



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ
ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΣΕΡΡΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
& ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ**



**ΔΙ-ΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

**Κρουστάλλη Μαρία - Χριστίνα
Γεωλόγος Ε.Κ.Π.Α.**

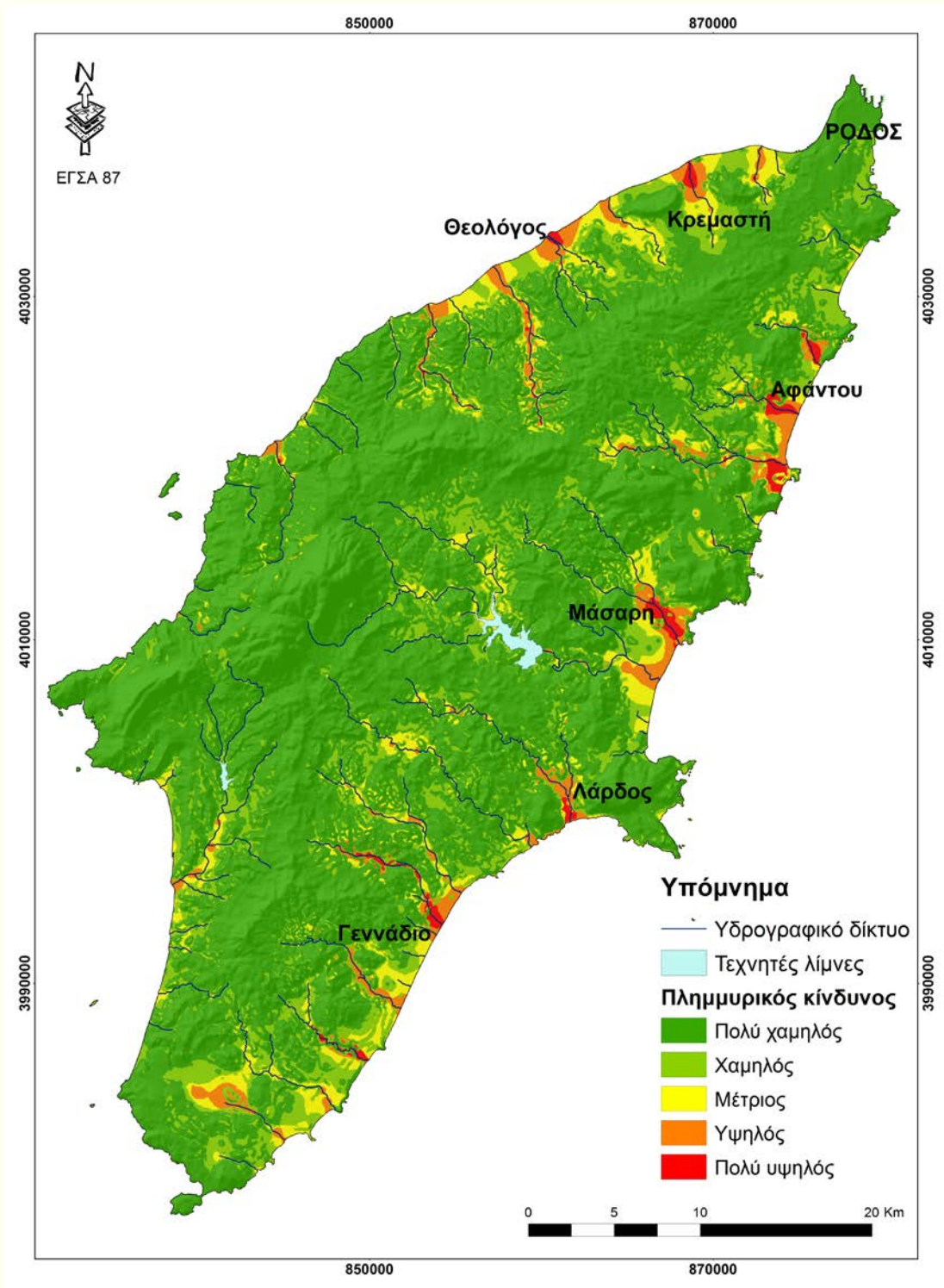
**«Ανάλυση Πλημμυρικού Κινδύνου στη νήσο Ρόδο με τη Χρήση
Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)»**

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**Λέκκας Ευθύμιος
Νάστος Παναγιώτης
Βασιλάκης Εμμανουήλ**

**Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών
(Επιβλέπων)
Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών
Λέκτορας Πανεπιστημίου Αθηνών**

**ΑΘΗΝΑ
ΙΟΥΛΙΟΣ 2014**



Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου Ρόδου

Ευχαριστίες



Εικόνα από άσκηση υπαίθρου (3-1-2014)

Το θέμα της μεταπτυχιακής διατριβής ειδίκευσης επιλέχτηκε από τον Καθηγητή του Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Ευθύμιο Λέκκα, τον οποίο θέλω να ευχαριστήσω τόσο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο επιστημονικό αντικείμενο, όσο και για αμέριστη υποστήριξη που μου παρείχε.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να εκφράσω στον Δρ. Μ. Διακάκη για την επιστημονική καθοδήγηση, τη βοήθεια και τη συνεργασία του κατά τη διάρκεια της παρούσας διατριβής.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες θέλω να εκφράσω στον Λέκτορα του Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Εμμανουήλ Βασιλάκη και στον Καθηγητή Παναγιώτη Νάστο για την αποδοχή τους να είναι μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, για τις συμβουλές και τις οδηγίες τους.

Τέλος, ολόθερμες ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω προς τους διδάσκοντες του μεταπτυχιακού προγράμματος και προς τους συμφοιτητές μου για την πολύτιμη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
1. Εισαγωγή	5
1.1. Ανάθεση μεταπτυχιακής εργασίας.....	5
1.2. Σκοπός – στόχοι.....	5
1.3. Ορισμοί	6
1.4. Νομοθετικό πλαίσιο	6
1.5. Το πλημμυρικό πρόβλημα στον Ελληνικό χώρο	7
1.6. Το πλημμυρικό πρόβλημα στη Ρόδο	10
2. Επισκόπηση μεθοδολογιών.....	11
3. Περιοχή μελέτης	13
3.1. Γεωγραφικά, Διοικητικά & Δημογραφικά στοιχεία	13
3.2. Γεωμορφολογία.....	15
3.3. Γεωλογία	17
3.4. Υδρογραφικό δίκτυο	19
3.5. Κλιματικές συνθήκες	23
3.6. Υποδομές	25
3.7. Χρήσεις γης.....	25
3.8. Περιοχές ιδιαίτερου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος.....	28
4. Ανάλυση πλημμυρικού ιστορικού	30
4.1. Ιστορικές πλημμύρες	30
4.2. Συχνότητα πλημμυρών ανά έτος.....	33
4.3. Εποχικότητα πλημμυρών	33
4.4. Χαρακτηριστικά των πλημμυρών	34
4.5. Μετεωρολογικά στοιχεία	39
4.6. Περιοχές ευαίσθητες σε πλημμυρικά φαινόμενα.....	43
5. Ανάλυση πλημμυρικού κινδύνου.....	48
5.1. Εισαγωγή	48
5.2. Μεθοδολογία.....	48
5.3. Πλημμυρικός κίνδυνος σε επιλεγμένες υδρολογικές λεκάνες.....	51
5.4. Πλημμυρικός κίνδυνος στο σύνολο της Ρόδου	67
5.5. Συμπεράσματα	69
6. Πλημμυρικά γεγονότα Νοεμβρίου 2013-Εργασίες πεδίου.....	70
6.1. Εισαγωγή	70
6.2. Επιπτώσεις στις υποδομές από τις πλημμύρες του Νοεμβρίου 2013	72
6.3. Έρευνα ευπάθειας υποδομών.....	79

6.4. Έρευνα πεδίου μετά τις πλημμύρες	81
6.5. Πλημμύρα Ιαλυσού	82
6.6. Πλημμύρα Κρεμαστής	87
6.7. Εκτιμήσεις για τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας	89
6.8. Συμπεράσματα	94
7. Υδρολογική προσομοίωση.....	95
7.1. Εισαγωγή	95
7.2. Δεδομένα και μεθοδολογία	98
7.3. Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	107
8. Πλημμύρες και δασικές πυρκαγιές	110
8.1. Εισαγωγή	110
8.2. Καμένες εκτάσεις Ρόδου.....	110
8.3. Συσχετισμός πλημμυρών με δασικές πυρκαγιές.....	114
9. Συμπεράσματα	115
9.1. Γενικά συμπεράσματα	115
9.2. Περιορισμοί μελέτης.....	120
9.3. Προτάσεις	121
10. Βιβλιογραφία	124
Παράρτημα Α – GIS	132
Παράρτημα Β - Ανάλυση Weibull.....	137

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης είχε ως βασικό στόχο την ανάλυση του πλημμυρικού κινδύνου στη νήσο Ρόδο με τη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS). Συγκεκριμένα, εξετάστηκε όλο το νησί με ιδιαίτερη έμφαση στο τμήμα που εκτείνεται βορειο-δυτικά του νησιού στις περιοχές της Ιαλυσού και της Κρεμαστής, το οποίο υπέστη καταστροφικές ζημιές από τις πλημμύρες του Νοεμβρίου 2013. Η έκταση της ερευνηθείσας περιοχής ξεπερνάει τα 1400km², ενώ η υδρολογική λεκάνη της Ιαλυσού είναι 6,68km² και της Κρεμαστής είναι 23,55km².

Η μελέτη του πλημμυρικού κινδύνου αρχικά περιελάμβανε την επιλογή των μεθοδολογιών, οι οποίες θα χρησιμοποιούνταν με βάση τα δεδομένα που υπήρχαν για την περιοχή, μια παρουσίαση της περιοχής μελέτης, καθώς και τον εντοπισμό και την απογραφή των θέσεων που υπάρχει καταγεγραμμένο ιστορικό πλημμυρών με στόχο την εκτενέστερη εξέταση των περιοχών αυτών. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες από τις θέσεις που είχαν πληγεί στο παρελθόν από πλημμύρες δεν είχαν απογραφεί επίσημα και ως εκ τούτου τα διαθέσιμα δεδομένα από προηγούμενους μελετητές ήταν ελάχιστα έως ανύπαρκτα. Στη συνέχεια, εξεταστήκαν επισταμένως οι περιοχές αυτές καθώς και όλο το νησί της Ρόδου με τη χρήση του ArcMap10, ArcHydro και τα αποτελέσματα έδωσαν τη δυνατότητα εξαγωγής συμπερασμάτων και απεικόνιση του πλημμυρικού κινδύνου του νησιού με εξαιρετική ακρίβεια, κάτι που δεν υπήρχε μέχρι τώρα.

Ακολούθως, με την εργασία υπαίθρου που πραγματοποιήθηκε στην περιοχή από 3-1-2014 έως 5-1-2014, παρουσιάζονται οι καταστροφικές επιπτώσεις από πλημμύρες σε όλο το νησί και ιδιαίτερα στις υποδομές. Από την εκτέλεση του μοντέλου της υδρολογικής προσομοίωσης (HEC-RAS), υπολογίσθηκε η έκταση της κατάκλυσης της πλημμύρας των 50 ετών για τις υδρολογικές λεκάνες Ιαλυσού και Κρεμαστής.

Τέλος, παρουσιάζονται ποιοτικά οι δασικές πυρκαγιές, από τις οποίες έχει πληγεί το νησί και γίνεται συσχετισμός με το χάρτη πλημμυρικού κινδύνου. Ακολουθούν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη μελέτη, καθώς και ένα παράρτημα στο οποίο αναλύεται η βροχόπτωση του νησιού με την καμπύλη Weibull από το βροχομετρικό σταθμό της ΕΜΥ για το χρονικό διάστημα 1955-2010.

1. Εισαγωγή

1.1. Ανάθεση μεταπτυχιακής εργασίας

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ειδίκευσης εκπονήθηκε στο πλαίσιο του Μεταπτυχιακού «Πρόληψη και διαχείριση φυσικών καταστροφών» του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και του τμήματος Γεωπληροφορικής και Τοπογραφίας του ΤΕΙ Σερρών με επιβλέποντα τον Καθηγητή Ευθύμιο Λέκκα. Η εκπόνηση της διατριβής υποστηρίχθηκε για την υλοποίηση του εφαρμοσμένου ερευνητικού προγράμματος «Εκτίμηση πλημμυρικού κινδύνου στο Δήμο Ρόδου, μετά τα πλημμυρικά φαινόμενα του Νοεμβρίου 2013, με έμφαση στις υδρολογικές λεκάνες Ιαλυσού και Κρεμαστής», με σύμβαση μεταξύ του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και της Περιφέρειας Νοτίου Αιγαίου.

1.2. Σκοπός – στόχοι

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η καταγραφή των πλημμυρικών φαινομένων στη νήσο Ρόδο, η αποτίμηση της επίπτωσής τους στο νησί, τον ανθρώπινο παράγοντα, τις υποδομές και η προκαταρκτική εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου, υπό το πρίσμα των πλημμυρών του Νοεμβρίου 2013 στο βόρειο τμήμα του νησιού. Συγκεκριμένα οι επιμέρους στόχοι της μελέτης είναι:

- Η ανάλυση του πλημμυρικού κινδύνου κατά μήκος του υδρογραφικού δικτύου του νησιού
- Η κατανόηση των χαρακτηριστικών των πλημμυρών που συμβαίνουν στο νησί
- Η οριοθέτηση των θέσεων όπου προβλέπεται να συμβούν πλημμύρες στο μέλλον
- Η συχνότητα και η εποχικότητα με την οποία συμβαίνουν οι πλημμύρες
- Η μελέτη των πλημμυρών του Νοεμβρίου 2013 στην Ιαλυσό και την Κρεμαστή και των αιτιών τους

1.3. Ορισμοί

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας δεχόμαστε τους παρακάτω ορισμούς:

- ως «Κίνδυνος» (Hazard) νοείται η συνολική πιθανότητα εκδήλωσης ενός καταστροφικού γεγονότος.
- ως «Τρωτότητα» (Vulnerability) νοείται ο βαθμός επιδεκτικότητας ή αλλιώς το πόσο ευάλωτο είναι ένα σύστημα του φυσικού ή ανθρωπογενούς περιβάλλοντος σε έναν κίνδυνο.
- ως «Επικινδυνότητα» (Risk) κίνδυνος πλημμύρας» νοείται ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται μ' αυτή την πλημμύρα.
- ως "Πλημμύρα" νοείται η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους, εφήμερα ρεύματα της Μεσογείου και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, δύναται δε να εξαιρεί πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης.

1.4. Νομοθετικό πλαίσιο

Η εργασία είναι συμβατή και γίνεται στο πλαίσιο των απαιτήσεων για αντιμετώπιση των φυσικών κινδύνων που προκύπτουν από το υφιστάμενο νομοθετικό πλαίσιο:

(α) σε εθνικό επίπεδο και ιδιαιτέρως στο πλαίσιο του Νόμου 3013/2002 περί Πολιτικής Προστασίας και λοιπών διατάξεων και του Νόμου 3199/2003 περί Προστασίας και διαχείρισης των υδάτων – Εναρμόνιση με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ και στο πλαίσιο της Κοινής Υπουργικής Απόφασης 31822/1542/Ε103 (ΦΕΚ 1108/Β/21-07-2010), η οποία ενσωματώνει την Οδηγία 2007/60/ΕΚ στο εθνικό δίκαιο.

(β) σε Ευρωπαϊκό επίπεδο και ιδιαιτέρως την Οδηγία 2000/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2000 για τη διαχείριση των υδάτων και την Οδηγία 2007/60/ΕΚ Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου

της 23ης Οκτωβρίου 2007 για την Αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.

1.5. Το πλημμυρικό πρόβλημα στον Ελληνικό χώρο

Οι πλημμύρες θεωρούνται από τους πλέον συχνούς και καταστρεπτικούς τύπους φυσικών καταστροφών σε παγκόσμιο επίπεδο. Η έκθεση της ανθρώπινης ζωής και περιουσίας σε κίνδυνο, η καταστροφή έργων υποδομής, γεωργικών και κτηνοτροφικών εγκαταστάσεων, η έντονη διάβρωση εδαφών και η μόλυνση υδατικών μαζών είναι μερικές από τις πιο σημαντικές επιπτώσεις τους.

Κατά τους Downton και Pielke (2001) και τους Golian et al (2010) οι πλημμύρες επηρεάζουν το μεγαλύτερο αριθμό ανθρώπων και επιφέρουν τις περισσότερες ζημιές από όλες τις φυσικές καταστροφές σε ετήσια βάση. Κατά τον Pilon (2004) τα πλημμυρικά φαινόμενα προκαλούν το ένα τρίτο των εκτιμώμενων ζημιών από φυσικές καταστροφές παγκοσμίως.

Σύμφωνα με ασφαλιστικούς οργανισμούς παγκοσμίου εμβέλειας όπως η Munich Re (2002) οι πλημμύρες καταγράφουν σημαντικά ποσοστά ανάμεσα στα άλλα είδη καταστροφών τόσο σε απόλυτο αριθμό συμβάντων, όσο και σε ότι αφορά τις οικονομικές απώλειες. Συγκεκριμένα οι πλημμύρες αντιστοιχούν στο 26% του αριθμού των μεγάλης κλίμακας καταστροφικών γεγονότων μεταξύ 1950-2002, στο 8% των θανάτων και στο 27% του οικονομικού κόστους που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές στην ίδια περίοδο (Munich Re 2002).

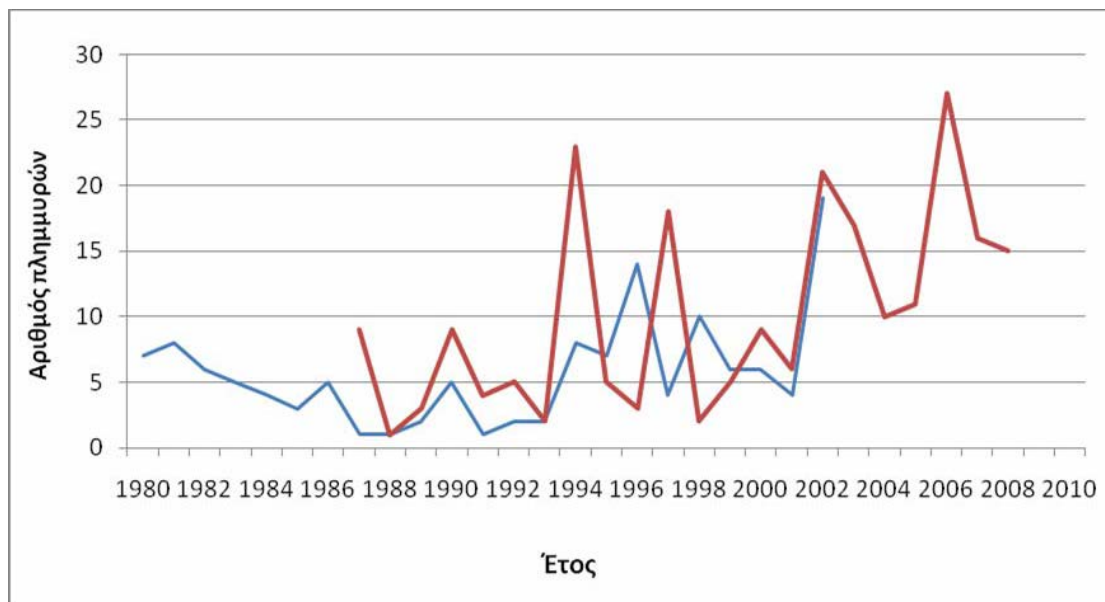
Τα τελευταία χρόνια η διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου εστιάζει σε προσεγγίσεις όπως η πρόγνωση πλημμυρών (flood forecasting), η έγκαιρη προειδοποίηση, ο σχεδιασμός των χρήσεων γης και η αποτύπωση της επικινδυνότητας σε χάρτες. Παράλληλα τα δομικά και μηχανικά μέτρα (φράγματα, κανάλια και άλλα) έχουν περιβληθεί από σκεπτικισμό λόγω των οικονομικών και περιβαλλοντικών τους μειονεκτημάτων (Golian et al 2010).

Οι πλημμύρες είναι μια από τις πιο σημαντικές κατηγορίες φυσικών καταστροφών και στον Ελληνικό χώρο, τόσο από οικονομικής πλευράς όσο και από πλευράς κόστους σε ανθρώπινες ζωές.

Σύμφωνα με τις Νικολαΐδου και Χατζηχρίστου (1995) τα θύματα στον Ελληνικό χώρο μεταξύ 1887-1994 ανήλθαν στα 216. Εκτός από τις ανθρώπινες ζωές οι πλημμύρες έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε περιουσίες (οικίες, καταστήματα, βιομηχανίες), στην γεωργία, στην κτηνοτροφία, στις υποδομές (τεχνικά έργα, οδικό δίκτυο) και στα δίκτυα κοινής ωφελείας. Σημαντικά είναι επίσης τα επακόλουθα στον τομέα του περιβάλλοντος αν και το εύρος των επιπτώσεων δεν έχει διερευνηθεί επαρκώς. Μια από τις τεχνικές ιδιαιτερότητες του Ελληνικού χώρου είναι η σημαντική έλλειψη ενόργανων δεδομένων κυρίως σε ότι αφορά στην συστηματική καταγραφή των απορροών των υδατορευμάτων.

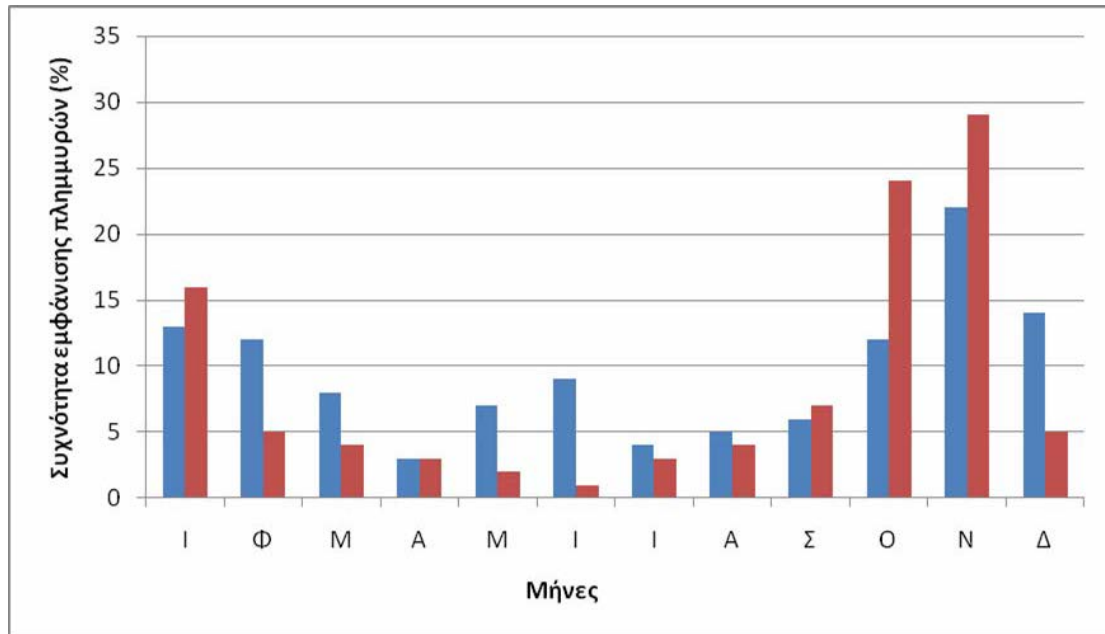
Κατά τον Stathis (2004) την περίοδο 1980-2002 114 από τις 150 πλημμύρες έλαβαν χώρα σε εφήμερα χειμαρρικά ρεύματα που διέρχονται από οικιστικές περιοχές, ενώ τα υπόλοιπα γεγονότα συνέβησαν σε πιο εκτεταμένα υδρογραφικά δίκτυα, όπως ο Σπερχειός, ο Έβρος ή ο Πηνειός.

Στο παρακάτω σχήμα (Εικ. 1) δίνεται η διακύμανση των πλημμυρικών συμβάντων της περιόδου 1980-2008 αν και μέχρι στιγμής δεν υπάρχει ενιαίος κατάλογος πλημμυρών στον Ελληνικό χώρο (Stathis 2004, Ματάκου 2009).



Εικ. 1. 1 Αριθμός πλημμυρών ανά έτος για την περίοδο 1980-2002 στην Ελλάδα (Στάθης 2004, μπλε γραμμή, Ματάκου 2009 - κόκκινη γραμμή).

Σε ότι αφορά την εποχικότητα, η μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών συμβάντων στον Ελληνικό χώρο παρουσιάζεται το μήνα Νοέμβριο (Εικ. 2).



Εικ. 1. 2 Ετήσια κατανομή της συχνότητας των πλημμυρών στην Ελλάδα για την περίοδο 1980-2002 (Στάθης 2004 - μπλε σειρά), και για την περίοδο 1987-2008 (Ματάκου 2009 - κόκκινη σειρά).

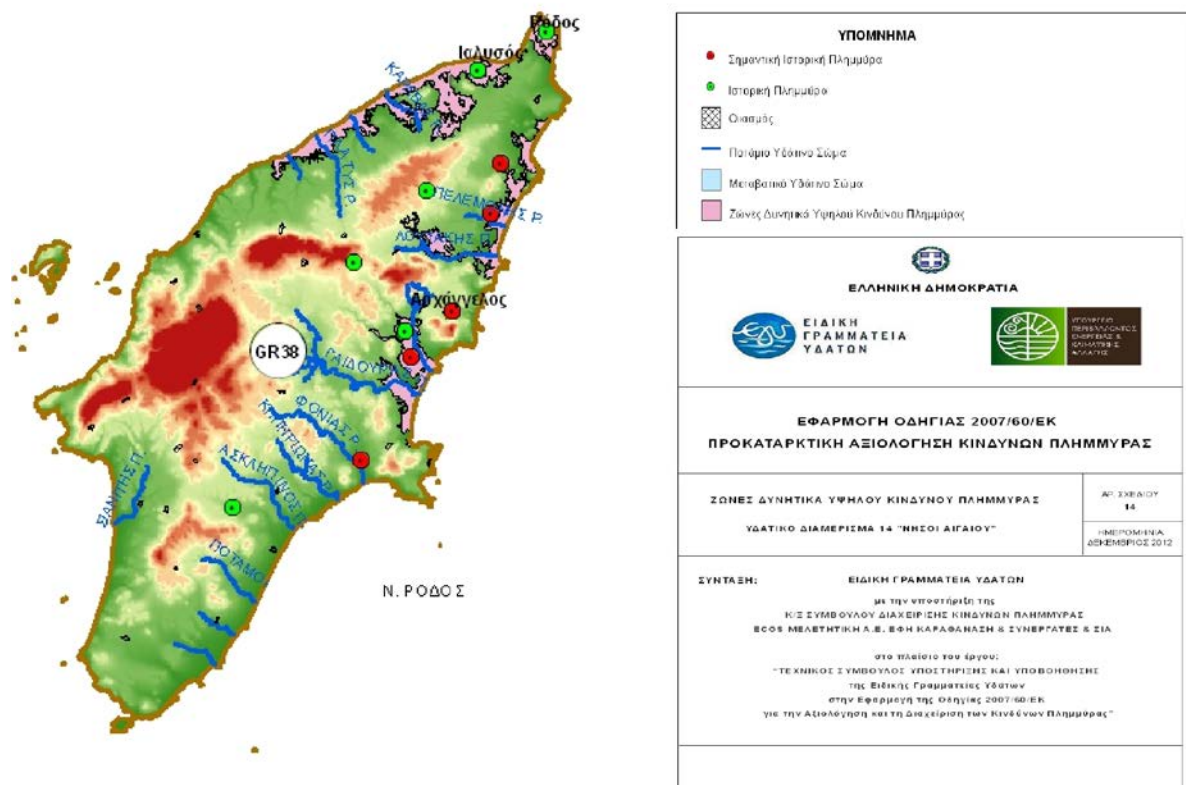
Ο Λέκκας (2000) επισημαίνει την αύξηση, κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών, των πλημμυρών στα όρια οικιστικών περιοχών. Κύρια αίτια της τάσης αυτής είναι κατά τον Λέκκα (2000) και τον Stathis (2004) ο περιορισμός της κοίτης των ρεμάτων, ο φραγμός των κοιτών, η μείωση των δασικών εκτάσεων λόγω των πυρκαγιών και η μείωση της κατείδυσης εντός του αστικού περιβάλλοντος. Ο Στάθης (2004) υποστηρίζει ότι υπάρχει σημαντική συμβολή του ανθρώπινου παράγοντα στην εκδήλωση πλημμυρών αλλά και στα αποτελέσματά τους.

Η διαθεσιμότητα ενόργανων στοιχείων για τις πλημμυρικές απορροές είναι σχετικά περιορισμένη στον Ελληνικό χώρο αλλά και γενικά στον Ευρωπαϊκό νότο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται υδραυλικές και υδρολογικές μέθοδοι για τον υπολογισμό των υδρολογικών παραμέτρων.

Συνεκτιμώντας, λοιπόν, τα ανωτέρω σε συνδυασμό με το πλούσιο ιστορικό πλημμυρών της περιοχής μελέτης (παρουσιάζεται στο Κεφ. 4) προκύπτει επιτακτική ανάγκη για εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου και ανάπτυξη δράσεων για τη μείωση του και το μετριασμό των επιπτώσεων (Λέκκας 2010).

1.6. Το πλημμυρικό πρόβλημα στη Ρόδο

Η Ρόδος είναι μια από τις περιοχές με τα περισσότερα πλημμυρικά φαινόμενα στην Περιφερειακή Ενότητα Δωδεκανήσου. Παλαιότερες μελέτες καταγράφουν τον αυξημένο κίνδυνο πλημμυρών κυρίως στο βόρειο τμήμα του νησιού, ενώ έχει καταγραφεί και ένας σημαντικός αριθμός πλημμυρικών φαινομένων και θανάτων από πλημμύρες (Λέκκας κ.α., 1995) (Εικ. 1. 3).



Εικ. 1. 3 Ζώνες δυνητικού κινδύνου για τη νήσο Ρόδο σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Κλιματικής αλλαγής (ΥΠΕΚΑ)

2. Επισκόπηση μεθοδολογιών

Τις τελευταίες δεκαετίες, τα φαινόμενα των φυσικών καταστροφών έχουν οδηγήσει τις κοινωνίες στη δημιουργία πολλών προσεγγίσεων για την εκτίμηση των φυσικών κινδύνων. Οι μεθοδολογίες αυτές προσπαθούν να μειώσουν τους κινδύνους από φυσικές καταστροφές.

Στον τομέα του πλημμυρικού κινδύνου έχουν αναπτυχθεί μια σειρά από διαφορετικές τεχνικές, οι οποίες εφαρμόζονται κάθε φορά με βάση τον τύπο των πλημμυρών (π.χ. αστικές, αιφνίδιες, ποτάμιες πλημμύρες), την διαθεσιμότητα δεδομένων και τις άλλες ιδιαιτερότητες ενός τόπου (Martini and Loat 2007, van Alphen et al. 2009).

Οι τεχνικές που υπάρχουν για την ανάλυση του πλημμυρικού κινδύνου εντάσσονται σε 6 κυρίως κατηγορίες ανάλογα με τη φύση των εργαλείων και τον τρόπο που προσεγγίζουν την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου (Διακάκης 2012) και είναι οι εξής:

1. **Μέθοδοι ανάλυσης γεωμορφολογικών – γεωλογικών παραμέτρων**, οι οποίες αναλύουν τις μορφομετρικές και γεωλογικές παραμέτρους μιας υδρολογικής λεκάνης για τον χωρικό και ποσοτικό προσδιορισμό του κινδύνου (Kochel and Baker 1988).
2. **Μέθοδοι ανάλυσης του πλημμυρικού ιστορικού**, οι οποίες αναλύουν τα διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα με σκοπό να εκτιμήσουν την συχνότητα των πλημμυρών, να συμπληρώσουν τα ενόργανα δεδομένα, και να εκτιμήσουν τη χωρική, χρονική και εποχική κατανομή των πλημμυρικών φαινομένων σε ένα τόπο (Benito et al. 2003).
3. **Μέθοδοι υδρολογικής ανάλυσης**, οι οποίες χρησιμοποιούν αλγόριθμους για την περιγραφή των υδρογεωλογικών διεργασιών που υπεισέρχονται στη διαδικασία μετατροπής των κατακρημνισμάτων σε απορροή (Clark 1945).
4. **Μέθοδοι υδραυλικής μοντελοποίησης**, οι οποίες χρησιμοποιούν μαθηματικές εξισώσεις που περιγράφουν την κίνηση των υδάτων, προσδιορίζοντας την χωρική τους εξάπλωση, και τις φυσικές ιδιότητες της ροής (Coreia et al. 1998).
5. **Μέθοδοι ανάλυσης δεικτών στη βλάστηση**, οι οποίες αναλύουν τη φυσιολογία και τα χαρακτηριστικά φυτών για τον προσδιορισμό της ηλικίας και των φυσικών χαρακτηριστικών παλαιότερων πλημμυρών (Sigafoos 1964).

6. Μέθοδοι ανάλυσης βροχομετρικών χαρακτηριστικών, οι οποίες αναλύουν τα χαρακτηριστικά των καταιγίδων σε αντιπαραβολή με τα χαρακτηριστικά μιας υδρολογικής λεκάνης, ενός υδρολογικού μοντέλου ή του πλημμυρικού ενός τόπου, ώστε να προσδιορισθούν οι υδρομετεωρολογικές συνθήκες, κατά τις οποίες ο κίνδυνος είναι αυξημένος (Golian et al. 2010).

Από αυτές, οι τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι οι 4 πρώτες, λόγω των δεδομένων που υπήρχαν και του χρονικού διαστήματος για την ολοκλήρωση της εργασίας. Επιπρόσθετα, πραγματοποιήθηκε συσχετισμός μεταξύ του πλημμυρικού κινδύνου με τις πυρκαγιές που έχουν καταγραφεί στο νησί από το 1984 έως σήμερα, με ποιοτική προσέγγιση (Κεφάλαιο 8), καθώς και ανάλυση της βροχόπτωσης του νησιού με την καμπύλη Weibull από το βροχομετρικό σταθμό της ΕΜΥ για το χρονικό διάστημα 1955-2010 (Παράρτημα).

3. Περιοχή μελέτης

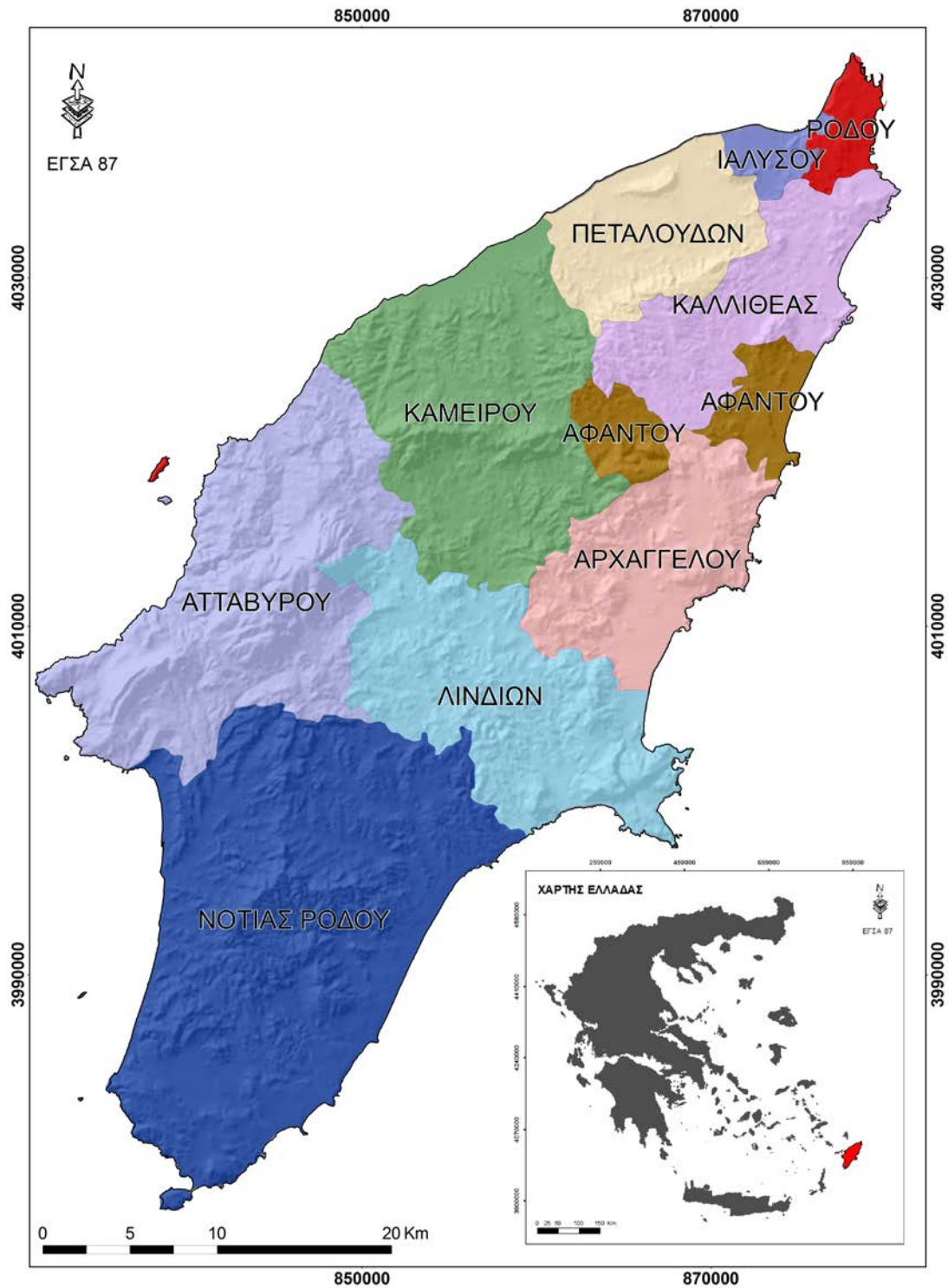
3.1. Γεωγραφικά, Διοικητικά & Δημογραφικά στοιχεία

Η Ρόδος βρίσκεται στο νοτιοανατολικό άκρο της Ελληνικής επικράτειας στην περιφέρεια του Νοτίου Αιγαίου και είναι το μεγαλύτερο νησί της Δωδεκανήσου. Η πρωτεύουσα του νησιού βρίσκεται στο βόρειο άκρο του. Ο Δήμος Ρόδου περιλαμβάνει τη Ρόδο και τις γειτονικές νησίδες και συγκροτήθηκε με το πρόγραμμα Καλλικράτης από τη συνένωση των δέκα (10) δήμων του νησιού (Ρόδου, Αρχαγγέλου, Αφάντου, Πεταλούδων, Αττάβυρου, Ιαλυσού, Καμείρου, Νότιας Ρόδου, Λινδίων και Καλλιθέας) (Εικ. 3.1).

Η έκταση του Δήμου είναι 1.408 km² ενώ ο πληθυσμός του ανέρχεται, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (ΕΛΣΤΑΤ 2011), σε 115.490 κατοίκους (Πίν. 3.1). Η μεγαλύτερη συγκέντρωση πληθυσμού καταγράφεται στο βόρειο τμήμα του νησιού, κυρίως στις Δημοτικές Ενότητες Ρόδου, Αρχαγγέλου και Πεταλούδων, ενώ η οικονομία του βασίζεται κατά κύριο λόγο στον τουρισμό, τα αγροτικά προϊόντα και τις υπηρεσίες.

Πίν. 3.1. Πληθυσμιακά στοιχεία του Δήμου Ρόδου (ΕΛΣΤΑΤ 2011)

Διοικητική περιφέρεια	Πληθυσμός
Δημοτική Ενότητα Ρόδου	50.636
Δημοτική Ενότητα Αρχαγγέλου	7.615
Δημοτική Ενότητα Αττάβυρου	2.433
Δημοτική Ενότητα Αφάντου	6.911
Δημοτική Ενότητα Ιαλυσού	11.331
Δημοτική Ενότητα Καλλιθέας	9.364
Δημοτική Ενότητα Καμείρου	4.720
Δημοτική Ενότητα Λινδίων	3.957
Δημοτική Ενότητα Νότιας Ρόδου	3.561
Δημοτική Ενότητα Πεταλούδων	14.962
Σύνολο Δήμου Ρόδου	115.490



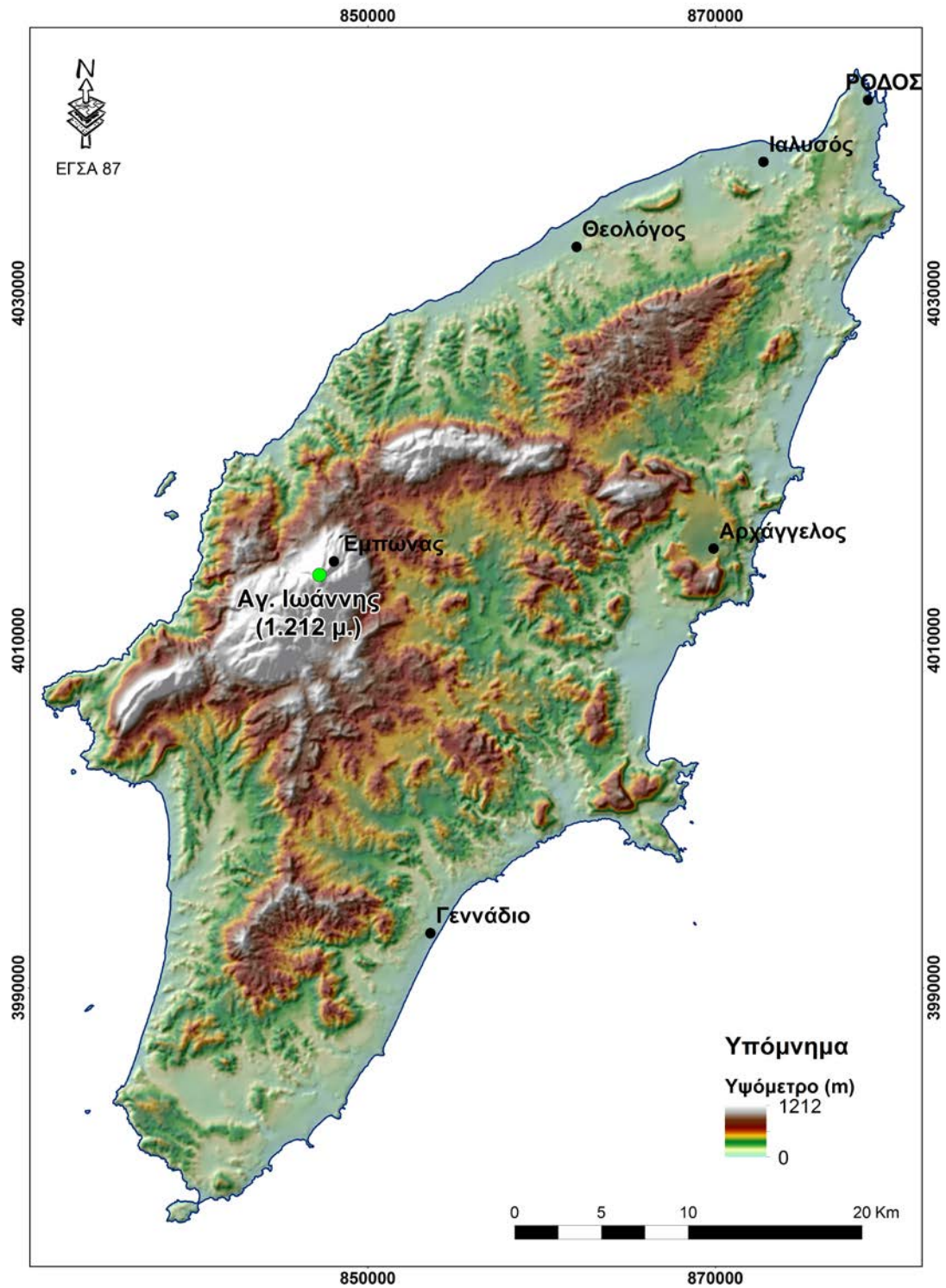
Εικ. 3. 1 Χάρτης του Δήμου Ρόδου και των επιμέρους δημοτικών ενοτήτων.

3.2. Γεωμορφολογία

Η διαμόρφωση του νησιού, το σχήμα του και γενικότερα η μορφολογία του οφείλεται κατά κύριο λόγο στη νεοτεκτονική δραστηριότητα, του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς και εκφράζεται από την παρουσία ρηξιγενών ζωνών, επιμέρους ρηγμάτων, καθώς και από τις κατακόρυφες κινήσεις ρηξιτεμαχών (blocks) (Angelier 1977, 1979, Pirazzoli et al. 1982, 1989). Σημαντικό επίσης ρόλο στη συνολική διαμόρφωση διαδραματίζει η διαφορική διάβρωση στους ποικίλους λιθολογικούς σχηματισμούς. Η Ρόδος παρουσιάζει μια ποικιλία μορφολογικών στοιχείων, με σημαντικούς ορεινούς όγκους και υψηλής κλίσης πρανή, καθώς και προσχωσιγενείς πεδινές εκτάσεις κυρίως στο ανατολικό τμήμα.

Η γενική διεύθυνση του επιμήκη άξονα που συνδέει τις κεντρικές κορυφογραμμές του νησιού είναι ΝΔ-ΒΑ και συμπίπτει περίπου με την διεύθυνση του κυρίου υδροκρίτη, χωρίζοντας το υδρογραφικό δίκτυο σε ανατολικό και δυτικό.

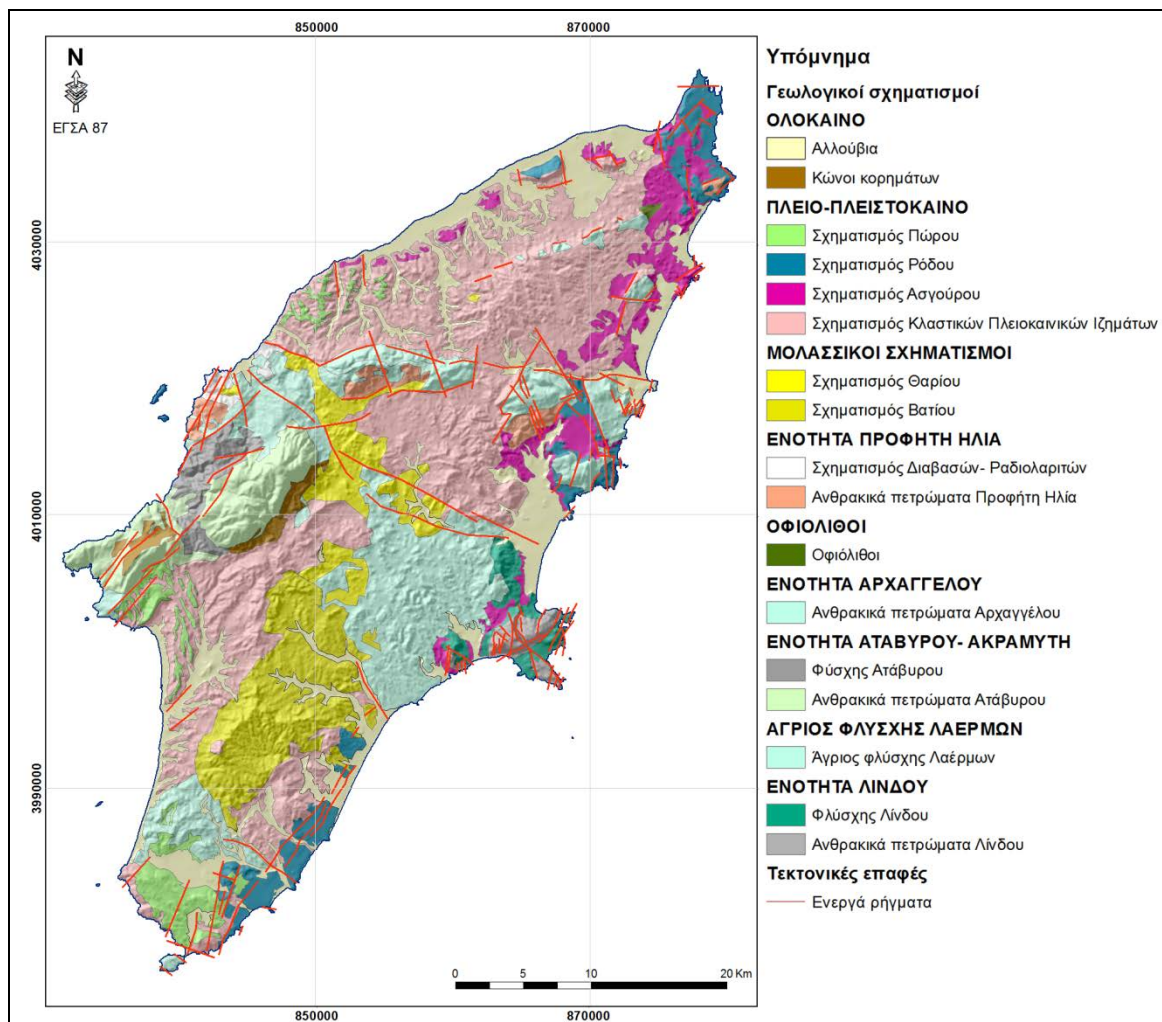
Ο μορφολογικός αυτός διαχωρισμός οδηγεί σε σημαντικές διαφορές στο καθεστώς των κατακρημνισμάτων, τη διαμόρφωση του υδρογραφικού δικτύου, τη βλάστηση και την ανάπτυξη ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Τα πεδινά τμήματα του νησιού αποτελούν περίπου το 1/4 της συνολικής έκτασης, με μεγαλύτερο την πεδιάδα της Απολλακιάς στο νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού. Η υψηλότερη κορυφή του νησιού είναι αυτή του Αγίου Ιωάννη (1.212m) στο όρος Αττάβυρος, στο δυτικό-κεντρικό τμήμα του νησιού (Εικ. 3.2).



Εικ. 3. 2 Χάρτης μορφολογικού αναγλύφου Ρόδου.

3.3. Γεωλογία

Η Ρόδος παρουσιάζει σημαντικό γεωλογικό ενδιαφέρον, αφού αποτελεί το ανατολικό όριο του νησιωτικού τόξου του Αιγαίου, και συνδέει τις Ελληνίδες με τις Ταυρίδες οροσειρές. Η γεωλογική δομή της Ρόδου είναι σύνθετη και αποτελείται κυρίως από Μεσοζωικούς και Τριτογενείς σχηματισμούς, πτυχωμένους και ρηγματωμένους κατά τη διάρκεια της Αλπικής ορογένεσης (Aubouin & Dercourt 1970, Meulenkamp et al. 1972), με Πλειο-πλειστοκαινικούς σχηματισμούς να επικάθονται σε αρχαιότερους σχηματισμούς (Meulenkamp et al. 1972, Jacobshagen 1979, Hanken et al. 1996) (Εικ. 3.3).



Εικ. 3. 3 Γεωλογικός χάρτης Ρόδου, βασισμένο στο Νεοτεκτονικό Χάρτη, φύλλο Ρόδος, κλίμακας 1:100.000 (ΟΑΣΠ 1998).

Με βάση τον Νεοτεκτονικό χάρτη της Ελλάδος (ΟΑΣΠ 1998) η γεωλογική δομή από τα ανώτερα προς τα κατώτερα στρώματα περιγράφεται ως ακολούθως:

α) Ανώτερη αυτόχθονη ενότητα. Η ενότητα αυτή πετρωμάτων αποτελείται από τους παρακάτω σχηματισμούς:

- Τεταρτογενές: (i) Αλλουβιακές προσχώσεις από αργίλους, άμμους και κροκαλοπαγή, (ii) Σχηματισμός σγουρός με εναλλαγές μαργών και κροκαλοπαγών, (iii) Πρασινογκρίζες πλειστοκαινικές μάργες. Βρίσκονται σε ασυμφωνία με τα Λεβαντίνια ιζήματα.
- Νεογενές: Λεβαντίνια ιζήματα (εναλλαγές λιμναίων αποθέσεων με ηπειρωτικές αποθέσεις. Βρίσκονται σε ασυμφωνία με τα ιζήματα του συστήματος Βατίου.
- Σύστημα Βατίου: (i) Ψαμμίτης Μεσαναγρού (ψαμμίτες, αργιλομάργες και κροκαλοπαγή), (ii) Σχηματισμός Θαρί (κροκαλοπαγές που μεταπίπτει σε σκοτεινοπράσινη αμμάργίλο προς τα ανώτερα στρώματα), (iii) Ρεύματα τέφρας και σποδού (πυροκλαστική απόθεση από ρυολιθικό μάγμα), (iv) Μάργες Αγ. Μηνά (Μάργες με ενδιαστρώσεις ψαμμιτών), (v) Κροκαλοπαγές Κοριάτι (κροκαλοπαγές με κροκάλες οφιολίθου, ασβεστολίθου και ραδιολαριτών).

β) Κατώτερη αυτόχθονη ενότητα. Η ενότητα αυτή πετρωμάτων αποτελείται από τους παρακάτω σχηματισμούς:

- Φλύσχης Κατταβιάς (Το σύστημα αυτό έχει μεγάλο πάχος 1500μ περικλείει μικροπανίδα από το Ηώκαινο μέχρι και το Κατώτερο Ολιγόκαινο.
- Σχηματισμοί Αττάβυρου: (i) Μαργαϊκός ασβεστόλιθος Ηωκαίνου, (ii) Ασβεστόλιθος Ακραμύτη (Κρητιδικό – Ηώκαινο), (iii) Πυριτικοί ασβεστόλιθοι Ατεμάρη (Τεφρός μαργαϊκός ασβεστόλιθος Ιουρασικού)

γ) Σειρά Πίνδου. Η ενότητα αυτή πετρωμάτων αποτελείται από τους παρακάτω σχηματισμούς:

- Ομάδα Προφήτη Ηλία: (i) λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι Μαλώνας (Τριαδικού Ιουρασικού), (ii) Πυριτικοί ασβεστόλιθοι Ελαφόκαμπου (Λιασίου)

δ) Σειρά Παρνασσού. Η ενότητα αυτή πετρωμάτων αποτελείται από τους παρακάτω σχηματισμούς:

- Φλύσχης Αρχιπόλεως (Παλαιοκαίνου – Ηώκαινου)
- Ασβεστόλιθος Σάλακα (Τριαδικό – Ηώκαινο)
- Ασβεστόλιθος Κουμούλι (Τριαδικό – Ηώκαινο)

ε) Σειρά Γαβρόβου – Τριπόλεως. Η ενότητα αυτή πετρωμάτων αποτελείται από τους παρακάτω σχηματισμούς:

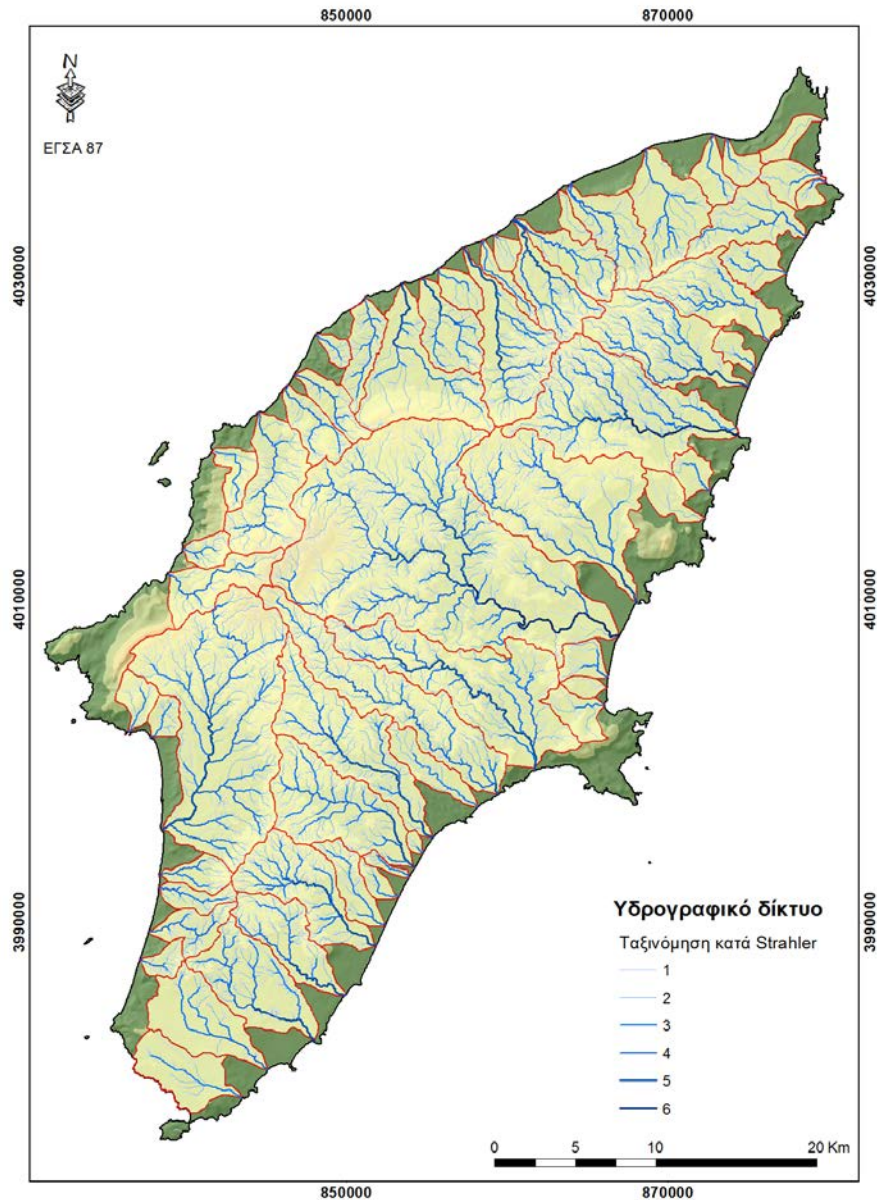
- Παχυστρωματώδεις ασβεστόλιθοι Λίνδου (Κρητιδικό)
- Διαβάσεις και ραδιολαρίτες Κοπριάς (Ιουρασικό-Κρητιδικό)

στ) Σειρά Οφιολίθων

Η σύνθετη και περίπλοκη λιθολογία της Ρόδου που οφείλεται κυρίως στο πλήθος των γεωλογικών σχηματισμών που εμφανίζονται στη Ρόδο, αλλά και στην τεκτονική της διάρθρωση με πτυχωσιγενείς ορογενετικές κινήσεις, έντονες τεκτονικές διαρρήξεις και επωθήσεις τριών αλλόχθονων ζωνών, δημιουργεί μεγάλες διαφοροποιήσεις, από θέση σε θέση, σε ότι αφορά τα υδρολιθολογικά χαρακτηριστικά των σχηματισμών, ακόμα και μέσα στον ίδιο γεωλογικό σχηματισμό. Έτσι, κάνουν δύσκολο το έργο της κατάταξης των σχηματισμών σε κατηγορίες όσον αφορά την υδροπερατότητα τους και τη δημιουργία εκτεταμένης υπόγειας υδροφορίας (Δικάρου 2010).

3.4. Υδρογραφικό δίκτυο

Το υδρογραφικό δίκτυο της Ρόδου παρουσιάζει κατά κανόνα δενδριτική μορφή (**Εικ 3.4**), με εξαίρεση την ακτινωτή του διαμόρφωση γύρω από τον ορεινό όγκο του Αττάβυρου. Οι υδρολογικές λεκάνες μπορούν να χωρισθούν σε αυτές που απορρέουν στο ανατολικό και σε αυτές που απορρέουν στο δυτικό τμήμα του νησιού, εκατέρωθεν του ορεινού άξονα με διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ. Οι τοπικοί χείμαρροι παρουσιάζουν εποχιακή ροή με υδρολογικές λεκάνες με πρηνή υψηλής κλίσης, στα υψηλότερα υψόμετρα.



Εικ. 3. 4 Χάρτης υδρογραφικού του δικτύου Ρόδου με ταξινόμηση κατά Strahler.

Στο ανατολικό τμήμα του νησιού όπου αναπτύσσονται οι μεγαλύτερες πεδινές εκτάσεις και οι ανθρώπινες δραστηριότητες, διαμορφώνονται και μεγαλύτερες υδρολογικές λεκάνες του νησιού. Σε αυτό το τμήμα παρουσιάζεται η μεγαλύτερη κατά μήκος ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου, το οποίο είναι δενδριτικής μορφής.

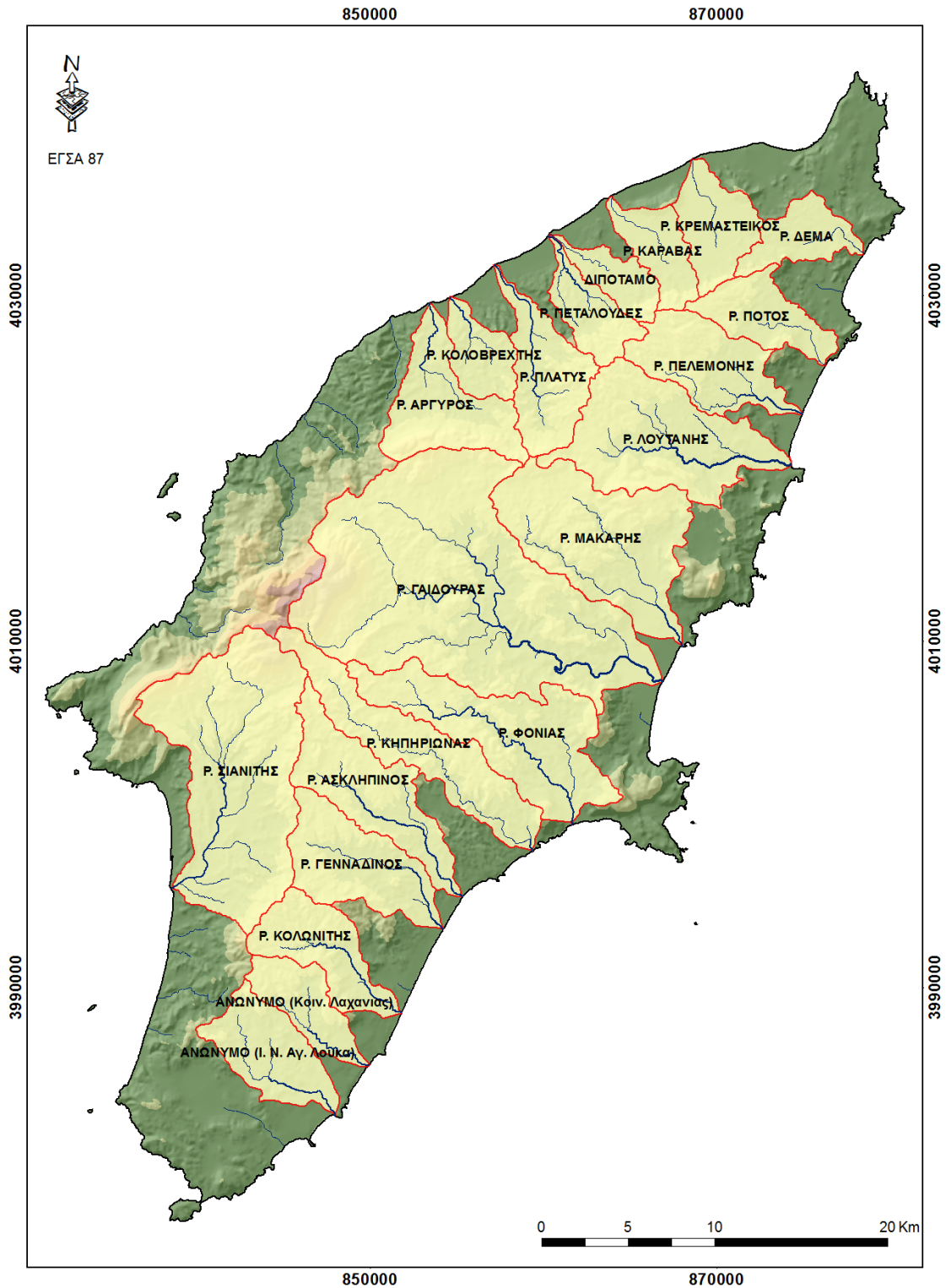
Η μορφή του υδρογραφικού δικτύου σχετίζεται άμεσα και με τη λιθολογία της λεκάνης απορροής. Έτσι στους μαλακούς σχηματισμούς τα υδάτινα ρεύματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανάπτυξη και μεγαλύτερο μήκος, ενώ στα σκληρά πετρώματα σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι διευθύνσεις των ρηγμάτων και των διακλάσεων.

Οι επικρατέστερες διευθύνσεις των υδάτινων ρευμάτων είναι κυρίως από ΒΔ προς ΝΑ και από Δ προς Α. Οι κύριοι κλάδοι είναι σχεδόν κάθετοι προς τις ακτές για αρκετή απόσταση από τις εκβολές τους και προς το εσωτερικό.

Οι μορφολογικές κλίσεις δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένες σε όλη την έκταση της ανατολικής λεκάνης του νησιού. Η έντονη κατά βάθος διάβρωση αποτελεί το κυριότερο χαρακτηριστικό των υδάτινων ρευμάτων και δηλώνει την ταχύτατη κατακόρυφη κίνηση των τεκτονικών τεμαχίων του νησιού, κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν μέχρι και τους ιστορικούς χρόνους (Verikiou-Papaspiridakou et al. 2004).

Το μεγαλύτερο τμήμα της Ρόδου αποστραγγίζεται από 53 κύριες λεκάνες απορροής, με εμβαδόν που κυμαίνονται από 3 έως 190km² (Δικάρου 2010). Η μεγαλύτερη υδρολογική λεκάνη, αποστραγγίζεται από τον ποταμό Γαδουρά (**Εικ. 3.5**), κατά μήκος του οποίου σήμερα έχει κατασκευαστεί ένας ταμιευτήρας.

Η χειμαρρική ροή των κλάδων και οι αυξανόμενες ανάγκες σε νερό για άρδευση και ύδρευση, καθώς και τα έντονα φαινόμενα υφαλμύρισης, οδήγησαν στην κατασκευή υδάτινων ταμιευτηρίων (Βαρσάμου 2006) σε ευνοϊκές θέσεις στις περιοχές Απολλακιά και στη λεκάνη του ποταμού Γαδουρά.



Εικ. 3. 5 Χάρτης απλοποιημένου υδρογραφικού δικτύου Ρόδου με τις ονομασίες των μεγαλύτερων και πιο σημαντικών υδατορευμάτων.

3.5. Κλιματικές συνθήκες

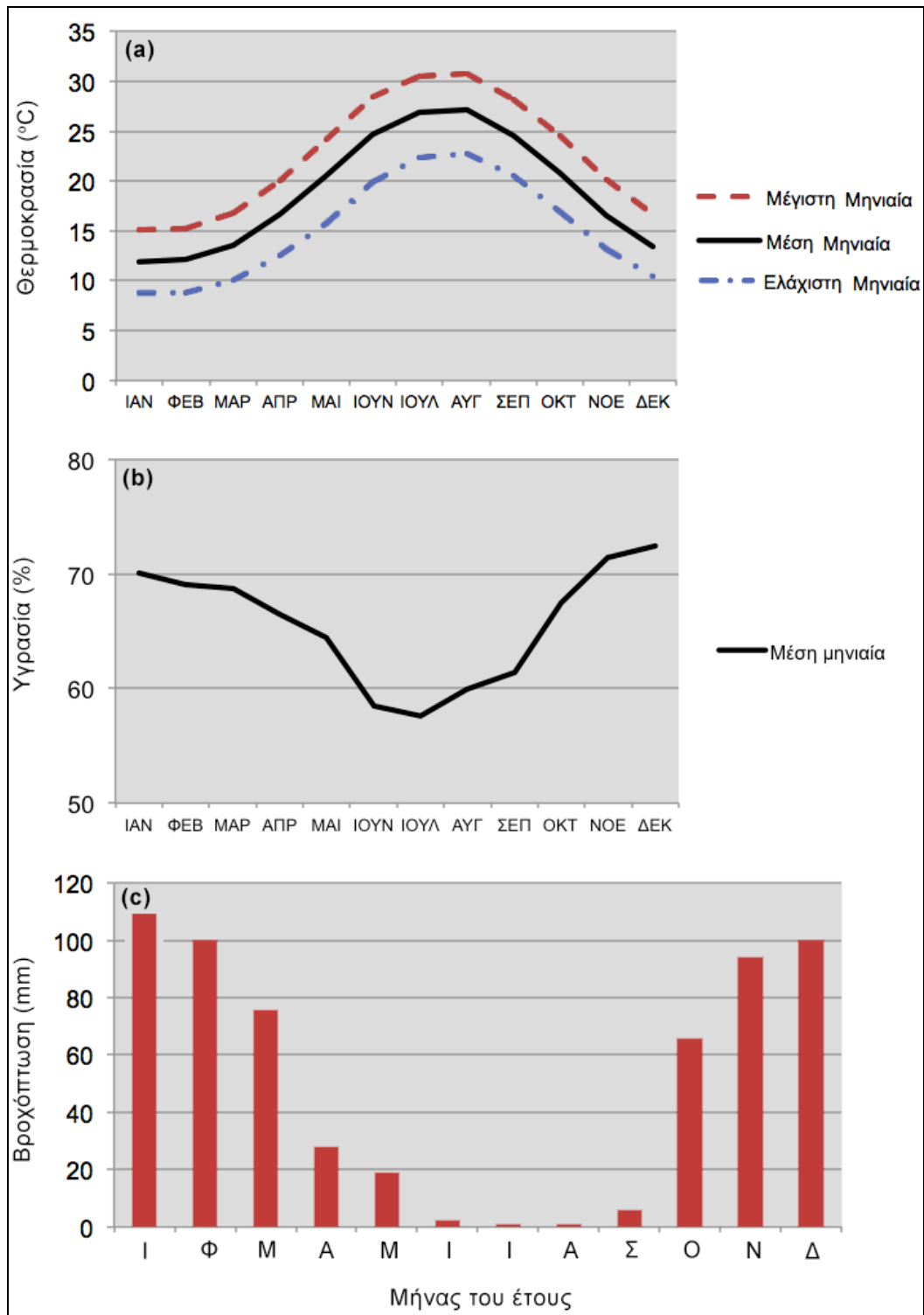
Το κλίμα της Ρόδου χαρακτηρίζεται ως εύκρατο μεσογειακό, με ήπιους και βροχερούς χειμώνες και ξηρά, όχι ιδιαίτερα ζεστά, καλοκαίρια. Η υγρή περίοδος διαρκεί από τον Οκτώβριο ως και το Μάιο. Στη διάρκεια της ξηρής περιόδου οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες. Οι χιονοπτώσεις είναι σπανιότατο φαινόμενο και εκδηλώνονται μόνο στις υψηλές τοπογραφικά ζώνες του όρους Αττάβυρος (μέγιστο υψόμετρο 1.215 m).

Το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κυμαίνεται περίπου από 400 έως 800mm, με το ορεινό και κεντρικό τμήμα του νησιού να παρουσιάζει τις μεγαλύτερες ενώ το νότιο τις μικρότερες. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στη ΒΔ περιοχή της νήσου είναι 842 mm/έτος, στην κεντρική περιοχή 645 mm/έτος και στη νότια 530 mm/έτος.

Οι ημέρες βροχής είναι κατά μέσο όρο 36 ημέρες/έτος. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 17,4 °C. Η μέγιστη μέση μηνιαία τιμή των 26,1 °C καταγράφεται τον Αύγουστο, ενώ η ελάχιστη των 9,7 °C το Φεβρουάριο.

Η διάρκεια ηλιοφάνειας είναι κατά μέσο όρο 3006 ώρες/έτος. Η μέση ετήσια σχετική υγρασία του αέρα είναι 65% με μικρές μόνο διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του έτους. Συνήθως επικρατούν χαμηλής έντασης άνεμοι (7-18 km/ώρα) (Φαντίδης 1997).

Από την καμπύλη Weibull που προέκυψε ύστερα από επεξεργασία των δεδομένων του βροχομετρικού σταθμού (Παράρτημα Β), προκύπτει από το γράφημα ότι αναμένεται μέγιστο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης 205 mm κάθε 52 χρόνια. Οπότε η περιοχή χαρακτηρίζεται γενικά από μεγάλο ύψος βροχόπτωσης.



Εικ. 3. 6 Σύνοψη των κλιματικών συνθηκών στη Ρόδο σε ότι αφορά την θερμοκρασία, την υγρασία της ατμόσφαιρας και την βροχόπτωση σε μηνιαία βάση, με βάση τις μετρήσεις του σταθμού της ΕΜΥ (Σταθμός Ρόδου) στο διάστημα 1955-1997.

3.6. Υποδομές

Η Ρόδος, λόγω της ιδιαίτερης ανάπτυξης του νησιού, διατηρεί σημαντικές υποδομές κυρίως στις πεδινά και παραλιακά τμήματα του, όπως πυκνό οδικό δίκτυο, εκτεταμένες κατοικημένες περιοχές, ταμιευτήρες, αεροδρόμια και άλλα.

Μεταξύ των σπουδαιότερων υποδομών είναι ο ταμιευτήρας της Απολακκιάς, (τεχνητή λίμνη χωρητικότητας 8 εκατ. κυβ. μέτρων μόνιμα κατακλυζόμενη με λεκάνη κατάκλυσης 1.000 στρεμμάτων) και ο ταμιευτήρας του Γαδουρά (υδάτινος ταμιευτήρας με 60 εκ. μ³ ωφέλιμης χωρητικότητας) (Εικ. 3.7).

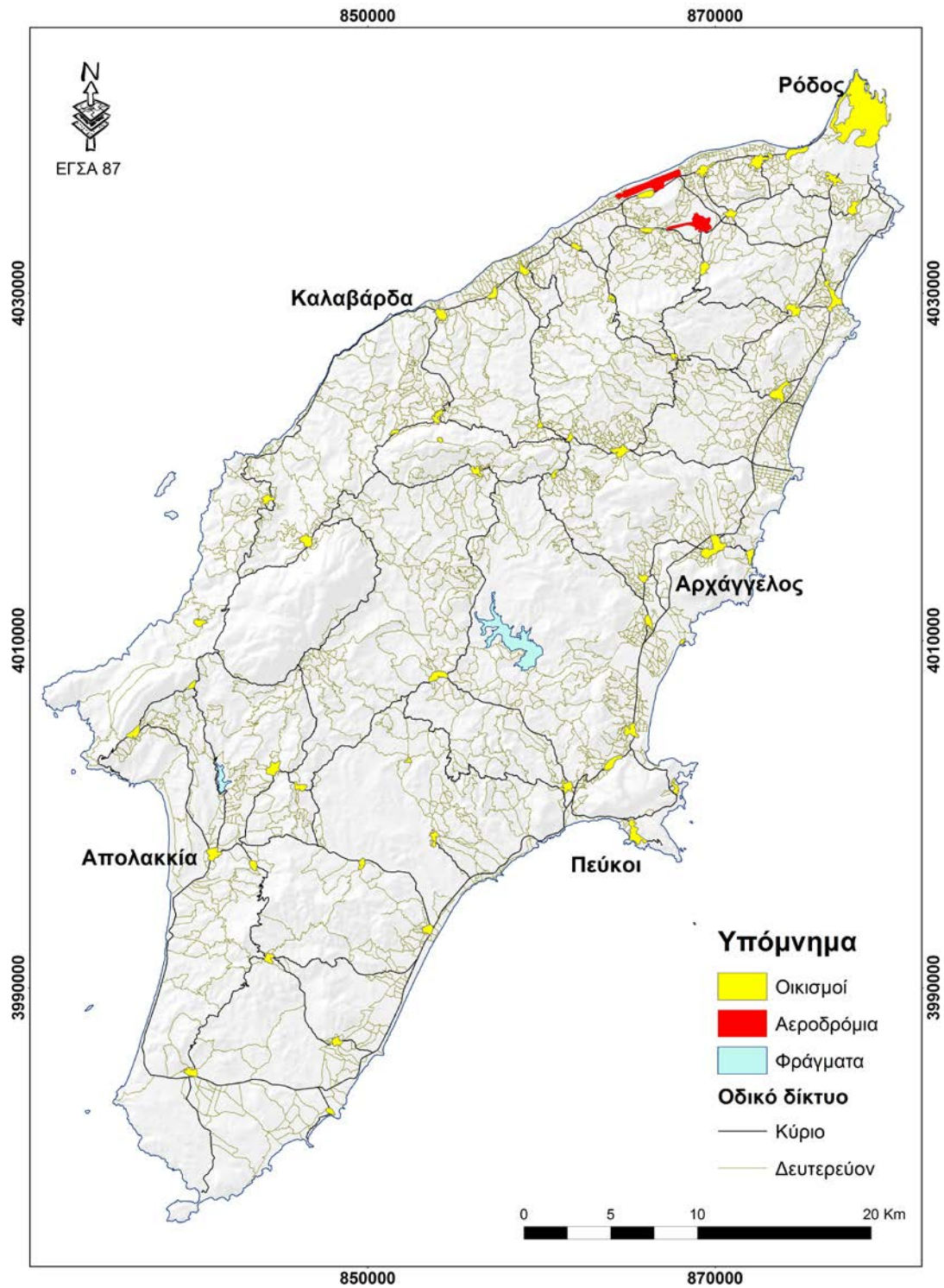


Εικ. 3. 7 Ο ταμιευτήρας της Απολακκιάς (αριστερά) και του Γαδουρά (δεξιά).

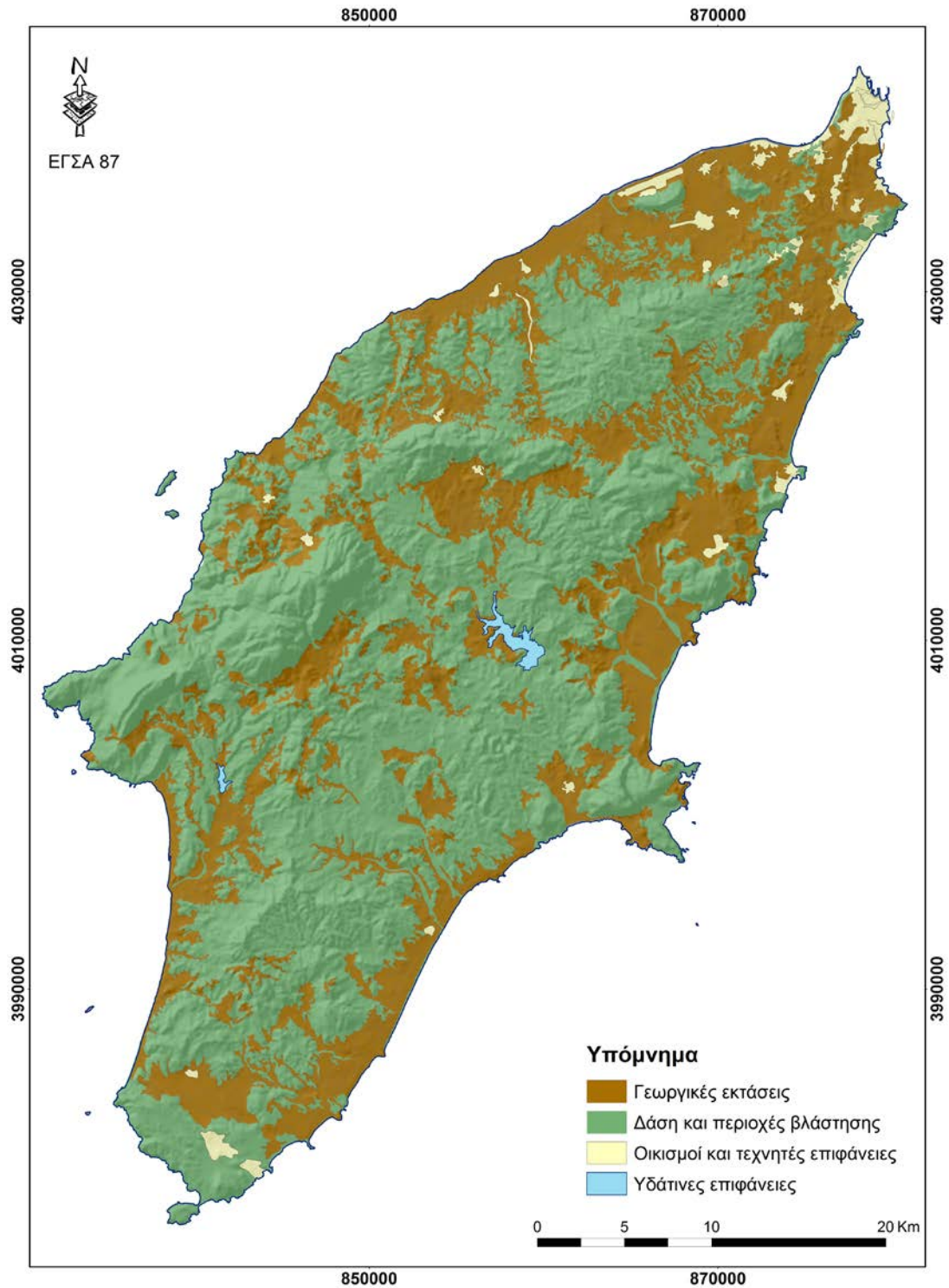
Οι κυριότερες υποδομές και οι θέσεις τους παρουσιάζονται στο χάρτη της Εικόνας 3.8.

3.7. Χρήσεις γης

Από άποψη χρήσεων γης στο κεντρικό και το δυτικό τμήμα της Ρόδου κυριαρχούν ορεινές περιοχές με εκτεταμένες εκτάσεις φυσικής βλάστησης (Εικ. 3.9). Αντιθέτως, στο βόρειο και ανατολικό τμήμα του νησιού κυριαρχούν γεωργικές εκτάσεις, ενώ στο παραλιακό είναι εγκατεστημένες και οι περισσότερες κατοικημένες περιοχές και φιλοξενούνται οι κυριότερες τουριστικές δραστηριότητες.



Εικ. 3.8 Χάρτης των κύριων υποδομών της Ρόδου.

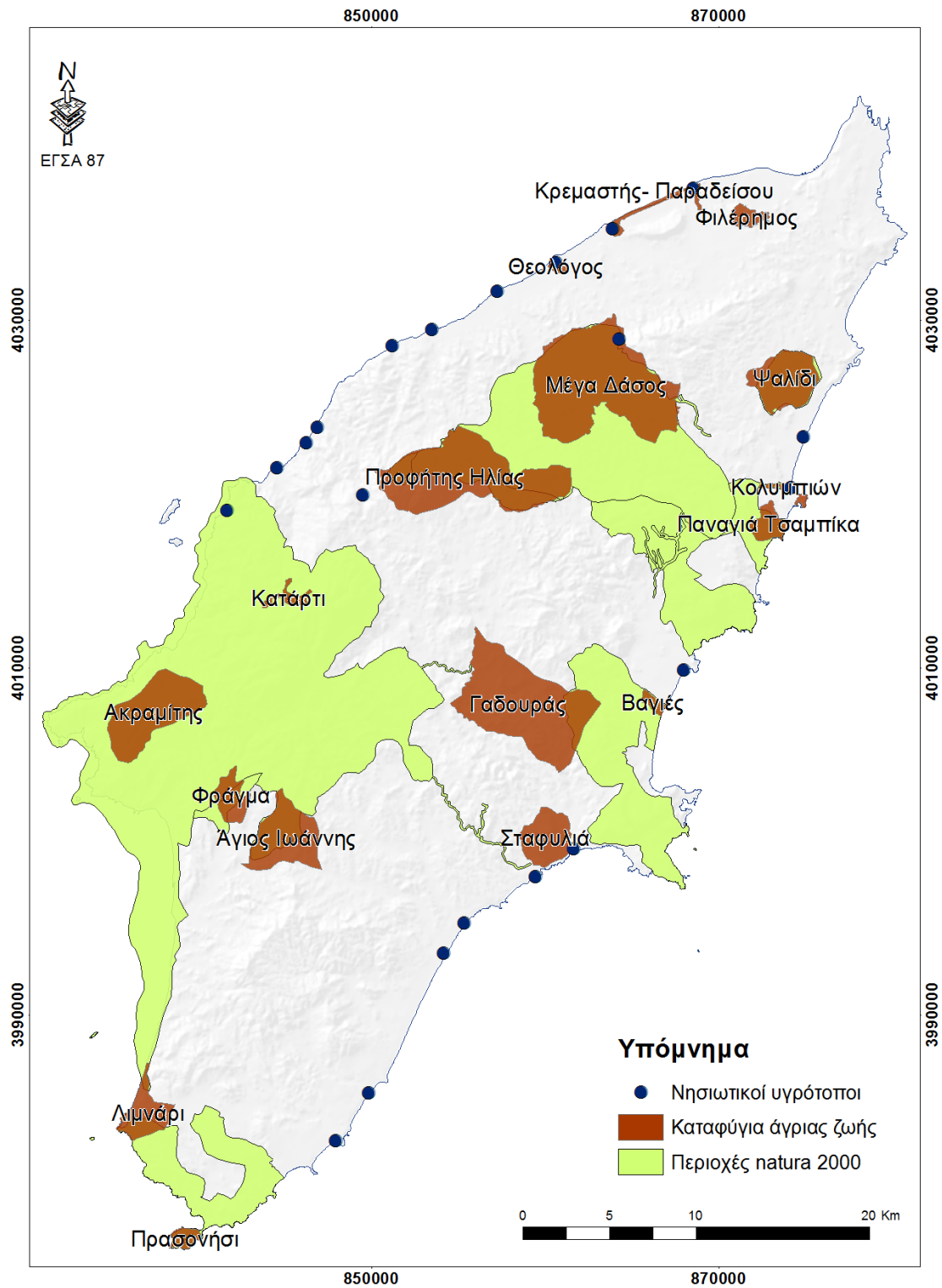


Εικ. 3. 9 Απλοποιημένος χάρτης χρήσεων γης της Ρόδου (CORINE 2000).

3.8. Περιοχές ιδιαίτερου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος

Το φυσικό περιβάλλον της Ρόδου είναι ιδιαίτερης αισθητικής αξίας με σημαντικά οικοσυστήματα και βιοτόπους (Κατσαδωράκης και Παραγκαμιάν 2007). Το δίκτυο «Natura 2000» εκτίνεται σε ποσοστό 17,5% της συνολικής έκτασης του νησιού (**Εικ. 3.10**), με περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλους και σημασίας όπως η Κοιλιάδα των Πεταλούδων και οι Επτά Πηγές, οι οποίες αναπτύσσονται στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Λουτάνη (Μυσίρης 2010). Επιπρόσθετα, ορισμένες περιοχές του νησιού παρουσιάζουν ιδιαίτερη σημασία σε οικολογικό επίπεδο όπως:

- i. το Πλημμύρι: περιοχή υγρότοπων και αμμόλοφων με υγρόφιλη βλάστηση, χώρος αναπαραγωγής της θαλάσσιας χελώνας *Caretta caretta*, και ζώνη αρχαιολογικής προστασίας (σύμφωνα με την Υ.Α. ΥΠΠΟ/ΑΡΧ/Α1/Φ22/10211/540).
- ii. ο Έμπωνας: προστατευόμενη δασική περιοχή, με βάση την Υ.Α. 105497/6459/1986.
- iii. το Πρασονήσι: ένα ολοκληρωμένο οικοσύστημα με αξιόλογα χερσαία και θαλάσσια χαρακτηριστικά, καθορισμένο ως καταφύγιο άγριας ζωής.
- iv. ο ταμειυτήρας της Απολλακιάς: περιοχή καθορισμένη ως καταφύγιο άγριας ζωής.
- v. η περιοχή του Αγίου Ιωάννη: περιοχή καθορισμένη ως καταφύγιο άγριας ζωής.
- vi. η περιοχή Άνω Γιαλού-Λιμναρίου-Καράβολα: περιοχή καθορισμένη ως καταφύγιο άγριας ζωής.
- vii. Οι υγρότοποι της εκβολής του Ποταμού Γαδουρά και του Έλους της Κατταβιάς (Κατσαδωράκης και Παραγκαμιάν 2007).



Εικ. 3. 10 Χάρτης περιοχών ιδιαίτερου περιβαλλοντικού ενδιαφέροντος της Ρόδου.

4. Ανάλυση πλημμυρικού ιστορικού

4.1. Ιστορικές πλημμύρες

Η Ρόδος καταγράφει ένα μεγάλο αριθμό καταστροφικών πλημμυρικών συμβάντων σε διάφορα τμήματα του νησιού τα οποία έχουν καταγραφεί με λεπτομέρεια σε ότι αφορά τις τοποθεσίες που υπέστησαν καταστροφές αλλά και τις επιπτώσεις σε υποδομές, περιουσίες και ανθρώπινα θύματα. Από την έρευνα σε διαφορετικές πηγές δεδομένων όπως τους καταλόγους των Diakakis et al. (2012) και ΕΓΥ (2012) αλλά και σε ιστορικές πηγές, βάσεις δεδομένων και αρχεία εφημερίδων καταγράφηκαν 15 ξεχωριστά πλημμυρικά γεγονότα διαφορετικών εντάσεων, σε ένα μεγάλο χρονικό φάσμα από το 316 π.Χ. μέχρι και το 2013. Στους παρακάτω πίνακες (Πίν. 4.1 και 4.2) παρουσιάζονται οι ημερομηνίες, οι θέσεις, ο αριθμός των θυμάτων, μια περίληψη των επιπτώσεων και τα τμήματα του υδρογραφικού δικτύου που πλημμύρισαν.

Πιν. 4.1. Κατάλογος πλημμυρικών γεγονότων που έχουν καταγραφεί στη Ρόδο

Ημερομηνία πλημμύρας	Θέσεις	Υδρογραφικό δίκτυο / Ρέμα	Αριθμός θυμάτων
316 π.Χ.	Πόλη της Ρόδου	Ρέμα Πόλης της Ρόδου	Δεκάδες
26-10-1913	Παραδείσι, Γεννάδι, Αφάντου, Κέραμος, Αρχάγγελος, Μαλώνα	Καραβάς, Γενναδινός, Πελεμόνης, Λουτάνης, Λιβάδιο, Μακάρης	0
06-11-1953	Κατταβιά, Άγιος Ισίδωρος, Λαχανιά, Παραδείσι, Σορωνή	Μπίλκι, Κηπηριώνας, Βουρουμή, Καραβάς, Κακορέμα	0
18-02-1954	Λάρδος, Λαχανιά, Αρχάγγελος, Μαλώνα	Φονιάς, Βουρουμή, Λιβάδιο, Μακάρης	0
03-10-1955	Πόλη της Ρόδου	Ρέμα Πόλης της Ρόδου	0
14-02-1956	Πόλη της Ρόδου	Ρέμα Πόλης της Ρόδου	0
08-11-1981	Δεν έχουν καταγραφεί	Δεν έχουν καταγραφεί	0
22-11-1989	Αρχάγγελος, Πλατάνια, Κοσκινού, Μάσαρη, Λάρδος, Μαλώνα	Λιβάδιο, Μακάρης, Σγουρού, Μακάρης, Φονιάς, Μακάρης	0
20-10-1994	Αρχάγγελος, Αφάντου, Μάσαρη Φαληράκι, Λάρδος	Λιβάδιο, Πελεμόνης, Μακάρης, Βαρκού, Φονιάς	4
08-02-1996	Ιαλυσός, Κρεμαστή, Θεολόγος	Ιαλυσού, Κρεμαστέικος, Διπόταμο	0
1998	Ιαλυσός, Βάτιο, Ψίνθος	Ιαλυσού, Γενναδινός, Πελεμόνης	0
18-10-2006	Πόλη της Ρόδου	Ρέμα Πόλης της Ρόδου	0
01-01-2008	Πόλη της Ρόδου	Ρέμα Πόλης της Ρόδου	0
28-01-2011	Λάρδος, Μάσαρη, Αρχάγγελος, Αφάντου, Καλυθιές	Φονιάς, Μακάρης, Λιβάδιο, Πελεμόνης, Πότος	0
21-11-2013	Ιαλυσός, Κρεμαστή, Αφάντου	Ιαλυσού, Κρεμαστέικος, Πελεμόνης	4
04-12-2013	Πυλώνα, Αφάντου, Καλυθιές	Πυλώνα, Πελεμόνης, Πότος	0

Πίν. 4.2. Κατάλογος πλημμυρικών γεγονότων που έχουν καταγραφεί στη Ρόδο και οι επιπτώσεις τους.

Ημερομηνία πλημμύρας	Σύνοψη Επιπτώσεων
316 π.Χ.	Καταστροφική πλημμύρα στις πρώτες ημέρες της Άνοιξης, στην πόλη της Ρόδου με εκτεταμένες καταστροφές στις κατασκευές και δεκάδες θύματα. Η πλημμύρα προήλθε από ισχυρή καταιγίδα που συνοδεύτηκε από χαλάζι μεγάλου μεγέθους (Πηγή: Διόδωρος XIX, 45).
26-10-1913	Μια ιδιαίτερα εκτεταμένη καταστροφή με πλημμυρικά φαινόμενα σε μεγάλο μέρος του νησιού και υπερχειλίση πολυάριθμων ρεμάτων. Ισχυρή βροχόπτωση έπληξε το νησί και συγκεκριμένα τα χωριά Γεννάδι και Παραδείσι (τότε Βιτανόβα) όπου προκλήθηκαν ζημιές στο γεωργικό πληθυσμό (ύψους χιλιάδων λιρών). Στο χωριό Αφάντου κατέρρευσαν οικίες, ξεριζώθηκαν περίπου 600 ελαιόδεντρα και παρασύρθηκαν κηπευτικά. Γεωργικές εκτάσεις στη θέση Κέραμος καταστράφηκαν από το χείμαρρο Λουτάνη του οποίου στις εκβολές σχηματίστηκε πρόσχωση από τα παρασυρθέντα δέντρα, τα θραύσματα βλάστησης και το εδαφικό υλικό σε μήκος 70 μέτρων. Στον Αρχάγγελο κατέρρευσαν 4 οικίες και πλημμύρισε το χωριό σε όλη σχεδόν την έκτασή του. Ανθρώπινα θύματα δεν καταγράφηκαν. Η πλημμύρα έπληξε και την Μαλώνα όπου πλημμύρισαν δύο χείμαρροι που γεινιάζουν με το χωριό (κατά τον δημοσιογράφο της εποχής Γ. Κοκκίδη). Ο πρώτος χείμαρρος («Χας») παρέσυρε την ξύλινη γέφυρα και τις καλλιέργειες που βρίσκονταν εκατέρωθεν του. Από την άλλη πλευρά του χωριού ο χείμαρρος Μαλωνίτης πλημμύρισε το ίδιο το χωριό. Ο κατερχόμενος από τα Πλατάνια χείμαρρος υπερχειλίσε και αυτός το χωριό Μαλώνα δημιουργώντας ανυπολόγιστες ζημιές. (Πηγή: Ροδιακή 2011). Εκτιμώμενο Κόστος: Χιλιάδες Λίρες
06-11-1953	Από το βράδυ της 5 ^{ης} , καταρρακτώδεις βροχές συνοδευόμενες από κεραυνούς έπληξαν το νησί σχεδόν στο σύνολό του αλλά κυρίως στο νότο. Το αποτέλεσμα ήταν να δημιουργηθούν πλημμυρικά φαινόμενα στις περιοχές Αγίου Νικολάου και Αγίου Ιωάννου τα οποία δημιούργησαν κάποιες καταστροφές. Επίσης επλήγησαν ελαιώνες στις κοινότητες Κατταβιάς, Αγίου Ισίδωρου, Λαχανιάς, Παραδεισίου και Σορωνής. Λόγω των πλημμυρών η συγκοινωνία του νησιού διεκόπη σε ορισμένα σημεία επί 3 ώρες.
18-02-1954	Θύελλα συνοδευόμενη από καταιγίδα και κεραυνούς έπληξε τη Ρόδο και προκάλεσε ζημιές κυρίως σε αγροτικές εκτάσεις στην περιοχή της Λάρδου και της Λαχανιάς. Επίσης έπληξε την περιοχή του Αρχαγγέλου και της Μαλώνας όπου υπέστησαν εκτεταμένες ζημιές τα εσπεριδοειδή. Στο συγκεκριμένο συμβάν οι περισσότερες ζημιές συνέβησαν από τον ισχυρό άνεμο και την έντονη βροχή παρά από την υπερχειλίση ρεμάτων.
03-10-1955	Ισχυρές καταιγίδες συνοδευόμενες από ισχυρούς βόρειους ανέμους προκάλεσαν πλημμυρικά φαινόμενα και ζημιές στη Ρόδο. Παρότι το συμβάν αυτό είναι τεκμηριωμένο δεν υπάρχουν λεπτομέρειες πληροφορίες για τις τοποθεσίες που υπέστησαν ζημιές.
14-02-1956	Ραγδαίες βροχές προκάλεσαν πλημμύρες στις οδούς της πόλης της Ρόδου και την μερική κατάρρευση ενός κτιρίου. Οι πλημμύρες σε συνδυασμό με τους ισχυρούς ανέμους προκάλεσαν ορισμένες ζημιές σε αγροτικές εκτάσεις.
08-11-1981	Πλημμυρικά φαινόμενα που οδήγησαν σε ζημιές σε οικίες και καταστήματα.
22-11-1989	Ραγδαία βροχόπτωση προκάλεσε εκτεταμένη πλημμύρα σε αρκετά σημεία του νησιού, κυρίως στον Αρχάγγελο, τα Πλατάνια, την Κοσκινού, το Μάσαρη, τη Λάρδο και τη Μαλώνα. Λόγω της πλημμύρας καταστράφηκε ο δρόμος Ρόδου – Λίνδου και η ζημιά στο οδικό δίκτυο εκτιμήθηκε περί τα 200 εκατομμύρια δρχ. Στο χωριό Αρχάγγελος πλημμύρισε το 60% των σπιτιών. Εκτιμώμενο Κόστος: Οι συνολική ζημιά εκτιμήθηκε σε εκατοντάδες εκατομμύρια δραχμές.
20-10-1994	Βροχόπτωση υψηλής έντασης οδήγησε σε εκτεταμένα πλημμυρικά φαινόμενα σε πολλά τμήματα του νησιού αλλά κυρίως στα χωριά Αρχάγγελος, Αφάντου, Μάσαρη και Φαληράκι και Λάρδος. Κατά τη διάρκεια της πλημμύρας καταστράφηκε τμήμα Ρόδου-Λίνδου και πολλές καλλιέργειες. Οι ζημιές εκτιμήθηκαν σε εκατοντάδες εκατομμύρια δραχμές. Τα πλημμυρικά φαινόμενα οδήγησαν σε 4 θανάτους. Τα θύματα επέβαιναν σε αυτοκίνητο στο δρόμο Ρόδου Λίνδου όταν το αυτοκίνητό τους παρασύρθηκε από τα πλημμυρικά ύδατα στην περιοχή του Χαρακίου. Εκτιμώμενο Κόστος: Οι συνολική ζημιά εκτιμήθηκε σε εκατοντάδες εκατ. δραχμές.

«ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗ ΝΗΣΟ ΡΟΔΟ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS»
ΚΡΟΥΣΤΑΛΛΗ ΜΑΡΙΑ - ΧΡΙΣΤΙΝΑ

Πιν. 4.2. (συνέχεια) Κατάλογος πλημμυρικών γεγονότων που έχουν καταγραφεί στη Ρόδο και οι επιπτώσεις τους.

Ημερομηνία πλημμύρας	Σύνοψη Επιπτώσεων
08-02-1996	Πλημμυρικά φαινόμενα μικρής έκτασης προκλήθηκαν από καταιγίδα στην περιοχή της Ιαλυσού, της Κρεμαστής, του Θολού. Στην Ιαλυσό 40 σπίτια, καταστήματα και αποθήκες πλημμύρισαν με αποτέλεσμα να προκληθούν υλικές ζημιές. Σε πολλά σημεία οι επαρχιακές οδοί έκλεισαν από τα πλημμυρικά ύδατα και από πτώσεις δέντρων.
1998	Οι πλημμύρες έπληξαν περιοχές της Ρόδου και συγκεκριμένα το τότε δημοτικό διαμέρισμα της Ιαλυσού του τότε Δήμου Ιαλυσού, το δημοτικό διαμέρισμα Βατίου του τότε Δήμου Νότιας Ρόδου και το δημοτικό διαμέρισμα Ψίνθου του τότε Δήμου Καλλιθέας. Κατά τη διάρκεια των πλημμυρών κατεστράφησαν εξ' ολοκλήρου τουλάχιστον 5 οικίες στην Ιαλυσό, 1 οικία στην Ψίνθο και 14 στο Βάτι (συμπεριλαμβανομένου του πολιτιστικού συλλόγου). Εκτιμώμενο Κόστος: Το κόστος των αποζημιώσεων για την αποκατάσταση των ζημιών ξεπέρασε τα 85 εκατομμύρια δρχ.
18-10-2006	Ισχυρή καταιγίδα και μικρής έκτασης πλημμυρικά φαινόμενα στην πόλη της Ρόδου
01-01-2008	Ισχυρή καταιγίδα και χαλάζι προκάλεσαν μικρής έκτασης πλημμυρικά φαινόμενα και καταστροφές σε σπίτια, καταστήματα και καλλιέργειες κυρίως κοντά στην πόλη της Ρόδου. Η Πυροσβεστική Υπηρεσία Ρόδου δέχτηκε 150 κλήσεις για να άντληση υδάτων από υπόγεια και απεγκλωβισμούς (10) από αυτοκίνητα και κτίρια. Παράλληλα προκλήθηκε διακοπή του ρεύματος σε διάφορα σημεία της πόλης.
28-01-2011	Εκτεταμένη πλημμύρα στην περιοχή του Αρχαγγέλου. Κατά τη διάρκεια του συμβάντος πλημμύρισαν σπίτια, καταστήματα, αποθήκες και άλλοι χώροι. Παρασύρθηκαν και καταστράφηκαν αυτοκίνητα και το οδόστρωμα. Επιπρόσθετα εκτεταμένες πλημμύρες και καταστροφές σημειώθηκαν στα χωριά Αφάντου, Λάρδος και Πυλώνα με πλημμύρες σπιτιών και καταστημάτων. Τα πλημμυρικά ύδατα έφεραν σημαντική ποσότητα φερτών εδαφικών υλικών και συνοδεύτηκαν από αυξημένη διάβρωση στα πρανή γύρω από το χωριό Αφάντου. Παράλληλα στην περιοχή της Καλάθου υπερχείλισε χείμαρρος ο οποίος απέκοψε την κυκλοφορία στο δρόμο Ρόδου-Λίνδου για περίπου 2 ώρες, δημιουργώντας καταστροφές. Μικρής έκτασης πλημμυρικά φαινόμενα στο Φαληράκι. Συνολικά 12 άνθρωποι διασώθηκαν από εγκλωβισμούς ή παρασυρόμενα οχήματα. Εντός του χωριού Αφάντου δημιουργήθηκαν προβλήματα με ζημιές στο δίκτυο υδάτων. Εκτιμώμενο Κόστος: Το κόστος του συγκεκριμένου πλημμυρικού συμβάντος εκτιμήθηκε στα 7.37 εκ. ευρώ. Αναλυτικά το κόστος υπολογίσθηκε στα 1.95 εκ. στη δημοτική ενότητα Αφάντου, 2.45 εκ. στην ενότητα Αρχαγγέλου (και Μαλώνας), 0.89 εκ. στην ενότητα Λινδίων, 1.17 εκ. στην ενότητα Καλλιθέας, 0.5 εκ στην ενότητα Πεταλούδων, 0.25 στην ενότητα Καμείρου και 0.16 εκ. στην ενότητα Νότιας Ρόδου.
21-11-2013	Εκτεταμένα πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή της βόρειας Ρόδου. Οι ζημιές κυρίως συγκεντρώθηκαν στην περιοχή της Ιαλυσού και της Κρεμαστής όπου υπερχείλισαν τα αντίστοιχα ρέματα. Κατά τη διάρκεια του συμβάντος έχασαν τη ζωή τους 4 άτομα σε δύο διαφορετικές περιπτώσεις όπου αυτοκίνητα παρασύρθηκαν από τα ύδατα των υπερχειλισμένων ρεμάτων. Και τα δύο περιστατικά συνέβησαν στην υδρολογική λεκάνη του ρέματος της Κρεμαστής. Μικρότερης έκτασης πλημμύρες σημειώθηκαν στο χωριό Αφάντου κυρίως κατά μήκος του δρόμου Ρόδου-Λίνδου. Αναλυτικά ο αριθμός των κτιρίων που υπέστησαν ζημιές είναι ο εξής: (α) ΔΚ Ιαλυσού: 365 κτίρια, (β) ΔΕ Πεταλούδων: 35 κτίρια, (γ) ΔΚ Αφάντου: 28 κτίρια, (δ) ΔΚ Καλυθιάς: 25 κτίρια, (ε) ΔΕ Λίνδου: 41 κτίρια (σε Λίνδο, Πυλώνα, Λάρδο και Κάλαθο), (στ) ΔΚ Ρόδου: 9 κτίρια, (ζ) ΔΚ Αρχαγγέλου: 1 κτίριο. Στο σύνολό του ο αριθμός των κτιρίων αθροίζεται σε 504.
04-12-2013	Μικρής έκτασης πλημμυρικά φαινόμενα στην περιοχή των χωριών Πυλώνα, Αφάντου και Καλυθιάς μετά από έντονη καταιγίδα, κυρίως κατά μήκος του δρόμου Ρόδου-Λίνδου. Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν ορισμένα πλημμυρισμένα κτίρια (κυρίως υπόγεια), ζημιές σε καλλιέργειες και σε αυτοκίνητα. Παράλληλα έκλεισαν ορισμένοι δρόμοι στην περιοχή.

4.2. Συχνότητα πλημμυρών ανά έτος

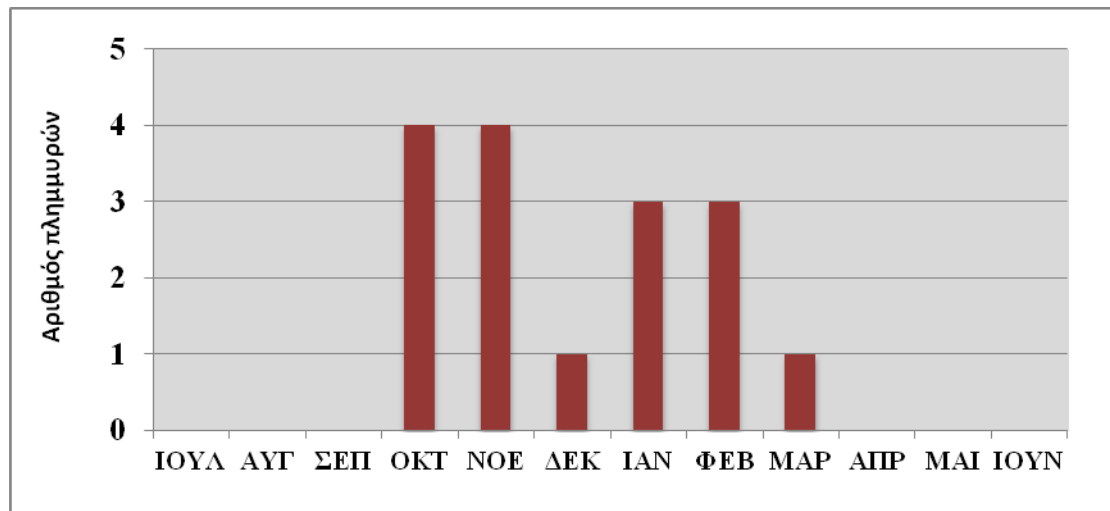
Με βάση τις καταγραφές αυτές προκύπτει ότι σε διάρκεια 33 ετών (από το 1981 και μετά, οπότε και κατάλογος των πλημμυρών θεωρείται πλήρης) έχουν συμβεί 10 σημαντικά πλημμυρικά γεγονότα. Με βάση τα παραπάνω η μέση συχνότητα εκδήλωσης πλημμυρών στη Ρόδο υπολογίζεται σε:

1 πλημμύρα ανά 3.3 έτη

Η συχνότητα αυτή θεωρείται ιδιαίτερα υψηλή, γεγονός που επιβεβαιώνεται και στη βιβλιογραφία από τους Stathis 2004, Diakakis et al. (2012), αφού προσεγγίζει αυτήν του λεκανοπεδίου της Αττικής που έχει την υψηλότερη στην επικράτεια.

4.3. Εποχικότητα πλημμυρών

Σε ότι αφορά στην εποχικότητα των πλημμυρών στην Ρόδο από τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι οι μήνες με τις περισσότερες πιθανότητες εκδήλωσης πλημμύρας είναι οι φθινοπωρινοί (Οκτώβριος – Νοέμβριος) και οι χειμερινοί (Δεκέμβριος - Ιανουάριος – Φεβρουάριος) (Diakakis 2014). Κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι οι πλημμύρες θεωρούνται λιγότερο συχνές σε όλο το νότο της Ελλάδας και κατ' επέκταση και στη Ρόδο. Η εποχικότητα των πλημμυρών που προκύπτει από τη βιβλιογραφία για την ευρύτερη περιοχή, επιβεβαιώνεται και από την κατανομή του περιορισμένου δείγματος των 17 πλημμυρών που έχουν καταγραφεί στο νησί (Εικ. 4.1), η οποία δείχνει ότι η υψηλότερη συχνότητα εμφανίζεται μεταξύ Οκτωβρίου και Φεβρουαρίου.



Εικ. 4. 1 Εκδήλωση πλημμυρών ανά μήνα στη Ρόδο

4.4. Χαρακτηριστικά των πλημμυρών

Από τη μελέτη του ιστορικού προκύπτει ότι οι πλημμύρες προκαλούνται από υψηλής έντασης - μικρής διάρκειας καταιγίδες που συνοδεύονται πολύ συχνά από χαλάζι και δυνατούς ανέμους. Με βάση τις καταγραφές και το οπτικό υλικό που είναι διαθέσιμο προκύπτει ότι οι πλημμύρες έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

(α) αιφνίδια άνοδος της στάθμης των υδάτων

Από το οπτικό υλικό (φωτογραφίες και βίντεο) που είναι διαθέσιμο, το μέγεθος των υδρολογικών λεκανών που πλήττονται και το είδος των καταιγίδων προκύπτει ότι οι πλημμύρες της Ρόδου χαρακτηρίζονται από ταχεία άνοδο της στάθμης των υδάτων, γεγονός που τους προσδίδει χαρακτήρα αιφνιδίων πλημμυρών (flash floods). Στην **Εικόνα 4.2**, παρουσιάζεται ένα παράδειγμα ταχείας ανόδου της στάθμης από την πλημμύρα της Ιαλυσού το Νοέμβριο του 2013.

(β) Υψηλές ταχύτητες ροής υδάτων κατά θέσεις

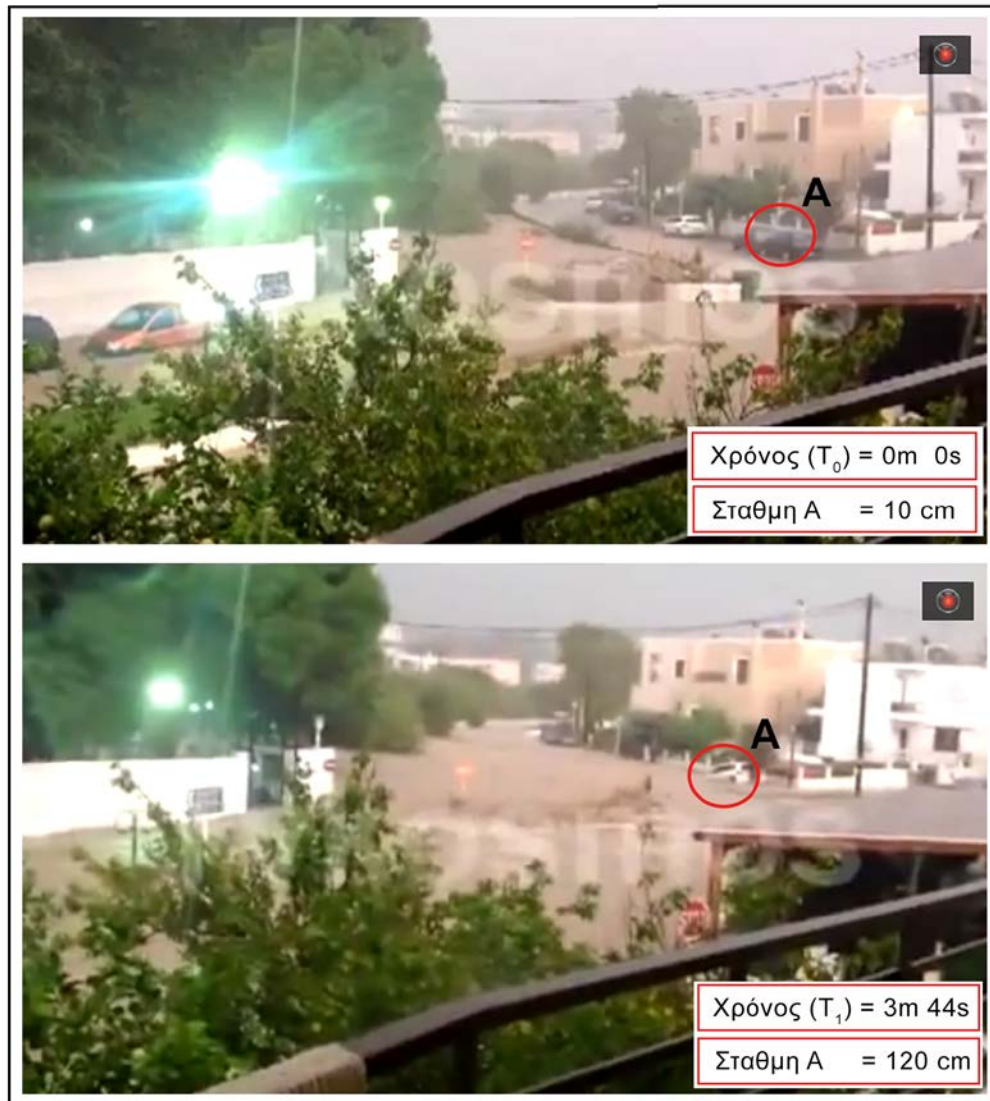
Από το οπτικό υλικό που είναι διαθέσιμο αλλά και τις επιπτώσεις των πλημμυρών σε κινητά αντικείμενα (κυρίως αυτοκίνητα), διαπιστώνεται κατά θέσεις εξαιρετικά υψηλή ταχύτητα στη ροή των υδάτων (**Εικ. 4.3**).

(γ) Υψηλή διαβρωτική ικανότητα

Κατά την έρευνα πεδίου διαπιστώθηκαν κατά θέσεις (παραπλεύρως των υπερχειλισμένων ρεμάτων) υποσκαφές του εδαφικού σχηματισμού (**Εικ. 4.4**) λόγω της υψηλής ταχύτητας των υδάτων, οι οποίες συνετέλεσαν σε περαιτέρω καταστροφές, όπως καταρρεύσεις τοιχίων και γεφυρών (**Εικ. 4.5**).

(δ) Υψηλή περιεκτικότητα σε φερτά υλικά

Από το οπτικό υλικό, τις περιγραφές και από τις επιπτώσεις των πλημμυρών όπως καταγράφηκαν από την έρευνα πεδίου, προκύπτει υψηλή περιεκτικότητα των πλημμυρικών υδάτων σε φερτά υλικά όπως εδαφικό υλικό (**Εικ. 4.6**) και θραύσματα βλάστησης (vegetation debris) (**Εικ. 4.7**). Τα φερτά υλικά σε πολλές περιπτώσεις ελαχιστοποίησαν την παροχευτική δυνατότητα των αγωγών ομβρίων.



Εικ. 4. 2 Άνοδος στάθμης υδάτων κατά 110 cm, κατά τη διάρκεια της πλημμύρας της Ιαλυσού την 22^α Νοεμβρίου 2013, σε χρονικό διάστημα 3 λεπτών και 44 δευτερολέπτων. Οι φωτογραφίες που παρουσιάζονται στην εικόνα έχουν ληφθεί από βίντεο ίσης διάρκειας που έχει ληφθεί στην Ιαλυσό στη συμβολή των οδών Τριαντών και Θεμιστοκλή Σοφούλη.



Εικ. 4. 3 Επιπτώσεις της υψηλής ταχύτητας των υδάτων σε αυτοκίνητα και άλλα αντικείμενα κατά την πλημμύρα της Ιαλυσού και της Κρεμαστής το Νοέμβριο του 2013.



Εικ. 4. 4 Παραδείγματα διάβρωσης του εδαφικού υλικού από την περιοχή της Ιαλυσού και της Κρεμαστής από την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2013.



Εικ. 4. 5 Κατάρρευση γέφυρας στην περιοχή της Παστίδας κατά την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2013, λόγω υποσκαφής που προήλθε από την διάβρωση των πρανών της κοίτης του εν λόγω ρέματος.



Εικ. 4. 6 Εδαφικό υλικό που αποτέθηκε κατά τη διάρκεια της πλημμύρας σε διάφορες θέσεις παραπλεύρως της κοίτης. Στην περίπτωση της εικόνας (γ) τα φερτά υλικά έχουν μειώσει την παροχευτική δυνατότητα των αγωγών.



Εικ. 4. 7 Θραύσματα βλάστησης παγιδευμένα σε τμήματα του υδρογραφικού δικτύου μετά από την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2013 στην περιοχή της Ιαλυσού και της Κρεμαστής.

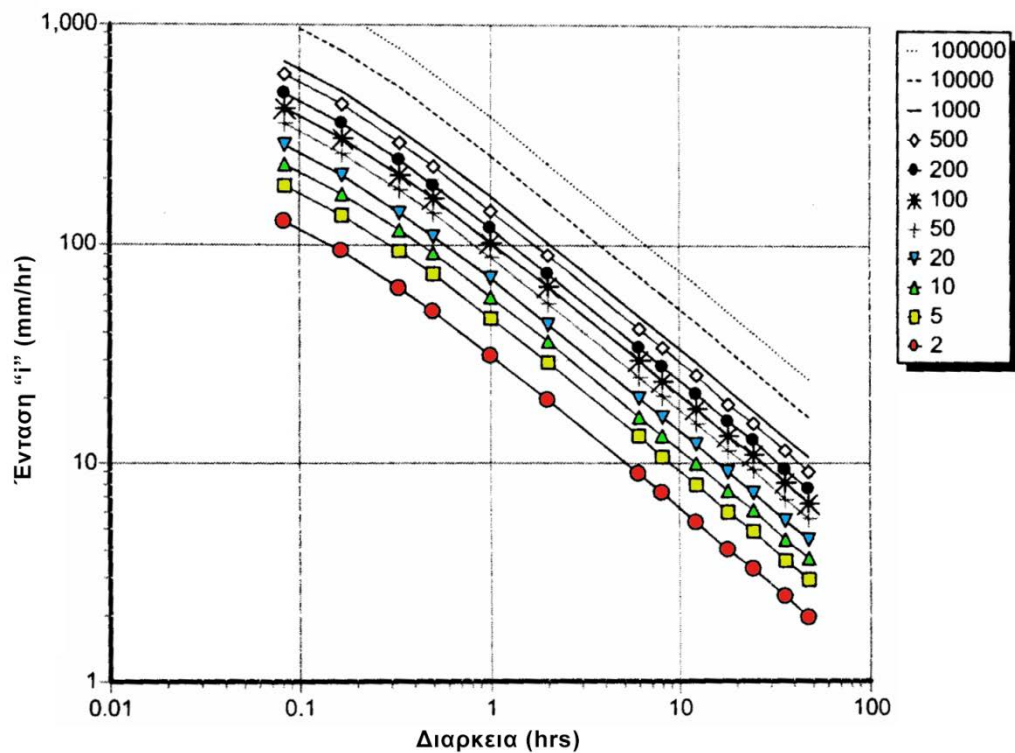
4.5. Μετεωρολογικά στοιχεία

Από τη μελέτη του ιστορικού και τις αναλυτικές περιγραφές καταιγίδων που προκάλεσαν πλημμυρικά φαινόμενα, προκύπτει ότι οι πλημμύρες προκαλούνται από υψηλής έντασης - μικρής διάρκειας καταιγίδες που συνοδεύονται πολύ συχνά από χαλάζι και δυνατούς ανέμους. Με σκοπό την διερεύνηση των χαρακτηριστικών των καταιγίδων χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα από τους σταθμούς (α) της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ) στην περιοχή της βόρειας Ρόδου και (β) του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) στην περιοχή της πόλης της Ρόδου. Τα χαρακτηριστικά των σταθμών και οι θέσεις τους παρουσιάζονται παρακάτω (Πίν. 4.3).

Πίν. 4.3. Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν και τα χαρακτηριστικά τους.

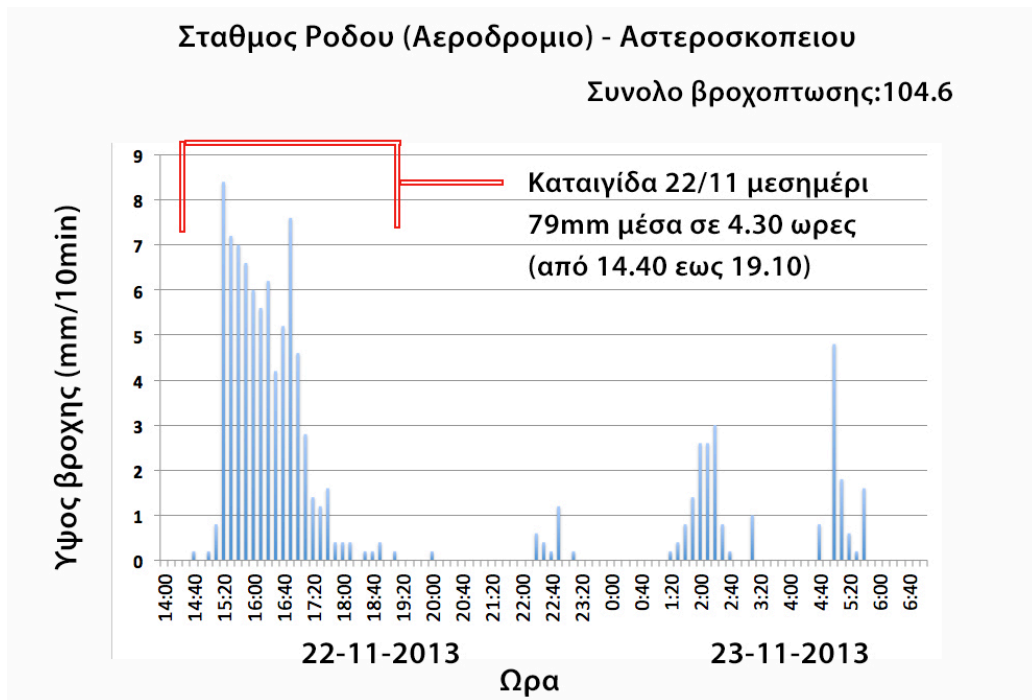
Όνομα σταθμού	Φορέας	Θέση	Υψόμετρο (m)
Σταθμός Πόλης Ρόδου	ΕΑΑ	+36°24'0.00" +28°12'0.00"	95
Σταθμός Ρόδου (Κωδικός: 16749)	ΕΜΥ	+36°24'0.00" +28°05'0.00"	11

Οι όμβριες καμπύλες της περιοχής μελέτης προκύπτουν από το παρακάτω διάγραμμα (Κώτσης 2005) (Εικ. 4.8).

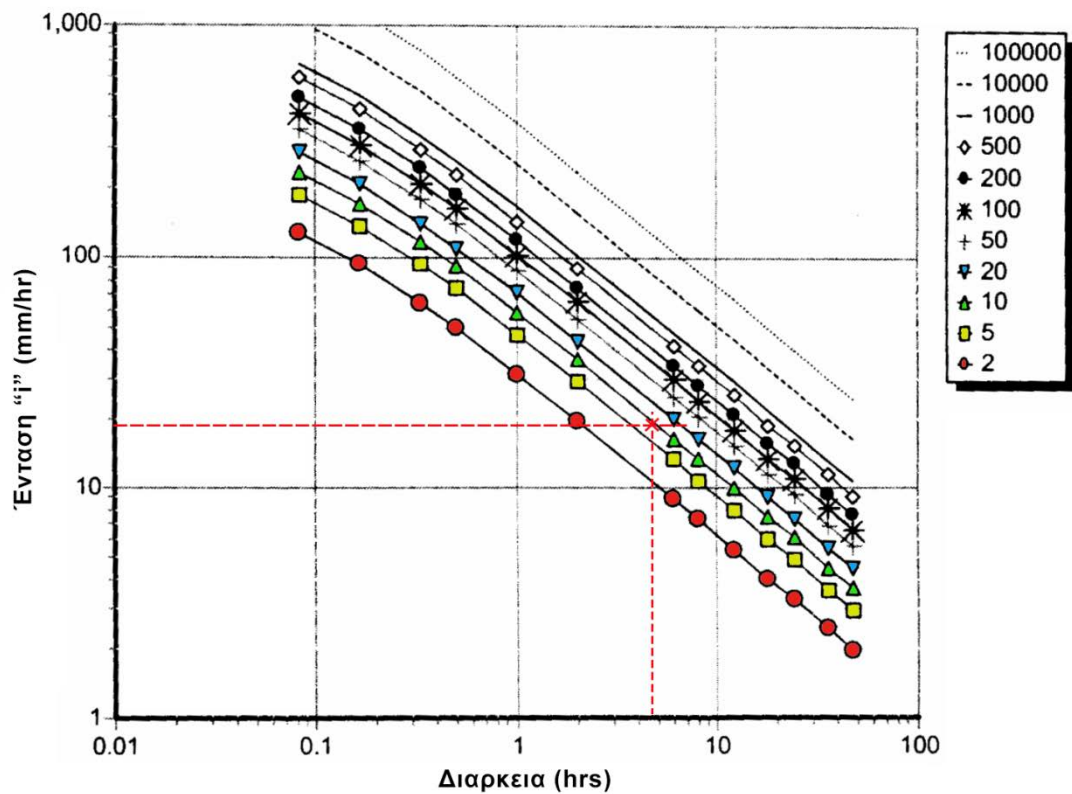


Εικ. 4. 8 Διάγραμμα όμβριων καμπυλών για την περιοχή της Ρόδου (προσαρμοσμένο από Κώτσης 2005).

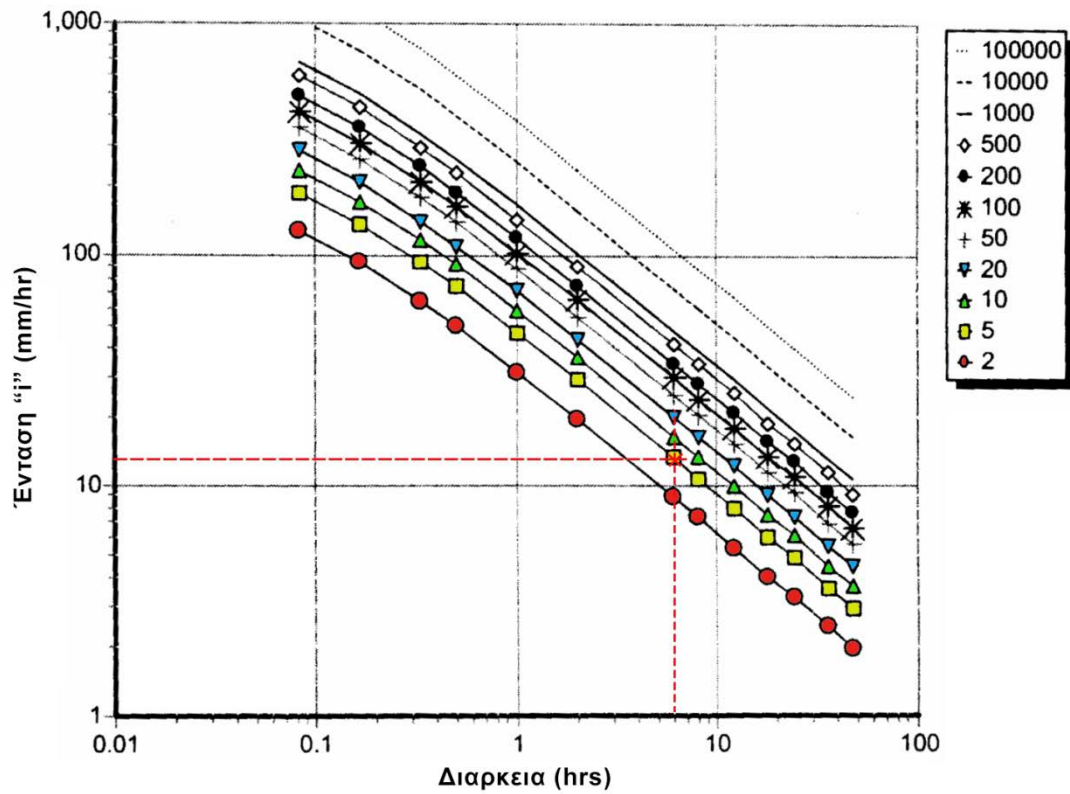
Με βάση το διάγραμμα των όμβριων καμπυλών και τη μελέτη των καταγίδων που οδήγησαν σε πλημμυρικά φαινόμενα το Νοέμβριο του 2013 (Εικ. 4.9) και τον Ιανουάριο του 2014 προκύπτει η περίοδος επαναφοράς (T) των δύο αυτών καταγίδων (Εικ. 4.10 & 4.11).



Εικ. 4. 9 Κατανομή βροχόπτωσης κατά την καταιγίδα του Νοεμβρίου 2013.



Εικ. 4. 10 Εκτίμηση περιόδου επαναφοράς καταιγίδας Νοεμβρίου 2013 στα 10 έτη (με διάρκεια 4.5 ώρες και ένταση 17.6 mm/hr).



Εικ. 4. 11 Εκτίμηση περιόδου επαναφοράς καταγίδας Ιανουαρίου 2014 στα 5 έτη (με διάρκεια 6 ώρες και ένταση 12.6 mm/hr).

Από τα διαγράμματα προκύπτει ότι οι καταγίδες του Νοεμβρίου 2013 και του Ιανουαρίου 2014 παρουσίασαν περίοδο επανάληψης 10 και 5 έτη αντίστοιχα.

4.6. Περιοχές ευαίσθητες σε πλημμυρικά φαινόμενα

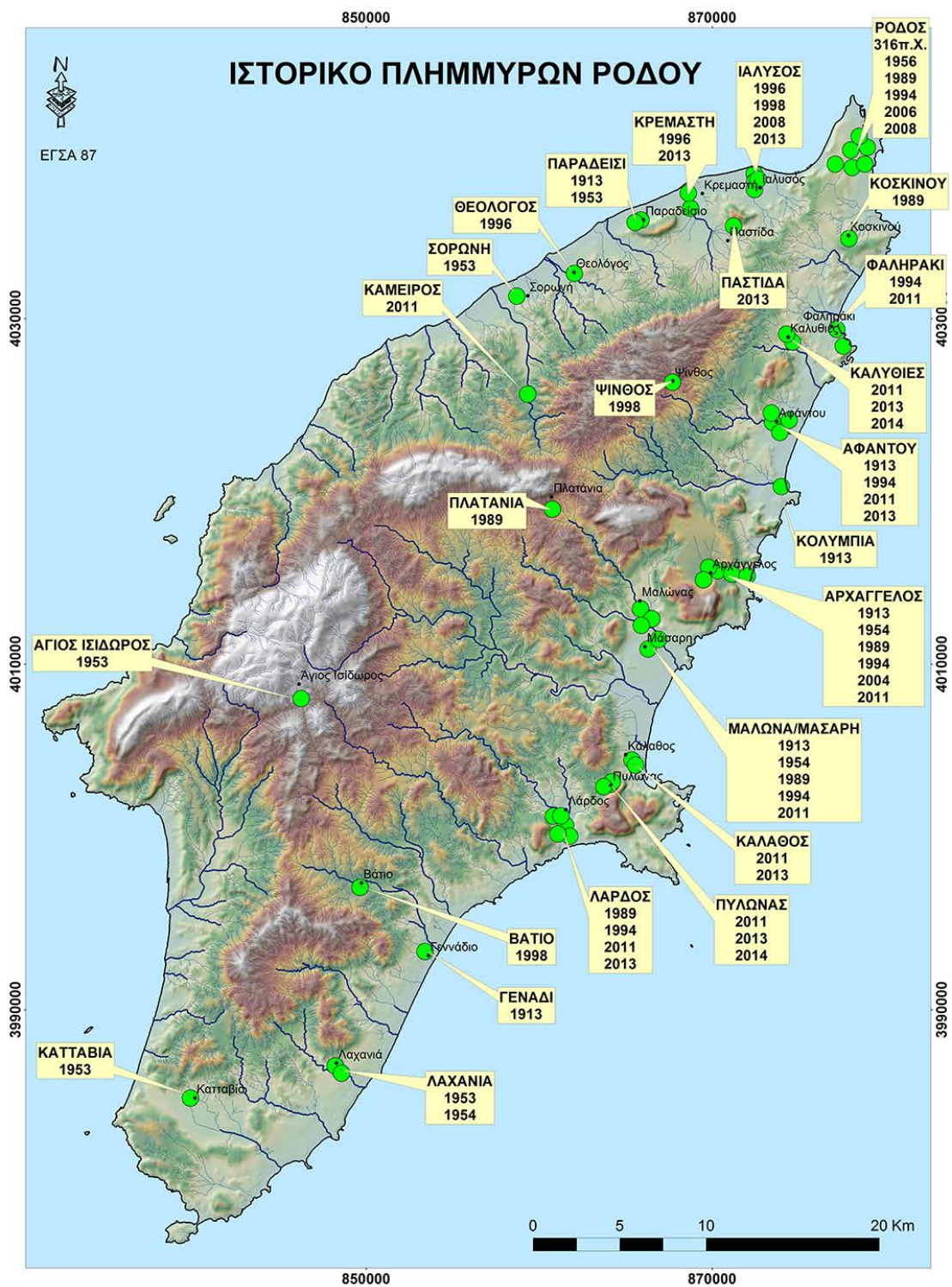
Με βάση την ανάλυση του ιστορικού και τη χαρτογράφηση των θέσεων που έχουν πληγεί σε παρελθόντα συμβάντα στη Ρόδο, προκύπτει ο χάρτης με την γεωγραφική κατανομή των πλημμυρών στην επιφάνεια του νησιού (Εικ. 4.12). Από τη μελέτη της χωρικής κατανομής των πλημμυρών προκύπτει ότι οι περισσότερες συμβαίνουν στο βόρειο και στο ανατολικό τμήμα του νησιού όπου βρίσκονται και οι εκτενέστερες πεδινές εκτάσεις και οι σημαντικότεροι οικισμοί. Οι θέσεις με το πιο πλούσιο ιστορικό είναι κατά σειρά η Πόλη της Ρόδου, η Μαλώνα και η Μάσαρη, ο Αρχάγγελος, η Αφάντου, η Ιαλυσός και η Λάρδος (Εικ. 4.12).

Με βάση το πλημμυρικό ιστορικό, όπως καταγράφεται στην Εικ. 4.12, βαθμονομήθηκαν οι υδρολογικές λεκάνες της Ρόδου σε σχέση με τη συχνότητα πλημμυρικών φαινομένων που παρουσιάζουν κατά τα τελευταία 33 έτη (Εικ. 4.13). Από τη συγκεκριμένη ανάλυση προκύπτουν τα ρέματα που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα πλημμυρών (Πίν. 4.4).

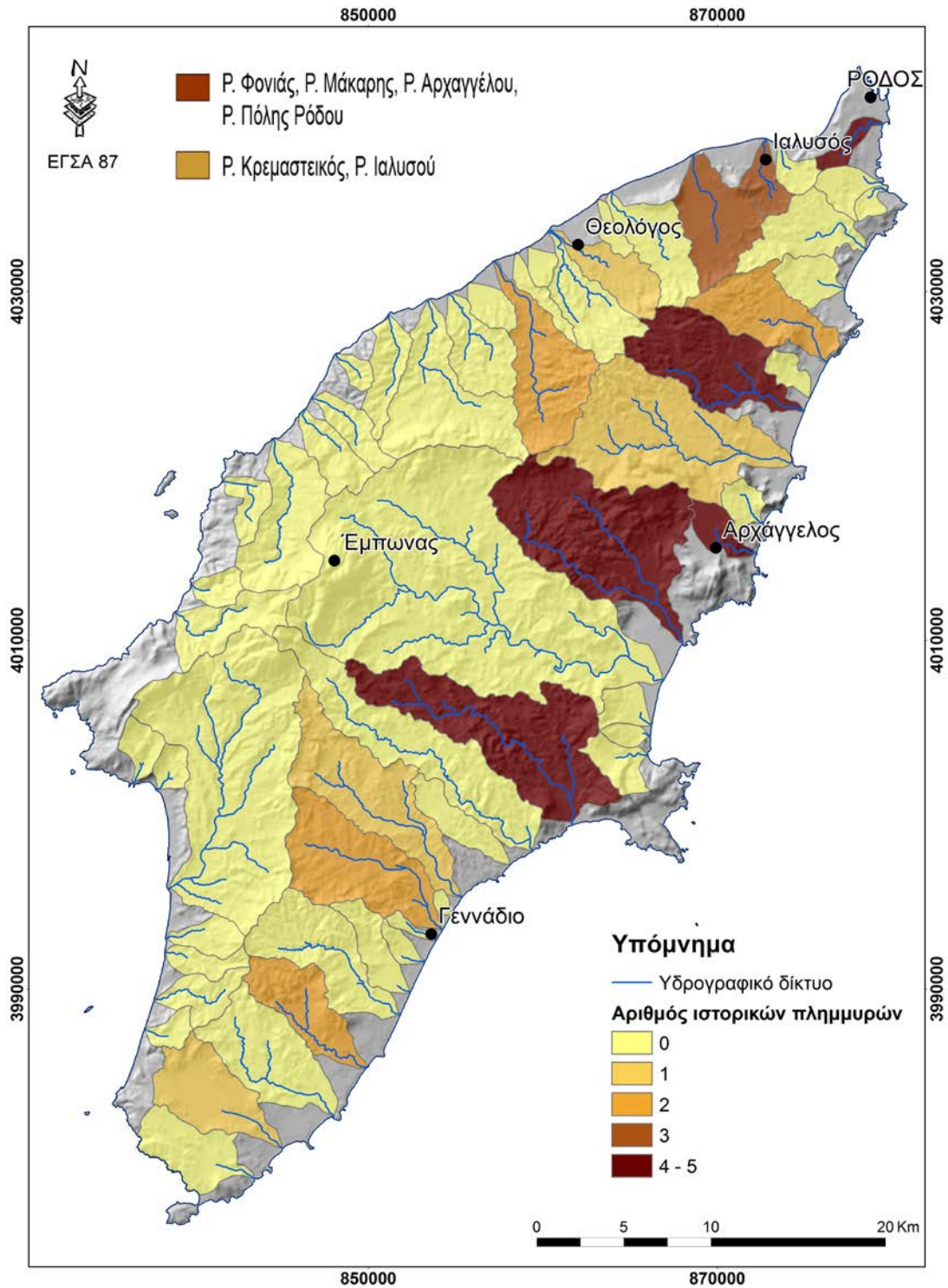
Πίν. 4.4. Βαθμονόμηση ρεμάτων με βάση τη συχνότητα πλημμυρών τα τελευταία 33 έτη στη Ρόδο.

Βαθμίδα Συχνότητας Πλημμυρών	Υδρογραφικό δίκτυο / Ρέμα
Πολύ υψηλή (4 – 5)	Φονιάς, Μάκαρης, Αρχαγγέλου, Πελεμόνης, Πόλης Ρόδου
Υψηλή (3)	Κρεμαστικός, Ιαλυσού
Μέση (2)	Πλατύς, Πότος, Γενναδινός, Ρ. Λαχανιάς
Χαμηλή (1)	Ασκληπινός, Ρ. Κατταβιάς, Λουτάνης, Διπόταμος
Πολύ Χαμηλή (0)	Οι υπόλοιπες υδρολογικές λεκάνες

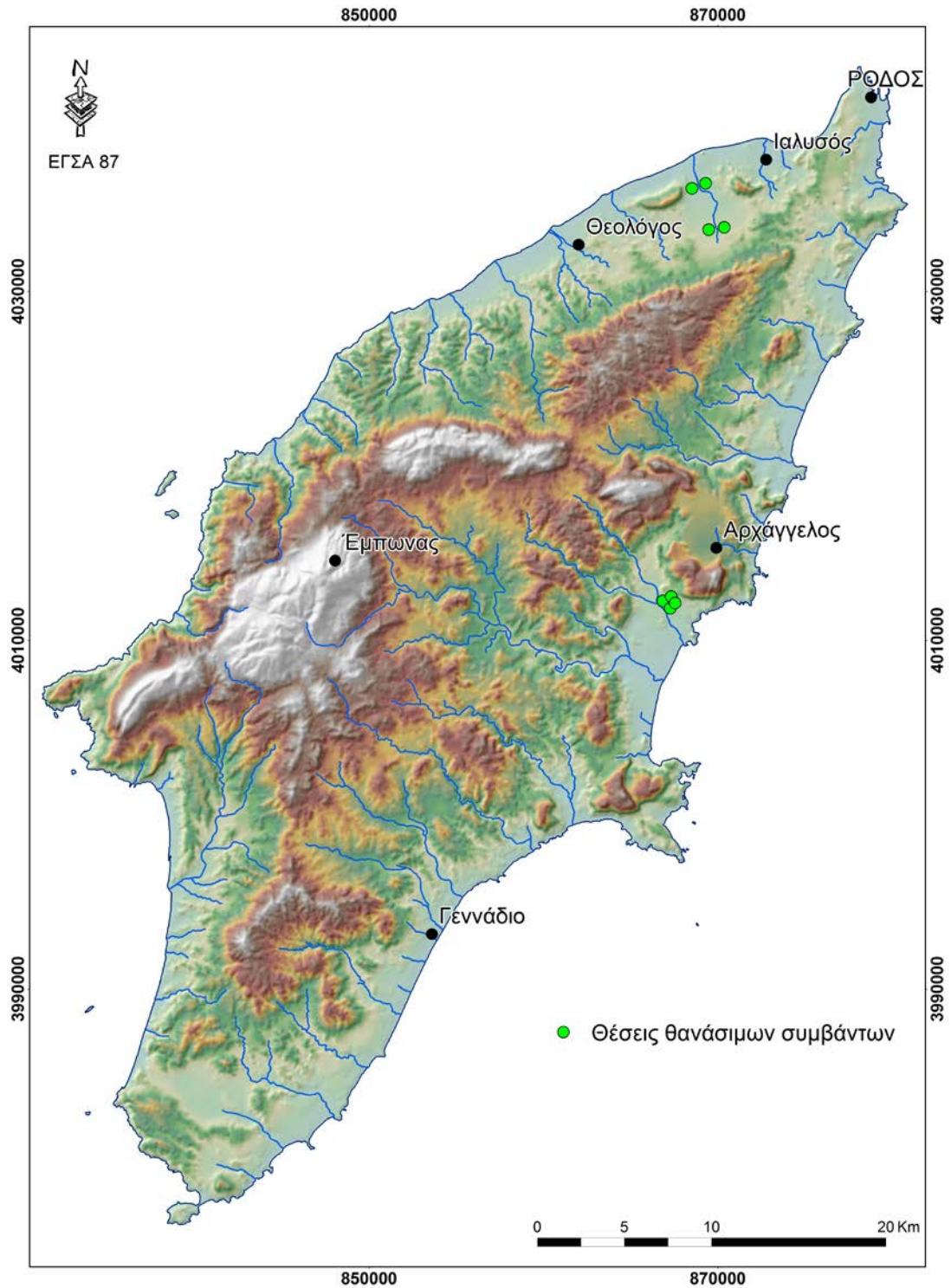
Επιπρόσθετα, με βάση τα ιστορικά δεδομένα προκύπτει ο χάρτης των 8 θανάτων από πλημμυρικά φαινόμενα που έχουν συμβεί στο νησί τα έτη 1994 και 2013 (Εικ. 4.14).



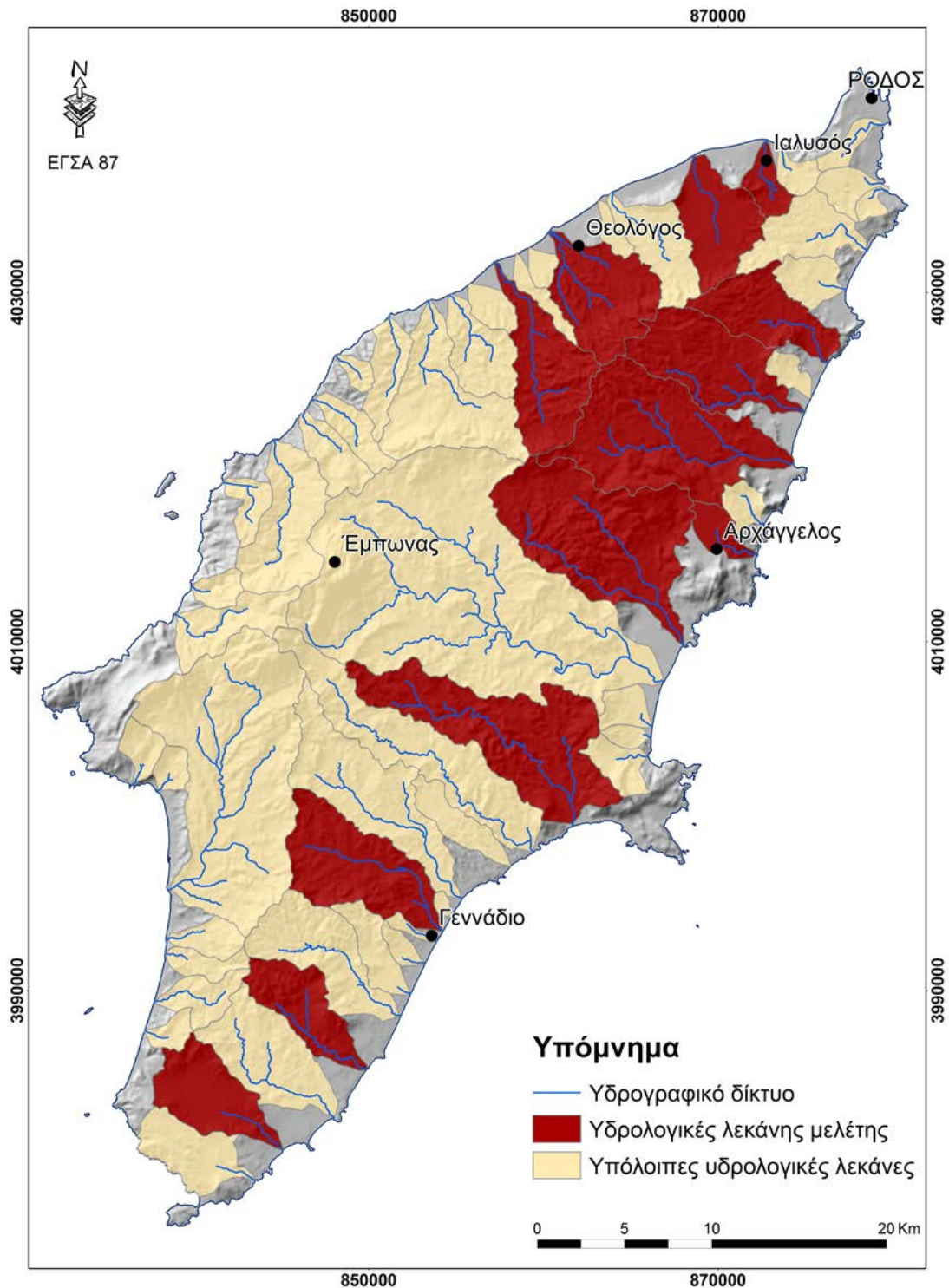
Εικ. 4. 12 Θέσεις που έχουν πληγεί από ιστορικά πλημμυρικά συμβάντα στη Ρόδο.



Εικ. 4. 13 Βαθμονόμηση υδρολογικών λεκανών με βάση τη συχνότητα πλημμυρών που παρουσίασαν τα τελευταία 33 έτη.



Εικ. 4. 14 Θέσεις θανάσιμων συμβάντων οφειλομένων σε πλημμύρες στη Ρόδο.



Εικ. 4.15 Υδρολογικές λεκάνες με καταγεγραμμένο ιστορικό πλημμυρών

Τέλος, με βάση τα ιστορικά δεδομένα και τους χάρτες των εικόνων 4.12 – 4.14 προκύπτει ο χάρτης με τις υδρολογικές λεκάνες, οι οποίες έχουν υποστεί πλημμυρικά φαινόμενα και είναι οι λεκάνες που θα μελετηθούν ιδιαίτερα στο επόμενο κεφάλαιο (Εικ. 4.15).

5. Ανάλυση πλημμυρικού κινδύνου

5.1. Εισαγωγή

Οι μορφομετρικές παράμετροι μιας λεκάνης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στις υδρολογικές διεργασίες, καθώς ελέγχουν σε μεγάλο βαθμό την υδρολογική αντίδρασή της, σε καταιγίδες υψηλής έντασης (Beven et al. 1988, Moussa 2003, Angellieri 2008). Η ανάλυση των γεωμορφολογικών παραμέτρων καθίσταται ιδιαίτερα σημαντική, όταν μελετώνται υδρολογικές λεκάνες επιρρεπείς σε αιφνίδιες πλημμύρες, ιδιαίτερα δε όταν δεν υπάρχουν μετρήσεις παροχών. Λόγω των ιδιαιτεροτήτων του Μεσογειακού χώρου, η διεθνής βιβλιογραφία προκρίνει τη λύση και αυτής της προσέγγισης σε περιοχές όπως η Ρόδος και η νότια Ελλάδα (Martini and Loat 2007, van Alphen et al. 2009). Η γεωμορφολογική προσέγγιση εστιάζει κυρίως στην μελέτη των μορφομετρικών χαρακτηριστικών μιας υδρολογικής λεκάνης και των γεωμορφών που συνδέονται με τις ποτάμιες διεργασίες.

Με βάση την ανάλυση των χαρακτηριστικών αυτών μπορούν να οριοθετηθούν οι ενεργές μορφολογικά περιοχές και οι περιοχές οι οποίες κινδυνεύουν να υποστούν κατάκλυση σε μια μελλοντική πλημμύρα ως τμήμα του ενός δυναμικού ποτάμιου συστήματος.

5.2. Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία με την οποία υπολογίστηκε η χωρική κατανομή της πλημμυρικής επικινδυνότητας έχει ως βάση τη σύνθεση μοναδιαίων υδρογραφημάτων με τη χρήση της μεθόδου του Clark (1945) και την εφαρμογή της μεθόδου χρόνου εμβαδού (time area) σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).

Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η προσομοίωση της αντίδρασης των υδρολογικών υπολεκανών σε καταιγίδα υψηλής ραγδαιότητας και αναδεικνύονται οι περιοχές όπου το υδρογραφικό δίκτυο έχει την τάση να δημιουργήσει μεγάλους όγκους απορροής. Αναλυτικότερα, οι παράγοντες στους οποίους βασίζεται η εφαρμογή είναι τα μορφολογικά στοιχεία των λεκανών απορροής, το σχήμα τους, οι χρήσεις γης, και οι

συντελεστές τριβής στη ροή του νερού (mannings coefficient) μεγέθη τα οποία εισάγονται σε περιβάλλον GIS σε μορφή κανάβου (raster) (Διακάκης 2012).

Στη συγκεκριμένη εργασία, η μεθοδολογία αυτή δεν πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μιας υδρολογικής λεκάνης, αλλά σε όλο το νησί της Ρόδου με έμφαση στις λεκάνες όπου υπάρχει ιστορικό πλημμυρών. Ακολουθεί η ανάλυση των βημάτων της μεθοδολογίας για τον υπολογισμό της επικινδυνότητας (flood hazard) και η εφαρμογή της (Εικ.5.1) :

Μέσω του ArcHydro → Terrain Preprocessing δημιουργούνται τα εξής(με cell size30):

ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΕΝΤΟΛΕΣ

1. Από ισοϋψείς
2. Fill sinks
3. Flow Direction
4. Flow Accumulation
5. Stream Definition
6. Stream Segmentation
7. Catchment Grid Delineation
8. Catchment Polygon Processing
9. Drainage Line Processing
10. Adjoint Catchment Processing

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

1. Dem
2. Fil_dem
3. Fdr (χάρτης ροής)
4. Fac (που θα συγκεντρωθεί προσθετικά το νερό)
5. Str (καθορισμός ρεμάτων)
6. StrLnk
7. Cat (δημιουργεί υδροκρίτες)
8. Catchment (δημιουργεί υπολεκάνες)
9. Drainage Line (κάνει τα ρέματα γραμμές)
10. Adjoint Catchment
11. Από Toolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology → Stream Order (Strahler)
12. Από ArcHydro → Point Delineation (Wsp), κυρίως στις εκβολές των ποταμών και στις διακλαδώσεις τους.
13. Από Attribute Tools → Compute Local Parameters (Area, Elevmaxft, Elevminft)
14. Από Toolbox → Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow length (upstream)
15. Δημιουργούμε νέο shapefile Wsp και τους εισάγουμε την πληροφορία
16. Από Toolbox → Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract Multi Value to Points
17. Τα μεταφέρουμε στο excell και υπολογίζουμε την παροχή Qp, από τους τύπους:

A) Ο χρόνος υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$T_c = 0.01947L^{0.775} - 0.385$$

όπου: Tc: ο χρόνος συρροής (σε min)

L: το μήκος του κλάδου (σε m)

S: η μέση κλίση της ανάντι λεκάνης (σε m/m) όπως προκύπτει από το λόγο H/L, με H η υψομετρική διαφορά μεταξύ του πιο απομακρυσμένου σημείου και του σημείου εξόδου της λεκάνης.

B) Η παροχή υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$Q_p = (0,208 \times A \times Q) / T_p$$

όπου: Q_p: η παροχή

A: το εμβαδόν της λεκάνης (σε km²)

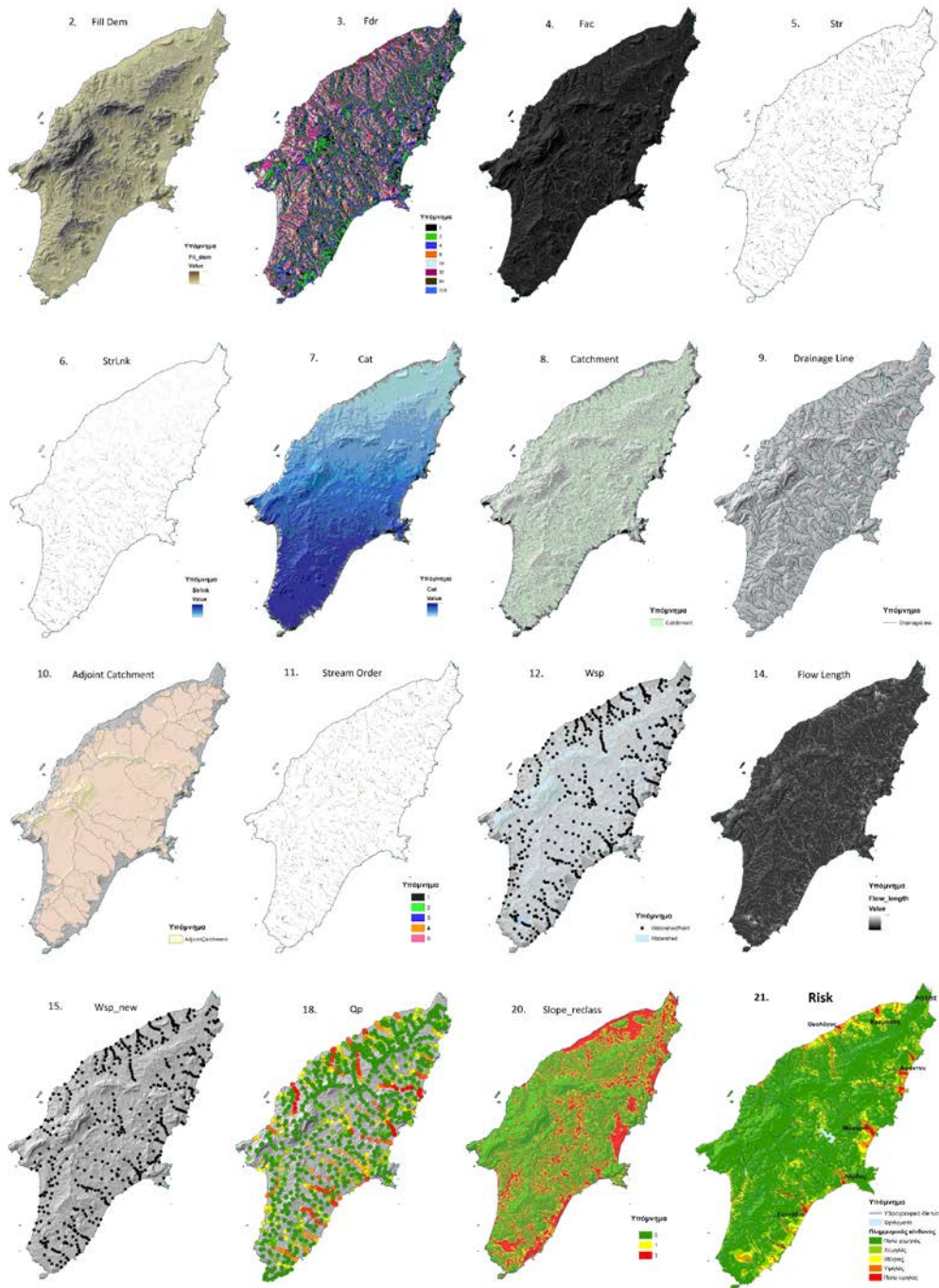
Q: ενεργός βροχόπτωση (= 1mm)

T_p: η μέγιστη αποφόρτιση ποταμού (= 0,7Tc)

18. Αφού τα μεταφέρω στο ArcMap, προσθέτω Q_p=0 στους υδροκρίτες των ρεμάτων.
19. Από Toolbox → Spatial Analyst Tools → Interpolation → IDW (με Maximum distance 5.000)
20. Από Toolbox → Spatial Analyst Tools → Reclass → Reclassify το Slope_per σε: 3 (0-5), 1 (5-10) και 0 (10-...)
21. Slope x IDW_Q_p → Risk

Παρόλα αυτά είναι εξαιρετικά σημαντικό ότι οι συνθήκες επικινδυνότητας και κινδύνου και ειδικότερα η έκταση και οι θέσεις μπορούν να διαφοροποιηθούν δραματικά σε ένα αστικό περιβάλλον λόγω των γρήγορων και σημαντικών αλλαγών που μπορεί να παρουσιαστούν στο υδρολογικό και υδραυλικό καθεστώς μιας λεκάνης. Ένα τέτοιο ενδεχόμενο είναι η αιφνίδια (ή απρογραμμάτιστη) μείωση της παροχτευτικότητας ενός ρέματος από μία ανθρωπογενή παρέμβαση (π.χ. τεχνικό έργο). Μία άλλη περίπτωση είναι η αύξηση της τρωτότητας λόγω ανάπτυξης ή αλλαγής χρήσεων γης μέσα στο αστικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα η δημιουργία μιας νέας κατοικίας, η μετακίνηση μιας κρίσιμης υπηρεσίας ή η συγκέντρωση πληθυσμού εντός των ζωνών αυξημένης επικινδυνότητας.

Συμπερασματικά, λοιπόν, η διαδικασία υπολογισμού του πλημμυρικού κινδύνου θα πρέπει να επαναλαμβάνεται τουλάχιστον ανά κάποια χρόνια με σκοπό την επικαιροποίηση. Παράλληλα τα ρέματα θα πρέπει να ελέγχονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα ώστε να είναι σίγουρο ότι βρίσκονται στην καλύτερη δυνατή κατάσταση καθώς οι συνθήκες κινδύνου είναι πιθανό να αλλάξουν άρδην λόγω μιας εφήμερης αλλαγής στο υδραυλικό καθεστώς τους.



Εικ. 5. 1 Βασικά βήματα της μεθοδολογίας υπολογισμού του πλημμυρικού κινδύνου.

5.3. Πλημμυρικός κίνδυνος σε επιλεγμένες υδρολογικές λεκάνες

Με την εφαρμογή της ανωτέρω μεθόδου οριοθετήθηκαν οι περιοχές πολύ υψηλού, υψηλού, μέσου, χαμηλού και πολύ χαμηλού κινδύνου σε επιλεγμένες λεκάνες της Ρόδου οι οποίες παρουσίασαν υψηλή συχνότητα εκδήλωσης πλημμυρών, όπως προκύπτει από την ανάλυση πλημμυρικού ιστορικού (Κεφ. 4, Εικ. 4. 15).

Συγκεκριμένα, για την υδρολογική λεκάνη της Ιαλυσού, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.2**) παρουσιάζεται: (i) εντός του οικισμού παραπλεύρως του ρέματος, (ii) κατά μήκος του κυρίου ρέματος ανάντη του οικισμού για 200 μέτρα, (iii) στις εκβολές του ρέματος.

Για την υδρολογική λεκάνη του Κρεμαστέικου, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.3**) παρουσιάζεται: (i) παραπλεύρως του οικισμού Κρεμαστής εντός του ρέματος, (ii) κατά μήκος του κυρίου ρέματος ανάντη του οικισμού Κρεμαστής έως τον οικισμό Παστίδα και παραπλεύρως αυτού, (iii) στις εκβολές του ρέματος.

Για την υδρολογική λεκάνη του Διποτάμου, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.4**) παρουσιάζεται: (i) παραπλεύρως του οικισμού Θεολόγου, (ii) στις εκβολές του ρέματος.

Για την υδρολογική λεκάνη του Πλατύ, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.5**) παρουσιάζεται: (i) στην θέση Σορώνη παραπλεύρως του ρέματος, (ii) κατά μήκος του κυρίου ρέματος κατάντη του οικισμού Διμυλιά, (iii) στις εκβολές του ρέματος.

Για την υδρολογική λεκάνη της Κατταβιάς, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.6**) παρουσιάζεται: (i) κατά μήκος του κυρίου ρέματος κατάντη του οικισμού Κατταβία για 500 μέτρα, (ii) στις εκβολές του ρέματος. Με δεδομένο ότι σε αυτές τις θέσεις δεν υπάρχουν κατασκευές ή ανθρώπινες δραστηριότητες, η διακινδύνευση των ανωτέρω στη λεκάνη είναι εξαιρετικά χαμηλή.

Για την υδρολογική λεκάνη του Λαχανιά, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.7**) παρουσιάζεται: (i) εντός του οικισμού παραπλεύρως του ρέματος, (ii) κατά μήκος του κυρίου ρέματος κατάντη του οικισμού για 400 μέτρα, (iii) στις εκβολές του ρέματος.

Για την υδρολογική λεκάνη του Γενναδινού, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.8**) παρουσιάζεται: (i) εντός του

οικισμού Βάτιο παραπλεύρως του ρέματος, (ii) κατά μήκος του κυρίου ρέματος κατάντη του οικισμού για 500 μέτρα, (iii) στη θέση Γεννάδιο στις εκβολές του ρέματος.

Για την υδρολογική λεκάνη του Φονιά, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.9**) παρουσιάζεται: (i) εντός του οικισμού Λάρδου εντός του ρέματος, (ii) κατά μήκος του κυρίου ρέματος ανάντη του οικισμού ΒΑ για 800 μέτρα, (iii) στις εκβολές του ρέματος.

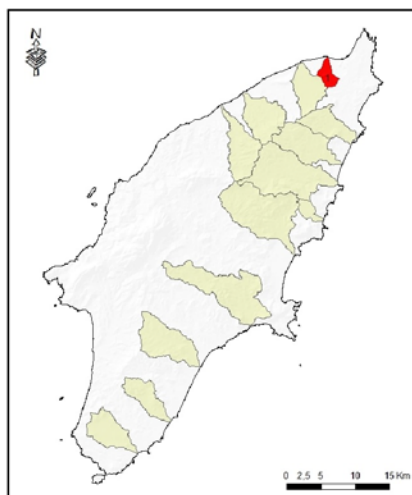
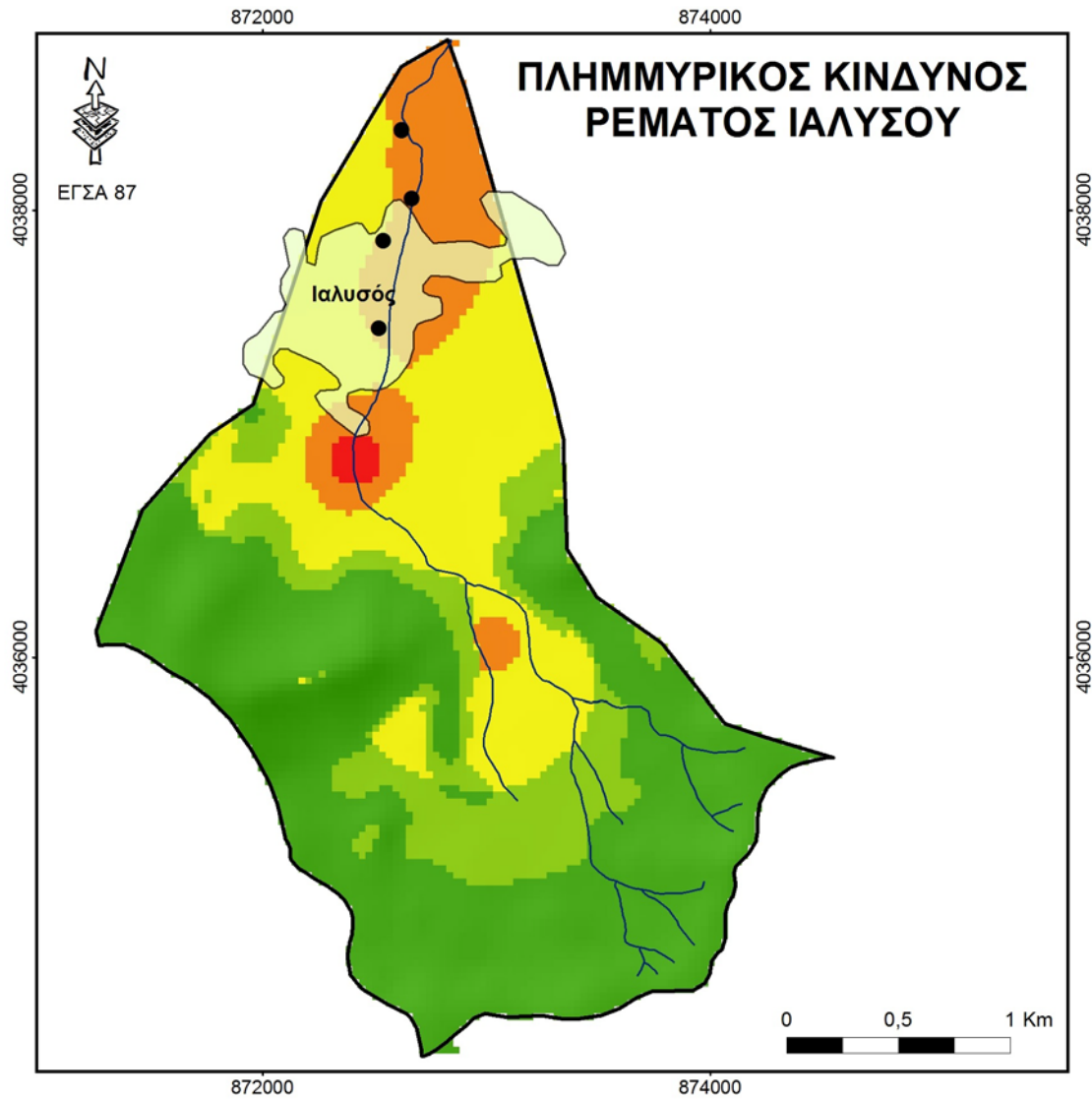
Για την υδρολογική λεκάνη του Μάκαρη, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.10**) παρουσιάζεται: (i) παραπλεύρως του οικισμού Μάσαρη εντός του ρέματος, (ii) κατά μήκος του κυρίου ρέματος κατάντη του οικισμού Μαλώνα για 3 χιλιόμετρα.

Για την υδρολογική λεκάνη του Αρχάγγελου, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.11**) παρουσιάζεται: (i) εντός του οικισμού παραπλεύρως του ρέματος, (ii) κατά μήκος του κυρίου ρέματος κατάντη του οικισμού για 200 μέτρα, (iii) στην θέση Στεγνά στις εκβολές του ρέματος.

Για την υδρολογική λεκάνη του Λουτάνη, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.12**) παρουσιάζεται: (i) κατά μήκος του κυρίου ρέματος κατάντη του οικισμού Αρχίπολης για 200 μέτρα, (ii) κατά μήκος του κυρίου ρέματος ανάντη της εκβολής του ρέματος για 300 μέτρα, (iii) στις εκβολές του ρέματος.

Για την υδρολογική λεκάνη του Πελεμόνη, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.13**) παρουσιάζεται: (i) εντός του οικισμού Αφάντου παραπλεύρως του ρέματος, (ii) στις εκβολές του ρέματος

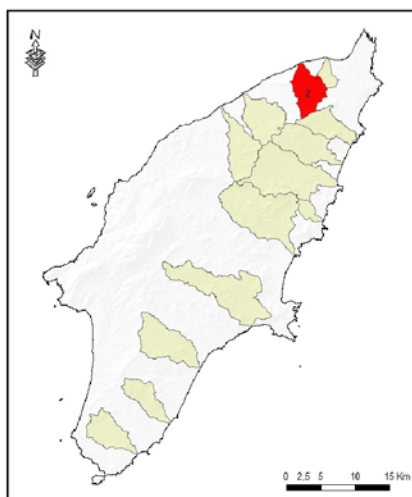
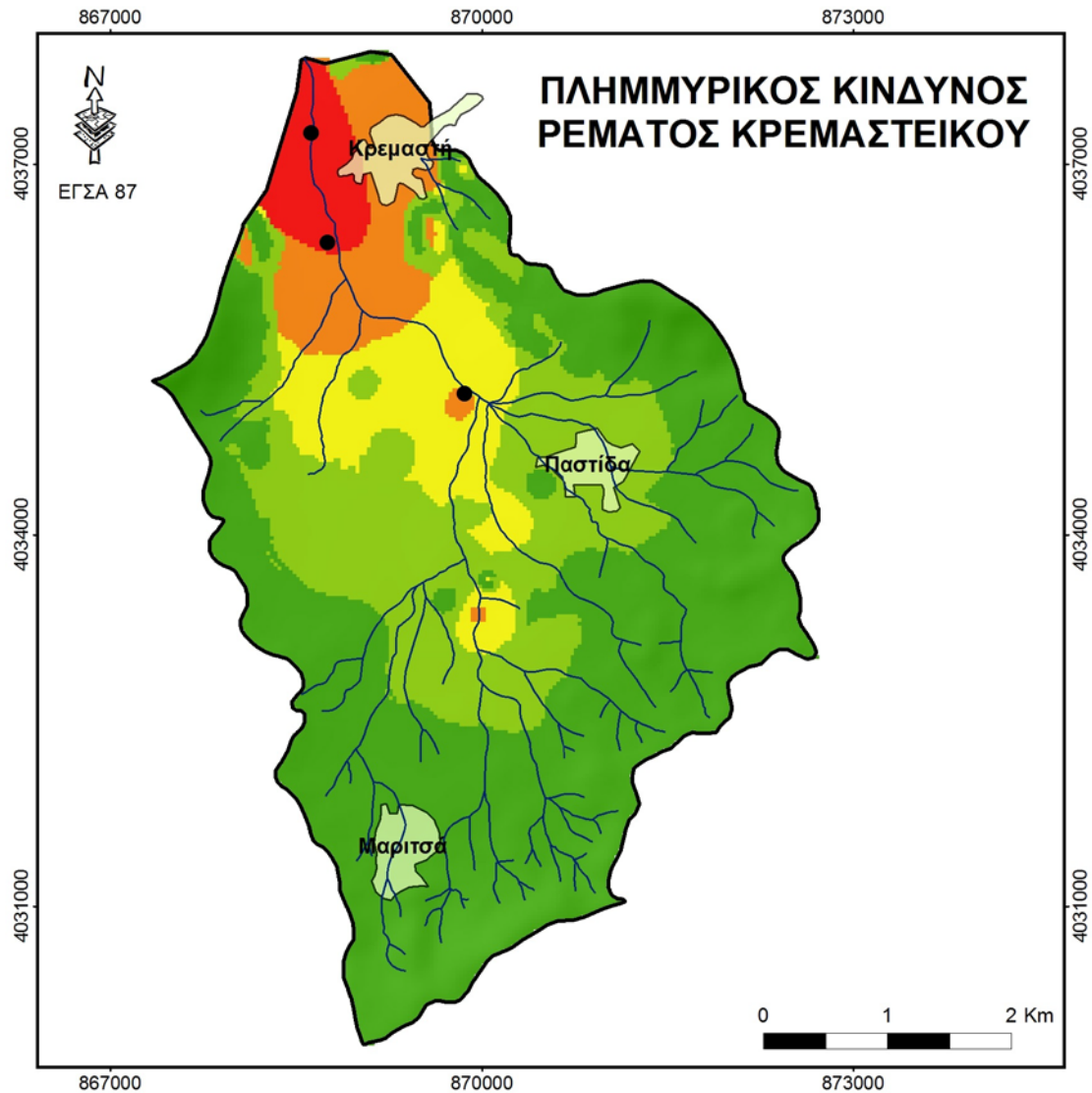
Για την υδρολογική λεκάνη του Πότου, με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου προκύπτει ότι ο υψηλότερος κίνδυνος (**Εικ. 5.14**) παρουσιάζεται: (i) παραπλεύρως του οικισμού Καλυθιές εντός του ρέματος, (ii) κατά μήκος του κυρίου ρέματος κατάντη του οικισμού για 200 μέτρα, (iii) στις εκβολές του ρέματος.



Υπόμνημα

- Ιστορικό πλημμυρών
 - Υδρογραφικό δίκτυο
 - Οικισμοί
 - Υδροκρίτης
- Πλημμυρικός κίνδυνος**
- Πολύ χαμηλός
 - Χαμηλός
 - Μέτριος
 - Υψηλός
 - Πολύ υψηλός

Εικ. 5. 2 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη της Ιαλυσού.



Υπόμνημα

● Ιστορικό πλημμυρών

— Υδρογραφικό δίκτυο

□ Οικισμοί

□ Υδροκρίτης

Πλημμυρικός κίνδυνος

■ Πολύ χαμηλός

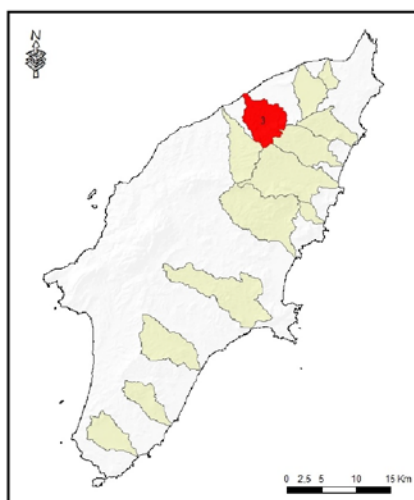
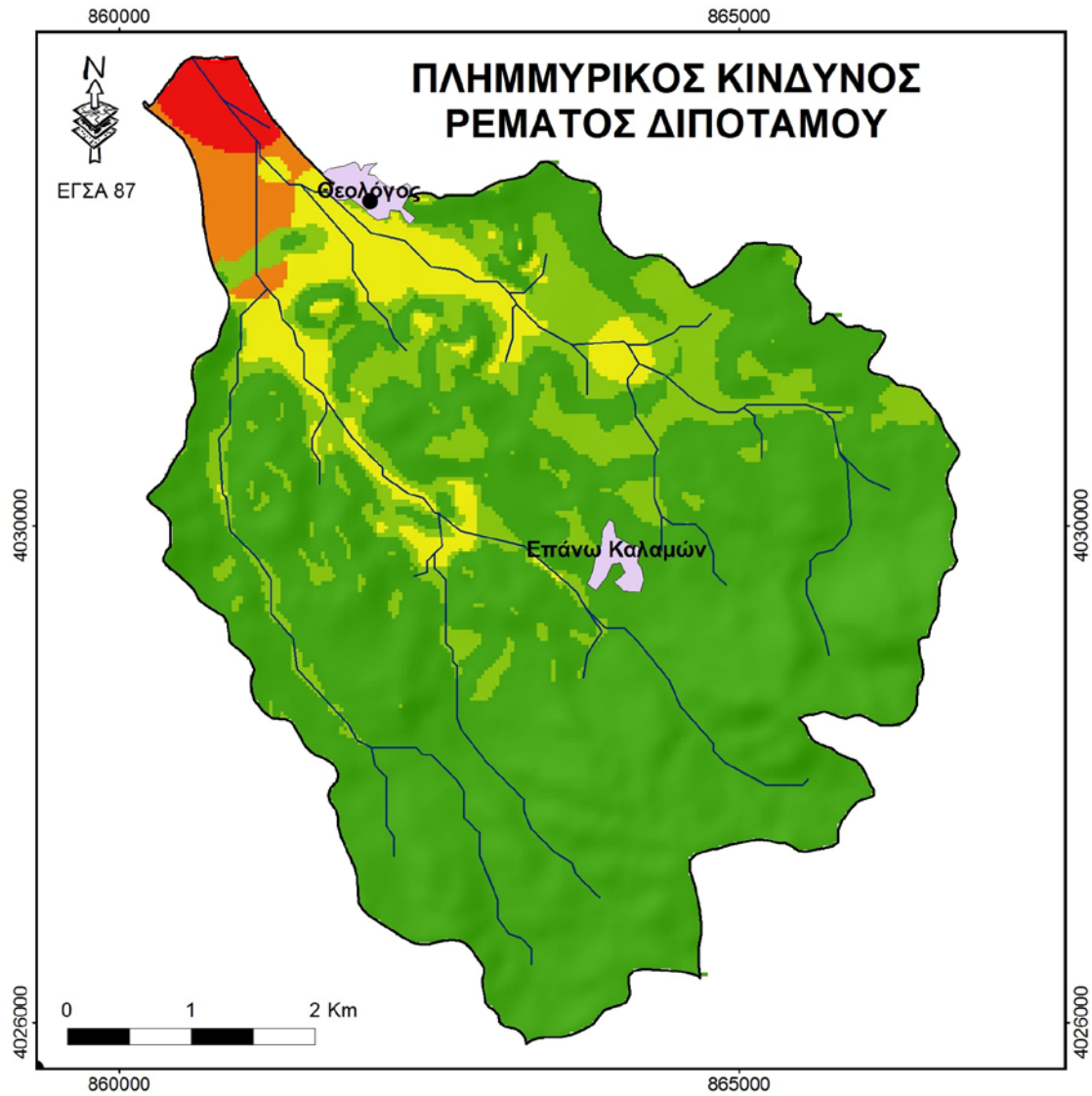
■ Χαμηλός

■ Μέτριος

■ Υψηλός

■ Πολύ υψηλός

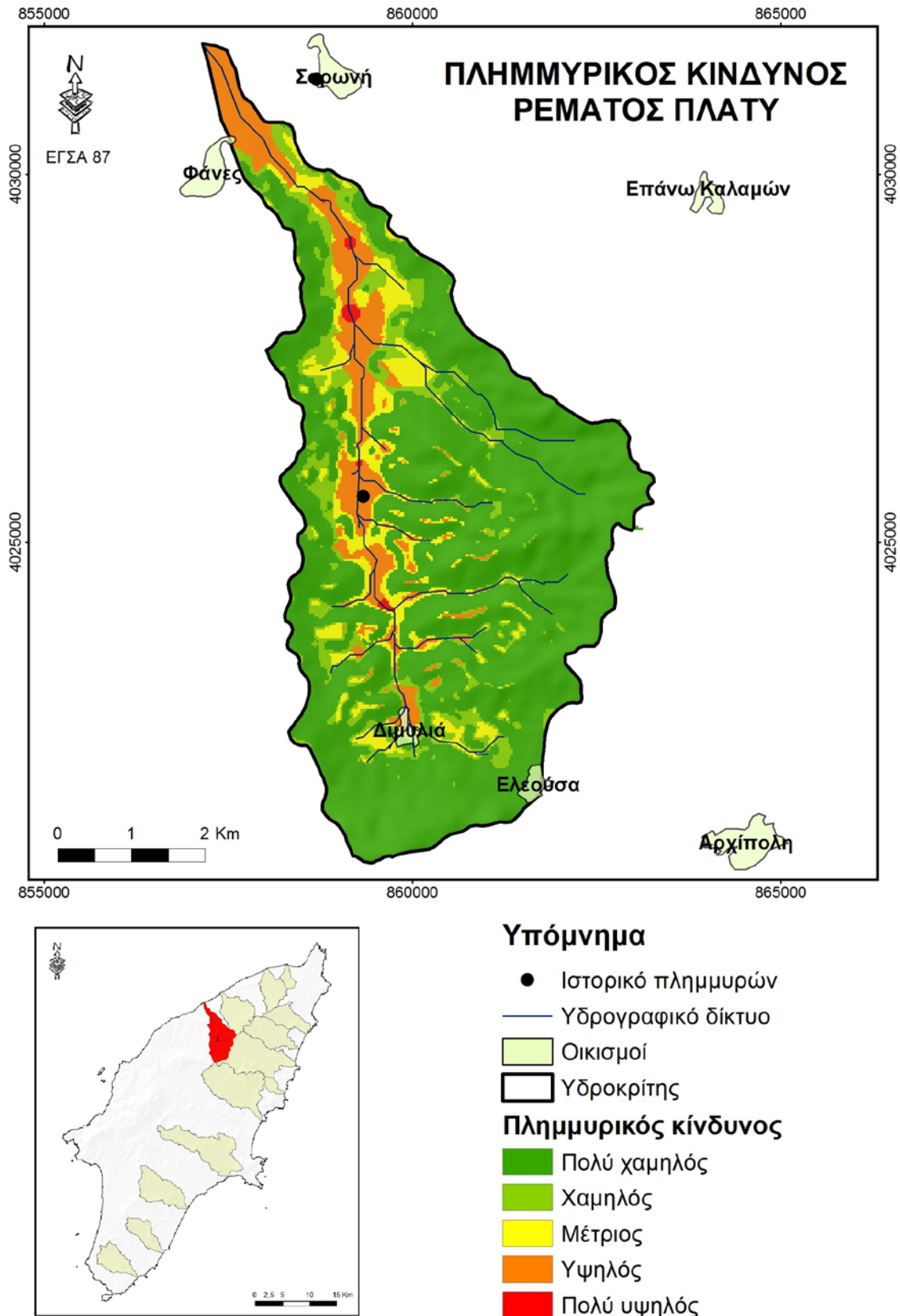
Εικ. 5. 3 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη της Κρεμαστής.



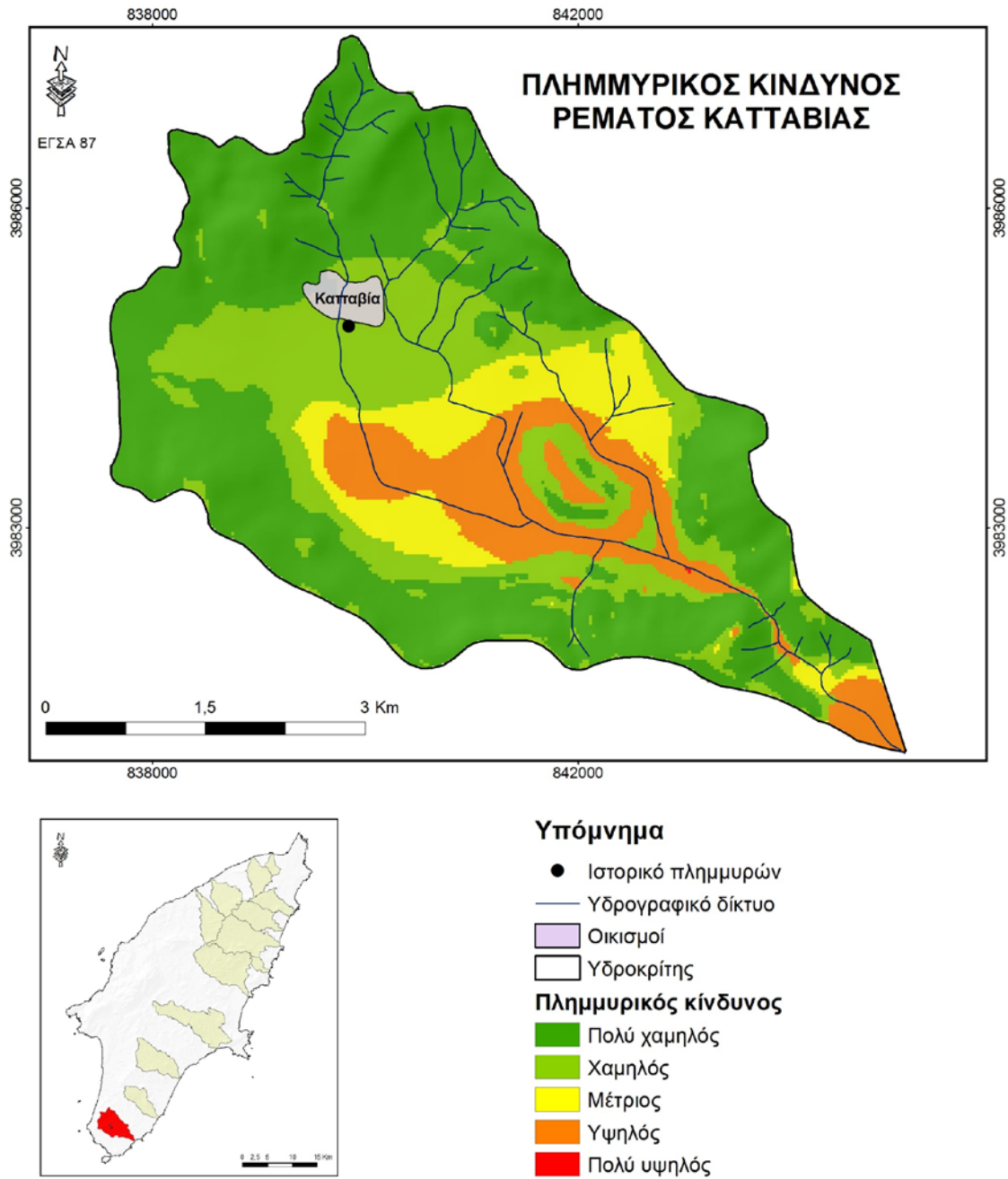
Υπόμνημα

- Ιστορικό πλημμυρών
 - Υδρογραφικό δίκτυο
 - Οικισμοί
 - Υδροκρίτης
- Πλημμυρικός κίνδυνος**
- Πολύ χαμηλός
 - Χαμηλός
 - Μέτριος
 - Υψηλός
 - Πολύ υψηλός

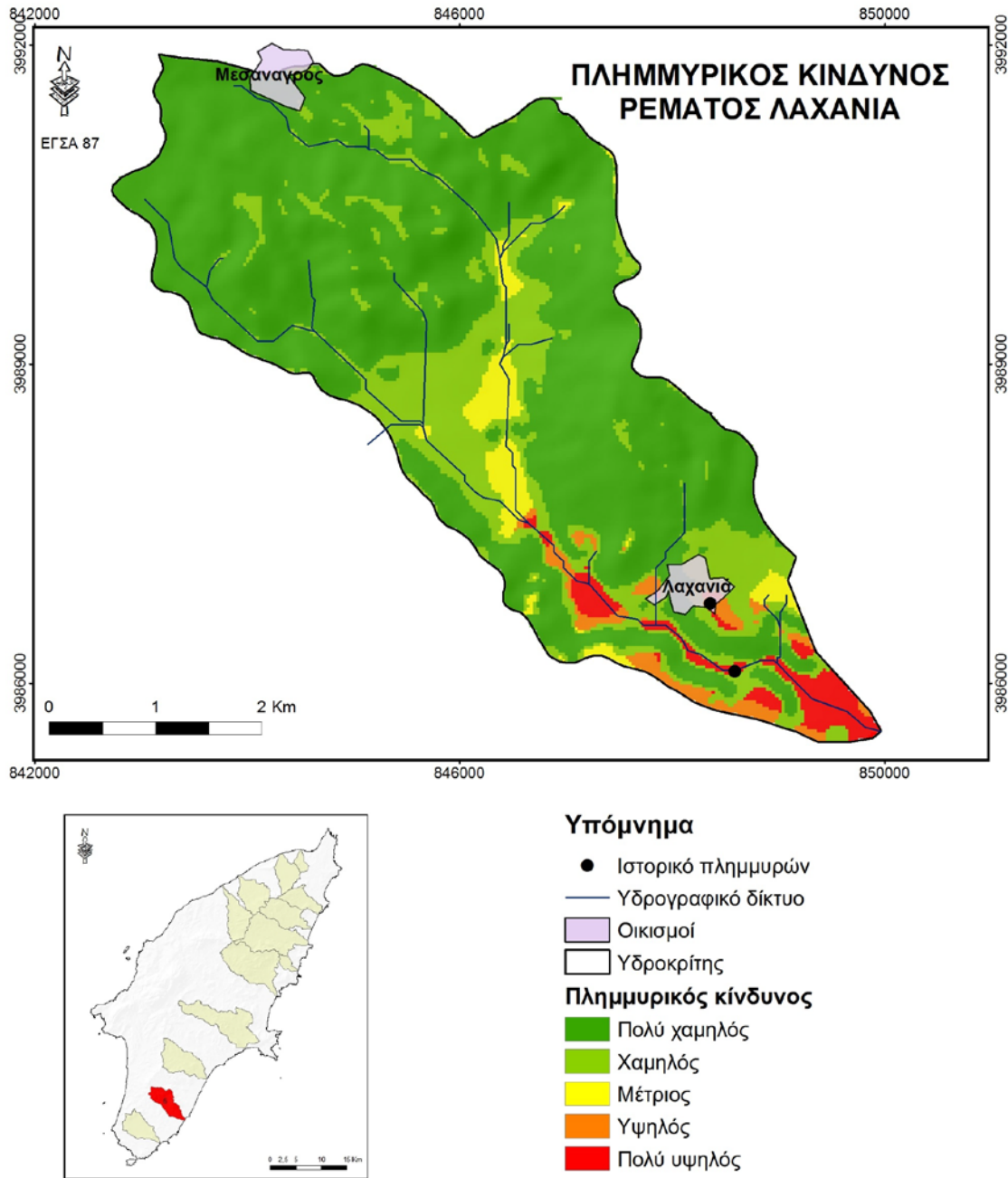
Εικ. 5. 4 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του ποταμού Διπόταμο.



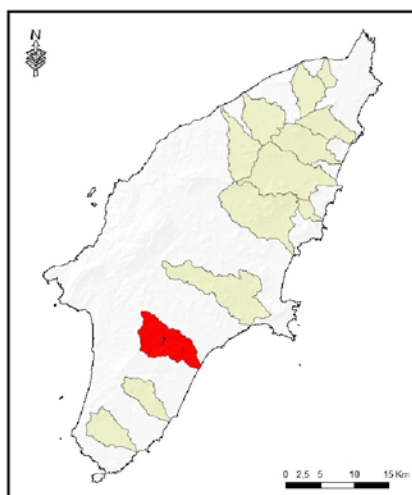
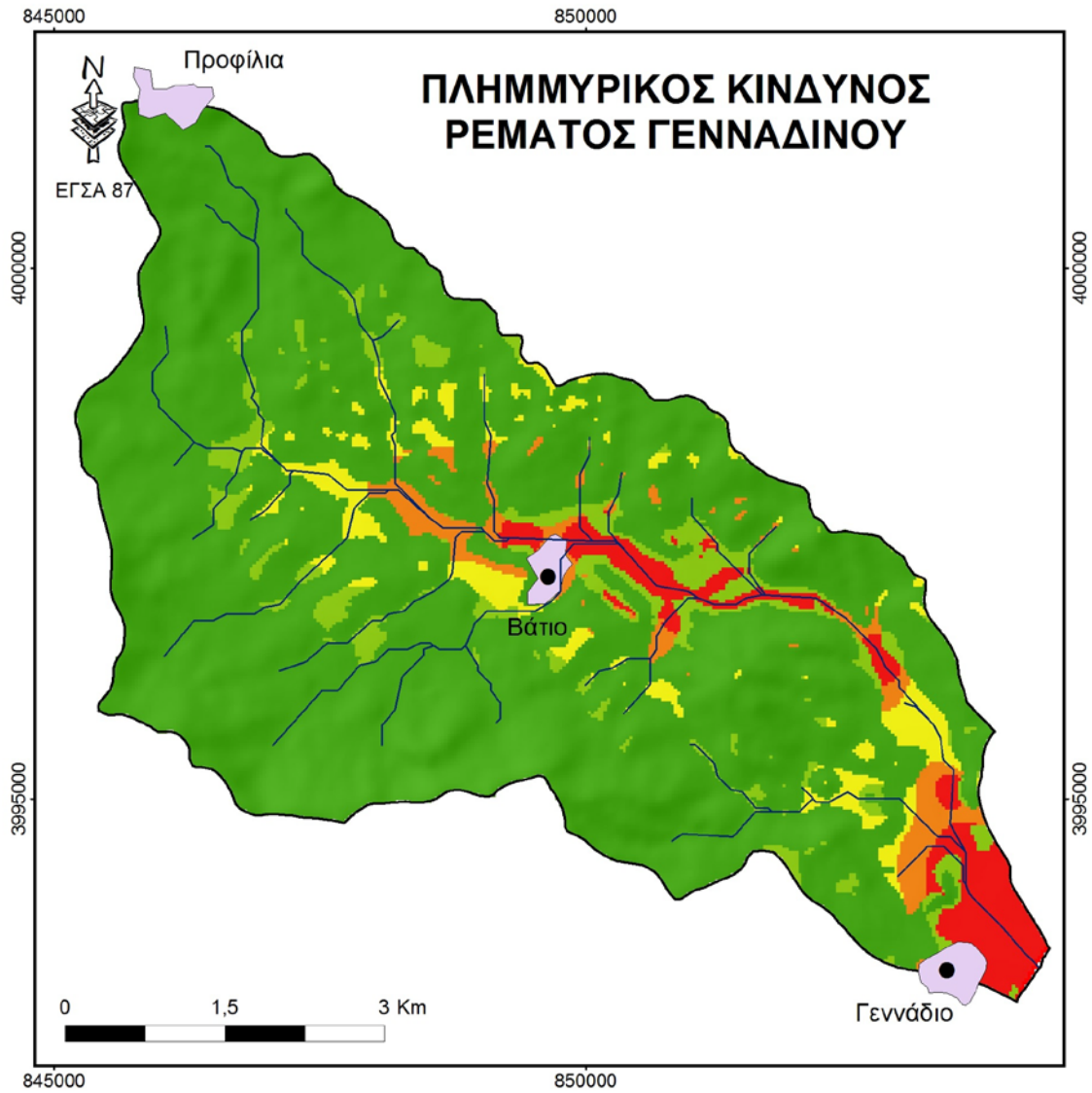
Εικ. 5.5 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του ποταμού Πλατύ.



Εικ. 5. 6 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη της Κατταβιάς.



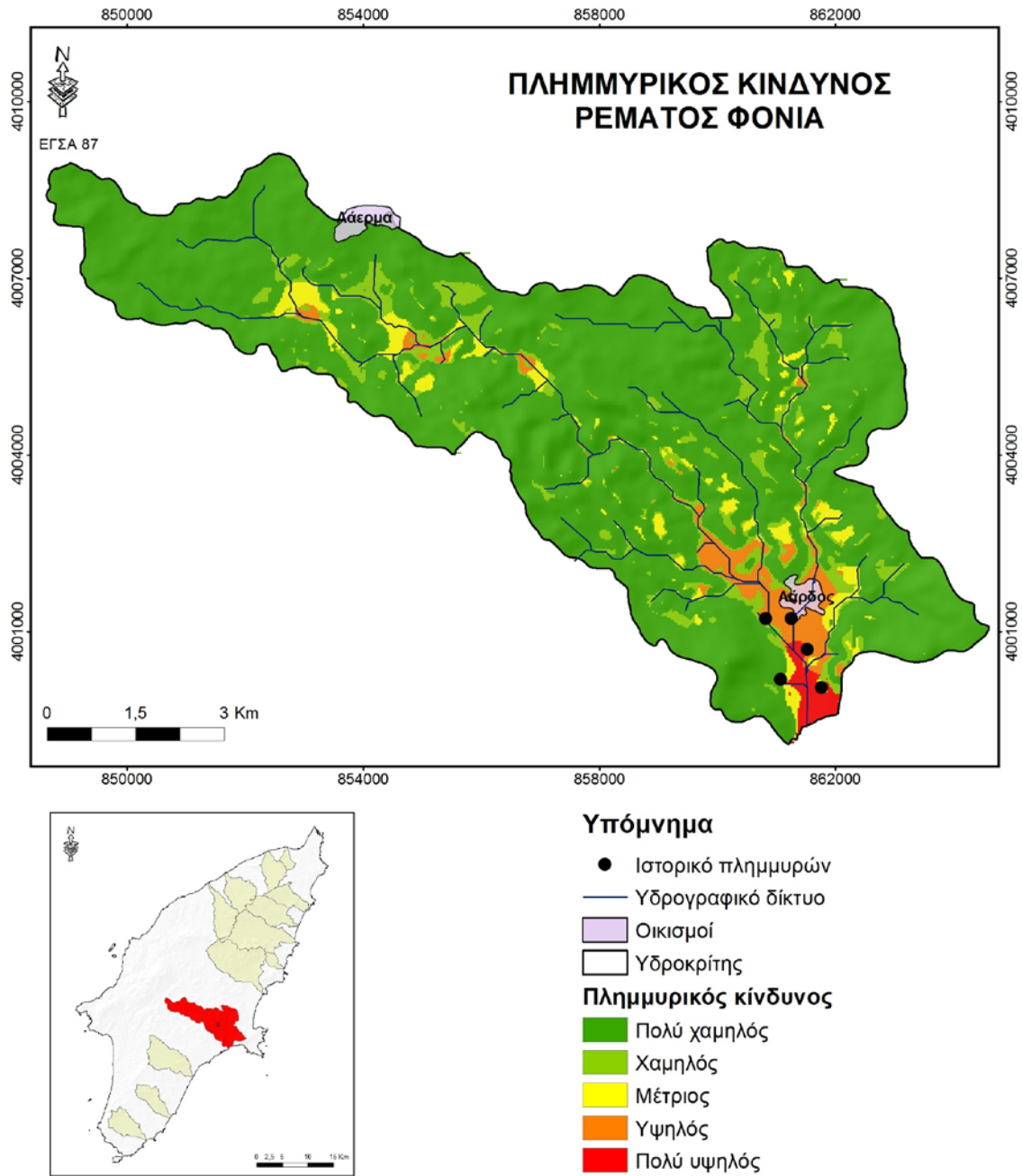
Εικ. 5. 7 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη της Λαχανιάς.



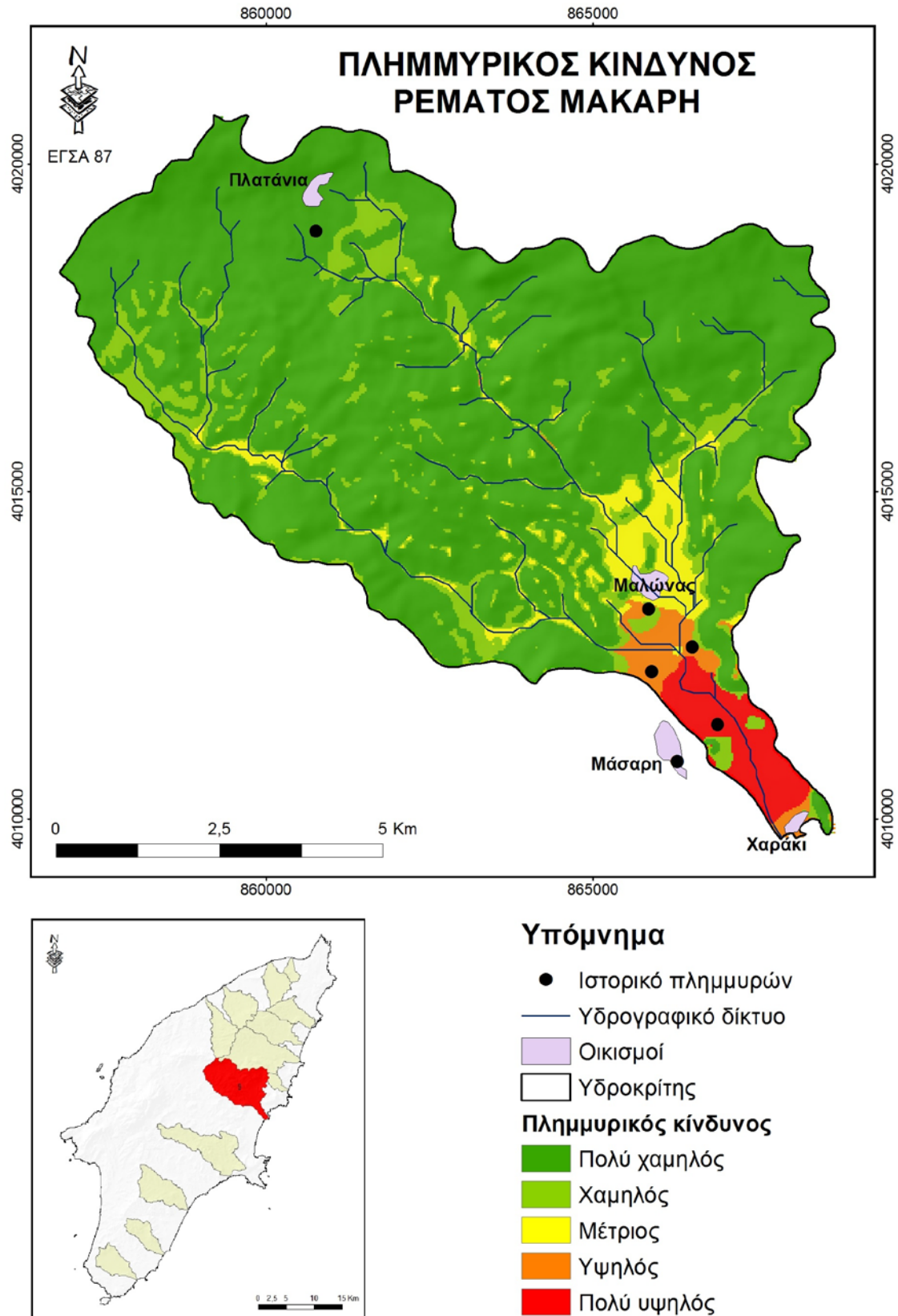
Υπόμνημα

- Ιστορικό πλημμυρών
 - Υδρογραφικό δίκτυο
 - Οικισμοί
 - Υδροκρίτης
- Πλημμυρικός κίνδυνος**
- Πολύ χαμηλός
 - Χαμηλός
 - Μέτριος
 - Υψηλός
 - Πολύ υψηλός

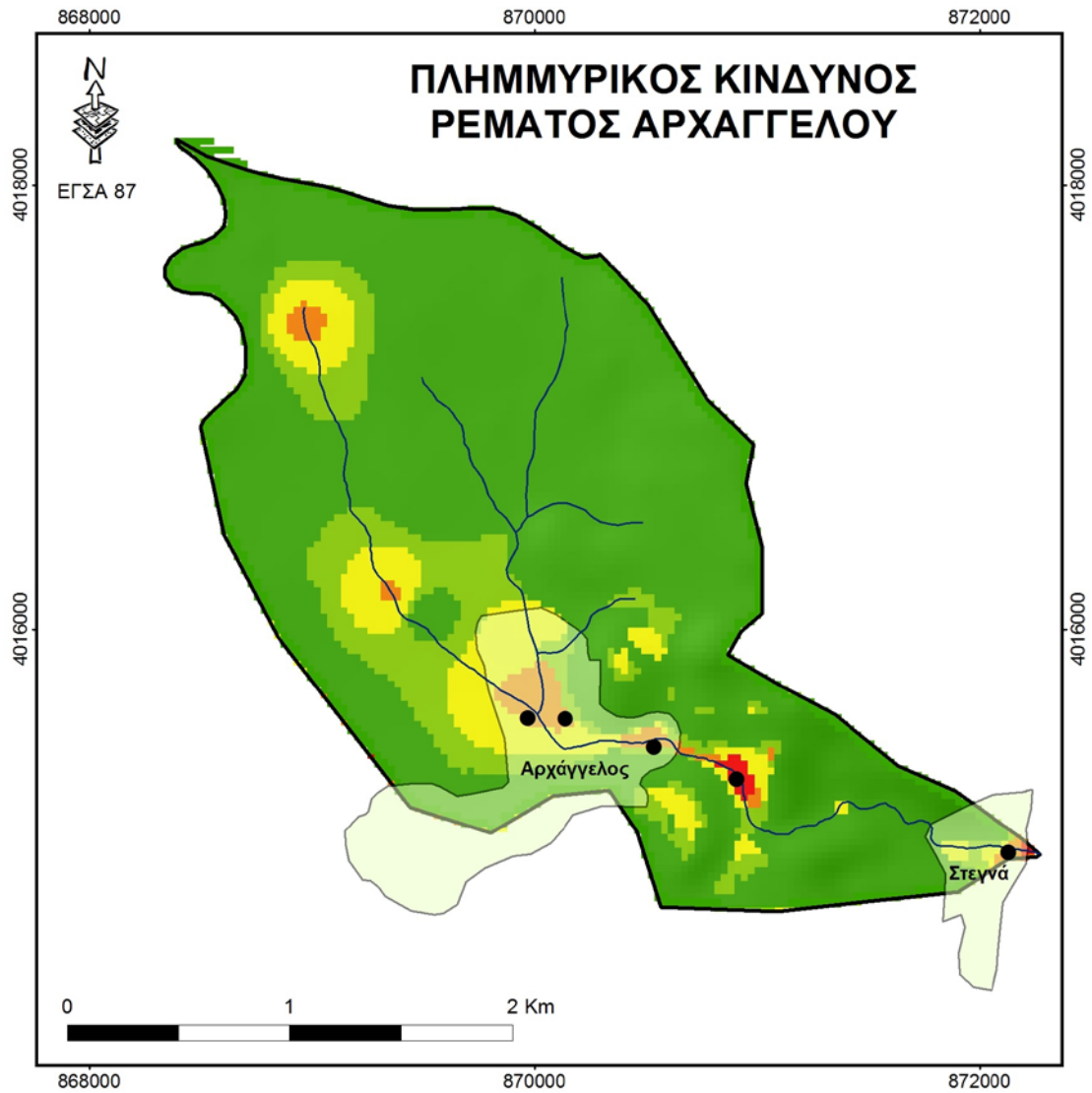
Εικ. 5. 8 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του Γενναδινού ποταμού.



Εικ. 5. 9 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του ποταμού Φονιά.



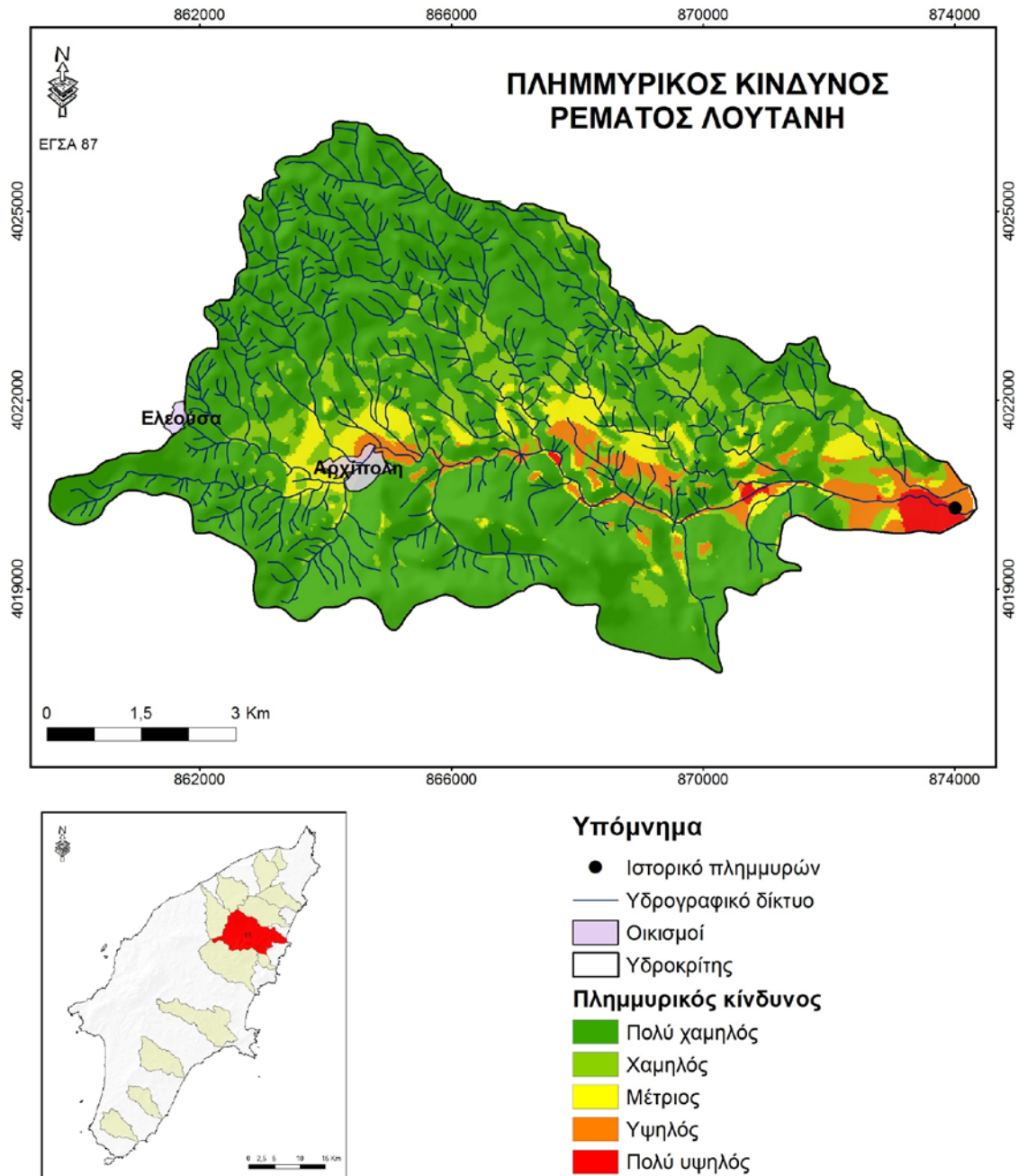
Εικ. 5. 10 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του ποταμού Μάκαρη.



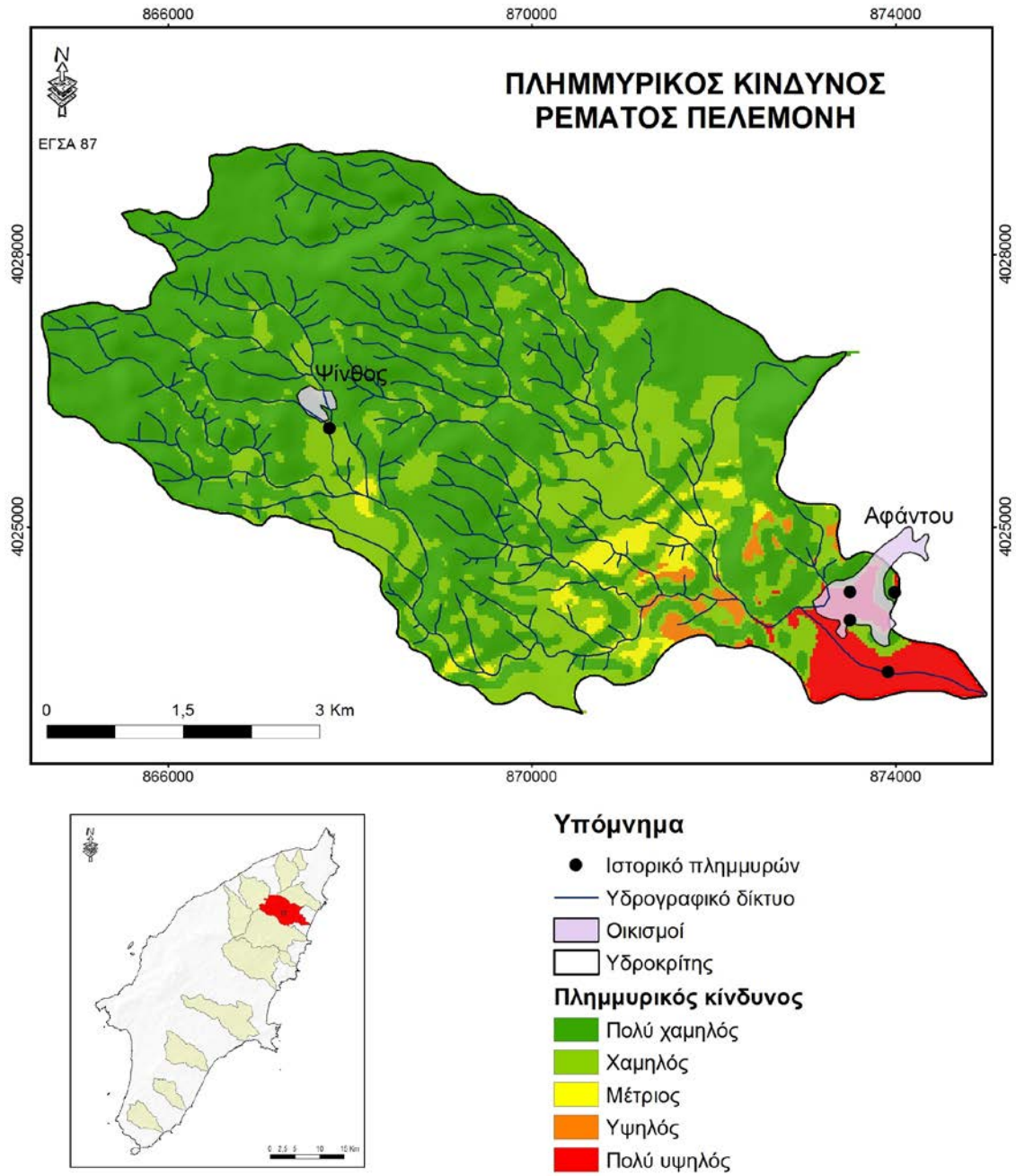
Υπόμνημα

- Ιστορικό πλημμυρών
 - Υδρογραφικό δίκτυο
 - Οικισμοί
 - Υδροκρίτης
- Πλημμυρικός κίνδυνος**
- Πολύ χαμηλός
 - Χαμηλός
 - Μέτριος
 - Υψηλός
 - Πολύ υψηλός

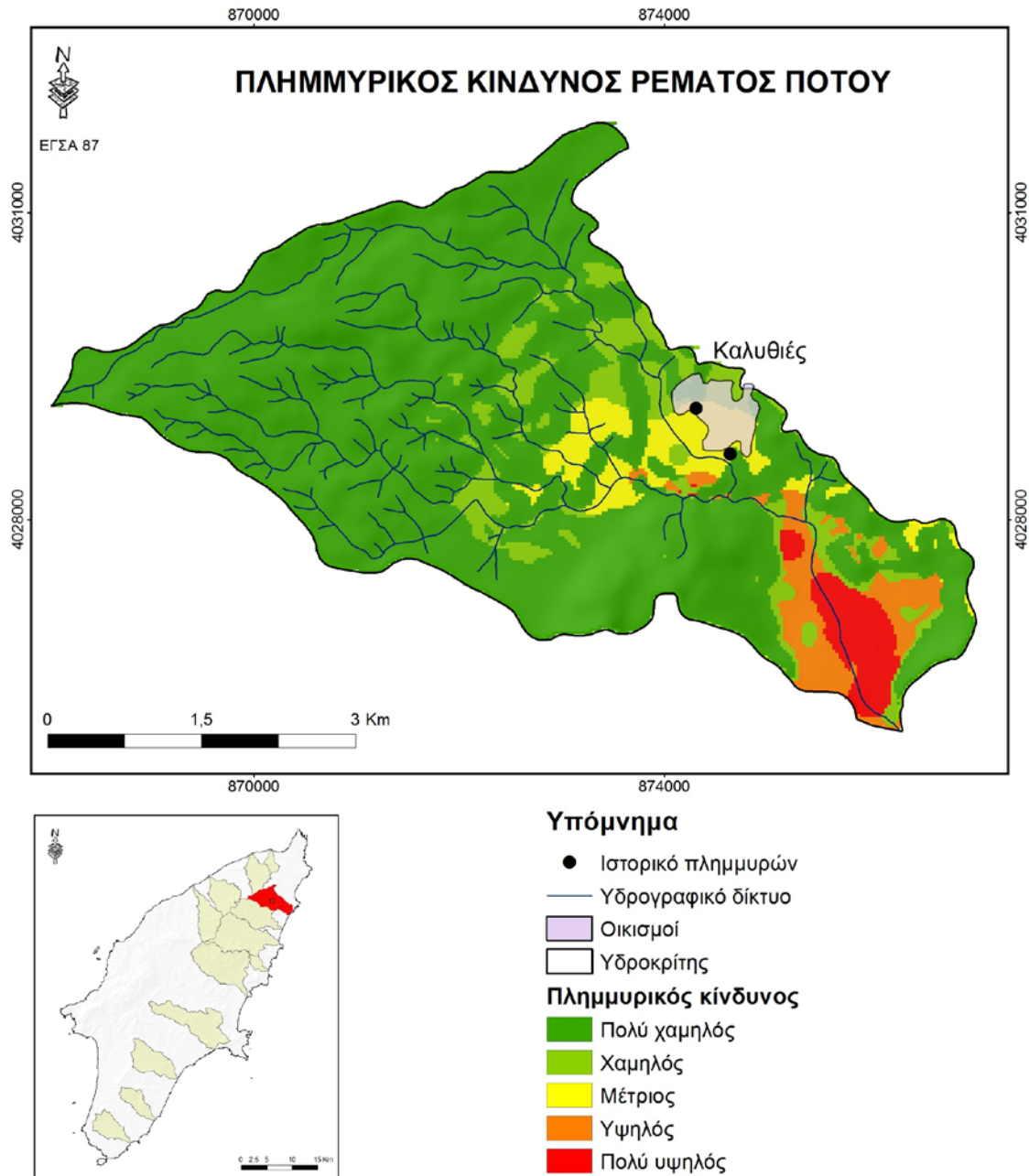
Εικ. 5. 11 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του Αρχάγγελου.



Εικ. 5. 12 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του ποταμού Λουτάνη.



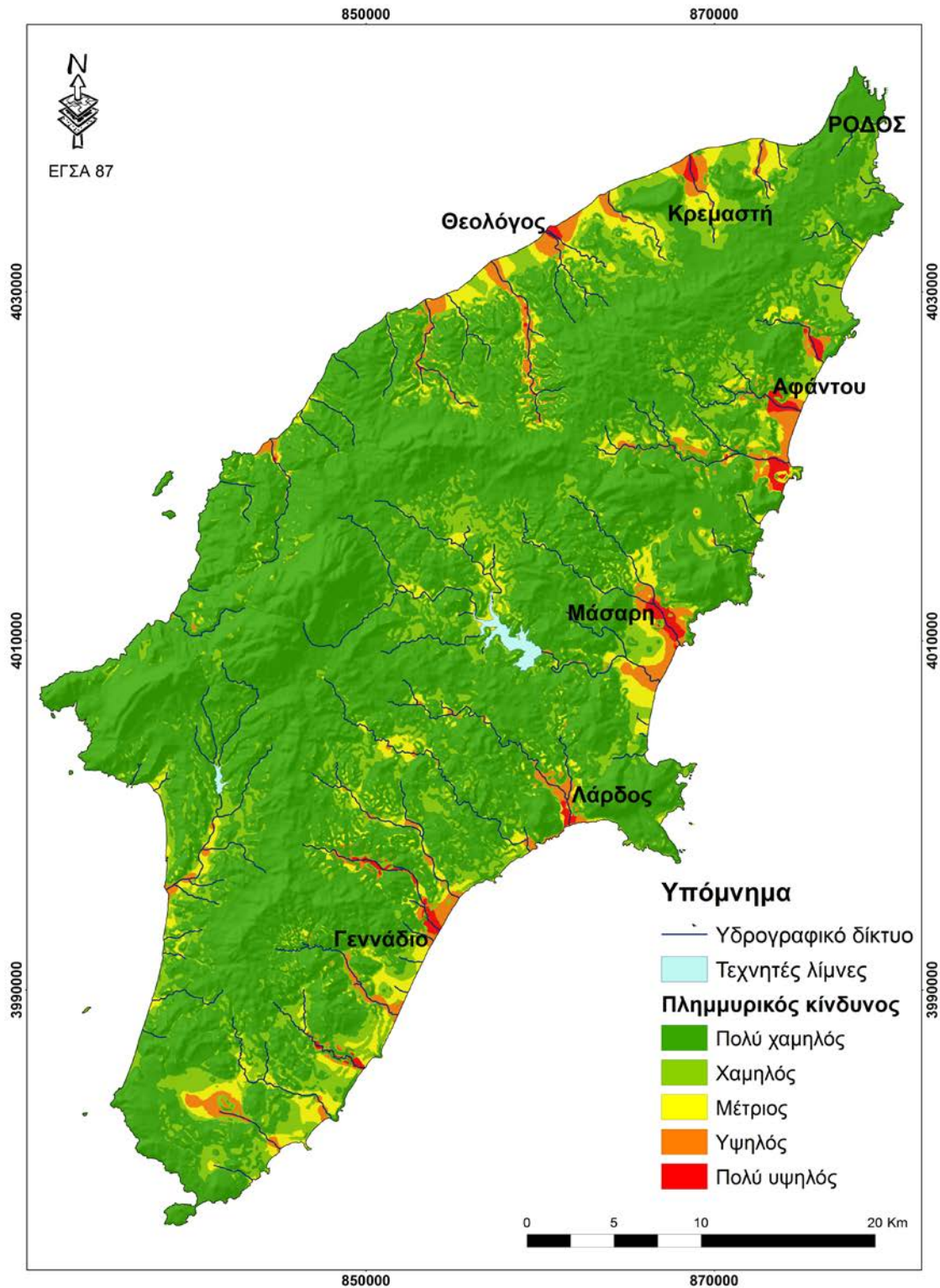
Εικ. 5. 13 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του ποταμού Πελεμόνη.



Εικ. 5. 14 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του ποταμού Πότου.

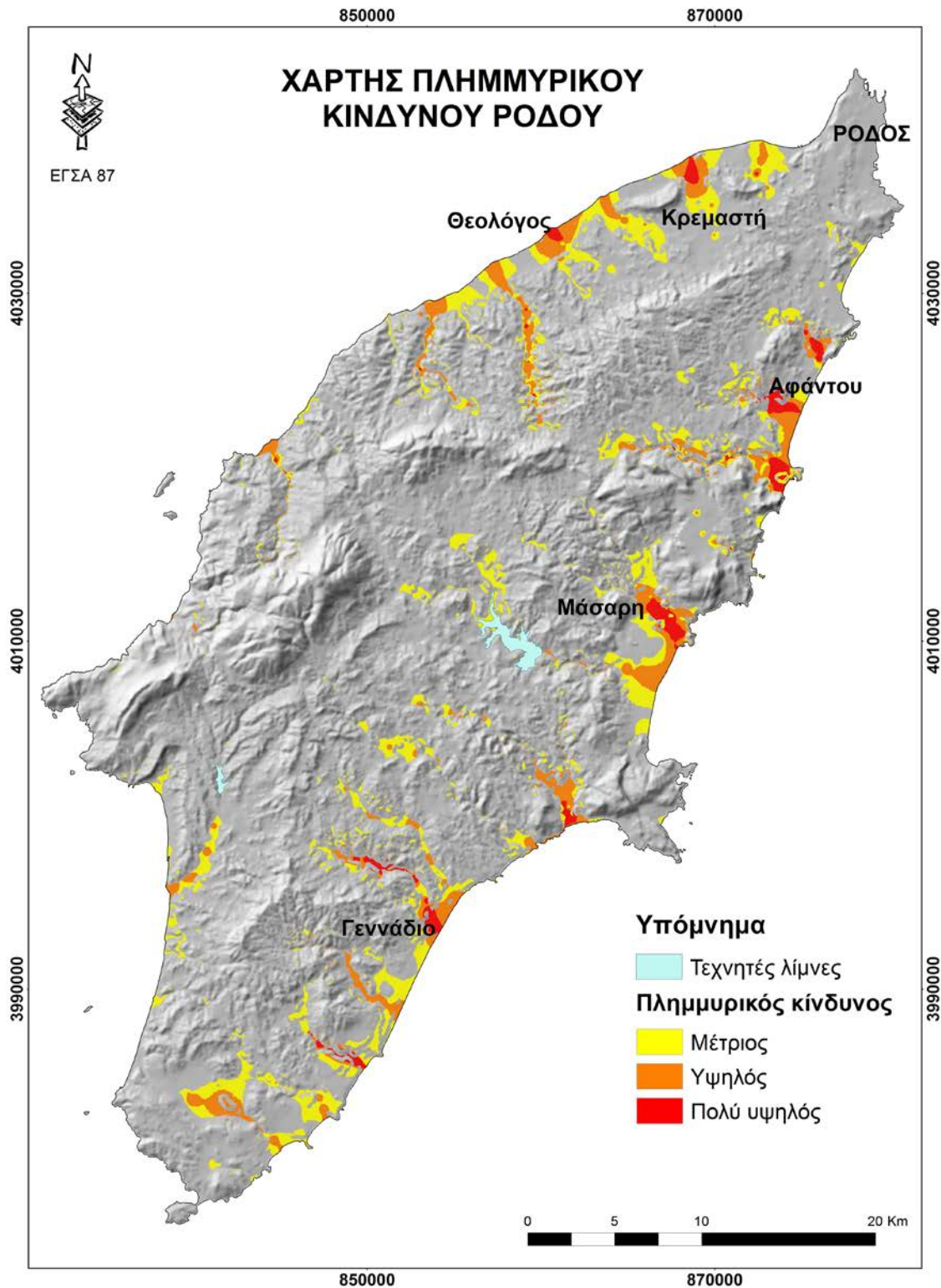
5.4. Πλημμυρικός κίνδυνος στο σύνολο της Ρόδου

Εφαρμόζοντας το μοντέλο υπολογισμού του πλημμυρικού κινδύνου για ολόκληρη τη Ρόδο προκύπτει ο χάρτης πλημμυρικού κινδύνου του νησιού (Εικ. 5.15).



Εικ. 5. 15 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου της Ρόδου

Απομονώνοντας από το χάρτη πλημμυρικού κινδύνου της Ρόδου (Εικ. 5.15) τις περιοχές που έχουν μέτριο, υψηλό και πολύ υψηλό κίνδυνο προκύπτει ο ακόλουθος χάρτης πλημμυρικού κινδύνου του νησιού (Εικ. 5.16).



Εικ. 5. 16 Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου της νήσου Ρόδου.

5.5. Συμπεράσματα

Από την ανάλυση του πλημμυρικού κινδύνου με βάση τα μορφολογικά στοιχεία των υδρολογικών λεκανών, προκύπτει διαβάθμιση των εκτάσεων του νησιού σε σχέση με τον κίνδυνο. Συνοπτικά, οι σημαντικότερες περιοχές που βαθμονομούνται στις κατηγορίες πολύ υψηλού και υψηλού κινδύνου είναι οι πεδινές εκτάσεις:

(α) του Κρεμαστέικου, του Διπόταμου, του ρ. Καραβά, του ρ. Πλατύ και της λεκάνης της Ιαλυσού, στο βόρειο και βορειο-δυτικό τμήμα της Ρόδου

(β) του Πότου, του Πελεμόνη, του Μάκαρη και του Λουτάνη στο ανατολικό και βορειοανατολικό τμήμα του νησιού

(γ) του Φονιά, του Κηπηρίωνα, του Ασκληπινού, του Γενναδινού, του Κολωνίτη και της υδρολογικής λεκάνης της Λαχανιάς στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού.

Αυτές είναι οι περιοχές στις οποίες πρέπει να εστιαστεί το ενδιαφέρον για αναλυτικότερες μελέτες υδραυλικής ανάλυσης σε συνδυασμό με μελέτες για την έκθεση σε κίνδυνο και την τρωτότητα των κατασκευών και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

6. Πλημμυρικά γεγονότα Νοεμβρίου 2013-Εργασίες πεδίου

6.1. Εισαγωγή

Η έρευνα πεδίου μετά από καταστροφικά πλημμυρικά γεγονότα είναι μια απαραίτητη διαδικασία για την διερεύνηση των αιτιών και των χαρακτηριστικών της πλημμύρας. Η συστηματικοποίηση και η τυποποίηση των συγκεκριμένων διαδικασιών έχει αναγνωρισθεί από ένα ευρύ πεδίο επιστημόνων ως απαραίτητη για την εξαγωγή σωστών συμπερασμάτων κατά το μετακαταστροφικό στάδιο (Εικ. 6.1).



Εικ. 6. 1 Οι διαδρομές που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της εργασίας πεδίου, με κόκκινο χρώμα είναι σημειωμένη η διαδρομή της πρώτης μέρας (3-1-2014), με κίτρινο είναι η διαδρομή της δεύτερης μέρας (4-1-2014) και με πράσινο της τρίτης μέρας (5-1-2014).

Επίσης, οι υποδομές και το επίπεδο ασφάλειας τους είναι ιδιαίτερα κρίσιμα για το κοινωνικό σύνολο, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών. Τα ακραία καιρικά και πλημμυρικά φαινόμενα επιφέρουν συχνά, παγκοσμίως και στον Ελληνικό χώρο, σημαντικές επιπτώσεις στις μεταφορές και στις σχετικές υποδομές αυξάνοντας:

- (i) το κόστος των καταστροφών (Barrero 2009) και
- (ii) τον κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή (French et al. 1983, Drobot et al. 2007).

Τόσο στον Ελληνικό χώρο όσο και διεθνώς, έχουν παρατηρηθεί εκτεταμένες επιπτώσεις στις μεταφορές από πλημμυρικά φαινόμενα, ενώ έχει καταγραφεί και ένας σημαντικός αριθμός θανάτων χρηστών του οδικού δικτύου (Diakakis και Deligiannakis 2013, Yale et al. 2003, Jonkman και Kelman 2005).

Κατά τη διάρκεια των πλημμυρών του Νοεμβρίου 2013 στη Ρόδο, δύο ατυχήματα επί του οδικού δικτύου στοίχησαν τη ζωή σε τέσσερις χρήστες οχημάτων, οι οποίοι διέσχισαν πλημμυρισμένα τμήματα του υδρογραφικού δικτύου.

Από την βιβλιογραφική έρευνα διαπιστώθηκε ότι τα συγκεκριμένα περιστατικά δεν ήταν μεμονωμένα καθώς τα τελευταία χρόνια έχουν καταγραφεί 60 παρόμοιοι θάνατοι. Μερικά από τα αξιοσημείωτα συμβάντα είναι τα ακόλουθα:

- 4 Νεκροί στην πλημμύρα της Ρόδου (περιοχή Χαράκι) (Οκτώβριος 1994)
- 4 Νεκροί στην πλημμύρα του Ξηριά στην περιοχή της Κορίνθου (Ιανουάριος 1997)
- 2 Νεκροί στην πλημμύρα της Ποταμούλας Αγρινίου (Οκτώβριος 2008)
- 1 Νεκρός στην πλημμύρα της Εύβοιας (Σεπτέμβριος 2009)
- 1 Νεκρή στην πλημμύρα της Αθήνας (Φεβρουάριος 2013)

Μάλιστα, ο σημαντικός αριθμός παρόμοιων περιστατικών που καταγράφεται στη βιβλιογραφία (Diakakis και Deligiannakis 2013), δείχνει το ιδιαίτερα υψηλό επίπεδο του κινδύνου.

Ιδιαίτερα υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής, και με δεδομένο ότι σύμφωνα με τα τελευταία επιστημονικά ευρήματα, η συχνότητα ακραίων φαινομένων αναμένεται να

αυξηθεί (Easterling et al. 2000), καθίσταται ιδιαίτερα κρίσιμο να αποτιμηθεί η ευπάθεια των μεταφορών και των σχετικών υποδομών σε πλημμυρικά και σε ακραία μετεωρολογικά συμβάντα.

6.2. Επιπτώσεις στις υποδομές από τις πλημμύρες του Νοεμβρίου 2013

Κατά τη διάρκεια της έρευνας υπαίθρου στη Ρόδο και της αυτοψίας των αποτελεσμάτων των πλημμυρών του Νοεμβρίου 2013 και του Ιανουαρίου 2014, παρατηρήθηκαν εκτεταμένες επιπτώσεις στις υποδομές του νησιού τόσο σε ότι αφορά:

- (i) στην ασφάλεια των οδηγών και γενικώς των μετακινουμένων στο οδικό δίκτυο
- (ii) στην επιδεκτικότητά τους σε ζημιές και καταρρεύσεις από τα πλημμυρικά ύδατα

Για το λόγο αυτό σε πρώτο στάδιο έγινε συστηματική χαρτογράφηση των κύριων υποδομών στις υδρολογικές λεκάνες της Ιαλυσού και της Κρεμαστής και διερευνήθηκε η ευπάθεια των γεφυρών και των άλλων διαβάσεων του υδρογραφικού δικτύου κατά τη διάρκεια των πλημμυρών του Νοεμβρίου 2013.

Με βάση τις επιπτώσεις που είχαν στις ανωτέρω υποδομές τα πλημμυρικά φαινόμενα, οι τελευταίες διακρίθηκαν σε 4 κατηγορίες:

(α) Υποδομές που δεν κατακλύστηκαν από πλημμυρικά ύδατα. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν κυρίως γέφυρες του οδικού δικτύου της ανώτερης βαθμίδας, οι οποίες δεν κατεκλύστησαν από τα ύδατα καθ'όλη τη διάρκεια των συμβάντων, επιτρέποντας την διεξαγωγή των μεταφορών χωρίς αυξημένο κίνδυνο.

(β) Υποδομές που υπέστησαν κατάκλυση: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται υποδομές οι οποίες κατελήφθησαν από τα πλημμυρικά ύδατα χωρίς να παρουσιάζουν άλλες επιπτώσεις όπως υλικές ζημιές ή ατυχήματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις σε αυτή την κατηγορία βρέθηκαν μικρές γέφυρες του επαρχιακού οδικού δικτύου (**Εικ. 6.2**).



Εικ. 6. 2 Μια από τις γέφυρες στην υδρολογική λεκάνη της Κρεμαστής η οποία υπέστη κατάκλυση κατά τη διάρκεια της πλημμύρας του Νοεμβρίου 2013, χωρίς να παρουσιάσει υλικές ζημιές σε κάποιο από τα τμήματά της.

(γ) Υποδομές που υπέστησαν κατάκλυση και περιορισμένες ζημιές: Στην κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται υποδομές οι οποίες κατελήφθησαν από τα πλημμυρικά ύδατα και παρουσίασαν υλικές ζημιές σε τμήματα των κιγκλιδωμάτων, του οδοστρώματος, των πλαϊνών τοιχωμάτων ή του καταστρώματος. Η κατηγορία αυτή δεν περιλαμβάνει περιπτώσεις όπου οι υλικές ζημιές ήταν τόσο εκτεταμένες ώστε να οδηγήσουν σε ολική καταστροφή της υποδομής ή μακροχρόνια διακοπή της κυκλοφορίας οχημάτων (**Εικ. 6.3**).



Εικ. 6. 3 Παράδειγμα γέφυρας στην Αφάντου, η οποία υπέστη κατάκλυση κατά τη διάρκεια των πλημμυρών του Ιανουαρίου 2014 και περιορισμένες ζημιές στα κιγκλιδώματα.

(δ) Υποδομές οι οποίες υπέστησαν κατάκλυση και κρίσιμες ζημιές σε τμήματά τους: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν υποδομές οι οποίες υπέστησαν σημαντικές ζημιές σε τμήματά τους σε βαθμό που προκάλεσε ακύρωση της χρήσης τους για μεγάλο χρονικό διάστημα ή ολική καταστροφή τους (**Εικ. 6.4**). Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται και οι ιδιαίτερα ευπαθείς “Ιρλανδικές Διαβάσεις” (**Εικ. 6.5** και **Εικ. 6.6**).

Οι τελευταίες παρότι δεν κατέγραψαν δομικές ζημιές, εντάχθηκαν σε αυτή την κατηγορία λόγω της πλήρους ακύρωσης της χρήσης τους κατά τη διάρκεια και μετά τα πλημμυρικά συμβάντα για κάποιο χρονικό διάστημα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα Ιρλανδικής Διάβασης είναι η διάβαση του ρέματος της Κρεμαστής (**Εικ. 6.7**) στην οποία καταγράφηκε το ατύχημα του Νοεμβρίου 2013.



Εικ. 6. 4 Εκτεταμένες ζημιές στο κατάστρωμα, και τη βάση στήριξης γέφυρας στην περιοχή της Κρεμαστής, οι οποίες οδήγησαν στην ολική ακύρωση της λειτουργίας της συγκεκριμένης υποδομής και επομένως στην ανάγκη ολικής επανασχεδίασής της.



Εικ. 6. 5 Πλημμυρισμένη Ιρλανδική διάβαση στην περιοχή της Αφάντου 3 ημέρες μετά το πλημμυρικό συμβάν της 2ας Ιανουαρίου 2014.



Εικ. 6. 6 Ιρλανδική διάβαση από την περιοχή της Απολακκιάς στο νότιο τμήμα του νησιού. Τα ίχνη θραυσμάτων βλάστησης και εδαφικού υλικού (debris) δείχνουν πως η συγκεκριμένη υποδομή καταλήφθηκε από πλημμυρικά ύδατα.



Εικ. 6. 7 Ιρλανδική διάβαση του ρέματος της Κρεμαστής μετά την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2013.

Η συγκεκριμένη κατηγοριοποίηση έλαβε υπόψη και τον κίνδυνο ατυχήματος κατά τη διάρκεια πλημμύρας αντιστοιχίζοντας τις κατηγορίες ευπάθειας σε κατηγορίες κινδύνου. Με βάση αυτή την κατηγοριοποίηση παρουσιάζεται στους παρακάτω χάρτες (Εικ. 6.8 και 6.9), η διαβάθμιση των επιπτώσεων των πλημμυρών του Νοεμβρίου 2013 στις υδρολογικές λεκάνες της Ιαλυσού και της Κρεμαστής. Από τη χαρτογράφηση προκύπτει ότι ένα σημαντικό ποσοστό των υποδομών των δυο λεκανών κατέγραψε σημαντικές επιπτώσεις από τις πλημμύρες καταγράφοντας φτωχή επίδοση από πλευράς ασφαλείας.

Συγκεκριμένα, για τις δύο λεκάνες (της Κρεμαστής και της Ιαλυσού) προκύπτουν τα ακόλουθα (Πίν. 6.1 και Πίν. 6.2)

Πίν. 6.1. Κατανομή υποδομών σε 4 κατηγορίες ανάλογα με τις επιπτώσεις που είχαν οι πλημμύρες του Νοεμβρίου 2013 στην λεκάνη της Κρεμαστής

Κατηγορία	Αριθμός υποδομών / Σύνολο υποδομών	Ποσοστό
(α)	6/25	24.0%
(β)	19/25	76.0%
(γ)	13/25	52.0%
(δ)	7/25	28.0%

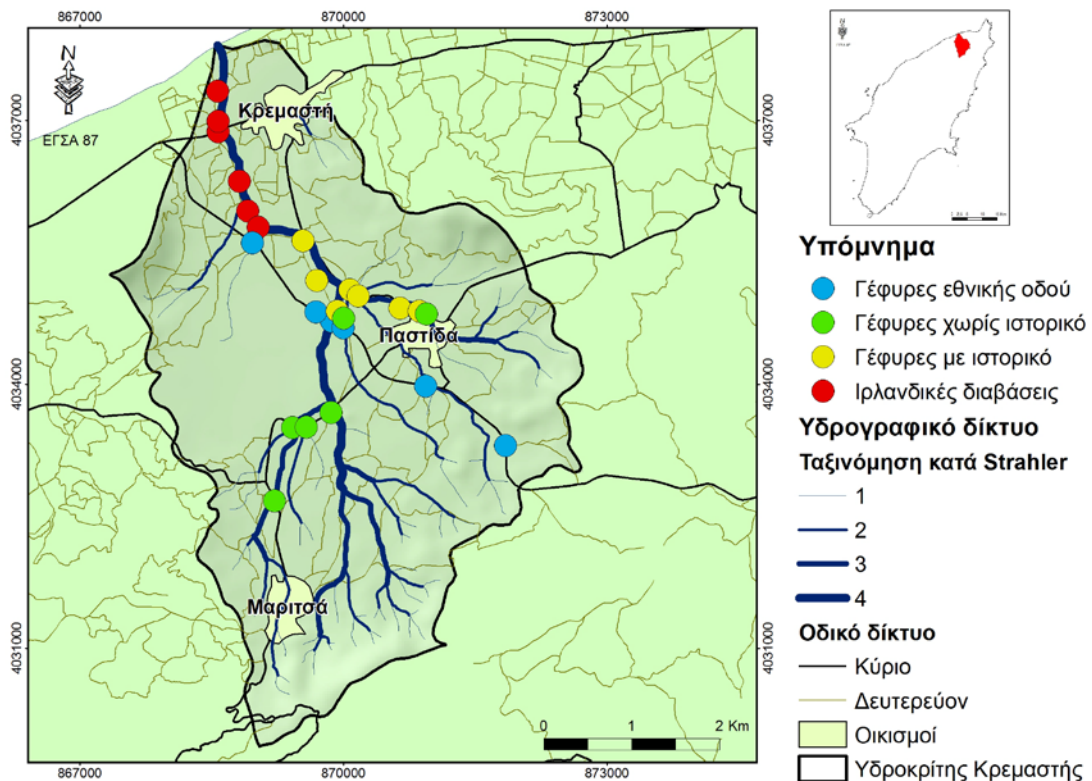
***(α) Υποδομές δεν υπέστησαν επιπτώσεις, (β) υποδομές που υπέστησαν τουλάχιστον κατάκλυση, (γ) υποδομές που υπέστησαν τουλάχιστον κατάκλυση και περιορισμένες ζημιές, (δ) υποδομές που υπέστησαν ολική καταστροφή ή ακύρωση της λειτουργίας τους**

Πίν. 6.2. Κατανομή υποδομών σε 4 κατηγορίες ανάλογα με τις επιπτώσεις που είχαν οι πλημμύρες του Νοεμβρίου 2013 στην λεκάνη της Ιαλυσού

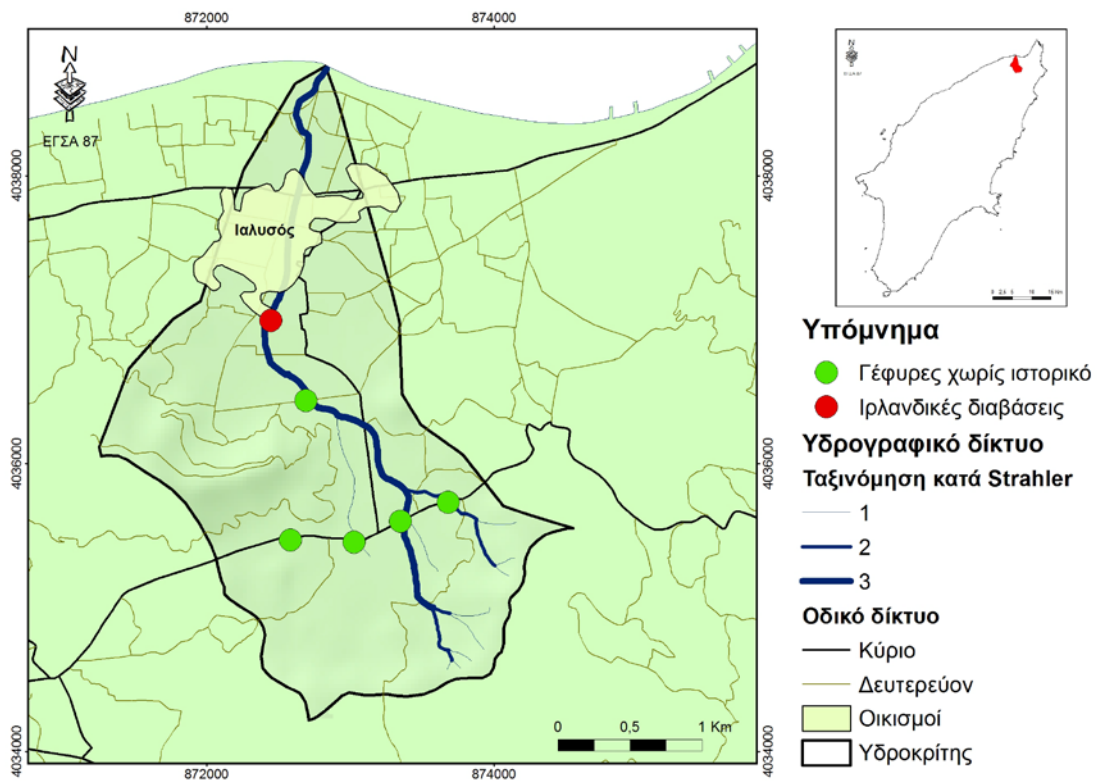
Κατηγορία	Αριθμός υποδομών / Σύνολο υποδομών	Ποσοστό
(α)	2/8	25.0%
(β)	6/8	75.0%
(γ)	2/8	25.0%
(δ)	1/8	12.5%

***(α) Υποδομές δεν υπέστησαν επιπτώσεις, (β) υποδομές που υπέστησαν τουλάχιστον κατάκλυση, (γ) υποδομές που υπέστησαν τουλάχιστον κατάκλυση και περιορισμένες ζημιές, (δ) υποδομές που υπέστησαν ολική καταστροφή ή ακύρωση της λειτουργίας τους**

Στους παρακάτω χάρτες παρουσιάζεται η βαθμονόμηση των υποδομών με βάση την έκταση των επιπτώσεων (Εικ. 6.8 και 6.9).



Εικ. 6. 8 Επιπτώσεις στις υποδομές από την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2013 στη λεκάνη της Κρεμαστής.



Εικ. 6. 9 Επιπτώσεις στις υποδομές από την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2013 στη λεκάνη της Ιαλουσού.

6.3. Έρευνα ευπάθειας υποδομών

Με βάση την ανωτέρω βαθμονόμηση έγινε χαρτογράφηση όλων των σημαντικών υποδομών του νησιού που σχετίζονται με τις μεταφορές. Κατά την έρευνα πεδίου, σε όλη την έκταση του νησιού, οι υποδομές (γέφυρες και διαβάσεις του υδρογραφικού δικτύου) κατανεμήθηκαν εμπειρικά σε τέσσερις (4) κατηγορίες ανάλογα με την ευπάθειά τους, ως ακολούθως:

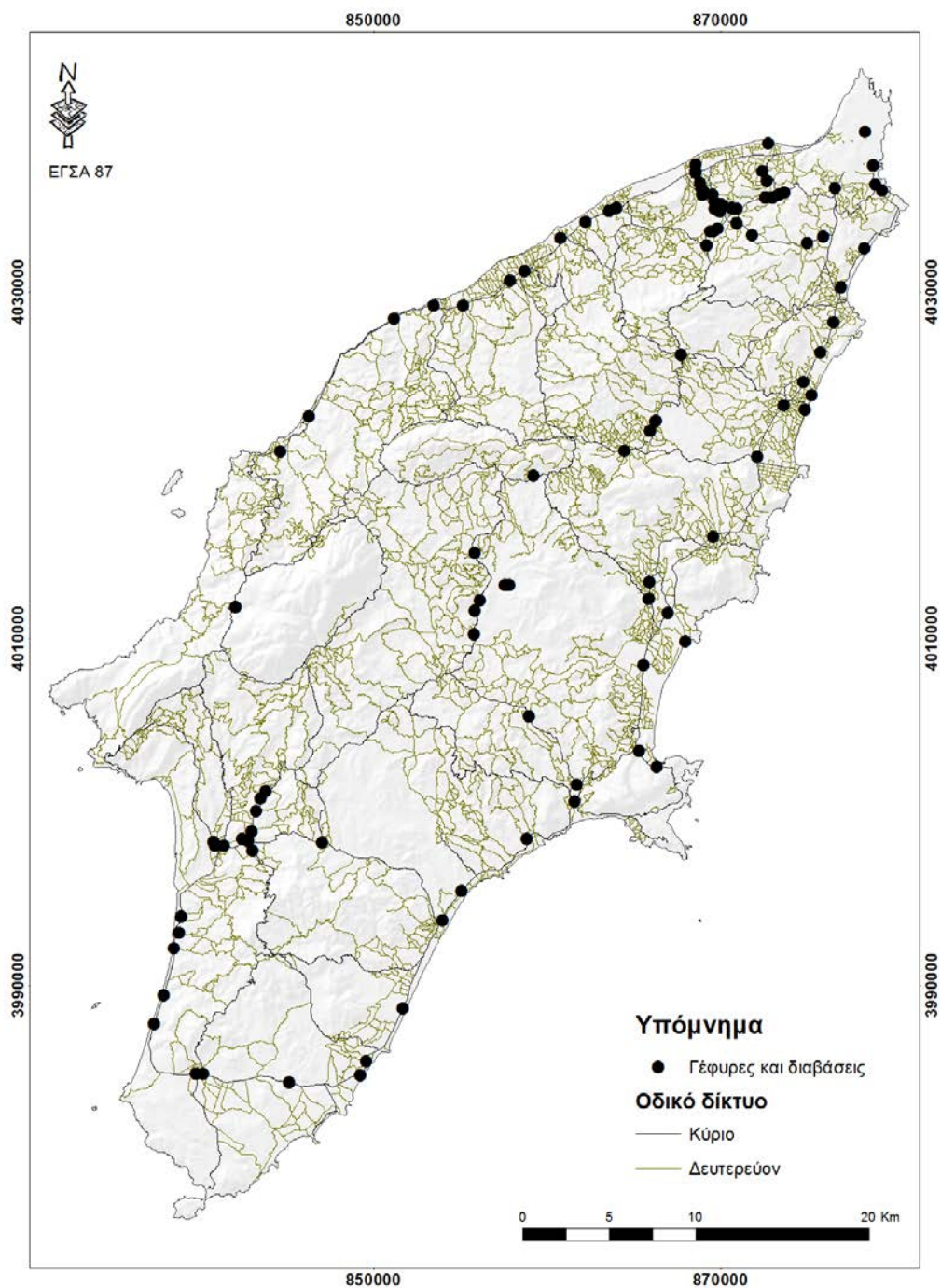
(α) Υποδομές που δεν έχουν καταγεγραμμένο ιστορικό πλημμυρών: σε αυτή την κατηγορία ανήκουν κατά κύριο λόγο οι γέφυρες του πρωτεύοντος οδικού δικτύου, οι οποίες με βάση την μέχρι τώρα εμπειρία παρουσιάζουν την καλύτερη συγκριτικά επίδοση κατά τη διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων.

(β) Υποδομές που πλημμύρισαν χωρίς να παρουσιάζουν ζημιές: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν γέφυρες του οδικού δικτύου που πλημμύρισαν χωρίς να παρουσιάσουν υλικές ζημιές στα τμήματά τους, ή που μπορεί να θεωρηθούν ευπαθείς με βάση γειτονικά παραδείγματα όταν οι πληροφορίες τους ιστορικού είναι ελλείψεις.

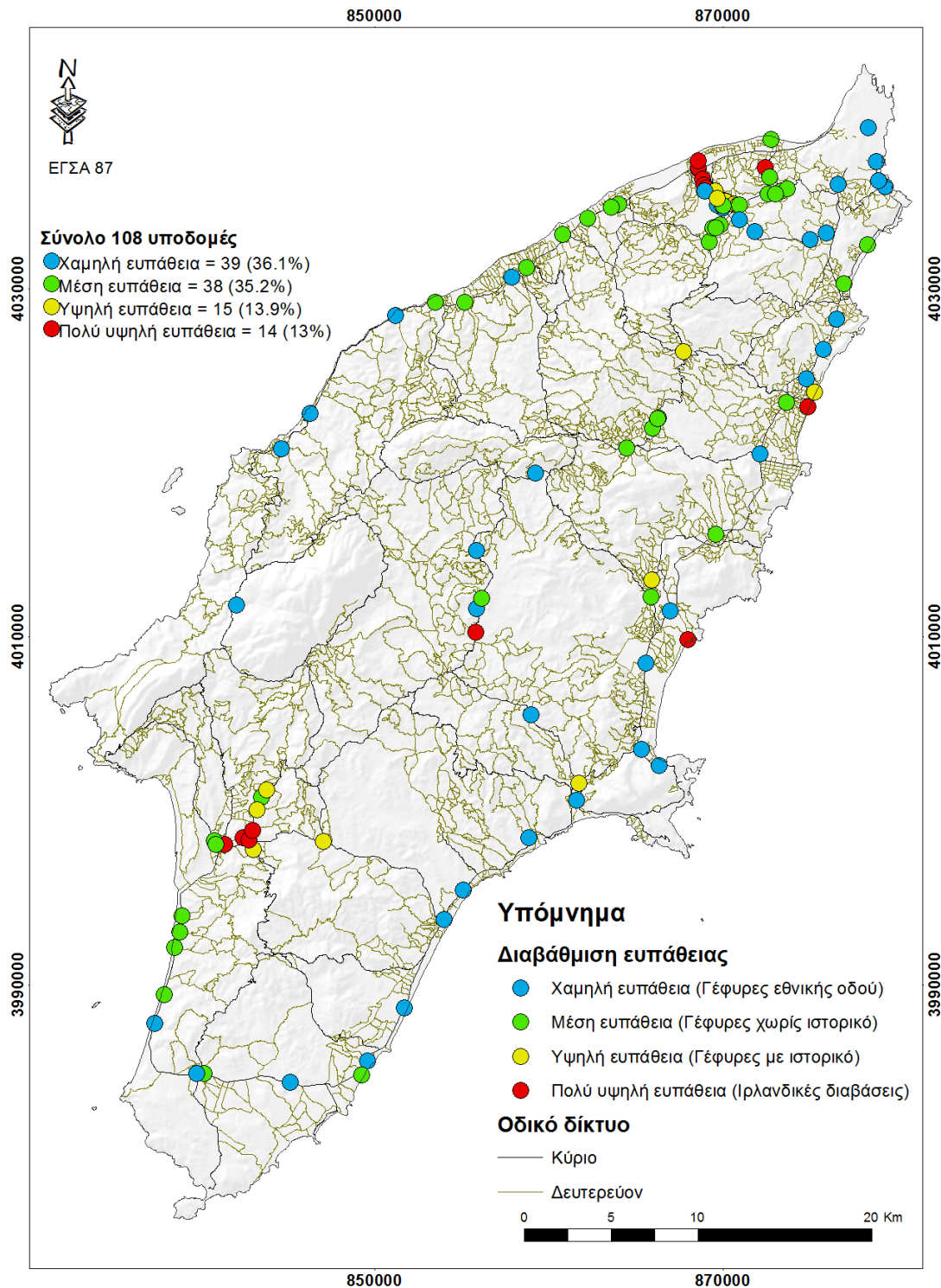
(γ) Υποδομές που έχουν ιστορικό πλημμυρών και περιορισμένων ζημιών: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν υποδομές οι οποίες παρουσίασαν ζημιές εξ αιτίας πλημμυρών στο κατάστρωμα, τα κιγκλιδώματα ή το οδόστρωμα ώστε να χρήζουν επισκευής. Οι ζημιές σε αυτή την κατηγορία δεν οδηγούν σε μακροπρόθεσμη ακύρωση της λειτουργίας της υποδομής μετά το πλημμυρικό συμβάν.

(δ) Ιδιαίτερα ευπαθείς υποδομές: Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν γέφυρες και ιρλανδικές διαβάσεις, οι οποίες έχουν ιστορικό ολικής καταστροφής ή ακύρωσης της λειτουργίας τους κατά η διάρκεια και μετά από το πλημμυρικό συμβάν.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κύριες υποδομές μεταφορών: οδικό δίκτυο, γέφυρες και διαβάσεις οι οποίες καταγράφηκαν κατά την έρευνα υπαίθρου και οι οποίες είναι πιθανόν επιδεκτικές σε πλημμυρικά φαινόμενα (**Εικ. 6.10**).



Εικ. 6. 10 Χάρτης κυριότερων υποδομών του νησιού (εκτός αεροδρομίων) που αφορούν στις μεταφορές του νησιού συμπεριλαμβανομένου του οδικού δικτύου και των διαβάσεων του υδρογραφικού δικτύου.



Εικ. 6. 11 Χάρτης ευπάθειας υποδομών σε πλημμυρικά φαινόμενα στο σύνολο της Ρόδου.

6.4. Έρευνα πεδίου μετά τις πλημμύρες

Στην περίπτωση των πλημμυρικών συμβάντων της Ιαλυσού και της Κρεμαστής το Νοέμβριο του 2013, έγινε αναλυτική έρευνα πεδίου με βάση τις πλέον σύγχρονες

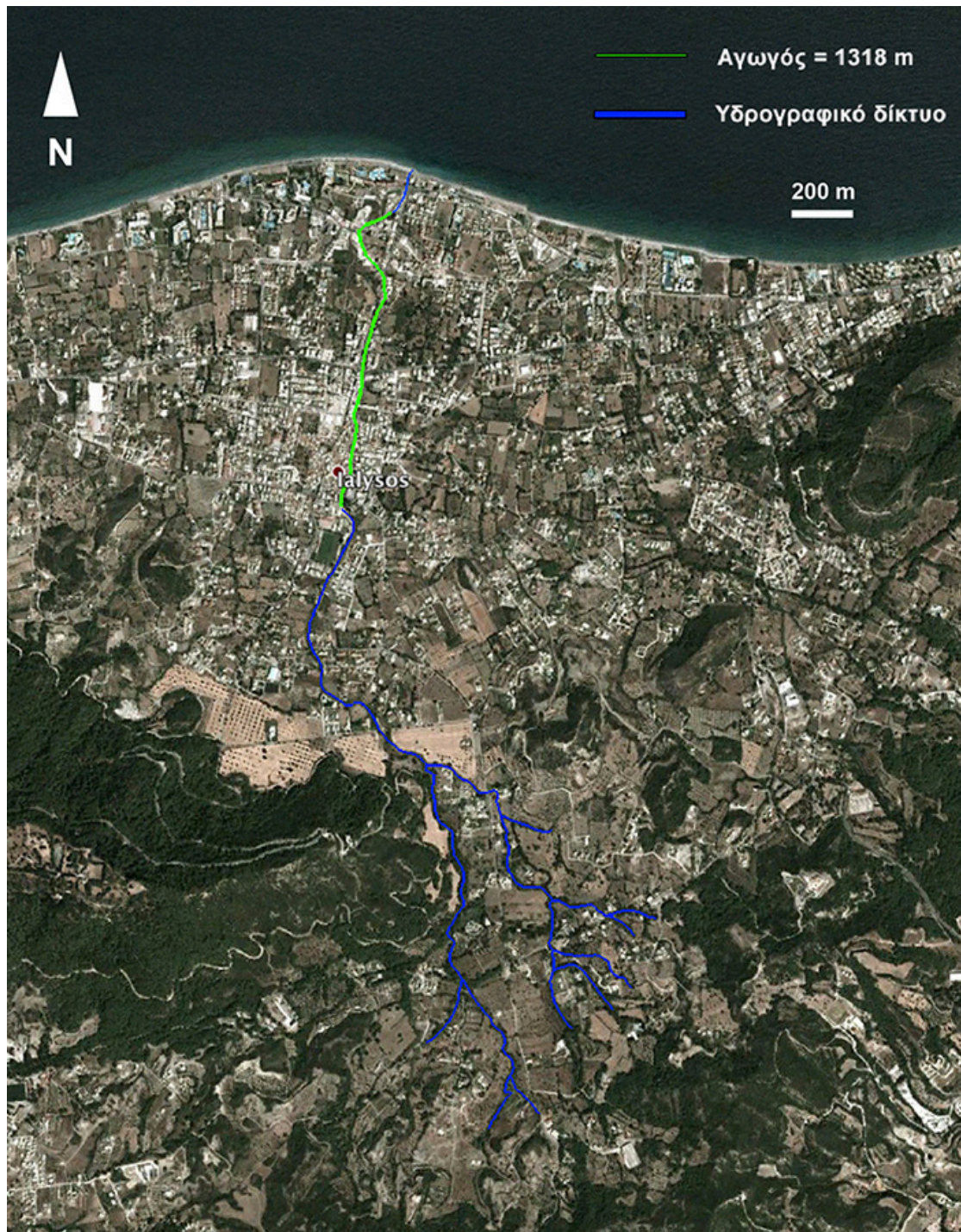
κατευθυντήριες γραμμές, όπως αυτές προτάθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος HYDRATE (Gaume και Borga 2008). Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για τη συλλογή δεδομένων παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίν. 6.3.

Πίν. 6.3. Βασικά βήματα της έρευνας υπαίθρου για τη συλλογή και την ανάλυση δεδομένων.

Συλλογή δεδομένων	Επεξεργασία Δεδομένων
<p>Φάση 1: Άμεσα μετά την πλημμύρα</p> <ul style="list-style-type: none"> • Συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων από την καταγίδα • Αρχική αναγνωριστική επίσκεψη στις πληγείσες περιοχές για λήψη στοιχείων (φωτογράφιση, μέτρηση σταθμών, αναγνώριση φύσης πλημμύρας, οριοθέτηση έκτασης πλημμύρας) 	<p>Βήμα 1: Εκτίμηση παροχών αιχμής</p> <ul style="list-style-type: none"> • Εκτίμηση παροχής αιχμής με βάση τις διατομές που μετρήθηκαν • Πρώτη εκτίμηση των παραγόντων (γεωολογικών, ανθρωπογενών, κ.α.) που προκάλεσαν την πλημμύρα
<p>Φάση 2: Ορισμένες ημέρες μετά το συμβάν</p> <ul style="list-style-type: none"> • Μέτρηση & διερεύνηση διατομών του κύριου υδατορεύματος • Συνεντεύξεις 	<p>Βήμα 2: Εκτίμηση βροχόπτωσης – απορροής</p> <ul style="list-style-type: none"> • Αρχική εκτίμηση βροχόπτωσης και απορροής με βάση εφαρμογή κάποιου αντίστοιχου μοντέλου
<p>Φάση 3: Εβδομάδες μετά το συμβάν</p> <ul style="list-style-type: none"> • Συλλογή πρόσθετων δεδομένων (υψόμετρο, χρήσεις γης, μέτρηση υποδομών) • Προετοιμασία και εφαρμογή μοντέλων βροχόπτωσης-απορροής • Επανάληψη και επαλήθευση μετρήσεων 	<p>Βήμα 3: Εκτίμηση επιπτώσεων</p> <ul style="list-style-type: none"> • Συνολική αποτίμηση επιπτώσεων πλημμύρας • Τελική καταγραφή φυσικών χαρακτηριστικών πλημμύρας • Υδραυλική προσομοίωση

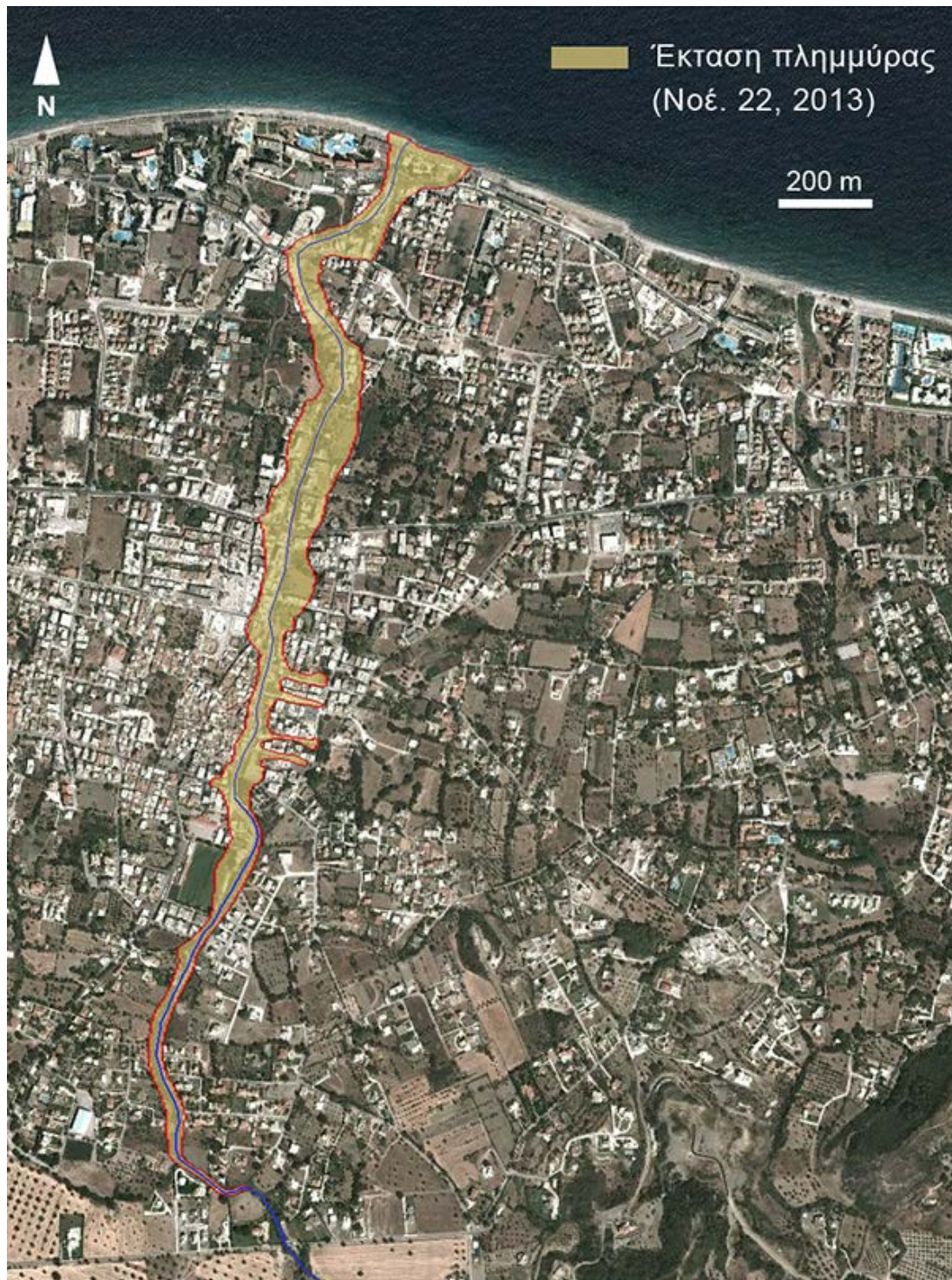
6.5. Πλημμύρα Ιαλυσού

Με βάση την έρευνα πεδίου, κατέστη δυνατό να χαρτογραφηθεί το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης της Ιαλυσού με λεπτομέρεια, σε συνδυασμό με την αποτύπωση σημαντικών αγωγών κατά μήκος του (Εικ. 6.12).



Εικ. 6. 12 Αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης της Ιαλυσού και του αγωγού από σπλισμένο σκυρόδεμα (πράσινο χρώμα) που έχει κατασκευασθεί κατά μήκος του.

Παράλληλα, χαρτογραφήθηκαν τα όρια της έκτασης της πλημμύρας με τη χρήση λεπτομερών χαρτών και φορητών συσκευών GPS. Η έκταση της πλημμύρας φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (**Εικ. 6.13**).



Εικ. 6. 13 Αποτύπωση της έκτασης της πλημμύρας στον οικισμό της Ιαλυσού στην αντίστοιχη υδρολογική λεκάνη.

Στην περίπτωση της Ιαλυσού τα πλημμυρικά φαινόμενα ξεκίνησαν να εκδηλώνονται, κατά κύριο λόγο, ανάντη και κατά μήκος του αγωγού σκυροδέματος (**Εικ. 6.14**) ο οποίος δεν κατάφερε να παραλάβει το φορτίο της παροχής το οποίο εκείνη τη στιγμή αποστραγγιζόταν μέσω του κυρίου ρέματος.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η παροχτευτικότητα του αγωγού κατά τη διάρκεια της πλημμύρας μειώθηκε δραματικά λόγω της συσσώρευσης θραυσμάτων βλάστησης στην είσοδό του (**Εικ. 6.15**). Η υπερχειλίση του ρέματος στην Ιαλυσό επέφερε σημαντικές επιπτώσεις σε περιουσίες και υποδομές (**Εικ. 6.16**).



Εικ. 6. 14 Η ανάντη πλευρά του πλακοσκεπή αγωγού κατασκευασμένος επί του κυρίου ρέματος της Ιαλυσού



Εικ. 6. 15 Συσσώρευση θραυσμάτων βλάστησης στην είσοδο του πλακοσκεπή αγωγού της Ιαλυσού



Εικ. 6. 16 Ο αντίκτυπος της πλημμύρας της 22ας Νοεμβρίου 2013 στην λεκάνη της Ιαλυσού.

6.6. Πλημμύρα Κρεμαστής

Με βάση την έρευνα πεδίου, κατέστη δυνατό να χαρτογραφηθεί το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης της Κρεμαστής με λεπτομέρεια (Εικ. 6.17). Παράλληλα, χαρτογραφήθηκαν τα όρια της έκτασης της πλημμύρας με τη χρήση λεπτομερών χαρτών και φορητών συσκευών GPS. Η έκταση της πλημμύρας φαίνεται στην Εικόνα 6.18.



Εικ. 6. 17 Αποτύπωση του υδρογραφικού δικτύου της λεκάνης της Κρεμαστής.



Εικ. 6. 18 Αποτύπωση της έκτασης της πλημμύρας στον οικισμό της Κρεμαστής στην αντίστοιχη υδρολογική λεκάνη.

Στην περίπτωση της Κρεμαστής τα πλημμυρικά φαινόμενα ξεκίνησαν να εκδηλώνονται, κατόντη του χωριού Παστίδα και μέχρι την ακτογραμμή (**Εικ. 6.18**). Η υπερχείλιση του ρέματος τόσο στην Παστίδα όσο και στην Κρεμαστή επέφερε σημαντικές επιπτώσεις σε περιουσίες και υποδομές (**Εικ. 6.19**) και προκάλεσε το θάνατο 4 ανθρώπων σε δύο ατυχήματα συσχετιζόμενα με τη χρήση οχημάτων.



Εικ. 6. 19 Επιπτώσεις από την πλημμύρα της 22ας Νοεμβρίου 2013 στην υδρολογική λεκάνη της Κρεμαστής.

6.7. Εκτιμήσεις για τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας

Για την πλημμύρα της Ιαλυσού, με σκοπό να εκτιμηθεί η απόδοση του πλακοσκεπούς αγωγού, υπολογίσθηκαν τα φυσικά χαρακτηριστικά των πλημμυρικών υδάτων κατά το πλημμυρικό συμβάν της 22^{ας} Νοεμβρίου 2013.

(α) Παροχή αιχμής

Η παροχή αιχμής υπολογίσθηκε με την εξίσωση Gauckler–Manning (Manning 1891 και Flammant 1891).

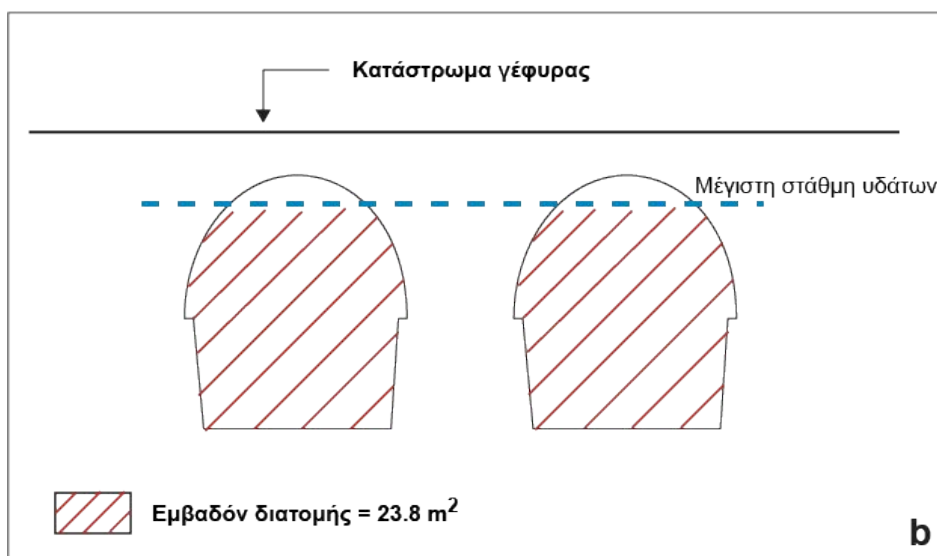
$$Q = \frac{1}{n} \times A \times (R)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Όπου A το εμβαδόν της υγρής διατομής, S η κλίση του ρέματος, n ο συντελεστής τραχύτητας Manning, Q η παροχή, R είναι η υδραυλική ακτίνα της διατομής του

ρέματος η οποία ισούται με το κλάσμα της επιφάνειας υγρής διατομής (A) διά την υγρή διατομή (P).

$$R = \frac{A}{P}$$

Στην περίπτωση της Ιαλυσού η παροχή αιχμής υπολογίστηκε από την διατομή στην γέφυρα που έχει κατασκευασθεί στην κάθετη οδό που ενώνει στις οδούς Φιλερήμου και Δημοκρίτου της οδού (Εικ. 6.20).



Εικ. 6. 20 (α) Φωτογραφία της γέφυρας στην είσοδο του ρέματος στον οικισμό της Ιαλυσού και (β) σχηματική αναπαράσταση της γεωμετρίας της διατομής και υπολογισμός του εμβαδού της κατά την απορροή αιχμής στη διάρκεια της πλημμυρικής παροχής της πλημμύρας του Νοεμβρίου 2013.

Για τον υπολογισμό της διατομής στην ανωτέρω θέση έγιναν μετρήσεις του πλάτους και του ύψους της κατασκευής, ενώ προσδιορίστηκε και η ανώτερη στάθμη που έφτασε το νερό στην παροχή αιχμής. Με βάση τις μετρήσεις και απλές γεωμετρικές πράξεις προσδιορίστηκε το εμβαδόν της διατομής.

$$\text{Εμβαδόν Διατομής} = 23.8 \text{ m}^2$$

Ομοίως υπολογίστηκε και η βρεχόμενη περίμετρος (P)

$$\text{Βρεχόμενη περίμετρος} = 25.2 \text{ m}$$

Ως τιμή συντελεστή τριβής manning λήφθηκε η τυπική τιμή η οποία καταγράφεται σε διεθνή εγχειρίδια.

$$\text{Τιμή Συντελεστή Manning} = 0.020$$

Με βάση τις ανωτέρω τιμές και την εφαρμογή τους στην εξίσωση Gauckler – Manning η παροχή αιχμής εκτιμάται ως εξής:

$$Q_1 = \frac{1}{n} \times A \times (R)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.020} \cdot 23.8 \cdot \left(\frac{23.8}{25.2}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot 0.006^{\frac{1}{2}} = 88.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_1 = 88.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

(β) Χρόνος παροχής αιχμής

Στην περίπτωση της Ιαλυσού ο χρόνος της παροχής αιχμής από μαρτυρίες και οπτικό υλικό (βίντεο) προσδιορίστηκε στις 15.40 Μ.Μ. έως τις 16.00 Μ.Μ. της 22ας Νοεμβρίου 2013.

(γ) Χρονική απόσταση (lag) παροχής αιχμής από αιχμή βροχόπτωσης

Στην περίπτωση της Ιαλυσού ο χρόνος της παροχής αιχμής εμφανίστηκε μεταξύ 15 και 30 λεπτών της ώρας μετά την αιχμή της βροχόπτωσης στις 15.20-15.30 Μ.Μ της 22ας Νοεμβρίου 2013.

(δ) Απόδοση του πλακοσκεπούς αγωγού



Εικ. 6. 21 Διατομή στην είσοδο του πλακοσκεπούς αγωγού.

Στην περίπτωση του πλακοσκεπούς αγωγού της Ιαλυσού (Εικ. 6.20), υπολογίσθηκε η διατομή στην είσοδο του ως εξής:

$$\text{Εμβαδόν Διατομής} = Y * \Pi = 2 * 5.5 = 11.0 \text{ m}^2$$

Με βάση αυτή τη διατομή (μέγιστη διατομή αγωγού) μπορεί να εκτιμηθεί η ανώτερη δυνατότητα παροχής που μπορεί να παραλάβει, χρησιμοποιώντας την εξίσωση Darcy-Weisbach, η οποία δίνει τη μέση ταχύτητα των υδάτων και μέσω αυτής την παροχή ενός κλειστού αγωγού. Η εξίσωση αυτή χρησιμοποιείται για κλειστούς αγωγούς:

$$h_f = f \frac{L U^2}{D 2g}$$

Όπου: h_f : η απώλεια φορτίου,
 f : ο συντελεστής τριβής που προκύπτει με βάση τον αριθμό Re από το διάγραμμα Moody,
 L : το μήκος του αγωγού,
 D : η υδραυλική ακτίνα,
 U : η ταχύτητα των υδάτων,
 g : η επιτάχυνση της βαρύτητας

Με βάση την εξίσωση αυτή αν λύσουμε ως προς την ταχύτητα (U) τότε υπολογίζουμε την δυνατότητα παροχής του αγωγού (**Πίν. 6.4**).

Πίν. 6.4 Υπολογισμός της δυνατότητας παροχής του αγωγού με βάση την εξίσωση Darcy-Weisbach για κλειστούς αγωγούς.

Παράμετρος	Τιμή
h_f	15
f	0.028
L	1318 m
D	1.46
g	9,81 m ² /s
A (εμβαδόν διατομής)	11.0 m ²
Υπολογισμός ταχύτητας με βάση την παραπάνω σχέση	
U	4.04 m/s
Παροχή $Q = U \times A$	44.5 m³/s

Κατά συνέπεια, με βάση την εφαρμογή της σχέσης Darcy-Weisbach για τον πλακοσκεπή αγωγό της Ιαλυσού μπορεί να εκτιμηθεί η μέγιστη δυνατότητα παροχής του αγωγού:

$$Q_2 = 44,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Στο σημείο αυτό πρέπει βέβαια να σημειωθεί ότι στην δυνατότητα παροχής του αγωγού επιδρά η ύπαρξη αντικειμένων ή εδαφικού υλικού μέσα σε αυτόν ή στην είσοδό του, τα οποία μπορεί να επηρεάζουν την παροχεταιυτικότητα του. Η ύπαρξη τέτοιων αντικειμένων διαπιστώθηκε κατά την έρευνα πεδίου (**Εικ. 6.15**).

Κατά συνέπεια, ο ανωτέρω υπολογισμός αποτελεί μια εκτίμηση της μέγιστης δυνατότητας παροχής του πλακοσκεπούς αγωγού. Κατά το συμβάν του Νοεμβρίου 2013, λόγω της ύπαρξης θραυσμάτων και ατελειών (έγκοιλα, σωλήνες, άλλα αντικείμενα) εντός του αγωγού, η δυνατότητα παροχής εκτιμάται ότι υπέστη

σημαντικές διακυμάνσεις και τελικώς μειώθηκε σε πολύ σημαντικό βαθμό, ο οποίος όμως δεν μπορεί να προσδιορισθεί με ακρίβεια.

Παρόλα αυτά, από τη σύγκριση και μόνο των δύο παροχών στις δύο ανωτέρω θέσεις ($Q1=88.7 \text{ m}^3/\text{s}$ και $Q2=44.5 \text{ m}^3/\text{s}$) γίνεται εμφανές ότι η πλημμυρική παροχή ήταν τέτοια που ακόμα και χωρίς την μείωση της παροχεταιυτικότητας από τα θραύσματα βλάστησης ο αγωγός δεν θα μπορούσε να παραλάβει το φορτίο.

6.8. Συμπεράσματα

Από την έρευνα πεδίου προκύπτει ότι ένα πολύ σημαντικό ποσοστό των υποδομών μεταφορών στη Ρόδο είναι ευπαθείς σε πλημμυρικά φαινόμενα. Συγκεκριμένα 67 από τις 106 σημαντικότερες υποδομές (63%) στις οποίες έγινε αυτοψία διαπιστώθηκε μέση ή μεγαλύτερη ευπάθεια σε πλημμυρικά φαινόμενα ενώ σε ένα ποσοστό 26.9% (περισσότερο από το $\frac{1}{4}$) διαπιστώθηκε υψηλή ή μεγαλύτερη ευπάθεια.

Από την παρούσα ανάλυση και από την εμπειρία στις επιπτώσεις ακραίων καιρικών και πλημμυρικών φαινομένων προκύπτει ότι θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις υποδομές και στο ρόλο τους κατά τη διάρκεια πλημμυρικών φαινομένων με προτεραιότητα στις υποδομές πολύ υψηλής ευπάθειας. Οι συνθήκες ασφαλείας θα πρέπει να ελεγχθούν, και θα πρέπει να εξετασθούν οι συνθήκες φωτισμού και η σήμανση των θέσεων αυτών.

7. Υδρολογική προσομοίωση

7.1. Εισαγωγή

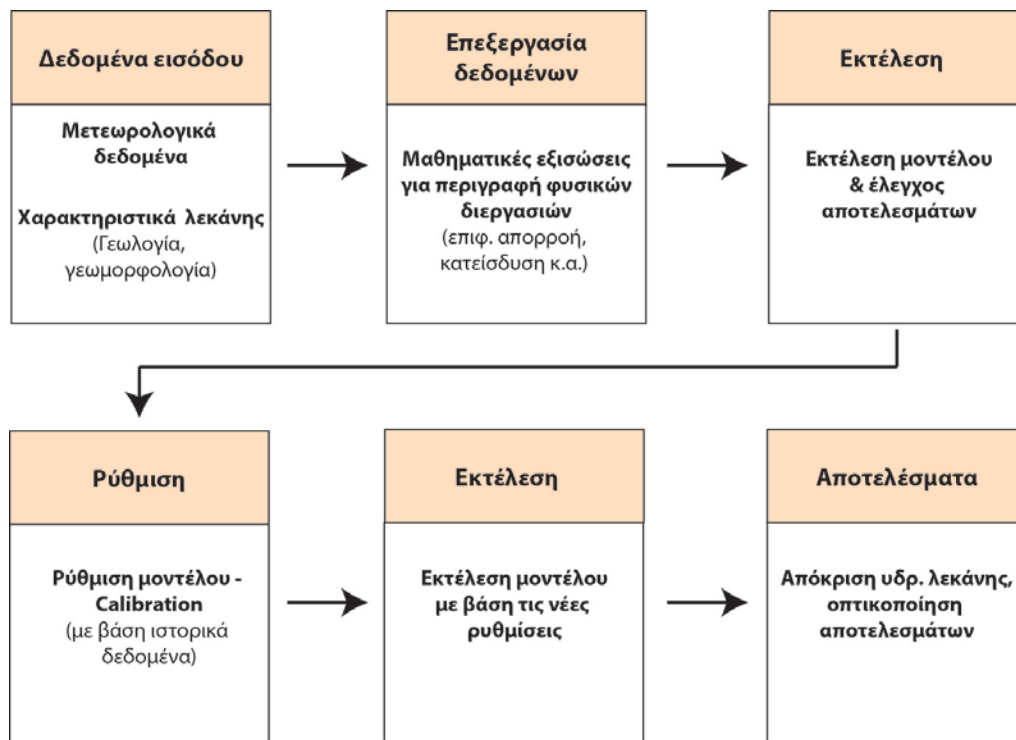
Μετά τον προσδιορισμό των θέσεων υψηλού κινδύνου πλημμυρών με βάση την ανάλυση του πλημμυρικού ιστορικού (Κεφ. 4), και την ανάλυση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών των λεκανών (Κεφ. 5) προκύπτει η ανάγκη για ακριβή οριοθέτηση και ποσοτικοποίηση του κινδύνου πλημμύρας ιδίως στις δύο υδρολογικές λεκάνες (Κρεμαστής και Ιαλυσού) που υπέστησαν τα πλημμυρικά φαινόμενα του Νοεμβρίου 2013. Για το σκοπό, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος μονοδιάστατης υδραυλικής προσομοίωσης.

Για την εφαρμογή της υδραυλικής προσομοίωσης, κατά κανόνα σε ιδανικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται αρχεία με χρονοσειρές υδρολογικών παραμέτρων, όπως οι απορροές ενός υδατικού συστήματος. Ωστόσο, λόγω της έλλειψης μετρήσεων παροχής, είναι αναγκαία η χρήση υδρολογικών μοντέλων, τα οποία προσομοιώνουν το μέγεθος της απορροής με βάση τα υδρογεωλογικά και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά μιας λεκάνης χρησιμοποιώντας τη βροχόπτωση ως δεδομένο εισόδου.

Η έννοια του υδρολογικού μοντέλου θα μπορούσε να αποδοθεί ως ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων, οι οποίες περιγράφουν τις υδρογεωλογικές διεργασίες που υπεισέρχονται στη διαδικασία μετατροπής των κατακρημνισμάτων σε απορροή. Τα μοντέλα αυτά εστιάζουν στην ποσοτική εκτίμηση υδρολογικών μεταβλητών είτε στο επίπεδο ενός μεμονωμένου γεγονότος, είτε στη διαχρονική εξέλιξη του ισοζυγίου των υδατικών πόρων μιας οντότητας (π.χ. υδρολογική λεκάνη).

Στον τομέα του πλημμυρικού κινδύνου, η χρήση υδρολογικών μοντέλων αναλύει την υδρολογική λειτουργία των ποτάμιων λεκανών, εστιάζοντας κυρίως σε ζητήματα, όπως η εκτίμηση των απορροών ο προσδιορισμός των συντελεστών της θεμελιώδους εξίσωσης της υδρολογίας και επιμέρους παραγόντων όπως ο χρόνος των διαφόρων διεργασιών. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή των υδρολογικών μοντέλων ξεκινά από τον προσδιορισμό των παραμέτρων που εμπλέκονται και τη συλλογή των σχετικών

δεδομένων. Ακολουθεί η περιγραφή των φυσικών διεργασιών, οι οποίες περιγράφονται με μαθηματικές εξισώσεις και η εκτέλεση των αλγορίθμων αυτών, οι οποίοι στοχεύουν στο να προσομοιώσουν την απόκριση μιας υδρολογικής λεκάνης σε μια τυχαία φόρτιση (π.χ. βροχόπτωση). Στο επόμενο σχήμα δίνεται μια διαγραμματική απεικόνιση της δομής αυτής των υδρολογικών μοντέλων (**Εικ. 7.1**).



Εικ. 7. 1 Δομή υδρολογικού μοντέλου για την προσομοίωση της απορροής σε μια υδρολογική λεκάνη με δεδομένα εισόδου τα χαρακτηριστικά της και μετεωρολογικά δεδομένα

Με δεδομένη τη διαθεσιμότητα δεδομένων στην περιοχή μελέτης επιλέχθηκε το μονοδιάστατο μοντέλο HEC-RAS (HEC 2002). Μεταξύ των πλεονεκτημάτων του συγκεκριμένου μοντέλου είναι η δυνατότητα λειτουργίας του με τα υπάρχοντα δεδομένα (τοπογραφικά και μετεωρολογικά), αλλά και η συμβατότητα και η δυνατότητα συνλειτουργίας με το ευρέως χρησιμοποιούμενο λογισμικό γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών ArcGIS (ESRI 2011).

Το HEC-RAS είναι μοντέλο μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος, το οποίο προσομοιώνει τεχνητά ή φυσικά υδατορεύματα. Το μοντέλο μπορεί να πραγματοποιήσει υπολογισμούς τόσο για συνθήκες μόνιμης όσο και μη μόνιμης ροής. Η γενική φιλοσοφία της ανάπτυξης της προσομοίωσης περιλαμβάνει την ακριβή αναπαράσταση του υποβάθρου (η οποία μπορεί να εισάγεται από λογισμικό GIS), τον

προσδιορισμό των συνθηκών ροής, την εκτέλεση της προσομοίωσης και την γραφική παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε περιβάλλον GIS. Το μοντέλο έχει δυνατότητα να προσομοιώσει την στάθμη του νερού και τις ιδιότητες του, αλλά και την μεταφορά και απόθεση ιζημάτων

Το μοντέλο αυτό έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει τη ροή των υδάτων σε φυσικά ή τεχνητά υδατορεύματα, σε επίπεδο μεμονωμένου γεγονότος με την επίλυση μονοδιάστατης ανάλυσης της ροής η οποία βασίζεται στις εξισώσεις μόνιμης ροής (Εξίσωση Ενέργειας - Hydrologic Engineering Center 2010):

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

όπου:

Y_1, Y_2 είναι το βάθος της κοίτης σε δύο τυχαία σημεία της υδάτινης επιφάνειας ενός υδατορεύματος,

Z_1, Z_2 είναι το υψόμετρο της κοίτης στα δύο αυτά σημεία,

V_1, V_2 είναι οι μέσες ταχύτητες των υδάτων στα δύο σημεία

α_1, α_2 είναι συντελεστές βαρύτητας των ταχυτήτων V_1 και V_2

g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας

h_e είναι η απώλεια ενέργειας μεταξύ των δύο σημείων

αλλά και εξισώσεις μη μόνιμης ροής (Εξίσωση Ορμής - Hydrologic Engineering Center 2010):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right)$$

όπου:

S_f είναι ένας συντελεστής που καθορίζει τις απώλειες της τριβής της ροής

$\partial Q/\partial t$ είναι η μεταβολή της παροχής με το χρόνο

g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας

A είναι η διατομή του υπό μελέτη αγωγού /υδατορεύματος

$\partial z/\partial x$ είναι η μεταβολή του υψομέτρου της επιφάνειας του νερού

Δεδομένα εισόδου για το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελούν (α) το ακριβές ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου σε μορφή TIN, (β) η γεωμετρία της φυσικής κοίτης, (γ) η γεωμετρία όλων των τεχνητών παρεμβάσεων σε αυτήν, (δ) οι συντελεστές τριβής Manning για την κοίτη και το πλημμυρικό πεδίο και (ε) η παροχή για την οποία θα γίνει η προσομοίωση. Τα αποτελέσματα μπορούν να εξαχθούν είτε ως βάση δεδομένων είτε οπτικοποιημένα μέσω GIS. Το μοντέλο μεταξύ άλλων προσομοιώνει την έκταση της κατάκλυσης, το βάθος των υδάτων και την ταχύτητά τους.

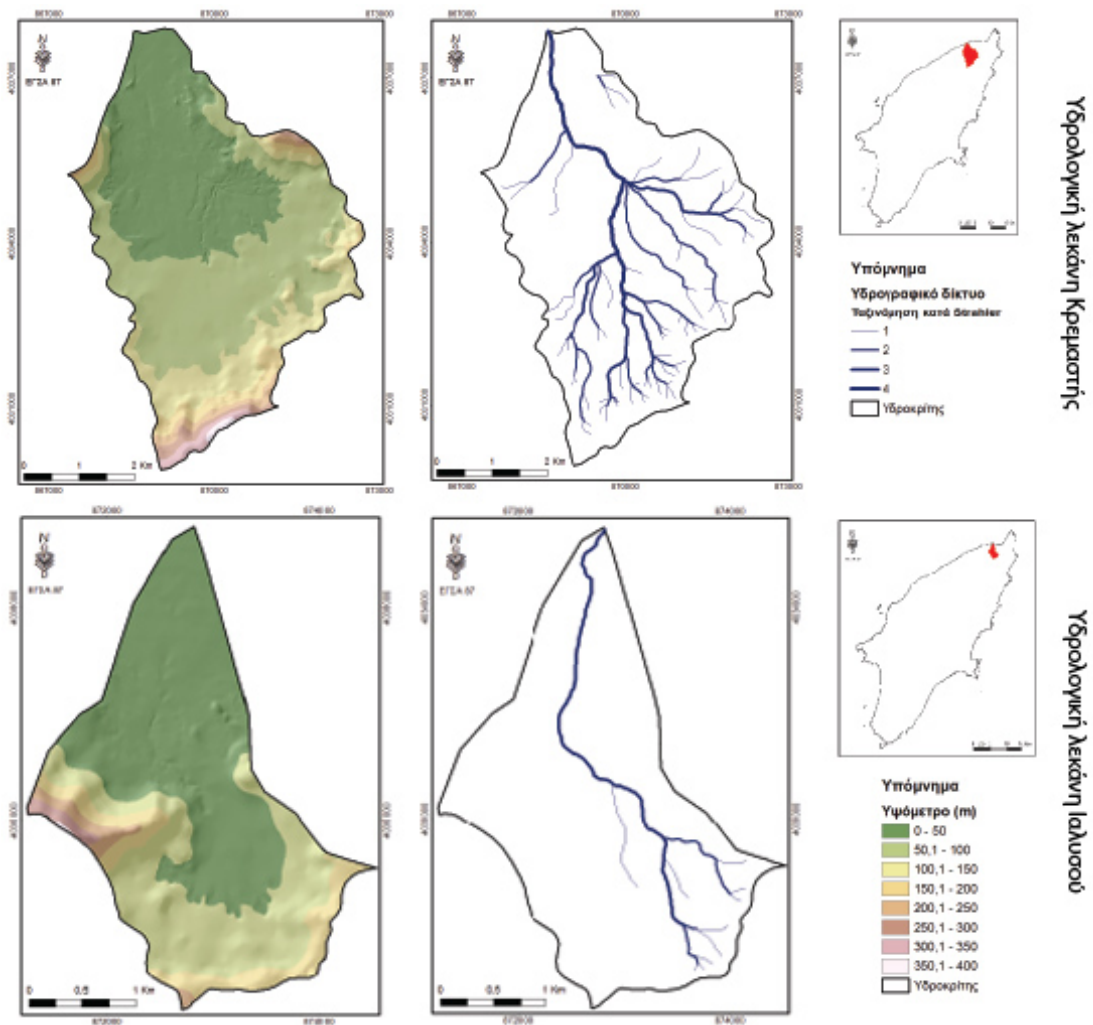
7.2. Δεδομένα και μεθοδολογία

7.2.1. Περιοχή εφαρμογής

Η μέθοδος της υδραυλικής προσομοίωσης εφαρμόστηκε στην περιοχή των πλημμυρικών πεδίων των λεκανών της Κρεμαστής και της Ιαλυσού (**Εικ. 7.2**), στις περιοχές όπου η ιστορική και η γεωμορφολογική προσέγγιση έδειξαν υψηλό κίνδυνο.

Η επιλογή για την εφαρμογή στα συγκεκριμένα υδατορεύματα έγινε με κριτήρια:

- i. την ύπαρξη λεπτομερούς καταγραφής του πλημμυρικού ιστορικού το οποίο είναι απαραίτητο για τη ρύθμιση (calibration) και έλεγχο ορθότητας των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης.
- ii. το επαρκές δίκτυο βροχομέτρων που είναι εγκατεστημένο στις δύο υδρολογικές λεκάνες διατηρώντας καταγραφές καλής ποιότητας.
- iii. την διαθεσιμότητα καλής ποιότητας στοιχείων για την τοπογραφία της περιοχής (ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης ενός μέτρου).
- iv. τη δυνατότητα σύγκρισης των αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών μεθοδολογιών όπως είναι η ιστορική και η γεωμορφολογική προσέγγιση.



Εικ. 7. 2 Χάρτες του αναγλύφου και του υδρογραφικού δικτύου των υδρολογικών λεκανών της Ιαλυσού και της Κρεμαστής.

7.2.2 Διαστασιολόγηση ρεμάτων

Για την εφαρμογή έγινε διαστασιολόγηση των δύο ρεμάτων στο πεδίο, έγιναν με χρήση δύο τηλέμετρων (Laser rangefinders):

- Leica Disto A5 (ακρίβεια 1.5mm)
- Bushnell Elite 1500 (ακρίβεια 0.5m)

Οι μετρήσεις επαναλήφθηκαν τρεις φορές για λόγους ακρίβειας, ενώ χρησιμοποιήθηκε και τυπική μετρητική ταινία για επαλήθευση. Η διαστασιολόγηση ήταν απαραίτητη για την ακριβή αναπαράσταση των πραγματικών διαστάσεων στο ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου που χρησιμοποιήθηκε για την εκτέλεση του μοντέλου. Σε αυτή τη διεργασία ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στις τεχνητές παρεμβάσεις, όπως γέφυρες, τοίχοι αντιστήριξης κλπ.

7.2.3. Χρόνος συγκέντρωσης

Για να υπολογιστεί ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης, για λόγους αξιοπιστίας, χρησιμοποιήθηκαν τρεις τύποι υπολογισμού:

Τύπος Giandotti

Ο χρόνος υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta H}}$$

όπου: T_c : ο χρόνος συρροής σε hr

A: η έκταση της λεκάνης σε km²

L: το μήκος του κύριου κλάδου σε km

ΔH : η υψομετρική διαφορά μεταξύ του μέσου υψομέτρου της λεκάνης και του σημείου εξόδου της λεκάνης

Τύπος Kirpich

Ο χρόνος υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$T_c = 0.01947L^{0.775}S^{-0.385}$$

όπου: T_c : ο χρόνος συρροής (σε min)

L: το μέγιστο μήκος διαδρομής του νερού μέσα στην λεκάνη (σε m)

ΔH : η κλίση (σε m/m) όπως προκύπτει από το λόγο H/L, με H η υψομετρική διαφορά μεταξύ του πιο απομακρυσμένου σημείου και του σημείου εξόδου της λεκάνης.

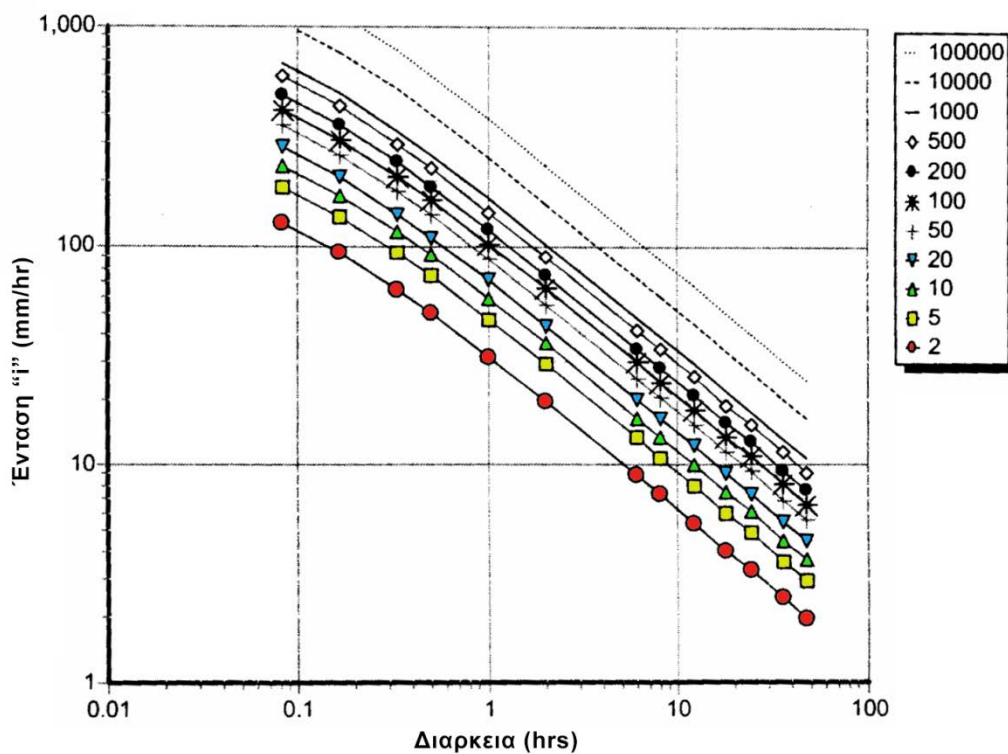
Από τους χρόνους που προέκυψαν από τις ανωτέρω εξισώσεις, υπολογίσθηκε ο μέσος όρος των δύο τιμών για κάθε λεκάνη (Πίν. 7.1).

Πίν 7.1. Μέσες τιμές χρόνου συρροής για τις λεκάνες τις Ιαλυσού και της Κρεμαστής.

Υδρολογική λεκάνη	Κρεμαστής	Ιαλυσού
Χρόνος συρροής (hr)	3,93	2,43

7.2.4 Καταιγίδες σχεδιασμού

Ως δεδομένα εισόδου από πλευράς μετεωρολογίας χρησιμοποιήθηκαν οι καταιγίδες σχεδιασμού των 50 ετών. Για την κατάρτιση των καταιγίδων σχεδιασμού χρησιμοποιήθηκαν οι όμβριες καμπύλες που έχουν αναπτυχθεί για την περιοχή της Ρόδου από τους Κώτσης (2005), οι οποίες διαμορφώθηκαν με βάση τις ευρύτερες υπάρχουσες χρονοσειρές βροχόπτωσης στην περιοχή. Οι όμβριες καμπύλες της περιοχής μελέτης προκύπτουν από το παρακάτω διάγραμμα (Κώτσης 2005) (Εικ. 7.3).



Εικ. 7. 3 Διάγραμμα όμβριων καμπυλών για την περιοχή της Ρόδου (προσαρμοσμένο από Κώτσης 2005).

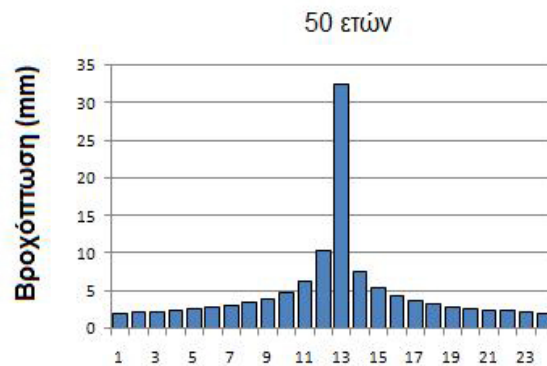
Από τις όμβριες καμπύλες προκύπτουν μπορούν να προκύψουν οι καταιγίδες σχεδιασμού. Ως διάρκεια της καταιγίδας σχεδιασμού για κάθε μια από τις δύο λεκάνες χρησιμοποιήθηκε ο χρόνο συγκέντρωσης της κάθε μίας. Το συνολικό ύψος βροχής των καταιγίδων σχεδιασμού παρουσιάζεται παρακάτω (Πίν. 7.2)

Πίν 7.2. Μέσες τιμές χρόνου συρροής για τις λεκάνες τις Ιαλυσού και της Κρεμαστής.

Υδρολογική λεκάνη	Κρεμαστής	Ιαλυσού
Ύψος βροχής καταιγίδας σχεδιασμού (mm)	125,7	104,5

7.2.5. Διάταξη υετογραφήματος

Με βάση αυτά τα ύψη, οι καταιγίδες σχεδιασμού καταρτίστηκαν με τη χρήση της μεθόδου «Εναλλασσόμενων Μπλοκ» (Alternating Blocks Technique) (Sutcliffe 1978, Chow et al. 1998). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή τα τμηματικά ύψη βροχής διατάσσονται συμμετρικά και ταυτόχρονα σε φθίνουσα σειρά γύρω από την κεντρική τιμή, η οποία συμπίπτει με το μέγιστο τμηματικό ύψος βροχής (Στάμος και Κουτσογιάννης 2004). Σύμφωνα με τα παραπάνω αναπτύχθηκε το γραφήμα της καταιγίδας σχεδιασμού 50 ετών για την περιοχή μελέτης (**Εικ. 7.4**).



Εικ. 7.4 Υετογράφημα καταιγίδας σχεδιασμού

7.2.6. Υπολογισμός απωλειών και ανάπτυξη υδρογραφήματος

Για το διαχωρισμό υδρολογικών απωλειών και καθαρού υετογραφήματος στο ολικό υετογράφημα χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εμπειρική σχέση του Soil Conservation Service (1972), γνωστή ως μέθοδος SCS:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)}$$

όπου: Q: η απορροή σε inches

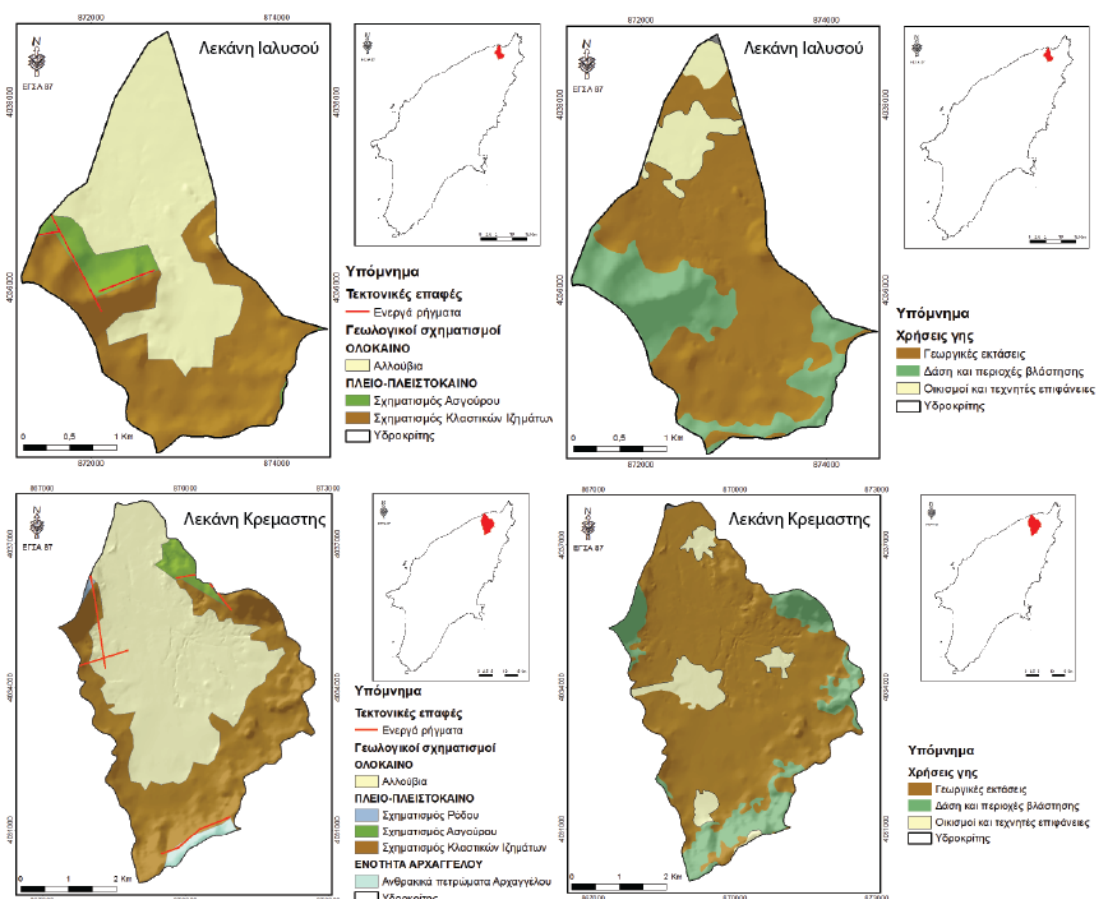
P: η βροχόπτωση σε inches

S: ο συντελεστής ειδικής κατακράτισης, ο οποίος προκύπτει από τον αριθμό καμπύλης CN μέσα από την σχέση:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

όπου: CN: ο αριθμός καμπύλης της υδρολογικής λεκάνης της υδρολογικής λεκάνης ο οποίος υπολογίζεται με βάση τη χρήση γης, το είδος του εδαφικού υλικού (γεωλογία) και τις συνθήκες αποστράγγισης.

Επιπρόσθετα, για τον υπολογισμό του συντελεστή CN χαρτογραφήθηκαν οι χρήσεις γης και οι γεωλογικοί σχηματισμοί στις δύο υπό μελέτη υδρολογικές λεκάνες (**Εικ. 7.5**).



Εικ. 7. 5 Χάρτες γεωλογικών σχηματισμών και χρήσεων γης των υδρολογικών λεκανών της Ιαλυσού και της Κρεμαστής.

Οι τιμές του CN ανάλογα με τα παραπάνω δεδομένα δίνονται από τους αντίστοιχους πίνακες στο εγχειρίδιο της μεθόδου (NRCS 2004) ως εξής:

Πίν. 7.3. Μέσες τιμές συντελεστή καμπύλης (CN) των υδρολογικών λεκανών της Ιαλυσού και της Κρεμαστής

Υδρολογική λεκάνη	Κρεμαστής	Ιαλυσού
Μέση τιμή συντελεστή CN	68	69

Με βάση τους ανωτέρω συντελεστές, τις καταιγίδες σχεδιασμού και τον υπολογισμό των απωλειών (Q) προκύπτουν τα συνθετικά υδρογραφήματα στις δύο λεκάνες.

Πίν. 7.4. Υπολογιζόμενη παροχή αιχμής του υδρογραφήματος σχεδιασμού στις υδρολογικές λεκάνες της Ιαλυσού και της Κρεμαστής.

Υδρολογική λεκάνη	Κρεμαστής	Ιαλυσού
Παροχή αιχμής σχεδιασμού	234.5 m ³ /s	144.3 m ³ /s

7.2.7. Ανάπτυξη ψηφιακού μοντέλου

Η δημιουργία του γεωμετρικού αρχείου πραγματοποιήθηκε μέσω της επέκτασης HEC-GeoRAS του ArcMap. Τα βήματα που συνθέτουν τη διαδικασία καθορίστηκαν από το ίδιο το λογισμικό (HEC 2002) και συνοψίζονται ως εξής:

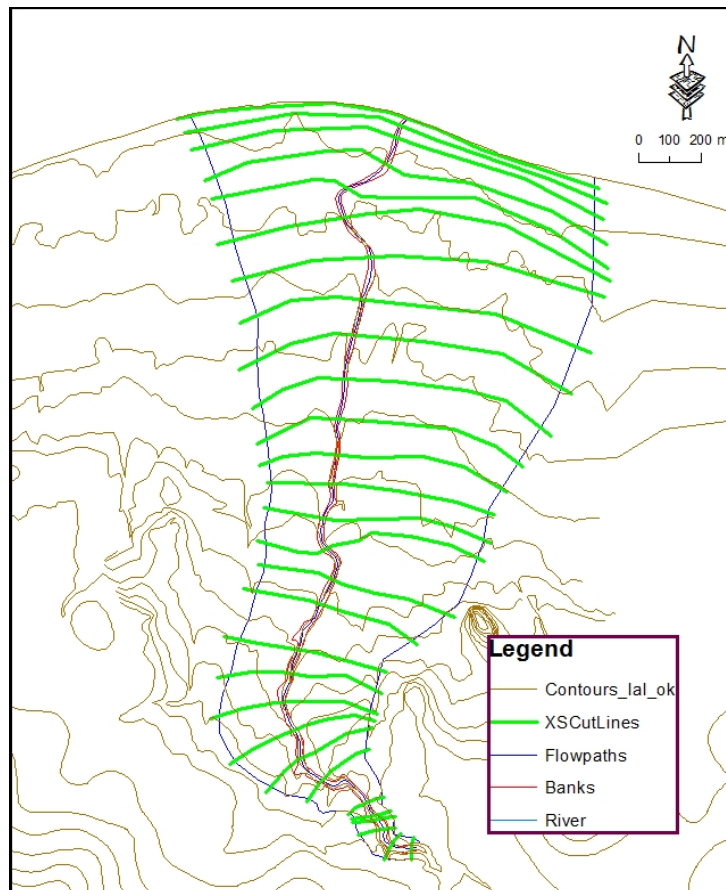
1. Παραγωγή ισοϋψών και ψηφιακού μοντέλου εδάφους
2. Δημιουργία θεματικών επιπέδων
3. Χάραξη κύριας γραμμής ροής
4. Χάραξη όχθων του κύριου ρέματος
5. Προσδιορισμός των κύριων διευθύνσεων ροής
6. Οριοθέτηση διατομών
7. Αποτύπωση κατασκευών
8. Οριοθέτηση περιοχών ανενεργού ροής
9. Οριοθέτηση χρήσεων γης, και συντελεστή Manning
10. Σύνθεση θεματικών επιπέδων και εξαγωγή γεωμετρικού αρχείου

Παραγωγή ισοϋψών και ψηφιακού μοντέλου εδάφους: Οι ισοϋψείς καμπύλες προκύπτουν από την ψηφιοποίηση χαρτών κλίμακας 1:5000. Οι ισοϋψείς καμπύλες χρησιμεύουν στην καλύτερη εποπτεία των υψομετρικών διαφορών της περιοχής μελέτης για την ακριβέστερη χάραξη της κοίτης του ποταμού. Επικουρικά σε αυτό το στάδιο μπορεί να λειτουργήσει η χρήση αεροφωτογραφιών.

Δημιουργία θεματικών επιπέδων (RAS Layers): Τα RAS Layers είναι τα θεματικά επίπεδα που περιέχουν πληροφορίες και δεδομένα για τη γεωμετρία του ποταμού και της περιοχής μελέτης. Με την επιλογή RAS Geometry / Create RAS Layers στο

εργαλείο HEC-GeoRAS σε περιβάλλον GIS, δημιουργείται μια κενή βάση δεδομένων για το εκάστοτε θεματικό επίπεδο. Στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκαν πέντε θεματικά επίπεδα: (a) Κύρια γραμμή ροής ποταμού, (b) Όχθες ποταμού, (c) Κύριες διευθύνσεις ροής, (d) Διατομές ποταμού, (e) Χρήσεις γης.

- a) **Χάραξη κύριας γραμμή ροής (River- Stream centerline):** Με βάση το υδρογραφικό δίκτυο του μοντέλου εδάφους ψηφιοποιείται η κύρια γραμμή ροής του υδατορέματος που ενδιαφέρει. Η ψηφιοποίηση γίνεται κατά τη φορά της ροής.
- b) **Χάραξη όχθων του κύριου ρέματος (Banks):** Οι όχθες του ποταμού χαράσσονται ως δύο γραμμές εκατέρωθεν της κύριας γραμμής του, οι οποίες διαχωρίζουν τη ροή εντός και εκτός της κοίτης του ποταμού.
- c) **Οριοθέτηση διατομών (XSCut Lines):** Το θεματικό επίπεδο αυτό αφορά στην κατασκευή διατομών σε αντιπροσωπευτικές θέσεις του ποταμού. Οι διατομές αυτές πρέπει πάντα να σχεδιάζονται κάθετα στη ροή του ποταμού, από αριστερά προς δεξιά κοιτώντας προς τα κατάντη και να καλύπτουν όλη την περιοχή κατάκλυσης. Για να σχεδιαστούν οι διατομές όσο το δυνατόν πιο κάθετα στη ροή του ποταμού είναι επιθυμητό να έχουν ήδη κατασκευαστεί οι κύριες διευθύνσεις της ροής.
- d) **Αποτύπωση κατασκευών και οριοθέτηση περιοχών ανενεργού ροής (IneffAreas , BlockedObs):** Το θεματικό επίπεδο αυτό αφορά την οριοθέτηση περιοχών, όπου δεν υπάρχει ενεργή ροή αλλά στασιμότητα των υδάτων ή κατασκευές που τα εμποδίζουν. Η οριοθέτηση αυτή γίνεται με κατασκευή πολυγώνων.
- e) **Οριοθέτηση χρήσεων γης, και συντελεστή Manning (LandUse, N_Value):** Στο θεματικό επίπεδο αυτό οριοθετούνται οι χρήσεις γης με βάση την κατανομή του CORINE 2000. Με βάση την οριοθέτηση αυτή, προσδιορίζεται για κάθε χρήση γης, ο συντελεστής τραχύτητας του εδάφους (συντελεστής Manning), ο οποίος καθορίζει την ταχύτητα ροής των υδάτων.



Εικ. 7. 6 Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας παραγωγής Ras αρχείων για την περιοχή της Ιαλυσού

Ακολούθως, με βάση το γεωμετρικό αρχείο και τα δεδομένα ροής (ανωτέρω υπολογισμοί παροχής αιχμής) εκτελείται το μοντέλο HEC-RAS. Το μοντέλο HEC-RAS είναι ένα πολυχρηστικό εργαλείο για τη μονοδιάστατη ανάλυση και προσομοίωση φυσικών υδατορευμάτων. Πρόκειται για ένα σύνολο μοντέλων με 4 συνιστώσες ανάλυσης:

1. Υπολογισμός του προφίλ της ελεύθερης επιφάνειας σε συνθήκες μόνιμης ροής
2. Υπολογισμοί σε συνθήκες μη μόνιμης ροής
3. Υπολογισμοί απόθεσης φερτών υλών
4. Υπολογισμοί σχετικά με τη θερμοκρασία του νερού

Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο έχει τη δυνατότητα υπολογισμού της στάθμης του νερού για βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή σε δίκτυο τεχνητών αγωγών, σε σύστημα υδατορευμάτων με τεχνικά έργα ή φυσικές κοίτες σε συνθήκες υποκρίσιμης ή υπερκρίσιμης ροής. Αναλυτικότερα τα βήματα που συνθέτουν τη διαδικασία υδραυλικής προσομοίωσης συνοψίζονται ως εξής:

1. Εισαγωγή γεωμετρικών δεδομένων

2. Εισαγωγή υδρολογικών δεδομένων
3. Ρύθμιση παραμέτρων και εκτέλεση υδραυλικών υπολογισμών στο HEC-RAS
4. Εξαγωγή αποτελεσμάτων στο HEC-GeoRAS
5. Σύνθεση πιεζομετρικών χαρτών
6. Σύνθεση χαρτών πλημμυρικής κατάκλυσης

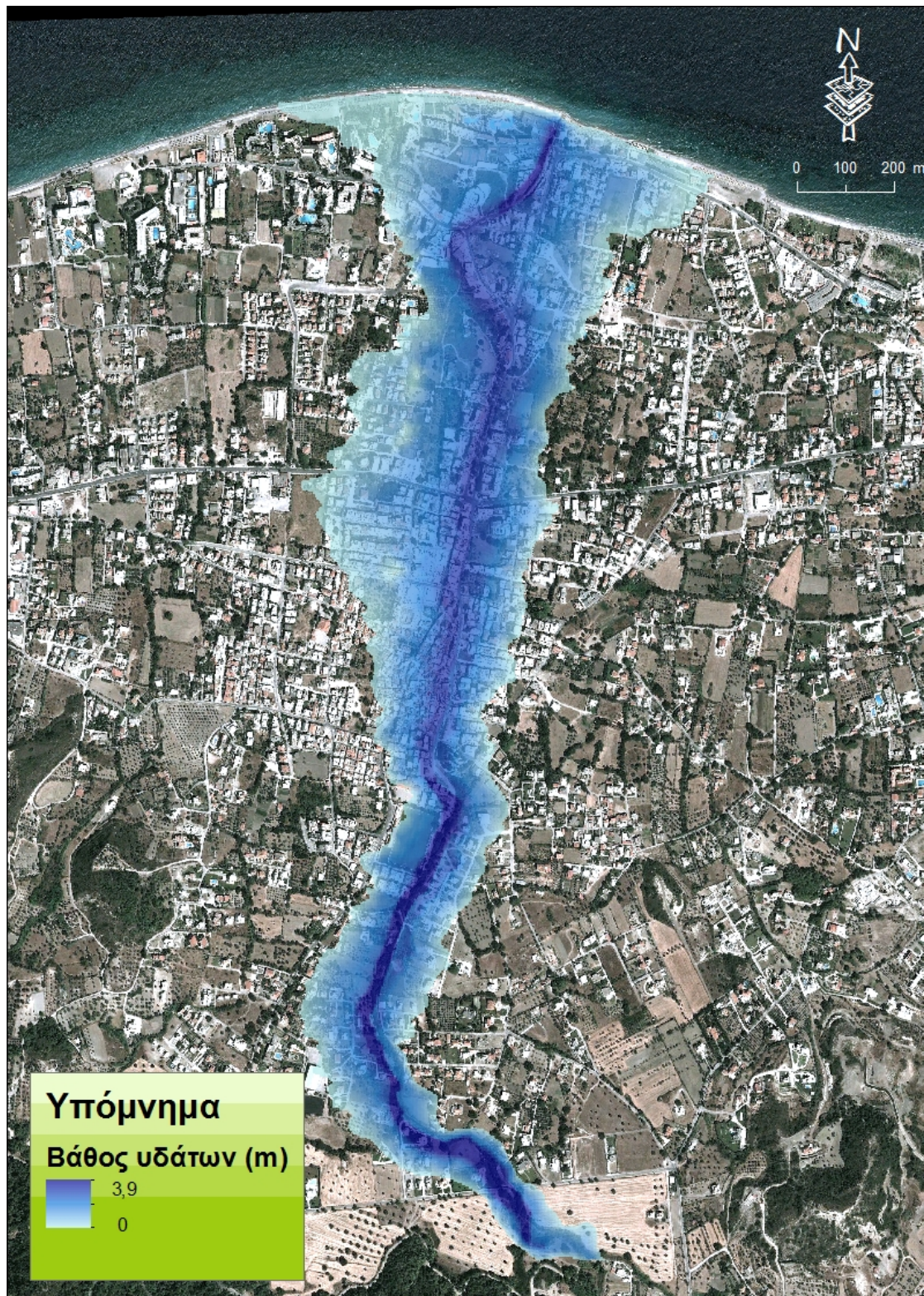
Σύνθεση πιεζομετρικών χαρτών: Σε πρώτη φάση, κατασκευάζεται ένα τρισδιάστατο μοντέλο της υδάτινης επιφάνειας από τις διατομές και το πιεζομετρικό φορτίο σε κάθε διατομή με βάση τους υπολογισμούς που προκύπτουν από την προσομοίωση. Με την εντολή RAS Mapping -> Inundation Mapping -> Water Surface Generation δημιουργούνται οι πιεζομετρικές επιφάνειες για τα διάφορα υδρογραφήματα (παροχές αιχμής).

Σύνθεση χαρτών πλημμυρικής κατάκλυσης: Στο δεύτερο και τελευταίο βήμα, η πιεζομετρική επιφάνεια - που έχει παραχθεί από την προηγούμενη διαδικασία - συνδυάζεται με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Σκοπός είναι ο υπολογισμός των ακριβών ορίων της κατάκλυσης και των βαθών του νερού για όλο το πλημμυρικό πεδίο. Το ψηφιακό μοντέλο της πιεζομετρικής επιφάνειας συγκρίνεται με το ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Στα σημεία, όπου το υψόμετρο της πιεζομετρικής επιφάνειας είναι μεγαλύτερο από το υψόμετρο εδάφους υπολογίζεται η διαφορά των δύο υψομέτρων, η οποία αντιπροσωπεύει το αντίστοιχο βάθος του νερού στη θέση. Κατ' αυτόν τον τρόπο, δημιουργούνται αρχεία που περιέχουν τα βάθη του νερού για τα διάφορα πλημμυρικά επεισόδια. Παράλληλα, κατασκευάζονται πολύγωνα που περιέχουν τα ακριβή όρια της κατάκλυσης. Επιπρόσθετα το μοντέλο έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει την ταχύτητα των υδάτων σε κάθε θέση (Διακάκης 2012).

7.3. Αποτελέσματα προσομοίωσης

Από την εκτέλεση του μοντέλου υπολογίστηκε η έκταση της κατάκλυσης της πλημμύρας των 50 ετών για τις δύο υδρολογικές λεκάνες. Τα όρια της πλημμύρας και στις δύο περιπτώσεις είναι συνυφασμένα με την πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρών καθώς αποτελούν την φυσική έκταση πλημμυρών γνωστής περιόδου επαναφοράς και

επομένως και πιθανότητας. Κατά συνέπεια τα όρια αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως όρια πιθανότητας εκδήλωσης πλημμυρών (Εικ. 7.7 και 7.8).



Εικ. 7. 7 Όρια κατάκλισης των πλημμυρών των 50 ετών και βάθος πλημμυρικών υδάτων για το σενάριο της πλημμύρας των 50 ετών στη λεκάνη της Ιαλυσού (πάνω σε γεωαναφερμένη εικόνα από Google earth).



Εικ. 7. 8 Όρια κατάκλυσης των πλημμυρών των 50 ετών και βάθος πλημμυρικών υδάτων για το σενάριο της πλημμύρας των 50 ετών στη λεκάνη της Κρεμαστής (πάνω σε γεωαναφερμένη εικόνα από Google earth).

8. Πλημμύρες και δασικές πυρκαγιές

8.1. Εισαγωγή

Οι δασικές πυρκαγιές αυξάνουν χρόνο με το χρόνο και απειλούν τα εναπομείναντα δάση στην Ελλάδα, αλλά και σε όλο τον κόσμο. Η πλήρης εξάλειψη των δασικών πυρκαγιών, είναι αδύνατη και αποτελεί ουτοπία έστω και αν υπήρχε ο πιο τέλειος αντιπυρικός σχεδιασμός.

Η καταστροφή που προκαλούν οι πυρκαγιές επηρεάζουν αρνητικά την ανθρώπινη ψυχολογία και έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες, γιατί συμβάλουν στη σταδιακή ερημοποίηση των πληγέντων περιοχών.

Έχει διαπιστωθεί ότι μπορεί να έχουν θετικό αποτέλεσμα στη φυσική ανανέωση και την αύξηση της βιοποικιλότητας των δασικών οικοσυστημάτων και με αρνητικό τρόπο, προκαλώντας την πλήρη υποβάθμιση των οικοσυστημάτων, όταν είναι επαναλαμβανόμενες σε μικρά σχετικά χρονικά διαστήματα στην ίδια περιοχή.

Ο κύκλος υποβάθμισης των δασών ξεκινά με τις πρώτες πυρκαγιές που αρχικά οδηγούν στη μετατροπή τους σε θαμνότοπους και συνεχιζόμενος ανεξέλεγκτα, οδηγεί σύντομα στην τέλεια υποβάθμιση της παραγωγικής ικανότητας του τόπου, με τελική κατάληξη την ερημοποίηση.

Είναι εύλογη λοιπόν η ανησυχία που υπάρχει και η σημασία που δίνεται στο πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών, με δεδομένο μάλιστα ότι περισσότερο από το 10% της έκτασης της χώρας μας καλύπτεται σήμερα από άγονες και βραχώδεις εκτάσεις, γεγονός οφειλόμενο κατά μεγάλο μέρος στην επανάληψη του κύκλου των πυρκαγιών (ΓΓΠΠ 2012).

8.2. Καμένες εκτάσεις Ρόδου

Η περιοχή ενδιαφέροντος τοποθετείται στο κεντρικό τμήμα της νήσου Ρόδος και καλύπτει έκταση περίπου 40km². Ουσιαστικά αποτελεί την περιοχή που σχηματίζεται από το πολύγωνο της καμένης έκτασης, τα πολύγωνα των Δήμων Ατάβουρου (14,7km²), δυτικό τμήμα, Λινδίων (21,3km²), ανατολικό τμήμα και Νότιας Ρόδου (3,4km²), νότιο τμήμα και το πολύγωνο εντός της καμένης περιοχής που ορίζει η περιοχή Natura GR4210005 (Δικάρου 2010).

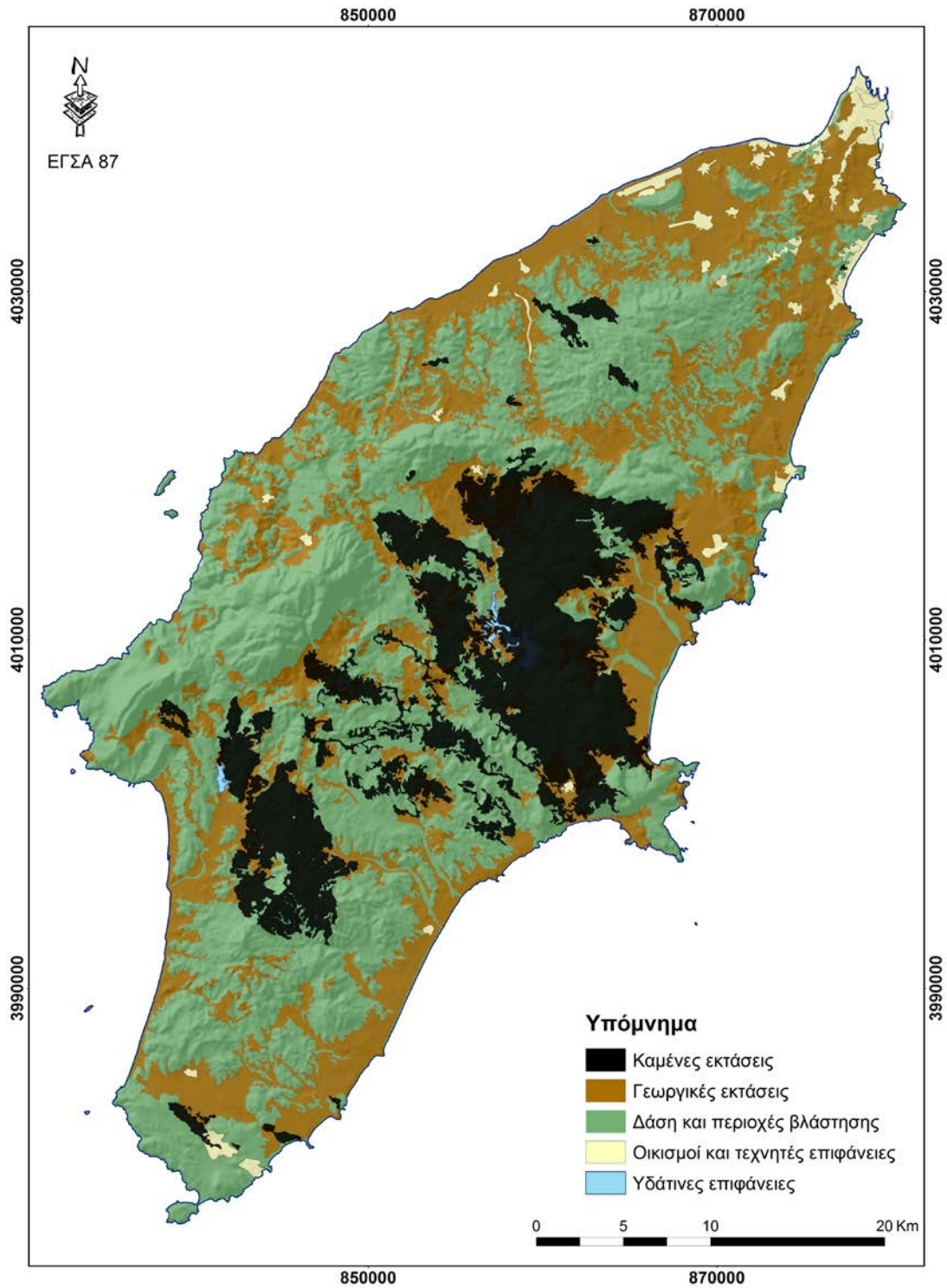


Εικ. 8. 1 Καμένες εκτάσεις στην περιοχή του Ατάβυρου

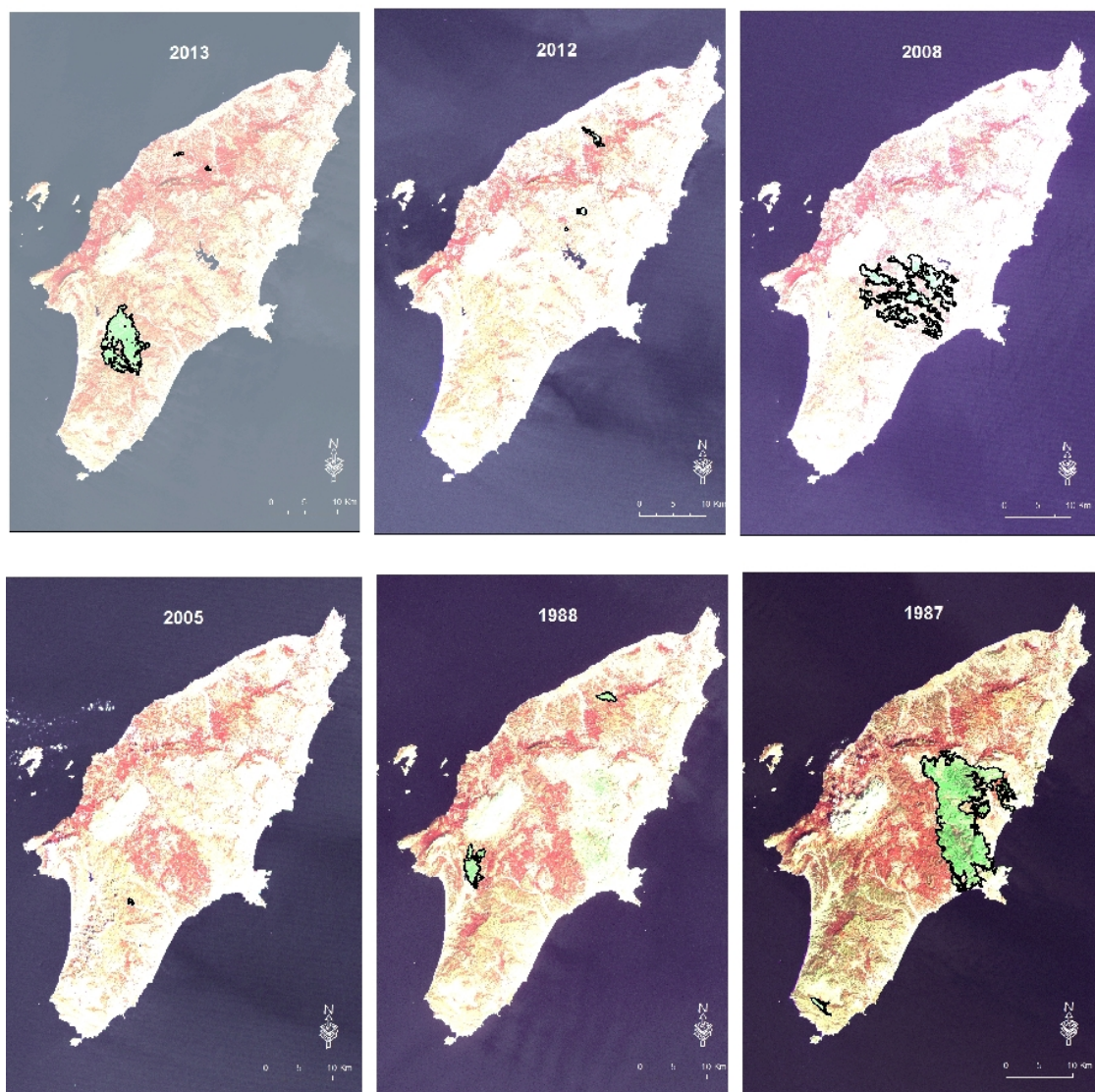


Εικ. 8. 2 Καμένες εκτάσεις στην περιοχή των Λινδίων

Οι περιοχές που πλήγησαν περισσότερο από τις πυρκαγιές αποτελούσαν σύμφωνα με τις χρήσεις γης (CORINE 2000) περιοχές που καλύπτονταν κατά κύριο λόγο από δάση και περιοχές βλάστησης (Εικ. 8.3).



Εικ. 8. 3 Οι καμένες εκτάσεις της νήσου Ρόδου (Πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών) σε σχέση με της Χρήσεις γης (CORINE 2000)



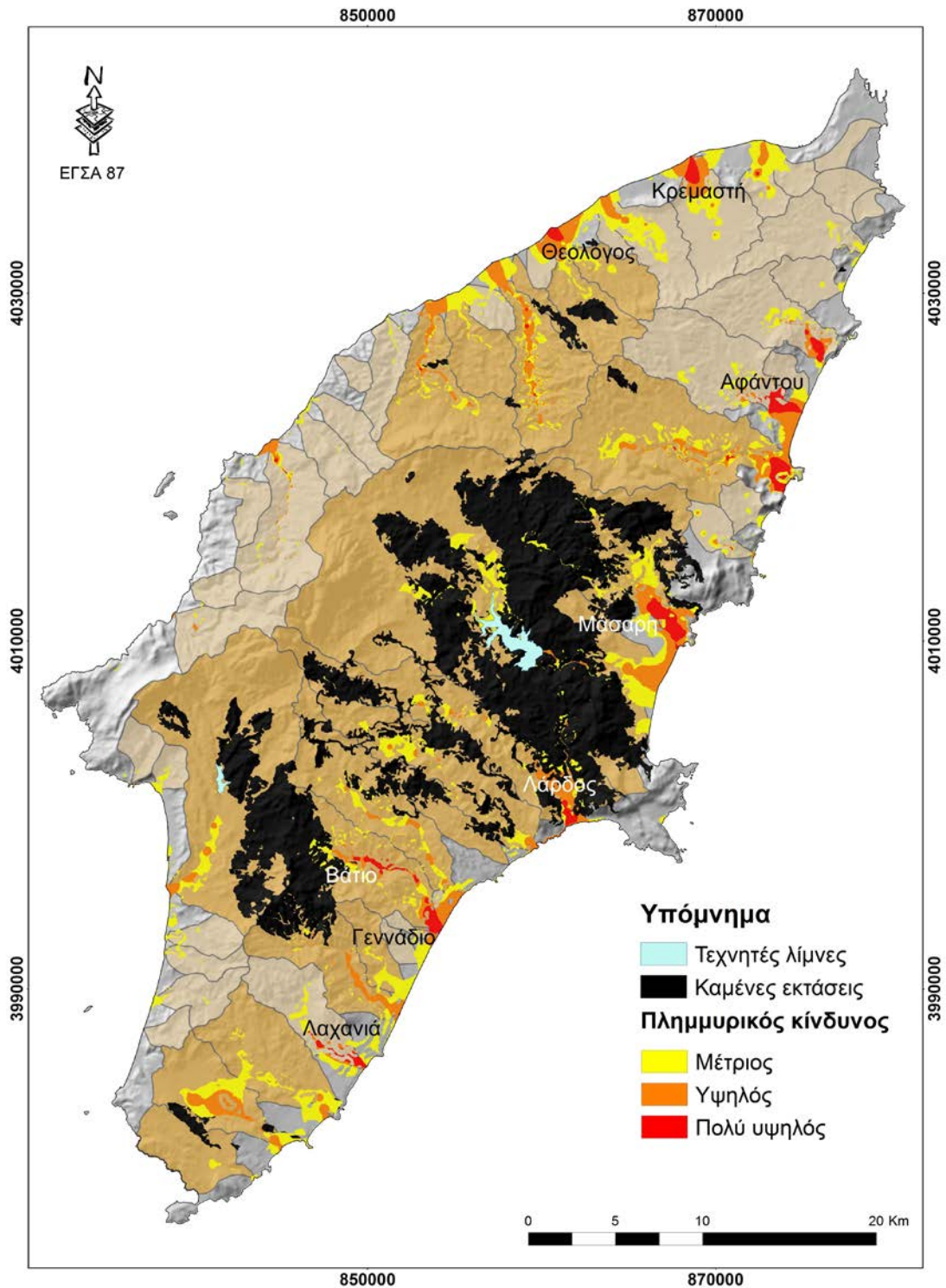
Εικ. 8. 4 Χαρτογράφηση ορίων δασικών πυρκαγιών μεγάλων καμένων εκτάσεων Ρόδου από δορυφορικές εικόνες Landsat (Πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών).

Έτος	Έκταση (σε ha)	Έτος	Έκταση (σε ha)
1986	19,216961	2005	38,110261
1987	210,423833	2006	6,896141
1987	12727,37425	2008	4657,084301
1988	89,830927	2010	7,339246
1988	996,31398	2010	182,928716
1988	238,773868	2012	14,613125
1988	2468,914953	2012	94,384543
1990	28,755297	2012	203,15505
1990	99,280237	2013	27,82954
2003	8,378058	2013	36,16585
2004	20,686808	2013	3795,926805
2004	16,39113		

Πίν 8.1. Ιστορικό δασικών πυρκαγιών Ρόδου (Πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών).

8.3. Συσχετισμός πλημμυρών με δασικές πυρκαγιές

Προβάλλοντας τις περιοχές που πλήγησαν από τις πυρκαγιές, στις υδρολογικές λεκάνες του νησιού προκύπτει ότι με ποσοστό σχεδόν 70% οι περιοχές οι οποίες έχουν υψηλό πλημμυρικό κίνδυνο έχουν καταγεγραμμένο ιστορικό πυρκαγιών (Εικ. 8.5).



Εικ. 8. 5 Χάρτης υψηλού πλημμυρικού κινδύνου της Ρόδου με τις καμένες εκτάσεις

9. Συμπεράσματα

9.1. Γενικά συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη αναλύει το ζήτημα των πλημμυρών στη Ρόδο με αφορμή τις καταστροφικές πλημμύρες του Νοεμβρίου 2013 στο βόρειο τμήμα του νησιού. Το πλημμυρικό πρόβλημα του νησιού αναλύεται με πολυεπίπεδο τρόπο, χρησιμοποιώντας διαφορετικές επιστημονικές προσεγγίσεις, οι οποίες δίνουν τεκμηριωμένα και πρακτικά αποτελέσματα σε διαφορετικές κλίμακες. Αρχικά αναλύεται το πλούσιο πλημμυρικό ιστορικό του νησιού το οποίο για πρώτη φορά μελετάται συστηματικά. Κατόπιν, με τη χρήση υδρολογικής ανάλυσης και την μελέτη των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών των υδρολογικών λεκανών καταρτίζεται ο χάρτης πλημμυρικού κινδύνου του νησιού σε κλίμακα λεκάνης απορροής και επισημαίνονται οι ζώνες υψηλού κινδύνου. Οι δυο αυτές προσεγγίσεις έχουν ρόλο στρατηγικής εκτίμησης του κινδύνου πλημμυρών σε όλη την έκταση της Ρόδου. Ακολούθως παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των πλημμυρών του Νοεμβρίου 2013, τα αποτελέσματα της έρευνας πεδίου, οι επιπτώσεις τους στην Ιαλυσό και στην Κρεμαστή και στις αντίστοιχες λεκάνες απορροής. Επιπρόσθετα, η μελέτη εξετάζει και την ευπάθεια των υποδομών σε πλημμυρικά φαινόμενα στο νησί, δεδομένης της σημασίας τους σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών. Τέλος, τα πλημμυρικά φαινόμενα στην Ιαλυσό και στην Κρεμαστή προσεγγίζονται με τη χρήση υδραυλικής ανάλυσης και μοντελοποίησης, με στόχο την προκαταρκτική οριοθέτηση των περιοχών κινδύνου.

Αναλυτικά, τα κυριότερα συμπεράσματα που προκύπτουν από την παρούσα μελέτη είναι τα εξής:

1. Υψηλή έκθεση σε κίνδυνο πλημμυρών

Η Ρόδος είναι ένα νησί με πολύ σημαντικές υποδομές, περιουσίες, πληθυσμό, και κοινωνικο-οικονομικές δραστηριότητες. Ένα μεγάλο μέρος των στοιχείων αυτών είναι εκτεθειμένο σε κίνδυνο, καθώς είναι εγκατεστημένο σε ζώνες υποκειμένες σε πλημμυρικά φαινόμενα, σε παραλιακά και πεδινά τμήματα του νησιού.

2. Πλούσιο ιστορικό πλημμυρών

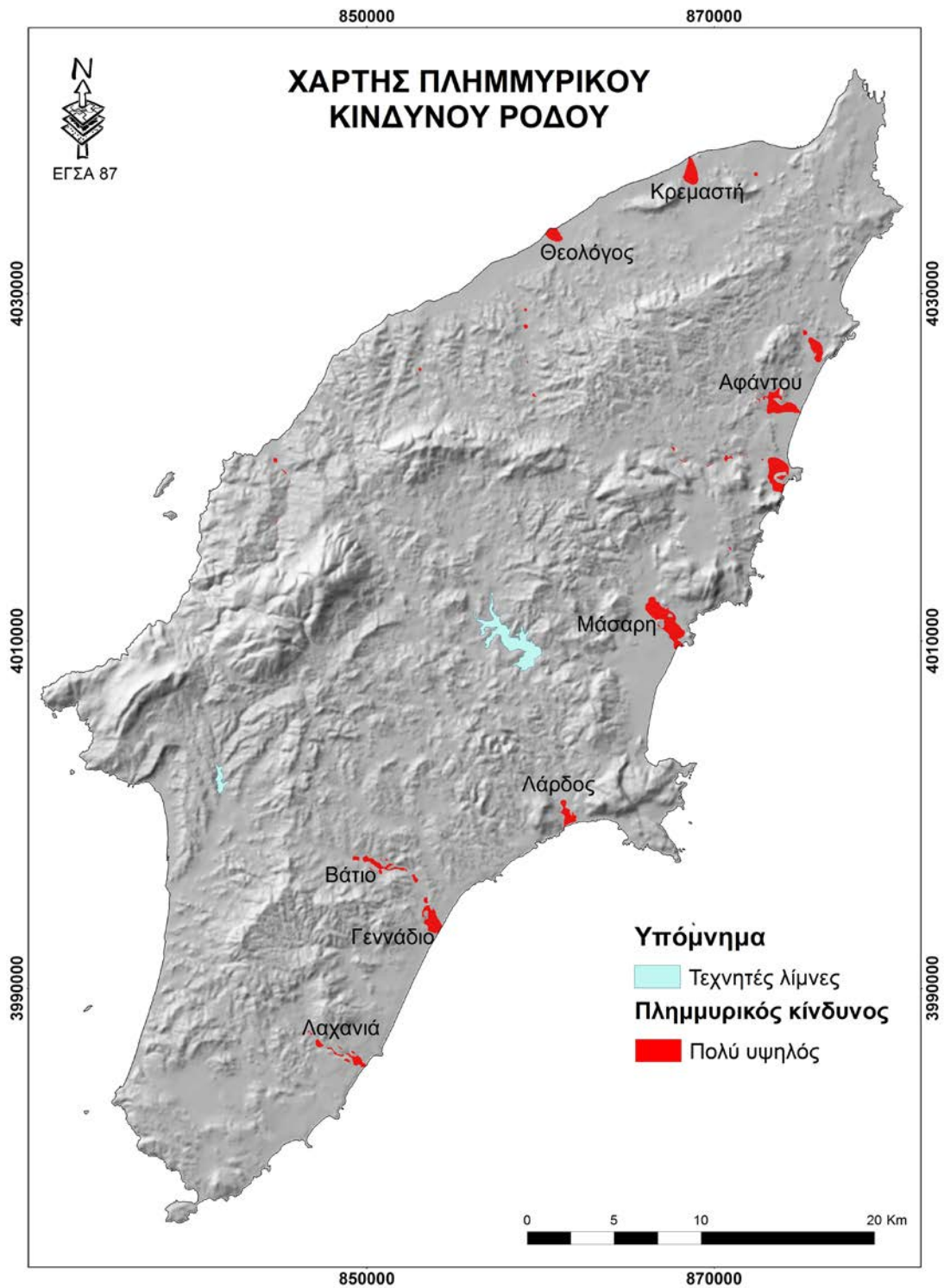
Η Ρόδος εμφανίζει ένα από τους πιο πλούσιους καταλόγους πλημμυρών στον Ελληνικό χώρο, λόγω των ιδιαίτερων κλιματικών χαρακτηριστικών της και πιθανόν των ανθρωπογενών παρεμβάσεων. Πλημμυρικά φαινόμενα εμφανίζονται στο νησί κατά μέσο όρο μια φορά ανά 3.3 έτη. Συνεπώς τόσο οι τοπική κοινωνία, όσο και οι αρχές θα πρέπει να είναι σε κατάσταση ετοιμότητας για μελλοντικά πλημμυρικά φαινόμενα.

3. Θέσεις που αναμένονται μελλοντικές πλημμύρες

Οι θέσεις που αναμένονται οι μελλοντικές πλημμύρες προσδιορίζονται από τους χάρτες «συχνότητας πλημμυρών» και «πλημμυρικού κινδύνου» που καταρτίστηκαν στην παρούσα μελέτη (Εικ. 9.1), και είναι οι θέσεις υψηλότερου πλημμυρικού κινδύνου στο νησί.

Θέσεις	X	Y	Εμβαδόν (m²)
Κρεμαστή	868682,82	4036948,97	876794,30
Θεολόγος	860796,52	4033386,57	520954,91
Εκβολές ρ. Πότου	875898,75	4026814,09	676681,59
Αφάντου	873755,64	4023624,10	1391209,16
Εκβολές ρ. Λουτάνη	873621,32	4019700,42	1402923,22
Μάσαρη	867216,95	4011175,12	2370647,35
Λάρδος	861579,76	3999989,66	639723,26
Γεννάδιο	853768,98	3993903,58	1006984,77
Βάτιο	850835,12	3997078,73	749053,15
Λαχανιά	848717,46	3986156,51	580837,36

Πίν 9.1. Εκτάσεις και συντεταγμένες θέσεων πολύ υψηλού κινδύνου.



Εικ. 9. 1 Χάρτης πολύ υψηλού πλημμυρικού κινδύνου της Ρόδου

4. Χρόνος που αναμένονται μελλοντικές πλημμύρες

Ο ακριβής χρόνος που θα γίνουν μελλοντικές πλημμύρες δεν μπορεί να προσδιορισθεί, καθώς εξαρτάται από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Στην παρούσα μελέτη όμως προσδιορίζεται η εποχικότητα των πλημμυρικών φαινομένων. Οι πιο

πιθανοί μήνες εκδήλωσης πλημμυρών είναι κατά σειρά ο Νοέμβριος, ο Οκτώβριος, ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος.

5. Τα χαρακτηριστικά των πλημμυρών

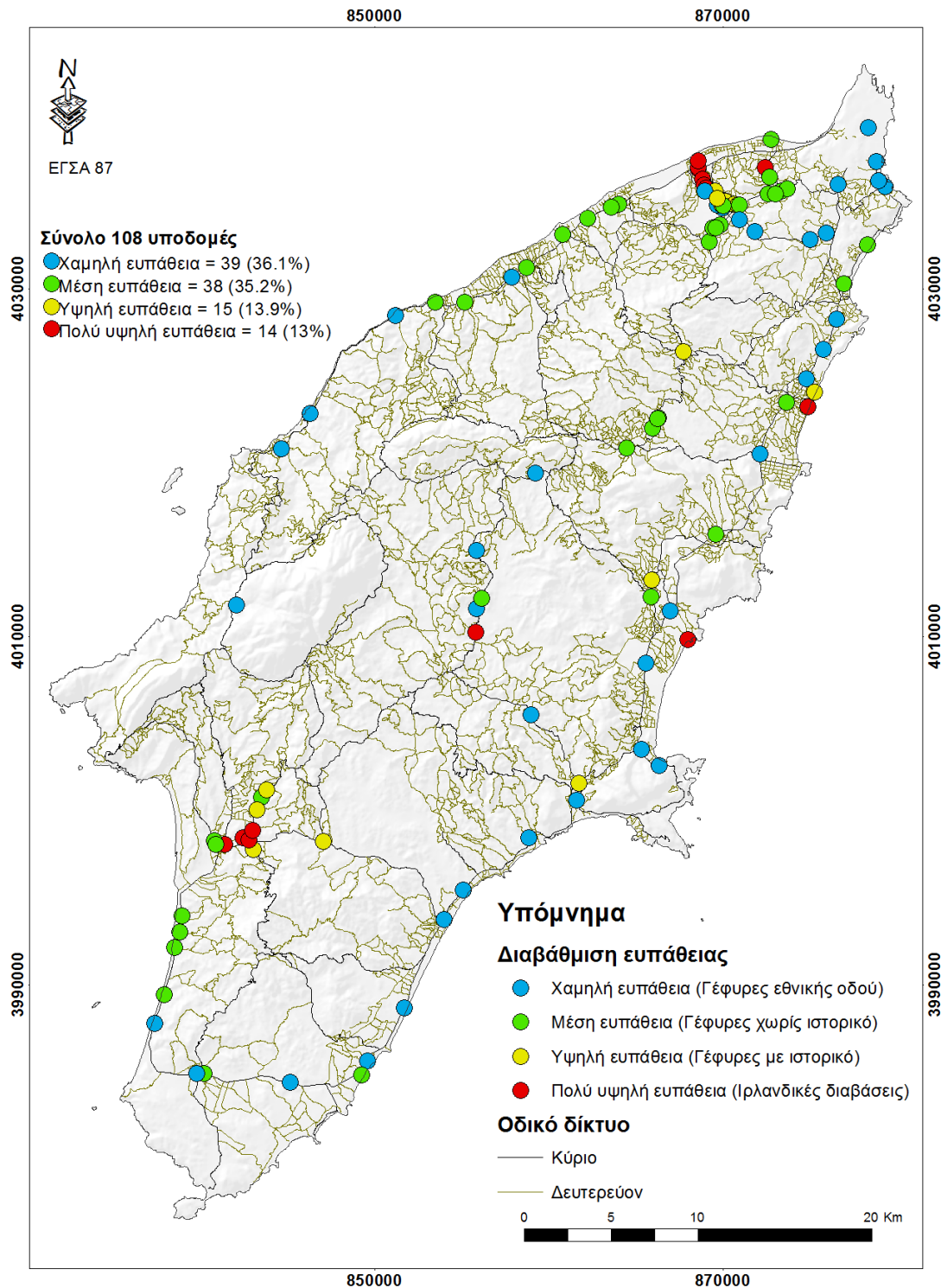
Από τη μελέτη του οπτικού υλικού και από άλλες πηγές, προκύπτουν τα εξής χαρακτηριστικά για τα πλημμυρικά φαινόμενα που συμβαίνουν στην Ρόδο:

- i. Ταχεία και αιφνίδια άνοδος της στάθμης των υδάτων
- ii. Υψηλή συγκέντρωση φερτών υλικών (εδαφικών και θραυσμάτων βλάστησης) στα πλημμυρικά ύδατα
- iii. Υψηλές ταχύτητες ροής των υδάτων χαρακτηριστικό που τα καθιστά καταστροφικά και επικίνδυνα σε ότι αφορά στην ασφάλεια
- iv. Υψηλή ικανότητα διάβρωσης
- v. Τα πλημμυρικά φαινόμενα προκύπτουν από καταιγίδες υψηλής έντασης με διάρκεια κάποιων ωρών, σε χρονική απόσταση κάποιων λεπτών ή και ωρών ανάλογα με την έκταση των λεκανών απορροής

Τα χαρακτηριστικά αυτά, εντάσσουν τις πλημμύρες που συμβαίνουν στο νησί στην κατηγορία των “αιφνίδιων πλημμυρών (flash floods).

6. Ευπάθεια υποδομών

Από τη μελέτη και την έρευνα πεδίου προκύπτει ότι μέρος των υποδομών του νησιού, είναι ευπαθές σε πλημμυρικά φαινόμενα, κάτι το οποίο αυξάνει τον κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή και το κόστος των καταστροφών. Η παρούσα μελέτη έδειξε ότι ένα μεγάλο ποσοστό υπέστη επιπτώσεις από τις πρόσφατες ή και παλαιότερες πλημμύρες και προσδιόρισε τις πιο ευπαθείς από τις υποδομές (**Εικ. 9.2**).



Εικ. 9. 2 Χάρτης ευπάθειας υποδομών σε πλημμυρικά φαινόμενα στο σύνολο της Ρόδου.

7. Σχετικά με τις πλημμύρες του Νοεμβρίου 2013

Οι πλημμύρες του Νοεμβρίου 2013 είχαν σημαντικές επιπτώσεις στο βόρειο τμήμα του νησιού, τόσο από πλευράς θυμάτων που προκάλεσαν, όσο και σε ότι αφορά τον οικονομικό και κοινωνικό αντίκτυπο τους ιδίως στους οικισμούς της Ιαλυσού, της

Κρεμαστής και της Παστάδας. Τα φαινόμενα και τα χαρακτηριστικά τους έχουν καταγραφεί και στο παρελθόν στη Ρόδο σε παρόμοια πλημμυρικά συμβάντα.

8. Πλημμύρα Ιαλυσού

Στην περίπτωση της Ιαλυσού, σημαντικό στοιχείο της πλημμύρας ήταν ο πλακοσκεπής αγωγός, ο οποίος διατρέχει τον οικισμό της Ιαλυσού και αποτελεί συνέχεια του κυρίου ρέματος στην περιοχή. Η προκαταρκτική έρευνα έδειξε ότι ο συγκεκριμένος αγωγός δεν μπόρεσε να παραλάβει το φορτίο απορροής το οποίο απέρρευε από την υδρολογική λεκάνη κατά τη διάρκεια της καταιγίδας. Σε αυτό συνετέλεσε σε κάποιο βαθμό η συσσώρευση αντικειμένων, θραυσμάτων βλάστησης και εδαφικού υλικού στην είσοδο του αγωγού. μειώνοντας δραστικά την δυνατότητα παροχής του. Παρόλα αυτά από μετρήσεις στα ανάντη του αγωγού πρόεκυψε ότι η πλημμυρική παροχή ήταν τέτοια που δεν θα μπορούσε να παραληφθεί από τον αγωγό ακόμα και αν δεν υπήρχε συσσώρευση αυτών των υλικών.

9. Πλημμύρα Κρεμαστής

Στην περίπτωση της Κρεμαστής, τα πλημμυρικά φαινόμενα ήταν λιγότερο εκτεταμένα στις ανθρώπινες υποδομές και δραστηριότητες, κυρίως επειδή αυτές ήταν σε μεγαλύτερη απόσταση από τα όρια του υδατορρεύματος. Παρόλα αυτά στην συγκεκριμένη λεκάνη απορροής συνέβησαν δυο ατυχήματα τα οποία κόστισαν τη ζωή σε 4 ανθρώπους. Στις δυο αυτές περιπτώσεις, η προκαταρκτική έρευνα έδειξε η ασφάλεια των υποδομών δεν ήταν ικανοποιητική, θέτοντας σε κίνδυνο τους ανθρώπους που τις χρησιμοποιούσαν.

10. Πλημμυρικός κίνδυνος στην Ιαλυσό και την Κρεμαστή

Από την υδραυλική προσομοίωση έγινε εφικτό να προσδιορισθεί η έκταση και το βάθος των υδάτων της πλημμύρας με περίοδο επαναφοράς τα 50 έτη (Κεφ. 7). Από τη συγκεκριμένη ανάλυση προκύπτει ότι εντός της ζώνης πλημμυρών με ετήσια πιθανότητα 2% (ή 1 φορά στα 50 έτη) βρίσκονται σημαντικές υποδομές και περιουσίες.

9.2 Περιορισμοί μελέτης

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παρούσα μελέτη έχει ρόλο στρατηγικής μελέτης εκτίμησης του πλημμυρικού κινδύνου στη Ρόδο. Με δεδομένο το γεγονός αυτό δεν έχει υπησέλθει στην απόλυτη ποσοτικοποίηση του κινδύνου σε όλη την έκταση του νησιού καθώς αυτή η διαδικασία θα πρέπει να στηριχτεί σε πολύ μεγάλο όγκο δεδομένων από όλα τα υδατορρέυματα του νησιού και σε εξαιρετικά αναλυτικές μετρήσεις τοπογραφίας επί των πλημμυρικών πεδίων και των υδατορρευμάτων. Ανταυτού η παρούσα μελέτη εξετάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του πλημμυρικού προβλήματος, την έκταση του, προσδιορίζει ποιοτικά τον κίνδυνο πλημμυρών και οριοθετεί με ικανοποιητική λεπτομέρεια τις περιοχές και τις θέσεις όπου θα πρέπει να γίνουν αναλυτικές μελέτες υπολογισμού του πλημμυρικού κινδύνου. Οι μελέτες αυτές θα πρέπει να έχουν τα χαρακτηριστικά και τις λεπτομέρειες που έχουν στην παρούσα προσέγγιση η ανάλυση του κινδύνου στην Ιαλυσό και στην Κρεμαστή.

9.3 Προτάσεις

Με βάση τα ευρήματα της έρευνας, προτείνονται τα παρακάτω:

(i) Χαρτογράφηση των υποδομών και περιουσιών σε κίνδυνο

Με δεδομένο ότι σημαντικός αριθμός περιουσιών, αγροτικών εκτάσεων, κατοικιών, εγκαταστάσεων και υποδομών βρίσκεται σε περιοχές υποκείμενες σε πλημμυρικά φαινόμενα, θα πρέπει να γίνει αναλυτική χαρτογράφηση των υποδομών αυτών ώστε να εξακριβωθεί ο αντίκτυπος μιας πιθανής πλημμύρας σε κάθε λεκάνη απορροής του νησιού.

(ii) Λεπτομερής χαρτογράφηση και ποσοτικοποίηση του πλημμυρικού κινδύνου

Ένα από τα πιο σημαντικά βήματα που προτείνονται είναι η λεπτομερής χαρτογράφηση του πλημμυρικού κινδύνου, δηλαδή της πιθανότητας εκδήλωσης πλημμυρικών φαινομένων σε όλο το νησί και τους οικισμούς του. Υπόδειγμα της μεθοδολογίας που θα προτείνεται είναι η διαδικασία που ακολουθήθηκε στην παρούσα μελέτη για την Ιαλυσό και την Κρεμαστή.

(iii) Διασφάλιση ασφάλειας οδικού δικτύου και υποδομών

Θα πρέπει να διασφαλιστεί ο κατάλληλος φωτισμός σε όλα τα σημεία του οδικού δικτύου που παρουσιάζουν υψηλή ευπάθεια (από την παρούσα μελέτη) και να υπάρξει σήμανση που να προειδοποιεί για κινδύνους σε περίπτωση πλημμύρας. Επίσης είναι αναγκαίο να υπάρξει συνεργασία με τις αστυνομικές αρχές για τη ρύθμιση της κυκλοφορίας κατά τη διάρκεια πλημμύρων ή ακραίων καιρικών φαινομένων και την προσωρινή διακοπή της κυκλοφορίας σε σημεία ευπαθή σε πλημμύρες, όπως αυτά προκύπτουν από την παρούσα μελέτη και μελλοντικές πιο λεπτομερείς μελέτες.

(iv) Εξέταση της ασφάλειας των υποδομών

Με δεδομένους τους θανάτους που έχουν προκληθεί στο νησί επί του οδικού δικτύου από πλημμυρικά φαινόμενα και το επίπεδο ευπάθειας των υποδομών όπως δήχθηκε στην παρούσα μελέτη, θα πρέπει να εξεταστούν αναλυτικά οι συνθήκες ασφάλειας των κρίσιμων υποδομών (γέφυρες, διαβάσεις του υδρογραφικού δικτύου).

(v) Μακροχρόνια πολιτική μείωσης του κινδύνου

Με δεδομένο τον υψηλό πλημμυρικό κίνδυνο σε αρκετά σημεία του νησιού, και την έκθεση περιουσιών και ανθρωπίνων δραστηριοτήτων σε κίνδυνο, θα πρέπει να θεωρείται βέβαιο ότι στο μέλλον πλημμύρες θα πλήξουν ξανά τη Ρόδο και θα προκαλέσουν καταστροφές. Ένα πολύ σημαντικό βήμα για να μειωθούν οι καταστροφές αυτές είναι η υιοθέτηση μιας μακροχρόνιας πολιτικής η οποία θα έχει ως στόχο την σταδιακή απομάκρυνση των κατασκευών και των δραστηριοτήτων από το ενεργό πλημμυρικό πεδίο. Στους χώρους αυτούς θα μπορούν να εγκατασταθούν ελαφριές δραστηριότητες και χρήσεις γης, όπως πλατείες, πάρκα ή χώροι στάθμευσης. Ως προτεραιότητα θα πρέπει να απομακρυνθούν κρίσιμες υποδομές και υπηρεσίες όπως αστυνομικά τμήματα, δημαρχεία, πυροσβεστικές υπηρεσίες, υπηρεσίες πολιτικής προστασίας και άλλα.

(vi) Ενημέρωση του κοινού και των υπηρεσιών

Η χαρτογράφηση του κινδύνου και η έκταση του προβλήματος πλημμυρών στην Ρόδο, επιβάλουν την σχετική ενημέρωση και εκπαίδευση του κοινού. Η ενημέρωση προτείνεται να γίνει με τους εξής τρόπους:

- ✓ Ενημέρωση σε σχολεία της περιοχής
- ✓ Ανάρτηση πινακίδων με χάρτες πλημμυρικού κινδύνου σε δημόσιες υπηρεσίες και κοινόχρηστους χώρους (ΚΕΠ, Δημαρχείο, Δημόσιες Υπηρεσίες, Σχολεία κ.α.)
- ✓ Συχνή ενημέρωση των εμπλεκόμενων υπηρεσιών και χρήση κοινών χαρτών και πρωτοκόλλων
- ✓ Συνεργασία με κάποιο φορέα ενημέρωσης (π.χ. ραδιόφωνο) και ανάπτυξη διαφημιστικού σποτ (κατά τους χειμερινούς μήνες)
- ✓ Διοργάνωση ετήσιας ενημερωτικής ημερίδας με θέμα τον πλημμυρικό κίνδυνο
- ✓ Ανάρτηση πινακίδων σε σημεία του οδικού δικτύου που είναι ευπαθή σε πλημμύρες (π.χ. ιρλανδικές διαβάσεις). Οι πινακίδες θα πρέπει να ειδοποιούν τους χρήστες του δικτύου, για τον πιθανό κίνδυνο πλημμυρών κατά τη διάρκεια βροχόπτωσης στα συγκεκριμένα σημεία.
- ✓ Ανάρτηση ενημερωτικού φυλλαδίου στον ιστότοπο του δήμου, των κοινοτήτων και πιθανόν άλλων δημοφιλών ιστοσελίδων στο νησί.

10. Βιβλιογραφία

Angelier J. (1977) Some observations on the tectonic evolution of the Hellenic Arc and the Southern Aegean region during Neogene and Quaternary times. Proceedings VI Coll. on the Geol. of the Aegean region, 1279-1280.

Angelier J. (1979) Neotectonique de l' arc Egeen. Societe Geologique du Nord, Publication 3, 418 pp.

Angillieri MYE (2008) Morphometric analysis of Colangüil river basin and flash flood hazard, San Juan, Argentina. Environmental Geology 55, 1, 107-111.

Aubouin J. & Dercourt J. (1970) Sur la geologie de l' Egeen: regard sur le Docecanese meridional, Kasos; Karpathos; Rhodes. Bull. de la Soc. Geol. De France, Ser. 7, vol. 12, :455-472.

Barrero JI (2007) Major flood disasters in Europe: 1950-2005. Nat. Hazards 42, 125-148.

Barrero JI (2009) Normalised flood losses in Europe: 1970–2006, Nat. Hazards Earth SystSci 9, 97-104.

Benito G, Diez-Herrero A, Fernandez de Vilalta M (2003) Magnitude and frequency of flooding in the Tagus Basin (central Spain) over the last millennium. Climatic Change 58, 171-192.

Beven KJ, Wood EF, Sivapalan M (1988) On hydrological heterogeneity Catchment morphology and catchment response. J Hydrol 100, 353-375

Chow VT, Maidment DR, Mays LW (1998) Applied Hydrology, New York: McGraw-Hill.

Clark CO (1945) Storage and the unit hydrograph. Trans ASCE 110:1419–1446

Coreia FN, Rego FC, Saraiva MDG, Ramos I (1998) Coupling GIS with Hydrologic and Hydraulic Flood Modelling. *Water Resources Management*. 12(3): 229-249.

Downton, MW., Pielke, RAJR. (2001) Discretion without accountability: politics, flood damage, and climate. *Nat Hazards Rev* 2(4):157–166

Diakakis M (2011) Rainfall thresholds for flood triggering. The case of Marathonas in Greece. *Nat. Hazards* 60, 3, 789-800

Diakakis M. (2014) Flood seasonality in Greece and its comparison to seasonal distribution of flooding in selected areas across south Europe. *Journal of Flood Risk Management*. Wiley (accepted for publication)

Diakakis M., Deligiannakis G. (2013) Vehicle-related flood fatalities in Greece. *Environmental Hazards*, 12, 3-4, 278-290.

Diakakis M., Mavroulis S., Deligiannakis G. (2012) Floods in Greece, a statistical and spatial approach. *Natural Hazards*, 62 (2), 485-500.

Drobot S.D., Benight C., Gruntfest E.C. (2007) Risk factors for driving into flooded roads. *Environmental Hazards*, doi:10.1016/j.envhaz.2007.07.003

Easterling D.R., Meehl G.A., Parmesan C., Changnon S.A., Karl T.R. Mearns L.O. (2000) Climate extremes: Observations, modeling and impacts. *Science* 289, 2068-2074.

ESRI (2011) ArcGIS Desktop: Release 10. Spatial Analyst. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute

French, J., Ing, R., Von Allmen, S., Wood, R., (1983) Mortality from flash floods: review of national weather service reports, 1969–1981. *Public Health Reports* 98, 584–588.

Gaume E., Borga M. (2008) Post-flood field investigations in upland catchments after major flash floods: proposal of a methodology and illustrations. *J Flood Risk Management* 1, 175-189.

Goodchild, M. (1993) The state of GIS for environmental problem solving, in *Environmental modelling with GIS*, edited by M. Goodchild, B. Parks & L. Steyaert, pp. 8-15, Oxford University Press, Oxford.

Golian, S., Saghafian, B., Maknoon, R. (2010) Derivation of Probabilistic Thresholds of Spatially Distributed Rainfall for Flood Forecasting. *Water Resour Manage*, doi: 10.1007/s11269-010-9619-7

Hanken N. M., Bromley R., & Miller J., (1996) Plio-Pleistocene sedimentation in coastal grabens, north-east Rhodes, Greece. *Geological Journal* 31: 271-296.

HEC (2002) HEC-RAS user's manual, November 2002. US Army Corps of Engineers.

Hydrologic Engineering Center (2010) HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 4.1. US Army Corps of Engineers.

Jacobshagen V. (1979) Structure and geotectonic evolution of the Hellenides. *Proceed. VI Coll. Geol. Aegean Region, Athens, 1977*, 3, 1355-1367.

Jonkman S. N., Kelman I. (2005) An analysis of the causes and the circumstances of flood disaster deaths. *Disasters*, 29, 75-97.

Kochel RC, Baker VR (1988) Paleoflood Analysis Using Slackwater Deposits. In: Baker VR, Kochel RC, Patton PC (Eds.) *Flood Geomorphology*. John Wiley & Sons New York. 1988. p. 357-376

Kundzewicz ZW, Kundzewicz WJ (2005) Mortality in flood disasters. In: Wilhelm Kirch, Bettina Menne and Roberto Bertolini (Eds.) Extreme Weather Events and Public Health Responses. Springer Verlag Berlin Heidelberg.

Martini F, Loat R (2007) Handbook on good practices for flood mapping in Europe. Paris/Bern: European exchange circle on flood mapping (EXCIMAP).

Meulenkamp J. E, De Mulder, E. F. J. and Van Der Weerd, A. (1972) Sedimentary history and paleogeography of the Late Cenozoic of the island Rhodes. Zeitschrift Deutsche geologische Gesellschaft 123, 541-553.

Moussa R (2003) On morphometric properties of basins, scale effects and hydrological response. Hydrol Process 17:33–58

Munich, Re. (2002) Topics, an annual review of natural catastrophes. Munich Reinsurance Company Publications, Munich

NRCS (2004) Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall, Part 630 Hydrology, National Engineering Handbook. Natural Resources Conservation Service.US Department of Agriculture.

Pilon, P.J. (2004) Guidelines for reducing flood losses. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR), Palais des Nations, Ch 1211 Geneva, Switzerland

Pirazzoli P. A., Montaggioni L. F., Thommeret J., Thommeret Y. & Laborel, J., (1982) Sur les lignes de nvage et la neotectonjque a Rhodes (Grece) a l' Holocene. Annaies de l' Institut Oceanographique 58. 89-102.

Pirazzoli P.A., Montaggioni L.F., Saliege J.F., Segonzac G., Thommeret, Y. & Vergnaud-Grazzini, C., (1989) Crustal block movements from Holocene shorelines: Rhodes Island (Greece). Tectonophysics 170. 89-114.

Potter HR (1978) The use of historic records for the augmentation of hydrological data, Institute of Hydrology Report No.46 Wallingford 59p.

Sigafoos RS (1964) Botanical evidence of floods and floodplain deposition. U.S. GeolSurv Prof Pap, 485-A, 35pp

Stathis D (2004) Extreme rainfall-events and flood-genesis in Greece, In: 7PGC/HGS: 1-8, Oct 2004.

Strahler, A.N. (1958) Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms, Geological Society of America Bulletin, 69, 279-299.

Sutcliffe JV (1978) Methods of Flood Estimation, A Guide to Flood Studies Report, Report No 49, Institute of Hydrology, UK.

van Alphen J, Martini F, Loat R, Slomp R, Passchier R (2009) Flood risk mapping in Europe, experiences and best practices. J. Flood Risk Manag., 2, 4, 285-292.

Verikiou-Papaspiridakou E., Bathrellos G. and Skilodimou H. (2004) Physico-geographical observation of the coastal zone of the northeastern part of island Rhodes. Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXVI, 2004, Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004.

Weibel, R. & M. Heller (1991) Digital terrain modelling, in Geographical Information Systems, vol. I, edited by D. Maguire, M. Goodchild & D. Rhind, pp. 269- 297.

Yale J. D., Cole T. B., Garrison H. G., Runyan C. W., Riad Ruback J. K. (2003) Motor vehicle-related drowning deaths associated with inland flooding after Hurricane Floyd: A field investigation. Traffic Injury Prevention, 4, 4, 279-284.

Zeiler, M. (1999) Modelling our world: The ESRI guide to geodatabase design, Redlands: Environmental Systems Research Institute, Inc.

Βαρσάμου Ε. (2006) «Έρευνα για την αειφόρο ανάπτυξη στο Δήμο Νότιας Ρόδου»
(www.itia.ntua.gr/dafni)

Βασιλάκης Εμμ. (2009) «Τεχνικές συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών σε γεω-εφαρμογές» (Σημειώσεις για το μάθημα Τεκτονικοί χάρτες- GIS του ΜΠΣ Δυναμικής- Τεκτονικής), Αθήνα.

Βροχομετρικά Δεδομένα από Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ)

ΓΓΠΠ (2007). Το πρόβλημα των δασικών πυρκαγιών.
http://www.civilprotection.gr/description_forestfire.htm.

ΓΓΠΠ (2012) Στατιστικά Στοιχεία: Πλημμύρες. Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας.

Διακάκης Μ. (2012) Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας με τη χρήση μοντέλων προσομοίωσης. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

Δικάρου, Ε.. (2010) Μελέτη υδάτινων πόρων στην περιοχή υλοποίησης του έργου FRAMME LIFE08 NAT/GR/000533 στην νήσο Ρόδο.

ΕΓΥ (2012) Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος

Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (2014).- Ινστιτούτο Αστρονομίας- Αστροφυσικής Διαστημικών Εφαρμογών και Τηλεπισκόπησης (Υπ. Επικοινωνίας: Δρ. Χ. Κοντοές), Στοιχεία καμένων εκτάσεων.

ΕΛΣΤΑΤ (2011) Απογραφή Πληθυσμού – Κατοικιών 2011. Μόνιμος Πληθυσμός. 9 Μαΐου 2011 Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ), Πειραιάς 2011. Online, URL: http://www.statistics.gr/portal/page/portal/ESYE/BUCKET/General/resident_population_census2011.xls

Κατσαδωράκης, Γ., και Παραγκαμιάν Κ. (2007) Απογραφή των υγροτόπων των νησιών του Αιγαίου: Ταυτότητα, οικολογική κατάσταση και απειλές. Παγκόσμιο Ταμείο για τη Φύση - WWF Ελλάς, Αθήνα. σελ. 56

Κώτσης Α. Ι. (2005) Διερεύνηση ισχυρών βροχοπτώσεων και κατάρτιση ομβρίων καμπύλων στα νησιά του Αιγαίου. Διπλωματική Ειδίκευσης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
http://itia.ntua.gr/getfile/1186/1/documents/2005_Metaptyxiakh_Ergasia_IKwtsis.pdf

Λέκκας, Ε. (2010) Επιχειρησιακή οργάνωση των Δήμων του ΑΣΔΑ για την Πολιτική Προστασία & την Αντιμετώπιση Φυσικών & Περιβαλλοντικών Κινδύνων. Α' Φάση: Δράσεις Μείωσης Πλημμυρικού Κινδύνου. Εφαρμοσμένο Ερευνητικό Πρόγραμμα, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Αθήνα.

Λέκκας, Ε. (2000) Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές. Β' Έκδοση. Access Pre-Press, Αθήνα.

Λέκκας, Ε., Σακελλαρίου, Δ. & Μπερτάκης, Γ. (1995). - Διαχείριση Γεωπεριβαλλοντικών προβλημάτων. Μια μέθοδος εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας για χρήση με Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών. Η περίπτωση Αρχαγγέλου Ρόδου. 2ο Εθνικό Συνέδριο "Ολοκληρωμένες επεμβάσεις για τη μείωση του κινδύνου από τις πλημμύρες", Ελληνική Επιτροπή για τη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων (ΕΕΔΥΠ), 175-182, Αθήνα

Ματάκου, Ε. (2009) Καταγραφή και αποτύπωση σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (G.I.S.) των υπαρχόντων στοιχείων των σεισμών, πλημμυρών και πυρκαγιών στον Ελλαδικό χώρο κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα. Διατριβή Ειδίκευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών - Σχολή Θετικών Επιστημών - Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Νικολαΐδου, Μ., Χατζηχρίστου, Ε. (1995) Καταγραφή και αποτίμηση των καταστροφών από πλημμύρες στην Ελλάδα και την Κύπρο. Διπλωματική Εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλασσιών Έργων, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

ΟΑΣΠ (1998) Νεοτεκτονικός Χάρτης Ελλάδος, Φύλλο Ρόδος, Κλίμακα 1:100.000., Λέκκας, Ε., Παπανικολάου Δ., Σακελλαρίου Δ., Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας, ΟΑΣΠ, Αθήνα.

Στάμος Α, Κουτσογιάννης Δ (2004) Διερεύνηση και αντιμετώπιση προβλημάτων ευστάθειας των πρανών και του πυθμένα του ρέματος Φιλοθέης με τη χρήση μαθηματικών μοντέλων και σύγχρονων περιβαλλοντικών τεχνικών – Ερευνητικό Έργο. Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Στεφανάκης (2003) Ε. Βάσεις Γεωγραφικών Δεδομένων και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, 401 pp., Εκδ. Παπασωτηρίου, Αθήνα.

ΥΑΣ (2011) Οριοθετήσεις και πιστωτικά μέτρα: Πλημμύρες. Υπηρεσία Αποκατάσταση Σεισμοπλήκτων. Υπουργείο Υποδομών μεταφορών και δικτύων.

Φαντίδης Θ., (1997). Ανάλυση μετεωρολογικών στοιχείων Νομού Δωδεκανήσου. Έκδοση Τεχνικού Επιμελητηρίου Ελλάδος – Τμήμα Δωδεκανήσου, Ρόδος.

Παράρτημα Α – GIS

Η χρήση του όρου Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (*Geographic Information System*) αρχίζει από τα τέλη της δεκαετίας του '60, αλλά αφορά δύο διαφορετικές φιλοσοφίες. Στον Καναδά, αναφέρεται στη χρήση ενός υπολογιστικού συστήματος μεγάλων, για την εποχή, δυνατοτήτων, συνοδευόμενο από ένα σύνολο περιφερειακών συσκευών, τα οποία χρησίμευαν στη διαχείριση χαρτογραφημένων πληροφοριών που είχαν συλλεχθεί (Goodchild, 1993).

Το νεότερο μοντέλο διαχείρισης δεδομένων, το οποίο έχει κατασκευαστεί από την εταιρεία ESRI, είναι αυτό της γεωβάσης (geodatabase). Πρόκειται για ένα αντικειμενοστραφές μοντέλο, το οποίο παρουσιάζεται μέσω του λογισμικού ΣΓΠ, ArcGIS (Zeiler, 1999).

Ο στόχος της σχεδίασης μιας βάσης δεδομένων, τα οποία αποτελούν στοιχεία ενός ΣΓΠ, έχει δύο παραμέτρους: (i) να οπτικοποιηθούν κατάλληλα τα δεδομένα της, και (ii) να εξυπηρετηθούν οι λειτουργικές απαιτήσεις του λογισμικού (Στεφανάκης, 2003).

Η σχεδίαση των βάσεων δεδομένων που συνθέτουν έναν ψηφιακό γεωλογικό χάρτη αποτελεί μια διαδικασία που γίνεται στα αρχικά στάδια μιας εργασίας και συγκεκριμένα αφού καθοριστούν οι στόχοι της εργασίας υπαίθρου. Τα διαφορετικά είδη γεωλογικών χαρτών προϋποθέτουν και τις αντίστοιχες παραλλαγές της βάσης δεδομένων, ώστε να μην απουσιάζει κάποιο σημαντικό στοιχείο, αλλά και να μην υπάρξει περιττή πληροφορία. Το τελευταίο, είναι πιθανό να οδηγήσει σε καθυστερήσεις και δυσλειτουργίες σε ένα λογισμικό ΣΓΠ (Βασιλάκης 2009).

Τοπογραφία

Το θεματικό επίπεδο που αφορά την τοπογραφία της περιοχής μελέτης, έχει άμεση εξάρτηση με την κλίμακα παρουσίασης του ψηφιακού χάρτη. Πρόκειται για ένα επίπεδο πληροφορίας γραμμικού χαρακτήρα, του οποίου τα στοιχεία απεικονίζουν τις ισοϋψείς καμπύλες μιας περιοχής. Το μοναδικό πεδίο (στήλη) που είναι απαραίτητο για τη σωστή χρήση της συγκεκριμένης πληροφορίας, είναι η συμπλήρωση του υψομέτρου, που αντιστοιχεί σε κάθε καταγραφή (γραμμή).

Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου (Digital Elevation Model)

Η χρήση των θεματικών επιπέδων που αποτελούν το τοπογραφικό υπόβαθρο του ψηφιακού χάρτη, μπορούν να συνδυαστούν και μετά από εφαρμογή συγκεκριμένου αλγορίθμου, να παραχθεί το ΨΜΑ της περιοχής που καλύπτεται. Σε ένα ΣΓΠ, δίνεται η ευκαιρία για μοντελοποίηση, ανάλυση και οπτικοποίηση φαινομένων που σχετίζονται με την τοπογραφία, μέσω της δημιουργίας ενός ΨΜΑ (Weibel & Heller, 1991). Η ουσιαστική διαδικασία που περιλαμβάνεται σε τέτοιου είδους αλγορίθμους, περιλαμβάνει την μετατροπή όλων των γραμμικών στοιχείων σε σημεία με τιμές τεταγμένης, τετμημένης και υψομέτρου. Με τη μέθοδο της παρεμβολής σημείων, στον ενδιάμεσο χώρο, όπου δεν υπάρχουν καταγραφές, υπολογίζονται οι τιμές των υψομέτρων με μαθηματικές μεθόδους. Για κάθε σημείο το οποίο είχε προκαθορισμένη τιμή, αυτή παραμένει, ενώ για τα ενδιάμεσα σημεία δίνεται η νέα, υπολογισμένη τιμή. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας, είναι η δημιουργία ενός καννάβου από κελιά, σε κάθε κελί του οποίου αντιστοιχείται μια τιμή, που αναφέρεται στο υψόμετρο. Οι διαστάσεις των κελιών καθορίζονται πριν από την έναρξη της διαδικασίας, ενώ η ανάλυση του ΨΜΑ είναι αντιστρόφως ανάλογη με αυτές.

Σκιασμένο ανάγλυφο (Shaded Relief)

Ο συνηθέστερος τρόπος απεικόνισης της επιφάνειας της γης είναι ένας χάρτης σκιασμένου αναγλύφου. Πρόκειται για μια εικόνα της περιοχής που μελετάται, στην οποία φαίνονται οι υψομετρικές διαφοροποιήσεις της. Βασίζεται στην ψευδο- τοποθέτηση μιας φωτεινής πηγής σε συγκεκριμένη αζιμουθιακή γωνία, η οποία καθορίζεται από το χρήστη, που καθορίζει και τη γωνία πρόσπτωσης του φωτός στην επιφάνεια της γης (Βασιλάκης 2009).

Υδρογραφία

Το θεματικό επίπεδο του υδρογραφικού δικτύου περιλαμβάνει τα στοιχεία που περιγράφουν την επιφανειακή ροή των υδάτων. Πρόκειται για ένα επίπεδο γραμμικού χαρακτήρα, το οποίο αποτελείται από τα ρέματα και ποτάμια, που διέρχονται από την περιοχή που μελετάται. Η αποτύπωση των στοιχείων αυτών είναι σημαντική, στη σύνθεση ενός ψηφιακού χάρτη, αφού σε συνδυασμό με την τοπογραφική πληροφορία γίνεται πιο ρεαλιστική η αίσθηση του αναγλύφου μιας περιοχής. Η βάση δεδομένων που δημιουργείται, πρέπει να περιλαμβάνει πεδία που να είναι σημαντικά, αφ' ενός στην σωστή απεικόνιση της επιφανειακής απορροής της περιοχής και αφ' ετέρου στους μορφοτεκτονικούς και μορφομετρικούς υπολογισμούς, οι οποίοι γίνονται σε επόμενα στάδια επεξεργασίας μέσω του ΣΓΠ (Βασιλάκης 2009). Η περιγραφή των πεδίων έχει ως εξής:

- i. κωδικός κλάδου (S_Id): αφορά στην κωδικοποίηση του κάθε κλάδου, έχει αριθμητικό χαρακτήρα και χρειάζεται να έχει καθορισμένες θέσεις για τουλάχιστον πέντε ψηφία, ανάλογα με την πυκνότητα του υδρογραφικού δικτύου και τη λεπτομέρεια απεικόνισής του. Η τελευταία αποτελεί υποκειμενικό κριτήριο για κάθε χρήστη και σχετίζεται με τη βαρύτητα που θέλει να δώσει στην επιφανειακή απορροή.
- ii. Μήκος κλάδου (S_length): το πεδίο αφορά στο επιφανειακό μήκος του κάθε κλάδου, αφού πρώτα έχουν καθοριστεί οι μονάδες μέτρησής του μέσω του γεωγραφικού συστήματος προβολής. Πρόκειται για αριθμητικού χαρακτήρα πεδίο με καθορισμένες θέσεις για τουλάχιστον πέντε ψηφία. Ανάλογα με την ακρίβεια μέτρησης του μήκους, είναι πιθανό να χρειαστούν και δεκαδικά ψηφία. Το πεδίο αυτό συμπληρώνεται αυτόματα μέσα από αλγορίθμους που συμπεριλαμβάνονται σε κάθε λογισμικό ΣΓΠ με πολύ μεγάλη ακρίβεια μέτρησης.
- iii. τάξη κατά Strahler (S_order): πρόκειται για πεδίο αριθμητικού

χαρακτήρα που προσδιορίζει την τάξη ενός συγκεκριμένου κλάδου σύμφωνα με την ταξινόμησή του κατά (Strahler, 1958). Χρειάζεται να έχει καθορισμένες θέσεις για δύο ψηφία, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση δεκαδικών. Η χρήση του πεδίου αυτού γίνεται σε περιπτώσεις όπου είναι απαραίτητη η διάκριση και απεικόνιση των κλάδων στις διάφορες τάξεις.

Γεωλογία

Το βασικότερο θεματικό επίπεδο ενός ψηφιακού γεωλογικού χάρτη, αποτελεί αυτό που απεικονίζει την επιφανειακή εμφάνιση και οριοθέτηση των γεωλογικών σχηματισμών. Προκύπτει από την αποτύπωση της γεωλογικής χαρτογράφησης και εισαγωγή των δεδομένων υπαίθρου στο ΣΓΠ. Τα πεδία που συνέθεσαν τη βάση δεδομένων για τις ανάγκες της παρούσας διατριβής, περιγράφονται παρακάτω:

- i. κωδικός πολυγώνου (G_Id): αφορά στην κωδικοποίηση του πολυγώνου, έχει αριθμητικό χαρακτήρα και χρειάζεται να έχει καθορισμένες θέσεις για τουλάχιστον τέσσερα ψηφία, ανάλογα με το πλήθος των πολυγώνων, που θεωρεί ο χρήστης ότι πρέπει να καταχωρηθούν στη βάση δεδομένων του ΣΓΠ.
- ii. εμβαδόν πολυγώνου (G_area): το πεδίο αφορά στο επιφανειακό εμβαδόν του κάθε πολυγώνου, αφού πρώτα έχουν καθοριστεί οι μονάδες μέτρησής του μέσω του γεωγραφικού συστήματος προβολής. Πρόκειται για αριθμητικού χαρακτήρα πεδίο με καθορισμένες θέσεις για τουλάχιστον δέκα ψηφία. Ανάλογα με την ακρίβεια μέτρησης του εμβαδού, είναι πιθανό να χρειαστούν και δεκαδικά ψηφία. Το πεδίο αυτό συμπληρώνεται αυτόματα μέσα από αλγορίθμους που συμπεριλαμβάνονται σε κάθε λογισμικό ΣΓΠ με πολύ μεγάλη ακρίβεια μέτρησης.
- iii. γεωτεκτονική ενότητα (G_unit): το πεδίο αυτό συμπληρώνεται με την ονομασία της γεωτεκτονικής ενότητας στην οποία ανήκει ο

σηματισμός, στον οποίο αναφέρεται το κάθε πολύγωνο. Έχει αλφαριθμητικό χαρακτήρα με θέσεις για τουλάχιστον τριάντα ψηφία.

- iv. συμβολισμός (G_symbol): πρόκειται για αλφαριθμητικό πεδίο με θέσεις για τουλάχιστον δέκα ψηφία. Συμπληρώνεται με βάση το συμβολισμό που υιοθετεί ο χρήστης και θέλει να εμφανίζεται στο κέντρο βάρους του κάθε πολυγώνου, κατά την οπτικοποίηση του ψηφιακού χάρτη. Συνήθως, αποτελείται από γράμματα και αριθμούς που υποδηλώνουν τη λιθολογική σύσταση και την ηλικία του πετρώματος στο οποίο αναφέρεται κάθε πολυγωνική επιφάνεια.
- v. περιγραφή (G_text): στις περιπτώσεις όπου ο τελικός χρήστης του ψηφιακού χάρτη χρειάζεται περισσότερες πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του κάθε σχηματισμού, μπορεί να προβλεφθεί η παρουσίαση ενός κειμένου με αναλυτικά στοιχεία του.

Ο συνδυασμός των παραπάνω πεδίων μπορεί να οδηγήσει στην κατασκευή ενός μεγάλου αριθμού θεματικών χαρτών ανάλογα με την επιθυμία του τελικού χρήστη (Βασιλάκης 2009).

Τεκτονικές ασυνέχειες

Οι τεκτονικές ασυνέχειες ομαδοποιούνται και καταγράφονται σε ένα θεματικό επίπεδο γραμμικού χαρακτήρα. Οι τεθλασμένες γραμμές του συγκεκριμένου επιπέδου πληροφορίας, απεικονίζουν τα ίχνη των τεκτονικών ασυνεχειών στην επιφάνεια της περιοχής που μελετάται. Σε αρκετές περιπτώσεις, τα ρήγματα μπορεί να αποτελούν ξεχωριστό επίπεδο πληροφορίας από αυτό των υπολοίπων τεκτονικών ασυνεχειών (εφιππεύσεις, επωθήσεις) (Βασιλάκης 2009).

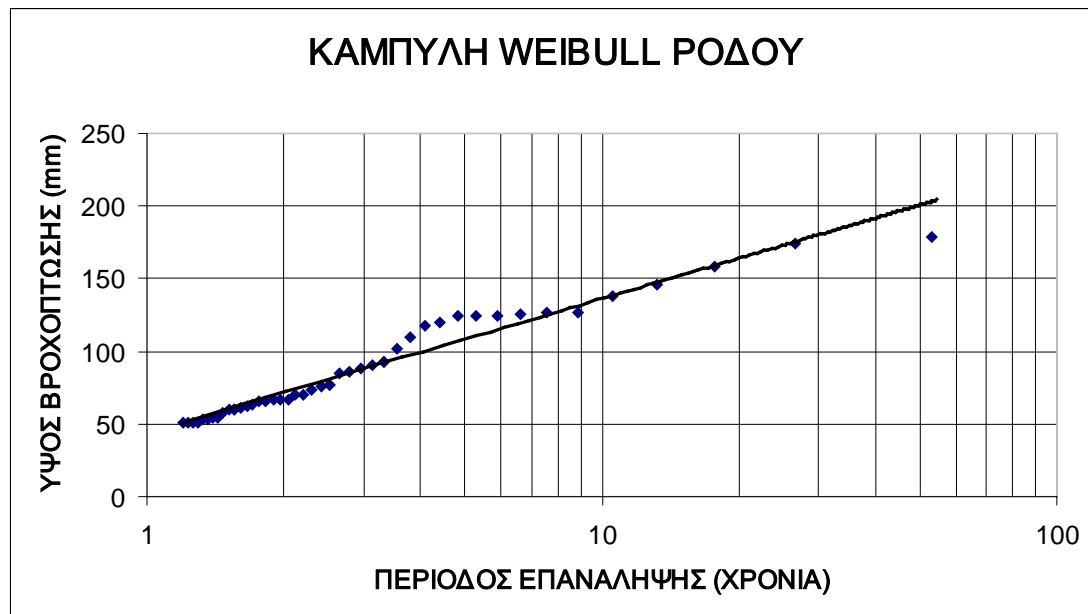
Παράρτημα Β - Ανάλυση Weibull

Πίν. Β.1. Μετεωρολογικά στοιχεία (μέγιστο ημερήσιο 24ώρου) Σταθμού Ρόδου (ΕΜΥ 2013).

Έτος	Μέγιστο ημερήσιο 24ώρου	Μέγιστο ημερήσιο 24ώρου (με κατάταξη)	Κατάταξη (m)	Πιθανότητα εκδήλωσης $P=m/(n+1)$	Χρόνος επαναφοράς $T=1/P$
1955	126,2	178,8	1	0,018867925	53
1956	66,2	174,7	2	0,037735849	26,5
1957	26,8	158	3	0,056603774	17,66667
1958	124,6	146,4	4	0,075471698	13,25
1959	61	138,5	5	0,094339623	10,6
1960	126,7	126,7	6	0,113207547	8,833333
1961	70,2	126,2	7	0,132075472	7,571429
1962	53,1	125,3	8	0,150943396	6,625
1963	32,8	124,6	9	0,169811321	5,888889
1964	50,7	124,4	10	0,188679245	5,3
1965	65,4	124,1	11	0,20754717	4,818182
1966	67,1	119,9	12	0,226415094	4,416667
1967	63,8	117,5	13	0,245283019	4,076923
1968	146,4	109,2	14	0,264150943	3,785714
1969	50,4	101,7	15	0,283018868	3,533333
1970	59,6	92,4	16	0,301886792	3,3125
1971	44,2	92,4	16	0,301886792	3,3125
1972	124,4	90,8	17	0,320754717	3,117647
1973	51,2	88,4	18	0,339622642	2,944444
1974	57,2	85,6	19	0,358490566	2,789474
1975	60,4	84,6	20	0,377358491	2,65
1976	47	76,9	21	0,396226415	2,52381
1977	90,8	76,9	21	0,396226415	2,52381
1978	117,5	75,8	22	0,41509434	2,409091
1979	67,2	73,2	23	0,433962264	2,304348
1980	92,4	70,5	24	0,452830189	2,208333
1981	76,9	70,2	25	0,471698113	2,12
1982	76,9	67,2	26	0,490566038	2,038462
1983	124,1	67,1	27	0,509433962	1,962963
1984	65,3	66,2	28	0,528301887	1,892857
1985	60,4	65,4	29	0,547169811	1,827586
1986	85,6	65,3	30	0,566037736	1,766667
1987	37	63,8	31	0,58490566	1,709677
1988	178,8	62,7	32	0,603773585	1,65625
1989	158	61	33	0,622641509	1,606061
1990	36,5	60,4	34	0,641509434	1,558824
1991	62,7	60,4	34	0,641509434	1,558824
1992	54,8	59,6	35	0,660377358	1,514286
1993	174,7	57,2	36	0,679245283	1,472222
1994	138,5	54,8	37	0,698113208	1,432432

Πίν. Β.1 (συν.) Μετεωρολογικά στοιχεία (μέγιστο ημερήσιο 24ώρου) Σταθμού Ρόδου (ΕΜΥ 2013).

Έτος	Μέγιστο ημερήσιο 24ώρου	Μέγιστο ημερήσιο 24ώρου (με κατάταξη)	Κατάταξη (m)	Πιθανότητα εκδήλωσης $P=m/(n+1)$	Χρόνος επαναφοράς $T=1/P$
1995	84,6	54,4	38	0,716981132	1,394737
1996	92,4	53,4	39	0,735849057	1,358974
1997	119,9	53,1	40	0,754716981	1,325
1998	101,7	51,2	41	0,773584906	1,292683
1999	125,3	50,7	42	0,79245283	1,261905
2000	88,4	50,5	43	0,811320755	1,232558
2001	75,8	50,4	44	0,830188679	1,204545
2002	54,4	47	45	0,849056604	1,177778
2003	53,4	47	45	0,849056604	1,177778
2004	70,5	46	46	0,867924528	1,152174
2005	109,2	44,2	47	0,886792453	1,12766
2006	33,8	37	48	0,905660377	1,104167
2007	47	36,5	49	0,924528302	1,081633
2008	50,5	33,8	50	0,943396226	1,06
2009	73,2	32,8	51	0,962264151	1,039216
2010	46	26,8	52	0,981132075	1,019231



Εικ. Π.1. Καμπύλη Weibull βροχομετρικού σταθμού Ρόδου