιώνουν τις υπό εξέταση οντότητες (Pelling, 2003). Δηλώνει δηλαδή, τη φύση και τον πληθυσμό των συνθετικών στοιχείων μια κοινωνίας που θα έρθουν σε επαφή με τις πιέσεις που θα ασκήσει ένας φυσικός κίνδυνος και έχει σαφή χωρική και αριθμητική διάσταση.

Η τρωτότητα είναι η συνδετική έννοια μεταξύ της έκθεσης και της διακινδύνευσης. Αποτελεί μια πολυ-επίπεδη κατάσταση που εκφράζει το βαθμό στον οποίο μια φυσική απειλή θα εξελιχθεί σε

καταστροφή ή το σύστημα που εκτίθεται σε έναν κίνδυνο θα αποσβέσει τις συνέπειες ή θα μετριάσει επιπτώσεις εμφάνισης αυτού. Σύμφωνα με τους Blaikie et al. (1994), τρωτότητα είναι:

«...τα χαρακτηριστικά ενός ατόμου ή μιας ομάδας όσον αφορά στην ικανότητά τους να προβλέπουν, να αντιμετωπίσουν με, να αντιστέκονται και να ανακάμπτουν από τις επιπτώσεις ενός φυσικού κινδύνου. Πρόκειται για ένα συνδυασμό παραγόντων, που καθορίζουν το βαθμό στον οποίο η ζωή και η επιβίωση κάποιου τίθενται υπό διακινδύνευση από ένα διακριτό και αναγνωρίσιμο γεγονός στη φύση ή στην κοινωνία.»

Η τρωτότητα διακρίνεται σε ανθρώπινη, φυσική, κοινωνική, οικονομική, δομική κ.α. και αποτυπώνει την επιδεκτικότητα (susceptibility) όλων αυτών των εκτιθέμενων μονάδων και συστημάτων, που δομούν τις ανθρώπινες κοινότητες, στις επιπτώσεις των φυσικών ανθρωπογενών καταστροφών. Μπορεί να εκφραστεί είτε μέσω των άμεσων επιπτώσεων, όπως τραυματισμοί και απώλεια ανθρώπινων ζωών, βλάβες στο κτιριακό απόθεμα και στις υποδομές, είτε από μακροπρόθεσμες συνέπειες, όπως ύφεση στην τοπική και εθνική οικονομία, αλλοίωση του τοπικού συγκριτικού πλεονεκτήματος κ.α.

Η τρωτότητα επίσης, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τα εγγενή χαρακτηριστικά των κοινωνιών και την ανθεκτικότητα που αυτά έχουν σε κοινωνικές και οικονομικές αρνητικές συγκυρίες και μπορεί να μεταβάλλεται στο χρόνο και γεωγραφικά.

1.4. Η τρωτότητα στα τσουνάμι

Τα τσουνάμι είναι φυσικοί κίνδυνοι που έχουν συνδεθεί κατά το παρελθόν με καταστροφές. Γεγονότα έχουν καταγραφεί σε διάφορες περιοχές του πλανήτη και έχουν προκαλέσει θανάτους ή τραυματισμούς και βλάβες σε κτίρια και υποδομές στην παράκτια ζώνη. Εν γένει, η τρωτότητα στα θαλάσσια κύματα βαρύτητας έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με την τρωτότητα που απορρέει από μια μεγάλης έκτασης πλημμύρα. Επομένως, το χωρικό πλαίσιο αναφοράς και η δυναμική του κινδύνου ορίζεται από την ζώνη κατάκλυσης και τις διαστάσεις των πλημμυρικών ροών.

Η διερεύνηση της τρωτότητας στα τσουνάμι μπορεί, όπως και σε άλλους κινδύνους, να εστιάζει σε διάφορες διαστάσεις. Σε κάθε περίπτωση, βασικές παράμετροι για τον προσδιορισμό της είναι τα χαρακτηριστικά του κινδύνου, όπως το βάθος της πλημμύρας και οι ταχύτητες διείσδυσης των πλημμυρικών ροών κ.α. Η έκθεση που απορρέει από τον κίνδυνο μπορεί να λάβει διάσταση φυσική,

κοινωνική, οικονομική, περιβαλλοντική κ.α. Ως εκ τούτου, η εξέταση των πολυ-επίπεδων χαρακτηριστικών των εκτιθέμενων οντοτήτων τα οποία προσδίδουν ευπάθεια σε αυτές ορίζουν τη μορφή και το βαθμό της τρωτότητας. Συνεπώς, για την εκτίμηση της τρωτότητας απαιτείται η συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών και η επεξεργασία των στοιχείων μέσω μιας σαφώς προσδιορισμένης μεθοδολογίας.

1.5. Ο σκοπός και οι στόχοι της εργασίας

Εκ των όσων προαναφέρθηκαν προκύπτει ότι ο ελληνικός χώρος αποτελεί μια επιδεκτική γεωγραφική περιοχή στον κίνδυνο των θαλασσίων κυμάτων βαρύτητας. Γεωλογικές έρευνες έχουν καταδείξει ότι στο Νότιο Αιγαίο έχει συμβεί μια πληθώρα από τσουνάμι με πολλαπλούς μηχανισμούς γέννησης και με σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τις επιπτώσεις. Περιοχή μελέτης στην παρούσα εργασία θα αποτελέσει η Θήρα, ένα νησί με ιδιαίτερα εγγενή χαρακτηριστικά που έχει αποτελέσει αντικείμενο μελέτης πολλών επιστημονικών ερευνών και που ταυτόχρονα είναι ένα διάσημο παγκοσμίως τουριστικό θέλγητρο. Η επιρρέπεια των ακτών της Θήρας στην εμφάνιση τσουνάμι θα αποτελέσει τη βασική υπόθεση εργασίας η οποία θα τεκμηριωθεί μέσω της επισκόπησης της σχετικής βιβλιογραφίας. Σε επιμέρους ερευνητικά προβλήματα θα διερευνηθεί η έκθεση και η τρωτότητα των κυρίων οντοτήτων των παράκτιων οικισμών της Θήρας.

Για την επίτευξη των στόχων στο πλαίσιο της έρευνας:

- Επιχειρείται η τεκμηρίωση του κινδύνου των τσουνάμι, ως παράγοντα διακινδύνευσης στην περιοχή μελέτης.
- Προσδιορίζεται περεταίρω η περιοχή μελέτης και περιορίζεται σε επίπεδο οικισμού μέσω της εφαρμογής ενός μοντέλου εκτίμησης της σχετικής έκθεσης.
- Παράγεται ένα ακραίο «σενάριο» (worst-case scenario) για το μέγιστο run-up μιας πιθανής εμφάνισης κύματος τσουνάμι, βασισμένο σε πραγματικά δεδομένα που σχετίζονται με τις ρηξιγενείς ζώνες, την ηφαιστειότητα, τα υποθαλάσσια κατολισθητικά πεδία της ευρύτερης περιοχής και τα χαρακτηριστικά του χερσαίου αναγλύφου.
- Υπολογίζονται και οπτικοποιούνται τα χαρακτηριστικά των πλημμυρικών ροών και των παραμέτρων της ανθρώπινης τρωτότητας με χρήση ΓΣΠ.
- Εφαρμόζεται ένα αναλυτικό εργαλείο/ μοντέλο για την ποσοτική εκτίμηση της σχετικής τρωτότητας των κτιρίων της ζώνης κατάκλυσης από το κύμα τσουνάμι.

2. Η εκτίμηση της τρωτότητας

2.1. Η σημασία της εκτίμησης της τρωτότητας στο σχεδιασμό για την ασφάλεια

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες η έννοια της τρωτότητας έχει αποκτήσει κεντροβαρή σημασία σε ότι αφορά στο γνωστικό αντικείμενο της διαχείρισης των φυσικών και τεχνολογικών καταστροφών. Όπως έχει αναφερθεί η τρωτότητα αποτυπώνει μια στιγμιαία «πραγματικότητα» με γεωγραφικές διαστάσεις μιας μονάδας ή ενός συστήματος όταν αυτά βρίσκεται αντιμέτωπα με μια απειλή. Σύμφωνα με τον Δελλαδέτσιμα (2009):

> «Η συγκρότηση μιας σαφούς αντίληψης της τρωτότητας αποτελεί κομβικό σημείο για την ανάλυση των διεργασιών που διαμορφώνουν το τελικό αποτέλεσμα των καταστροφικών επιπτώσεων, αρχής γενομένης από τις ανθρώπινες απώλειες και το φυσικό απόθεμα».

Στην ανασκόπηση της διεθνούς βιβλιογραφίας διαπιστώνεται μια μεταστροφή των πρακτικών εκτίμησης της τρωτότητας σε πλέον ολοκληρωμένα συστήματα που πολλές φορές εντάσσονται θεσμικά στο πλαίσιο του σχεδιασμού για την ασφάλεια και τα οποία κατά την εφαρμογή τους συμπεριλαμβάνουν σύγχρονα εργαλεία, όπως τα ΓΣΠ. Οι αναλυτικές αυτές μέθοδοι για την εξέταση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και της χωρικής διάστασης της τρωτότητας υιοθετούνται εκτεταμένα σε διάφορες φάσεις του προ-καταστροφικού σχεδιασμού και στοχεύουν στην ενδυνάμωση της προσαρμοστικότητας (resilience) των κοινωνικών συστημάτων απέναντι στους κινδύνους. Τα αποτελέσματα αυτών των μεθοδολογιών αποδίδονται σε χαρτογραφικά επίπεδα που παρουσιάζουν την τρωτότητα σε διακριτά μεγέθη, αναδεικνύοντας έτσι το βαθμό της διακινδύνευσης που παρέπεται.

Σε πολλές περιπτώσεις μοντέλα ανάλυσης παρουσιάζουν μικρές ή μεγαλύτερες μεταξύ τους διαφορές που αποδίδονται ενίστε στις διαφορετικές εννοιολογικές και θεωρητικές προσεγγίσεις της τρωτότητας και άλλοτε είναι απόρροια της προέλευσης της επιστημονικής κατάρτισης του ερευνητή ή της ομάδας που σχεδιάζει τη μεθοδολογία.

2.2. Τα μοντέλα εκτίμησης της τρωτότητας στα τσουνάμι

Η ανάγκη για την εδραίωση της ασφάλεια των ανθρώπινων κοινωνιών οδήγησε στην ανάπτυξη αναλυτικών συστημάτων/ μοντέλων για την εκτίμηση της τρωτότητας στα τσουνάμι που εστιάζουν στην αξιολόγηση της ανθρώπινης τρωτότητας (βλ. Schmidtlein and Wood, 2015), της δομικής τρωτότητας του κτιριακού αποθέματος (βλ. Omira et al., 2010 και Atillah et al., 2011) και της περιβαλλοντικής τρωτότητας (βλ. Kaiser et al., 2013) των παράκτιων ζωνών που φέρονται ως επιρρεπείς στα κύματα τσουνάμι. Σε αυτά τα μοντέλα η εν λόγω έννοια παρουσιάζεται σαν συνάρτηση φυσικών και κοινωνικών παραμέτρων και τα αποτελέσματά τους επιδιώκουν στο να παρουσιάσουν με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια μια πραγματική εικόνα της τρωτότητας μέσα σε ένα σαφώς καθορισμένο χωρικό και χρονικό πλαίσιο (Papathoma et al., 2003).

Η εφαρμογή τέτοιων προσεγγίσεων προϋποθέτει τον προσδιορισμό της ζώνης κατάκλυσης που προκύπτει από την κατασκευή του «σεναρίου» εμφάνισης ενός ενδεχόμενου τσουνάμι. Το «σενάριο» συνδέεται με τους πιθανούς μηχανισμούς γέννησης ώστε να υπολογιστεί το μέγεθος και η δυναμική του κύματος και να αποδοθεί μια μέγιστη τιμή του run-up των πλημμυρικών ροών οριοθετώντας την εκάστοτε περιοχή μελέτης. Το μέγεθος του run-up βασίζεται είτε σε ιστορικά ή ερευνητικά δεδομένα καταλόγων τσουνάμι είτε σε προσομοιώσεις.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της τρωτότητας περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων: το εύρος της διείσδυσης των πλημμυρικών ροών, το βάθος του νερού στην πλημμυρισμένη ζώνη, τα πρότυπα κατασκευής των κτιρίων, τα πολεοδομικά στοιχεία, την ανθρώπινη φυσιολογία κ.α. Σε πολλές περιπτώσεις συνεκτιμώνται η κοινωνικο-οικονομική κατάσταση, η ετοιμότητα και η αντίληψη για την διακινδύνευση. Η ανάλυση των δεδομένων και η οπτικοποίηση των παραγόμενων χαρτογραφικών επιπέδων πραγματοποιείται από λογισμικά ΓΣΠ. Σε κάποιες περιπτώσεις ερευνητικές ομάδες αναπτύσσουν και παρέχουν εργαλεία (tools) εκτίμησης της τρωτότητας συμβατά με τα λογισμικά ΓΣΠ για τη διευκόλυνση άλλων ερευνητών (βλ. Dall'Osso and Dominey-Howes, 2009 και Jones et al., 2014).

2.3. Το μοντέλο «Εκτίμησης της Τρωτότητας στα Τσουνάμι Παπαθωμά (PTVA model)»

Το μοντέλο PTVA (Papathoma Tsunami Vulnerability Assessment) σχεδιάστηκε με σκοπό να υπολογίσει διάφορους τύπους της απορρέουσας τρωτότητας στα θαλάσσια κύματα βαρύτητας. Βασίζεται σε λεπτομερείς καταγραφές των επιπτώσεων στην παράκτια ζώνη από τσουνάμι που έχουν συμβεί στο παρελθόν. Για το σκοπό αυτό, καταγράφει και ιεραρχεί την επίδραση μιας σειράς από μηχανικά, φυσικά, κοινωνικά κ.α. στοιχεία των δομών των παράκτιων οικισμών. Το μοντέλο εφαρμόζεται σε συνδυασμό με τη χρήση λογισμού ΓΣΠ και μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένα δυναμικό αναλυτικό σύστημα καθώς οι εγγραφές στη βάση δεδομένων που χρησιμοποιεί μπορούν να ενημερώνονται και να μεταβάλλονται χωρικά και χρονικά. Το PTVA έχει υποστεί βελτιώσεις με την πάροδο του χρόνου και έχει αξιολογηθεί ως προς την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του με δεδομένα από το τσουνάμι του 2004 στον Ινδικό Ωκεανό (βλ. Dominey-Howes and Papathoma, 2007).

Η μεθοδολογία υπολογίζει έναν δείκτη σχετικής τρωτότητας (Relative Vulnerability Index – *RVI*) για κάθε κτίριο που βρίσκεται στη ζώνη κατάκλυσης μέσω της εκτέλεσης μαθηματικών συναρτήσεων οι οποίες συνεκτιμούν κρίσιμες παραμέτρους που ελέγχουν την τρωτότητα των κτιρίων. Χρησιμοποιεί δεδομένα χωρικής πληροφορίας και μια βάση δεδομένων που είτε παρέχεται από φορείς με ενσωματωμένα τα πληροφοριακά στοιχεία είτε συμπληρώνεται με τη συλλογή αυτών με έρευνα πεδίου. Τα πρώτα περιλαμβάνουν τοπογραφικούς χάρτες, ψηφιακά δεδομένα για το υψόμετρο, δορυφορικές εικόνες ή αεροφωτογραφίες και στοιχείουν στην ακριβή αποτύπωση του χώρου και στην παραγωγή θεματικών επιπέδων του κτιριακού αποθέματος, του οδικού δικτύου κ.α. Τα στοιχεία στη βάση δεδομένων μπορούν να ομαδοποιηθούν σε βασικές ομάδες που αφορούν στα χαρακτηριστικά του δομημένου περιβάλλοντος, στα κοινωνικο-οικονομικά και δημογραφικά δεδομένα καθώς και στους που δομιμένου περιβάλλοντος και φυσικούς παράγοντες (Papathoma et al., 2003). Οι παράμετροι που δημιουργούν τις παραπάνω ομάδες κωδικοποιούνται με αριθμητικές τιμές, βάσει μιας μικρής σχετικής κλίμακας που απλοποιεί των υπολογισμούς (Εικόνα 5).



Εικόνα 5. Μελέτες περίπτωσης εφαρμογής του μοντέλου PTVA στο Ηράκλειο (αριστερά) και στην Αλεξάνδρεια (δεξιά). Πηγή: Papathoma et al., 2003 και Eckert et al., 2012

Πρόσφατα το μοντέλο αναθεωρήθηκε στην έκδοση PTVA-3, η οποία χρησιμοποιήθηκε και για τον ερευνητικό σκοπό της παρούσας εργασίας. Η νέα προσέγγιση σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη πρόσφατα ερευνητικά στοιχεία για τη δομική τρωτότητα των κτιρίων. Βασικό χαρακτηριστικό του νέου μοντέλου είναι η στάθμιση των κυρίων παραμέτρων με συντελεστές βαρύτητας που προέκυψαν μέσω της μεθόδου της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (Analytical Hierarchy Process – AHP). Ο νέος δείκτης σχετικής τρωτότητας (RVI) προκύπτει από το σταθμισμένο άθροισμα της φέρουσας ικανότητας του κτιρίου στις οριζόντιες υδροδυναμικές πιέσεις των πλημμυρικών ροών και της ευπάθειας των δομικών στοιχείων του κτιρίου στην επαφή τους με το νερό. Το δεύτερο μέρος αποτέλεσε την «παρέμβαση» των Dall'Osso et al., (2009) στη μεθοδολογία.

3. Η γεωγραφία του νησιωτικού συμπλέγματος της Θήρας

3.1. Γενικά χαρακτηριστικά

Η νήσος Θήρα ή Σαντορίνη είναι νησί του Νοτίου Αιγαίου που εντάσσεται στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων και αποτελεί μέρος ενός επιμέρους συμπλέγματος νησιών ηφαιστειακής προέλευσης (Θήρα, Θηρασία, Ασπρονήσι, Παλαιά και Νέα Καμένη, Χριστιανά). Η Θήρα, η Θηρασία και το Ασπρονήσι αποτελούν τα υπολείμματα της προϊστορικής Στρόγγυλης, ενός νησιού που δημιουργήθηκε από την ηφαιστειακή δραστηριότητα κατά το Πλειο-Τεταρτογενές, από το σχήμα του οποίου προέρχεται η αρχαία ονομασία της. Οι Παλαιά και Νέα Καμένη αποτελούν κρατήρες ηφαιστειακών κέντρων που ενεργοποιήθηκαν κατά τους ιστορικούς χρόνους, μεταξύ 46-426 μ.Χ. και 1570-1950 μ.Χ., αντίστοιχα (Druitt et al., 1999). Το σχήμα του συμπλέγματος είναι κυκλικό και στο εσωτερικό του συνίσταται από ηφαιστειακούς κρατήρες, πυριγενή πετρώματα, το μεταμορφωμένο υπόβαθρο και από το απότομο πρανές/ καλντέρα που σχηματίστηκε κατά τις εκρηκτικές φάσεις του ηφαιστείου στις αρχές της Ύστερης Εποχή του Χαλκού, περίπου 3600 χρόνια πριν από σήμερα (Sparks, 1979, McCoy and Heiken, 2000, Cita and Aloisi, 2000). Το μέγιστο βάθος της καλντέρας φτάνει τα 389 m κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, το ύψος των πρανών κυμαίνεται μεταξύ 150-350 m και το μέγιστο υψόμετρο ανέρχεται σε 564 m, στα νοτιοανατολικά της νήσου Θήρας, στο Όρος Προφήτης Ηλίας (Εικόνα 7).

Η Θήρα και η Θηρασία, τα δύο νησιά που κατοικούνται καταλαμβάνουν έκταση 76 και 10 km² και μόνιμο πληθυσμό 15.231 και 319 κατοίκους, αντίστοιχα (ΕΛΣΤΑΤ, 2011). Ο πληθυσμός του συμπλέγματος εμφανίζει αυξητική τάση κατά 100% (Πίνακας 1) τις τελευταίες πέντε δεκαετίες, με μέσο ρυθμό αύξησης 16,5% ανά δεκαετία. Η πληθυσμιακή αύξηση, παρά την αρχική μείωση του πληθυσμού τη δεκαετία του '60, είναι αποτέλεσμα της οικονομικής ανάπτυξης που επήλθε από τη σταδιακή ανοικοδόμηση και την ανανέωση του κτιριακού αποθέματος του νησιού μετά από τον καταστρεπτικό σεισμό του 1956. Η κατανομή των ηλικιακών ομάδων αποτυπώνει έναν ώριμο προς γερασμένο πληθυσμοά αποτέλεσμα της συρρίκνωσης των γεννήσεων των τελευταίων δύο δεκαετιών (Εικόνα 6). Η πληθυσμιακή πυκνότητα στη νήσο Θήρα ανέρχεται στους 172 κατοίκους/ km² (ΕΛΣΤΑΤ, 2011). Η οικονομία της Θήρας βασίζεται κυρίως στον τουρισμό και στην παροχή υπηρεσιών. Ως προς τη διάρθρωση της οικονομίας κυρίαρχο ρόλο έχει ο τριτογενής τομέας της παραγωγής και έπονται ο δευτερογενής και πρωτογενής τομέας.



Εικόνα 6. Πληθυσμιακή πυραμίδα της Θήρας. Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011

Απογραφή	Πληθυσμός	Μεταβολή %
1961	7.751	-
1971	6.196	-20%
1981	7.083	+14,3%
1991	8.771	+23,8%
2001	12.440	+41,9%
2011	15.231	+22,4%

Πίνακας 1. Μεταβολή του πληθυσμού της Θήρας. Πηγή: Αποστολάκη, 2007, ΕΛΣΤΑΤ, 2011

Η σχέση των κτισμάτων με την τοπογραφία είναι άμεσα συνυφασμένη. Η μορφολογία του χερσαίου αναγλύφου, με τα απόκρημνα πρανή στην καλντέρα και με τις περισσότερο ήπιες κλήσεις προχωρώντας προς την ενδοχώρα, ορίζει την πολεοδομική υφή των οικιστικών συγκροτημάτων. Οι οικισμοί διακρίνονται σε γραμμικούς (Φηρά, Οία, Ημεροβίγλι), οικισμούς/ οχυρά (Πύργος, Εμπορείο, Ακρωτήρι), σε οικισμούς με κύριο αρχιτεκτονικό χαρακτηριστικό τα υπόσκαφα κτίσματα (Βόθωνας, Φοίνικας, Καρτεράδος) και στους νεώτερους παράκτιους οικισμούς (Περισσά, Καμάρι).

Το κλίμα χαρακτηρίζεται ως Υπο-τροπικό Μεσογειακό με μέση ετήσια εξατμισοδιαπνοή 720 mm και με τη ξηρή περίοδο να διαρκεί για επτά μήνες, από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο. Από την ανάλυση μετεωρολογικών δεδομένων των πέντε τελευταίων δεκαέτιων προκύπτει ότι η μέση ετήσια βροχόπτωση στη Θήρα ανέρχεται σε 304 mm, το 86% της οποίας πέφτει ως κατακρημνίσματα μεταξύ των μηνών Νοεμβρίου και Μαρτίου. Η μέση ετήσια θερμοκρασία φτάνει τους 17,9 °C και η μέση τιμή της σχετικής υγρασίας κυμαίνεται από περίπου 60% τον Ιούλιο έως 72% το Νοέμβριο (Moustakas and Georgoulias, 2005).

Το σημερινό ανάγλυφο της Θήρας είναι αποτέλεσμα της προ-Μινωικής τοπογραφίας και της μετέπειτα ηφαιστειακής δράστηριότητας. Η επίδραση της ηφαιστειότητας στη γεωμορφολογία χαρακτηρίζεται σημαντική στις περιοχές πλησίον των ηφαιστειακών κέντρων και μικρότερη όσο αυξάνεται η απόσταση από αυτά. Το υδρογραφικό δίκτυο της Θήρας είναι ακτινωτό και οι υδροκρίτες, σχεδόν στο σύνολό τους, ακολουθούν την ίδια διάταξη εκτός αυτών της περιοχής του Προφήτη Ηλία που έχουν ένα περισσότερο τετραγωνισμένο σχήμα. Η μεγαλύτερη υδρογραφική πυκνότητα παρουσιάζεται στις περιοχές με έντονο ανάγλυφο και σχετικά απότομες κλίσεις, όπου παρατηρείται και έντονη κατά βάθος διάβρωση (Γκουρνέλος κ.α., 1998). Αντίθετα στις περιοχές με ομαλές μορφολογικές κλίσεις το υδρογραφικό δίκτυο είναι ελάχιστα ανεπτυγμένο.



Εικόνα 7. Δορυφορική εικόνα με υπέρθεση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM) του νησιωτικού συμπλέγματος της Θήρας. Πηγή: Κτηματολόγιο Α.Ε.

3.2. Η γεωλογία

Το προ-ηφαιστειακό υπόβαθρο της Θήρας αντιπροσωπεύει ένα μη ηφαιστειογενές νησί τμήματα του ανάγλυφου του οποίου εντοπίζονται κυρίως στο νότιο τμήμα του νησιού, στο όρος του Προφήτη Ηλία, στις θέσεις Πύργος και Βλυχάδα και στους όρμους της Πλάκας και του Αθηνιού, όπου βρίσκεται το κύριο λιμάνι. Αποτελεί το Μεσοζωικό terrain το οποίο είναι τμήμα του ορογενετικού τόζου των Ελληνίδων – Ανατολίδων που μετασχηματίστηκε κατά το τέλος του Καινοζωικού Αιώνα (McCoy and Heiken, 2000). Οι ιζηματογενείς και μεταμορφωμένοι σχηματισμοί της Θήρας συνίστανται κυρίως από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, δολομίτες, φυλλίτες και μάρμαρα ηλικίας Μεσοζωικού έως πρώιμου Καινοζωικού που εντάσσονται στον Αλπικό κύκλο (Ελευθερίου και Σοφίας, 1984, Vespa et al., 2006).

Το μεγαλύτερο τμήμα του συμπλέγματος καλύπτεται από ηφαιστειακές αποθέσεις τουλάχιστον δώδεκα εκρηκτικών φάσεων που έχουν πραγματοποιηθεί από το ανώτερο Πλειόκαινο έως σήμερα. Οι Πλειο-τεταρτογενείς ηφαιστειακοί σχηματισμοί αποτελούνται από αποθέσεις πυροκλαστικών υλικών και λάβες. Οι κυριότεροι τύποι αυτών είναι βασάλτες, ανδεσιτικοί βασάλτες, ανδεσίτες, δακίτες, ρυοδακίτες, ρυόλιθοι, κίσσηρης, ιγκνιμβρίτες κ.α. (McCelland and Druit, 1989, Bardot, 2000). Τα αρχαιότερα εξ αυτών στρώματα συναντώνται στο νοτιοδυτικό τμήμα της Θήρας και προέρχονται από ηφαιστειακά κέντρα του νότιου υποθαλάσσιου χώρου (Εικόνα 8).



Εικόνα 8. Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης του νησιωτικού συμπλέγματος της Θήρας. Πηγή: Βουγιουκαλάκης, 1997

3.3. Το τεκτονικό καθεστώς

Η Ανατολική Μεσόγειος χαρακτηρίζεται από την τυπική περίπτωση της σύγκλισης των τεκτονικών πλακών. Οι γεωλογικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή χαρακτηρίζονται ως οι πλέον τεκτονικά ενεργές στον ευρωπαϊκό χώρο. Εκεί αρχαία υπολείμματα του ωκεανού της Τηθύος υποβυθίζονται με ταχύτητα σύγκλισης περίπου 4,5-5 cm/ έτος κάτω από την πλάκα του Αιγαίου (Παπανικολάου και Σίδερης, 2005). Η ζώνη υποβύθισης ή ζώνη Benioff, όπως χαρακτηριστικά αποκαλείται, έχει αμφιθεατρικό σχήμα και όπως προκύπτει από τα σεισμικά προφίλ εκτιμάται ότι βρίσκεται σε βάθη μεταξύ 150 έως 180-200 km (Bohnhoff et al., 2006, Dimitriadis et al., 2009). Η διαδικασία υποβύθισης εξελίσσεται από το κυρτό προς τα κοίλο μέρος του ελληνικού τόξου με σχετικά μικρή γωνία, της τάξης των 30°, και άρχισε περίπου πριν από 13 εκ. χρόνια (Perissoratis, 1995).

Ο νότιος ελληνικός χώρος, όπως συμβαίνει σε όλες τι ζώνες σύγκλισης μιας ωκεάνιας πλάκας κάτω από μια ηπειρωτική, εμφανίζει την αναμενόμενη διάταξη των επιμέρους δομών που συνθέτουν το γεωγραφικό χώρο της υπό εξέλιξη τεκτονικής διαδικασίας (Εικόνα 9). Στο Νότιο Αιγαίο αναπτύσσεται μια τυπική ηφαιστειακή δραστηριότητα σχηματίζοντας το ηφαιστειακό τόξο το οποίο αναπτύσσεται περίπου 150 km βόρεια της ζώνης υποβύθισης, έχει μήκος 500 km και πλάτος 20-40 km. Πυρήνας της ηφαιστειακής δραστηριότητας αποτελεί το ηφαιστειακό σύμπλεγμα της νήσου Θήρας.

Η σεισμικότητα στο Νότιο Αιγαίο ελέγχεται από τη διαδικασία της σύγκλισης των τεκτονικών πλακών, τις ρηξιγενείς ζώνες αποτέλεσμα του εφελκυσμού και την ηφαιστειακή δραστηριότητα κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξο. Το βάθος των υποκέντρων των σεισμών που συμβαίνουν στο ελληνικό τόξο μειώνεται σε συνάρτηση με την απόσταση από αυτό, προς τα βόρεια, αντικατοπτρίζοντας την υποβυθιζόμενη πλάκα και τη ζώνη Benioff. Οι κατάλογοι των σεισμών υποδεικνύουν ότι η σεισμικότητα στο Νότιο Αιγαίο είναι μικρότερη από αυτή των ορίων του ελληνικού τόξου και τοπικά πολωμένη (Εικόνα 10). Οι πλησιέστερες στο νησιωτικό σύμπλεγμα της Θήρας σεισμικές εστίες έχουν καταγραφεί από ενόργανες παρατηρήσεις στα βόρεια της ηφαιστειακής καλντέρας. Η πλέον ενεργή σεισμική ζώνη της ευρύτερης περιοχής βρίσκεται στα βορειοανατολικά του νησιού και εστιάζεται στην τεκτονική δομή της τάφρου της Αμοργού. Εκεί σύμφωνα με τις ενόργανες καταγραφές εκδηλώνονται σεισμοί με επιφανειακά εστιακά βάθη και με μεγέθη που ξεπερνούν τα 7 M_w (Bohnhoff et al., 2006).



Εικόνα 9. Οι κύριες τεκτονικές συνιστώσες της διαδικασίας υποβύθισης. Πηγή: Dominey-Howes, 2004



Εικόνα 10. Σεισμικά επίκεντρα στη περιοχή του Νοτίου Αιγαίου. Πηγή: Bohnhoff et al., 2006
4. Ο προσδιορισμός της περιοχής μελέτης, το ακραίο «σενάριο» και η ανθρώπινη τρωτότητα

4.1. Οι μηχανισμοί γέννησης και τα χαρακτηριστικά των τσουνάμι στο Νότιο Αιγαίο

Η γεωλογική και ανθρώπινη ιστορία του Νοτίου Αιγαίου έχει συνδεθεί με την εμφάνιση αρκετών τσουνάμι. Το πλέον γνωστό γεγονός είναι αυτό που σγετίζεται με την μινωική έκρηξη του ηφαιστείου της Θήρας, τον 17° αιώνα π.Χ. Το τσουνάμι που έπληξε τις ακτές και τις νησιωτικές περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου πιστεύεται ότι προκλήθηκε από διπλό μηχανισμό γέννησης. Σύμφωνα με τους McCoy and Heiken (2000), το κύμα που προηγήθηκε δημιουργήθηκε κατά την είσοδο των πυροκλαστικών ροών στη θάλασσα, διαδόθηκε περιμετρικά του νησιού και ήταν μικρότερο σε μέγεθος από το επόμενο. Ο δεύτερος μηχανισμός γέννησης, ο οποίος προκάλεσε το μεγαλύτερο κύμα, συνδέεται με την κατάρρευση του ηφαιστειακού κώνου κατά την τελευταία φάση της έκρηξης. Πιστεύεται πως μετά την εκτίναξη μεγάλων ποσοτήτων ηφαιστειακού υλικού ο κώνος του ηφαιστείου άδειασε και κατέρρευσε δημιουργώντας την καλδέρα (Druitt and Francaviglia, 1992, Cita and Rimoldi, 1997). Ενδείξεις για το μέγεθος του τσουνάμι έχουν συνδεθεί με αποθέσεις ιζημάτων στην στρωματογραφία παράκτιων περιοχών σε όλη τη Μεσόγειο. Χαρακτηριστικά, στο Νότιο Αιγαίο έχουν εντοπιστεί αποθέσεις πάχους 3,5 m στην θέση Πόρι στη Θήρα, ενώ στην Ανάφη εντοπίστηκαν θαλάσσια ιζήματα σε ύψος 40-50 m από τη σημερινή μέση στάθμη της θάλασσας. Εκτιμάται ότι στη βόρεια Κρήτη το κύμα έφτασε σε περίπου 30 λεπτά, σε 70 λεπτά στη δυτική Κύπρο και μετά από περίπου δύο ώρες στις ακτές της Μέσης Ανατολής (McCoy and Heiken, 2000).

Καταγραφές, μέσω ιστορικών μαρτυρίων, περιγράφουν την εμφάνισης ενός ακόμα σημαντικού τσουνάμι που συνδέεται με τον ισχυρό σεισμό, με μέγεθος 8,3-8,5 M_w, που συνέβη το 365 μ.Χ. Παρότι η ακριβής θέση του σεισμού είναι αβέβαιη, ενδείξεις τεκτονικής ανύψωσης έως και 10 m από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας στην δυτική Κρήτη, αλλά και οι παρατηρήσεις για τη σύγχρονη σεισμικότητα στην περιοχή, αποδίδουν την εμφάνιση του γεγονότος στην ενεργοποίηση της ρηξιγενούς ζώνης στα δυτικά της Κρήτης, η οποία δεν συνδέεται με τη διαδικασία υποβάθμισης των τεκτονικών πλακών στο ελληνικό τόξο. Υπολογισμοί για την επιφανειακή παραμόρφωση εξαιτίας του σεισμού, εκτιμούν ότι αυτή απετέλεσε αίτιο γέννησης τσουνάμι που προκάλεσε σημαντικές καταστροφές σε παράκτιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου. Χαρακτηριστικά, ιστορικές πηγές αναφέρουν τις σημαντικές επιπτώσεις του κύματος στις ακτές της βόρειας Αφρικής και την καταγραφή αυτού έως τις ακτές της Αδριατικής και της Σικελίας. Μοντέλα προσομοίωσης περιλαμβάνουν στις περιοχές που επλήγησαν από το τσουνάμι την Πελοπόννησο και τις Κυκλάδες, όπου σύμφωνα με αυτά εκτιμάται ότι έχει καταγραφεί ένα σημαντικό run-up. O Shaw (2012), υποστηρίζει ότι ο χρόνος επανεμφάνισης ενός τσουνάμι με όμοια χαρακτηριστικά, το οποίο συνδέεται με την ενεργοποίηση του συγκεκριμένου ρήγματος, είναι περίπου 5000 χρόνια. Η σύγκριση με αντίστοιχες δομές κατά μήκος του ελληνικού τόξου, σύμφωνα με τον ίδιο, θέτει το χρόνο επανεμφάνιση τέτοιων γεγονότων στα 800 χρόνια.

Ο σεισμός του 1303 μ.Χ. επίσης, συνδέεται με την εμφάνιση τσουνάμι που προκάλεσε καταστροφές στις παράκτιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου. Ο σεισμός που συνέβη στα ανατολικά της Κρήτης εκτιμάται ότι είχε μέγεθος 8 M_w και συνδέεται με τη διαδικασία υποβύθισης στο ελληνικό τόξο (Papadopoulos et al., 2014). Ιστορικές μαρτυρίες αναφέρουν μεταξύ των επιπτώσεων· απώλειες σε ζωές και βλάβες σε κτίρια που προκλήθηκαν από τις πλημμυρικές ροές του κύματος. Οι σημαντικότερες καταστροφές καταγράφηκαν στην πόλη της Αλεξάνδρειας η οποία επλήγει 40 λεπτά μετά την εκδήλωση του σεισμού όπου το μέγιστο run-up εκτιμάτε ότι έφτασε τα 9 m. (Hamouda, 2006). Το μέγεθος και η ένταση του κύματος πιστεύεται ότι ήταν μικρότερα στη διάδοσή του προς Βορά.

Το τσουνάμι του 1650 εκτιμάται ότι σχετίζεται με την υποθαλάσσια κατολίσθηση που προκάλεσε η κατάρρευση του κώνου του ηφαιστειακού ύφαλου Κολούμπο, ο οποίος βρίσκεται 6,5 km βορειοανατολικά της Θήρας. Ιστορικές καταγραφές μαρτυρούν ότι η διείσδυση των πλημμυρικών ροών ξεπέρασε σε ορισμένες παράκτιες περιοχές των νησιών του Νοτίου Αιγαίου σημεία τα 3 km από την ακτογραμμή προκαλώντας καταστροφές και μεταβολές στη παράκτια γεωμορφολογία (Dominey-Howes et al., 2002). Μελέτες στην στρωματογραφία και η χρονολόγηση δειγμάτων θαλάσσιας πανίδας και χλωρίδας που πραγματοποιήθηκε από τους Dominey-Howes et al. (2000b) δεν κατέδειξε κάποιο στρώμα αποθέσεων που να σχετίζεται με το τσουνάμι του 1650. Σύμφωνα με τους ίδιους οι ιστορικές και λογοτεχνικές αναφορές που περιέγραφαν τα χαρακτηριστικά του κύματος υπερεκτιμήθηκαν και οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι το τσουνάμι δεν απέθεσε ιζήματα στις περιοχές που διερευνήθηκαν. Σύμφωνα με τους Ulvrová et al. (2014) το κύμα έφτασε στις βόρειες ακτές του νησιού σε 4 λεπτά στις ανατολικές ακτές σε 8 λεπτά και στις νότιες σε 14 λεπτά. Το ύφος του κύματος στην ακτογραμμή βάση του μοντέλου προσομοίωσης που χρησιμοποίησαν οι ίδιοι κυμάνθηκε από 0,4-9 m.

Το 1956 τα νησιά του Νοτίου Αιγαίου επλήγησαν από το πιο καταστροφικό κύμα τσουνάμι της σύγχρονης ελληνικής ιστορίας. Το τσουνάμι πιστεύεται ότι είχε ως μηχανισμό γέννησης την υποθαλάσσια κατολίσθηση που ενεργοποιήθηκε από το σεισμό με μέγεθος 7.5 R, με επίκεντρο στο νοτιοδυτικό άκρο της τάφρου της Αμοργού (Ambraseys, 1960, Dominey-Howes, 2002). Από καταγραφές των χαρακτηριστικών του κύματος προκύπτει ότι το μέγεθός του καθώς και η ένταση των καταστροφών από τις οποίες συνοδεύτηκε παρουσίασαν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις παράκτιες περιοχές των Κυκλάδων που αυτό έπληξε. Χαρακτηριστικά, στην Αστυπάλαια το ύψος του κύματος έφτασε περίπου τα 5 m και η διείσδυση των πλημμυρικών ροών ξεπέρασε σε ορισμένες περιπτώσεις τα 360 m από την ακτογραμμή, προκαλώντας καταστροφές στην παράκτιες δύανη του νησιού (Ambraseys, 1960). Οι Dominey-Howes et al. (2000a), πραγματοποιώντας αναλύσεις στη στρωματογραφία και χρονολογήσεις θαλάσσιων ιζημάτων σε δύο παράκτιες θέσεις στην Αστυπάλαια κατέδειξαν ότι η διείσδυση των πλημμυρικών ροών έφτασε τουλάχιστον τα 10 m από την ακτογραμμή. Από το θαλάσσιο κύμα που συνόδευσε το σεισμό του 1956, η νήσος Θήρα παρότι επλήγη περίπου 15 λεπτά μετά από την έναρξη διάδοση των κυμάτων, στις ανατολικές ακτές, εντούτοις δεν φαίνεται να προκλήθηκαν στο νησί σημαντικές καταστροφές.



Εικόνα 11. Κατάλογος των καταγεγραμμένων τσουνάμι στον ελληνικό χώρο. Πηγή: Maramai et al., 2014

Πίνακας 2. Εντάσεις των	σημαντικότερων	τσουνάμι που	εκδηλώθηκαν	στο Νότιο	Αιγαίο. Πηγή	j: Maramai et al., 2014
-------------------------	----------------	--------------	-------------	-----------	--------------	-------------------------

Γεγονός	Κλίμακα Έντασης Sieberg-Ambraseys	Κλίμακα Έντασης Papadopoulos-Immamura	
1630 π.Χ.	6	X-XI	
365	6	X	
1303	6	X	
1650	6	X	
1956	6	IX	

4.2. Η έκθεση των παράκτιων οικισμών

Βασικός σκοπός της εργασίας είναι η εκτίμηση της τρωτότητας σε επίπεδο οικισμού. Έτσι, για τον περεταίρω προσδιορισμό της περιοχής μελέτης κρίθηκε ως απαραίτητη η διερεύνηση της έκθεσης ορισμένων σημαντικών συνθετικών στοιχείων των παράκτιων οικισμών στις ανατολικές ακτές της Θήρας. Για αυτό το σκοπό ακολουθήθηκε μια μεθοδολογία που έχει εφαρμοστεί ως μέρος του σχεδιασμού για τον μετριασμό των επιπτώσεων από φυσικούς και τεχνολογικούς κινδύνους τόσο στις Η.Π.Α. όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο (βλ. Odeh, 2002, Tanislav et al., 2009). Η προσέγγιση αυτή μάλιστα έχει γίνει αποδεκτή ως εργαλείο για την παρακολούθηση της διακύμανσης της έκθεσης και της τρωτότητας από την αμερικανική FEMA (βλ. Simpson and Human, 2008).

Στόχος της μεθοδολογίας είναι η ποσοτικοποίηση της σχετικής έκθεσης μέσω της εξέτασης των πολυ-επίπεδων δομών και των λειτουργιών που συνθέτουν το υπό εξέταση χωρικό επίπεδο και αποτελούν οντότητες εκτεθειμένες σε φυσικούς κινδύνους. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία η συνολική έκθεση εκφράζεται ως το άθροισμα επιμέρους συνιστωσών έκθεσης, οι οποίες προσδιορίζονται από μεταβλητές που, εν δυνάμει, προσδίδουν τρωτότητα στα υπό διερεύνηση συστήματα. Στο πλαίσιο της εκτίμησης της έκθεσης των παράκτιων οικισμών της Θήρας η ζητούμενη έννοια εκφράζεται ως εξής:

$E \kappa \theta \varepsilon \sigma \eta = K \sigma i v \omega v i \kappa \eta \dot{\varepsilon} \kappa \theta \varepsilon \sigma \eta + O i \kappa \sigma v \omega u \kappa \dot{\eta} \dot{\varepsilon} \kappa \theta \varepsilon \sigma \eta + \Phi v \sigma i \kappa \dot{\eta} \dot{\varepsilon} \kappa \theta \varepsilon \sigma \eta$ (4.1)

Για τον υπολογισμό της συνολικής έκθεσης συνεκτιμήθηκαν 15 μεταβλητές που ομαδοποιήθηκαν σε τρείς κύριες ομάδες και σε έξι υπο-ομάδες (Εικόνα 12). Η ομαδοποίηση των μεταβλητών πραγματοποιήθηκε με κριτήριο τον τύπο της τρωτότητας (κοινωνική, οικονομική, φυσική) που αυτές προσδίδουν στις δομές των οικισμών. Το απαραίτητο πληροφοριακό υλικό αντλήθηκε από τους πίνακες «Απογραφής Πληθυσμού – Κατοικιών 2011» της ΕΛΣΤΑΤ και τον ιστότοπο του Ξενοδοχειακού Επιμελητηρίου Ελλάδας. Για την επεξεργασία των στοιχείων, που πραγματοποιήθηκε σε λογισμικό ΓΣΠ, δημιουργήθηκε βάση δεδομένων στην οποία καταγράφηκε το πλήθος των μεταβλητών που δυνητικά ορίζουν τα χαρακτηριστικά και τις διαστάσεις της τρωτότητας στους παράκτιους οικισμούς της Θήρας.

Τα στοιχεία των επιμέρους υπο-ομάδων ταξινομήθηκαν με τη μέθοδο Natural Breaks (Jenks), που παρέχεται στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε. Η μέθοδος αυτή θεωρείται ως η καταλληλότερη για τη δημιουργία κλάσεων στο πλαίσιο ανάπτυξης μεθοδολογιών όπως αυτή που ακολουθείται στην παρούσα εργασία. Έχει σαν στόχο να ελαχιστοποιήσει τη μέση απόκλιση κάθε κλάσης από το μέσο της, μεγιστοποιώντας ταυτόχρονα την απόκλιση κάθε κλάσης από τους μέσους των άλλων κλάσεων. Δηλαδή η μέθοδος επιδιώκει στο να ελαχιστοποιηθεί η διακύμανση μέσα στην κάθε κλάση και να μεγιστοποιηθεί η διακύμανση μεταξύ των άλλων κλάσεων.

Οι μεταβλητές των υπο-ομάδων που αναλύθηκαν επαναταξινομήθηκαν σε πέντε κλάσεις σε κλίμακα σχετικής έκθεσης, προσδίδοντας σε αυτές αριθμητική τιμή στο διάστημα [1, 5], όπου 1: Μικρή (Minor), 2: Μέτρια (Moderate), 3: Μεσαία (Average), 4: Υψηλή (High), 5: Πολύ Υψηλή (Very High). Με το ίδιο σκεπτικό προσδιορίστηκε ο βαθμός έκθεσης των κύριων ομάδων που προέκυψε από την επαναταξινόμηση της αρχικής ταξινόμησης του αθροίσματος του βαθμού έκθεσης των επιμέρους υπο-ομάδων. Όμοια υπολογίστηκε η συνολική έκθεση προσθέτοντας το βαθμό έκθεσης των κυρίων ομάδων (Κοινωνική, Οικονομική και Φυσική έκθεση) ταξινομώντας το άθροισμα αυτών και επαναταξινομώντας τις κλάσεις στην πενταβάθμια κλίμακα σχετικής έκθεσης

Δεδομένου ότι η Θήρα αποτελεί τουριστικό προορισμό, υπολογίστηκε η χειμερινή και η θερινή έκθεση. Η εποχιακή διαφοροποίηση του βαθμού έκθεσης συντελείται από τον πληθυσμό των τουριστών που διαμένει στους οικισμούς. Ο πληθυσμός των επισκεπτών προέκυψε από τη μέγιστη διαθεσιμότητα κλινών στις τουριστικές μονάδες των οικισμών. Η εποχιακή συγκέντρωση των τουριστών συνεκτιμήθηκε στην πληθυσμιακή πυκνότητα καθώς η άφιξή τους αυξάνει την τιμή της μεταβλητής αυτής και επίσης προσμετρήθηκε στις ευπαθείς ομάδες θεωρώντας πως η μητρική γλώσσα και το γεγονός ότι βρίσκονται σε μια άγνωστη προς αυτούς περιοχή τους κατατάσσει στις τρωτές ομάδες του πληθυσμού.

Στα χαρτογραφικά επίπεδα που ακολουθούν παρουσιάζεται η διακύμανση της έκθεσης ως προς τις παραμέτρους που εξετάστηκαν (Εικόνες 13-16) και η διακύμανση των επιμέρους τύπων έκθεσης και της συνολικής έκθεσης (Εικόνες 17-19). Από την ερμηνεία αυτών προκύπτουν οι οικισμοί με την μεγαλύτερη σχετική έκθεση στους οποίους κρίθηκε σημαντικό να εκτιμηθεί η απορρέουσα τρωτότητα στα θαλάσσια κύματα βαρύτητας. Οι οικισμοί αυτοί είναι το Καμάρι και η Περίσσα στο νότιο τμήμα των ανατολικών ακτών της Θήρας.



Εικόνα 12. Διάγραμμα ροής ενεργειών για τον υπολογισμό της σχετικής έκθεσης σε κίνδυνο στους παράκτιους οικισμούς της Θήρας



Εικόνα 13. Εποχιακή σχετική έκθεση του πληθυσμού κατά τη χειμερινή (αριστερά) και θερινή (δεξιά) περίοδο



Εικόνα 14. Εποχιακή σχετική έκθεση του ευάλωτου πληθυσμού κατά τη χειμερινή (αριστερά) και θερινή (δεξιά) περίοδο



Εικόνα 15. Σχετική έκθεση του κτιριακού αποθέματος (αριστερά) και των εγκαταστάσεων των κρίσιμων λειτουργιών (δεξιά)



Εικόνα 16. Σχετική έκθεση των κτιρίων που στεγάζουν την οικονομική δραστηριότητα (αριστερά) και των κατοικιών (δεξιά)



Εικόνα 17. Εποχιακή σχετική κοινωνική έκθεση κατά τη χειμερινή (αριστερά) και θερινή (δεξιά) περίοδο



Εικόνα 18. Σχετική οικονομική (αριστερά) και φυσική έκθεση (δεξιά)



Εικόνα 19. Εποχιακή συνολική σχετική έκθεση κατά τη χειμερινή (αριστερά) και θερινή (δεξιά) περίοδο

4.3. Το «σενάριο» ακραίου run-up

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα κεφάλαια τα τσουνάμι είναι ένας κίνδυνος που δυνητικά μπορεί να προκαλέσει καταστροφές στους παράκτιους οικισμούς της Θήρας. Παρότι δεν υπάρχουν **τεκμηριωμένες** ιστορικές μαρτυρίες ή ερευνητικές αποδείξεις για τα χαρακτηριστικά και την ένταση γεγονότων που έχουν συμβεί στις ακτές της Θήρας κατά τους ιστορικούς χρόνους, ωστόσο θεωρείται βέβαιο ότι οι ανατολικές ακτές του νησιού έχουν βρεθεί αντιμέτωπες με τις καταστροφικές επιπτώσεις των τσουνάμι. Το γεγονός αυτό προκύπτει από ευρήματα ερευνών σε νησιά του Νοτίου Αιγαίου αλλά και στο συσχετισμό των μηχανισμών γέννησης των συγκεκριμένων κυμάτων στην Ανατολική Μεσόγειο με άλλα αίτια γέννησης με συγκρίσιμα χαρακτηριστικά ανά τον κόσμο. Επομένως, προκύπτει η ανάγκη για την διερεύνηση κρίσιμων εννοιών της διαχείρισης καταστροφών, όπως η τρωτότητα των οικισμών που πηγάζει από την επιρρέπεια του νησιού στο συγκεκριμένο κίνδυνο.

Για την εφαρμογή της μεθοδολογίας εκτίμησης της τρωτότητας, που εφαρμόζεται στο πλαίσιο αυτής της εργασίας στους οικισμούς των ανατολικών ακτών της Θήρας, αρχικά απαιτείται ο προσδιορισμός της περιοχής μελέτης που αναμένεται να υποστεί τις επιπτώσεις του καταστρεπτικού κύματος. Στόχος σε αυτό το σημείο είναι η δημιουργία ενός πιθανού ακραίου «σεναρίου» συνδεδεμένου με τα χαρακτηριστικά των μηχανισμών γέννησης του τσουνάμι. Με βάση αυτό το «σενάριο», η ζώνη κατάκλυσης οριοθετείται από τις περιοχές με υψόμετρο μικρότερο από το μέγιστο αναμενόμενο run-up των πλημμυρικών ροών. Η ζώνη κατάκλυσης ταυτίζεται με την περιοχή που χαρακτηρίζεται από τρωτότητα στον εν λόγω κίνδυνο και επομένως η ζώνη αυτή αποτελεί την περιοχή εφαρμογής του μοντέλου.

Από την ανασκόπηση του καταλόγου με τα χαρακτηριστικά των σημαντικότερων καταγεγραμμένων τσουνάμι στην Ανατολική Μεσόγειο και στο Νότιο Αιγαίο (βλ. Maramai et al., 2014), αλλά και αναφορικά στα όσα αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4.1 προκύπτει ότι η εμφάνιση των κυμάτων συνδέθηκε με σεισμούς μεγέθους μεγαλύτερους από 8 M_w που συνέβησαν στο ελληνικό τόξο και με υποθαλάσσιες κατολισθήσεις συνοδά φαινόμενα της υποθαλάσσιας ηφαιστειακής δραστηριότητας του 1650 και του σεισμού του 1956. Σύμφωνα με αυτές τις μελέτες η διακύμανση του μέγιστου καταγεγραμμένου run-up στα νησιά του Νοτίου Αιγαίου προσέγγισε τα 10 m. Οι μετρήσεις αυτές εξαιρούν το γεγονός που προκλήθηκε από την ηφαιστειακή δραστηριότητα στη Θήρα το 1630 π.Χ., καθώς ένα γεγονός με αντίστοιχα χαρακτηριστικά έχει περίοδο επανάληψης της τάξης των χιλιάδων ετών και επιπλέον οι καταστροφές που αναμένονται να συντελεστούν στη Θήρα από μια αντίστοιχης έντασης ηφαιστειακή δραστηριότητα θεωρούνται σημαντικότερες από αυτές ενός

τσουνάμι. Επομένως, στο πλαίσιο εφαρμογής του μοντέλου η ζώνη κατάκλυσης ορίζεται από τις περιοχές που οριοθετούνται από την ακτογραμμή έως την ισοϋψή των 10 m.

Ο προσδιορισμός και η οπτικοποίηση της περιοχής πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση λογισμικού ΓΣΠ. Απαραίτητο υπόβαθρο εργασίας αποτέλεσε το επίπεδο υψομέτρων για τον ακριβή προσδιορισμό του μέγιστου υψομέτρου αναρρίχησης των πλημμυρικών ροών. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM), με διάσταση εικονοστοιχείου 5 m, το οποίο παραχωρήθηκε από την Κτηματολόγιο Α.Ε. Μετά τους απαραίτητους μετασχηματισμούς για τον ορισμό κοινού προβολικού συστήματος με τα άλλα θεματικά επίπεδα που χρησιμοποιήθηκαν, δημιουργήθηκε το ψηφιδωτό (raster) επίπεδο της ζώνης κατάκλυσης στις παράκτιες της Θήρας, που ουσιαστικά αποτελούταν από τα εικονοστοιχεία εκείνα τα οποία είχαν τιμή υψομέτρου μικρότερη και ίση των 10 m. Τέλος, τα υψόμετρα της ζώνης κατάκλυσης μετατράπηκαν σε βάθη των πλημμυρικών ροών μέσω της διαδικασίας επαναταξινόμησης.

Από την παρατήρηση του χάρτη με τα βάθη των πλημμυρικών ροών (Εικόνα 20) προκύπτει ότι το κεντρικό και νότιο τμήμα των ανατολικών ακτών της Θήρας είναι αυτό που αναμένεται να εμφανίσει την μεγαλύτερη χερσαία κάλυψη από τις πλημμυρικές ροές. Στην Εικόνα 21 παρουσιάζεται η ζώνη κατάκλυσης στους οικισμούς του Καμαρίου και της Περίσσας, στους οποίους καταγράφηκε η υψηλότερη έκθεση. Από την περαιτέρω ανάλυση της ζώνης κατάκλυσης προκύπτει ότι η έκταση που αναμένεται να πλημμυρίσει στην Περίσσα είναι διπλάσια από αυτή στο Καμάρι. Η μέγιστη απόσταση που θα διανύσουν οι πλημμυρικές ροές φτάνει τα 985 m στην Περίσσα ενώ στο Καμάρι τα 493 m από την ακτογραμμή (Εικόνα 22). Η διαφοροποίηση των τιμών της μέγιστης απόστασης που αναμένεται να καλύψουν οι πλημμυρικές ροές οφείλεται στην διαφορά τη κλίσης του αναγλύφου. Η μεταβολή της κλίσης εμφανίζεται μικρότερη στις παράκτιες περιοχές στα νότια του όγκου του Προφήτη Ηλία, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την κάλυψη μεγαλύτερης χερσαίας έκστασης και ταυτόχρονα την εμφάνιση μεγαλύτερου μέσου βάθους στις πλημμυρισμένες περιοχές. Το μέσο βάθος της πλημμύρας στην Περίσσα είναι 5,7 m ενώ το αντίστοιχο στο Καμάρι είναι 4,6 m.



Εικόνα 20. Η ζώνη κατάκλυσης στη νήσο Θήρας από τσουνάμι με μέγιστο run-up $10~{\rm m}$



Εικόνα 21. Η ζώνη κατάκλυσης στους οικισμού του Καμαρίου (αριστερά) και της Περίσσας (δεξιά)



Εικόνα 22. Εκτιμώμενη απόσταση διείσδυσης των πλημμυρικών ροών από το τσουνάμι.

4.4. Η εκτίμηση της ταχύτητας και του χρόνου διείσδυσης των πλημμυρικών ροών

Για την καλύτερη κατανόηση των χαρακτηριστικών του κύματος τσουνάμι που εξετάζεται σαν ακραίο «σενάριο», υπολογίστηκαν η ταχύτητα διείσδυσης των πλημμυρικών ροών κατά την κίνησή τους προς το μέγιστο run-up και ο χρόνος που χρειάζονται αυτές για να κατακλύσουν την ενδοχώρα. Αν και ο σκοπός της εργασίας δεν είναι να υπολογίσει με ακρίβεια τα φυσικά χαρακτηριστικά του κύματος, οι δύο αυτές κρίσιμες τιμές βοηθούν στο να σχηματίσουμε μια καλύτερη αντίληψη για τη δυναμική των καταστροφικών επιπτώσεων του κύματος στους παράκτιους οικισμούς.

Για τον υπολογισμό της ταχύτητας, στην βιβλιογραφία, προτείνονται αρκετές μέθοδοι. Ο Bryant (2008), παρουσιάζει δύο μαθηματικούς τύπους στους οποίους η ταχύτητα υπολογίζεται ως συνάρτηση του βάθους των πλημμυρικών ροών κατά την κίνησή τους στην ενδοχώρα. Ο πλέον σύνθετος τύπος συνυπολογίζει την κλίση των ροών ως προς το επίπεδο στο οποίο κινούνται και την τραχύτητα της επιφάνειας πάνω στην οποία ρέουν. Η τραχύτητα του εδάφους σχετίζεται με την κάλυψη γης και ορίζεται μέσω του συντελεστή *Manning (n)*, ο οποίος εκφράζει τις αντιστάσεις που προκαλεί η επαφή της επιφάνειας με το ρευστό. Η δεύτερη παράμετρος, η κλίση των ροών, είναι μια μεταβλητή η οποία δύσκολα μπορεί να εκτιμηθεί και απαιτεί την καταγραφή της στην έρευνα πεδίου. Συνεπώς, η ταχύτητα υπολογίστηκε από τον απλούστερο τύπο σύμφωνα με τον οποίο η ταχύτητα εκτιμάται συναρτήσει του βάθους της πλημμύρας και δίνεται από τον μαθηματικό τύπο που έχεις ως εξής:

$$V_r = 2 (g H_s)^{0.5}$$
 (4.2)

Όπου V_r η ταχύτητα διείσδυσης των πλημμυρικών ροών που εκφράζεται σε m/s, g η επιτάχυνση της βαρύτητας που ισούται με 9,81 m/s² και H_s το βάθος των πλημμυρικών ροών σε m.

Οι τιμές υπολογίστηκαν από τα «εργαλεία» που παρέχονται στο λογισμικό ΓΣΠ και οι τιμές της μεταβλητής του βάθους των ροών αποδόθηκαν από το αντίστοιχο χαρτογραφικό επίπεδο που παρήχθη από το DEM, όπως περιεγράφηκε στη προηγούμενη ενότητα. Οι ταχύτητες, όπως προέκυψε από την εφαρμογή της συνάρτησης, φαίνονται να κυμαίνονται από περίπου 20 m/s κατά τις πρώτες στιγμές της κίνησης των ροών κοντά στην ακτογραμμή και μειώνονται όσο αυξάνεται το υψόμετρο καταλήγοντας στα 6,3 m/s όταν πλησιάζουν το μέγιστο της διανυθείσας απόστασης (Εικόνα 23). Ταχύτητες αυτής της τάξης έχουν τη δυναμική της εκτεταμένης διάβρωσης και της μεταφοράς μεγάλης ποσότητας ιζημάτων καθώς της πρόκλησης σημαντικών βλαβών στο κτιριακό απόθεμα.

Ακόμα, γνωρίζοντας την ταχύτητα των ροών μπορούμε να υπολογίσουμε και το χρόνο που αυτές χρειάζονται για να διανύσουν αποστάσεις εντός της πλημμυρικής ζώνης. Ο υπολογισμός του χρόνου επιτεύχθηκε από το συνδυασμό των χαρτογραφικών επιπέδων της ταχύτητας και της απόστασης, με το κατάλληλο εργαλείο του λογισμικού ΓΣΠ, όπως αυτά συνδέονται βάσει της συνάρτησης της κινηματικής. Σύμφωνα με αυτόν τον τύπο ισχύει το εξής:

$$U = \frac{\Delta \chi}{\Delta t}, \quad \varepsilon \pi o \mu \acute{\varepsilon} v \omega \varsigma \quad \Delta t = \frac{\Delta \chi}{U} \tag{4.3}$$

Όπου $U = V_r$ δηλαδή η ταχύτητα των πλημμυρικών ροών, $\Delta \chi$ η απόσταση και Δt ο χρόνος κίνησης.

Από την εφαρμογή της συνάρτησης προέκυψαν οι χρόνοι κίνησης των πλημμυρικών ροών στους οικισμούς του Καμαρίου και της Περίσσας που παρουσιάζονται στην Εικόνα 24. Σύμφωνα με αυτούς, στο υπόμνημα των χαρτών καταγράφεται η απόσταση που θα διανύσουν οι πλημμυρικές ροές σε συνάρτηση με το χρόνο, θεωρώντας ως χρονική στιγμή 0 τη στιγμή που το κύμα θραύεται στην ακτογραμμή. Συνοπτικά μπορεί να ειπωθεί, ότι χρόνος που χρειάζονται οι ροές για να καλύψουν τη μέγιστη απόσταση στην Περίσσα είναι κατά 2,3 φορές περίπου μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο χρόνο στο Καμάρι.



Εικόνα 23. Εκτιμώμενες ταχύτητες διείσδυσης των πλημμυρικών ροών



Εικόνα 24. Εκτιμώμενοι χρόνοι διείσδυσης των πλημμυρικών ροών

4.5. Η ικανότητα διαφυγής

Δύο επιπλέον χαρακτηριστικά, που εκτιθήκαν και έχουν ιδιαίτερη σημασία για την ασφαλή διαφυγή του πληθυσμού, στο στάδιο της έγκαιρης προειδοποίησης, είναι η ελάχιστη απόσταση και ο ελάχιστος χρόνος διαφυγής. Σαν ελάχιστη απόσταση διαφυγής ορίζεται η απόσταση που πρέπει κάποιος να διανύσει, αν βρίσκεται στην ζώνη κατάκλυσης, ώστε να βρεθεί εκτός αυτής, δηλαδή σε ασφαλή περιοχή. Ως ελάχιστος χρόνο διαφυγής εκφράζεται ο χρόνος που χρειάζεται το ίδιο άτομο για να διανύσει την ελάχιστη απόσταση διαφυγής. Αυτές οι τιμές μπορούν να θεωρηθούν ως χαρακτηριστικά τρωτότητας καθώς σχετίζονται άμεσα με την ικανότητα διαφυγής του πληθυσμού.

Οι υπολογισμοί των τιμών των δύο παραμέτρων πραγματοποιήθηκαν μέσω των εργαλείων του λογισμικού ΓΣΠ και οπτικοποιήθηκαν στα αντίστοιχα χαρτογραφικά επίπεδα. Οι τιμές, όπως είναι αναμενόμενο, ταυτίζονται με αυτές του αντίστοιχου χαρτογραφικού επιπέδου που απεικονίζει τις αποστάσεις που θα διανύσουν οι πλημμυρικές ροές καθώς και οι δύο παράμετροι εξετάσουν την κίνηση στα όρια της ίδιας ζώνης και με την ίδια ακριβώς διεύθυνση. Η ταξινόμηση των εκτιμώμενων αποστάσεων έγινε σε 5 κλάσεις/ ζώνες ανά 100 m. (Εικόνα 25). Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται τα σημεία εκείνα στα οποία η ελάχιστη απόσταση εμφανίζει τις μέγιστες τιμές. Οι μέγιστες τιμές είναι τα 493 m στο καμάρι και τα 985 m στην Περίσσα

Έχοντας υπολογίσει το επίπεδο με την πληροφορία της ελάχιστης απόστασης διαφυγής, εκτιμήθηκε ο ελάχιστος χρόνος ασφαλούς διαφυγής μέσω του τύπου της κινηματικής:

$$\Delta t = \frac{\Delta \chi}{U} \qquad (4.4)$$

Όπου $U = V_H$ δηλαδή η ανθρώπινη ταχύτητα που ορίστηκε στα 2,8 m/s που θεωρείται η μέση τιμή της ταχύτητας γοργού βηματισμού (τζόκινγκ) ενός υγιούς ενήλικα.

Οι τιμές, όπως υπολογίστηκαν, παρουσιάζονται στο χάρτη της Εικόνας 26 και είναι ταξινομημένες σε κλάσεις του ενός λεπτού. Οι μέγιστοι χρόνοι ταυτίζονται χωρικά με τις μέγιστες αποστάσεις και προσεγγίζουν τα 3 λεπτά στο Καμάρι και τα 6 λεπτά στην Περίσσα. Επομένως, ο ελάχιστος χρόνος για την ενημέρωση του πληθυσμού για το επερχόμενο τσουνάμι, στο πλαίσιο της έγκαιρης προειδοποίησης, είναι ο μέγιστος χρόνος που καταγράφεται στην Περίσσα. Δηλαδή, το σήμα για εκκένωση πρέπει να δοθεί, τουλάχιστον, 6 λεπτά πριν την άφιξη του κύματος στην ακτογραμμή. Ο χρόνος αυτός είναι αρκετός για έγκαιρη εκκένωση των οικισμών από τη στιγμή που ένας ισχυρός σεισμός συμβεί στις θέσεις που εξετάστηκαν και γίνει αισθητός, καθώς οι χρόνοι άφιξης του κύματος στην ακτογραμμή κυμαίνονται από 15 έως 35 λεπτά. Στο χάρτη της Εικόνας 27 παρουσιάζονται οι

θέσεις γέννησης των σημαντικότερων τσουνάμι που έχουν εμφανιστεί στο Νότιο Αιγαίο καθώς και η απόσταση και ο χρόνος που αυτά χρειάστηκαν ώστε να φτάσουν στις ανατολικές ακτές της Θήρας (Dominey-Howes et al., 2000a, Yolsal, 2007 και Shaw, 2012). Οι χρόνοι άφιξης του κύματος με σημείο γέννησης τον ηφαιστειακό ύφαλο Κολούμπο σύμφωνα με το μοντέλο προσομοίωσης που εφάρμοσαν οι Ulvrová et al. (2014) προσεγγίζει τα 5 λεπτά στον οικισμό του Καμαρίου και τα 7 λεπτά στην Περίσσα. Οι χρόνοι αυτοί μπορούν να θεωρηθούν αρκετά οριακοί έως μη επαρκείς για την έγκαιρη προειδοποίηση και εκκένωση των οικισμών.



Εικόνα 25. Αποστάσεις διαφυγής σε ασφαλές περιβάλλον



Εικόνα 26. Χρόνοι διαφυγής σε ασφαλές περιβάλλον



Εικόνα 27. Εκτιμώμενοι χρόνοι άφιξης κυμάτων τσουνάμι από τις γνωστές θέσεις γέννησής τους. Πηγή: Dominey-Howes et al., 2000a, Yolsal, 2007 και Shaw, 2012 και Ulvrová et al., 2014

5. Η εκτίμηση της τρωτότητας των κτιρίων στον οικισμό του Καμαρίου

5.1. Ο οικισμός του Καμαρίου

Η εφαρμογή του μοντέλου PTVA-3, για τη διερεύνηση της τρωτότητας του κτιριακού αποθέματος από τσουνάμι θα πραγματοποιηθεί στον οικισμό του Καμαρίου, ο οποίος σύμφωνα με τη προσεγγιστική μέθοδο που εφαρμόστηκε στην ενότητα 4.2 είναι αυτός με το μεγαλύτερο βαθμό σχετικής έκθεσης σε σχέση με τα υπόλοιπα παράκτια οικιστικά συγκροτήματα της νήσου Θήρας.

Το Καμάρι είναι παραθαλάσσιος οικισμός στο κεντρικό τμήμα των ανατολικών ακτών του νησιού και διοικητικά αποτελεί μέρος της Δημοτικής Κοινότητας της Επισκοπής Γωνιάς του Δήμου Θήρας, σύμφωνα με το «Πρόγραμμα Καλλικράτης» που ορίζει της διοικητική διαίρεση της Ελλάδας από το 2011. Το οικιστικό συγκρότημα οριοθετείται από τον ορεινό όγκο του Μέσα Βουνού στα νότια και νοτιοδυτικά, από τον κάμπο που εκτείνεται στα δυτικά και από το αεροδρόμιο του νησιού στα βόρεια. Τα ανατολικά όρια του οικισμού οριοθετούνται από τον αιγιαλό (Εικόνες 28 και 29). Η ανάπτυξη του οικιστικού ιστού ακολουθεί σε γενικές γραμμές τη διεύθυνση της ακτογραμμής με μήκος περίπου 2 km και εκτείνεται έως και 1,5 km στην ενδοχώρα του νησιού. Η έκταση που καταλαμβάνει είναι περίπου 3,1 km². Το υψόμετρο κειμένεται από 0 m στην ακτογραμμή έως 50 m στα ανατολικά του οικισμού και η μέση κλίση ανέρχεται στις 2,8 μοίρες, όπως προέκυψε από την ανάλυση του DEM.

Ο οικισμός άρχισε να αναπτύσσεται έπειτα από το σεισμό του 1956 και την μετεγκατάσταση πληθυσμών από γειτονικούς οικισμούς τα κτίρια των οποίων υπέστησαν βλάβες. Σύμφωνα με την «Απογραφή Πληθυσμού – Κατοικιών 2011» της ΕΛΣΤΑΤ, ο μόνιμος πληθυσμός του οικισμού ανέρχεται στους 1,344 και αντιστοιχεί στο 10% επί του συνόλου του πληθυσμού του νησιού. Ο πληθυσμός του οικισμού μπορεί να χαρακτηριστεί ως ώριμος προς γερασμένος, όπως προκύπτει από την ερμηνεία της πληθυσμιακής πυραμίδας (Εικόνα 30). Στον οικισμό κατοικεί ένας σημαντικός, ως προς το μέγεθός του, πληθυσμός αλλοδαπών που ανέρχεται περίπου στο 25% του συνολικού πληθυσμού. Οι αλλοδαποί στην πλειοψηφία τους είναι οικονομικοί μετανάστες οι οποίοι εργάζονται στις τουριστικές επιχειρήσεις και στις αγροτικές καλλιέργειες του οικισμού και συνήθως διαμένουν με τις οικογένειές τους στους ισόγειους ή υπόγειους ορόφους των παλαιότερων κτισμάτων, κυρίως αυτών που βρίσκονται στα οικοδομικά τετράγωνα προς την ενδοχώρα του οικισμού. Τέλος, η πληθυσμική πυραφιάς του βρίσκονται στους 433 μόνιμους κατοίκους/ km², τιμή υπερδιπλάσια από την αντίστοιχη αυτής στο σύνολο του νησιού.



Εικόνα 28. Δορυφορική εικόνα του Καμαρίου. Πηγή: Google Maps



Εικόνα 29. Άποψη του Καμαρίου, λήψη φωτογραφίας από το Μέσα Βουνό στα νότια του οικισμού



Εικόνα 30. Πληθυσμιακή πυραμίδα του Καμαρίου. Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011

Το Καμάρι κατατάσσεται στους πλέον τουριστικά ανεπτυγμένους οικισμούς του νησιού καθώς τα αναγνωρίσιμα χαρακτηριστικά της δομής του προσδίδουν σε αυτόν σαφώς τουριστική ταυτότητα. Ο οικισμός αποτελεί παραθεριστικό προορισμό «μαζικού τουρισμού», βάσει του οποίου η οικονομική δραστηριότητα προσαρμόζεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά αυτού. Κατέχει ένα αποδεκτό επίπεδο υποδομών που μπορεί να εξυπηρετήσει τις ανάγκες των κατοίκων και των επισκεπτών. Η σύνθετη τουριστική υποδομή αποτελείται από περισσότερες των 250 μονάδων φιλοξενίας (ξενοδοχεία, ενοικιαζόμενα δωμάτια κ.α.) αποκλειστικής ή μικτής χρήσης, διαφόρων τύπων και προδιαγραφών, που μπορούν να φιλοξενήσουν περισσότερους από 8000 επισκέπτες, όπως προκύπτει από το δυναμικό των κλινών που αυτές διαθέτουν. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι ο εποχιακός πληθυσμός των θερινών μηνών του οικισμού δυνητικά μπορεί να φτάσει τα 9.500 άτομα και η αντίστοιχη πυκνότητα να ξεπεράσει τους 3000 άτομα/ km², χαρακτηριστικό που μπορεί να ενδυναμώσει τα στοιχεία τρωτότητας του οικισμού απέναντι σε φυσικούς κινδύνους. Σημαντικό πολεοδομικό χαρακτηριστικό του οικισμού είναι το παραλιακό μέτωπο που εκτείνεται κατά μήκος σχεδόν όλης της ακτογραμμής. Το μέτωπο χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη οικονομικών δραστηριοτήτων στραμμένες προς τον τουρισμό. Τα κτίσματα του μετώπου, που στεγάζουν αυτές τις δραστηριότητες είναι ξύλινες ή μεταλλικές κατασκευές που βρίσκονται εκατέρωθεν του παραλιακού άξονα (Εικόνα 31).



Εικόνα 31. Χαρακτηριστικά κτίσματα του παραλιακού μετώπου

Οι κατασκευές αυτές αποτελούν είτε διακριτά κτίσματα είτε μέρος των τροποποιημένων ισογείων κτιρίων διπλής χρήσης –φιλοξενούν κατά κανόνα εμπορικά καταστήματα και χώρους εστίασης– η λειτουργία των οποίων συνδέεται με την τουριστική ανάπτυξη. Επιπλέον, κατά τους θερινούς μήνες, στη ζώνη του αιγιαλού λειτουργούν χώροι εστίασης και εξυπηρέτησης των λουόμενων. Οι χρήσεις αυτές επιβαρύνουν τόσο με την κατασκευή των κυρίων μονάδων αλλά και με την τοποθέτηση του σχετικού εξοπλισμού στον αιγιαλό (ομπρέλες, τραπέζια, ξαπλώστρες κ.α.). Τα πρότυπα και τα υλικά κατασκευής των κτισμάτων του μετώπου και του αιγιαλού μπορούν να χαρακτηριστούν από μικρή ανθεκτικότητα απέναντι σε φυσικού κινδύνους, όπως τα θαλάσσια κύματα βαρύτητας. Επιπλέον, συνδέοντας τις δύο αυτές ζώνες με την εμφάνιση ενός τσουνάμι διαπιστώνεται ότι, η αυξημένη ευπάθεια των κατασκευών αυξάνει τη δομική τρωτότητα των κτισμάτων που βρίσκονται πίσω από αυτά. Το γεγονός αυτό συμβαίνει καθώς η μεταφορά των υλικών από τις προαναφερθείσες χρήσεις και η πρόσκρουση τους στα κτίρια που έπονται αναμένεται να προκαλέσει σημαντικές βλάβες στο κέλυφος αυτών.

Ως προς τη γενικότερη πολεοδομική υφή, πέρα από τον παραλιακό μέτωπο και κυρίως προς την ενδοχώρα, παρατηρούνται ανάμεικτες χρήσεις που συνιστούν κατοικίες και τουριστικές μονάδες. Επίσης, παρατηρούνται διάσπαρτες χρήσεις εστίασης και μικρά εμπορικά καταστήματα που προσανατολισμένα κυρίως στην εξυπηρέτηση των μόνιμων κατοίκων. Τέλος, χαρακτηριστική είναι η ύπαρξη ενός μικρού εμπορικού κέντρου με καταστήματα και κινηματογράφο (Εικόνα 35).

Ως προς το κτιριακό απόθεμα, βάσει της «Απογραφής Κτιρίων 2011» της ΕΛΣΤΑΤ, στον οικισμό του Καμαρίου έχουν καταγραφεί 849 κτίρια που στην πλειοψηφία τους είναι κτίσματα με έναν ή δύο ορόφους. Ως προς την περίοδο κατασκευής τους το 82% του κτιριακού αποθέματος εμφανίζεται να είναι κτισμένο μετά την εφαρμογή του πρώτου αντισεισμικού κανονισμού στην Ελλάδα που εφαρμόστηκε από το 1959 (Εικόνα 32). Αιτία του σχετικά ανανεωμένου κτιριακού αποθέματος είναι ο σεισμός του 1956 και οι καταστροφές στα κτίσματα που αυτός προκάλεσε. Το κυρίαρχο υλικό κατασκευής είναι το οπλισμένο σκυρόδεμα (Εικόνα 33), ενώ η αργιτεκτονική των κτισμάτων συμβαδίζει με την παραδοσιακή θηραϊκή, με τα χαρακτηριστικά λευκά κτίσματα με την κυρτή στέγη. Χαρακτηριστικό επίσης η απουσία προστατευτικών τοιγίων στον εξωτερικό περίβολο των κτιρίων ή η ύπαρξη τοιχίων, κυρίως διακοσμητικών, μικρού ύψους. Τέλος, παρατηρούνται κτίρια των οποίων ο πρώτος όροφος είναι κτισμένος κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, με σκοπό την εκμετάλλευση του συντελεστή ύψους (Εικόνα 36). Κυρίαρχες χρήσεις αποτελούν οι κατοικίες, οι ξενοδοχειακές μονάδες και τα εμπορικά καταστήματα (Εικόνα 34), ενώ το 23% του συνόλου των κτιρίων χαρακτηρίζονται από μικτή χρήση. Τέτοια κτίρια, συνηθώς εντοπίζονται κοντά στο παραλιακό μέτωπο και έχουν διαμορφωθεί έτσι ώστε στον ισόγειο όροφο να στεγάζουν εμπορικές δραστηριότητες ενώ στον πάνω όροφο χρησιμοποιούνται ως κατοικίες ή ενοικιαζόμενα δωμάτια. Σαν γενική παρατήρηση, αξίζει να σημειωθεί ότι η πυκνότητα των κτιρίων μειώνεται ανάλογα με την απόσταση από την ακτογραμμή.



Εικόνα 32. Χρονικές περίοδοι κατασκευής των κτιρίων στον οικισμό του Καμαρίου. Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011



Εικόνα 33. Υλικό κατασκευής των κτιρίων στον οικισμό του Καμαρίου. Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011



Εικόνα 34. Χρήση κτιρίων στον οικισμό του Καμαρίου. Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011



Εικόνα 35. Άποψη της κεντρική πλατείας του Καμαρίου και των εμπορικών καταστημάτων γύρω από αυτή



Εικόνα 36. Κτίρια ο πρώτος όροφος των οποίων βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του εδάφους

5.2. Το μοντέλο ΡΤΥΑ-3

Το μοντέλο PTVA είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει εκτιμήσεις για την σχετική τρωτότητα του κτιριακού αποθέματος από θαλάσσια κύματα βαρύτητας. Η επεξεργασία των επιμέρους πληροφοριών πραγματοποιείται μέσω λογισμικού ΓΣΠ και τα αποτελέσματα αναπαρίστανται χαρτογραφικά. Η τρωτότητα παρουσιάζεται ταξινομημένη, ανάλογα με το βαθμό που αυτή κατέχει, μέσω του Δείκτη Σχετικής Τρωτότητας (Relative Vulnerability Index – *RVI*).

Οι Dall'Osso et al. (2009) τροποποίησαν το υφιστάμενο μοντέλο στο PTVA-3, το οποίο εφαρμόζεται στο πλαίσιο της διερεύνησης της τρωτότητας του κτιριακού αποθέματος στο Καμάρι, με βάση το «σενάριο» για το μέγιστο πιθανό run-up, όπως αυτό παρουσιάστηκε στην ενότητα 4.1. Σύμφωνα με τη νέα εκδοχή της μεθοδολογίας, το RVI προκύπτει από το σταθμισμένο άθροισμα της δομικής τρωτότητα (Structural Vulnerability – SV) και της τρωτότητας των επιμέρους στοιχείων του κτιρίου που παρέπεται από την επαφή τους με τις πλημμυρικές ροές (Water Vulnerability – WV). Η τροποποιημένη μεθοδολογίας προτάθηκε με αυτή τη μορφή, καθώς έχει αποδειχθεί πως τα χαρακτηριστικά του κτιρίου που σχετίζονται με την φέρουσα ικανότητα του (υλικό κατασκευής, ύψος,
κατάσταση διατήρησης κ.α.) συνεπάγονται την ανθεκτικότητα της δομής του έναντι των υδροστατικών πιέσεων των πλημμυρικών ροών και της πρόσκρουσης με τα αντικείμενα που αυτές μεταφέρουν, όπως αυτοκίνητα σκάφη κ.α. Ακόμα, οι ίδιοι αναφέρουν, δικαιολογώντας γιατί συμπεριέλαβαν τον παράγοντα WV στην νέα μεθοδολογία, πως η εμπειρία έχει καταδείξει ότι κτίρια των οποίων το εσωτερικό τους κατακλύστηκε από τις πλημμυρικές ροές, χωρίς ταυτόχρονα να εμφανίσουν δομικές βλάβες, υπέστησαν μείωση της εμπορικής τους αξίας έως και 50%. Τέλος, η στάθμιση των παραγόντων SV και WV αποτυπώνει το βαθμό επίδρασης του κάθε ένα από αυτούς στην τρωτότητα του κτιρίου και στο κόστος των βλαβών που αυτοί συνεπάγονται.

Η μαθηματική έκφραση του τύπου υπολογισμού της τρωτότητας για κάθε κτίριο έχει ως εξής:

$$RVI = \frac{2}{3}(SV) + \frac{1}{3}(WV)$$
 (5.1)

Όπου, RVI ο σχετικός δείκτης τρωτότητας, SV η δομική τρωτότητα και WV η τρωτότητα που απορρέει από την εισχώρηση των πλημμυρικών στο εσωτερικό του κτιρίου.

Η εφαρμογή του μαθηματικού τύπου για τον υπολογισμό του RVI δίνει τιμές στο διάστημα [1, 5] καθώς οι παράγοντες SV και WV έχουν επαναταξινομηθεί με τιμές τρωτότητας σε πενταβάθμια αριθμητική κλίμακα, όπου 1: Μικρή (Minor), 2: Μέτρια (Moderate), 3: Μεσαία (Average), 4: Υψηλή (High), 5: Πολύ Υψηλή (Very High). Τέλος, ο RVI επαναταξινομήται σύμφωνα με τον Πίνακα 3, προσδίδοντας σε αυτόν περιγραφική ερμηνεία στο βαθμό σχετικής τρωτότητας κάθε κτιρίου.

<i>RVI</i> (1, 5)	[1 - 1,8[[1,8 - 2,6[[2,6 - 3,4[[3,4 - 4,2[[4,2 - 5]
Βαθμός	Μικρός	Μέτριος	Μεσαίος	Υψηλός	Πολύ Υψηλός
Τρωτότητας	(Minor)	(Moderate)	(Average)	(High)	(Very High)

Πίνακας 3. Επαναταξινόμηση του RVI

5.3. Ο σχεδιασμός της βάσης δεδομένων και η συλλογή στοιχείων στο πεδίο

Η εφαρμογή του μοντέλου PTVA-3, προϋποθέτει το σχεδιασμό βάσης δεδομένων απ' όπου αντλούνται οι τιμές των επιμέρους μεταβλητών για την πραγματοποίηση των υπολογισμών. Το πληροφοριακό υλικό που χρησιμοποιεί το μοντέλο αφορά στα στοιχεία του κτιριακού αποθέματος καθώς και στα χαρακτηριστικά του περιβάλλοντα χώρου και της ευρύτερης περιοχής. Το επίπεδο αναφοράς για την εφαρμογή της εν λόγω προσέγγισης, απαιτεί την οργάνωση των πληροφοριών για κάθε κτίριο. Ορισμένες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά τους εικόνων ενώ για άλλες απαιτήθηκε η συλλογή τους μέσω επιτόπιας παρατήρησης. Για το σκοπό αυτόν, πραγματοποιήθηκε έρευνα πεδίου στον οικισμό του Καμαρίου για τη συλλογή των ζητούμενων πληροφορίων. Η επίσκεψη στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε το Μάιο του 2015 και διήρκεσε τρεις ημέρες.

Στο πλαίσιο της επιτόπιας καταγραφής κατασκευάστηκε και χρησιμοποιήθηκε ο χάρτης που αναπαριστά τη ζώνη κατάκλυσης από τσουνάμι, βάσει του «σεναρίου» με μέγιστο run-up τα 10 m., ώστε να οριοθετηθεί η περιοχή μέσα στην οποία πραγματοποιήθηκε η συλλογή των απαιτούμενων στοιχείων. Για την αποτύπωση του περιγράμματος των κτιρίων υπόβαθρο απετέλεσαν οι δορυφορικές εικόνες του Google Maps. Για τη διευκόλυνση στην καταγραφή των χαρακτηριστικών των κτιρίων, η περιοχή μελέτης διαιρέθηκε σε οικοδομικά τετράγωνα και αποδόθηκε κωδικός σε κάθε κτίριο που αποτυπώθηκε. Για την καταγραφή των πληροφοριών σχεδιάστηκε ειδικό έντυπο στο οποίο σημειώθηκαν οι παρατηρήσεις (Εικόνα 37). Κατά τη διάρκεια της επίσκεψης καταγράφηκαν επιπλέον, τα γενικά χαρακτηριστικά της πολεοδομικής υφής του οικισμού και ελήφθησαν τα απαραίτητα τεκμήρια (φωτογραφίες).

Στο επόμενο στάδιο της προετοιμασίας, πραγματοποιήθηκε η ψηφιοποίηση, με λογισμικό ΓΣΠ, των κατόψεων των κτιρίων που βρίσκονται στην ζώνη κατάκλυσης, σε κλίμακα ψηφιοποίησης 1:2000. Ακολούθησε η εισαγωγή των πληροφοριών που αντλήθηκαν από την επιτόπια παρατήρηση στη βάση δεδομένων, με βάση την οποία έγιναν οι ειδικοί υπολογισμοί που προβλέπονται στην μεθοδολογία. Τέλος, η βάση δεδομένων συνδέθηκε με το θεματικό επίπεδο των κτιρίων, ώστε να αποδοθούν σε κάθε κτίριο οι τιμές των πληροφοριών που συλλέχθηκαν στο πεδίο, βάσει των οποίων προέκυψαν τα επιμέρους και τελικά χαρτογραφικά παράγωγα της μεθοδολογίας.

Στην έρευνα πεδίου συνολικά καταγράφηκαν 423 κτίρια, δηλαδή όσο κτίρια αναμένεται να βρεθούν μέσα στο όριο της ζώνης κατάκλυσης. Από αυτά σχεδόν τα μισά βρίσκονται σε πλημμυρικά

βάθη από 7-9 m., ενώ από το σύνολο των κτιρίων τα 373 χαρακτηρίζονται ως κτίρια αποκλειστικής χρήσης και τα υπόλοιπα 50 ως μεικτής χρήσης. Αναλυτικότερα τα στοιχεία για το πλήθος αυτών σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας, καθώς και της χρήσης αυτών παρουσιάζονται στους Πίνακες 4 και 5.

Βάθος (m)	Αριθμός κτιρίων	Αθροιστική συχνότητα	Αθροιστική συχνότητα %
9-10	0	0	0
8-9	33	33	12,8
7-8	88	121	28,6
6-7	80	201	47,5
5-6	40	241	57,0
4-5	33	274	64,8
3-4	28	302	71,4
2-3	37	339	80,1
1-2	35	374	88,4
0-1	49	423	100

Πίνακας 4. Κατανομή των κτιρίων της ζώνης κατάκλυσης σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας

	Αποκλειστική χρήση								
Βάθος (m)	Κατοικίες	Τουριστικές μονάδες	Εστιατόρια	Καταστήματα	Θρησκευτικοί χώροι	Αποθήκες	Άγνωστη		
9-10	0	0	0	0	0	0	0		
8-9	5	10	6	7	0	0	0		
7-8	16	23	22	14	0	3	2		
6-7	12	35	7	14	1	1	1		
5-6	11	19	1	3	0	2	0		
4-5	7	14	2	1	0	1	1		
3-4	5	11	5	5	0	0	0		
2-3	12	11	3	4	2	2	0		
1-2	15	10	2	3	1	1	1		
0-1	20	13	0	4	0	0	2		
Σύνολο	103	146	48	55	4	10	7		
			Μ	Ιεικτή χρήση		-			
Βάθος (m)	Καταστήματα/	Καταστήματα/	Καταστήματα/ Τουοισσικές μουάδος	Εστιατόρια/ Κατοικίος	Εστιατόρια/	Τουριστικές μουάδος/Κατοικίος			
ο 10	κατοικιες	Εστιατορία	ο	Γατοικίες	100μιοτικές μονάδες	μονασες/ Κατοικιες			
9-10	0	0	0	0	0	0			
8-9	0	0	1	0	4	0			
7-8	3	1	2	1	0	1			
6-7	5	1	0	1	2	0			
5-6	3	0	0	0	1	1			
4-5	4	0	2	0	0	0			
3-4	2	0	0	0	0	0			
2-3	0	1	0	1	0	1			
1-2	3	0	0	0	0	1			
0-1	4	1	1	1	0	1			
Σύνολο	24	4	6	4	7	5			

Πίνακας 5. Κατανομή της χρήσης των κτιρίων στη ζώνη κατάκλυσης σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΜΑΡΙΟΥ

ΑΡ. ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΜΟΥ:

A/A	ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΟΡΟΦΟΙ / ΥΠΟΓΕΙΑ	ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΙΣΟΓΕΙΟΥ	ΤΥΠΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΝ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΥΨΟΣ ΤΟΙΧΙΟΥ	ΦΥΣΙΚΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ	ΧΡΗΣΗ/ ΧΡΗΣΕΙΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1									
2									
3									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									

Εικόνα 37. Το δελτίο καταγραφής των χαρακτηριστικών των κτιρίων που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες εφαρμογής της μεθοδολογίας

5.4. Ο υπολογισμός του παράγοντα SV

Ο παράγοντας SV, εκφράζει τη δομική τρωτότητα του κτιρίου και ορίζεται ως το γινόμενο τριών επιμέρους μεταβλητών που συνδέονται με:

- Τα χαρακτηριστικά του κτιρίου που σχετίζονται με τα στοιχεία στατικότητας του, όπως το υλικό κατασκευής, ο αριθμός των ορόφων, ο τύπος της θεμελίωσης, η αντοχή του σε υδροδυναμικές πιέσεις κ.α.
- Το βάθος του νερού της πλημμύρας στο οποίο αναμένεται να βρεθεί το κτίριο και εκφράζει την έκθεσή του.
- Ο βαθμός προστασίας που παρέχεται στο κτίριο από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια, όπως παράκτια βλάστηση, αμμόλοφοι, κυματοθραύστες, παρουσία άλλων κτιρίων μεταξύ αυτού και της ακτογραμμής κ.α.

Η μαθηματικής έκφραση για τον υπολογισμό της δομικής τρωτότητα έχει ως εξής:

$$SV_{(1, 125)} = Bv \times Prot \times Ex$$
 (5.2)

Όπου SV η δομική τρωτότητα, Bv η στατική τρωτότητα, Prot ο βαθμός στον οποίο το κτίριο προστατεύεται από τις πλημμυρικές ροές και Ex η έκθεση του κτιρίου σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας.

Οι μεταβλητές Bv, Prot και Ex βαθμονομούνται με αριθμητική τιμή τρωτότητας στο διάστημα [1, 5], όπου 1: Μικρή (Minor), 2: Μέτρια (Moderate), 3: Μεσαία (Average), 4: Υψηλή (High), 5: Πολύ Υψηλή (Very High), όπως προκύπτει από την επαναταξινόμησή τους. Επομένως, ο παράγοντας SV παίρνει τιμές στο διάστημα [1, 125] και επαναταξινομήται σύμφωνα με τον Πίνακα 6.

Sv(1, 125)	[1, 25[[25, 50[[50, 75[[75, 100[[100, 125]
Sv(1, 5)	1	2	3	4	5

Πίνακας 6. Επαναταξινόμηση του παράγοντ
αSV

5.4.1. Ο υπολογισμός της μεταβλητής Bv

Η μεταβλητή *Bv*, υπολογίζεται συνεκτιμώντας σημαντικές συνιστώσες των φυσικών χαρακτηριστικών που σχετίζονται με τη συμπεριφορά του κτιρίου απέναντι στις πλημμυρικές ροές από τσουνάμι. Κάθε μία από τις παραμέτρους παρατηρήθηκε και καταγράφηκε κατά την έρευνα πεδίου για κάθε κτίριο που βρισκόταν στη ζώνη κατάκλυσης, προσδίδοντας σε αυτές τιμή στο διάστημα [-1, 1] ανάλογα με το βαθμό που αυτές προσδίδουν ή όχι τρωτότητα στο κτίριο, σύμφωνα με τον Πίνακα 8. Η χρήση αρνητικών και θετικών τιμών επιτρέπει την καλύτερη διερεύνηση της διακύμανσης της τρωτότητας που προσδίδει η μεταβλητή *Bv* στο κτίριο. Σύμφωνα με αυτή τη προσέγγιση η τιμή 0 χαρακτηρίζει ένα «μεσαίο» βαθμό τρωτότητας. Στην μαθηματική έκφραση για τον υπολογισμό του *Bv* οι παράμετροι συνεκτιμώνται με τη χρήση συντελεστών βαρύτητας, όπως αυτοί έχουν εκτιμηθεί μέσω συγκεκριμένης μεθοδολογίας (βλ. Dall'Osso et al., 2009), ανάλογα με την επίδραση που αυτές έχουν στη τρωτότητα. Σύμφωνα με τον τύπο που προτείνεται ισχύει ότι:

$$Bv_{(-1,1)} = (1/423) \times [100 \times (s) + 80 \times (m) + 63 \times (g) + 60 \times (f) + 51 \times (mo) + 46 \times (so) + 23 \times (pc)]$$
(5.3)

Η μεταβλητή *Bv*, όπως αναφέρθηκε παίρνει τιμές μεταξύ -1 έως +1 και επαναταξινομήται, σύμφωνα με τον Πίνακα 7, ώστε να χρησιμοποιηθεί στους μετέπειτα υπολογισμούς.

B <i>v</i> (-1, 1)	[-1, -0,6[[-0,6, -0,2[[-0,2, 0,2[[0,2, 0,6[[0,6, 1]
B <i>v</i> (1, 5)	1	2	3	4	5

Πίνακας 7. Επαναταξινόμηση της μεταβλητής Βν

Πίνακας 8. Απόδοση τιμών στις παραμέτρους που επηρεάζουν τη στατική τρωτότητα (Bv)

	-1	-0.5	0	0.25	0.5	0.75	1
Αριθμός ορόφων (s)	> 5	4	3		2		1
Υλικό κατασκευής (m)	Οπλισμένο σκυρόδεμα	Οπλισμένο σκυρόδεμα με τοιχοποιία από τούβλο	Πέτρα		Τούβλο/ τσιμεντόλιθος		Ξύλο/ κατασκευές παραλιακού μετώπου
Υδροδυναμική ισογείου (g)	Πιλοτή	Γυάλινη πρόσοψη (τζαμαρία) ή πρόσοψη με πλαστικά καλύμματα	Τοιχοποιία με κανονικά ανοίγματα σε συνδυασμό με ανοιχτή πρόσοψη		Τοιχοποιία με κανονικά ανοίγματα (παράθυρα, είσοδος)	Τοιχοποιία με ένα μόνο άνοιγμα (είσοδος κτιρίου)	Τοιχοποιία χωρίς ανοίγματα
Θεμελίωση (f)	Βαθιά		Μέτρια				Ρηχή
Κινούμενα αντικείμενα (mo)			Κτίρια μακριά από πηγές κινούμενων αντικειμένων	Κτίρια κατά μήκος οδικών αζόνων με πολλά σταθμευμένα οχήματα	Κτίρια πριν από χώρους στάθμευσης ή κοντά σε διασταυρώσεις αξόνων χωρίς πολλά σταθμευμένα οχήματα	Κτίρια παραπλεύρως μεγάλων χώρων στάθμευσης ή κοντά σε διασταυρώσεις οδικών αξόνων με πολλά σταθμευμένα οχήματα	Κτίρια πίσω από μεγάλους χώρους στάθμευσης ή/ και τις κατασκευές του παραλιακού μετώπου και του αιγιαλού
Σχήμα και προσανατολισμός (so)	Κυκλικό/ τριγωνικό	Τετράγωνο ή επίμηκες ορθογώνιο κτίριο με την κύρια όψη του κάθετη στην ακτογραμμή	Ορθογώνιο κτίριο με την κύρια πλευρά του κάθετη ή ελαφρώς κεκλιμένη ως προς το επίπεδο της ακτογραμμή		Τετράγωνο ή ορθογώνιο κτίριο με την κύρια πλευρά του παράλληλη στην ακτογραμμή		Επίμηκες ορθογώνιο κτίριο με την κύρια πλευρά του παράλληλη στην ακτογραμμή
Κατάσταση διατήρησης (pc)	Πολύ καλή	Καλή	Μέτρια		Κακή		Πολύ κακή

Αριθμός ορόφων (s)

Η εμπειρία έχει καταδείξει ότι ο αριθμός των ορόφων έχει βαρύνουσα σημασία στην ανθεκτικότητα του κτιρίου απέναντι στα τσουνάμι. Το γεγονός αυτό συνδέεται με τη φέρουσα ικανότητα του κτιρίου και τον καθαυτό σχεδιασμό του στο να στηρίζει μεγάλα φορτία. Για παράδειγμα, πολυώροφα κτίρια εμφανίζουν μεγαλύτερο βαθμό αντοχής καθώς τα χαμηλότερα επίπεδα και κυρίως ο ισόγειος όροφος, εκεί δηλαδή όπου στο κτίριο ασκούνται οι μεγαλύτερες πιέσεις, είναι κατά κανόνα, σχεδιασμένα να στηρίζουν το βάρος των υπερκείμενων ορόφων.

Ο μέγιστος αριθμός ορόφων που καταγράφηκε στην περιοχή μελέτης είναι τρεις, συνεπεία των περιορισμών του συντελεστή ύψους των κτιρίων που ισχύει στις νησιωτικές περιοχές. Συνοπτικά, καταγράφηκαν 147 κτίρια με έναν όροφο, 254 με δύο ορόφους και 22 με τρεις ορόφους. Η κατανομή αυτών σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας παρουσιάζεται στον Πίνακα 9 και η χωρική κατανομή των τιμών της παραμέτρου στην Εικόνα 38.

	S						
Βάθος							
(m)	0	0.5	1				
	0	0	0				
8-9	1	17	15				
7-8	0	50	38				
6-7	0	56	24				
5-6	5	24	11				
4-5	2	24	7				
3-4	0	16	12				
2-3	1	20	16				
1-2	7	19	9				
0-1	6	28	15				
Σύνολο	22	254	147				

Πίνακας 9. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου s σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 38. Χωρική κατανομή της παραμέτρου s

Υλικό κατασκευής (m)

Το υλικό κατασκευής χαρακτηρίζεται ως σημαντική παράμετρος που συμβάλει στην αντοχή του κτιρίου απέναντι στις πλημμυρικές ροές. Κτίρια με υλικό κατασκευής το οπλισμένο σκυρόδεμα παρουσιάζονται ως ανθεκτικότερα στην πρόσκρουση των πλημμυρικών ροών. Αντίθετα, οι ξύλινες κατασκευές χαρακτηρίζονται από υψηλή ευπάθεια και εμφανίζουν ευκολότερα βλάβες στη δομή τους.

Στην περιοχή μελέτης, τα περισσότερα σε αριθμό κτίρια (349) ήταν κτίρια με σκελετό από οπλισμένο σκυρόδεμα και τοιχοποιία από τούβλο. Επίσης, σημαντικό αριθμό παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά ξύλινα κτίσματα που φιλοξενούν τις οικονομικές δραστηριότητες στο παραλιακό μέτωπο του οικισμό και χαρακτηρίζονται από το μέγιστο βαθμό ευπάθειας. Αναλυτικότερα, η κατανομή των τιμών της παραμέτρου σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας δίνεται στον Πίνακα 10 και η χωρική κατανομή αυτής στην Εικόνα 39.

	m								
Βάθος									
(m)	-1	-0.5	0	0.5	1				
9-10	0	0	0	0	0				
8-9	0	25	0	1	7				
7-8	3	62	3	4	16				
6-7	2	64	1	2	11				
5-6	0	37	0	1	2				
4-5	0	30	0	0	3				
3-4	0	22	0	0	6				
2-3	0	33	2	1	1				
1-2	0	31	0	0	4				
0-1	0	45	0	1	3				
Σύνολο	5	349	6	10	53				

Πίνακας 10. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου m σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 39. Χωρική κατανομή της παραμέτρου m

Υδροδυναμική ισογείου (g)

Η υδροδυναμική συμπεριφορά του κτιρίου αναφέρεται στον ισόγειο όροφο και τον βαθμό ανθεκτικότητα αυτού στις ασκούμενες πιέσεις κατά την κίνηση των πλημμυρικών ροών προς την ενδοχώρα. Ισόγειοι όροφοι χωρίς κέλυφος (πιλοτή) εμφανίζουν την ελάχιστη δυνατή υδροδυναμική αντίσταση και επομένως μικρή τρωτότητα, καθώς οι ροές κατά την κίνησή τους προσκρούουν στην ελάχιστη δυνατή επιφάνεια. Αντίθετα, τα κτίρια με τοιχοποιία χαρακτηρίζονται με μεγαλύτερη ευπάθεια ανάλογη με το ποσοστό κάλυψης του κελύφους. Τα ανοίγματα του κτιρίου, όπως παράθυρα και πόρτες, θεωρείται ότι συμβάλουν στη μείωση των υδροστατικών πιέσεων.

Η πλειοψηφία των κτιρίων που παρατηρήθηκαν στο Καμάρι αντιπροσωπεύει την χαρακτηριστική αρχιτεκτονική των κτισμάτων του νησιού, δηλαδή κτίσματα με τοιχοποιία με παράθυρα και είσοδο. Επίσης, σημαντικός είναι ο αριθμός των κτιρίων που ο ισόγειος όροφος είναι διαμορφωμένος με γυάλινο ή πλαστικό περίβλημα. Τα κτίρια με αυτή τη μορφή εμφανίζονται κυρίως στο παραλιακό μέτωπο και χρησιμοποιούνται ως χώροι εστίασης και εμπορικά καταστήματα. Χώροι διαμορφωμένοι σαν κι αυτούς παρατηρούνται επίσης, σε ισόγειους ορόφους ξενοδοχείων που χρησιμοποιούνται ως χώροι υποδοχής και εστίασης της μονάδας καθώς και σε διάσπαρτα στον οικισμό εμπορικά κατάστημα. Ο αριθμός των κτιρίων και ο βαθμός υδροδυναμικής τρωτότητας που αυτά παρουσιάζουν καταγράφονται στον Πίνακα 11 και η χωρική κατανομή τους στην Εικόνα 40.

	g								
Βάθος									
(m)	-1	-0.5	0	0.5	0.75	1			
9-10	0	0	0	0	0	0			
8-9	0	11	1	21	0	0			
7-8	3	38	3	43	0	1			
6-7	2	14	3	61	0	0			
5-6	0	2	0	37	0	1			
4-5	0	3	0	28	0	2			
3-4	0	5	1	21	0	1			
2-3	0	2	1	32	2	0			
1-2	0	3	2	30	0	0			
0-1	0	6	2	41	0	0			
Σύνολο	5	84	13	314	2	5			

Πίνακας 11. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου g σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 40. Χωρική κατανομή της παραμέτρου g

Βάθος θεμελίωσης (f)

Το βάθος θεμελίωσης του κτιρίου είναι μια ακόμα παράμετρος που συνεκτιμάται στον υπολογισμό της τρωτότητας. Όσο πιο βαθιά εκτείνονται τα θεμέλια τόσο ανθεκτικότερο αναμένεται να είναι το κτίριο, καθώς οι πιέσεις που ασκούνται μεταφέρονται από το σκελετό στο κέλυφός του.

Σαν κτίρια με μικρό ή μεσαίο βάθος θεμελίωσης καταγράφηκαν οι ιδιαίτερες κατασκευές του παραλιακού μετώπου και οι αντίστοιχες κατασκευές που στεγάζουν εμπορικές δραστηριότητες, οι οποίες συναντώνται κυρίως στο νότιο τμήμα της ζώνης κατάκλυσης. Η πλειοψηφία των κτιρίων εμφανίζει βαθιά θεμελίωση, γεγονός που σχετίζεται με την ανανέωση του κτιριακού αποθέματος μετά το σεισμό του 1956. Ο τύπος των θεμελίων σε συνάρτηση με το βάθος της πλημμύρας παρουσιάζονται στον Πίνακα 12 και η χωρική κατανομή της μεταβλητής στην Εικόνα 41.

	f						
Βάθος							
(m)	-1	0	1				
9-10	0	0	0				
8-9	19	5	9				
7-8	45	23	20				
6-7	55	14	11				
5-6	31	6	3				
4-5	27	3	3				
3-4	16	6	6				
2-3	21	14	2				
1-2	24	8	3				
0-1	33	12	4				
Σύνολο	271	91	61				

Πίνακας 12. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου f σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 41. Χωρική κατανομή της παραμέτρου f

Εγγύτητα σε κινούμενα αντικείμενα (mo)

Οι πλημμυρικές ροές του τσουνάμι χαρακτηρίζονται από την ικανότητα να παρασύρουν αντικείμενα κατά την κίνησή τους προς την ενδοχώρα. Τέτοια αντικείμενα μπορεί να είναι αυτοκίνητα, σκάφη, συντρίμμια από κτίσματα που προηγούνται κ.α. Η πρόσκρουσή τους στις επιφάνειες του κτιρίου συνδέεται με βλάβες όπως έχει καταγραφεί στην παγκόσμια εμπειρία. Επομένως, η εγγύτητα και η σχετική θέση ως προς τις πηγές κινούμενων αντικειμένων είναι παράμετροι που προσδίδουν επιπλέον τρωτότητα στο κτίριο.

Αντίστοιχες πηγές με αυτές που περιεγράφηκαν προηγουμένως καταγράφηκαν και στην περιοχή μελέτης. Τέτοιες πηγές είναι οι ιδιαίτερα ευπαθείς κατασκευές του παραλιακού μετώπου και του αιγιαλού και οι υπαίθριοι χώροι στάθμευσης που εντοπίζονται σε αρκετά σημεία του οικισμού. Ο βαθμός τρωτότητας του κάθε κτιρίου λόγω της εγγύτητάς του σε κινούμενα αντικείμενα, σε συνάρτηση με το βάθος της πλημμύρας, παρουσιάζεται στον Πίνακα 13 και η χωρική κατανομή των τιμών της μεταβλητής στην Εικόνα 42.

	то							
Βάθος								
(m)	0	0.25	0.5	0.75	1			
9-10	0	0	0	0	0			
8-9	6	4	2	4	17			
7-8	11	15	5	28	29			
6-7	16	12	14	16	22			
5-6	19	5	10	1	5			
4-5	14	5	9	5	0			
3-4	13	8	6	1	0			
2-3	30	2	4	1	0			
1-2	19	6	6	4	0			
0-1	34	7	7	1	0			
Σύνολο	162	64	63	61	73			

Πίνακας 13. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου mo σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 42. Χωρική κατανομή της παραμέτρου mo

Σχήμα και προσανατολισμός (so)

Το σχήμα και ο προσανατολισμός είναι δυο ακόμα παράμετροι που επηρεάζουν την συνολική υδροδυναμική συμπεριφορά του κτιρίου. Ουσιαστικά προσδιορίζουν τη γωνία επαφής του κελύφους του κτιρίου με τις πλημμυρικές ροές και επομένως το μέγεθος των ασκούμενων πιέσεων στις επιφάνειες αυτού. Κτίρια με κυκλικό ή τριγωνικό σχήμα, με λοξό προσανατολισμό ως προς την ακτογραμμή ή με την κύρια πλευρά κάθετη στην ακτογραμμή δέχονται σχετικά μικρότερες υδροδυναμικές πιέσεις. Αντίθετα κτίρια τετράγωνα ή επιμήκη, με την κύρια πλευρά παράλληλή στην ακτογραμμή χαρακτηρίζονται, από μεγαλύτερο βαθμό τρωτότητας καθώς «υποφέρουν» περισσότερο από τις πιέσεις που ασκούνται στις επιφάνειες αυτών.

Η πλειοψηφία των κτιρίων του Καμαρίου, ως προς το σχήμα και τον προσανατολισμό τους, εμφανίζει μεσαίο έως υψηλό βαθμό τρωτότητας όπως προκύπτει από τον Πίνακα 14. Στην Εικόνα 43 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της παραμέτρου.

	SO				
Βάθος					
(m)	-1	-0.5	0	0.5	1
9-10	0	0	0	0	0
8-9	0	6	5	22	0
7-8	2	6	31	47	2
6-7	1	13	19	45	2
5-6	1	12	7	19	1
4-5	0	7	7	19	0
3-4	0	2	10	16	0
2-3	1	9	9	18	0
1-2	0	4	6	23	2
0-1	1	12	10	24	2
Σύνολο	6	71	104	233	9

Πίνακας 14. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου so σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 43. Χωρική κατανομή της παραμέτρου so

Κατάσταση διατήρησης (pc)

Η γενική εικόνα του κτιρίου που προσδιορίζει την κατάστασης διατήρησής του είναι η τελευταία από τις παραμέτρους που συνεκτιμάται στον υπολογισμό της στατικής τρωτότητα του κτιρίου. Η κακή κατάσταση του κτιρίου συχνά συνδέεται με βλάβες αποτέλεσμα της μικρής αντοχή των συνθετικών του στοιχείων στις υδροστατικές πιέσεις.

Το σύνολο σχεδόν των κτιρίων της ζώνης κατάκλυσης εμφανίζεται σε σχετικά καλή κατάσταση συνεπεία της τουριστικής ανάπτυξης της περιοχής. Στον Πίνακας 15 και στην Εικόνα 44 καταγράφονται η κατανομή των τιμών της παραμέτρου και η χωρική κατανομή αυτής, αντίστοιχα.

	рс					
Βάθος						
(m)	-1	-0.5	0	0.5	1	
9-10	0	0	0	0	0	
8-9	5	13	15	0	0	
7-8	27	38	22	1	0	
6-7	38	23	17	2	0	
5-6	23	10	3	3	1	
4-5	15	13	4	0	1	
3-4	9	9	10	0	0	
2-3	7	17	11	2	0	
1-2	7	14	7	4	3	
0-1	18	17	13	1	0	
Σύνολο	149	154	102	13	5	

Πίνακας 15. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου pc σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 44. Χωρική κατανομή της παραμέτρου pc

Η μεταβλητή Βν

Μετά την απόδοση των τιμών στις παραμέτρους, σύμφωνα με τον Πίνακα 8, υπολογίστηκε η μεταβλητή Βν για κάθε κτίριο εφαρμόζοντας τη συνάρτηση 5.3. Η κατανομή του πλήθους των κτιρίων σε σχέση με το βαθμό στατικής τρωτότητας και το βάθος της πλημμύρας καταγράφονται στον Πίνακα 16. Η χωρική κατανομή των κτιρίων μετά την επαναταξινόμηση των τιμών, σύμφωνα με τον Πίνακα 7, όπως προέκυψε από τους υπολογισμούς παρουσιάζεται στην Εικόνα 45.

	Bv					
Βάθος						
(m)	2	3	4	5		
9-10	0	0	0	0		
8-9	1	19	7	6		
7-8	2	55	27	4		
6-7	0	57	18	5		
5-6	4	29	5	2		
4-5	1	26	4	2		
3-4	0	21	3	4		
2-3	2	26	8	1		
1-2	3	23	8	1		
0-1	3	34	8	4		
Σύνολο	16	290	88	29		

Πίνακας 16. Κατανομή των τιμών της μεταβλητής Βν σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 45. Χωρική κατανομή της μεταβλητής Βν

5.4.2. Ο υπολογισμός της μεταβλητής Prot

Η δεύτερη μεταβλητή που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της δομικής τρωτότητας είναι η μεταβλητή *Prot*, η οποία καταγράφει το βαθμό που κάθε κτίριο προστατεύεται από τα κύματα τσουνάμι. Η μεταβλητή συνεκτίμα σταθμισμένες παραμέτρους στις οποίες αποδόθηκε συντελεστής βαρύτητας, με αντίστοιχη μεθοδολογία με αυτή που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό της μεταβλητής *Bv*. Οι τιμές προσδίδονται στις παραμέτρους στο διάστημα [0, 1] σύμφωνα με τον Πίνακα 18. Η τιμή 1 εκφράζει το ελάχιστο επίπεδο προστασίας ενώ τιμές κοντά στο 0 υποδεικνύουν υψηλότερη προστασία. Η μαθηματική έκφραση υπολογισμού είναι η ακόλουθη:

$$Prot_{(0, 1)} = (1/301) \times [100 \times (Prot_br) + 73 \times (Prot_nb) + 73 \times (Prot_sw) + 55 \times (Prot_w) \quad (5.4)$$

Η μεταβλητή παίρνει τιμές στο διάστημα από 0 έως +1 και επαναταξινομήται για να χρησιμοποιηθεί στους μετέπειτα υπολογισμούς σύμφωνα με τον Πίνακα 17.

Prot (0, 1)	[0, 0,2[[0,2, 0,4[[0,4, 0,6[[0,6, 0,8[[0,8, 1]
Prot (1, 5)	1	2	3	4	5

Πίνακας 17. Επαναταξινόμηση της μεταβλητής Prot

	0	0,25	0,5	0,75	1
Σειρά κτιρίου (prot_br)	> 10	7-10	4-6	2-3	1
Φυσικά προστατευτικά (prot_nb)	Πολύ υψηλή προστασία	Υψηλή προστασία	Μεσαία προστασία	Χαμηλή προστασία	Καθόλου προστασία
Τείχος προστασίας από τον κυματισμό (prot_sw)	> 5 m, κατακόρυφο	3-5 m, κατακόρυφο	1,5-3 m, κατακόρυφο	1,5-3 m, κεκλιμένο	0-1,5 m, κεκλιμένο ή απουσία τείχους
Τοιχίο περιμετρικά του κτιρίου (prot_w)	Ύψος από 80-100% του βάθος πλημμύρας	Ύψος από 60-80% του βάθος πλημμύρας	Ύψος από 40-60% του βάθος πλημμύρας	Ύψος από 20-40% του βάθος πλημμύρας	Ύψος από 0-20% του βάθος πλημμύρας

Πίνακας 18. Απόδοση τιμών στις παραμέτρους που επηρεάζουν βαθμό προστασίας των κτιρίων (Prot)

Σειρά κτιρίου (prot_br)

Η σειρά του κτιρίου από την ακτογραμμή προς την ενδοχώρα, αποτελεί μια σημαντική παράμετρο που επηρεάζει το βαθμό προστασίας του κτιρίου από τις επιπτώσεις της πρόσκρουσης των πλημμυρικών ροών. Κτίρια που βρίσκονται στην πρώτη γραμμή αναμένεται να εκδηλώσουν σημαντικότερες βλάβες σε σχέση με κτίρια που έπονται αυτών. Αντίθετα, κτίρια στις πίσω σειρές φαίνεται ότι προστατεύονται σε μεγαλύτερο βαθμό καθώς τα κτίρια που προηγούνται λειτουργούν σαν «ασπίδα» που απορρόφα ένα σημαντικό ποσοστό της ενέργειας των πλημμυρικών ροών.

Στην περιοχή μελέτης το 30% των κτιρίων βρίσκονται στην πρώτη γραμμή, ενώ ίδιο ποσοστό καταγράφουν τα κτίρια που βρίσκονται στη δεύτερη και επίσης στην τρίτη σειρά. Αναλυτικότερα, ο βαθμός προστασίας ανά κτίριο σε σχέση με το βάθος παρουσιάζονται στον Πίνακα 19 και η χωρική κατανομή αυτού στην Εικόνα 46.

	Prot_br					
Βάθος (m)	0	0.25	0.5	0.75	1	
9-10	0	0	0	0	0	
8-9	0	0	0	9	24	
7-8	0	0	11	35	42	
6-7	0	2	19	23	36	
5-6	0	1	16	13	10	
4-5	0	0	17	15	1	
3-4	0	5	12	8	3	
2-3	0	4	17	9	7	
1-2	0	9	15	7	4	
0-1	1	20	15	12	1	
Σύνολο	1	41	122	131	128	

Πίνακας 19. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου prot_br σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 46. Χωρική κατανομή της παραμέτρου prot_br

Φυσικά προστατευτικά (prot_nb)

Επιπλέον προστασία στα κτίρια μπορεί να παρέχουν στοιχεία της γεωμορφολογίας της παράκτιας ζώνης και η φυτική κάλυψη. Γεωμορφές, όπως οι αμμόλοφοι, οι αναβαθμίδες κ.α., μπορούν να λειτουργήσουν σαν φυσικά αναχώματα που ανακόπτουν την ταχύτητα των πλημμυρικών ροών. Η βλάστηση επίσης, ενδέχεται να έχει προστατευτική δράση. Για παράδειγμα, δενδροστοιχίες και θαμνώδη φυτά έχουν την ικανότητα να συγκρατούν κινούμενα αντικείμενα που θα μπορούσαν να προκαλέσουν σημαντικές βλάβες στις επιφάνειες των κτιρίων.

Στην ζώνη κατάκλυσης καταγράφηκαν στο βόρειο τμήμα της, εκτάσεις με βλάστηση και μικροί αμμόλοφοι, που θα μπορούσαν να λειτουργήσουν σαν προστατευτικό και μια μικρή ζώνη με δενδροστοιχία ικανή να παρέχει ένα σημαντικό βαθμό προστασίας. Η χωρική κατανομή του βαθμού προστασίας και ο αριθμός των κτιρίων σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας παρουσιάζονται στον Πίνακα 20 και στην Εικόνα 47.

	Prot_nb				
Βάθος (m)	0.5	0.75	1		
9-10	0	0	0		
8-9	0	2	29		
7-8	0	1	87		
6-7	0	5	75		
5-6	0	7	33		
4-5	0	5	28		
3-4	0	7	21		
2-3	1	9	27		
1-2	0	7	26		
0-1	1	12	36		
Σύνολο	2	59	362		

Πίνακας 20. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου prot_nb σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 47. Χωρική κατανομή της παραμέτρου prot_nb

Τείχος προστασίας από τον κυματισμό (prot_sw)

Το τείχος προστασίας από τον κυματισμό, αποτελεί παράμετρο που μπορεί να μειώσει τη δυναμική του κύματος. Η αποτελεσματικότητά του συνδέεται με το ύψος και την κλίση του. Σε κάποιες περιπτώσεις, τέτοια τείχη κατασκευάζονται ειδικά για να προστατεύσουν παράκτιες ζώνες από τσουνάμι.

Στην περιοχή μελέτης δεν υπάρχει αντίστοιχο τείχος επομένως, τα κτίρια έχουν την ελάχιστη δυνατή προστασία (Πίνακας 21 και Εικόνα 48).

	Prot_sw
Βάθος (m)	1
9-10	0
8-9	33
7-8	88
6-7	80
5-6	40
4-5	33
3-4	28
2-3	37
1-2	35
0-1	49
Σύνολο	423

Πίνακας 21. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου prot_sw σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 48. Χωρική κατανομή της παραμέτρου prot_sw

Τοιχίο περιμετρικά του κτιρίου (prot_w)

Τα τοιχία περιμετρικά των κτιρίων, είναι η τελευταία παράμετρος που συνεκτιμάται για τον υπολογισμός του βαθμού προστασίας του κτιρίου. Η προστασία που παρέχει στο κτίριο ένα τοιχίο σχετίζεται τόσο με την αναλογία του ύψους του ως προς το βάθος της πλημμύρας όσο και με το υλικό κατασκευής.

Τα κτίρια που βρίσκονται πλησιέστερα στο παραλιακό μέτωπο της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζονται από απουσία τοιχίου ή από την ύπαρξη τοιχία πολύ μικρού ύφους που συνήθως αποτελεί διακοσμητικό στοιχείων του περιβάλλοντα χώρου, γεγονός που προσδίδει σε αυτά τον ελάχιστο βαθμό προστασίας. Αντίθετα, στα κτίρια που βρίσκονται προς την ενδοχώρα εντοπίστηκαν τοιχία ικανά να προσδώσουν σημαντικό ή λιγότερο σημαντικό βαθμό προστασίας. Η ύπαρξη περιμετρικών τοιχίων στα πιο απομακρυσμένα από την ακτογραμμή κτίρια συνδέεται με την αλλαγή χρήσης αυτών· από εμπορική σε κατοικίες. Αναλυτικά των πλήθος των κτιρίων και η κατανομή τους παρουσιάζονται στον Πίνακα 22 και στην Εικόνα 49.

	Prot_w					
Βάθος (m)	0	0.25	0.5	0.75	1	
	0	0	0	0	0	
8-9	0	0	0	0	33	
7-8	0	0	0	2	86	
6-7	0	0	0	6	74	
5-6	0	0	0	9	31	
4-5	0	0	1	12	20	
3-4	0	0	1	10	17	
2-3	1	1	3	14	18	
1-2	0	3	10	7	15	
0-1	22	1	7	0	19	
Σύνολο	23	5	22	60	313	

Πίνακας 22. Κατανομή των τιμών της παραμέτρου prot_w σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 49. Χωρική κατανομή της παραμέτρου prot_w

Η μεταβλητή Prot

Μετά τον προσδιορισμό του βαθμού που οι παραπάνω παράμετροι παρέχουν προστασία στα κτίρια, ακολούθησε η εφαρμογή της συνάρτησης 5.4 για τον υπολογισμό της μεταβλητής *Prot*, οι τιμές τις οποίας επαναταξινομήθηκαν στην πενταβάθμια κλίμακα, όπως ορίζει η μεθοδολογία που ακολουθείται, σύμφωνα με τον Πίνακα 17. Τα αποτελέσματα καταγράφονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 23 και το χαρτογραφικό επίπεδο με το βαθμό προστασίας παρουσιάζεται στην Εικόνα 50.

	Prot			
Βάθος	3	4	5	
(m)	5	•	5	
9-10	0	0	0	
8-9	0	0	33	
7-8	0	0	88	
6-7	0	5	75	
5-6	0	7	33	
4-5	0	8	25	
3-4	0	9	19	
2-3	0	12	25	
1-2	3	17	15	
0-1	13	25	11	
Σύνολο	16	83	324	

Πίνακας 23. Κατανομή των τιμών της μεταβλητής Prot σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας


Εικόνα 50. Χωρική κατανομή της μεταβλητής Prot

5.4.3. Ο υπολογισμός της μεταβλητής Ex

Η μεταβλητή *Ex*, είναι η τελευταία που υπολογίζεται για τον προσδιορισμό του παράγοντα *Sv*. Συνδέει το βάθος της εκτιμώμενης πλημμύρας στο οποίο θα βρεθεί το κτίριο με τις αναμενόμενες βλάβες. Μεγαλύτερο βάθος συνεπάγεται ταυτόχρονα έκθεση του κτιρίου σε μεγαλύτερες ταχύτητες των πλημμυρικών ροών και μεγαλύτερο αντίκτυπο από την πρόσκρουση με τα κινούμενα αντικείμενα. Ο βαθμός τρωτότητας του κάθε κτιρίου που προσδίδει σε αυτό το βάθος της πλημμύρας στο οποίο εκτεθείτε αποτιμάται στην πενταβάθμια κλίμακα, σύμφωνα με τον Πίνακα 24.

Οι επαναταξινομημένες τιμές της μεταβλητής *Ex* σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας καταγράφονται στον Πίνακα 25 και η χωρική κατανομή αυτών παρουσιάζεται στην Εικόνα 51.

Βάθος πλημμύρας (m)	0 έως 1	1 έως 2	2 έως 3	3 έως 4	> 4
$Ex_{(1, 5)}$	1	2	3	4	5

Πίνακας 24. Επαναταξινόμηση της μεταβλητής Εχ

			Ex		
Βάθος (m)	1	2	3	4	5
9-10	0	0	0	0	0
8-9	0	0	0	0	33
7-8	0	0	0	0	88
6-7	0	0	0	0	80
5-6	0	0	0	0	40
4-5	0	0	0	0	33
3-4	0	0	0	28	0
2-3	0	0	37	0	0
1-2	0	35	0	0	0
0-1	49	0	0	0	0
Σύνολο	49	35	37	28	274

Πίνακας 25. Κατανομή των τιμών της μεταβλητής Εχ σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 51. Χωρική κατανομή της μεταβλητής Εχ

5.4.4. Ο παράγοντας SV

Έχοντας υπολογίσει τις μεταβλητές *Bv*, *Prot* και *Ex* υπολογίζεται ο παράγοντας *SV*, ύστερα από την εφαρμογή της συνάρτησης 5.2. Οι τιμές που προκύπτουν επαναταξινομούνται σύμφωνα με τον Πίνακα 6. Η κατανομή του βαθμού της τρωτότητας που προσδίδει ο παράγοντας στα κτίρια της ζώνης κατάκλυσης, σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας, παρουσιάζεται στον Πίνακα 26 και η χωρική κατανομή αυτού στην Εικόνα 52.

	SV						
Βάθος (m)	1	2	3	4	5		
9-10	0	0	0	0	0		
8-9	0	0	1	19	13		
7-8	0	0	2	55	31		
6-7	0	0	4	54	22		
5-6	0	0	10	23	7		
4-5	0	0	6	24	3		
3-4	0	5	18	3	2		
2-3	1	28	8	0	0		
1-2	20	14	1	0	0		
0-1	48	1	0	0	0		
Σύνολο	69	48	50	178	78		

Πίνακας 26. Κατανομή των τιμών του παράγοντα SV σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 52. Χωρική κατανομή του παράγοντα SV

5.5. Ο υπολογισμός του παράγοντα WV

Ο παράγοντας WV, αποτυπώνει τις βλάβες που αναμένεται να προκαλέσει η εισχώρηση των πλημμυρικών ροών στο κτίριο και προσδιορίζεται βάσει του ποσοστού του κτιρίου που θα πλημμυρίσει. Οι βλάβες αναφέρονται σε τμήματα του κτιρίου που θα πρέπει να επιδιορθωθούν, όπως η τοιχοποιία και η καταστροφή επιμέρους αντικειμένων που η αντικατάστασή τους επιβαρύνει με επιπλέον κόστος, όπως η επίπλωση και οι ηλεκτρικές συσκευές. Ο τύπος για τον υπολογισμό του παράγοντα WV είναι ο εξής:

WV (0, 1) = (αριθμός πλημμυρισμένων ορόφων) / (σύνολο ορόφων) (5.5)

Οι τιμές που προκύπτουν από την εφαρμογή του τύπου 5.5 δίνονται στο διάστημα [0, 1] και επαναταξινομούνται σύμφωνα με τον Πίνακα 27 για να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του *RVI*. Το πλήθος και η κατανομή του *WV*, όπως προέκυψε από τους υπολογισμούς παρουσιάζεται στον Πίνακα 28 και στον χάρτης της Εικόνας 53.

WV(0, 1)	[0, 0,2[[0,2, 0,4[[0,4, 0,6[[0,6, 0,8[[0,8, 1]
<i>WV</i> (1, 5)	1	2	3	4	5

Πίνακας 27. Επαναταξινόμηση του παράγοντα WV

	WV						
Βάθος (m)	1	2	3	4	5		
9-10	0	0	0	0	0		
8-9	0	0	1	13	19		
7-8	0	0	0	50	38		
6-7	0	0	22	34	24		
5-6	0	0	14	15	11		
4-5	0	2	11	13	7		
3-4	0	7	9	0	12		
2-3	0	8	13	0	16		
1-2	9	4	13	8	1		
0-1	9	38	0	2	0		
Σύνολο	18	59	83	135	128		

Πίνακας 28. Κατανομή των τιμών του παράγοντα WV σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 53. Χωρική κατανομή του παράγοντα WV

5.6. Ο υπολογισμός της σχετικής τρωτότητας – RVI

Ο υπολογισμός του *RVI*, αποτελεί το τελικό στάδιο στην εφαρμογή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε. Οι τιμές του δείκτη προκύπτουν από την εφαρμογή της συνάρτησης 5.1. και την επαναταξινόμηση των τιμών σύμφωνα με τον Πίνακα 3, καταδεικνύοντας το βαθμό σχετικής τρωτότητας των κτιρίων που καταγράφηκαν στη ζώνη κατάκλυσης, όπως αυτή οριοθετήθηκε σύμφωνα με το «σενάριο» για το ακραίο run-up από τσουνάμι, το οποίο υιοθετήθηκε για τις ανάγκες εφαρμογής του μοντέλου PTVA-3.

Στον Πίνακα 29 και στην Εικόνα 54 παρουσιάζεται η κατανομή του βαθμού τρωτότητας κάθε κτιρίου σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας, όπως προέκυψε από τους τελικούς υπολογισμούς, σύμφωνα με τον τύπο 5.1.

	RVI						
Βάθος (m)	Μικρός (Minor)	Μέτριος (Moderate)	Μεσαίος (Average)	Υψηλός (High)	Πολύ Υψηλός (Very High)		
9-10	0	0	0	0	0		
8-9	0	0	1	19	13		
7-8	0	0	2	56	30		
6-7	0	0	24	36	20		
5-6	0	0	21	12	7		
4-5	0	0	16	14	3		
3-4	0	10	13	3	2		
2-3	1	19	17	0	0		
1-2	21	12	2	0	0		
0-1	46	3	0	0	0		
Σύνολο	68	44	96	140	75		

Πίνακας 29. Κατανομή του βαθμού σχετικής τρωτότητας (RVI) σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας



Εικόνα 54. Χωρική κατανομή του βαθμού της σχετικής τρωτότητας (RVI)

5.7. Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Από την εφαρμογή του PTVA-3 στον οικισμό του Καμαρίου προέκυψε ότι, από το σύνολο των 423 κτιρίων που εξετάστηκαν, τα μισά από αυτά (51%) χαρακτηρίζονται από υψηλό έως πολύ υψηλό βαθμό σχετικής τρωτότητας. Το αντίστοιχο ποσοστό των κτιρίων με χαμηλότερο βαθμό σχετικής τρωτότητας (μικρός – μέτριος) ανέρχεται στο 26%, ενώ τα κτίρια που εμφανίζουν μεσαίο βαθμό σχετικής τρωτότητας καταγράφουν ποσοστό 23% (Εικόνα 55).

Ως προς την κατανομή του βαθμού τρωτότητας σε σχέση με το βάθος της πλημμύρας (Εικόνα 56), η σχετική τρωτότητα με βαθμό πολύ υψηλό και υψηλό εμφανίζει τις μέγιστες τιμές στα μεγαλύτερα βάθη πλημμύρας, αντικατοπτρίζοντας τα κτίρια εκείνα που βρίσκονται σε χαμηλότερα υψόμετρα και τα οποία αναμένεται να δεχθούν τις ισχυρότερες πιέσεις από τις πλημμυρικές ροές. Οι ακραίες τιμές των δύο αυτών κλάσεων καταγράφονται στο βάθος πλημμύρας των 8 m και η συχνότητα εμφάνισης του βαθμού φθίνει όσο αυξάνεσαι η απόσταση από την ακτογραμμή, παίρνοντας τιμή 0 στο βάθος των 3 m. Η κατανομή του βαθμού της μεσαίας κλάσης παρουσιάζει μεγαλύτερη κανονικότητα, καλύπτοντας σχεδόν όλο το εύρος της ζώνης κατάκλυσης, καταγράφοντας δύο τοπικά μέγιστα, στα 7 και 3 m. Τα κτίρια που χαρακτηρίζονται με τους μικρότερους βαθμούς σχετικής τρωτότητας εντοπίζονται στα μεγαλύτερα υψόμετρα της ζώνης κατάκλυσης, εκεί όπου η δυναμική των πλημμυρικών ροών εμφανίζεται περισσότερο εξασθενημένη. Η κατανομή τους προκύπτει στα βάθη μεταξύ 1-4 m. Η κλάση με μέτριο βαθμό σχετικής τρωτότητας παρουσιάζει ακραία τιμή στο βάθος των 3 m, ενώ η κλάση με μικρό βαθμό τρωτότητας στο 1 m.

Τέλος, συσχετίζοντας την κύρια χρήση των κτιρίων με το βαθμό της σχετικής τρωτότητας (Πίνακας 30) διαπιστώνεται ότι, το 50% των κατοικιών χαρακτηρίζονται από υψηλή και πολύ υψηλή σχετική τρωτότητα ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τα κτίρια που στεγάζουν τουριστικές μονάδες ανέρχεται στο 43%. Τα καταστήματα και οι χώροι εστίασης καταγράφουν τα μεγαλύτερα ποσοστά τιμών στις κλάσεις υψηλής και πολύ υψηλής σχετικής τρωτότητας με ποσοστά 76% και 83%, αντίστοιχα, γεγονός που εξηγείται από την χωρική πόλωση της ανάπτυξης της οικονομικής δραστηριότητας κατά μήκος του παραλιακού μετώπου.



Εικόνα 55. Ποσοστιαία κατανομή του βαθμού της σχετικής τρωτότητας



Εικόνα 56. Διάγραμμα κατανομής της σχετικής τρωτότητας ως προς το βάθος της πλημμύρας

Πίνακας 30.	Βαθμός	σγετικής	τρωτότητας	ανά χρήση	κτιρίου
1100 000 000	2010 110 3	° %° * 15	-p	We	

	Σύνολο	Σύνολο Βαθμός σχετικής τρωτότητας – RVI						
	κτιρίων ανά χρήση	Μικρός (Minor)	Μέτριος (Moderate)	Μεσαίος (Average)	Υψηλός (High)	Πολό Υψηλός (Very High)		
	Αποκλειστική χρήση							
Κατοικίες	103	28	15	18	32	10		
Τουριστικές μονάδες	146	21	16	45	63	1		
Εστιατόρια	48	1	1	7	10	30		
Καταστήματα	55	3	5	10	9	28		
Θρησκευτικοί χώροι	4	1	1	1	0	1		
Αποθήκες	10	1	0	2	2	5		
Άγνωστη	7	3	0	1	3	0		
		Μεικτ	ή χρήση					
Καταστήματα/ Κατοικίες	24	7	2	8	7	0		
Καταστήματα/ Εστιατόρια	4	1	1	1	1	0		
Καταστήματα/ Τουριστικές μονάδες	6	1	0	1	4	0		
Εστιατόρια/ Κατοικίες	4	1	1	0	2	0		
Εστιατόρια/ Τουριστικές μονάδες	7	0	0	1	6	0		
Τουριστικές μονάδες/ Κατοικίες	5	0	2	1	1	0		
Σύνολο κτιρίων	423	68	44	96	140	75		

6. Συμπεράσματα

Κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, κατέστη σαφές ότι το Νότιο Αιγαίο συνιστά μια γεωγραφική ζώνη με υψηλό βαθμό επιρρέπειας στον κίνδυνο των θαλασσίων κυμάτων βαρύτητας. Η ανασκόπηση των καταλόγων παρελθόντων γεγονότων, που έχουν συμπληρωθεί βάσει ιστορικών καταγραφών και ερευνητικών ευρημάτων, καταδεικνύει ότι το γεωδυναμικό καθεστώς και η υποθαλάσσια μορφολογία της ευρύτερης περιοχής καθιστούν αυτή ως ένα ενεργό πεδίο γέννησης τσουνάμι. Η δυναμική των μηχανισμών που δημιουργεί αυτά τα κύματα φέρεται ως ικανή να παράξει τσουνάμι που μπορούν να προκαλέσουν καταστροφές σε όλες δυνητικά τις παράκτιες περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου. Η γειτνίασης της θέσης της Θήρας με τις δομές αυτές, καθιστά αυτή εξίσου επιρρεπή στην απειλή των τσουνάμι. Η γεωγραφία του νησιού, σε συνδυασμό με τον μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό έκθεσης των ανθρώπινων δομών και συστημάτων στα τσουνάμι, προσδίδει στους παράκτιους οικισμούς τρωτότητα, η διερεύνηση της οποίας αποτέλεσε το βασικό σκοπό της έρευνας.

Το «σενάριο» του τσουνάμι με ακραία χαρακτηριστικά, το οποίο δημιουργήθηκε με γνώμονα τα στοιχεία από την εμφάνιση παλαιότερων γεγονότων και η εξέταση των αναμενόμενων διατάσεων του κύματος στους οικισμούς του Καμαρίου και της Περίσσας κατέδειξε, έως ένα σημείο, το βαθμό της ανθρώπινης τρωτότητας και τις διαστάσεις της ικανότητας διαφυγής του πληθυσμού σε ασφαλές περιβάλλον. Επίσης, από τις αναλύσεις προέκυψε ότι, υπό συγκεκριμένες συνθήκες, παρέχεται το αναγκαίο χρονικό πλαίσιο για εκκένωση των παράκτιων περιοχών. Επομένως, η ανάπτυξη ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης αποτελεί σημαντικό εργαλείο, στο πλαίσιο του σχεδιασμού για τη μείωση της διακινδύνευσης.

Η εργασία επικεντρώθηκε, κατά κύριο λόγω, στην εκτίμηση της τρωτότητας του κτιριακού αποθέματος του Καμαρίου, του μεγαλύτερου και πλέον ανεπτυγμένου τουριστικά εκ των παράκτιων οικισμών που κατέχουν το μεγαλύτερο βαθμό σχετικής έκθεσης σε κύματα τσουνάμι. Για την επίτευξη αυτού του σκοπού, χρησιμοποιήθηκε ένα συγκεκριμένο αναλυτικό εργαλείο, που εφαρμόστηκε στα κτίρια του οικισμού τα οποία αναμένεται να βρεθούν εντός του ορίου της πλημμυρικής ζώνης, βάσει του «σεναρίου» με μέγιστο ύψος αναρρίχησης (run-up) τα 10m. Το μοντέλο PTVA-3 επιλέχθηκε καθώς αποτελεί μια μέθοδο που συνεκτιμά μια πληθώρα παραμέτρων για τον υπολογισμό της σχετικής τρωτότητας κάθε κτιρίου. Συνιστά μια προσέγγιση αξιολόγησης πολλαπλών κριτηρίων, η ανάλυση των οποίων πραγματοποιείται με χρήση λογισμικού ΓΣΠ. Η διαθεσιμότητα και η δυνατότητα εύκολης πρόσβασης στο απαιτούμενο πληροφοριακό υλικό και η ευκολία στους υπολογισμούς, καθιστά το μοντέλο αρκετά λειτουργικό. Ακόμα, η δυνατότητα ανανέωσης και ενημέρωσης της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιεί αυτή η προσέγγιση, την κατατάσσει στα δυναμικά συστήματα.

Η απορρέουσα τρωτότητα του κτιριακού αποθέματος του οικισμού, η οποία αποτελεί ένα σημαντικό πόρο ανάπτυξης, ενδέχεται να συντελέσει στην υποβάθμιση της ποιότητάς του, όταν αυτό βρεθεί αντιμέτωπο με τη δυναμική καταστροφών ενός κύματος τσουνάμι. Ο αυξημένος βαθμός τρωτότητας που χαρακτηρίζει τα κτίρια της παράκτιας ζώνης, όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα των υπολογισμών κατά την πορεία εφαρμογής του μοντέλου, οι κυρίαρχες χρήσεις των οποίων συνδέονται με την οικονομική δραστηριότητα και την εξυπηρέτηση των τουριστικών αναγκών, είναι πιθανό να συντελέσει στην απώλεια του τοπικού συγκριτικού πλεονεκτήματος. Το γεγονός αυτό, αναμένεται να επιφέρει μια αυξημένη πιθανότητα φθίνουσας πορείας της τουριστικής ανάπτυξης και την ανάγκη απορρόφησης οικονομικών πόρων, για την αποκατάσταση και την ανάκαμψη.

Δεδομένου ότι το Καμάρι συγκαταλέγεται στους ανεπτυγμένους τουριστικά οικισμούς του νησιού, όπως ολόκληρη η Θήρα άλλωστε, εμπεριέχει εγγενώς στις δομές του το στοιχείο της αυξημένης τρωτότητας. Επομένως, η περεταίρω διερεύνηση των παραγόντων που ενδυναμώνουν την εν λόγω έννοια, τίθεται επιτακτικά ως ζητούμενο στο στόχο της απαλοιφής των προβληματικών καταστάσεων, που εμποδίζουν την εδραίωση της ασφάλειας και της ευημερίας.

Βιβλιογραφία

Ambraseys, N.N. (1960). The seismic Sea Wave of July 9, 1956, in the Greek Archipelago. *Journal of Geophysical Research* 65 (4):1257-1265.

Atillah, A., El Hadani, D., Moudni, H., Lesne, O., Renou, C., Mangin, A. and Rouffi, F. (2011) Tsunami vulnerability and damage assessment in the coastal area of Rabat and Salé, Morocco. *Natural Hazards Earth System Sci*ences 11 (12): 3397–3414.

Bardot, L. (2000). Emplacement temperature determinations of proximal pyroclastic deposits on Santorini, Greece, and their implication. *Bulletin of Volcanology* 61:450-467.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. and B. Wisner. (1994). *At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability, and Disasters*. London: Routledge.

Bohnhoff, M., Rische, M., Meier, T., Becker, D., Stavrakakis, G. and Harjes, H.P. (2006). Microseismic activity in the Hellenic Volcanic Arc, Greece, with emphasis on the seismotectonic setting of the Santorini – Amorgos zone. *Tectonophysics* 423:17-33.

Bryant, E. (2008). Tsunami the Underrated Hazard (2nd Edition). Chichester: Springer.

Cita, M.B. and Aloisi, G. (2000). Deep–sea tsunami deposits triggered by the explosion of Santorini (3500 y BP), eastern Mediterranean. *Sedimentary Geology* 135:181-203.

Cita, M.B. and Romoldi, B. (1997). Geological and geophysical evidence for a Holocene tsunami deposit in the Eastern Mediterranean deep – sea record. *Journal of Geodynamics* 24 (1-4):293-304.

Dall'Osso F. and Dominey-Howes, D. (2009). A method for assessing the vulnerability of buildings to catastrophic (tsunami) marine flooding. *Report Prepared Sydney Coastal Council Group Inc.* pp. 1-138.

Dall'Osso, F., Gonella, M., Gabbianelli, G., Withycombe, G. and Dominey-Howes, D. (2009). A revised (PTVA) model for assessing the vulnerability of buildings to tsunami damage. *Natural Hazards Earth System Sciences* 9 (5):1557-1565.

Dimitriadis, I., Karagianni, E., Panagiotopoulos, D., Papazachos, C., Hatzidimitriou, P., Bohnhoff, M., Riche, M. and Meier, T. (2009). Seismicity and active tectonics at Coloumbo Reef (Aegean Sea, Greece): Monitoring an active volcano at Santorini Volcanic Center using a temporary seismic network. *Tectonophysics* 465:136-149.

Dominey-Howes, D. (2002). Documentary and geological records of tsunamis in the Aegean Sea region of Greece and their potential value risk assessment and disaster management. *Natural Hazards* 25:195-224.

Dominey-Howes, D. (2004). A re- analysis of the Late Bronze Age eruption and tsunami of Santorini, Greece, and the implications for the volcano–tsunami hazard. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 130:107-132.

Dominey-Howes, D. and Papathoma, M. (2007).Validating a tsunami vulnerability assessment model (the PTVA Model) using field data from the 2004 Indian Ocean tsunami. *Natural Hazards* 40 (1): 113-136.

Dominey-Howes, D., Cundy, A. and Croudace, I. (2000a). High energy marine flood deposits an Astypalaea Island, Greece: possible evidence for the AD 1956 southern Aegean tsunami. *Marine Geology* 163:303-315.

Dominey-Howes, D., Papadopoulos, G. and Dawson, A.G. (2000b). Geological and Historical Investigation of the 1650 Mt. Coloumbo (Thera Island) eruption and Tsunami, Aegean Sea, Greece. *Natural Hazards* 21, 83-96.

Druitt, T.H. and Francaviglia, V. (1992). Caldera formation on Santorini and the physiography of the island in the late Bronze Age. *Bulletin of Volcanology*. 54:484-493.

Druitt, T.H., Edwards, L., Mellors, R.M., Pyle, D.M., Sparks R.S.J., Lanphere. M. and Barreirio, B. (1999). *Santorini Volcano*. Geological Society: London, Memoirs, 19.

Eckert, S., Jelinek, R., Zeug, G. and Krausmann, E. (2012). Remote sensing-based assessment of tsunami vulnerability and risk in Alexandria, Egypt. *Applied Geography* 32 (2):714-723.

Galanopoulos, A., Delibasis, N. and Komninakis, P. (1964). A tsunami generated by an earth slump set in motion without shock. *Hellenic Journal of Geosciences* 16:93-110.

Google Maps. Δορυφορικές εικόνες της νήσου Θήρας. Διαθέσιμες στην ιστοσελίδα: <u>https://www.google.gr/maps</u>. Εύρεση στις 06 Απριλίου 2015.

Hamouda, A.Z. (2006). Numerical computations of 1303 tsunamigenic propagation towards Alexandria, Egyptian Coast. *Journal of African Earth Sciences* 44 (1):37-44.

Jones, J.M., Ng, P. and Wood, N.J. (2014). The pedestrian evacuation analyst–Geographic information systems software for modeling hazard evacuation potential: *U.S. Geological Survey Techniques and Methods*, book 11, chap. C9, 25 p.

Kaiser, G., Burkhard, B., Römer, H., Sangkaew, S., Graterol, R., Haitook, T., Sterr, H. and Sakuna-Schwartz, D. (2013). Mapping tsunami impacts on land cover and related ecosystem service supply in Phang Nga, Thailand. *Natural Hazards Earth System Sciences* 13 (12):3095–3111.

Keller, E.A. and De Vecchio, D.E. (2012). *Earth's Processes as Hazards, Disasters, and Catastrophes* (3rd Edition). New Jersey: Pearson Prentice Hall.

Maramai, A., Brizuela, B. and Graziani. L. (2014). The Euro-Mediterranean Tsunami Catalogue. Annals of Geophysics 57(4):s0435.

McCelland E.A. and Druitt, T.H. (1989). Palaeomagnetic estimates of emplacement temperatures of pyroclastic deposits on Santorini, Greece. *Bulletin of Volcanology* 51:16-27.

McCoy, F.W. and Heiken, G. (2000). Tsunami Generated by the Late Bronze Age Eruption of Thera (Santorini), Greece. Pure and Applied Geophysics 157:1227-1256.

Moustakas, N.K. and Georgoulias, F. (2005). Soils developed on volcanic materials in the island of Thera, Greece. *Geoderma* 129:125-138.

Odeh, D. J. (2002). Natural hazards vulnerability assessment for statewide mitigation planning in Rhode Island. *Natural Hazards Review* 3 (4):177-187.

Omira, R., Baptista, M.A., Miranda, J.M., Toto, E., Catita, C. and Catalão, J. (2010). Tsunami vulnerability assessment of Casablanca-Morocco using numerical modelling and GIS tools. *Natural Hazards* 54 (1):75-95.

Papadopoulos, G., Gràcia E., Urgeles, R., Sallares, V., De Martini, P.M., Pantosti, D., González, M., Yalciner, A.C., Mascle, J., Sakellariou, D., Salamon, A., Tinti, S., Karastathis, V., Fokaefs, A., Camerlenghi, A., Novikova, T. and Papageorgiou, A. (2014). Historical and pre-historical tsunamis in the Mediterranean and its connected seas: Geological signatures, generation mechanisms and coastal impacts. *Marine Geology* 354:81–109.

Papathoma, M., Dominey-Howes, D., Zong, Y. and Smith, D. (2003). Assessing tsunami vulnerability, an example from Herakleio, Crete. *Natural Hazards Earth System Sciences* 3 (5):377-389.

Pelling, M. (2003). *The Vulnerability of Cities: Natural Disasters and Social Resilience*. London: Earthscan Publications.

Perissoratis, C. (1995). The Santorini volcanic complex and its relation to the stratigraphy and structures of the Aegean arc, Greece. *Marine geology* 128:37-58.

Schmidtlein, M.C. and Wood, N.J. (2015). Sensitivity of tsunami evacuation modeling to direction and land cover assumptions. *Applied Geography* 56:154-163.

Shaw, B. (2012). *Active tectonics of the Hellenic subduction zone*. Ph.D Thesis. Springer Theses. Berlin Heidelberg: Springer.

Shaw, B., Ambraseys, N.N., England, P.C., Floyd, M.A., Gorman, G.J., Higham, T.F.G., Jackson, J.A., Nocquet, J.-M., Pain., C.C. and Piggott, D. (2008). Eastern Mediterranean tectonics and tsunami hazard from the AD 365 earthquake. *Nature Geoscience* 1:268-276.

Shiki, T. and Cita, M.B. (2008). 'Tsunami-Related Sedimentary Properties of Mediterranean
Homogenites as an Example of Deep-Sea Tsunamiite' pp. 203-215. In: Shiki, T., Tsuji, Y., Minoura,
K., Yamazaki, T. (Eds) *Tsunamiites – Features and Implications*. Amstredam, Oxford: Elsevier.

Simpson, D.M. and Human, J.R. (2008). Large-scale vulnerability assessments for natural hazards. *Natural Hazards* 47:143-155.

Sørensen, M.B., Spada, M., Babeyko, A., Wiemer, S. and Grünthal, G. (2012). Probabilistic tsunami hazard in the Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 117 (1): 1-15.

Sparks, R.S.J. (1979). The Santorini eruption and its consequences. Endeavour 3 (1): 27-31.

Stiros, S.C. (2001). The AD 365 Crete earthquake and possible seismic clustering during the fourth to sixth centuries AD in the Eastern Mediterranean: A review of historical and archaeological data. *Journal of Structural Geology* 23:545-562.

Tanislav, D., Costache, A. and Muratoreanu, G. (2009). Vulnerability to natural hazards in Romania. *Proceedings of the Gepgraphycal Phorum* No.8:131-138.

Ulvrová, M., Paris, R., Kelfoun, K. and Nomikou P. (2014). Numerical simulations of tsunamis generated by underwater volcanic explosions at Karymskoye lake (Kamchatka, Russia) and Kolumbo volcano (Aegean Sea, Greece), *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14 (2):401-412.

Vespa, M., Keller, J. and Gertisser, R. (2006). Interplinian explosive activity of Santorini volcano (Greece) during the past 150,000 years. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 153:262-282.

Yolsal, S., Taymaz, T. and Yalciner, A.C. (2007). Understanding tsunamis, potential source regions and tsunami-prone mechanisms in the Eastern Mediterranean. Geological Society 291:201-230.

Αποστολάκη, Μ. (2007). Σαντορίνη (Θήρα). Δίκτυο Αειφόρων Νήσων Δάφνη. Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <u>http://www.dafni.net.gr/gr/members/files/thira/santorini-report.pdf</u>. Εύρεση στις 22 Μαΐου 2015

Βουγιουκαλάκης, Γ., (1997). Απλοποιημένος Γεωλογικός Χάρτης Σαντορίνης. Διαθέσιμος στην ιστοσελίδα: <u>http://www.geo.auth.gr/765/6_santorini/61_geology.htm</u>. Εύρεση στις 12 Μαΐου 2015.

Γκουρνέλος, Θ., Βαΐόπουλος, Δ., Βασιλόπουλος, Α. και Ευεπλίδου, Ν. (1995). Γεωμορφολογική μελέτη της Θήρας – Σύνθεση παλαιοαναγλύφου. *Πρακτικά 4ου πανελληνίου γεωγραφικού συνεδρίου*, σελ.:128-139.

Δελλαδέτσιμας, Π.Μ. (2009). Οι ασφαλείς πόλεις. Αθήνα: Εκδόσεις Εξάντας.

Ελευθερίου, Α. και Σοφίας, Γ. (1984). Γεωτεχνική αναγνώριση ευστάθειας πρανών στην καλντέρα της νήσου Σαντορίνης. Αθήνα: IΓΜΕ.

Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2011). Γενικές Απογραφές Κτηρίων και Πληθυσμού – Κατοικιών 2011.

Κτηματολόγιο Α.Ε. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους της Νήσου Θήρας.

Ξενοδοχειακό Επιμελητήριο Ελλάδας. Αναζήτηση διαθεσιμότητας κλινών στις τουριστικές μονάδες της νήσου Θήρας. Διαθέσιμη στην ιστοσελίδα: <u>http://services.grhotels.gr/cloud1/el/</u> searchaccomodation. Εύρεση στις 25 Ιουνίου 2015.

Παπαζάχος, Β. και Παπαζάχου, Κ. (2003). Οι σεισμοί της Ελλάδας (3^η Έκδοση). Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Ζήτη.

Παπανικολάου, Δ. Ι. και Σίδερης, Χρ. Ι. (2007). Γεωλογία η επιστήμη της Γης. Αθήνα: Εκδόσεις Πατάκη.