

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ & ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ**



---

**Προσδιορισμός Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στο Υδατικό  
Διαμέρισμα της Κρήτης με Χρήση GIS**

---

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Μερταράκη Ιωάννα**

**Τριμελής Επιτροπή:**

**Καθηγητής Καρατζάς Γεώργιος (Επιβλέπων)**

**Καθηγητής Νικολαΐδης Νικόλαος**

**Δρ. Κουργιαλάς Νεκτάριος**

**Χανιά, Οκτώβρης 2013**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα εργασία αποτελεί διπλωματική εργασία στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος της Σχολής Μηχανικών Περιβάλλοντος με θέμα «Προσδιορισμός Πλημμυρικής Επικινδυνότητας στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης με χρήση GIS».

Πριν την παρουσίαση των αποτελεσμάτων της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους από τους ανθρώπους που συνεργάστηκα μαζί τους και έπαιξαν πολύ σημαντικό ρόλο στην πραγματοποίησή της.

Πρώτα από όλους θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής εργασίας, κ. Καρατζά Γεώργιο για την πολύτιμη καθοδήγηση του, την εμπιστοσύνη και την εκτίμηση που μου έδειξε.

Στη συνέχεια θα ήθελα να ευχαριστήσω τον διδάκτορα Κουργιαλά Νεκτάριο με τον οποίο είχαμε εξαιρετική συνεργασία και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας. Ήταν πάντα διαθέσιμος να μου προσφέρει τις γνώσεις και την εμπειρία του για την βαθύτερη κατανόηση του θέματος στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μου.

Επιπροσθέτως, τις ευχαριστίες μου εκφράζω και στον Καθηγητή Νικολαΐδη Νικόλαο που δέχτηκε να είναι μέλος της τριμελούς επιτροπής αξιολόγησης της προπτυχιακής εργασίας μου.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω τις ευχαριστίες στις φίλες και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους όλον αυτό τον καιρό.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου Μιχάλη και Ρένα, καθώς επίσης και τον αδερφό μου Γιώργο, που με υπομονή και κουράγιο προσέφεραν την απαραίτητη ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου και της Διπλωματικής εργασίας.

Την παρούσα εργασία την αφιερώνω στην οικογένεια μου.

Μερταράκη Ιωάννα

Χανιά, Οκτώβριος 2013

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός της πλημμυρικής επικινδυνότητας στο υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Με τη βοήθεια των GIS θα προσδιορίσουμε χωρικά τις περιοχές εκείνες που είναι επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα. Αναλυτικότερα, οι παράγοντες που σχετίζονται άμεσα με τη δημιουργία ενός πλημμυρικού φαινομένου συνδυάζονται σε περιβάλλον GIS προκειμένου να προσδιοριστούν χωρικά εκείνες οι περιοχές οι οποίες είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα. Οι παράγοντες που μελετώνται είναι: α) η ένταση της βροχόπτωσης, β) η κλίση του εδαφικού ανάγλυφου, γ) το υψόμετρο, δ) οι χρήσεις γης, ε) η συσσώρευση επιφανειακής ροής και στ) η γεωλογία. Η πλημμυρική επικινδυνότητα για κάθε ένα από αυτούς τους παράγοντες κατηγοριοποιείται σε πέντε κλάσεις: Πολύ Χαμηλή (1), Χαμηλή (2), Μέτρια (3), Υψηλή (4), και Πολύ Υψηλή (5). Οι προαναφερόμενοι παράγοντες μετατρέπονται σε χάρτες μορφής καννάβου και μέσω της κατάλληλης μεθοδολογίας και της χρήσης συντελεστών βαρύτητας προσδιορίζεται ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας για το Υδατικό Διαμέρισμά της Κρήτης. Στη συνέχεια η αξιοπιστία του τελικού χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας επαληθεύεται μέσω ιστορικών πλημμυρικών δεδομένων για την περιφέρεια της Κρήτης. Επίσης, μελετώνται οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα πλαίσια σενάριου αύξησης της έντασης της βροχόπτωσης και το πως αυτή δύναται να επηρεάσει τη πλημμυρική επικινδυνότητα στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	5
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	6
1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	7
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ.....	7
1.1 Εισαγωγή .....	7
1.2 Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/ΕΚ.....	8
1.3 Ορθή Διαχείριση Πλημμυρικών Φαινομένων.....	9
2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	11
ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	11
2.1 Γενικά.....	11
2.1.1 Νομός Ηρακλείου.....	11
2.1.2 Νομός Χανίων.....	12
2.1.3 Νομός Ρεθύμνης.....	13
2.1.4 Νομός Λασιθίου .....	13
2.2 Χλωρίδα – Πανίδα.....	14
2.2.1 Χλωρίδα.....	14
2.2.2 Πανίδα .....	16
2.3 Κλιματολογικά Στοιχεία.....	16
2.3.1 Κλίμα .....	16
2.4 Στρωματογραφία – Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί.....	18
2.4.1 Στρωματογραφία .....	18
2.4.2 Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί .....	20
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ .....	21
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ .....	21
3.1 Γενικά για τα ΓΣΠ .....	21
3.1.1 Δομή Δεδομένων .....	23
3.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ΓΣΠ (GIS) .....	23

3.3	Χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην Εκτίμηση της Πλημμυρικής Επικινδυνότητας.....	25
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	27
	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	27
4.1	Μεθοδολογία Δημιουργίας Χαρτών.....	27
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	31
	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	31
5.1	Χάρτης Έντασης Βροχόπτωσης – (Modified Fournier Index) MFI map.....	31
5.1.1	Παρεμβολή χάρτη – Interpolation.....	33
5.2	Χάρτης Κλίσεων Εδαφικού Ανάγλυφου – slope map.....	36
5.3	Χάρτης Υψομέτρων – elevation map.....	37
5.4	Χάρτης Χρήσεων γης – land use map.....	38
5.5	Χάρτης Συσσώρευσης Επιφανειακής Ροής – flow accumulation map.....	39
5.6	Χάρτης Γεωλογίας – geology map.....	41
5.7	Τελικός υπολογισμός – Final Raster Calculator.....	42
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	48
	ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	48
6.1	Ιστορικά Πλημμυρικά Σημεία - Γεωαναφορά.....	48
7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	52
	ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΗΣ.....	52
7.1	Εφαρμογή σεναρίου αύξησης της έντασης της βροχόπτωσης.....	52
8	ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	56
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	56
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Σχηματική Στρωματογραφική Στήλη Κρήτης ( <a href="http://www.old.igme.gr">www.old.igme.gr</a> ).....	19
Εικόνα 2: Κατανομή των Υδρολιθολογικών Σχηματισμών στην Περιοχή της Κρήτης ( <a href="http://emeric.ims.forth.gr">http://emeric.ims.forth.gr</a> ).....	20
Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης των παραγόντων που επηρεάζουν την Πλημμυρική Επικινδυνότητα (Kourgialas and Karatzas, 2011).....	28
Εικόνα 4: Διάγραμμα έντασης της βροχόπτωσης σε συνάρτηση με το υψόμετρο για την Δυτική Κρήτη .....	32
Εικόνα 5: Διάγραμμα έντασης της βροχόπτωσης σε συνάρτηση με το υψόμετρο για την Ανατολική Κρήτη.....	32
Εικόνα 6: Εφαρμογή εντολής Παρεμβολής - Interpolation.....	34
Εικόνα 7: Εφαρμογή εντολής αποκοπής στα όρια της Κρήτης - Extract by Mask .....	34
Εικόνα 8: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με τη Ένταση της Βροχόπτωσης στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης .....	35
Εικόνα 9: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Κλίση του εδαφικού ανάγλυφου στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης .....	37
Εικόνα 10: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με το Υψόμετρο στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης .....	38
Εικόνα 11: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με τις Χρήσεις γης στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης .....	39
Εικόνα 12: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Συσσώρευση επιφανειακής ροής στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης .....	40
Εικόνα 13: Πλημμυρική επικινδυνότητα στην περιοχή της Μεσαράς με βάση τη Συσσώρευση επιφανειακής ροής.....	41
Εικόνα 14: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Γεωλογία στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης .....	42
Εικόνα 15: Διαδικασία τελικού υπολογισμού Πλημμυρικής Επικινδυνότητας .....	43
Εικόνα 16: Πλημμυρική Επικινδυνότητα στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης .....	45
Εικόνα 17: Χάρτης απεικόνισης Ιστορικών Πλημμυρικών Δεδομένων .....	49
Εικόνα 18: Χάρτης Επαλήθευσης με Ιστορικά Πλημμυρικά Δεδομένα .....	50
Εικόνα 19: Κατηγοριοποίηση της Πλημμυρικής Επικινδυνότητας με βάση το παράγοντα Ένταση βροχόπτωσης (αύξηση κατά 10%) στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης ..	53
Εικόνα 20: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας με την εφαρμογή του σεναρίου αύξησης της Έντασης της βροχόπτωσης (10%) στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης .....	54

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Μέσες μηνιαίες τιμές Θερμοκρασίες και μέρες Βροχοπτώσεις στη Κρήτη ( <a href="http://www.cyclingcreta.gr">www.cyclingcreta.gr</a> ) .....	18
Πίνακας 2: Κατηγοριοποίηση: Βαθμονόμηση παραγόντων που συμβάλλουν στην πλημμυρική επικινδυνότητα .....	46
Πίνακας 3: Εμβαδόν μεταβολής των κλάσεων πλημμυρικής επικινδυνότητας για αύξηση έντασης βροχής κατά 0% και 10%, αντίστοιχα.....	55

# 1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

### 1.1 Εισαγωγή

Οι πλημμύρες ήταν πάντα ένας υπαρκτός κίνδυνος κυρίως για τις ημιορεινές και πεδινές περιοχές. Πιο ευάλωτες στον κίνδυνο πλημμύρας είναι οι περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, δίπλα ή κοντά σε ποταμούς και ρυάκια, σε αντίθεση με τις περιοχές που βρίσκονται σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Ο κίνδυνος να πλημμυρίσει μια περιοχή οφείλεται κυρίως στις έντονες βροχοπτώσεις. Η συνεχής επέκταση της δόμησης στην παράκτια ζώνη κάτω από την πίεση της αύξησης του πληθυσμού και της συσσώρευσης δραστηριοτήτων σ' αυτή τη ζώνη δημιουργεί συνθήκες άμεσης πρόκλησης πλημμυρών, που είναι γνωστές ως στιγμιαίες πλημμύρες (flash floods), οι οποίες λόγω του μικρού χρόνου εκδήλωσης σε σχέση με την έναρξη της βροχής είναι δύσκολο να προβλεφθούν, αλλά κυρίως δύσκολο να αντιμετωπισθούν (Τσακίρης, 2005).

Τα διάφορα είδη πλημμύρας που μπορούν να σημειωθούν σε μια περιοχή είναι: πλημμύρες ποταμών, στιγμιαίες πλημμύρες, πλημμύρες στα αστικά κέντρα, πλημμύρες που οφείλονται στο αποχετευτικό σύστημα και παράκτιες πλημμύρες. Για την αντιμετώπιση των πλημμυρών κρίνεται αναγκαία η δημιουργία πλημμυρικών χαρτών καθώς και χαρτών που να αναφέρουν τις ενδεικτικές ζημιές από πλημμύρες. Για να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις των πλημμυρών σε μια περιοχή πρέπει να ενεργοποιηθούν σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις γεωγραφικές και υδρολογικές συνθήκες της υπό μελέτη περιοχής (Τσακίρης, 2005).

Οι πλημμύρες στην Κρήτη είναι ένα σχετικά συχνό φαινόμενο που γίνεται εντονότερο με το πέρασμα του χρόνου. Μια από τις βασικότερες αιτίες δημιουργίας στιγμιαίων πλημμυρικών φαινομένων είναι η αυξημένη ένταση της βροχόπτωσης, δηλαδή μεγάλες ποσότητες βροχής σε μικρό χρονικό διάστημα. Για την περιοχή της Κρήτης τα διάφορα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν μια σταδιακή αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων τις επόμενες δεκαετίες, γεγονός που δύναται να αυξήσει το κίνδυνο εμφάνισης στιγμιαίων πλημμυρικών φαινομένων (Nikolaidis et al., 2013; Kourgialas and Karatzas, 2013). Στην παρούσα διπλωματική εργασία γίνεται μια προσπάθεια εκτίμησης

της πλημμυρικής επικινδυνότητας στην περιοχή της Κρήτης, σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), με χρήση διαφόρων θεματικών χαρτών-παραγόντων που εμπλέκονται στην δημιουργία ενός πλημμυρικού φαινομένου. Συγκεκριμένα, οι παράγοντες που θα μελετηθούν αφορούν την ένταση της βροχόπτωσης, την κλίση του εδαφικού ανάγλυφου, το υψόμετρο, τις χρήσεις γης, τη συσσώρευση επιφανειακής ροής και τη γεωλογία.

## 1.2 Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/EK

Η αυξητική τάση των αρνητικών επιπτώσεων από πλημμύρες στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα οδήγησε στην ανάγκη θέσπισης πλαισίου για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Στόχος της συγκεκριμένης οδηγίας είναι η μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες στην Ευρωπαϊκή Κοινότητα.

Στα πλαίσια της οδηγίας αναπτύχθηκαν και οι ακόλουθοι ορισμοί ([www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)):

1. «πλημμύρα»: 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 δημιουργηθούν πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης.
2. «κίνδυνος πλημμύρας»: 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.

Με βάση τη συγκεκριμένη οδηγία είναι απαραίτητη η προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνου πλημμύρας βασιζόμενη σε διαθέσιμες ή ευκόλως υπολογιζόμενες πληροφορίες όπως καταγραφές και μελέτες για μακροπρόθεσμες εξελίξεις, ιδίως επιπτώσεις από την αλλαγή του κλίματος. Στην αξιολόγηση περιλαμβάνονται: α) η δημιουργία χαρτών λεκανών απορροής, οι οποίοι περιλαμβάνουν τα όρια των λεκανών και των υπολεκανών απορροής ποταμών, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά, τη γεωλογία, τις χρήσεις γης, τις θέσεις των υδατορρευμάτων και τα γενικότερα υδρολογικά

και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά τους, β) περιγραφή των πλημμυρικών γεγονότων που σημειώθηκαν κατά το παρελθόν και είχαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις, όπως ανθρώπινες απώλειες, ζημιές σε καλλιέργειες και αστικές υποδομές, γ) προσδιορισμός των πιο επικίνδυνων πλημμυρικά περιοχών σε επίπεδο λεκάνης απορροής, προκειμένου να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα μείωσης των αρνητικών συνεπειών από επερχόμενα πλημμυρικά φαινόμενα, δ) αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των υφισταμένων τεχνητών υποδομών προστασίας από τις πλημμύρες, η θέση των κατοικημένων περιοχών και των περιοχών οικονομικής δραστηριότητας καθώς και οι μακροπρόθεσμες εξελίξεις, συμπεριλαμβανομένων των επιδράσεων της αλλαγής του κλίματος στη συχνότητα εμφάνισης συμβάντων πλημμύρας ([www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)).

### **1.3 Ορθή Διαχείριση Πλημμυρικών Φαινομένων**

Σε αυτό το σημείο θα παρουσιάσουμε μια εφαρμόσιμη προσέγγιση για την στρατηγική διαχείρισης των πλημμυρών στο υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης η οποία στηρίζεται στην Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/ΕΚ. Ένα αξιόπιστο πλάνο διαχείρισης πλημμυρών αποτελείται από δυο συνιστώσες: α) τη ορθή στρατηγική διαχείρισης πλημμυρικών φαινομένων και β) τον καθορισμό των περιοχών που κινδυνεύουν από πλημμύρες (Kourgialas and Karatzas, 2011).

Οι κύριες αιτίες για την δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων είναι η κλιματική αλλαγή, οι αλλαγές στις χρήσεις γης και η ανθρωπογενείς παρεμβάσεις. Οι πιο συνηθισμένες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις είναι: η αστική ανάπτυξη, η μερική ή ολική κάλυψη των όχθων ποταμών, η ευθυγράμμιση του υδάτινου ρεύματος, η μη σωστή κατασκευή γεφυρών, η καταστροφή των δασών (αποψίλωση) και η προκύπτουσα διάβρωση, η κατασκευή δρόμων ή άλλων κατασκευών κατά πλάτος του υδάτινου ρεύματος, η παρατηρούμενη καθίζηση που οφείλονται σε υπεραντλήσεις. Με βάση τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό, σύμφωνα και με την Οδηγία 2007/60/ΕΚ ότι 100% αντιπλημμυρική προστασία δεν είναι εφικτή. Εφικτή είναι μόνο η αξιολόγηση και η διαχείριση της επικινδυνότητας των πλημμυρικών φαινομένων (Kourgialas and Karatzas, 2011).

Η στρατηγική διαχείρισης των πλημμυρών συμπεριλαμβάνει (Κουργιαλάς, 2010): (α) μέτρα πριν τις πλημμύρες, (β) πρόβλεψη πλημμυρών και (γ) μέτρα μετά τις πλημμύρες.

**Μέτρα πριν τις πλημμύρες** παρέχουν τη φυσική, θεσμική και κοινωνική υποδομή για την βιώσιμη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Οι στρατηγικές για την αποφυγή διαχείρισης των πλημμυρών συμπεριλαμβάνουν:

τεχνικά μέτρα για τον έλεγχο των πλημμυρών (μικρά φράγματα και έργα για τη διατήρηση και σταθεροποίηση στις όχθες των ποταμών),

ρυθμιστικά μέτρα, μέσω της ανάπτυξης κανονισμών για τον προγραμματισμό των χρήσεων γης και της ορθής χωροταξίας αυτών. Σημαντικό είναι επίσης ο σχεδιασμός των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας να αρχίζει από την ανάντη και να επεκτείνεται μέχρι και την κατάντη περιοχή.

### **Πρόβλεψη Πλημμύρας - Σύστημα Προειδοποίησης (FFWS)**

Περιλαμβάνει το σχεδιασμό δικτύου τηλεμετρικών σταθμών για την καταγραφή της βροχόπτωσης, των μετεωρολογικών παραμέτρων και της παροχής των υδατορευμάτων. Αυτό το σύστημα θα πρέπει επίσης να μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και προγραμματισμού εκκένωσης. Ένα σύστημα πρόβλεψης - προειδοποίησης πλημμυρικού κινδύνου χρησιμοποιείται προκειμένου να αυξηθεί ο χρόνος κινητοποίησης, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ελαχιστοποίησης των απωλειών σε ανθρώπινες ζωές και περιορισμού των καταστροφών σε περιουσίες.

**Μέτρα μετά την πλημμύρα**, προωθούν τη γρήγορη αποκατάσταση των περιοχών που έχουν πληγεί από πλημμύρες και περιλαμβάνουν μέτρα ανακούφισης, μέτρα αποκατάστασης της ζημιωθείς υποδομής και μέτρα αναθεώρησης της αποτελεσματικότητας του αντιπλημμυρικού συστήματος (Kourgialas and Karatzas, 2011).

## 2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

#### 2.1 Γενικά

Η Κρήτη βρίσκεται στο σταυροδρόμι τριών ηπείρων, της νοτιοανατολικής Ευρώπης, της νοτιοδυτικής πλευράς της Ασίας και της βόρειας Αφρικής. Η θέση αυτή, εκτός από την τεράστια γεωπολιτική σημασία που έχει, αντικατοπτρίζεται και στην επίδραση της διαμόρφωσης του γενικού κλίματος και, κατά συνέπεια, στην περιεχόμενη βιοποικιλότητα (χλωρίδα – πανίδα) που χαρακτηρίζει το νησί και είναι εξαιρετικά πλούσια. Η έκταση που καταλαμβάνει η Κρήτη είναι περίπου 8.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα, με μήκος 260 χλμ περίπου ενώ το μήκος της ακτογραμμής που περιβάλλει τη μεγαλόνησο είναι μεγαλύτερο από 1.000 χλμ. ([www.incrediblecrete.gr](http://www.incrediblecrete.gr))

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί στην Ελλάδα και το δεύτερο μεγαλύτερο (μετά την Κύπρο) της ανατολικής Μεσογείου. Βρίσκεται στο νότιο άκρο του Αιγαίου πελάγους και καλύπτει μια περιοχή 8.336 km<sup>2</sup>. Ποικίλλει στο πλάτος με ένα μέγιστο 60 χλμ (από το ακρωτήριο Δίον έως το ακρωτήριο Λίθινο), σε ένα ελάχιστο 12 km<sup>2</sup> στον ισθμό Ιεράπετρας στην ανατολική Κρήτη. Ο πληθυσμός της είναι 622.913 άνθρωποι (απογραφή 2011).

Το νησί είναι εξαιρετικά ορεινό και διασχίζεται από τρεις διαφορετικές ομάδες βουνών. Αυτές είναι:

- τα Λευκά Όρη (2.453 μ).
- η Οροσειρά Ίδη (Ψηλορείτης (2.458 μ)).
- το Όρος Δίκτη (2.148 μ).

##### 2.1.1 Νομός Ηρακλείου

Είναι ο μεγαλύτερος και ο πλέον πυκνοκατοικημένος νομός της Κρήτης με έκταση 2.641 km<sup>2</sup> και πληθυσμό 304.270 κάτοικοι (όπως εκτιμήθηκε στην απογραφή του 2011, με πυκνότητα πληθυσμού 110,7 κάτοικοι/km<sup>2</sup>). Ψηλά βουνά και εύφορες πεδιάδες διαμορφώνουν τη μορφολογία του εδάφους. Ανατολικά και δυτικά του νομού δεσπόζουν δυο μεγάλοι ορεινοί όγκοι. Το όρος Δίκτη ανατολικά αποτελεί το φυσικό

σύνορο με τον νομό Λασιθίου ενώ το όρος Ίδη (Ψηλορείτης) δυτικά αποτελεί το φυσικό σύνορο με το νομό Ρεθύμνης. Βόρεια και νότια ο νομός βρέχεται από θάλασσα. Η οικονομία του νομού βασίζεται στη γεωργία, τον τουρισμό και το εμπόριο. Πιο συγκεκριμένα στις πεδιάδες της Μεσαράς και του Καστελίου παράγονται ελιές, σταφίδες, δημητριακά, εσπεριδοειδή και οπωροκηπευτικά. Επίσης στις παράλιες περιοχές του νομού παράγονται μπανάνες. Όσον αφορά τον τουρισμό, στο νομό βρίσκονται ορισμένοι από τους πιο σημαντικούς αρχαιολογικούς χώρους της Κρήτης όπως η Κνωσός, η Φαιστός, η Γόρτυνα οι οποίες προσελκύουν αρχαιολάτρες και μη από την Ελλάδα και το εξωτερικό, όπως επίσης και τα πολυάριθμα θεματικά μουσεία του νομού (Αρχαιολογικό Μουσείο Ηρακλείου, Ιστορικό Μουσείο Κρήτης, Μουσείο Φυσικής Ιστορίας, Μουσείο Μάχης της Κρήτης, το Εθνολογικό Μουσείο Κρήτης). Ακόμα πόλο έλξης για τους επισκέπτες αποτελούν οι παραλίες του Ηρακλείου ([www.el.wikipedia.org](http://www.el.wikipedia.org)). Οι ποταμοί του νομού είναι μικροί. Οι πιο σημαντικοί από αυτούς είναι ο Γιόφυρος, που πηγάζει από τον Ψηλορείτη και εκβάλλει στο Κρητικό πέλαγος και ο Γεροπόταμος της Μεσαράς, που πηγάζει από το όρος Δίκητη ποτίζει την κοιλάδα της Μεσαράς και εκβάλλει στον κόλπο της Μεσαράς ([www.28910.gr](http://www.28910.gr)).

### 2.1.2 Νομός Χανίων

Ο Νομός Χανίων καταλαμβάνει το δυτικό άκρο της Κρήτης με έκταση 2.376 km<sup>2</sup> και πληθυσμό 150.387 κάτοικοι (όπως εκτιμήθηκε στην απογραφή του 2001, με πυκνότητα πληθυσμού 63,3 κάτοικοι/km<sup>2</sup>). Διαιρείται σε πέντε επαρχίες: Αποκορώνου, Κισσάμου, Κυδωνίας, Σελίνου και Σφακίων. Το μεγαλύτερο μέρος του νομού είναι ορεινό με υψηλότερη κορυφή στα Λευκά Όρη που αγγίζει τα 2.453 μέτρα. Ανάμεσα στα μεγάλα και τα μικρότερα βουνά δημιουργούνται πολλές μικρές πεδιάδες και κοιλάδες αρδευόμενες από τα μικρά ποτάμια και ρυάκια που κυλούν ανάμεσά τους. Η περιοχή έχει όμορφο φυσικό περιβάλλον γιατί εκτός από τα ποταμάκια και τα ρυάκια συναντάμε μικρές λίμνες και λιμνοθάλασσες, κόλπους και ορμίσκους με βράχια, βότσαλα και αμμουδιές όπως επίσης και φαράγγια με δημοφιλέστερο το φαράγγι της Σαμαριάς, το οποίο είναι το μεγαλύτερο στην Ευρώπη που έχει χαρακτηριστεί ως Εθνικός Δρυμός και προστατεύεται από την Πολιτεία ([www.chania-info.gr](http://www.chania-info.gr)).

### 2.1.3 Νομός Ρεθύμνης

Ο νομός Ρεθύμνης καταλαμβάνει έκταση 1.496 km<sup>2</sup> και πληθυσμό 81.936 κάτοικοι (όπως εκτιμήθηκε στην απογραφή του 2001, με πυκνότητα πληθυσμού 54,8 κάτοικοι/km<sup>2</sup>). Το έδαφος του νομού κατά ποσοστό 65% είναι ορεινό, ένα ποσοστό περίπου 19% είναι ημιορεινό και το υπόλοιπο 16% είναι πεδινό. Τα πεδινά εδάφη τα συναντάμε στα βόρεια και νότια παράλια. Ανατολικά του νομού δεσπόζει το όρος Ίδη, γνωστό και ως Ψηλορείτης, με υψόμετρο 2.458 μέτρα. Σημαντικότερος ποταμός του νομού είναι ο Γεροπόταμος που πηγάζει από την Ίδη και εκβάλλει στο Κρητικό πέλαγος. Ο ποταμός αυτός με τους παραποτάμους του διαρρέει σχεδόν όλο το ανατολικό τμήμα του νομού. Η βόρεια ακτογραμμή του νομού βρέχεται από το Κρητικό Πέλαγος ενώ η νότια ακτογραμμή βρέχεται από το Λιβυκό Πέλαγος. Το κλίμα του νομού είναι ήπιο μεσογειακό με ήπιους χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια. Στα ορεινά μπορεί να χαρακτηριστεί ως ηπειρωτικό. Το έδαφος του νομού είναι κυρίως ορεινό με μικρές εναλλαγές στη μορφολογία, όπως φαράγγια, σπήλαια κοιλάδες και ποτάμια ([www.el.wikipedia.gr](http://www.el.wikipedia.gr)).

### 2.1.4 Νομός Λασιθίου

Στο ανατολικό άκρο της Κρήτης βρίσκεται ο νομός Λασιθίου με πρωτεύουσα τον Άγιο Νικόλαο καταλαμβάνει έκταση 1.823 km<sup>2</sup> και πληθυσμό 76.319 κάτοικοι (όπως εκτιμήθηκε στην απογραφή του 2001, με πυκνότητα πληθυσμού 41,9 κάτοικοι/km<sup>2</sup>). Το έδαφος είναι κυρίως ορεινό με την οροσειρά Δίκτη (ή αλλιώς Λασιθιώτικα Όρη), που βρίσκεται στα όρια των νομών Ηρακλείου και Λασιθίου, να καταλαμβάνει ένα πολύ μεγάλο μέρος του νομού. Στην περιοχή δεσπόζουν μικρές και μεγάλες κοιλάδες, φαράγγια με το μεγαλύτερο να είναι το Φαράγγι του Χα, ενώ αξιόλογα ποτάμια δεν συναντάμε παρά μόνο χειμάρρους. Υπάρχουν επίσης δύο οροπέδια με πιο γνωστό αυτό του Λασιθίου με έκταση περίπου 50 km<sup>2</sup>. Ο νομός διαθέτει μεγάλη βιοποικιλότητα, γεγονός που επαληθεύεται από την ύπαρξη πολλών περιοχών Natura και τοπίων φυσικού κάλλους που προστατεύονται λόγω του μεγάλου αριθμού ενδημικών και σπάνιων ζώων και πουλιών, αλλά και φυτών πολλά από τα οποία είναι αρωματικά και θεραπευτικά. Στα βόρεια του νομού βρίσκεται ο πλουσιότερος θαλάσσιος βιότοπος στο Αιγαίο, με πολλά θαλάσσια ζώα όπως δελφίνια, φώκιες, χελώνες Careta–Careta κ.α. ενώ στα βορειοανατολικά συναντάμε το μοναδικό στην Ευρώπη φοινικόδασος το Βάι με

πάνω από 5.000 φοίνικες και έκταση περίπου 250 εκταρίων (δηλ.2500 στρέμματα) ([www.lasithitourism.com](http://www.lasithitourism.com)).

## 2.2 Χλωρίδα – Πανίδα

### 2.2.1 Χλωρίδα

Το φυσικό περιβάλλον της Κρήτης είναι εξαιρετο και τόσο πλούσιο σε φυτοποικιλότητα και αναγνωρίζεται ότι έχει μια από τις πιο ενδιαφέρουσες χλωρίδες του κόσμου. Έχει πολλά είδη και υποείδη φυτών, περίπου 1800, από τα οποία τα 192 είναι ενδημικά, δηλαδή φυτά που φυτρώνουν σε ένα συγκεκριμένο τόπο. Ο πλούτος της οφείλεται στη γεωγραφική θέση του νησιού αφού είναι απομονωμένο με αποτέλεσμα την ειδογένεση. Υπάρχουν αρκετά οικοσυστήματα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται ποικίλοι βιότοποι με διαφορετικά μικροκλίματα (παραθαλάσσια ζώνη, πεδινή ζώνη, ημιορεινή ζώνη, ορεινή ζώνη, φαράγγια, υγρότοποι κ.α.). Την άγρια βιώσιμη χλωρίδα τη συναντάμε από την παραθαλάσσια έως την ορεινή ζώνη. Το μεγαλύτερο μέρος της είναι καλλιεργήσιμη γη περιλαμβάνει όμως και πετρώδη εδάφη, βραχώδης ακτές και χέρσα χωράφια. Σε σχέση με το παρελθόν η βλάστηση έχει περιορισθεί στα βουνά, λόγω της ανεξέλεγκτης βοσκής αιγοπροβάτων και των πυρκαγιών. Επίσης οι πεδινές εκτάσεις χρησιμοποιούνται για γεωργικές καλλιέργειες, ενώ οι παραθαλάσσιες εκτάσεις για την εγκατάσταση θερμοκηπίων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι βιότοποι της Κρήτης να έχουν περιορισθεί σημαντικά και κάποια από τα σπάνια είδη φυτών που ευδοκίμουν στο νησί να κινδυνεύουν να εξαφανιστούν. Η κατάταξη των διαφόρων ειδών χλωρίδας που συναντάμε στην Κρήτη εξαρτάται από τη θερμοκρασία και τη μορφολογία του εδάφους (Σταυριδάκης, 2008).

Στην παραθαλάσσια λοιπόν ζώνη συναντάμε φυτά που ευνοούνται από την υγρασία και την αλμύρα της θάλασσας, όπως το κρινάκι της θάλασσας (*Pancratium maritimum*) και τα αρμυρίκια (*Tamarix cretica*). Δεν μπορούμε όμως να μην αναφέρουμε και τον περίφημο κρητικό Φοίνικα του Θεοφράστου (*Phoenix theophrastii*) στην περιοχή Βάι στο νομό Λασιθίου ([www.rethymnon.gr](http://www.rethymnon.gr)).

Στην πεδινή ζώνη (υψόμετρο έως 300 m) συναντάμε τους θάμνους της Μεσογειακής μακίας, όπως το Σχίνο (*Pistacia lentiscus*) και το Πουρνάρι (*Quercus*

coccifera), όπως επίσης και την Πικροδάφνη (*Nerium oleander*), τη Λιγαριά (*Vitex agnus-castus*), το Χαμομήλι (*Chamomilla recutita*), τη Μέντα (*Mentha spicata*), τη Μυρτιά (*Myrtus communis*), τα Ρείκια (*Erica*), τους Σταφυλίνακες (*Daucus carota*), τα Αγριοσέλινα (*Smyrniium*), τις Δενδρομολόχες (*Alcea pallida cretica*), την παπαρούνα (*Papaver rhoeas*), την Λαδανιά (*Cistus incanus-creticus*) και τον Κρητικό Έβενο (*Ebenus cretica*) ([www.rethymnon.gr](http://www.rethymnon.gr)).

Στην ημιορεινή ζώνη (υψόμετρο έως 800 m) συναντάμε θάμνους όπως το Πουρνάρι (*Quercus coccifera*), το Σχίνο (*Pistacia lentiscus*), το Θυμάρι (*Thymus capitatus*), την Κουμαριά (*Arbutus unedo*), τον Αγγάραθο (*Phlomis cretica*), το Σφεντάμι (*Acer sempervirens*), τη Βρυωνιά (*Bryonia cretica*), τα Σπάρτα (*Spartium junceum*), τον Στύρακα (*Styrax officinalis*) κ.α. Επίσης συναντάμε αγριολούλουδα όπως το Κρητικό Κυκλάμινο (*Cyclamen creticum*), την Ίριδα (*Iris cretica*), τη Δρακοντιά (*Dracungulus*), τη Μαχαιρίδα (*Gladiolis italicus*), την Τουλίπα (*Tulipa orphanidea*), τα Βολβολουλούδα (*Muscari compositum*), διάφορα είδη κρητικής ορχιδέας και δέντρα όπως την Χαρουπιά (*Ceratonia siliqua*) και τη Βελανιδιά (*Quercus*) ([www.rethymnon.gr](http://www.rethymnon.gr)).

Στην ημιορεινή ζώνη (υψόμετρο από 800 έως 1.800 m) ευδοκimoύν τα Πουρνάρια (*Quercus coccifera*), και το κρητικό Σφεντάμι (*Acer sempervirens*) καθώς και θάμνοι και αγριολούλουδα όπως οι κίτρινες Βιολέτες (*Erysimum creticum*), η Τουλίπα (*Tulipa cretica*), η κρητική Αγριαψιθιά (*Achillea cretica*), οι Αγριομενεξέδες (*Viola cretica*), ο Κρόκος (*Crocus Oreocreticus*), κ.α ([www.rethymnon.gr](http://www.rethymnon.gr)).

Περιοχές με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την πλούσια χλωρίδα τους αποτελούν τα φαράγγια όπου μπορούμε να συναντήσουμε σπάνια αγριολούλουδα και θάμνους καθώς το δυσπρόσιτο του περιβάλλοντος τα προστατεύει από τον ανθρώπινο παράγοντα. Σε αυτές τις περιοχές μπορεί να δει κανείς φυτά όλων των ειδών από τις παραπάνω κατηγορίες αφού τα φαράγγια ξεκινούν από ορεινές ή ημιορεινές περιοχές και καταλήγουν στη θάλασσα. Επίσης στα φαράγγια μπορεί κάποιος να συναντήσει και τον κρητικό Δίκταμο (*Origanum dictamnus*) ([www.rethymnon.gr](http://www.rethymnon.gr)).

## 2.2.2 Πανίδα

Όσον αφορά την πανίδα του νησιού ισχύουν ανάλογα πράγματα με την χλωρίδα, δηλαδή η ανάπτυξή της εξαρτάται τόσο από περιβαλλοντικούς παράγοντες όσο και από το υψόμετρο και τη θερμοκρασία. Στην παραθαλάσσια λοιπόν ζώνη και μάλιστα στις βραχώδεις ακτές φωλιάζει ο Γλάρος καθώς και το Γεράκι (*Falco Eleonore*) που έρχεται στην Κρήτη από την Αφρική κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ενώ στις αμμώδης παραλίες γεννά τα αυγά της η θαλάσσια χελώνα *Caretta – Caretta*. Στις πεδιάδες και στους χαμηλούς λόφους συναντάμε λαγούς, νυφίτσες, ασβούς, σκαντζόχοιρους, αγροπόντικες (*Arodeus sylvaticus-creticus*), νυχτερίδες και πουλιά όπως σπουργίτια (*Passer domesticus*), καρδερίνες (*Carduelis carduelis*), χελιδόνια (*Delichon urbica*), κουρούνες (*Corvus corone*), σπίνους (*Fringila coelembis*) κ.α. Στην ημιορεινή ζώνη συναντάμε όλα τα παραπάνω είδη με μεγαλύτερη συχνότητα, όπως επίσης και ορισμένα είδη αρπακτικών πουλιών όπως τα κοράκια (*Corvus corax*) και τα κοτσίφια (*Turbus merula*). Τέλος στην ορεινή ζώνη εκτός όλα τα προηγούμενα είδη εντάσσεται και ο γυπαετός (*Gyapetus barbatus*), όμως μπορούμε να συναντήσουμε και το σπάνιο κρητικό αγριοκάτσικο (*Capra aegagrus*) και τον κρητικό αγριόγατο (*Felix silvestris*) ([www.rethymnon.gr](http://www.rethymnon.gr)).

## 2.3 Κλιματολογικά Στοιχεία

### 2.3.1 Κλίμα

Το κλίμα της Κρήτης είναι εύκρατο με ήπιους χειμώνες και δροσερά καλοκαίρια. Ένας παράγοντας που επηρεάζει τη διαμόρφωση του κλίματος είναι η θάλασσα που περιβάλλει το νησί, αφού περιορίζει την ένταση του ήλιου κατά το καλοκαίρι. Η ηλιοφάνεια καλύπτει το 80% των ημερών του έτους.

Η άνοιξη είναι η πιο όμορφη εποχή στην Κρήτη, αφού η εξοχή είναι καταπράσινη και ανθισμένη. Δεν λείπουν οι βροχερές μέρες και οι θερμοκρασίες κυμαίνονται από 16 έως 20 βαθμούς Κελσίου.

Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες, οι μέσες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 25 έως 30 βαθμούς Κελσίου, ενώ οι μέγιστες θερμοκρασίες κυμαίνονται από 30 έως 40 βαθμούς Κελσίου. Κατά τους μήνες Ιούλιο και

Αύγουστο, που καταγράφονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες, οι βορειοδυτικοί άνεμοι μετριάζουν τη ζεστή ατμόσφαιρα.

Το φθινόπωρο είναι η ηπιότερη και καλύτερη εποχή στην Κρήτη, γιατί οι θερμοκρασίες είναι συχνά υψηλότερες από την άνοιξη.

Ο χειμώνας είναι αρκετά ήπιος, με τις βροχοπτώσεις να ξεκινούν τέλη Οκτωβρίου και να διαρκούν μέχρι Μάρτιο ή ακόμα και τον Απρίλιο. Πολλές βροχοπτώσεις καταγράφονται κυρίως στα δυτικά τμήματα του νησιού, ενώ οι χιονοπτώσεις είναι πολύ συχνές στα βουνά, αλλά σχεδόν ανύπαρκτες στα πεδινά τμήματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι κλιματολογικές διαφορές μεταξύ παραλιακής και παράκτιας ζώνης, καθώς και ανάμεσα στο βόρειο και νότιο τμήμα του νησιού ([www.cyclingcreta.gr](http://www.cyclingcreta.gr)).

- Η περίοδος των βροχοπτώσεων ξεκινάει στα τέλη Οκτωβρίου και διαρκεί έως το Μάρτιο ή ακόμη και τον Απρίλιο. Οι χιονοπτώσεις είναι σπάνιες στην παραλιακή ζώνη, ειδικά στα ανατολικά του νησιού.
- Το ανατολικό τμήμα της Κρήτης (Σητεία), είναι θερμότερο απ' ό,τι το δυτικό. Ο νομός Χανίων έχει περισσότερη βλάστηση.
- Το νότιο τμήμα του νησιού είναι θερμότερο από το βόρειο.
- Τα ψηλά βουνά της Κρήτης καλύπτονται με χιόνι αρκετούς μήνες το χρόνο, γεγονός σπάνιο για τις παράκτιες περιοχές. Επίσης στις ορεινές περιοχές ο καιρός είναι πιο δροσερός.

Στη συνέχεια θα παρουσιάσουμε ένα συνοπτικό πίνακα (Πίνακας 1) με τις μέσες θερμοκρασίες και βροχοπτώσεις που επικρατούν στο νησί κατά την διάρκεια του χρόνου.

Πίνακας 1: Μέσες μηνιαίες τιμές Θερμοκρασίες και μέρες Βροχοπτώσεις στη Κρήτη  
([www.cyclingcreta.gr](http://www.cyclingcreta.gr))

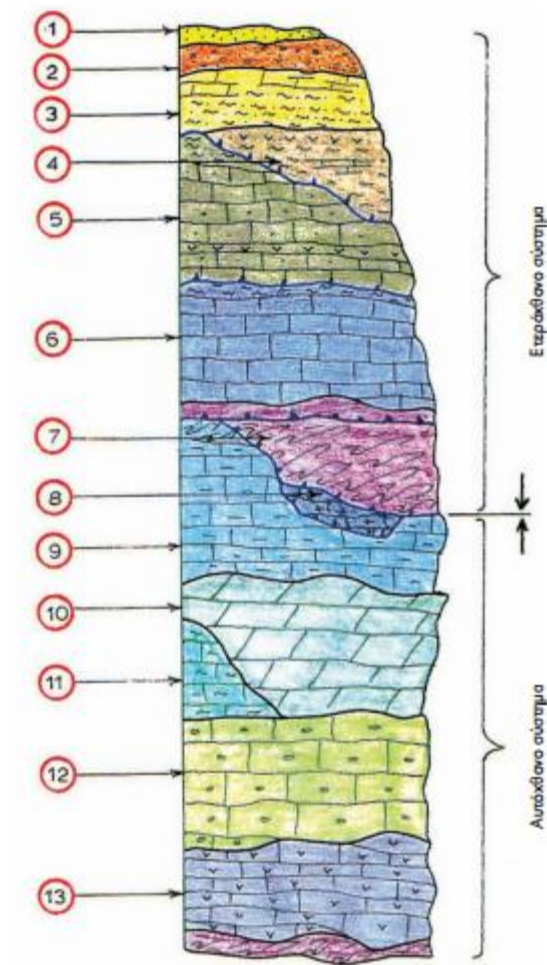
	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Μέσος όρος
<b>Μέγιστη Θερμοκρασία</b>	15	15	16	20	23	27	29	29	27	24	20	16	21.8
<b>Ελάχιστη Θερμοκρασία</b>	9	9	10	12	15	19	22	22	20	17	14	11	15
<b>Μέρες Βροχόπτωσης</b>	14	9	10	6	4	1	1	1	2	6	11	14	6.58

## 2.4 Στρωματογραφία – Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί

### 2.4.1 Στρωματογραφία

Η Κρήτη έχει ιδιαίτερα σύνθετη και πολύπλοκη γεωλογική δομή, λόγω της άμεσης γειτονίας με το χώρο υποβύθισης της αφρικανικής πλάκας κάτω από την ευρασιατική. Η δομή της χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τεκτονικών καλυμμάτων προαλπικών και αλπικών πετρωμάτων, αλλά και μετααλπικών νεογενών λεκανών με διεύθυνση Α-Δ ή Β-Ν με ιζήματα που ενώνουν τους ορεινούς όγκους και σχηματίζουν το νησί. Τα προαλπικά-αλπικά καλύμματα της Κρήτης είναι: Πλακώδεις ασβεστόλιθοι, και κάλυμμα ανθρακικών πετρωμάτων (οι πλακώδεις ασβεστόλιθοι απαρτίζουν τους ορεινούς όγκους της Κρήτης). Μέσα στον εν λόγω σχηματισμό των Λευκών Ορέων αναπτύσσονται τα δύο μεγάλα οροπέδια, Ομαλού και Ασκύφου, και το μικρότερο της Κράμπης. Άλλο χαρακτηριστικό του σχηματισμού είναι οι μεγάλες χαραδρώσεις, με κύρια διεύθυνση Β-Ν και δευτερεύουσα Α-Δ, που συνήθως καταλήγουν στη νότια περιοχή των Λευκών Ορέων (<http://old.igme.gr>). Παρακάτω φαίνεται στην Εικόνα 1 η σχηματική στρωματογραφική στήλη της Κρήτης με τα διάφορα είδη πετρωμάτων.

ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΚΗ ΣΤΗΛΗ  
ΚΡΗΤΗΣ

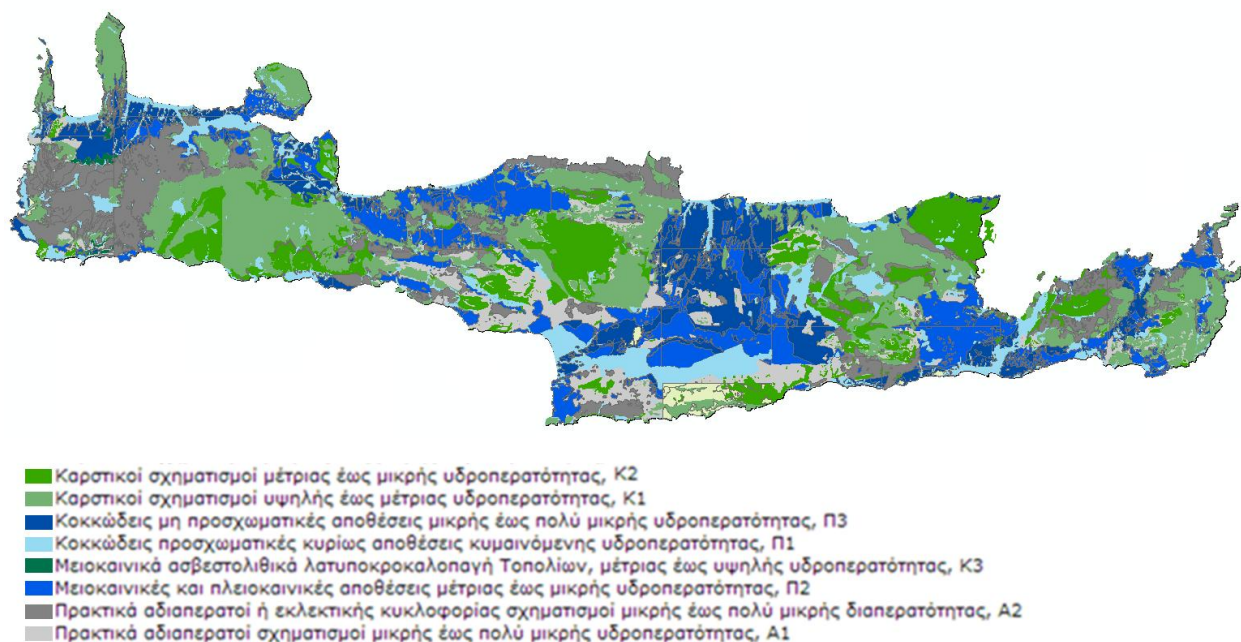


- |   |   |
|---|---|
| 1. Αλλουβιακές προσιώσεις                     | 8. Κάλυμμα Τριπαλίου (ή Ομαλού)                     |
| 2. Πλειστοκαινικές αποθέσεις                  | 9. Πλακώδεις κρυσταλλικοί ασβεστολίθοι (σπ. Βίγλας) |
| 3. Νεογενές                                   | 10. Στρωματογραφικοί δολομίτες (σπ. Παντοκράτορα)   |
| 4. Σύνθετο τεκτονικό κάλυμμα Εσωτερικών Ζωνών | 11. Σχηματισμός Φικηκίλου                           |
| 5. Κάλυμμα Ολινού - Πίνδου                    | 12. Σχηματισμοί Σισσών                              |
| 6. Κάλυμμα Τρίπαλης                           | 13. Σχηματισμός Φόδελε                              |
| 7. Κάλυμμα Φυλλιτών - Χαλαζιτών               |   |

Εικόνα 1: Σχηματική Στρωματογραφική Στήλη Κρήτης ([www.old.igme.gr](http://www.old.igme.gr))

## 2.4.2 Υδρολιθολογικοί σχηματισμοί

Όπως παρατηρούμε στην παρακάτω Εικόνα 2, η Κρήτη αποτελείται από ποικίλους υδρολιθολογικούς σχηματισμούς. Στους τρεις νομούς της Κρήτης (Ρέθυμνο – Ηράκλειο – Λασιθί) οι σχηματισμοί αυτοί δεν ακολουθούν ομοιόμορφη κατανομή. Παρατηρώντας όμως το νομό Χανίων θα διαπιστώσουμε ότι βόρεια και δυτικά του νομού υπερισχύουν τα αδιαπέρατα γεωλογικά στρώματα (συναντάμε δηλαδή σχηματισμούς οι οποίοι δεν αφήνουν το επιφανειακό νερό να εισχωρήσουν στον υπόγειο υδροφορέα), ενώ νότια και ανατολικά του νομού συναντάμε κυρίως καρστικά πετρώματα. Οι καρστικοί σχηματισμοί δομούνται από ευδιάλυτα ανθρακικά πετρώματα με χαρακτηριστικό ανάγλυφο, που είναι αποτέλεσμα της μηχανικής και χημικής δράσης του νερού. Η διάλυση των πετρωμάτων από το νερό προκαλεί διεύρυνση των κοιλοτήτων εντός του πετρώματος, αύξηση της διαπερατότητάς του και δυνατότητα μεταβίβασης διαμέσου αυτού μεγάλων ποσοτήτων νερού. Τα καρστικά πετρώματα έχουν μεγάλη υδρογεωλογική σημασία για το Μεσογειακό χώρο γενικότερα και τον Ελλαδικό ειδικότερα μιας και συνεισφέρουν καταλυτικά στον εμπλουτισμό και την μεταφορά του υπόγειου υδατικού δυναμικού (Μαυροκεφαλίδου, 2005).



Εικόνα 2: Κατανομή των Υδρολιθολογικών Σχηματισμών στην Περιοχή της Κρήτης  
(<http://emeric.ims.forth.gr>)

## 3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

#### 3.1 Γενικά για τα ΓΣΠ

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) ή κατά την ξένη ορολογία Geographic Information System (GIS) είναι συστήματα βασιζόμενα σε υπολογιστικό εξοπλισμό το οποίο χαρτογραφεί και αναλύει «αντικείμενα» που υφίστανται στην επιφάνεια της γης (και όχι μόνο) καθώς και γεγονότα που συμβαίνουν σε δεδομένη χρονική πραγματικότητα στον γεωγραφικό της χώρο (Burrough, 1986; Demers, 2000; Κουτσόπουλος, 2002). Το ArcGIS Desktop είναι ένα λογισμικό χωρικής ανάλυσης και διαχείρισης δεδομένων και είναι διαθέσιμο σε 3 εκδόσεις:

- **ArcView**

Το οποίο μπορεί να προσφέρει αναλυτική χρήση χωρικών και περιγραφικών δεδομένων, όπως επίσης και χαρτογράφηση και ανάλυση των δεδομένων αυτών

- **ArcEditor**

Το οποίο περιέχει τις δυνατότητες του ArcView καθώς επίσης και τις δυνατότητες δημιουργίας και διόρθωσης δεδομένων

- **ArcInfo**

Το οποίο περιέχει τις δυνατότητες του ArcView και ArcEditor καθώς και επιπλέον εργαλεία ανάλυσης χωρικών δεδομένων

Κάθε μια από τις εκδόσεις του ArcGIS περιέχει 3 βασικές εφαρμογές:

- **ArcMap**

Η εφαρμογή αυτή αποτελεί την κεντρική εφαρμογή του ArcGIS Desktop και έχει τις δυνατότητες δημιουργίας και επεξεργασίας χαρτών, εμφάνισης και ανάλυσης γεωγραφικών δεδομένων, αναζήτησης και επιλογής χωρικών δεδομένων, δημιουργίας γραφημάτων και διαμόρφωσης χαρτών για εκτύπωση.

- **ArcCatalog**

Σε αυτή την εφαρμογή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να έχει πρόσβαση και να διαχειρίζεται γεωγραφικά δεδομένα.

- **ArcToolBox**

Με την εφαρμογή αυτή ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει χωρικά δεδομένα από μια μορφή σε μια άλλη και να αλλάξει το προβολικό σύστημα των δεδομένων του.

(Τσουχλαράκη και Αχιλλέως, 2010)

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, πρόκειται να γίνει προσδιορισμός των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες. Ο προσδιορισμός αυτός θα γίνει με χρήση του λογισμικού ArcGIS Desktop και πιο συγκεκριμένα της έκδοσης ArcView.

Τα ΓΣΠ παρέχουν τις εξής δυνατότητες:

- Την ψηφιοποίηση δεδομένων, δηλαδή την εισαγωγή σημείων, γραμμών, πολυγώνων
- Την αποθήκευση δεδομένων, δηλαδή την αποθήκευση πολλαπλών χαρακτηριστικών και το συσχετισμό αριθμητικών και γραφικών δεδομένων
- Την επεξεργασία δεδομένων, δηλαδή τον εντοπισμό σφαλμάτων, τον συνδυασμό των δεδομένων με νέα δεδομένα, τη μετατροπή των x,y συντεταγμένων της ψηφιοποίησης σε πραγματικές συντεταγμένες, την ένωση δυο ή περισσότερων χαρτών κ.α.
- Την ανάλυση δεδομένων, δηλαδή την δημιουργία πολυγώνων γύρω από σημεία η γραμμές, την μέτρηση μηκών και εκτάσεων, τη δυνατότητα εφαρμογής μοντέλων κ.α.
- Την εξαγωγή δεδομένων στην οθόνη, την εκτύπωση κ.α.

Τα γεωγραφικά δεδομένα που εισάγονται μέσω της διαδικασίας της ψηφιοποίησης και αφού υποστούν τις απαραίτητες διορθώσεις, χρησιμοποιούνται από τα ΓΣΠ. Αυτά χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- Σε χωρικά δεδομένα, τα οποία χαρακτηρίζονται από τη θέση τους στο χώρο και διακρίνονται σε:
  - i. Σημειακά επίπεδα πληροφοριών που εντοπίζονται στον γεωγραφικό χώρο με την χρήση γεωγραφικών συντεταγμένων π.χ γεωτρήσεις
  - ii. Γραμμικά επίπεδα πληροφοριών, π.χ ισοΰψεις καμπύλες, ρήγματα κ.α.
  - iii. Επιφανειακά επίπεδα πληροφοριών/πολύγωνα, τα οποία καταλαμβάνουν μια κλειστή έκταση, π.χ οικισμοί, εδαφολογικές και λιθολογικές ενότητες κ.α.
  - iv. Δεδομένα ανάγλυφου ή τρισδιάστατα, τα οποία καταλαμβάνουν όχι μόνο μια συγκεκριμένη επιφάνεια, αλλά εκτείνονται και στο χώρο. Έχουν δηλαδή μήκος, πλάτος και ύψος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο χάρτης Ψηφιακού Μοντέλου Ανάγλυφου (χάρτης υψομέτρων) (Digital Elevation Model/ DEM).
- Σε μη χωρικά δεδομένα, τα οποία περιγράφουν τα χαρακτηριστικά, τις ιδιότητες ή τις τιμές μιας χωρικής θέσης (Αστάρας, 2007).

### 3.1.1 Δομή Δεδομένων

Τα χωρικά δεδομένα πρέπει να μετατραπούν σε ψηφιακή μορφή κατάλληλη για χρήση από τα ΓΣΠ. Κατά την ψηφιοποίηση διατηρούνται τα τοπολογικά χαρακτηριστικά των δεδομένων. Τα ψηφιακά δεδομένα καταχωρούνται είτε σε μορφή καννάβου (raster) είτε σε μορφή διανύσματος ή πολυγώνου (vector) (Αστάρας, 2007).

### 3.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα ΓΣΠ (GIS)

Τα πλεονεκτήματα των ΓΣΠ περιγράφονται παρακάτω:

- Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να καταλαμβάνουν μικρό χώρο

- Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι ποσοτικές πληροφορίες οι οποίες είναι δυνατόν να καταχωρούνται κατά οποιαδήποτε γεωγραφική μονάδα ή διάταξη π.χ. κατά νομό, κατά κοινοτική ή δημοτική περιφέρεια κλπ
- Γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν για οποιοδήποτε αντικείμενο, χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή συνδυασμούς αυτών
- Τα υπάρχοντα ηλεκτρονικά όργανα και λογισμικά, επιτρέπουν διάφορες μορφές επεξεργασίας, όπως μετρήσεις, χαρτογραφικές επικαλύψεις κλπ
- Γρήγορος και επαναλαμβανόμενος αναλυτικός έλεγχος ή εξέταση θεωρητικών μοντέλων για την εκτίμηση επιστημονικών κριτηρίων
- Οι διάφορες μορφές εξαγόμενων αποτελεσμάτων παράγονται πολύ γρήγορα, αποτελούνται από μεμονωμένα ή σύνθετα θέματα, για οποιαδήποτε γεωγραφική θέση της βάσης δεδομένων και σε οποιαδήποτε κλίμακα
- Εύκολη ενημέρωση της βάσης δεδομένων η οποία επιτρέπει τον αποτελεσματικό εντοπισμό και ανάλυση των αλλαγών που έγιναν σε δυο ή περισσότερους περιόδους
- Πολλές μορφές ανάλυσης πραγματοποιούνται με πολύ μικρότερο κόστος απ' ότι με τις κλασικές μεθόδους.

Τα μειονεκτήματα των ΓΣΠ περιγράφονται παρακάτω:

- Το κόστος απόκτησης του συστήματος καθώς και οι τεχνικές υποστήριξης και συντήρησης αυτού είναι αρκετά υψηλό
- Η αποτελεσματική χρήση του συστήματος προϋποθέτει την άρτια εκπαίδευση του κατάλληλου προσωπικού
- Υπάρχουν προβλήματα κατά τη μετατροπή και καταχώρηση ορισμένων προϋπαρχόντων δεδομένων σε συγκεκριμένη βάση δεδομένων (Αστάρας, 2007)

### 3.3 Χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην Εκτίμηση της Πλημμυρικής Επικινδυνότητας

Η ανάγκη εκτίμησης της επικινδυνότητας μιας περιοχής όσον αφορά διάφορα φαινόμενα και ιδιαίτερα τις φυσικές καταστροφές (ρύπανση υπόγειου νερού, πλημμύρες, διάβρωση εδαφών, κτλ.) υπήρχε από πολύ παλιά αλλά άρχισε να εφαρμόζεται σαν πρακτική τη δεκαετία του 60 με την ισχυροποίηση των ηλεκτρονικών υπολογιστών και τη δημιουργία εξειδικευμένου λογισμικού χαρτογραφίας. Για τον εντοπισμό των περιοχών της Κρήτης οι οποίες κινδυνεύουν από πλημμυρικά φαινόμενα καλούμαστε να δημιουργήσουμε έξι διαφορετικούς θεματικούς χάρτες κάνοντας χρήση των ΓΣΠ και στη συνέχεια να τους συνδυάσουμε ώστε να εξαχθεί ένας τελικός συνθετικός χάρτης που να εμπεριέχει τις περιοχές που κινδυνεύουν από πλημμυρικά φαινόμενα, με βαθμό επικινδυνότητας 1-5 (πολύ χαμηλό - πολύ υψηλό). Οι έξι επιμέρους χάρτες θα περιέχουν το βαθμό επικινδυνότητας για πλημμύρες ανάλογα με: την Ένταση της βροχόπτωσης, την Κλίση του εδαφικού ανάγλυφου, το Υψόμετρο, τις Χρήσεις γης, τη Συσσώρευση ροής και τη Γεωλογία (Kourgialas and Karatzas, 2011).

Η τρωτότητα σε πλημμυρικά φαινόμενα ορίζεται ως ο βαθμός της ευαισθησίας στην εμφάνιση ζημιών από επικίνδυνα σχετικά με το νερό φαινόμενα. Για να προσδιοριστεί η πλημμυρική τρωτότητα, είναι σημαντικό να προσδιοριστούν οι πηγές κινδύνου από μια ξαφνική υπερχείλιση του ποταμού και να εντοπιστούν οι εξαιρετικά επικίνδυνες περιοχές. Η κλασική προσέγγιση για την σκιαγράφηση των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες με διαφορετικά επίπεδα κινδύνου βασίζεται στην εφαρμογή της υδρολογικής-υδραυλικής μοντελοποίησης. Ωστόσο, για λεκάνες που δεν έχουν εκτιμηθεί και για περιοχές όπου οι εκτιμήσεις είναι δαπανηρές και χρονοβόρες η υδρολογική-υδραυλική προσομοίωση δεν είναι δυνατή, έτσι η χρήση ενός αποτελεσματικού εργαλείου για την σκιαγράφηση των περιοχών που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες είναι απαραίτητη. Επιπλέον, ο εντοπισμός των περιοχών που διατρέχουν υψηλό κίνδυνο πλημμύρας είναι πολύ σημαντικό να βρίσκονται σε μικρές υδρολογικές λεκάνες, όπου ο χρόνος προειδοποίησης για την πλημμύρα είναι μικρός. Η σύνθεση των δεδομένων και η χαρτογράφηση των σχέσεων μεταξύ των φυσικών επικίνδυνων φαινομένων και των στοιχείων σε κίνδυνο απαιτούν τη χρήση εργαλείων όπως τα

Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Οι φυσικοί κίνδυνοι είναι πολυδιάστατα φαινόμενα με χωρική διάσταση γεγονός που κάνει τα GIS ιδιαίτερα χρήσιμα σε τέτοιες εφαρμογές. Τα GIS έχουν εξελιχθεί σε τρεις γενικούς τομείς εφαρμογής: ο πρώτος είναι η χρήση των GIS ως βάση δεδομένων πληροφοριών, ο δεύτερος είναι η χρήση τους σαν ένα αναλυτικό εργαλείο, ένα μέσο για τον καθορισμό των λογικών και μαθηματικών σχέσεων μεταξύ χαρτών για την παραγωγή νέων χαρτών και ο τρίτος είναι η χρήση του ως ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων. Για να ικανοποιεί ένα συγκεκριμένο στόχο σε ένα σύστημα υποστήριξης αποφάσεων, πρέπει να αξιολογούνται με τη βοήθεια διαδικασιών διάφορα κριτήρια που αναφέρονται ως "πολλαπλά - κριτήρια αξιολόγησης» ή απλά «μοντελοποίηση». Η ενσωμάτωση των πολλαπλών κριτηρίων ανάλυσης (MCA) σε ένα πλέγμα καννάβου σε περιβάλλον GIS, παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία και ακρίβεια στις αποφάσεις για την ανάλυση και εύρεση των περιοχών που είναι ευάλωτες σε πλημμυρικά φαινόμενα. Τα διαφορετικά βάρη στην πολυκριτηριακή ανάλυση προσδιορίζονται για να περιγράψουν την διαφορετική προτεραιότητα στη σημασία των κριτηρίων. Ένα πρόβλημα στην περίπτωση των MCA είναι ο προσδιορισμός των βαρών τα οποία υπόκεινται στην κρίση των ειδικών επιστημών που σχετίζονται με το μελετούμενο φαινόμενο (Kourgialas and Karatzas, 2011).

## 4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

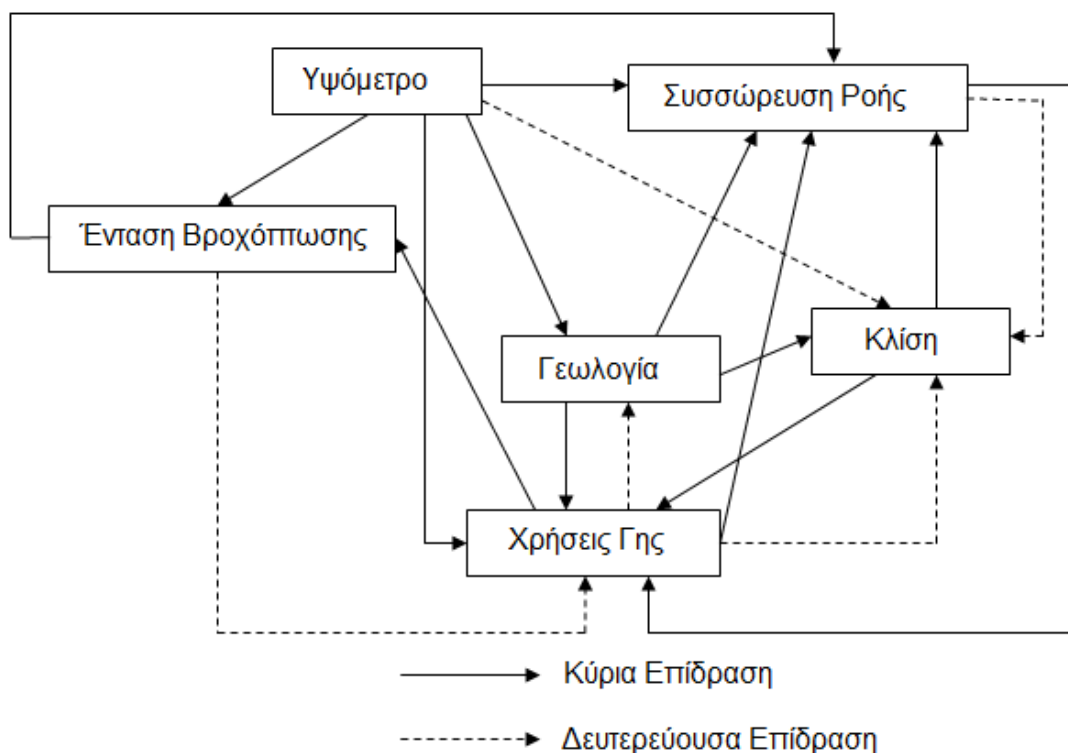
#### 4.1 Μεθοδολογία Δημιουργίας Χαρτών

Για την εκτίμηση των πλημμυρικά επικίνδυνων περιοχών στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης, δημιουργήθηκε ο χάρτης διαβάθμισης της πλημμυρικής επικινδυνότητας σε περιβάλλον GIS ArcMap. Ο τελικός αυτός χωρικός χάρτης προέκυψε από το συνδυασμό 6 επιμέρους θεματικών χαρτών, που σχετίζονται άμεσα με τα πλημμυρικά φαινόμενα. Οι θεματικοί χάρτες που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν: 1) την Ένταση βροχόπτωσης (Rainfall intensity), 2) την Κλίση του εδαφικού ανάγλυφου (Slope), 3) το Υψόμετρο (Elevation), 4) τις Χρήσεις γης (Land use), 5) τη Συσσώρευση επιφανειακής ροής (Flow accumulation) και 6) τη Γεωλογία (Geology). Όλοι αυτοί οι παράγοντες-χάρτες γεωαναφέρθηκαν στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα ΕΓΣΑ '87.

Για να καθοριστεί ο συντελεστής βαρύτητας (A) κάθε παράγοντα – χάρτη στη πλημμυρική επικινδυνότητα, δημιουργήθηκε μια κλίμακα με τιμές με διακύμανση από 1 – 10 points, όπου τα 10 points αποδίδονται στην Πολύ Υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα, τα 8 points στην Υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα, τα 5 points στη Μέτρια πλημμυρική επικινδυνότητα, τα 2 points στην Χαμηλή πλημμυρική επικινδυνότητα, ενώ η Πολύ Χαμηλή πλημμυρική επικινδυνότητα λαμβάνει 1 point. Τα επίπεδα χωρικής πλημμυρικής επικινδυνότητας περιγράφονται ως η πιθανότητα να έχουμε πλημμυρικό γεγονός μέσα σε ένα υδρολογικό έτος:

- 2% πιθανότητα (20-year flood) - Πολύ Υψηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- 1% πιθανότητα (100-year flood) - Υψηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- 0,5% πιθανότητα (200-year flood) - Μέτρια Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- 0,2% πιθανότητα (500-year flood) - Χαμηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα
- < 0,2% πιθανότητα (>500-year flood) - Πολύ Χαμηλή Πλημμυρική Επικινδυνότητα

Ο καθορισμός της επίδρασης του κάθε παράγοντα χωριστά στην πλημμυρική επικινδυνότητα δεν δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα της ολικής επίδρασης. Έτσι, η ολοκληρωμένη συσχέτιση όλων των παραγόντων μαζί είναι απαραίτητη προκειμένου να δημιουργηθεί ο τελικός χωρικός χάρτης πλημμυρικού κινδύνου. Καθώς οι διάφοροι παράγοντες δεν έχουν το ίδιο βαθμό επίδρασης, μια σταθμισμένη προσέγγιση θα πρέπει να ακολουθηθεί προκειμένου να ενσωματωθούν αυτές οι αλληλεπιδράσεις. Για την εκτίμηση των τελικών βαρών των εμπλεκόμενων παραγόντων, μελετήθηκε η επίδραση του κάθε παράγοντα στους υπόλοιπους (αλληλεπίδραση) και η σχηματική αυτή επίδραση φαίνεται στην Εικόνα 3.



**Εικόνα 3: Σχηματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης των παραγόντων που επηρεάζουν την Πλημμυρική Επικινδυνότητα (Kourgialas and Karatzas, 2011)**

Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα έχουμε δυο ειδών επιδράσεις: α) την κύρια επίδραση, στην οποία η μεταβολή ενός παράγοντα έχει άμεση επίδραση σε έναν άλλο και β) τη δευτερεύουσα επίδραση, στην οποία η μεταβολή ενός παράγοντα έχει έμμεση επίδραση σε έναν άλλο παράγοντα. Προκειμένου να ποσοτικοποιήσουμε αυτές

τις δυο μορφές επιδράσεων ορίσαμε ότι η κύρια επίδραση αποσπά 1 point ενώ η δευτερεύουσα επίδραση ενός παράγοντα σε έναν άλλο αποσπά ½ point.

Σύμφωνα με την Εικόνα 3, ο κάθε παράγοντας που αλληλεπιδρά με τους υπόλοιπους αποσπά ένα συγκεκριμένο αριθμό points, έτσι προκύπτει ο ρυθμός επίδρασης (B) του κάθε παράγοντα, Πίνακας 2.

Αναλυτικότερα, σύμφωνα με την Εικόνα 3, ο ρυθμούς επίδρασης (B) για κάθε παράγοντα προσδιορίζεται ως εξής:

#### Ένταση βροχόπτωσης

$$1 \text{ κύρια} + 1 \text{ δευτερεύουσα} = 1 * 1 + 1 * 0,5 = 1,5 \text{ pts}$$

#### Κλίση εδαφικού ανάγλυφου

$$2 \text{ κύριες} + 0 \text{ δευτερεύουσες} = 2 * 1 + 0 * 0,5 = 2,0 \text{ pts}$$

#### Υψόμετρο

$$4 \text{ κύριες} + 1 \text{ δευτερεύουσες} = 4 * 1 + 1 * 0,5 = 4,5 \text{ pts}$$

#### Χρήσεις γης

$$2 \text{ κύριες} + 2 \text{ δευτερεύουσες} = 2 * 1 + 2 * 0,5 = 3,0 \text{ pts}$$

#### Συσσωρευση ροής

$$1 \text{ κύρια} + 1 \text{ δευτερεύουσα} = 1 * 1 + 1 * 0,5 = 1,5 \text{ pts}$$

#### Γεωλογία

$$3 \text{ κύριες} + 0 \text{ δευτερεύουσες} = 3 * 1 + 0 * 0,5 = 3,0 \text{ pts}$$

Για να έχουμε μια ικανοποιητικότερη αποτίμηση της επίδρασης του κάθε παράγοντα, στην πλημμυρική επικινδυνότητα προσδιορίζουμε τον παράγοντα (A\*B) ο οποίος προκύπτει από το γινόμενο του συντελεστή βαρύτητας (A) του κάθε επιπέδου με το ρυθμό επίδρασης (B) του κάθε παράγοντα. Το τελικό ποσοστό με το οποίο ο κάθε παράγοντας επιδρά στην πλημμυρική επικινδυνότητα προκύπτει από τη διαίρεση του

συνολικού βάρους του κάθε παράγοντα με το ολικό συνολικό βάρος (το άθροισμα δηλαδή του συνολικού βάρους των 6 παραγόντων).

Με βάση την παραπάνω μεθοδολογία και τα αντίστοιχα ποσοστά επίδρασης του κάθε παράγοντα (Πίνακας 2), οι θεματικοί χάρτες που δημιουργήθηκαν για την επίδραση του κάθε παράγοντα στην πλημμυρική επικινδυνότητα συνδυάστηκαν με τη μέθοδο της σταθμισμένης επικάλυψης των θεματικών επιπέδων σε περιβάλλον GIS. Στόχος ήταν η δημιουργία του τελικού χάρτη επικινδυνότητας πλημμυρικών φαινομένων για το Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης.

Με βάση την τεχνική της σταθμισμένης επικάλυψης, κάθε χάρτης (παράγοντας) πολλαπλασιάζεται με το ποσοστό συνεισφοράς του, και μετέπειτα όλοι οι χάρτες αθροίζονται αποδίδοντας το τελικό χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας  $S$ , για την περιοχή ενδιαφέροντος (Kourgialas and Karatzas, 2011):

Όπου:

$$S = \sum w_i x_i , \quad (1)$$

$w_i$  = συνολικό βάρος – ποσοστό συνεισφοράς του κάθε παράγοντα  $i$  και

$x_i$  = χάρτης – παράγοντας (factor map)  $i$ .

## 5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα δημιουργίας των έξι επιμέρους χαρτών που εμπλέκονται στη δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων και ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας για το Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης.

#### 5.1 Χάρτης Έντασης Βροχόπτωσης – (Modified Fournier Index) MFI map

Παρακάτω θα γίνει αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας που πρέπει να ακολουθήσουμε για την κατασκευή του χάρτη MFI κάνοντας χρήση των ΓΣΠ.

Με βάση τα βροχομετρικά δεδομένα 63 μετεωρολογικών σταθμών στο Υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης ([www.meteorologia.gr](http://www.meteorologia.gr)) δημιουργήθηκε ο χάρτης έντασης βροχόπτωσης (rainfall intensity). Ο δείκτης MFI εκφράζει το άθροισμα της μέσης μηνιαίας έντασης της βροχόπτωσης για κάθε ένα σταθμό. Ο δείκτης MFI δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

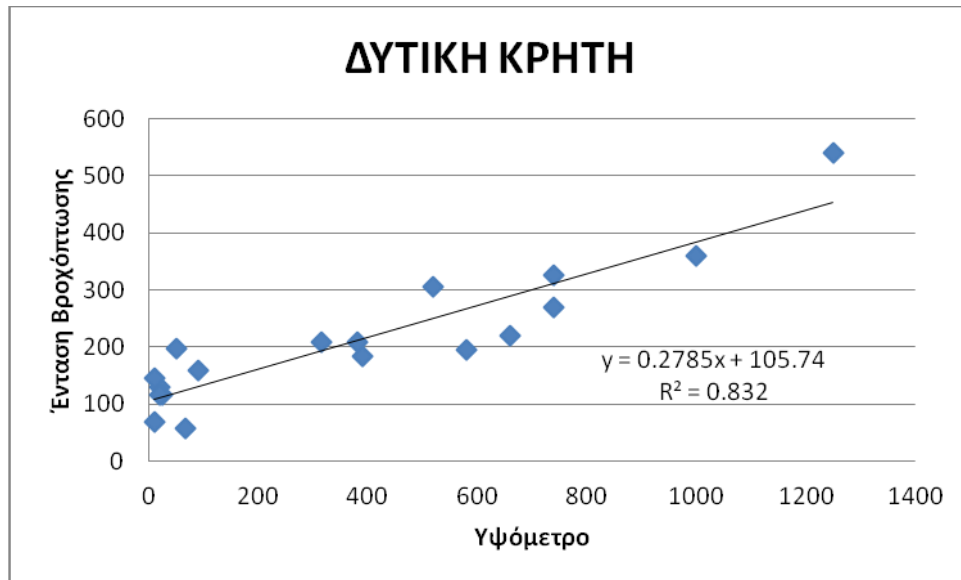
$$MFI = \sum_1^{12} \frac{p^2}{P} \quad (2)$$

Όπου,  $p$  = είναι ο μέσος όρος της μηνιαίας βροχόπτωσης

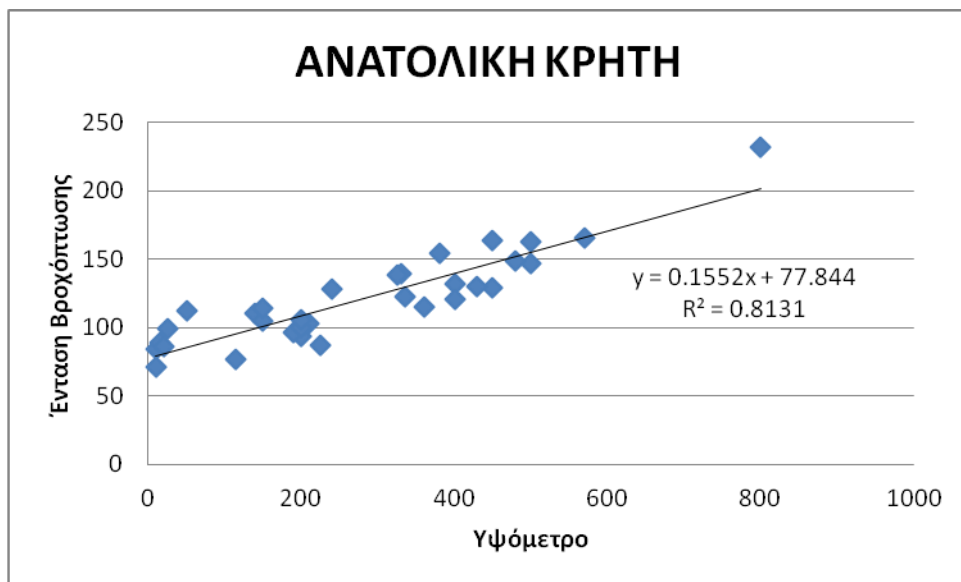
και  $P$  = ο μέσος όρος της ετήσιας βροχόπτωσης

Έτσι για κάθε μετεωρολογικό σταθμό βρέθηκε ο δείκτης MFI που τον χαρακτηρίζει.

Στη συνέχεια συσχέτισαμε το υψόμετρο του κάθε σταθμού με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη MFI, προσδιορίζοντας έτσι τη γραμμική συσχέτιση μεταξύ υψομέτρου και δείκτη MFI ξεχωριστά για την ανατολική και τη δυτική Κρήτη. Ο σκοπός αυτού του διαχωρισμού έγκειται στο γεγονός ότι η δυτική Κρήτη δέχεται περισσότερα ύψη βροχής από την ανατολική Κρήτη.



Εικόνα 4: Διάγραμμα έντασης της βροχόπτωσης σε συνάρτηση με το υψόμετρο για την Δυτική Κρήτη



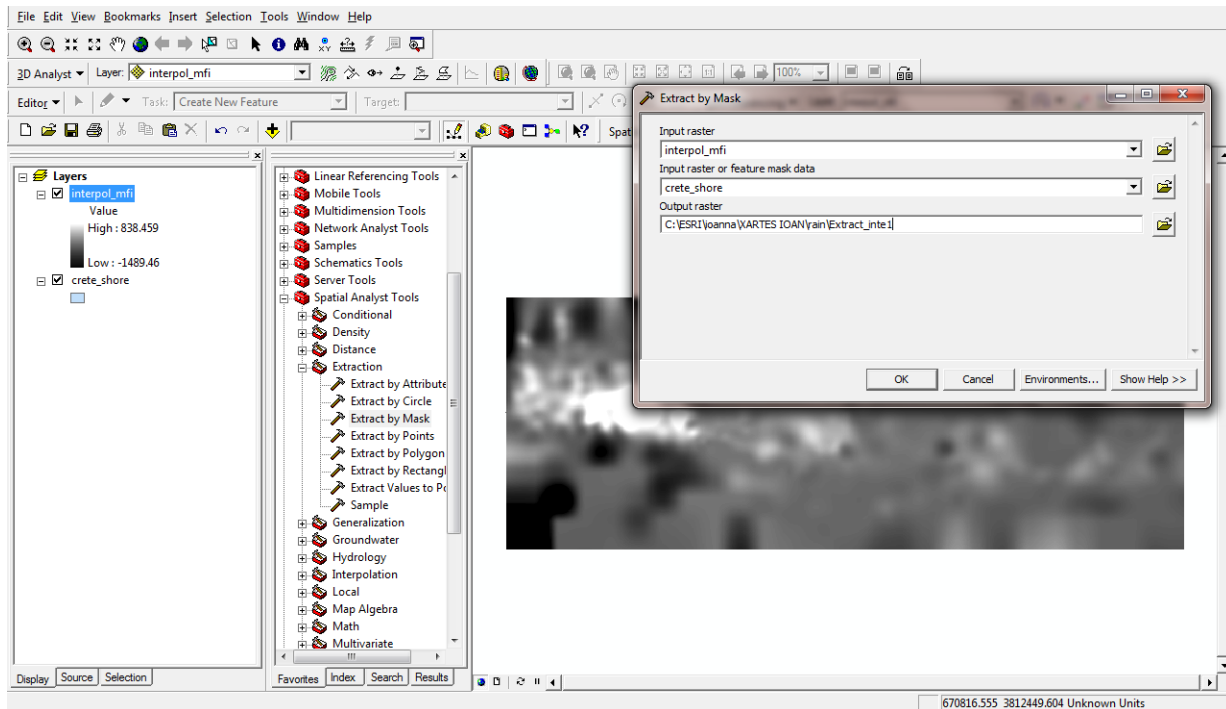
Εικόνα 5: Διάγραμμα έντασης της βροχόπτωσης σε συνάρτηση με το υψόμετρο για την Ανατολική Κρήτη

Όπως προκύπτει από τις Εικόνες 4 και 5 υπάρχει αρκετά καλή συσχέτιση μεταξύ υψόμετρου και ένταση βροχής τόσο για την δυτική όσο και τη ανατολική Κρήτη. Στη συνέχεια καλούμαστε να απεικονίσουμε χωρικά την ένταση βροχόπτωσης με βάση το δείκτη MFI και να τη συσχετίσουμε με την πλημμυρική επικινδυνότητα για κάθε σημείο

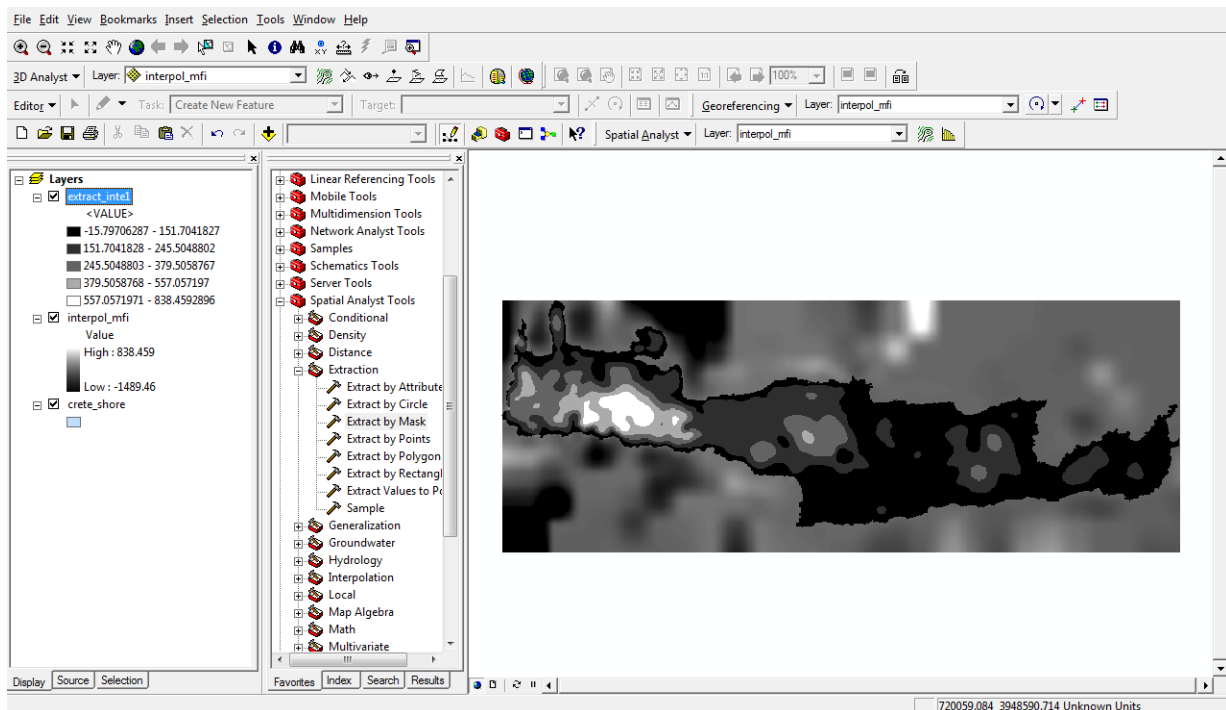
του Υδατικού Διαμερίσματος της Κρήτης. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί κάνοντας παρεμβολή (interpolation) με βάση τον δείκτη MFI (Modified Fourier Index). Προκειμένου όμως η παρεμβολή αυτή να είναι πιο αξιόπιστη θα πρέπει να έχουμε περισσότερα κατανεμημένα σημεία – σταθμούς στο Υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης με τις αντίστοιχες τιμές του δείκτη MFI. Προκειμένου λοιπόν να δημιουργήσουμε (προσθέσουμε) υποθετικούς σταθμούς, θα χρησιμοποιήσουμε τις γραμμικές εξισώσεις που συσχετίζουν το τοπογραφικό υψόμετρο με το δείκτη MFI για την δυτική και ανατολική Κρήτη. Με βάση λοιπόν το τοπογραφικό υψόμετρο προσθέσαμε υποθετικά σημεία – σταθμούς τόσο στην ακτογραμμή όσο και στο εσωτερικό του Υδατικού Διαμερίσματος της Κρήτης. Αναλυτικότερα, στην ακτογραμμή θεωρούμε μηδενικό υψόμετρο ενώ στο εσωτερικό κάθε νομού βρίσκουμε το υψόμετρο κάθε νέου υποθετικού-σταθμού από τις ισούψεις καμπύλες και με βάση ξανά τις δυο εξισώσεις συσχέτισης υψόμετρου και δείκτη MFI, προσδιορίζουμε τον δείκτη MFI για κάθε νέο υποθετικό σταθμό.

#### **5.1.1 Παρεμβολή χάρτη – Interpolation**

Στο περιβάλλον GIS εισαγάγουμε αρχικά το σημειακό αρχείο των σταθμών (πραγματικών και υποθετικών), το συγκεκριμένο αρχείο περιέχει την ποιοτική πληροφορία με τις τιμές του δείκτη MFI για κάθε σταθμό. Στη συνέχεια με τη χρήση της εντολής Interpolation to Raster και στην συνέχεια με τη μέθοδο παρεμβολής Spine για τις τιμές του δείκτη MFI δημιουργούμε ένα αρχείο καννάβου που περιγράφει τη διακύμανση της έντασης βροχόπτωσης (δείκτης MFI) (Εικόνα 6). Με τη χρήση του εργαλείου Spatial Analyst Tools και την εντολή Extract by Mask προσδιορίζουμε το τελικό χάρτη έντασης βροχής για το Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης (Εικόνα 7).

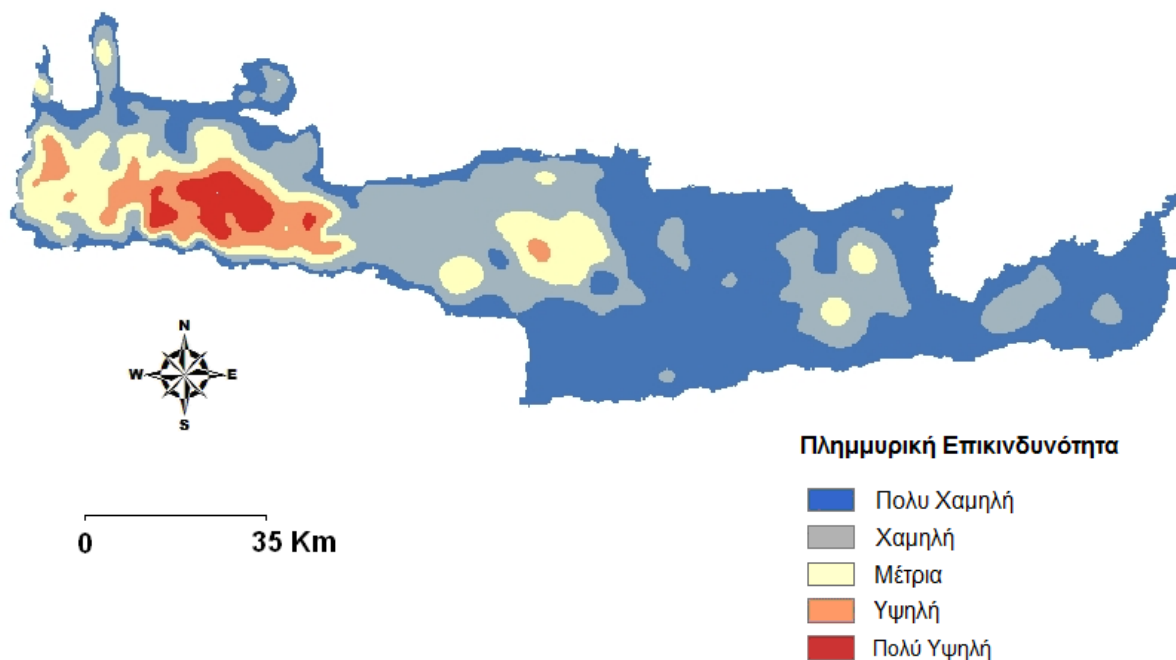


Εικόνα 6: Εφαρμογή εντολής Παρεμβολής - Interpolation



Εικόνα 7: Εφαρμογή εντολής αποκοπής στα όρια της Κρήτης - Extract by Mask

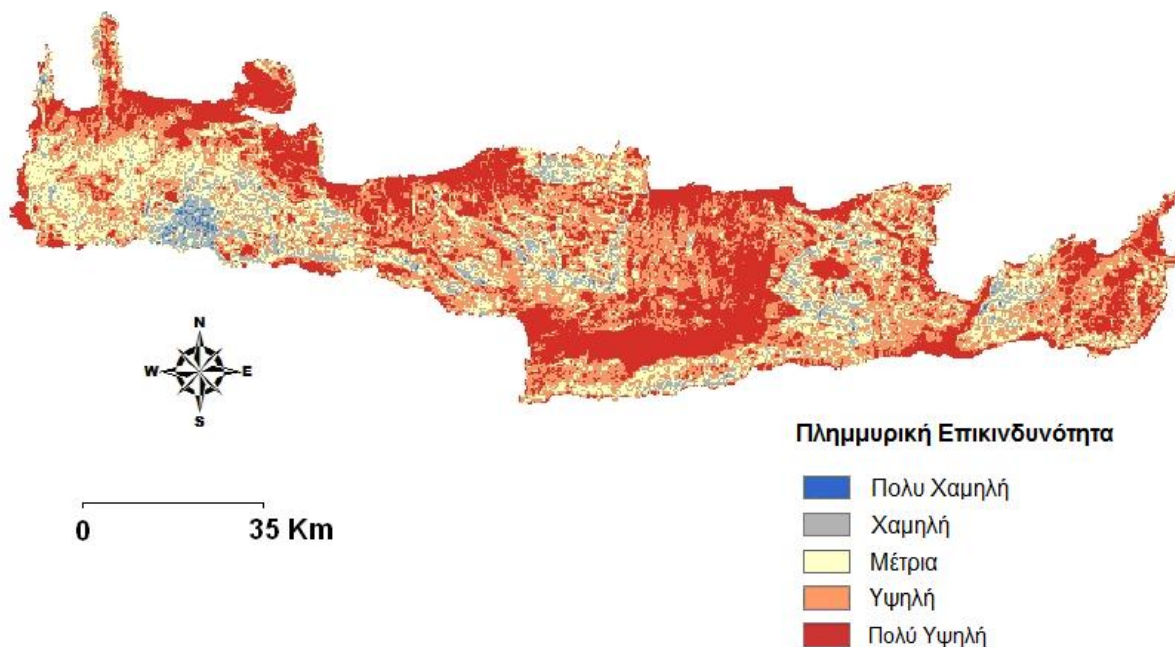
Στην συνέχεια καλούμαστε να κατηγοριοποιήσουμε τη διακύμανση των τιμών του δείκτη MFI σε 5 κλάσεις, έτσι ώστε ο τελικός χάρτης που θα διαμορφωθεί να περιέχει πέντε κλίμακες – κλάσεις από 1-5 (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή ένταση βροχής). Οι πέντε αυτές κλάσεις έντασης βροχής περιγράφουν αντίστοιχα τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας. Αναλυτικότερα, όσο πιο αυξημένη είναι η ένταση βροχόπτωσης τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου, άρα η διακύμανση των τιμών του δείκτη MFI που ανήκουν στην κλάση πολύ υψηλή ένταση βροχής περιγράφουν αντίστοιχα και πολύ υψηλό κίνδυνο εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου. Οπότε με βάση την εντολή Reclassify προκύπτει ο τελικός χάρτης που απεικονίζει χωρικά τον πλημμυρικό κίνδυνο με βάση το παράγοντα της έντασης της βροχόπτωσης για τις περιοχές της Κρήτης (Εικόνα 8).



**Εικόνα 8: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με τη Ένταση της Βροχόπτωσης στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης**

## 5.2 Χάρτης Κλίσεων Εδαφικού Ανάγλυφου – slope map

Σύμφωνα με το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους [Digital Elevation Model (DEM)] της περιοχής της Κρήτης και με τη βοήθεια του λογισμικού 3-D Analyst εφαρμόζουμε την εντολή Surface Analysis και έπειτα την εντολή Slope έτσι ώστε να εμφανίσουμε τον χάρτη της πλημμυρικής επικινδυνότητας σύμφωνα με την κλίση του εδάφους στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης. Έπειτα καλούμαστε να κατηγοριοποιήσουμε τη διακύμανση των τιμών των κλίσεων σε 5 κλάσεις, έτσι ώστε ο τελικός χάρτης που θα διαμορφωθεί να περιέχει πέντε κλίμακες – κλάσεις από 1-5 (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα). Οι πέντε αυτές κλάσεις των κλίσεων του εδαφικού ανάγλυφου περιγράφουν αντίστοιχα τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο μικρή κλίση παρουσιάζει το έδαφος τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου, άρα η διακύμανση των τιμών των κλίσεων που ανήκουν στην πολύ υψηλή κλάση περιγράφουν αντίστοιχα και πολύ υψηλό κίνδυνο εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου. Τέλος, με την εφαρμογή της εντολής Reclassify προκύπτει ο τελικός χάρτης που απεικονίζει χωρικά τον πλημμυρικό κίνδυνο με βάση το παράγοντα των κλίσεων του εδαφικού ανάγλυφου για τις περιοχές της Κρήτης (Εικόνα 9).

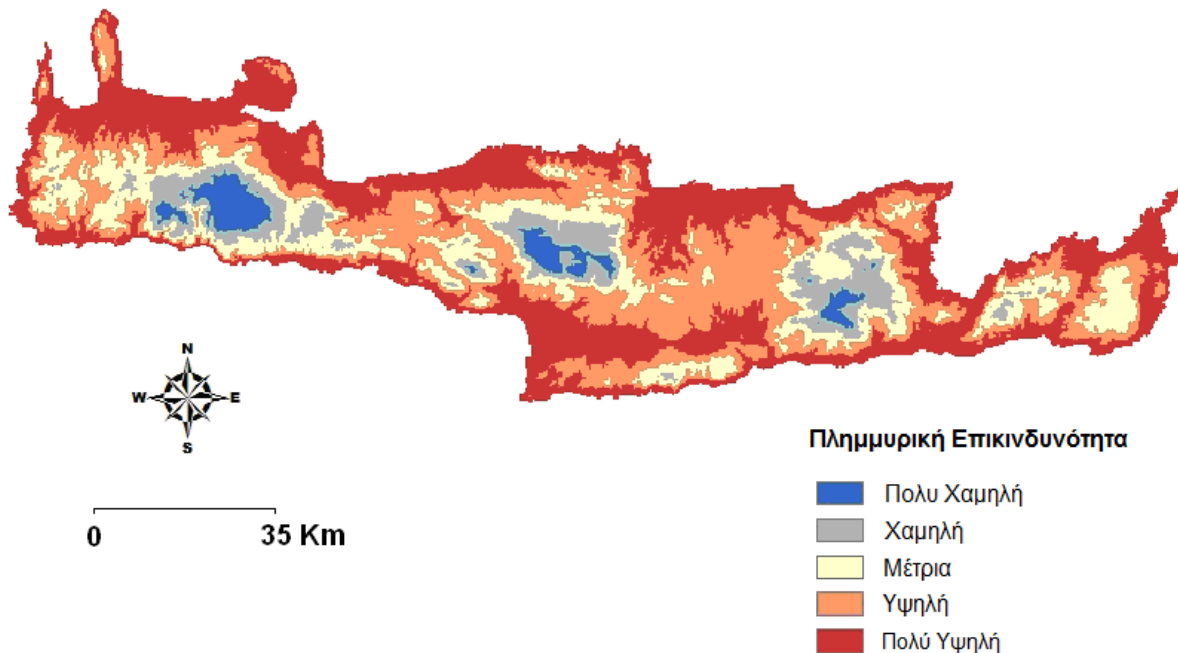


Εικόνα 9: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Κλίση του εδαφικού ανάγλυφου στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης

### 5.3 Χάρτης Υψομέτρων – elevation map

Με βάση το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους [Digital Elevation Model (DEM)] της περιοχής της Κρήτης και με την εφαρμογή της εντολής Classification δημιουργήσαμε τον ακόλουθο χάρτη που παρουσιάζει την διαβάθμιση της πλημμυρικής επικινδυνότητας με βάση τα υψόμετρα στο υδατικό διαμέρισμα της Κρήτης (Εικόνα 10). Αναλυτικότερα, τα υψόμετρα του Υδατικού Διαμερίσματος της Κρήτης κατηγοριοποιήθηκαν σε 5 κλάσεις, από 1-5 (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα). Οι πέντε αυτές κλάσεις των υψομέτρων του εδαφικού ανάγλυφου περιγράφουν αντίστοιχα τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας για το συγκριμένο παράγοντα. Με βάση τη βιβλιογραφία όσο πιο μικρά είναι τα υψόμετρα τόσο μεγαλύτερος ο κίνδυνος να εμφανιστεί ένα πλημμυρικό φαινόμενο σε σχέση με τις ημιορεινές και ορεινές περιοχές. Το πλημμυρικό κύμα φορτίζεται στα πιο υψηλά υψόμετρα και εν συνεχεία εκτονώνεται στα χαμηλότερα υψόμετρα. Άρα η διακύμανση

των τιμών των πιο χαμηλών υψομέτρων περιγράφουν αντίστοιχα και πολύ υψηλό κίνδυνο εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου.

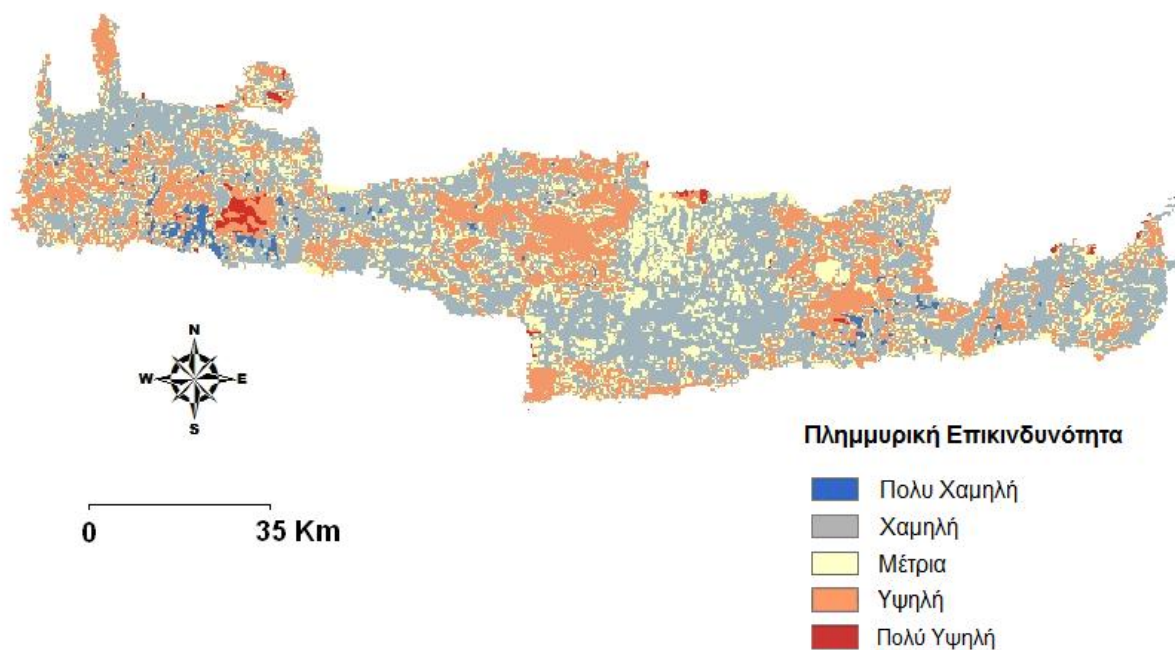


Εικόνα 10: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με το Υψόμετρο στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης

#### 5.4 Χάρτης Χρήσεων γης – land use map

Για την κατασκευή του χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας σε σχέση με τις χρήσεις γης χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα Corine 2000. Αρχικά μετατρέψαμε το γραμμικό (πολυγωνικό) αρχείο (shp) σε αρχείο καννάβου τύπου (raster), με την χρήση του εργαλείου (tool) Spatial Analyst και στη συνέχεια με την εφαρμογή της εντολής Convert (Features to Raster). Στη συνέχεια καταγοριοποιήσαμε τις χρήσεις γης σε 5 κλάσεις με βάση τη συμβολή της κάθε μιας χρήσης γης στην εμφάνιση πλημμυρικού κινδύνου (πολύ χαμηλή – πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα). Επιλέγοντας ξανά το εργαλείο Spatial Analyst και μετά την εντολή Reclassify δημιουργήσαμε τις 5 κλάσεις. Με βάση τον τύπο των χρήσεων γης καλούμαστε να τις ανάγουμε σε 5 κλάσεις ανάλογα με την επικινδυνότητά τους σε περίπτωση εκδήλωσης πλημμύρας. Έτσι διαμορφώνουμε τον τελικό χάρτη χρήσεων γης σε σχέση με τον πλημμυρικό κίνδυνο

(Εικόνα 11). Για το Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης στην ζώνη της πολύ υψηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας συναντάμε χρήσεις γης που σχετίζονται με αστικές – βιομηχανικές περιοχές καθώς επίσης βραχώδης και καμένες εκτάσεις. Αντίθετα, στην πολύ χαμηλή πλημμυρική επικινδυνότητα εντάσσονται τα μικτά δάση.

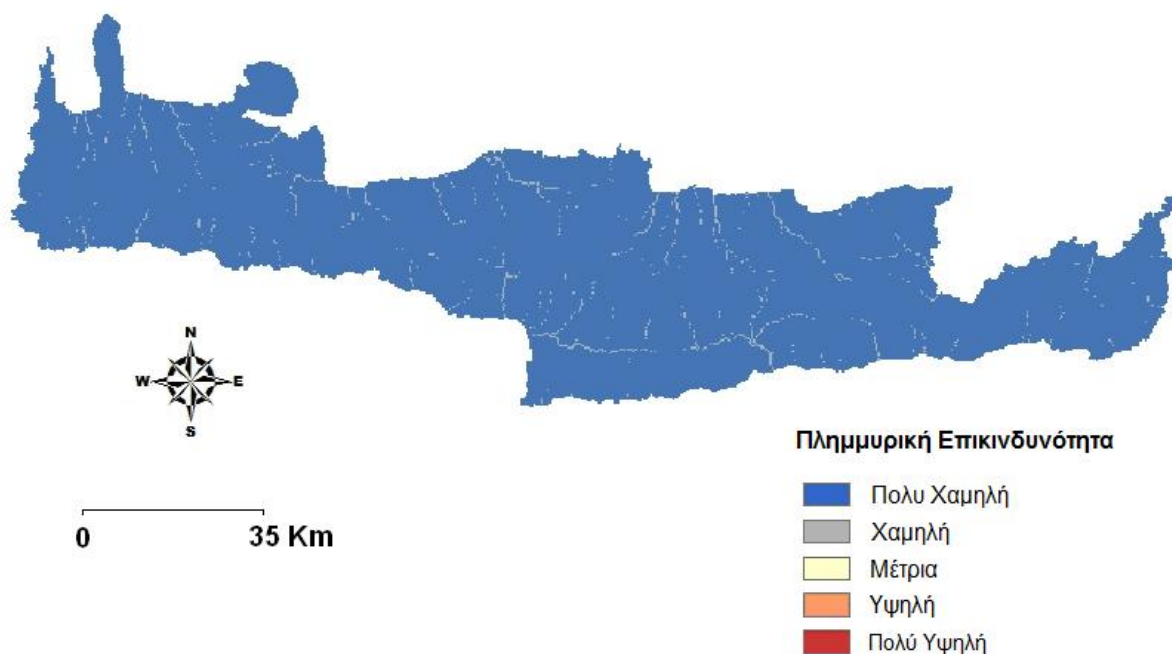


Εικόνα 11: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με τις Χρήσεις γης στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης

### 5.5 Χάρτης Συσσώρευσης Επιφανειακής Ροής – flow accumulation map

Ο χάρτης συγκέντρωσης ροής (σημεία σημαντικής συγκέντρωσης του επιφανειακού νερού), καθορίζει τον αριθμό των κελιών τα οποία συνεισφέρουν υδρολογικά σε κάθε ένα κελί τύπου raster της περιοχής μελέτης. Ο εν λόγω ο χάρτης συγκέντρωσης ροής δημιουργήθηκε με βάση το χάρτη διεύθυνσης ροής σε συνδυασμό με τον κατάλληλο αλγόριθμο (Flow accumulation - ArcHydro). Στο δημιουργούμενο χάρτη συγκέντρωσης ροής, τα κελιά με υψηλή τιμή συγκέντρωσης ροής (pixels), είναι περιοχές σημαντικής συγκέντρωσης του επιφανειακού νερού (Kourgialas and Karatzas, 2011). Έπειτα, κλιθήκαμε να κατηγοριοποιήσουμε τη διακύμανση των τιμών της

συσσώρευσης ροής σε 5 κλάσεις, έτσι ώστε ο τελικός χάρτης που θα διαμορφωθεί να περιέχει πέντε κλίμακες – κλάσεις από 1-5 (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα). Οι πέντε αυτές κλάσεις της συσσώρευσης επιφανειακής ροής περιγράφουν αντίστοιχα τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο μεγάλη συσσώρευση ροής παρουσιάζει μια περιοχή τόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου, άρα η διακύμανση των υψηλών τιμών της συσσώρευσης ροής περιγράφουν αντίστοιχα και πολύ υψηλό κίνδυνο εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου. Τέλος, με βάση την εντολή Reclassify προκύπτει ο τελικός χάρτης που απεικονίζει χωρικά τον πλημμυρικό κίνδυνο με βάση το παράγοντα της συσσώρευσης επιφανειακής ροής για τις περιοχές της Κρήτης (Εικόνα 12).



**Εικόνα 12: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Συσσώρευση επιφανειακής ροής στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης**

Στην Εικόνα 13 δίνεται έμφαση στην συσσώρευση ροής στην περιοχή της Μεσαράς έτσι ώστε να εντοπιστεί η διαφορά στην διαβάθμισής της. Με έντονο κόκκινο χρώμα φαίνονται οι περιοχές που η επικινδυνότητα εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου είναι πιο έντονη (πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα).

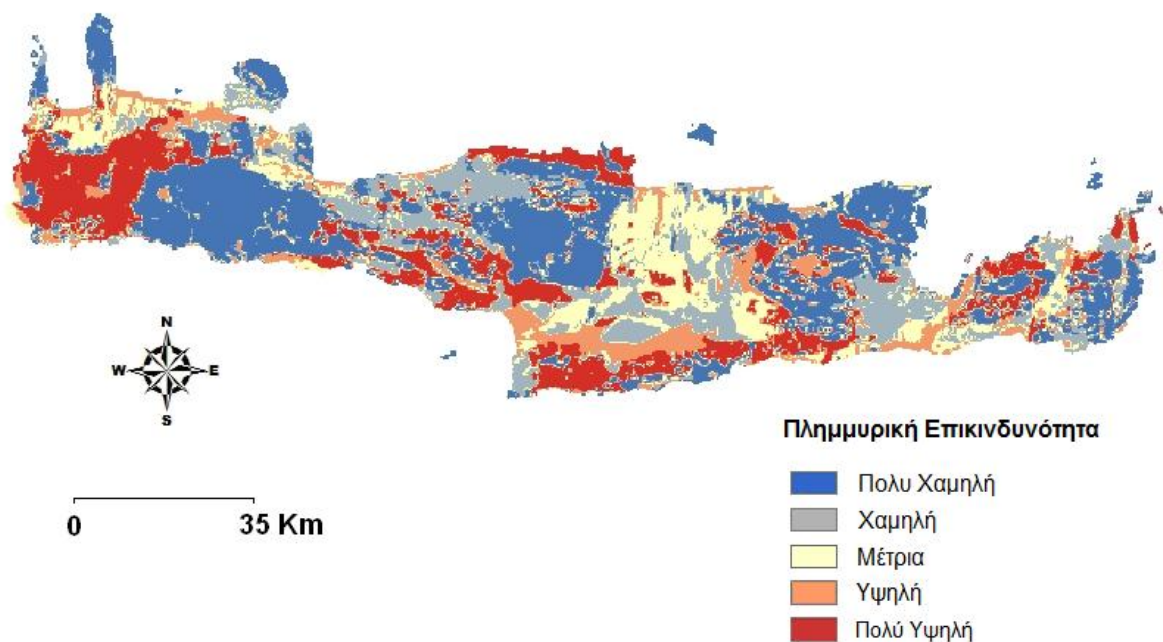


Εικόνα 13: Πλημμυρική επικινδυνότητα στην περιοχή της Μεσαράς με βάση τη Συσσώρευση επιφανειακής ροής.

## 5.6 Χάρτης Γεωλογίας – geology map

Ο γεωλογικός χάρτης δίνει τις περιοχές όπου λόγω των διαφορετικών γεωλογικών σχηματισμών κινδυνεύουν περισσότερο ή λιγότερο από πλημμυρικά φαινόμενα. Καλούμαστε να κατηγοριοποιήσουμε τη διακύμανση των τιμών της γεωλογίας σε 5 κλάσεις, έτσι ώστε ο τελικός χάρτης που θα διαμορφωθεί να περιέχει πέντε κλίμακες – κλάσεις από 1-5 (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα). Οι πέντε αυτές κλάσεις περιγράφουν αντίστοιχα τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας. Πιο συγκεκριμένα, στη ζώνη της πολύ υψηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας συναντάμε τα αδιαπέρατα γεωλογικά στρώματα τα οποία περιγράφουν πολύ υψηλό κίνδυνο εμφάνισης ενός πλημμυρικού φαινομένου. Σε αντίθεση με τους καρστικούς σχηματισμούς που ανήκουν στην πολύ χαμηλή ζώνη πλημμυρικής

επικινδυνότητας και περιγράφουν πολύ χαμηλό κίνδυνο εμφάνισης πλημμυρικού φαινομένου. Τέλος, με βάση την εντολή Reclassify προκύπτει ο τελικός χάρτης που απεικονίζει χωρικά τον πλημμυρικό κίνδυνο με βάση το παράγοντα της γεωλογίας για τις περιοχές της Κρήτης (Εικόνα 14).



Εικόνα 14: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σύμφωνα με την Γεωλογία στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης

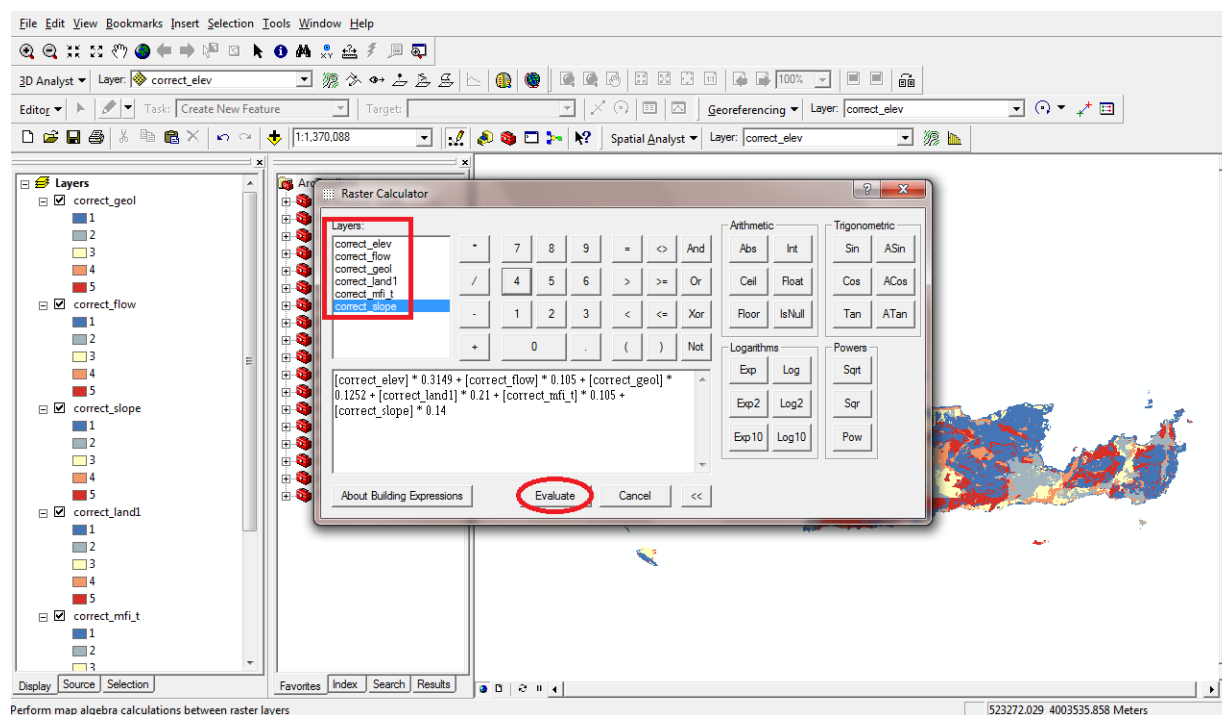
## 5.7 Τελικός υπολογισμός – Final Raster Calculator

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην Ενότητα 4, δημιουργήθηκαν οι χάρτες της επίδρασης του κάθε παράγοντα στην πλημμυρική επικινδυνότητα. Οι χάρτες αυτοί βάση των αντίστοιχων ποσοστών επίδρασης του κάθε παράγοντα (Πίνακας 2), συνδυάστηκαν με τη μέθοδο της σταθμισμένης επικάλυψης των θεματικών επιπέδων σε περιβάλλον GIS, με στόχο τη δημιουργία του τελικού χάρτη επικινδυνότητας πλημμυρικών φαινομένων στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης. Αναλυτικότερα, με βάση την τεχνική της **σταθμισμένης επικάλυψης**, κάθε παράγοντας-χάρτης πολλαπλασιάζεται με το ποσοστό συνεισφοράς του και στη

συνέχεια όλοι οι χάρτες αθροίζονται για να δώσουν τον τελικό χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας.

Έτσι οι έξι παράγοντες-χάρτες πολλαπλασιάστηκαν με τα αντίστοιχα βάρη τους και αθροίζονται σε περιβάλλον GIS, με την βοήθεια της εντολής Raster Calculator, και με σκοπό τη δημιουργία του τελικού χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας για την περιοχή της Κρήτης (Εικόνα 16).

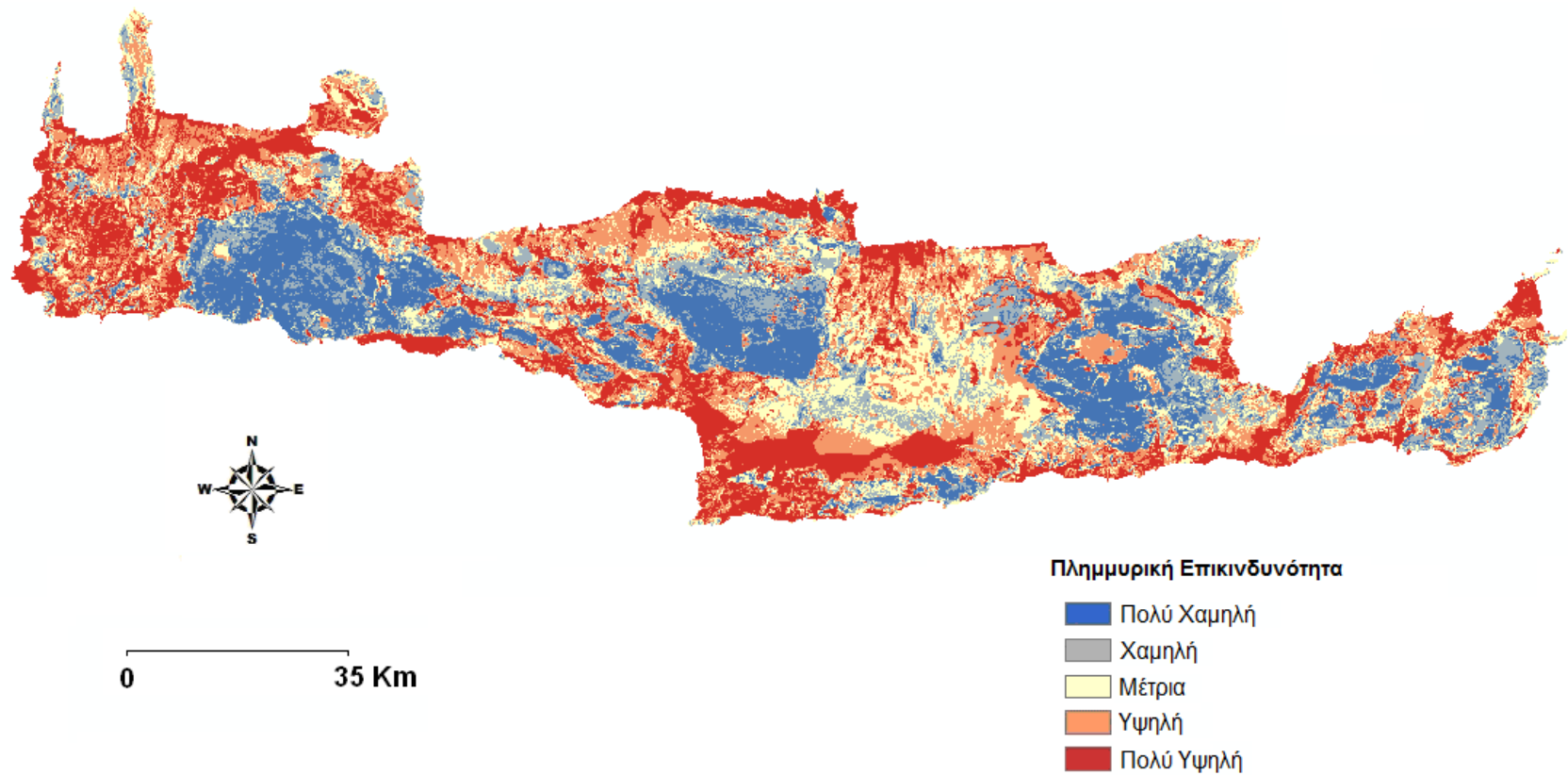
Αναλυτικότερα για την διαδικασία του τελικού υπολογισμού εφαρμόζεται η εντολή Raster Calculator (Εικόνα 15) όπου οι επιλεγμένοι θεματικοί χάρτες πολλαπλασιάζουμε με τους αντίστοιχους συντελεστές βαρύτητας (Πίνακας 2), και το άθροισμα όλων των παραγόντων δίνει τον τελικό χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας, προσδιορίζοντας έτσι τις περιοχές που βρίσκονται σε κίνδυνο σε περίπτωση πλημμύρας. Για να ολοκληρωθεί ο υπολογισμός πρέπει να εφαρμοστεί η εντολή Evaluate.



Εικόνα 15: Διαδικασία τελικού υπολογισμού Πλημμυρικής Επικινδυνότητας

Διαμορφώνεται έτσι ο τελικός χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας ο οποίος κατηγοριοποιείται σε 5 κλάσεις, (πολύ χαμηλή - πολύ υψηλή πλημμυρική

επικινδυνότητα). Οι πέντε αυτές κλάσεις του τελικού χάρτη περιγράφουν αντίστοιχα τα πέντε διαφορετικά είδη πλημμυρικής επικινδυνότητας. Ο τελικός χάρτης πλημμυρικού κίνδυνου για τις περιοχές της Κρήτης προκύπτει με βάση την εντολή Reclassify (Εικόνα 16). Μπορούμε εύκολα να παρατηρήσουμε ότι κυρίως στις πεδινές περιοχές ο κίνδυνος εκδήλωσης ενός ανεπιθύμητου πλημμυρικού φαινομένου είναι αυξημένος σε σχέση με περιοχές που εμφανίζουν μεγαλύτερο υψόμετρο.



Εικόνα 16: Πλημμυρική Επικινδυνότητα στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης

Πίνακας 2: Κατηγοριοποίηση: Βαθμονόμηση παραγόντων που συμβάλλουν στην πλημμυρική επικινδυνότητα

Παράγοντας	Περιοχή Επίδρασης	Πλημμυρική Επικινδυνότητα	Συντελεστής Βαρύτητας (A)	Ρυθμός Επίδρασης (B)	(A*B)	Συνολικό Βάρος	Ποσοστό Επίδρασης (%)
Συσσώρευση Ροής (pixels)	128.590 - 220.071	Πολύ Υψηλή	10	1.5	15	39	9.68
	64.727 - 128.590	Υψηλή	8		12		
	27.617- 64.727	Μέτρια	5		7.5		
	6.041 - 27.617	Χαμηλή	2		3		
	0 - 6.041	Πολύ Χαμηλή	1		1.5		
Κλίση Εδάφους (degree)	0 - 7.56	Πολύ Υψηλή	10	2	20	52	12.90
	7.56 - 14.83	Υψηλή	8		16		
	14.83 - 23.00	Μέτρια	5		10		
	23.00 - 33.28	Χαμηλή	2		4		
	33.28 - 77.16	Πολύ Χαμηλή	1		2		
Χρήσεις Γης	Αστικές - Βιομηχανικές περιοχές, Βραχώδης και Καμένες εκτάσεις	Πολύ Υψηλή	10	3	30	78	19.35
	Περιοχές με αραιή βλάστηση	Υψηλή	8		24		
	Καλλιεργούμενες εκτάσεις και Βοσκοτόπια	Μέτρια	5		15		
	Αγροτικές περιοχές	Χαμηλή	2		6		
	Μικτά δάση	Πολύ Χαμηλή	1		3		
Ένταση Βροχόπτωσης (μονάδες MFI)	554 – 838	Πολύ Υψηλή	10	1.5	15	39	9.68
	377 – 554	Υψηλή	8		12		
	244 – 377	Μέτρια	5		7.5		
	151- 244	Χαμηλή	2		3		
	0-151	Πολύ Χαμηλή	1		1.5		

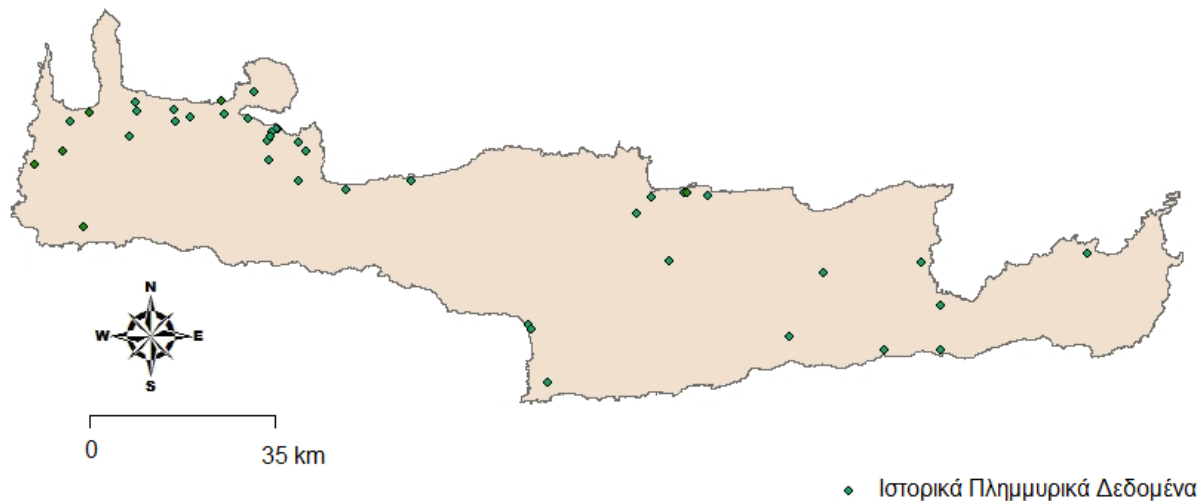
Παράγοντας	Περιοχή Επίδρασης	Πλημμυρική Επικινδυνότητα	Συντελεστής Βαρύτητας (A)	Ρυθμός Επίδρασης (B)	(A*B)	Συνολικό Βάρος	Ποσοστό Επίδρασης (%)
Γεωλογία Εδάφους	Αδιαπέρατα στρώματα	Πολύ Υψηλή	10	3	30	78	19.35
	Προσχωματικοί Σχηματισμοί - Χαμηλής Διαπερατότητας	Υψηλή	8		24		
	Προσχωματικοί Σχηματισμοί - Μέτριας Διαπερατότητας	Μέτρια	5		15		
	Προσχωματικοί Σχηματισμοί - Υψηλής Διαπερατότητας	Χαμηλή	2		6		
	Καρστικοί σχηματισμοί	Πολύ Χαμηλή	1		3		
Υψόμετρο (m)	0 – 263	Πολύ Υψηλή	10	4.5	45	117	29.03
	263 – 547	Υψηλή	8		36		
	547 – 930	Μέτρια	5		22.5		
	930 - 1.465	Χαμηλή	2		9		
	1.465 - 2.458	Πολύ Χαμηλή	1		4.5		
<b>Σύνολο</b>						<b>403</b>	<b>100</b>

## 6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

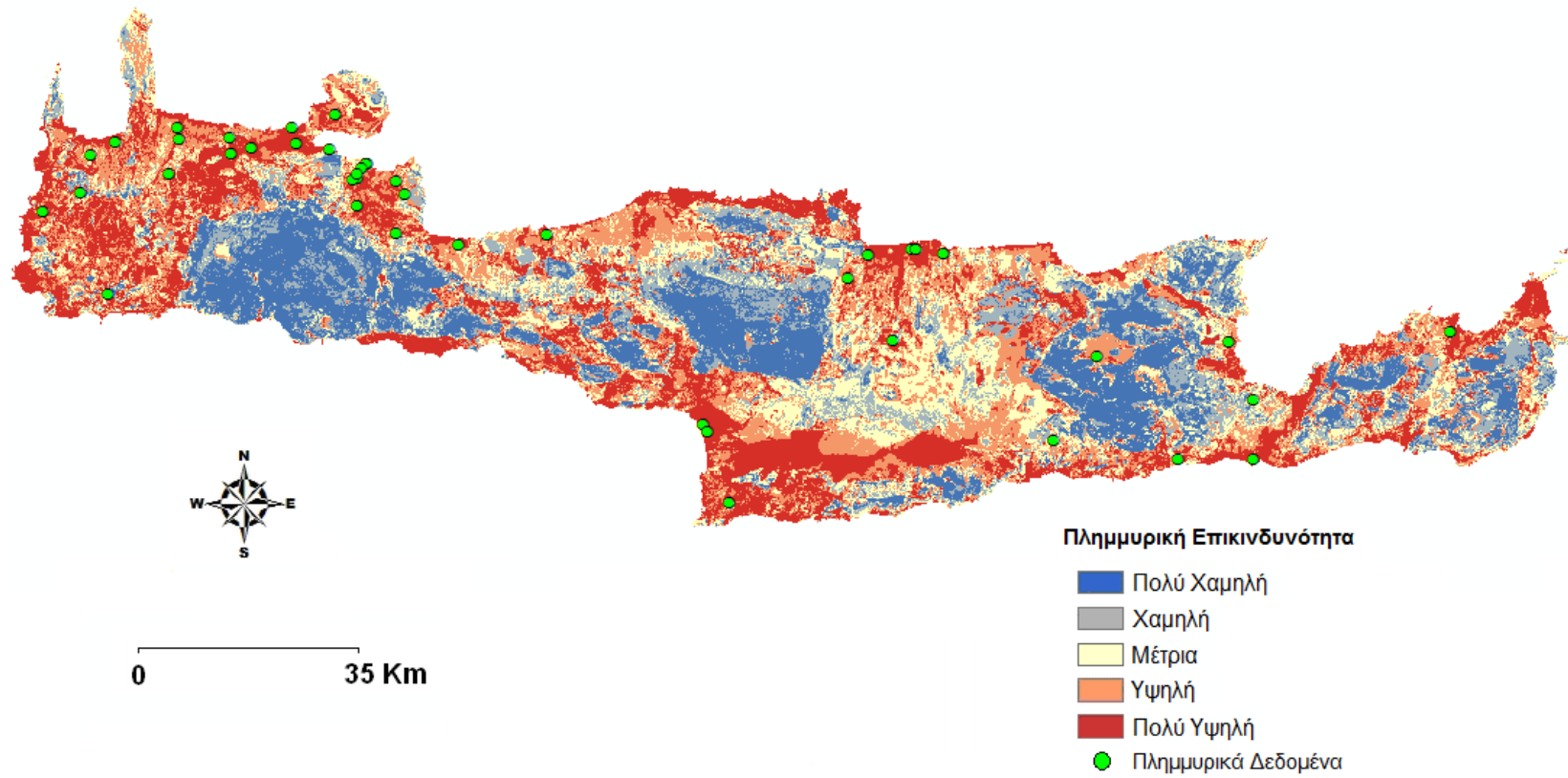
#### 6.1 Ιστορικά Πλημμυρικά Σημεία - Γεωαναφορά

Η ενοποίηση των έξι χαρτών (ένταση βροχόπτωσης, κλίση εδαφικού ανάγλυφου, υψόμετρο, χρήσεις γης, συσσώρευση επιφανειακής ροής και γεωλογία) εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία που περιγράψαμε παραπάνω θα δώσει μια εκτίμηση εκείνων των περιοχών που είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα για την Κρήτη. Προκειμένου να επαληθεύσουμε τα αποτελέσματα αυτής της μεθοδολογίας θα χρησιμοποιήσουμε ιστορικά δεδομένα, σημεία δηλαδή που κατά το παρελθόν (τα τελευταία 100 χρόνια) έχουν σημειωθεί πλημμυρικά γεγονότα στην ευρύτερη περιοχή του Υδατικού Διαμερίσματος της Κρήτης. Για κάποια από τα παραπάνω ιστορικά πλημμυρικά σημεία υπήρχε ακριβής προσδιορισμός με χρήση συντεταγμένων, υπήρχαν όμως και αναφορές για επιπλέον ιστορικών σημείων τα οποία απεικονίζονται σε μορφή χαρτών (Diakakis et al., 2012). Προκειμένου να εξάγουμε-χρησιμοποιήσουμε αυτή την πληροφορία από τους χάρτες και να τη μετατρέψουμε σε ψηφιακή μορφή εφαρμόσαμε την διαδικασία της γεωαναφοράς. Η γεωαναφορά είναι μια χαρτογραφική διαδικασία όπου ένα σύνολο από δεδομένα χωρικής μορφής αλλάζει σύστημα αναφοράς και μεταφέρεται στο σύστημα αναφοράς της μελέτης που εκπονείται (Τσουχλαράκη και Αχιλλέως, 2011). Στην χώρα μας όλα τα ψηφιακά δεδομένα που υπάρχουν και διατίθενται βρίσκονται στο επίσημο σύστημα αναφοράς του κράτους, το ΕΓΣΑ '87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987). Η διαδικασία που ακολουθούμε αφορά την γεωαναφορά του χάρτη με τα ιστορικά πλημμυρικά σημεία με τον τελικό χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας (ψηφιακής μορφής) ο οποίος προέκυψε με βάση την μεθοδολογία που αναπτύξαμε στην Ενότητα 4. Σκοπός της γεωαναφοράς είναι τελικά να αποτυπώσουμε τα σημεία στα οποία έχουν υπάρξει ιστορικές καταγραφές για πλημμυρικά φαινόμενα σε ψηφιακή μορφή στο περιβάλλον των ΓΣΠ (Εικόνα 17).



**Εικόνα 17: Χάρτης απεικόνισης Ιστορικών Πλημμυρικών Δεδομένων**

Σε αυτό το σημείο καλούμαστε να διαπιστώσουμε αν τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας που εφαρμόσαμε σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, για τον προσδιορισμό της πλημμυρικής επικινδυνότητας, μας έδωσε σωστά αποτελέσματα. Λαμβάνοντας υπ' όψιν τη χωρική κατανομή των ιστορικών δεδομένων από πλημμυρικά φαινόμενα που έχουν συμβεί στο παρελθόν θα διασταυρώσουμε αν τα αποτελέσματα από την παρούσα εργασία είναι ορθά. Στην Εικόνα 18, είναι σημειωμένα με πράσινο χρώμα τα σημεία στα οποία κατά το παρελθόν έχουν συμβεί πλημμυρικά φαινόμενα. Με σκούρο κόκκινο απεικονίζονται οι περιοχές που είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμύρες όπως προέκυψε από τη συνένωση των έξι θεματικών χαρτών που χρησιμοποιήσαμε (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Χάρτης Επαλήθευσης με Ιστορικά Πλημμυρικά Δεδομένα

Όπως παρατηρούμε σχεδόν όλα τα καταγραφόμενα ιστορικά πλημμυρικά σημεία βρίσκονται εντός της περιοχής που χαρακτηρίζεται με Πολύ Υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα (σκούρο κόκκινο χρώμα). Αυτό σημαίνει ότι το αποτέλεσμα που δώσαμε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι ορθό και ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα. Τα περισσότερα ιστορικά πλημμυρικά σημεία εντοπίζονται κυρίως στο Δυτικό τμήμα της Κρήτης σε σχέση με το Ανατολικό. Παρατηρούνται επίσης στο βόρειο τμήμα του νομού Ηρακλείου, αυτό συμβαίνει γιατί πρόκειται για μια αστικοποιημένη περιοχή, γεγονός που εντείνει την επικινδυνότητα εκδήλωσης πλημμύρας στη συγκεκριμένη περιοχή. Επίσης παρατηρούμε γενικά ότι στις πεδινές περιοχές του νησιού είναι πιο έντονο το φαινόμενο εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων.

Αναλυτικότερα, από τα συνολικά 43 πλημμυρικά σημεία τα 35 προσδιορίζονται σε περιοχές με Πολύ Υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα, 6 βρίσκονται σε περιοχές με Υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα και 2 βρίσκονται σε περιοχές με Μέτρια πλημμυρική επικινδυνότητα.

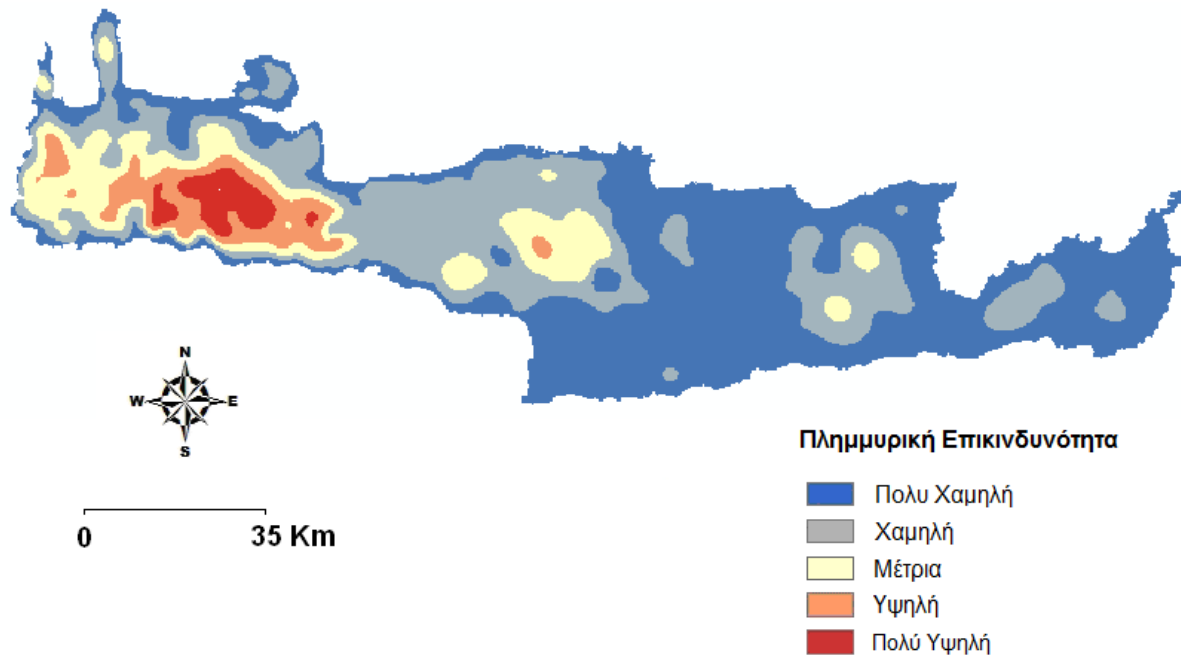
## 7 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΣΕΝΑΡΙΟ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ ΒΡΟΧΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο καλούμαστε να εξάγουμε αποτελέσματα για την περίπτωση αύξησης της έντασης της βροχόπτωσης κατά 10%, και πώς αυτή η μεταβολή μπορεί να επηρεάζει τον τελικό χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης. Σκοπός του σεναρίου αυτού είναι να εντοπίσουμε τις διαφορές και να συγκρίνουμε τους δυο τελικούς χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας (βασικό σενάριο 0% αύξηση έντασης βροχόπτωσης και σενάριο αύξηση έντασης βροχή κατά 10%). Ουσιαστικά η εφαρμογή του εν λόγω σεναρίου είναι μια μορφή ανάλυσης ευαισθησίας για το παράγοντα έντασης βροχόπτωσης. Ο συγκεκριμένος παράγοντας σύμφωνα με τα παγκόσμια κλιματικά μοντέλα φαίνεται να έχει μεταβαλλόμενη συμπεριφορά τις επόμενες δεκαετίες. Αναλυτικότερα, για το Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης προβλέπεται μια αύξηση της έντασης της βροχόπτωσης τις επόμενες δεκαετίες (Tsanis et al., 2011), γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τις περιοχές εκείνες που είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα. Επιπρόσθετα, η παράμετρος της έντασης βροχόπτωσης παρουσιάζει υψηλή αβεβαιότητα και η αξιολόγηση της ευαισθησίας της στο τελικό αποτέλεσμα του προσδιορισμού της πλημμυρικής επικινδυνότητας θα αποκαλύψει πληροφορίες σχετικά με την σημασία της ακρίβειας στον καθορισμό της συγκεκριμένης παραμέτρου. Με βάση τα παραπάνω γίνεται αντιληπτή η σημασία εφαρμογής του εν λόγω σεναρίου στην παρούσα διπλωματική εργασία.

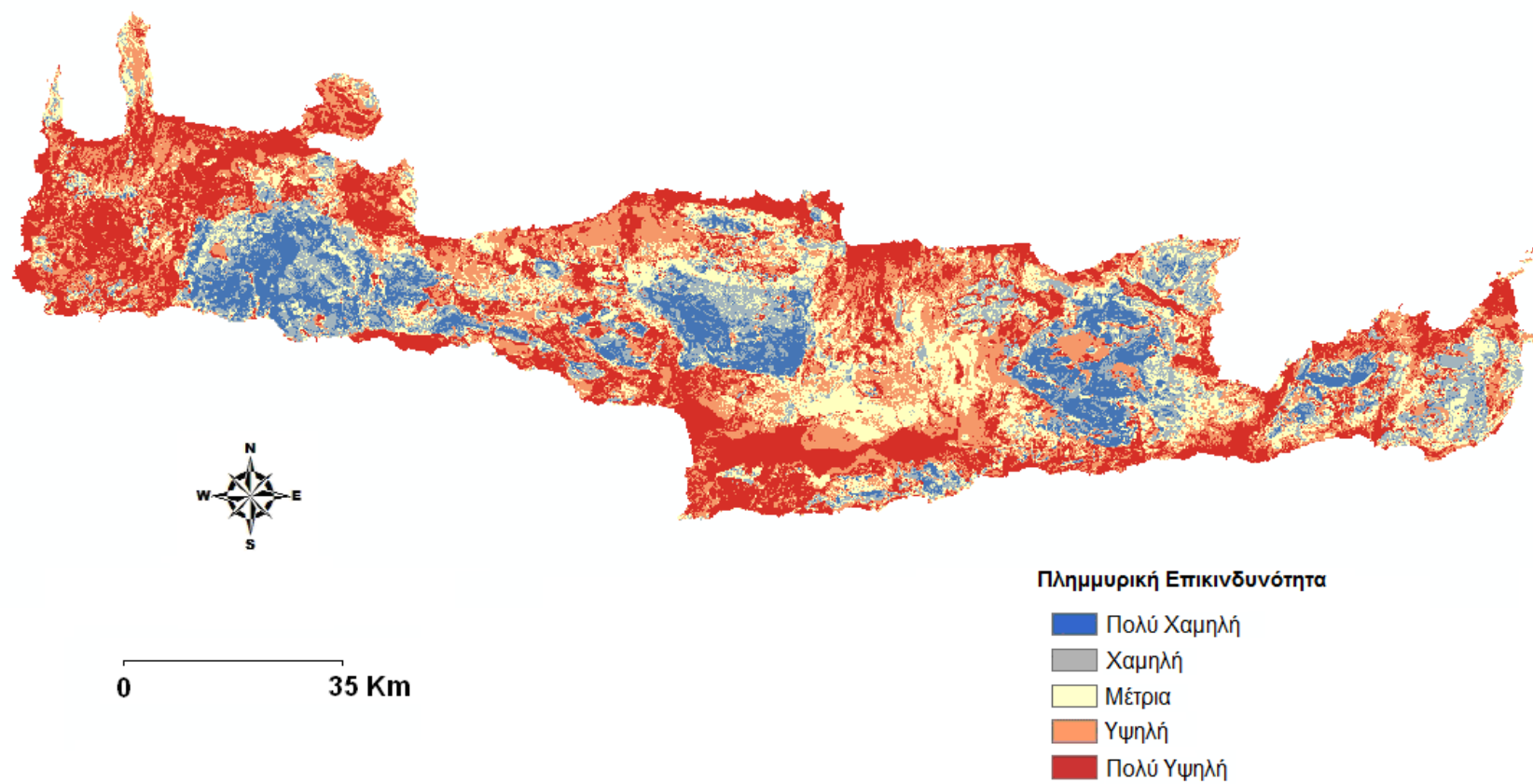
#### 7.1 Εφαρμογή σεναρίου αύξησης της έντασης της βροχόπτωσης

Σε αυτό το σημείο θα αναφέρουμε τις αλλαγές που προκύπτουν στον χάρτη της έντασης της βροχόπτωσης και κατ' επέκταση και στον τελικό χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας στην περίπτωση αύξησης της έντασης της βροχόπτωσης κατά 10%. Για τον υπολογισμό του νέου χάρτη έντασης βροχόπτωσης κατά 10% αρκεί να πολλαπλασιάσουμε κάθε ένα από τα παλιά δεδομένα του δείκτη MFI με το συντελεστή 1,1. Με την ίδια διαδικασία που έχει αναφερθεί στο υποκεφάλαιο 5.1 εξάγουμε τον νέο χάρτη κατηγοριοποίησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας με βάση τον παράγοντα ένταση βροχόπτωσης (Εικόνα 19).



**Εικόνα 19: Κατηγοριοποίηση της Πλημμυρικής Επικινδυνότητας με βάση το παράγοντα Ένταση βροχόπτωσης (αύξηση κατά 10%) στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης**

Στη συνέχεια έχοντας ως δεδομένο το νέο χάρτη της έντασης της βροχόπτωσης καθώς και τους υπόλοιπους 5 χάρτες (κλίση εδαφικού ανάγλυφου, υψόμετρο, χρήσεις γης, συσσώρευση ροής, γεωλογία) εξάγουμε τον νέο τελικό χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας για το Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης εφαρμόζοντας την μεθοδολογία που έχουμε αναφέρει στην Ενότητα 4 (Εικόνα 20).



Εικόνα 20: Χάρτης Πλημμυρικής Επικινδυνότητας με την εφαρμογή του σεναρίου αύξησης της Έντασης της βροχόπτωσης (10%) στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης

Με τη βοήθεια του λογισμικού ArcMap GIS μπορούμε να προσδιορίσουμε το εμβαδόν (m<sup>2</sup>) που καταλαμβάνει κάθε μια από τις κλάσεις πλημμυρικής επικινδυνότητας (Πολύ Υψηλή – Πολύ Χαμηλή) του τελικού χάρτη που έχει προκύψει για το σενάριο αύξησης της έντασης βροχής κατά 10% (Εικόνα 20) και να τα συγκρίνουμε με τις αντίστοιχες κλάσεις πλημμυρικής επικινδυνότητας που έχουν προκύψει από το βασικό σενάριο αύξησης έντασης βροχής κατά 0% (Εικόνα 16).

Για να υπολογίσουμε το εμβαδόν για κάθε μια από τις πέντε κλάσεις επικινδυνότητας χρησιμοποιούμε την εντολή Calculate Areas σε περιβάλλον GIS.

Στους δυο χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας (Εικόνες 16 και 20) είναι αισθητή η διαφορά που υπάρχει. Οι περιοχές που βρίσκονται στην ζώνη χαμηλής επικινδυνότητας παρατηρούμε ότι μειώνονται στο σενάριο αύξησης της έντασης της βροχόπτωσης κατά 10%, σε αντίθεση με τις περιοχές που βρίσκονται στη ζώνη υψηλής επικινδυνότητας οι οποίες φαίνεται να αυξάνονται. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται αναλυτικά οι αυξομειώσεις για κάθε μια κλάση επικινδυνότητας για κάθε ένα από τα δυο σενάρια.

**Πίνακας 3: Εμβαδόν μεταβολής των κλάσεων πλημμυρικής επικινδυνότητας για αύξηση έντασης βροχής κατά 0% και 10%, αντίστοιχα**

Πλημμυρική Επικινδυνότητα	Εμβαδόν (km <sup>2</sup> )		Ποσοστό Αυξομείωσης (%) σε σχέση με το Βασικό Σενάριο
	Βασικό Σενάριο Αύξησης Έντασης Βροχόπτωσης 0%	Σενάριο Αύξησης Έντασης Βροχόπτωσης 10%	
<b>Πολύ Υψηλή</b>	1913.51	2475.35	+ 22.70
<b>Υψηλή</b>	1784.35	2041.79	+ 12.61
<b>Μέτρια</b>	1604.32	1571.54	- 2.04
<b>Χαμηλή</b>	1233.15	1156.99	- 6.21
<b>Πολύ Χαμηλή</b>	1534.15	824.39	- 46.26

## 8 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε προσδιορισμός της πλημμυρικής επικινδυνότητας στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης με χρήση GIS. Πιο συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν, μέσω της κατάλληλης μεθοδολογίας, οι περιοχές εκείνες που κινδυνεύουν από πλημμυρικά φαινόμενα. Ο προσδιορισμός των περιοχών έγινε με τη διαβάθμιση του πλημμυρικού κινδύνου από Πολύ Υψηλή έως Πολύ Χαμηλή.

Για την ορθή διαχείριση των πλημμυρικών φαινομένων ιδιαίτερη σημασία έχει η εκτίμηση της χωρικής επικινδυνότητας πλημμυρικών φαινομένων με χρήση GIS. Η εκτίμηση αυτή εφαρμόστηκε στο Υδατικό Διαμέρισμα της Κρήτης, όπου καθορίστηκαν οι περιοχές εκείνες που είναι πιο επιρρεπείς στην εμφάνιση πλημμυρικών φαινομένων. Ο καθορισμός των περιοχών προέκυψε από την συνένωση έξι θεματικών χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας με σκοπό την εξαγωγή του τελικού χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας για την περιοχή της Κρήτης. Οι θεματικοί χάρτες-παράγοντες που χρησιμοποιήθηκαν ήταν α) η ένταση της βροχόπτωσης, β) η κλίση του εδαφικού ανάγλυφου, γ) το υψόμετρο, δ) οι χρήσεις γης, ε) η συσσώρευση επιφανειακής ροής και στ) η γεωλογία. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή την εκτίμηση επαληθεύτηκαν με ιστορικά πλημμυρικά γεγονότα στην περιοχή μελέτης.

Δεδομένου ότι η περιοχή της Κρήτης πλήττεται από πλημμυρικά φαινόμενα, εφαρμόζοντας την παρούσα μεθοδολογία μπορεί να προσδιοριστούν εκείνες οι περιοχές που είναι πιο επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα. Με βάση τα αποτελέσματα, δηλαδή τον τελικό χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας, οι περιοχές που κινδυνεύουν περισσότερο από πλημμυρικά φαινόμενα βρίσκονται στο δυτικό τμήμα του νησιού καθώς και στο νότιο τμήμα δηλαδή στην περιοχή της Μεσαράς του νομού Ηρακλείου.

Επιπροσθέτως, εφαρμόσαμε το σενάριο αύξησης της έντασης της βροχόπτωσης κατά 10% προκειμένου να διαπιστώσουμε αν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στη χωρική κατανομή της πλημμυρικής επικινδυνότητας σε σχέση με το βασικό σενάριο

(αύξηση έντασης βροχόπτωσης κατά 0%). Τα αποτελέσματα αυτής της εφαρμογής έδειξαν ότι στο σενάριο αύξησης έντασης βροχόπτωσης κατά 10% αυξάνονται σημαντικά οι περιοχές που χαρακτηρίζονται με Πολύ Υψηλή πλημμυρική επικινδυνότητα (22.70 %) ενώ μειώνονται σημαντικά οι περιοχές που χαρακτηρίζονται από Πολύ Χαμηλή πλημμυρική επικινδυνότητα (46.26 %).

## **BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### Αγγλική Βιβλιογραφία

*Diakakis Michalis, Mavroulis Spyridon, Deligiannakis Giorgos, 2012. Floods in Greece, a statistical and spatial approach, Nat Hazards (2012), 62:485-500.*

*Kourgialas N. Nektarios & Karatzas P. George, 2011. Flood management and a GIS modeling method to assess flood-hazard areas – a case study, Hydrological Sciences Journal, 56:2, 212-225.*

*Kourgialas, N.N., Karatzas, G.P., 2013. A hydro-economic modelling framework for flood damage estimation and the role of riparian vegetation. Hydrological Processes 27(4), 515-531.*

*Nikolaidis, N.P., Bouraoui, F., Bidoglio, G., 2013. Hydrologic and geochemical modeling of a karstic Mediterranean watershed. Journal of Hydrology 477, 129-138.*

*Tsanis, I.K., Koutroulis, A.G., Daliakopoulos, I.N., Jacob, D., 2011. Severe climate-induced water shortage and extremes in Crete. Climatic Change 106(4), 667-677.*

### Ελληνική Βιβλιογραφία

*Αστάρας Θ., 2007. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ψηφιακή Χαρτογραφία & Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.*

*Κουργιαλας Ν., 2010. Διδακτορική Διατριβή, Ολοκληρωμένη διαχείριση πρόβλεψη και αντιμετώπιση πλημμυρικών φαινομένων σε σύνθετες γεωμορφολογικά περιοχές και χρήση μαθηματικών μοντέλων και GIS.*

*Μαυροκεφαλίδου Ε., 2005. Πτυχιακή εργασία, Μελέτη της ποιότητας νερού στα πλαίσια της ορθολογικής διαχείρισης του υπόγειου υδροφορέα περιοχής Βάμου.*

*Σταυριδάκης Κ., 2008. Η άγρια βρώσιμη χλωρίδα της Κρήτης.*

*Τσακίρης Γ., 2005. Διαχείριση Πλημμυρικής Διακινδύνευσης.*

Τσουχαράκη Α. & Αχιλλέως Γ., 2011. Μαθαίνοντας τα GIS στην πράξη, το ArcGIS 9.3.

Επίσης, λάβαμε πληροφορίες από τα παρακάτω site:

[www.el.wikipedia.org](http://www.el.wikipedia.org)

[www.28910.gr](http://www.28910.gr)

[www.chania-info.gr](http://www.chania-info.gr)

[www.rethymnon.gr](http://www.rethymnon.gr)

[www.lasithitourism.com](http://www.lasithitourism.com)

[www.incrediblecrete.gr](http://www.incrediblecrete.gr)

[www.cyclingcreta.gr](http://www.cyclingcreta.gr)

[www.meteorologia.gr](http://www.meteorologia.gr)

[www.ypeka.gr](http://www.ypeka.gr)

[www.geo.auth.gr](http://www.geo.auth.gr)