



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΠΜΣ: «ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΧΩΡΟΥ»

***«ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΑΝΑΤΟΛΙΚΩΝ ΑΚΤΩΝ
ΤΗΣ ΝΗΣΟΥ ΘΗΡΑΣ ΣΤΑ ΤΣΟΥΝΑΜΙ»***

Μπατζάκης Δημήτριος-Βασίλειος, Υποψήφιος Διδάκτορας

Μάρτιος 2026

Δομή της παρουσίασης

- **Θεωρητικό πλαίσιο**

Τα τσουνάμι ως κίνδυνος.

Τα τσουνάμι στην Ελλάδα.

Οι έννοιες της έκθεσης και της τρωτότητας.

Η εκτίμηση της τρωτότητας, τα μοντέλα εκτίμησης και η σημασία εκτίμησης της τρωτότητας.

- **Μεθοδολογία**

Διερεύνηση των τσουνάμι ως παράγοντα διακινδύνευσης στο Νότιο Αιγαίο.

Η επιλογή της ν. Θήρας ως περιοχή μελέτης – Η γεωγραφία του νησιού.

Η εκτίμηση της έκθεσης και ο περεταίρω προσδιορισμός της περιοχής μελέτης.

Δημιουργία του ακραίου σεναρίου τσουνάμι.

Εκτίμηση ανθρώπινης και κτιριακής τρωτότητας.

- **Αποτελέσματα – Συμπεράσματα**

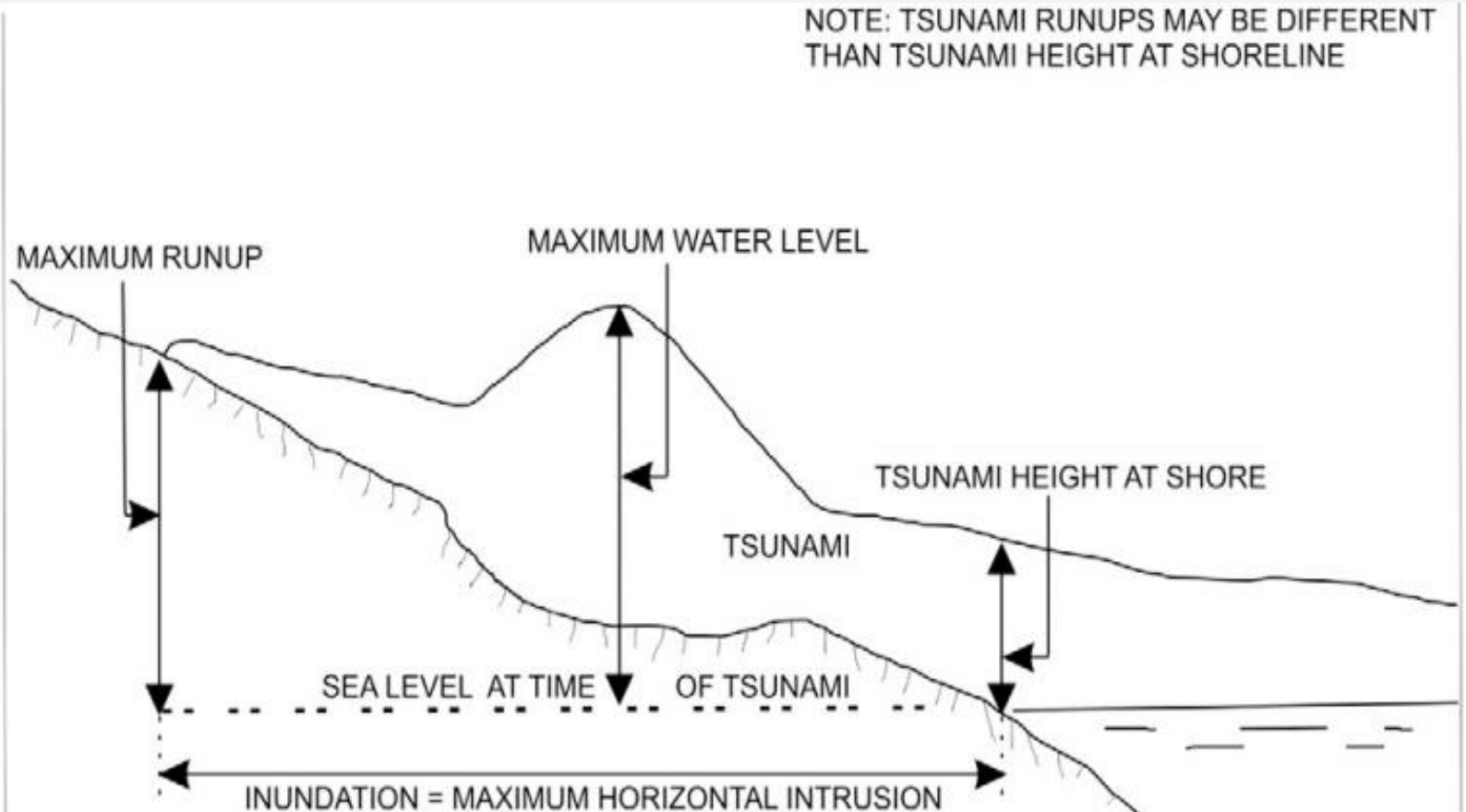
Σκοπός και στόχοι

- *Υπόθεση εργασίας* αποτελεί η επιρρέπεια των ανατολικών ακτών της ν. Θήρας στα τσουνάμι και ο κύριος σκοπός της έρευνας είναι η διερεύνηση της απορρέουσας ανθρώπινης και κτιριακής τρωτότητας.
- *Επιμέρους ερευνητικά βήματα* αποτελούν:
 - Η τεκμηρίωση –μέσω της βιβλιογραφικής επισκόπησης– της φυσικής απειλής των τσουνάμι ως ικανού παράγοντα διακινδύνευσης.
 - Η εκτίμηση της έκθεσης των παράκτιων οικισμών, βάσει της οποίας πραγματοποιείται η επιλογή της περιοχής μελέτης.
 - Η ανάπτυξη ενός «ακραίου σεναρίου» (worst-case scenario) εμφάνισης κύματος τσουνάμι, συνδεδεμένου με τις γεωλογικές/ τεκτονικές διεργασίες της ευρύτερης περιοχής και την παράκτια μορφολογία.
 - Ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών του κύματος και των παραμέτρων της ανθρώπινης τρωτότητας.
 - Η εκτίμηση της τρωτότητας στα τσουνάμι των κτιρίων στον οικισμό του Καμαρίου.

Τα τσουνάμι ως κίνδυνος (1/2)

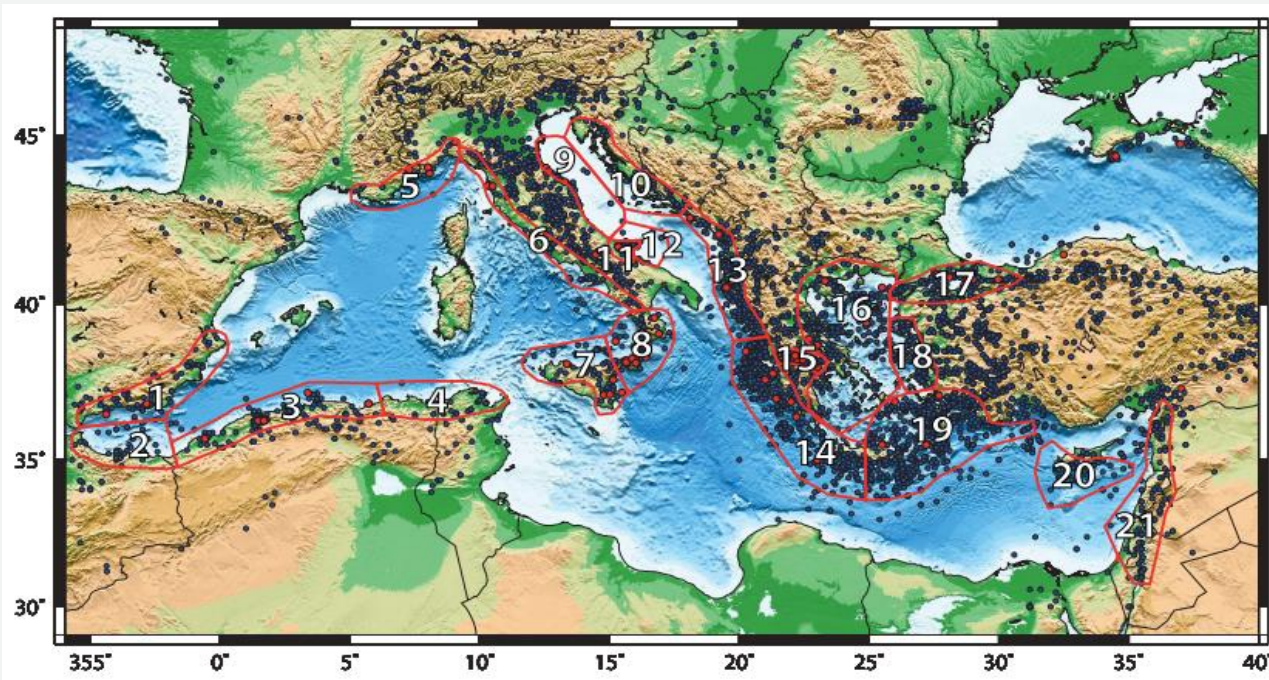
- Δευτερογενές φαινόμενο με πολλαπλούς μηχανισμούς γέννησης.
 - Τα χαρακτηριστικά του συνδέονται με τα χαρακτηριστικά του αιτίου που το προκάλεσε.
 - Είναι μια φυσική απειλή η οποία δυνητικά μπορεί να πλήξει οποιαδήποτε παράκτια περιοχή.
 - Οι επιπτώσεις ενός τσουνάμι διακρίνονται σε πρωτογενείς και δευτερογενείς.
 - Τρωτότητα στα κύματα τσουνάμι εμφανίζουν τόσο οι υπό ανάπτυξη όσο και οι ήδη ανεπτυγμένες παράκτιες κοινότητες.
 - Η γνώση για την εμφάνιση κάποιου γεγονότος σε κάποια παράκτια περιοχή στο παρελθόν θεωρείται σημαντική καθώς αποκαλύπτει το βαθμό επιρρέπειας αυτής στον συγκεκριμένο κίνδυνο.
 - Βασικά χαρακτηριστικά του κύματος αποτελούν το **υψόμετρο αναρρίχησης (run-up)** των πλημμυρικών ροών (inundation flows) και η **ζώνη κατάκλυσης (inundation zone)**.
-

Τα τσουνάμι ως κίνδυνος (2/2)

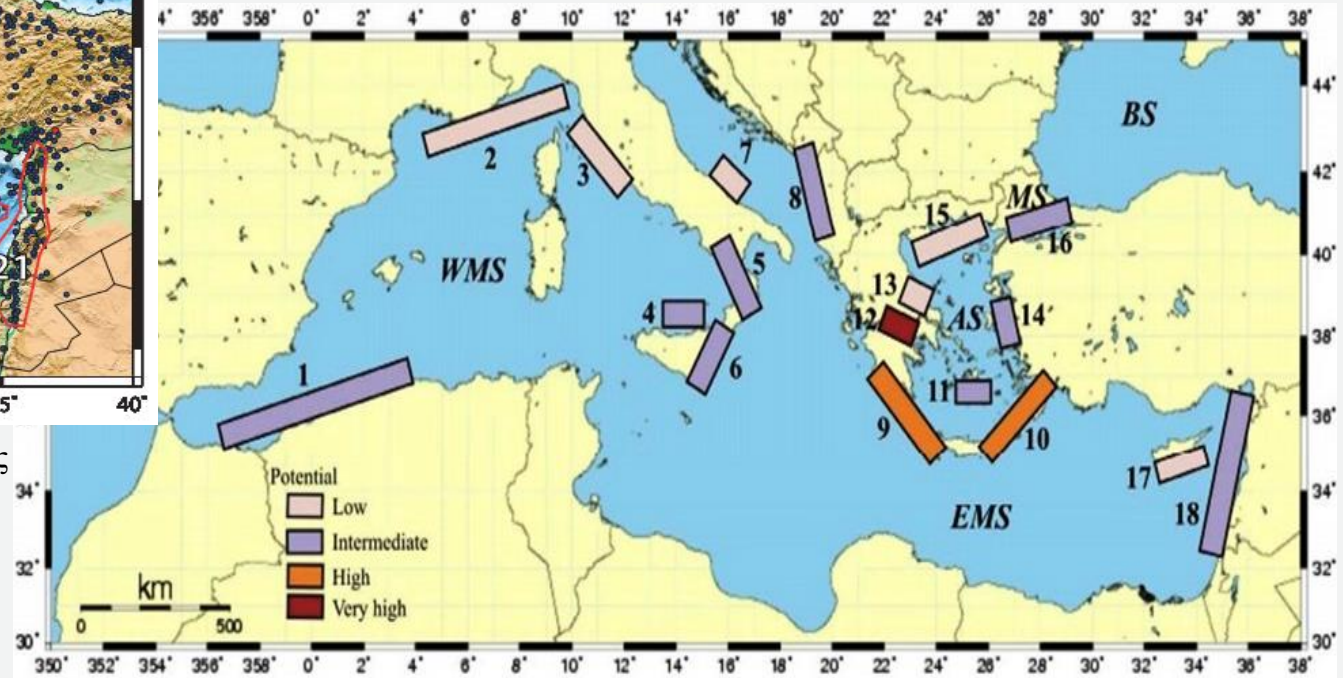


Τα βασικά χαρακτηριστικά των τσουνάμι. Πηγή: Papadopoulos et al., 2014

Τα τσουνάμι στην Ελλάδα (1/3)



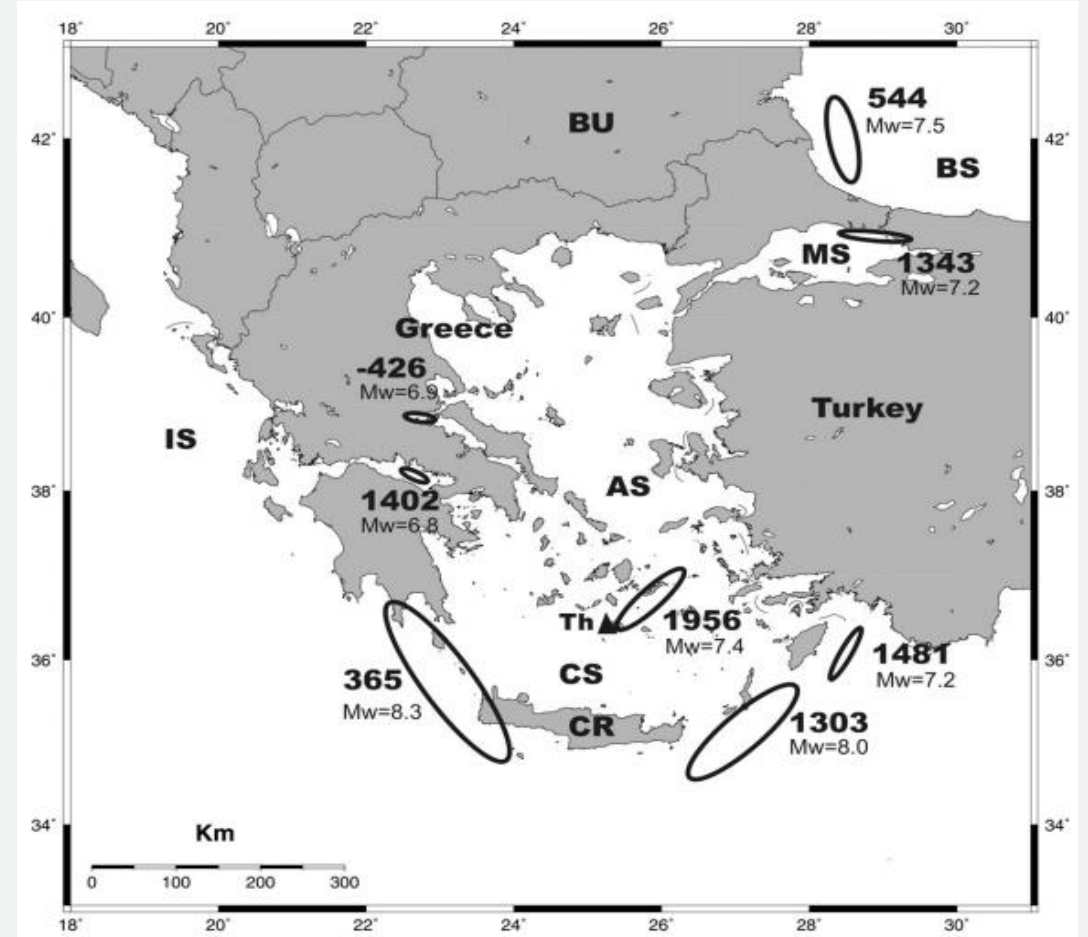
Ζωνοποίηση των περιοχών με σεισμικότητα ικανή να παράξει τσουνάμι στη λεκάνη της Μεσογείου. Πηγή: Sørensen et al., 2012



Οι ζώνες γένεσης τσουνάμι στη λεκάνη της Μεσογείου και η ταξινόμησή τους ως προς τη πιθανότητα γένεσης των κυμάτων. Πηγή: Papadopoulos et al., 2014

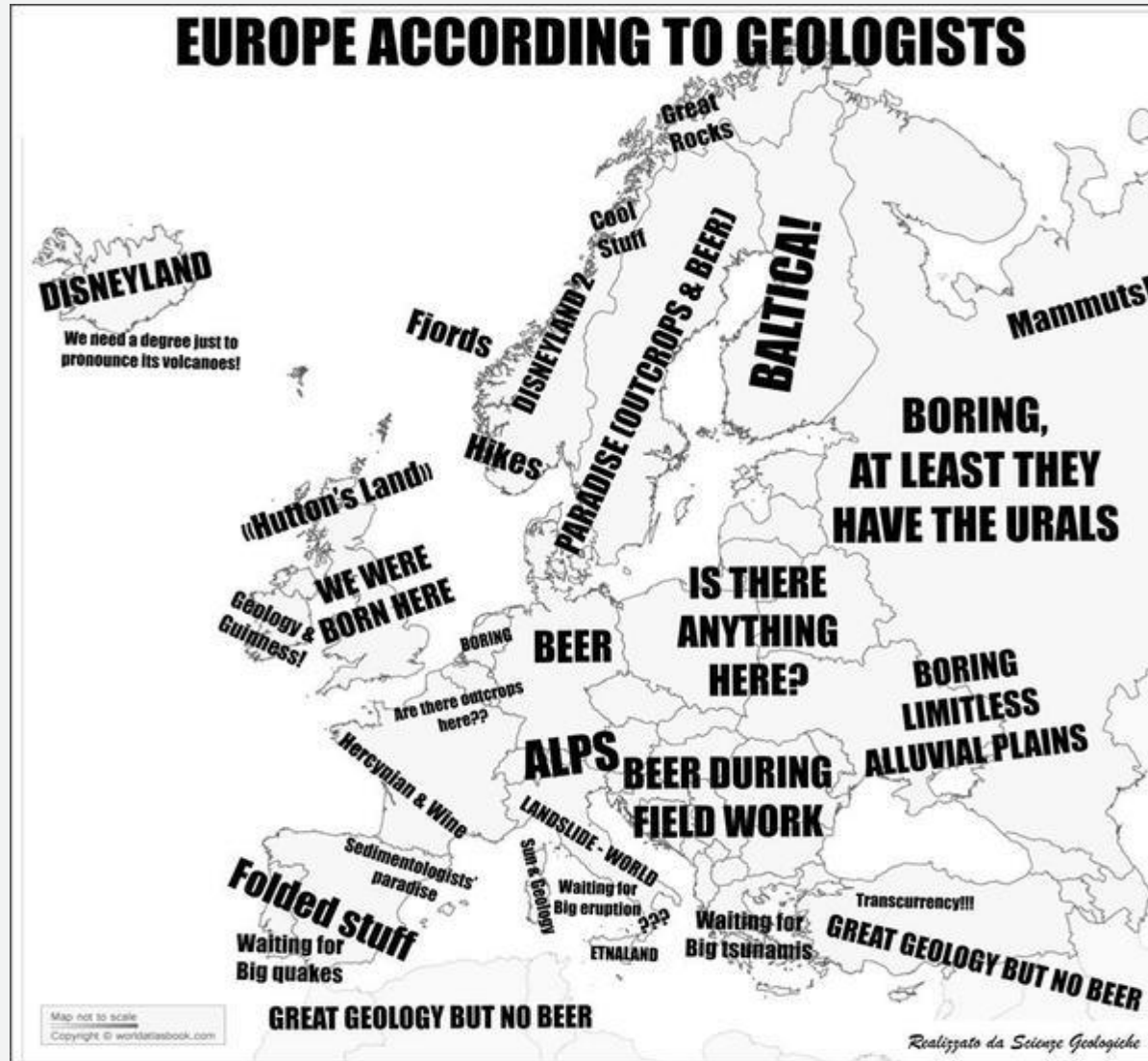
Τα τσουνάμι στην Ελλάδα (2/3)

- Περίπου το 30% του συνόλου των μεγάλων σεισμών που συμβαίνουν στον ελληνικό χώρο προκαλούν τσουνάμι με μετρήσιμα χαρακτηριστικά.
- Έχουν ταυτοποιηθεί περίπου 160 γεγονότα.
- Κυρίαρχος μηχανισμός γένεσης στον ελληνικό χώρο είναι οι σεισμοί.
- Επίσης, μηχανισμούς γένεσης αποτελούν οι κατολισθήσεις και τα φαινόμενα που συνδέονται με την ηφαιστειακή δραστηριότητα.
- Το γεγονός της Ύστερης Εποχής του Χαλκού ευθύνεται για την αρχή της παρακμής του μινωικού πολιτισμού.



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

Τα τσουνάμι στην Ελλάδα (3/3)



Οι έννοιες της έκθεσης και της τρωτότητας (1/2)

Η έκθεση (exposure):

- Αποτελεί 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.
- Δηλώνει τη φύση και τον πληθυσμό των συνθετικών στοιχείων μια κοινότητας που θα έρθουν σε επαφή με τις πιέσεις που θα ασκήσει ένας φυσικός κίνδυνος.
- Έχει σαφή χωρική, χρονική και αριθμητική διάσταση.

Οι έννοιες της έκθεσης και της τρωτότητας (2/2)

Η τρωτότητα (vulnerability):

- 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 αν το σύστημα που εκτίθεται σε έναν κίνδυνο θα αποσβέσει τις συνέπειες ή θα μετριάσει επιπτώσεις εμφάνισης αυτού.
- Διακρίνεται σε ανθρώπινη, φυσική, κοινωνική, οικονομική, δομική κ.α. και αποτυπώνει την επιδεκτικότητα (susceptibility) σε επιπτώσεις των εκτιθέμενων μονάδων και συστημάτων κατά την εμφάνιση ενός κινδύνου.
- Εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από τα εγγενή χαρακτηριστικά αλλά και την ανθεκτικότητα των εκτιθέμενων οντοτήτων σε φυσικούς κινδύνους και μπορεί να σχετίζεται με κοινωνικές, οικονομικές κ.ά. συγκυρίες.
- Είναι έννοια σχετική και μεταβάλλεται γεωγραφικά και χρονικά.

Η σημασία εκτίμηση της τρωτότητας

«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» (Δελλαδέτσιμας, 2009).

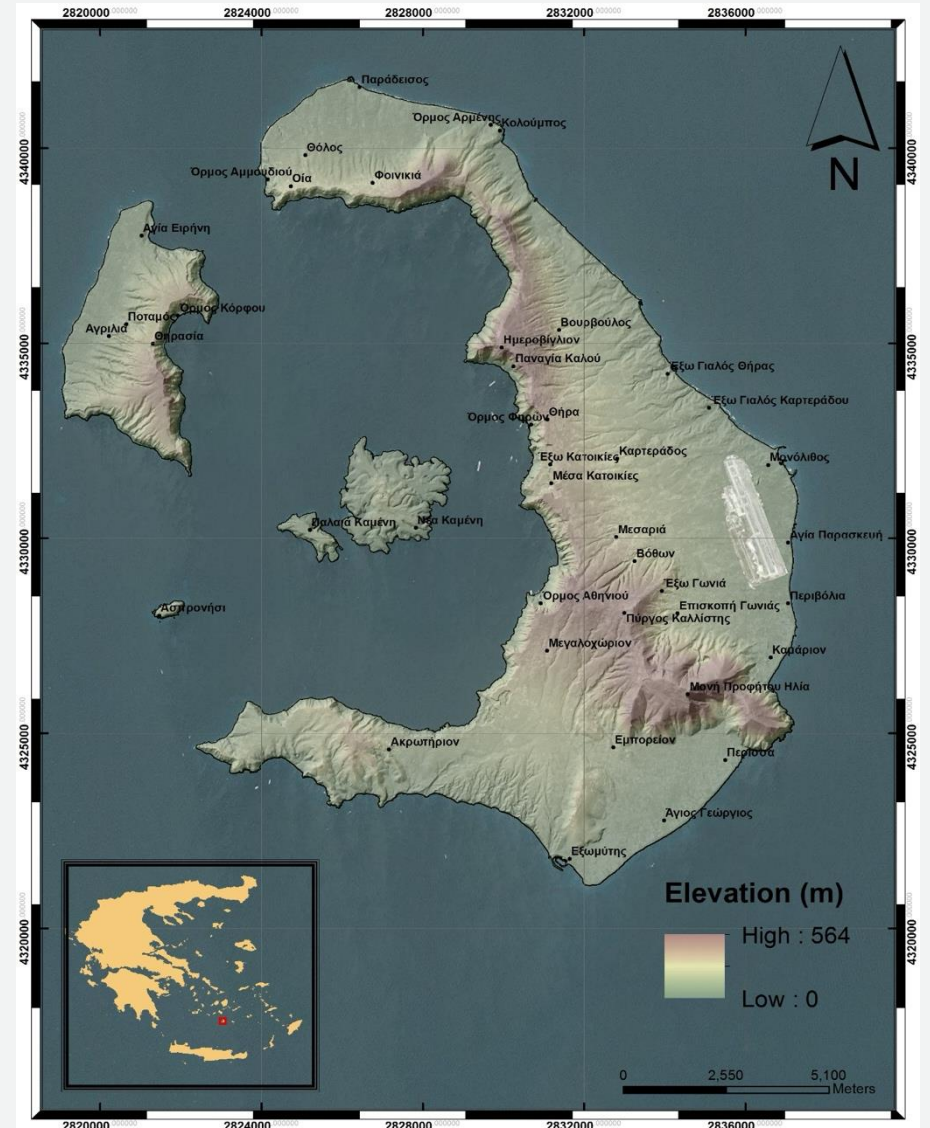
- Η έννοια της τρωτότητας έχει αποκτήσει κεντροβαρή σημασία σε ότι αφορά στο γνωστικό αντικείμενο της διαχείρισης των φυσικών και τεχνολογικών καταστροφών.
- Μεταστροφή των πρακτικών εκτίμησης της τρωτότητας σε πλέον ολοκληρωμένα συστήματα που πολλές φορές εντάσσονται θεσμικά στο πλαίσιο του σχεδιασμού για την ασφάλεια και τα οποία κατά την εφαρμογή τους συμπεριλαμβάνουν σύγχρονα εργαλεία, όπως τα ΣΓΠ.
- Οι αναλυτικές 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 των κοινωνικών συστημάτων απέναντι στους κινδύνους.

Τα μοντέλα εκτίμησης της τρωτότητας στα τσουνάμι

- Διακρίνονται σε μοντέλα εκτίμησης της ανθρώπινης, της δομικής και της περιβαλλοντικής τρωτότητας.
- Επιδιώκουν στο να παρουσιάσουν με την μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια μια πραγματική εικόνα της τρωτότητας μέσα σε ένα σαφώς καθορισμένο χωρικό και χρονικό πλαίσιο.
- Η εφαρμογή τέτοιων προσεγγίσεων προϋποθέτει τον προσδιορισμό της ζώνης κατάκλυσης που προκύπτει από την κατασκευή του «σεναρίου» εμφάνισης τσουνάμι.
- 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 συνεκτιμάται 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 ΣΓΠ.
- Σε πολλές περιπτώσεις μοντέλα ανάλυσης παρουσιάζουν μικρές ή μεγαλύτερες μεταξύ τους διαφορές που αποδίδονται ενίοτε 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.
- Σε κάποιες περιπτώσεις ερευνητικές ομάδες αναπτύσσουν και παρέχουν εργαλεία (tools) εκτίμησης της τρωτότητας συμβατά με τα λογισμικά ΣΓΠ για τη διευκόλυνση άλλων ερευνητών.

Η γεωγραφία του ν. συμπλέγματος της Θήρας (1/5)

- Η Θήρα και η Θηρασία, τα δύο νησιά που κατοικούνται καταλαμβάνουν έκταση 76 και 10 km²
- Μέγιστο υψόμετρο 564 m
- Το μέγιστο βάθος της καλντέρας φτάνει τα 389 m
- Το ύψος των πρανών της καλντέρας κυμαίνεται μεταξύ 150-350 m
- 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 μορφολογία του χερσαίου αναγλύφου ορίζει την πολεοδομική υφή των οικιστικών συγκροτημάτων

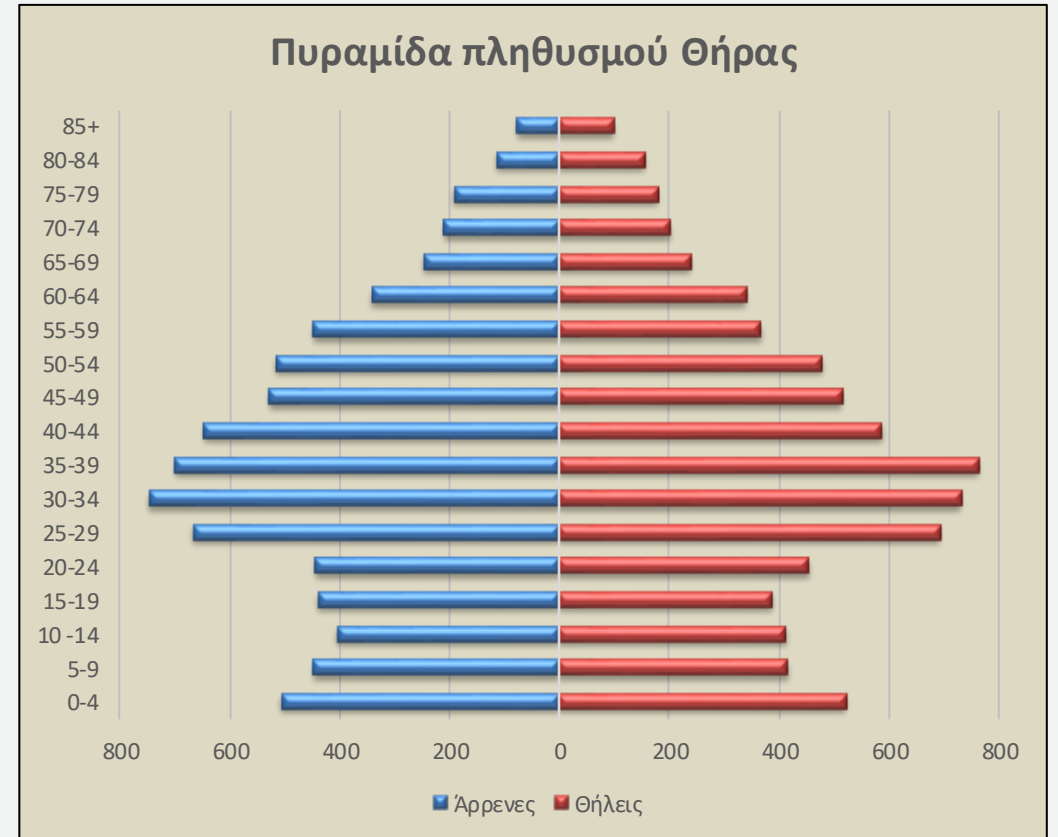


Δορυφορική εικόνα με υπέρθεση του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM) του νησιωτικού συμπλέγματος της Θήρας. Πηγή: Κτηματολόγιο Α.Ε.

Η γεωγραφία του ν. συμπλέγματος της Θήρας (2/5)

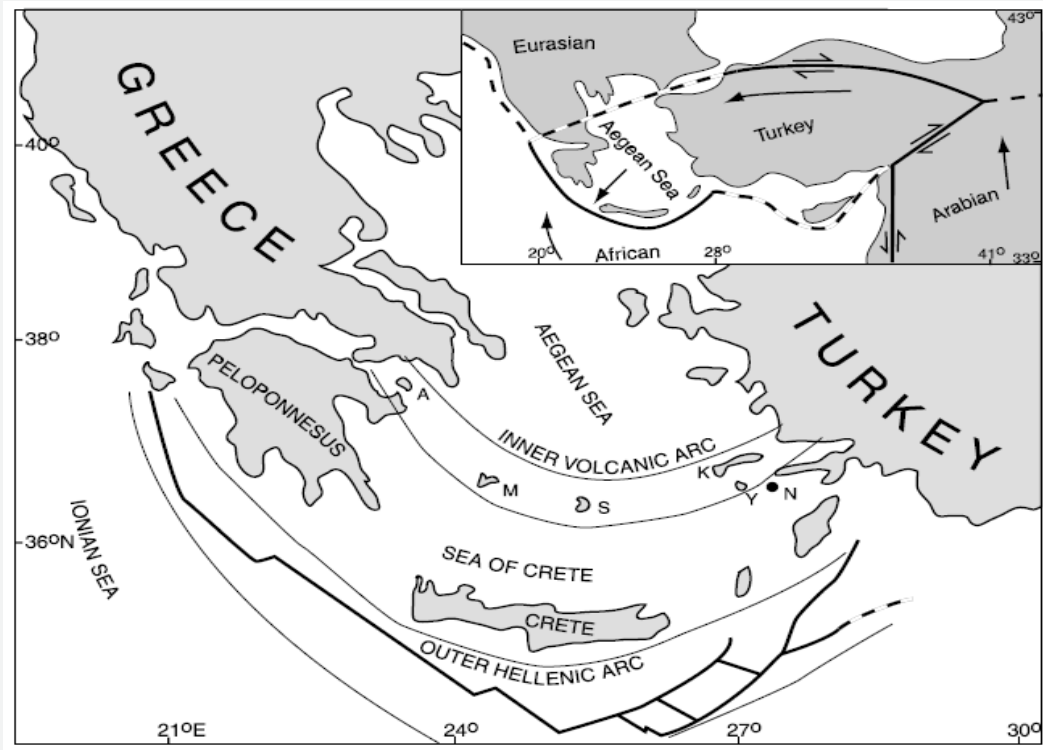
Μεταβολή του πληθυσμού της Θήρας. Πηγή: Αποστολάκη, 2007, ΕΛΣΤΑΤ, 2011

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%

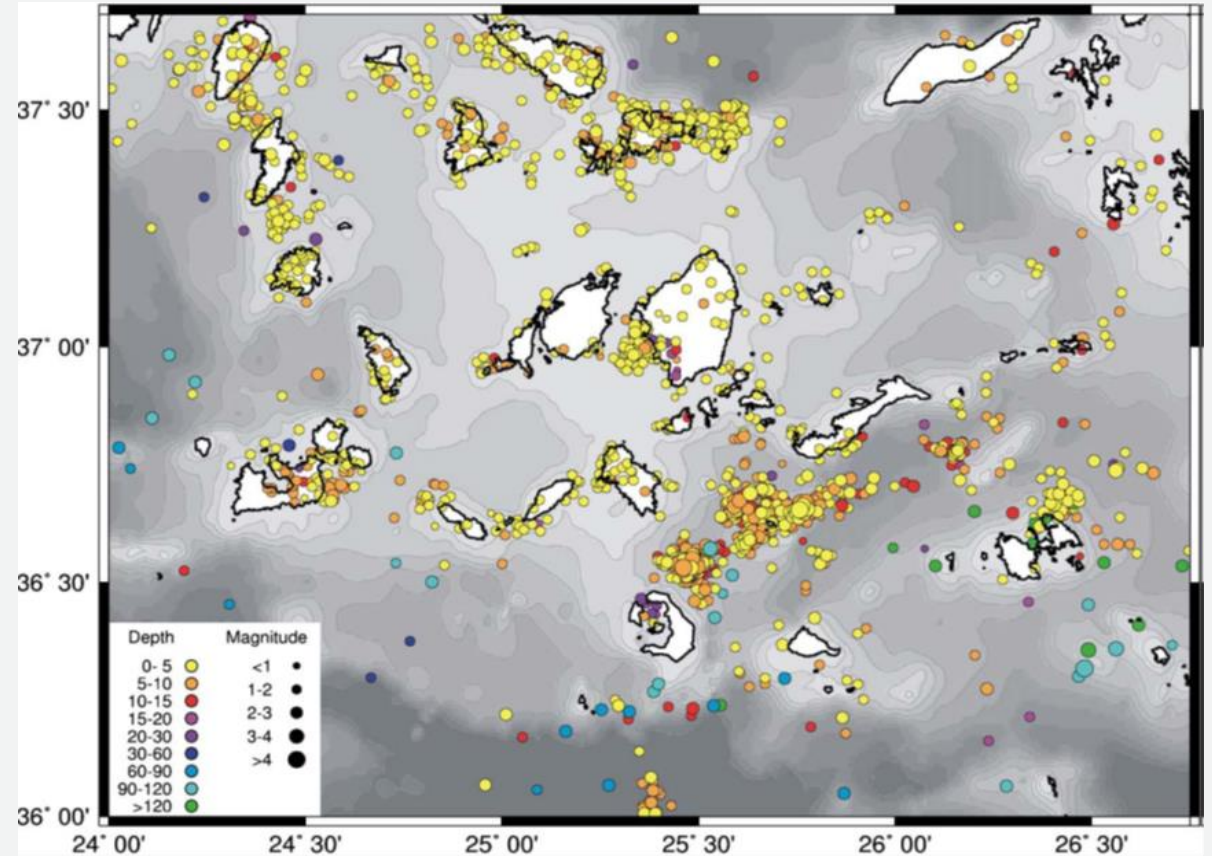


Πληθυσμιακή πυραμίδα της Θήρας. Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011

Η γεωγραφία του ν. συμπλέγματος της Θήρας (4/5)

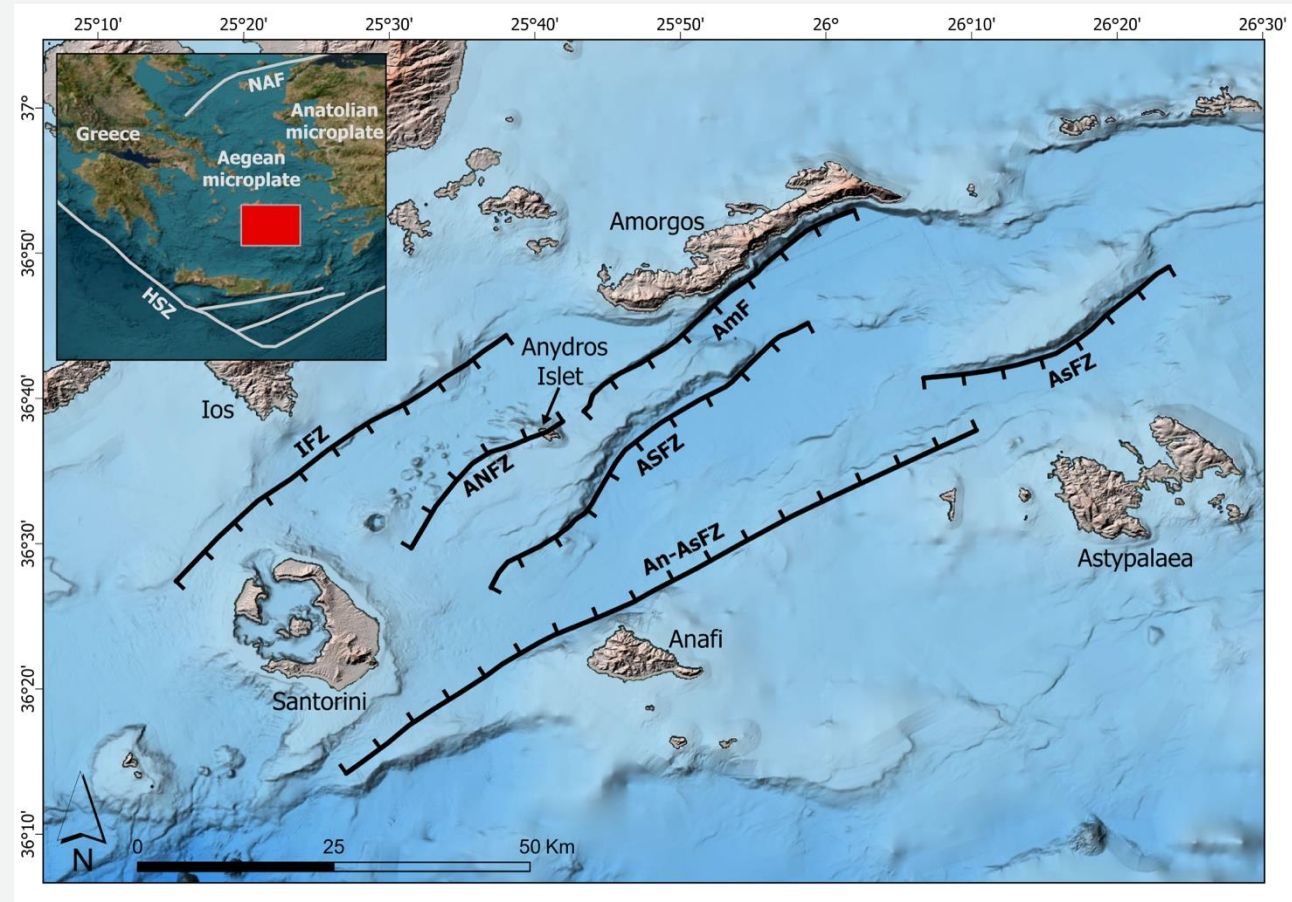
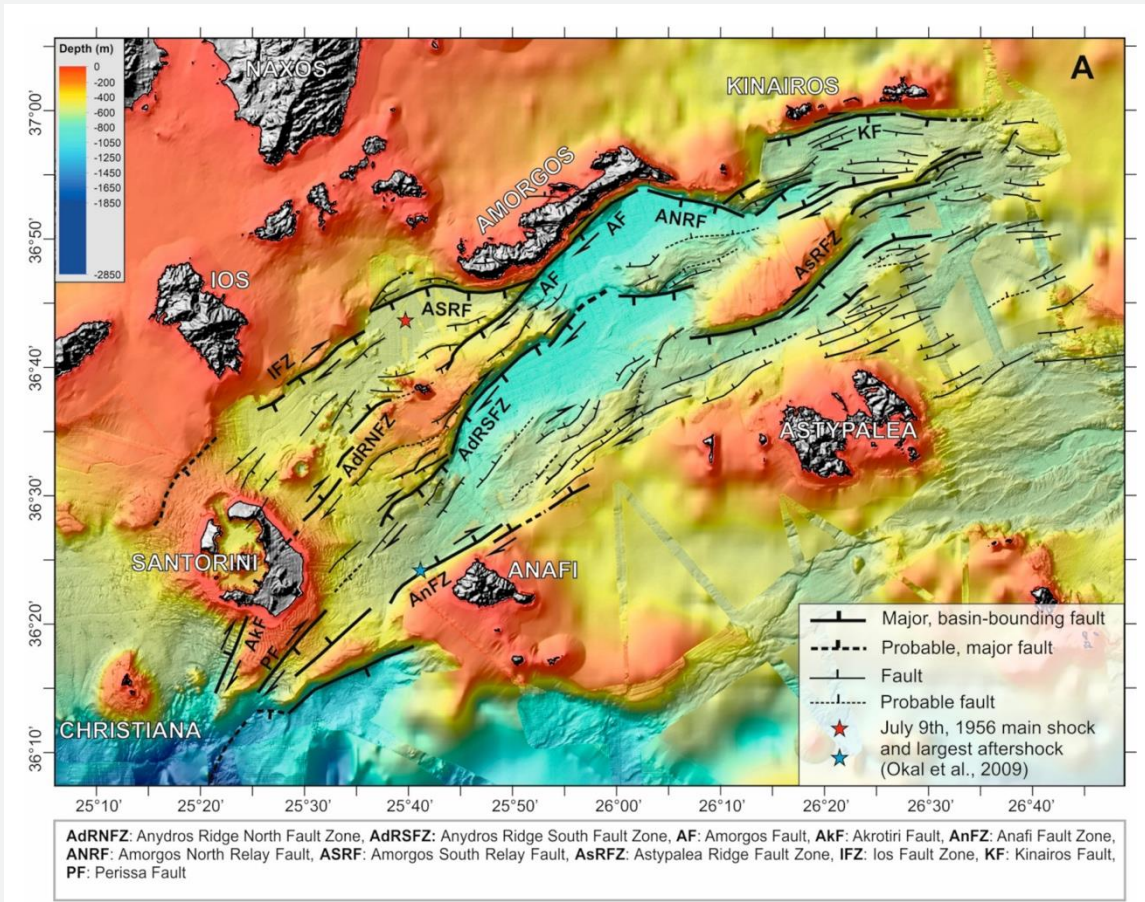


Οι κύριες τεκτονικές συνιστώσες της διαδικασίας υποβύθισης.
Πηγή: Dominey-Howes, 2004



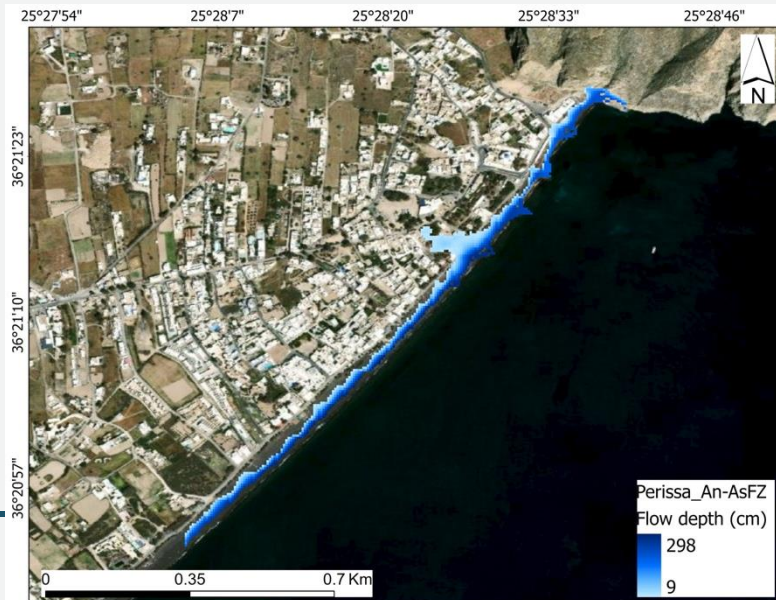
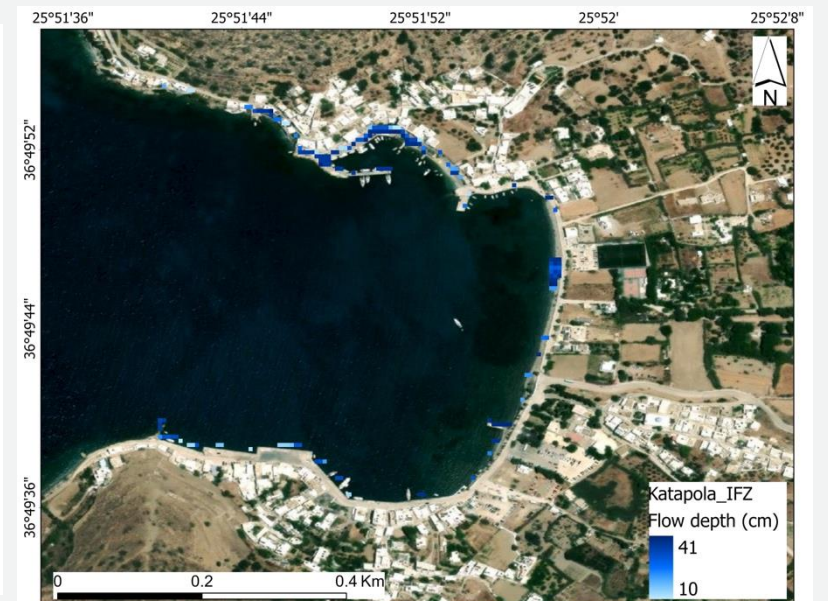
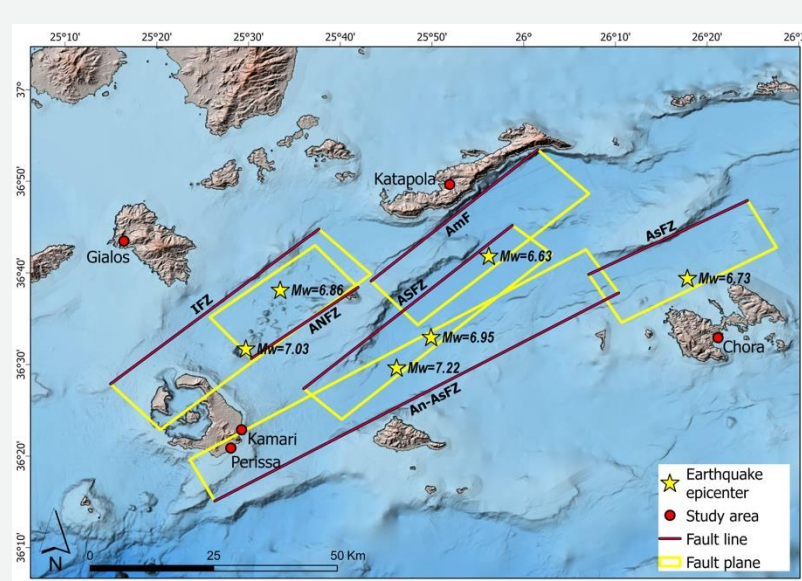
Σεισμικά επίκεντρα στη περιοχή του Νοτίου Αιγαίου. Πηγή: Bohnhoff et al., 2006

Η γεωγραφία του ν. συμπλέγματος της Θήρας (5/5)

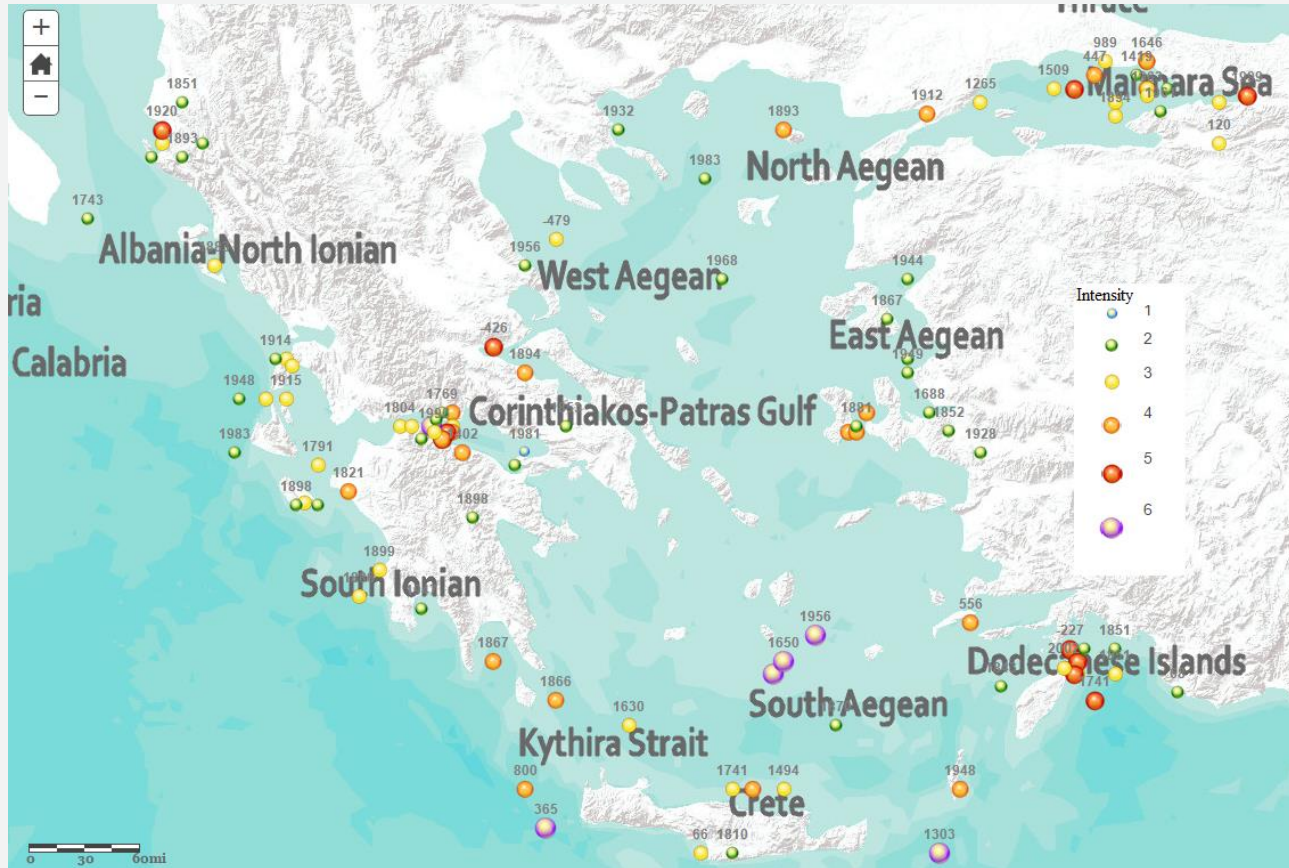


Χάρτης των ενεργών ρηγμάτων της τεκτονικής ζώνης Σαντορίνης_Αμοργού.
Πηγή: Tsampouraki-Kraounaki et al., 2021

Σενάρια τσουνάμι από τα ρήγματα της τεκτονικής ζώνης



Οι μηχανισμοί γέννησης και τα χαρακτηριστικά των τσουνάμι στο Νότιο Αιγαίο



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

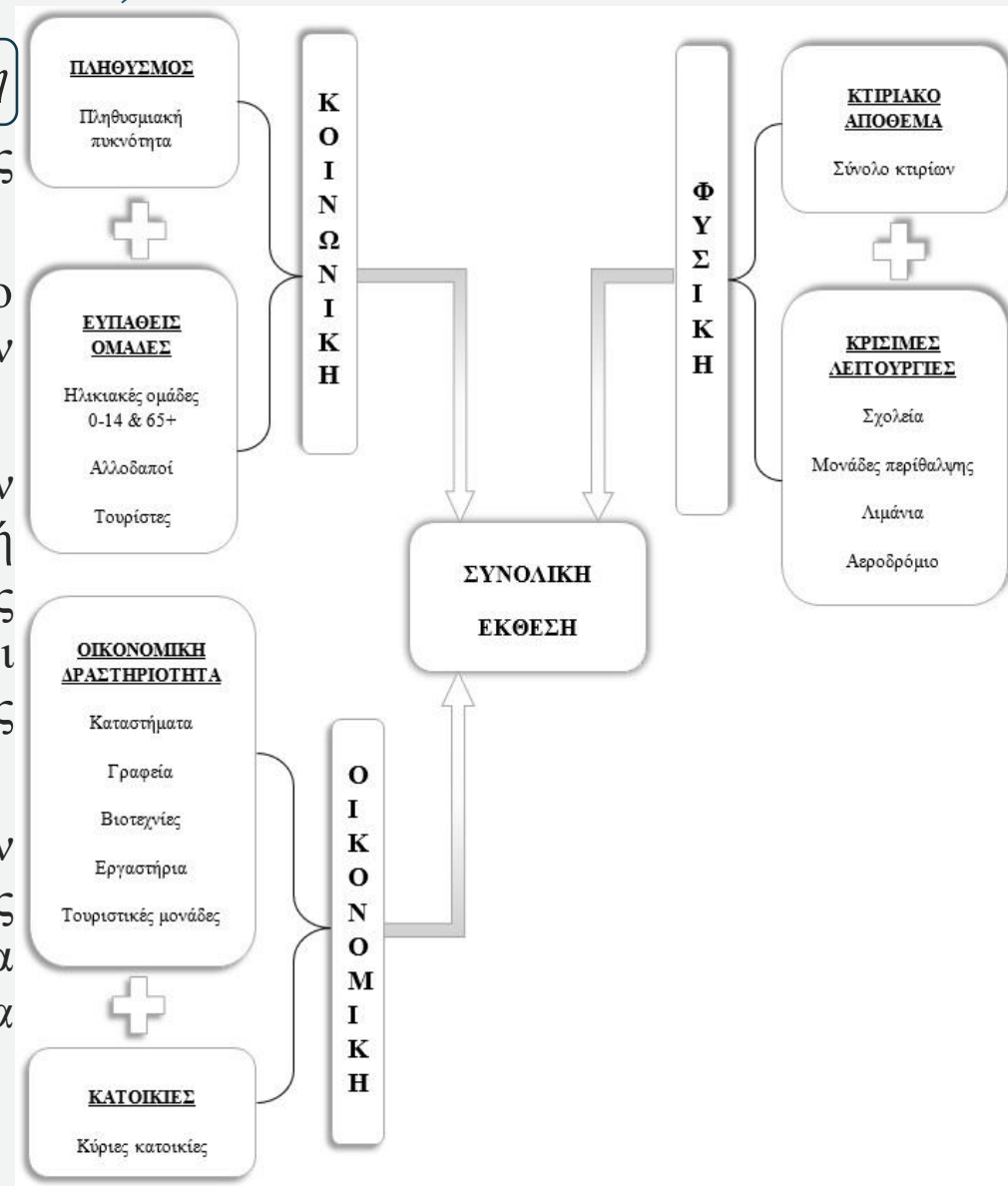
Εντάσεις των σημαντικότερων τσουνάμι που εκδηλώθηκαν στο Νότιο Αιγαίο.
Πηγή: Maramai et al., 2014

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

Η έκθεση των παράκτιων οικισμών (1/8)

$Έκθεση = Κοινωνική έκθεση + Οικονομική έκθεση + Φυσική έκθεση$

- Συνεκτιμήθηκαν 15 μεταβλητές που ομαδοποιήθηκαν σε τρεις κύριες ομάδες και σε έξι υπο-ομάδες
- Η ομαδοποίηση των μεταβλητών πραγματοποιήθηκε με κριτήριο τον τύπο της τρωτότητας που αυτές προσδίδουν στις δομές 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 ευάλωτες ομάδες θεωρώντας πως η μητρική γλώσσα και το γεγονός ότι βρίσκονται σε μια άγνωστη προς αυτούς περιοχή τους κατατάσσει στις τρωτές ομάδες του πληθυσμού.
- Οι μεταβλητές των ομάδων και 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)
- Ταξινόμηση με τη μέθοδο Natural Breaks



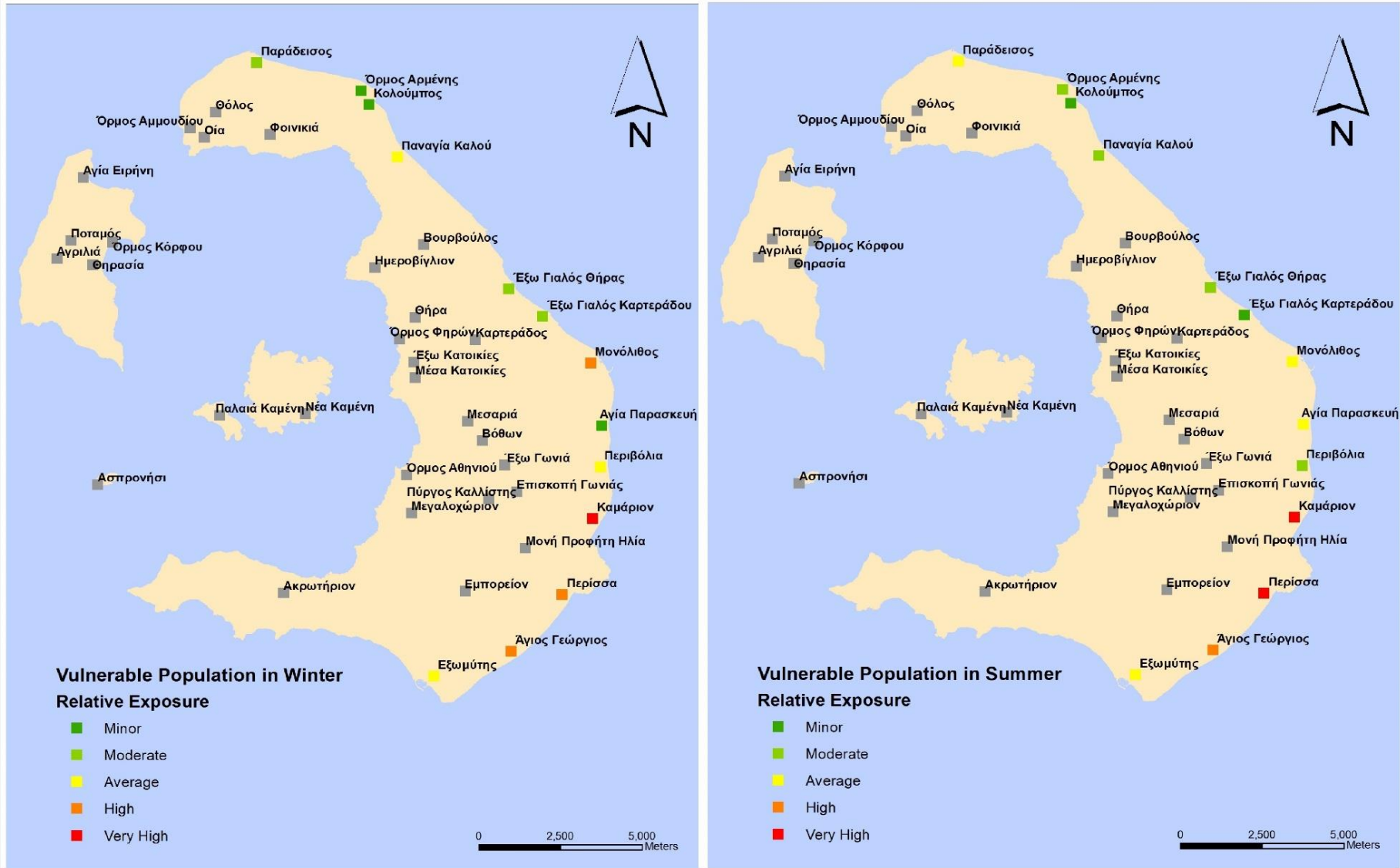
Διάγραμμα ροής ενεργειών για τον υπολογισμό της σχετικής έκθεσης σε κίνδυνο στους παράκτιους οικισμούς της Θήρας

Η έκθεση των παράκτιων οικισμών (2/8)



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

Η έκθεση των παράκτιων οικισμών (3/8)



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

Η έκθεση των παράκτιων οικισμών (4/8)



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

Η έκθεση των παράκτιων οικισμών (6/8)



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

Η έκθεση των παράκτιων οικισμών (7/8)



Σχετική οικονομική (αριστερά) και φυσική έκθεση (δεξιά)

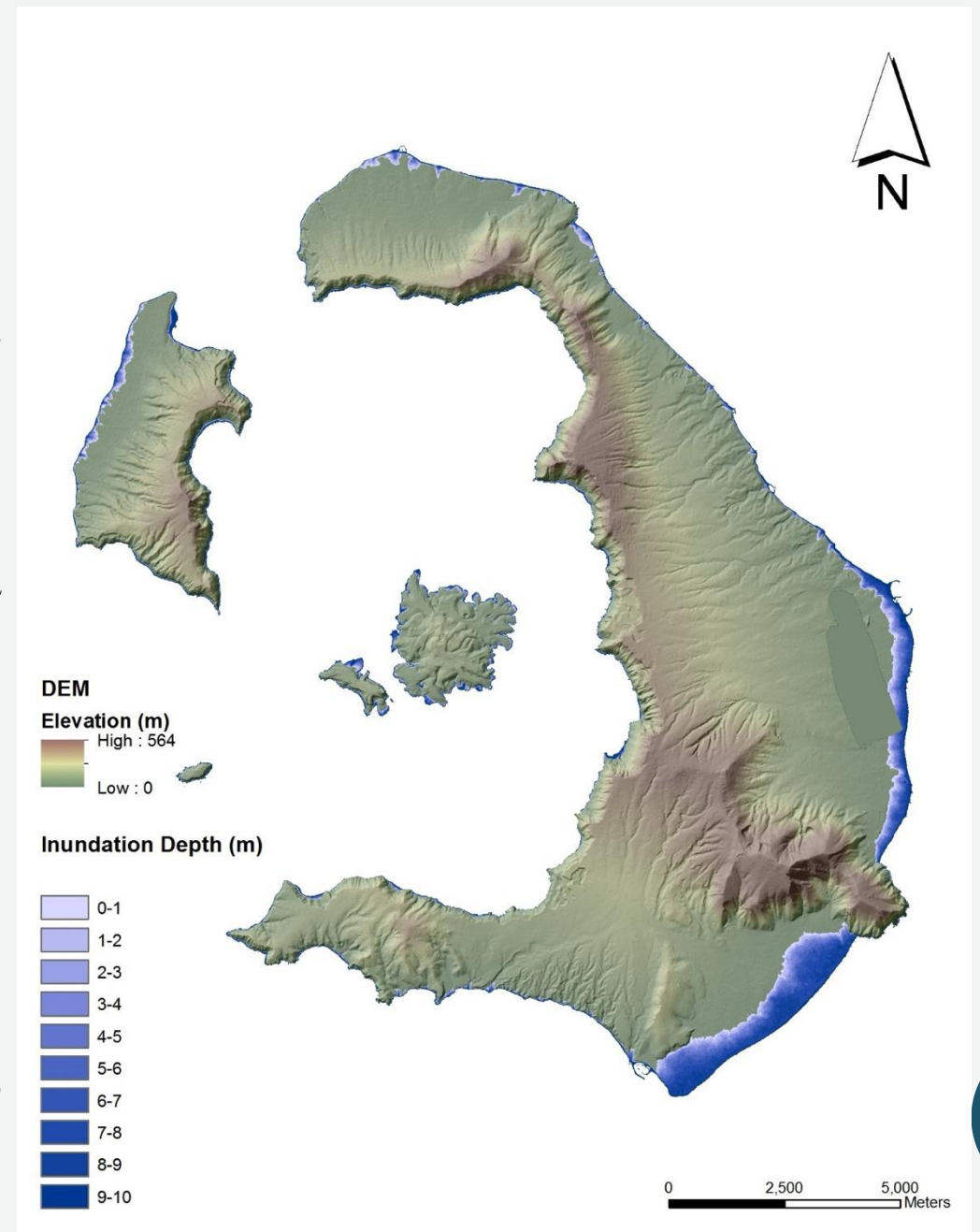
Η έκθεση των παράκτιων οικισμών (8/8)



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

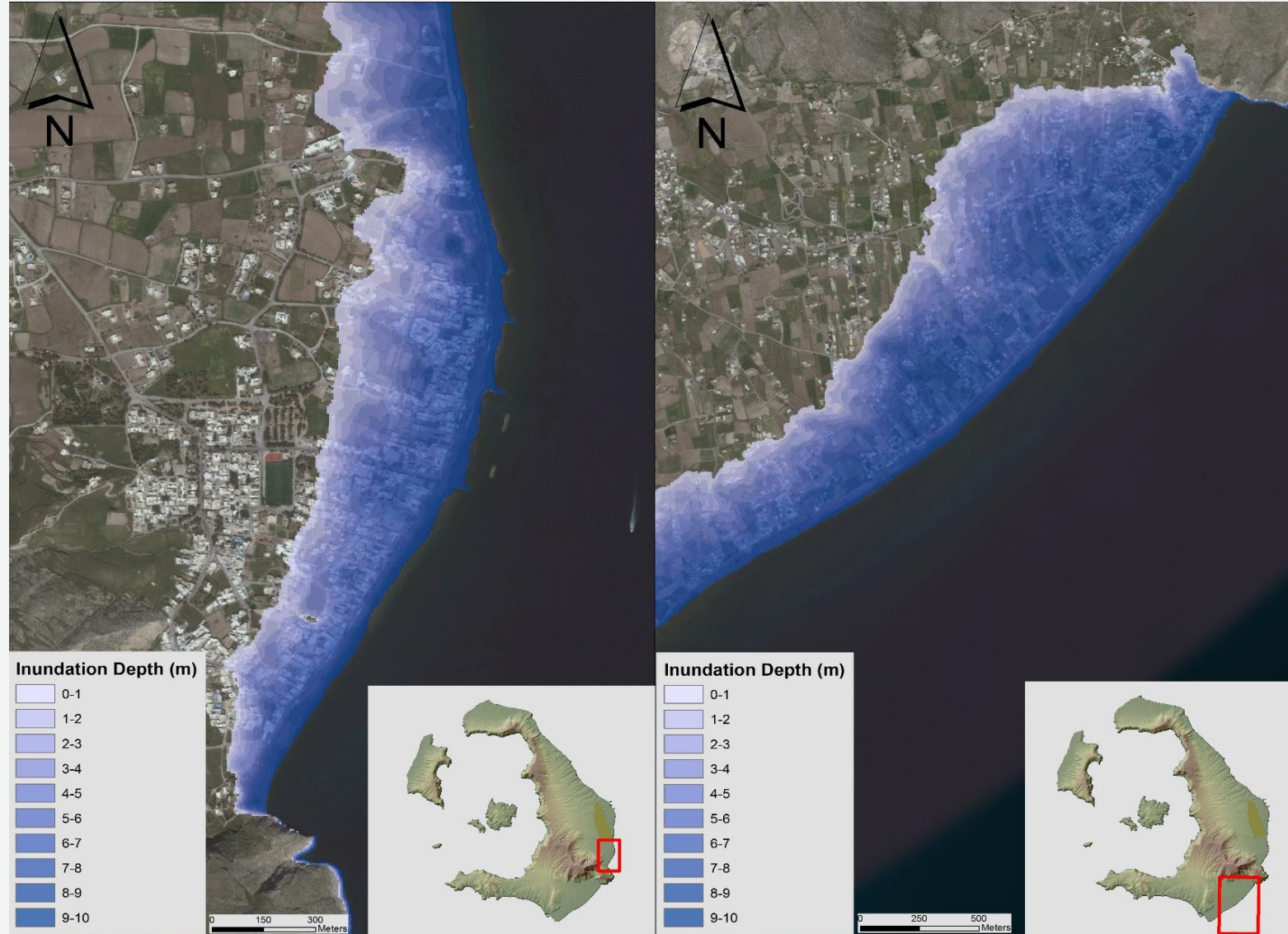
Το «σενάριο» ακραίου run-up (1/5)

- Σύνδεση του run-up με το μέγεθος υποθαλάσσιου σεισμού
- Το κεντρικό και νότιο τμήμα των ανατολικών ακτών της Θήρας είναι αυτό που αναμένεται να εμφανίσει την μεγαλύτερη χερσαία κάλυψη από τις πλημμυρικές ροές
- Η μέγιστη απόσταση που θα διανύσουν οι πλημμυρικές ροές φτάνει τα 985 m στην Περίσσα ενώ στο Καμάρι τα 493 m από την ακτογραμμή
- Η κλίση 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



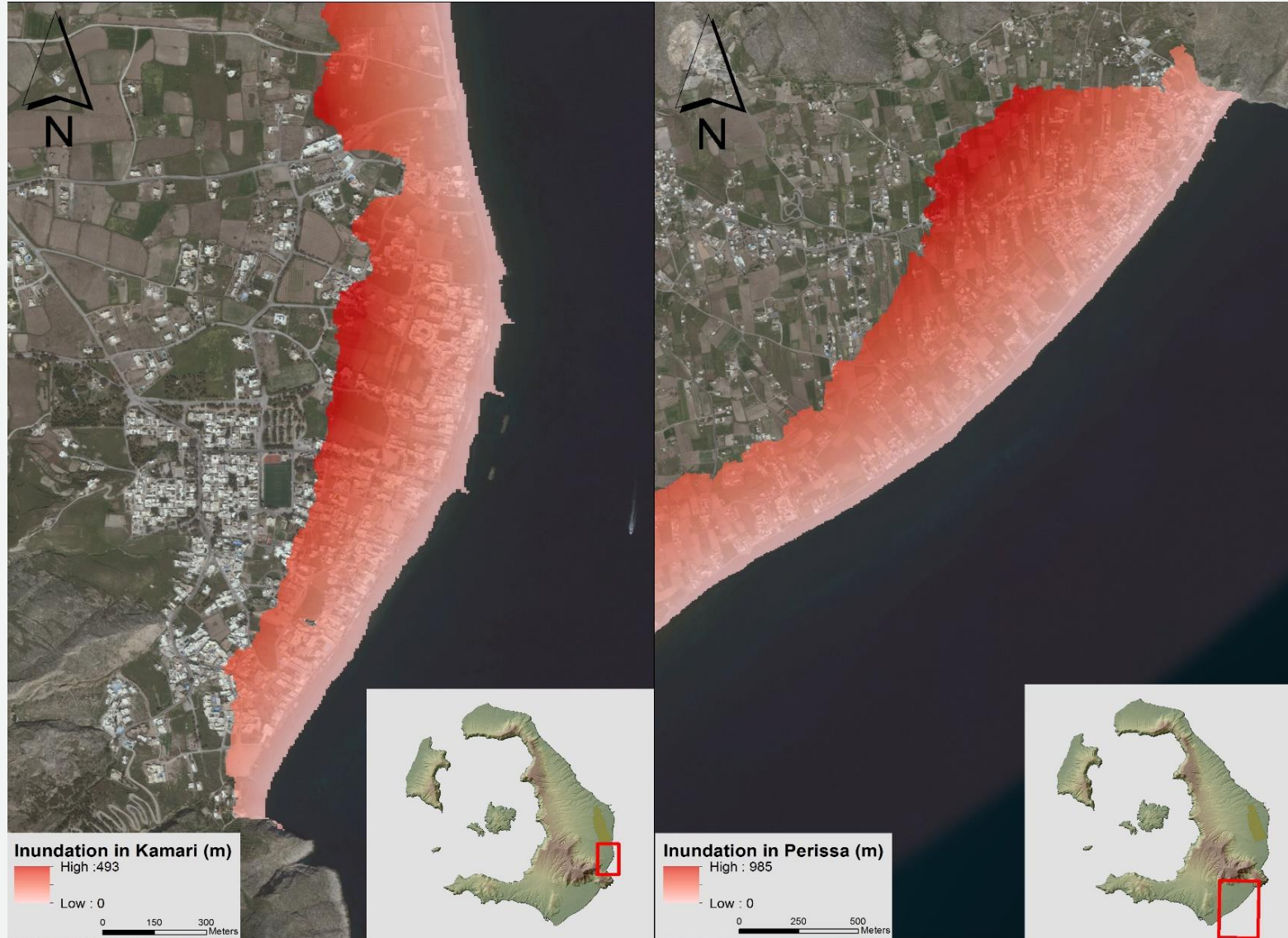
Η ζώνη κατάκλυσης στη νήσο Θήρας από τσουνάμι με μέγιστο run-up 10 m

Το «σενάριο» ακραίου run-up (2/5)



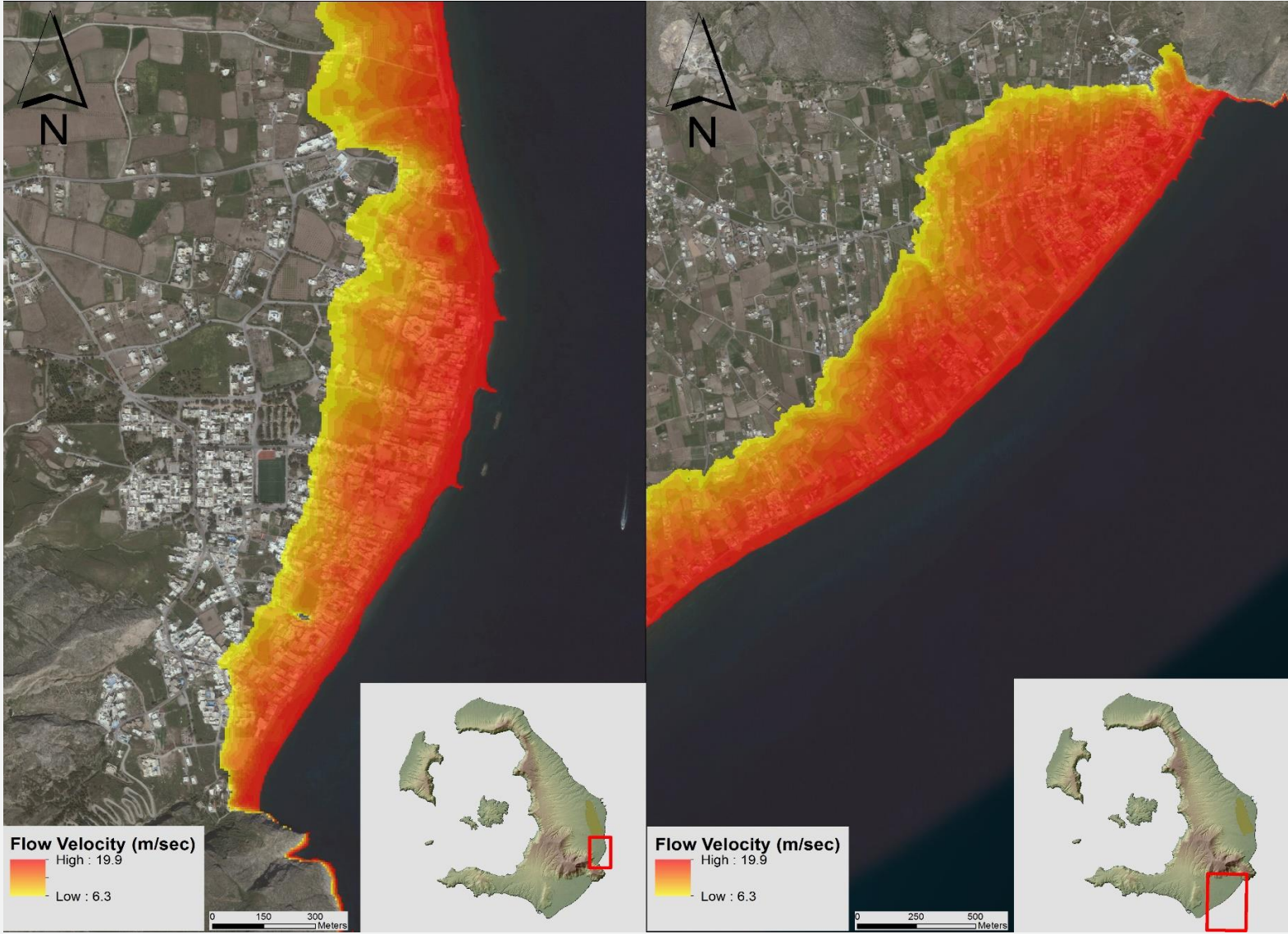
Η ζώνη κατάκλυσης στους οικισμούς του Καμαριού (αριστερά) και της Περίσσας (δεξιά)

Το «σενάριο» ακραίου run-up (3/5)



Εκτιμώμενη απόσταση διείσδυσης των πλημμυρικών ροών από το τσουνάμι.

Το «σενάριο» ακραίου run-up (4/5)

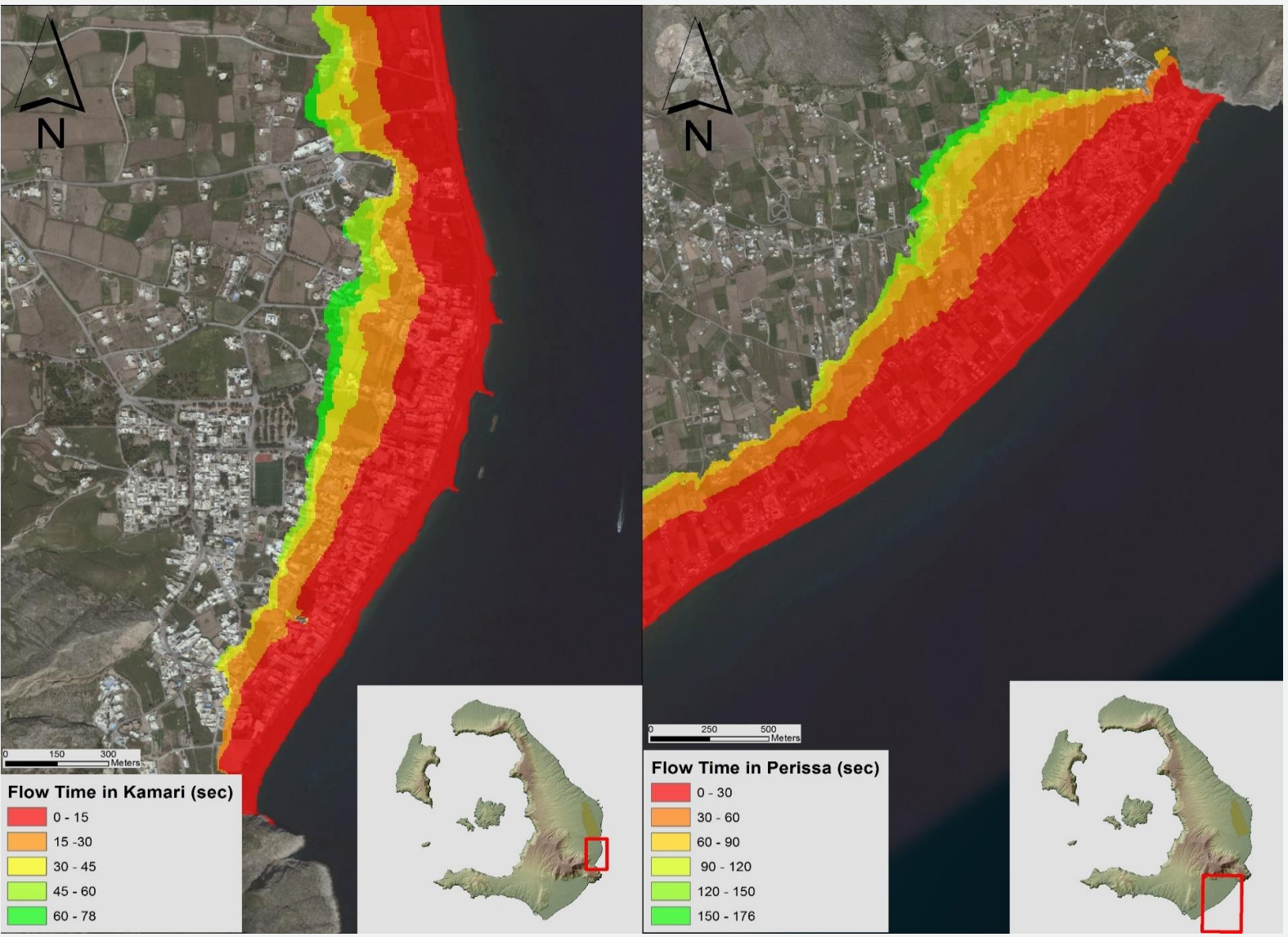


$$V_r = 2 (g H_s)^{0,5}$$

Εκτιμώμενες ταχύτητες διείσδυσης των πλημμυρικών ροών

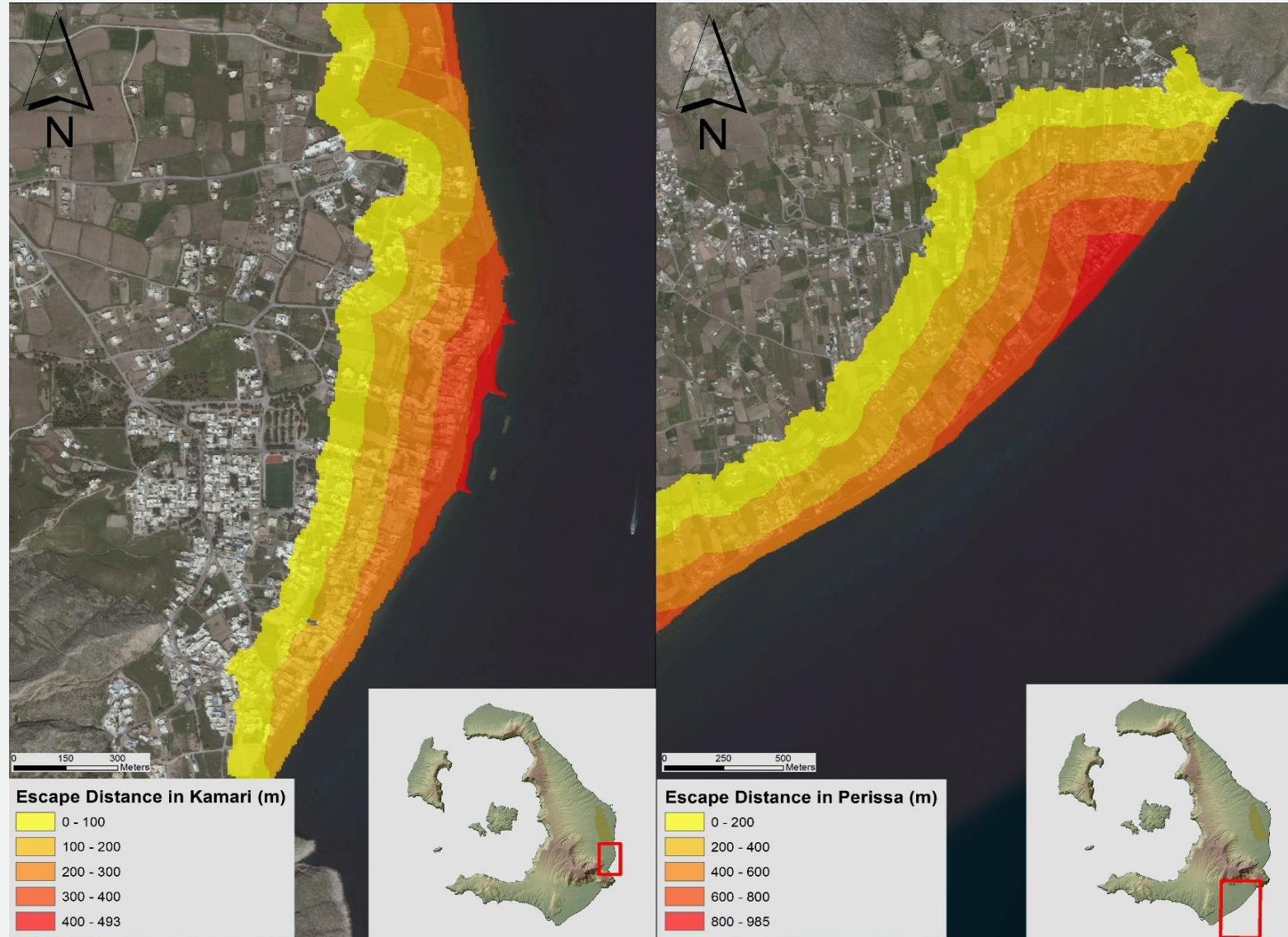
Το «σενάριο» ακραίου run-up (5/5)

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{V_r}$$



Εκτιμώμενοι χρόνοι διείσδυσης των πλημμυρικών ροών

Ικανότητα διαφυγής (1/3)

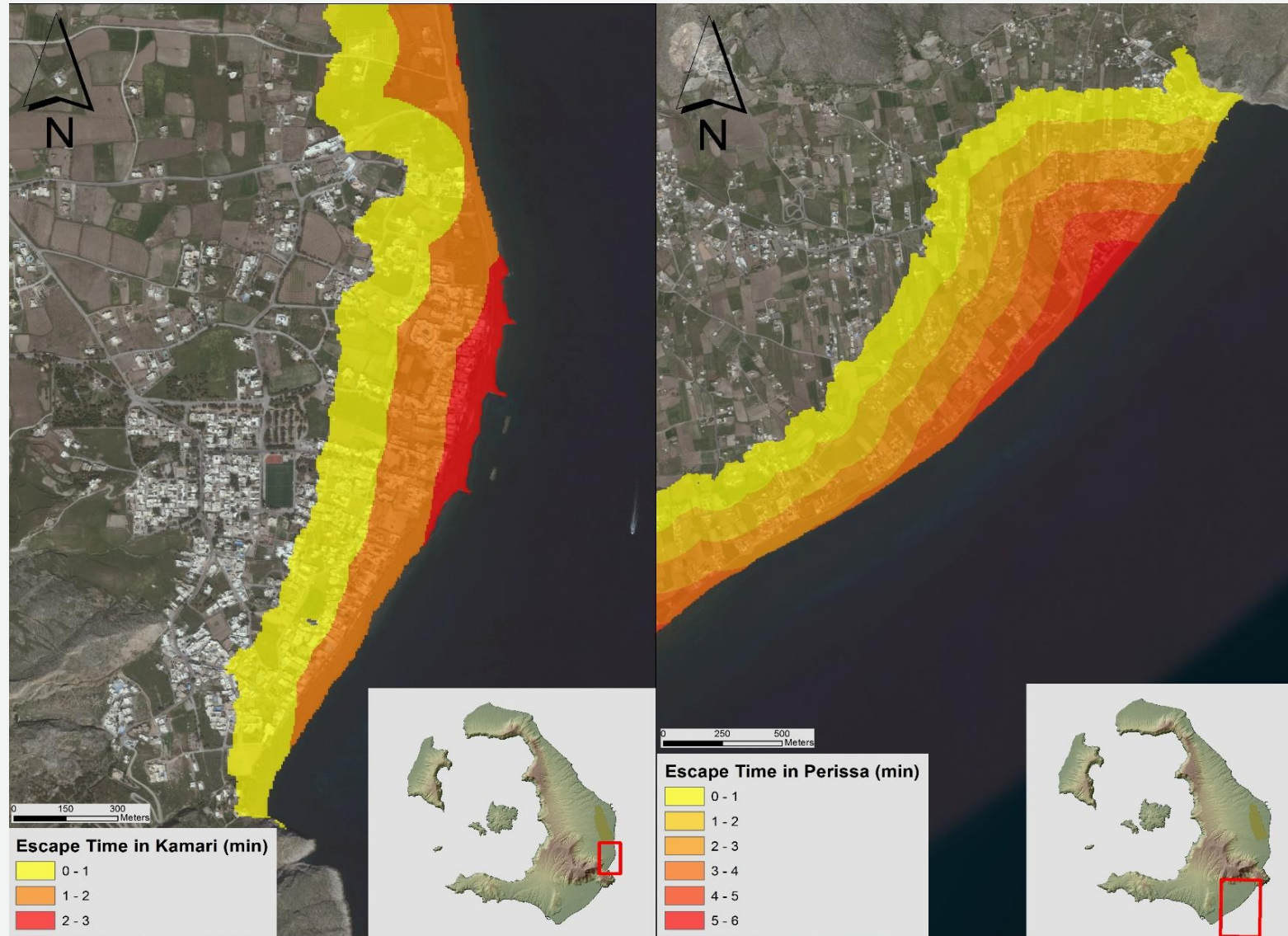


Αποστάσεις διαφυγής σε ασφαλές περιβάλλον

Ικανότητα διαφυγής (2/3)

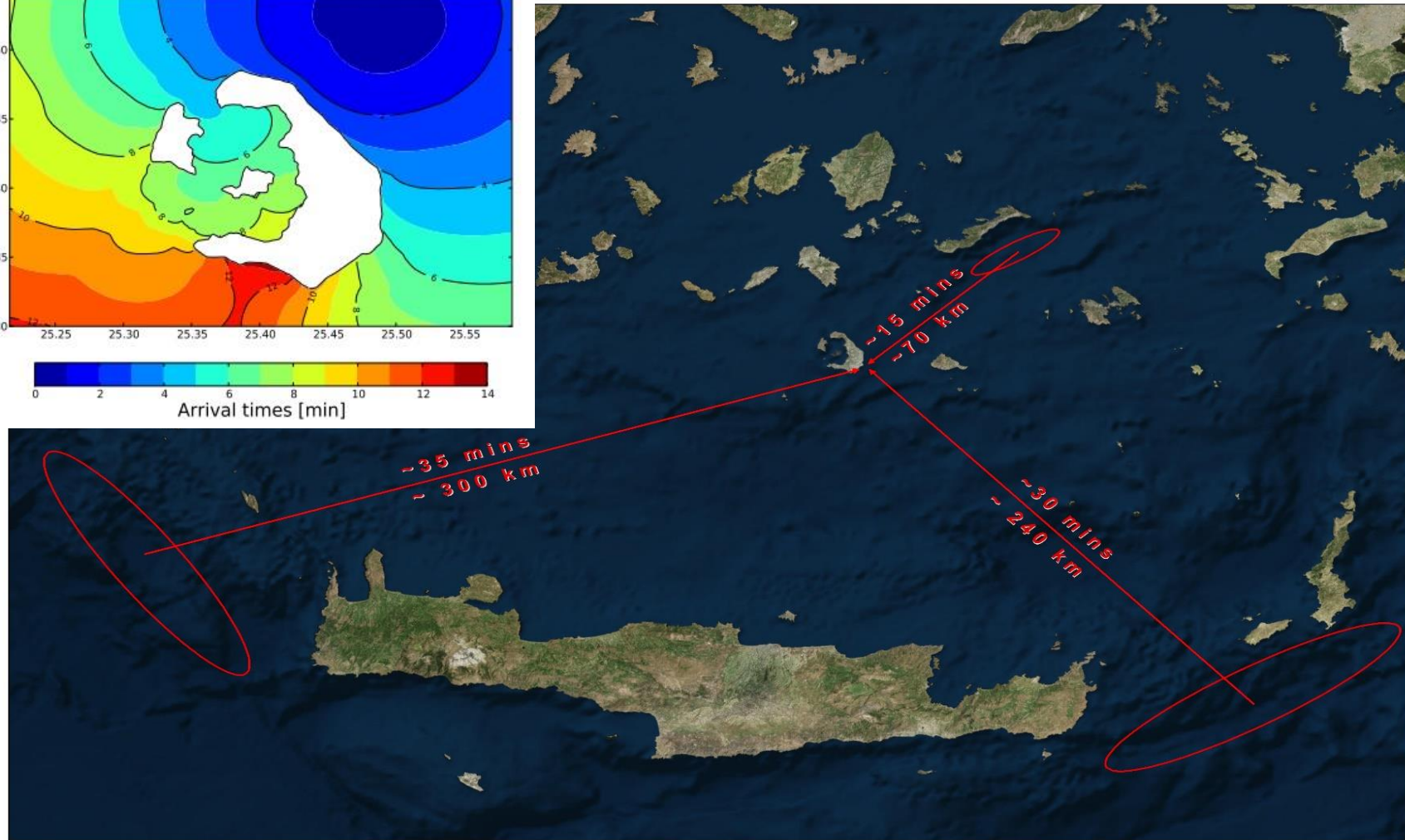
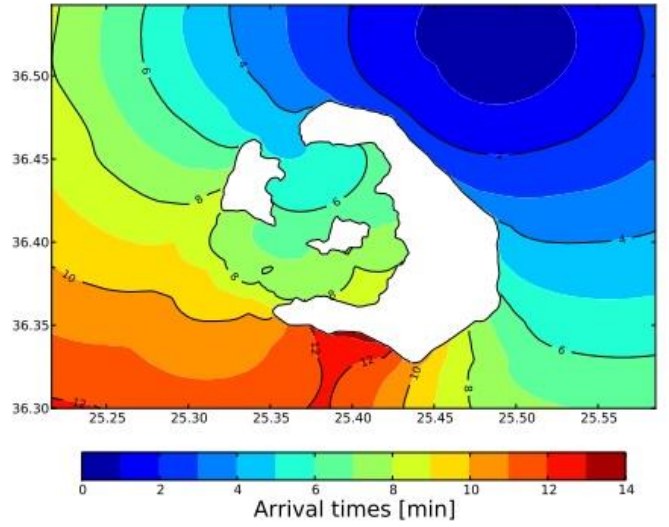
$$\Delta t = \frac{\Delta x}{U}$$

$$U = 2,8 \text{ m/s}$$



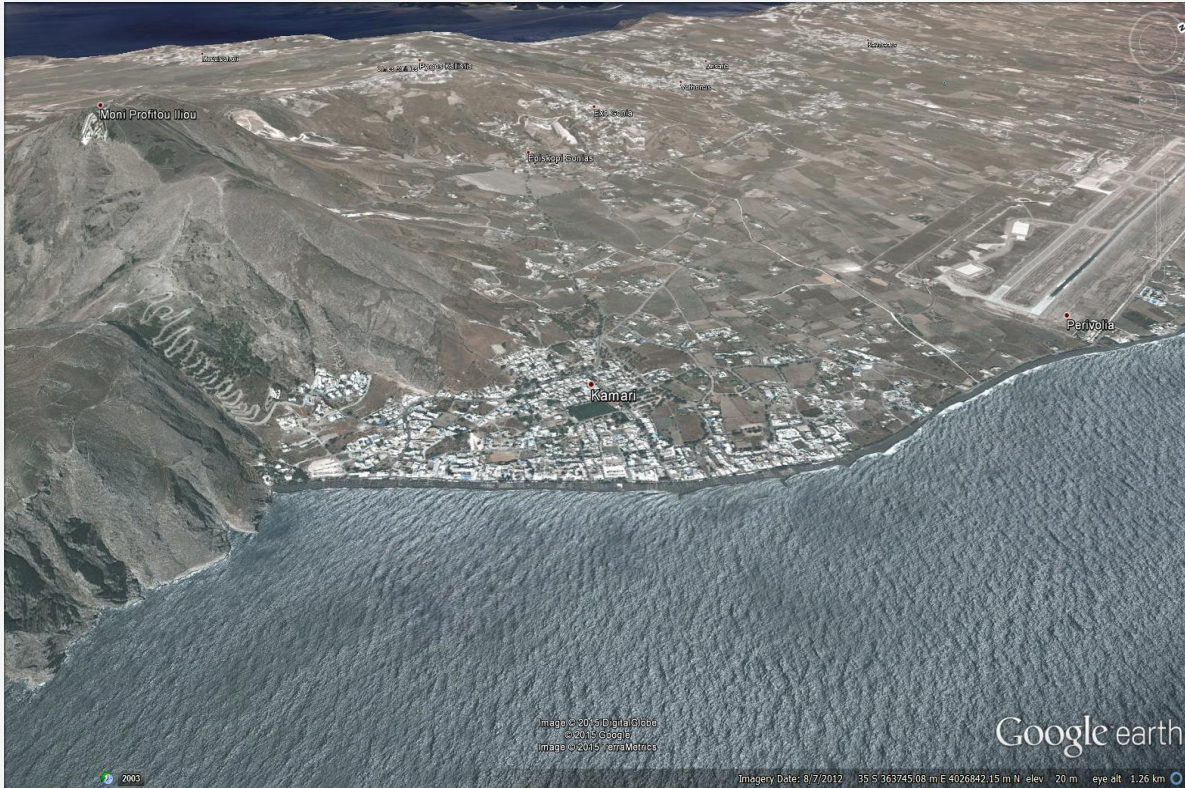
Χρόνοι διαφυγής σε ασφαλές περιβάλλον

Ικανότητα διαφυγής (3/3)



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

Ο οικισμός του Καμαρίου (1/4)



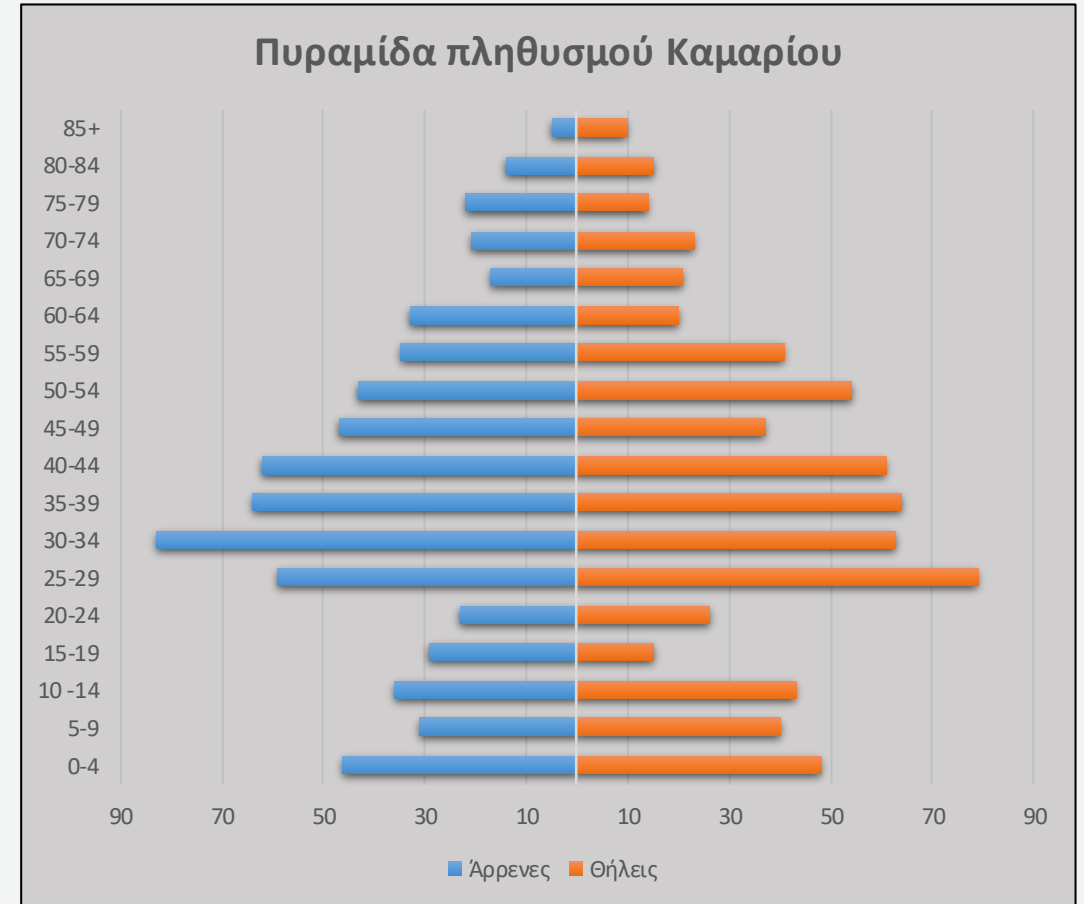
Δορυφορική εικόνα του Καμαρίου. Πηγή: Google Maps



Άποψη του Καμαρίου, λήψη από το Μέσα Βουνό στα νότια του οικισμού

Ο οικισμός του Καμαρίου (2/4)

- Ο μόνιμος πληθυσμός του οικισμού ανέρχεται στους 1,344 και αντιστοιχεί στο 10% επί του συνόλου του πληθυσμού του νησιού.
- Η πληθυσμιακή πυκνότητα παρουσιάζεται σχετικά υψηλή και ανέρχεται στους 433 μόνιμους κατοίκους/ km², τιμή υπερδιπλάσια από την αντίστοιχη αυτής στο σύνολο του νησιού.
- Στον οικισμό κατοικεί ένας σημαντικός, ως προς το μέγεθός του, πληθυσμός αλλοδαπών που ανέρχεται περίπου στο 25% του συνολικού πληθυσμού.



Πληθυσμιακή πυραμίδα του Καμαρίου. Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011

Ο οικισμός του Καμαρίου (3/4)



Χρονικές περιόδους κατασκευής των κτιρίων στον οικισμό του Καμαρίου.
Πηγή: ΕΛΣΤΑΤ, 2011



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

Ο οικισμός του Καμαρίου (4/4)



Χαρακτηριστικές κατασκευές του παραλιακού μετώπου



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

Ο σχεδιασμός της βάσης δεδομένων και η συλλογή στοιχείων στο πεδίο (1/2)

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΚΑΜΑΡΙΟΥ

ΑΡ. ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΟΥ ΤΕΤΡΑΓΩΜΟΥ:

A/A	ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	ΟΡΟΦΟΙ / ΥΠΟΓΕΙΑ	ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΣΙΟΓΕΙΟΥ	ΤΥΠΟΣ ΘΕΜΕΛΙΩΝ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΤΙΡΙΟΥ	ΥΨΟΣ ΤΟΙΧΙΟΥ	ΦΥΣΙΚΑ ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΑ	ΧΡΗΣΗ / ΧΡΗΣΕΙΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
1									
2									
3									
4									
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									

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

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

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

Ο σχεδιασμός της βάσης δεδομένων και η συλλογή στοιχείων στο πεδίο (2/2)

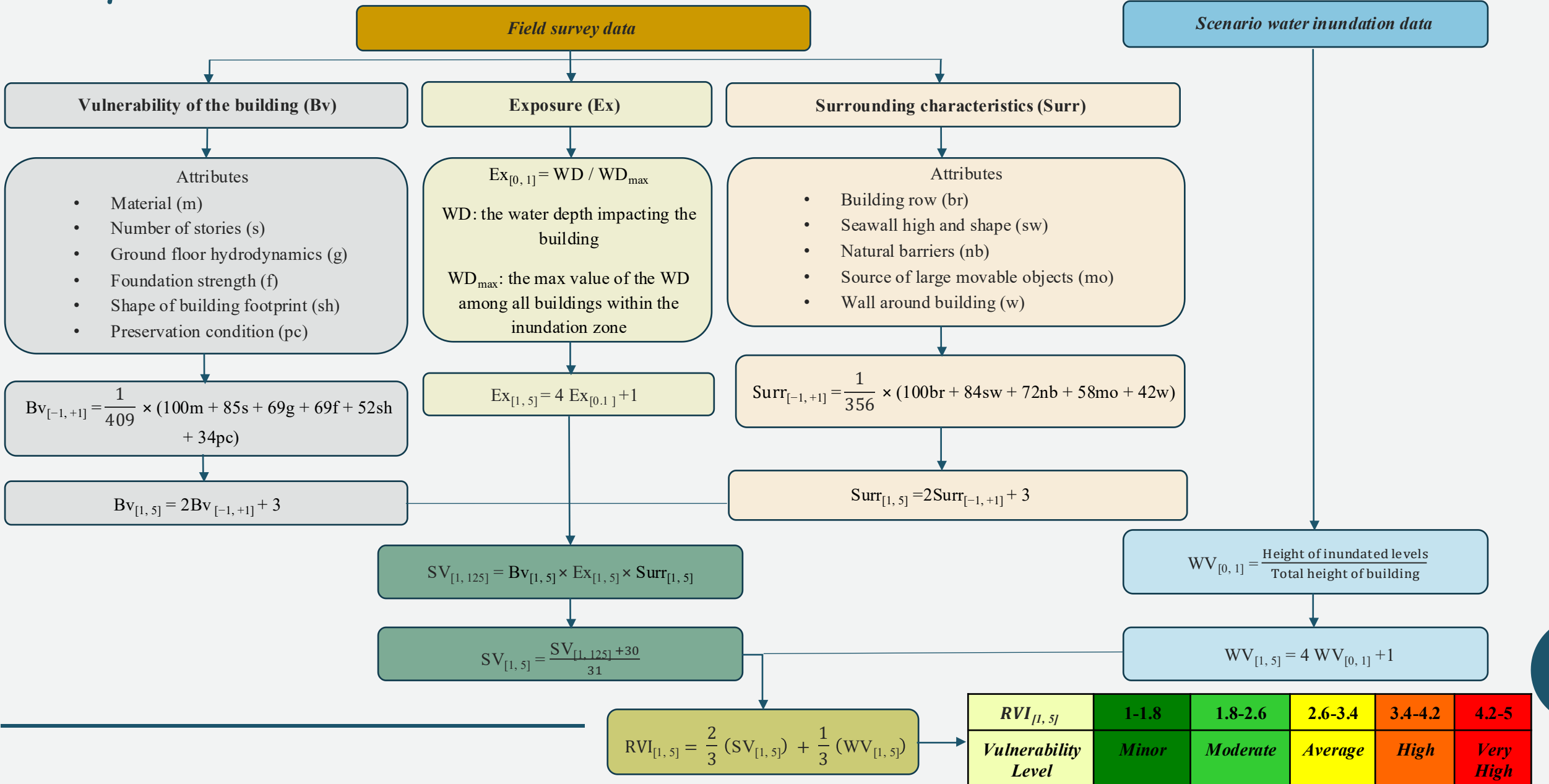
Αποκλειστική χρήση							
Βάθος (m)	Κατοικίες	Τουριστικές μονάδες	Εστιατόρια	Καταστήματα	Θρησκευτικοί χώροι	Αποθήκες	Άγνωστη
9-10	0	0	0	0	0	0	0
8-9	5	10	6	7	0	0	0
7-8	16	23	22	14	0	3	2
6-7	12	35	7	14	1	1	1
5-6	11	19	1	3	0	2	0
4-5	7	14	2	1	0	1	1
3-4	5	11	5	5	0	0	0
2-3	12	11	3	4	2	2	0
1-2	15	10	2	3	1	1	1
0-1	20	13	0	4	0	0	2
Σύνολο	103	146	48	55	4	10	7
Μεικτή χρήση							
Βάθος (m)	Καταστήματα/ Κατοικίες	Καταστήματα/ Εστιατόρια	Καταστήματα/ Τουριστικές μονάδες	Εστιατόρια/ Κατοικίες	Εστιατόρια/ Τουριστικές μονάδες	Τουριστικές μονάδες/ Κατοικίες	
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	

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

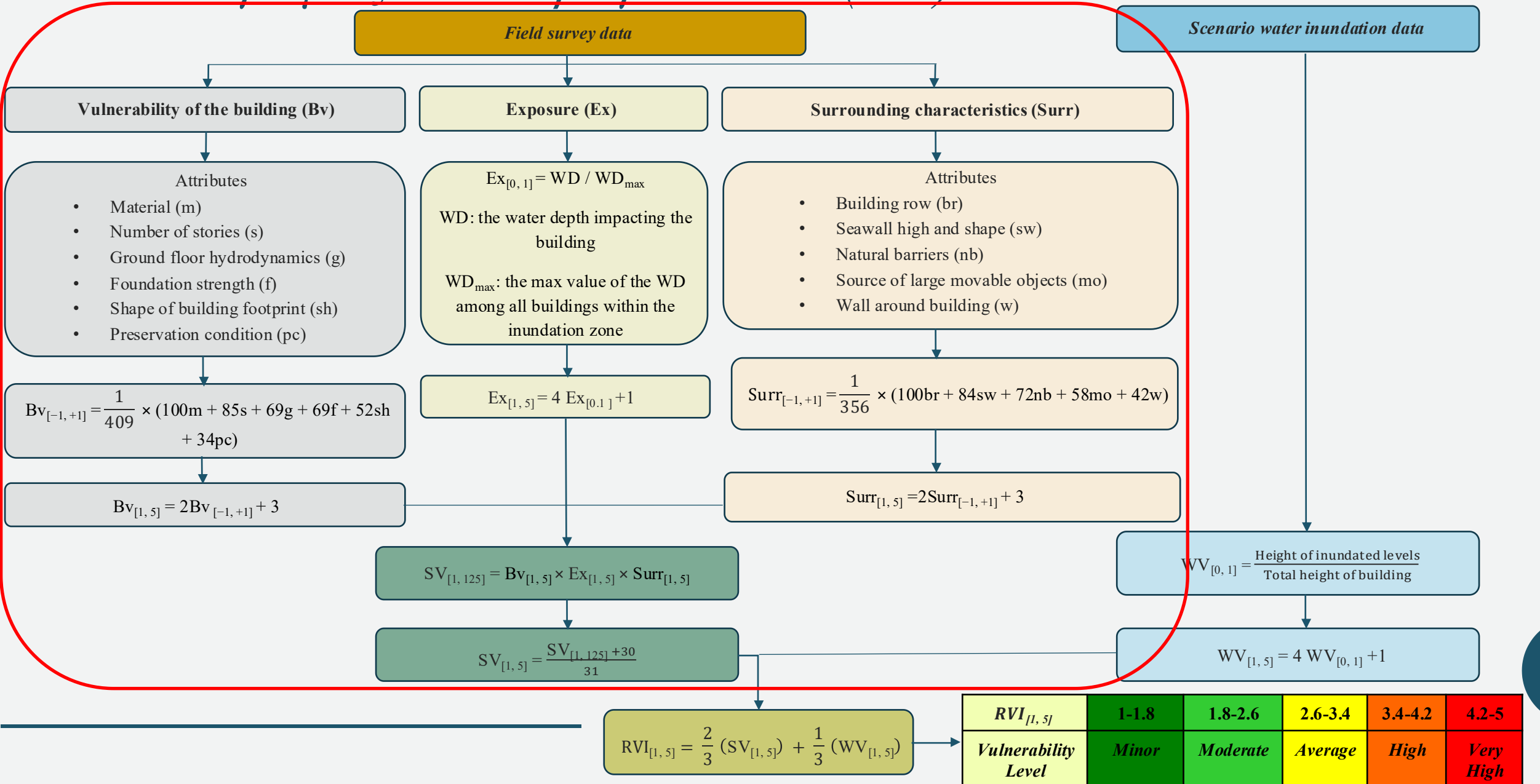
Το μοντέλο PTVA

- Το μοντέλο PTVA είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει εκτιμήσεις για τη σχετική τρωτότητα του κτιριακού αποθέματος στα κύματα τσουνάμι.
- Η επεξεργασία των επιμέρους πληροφοριών πραγματοποιείται μέσω λογισμικού ΣΓΠ 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*).
- Βασικό χαρακτηριστικό του μοντέλου είναι η στάθμιση των κυρίων παραμέτρων με συντελεστές βαρύτητας που προέκυψαν μέσω της μεθόδου της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (Analytical Hierarchy Process – *AHP*).
- Ο 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.

To μοντέλο PTVA-4



Ο υπολογισμός του παράγοντα SV (1/2)



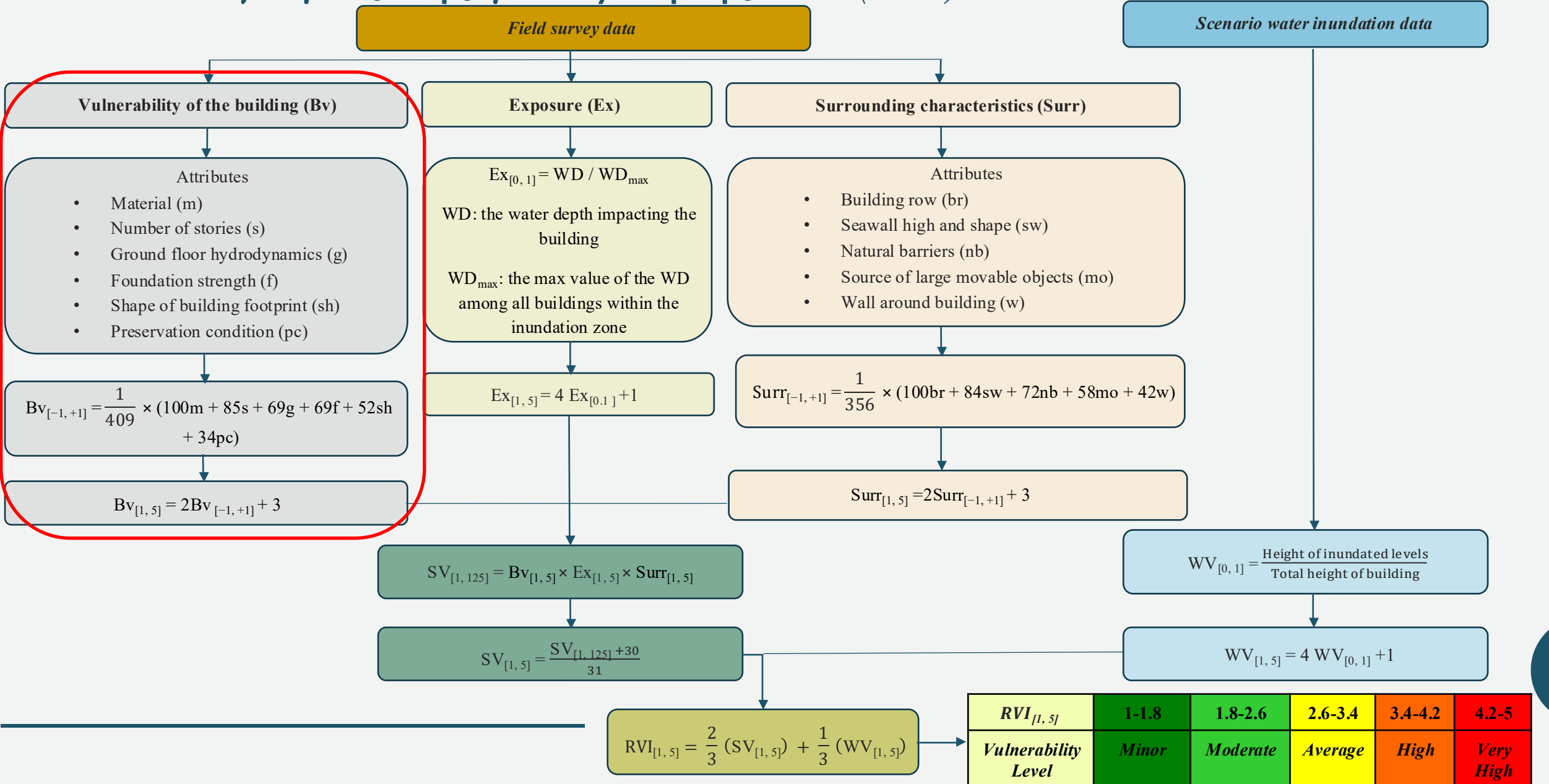
Ο υπολογισμός του παράγοντα SV (2/2)

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 στατικότητάς 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.

$$SV = \mathbf{Bv} \times \mathbf{Ex} \times \mathbf{Surr}$$

Ο υπολογισμός της μεταβλητής Bv (1/3)



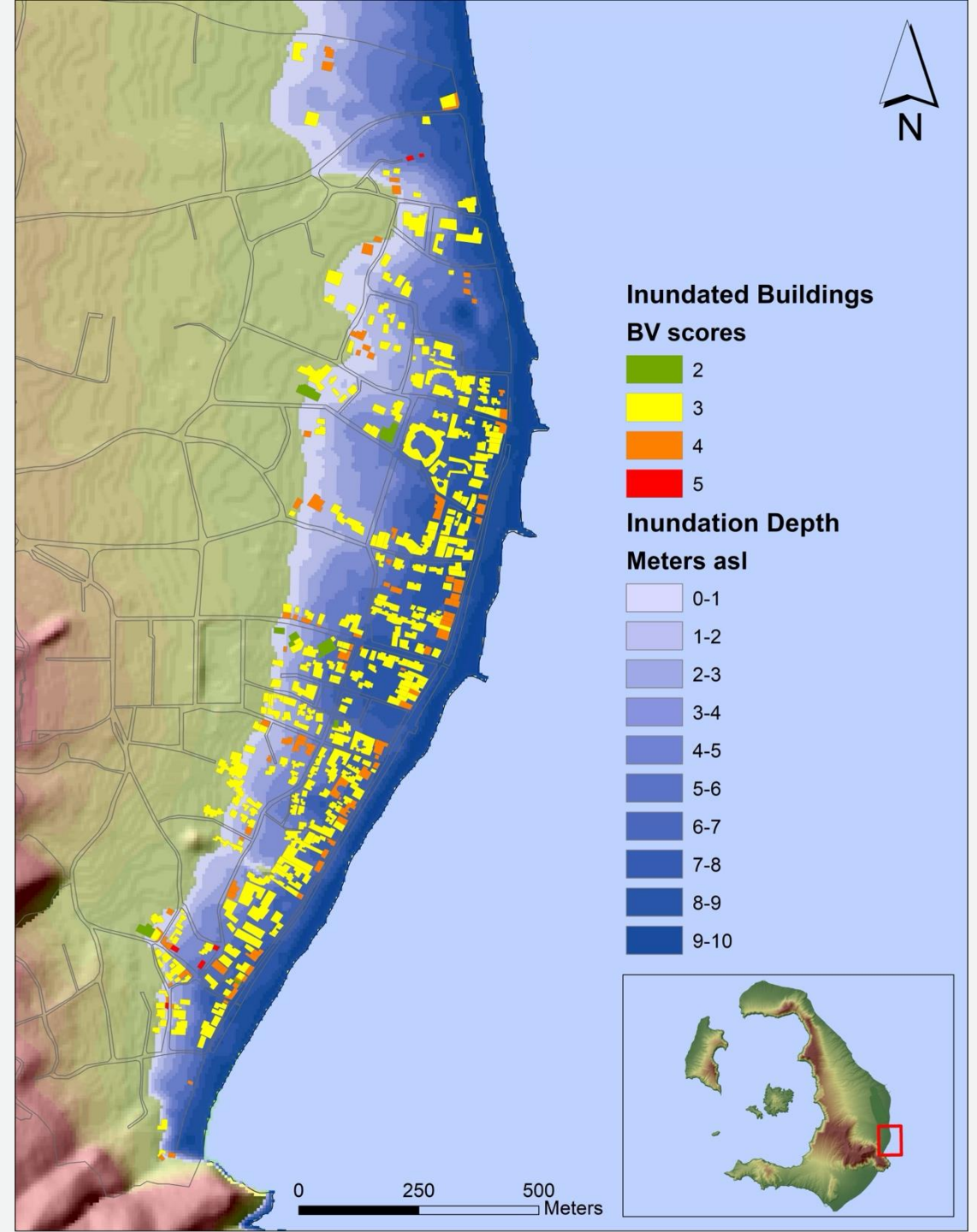
Ο υπολογισμός της μεταβλητής B_v (2/3)

	-1	-0.5	0	0.5	1
Υλικό κατασκευής (m)	Οπλισμένο σκυρόδεμα	Οπλισμένο σκυρόδεμα με τοιχοποιία από τούβλο	Πέτρα	Τούβλο/ τσιμεντόλιθος	Ξύλο/ κατασκευές παραλιακού μετώπου
Αριθμός ορόφων (s)	>5	4	3	2	1
Υδροδυναμική ισογείου (g)	Πιλοτή ή γυάλινη πρόσοψη	Κέλυφος με κανονικά ανοίγματα σε συνδυασμό με ανοιχτή πρόσοψη στο 75%	Κέλυφος με κανονικά ανοίγματα σε συνδυασμό με ανοιχτή πρόσοψη στο 50%	Κέλυφος με κανονικά ανοίγματα στο 25%	Κέλυφος με ένα μόνο άνοιγμα (είσοδος κτιρίου) ή χωρίς ανοίγματα
Θεμελίωση (f)	Βαθιά		Μέτρια		Ρηχή
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 ακτογραμμής	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

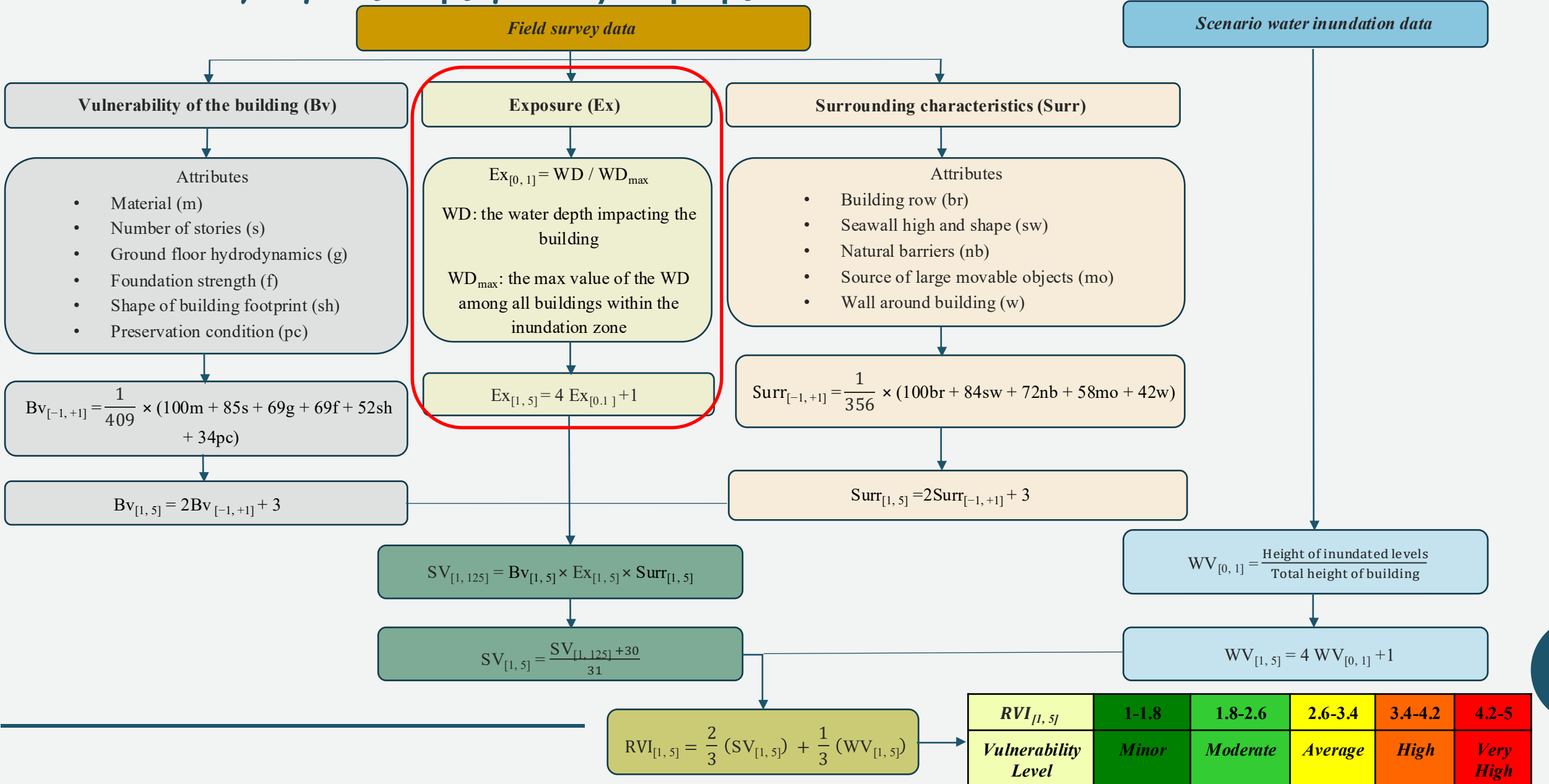
Απόδοση τιμών στις παραμέτρους που επηρεάζουν τη στατική τρωτότητα του κτιρίου (B_v)

Η μεταβλητή B_v

	B_v				
Βάθος (m)	1	2	3	4	5
9-10	0	0	0	0	0
8-9	0	0	22	11	0
7-8	0	0	61	27	0
6-7	0	1	58	21	0
5-6	0	2	30	6	2
4-5	0	1	26	4	2
3-4	0	0	20	7	1
2-3	0	0	26	11	0
1-2	0	1	25	8	1
0-1	0	3	32	14	0
Σύνολο	0	8	300	109	6

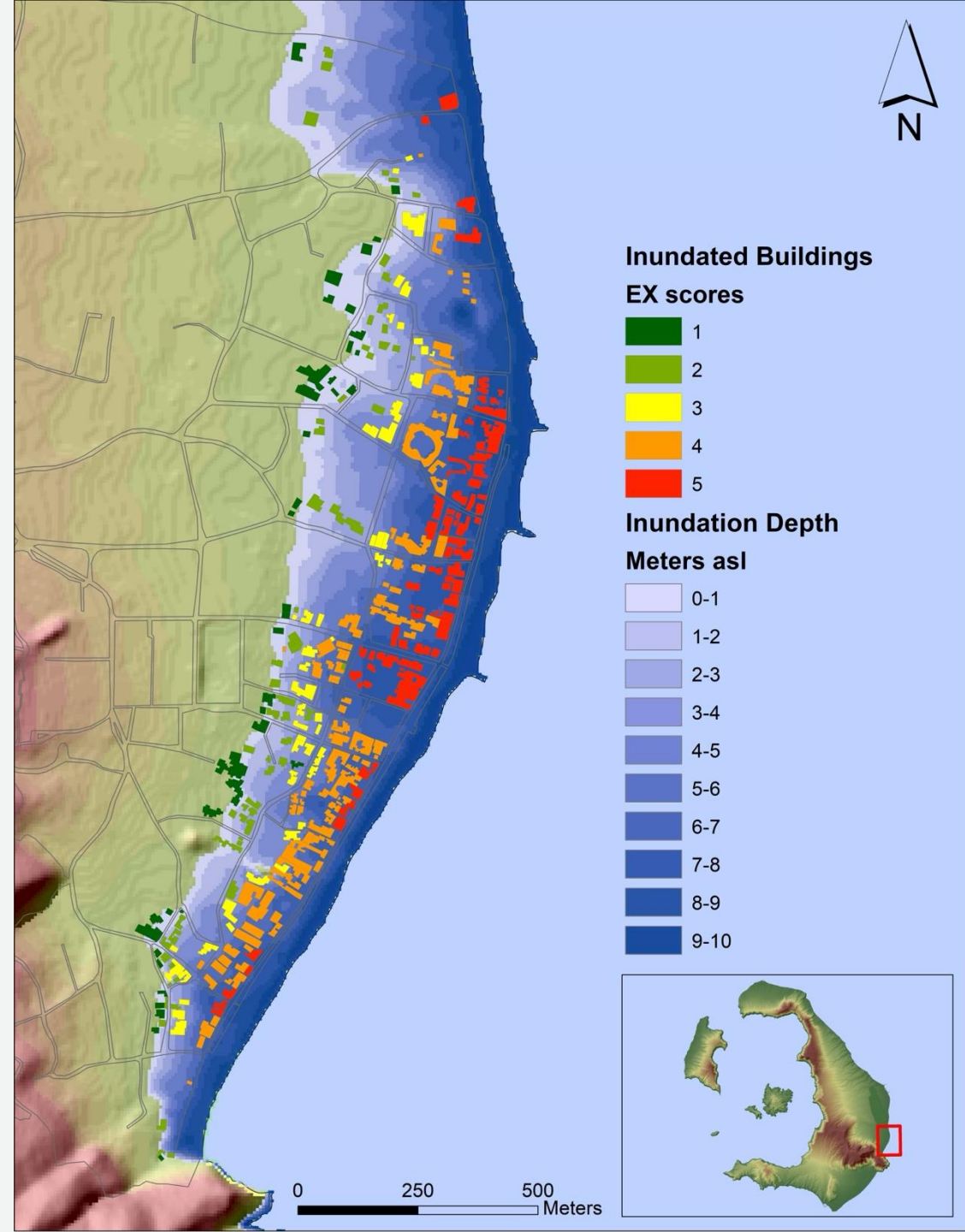


Ο υπολογισμός της μεταβλητής Ex

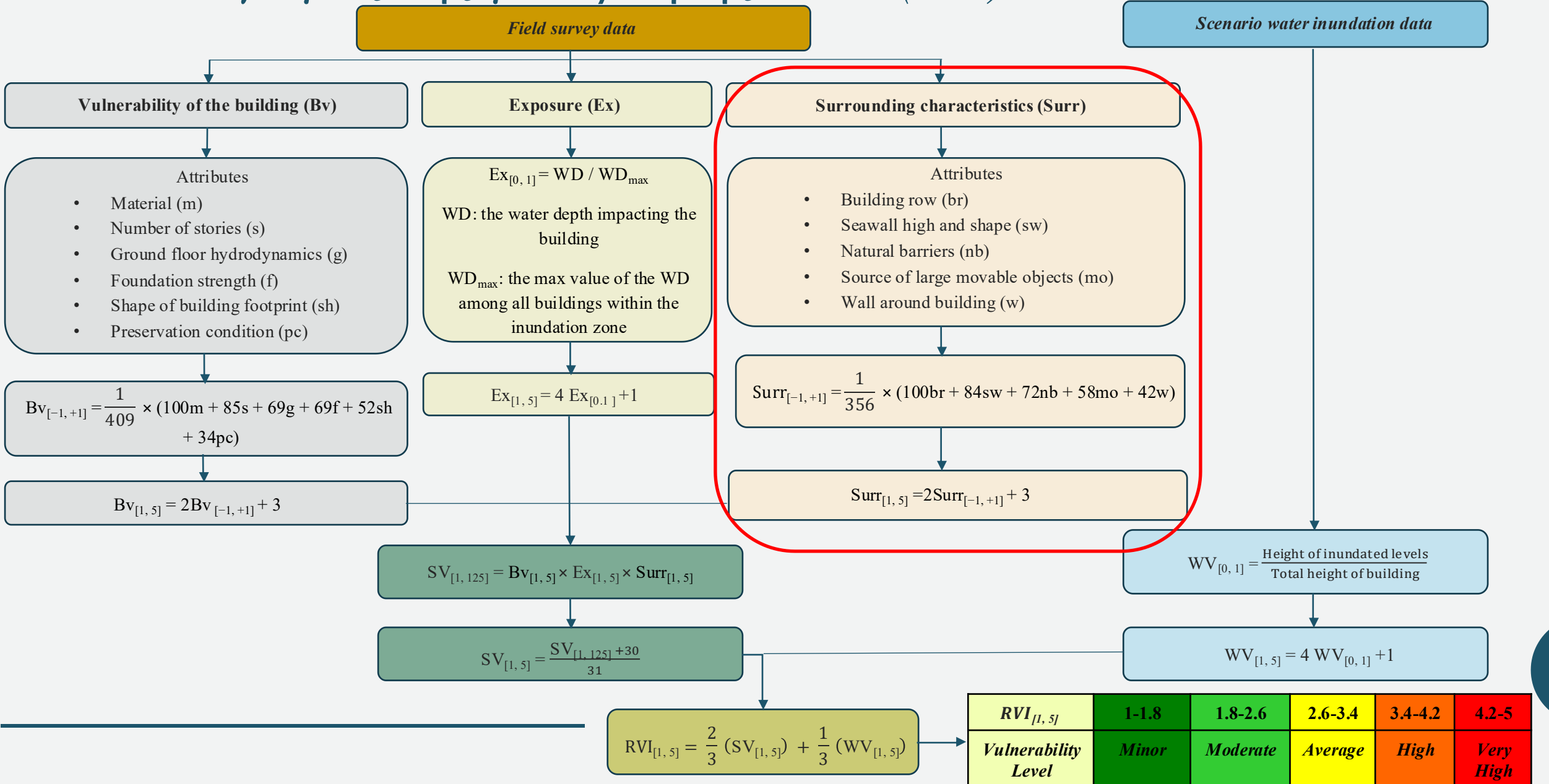


Η μεταβλητή Ex

Βάθος (m)	Ex				
	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	80	0
5-6	0	0	0	40	0
4-5	0	0	33	0	0
3-4	0	0	28	0	0
2-3	0	37	0	0	0
1-2	0	35	0	0	0
0-1	49	0	0	0	0
Σύνολο	49	72	61	120	121



Ο υπολογισμός της μεταβλητής Surr (1/2)



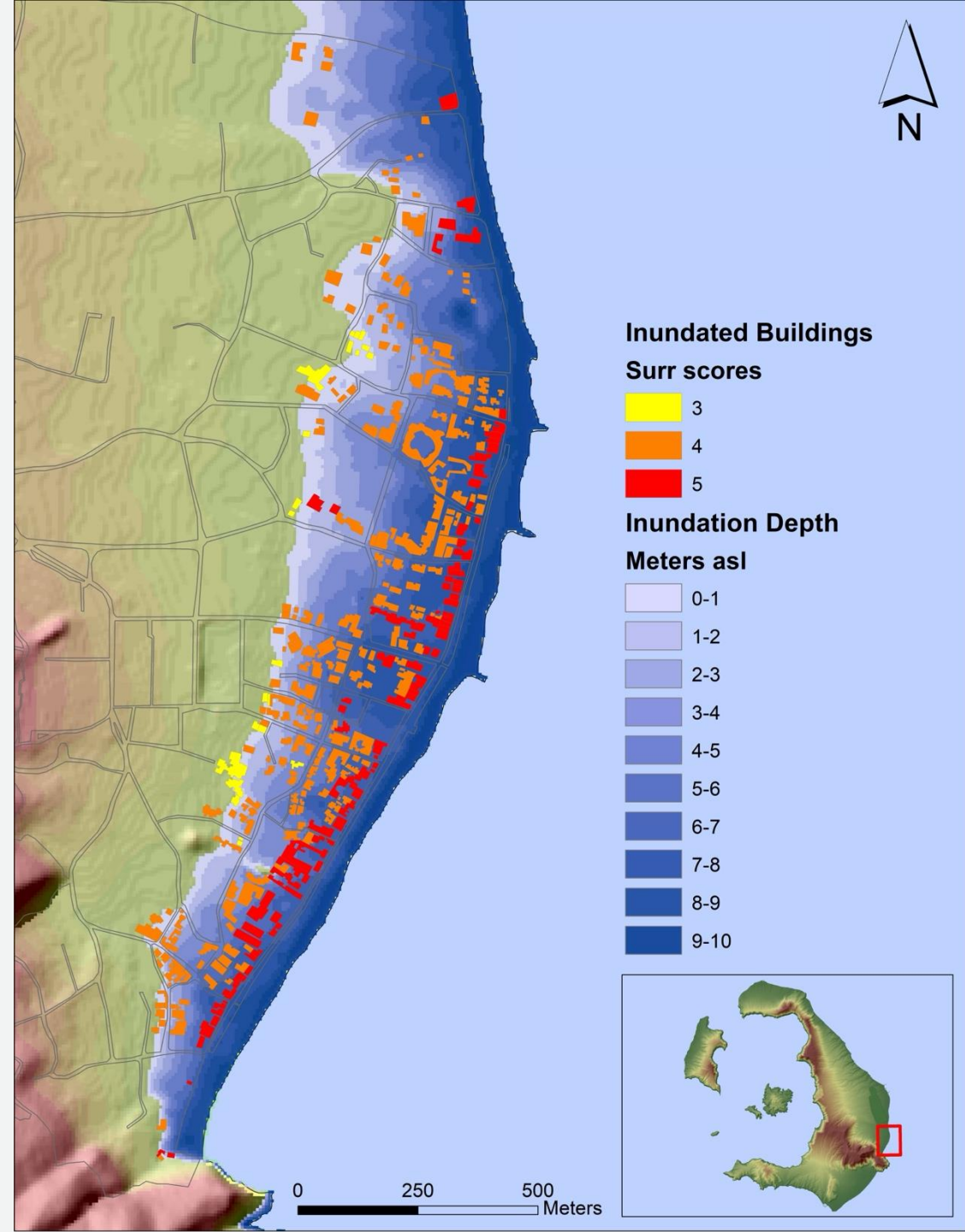
Ο υπολογισμός της μεταβλητής *Surr* (2/2)

	-1	-0.5	0	0.5	1
Σειρά κτιρίου (<i>br</i>)	>10	7-10	4-6	2-3	1
Τείχος προστασίας από τον κυματισμό (<i>sw</i>)	> 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
Φυσικά προστατευτικά (<i>nb</i>)	Πολύ υψηλή προστασία	Υψηλή προστασία	Μεσαία προστασία	Χαμηλή προστασία	Καθόλου προστασία
Κινούμενα αντικείμενα (<i>mo</i>)	Κτίρια μακριά από πηγές κινούμενων αντικειμένων		Κτίρια κατά μήκος οδικών αξόνων με πολλά σταθμευμένα οχήματα		Κτίρια πίσω από μεγάλους χώρους στάθμευσης ή/ και τις κατασκευές του παραλιακού μετώπου και του αιγιαλού
Τοιχίο περιμετρικά του κτιρίου (<i>w</i>)	Ύψος από 80-100% του βάθους πλημμύρας	Ύψος από 60-80% του βάθους πλημμύρας	Ύψος από 40-60% του βάθους πλημμύρας	Ύψος από 20-40% του βάθους πλημμύρας	Ύψος από 0-20% του βάθους πλημμύρας

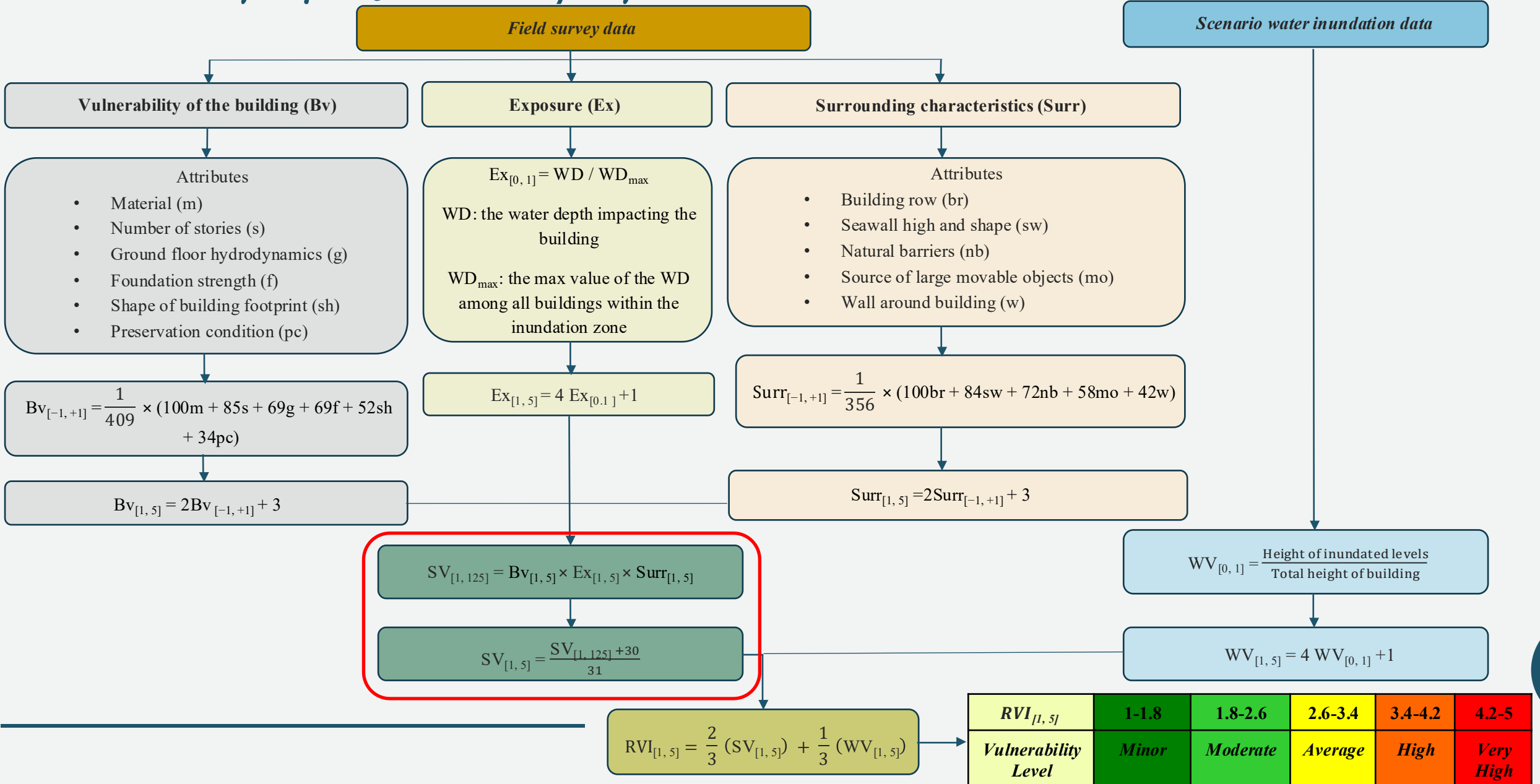
Απόδοση τιμών στις παραμέτρους που συμβάλουν στο βαθμό προστασίας των κτιρίων (*Surr*)

Η μεταβλητή *Surr*

Βάθος (m)	<i>Surr</i>		
	3	4	5
9-10	0	0	0
8-9	0	10	23
7-8	0	44	44
6-7	0	47	33
5-6	0	34	6
4-5	0	33	0
3-4	0	28	0
2-3	0	34	3
1-2	5	29	1
0-1	17	32	0
Σύνολο	22	291	110



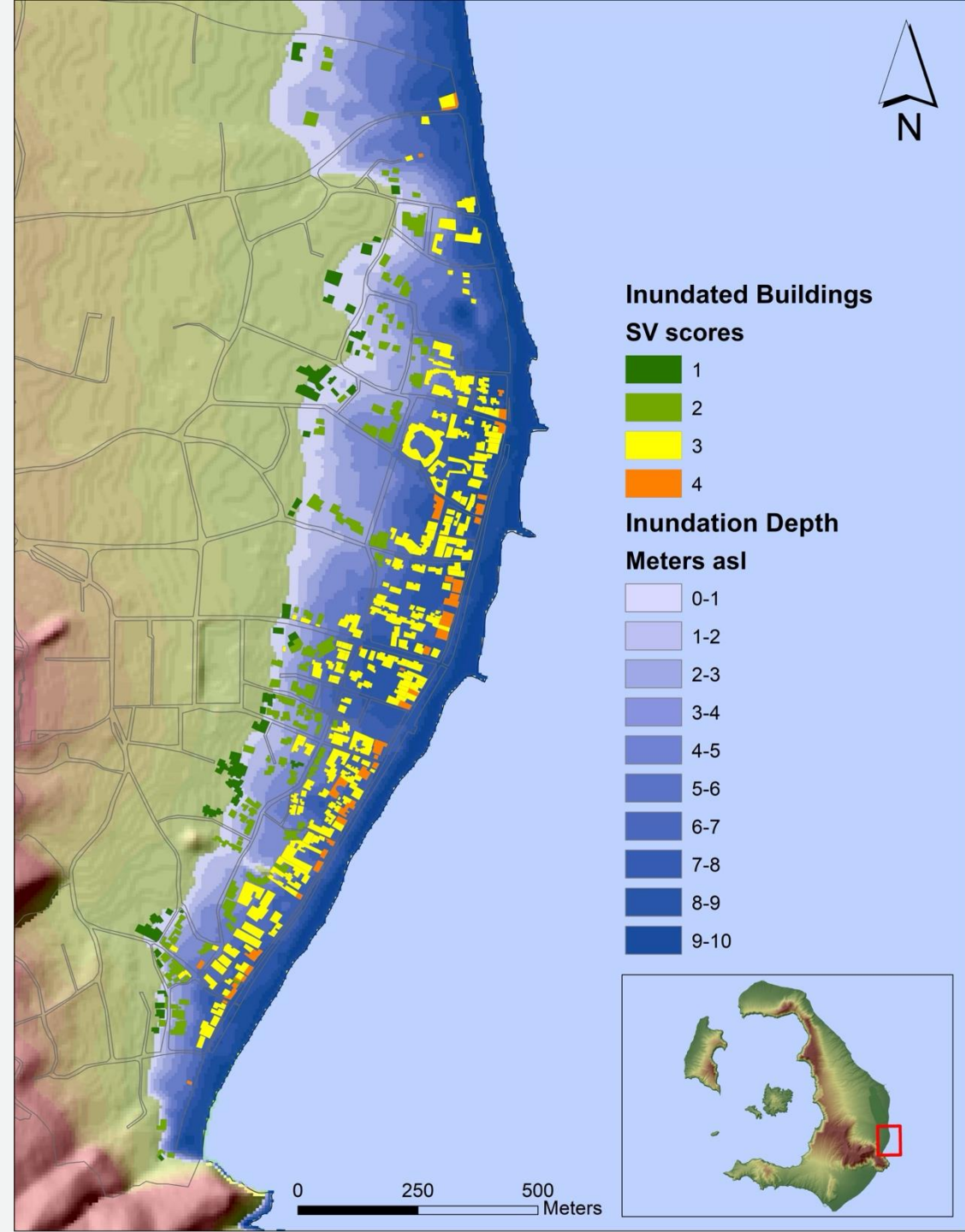
Ο υπολογισμός του παράγοντα SV



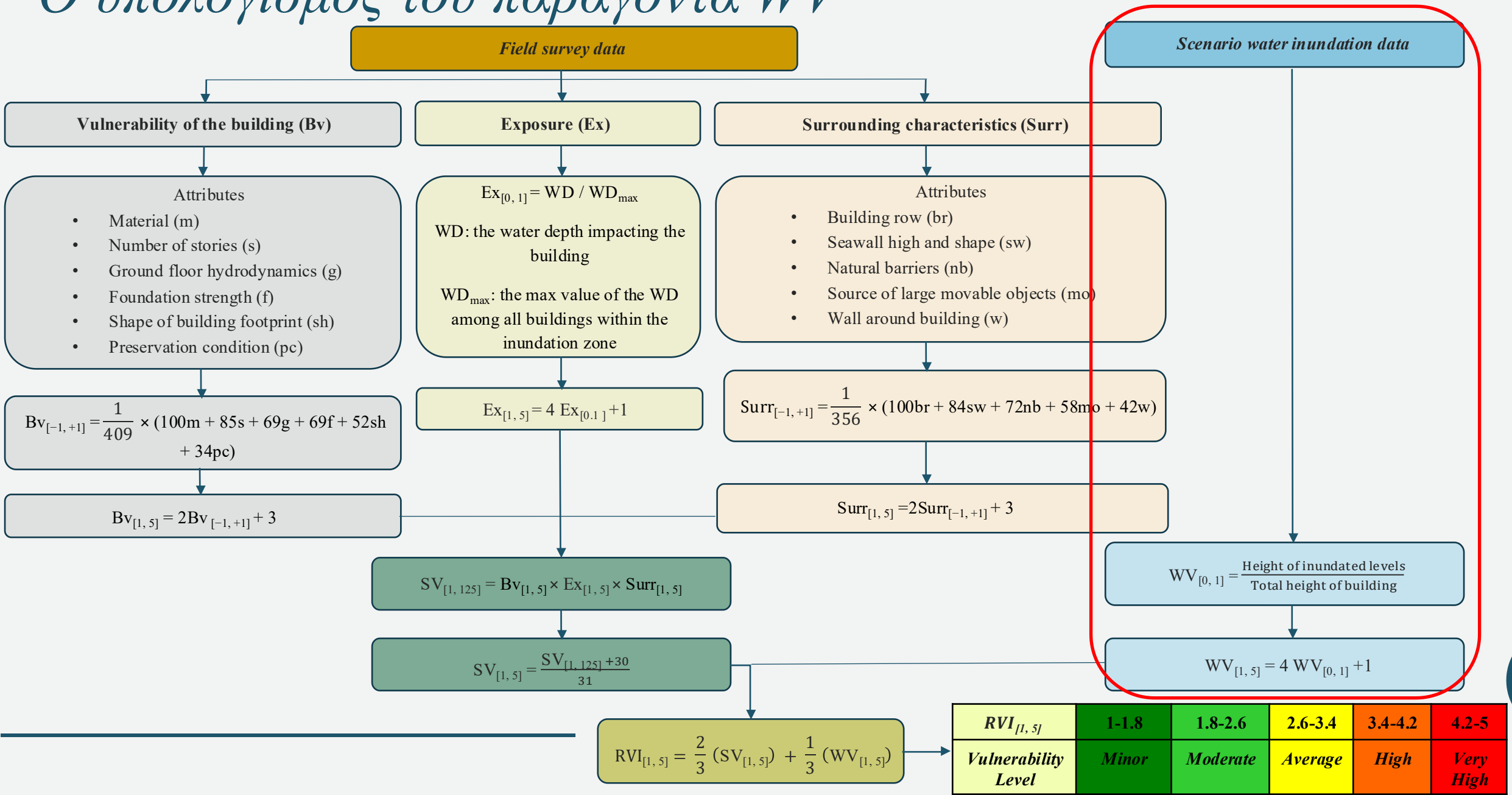
Ο παράγοντας *SV*

$$SV = Bv \times Ex \times Surr$$

Βάθος (m)	SV			
	1	2	3	4
9-10	0	0	0	0
8-9	0	0	22	11
7-8	0	0	61	27
6-7	0	1	68	11
5-6	0	2	36	2
4-5	0	27	6	0
3-4	0	20	8	0
2-3	0	37	0	0
1-2	1	34	0	0
0-1	49	0	0	0
Σύνολο	50	121	201	51



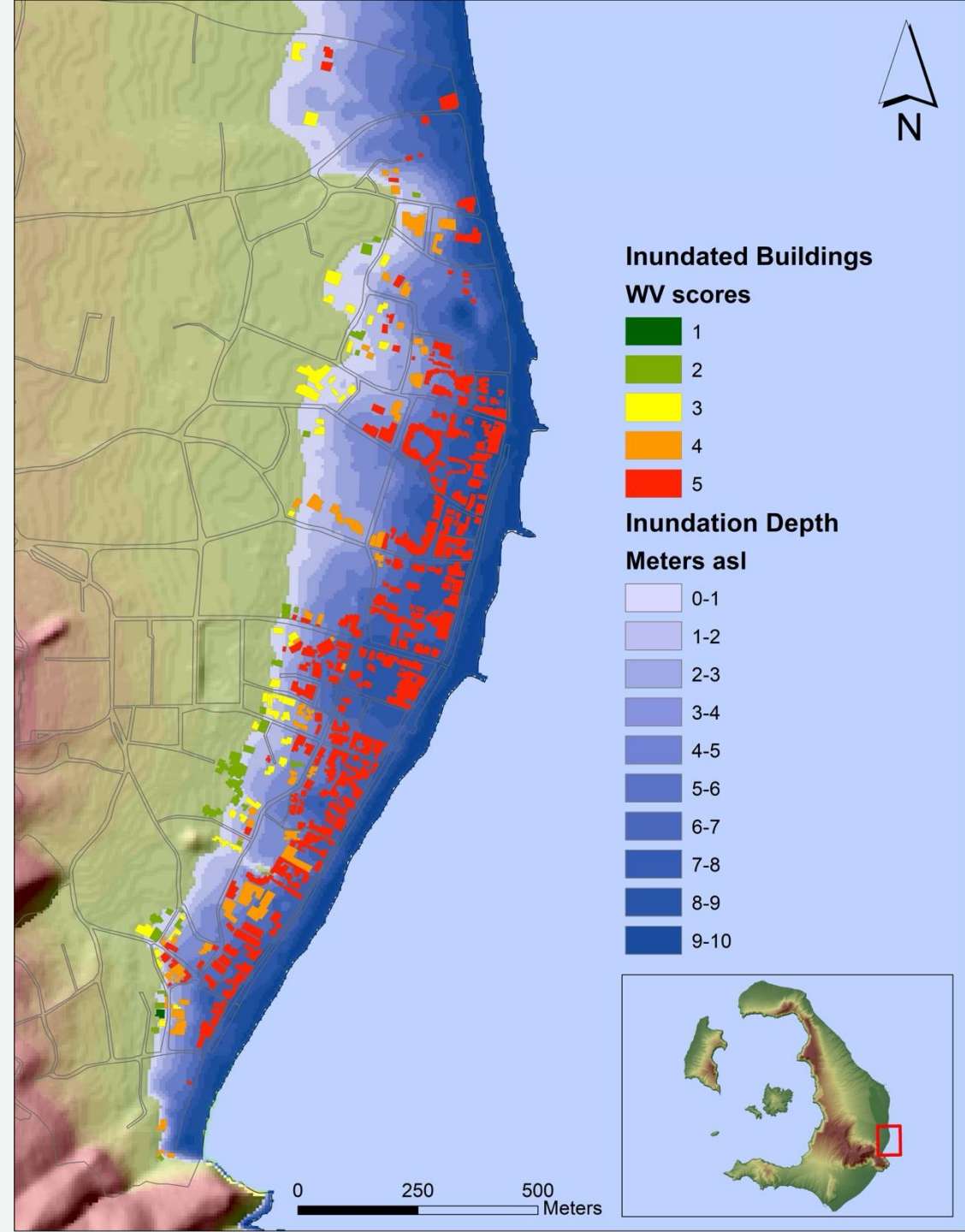
Ο υπολογισμός του παράγοντα WV



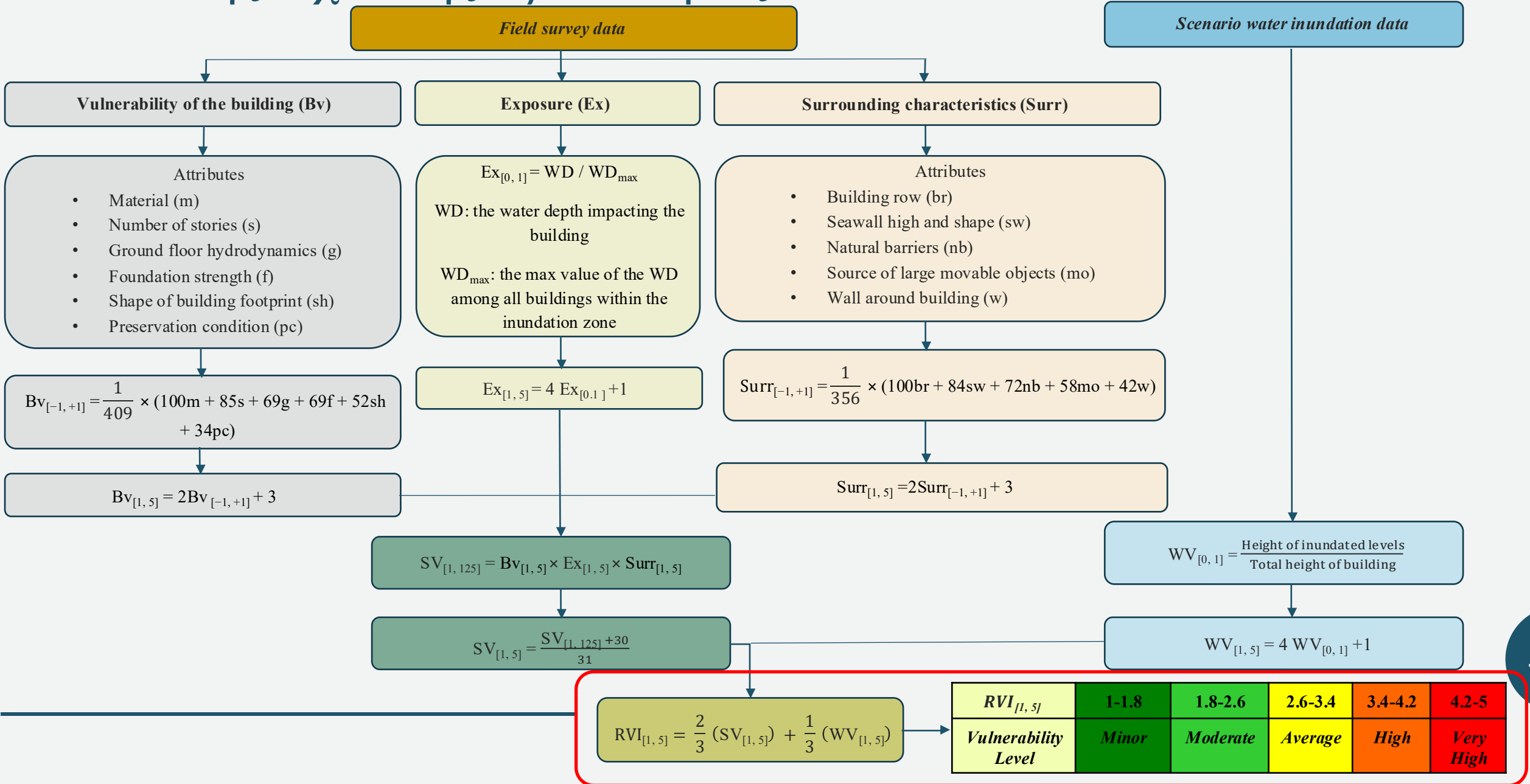
$RVI_{[1,5]}$	1-1.8	1.8-2.6	2.6-3.4	3.4-4.2	4.2-5
Vulnerability Level	Minor	Moderate	Average	High	Very High

Ο παράγοντας *WV*

Βάθος (m)	<i>WV</i>				
	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	5	35
4-5	0	0	0	13	20
3-4	0	0	0	16	12
2-3	0	0	8	13	16
1-2	0	9	17	9	0
0-1	1	29	20	2	0
Σύνολο	1	35	45	58	284



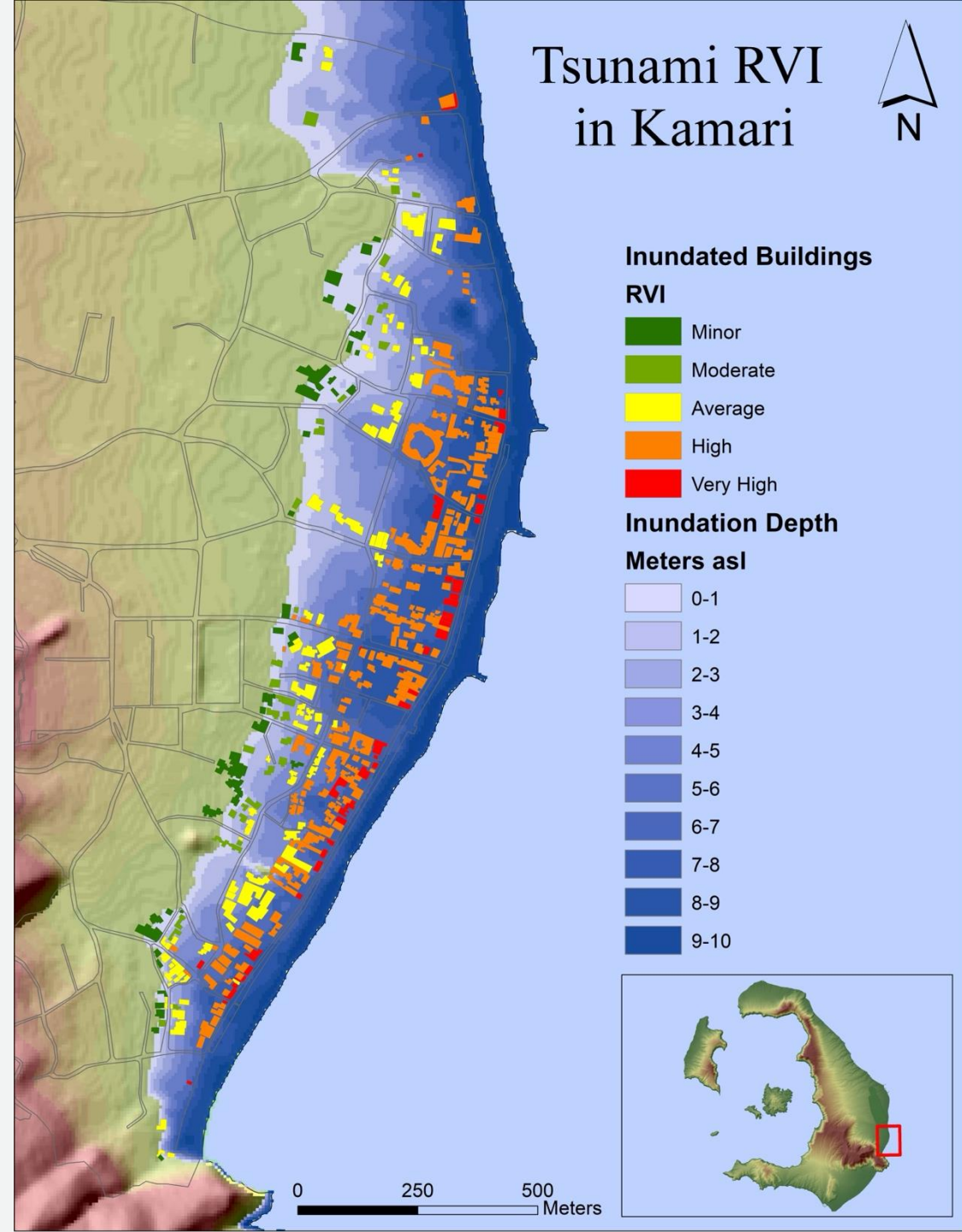
Ο Δείκτης Σχετικής Τρωτότητας



Ο υπολογισμός του RVI

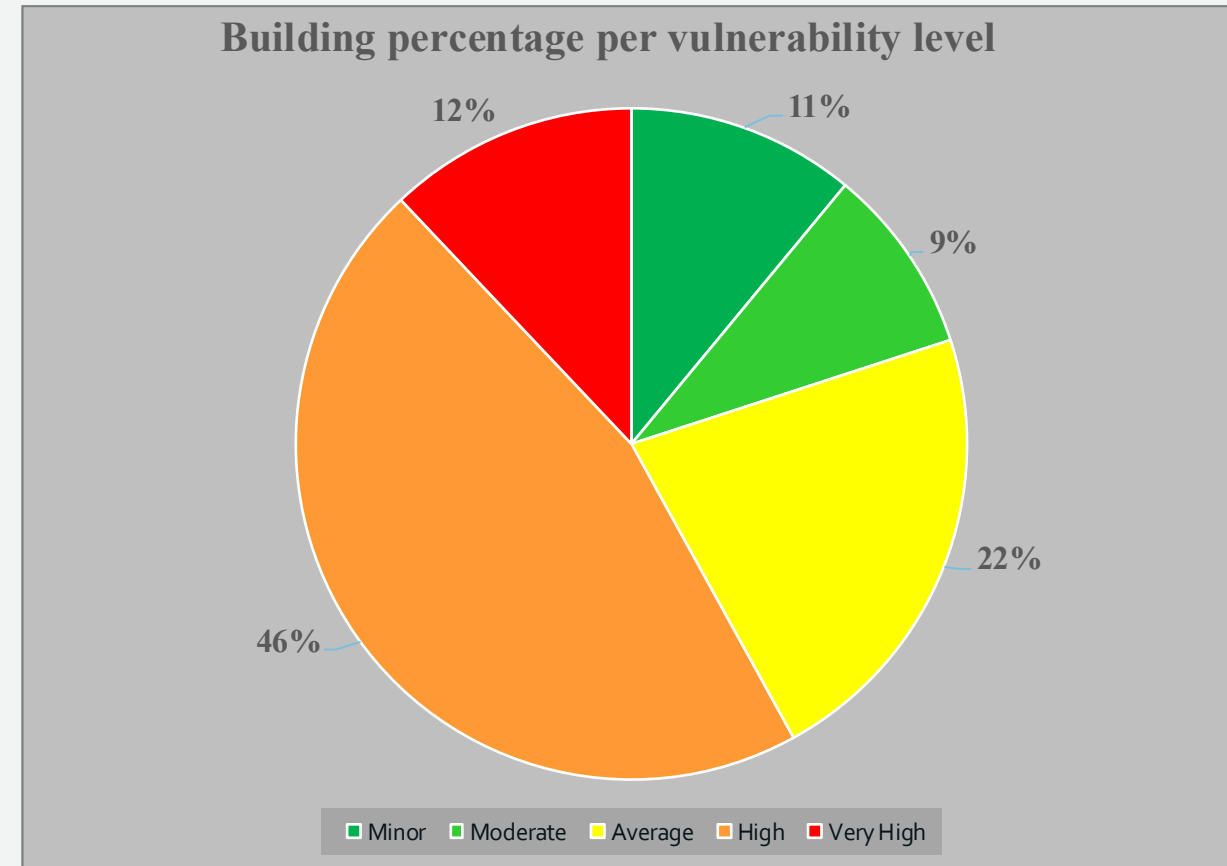
$$RVI = \frac{2}{3} (SV) + \frac{1}{3} (WV)$$

Βάθος (m)	RVI				
	Μικρή (Minor)	Μέτρια (Moderate)	Μεσαία (Average)	Υψηλή (High)	Πολύ Υψηλή (Very High)
9-10	0	0	0	0	0
8-9	0	0	0	22	11
7-8	0	0	0	61	27
6-7	0	0	1	68	11
5-6	0	0	7	31	2
4-5	0	0	27	6	0
3-4	0	0	21	7	0
2-3	0	8	29	0	0
1-2	1	25	9	0	0
0-1	47	2	0	0	0
Σύνολο	48	35	94	195	51



Σχολιασμός των αποτελεσμάτων (1/4)

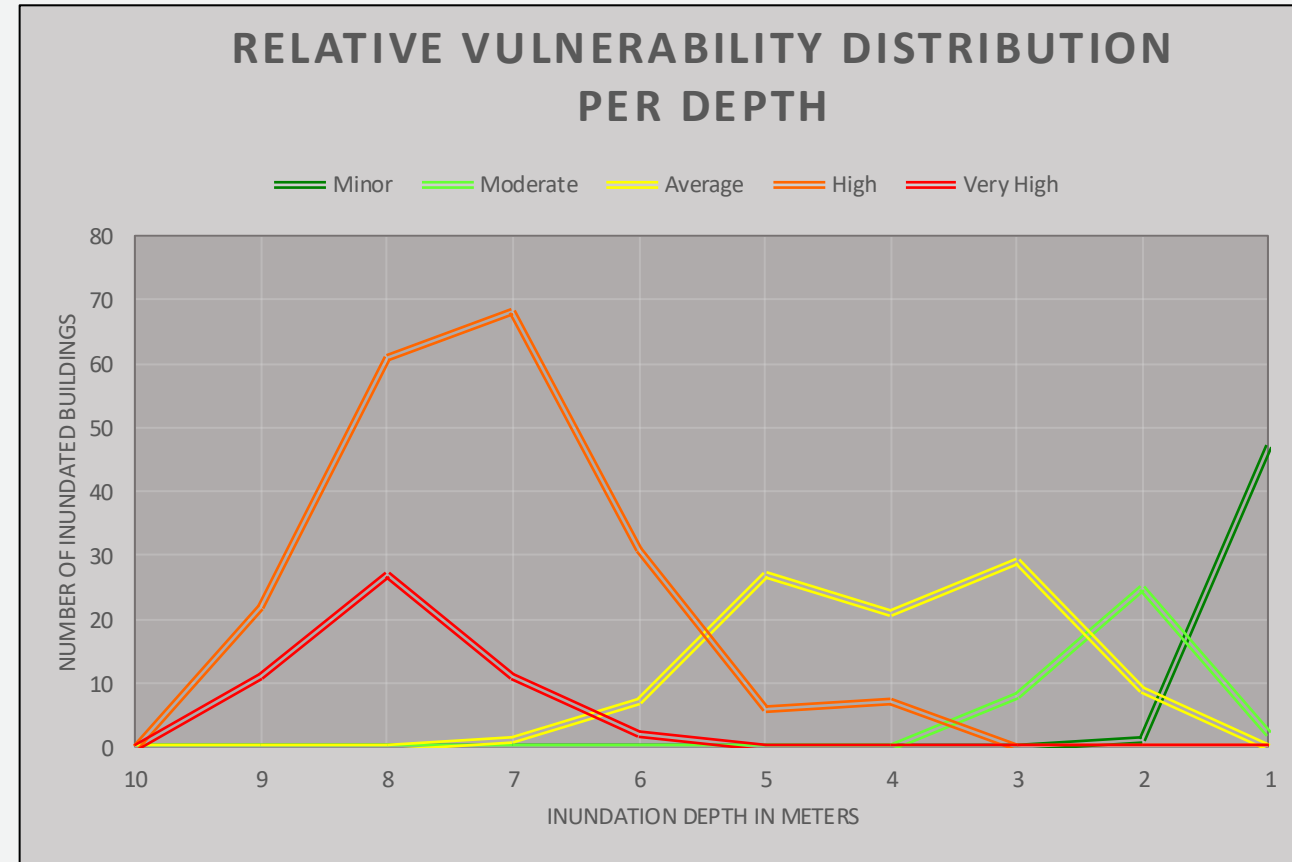
- Περισσότερα από τα μισά κτίρια (58%) χαρακτηρίζονται από υψηλό έως πολύ υψηλό βαθμό σχετικής τρωτότητας.
- Το αντίστοιχο ποσοστό των κτιρίων με χαμηλότερο βαθμό σχετικής τρωτότητας (μικρός – μέτριος) ανέρχεται στο 20%.
- Τα κτίρια που εμφανίζουν μεσαίο βαθμό σχετικής τρωτότητας καταγράφουν ποσοστό 22%.



Ποσοστιαία κατανομή του βαθμού της σχετικής τρωτότητας των κτιρίων στον οικισμό του Καμαρίου

Σχολιασμός των αποτελεσμάτων (2/4)

- Οι μέγιστες τιμές των δύο κλάσεων με τη μεγαλύτερη τρωτότητα καταγράφονται στο βάθος πλημμύρας των 7 και 8 m και η συχνότητα εμφάνισης του βαθμού φθίνει όσο αυξάνεται η απόσταση από την ακτογραμμή, παίρνοντας τιμή 0 στα βάθη των 3 και 5 m.
- Η κατανομή του βαθμού της μεσαίας κλάσης παρουσιάζει δύο τοπικά μέγιστα, στα βάθη των 3 και 5 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 καταγράφει μέγιστα στο όριο των πλημμυρικών ροών.



Διάγραμμα κατανομής της σχετικής τρωτότητας ως προς το βάθος της πλημμύρας

Σχολιασμός των αποτελεσμάτων (3/4)

	Σύνολο κτιρίων ανά χρήση	Σχετική τρωτότητα – RVI				
		Μικρή (Minor)	Μέτρια (Moderate)	Μεσαία (Average)	Υψηλή (High)	Πολύ Υψηλή (Very High)
Αποκλειστική χρήση						
Κατοικίες	103	18	16	24	42	3
Τουριστικές μονάδες	146	13	14	37	80	2
Εστιατόρια	48	0	0	6	18	24
Καταστήματα	55	4	0	11	21	19
Θρησκευτικοί χώροι	4	1	0	2	1	0
Αποθήκες	10	1	0	2	4	3
Άγνωστη	7	2	1	0	4	0
Μεικτή χρήση						
Καταστήματα/ Κατοικίες	24	5	2	7	10	0
Καταστήματα/ Εστιατόρια	4	1	1	0	2	0
Καταστήματα/ Τουριστικές μονάδες	6	1	0	2	3	0
Εστιατόρια/ Κατοικίες	4	1	0	1	2	0
Εστιατόρια/ Τουριστικές μονάδες	7	0	0	0	7	0
Τουριστικές μονάδες/ Κατοικίες	5	1	1	2	1	0
Σύνολο κτιρίων	423	48	35	94	195	51

Σχετική τρωτότητα ανά χρήση κτιρίου

Σχολιασμός των αποτελεσμάτων (4/4)

Συσχετίζοντας την κύρια και τη μεικτή χρήση των κτιρίων με το βαθμό της σχετικής τρωτότητας διαπιστώνεται ότι:

- Το 42% των κατοικιών χαρακτηρίζονται από υψηλή και πολύ υψηλή σχετική τρωτότητα.
- Το αντίστοιχο ποσοστό για τα κτίρια που στεγάζουν τουριστικές μονάδες ανέρχεται στο 57%.
- Τα καταστήματα και οι χώροι εστίασης καταγράφουν τα μεγαλύτερα ποσοστά τιμών στις κλάσεις υψηλής και πολύ υψηλής σχετικής τρωτότητας με ποσοστά 62% και 90%, αντίστοιχα, γεγονός που εξηγείται από την χωρική πόλωση της ανάπτυξης της οικονομικής δραστηριότητας κατά μήκος του παραλιακού μετώπου.

Συμπεράσματα (1/3)

- Η μορφολογία του νησιού, σε συνδυασμό με τον μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό έκθεσης των ανθρώπινων δομών και συστημάτων στα τσουνάμι, προσδίδει στους παράκτιους οικισμούς τρωτότητα.
- Το «σενάριο» του τσουνάμι με ακραία χαρακτηριστικά, το οποίο δημιουργήθηκε με γνώμονα τα στοιχεία από την εμφάνιση παλαιότερων γεγονότων και η εξέταση των αναμενόμενων διαστάσεων 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.
- 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.

Συμπεράσματα (2/3)

- Το μοντέλο PTVA-4 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 ΣΓΠ.
- Η διαθεσιμότητα και η δυνατότητα εύκολης πρόσβασης στο απαιτούμενο πληροφοριακό υλικό και η ευκολία στους υπολογισμούς, καθιστά το μοντέλο αρκετά λειτουργικό.
- Η δυνατότητα ανανέωσης και ενημέρωσης της βάσης δεδομένων που χρησιμοποιεί αυτή η προσέγγιση, την κατατάσσει στα δυναμικά μοντέλα.

Συμπεράσματα (3/3)

- 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.
- Επομένως το γεγονός αυτό, αναμένεται να επιφέρει μια αυξημένη πιθανότητα φθίνουσας πορείας της τουριστικής ανάπτυξης του οικισμού και την ανάγκη απορρόφησης οικονομικών πόρων για την αποκατάσταση και την ανάκαμψη.

Ευχαριστώ...