

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ  
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ  
ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Α. ΔΗΜΗΤΡΗΣ

Λεμεσός 2011



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:**

ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΧΑΡΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ  
ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΛΕΚΑΝΕΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ  
ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ  
ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ  
ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Α. ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ  
ΧΑΤΖΗΜΙΤΣΗΣ

Λεμεσός 2011

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Δημήτρης Α. Δημητρίου, 2011

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Στην σύζυγο μου Αφροδίτη που με στήριξε με τη βοήθεια, τη συμπαράσταση και την υπομονή που έδειξε στα χρόνια αυτά που χρειάστηκαν μέχρι να τελειώσω .....

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υπεύθυνο της πτυχιακής μου εργασίας Δρ. Διόφαντο Χατζημιτσή, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου αυτή την εργασία, για την καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια της και κυρίως για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα ενδιαφέρον αντικείμενο. Επίσης θερμές ευχαριστίες απευθύνονται στους ερευνητικούς συνεργάτες του Δρ. Διόφαντου Χατζημιτσή, Δρ. Δημήτριο Αλεξάκη, κ. Άθω Αγαπίου για την υποστήριξη που μου έχουν προσφέρει. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά, για την παροχή όλων των διαθέσιμων πόρων προς την επιτυχή εκπόνηση της εν λόγω πτυχιακής εργασίας, το Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου και την ομάδα του ερευνητικού έργου με το ακρωνύμιο "SATFLOOD" , το οποίο χρηματοδοτείται από το Ίδρυμα Προώθησης Έρευνας της Κύπρου (Δέσμη Προγραμμάτων 2009-2010) και συμμετέχοντες σε αυτό είναι το α) Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου, β) Πολυτεχνείο Κρήτης, γ) Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου, δ) Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων και ε) Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εν λόγω πτυχιακή εργασία εστιάζεται στην εξέταση της επιρροής της αστικοποίησης σε λεκάνες απορροής της Κύπρου σε φαινόμενα πλημμυρών. Οι περιοχές μελέτης αφορούν δύο λεκάνες απορροής στην Επαρχία Πάφου, την λεκάνη απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι" της κοινότητας Κισσόνεργας και την λεκάνη απορροής της περιοχής "Λιμνάρια" στην πόλη της Πάφου, καθώς και την λεκάνη απορροής του Γιαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας. Το ποσοστό αστικοποίησης καθορίζεται με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων μέσω τεχνικών τηλεπισκόπησης. Ακολούθως μέσω υδρολογικής προσομοίωσης, καθορίζονται δείκτες πλημμυρικής επικινδυνότητας όπως απαιτεί η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/ΕΚ.

Τα ποσοστά αστικοποίησης για τις λεκάνες απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" και "Λιμνάρια" της Επαρχίας Πάφου, όπου υπήρχαν διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα τύπου Landsat TM/ETM+ ήταν κατ'αντιστοιχία για τις χρονολογίες 1984, 1999 και 2009: 19,09%, 22,94%, 31,70% και 11%, 18,2%, 32%.

Επίσης για τις δύο λεκάνες απορροής της Επαρχίας Πάφου, τα πιο πάνω ποσοστά αστικοποίησης χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα εισαγωγής στο υδραυλικό μοντέλο HEC-HMS 3.5 και έγινε συσχέτιση της επιφανειακής απορροής βροχόπτωσης συναρτήσει των διαφορετικών ποσοστών αστικοποίησης, με τα αποτελέσματα να δείχνουν αύξηση της επιφανειακής απορροής και πλημμυρικού όγκου.

Τέλος για την λεκάνη απορροής της περιοχής του Γιαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας έχουν δημιουργηθεί τρεις χάρτες επικινδυνότητας για τις χρονολογίες 2000, 2005 και 2010 λόγω διαθεσιμότητας δορυφορικών δεδομένων τύπου ASTER, όπου στα τελικά αποτελέσματα καταγράφηκε και για τις τρεις διαφορετικές περιπτώσεις (2000, 2005 και 2010) αυξημένη τιμή του βαθμού επικινδυνότητας στα κατάντη της λεκάνης απορροής.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xiii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xvi
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	1
1 Αντιπλημμυρικός σχεδιασμός στην Κύπρο.....	3
2 Θεωρητικό υπόβαθρο.....	5
2.1 Ανάλυση Πλημμύρας .....	5
2.2 Παράγοντες πλημμυρικού κίνδυνου .....	6
2.3 Μοντέλα μελέτης πλημμύρας .....	8
2.4 Υδρολογικοί ορισμοί.....	9
2.4.1 Ο Υδρολογικός κύκλος .....	9
2.4.2 Ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις.....	10
2.4.3 Επιφανειακές απορροές.....	12
2.4.4 Απαιτούμενα Υδρομετεωρολογικά δεδομένα για μελέτες υδραυλικών έργων .	18
2.4.5 Ξηρασία.....	19
2.5 Τηλεπισκόπηση .....	20
3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	22
4 Πόροι και Δεδομένα.....	27
4.1 Περιοχές υπό μελέτη .....	27
4.1.1 Λεκάνη απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" στην επαρχία Πάφου.....	28
4.1.2 Λεκάνη απορροής στην περιοχή "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου.....	31



4.1.3	Λεκάνη απορροής στην περιοχή Γιαλιά πόταμου στην επαρχία Λευκωσίας ....	33
4.2	Δεδομένα .....	36
4.2.1	Δορυφορικές Εικόνες .....	36
4.2.2	Χάρτες .....	37
4.2.3	Μετεωρολογικά δεδομένα.....	37
4.2.4	Λογισμικά.....	37
5	Μεθοδολογία.....	38
5.1.1	Επεξεργασία εικόνων για την Επαρχία Πάφου.....	39
5.1.2	Επεξεργασία δεδομένων από χάρτες και επιτόπια αποτύπωση. ....	40
5.1.3	Επεξεργασία Μετεωρολογικών δεδομένων για τις λεκάνες απορροής στην Επαρχία Πάφου.....	45
5.1.4	Υδρολογική προσομοίωση .....	45
5.1.5	Καθορισμός παραμέτρων λεκάνης απορροής των περιοχών "Αγριοκαλάμι" και "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου.....	50
5.2	Καθορισμός δεικτών επικινδυνότητας για την λεκάνη απορροής Γιαλιά στην επαρχία Λευκωσίας .....	54
5.2.1	Χρήσεις Γης για την λεκάνη απορροής Γιαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας .....	54
5.2.2	Χάρτης κλίσεων .....	60
5.2.3	Απόσταση επικινδυνότητας από το υδρογραφικό δίκτυο .....	61
5.2.4	Γεωλογία .....	61
6	Αποτελέσματα.....	67
6.1	Επιφανειακή απορροή συναρτήσει αστικοποίησης για τις λεκάνες απορροής στην Επαρχία Πάφου .....	67
6.2	Χάρτες επικινδυνότητας για την περιοχή λεκάνης απορροής Γιαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας.....	72
7	Συμπεράσματα .....	74

8 Βιβλιογραφία .....	76
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ.....	78
8.1 Πρόνοιες Τοπικού Σχεδίου Πάφου για αργακία .....	78
8.2 Αποτύπωση κοίτης ποταμού Γιαλιά στις περιοχές Ιδαλίου και Πέρα Χωριού-Νήσου, 15 Μαρτίου 2011 .....	79

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Σχήμα 2-1:Τυπικό γράφημα παροχής αιχμής σε συνάρτηση με το χρόνο.....	7
Σχήμα 2 2: Γραφική απεικόνιση πλημμύρας με περιόδους επαναφοράς.....	8
Σχήμα 2-3. Σχέση Βροχής -Απορροής .....	11
Σχήμα 1-4: θεωρία συστημάτων στην λεκάνη (μοναδιαίο υδρογράφημα).....	18
Σχήμα 5-1: Γραφική αναπαράσταση της μεθοδολογίας που αφορά την εν λόγω πτυχιακή εργασία.....	38

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 2-1: Υδρολογικός κύκλος (Πηγή: USGS ) .....	9
Εικόνα 2-2: Διάγραμμα ροής τηλεπισκόπησης.....	21
Εικόνα 4-2: Επιφάνεια κάλυψης λεκάνης απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου. ....	28
Εικόνα 4-3: Οικοδομική ανάπτυξη λεκάνης απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου. ....	29
Εικόνα 4-4: Γεωλογικός σχηματισμός λεκάνης απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου. ....	30
Εικόνα 4-5: Κοινότητες ανεπτυγμένες περιφερειακά της λεκάνης απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου.....	30
Εικόνα 4-6. Επιφάνεια κάλυψης λεκάνης απορροής στην περιοχής "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου.....	31
Εικόνα 4-7: Γεωλογικός Σχηματισμός λεκάνης απορροής στην περιοχής "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου .....	32

Εικόνα 4-8: Κοινότητες ανεπτυγμένες περιφερειακά της λεκάνης απορροής στην περιοχή "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου .....	33
Εικόνα 4-9: Επιφάνεια κάλυψης λεκάνης απορροής στην περιοχή Γιαλιά πόταμου στην επαρχία Λευκωσίας.....	34
Εικόνα 4-10: Γεωλογικός Σχηματισμός λεκάνης απορροής στην περιοχή Γιαλιά πόταμου στην επαρχία Λευκωσίας .....	35
Εικόνα 4-11: Λεκάνη απορροής στην περιοχή Γιαλιά πόταμου στην επαρχία Λευκωσίας με περιφερειακή κατανομή αστικών κοινοτήτων .....	36
Εικόνα 5-1: Αποτύπωση κοίτης Γιαλιά πόταμου και γέφυρας με χρήση Laser Scanner Leica .....	42
Εικόνα 5-2: Κοίτη πόταμου Γιαλιά επί των χωριών Ιδαλίου και Πέρα Χωριού-Νήσου.....	43
Εικόνα 5-3: Κλίσεις λεκάνης απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου .....	43
Εικόνα 5-4: Κλίσεις λεκάνης απορροής στην περιοχή "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου ....	44
Εικόνα 5-5: Κλίσεις λεκάνης απορροής στην περιοχή Γιαλιά πόταμου στην επαρχία Λευκωσίας.....	44
Εικόνα 5-6: Αναπαράσταση της λεκάνης απορροής στην περιοχή "Λιμνάρια", Πάφου στο υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS 3.5 .....	53
Εικόνα 5-7: Αναπαράσταση λεκάνης απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" Κισσόνεργας στο υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS 3.5 .....	53
Εικόνα 5-8: Εικόνα του δορυφόρου Aster με ημερομηνία λήψης 12/05/2000.....	55
Εικόνα 5-9: Εικόνα του δορυφόρου Aster με ημερομηνία λήψης 24/04/2005.....	55
Εικόνα 5-10: Εικόνα του δορυφόρου Aster με ημερομηνία λήψης 06/04/2010.....	56
Εικόνα 5-11: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης Γιαλιά πόταμου .....	62
Εικόνα 5-12: Αναταξινομημένος γεωλογικός χάρτης με βάση την υδατοπερατότητα.....	62
Εικόνα 5-13: Γραφική παράσταση σιγμοειδούς μορφής (αριστερά). Εφαρμογή αλγόριθμου ασαφούς λογικής σε περιβάλλον ΓΣΠ (δεξιά). .....	64

Εικόνα 5-14: Εφαρμογή αλγόριθμου ασαφούς λογικής στο γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης (αριστερά). Εφαρμογή αλγόριθμου ασαφούς λογικής στο χάρτη κλίσεων της περιοχής μελέτης (δεξιά).....	64
Εικόνα 6-1: Χάρτης επικινδυνότητας το 2000 για την περιοχή λεκάνης απορροής Γιαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας.....	72
Εικόνα 6-2: Χάρτης επικινδυνότητας το 2005 για την περιοχή λεκάνης απορροής Γιαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας.....	73
Εικόνα 6-3: Χάρτης επικινδυνότητας το 2010 για την περιοχή λεκάνης απορροής Γιαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας.....	73
Εικόνα 7-1: Καταγραφή της αύξησης του πλημμυρικού κινδύνου (κόκκινο χρώμα) στην περιοχή του ποταμού Γιαλιά για το χρονικό διάστημα 2000-2010.....	75

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 5-1: Ποσοστά αστικοποίησης για τις λεκάνες απορροής των περιοχών "Αγριοκαλάμι" και "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου.....	37
Πίνακας 5-2: Δεδομένα βροχόπτωσης για τις 30 Οκτώβριου 2006.....	42
Πίνακας 5-3: Δείκτες επιφανειακής απορροής για αγροτικές περιοχές.....	45
Πίνακας 5-3: Δείκτες επιφανειακής απορροής για αγροτικές περιοχές ( Πηγή: HEC-HMS Technical Reference Manual) .....	47
Πίνακας 5-4: Δείκτες επιφανειακής απορροής για αστικές περιοχές (Πηγή: HEC-HMS Technical Reference Manual) .....	48
Πίνακας 5-5: Τυπική γραφική κατανομή βροχόπτωσης 30 <sup>ης</sup> Οκτώβριου 2006 στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου.....	50
Πίνακας 5-6. Επιλύσεις και αποτελέσματα παραμέτρων εισαγωγής στο υδρολογικό μοντέλο για την λεκάνη απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου. ....	51
Πίνακας 5-7. Επιλύσεις και αποτελέσματα παραμέτρων εισαγωγής στο υδρολογικό μοντέλο για την λεκάνη απορροής της περιοχής "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου.....	52
Πίνακας 5-8: Αποτελέσματα αστικοποίησης με εφαρμογή αλγόριθμων ταξινόμησης στην περιοχή μελέτης.....	59
Πίνακας 5-9: Βαθμονόμηση χάρτη κλίσεων.....	60
Πίνακας 5-10.:Βαθμονόμηση ζωνών επιρροής γύρω από το υδρογραφικό δίκτυο. ....	61
Πίνακας 5-11: Βαθμονόμηση του γεωλογικού χάρτη με βάση την υδατοπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών.....	63
Πίνακας 5-12: Κλίμακα βαθμονόμησης για τη συγκριτική μελέτη ζευγαριών παραγόντων πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	65
Πίνακας 5-13: Πίνακας βαρών παραγόντων πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	66
Πίνακας 6-1: Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης που αφορά τη χρονιά 1984, λεκάνης απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" Κισσόνεργας.....	67

Πίνακας 6-2: Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωση που αφορά τη χρονιά 1999, λεκάνης απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" Κισσόνεργας.....	68
Πίνακας 6-3: : Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωση που αφορά τη χρονιά 2009, λεκάνης απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" Κισσόνεργας.....	68
Πίνακας 6-4: Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωση που αφορά τη χρονιά 1984, λεκάνης απορροής της περιοχής "Λιμνάρια" στην Πάφο.....	69
Πίνακας 6-5: Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωση που αφορά τη χρονιά 1999, λεκάνης απορροής της περιοχής "Λιμνάρια" στην Πάφο.....	70
Πίνακας 6-6: Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωση που αφορά τη χρονιά 2009, λεκάνης απορροής της περιοχής "Λιμνάρια" στην Πάφο.....	70





## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Παρουσιάζονται συνοπτικά όλες οι σημαντικές συντομογραφίες που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά κόρον στο κείμενο της πτυχιακής εργασίας:

ΤΕΠΑΚ.:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΕΤΕΚ:	Επιστημονικό Τεχνικό Επιμελητήριο Κύπρου
ΓΣΠ:	Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών
DEM:	Digital Elevation Model

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ως φυσικούς κινδύνους ορίζουμε τους κινδύνους που προκαλούνται από την κλιματική και γεωλογική μεταβλητότητα και με βάση τις συνέπειές τους, ως αυτοί που απειλούν την περιουσία, την υγεία και τη ζωή (Δερμίσσης, 2007). Αν και η συγκεκριμένη προσέγγιση υιοθετήθηκε, τουλάχιστον κατά το πρώτο σκέλος, για το διαχωρισμό των φυσικών κινδύνων από τους ανθρωπογενείς, εντούτοις σε αρκετές περιπτώσεις καθίσταται ευδιάκριτη η συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό στην εξέλιξη και τις συνέπειες των φυσικών καταστροφών. Αυτό συμβαίνει, καθώς οι δραστηριότητες του ανθρώπου αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον και με τον τρόπο αυτό επιταχύνονται ή γενικότερα μεταβάλλονται οι κανονικές διεργασίες των φυσικών συστημάτων (Μπαντής, 2007).

Χαρακτηριστικό παράδειγμα φυσικών κινδύνων αποτελούν οι πλημμύρες, δηλαδή οι καταστάσεις εκείνες κατά τις οποίες εδαφικές περιοχές που συνήθως είναι στεγνές κατακλύζονται από ποσότητες νερού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (Μαμάσης, 2007).

Η πρόκληση του φαινομένου πηγάζει κυρίως από αμιγή αίτια προέλευσης (έντονες βροχοπτώσεις, τήξη χιονιού, τυφώνες, σεισμογενή θαλάσσια κύματα, ανύψωση στάθμης θάλασσας), ωστόσο οι γεωμορφολογικές συνθήκες των συστημάτων αποθήκευσης, αποστράγγισης και παροχέτευσης περίσσιου υδάτινου όγκου (ποταμοί, λίμνες, φυσικά υδατορέματα) επηρεάζονται επίσης από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και ενέργειες (δομικά έργα, έργα υποδομής, αλλαγή χρήσης γης).

Οι συνέπειες των παραπάνω φαινομένων, καθίστανται πιο ευδιάκριτες υπό την αποτίμηση των δραματικών επιπτώσεων τους σε επίπεδο βιωσιμότητας, κοινωνικό, οικονομικό και εθνικό. Συνεπώς η ανάγκη αντιμετώπισης των φαινομένων αυτών έχει υποχρεώσει τις διεθνείς κοινότητες να εντάξουν πλαίσια και σχέδια διαχείρισης, ώστε να καταστούν όσο το δυνατόν ελεγχόμενα και προβλέψιμα. Στα πλαίσια της ανάγκης αυτής η Ευρωπαϊκή Ένωση εξέδωσε την Οδηγία 2007/60/EK για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.

Ο βασικός στόχος της Οδηγίας 2007/60/EK είναι να βοηθήσει τα Κράτη Μέλη στην πρόληψη, τον περιορισμό και την αντιμετώπιση των πλημμυρών. Με την Οδηγία δημιουργείται το ευρωπαϊκό πλαίσιο για τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, το οποίο επεκτείνει και συντονίζεται στενά με την Οδηγία Πλαίσιο (2000/60/EK) για τα Νερά. Η νέα αυτή Οδηγία προβλέπει, στο πλαίσιο μιας προσέγγισης μακροπρόθεσμου σχεδιασμού, μια διαδικασία διαχείρισης του κινδύνου πλημμυρών, η οποία υλοποιείται σε τρία στάδια:

α' στάδιο: Μέχρι το τέλος του 2011 τα Κράτη Μέλη θα πρέπει έχουν προβεί σε προκαταρκτική εκτίμηση των κινδύνων πλημμύρας για τις λεκάνες απορροής ποταμών και να προσδιορίσουν, με τον τρόπο αυτό, τις περιοχές με σοβαρή πιθανότητα πλημμύρας.

β' στάδιο: Σε περιοχές, στις οποίες υφίστανται όντως κίνδυνοι για ζημιές από πλημμύρες, τα Κράτη Μέλη οφείλουν να εκπονήσουν, μέχρι το τέλος του 2013, χάρτες επικινδυνότητας και χάρτες κινδύνων πλημμύρας, στους οποίους θα αποτυπώνονται οι αρνητικές συνέπειες των πλημμυρών (σε πληθυσμό, εγκαταστάσεις, κλπ.).

γ' στάδιο: Το αργότερο μέχρι το 2015, για τις περιοχές αυτές πρέπει να καταρτισθούν σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας. Τα σχέδια διαχείρισης πρέπει να περιλαμβάνουν μέτρα για τη μείωση της πιθανότητας πλημμύρας και τον περιορισμό των πιθανών της επιπτώσεων. Τα σχέδια αυτά θα καλύπτουν μεν όλες τις φάσεις του κύκλου διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας αλλά θα εστιάζονται ιδίως στην πρόληψη (όπως πρόληψη των ζημιών από πλημμύρες, και την ετοιμότητα (π.χ. μέσω της παροχής οδηγιών στο κοινό σχετικά με το τι πρέπει να κάνει σε περίπτωση πλημμύρας).

# 1 Αντιπλημμυρικός σχεδιασμός στην Κύπρο.

Η αιφνίδια καταιγίδα που ξέσπασε στις 30 Οκτώβριου 2006 στην Κοινότητα Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου ήταν το αίτιο αφύπνισης των Αρμόδιων αρχών και Κοινοτήτων ώστε να λάβουν τα απαραίτητα μετρά για αντιμετώπιση παρόμοιων φαινομένων. Το ακραίο καιρικό φαινόμενο της συγκεκριμένης βραδιάς είχε προκαλέσει το θάνατο δυο ανθρώπων, και πολλές καταστροφές εξαιτίας της έντασης της καταιγίδας που είχε ξεσπάσει μεταξύ των ωρών 7 και 8 το βράδυ στην δυτική περιοχή της Πάφου, παρά των κοινοτήτων Κισσόνεργας και Λέμπας, στο γεφύρι "Αγριοκαλάμι". Καταστροφές είχαν επίσης προκληθεί σε μεγαλύτερη κλίμακα κατάντη του γεφυριού, στο δρόμο Κόλπο των Κοραλλίων.

Το καταστροφικό αυτό γεγονός ήταν η αίτια και αφορμή ώστε το Υπουργείο Εσωτερικών να αναθέσει την διερεύνηση του επεισοδίου στο Επιστημονικό Τεχνικό Επιμελητήριο Κύπρου (ΕΤΕΚ) και αυτό να προχωρήσει στη σύσταση επιτροπής από εμπειρογνώμονες. Σκοπός της επιτροπής αυτής ήταν να γίνει εντοπισμός και πρόταση μέτρων ώστε να μπορέσουν μελλοντικά να αποφευχθούν καταστροφές που τυχαίνουν ενίσχυσης από ανθρώπινες παρεμβάσεις, έλλειψης, λανθασμένα διαδικαστικά ή προβληματικές πρακτικές εφαρμογής.

Τα μέτρα θα μπορούσαν να έχουν εφαρμογή, όχι μόνο για την συγκεκριμένη λεκάνη απορροής, άλλα σε γενικό πλαίσιο εφαρμογής σε όλο το νησί. Το έργο της επιτροπής εμπίπτει σε συμφωνία με τα ζητούμενα και εφαρμοζόμενα πλαίσια αξιολόγησης της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.

Η επιτροπή που είχε διοριστεί από το ΕΤΕΚ κατάληξε σε συμπεράσματα και προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης και βελτιώσεις τέτοιων συμβάντων. Παρακάτω διαφαίνονται συνοπτικά τα προτεινόμενα μέτρα αντιμετώπισης:

- Βελτίωση τοπογραφικών σχεδίων, για καλύτερη διευκρίνηση ορίων επί ρεμάτων και διαχείριση τεμαχίων γης.
- Αναδιάρθρωση διαχείρισης κρατικής περιουσίας με σκοπό καλύτερο έλεγχο και προστασία οικοσυστημάτων.

- Καλύτερη άσκηση εποπτείας τοπικών άρχων στα αναπτυξιακά έργα, διάθεση μπαζών και επιχωματώσεων.
- Καλύτερος έλεγχος και εφαρμογή νομοθεσιών που συμβάλλουν στην αποτροπή αλλοίωσης λεκάνης απορροής ( Τοπικά σχέδια, Αναπτυξιακά Σχέδια, Επαρχιακή Διοίκηση).
- Προγραμματισμός της χρήσης γης και αύξηση της φυτοκάλυψης με δενδροφυτεύσεις.
- Μείωση επιφανειακής απορροής: α) αβαθή χαντάκια παράλληλα με ισοϋψείς για εκτροπή της πλημμύρας και αναχαίτισης της, β) διαμόρφωση αναβαθμίδων και μικρά φράγματα αναχαίτισης (check dams) στις πλαγιές καθώς και άρση εδάφους.
- Έργα έλεγχου και προστασίας από πλημμύρες: α) προχωμάτα (dykes), β) καθαρισμός εμποδίων στην κοίτη του χειμάρρου.

Ο τρόπος αντιμετώπισης τέτοιων ακραίων φαινομένων καθορίζεται σε δυο άξονες κυρίως:

- Με την κατασκευή προστατευτικών μέτρων και κατασκευών που να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις ποσότητες νερού που αναμένεται να προκύψουν.
- Με σχεδιασμό αντίδρασης όταν τα ακραία καιρικά φαινόμενα συμβαίνουν.

Η Ευρωπαϊκή Οδηγία 2007/60/EK οπου κάνει λόγο για ελαχιστοποίηση καταστροφών και προστασία από τέτοια φαινόμενα με έμφαση στις επικρατούσες συνθήκες για κάθε λεκάνη απορροής θα πρέπει να εφαρμοστεί και στην Κύπρο. Για αυτό το λόγο, το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων βρίσκεται στο στάδιο υλοποιήσεως της εν λόγω οδηγίας στον Κυπριακό χώρο. Ήδη έχει προχωρήσει η διαδικασία χαρτογραφικής αποτύπωσης των λεκανών απορροής και η συλλογή πληροφοριών για συμβάντα πλημμύρων που έχουν γίνει τα προηγούμενα χρόνια στην Κύπρο.

## 2 Θεωρητικό υπόβαθρο

### 2.1 Ανάλυση Πλημμύρας

Πλημμύρα ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία, περιοχές που συνήθως είναι στεγνές, καλύπτονται από ποσότητες νερού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα όπου το ποσοστό διήθησης είναι μικρότερο από το ποσοστό επιφανειακής απορροής. Οι πλημμυρικοί όγκοι νερού μπορεί να προέρχονται από την τοπική βροχόπτωση, την υπερχειλίση ποταμού, την εισροή της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές, από θραύση φράγματος, καθώς και από το λιώσιμο χιονιού.

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα (αφού συνήθως προέρχονται από μετεωρολογικές καταστάσεις), όμως συμβαίνουν όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης (φυσικού ή ανθρωπογενούς), δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση, με αποτέλεσμα να υπάρχει συσσώρευση περίσσιου όγκου νερού.

Στους μεγάλους ποταμούς οι πλημμύρες μπορεί να εμφανιστούν αρκετό χρόνο μετά τη βροχόπτωση και να διαρκέσουν ημέρες, εβδομάδες ή ακόμη και μήνες. Στην Κύπρο δεν υπάρχουν μεγάλης διάρκειας πλημμυρικά φαινόμενα, παρά σύντομες ξαφνικές πλημμύρες.

Σε μικρότερα ποτάμια είναι δυνατόν να εμφανιστούν στιγμιαίες πλημμύρες (flash floods) που συνήθως οφείλονται σε πολύ έντονη τοπική βροχόπτωση. Αυτές είναι λιγότερο προβλέψιμες και μπορεί να προκαλέσουν εκτεταμένες καταστροφές, δεδομένου ότι συμβαίνουν ξαφνικά και με ελάχιστη προειδοποίηση, είναι ιδιαίτερα επικίνδυνες για τους ανθρώπους και τα δομικά συστήματα.

Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν τις πλημμύρες δεν μπορούν να ελεγχθούν, αλλά οι γεωλογικές, γεωμορφολογικές και εδαφολογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής είναι δυνατόν να τροποποιηθούν με την ανθρώπινη επέμβαση. Ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι συναρτήσεως της πιθανότητας εμφάνισης του φυσικού φαινομένου και της επίδρασης που θα έχει στην ανθρώπινη κοινωνία.

Οι κυριότερες επιπτώσεις που έγκειται να υπάρξουν από φαινόμενα πλημμυρών καθορίζονται συνήθως από την παρουσία αντιπλημμυρικών έργων, την επέμβαση στο φυσικό περιβάλλον και ανάγλυφο, με αποτέλεσμα την μείωση χρόνου συρροής όγκων νερού και αύξηση πλημμυρικού όγκου. Η ένταση και παρουσία ανθρώπινης δραστηριότητας σε περιοχές με αυξημένους δείκτες πλημμυρικής επικινδυνότητας επιδεινώνει τα φαινόμενα πλημμυρών.

Τα φαινόμενα πλημμυρών μπορούν να αυξηθούν με την παρουσία διάφορων παραγόντων όπως αύξηση ποσοστού αστικοποίησης, αποδάσωση τμημάτων της λεκάνης απορροής, επέμβαση στη φυσική ροή των ποταμών, και κατά συνέπεια στην εξάλειψη φυσικών πεδίων κατάκλισης ή την οικοδόμηση σε υψηλά πεδία κατάκλισης, οδηγώντας σε ανεπαρκείς αποστράγγισης.

Οι πλημμύρες εντάσσονται στα φυσικά φαινόμενα που δεν είναι δυνατόν να ελεγχθούν, σε συνδυασμό με περιβαλλοντικά και τεχνικά χαρακτηριστικά που είναι δυνατόν να τροποποιηθούν με ανθρώπινη επέμβαση. Ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι συναρτήσει και της επίδρασης που θα έχει στην ανθρώπινη κοινωνία.

## 2.2 Παράγοντες πλημμυρικού κίνδυνου

Παράγοντες που επιδρούν στα χαρακτηριστικά των πλημμυρών είναι η έκταση λεκάνης απορροής  $A$  ( $\text{km}^2$ ), ο συντελεστής επιφανειακής απορροής  $C$ , το συνολικό ύψος βροχής ( $\text{mm/h}$ ), η ένταση βροχής για χρόνο συρροής  $i_c$  ( $\text{mm/hr}$ ), όγκος απορροής  $V$  ( $\text{hm}^3$ ) και η παροχή αιχμής  $Q$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Οι σχέσεις μεταξύ τους καθορίζονται από τις εξισώσεις 1 και 2.

$$V = h \cdot A / 1000$$

*Εξίσωση 1*

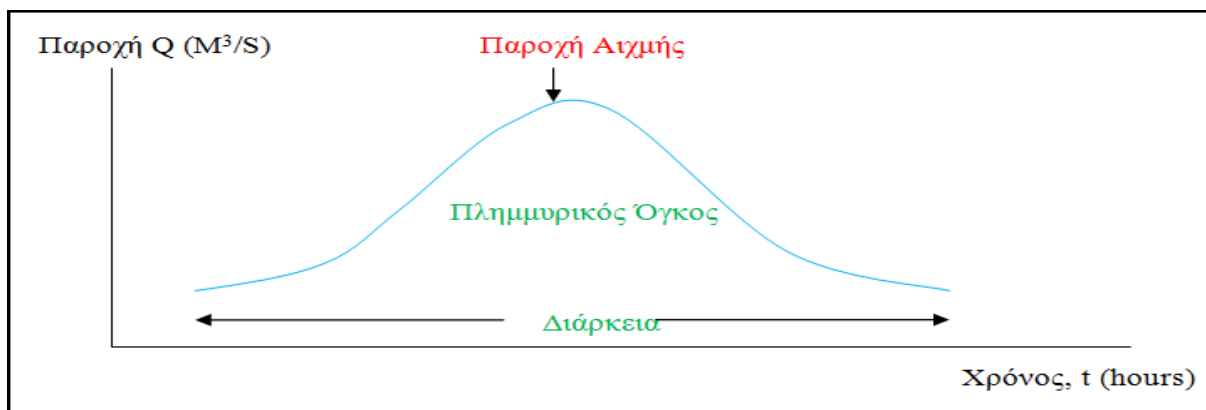
$$Q = 0.278 \cdot C \cdot i_c \cdot A$$

*Εξίσωση 2*

Η υψηλή τιμή της παροχής η οποία ξεπερνά τα φυσικά ή τεχνητά πρηνή ενός υδατορέματος, προκαλεί το φαινόμενο της πλημμύρας, με αποτέλεσμα την κατάκλιση των γειτονικών εκτάσεων με νερό και επιρροή εδαφολογικής κάλυψης

Τα μεγέθη αυτά των πλημμυρών συνδέονται με τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης (συνολικό ύψος, ένταση, διάρκεια), της λεκάνης απορροής (έκταση, συντελεστής απορροής, χρόνος συρροής) και των υδατορεμάτων (διατομή, κλίση, τραχύτητα, κατάντη στάθμες).

Η λεκάνη απορροής είναι παράγοντας καθορισμού χρόνου συγκέντρωσης και συντελεστή απορροής, με επακόλουθο την αύξηση ή μείωση πλημμυρικού κίνδυνου, τα συστήματα αποστράγγισης με επακόλουθο την μείωση του φαινομένου, το πλημμυρικό πεδίο όπου αναλόγως έντασης, και άξιας κοινωνικών δραστηριοτήτων αυξάνει τον κίνδυνο πλημμύρας. Σαν φυσικό πλαίσιο λαμβάνουμε υπόψη ότι στην πλημμυρά κατανέμονται τρία κύρια μεγέθη, η παροχή αιχμής και η αντίστοιχη στάθμη στο υδατόρεμα, ο πλημμυρικός όγκος και η χρονική διάρκεια όπως αυτά παρουσιάζονται γραφικά στο Σχήμα 2-1.



Σχήμα 2-1: Τυπικό γράφημα παροχής αιχμής σε συνάρτηση με το χρόνο

Υπάρχουν τέσσερις κύριες ποσοτικές μετρήσεις για την εκτίμηση της πλημμύρας, α) η παροχή αιχμής, β) ο πλημμυρικός όγκος, γ) το ύψος του νερού και δ) το εμβαδόν των εκτάσεων που κατακλύζονται.

Το ποτάμιο σύστημα μπορεί να έχει αδυναμία διοχέτευσης νερού λόγω μικρής υγρής διατομής του ποταμού, μικρή κλίση του πυθμένα, μεγάλη τραχύτητα του ποταμού ( εξαιτίας εμποδίων και φερτών υλικών), μικρό ύψος νερού στα πλημμυρικά πεδία και κατά συνέπεια μεγάλη βρεχόμενη περίμετρο με αποτέλεσμα τις μικρές ταχύτητες ροής και τις υψηλές στάθμες κατάντη (στάθμη κύριου υδατορέματος, στάθμη θάλασσας).



### 2.3 Μοντέλα μελέτης πλημμύρας

Στα έργα και μελέτες φυσικών καταστροφών συνήθως ακολουθείται ένα μοντέλο όπου προσπαθεί να προβλέψει μελλοντικές καταστάσεις επικινδυνότητας.

Στην ανάλυση διακινδύνευσης (επικινδυνότητας) η πιθανότητα (R) να πραγματοποιηθεί μέσα σε  $n$  έτη, τιμή που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς (T) ορίζεται από τις παρακάτω γενικές εξισώσεις 3, 4 και 5.

Πιθανότητα μη υπέρβασης σε ένα έτος:

$$F = 1 - F1 = (1 - 1/T)$$

*Εξίσωση 3*

Πιθανότητα μη υπέρβασης σε  $n$  έτη:

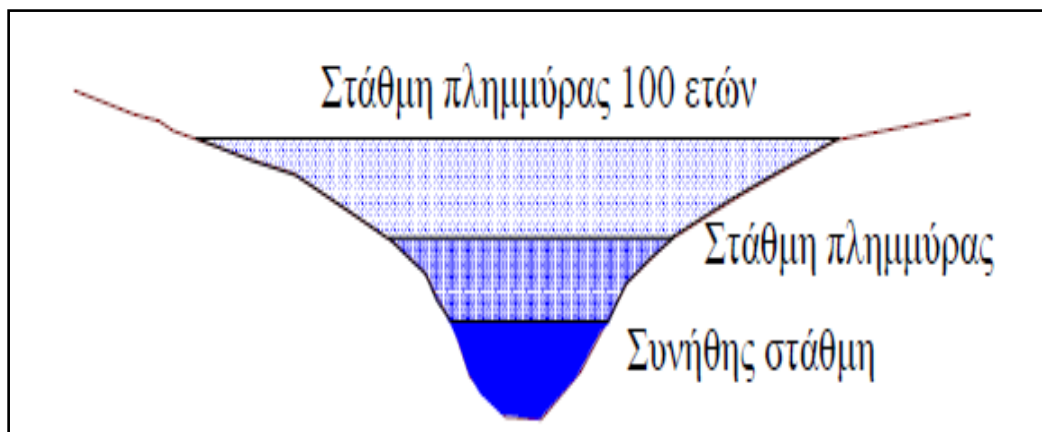
$$(1 - 1/T)^n$$

*Εξίσωση 4*

Πιθανότητα υπέρβασης σε  $n$  έτη (Διακινδύνευση):

$$R = 1 - (1 - 1/T)^n$$

*Εξίσωση 5*



Σχήμα 2-2: Γραφική απεικόνιση πλημμύρας με περιόδους επαναφοράς

## 2.4 Υδρολογικοί ορισμοί

### 2.4.1 Ο Υδρολογικός κύκλος

Ο υδρολογικός κύκλος είναι μία παραστατική σχηματοποίηση της κυκλοφορίας του νερού από τη θάλασσα προς την ατμόσφαιρα, από την ατμόσφαιρα προς τη γη και πάλι προς τη θάλασσα, όπως φαίνεται στην εικόνα 2-3.



Εικόνα 2-1: Υδρολογικός κύκλος (Πηγή: USGS )

Τα βέλη που φαίνονται στην εικόνα 2-3 σημειώνουν τη φορά κυκλοφορίας. Δεχόμαστε ότι σε κάθε τμήμα του Υδρολογικού Κύκλου ισχύει η αρχή της διατηρήσεως της μάζας, που στην περίπτωση αυτή εκφράζεται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$I-O=\Delta S$$

Εξίσωση 6

Όπου

I : εισροή ύδατος σε δεδομένη περιοχή στη διάρκεια ορισμένου χρόνου και

O : απορροή από την ίδια περιοχή κατά τον ίδιο χρόνο

$\Delta S$  : μεταβολή του όγκου του ύδατος που είναι αποθηκευμένος σε αυτή την περιοχή.

## **2.4.2 Ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις**

### **Είδη των κατακρημνίσεων**

Ο όρος ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις περικλείει και αναφέρεται όλες τις μορφές των μετεωρολογικών υδάτων που καταπίπτουν στη γη, δηλαδή τη βροχή, το χιόνι, το χαλάζι και το χιονόνερο. Συνηθίζεται όλες οι μορφές κατακρημνίσεων να ανάγονται, κατά την επεξεργασία των μετρήσεων, σε ισοδύναμο ύψος βροχής. Το ύψος βροχής αναφέρεται στο ιδεατό ύψος όπου θα έφθανε η στάθμη του νερού από τις κατακρημνίσεις επάνω από μία αδιαπέρατη επίπεδη οριζόντια επιφάνεια, εάν δεν υπήρχε η δυνατότητα να απορρεύσει ή να εξατμισθεί μέσα στην περίοδο που γίνεται η μέτρηση. Η ένταση της βροχής είναι το ύψος νερού που κατακρημνίζεται στη μονάδα του χρόνου. Η αντιστοιχία ύψος χιονιού-ισοδύναμο ύψος βροχής δεν είναι σταθερή, αλλά εξαρτάται από την πυκνότητα του χιονιού. Συνήθως, όταν δεν υπάρχουν ακριβείς πληροφορίες, θεωρούμε ότι 10mm βάθος χιονιού ισοδυναμούν με 1mm ύψους βροχής (Βαφειάδης, 2000).

### **Γένεση των βροχοπτώσεων**

Οι συγκρούσεις ανάμεσα στα υγρά σταγονίδια ή τους μικροκρυστάλλους, που αιωρούνται μέσα σε σύννεφα που ψύχονται, και η συναύξηση τους, θεωρούνται ως οι παράγοντες που δημιουργούν μία σημαντική βροχόπτωση. Η διατήρηση της βροχής με κάποια διάρκεια, απαιτεί κατόπιν τη συνεχή ανανέωση των υγρών αερίων μαζών που δημιουργούν τα σύννεφα. Αυτό επιτυγχάνεται με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία (άνεμους).

Οι μετεωρολογικοί μηχανισμοί που μπορούν να οδηγήσουν στη συμπύκνωση της ατμοσφαιρικής υγρασίας σε σύννεφα και τη δημιουργία κατακρημνίσεων είναι πολλοί. Οι κατακρημνίσεις χαρακτηρίζονται από τον τρόπο δημιουργίας των, που εξαρτάται από τη διαμόρφωση του εδάφους της περιοχής και την εποχή (Βαφειάδης, 2000).

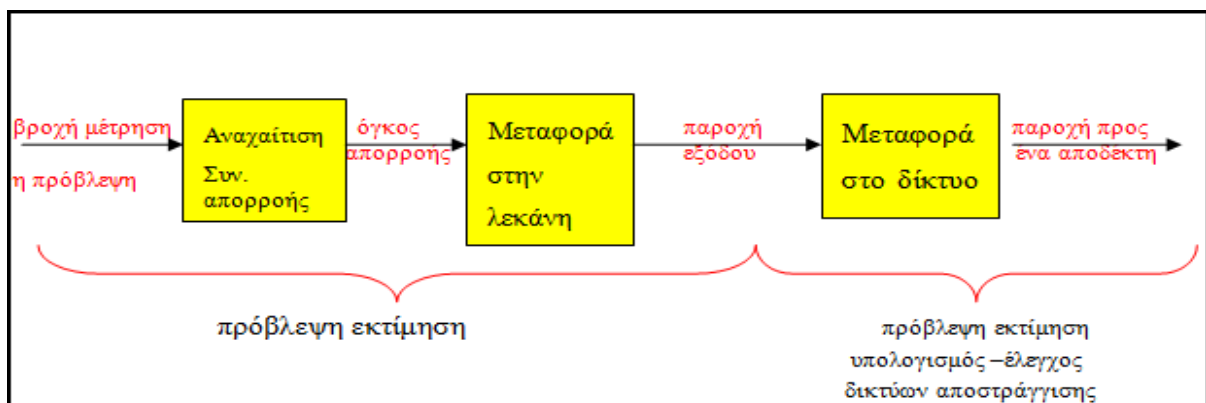
## Μέτρηση των βροχοπτώσεων

Η μέτρηση των βροχοπτώσεων, αλλά και όλων των κατακρημνίσεων γενικότερα, γίνεται με τα βροχόμετρα και τους βροχογράφους. Τα βροχόμετρα είναι τυποποιημένα δοχεία συλλογής των κατακρημνίσεων. Οι βροχογράφοι είναι βροχόμετρα εφοδιασμένα με ένα αυτογραφικό μηχανισμό (με ζύγιση ή καταγραφή όγκου).

Η αξιόπιστη μέτρηση των κατακρημνίσεων, απέχει πολύ από το είναι τόσο απλή απ'όσο αφήνουν να φανεί τα χρησιμοποιούμενα για το σκοπό αυτό όργανα. Οι μετρήσεις αυτές είναι σημειακές. Μία εξαιρετικά απλή μέθοδος για τον υπολογισμό του μέσου ισοδυνάμου ύψους κατακρημνίσεων σε μία περιοχή είναι η μέθοδος των πολυγώνων Thiessen. Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, η περιοχή της μελέτης χωρίζεται σε υποπεριοχές, τα όρια των οποίων προκύπτουν από τις μεσοκαθέτους στις ευθείες που ενώνουν δύο παρακείμενους σταθμούς. Οι υποπεριοχές που δημιουργούνται με τον τρόπο αυτό έχουν το χαρακτηριστικό ότι περιλαμβάνουν όλα τα σημεία που βρίσκονται πιο κοντά στο σταθμό που περικλείει η υποπεριοχή αυτή, παρά σε οποιοδήποτε άλλο σταθμό (δυσδιάστατα). Η μέθοδος αυτή είναι καθαρά γεωμετρική και δεν λαμβάνει υπόψη το εδαφικό ανάγλυφο (Βαφειάδης, 2000).

## Σχέση βροχής-απορροής

Η βροχή αποτελεί την αφετηρία του επίγειου τμήματος του υδρολογικού κύκλου και βασική προϋπόθεση για τη δημιουργία των επιφανειακών απορροών. Μπορούμε να διακρίνουμε τρεις φάσεις στη διαδικασία βροχή-απορροή όπως φαίνεται παρακάτω στο Σχήμα 2-4.



Σχήμα 2-3. Σχέση Βροχής –Απορροής

## **Οι σκοποί μελέτης της σχέσεως "βροχής-απορροής"**

Η πρόβλεψη πλημμυρών σε πραγματικό χρόνο, μελέτη του υδρολογικού κύκλου και η αποκατάσταση ή αναδημιουργία χαμένων δεδομένων. Η παραγωγή δεδομένων για τη σχεδίαση και τον έλεγχο των υδραυλικών συστημάτων μεγάλης κλίμακας (υδροηλεκτρικά, αρδευτικά, αποστραγγιστικά, αποχετευτικά πόλεων) (Βαφειάδης, 2000).

Μόλις η βροχή φθάσει στην επιφάνεια της Γης αναχαιτίζεται από τη βλάστηση και τις κατασκευές που την καλύπτουν και δεσμεύεται προσωρινά. Σε κάθε περίπτωση όμως, το νερό της βροχής θα καταμερισθεί τελικά σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση :

$$\text{βροχή} = \text{εξάτμιση} + \text{διήθηση} + \text{απορροή}$$

*Εξίσωση 7*

Η παραπάνω σχέση είναι προσδιοριστική καθώς εάν γνωρίζουμε την τιμή τριών από τους όρους της αμέσως προσδιορίζεται και ο τέταρτος. Το βάρος των διαφόρων όρων στη σχέση αυτή εξαρτάται από τη χωρική και χρονική κλίμακα που θα διαλέξουμε.

Για παράδειγμα, συνήθως αγνοούμε την εξάτμιση στις προβλέψεις σε πραγματικό χρόνο σε περιορισμένες περιοχές. Το εντελώς αντίθετο συμβαίνει κατά την κατάστρωση των ετησίων υδατικών ισοζυγίων για μία ολόκληρη χώρα.

### **2.4.3 Επιφανειακές απορροές**

#### **Λεκάνες απορροής**

Η λεκάνη απορροής ενός υδατορέματος ορίζεται ως το σύνολο της τοπογραφικής επιφάνειας που αποστραγγίζεται από αυτό το υδατόρεμα και τους παραποτάμους του. Κάθε λεκάνη απορροής περιορίζεται και χωρίζεται από τις άλλες που την περιβάλλουν από τη γραμμή διαχωρισμού των νερών ή υδροκρίτη, που ακολουθεί τις κορυφογραμμές του εδαφικού ανάγλυφου.

Για το χαρακτηρισμό των λεκανών απορροής χρησιμοποιούνται στη υδρολογία κυρίως τοπογραφικές, γεωμορφολογικές παράμετροι όπως, ολική επιφάνεια  $A$  (km), μορφή, μέση κλίση (%), ανάγλυφο κατανομής της επιφάνειας σε συνάρτηση με το υψόμετρο, η πυκνότητα και τάξη υδρογραφικού δικτύου, μήκη και κλίσεις των υδατορεμάτων .

Πολλοί πρακτικοί και εμπειρικοί τύποι έχουν προταθεί κατά καιρούς για τον καθορισμό αυτών των παραμέτρων. Αν και ορισμένοι χρησιμοποιούνται πιο συχνά από τους υδρολόγους ωστόσο σε αυτό το σημείο δεν υπάρχει πάγια τυποποίηση. Εάν δεχθούμε ορισμένες υποθέσεις, από αυτές τις παραμέτρους μπορούμε να υπολογίσουμε :

- Τη συνολική διαδρομή, δηλαδή τη μεγαλύτερη σε μήκος διαδρομή που ακολουθεί το νερό από το πλέον απομακρυσμένο σημείο επάνω στη λεκάνη ως το σημείο εκροής από αυτή.
- Το διάγραμμα επιφάνειας χρόνου, που είναι η απόκριση της λεκάνης σε μία στιγμιαία παροχή (βροχή).
- Το χρόνο συγκεντρώσεως (time of concentration), δηλαδή τη χρονική καθυστέρηση με την οποία εμφανίζεται η αιχμή της παροχής απορροής στην έξοδο της λεκάνης σε σχέση με το χρόνο που άρχισε η βροχή επάνω από τη λεκάνη.

Οι συνήθεις γεωλογικές παράμετροι που προσδιορίζουν την επιφάνεια του εδάφους κατηγοριοποιούνται ως εξής:

1. Τύπος και υφή των εδαφών
2. Ανομοιογένειες του υπεδάφους
3. Τύπος βλαστήσεως
4. Κατανομή της βλαστήσεως
5. Έκταση των αδιαπέρατων επιφανειών

Οι παραπάνω παράμετροι καθορίζουν τις σχέσεις μεταξύ της αναχαιτίσεως, της διηθήσεως και της εξατμίσεως προς την απορροή και τον προσδιορισμό του συντελεστού απορροής. Ο συντελεστής αυτός εκφράζει το ποσοστό του νερού που κατακρημνίσθηκε και θα απομακρυνθεί από τη λεκάνη απορροής με άμεση επιφανειακή απορροή.

Η εκτίμηση του ύψους της πλημμυρικής αιχμής γίνεται με την εφαρμογή της ορθολογιστικής μεθόδου. Η ορθολογιστική μέθοδος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των ισοδυνάμων παροχών δίνεται από την πιο κάτω εξίσωση.

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

*Εξίσωση 8*

Q = η παροχή

I = η ένταση της βροχής

C = ο συντελεστής απορροής

A = η επιφάνεια της λεκάνης απορροής

Η ένταση βροχής μελέτης υπολογίζεται από τις όμβριες καμπύλες που χαράσσονται με βάση την ανάλυση υετογραμμάτων και την προσαρμογή των τιμών σε κατάλληλη συνάρτηση κατανομής πιθανότητας, συνήθως αυτή του Gumbel (δισ-εκθετική). Ο νόμος αυτός συγκαταλέγεται στην ομάδα των ακραίων κατανομών διότι περιγράφει ικανοποιητικά τις κατανομές των ακραίων τιμών τυχαίων μεταβλητών. (π.χ. μέγιστες ετήσιες βροχοπτώσεις). Είναι ο απλούστερος νόμος και είναι απεριόριστος, στη σχέση μεταξύ των x και y. Καλείται και κατανομή ακραίων τιμών τυχαίων μεταβλητών τύπου I. Αντίστοιχα οι κατανομές των ακραίων τιμών τυχαίων μεταβλητών τύπου II έχουν ένα κατώτερο όριο, ενώ οι τύπου III ένα ανώτερο.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας δίνεται από την εξίσωση 9 πιο κάτω:

$$f(y) = e^{-e^{-x}}$$

*Εξίσωση 9*

Για την εφαρμογή της μεθόδου Gumbel απαιτούνται σειρές δεδομένων μεγίστων εντάσεων για αρκετά χρόνια (συνήθως πέρα των είκοσι ετών). Τα δεδομένα ταξινομούνται και αφού προσδιοριστούν οι πειραματικές τους πιθανότητες, γίνεται ο υπολογισμός των παραμέτρων της κατανομής. Υπάρχουν βέβαια και πολλές άλλες "ακραίες κατανομές" καθώς και άλλες

μέθοδοι για τον προσδιορισμό μίας συναρτήσεως κατανομής πιθανότητας ως προς την περίοδο επαναφοράς, και είναι θέμα εμπειρίας, αλλά και πολλαπλών δοκιμών και ελέγχων, η επιλογή της καταλληλότερης κατά περίπτωση.

Για λόγους πρακτικούς διακρίνουμε δύο μεγάλες κατηγορίες λεκανών απορροής:

- Τις φυσικές ή αγροτικές λεκάνες απορροής. Αυτές είναι γενικά διαπερατές με συντελεστή απορροής  $C = 0.05 \sim 0.50$ , συχνά ομογενείς ως προς το έδαφος και τη βλάστηση, αλλά σε μεγάλη ποικιλία ως προς την έκταση, που πηγαίνει από μερικές δεκάδες χιλιόμετρα σε μερικές χιλιάδες χιλιόμετρα .
- Τις αστικές λεκάνες απορροής. Είναι γενικά αδιαπέρατες με συντελεστή απορροής  $C = 0.50 \sim 0.90$ , και μικρού μεγέθους. Αποτελούν ουσιαστικά πάντοτε μέρος μίας μεγαλύτερης φυσικής λεκάνης απορροής, αλλά παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον σχετικά με τα δίκτυα αποχετεύσεως όμβριων και γι'αυτό μελετώνται ξεχωριστά (Βαφειάδης, 2000).

### **Ροή στα υδατορέματα**

Οι άμεσες απορροές από τις βροχοπτώσεις και οι πηγές τροφοδοτούν τα υδατορέματα με μία παροχή που μεταβάλλεται μέσα σε πλατιά όρια, από μία ελάχιστη παροχή ξηρασίας έως μία μέγιστη σαν των πλημμυρικών αιχμών. Πρόκειται για ροή με ελεύθερη επιφάνεια που σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να θεωρηθεί μόνιμη και ομοιόμορφη.

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές μετρήσεως στάθμης όπως, βαθμολογημένο κανόνα, συσκευή φουσαλίδων, σταθμήμετρο με πλωτήρα με ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό σταθμήμετρο.

Οι σταθμημετρήσεις γίνονται σε διατομές ελέγχου που έχουν ειδικά επιλεγεί ώστε να είναι κατά το δυνατόν σταθερές και απαλλαγμένες από προβλήματα στερεοπαροχής, και να είναι τεχνικά προσιτές. Εάν είναι δυνατόν στη θέση των διατομών αυτών κατασκευάζεται ένας υπερχειλιστής ή μία στένωση τύπου Venturi ώστε να είναι πιο εύκολη και ακριβής η αναγωγή



του βάθους ροής σε παροχή. Συνήθη σημεία όπου εγκαθιστούμε τα σταθμήμετρα είναι οι γέφυρες όταν υπάρχουν.

Οι σταθμημετρήσεις ανάγονται σε μετρήσεις παροχής με βάση το νόμο (καμπύλη) στάθμης-παροχής της διατομής ελέγχου, που υπολογίζεται πειραματικά από πριν.

Η μέτρηση παροχών γίνεται με μηχανικά ρευματομέτρα, με ηλεκτρικά ή ηλεκτρονικά ρευματομέτρα, με τη βοήθεια φυσικοχημικών μεθόδων δεικτών ή ραδιοϊσοτόπων.

Οι μετρήσεις παροχών γίνονται στις ίδιες θέσεις όπως οι σταθμημετρήσεις. Επειδή είναι περισσότερο δύσκολες και χρονοβόρες από τις σταθμημετρήσεις, γίνονται σε αραιότερα χρονικά διαστήματα και συνήθως για τον έλεγχο και διόρθωση της καμπύλης στάθμης-παροχής (Βαφειάδης, 2000).

Υπολογισμός του χρόνου συρροής (χρόνου συγκεντρώσεως)

Οι πλέον χρησιμοποιούμενες μέθοδοι στη διεθνή βιβλιογραφία (Βαφειάδης, 2000) για τον υπολογισμό του χρόνου συρροής μίας υδρολογικής λεκάνης είναι οι ακόλουθοι:

Μέθοδος GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{8\sqrt{Hmn} - H \text{ min}} \quad \text{Εξίσωση 10}$$

Μέθοδος KIRPICH

$$T_c = .0663 * \left[ \frac{L}{\sqrt{J}} \right]^{0.77} \quad \text{Εξίσωση 11}$$

Μέθοδος PASSINI

$$Tc = .108 * \frac{\sqrt[3]{A * L}}{\sqrt{J}}$$

Εξίσωση 12

όπου:

$A$  : επιφάνεια σε km<sup>2</sup>

$L$  : μέγιστος υδραυλικός δρόμος σε km

$H_{mn}$  : μέσο υψόμετρο της λεκάνης απορροής

$H_{min}$  : ελάχιστο υψόμετρο της λεκάνης απορροής (σημείο εξόδου)

$J$  : μέση κλίση στη λεκάνη απορροής

### Το μοναδιαίο υδρογράφημα

Η αρχή του μοναδιαίου υδρογραφήματος πρωτοπαρουσιάστηκε από τον Sherman στα 1942. Σύμφωνα με αυτή γίνεται αποδεκτό ότι μία βροχή με σταθερή μοναδιαία ένταση επάνω σε μία λεκάνη απορροής και με μοναδιαία διάρκεια, γεννά ένα μοναδιαίο υδρογράφημα που είναι χαρακτηριστικό για τη λεκάνη απορροής. Τα υδρογραφήματα που προέρχονται από βροχές πολλαπλάσιας εντάσεως ή/και διάρκειας, καθώς και αυτά που προέρχονται από σύνθετες μορφές βροχής μπορούν να υπολογισθούν από το μοναδιαίο υδρογράφημα, εφαρμόζοντας τις αρχές α) της γραμμικότητας και β) της σταθερότητας στο χρόνο (Βαφειάδης, 2000).

Ένα βήμα πιο πέρα από την έννοια του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η έννοια του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος που προκύπτει εάν η διάρκεια της μοναδιαίας βροχής που παράγει το υδρογράφημα τείνει προς το μηδέν, τείνει δηλαδή να μετατραπεί σε ένα παλμό Dirac. Τότε το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα μπορεί να παρασταθεί μαθηματικός από ένα συνελικτικό γινόμενο όπως την εξίσωση 13, και παραστατικά όπως στο σχήμα 2-5.

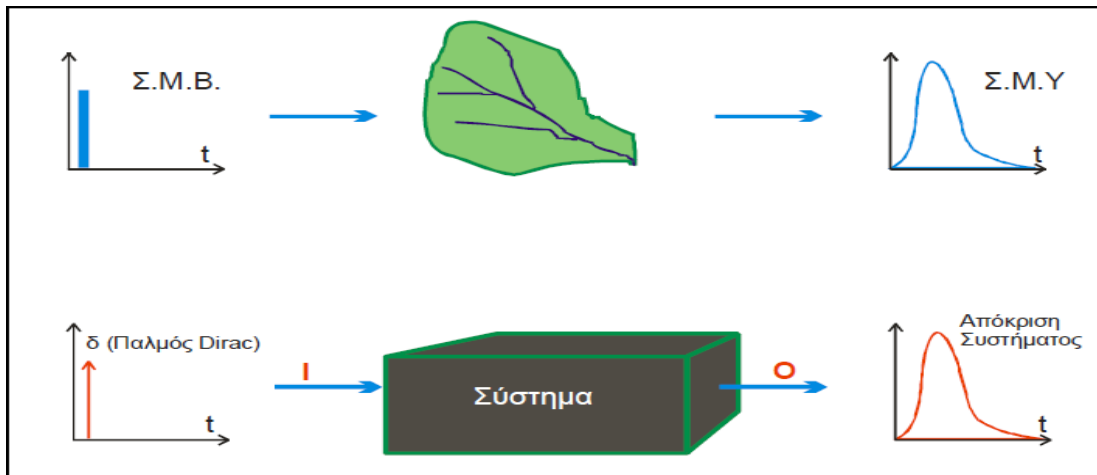
$$y(t) = x(t) * h(t) = \int x(r)h(t-r)dr$$

Εξίσωση 13

Όπου:  $(t)$  είναι το υδρογράφημα

$x(t)$  είναι η βροχή που προκαλεί το υδρογράφημα

$h(t)$  είναι η παλμική απόκριση του συστήματος (λεκάνη απορροής)



Σχήμα 2-4: θεωρία συστημάτων στην λεκάνη (μοναδιαίο υδρογράφημα) (Πηγή: Μ. Βαφειάδης)

#### 2.4.4 Απαιτούμενα Υδρομετεωρολογικά δεδομένα για μελέτες υδραυλικών έργων

Κατά τη μελέτη των διαφόρων υδραυλικών έργων κατά κύριο λόγο, αλλά και πολλών άλλων έργων (πχ. έργα οδοποιίας, επικαλύψεις δομικών έργων), ο Πολιτικός Μηχανικός έχει την ανάγκη πολλών υδρομετεωρολογικών δεδομένων.

Τα πλέον συνήθη είναι τα σύνολα ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων: ημερήσια, μηνιαία, ετήσια, εκπεφρασμένα σε ισοδύναμο ύψος βροχής(mm). Τα βροχομετρικά δεδομένα εντάσεως-συχνότητας, για συχνότητες από 2 έως 50 έτη και διάρκειες βροχοπτώσεως από 5 λεπτών έως 72 ώρες, η μεταβλητότητα των κατακρημνίσεων από έτος σε έτος, συχνότητα και διάρκεια της ξηρασίας, οι ετήσιες απορροές, μηνιαίοι όγκοι και πλημμυρικές αιχμές .

Σε ειδικές εφαρμογές, όπως οι αρδεύσεις, οι περιβαλλοντικές μελέτες και ο κλιματισμός των κτηρίων, χρειάζονται δεδομένα σχετικά με τους ανέμους, την ηλιακή ακτινοβολία, τη θερμοκρασία και την υγρασία της ατμόσφαιρας.

Με τον όρο "Υδρολογική Ανάλυση" ορίζουμε τη διαδικασία για την επεξεργασία και ανάλυση των υδρολογικών δεδομένων που διατίθενται σε μία περιοχή με σκοπό την κατανόηση της υδρολογίας της περιοχής αυτής ή τον προσδιορισμό ορισμένων χαρακτηριστικών τιμών που απαιτούνται σε μελέτες για τη διαχείριση του υδατικού δυναμικού της περιοχής, τεχνικές μελέτες και μελέτες για την προστασία του περιβάλλοντος.

Η βάση για οποιαδήποτε υδρολογική μελέτη είναι τα διαθέσιμα υδρολογικά στοιχεία και η ποιότητα τους. Από αυτά θα εξαρτηθεί, σε συνάρτηση βέβαια και με τον επιδιωκόμενο σκοπό, η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών υδρολογικών μεγεθών.

#### **2.4.5 Ξηρασία**

Η ξηρασία είναι αποτέλεσμα παρατεταμένης ανομβρίας, ακούγοντας αυτή τη λέξη, έρχονται στο μυαλό ζοφερές εικόνες άγονης γης, ρυτιδιασμένων εδαφών χωρίς βλάστηση και ερήμων, εικόνες γενικά χωρίς πράσινο και ζωή. Πέρα όμως από τις αόριστες ιδέες, φόβους και γενικά δυσάρεστα συναισθήματα που δημιουργεί και μόνο στο άκουσμα της η ξηρασία, τι πραγματικά είναι ή πώς την ορίζουμε επιστημονικά, ποία είναι τα χαρακτηριστικά της, πώς τα αναλύουμε; Μπορούμε να την προβλέψουμε; Είναι παροδική ή θα ενταθεί με την πολυσυζητημένη κλιματική αλλαγή; Ποιες είναι οι πιθανότητες και περίοδος επαναφοράς και πώς διασφαλιζόμαστε από αυτή;

Από την άλλη πλευρά, τοπικές πλημμύρες παρουσιάζονται εξαιρετικά καταστροφικές, και όχι μόνο λόγω της συνηθισμένης υπερδιόγκωσης των γεγονότων από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης. Ειδικά οι πλημμύρες επισύρουν τη μομφή της κοινής γνώμης κατά των μηχανικών και της πολιτείας για δύο λόγους: α) διότι φαίνεται περίεργο να συμβαίνουν σε χώρα που θεωρείται γενικά ξερή, και β) διότι ενώ ο καθένας δέχεται ότι η ξηρασία είναι ένα άμεσο και έμμεσο αποτέλεσμα της ανομβρίας, για τις πλημμύρες υπάρχει η γνώμη ότι μπορούν να αντιμετωπισθούν πλήρως με την κατάλληλη τεχνική υποδομή.

## 2.5 Τηλεπισκόπηση

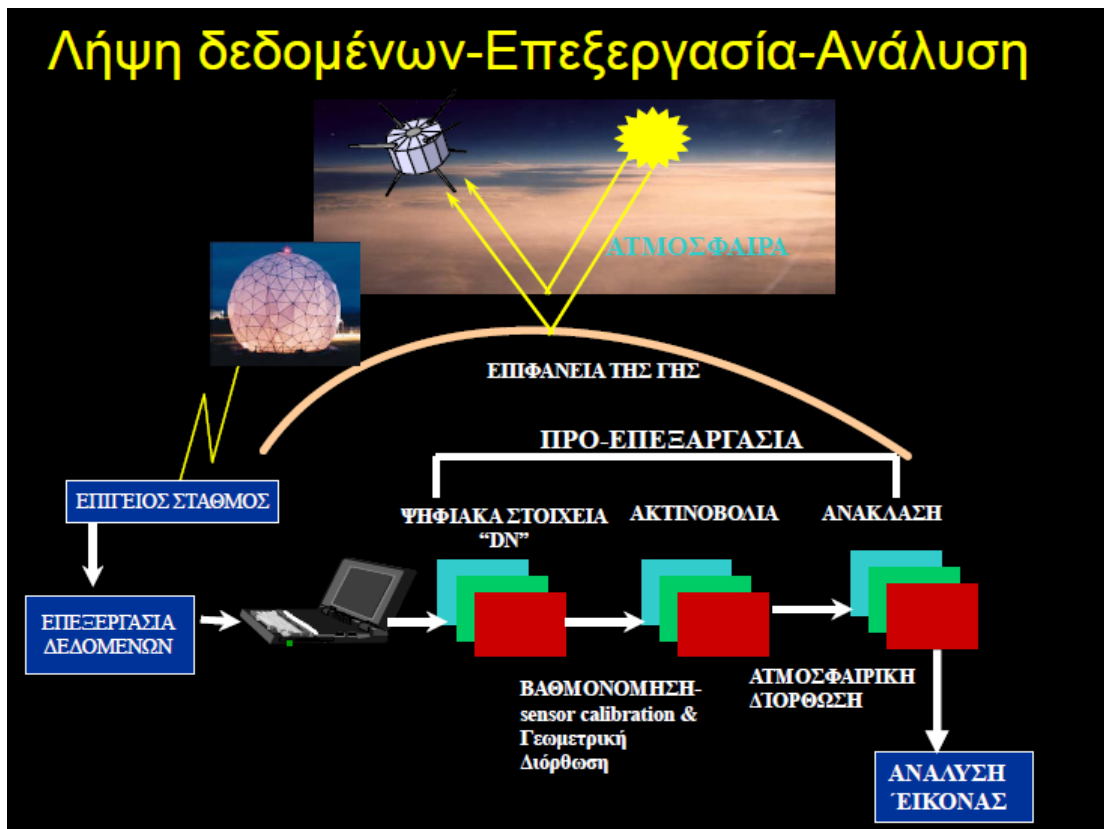
Η Τηλεπισκόπηση ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας πληροφοριών γύρω από έναν στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς στην πραγματικότητα να έρθουμε σε απευθείας επαφή με αυτόν. Παρόλο που το φάσμα της τηλεπισκόπησης είναι ευρύ, εντούτοις στην πράξη περιορίζεται σε συστήματα απεικονίσεων ή εικόνων, όπως οι δορυφορικές εικόνες και οι αεροφωτογραφίες (Mather,1999; Hadjimitsis, 2008).

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση παρέχει στον τελικό χρήστη πολλά πλεονεκτήματα όπως: α) Τα δορυφορικά δεδομένα είναι σε ψηφιακή μορφή, συνεπώς δεν χρειάζεται η ψηφιοποίηση ή η σάρωση τους και άρα αποφεύγονται όλα τα σφάλματα που είναι αναμενόμενα σε αυτά τα στάδια και β) Οι δορυφόροι περνούν από την ίδια περιοχή ανά τακτά χρονικά διαστήματα π.χ ο δορυφόρος , πραγματοποιώντας λήψεις, οι οποίες μπορούν να βρίσκονται στα χέρια του τελικού χρήστη εντός λίγων ημερών από την παραγγελία τους και γ) επιτρέπουν την καταγραφή αντικειμένων και φαινομένων σε ένα ευρύ φάσμα (π.χ. ορατό και υπέρυθρο) (Mather,1999; Hadjimitsis, 2008).

Σε όλες τις διαδικασίες τηλεπισκόπησης η επεξεργαζόμενη παράμετρος είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται ή ανακλάται από διάφορα αντικείμενα, επιφάνειες ή χημικές ενώσεις. Η δυνατότητα συλλογής ακτινοβολίας σε μία μεγάλη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (από την κοσμική ακτινοβολία μέχρι τα μικροκύματα), σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η κατανομή της ακτινοβολίας που εκπέμπει ή ανακλά κάθε σώμα σε διάφορα μήκη κύματος είναι χαρακτηριστική της φυσικής του κατάστασης και της χημικής του σύστασης (φασματική υπογραφή), οδηγεί στην εξ αποστάσεως αναγνώριση και μελέτη του, δηλαδή στην εφαρμογή της τηλεπισκόπησης (Mather,1999; Hadjimitsis, 2008).

Η φασματική υπογραφή είναι χαρακτηριστική για κάθε σώμα, δίνοντας τη δυνατότητα να διακρίνουμε το χιόνι από το νερό, τη βλάστηση από το χώμα, τους διάφορους τύπους πετρωμάτων μεταξύ τους, τις διάφορες ενώσεις στην ατμόσφαιρα, κλπ. Τα διάφορα όργανα των δορυφόρων καταγράφουν την ακτινοβολία η οποία προέρχεται από τη γη σε

διαφορετικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού άσματος. Για κάθε στοιχειώδη επιφάνεια ανάλυσης τα δεδομένα που λαμβάνονται αντιστοιχούν σε κάποια τιμή ακτινοβολίας η οποία καταχωρείται σε καθεμία από τις εν λόγω επιφάνειες. Στη συνέχεια, οι τιμές αυτές αντιστοιχίζονται σε διαφορετικά χρώματα (ή αποχρώσεις του γκρι) για να δώσουν μία εικόνα. Κατά συνέπεια, ανάλογα με το μήκος κύματος στο οποίο έχουν συντονιστεί τα διάφορα όργανα παρατήρησής τους, οι δορυφόροι μπορούν να εξυπηρετήσουν διαφορετικούς σκοπούς (Mather,1999; Hadjimitsis, 2008).



Εικόνα 2-2: Διάγραμμα ροής τηλεπισκόπησης

### 3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Οι Mbogoni et al. (2005) είχαν χρησιμοποιήσει τυπογραφικά και εδαφολογικά στοιχεία καθώς και το λογισμικό ARCVIEW GIS (Esri, 1992-1999) για την εκπόνηση υδρολογικής μελέτης σε εννέα λεκάνες απορροής, μελετώντας αρδευτικά ζητήματα στην επαρχία Tanja της Τανζανίας.

Οι Menzel et al. (2002) στα πλαίσια του σχεδίου πλημμυρών EYROTAS είχαν μελετήσει διάφορα περιβαλλοντικά σενάρια πλημμυρών στην λεκάνη απορροής ELBE στη Γερμανία. Τα κλιματικά δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση ήταν ημερήσιου βήματος από 660 σταθμούς καταγραφής βροχοπτώσεων, και από 25 σταθμούς καταγραφής κλίματος. Για την συνεχή προσομοίωση της εκροής του ποταμού χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο υδραυλικής προσομοίωσης HBV όπως είχε αναπτυχθεί από Bergstrom.,1992, ένα από τα χαρακτηριστικά του μοντέλου HBV-D (Krysanova et al.,1998) είναι ο διαχωρισμός της λεκάνης απορροής σε μικρότερες υπολεκάνες για αποτελεσματικότερη διαχείριση. Τα σενάρια κλιματικών αλλαγών έγιναν σύμφωνα με μέθοδο "expanded downscaling" (EDS) (Burger, 2000). Στην ανάλυση διαφορετικών σεναρίων χρήσης γης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος LADEMO (LAND USE CHANGE DEVELOPMENT MODEL) (Mentzel and Blongewicz, 2000), όπου κάνει χρήση κατανεμημένα χωρικά δεδομένα περιοχής και παράγει δυναμικά εξελίξιμα πρότυπα σύμφωνα με στοχευόμενα σενάρια.

Οι Anselmo et al. (1996) είχαν χρησιμοποιήσει υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση για την εκτίμηση κίνδυνου σε περιοχή της Ιταλίας επιρρεπή σε πλημμύρες για να αναλύσουν τα ακραία πλημμυρικά φαινόμενα στον θερμοηλεκτρικό σταθμό του Mon alto di . Η μεθοδολογία τους βασίστηκε στα πιο κάτω τέσσερα στάδια . Στο πρώτο στάδιο εμπλέκεται μια λεπτομερές ανάλυση των διαθέσιμων κρίσιμων γεγονότων, καθώς και συλλογή των υδρο-μετεωρολογικών και τοπογραφικών στοιχείων για να γίνει στατιστική ανάλυση και εκτίμηση των ακραίων κατακρημνίσεων, και εκτίμηση της μέγιστης βροχόπτωσης. Στο στάδιο δυο γίνεται η βαθμονόμηση του υδρολογικού μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί, και θα γίνει με χρήση δεδομένων από πρόσφατο πλημμυρικό φαινόμενο. Στο τρίτο στάδιο γίνεται βαθμονόμηση του υδραυλικού δισδιάστατου μοντέλου. Στο τέταρτο στάδιο γίνεται υδραυλική προσομοίωση από το δισδιάστατο υδραυλικό μοντέλο. Ως κατάλληλο υδρολογικό

μοντέλο θεωρήθηκε κατάλληλο το ARNO (Franchini and Paccianni,1991; Todini,1996), για το υδραυλικό μαθηματικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι που έχουν αναπτυχθεί από τους Cunge (1975), Abbot(1979), Xanthopoulos and Koutitas (1997), Hromadka et al.(1985), DeVries et al. (1986).

Οι Fox et al. (2000), ανέπτυξαν μια μεθοδολογία όπου γίνεται εκτίμηση της πήμμύρας που προκύπτει σε συγκεκριμένη λεκάνη απορροής μέτριας κλίμακας έκτασης, με συνάθροιση βροχοπτώσης από χρόνο μηδέν μέχρι και επτά ημερών. Η μεθοδολογία βασίστηκε στα φυσικά χαρακτηριστικά της γεωεπιφάνειας και τα οποία έχουν επεξεργαστεί με τηλεπισκόπηση σε κλίμακα μικρότερη του 1 km. Έγινε χρήση ατμοσφαιρικών δεδομένων για καθορισμό σχέσεων με πιθανότητες βροχοπτώσης. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των πιθανοτικών σεναρίων και υπολογισμών με τα πραγματικά δεδομένα βροχοπτώσεων πάνω από το ποταμό Irwell.

Οι Waheed et al. (2010) είχαν μελετήσει της επιπτώσεις της αστικοποίησης κατά μήκος του ποταμού Kaduna, εντός της πόλης Kaduna στη Νιγηρία. Τα αποτελέσματα της εν λόγω μελέτης δεικνύουν ότι αυξάνοντας την αστικοποίηση κατά μήκος του ποταμού αυξάνονται τα πλημμυρικά επεισόδια. Το ποσοστό αστικοποίησης στις όχθες του ποταμού ήταν ανοδικά, με 67,5% μέχρι 85,31% από το 1962 μέχρι το 2009. Στην μεθοδολογία τους έγινε υδρολογική ανάλυση η οποία περιλάμβανε την ανάλυση βροχοπτώσεων και την ροή αυτών από το 1955 μέχρι 2004, με ημερησία ροή ποταμού από 1967 μέχρι 1992, και ημερησία σταδία καταγραφής νερού από το 1993 μέχρι 2004. Χρησιμοποίησαν δεδομένα που αφορούσαν τη μορφολογία του εδάφους, γεωμετρικά χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής και καναλιού ποταμού, καθώς και μετεωρολογικά στοιχεία. Τα δεδομένα αυτά επεξεργαστήκαν με τα λογισμικά Microsoft excel surface mapping system software (surfer version 8.1), Autocad 2007 όπου και διαχειρίστηκε την συλλογή πληροφοριών και δεδομένων για καθορισμό της μορφολογίας του καναλιού (Rosgen, 1996).

Οι Μαραγκουδάκη και Τσακίρης (2005), παρουσίασαν μια μεθοδολογία για την εκτίμηση των χαρακτηριστικών της πλημμύρας στην έξοδο μιας λεκάνης απορροής που έχει υποστεί αστικοποίηση. Είχε προταθεί μια απλή λογαριθμική σχέση για τη συσχέτιση των χαρακτηριστικών της πλημμύρας με το ποσοστό αδιαπερατότητας της λεκάνης. Η μεθοδολογία εφαρμόζεται σε μια λεκάνη απορροής του υδατορέματος Ρεστίορη του Νομού



Ιωαννίνων. Το αποτέλεσμα της αστικοποίησης σχετικά με το πλημμυρικό υδρογράφημα επηρεάζεται ακόμα από το κλίμα και ειδικά από τις συνθήκες βροχόπτωσης. Η αστικοποίηση γενικότερα επιφέρει σημαντικές αλλαγές στο υδρογράφημα. Το υδρογράφημα μιας περιοχής που έχει υποστεί αστικοποίηση κάποιου βαθμού παρουσιάζει μεγαλύτερη αιχμή  $Q_{max}$ , μικρότερο χρόνο συγκέντρωσης και αυξημένο συνολικό πλημμυρικό όγκο σε σχέση με το υδρογράφημα της ίδιας περιοχής πριν οποιασδήποτε αστική ανάπτυξη, για δεδομένη βροχόπτωση. Οι Μαραγκουδάκη και Τσακίρης (2005), είχαν χρησιμοποιήσει συνήθους παροχής σχεδιασμού επαναφοράς για πενήντα έτη.

Οι Rosso et al. (2002) παρουσίασαν μια ολοκληρωμένη μέθοδο για εκτίμηση κίνδυνου ξαφνικών πλημμυρικών φαινομένων, και επιπτώσεις σ' αυτά από την αλλαγής χρήσης γης στην διάρκεια του χρόνου, με χρήση αρχείων από το 1878 μέχρι 1980. Η ανάλυση βασίστηκε προσεγγιστικά χρησιμοποιώντας το μοντέλο Monte Carlo (Rulli and Rosso, 2002). Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα 7 ετών βροχόπτωσης, και έτρεξε το μοντέλο Monte Carlo για μια περίοδο ανάλυσης 1000 ετών με χρήση των λογισμικών GSNRP, FEST98. Η συχνότητα πλημμυρών προέκυψε από την ανάλυση ετησίας σειράς πλημμυρών, ανακτώμενες από τις προσομοιώσεις, όπου έγινε εξέταση της επίδρασης αλλαγής χρήσεως γης, υδραυλικής μεταφοράς του συστήματος ποταμού και του πλημμυρικού καθεστώτος.

Ο Gangodagamage (2001), χρησιμοποίησε τεχνικές τηλεπισκόπησης και GIS, καθώς και υδρολογικές παραμέτρους σε αναπτυσσόμενο υδρολογικό μοντέλο με χρήση των σχέσεων SCS curve number και τη μέθοδο Muskingum. Έγιναν χρήση μέθοδοι όπως, φιλτράρισμα απωλειών βροχοπτώσεων, μοναδιαίο υδρογράφημα και ποτάμια ροή. Τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: IL WIS, ERDAS και Autocad MAP. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τα λογισμικά ήταν topo-maps, δεδομένα πεδίου, IRS LISS 111 multy temporal satellite data και IPS pan data .

Οι Weiland and Reinstorf (2009) είχαν ασχοληθεί με την εκτίμηση πλημμυρικού κίνδυνου στην Χιλή, αναλύοντας ποσοστά αστικοποίησης ως συνέπεια της αλλαγής χρήσεων γης. Στην μεθοδολογία αναλύουν και εκτιμούν το ρίσκο πλημμυρικής επικινδυνότητας σε διάφορα επίπεδα. Αυτοί οι δείκτες ομαδοποιούνται σε δείκτες κίνδυνου και τρωτότητας καθώς γίνεται και αναφορά των στοιχείων που κινδυνεύουν.

Είχαν χρησιμοποιήσει τεχνικές τηλεπισκόπησης και συστήματα GIS, υδρολογικά και υδραυλικά μοντέλα και στατιστικές μεθόδους. Είχαν χρησιμοποιήσει τα πιο κάτω λογισμικά, HEC-HMS για την υδρολογία, το HEC-RAS σαν υδραυλικό και δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς και χρήση δορυφορικών δεδομένων όπως QUICKBIRD, σε συνδυασμό με χρήση GIS. Τα αποτελέσματα της εργασίας αυτής ήταν η εξαγωγή χαρτών επικινδυνότητας.

Οι Cancado et al. (2008) έκαναν εκτίμηση πλημμυρικού κίνδυνου, επικινδυνότητας και τρωτότητας σε αστικές περιοχές. Στην ερευνά τους είχαν αναλύσει τους τρεις μεγαλύτερους παράγοντες που συσχετίζονται με πλημμυρικά φαινόμενα: τρωτότητας, κίνδυνου και επικινδυνότητας. Παρουσίασαν μια μεθοδολογία πλημμυρικής επικινδυνότητας συνδυασμένη με τους δείκτες κίνδυνου και τρωτότητας. Η περιοχή μελέτης αφορούσε την πόλη Manhuacu στη Βραζιλία η οποία επηρεαζόταν από έντονα πλημμυρικά φαινόμενα του ομώνυμου ποταμού. Στην μεθοδολογία κατασκευής πλημμυρικών χαρτών, η κυρίως λεκάνη έγινε υποδιαίρεση σε 12 υπολεκάνες, χάρτες για την αστική περιοχή έγιναν με χρήση Autocad επιτρέποντας την συσχέτιση μεταξύ υδρολογικών, υδραυλικών και χαρακτηριστικών χρήσης γης, έτσι έγινε κατορθωτό να καθοριστούν και να οριοθετηθούν οι περιοχές με κίνδυνο, τρωτότητα και επικινδυνότητα. Στην συνέχεια κατασκευάστηκαν χάρτες κίνδυνου με τη χρήση της μεθόδου Prevene (Prevene, 2001) και Courtel et al. (2006).

Οι Giron et al. (2006) επέλεξαν έντεκα λεκάνες απορροής από Κολομβία, Περού, Εκουαδόρ και Βολιβία, και έγιναν σ' αυτές υδρολογική προσομοίωση ώστε να μπορέσουν να αναλυθούν οι μηχανισμοί πλημμυρών για περιβαλλοντικές, κρατικές υπηρεσίες χρησιμοποιώντας την προσέγγιση CONTESAN. Τα κυριότερα δεδομένα προσφέρονται από τους χάρτες (κλίσεις, πλάγιες, γεωμορφολογία, χρήση γης και κάλυψη επιφάνειας γης), υδροκλιματικά δεδομένα (ημερησία βροχόπτωση, θερμοκρασία, ταχύτητα ανέμου, σχετική υγρασία, εξάτμιση, σημείο δροσού, ρέματα και τα ιζήματα), πρακτικές εφαρμογής, προφίλ εργασιών, πληθυσμός, αγροτικές εισροές. Εφαρμόστηκε το υδρολογικό μοντέλο SWAT ώστε να αναλύσει χαρακτηριστικά της χρήσης γης, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, τύπους εδαφών και κλιματικά δεδομένα μέσω ARCVIEW 3.1 interface.

Οι Savvidou et al. (2008) εξέτασαν στην Κύπρο το μετεωρολογικό καθεστώς και τους μηχανισμούς που συνδέονται με δημιουργία πλημμυρών, ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη και

αποτελεσματική πρόβλεψη μελλοντικών καιρικών συνθηκών. Στην ερευνά τους χρησιμοποίησαν δεδομένα από 1994 μέχρι και το 2006 στα οποία είχαν αναφερθεί σαράντα τρεις περιπτώσεις πλημμυρών, κυρίως σε αστικοποιημένες περιοχές. Είχαν διαχωρίσει τα είδη των πλημμυρών σε “μετωπικές κατατονικές πλημμύρες” και “ασταθείς πλημμύρες”. Τα δεδομένα που χρησιμοποίησαν ήταν μετεωρολογικά και ατμοσφαιρικά. Οι πλημμύρες κατατάχτηκαν σε πέντε ομάδες, όσες είναι οι επαρχίες του νησιού.

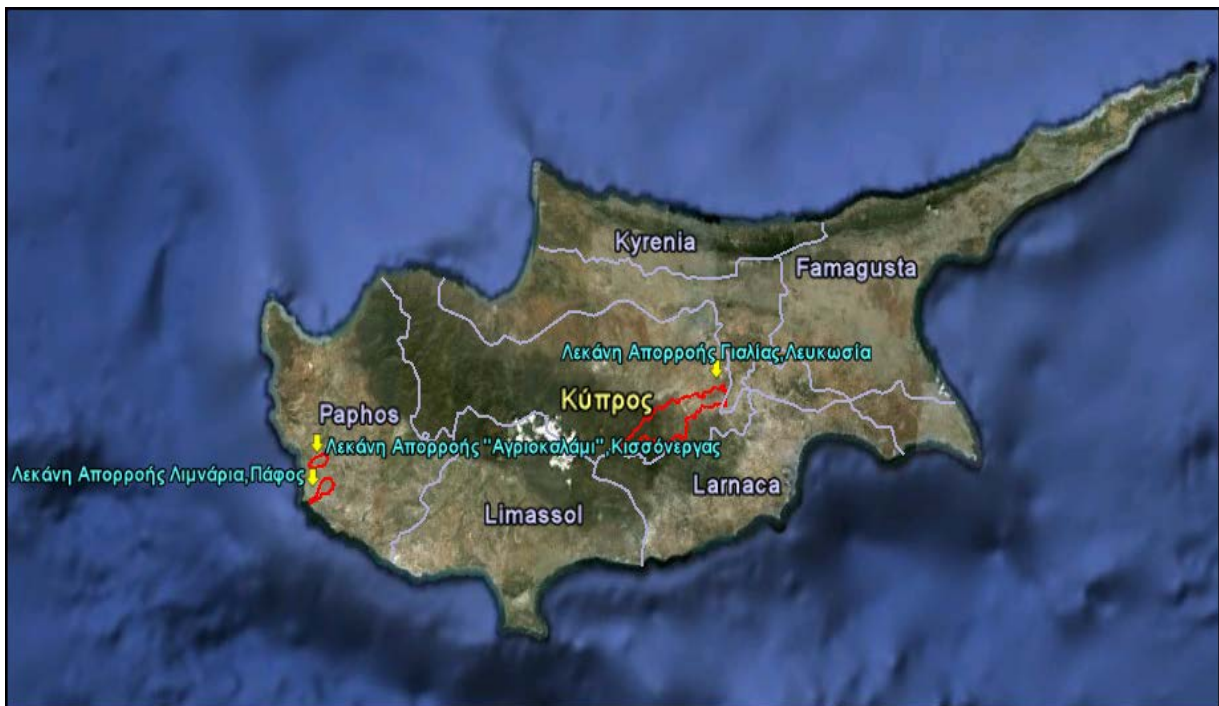
Οι Llasat et al. (2010) έκαναν ανάλυση προεκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας σε μεσογειακές χώρες, όπου έλαβαν χώρα πλημμυρικά γεγονότα από το 1990 μέχρι και το 2006. Τα δεδομένα που είχαν χρησιμοποιήσει και επεξεργαστεί ήταν από βάσεις δεδομένων οργανισμών (MEDEX, RINAMED, AMPHORE, SPHERE, STORM, EM-DAT database, European Severe Weather Database (ESWD), Information from the companies Munich Reinsurance and Swiss Reinsurance, Consorcio de Compensacion de Seguros) που ασχολούνται με φαινόμενα πλημμυρών, φυσικών καταστροφών και περιβαλλοντικά ζητήματα.

Ο Khan (2005) χρησιμοποίησε στο Huston, Texas Ηνωμένων Πολιτειών, τεχνικές νευρωνικών δικτύων με δεδομένα να είναι τέσσερις Landsat Thematic Mapper εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνει κατανομή σε πέντε αλλαγές χρήσεις γης (βλάστηση, έδαφος, νερό, σκυρόδεμα και άσφαλτος) και μετεωρολογικά δεδομένα για την περίοδο 1984 μέχρι 2003. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρχε σημαντική μείωση στην βλάστηση και αύξηση στις άλλες ταξινομήσεις. Αναπτύσσοντας μια σχέση καθορισμού αστικοποίησης και βροχόπτωσης τα αποτελέσματα έδειξαν συσχέτιση μεταξύ των μεταβλητών και αφενός αύξηση πλημμυρών.

## 4 Πόροι και Δεδομένα

### 4.1 Περιοχές υπό μελέτη

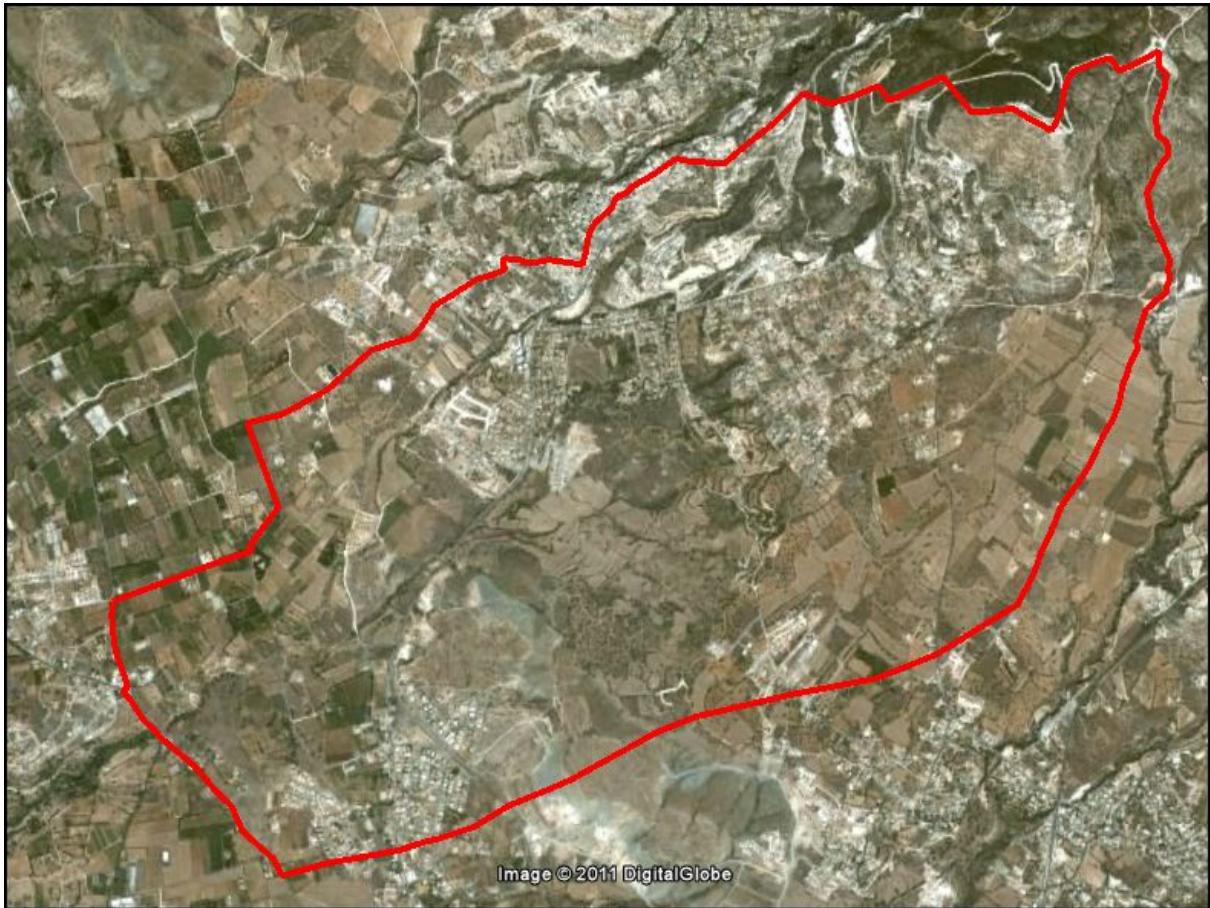
Στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας έχουν επιλεγεί τρεις λεκάνες απορροής στην Κύπρο, όπως φαίνονται στην εικόνα 4-1. Συγκεκριμένα οι δυο λεκάνες απορροής αφορούν την Επαρχία Πάφου όπου θα εξεταστούν τα φαινόμενα βροχόπτωσης του πλημμυρικού επεισοδίου που έλαβε χώρα στις 30 Οκτώβριου 2006 για την λεκάνη που αφορά την περιοχή "Αγριοκαλάμι" στην Κισσόνεργα, καθώς και την λεκάνη απορροής στην περιοχή "Λιμνάρια". Η τρίτη λεκάνη απορροής αφορά την Επαρχία Λευκωσίας κοντά στο ποταμού Γιαλία. Η εν λόγω λεκάνη απορροής οποία εμπίπτει ως προεπιλεγείσα λεκάνη του ερευνητικού έργου με το ακρωνύμιο "SATFLOOD", το οποίο χρηματοδοτείται από το Ίδρυμα Προώθησης Έρευνας Κύπρου (Δέσμη Προγραμμάτων 2009-2010), και συντονίζεται από την ερευνητική ομάδα του Αναπληρωτή Καθηγητή Δρ. Διόφαντου Χατζημιτσή του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του ΤΕΠΑΚ.



Εικόνα 4-1: Υπό μελέτη λεκάνες απορροής στην Κύπρο

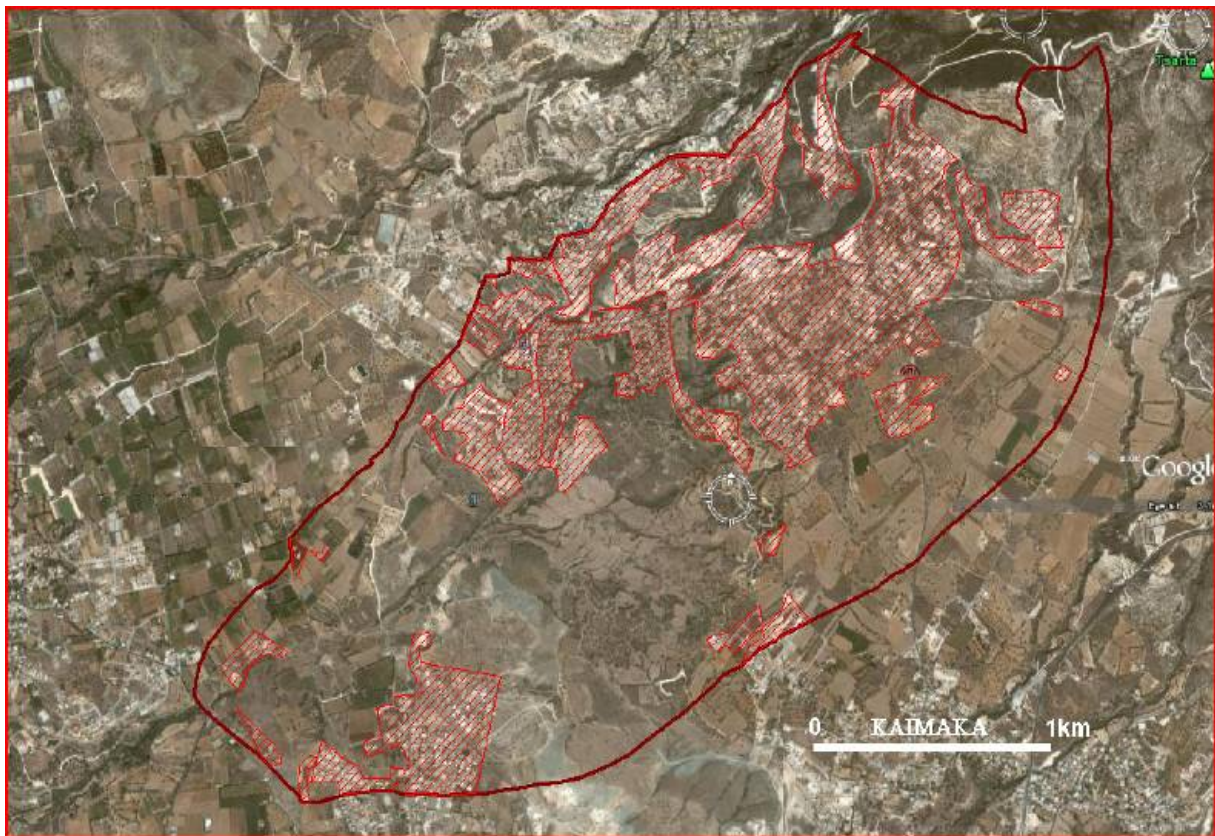
#### 4.1.1 Λεκάνη απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" στην επαρχία Πάφου

Η λεκάνη απορροής του ρέματος στην περιοχή "Αγριοκαλάμι" της κοινότητας Κισσόνεργας είναι συνολικής έκτασης 7,5 km<sup>2</sup> και ξεκινά από τον "Μελισσόβουνο" της κοινότητας Τάλας, εκβάλλοντας παραλιακά των κοινοτήτων Κισσόνεργας και Λέμπας. Η επιφάνεια κάλυψης φαίνεται στην εικόνα 4-2. Στην εικόνα 4-3 διαφαίνεται η επικάλυψη της οικοδομικής ανάπτυξης μέχρι το 2008.



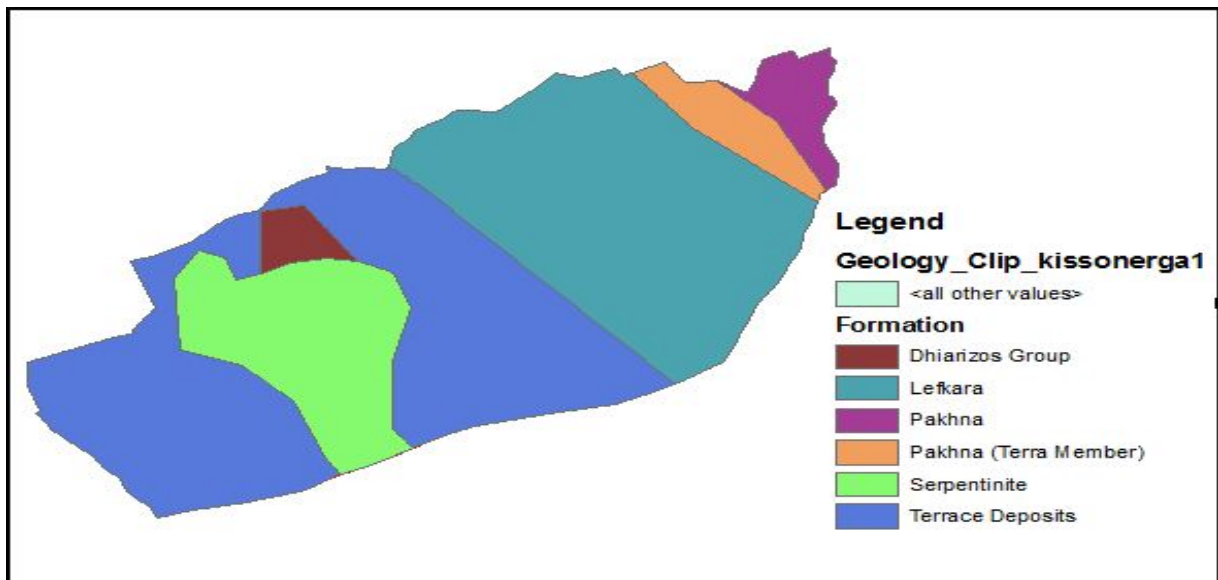
Εικόνα 4-2: Επιφάνεια κάλυψης λεκάνης απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου





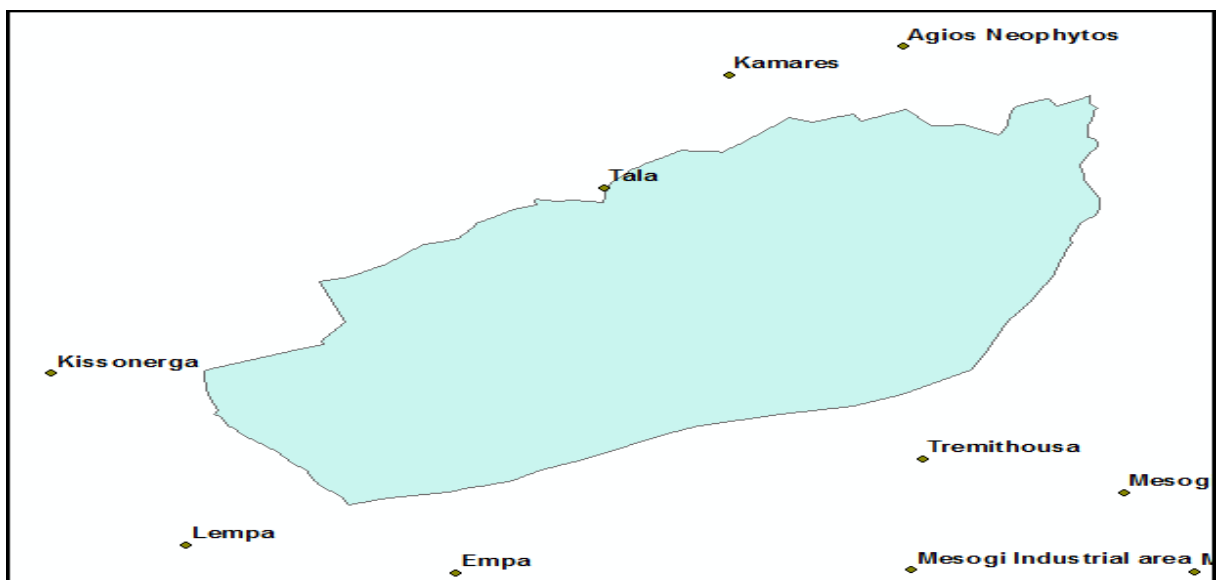
**Εικόνα 4-3: Οικοδομική ανάπτυξη λεκάνης απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου**

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που επηρεάζουν την συμπεριφορά της υπό μελέτη περιοχής παρουσιάζονται στην εικόνα 4-4 και αφορούν τους πιο κάτω σχηματισμούς: ο σχηματισμός Πάχνας, σχηματισμός Τέρας, σχηματισμός Λευκάρων, σχηματισμός Πέτρας του Ρωμιού όπου είναι πετρώματα με υψηλό ποσοστά μάργας έχοντας μειωμένη απορροφητικότητα, υπάρχει Σερπεντινίτης όπου είναι ιδιαίτερα αδιαπέρατος με αποτέλεσμα την αυξημένη επιφανειακή απορροή, και τα ιζηματογενή πετρώματα της Ομάδας Διαρίζου.



Εικόνα 4-4: Γεωλογικός σχηματισμός λεκάνης απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου

Στα όρια της λεκάνη απορροής έχουν αναπτυχτεί οι κοινότητες Τάλας, Τρεμιθούσας, Έμπας Λέμπας και Κισσόνεργας, όπως φαίνονται στην εικόνα 4-5. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να αλλοιωθεί η φυσική επιφάνεια της λεκάνης απορροής με τους ρυθμούς οικοδομικής ανάπτυξης που υπήρχαν στις γειτονικές κοινότητες τα τελευταία δέκα χρόνια (2000-2010).



Εικόνα 4-5: Κοινότητες ανεπτυγμένες περιφερειακά της λεκάνης απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου



#### 4.1.2 Λεκάνη απορροής στην περιοχής "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου.

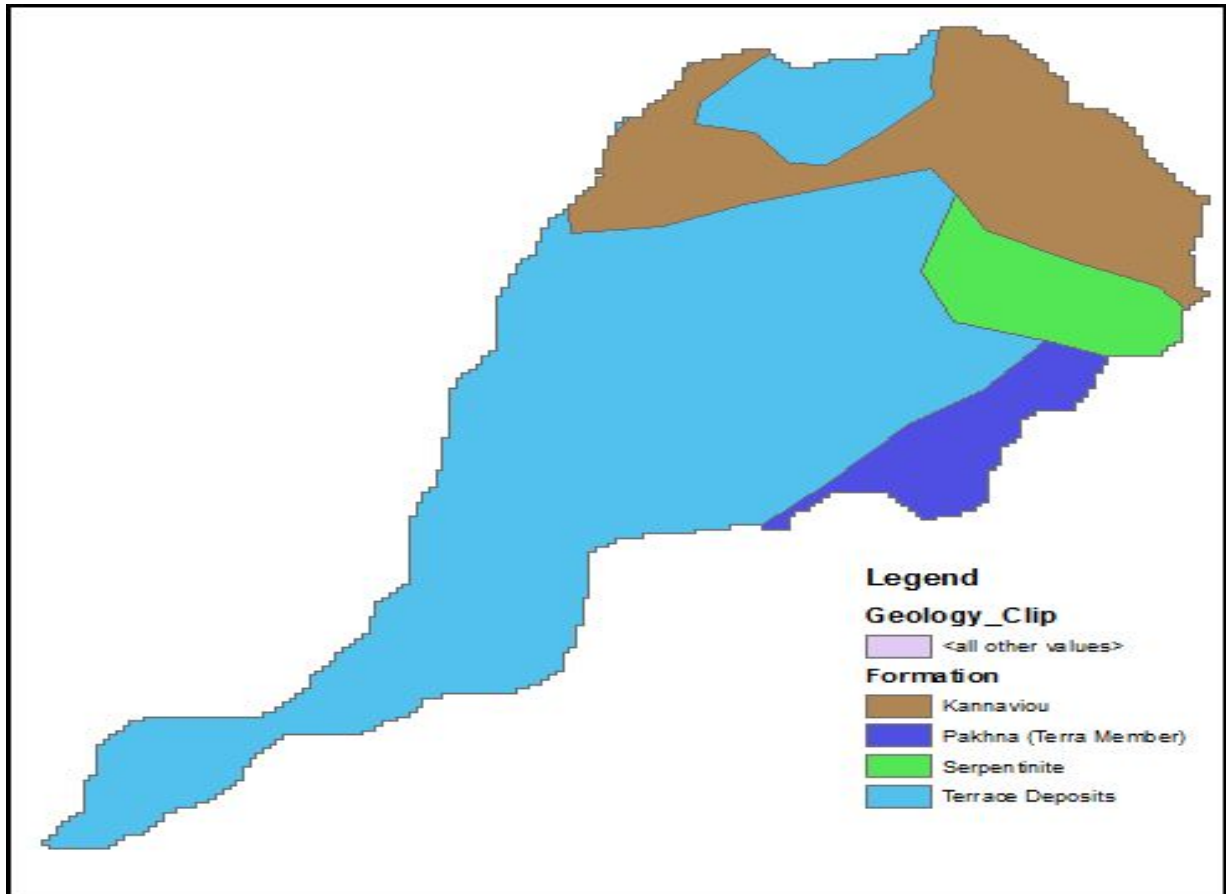
Η λεκάνη απορροής "Λιμνάρια" έχει συνολικό εμβαδόν 9,78 Km<sup>2</sup>. Η επιφάνεια κάλυψης φαίνεται στην εικόνα 4-6 και ξεκινά από τις παρυφές των κοινοτήτων Αναβαργός, Κονιά και Αρμου περνώντας μέσα από το βόρειο τμήμα του αστικού κέντρου της Πάφου και εκβάλλει στα παράλια της πόλης, παρά το ξενοδοχείο "Alexander the Great".



Εικόνα 4-6. Επιφάνεια κάλυψης λεκάνης απορροής στην περιοχής "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου



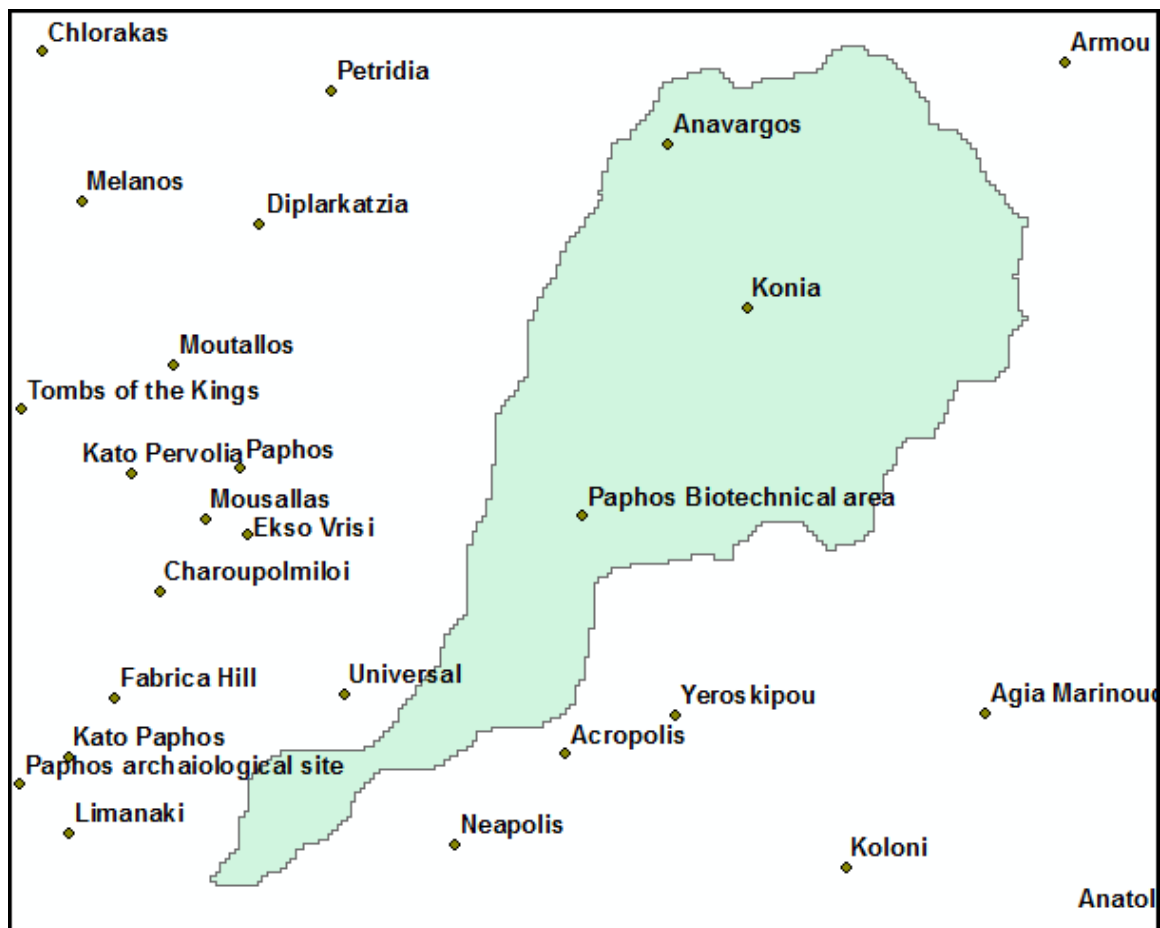
Οι γεωλογικοί Σχηματισμοί που επηρεάζουν την συμπεριφορά της υπό μελέτη περιοχής, παρουσιάζονται στην εικόνα 4-7 και είναι κυρίως ο σχηματισμός Τέρας, σχηματισμός Πάχνας όπου είναι πετρώματα με υψηλό ποσοστά μάργας έχοντας μειωμένη απορροφητικότητα, αποθέσεις Κανναβιούς και Σερπεντινίτης, όπου είναι ιδιαίτερα αδιαπέρατος με αποτέλεσμα την αυξημένη επιφανειακή απορροή.



**Εικόνα 4-7: Γεωλογικός Σχηματισμός λεκάνης απορροής στην περιοχής "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου**

Στην λεκάνη απορροής της περιοχής "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου, όπως έχει κατ'επέκταση συμβεί στην λεκάνη απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" στην κοινότητα Κισσόνεργας, έχουν αναπτυχθεί ραγδαία την τελευταία δεκαετία όλες οι κοινότητες κοντά στην πόλη της Πάφου (εικόνα 4-8). Έχουν δημιουργηθεί νέα έργα υποδομής, όπως η λεωφόρος Αγ.Αναργύρων, η έξαρση στην οικοδομική βιομηχανία με συνεχής αναπτύξεις, καθώς και νέα ξενοδοχεία μαζί με μικροβιομηχανικές εκτάσεις των υφιστάμενων βιομηχανοποιημένων περιοχών. Αυτό είχε σαν συνέπεια την αύξηση του ποσοστού

αστικοποίησης, δημιουργώντας διατάραξη του φυσικού υδρογραφικού δικτύου και της επιφάνειας της εν λόγω περιοχής.



Εικόνα 4-8: Κοινότητες ανεπτυγμένες περιφερειακά της λεκάνης απορροής στην περιοχή "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου

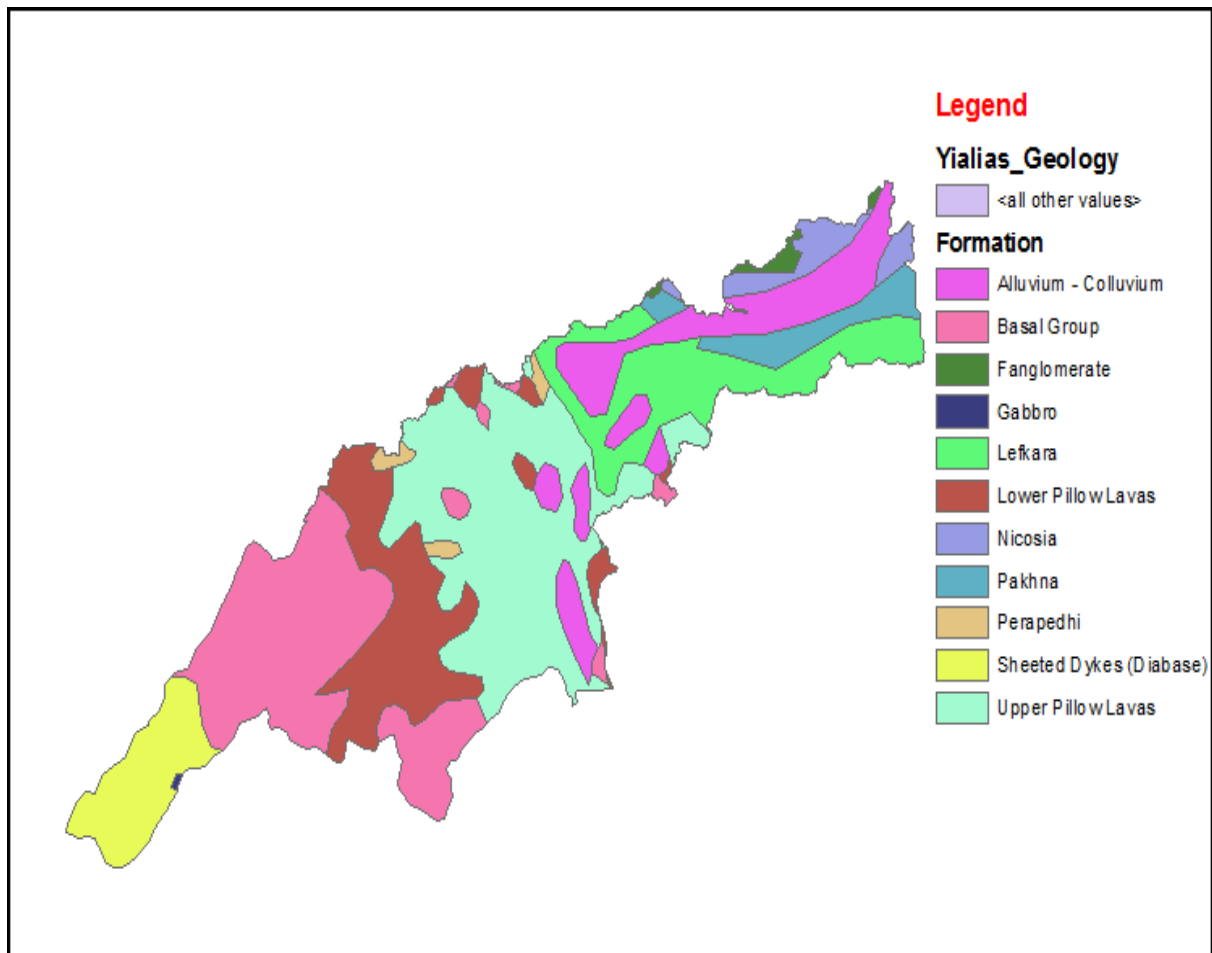
#### 4.1.3 Λεκάνη απορροής στην περιοχή Γιαλιά πόταμου στην επαρχία Λευκωσίας

Η λεκάνη απορροής του Γιαλιά πόταμου βρίσκεται στα νοτιά της Επαρχίας Λευκωσίας με συνολική έκταση 110,432 Km<sup>2</sup>. Το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων έχει επιδείξει το ενδιαφέρον του στη μελέτη της συγκεκριμένης λεκάνης, διερευνώντας την επίδραση της αστικοποίησης στα πλημμυρικά φαινόμενα της περιοχής, καθώς τα τελευταία χρόνια έχουν προηγηθεί πλημμύρες στις κοινότητες Ιδαίου, Περά Χωρίο-Νήσου. Στην εικόνα 4-9 φαίνεται η επιφάνεια κάλυψης της εν λόγω λεκάνης απορροής.



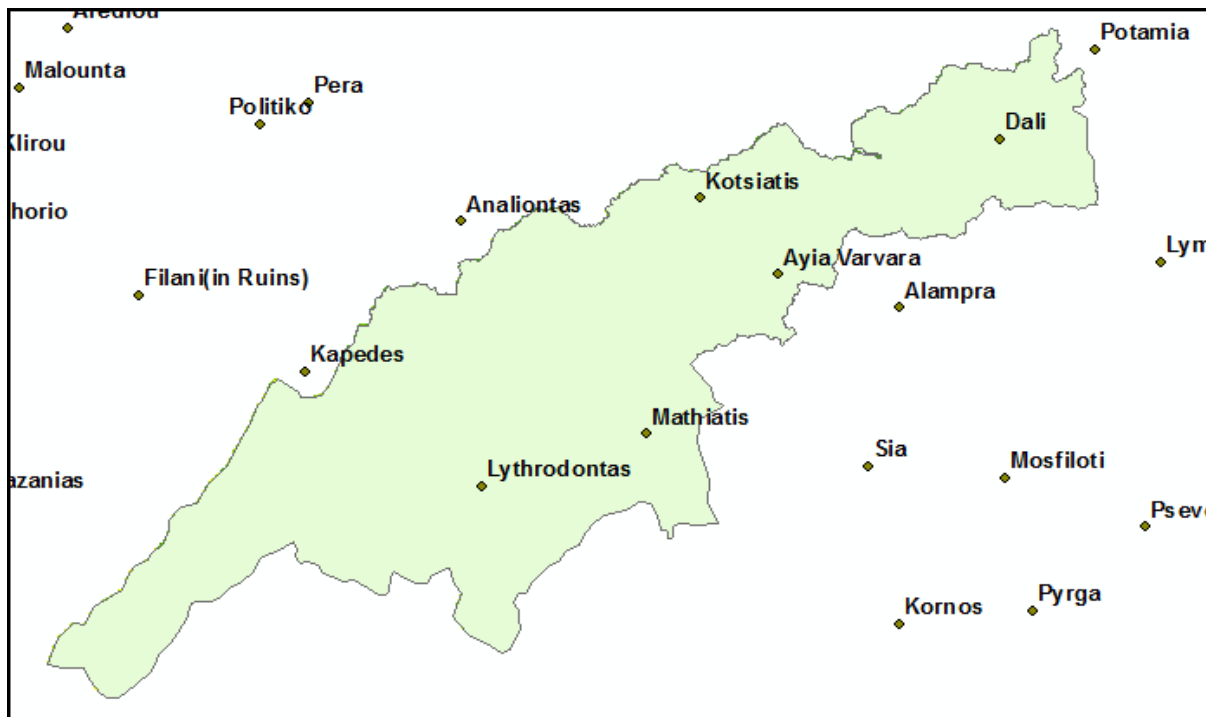
**Εικόνα 4-9:** Επιφάνεια κάλυψης λεκάνης απορροής στην περιοχή Γαλιά πόταμου στην επαρχία Λευκωσίας

Οι κύριοι γεωλογικοί σχηματισμοί στην λεκάνη απορροής στην περιοχή του Γαλιά πόταμου στην επαρχία Λευκωσίας είναι ο σχηματισμός Πάχνας, ο σχηματισμός Λευκάρων, ο Κατώτερος ορίζοντας λαβών, ο Ανώτερος ορίζοντας λαβών, ο σχηματισμός Περά Πεδίου και τα Διαβασικά πετρώματα όπως φαίνονται στην εικόνα 4-10. Είναι ένας συνδυασμός γεωλογικών Σχηματισμών που καταστούν την λεκάνη ημιδιαπερατή από το νερό, έτσι γίνεται η παραδοχή ότι υπάρχει αυξημένη επιφανειακή απορροή βροχόπτωσης.



**Εικόνα 4-10:** Γεωλογικός Σχηματισμός λεκάνης απορροής στην περιοχή Γιαλιά πόταμου στην επαρχία Λευκωσίας

Η περιοχή κοντά στον Γιαλιά ποταμό αρκετά αστικοποιημένη με κοινότητες που έχουν σαν κυρία ενασχόληση την γεωργία, κτηνοτροφία και μικροβιοτεχνία. Στη επιφάνεια κάλυψης της λεκάνης απορροής του Γιαλιά ποταμού όπως φαίνεται στην εικόνα 4-11, υπάρχουν δέκα κοινότητες οι οποίες τέσσερεις από αυτές είναι βιομηχανικές προεκτάσεις της Λευκωσίας, οπού υπάρχει ένα μεγάλο ποσοστό αστικοποίησης με επικάλυψη και παραποίηση της φυσικής επιφάνειας με δρόμους, οικίες και αποψίλωσης πρασίνου.



Εικόνα 4-11: Λεκάνη απορροής στην περιοχή Γαλιιά πόταμου στην επαρχία Λευκωσίας με περιφερειακή κατανομή αστικών κοινοτήτων

## 4.2 Δεδομένα

Σε εργασίες υδρολογικής φύσεως, πρώτο και καθοριστικό στάδιο είναι αυτό της συλλογής υλικού και δεδομένων που θα τεθούν προς επεξεργασία, καθώς επίσης και ο καθορισμός των λογισμικών που θα χρησιμοποιηθούν στην επεξεργασία των δεδομένων.

### 4.2.1 Δορυφορικές Εικόνες

Στην επεξεργασία και καθορισμό ποσοστού αστικοποίησης στις υπό μελέτη περιοχές της Επαρχίας Πάφου έχουν χρησιμοποιηθεί δορυφορικές εικόνες μέσης χωρικής ανάλυσης τύπου Landsat TM/ETM+ με χρονολογίες λήψης το 1984,1999 και 2009 (χωρική ανάλυση 30m x 30m στα ορατά και υπέρυθρα φάσματα ), και για την περιοχή μελέτης της Επαρχίας Λευκωσίας έχουν χρησιμοποιηθεί δορυφορικές εικόνες τύπου ASTER με ημερομηνίες λήψης 12/05/2000, 24/04/2005 και 06/04/2010.

Η χρήση των δορυφορικών εικόνων θα συμβάλλει στην μέτρηση της αστικής ανάπτυξης με χαμηλό κόστος σε λεκάνες απορροών, ενώ θα αποφευχθεί αρκετή ανθρώπινη εργασία όπως πρόσφατες μελέτες έχουν καταδείξει (D.Hadjimitsis, 2008).

#### **4.2.2 Χάρτες**

Οι χάρτες που έχουν χρησιμοποιηθεί είτε σε διανυσματική μορφή ή σε ψηφιδωτή (πλεγματική) μορφή είναι ο γεωλογικός, ο εδαφολογικός και ο τοπογραφικός χάρτης της Κύπρου με τα βασικά τοπωνύμια των περιοχών μελέτης. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό ανάγλυφο εδάφους των περιοχών μελέτης (DEM) κλίμακας 1:5000. (δωρεάν δεδομένα από δορυφόρο ASTER, 15m χωρική ανάλυση)

#### **4.2.3 Μετεωρολογικά δεδομένα**

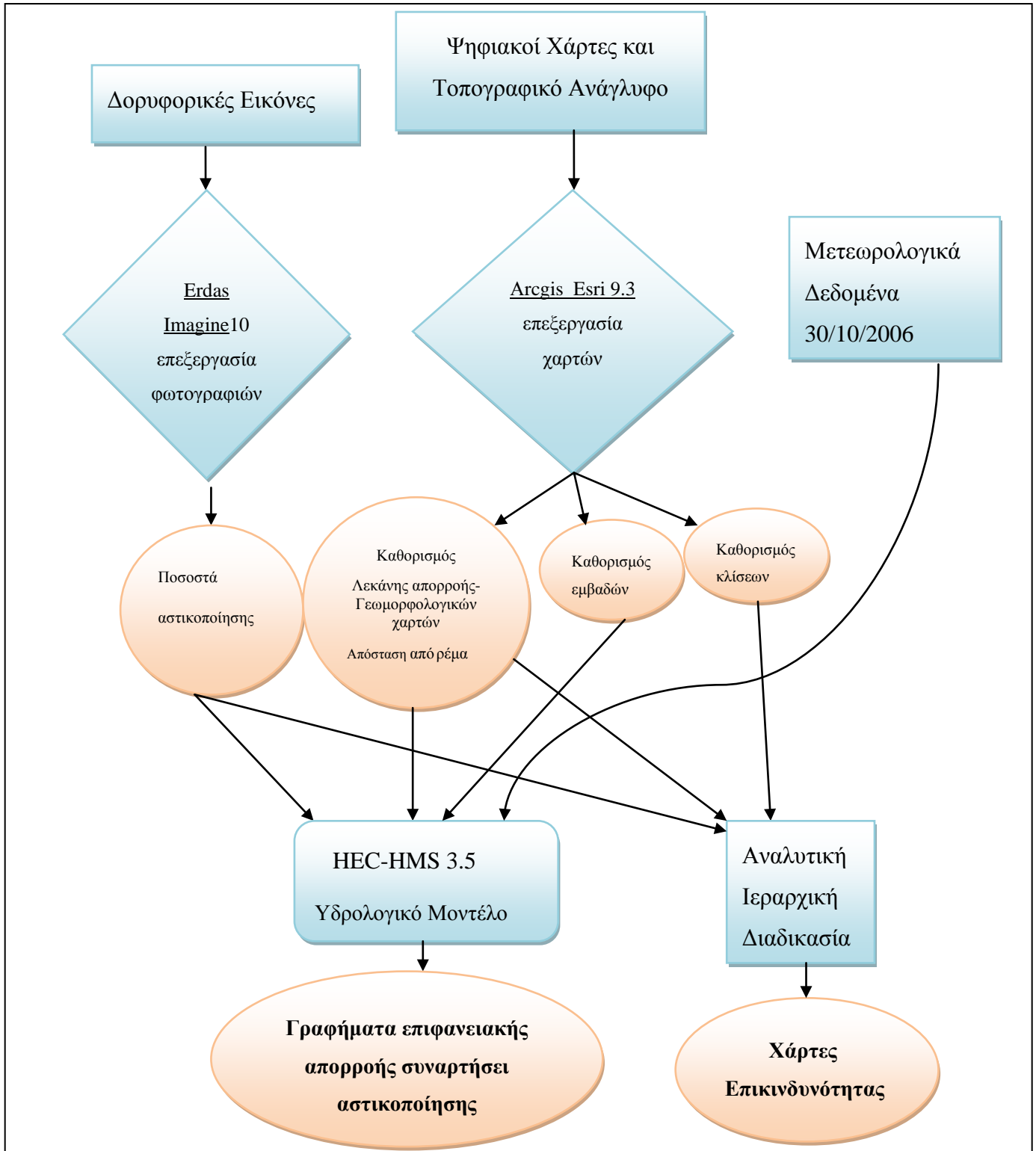
Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν αυτά της βροχόπτωσης που έλαβε χώρα το πλημμυρικό επεισόδιο στην κοινότητα Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου στις 30 Οκτωβρίου 2006.

#### **4.2.4 Λογισμικά**

Τα λογισμικά που είχαν χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία των δεδομένων ήταν το ArcGIS 9.3 (ESRI) για την διαχείριση των γεωγραφικών πληροφοριών, το ERDAS IMAGE 10 για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων και σαν υδρολογικό μοντέλο το HEC-HMS 3.5 (US Army Corps of Engineers). Τα συγκεκριμένα λογισμικά ήταν προσβάσιμα από το Εργαστήριο Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης και Γεωπληροφορικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής. Το λογισμικό HEC-HMS 3.5 (US Army Corps of Engineers) διατίθεται δωρεάν.

## 5 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που αφορά την εν λόγω πτυχιακή εργασία απεικονίζεται στο σχήμα 5-1.



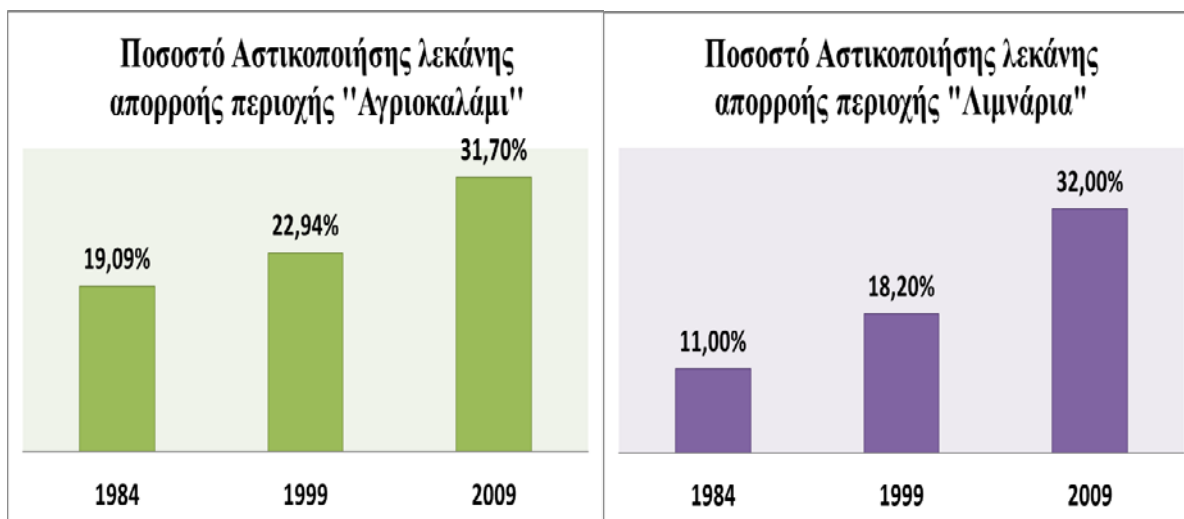
Σχήμα 5-1: Γραφική αναπαράσταση της μεθοδολογίας που αφορά την εν λόγω πτυχιακή εργασία

### 5.1.1 Επεξεργασία εικόνων για την Επαρχία Πάφου.

Για την ανάλυση και επεξεργασία των ποσοστών αστικοποίησης λεκανών απορροής των περιοχών "Αγριοκαλάμι" και "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου χρησιμοποιήθηκαν οι δορυφορικές εικόνες Landsat TM/ETM+ για τις χρονολογίες 1984, 1999, 2009 και το λογισμικό ERDAS Imagine 10.

Η ταξινόμηση της εδαφοκάλυψης σε διάφορες κατηγορίες στην λεκάνη απορροής έγινε με την μέθοδο της μη-επιβλεπόμενης ταξινόμησης, όπου ο χρήστης δεν χρειάζεται να είναι γνωστής των υφιστάμενων χρήσεων γης. Τα εικονοστοιχεία μιας απεικόνισης ταξινομούνται σε φασματικές τάξεις, σε ομάδες δηλαδή, ανάλογα με τη φασματική τους υπογραφή. Ο χρήστης αναγνωρίζει εκ των υστέρων σε συνδυασμό με κατάλληλους επίγειους ελέγχους, τις θεματικές τάξεις, με τις οποίες συμπίπτουν οι φασματικές. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν είναι συνήθως τόσο αποτελεσματική όσο η επιβλεπόμενη, λόγω της απουσίας "δεδομένων εκπαίδευσης", τα οποία μας επιτρέπουν να ελέγχουμε τα αποτελέσματα. Από την άλλη πλευρά, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι χρονοβόρα, κυρίως όταν χρησιμοποιείται για επεξεργασία μεγάλης ποσότητας πολυφασματικών δεδομένων. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5-1.

**Πίνακας 5-1: Ποσοστά αστικοποίησης για τις λεκάνες απορροής των περιοχών "Αγριοκαλάμι" και "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου**





### **5.1.2 Επεξεργασία δεδομένων από χάρτες και επιτόπια αποτύπωση.**

Για την κατάλληλη εισαγωγή δεδομένων στο υδρολογικό μοντέλο απαραίτητα στοιχεία είναι τα ακόλουθα: α) η κάλυψη επιφάνειας γης της υπό μελέτης περιοχής, β) η γεωλογία της περιοχής και γ) άλλοι παράγοντες που επηρεάζαν την υδρολογική προσομοίωση, όπως, οικοδομές σε ρέματα, όρια περιοχών, αστικές περιοχές (κοινότητες), εμβαδόν επιφάνειας λεκάνης απορροής.

Έχει χρησιμοποιηθεί το λογισμικό πακέτο διαχείρισης γεωγραφικών πληροφοριών ArcGIS.9.3(ESRI) και των εργαλείων επέκτασης "Hydrotools" και "Spatial Analyst" για επεξεργασία, ανάλυση πληροφοριών και παραμέτρων των ψηφιακών χαρτών που ήταν διαθέσιμοι σε διανυσματική, πλεγματική καθώς και ψηφιακό ανάγλυφο εδάφους για ολόκληρο το νησί.

Έγινε επιτόπια επίσκεψη για να γίνει τοπογραφική αποτύπωση της κοίτης του ποταμού Γιαλιά, στο χωρίο Δάλι και Περά Χωρίου-Νήσου όπως φαίνεται στις εικόνες 5-1 και 5-2.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι για την επιτόπου αποτύπωση της λεκάνης απορροής χρησιμοποιήθηκε το Leica GPS και Leica Laser Scanner του εργαστηρίου Γεωπληροφορικής του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Για την παραγωγή ενός τρισδιάστατου μοντέλου λεκάνης απορροής στο Γιαλιά ποταμό έχει γίνει χρήση οργάνων επίγειων σαρωτών Laser σε συνδυασμό με δορυφορικά συστήματα πλοήγησης για τη λεπτομερή αποτύπωση. Το τρισδιάστατο μοντέλο της λεκάνης απορροής και ιδιαίτερα του σημείου εξόδου της (γεφύρι) μπορεί να προέλθει μέσα από την επεξεργασία του νέφους σημείων (point clouds) του Laser Scanning. Το μοντέλο αυτό δύναται να χρησιμοποιηθεί κατόπιν για να αποδοθεί ρεαλιστικά σε όλη την έκταση το σημείο εξόδου.

Η Επίγεια Σάρωση Laser (Terrestrial Laser Scanning) προσφέρει μοναδικά πλεονεκτήματα, στην αποτύπωση ενός χώρου. Βασίζεται στην τεχνολογία LIDAR (LIght Detection And Ranging) ή Laser Radar, η οποία επιτρέπει την αποτύπωση της μορφής τρισδιάστατων αντικειμένων με ταχύτατη συλλογή μετρητικής και ταυτόχρονα ποιοτικής (χρωματικής και φωτογραφικής) πληροφορίας. Τα δεδομένα συλλέγονται ως ομοιόμορφα καταναμημένα 3D έγχρωμα (RGB) σημεία με την επιθυμητή πυκνότητα (ανάλυση), το σύνολο των οποίων αποτελεί ένα "νέφος σημείων" (σύννεφα σημείων- point cloud).

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε ο επίγειος σαρωτής Leica ScanStation C10 για την αποτύπωση του σημείου εξόδου του ποταμού. Ο συγκεκριμένος σαρωτής έχει τη δυνατότητα να σαρώνει μέχρι και 50.000 σημεία το δευτερόλεπτο, ενώ η ακρίβειά του είναι της τάξης των  $\pm 6\text{mm}/50\text{m}$ . Το οπτικό του πεδίου (FOV) είναι  $360^\circ \times 270^\circ$ . Πρόσθετα από τις συντεταγμένες των σημείων, ο σαρωτής έχει τη δυνατότητα να αποθηκεύει και το χρώμα (RGB) με τη χρήση μιας ενσωματωμένης κάμερας.

Για την σάρωση της περιοχής χρειάστηκε να γίνουν τέσσερις σαρώσεις από διαφορετικές θέσεις. Η απόσταση του σαρωτή από το σημείο εξόδου κατά τη διάρκεια των σαρώσεων ήταν περίπου 30m. Με τη χρήση ειδικών στόχων/ανακλαστήρων η συνένωση ενός μεγάλου αριθμού σημείων (σύννεφα σημείων) από την κάθε μέτρηση, ήταν εφικτή. Οι μετρήσεις με τον επίγειο σαρωτή έγιναν με μια ανάλυση της τάξης του 1cm στα 10m. Ως αποτέλεσμα της πιο πάνω μεθοδολογίας, ήταν δυνατή η σάρωση της περιοχής σε μεγάλη λεπτομέρεια.

Το τελικό αποτέλεσμα όλης αυτής της εργασίας μπορεί να είναι η παραγωγή σχεδίων μεγάλης κλίμακας όπως είναι για παράδειγμα οι τομές και όψεις αλλά και ένα τρισδιάστατο μοντέλο με μεγάλη γεωμετρική ακρίβεια. Επιπλέον η σάρωση μπορεί να αποτύπωση την υφιστάμενη κατάσταση και να προσδιοριστούν με ακρίβεια οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις μέσα στην κοίτη του ποταμού.

Η σάρωση και αποτύπωση της εν λόγω περιοχής θα χρησιμοποιηθεί μελλοντικά για σκοπούς υδραυλικής προσομοίωσης στο ερευνητικό έργο με το ακρωνύμιο "SATFLOOD".

Έγινε καθορισμός των τριών υπό μελέτη λεκανών απορροής όπως ορίζονται από το Τμήμα Αναπτύξεως Υδάτων και επεξεργασία των λεκανών απορροής, α) με καθορισμό μακρύτερης διαδρομής απορροής, β) κλίσεις αυτών σε εκατοστιαίο ποσοστό όπως φαίνεται στις πιο κάτω εικόνες 5-3, 5-4, 5-5, και γ) καθορισμός των σημείων εκροής. Στην διαδικασία επεξεργασίας εξήχθη και το εμβαδόν επιφάνειας κατάληψης των λεκανών απορροής .

Με δεδομένα από τους διανυσματικούς χάρτες καθορίστηκαν οι αστικές περιοχές που εμπίπτουν εντός λεκανών απορροής καθότι επίσης και ο γεωμορφολογικός χαρακτήρας της κάθε λεκάνης.

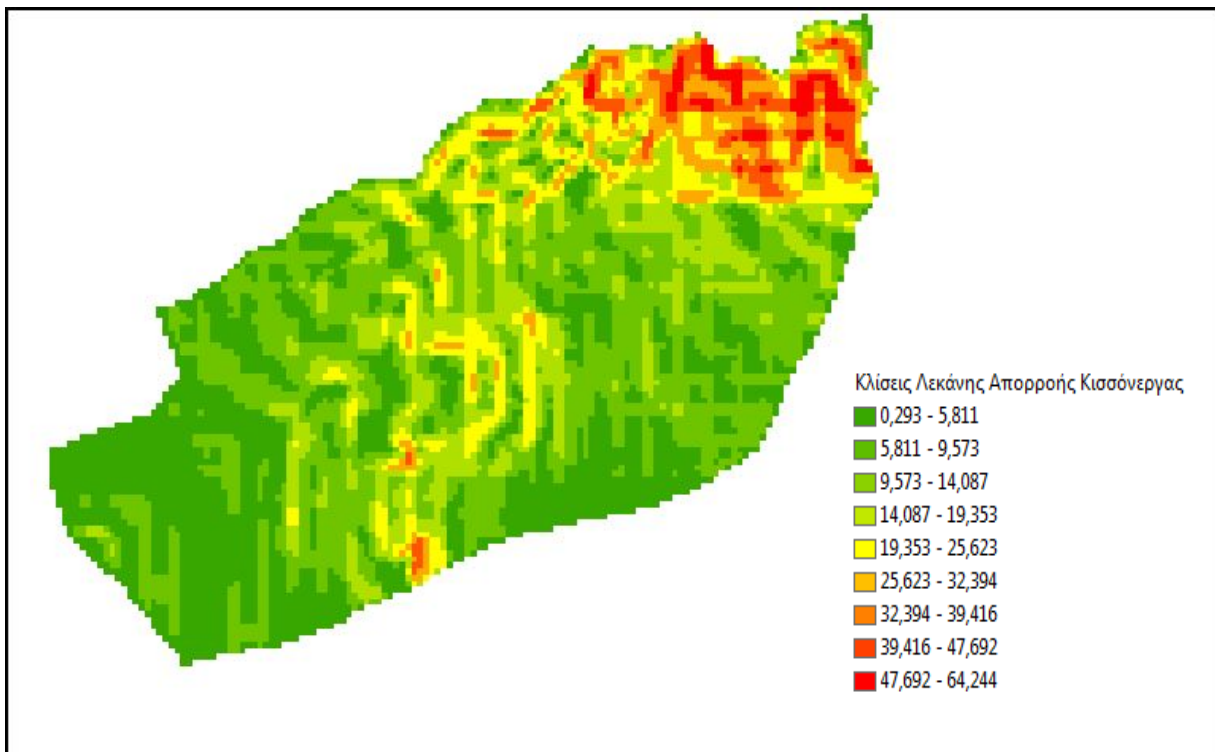
Αξίζει να αναφερθεί ότι η διαχείριση τεχνικών όπως αυτές από τις εκάστοτε Αρμόδιες Αρχές και Κρατικούς φορείς για τέτοιου είδους σκοπούς είναι εύκολα εφαρμόσιμες και σχετικά γρήγορες, με αποτέλεσμα την εκπόνηση χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας.



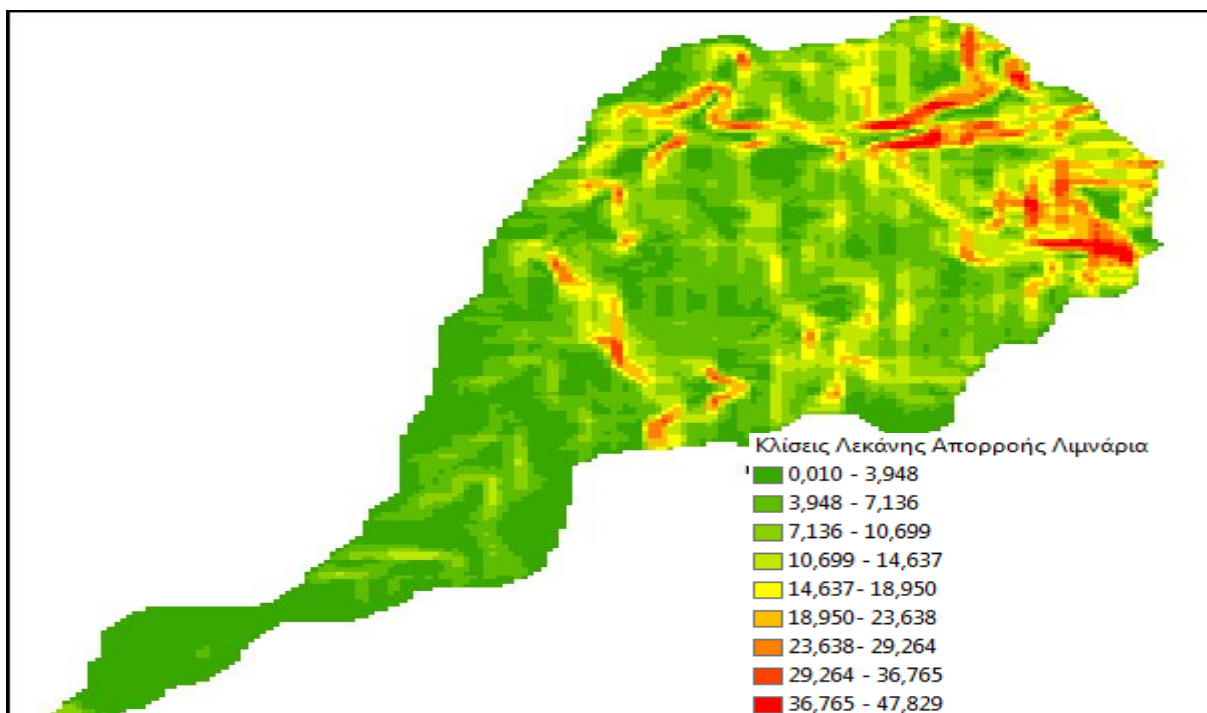
**Εικόνα 5-1: Αποτύπωση κοίτης Γιαλιά πόταμου και γέφυρας με χρήση Laser Scanner Leica**



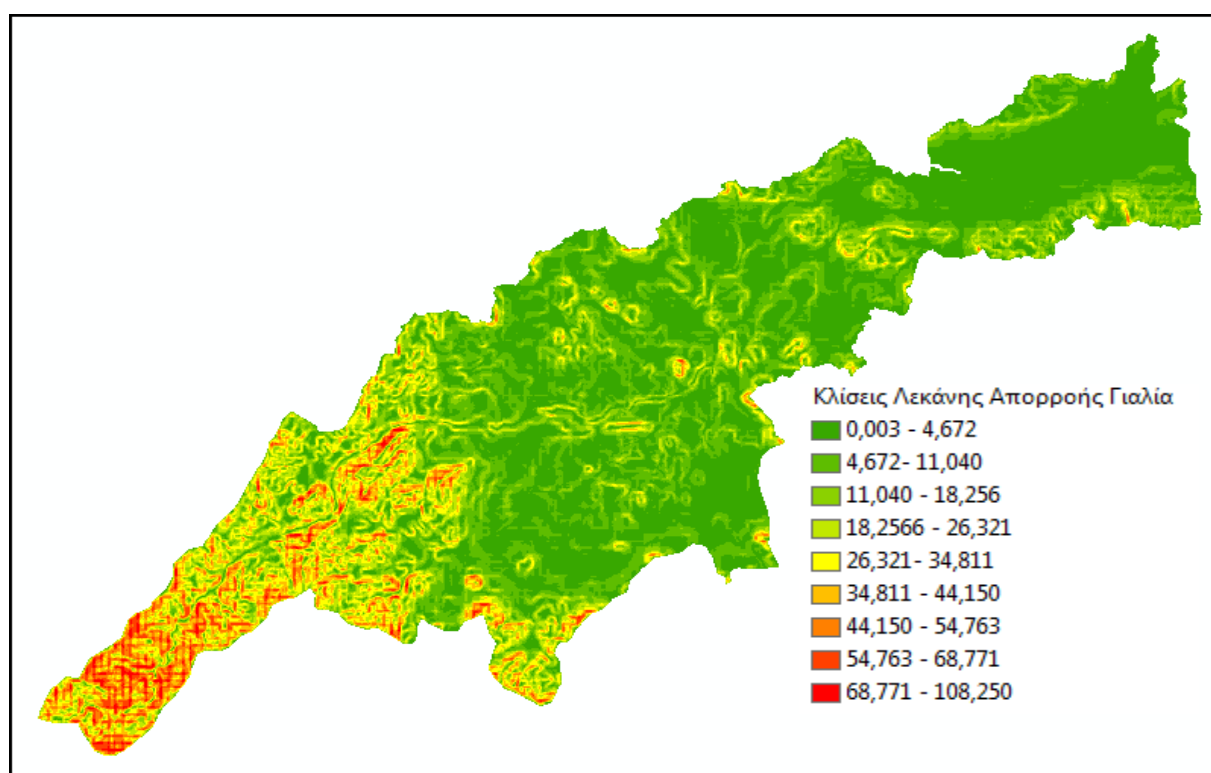
Εικόνα 5-2: Κοίτη ποταμού Γιαλιά επί των χωριών Ιδαίου και Πέρα Χωριού-Νήσου



Εικόνα 5-3: Κλίσεις λεκάνης απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου



Εικόνα 5-4: Κλίσεις λεκάνης απορροής στην περιοχή "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου



Εικόνα 5-5: Κλίσεις λεκάνης απορροής στην περιοχή Γιαλιά πόταμου στην επαρχία Λευκωσίας



### 5.1.3 Επεξεργασία Μετεωρολογικών δεδομένων για τις λεκάνες απορροής στην Επαρχία Πάφου

Τα μετεωρολογικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα εισόδου στην υδρολογική προσομοίωση με τη χρήση του μοντέλου προσομοίωσης HEC-HMS 3.5 για τις λεκάνες απορροής των περιοχών "Αγριοκαλάμι" και "Λιμνάρια". Χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα βροχόπτωσης της 30<sup>ης</sup> Οκτωβρίου 2006 όπως φαίνονται στον πίνακα 5-2, για τα διαφορετικά ποσοστά αστικοποίησης που καθορίστηκαν από την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων Landsat TM/ETM+ για τις χρονολογίες 1984, 1999 και 2009.

Πίνακας 5-2: Δεδομένα βροχόπτωσης για τις 30 Οκτώβριου 2006

time	duration(min)	percipitation(mm)	max 5 min	max 10 min	max 15 min	max 30 min	max 60 min
19:00	0	0					
19:05	5	0,4					51,3mm
19:10	10	0,4					
19:15	15	3,8					
19:20	20	1,6					
19:25	25	1					
19:30	30	2					
19:35	35	1,2					
19:40	40	5,9			23,4mm	40,9mm	
19:45	45	6		17,5mm			
19:50	50	11,5	11,5mm				
19:55	55	5,2					
20:00	60	5					
20:05	65	7,3					
20:10	70	1,2					
	total	52,5					

### 5.1.4 Υδρολογική προσομοίωση

Χρησιμοποιήθηκε το υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS 3.5 για τις λεκάνες απορροής επαρχίας Πάφου ώστε να μπορέσει να γίνει συσχετίσει της επιφανειακής απορροής με την

αστικοποίηση. Οι παράμετροι για καθορισμό δεικτών επιφανειακής απορροής έχουν χρησιμοποιηθεί όπως φαίνονται από τους πίνακες 5-3 και 5-4.

Η καμπύλη SCS μέθοδος αριθμού είναι απλή, χρησιμοποιείται ευρέως και είναι αποτελεσματική μέθοδος για τον προσδιορισμό του προσεγγιστικού ποσού της απορροής από μια βροχή, ακόμη και σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Αν και η μέθοδος είναι σχεδιασμένη για απλή καταιγίδα, μπορεί να κλιμακωθεί για να βρείτε μέσες ετήσιες τιμές απορροή. Οι απαιτήσεις όσον αφορά τις παραμέτρους για τη μέθοδο αυτή είναι πολύ χαμηλές, το ύψος των βροχοπτώσεων και αριθμό καμπύλης (CN). Ο αριθμός καμπύλης βασίζεται στην ομάδα του εδάφους, τα υδρομετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής, τη χρήση γής, την επεξεργασία και την κατάσταση υδρολογικών παραμέτρων.

Οι εξαγόμενοι παρακάτω παράμετροι είναι εφαρμόσιμοι στην μέθοδο SCS καθώς θεωρείτε ικανή για εκτίμηση της επιφανειακής απορροής με τα δεδομένα που έχουμε στην διάθεση μας, αυτό έγινε καθώς διερευνούμε για διαφορετικές περιόδους, πως η αύξηση ποσοστού αστικοποίησης επηρεάζει την επιφανειακή απορροή, με σκοπό μελλοντικά να μπορέσουν να δημιουργηθούν ζώνες επικινδυνότητας συναρτήσει αστικοποίησης.

Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν με ημι-εμπειρικά κριτήρια καθώς θα χρειαζόταν επί τόπου επίσκεψη ώστε να μπορέσει να γίνει ακριβείς καθορισμός των υπόλοιπων χρήσεων γης, εξαιρούμενης της οικοδομικής δραστηριότητας και ανάπτυξης.

Πίνακας 5-3: Δείκτες επιφανειακής απορροής για αγροτικές περιοχές ( Πηγή: HEC-HMS Technical Reference Manual)

Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type and hydrologic condition	Hydrologic condition	A	B	C	D
Pasture, grassland, or range – continuous forage for grazing. <sup>2</sup>	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow – continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	–	30	58	71	78
Brush – brush-weed mixture with brush the major element. <sup>3</sup>	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 <sup>4</sup>	48	65	73
Woods – grass combination (orchard or tree farm). <sup>5</sup>	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. <sup>6</sup>	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 <sup>4</sup>	55	70	77
Farmsteads – buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	–	59	74	82	86



Πίνακας 5-4: Δείκτες επιφανειακής απορροής για αστικές περιοχές (Πηγή: HEC-HMS Technical Reference Manual)

SCS TR-55 Table 2-2a – Runoff curve numbers for urban areas <sup>1</sup>					
Cover description		Curve numbers for hydrologic soil group			
Cover type and hydrologic condition	Average percent impervious area <sup>2</sup>	A	B	C	D
<i>Fully developed urban areas</i>					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) <sup>3</sup> :					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) <sup>4</sup>		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acre	12	46	65	77	82

Το πρόγραμμα HEC-HMS 3.5 είναι ένα γενικευμένο σύστημα υδρολογικής μοντελοποίησης, το οποίο είναι ικανό να αναπαραστήσει πολλές διαφορετικές λεκάνες απορροής, είτε μεμονωμένα είτε ταυτόχρονα. Το μοντέλο της λεκάνης κατασκευάζεται χωρίζοντας τον υδρολογικό κύκλο σε διαχωρίσιμα κομμάτια και δημιουργώντας τις οριακές συνθήκες των μαθηματικών τους μοντέλων. Κάθε ροή μάζας και ενέργειας σε αυτόν τον κύκλο μπορεί να αναπαρασταθεί με ένα μαθηματικό μοντέλο. Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου απαιτεί την γνώση της λεκάνης απορροής, τον σκοπό της υδρολογικής μελέτης και την κρίση του μηχανικού και ερευνητή όπου πολλές φορές εμπίπτει σε υποκειμενικές τιμές και παραδοχές.

Το HEC-HMS περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον εργασίας το οποίο περιλαμβάνει μια βάση δεδομένων, εργαλεία εισαγωγής δεδομένων, την υπολογιστική του μηχανή, και

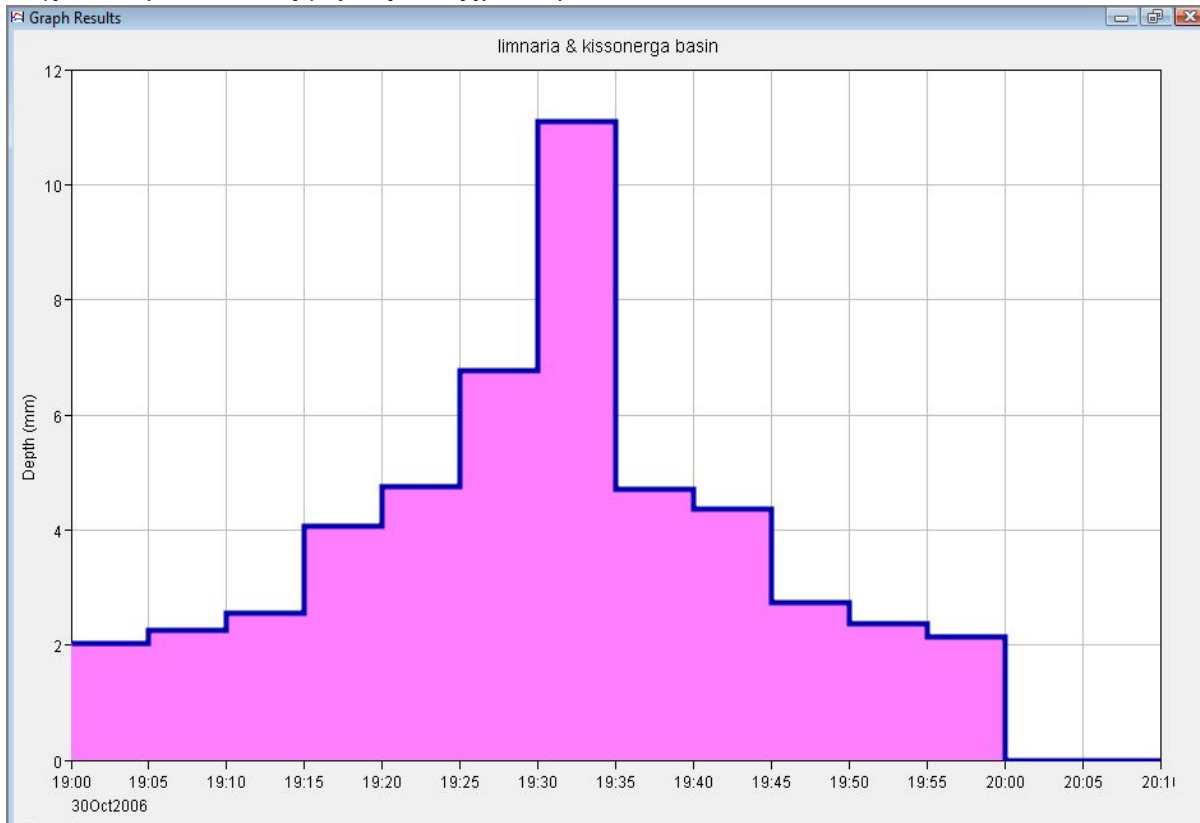
εργαλεία παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Το γραφικό περιβάλλον χρήστη επιτρέπει την απρόσκοπτη κίνηση μεταξύ των διαφορετικών μερών του προγράμματος, έτσι δίνοντας ελευθερία παραμετροποιήσεις στον χρήστη. Η λειτουργικότητα και η εμφάνιση του είναι η ίδια σε όλες τις υποστηριζόμενες πλατφόρμες.

Το χρονικό διάστημα της προσομοίωσης ελέγχεται από τις προδιαγραφές ελέγχου (control specifications), οι οποίες πάντοτε καθορίζονται από το χρήστη. Αυτές περιλαμβάνουν την ημερομηνία και την ώρα έναρξης, την ημερομηνία και την ώρα λήξης του γεγονότος, και ένα χρονικό διάστημα υπολογισμού.

Η εκτέλεση της προσομοίωσης γίνεται συνδυάζοντας ένα μοντέλο λεκάνης, ένα μετεωρολογικό μοντέλο, και τις προδιαγραφές ελέγχου. Τα αποτελέσματα της μπορούν να προβληθούν με την μορφή πίνακα ή γραφήματος όπως τα δεδομένα βροχόπτωσης στο πιο κάτω πίνακα 5-5, ενώ μπορούν να συγκριθούν αποτελέσματα από διάφορα στοιχεία.

Η δύναμη και η ταχύτητα του προγράμματος το καθιστούν ικανό να αναπαραστήσει λεκάνες με δεκάδες υδρολογικά στοιχεία. Παραδοσιακά, αυτά τα στοιχεία θα αναγνωρίζονταν μέσω τοπογραφικών χαρτών και της χειροκίνητης χάραξης των ορίων της αποστράγγισης. Αν και αποτελεσματική, αυτή η μέθοδος είναι χρονοβόρα όταν η λεκάνη πρόκειται να αναπαρασταθεί με πολλά στοιχεία. Ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών μπορεί να χρησιμοποιήσει υψομετρικά δεδομένα και γεωμετρικούς αλγόριθμους για να κάνει την ίδια διεργασία πιο γρήγορα. Για την πιο εύκολη δημιουργία τέτοιων μοντέλων λεκάνης, έχει δημιουργηθεί η επιλογή όπου επιτρέπεται στον χρήστη να εισάγει διανυσματικά αρχεία.

**Πίνακας 5-5: Τυπική γραφική κατανομή βροχόπτωσης 30<sup>15</sup> Οκτώβριου 2006 στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου**



### **5.1.5 Καθορισμός παραμέτρων λεκάνης απορροής των περιοχών "Αγριοκαλάμι" και "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου**

Στους πιο κάτω πίνακες 5-6 και 5-7 παρουσιάζονται οι επιλύσεις και τα αποτελέσματα σύμφωνα με ενδεικνυόμενη μεθοδολογία όπως προτείνεται από τον AghaKouchak (2011), για καθορισμό του χρόνου καθυστέρησης (lag time), του χρόνου συρροής και της αρχικής διηθήσεις για τα δεδομένα βροχόπτωσης, συναρτήσε των ποσοστιαίων χρήσεων γης και επιφάνειας κάλυψης στις δυο λεκάνες απορροής ("Λιμνάρια", "Αγριοκαλάμι") όπως παρουσιάζονται μέσω του λογισμικού HEC-HMS 3.5 στις ακόλουθες εικόνες 5-6 και 5-7 για τις χρονιές 1984, 1999, 2009.

**Πίνακας 5-6. Επιλύσεις και αποτελέσματα παραμέτρων εισαγωγής στο υδρολογικό μοντέλο για την λεκάνη απορροής στην περιοχή "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας στην Επαρχία Πάφου**

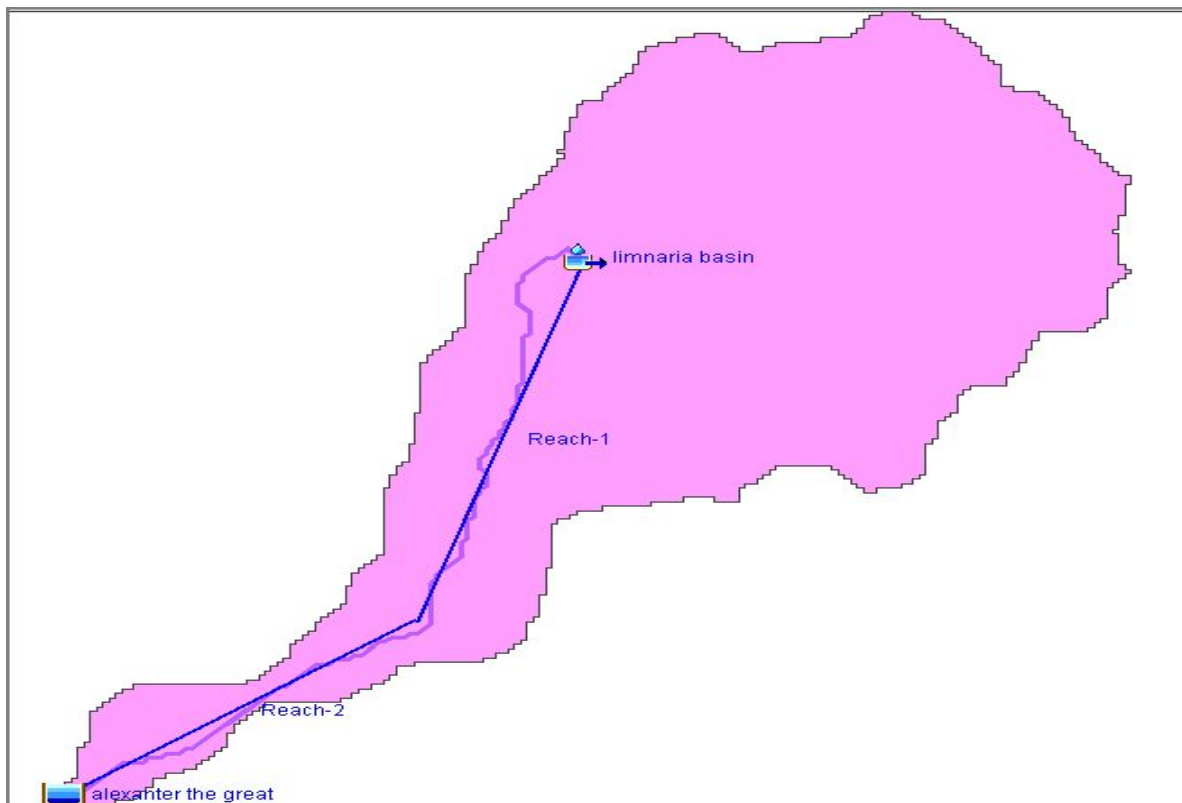
Μέση κλίση=12,58%								
Μακρύτερη διαδρομή ροής= 3977,18 m								
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ			C N	CN(%)19 84	CN(%)199 9	CN(%)200 9	
	1984	1999	2009					
Πλακόστρωτη χώροι στάθμευσης, στέγες, δρόμους, κλπ	0,1909	0,229	0,317	9	18,70	22,48	31,0	
Βοσκότοπους, χορτολιβαδικές εκτάσεις	0,3191	0,319	0,3191	4	13,72	13,72	13,7	
Δασώδη - γρασίδι συνδυασμός (οπωρώνα ή δενδροφυτεία).	0,5	0,451	0,3703	4	24,5	22,12	18,1	
					56,9	58,3	62,9	

<b>1984</b>								
S=1000/CN-10	=	21,30						
Ia=0,2*S	=	4,26	mm					
Lag Time=[L8*(2540-22,86CN)0,7]/[14104CN0,7*Y0,5] hrs	=	1,308		=	90min			
Time Of Concentration=Lag Time/0,6	=	150min						
<b>1999</b>								
S=1000/CN-10	=	20,69						
Ia=0,2*S	=	4,13	mm					
Lag Time=[L8*(2540-22,86CN)0,7]/[14104CN0,7*Y0,5]hrs	=	1,263		=	86,32min			
Time Of Concentration=Lag Time/0,6	=	143,86min						
<b>2009</b>								
S=1000/CN-10	=	20,69						
Ia=0,2*S	=	4,13	mm					
Lag Time=[L8*(2540-22,86CN)0,7]/[14104CN0,7*Y0,5]hrs	=	1,12		=	72,12min			
Time Of Concentration=Lag Time/0,6	=	120,2min						

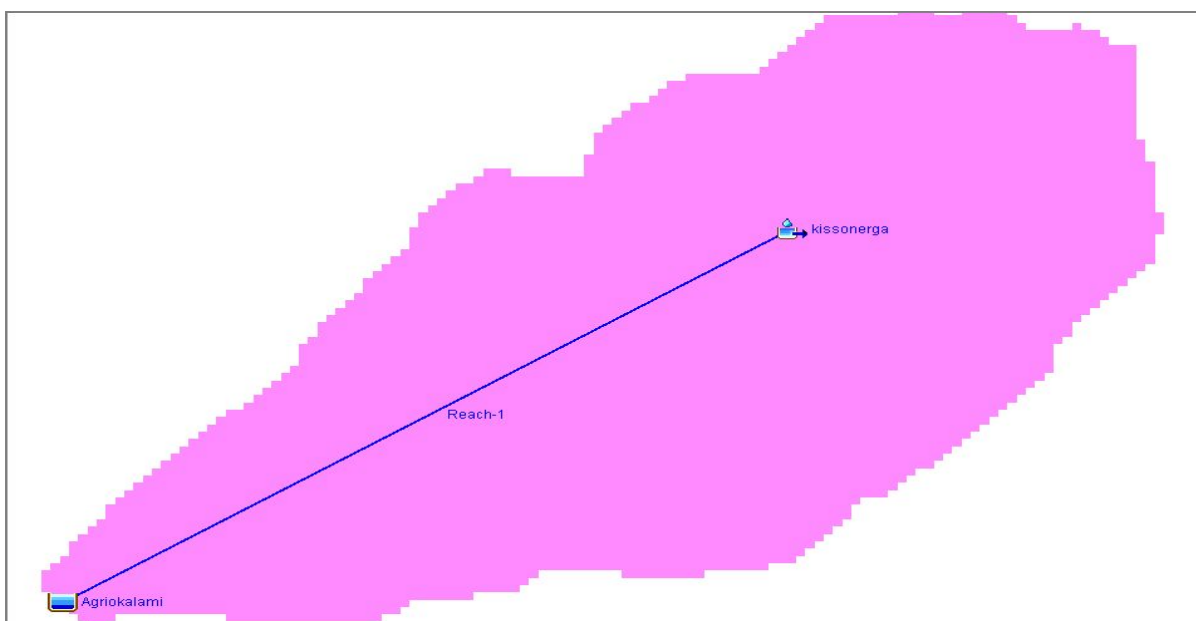
**Πίνακας 5-7. Επιλύσεις και αποτελέσματα παραμέτρων εισαγωγής στο υδρολογικό μοντέλο για την λεκάνη απορροής της περιοχής "Λιμνάρια" στην Επαρχία Πάφου**

Μέση κλίση= 8,66 %									
Μακρύτερη διαδρομή ροής= 5384,84 m									
ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ			CN	CN(%)1984	CN(%)1999	CN(%)2009		
	1984	1999	2009						
Πλακόστρωτη χώροι στάθμευσης, στέγες, δρόμους, κλπ	0,11	0,18	0,32	98	10,78	17,83	31,36		
Βοσκότοπους, χορτολιβαδικές εκτάσεις	0,39	0,41	0,32	43	16,77	17,97	13,76		
Δασώδη - γρασίδι συνδυασμός (οπωρώνα ή δενδροφυτεία).	0,50	0,40	0,36	49	24,50	19,6	17,64		
					52,0	55,4	62,7		

<b>1984</b>									
S=1000/CN-11	=	23,78							
Ia=0,2*S	=	4,75	mm						
Lag Time=[L8*(2540-22,86CN)^0,7]/[14104CN^0,7*Y^0,5]hrs	=	2,27	=	136,20min					
Time Of Concentration=Lag Time/0,7	=	227min							
<b>1999</b>									
S=1000/CN-11	=	22,02							
Ia=0,2*S	=	4,40	mm						
Lag Time=[L8*(2540-22,86CN)^0,7]/[14104CN^0,7*Y^0,5]hrs	=	2,08	=	124,08min					
Time Of Concentration=Lag Time/0,7	=	206,8min							
<b>2009</b>									
S=1000/CN-11	=	20,69							
Ia=0,2*S	=	4,138	mm						
Lag Time=[L8*(2540-22,86CN)^0,7]/[14104CN^0,7*Y^0,5]hrs	=	1,73	=	103,8min					
Time Of Concentration=Lag Time/0,7	=	173min							



**Εικόνα 5-6:** Αναπαράσταση της λεκάνης απορροής στην περιοχή "Λιμνάρια", Πάφου στο υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS 3.5



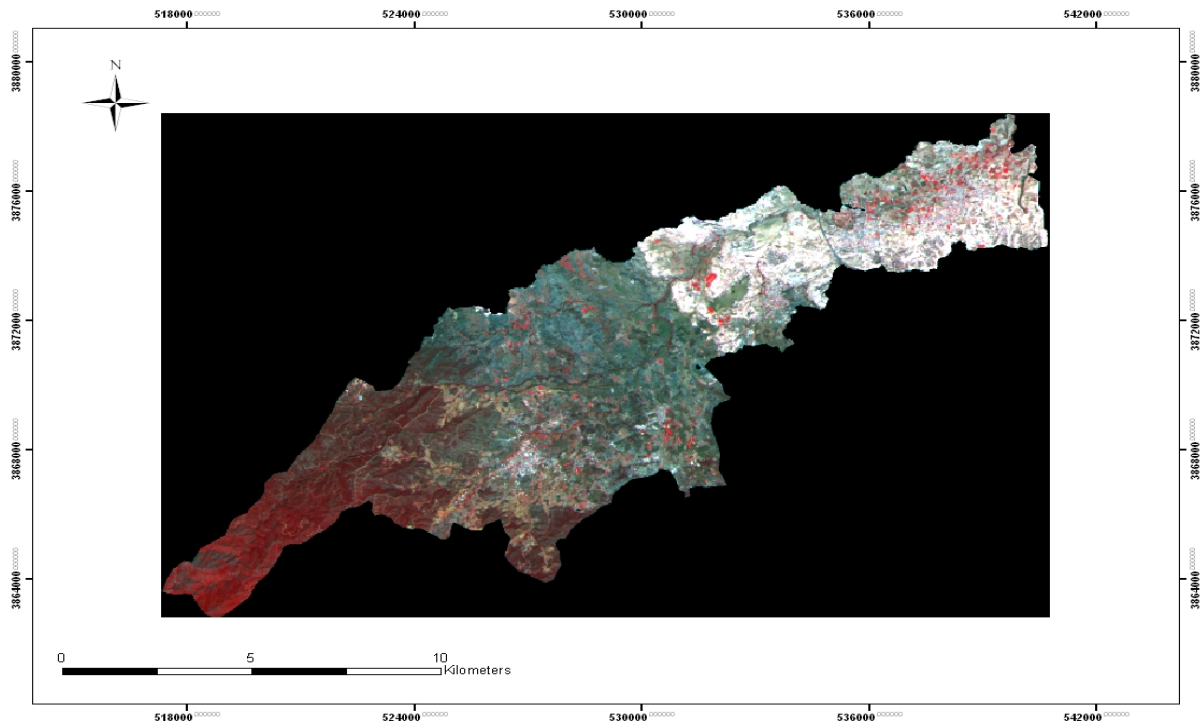
**Εικόνα 5-7:** Αναπαράσταση λεκάνης απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" Κισσόνεργας στο υδρολογικό μοντέλο HEC-HMS 3.5

## **5.2 Καθορισμός δεικτών επικινδυνότητας για την λεκάνη απορροής Γιαλιά στην επαρχία Λευκωσίας**

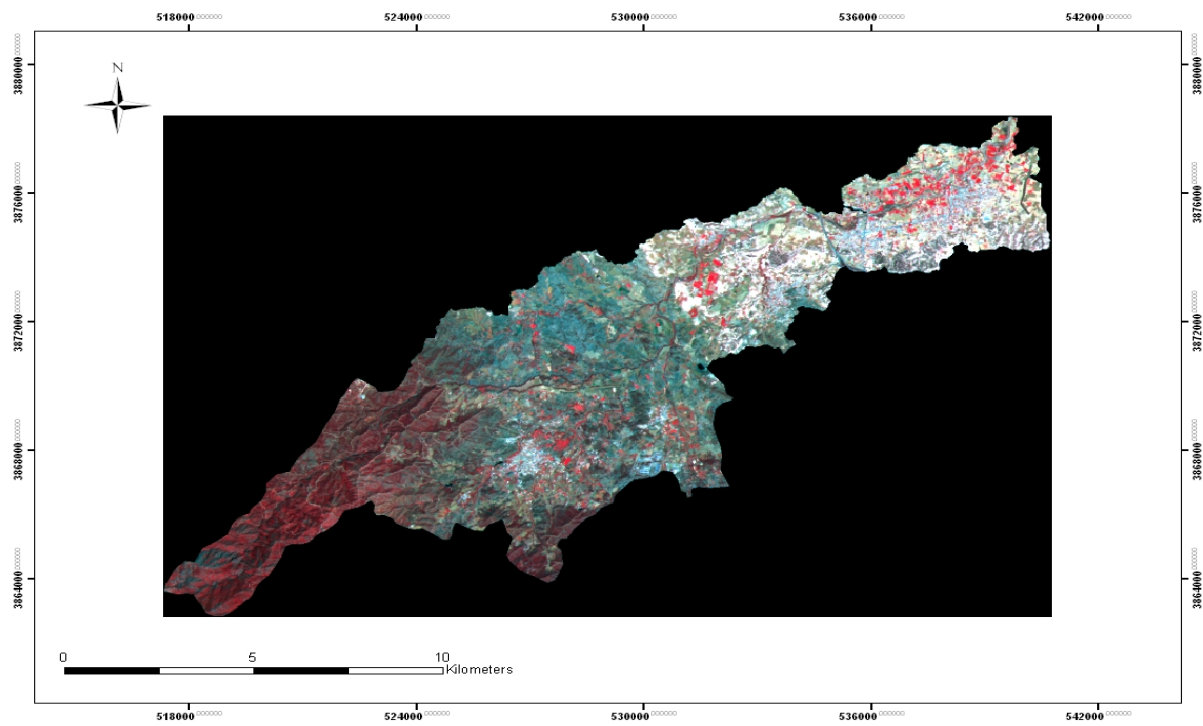
Έγινε μια προσπάθεια για καθορισμό χαρτών επικινδυνότητας πλημμυρικού κινδύνου σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Ως πιλοτική περιοχή για καθορισμό δεικτών επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκε η λεκάνη απορροής του ποταμού Γιαλιά στην επαρχία Λευκωσίας. Στη συγκεκριμένη λεκάνη απορροής έχουν παρατηρηθεί έντονα φαινόμενα πλημμυρών στο πρόσφατο παρελθόν (2003, 2009) με καταστροφικές συνέπειες και μεγάλες υλικές ζημιές. Με τον ίδιο τρόπο και μεθοδολογία θα μπορούσε να εφαρμοστεί μελλοντικά για οποιαδήποτε λεκάνη εφόσον πληρούνται τα κριτήρια και δεδομένα που είναι αναγκαία για την δημιουργία του χάρτη επικινδυνότητας. Ως παράγοντες για την δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας πλημμυρικού κινδύνου σε επίπεδο λεκάνη απορροής, επιλέχθηκαν η κλίση του ανάγλυφου, η γεωλογία της περιοχής, οι χρήσεις γης και η απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο. Η πολυκριτηριακή (multicriteria) ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού ΓΣΠ ArcGIS 9.3 στο εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου.

### **5.2.1 Χρήσεις Γης για την λεκάνη απορροής Γιαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας**

Για να καθοριστεί το ποσοστό αστικοποίησης εντός των χωρικών ορίων της υπό μελέτη λεκάνης απορροής και να εισαχθεί ως δεδομένο στην πολυκριτηριακή (multicriteria) ανάλυση σχετικά με ενδεχόμενο πλημμυρικό κίνδυνο, πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση των χρήσεων γης σε εικόνες του δορυφόρου ASTER για το χρονικό διάστημα από το 2000 έως το 2010. Η διαχρονική καταγραφή της εξάπλωσης των αστικών χρήσεων γης κρίθηκε απαραίτητη αφού σε αυτή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό η σταθερή αύξηση του ποσοστού επιφανειακής απορροής των υδάτων εντός της λεκάνης απορροής. Οι τρεις δορυφορικές εικόνες ASTER που χρησιμοποιήθηκαν είχαν ημερομηνίες λήψης 12/05/2000, 24/04/2005 και 06/04/2010 (Εικόνες 5-8, 5-9, 5-10).

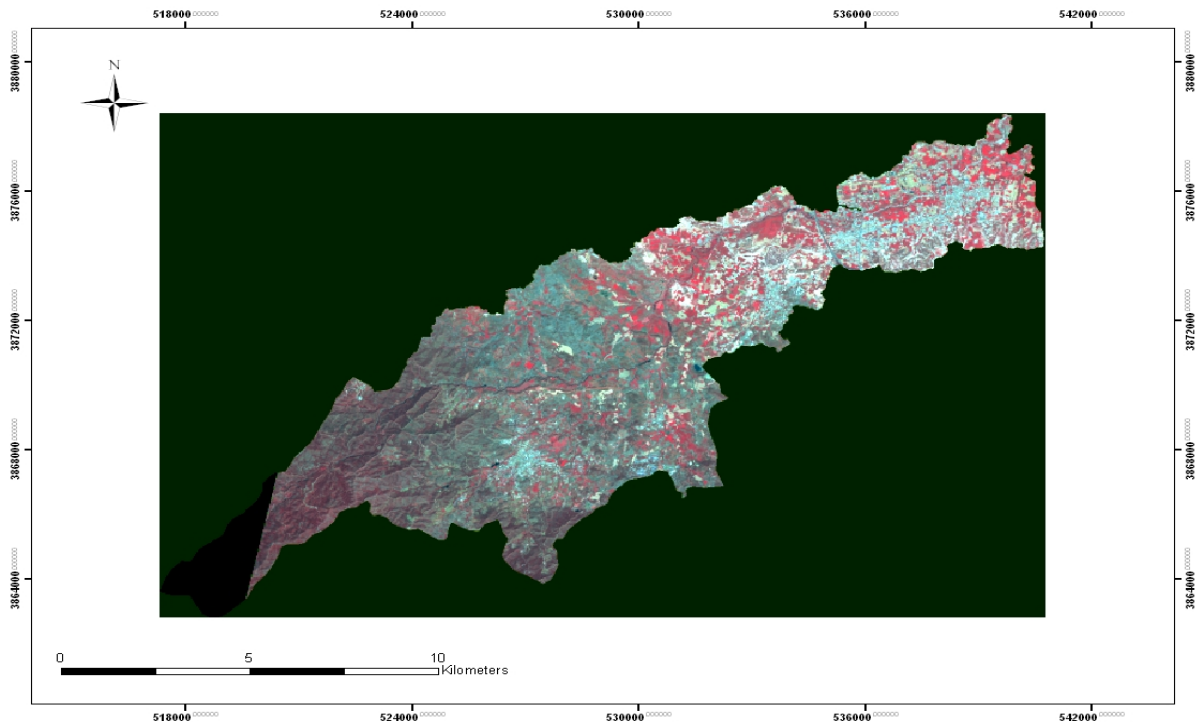


**Εικόνα 5-8: Εικόνα του δορυφόρου Aster με ημερομηνία λήψης 12/05/2000**



**Εικόνα 5-9: Εικόνα του δορυφόρου Aster με ημερομηνία λήψης 24/04/2005**





**Εικόνα 5-10: Εικόνα του δορυφόρου Aster με ημερομηνία λήψης 06/04/2010**

Για την καταγραφή των χρήσεων γης και συγκεκριμένα του ποσοστού αστικοποίησης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Supervised Classification) στην οποία εφαρμόστηκαν 3 διαφορετικοί αλγόριθμοι: α) Μεγίστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood), Ελάχιστης Απόστασης (Minimum Distance) και Mahalanobis (Mather, 1999).

Στην μέθοδο της επιβλεπόμενης ταξινόμησης επιλέγονται, από επίγειους ελέγχους ή χάρτες, αντιπροσωπευτικά δεδομένα εκπαίδευσης από τις θεματικές τάξεις που μας ενδιαφέρουν, τις οποίες και μπορούμε να αναγνωρίσουμε με βεβαιότητα στην απεικόνιση, π.χ. ελαιώνες, χέρσα γη, θάλασσα, δάση κ.λπ.. Τα δεδομένα αυτά, τα οποία δεν είναι παρά μια ομάδα pixel, θα εκπαιδεύσουν τον υπολογιστή να αναγνωρίζει τα διάφορα αντικείμενα/εμφανίσεις (θεματικές τάξεις). Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής προσδιορίζει διάφορες στατιστικές παραμέτρους, όπως μέσους όρους, τυπική απόκλιση, πίνακες μεταβλητότητας συμμεταβλητότητας για τα δεδομένα εκπαίδευσης κάθε θεματικής τάξης. Στη συνέχεια τις συγκρίνει με τις αντίστοιχες στατιστικές παραμέτρους άλλων περιοχών της απεικόνισης που είναι άγνωστες. Η σύγκριση αυτή γίνεται κάθε φορά με χρήση ενός συγκεκριμένου αλγορίθμου ταξινόμησης, όπως ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας, ελάχιστης απόστασης,

παραλληλεπιπέδου, Mahalanobis κ.λπ. Έτσι, όλα τα pixel της απεικόνισης ταξινομούνται σε κάποια θεματική τάξη.

### **Αλγόριθμος Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood)**

Ο κανόνας της μέγιστης πιθανοφάνειας συνεκτιμά ποσοτικώς την μεταβλητότητα και την συμμεταβλητότητα των προτύπων φασματικής απόκρισης των διαφόρων κατηγοριών, όταν ταξινομεί ένα άγνωστο εικονοστοιχείο. Για να επιτευχθεί αυτό, γίνεται η υπόθεση ότι η κατανομή του νέφους των σημείων εκπαίδευσης της κάθε κατηγορίας είναι αυτή του Gauss, δηλαδή είναι κανονική. Η υπόθεση της κανονικότητας των δεδομένων είναι γενικώς αποδεκτή για τις πιο συνηθισμένες κατανομές των φασματικών αποκρίσεων. Κάτω από αυτή την υπόθεση, η κατανομή του φασματικού προτύπου απόκρισης μιας κατηγορίας, μπορεί να περιγραφεί πλήρως από το μέσο διάνυσμα και από τον πίνακα συμμεταβλητότητας. Δεδομένων αυτών των παραμέτρων, μπορούμε να υπολογίσουμε τη στατιστική πιθανότητα ενός μεμονωμένου εικονοστοιχείου να είναι μέλος μιας συγκεκριμένης κατηγορίας κάλυψης γης.

Οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας χρησιμοποιούνται για να ταξινομήσουν ένα άγνωστο εικονοστοιχείο, υπολογίζοντας την πιθανότητα του εικονοστοιχείου να ανήκει σε κάθε μια από τις κατηγορίες. Ο αλγόριθμος υπολογίζει την πιθανότητα ενός εικονοστοιχείου να εμπίπτει στην κατανομή μιας κατηγορίας και κατόπιν, την πιθανότητα να ανήκει σε μια άλλη κατηγορία κ.ο.κ. Αφού εκτιμήσει τις πιθανότητες για την κάθε κατηγορία, το εικονοστοιχείο θα αποδοθεί στην πλέον πιθανή κατηγορία με την υψηλότερη τιμή πιθανότητας, ή θα χαρακτηριστεί ως άγνωστο, εάν η πιθανότητα του είναι κάτω από ένα κατώφλι, το οποίο θα ορίσει ο φωτοερμηνευτής.

Κατά βάση ο κανόνας της μέγιστης πιθανοφάνειας οριοθετεί ελλειψοειδείς ισοπιθανές καμπύλες στο διάγραμμα διασποράς. Το σχήμα των καμπύλων εκφράζει την ευαισθησία του αλγορίθμου στη συμμεταβλητότητα της κάθε κατηγορίας.

Το κύριο μειονέκτημα του κανόνα ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας είναι ο μεγάλος αριθμός υπολογισμών, ο οποίος απαιτείται για την ταξινόμηση του κάθε εικονοστοιχείου. Ο αριθμός υπολογισμών αυξάνεται στην περίπτωση που είτε χρησιμοποιείται ένας μεγάλος αριθμός φασματικών καναλιών, ή θα πρέπει να διαχωριστεί ένας μεγάλος αριθμός φασματικών κατηγοριών. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο κανόνας ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας απαιτεί πολύ περισσότερο χρόνο για υπολογισμούς, από ότι άλλες τεχνικές (Mather, 1999).

### **Αλγόριθμος της ελάχιστης απόστασης (Minimum Distance)**

Είναι μία από τις απλούστερες μεθοδολογίες της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Υπολογίζεται για κάθε περιοχή εκπαίδευσης η μέση τιμή ανά φασματικό κανάλι. Οι τιμές αντιπροσωπεύουν το κέντρο βάρους των περιοχών εκπαίδευσης. Κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας ταξινομείται σε μια τάξη, βάση της απόστασης από το κέντρο βάρους της περιοχής εκπαίδευσης. Δηλαδή εντάσσεται στην θεματική τάξη στην οποία η απόσταση του κέντρου βάρους της αντίστοιχης περιοχής εκπαίδευσης από την προβολή του εικονοστοιχείου στο χώρο των προτύπων, που ορίζουν τα κανάλια της πολυφασματικής εικόνας, είναι ελάχιστη.

Εάν δεν θεωρεί μια ελάχιστη απόσταση πέραν της οποίας ένα εικονοστοιχείο δεν ανήκει σε καμιά τάξη τότε το σύνολο των εικονοστοιχείων ταξινομείται σε μια από τις τάξεις που περιγράφουν οι περιοχές εκπαίδευσης.

Το βασικότερο μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη της τη διασπορά αλλά μόνο τα κέντρα βάρους των περιοχών εκπαίδευσης. Έτσι δημιουργούνται προβλήματα στις περιπτώσεις όταν δύο φασματικές τάξεις είναι κοντά η μια στην άλλη μεν, αλλά έχουν μεγάλη διαφορά στην διασπορά. Τότε ένα εικονοστοιχείο που είναι εγγύτερα στην μια τάξη ίσως θα έπρεπε να ενταχθεί στην άλλη τάξη εάν ληφθεί υπόψη η διαφορά στην διασπορά των τάξεων (Mather, 1999).

## Αλγόριθμος Mahalanobis

Η απόσταση Mahalanobis σχετίζεται με την απόσταση δύο σημείων στο χώρο. Εφόσον ο αλγόριθμος αυτός ερευνά τη σχέση μεταξύ κάποιων χαρακτηριστικών, θα κάνει εκτίμηση της απόστασης αποδίδοντας διαφορετική βαρύτητα ή παράγοντες βαρύτητας στα χαρακτηριστικά. Μόνο στην περίπτωση που τα χαρακτηριστικά σε μια εικόνα είναι ασυσχέτιστα τότε η απόσταση Mahalanobis θα συμπίπτει με την αντίστοιχη Ευκλείδεια απόσταση. Επιπρόσθετα ο αλγόριθμος Mahalanobis μπορεί να ρυθμίσει τη γεωμετρική κατανομή των δεδομένων έτσι ώστε η απόσταση μεταξύ παρόμοιων δεδομένων να είναι μικρή (Xiang et al, 2008).

Η ταξινόμηση και των τριών δορυφορικών εικόνων πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον εργασίας του λογισμικού ψηφιακής επεξεργασίας και ανάλυσης δορυφορικών εικόνων ERDAS IMAGINE 10 του εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών και Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου. Τα αποτελέσματα που προκύψαν από τους διαφορετικούς αλγόριθμους επιβλεπόμενης ταξινόμησης παρατίθενται στον Πίνακα 5-8.

**Πίνακας 5-8: Αποτελέσματα αστικοποίησης με εφαρμογή αλγόριθμων ταξινόμησης στην περιοχή μελέτης**

Αλγόριθμος Ταξινόμησης	Έκταση αστικής γης σε Km <sup>2</sup> (2000)	Έκταση αστικής γης σε Km <sup>2</sup> (2005)	Έκταση αστικής γης σε Km <sup>2</sup> (2010)
MaxLikelihood	4,035	10.859	19.128
MinDistance	14,269	6,993	11,738
Mahalanobis Distance	4,035	10.859	19.128

Από τους 3 αλγόριθμους τα αποτελέσματα του αλγόριθμου Minimum Distance εκτιμήθηκαν ως αναξιόπιστα και δεν χρησιμοποιήθηκαν στις περαιτέρω αναλύσεις. Αντίθετα, τα αποτελέσματα των αλγόριθμων μέγιστης πιθανοφάνειας και Mahalanobis ήταν πανομοιότυπα

και θεωρήθηκαν αξιόπιστα αφού οι δύο αυτοί αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται κατα κόρον σε ανάλογες περιπτώσεις φασματικών ταξινομήσεων.

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 5-8 γίνεται φανερή η σημαντική αύξηση της οικιστικής δραστηριότητας στην περιοχή μελέτης κατά το διάστημα των τελευταίων 10 ετών. Η αύξηση αυτή παρατηρήθηκε για το ίδιο χρονικό διάστημα σε όλη την Κύπρο και για την λεκάνη απορροής του ποταμού Γιαλιά κυμαίνεται σε ένα ποσοστό μεγαλύτερο του 100% ανά πενταετία.

Είναι σημαντικό να τονίσουμε ότι η μέτρηση και ποσοτικοποίηση του βαθμού αστικοποίησης για το διάστημα από 2000-2010 πραγματοποιήθηκε σχετικά γρήγορα και εύκολα με την εφαρμογή τεχνικών και μεθόδων Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης σε κατάλληλες δορυφορικές εικόνες. Έτσι αναδεικνύονται για άλλη μια φορά οι σημαντικές δυνατότητες που προσφέρει η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση στον ερευνητή να μελετήσει την εξέλιξη του γήινου ανάγλυφου και των χρήσεων γης σε αυτό σε μικρό χρονικό διάστημα και με σχετικά μικρό κόστος.

## 5.2.2 Χάρτης κλίσεων

Χρησιμοποιώντας το λογισμικό ArcGIS 9.3 και εισάγοντας το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (Digital Elevation Model – DEM ) της λεκάνης απορροής του ποταμού Γιαλιά με μέγεθος εικονοστοιχείου 25μ έγινε καθορισμός των κλίσεων σε εκατοστιαίο ποσοστό με χρήση των εργαλείων Spatial Analyst. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε αναταξινόμηση των τιμών των εικονοστοιχείων του χάρτη κλίσεων με βάση το βαθμό επικινδυνότητας σε ενδεχόμενη πλημμύρα. Οι συντελεστές οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-9.

**Πίνακας 5-9: Βαθμονόμηση χάρτη κλίσεων**

Κλίση (%)	Βαθμονόμηση
<2	9
2--5	6
5--8	4
8>	2

### 5.2.3 Απόσταση επικινδυνότητας από το υδρογραφικό δίκτυο

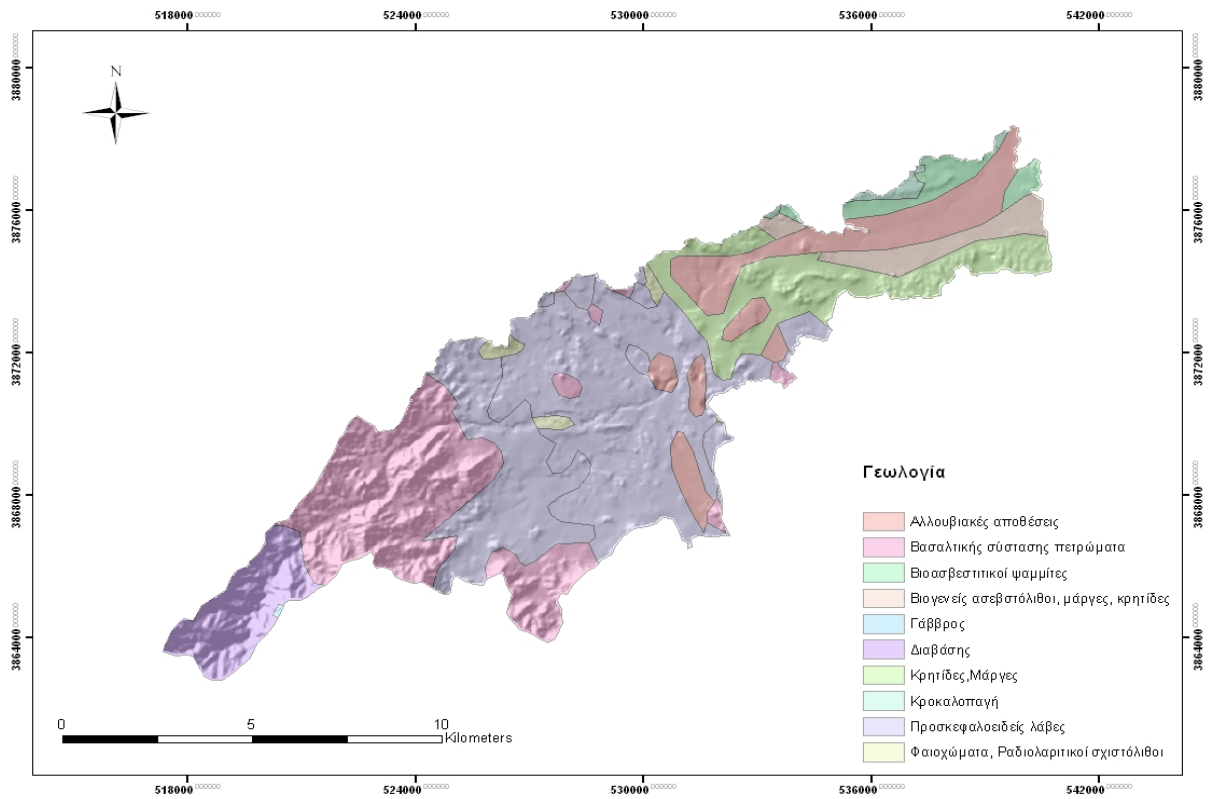
Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε καθορισμός απόστασης επικινδυνότητας από τις όχθες του ποταμού καθώς τα φαινόμενα εκεί είναι εντονότερα. (Fernández and Lutz, 2010). Έτσι δημιουργήσαμε ζώνες ανάσχεσης (buffer zones) των 50, 100, 200, 500, 1000 και 1700 μέτρων από τις όχθες του ποταμού με τη βοήθεια του λογισμικού ArcGIS 9.3. Στις ζώνες που δημιουργήθηκαν αποδόθηκε ένας δείκτης βαρύτητας ο οποίος όπως είναι φυσιολογικό ήταν μεγαλύτερος στις περιοχές πλησίον του υδρογραφικού δικτύου (μεγάλος κίνδυνος για πλημμύρα) και μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από αυτές (Πίνακας 5-10).

**Πίνακας 5-10.:Βαθμονόμηση ζωνών επιρροής γύρω από το υδρογραφικό δίκτυο**

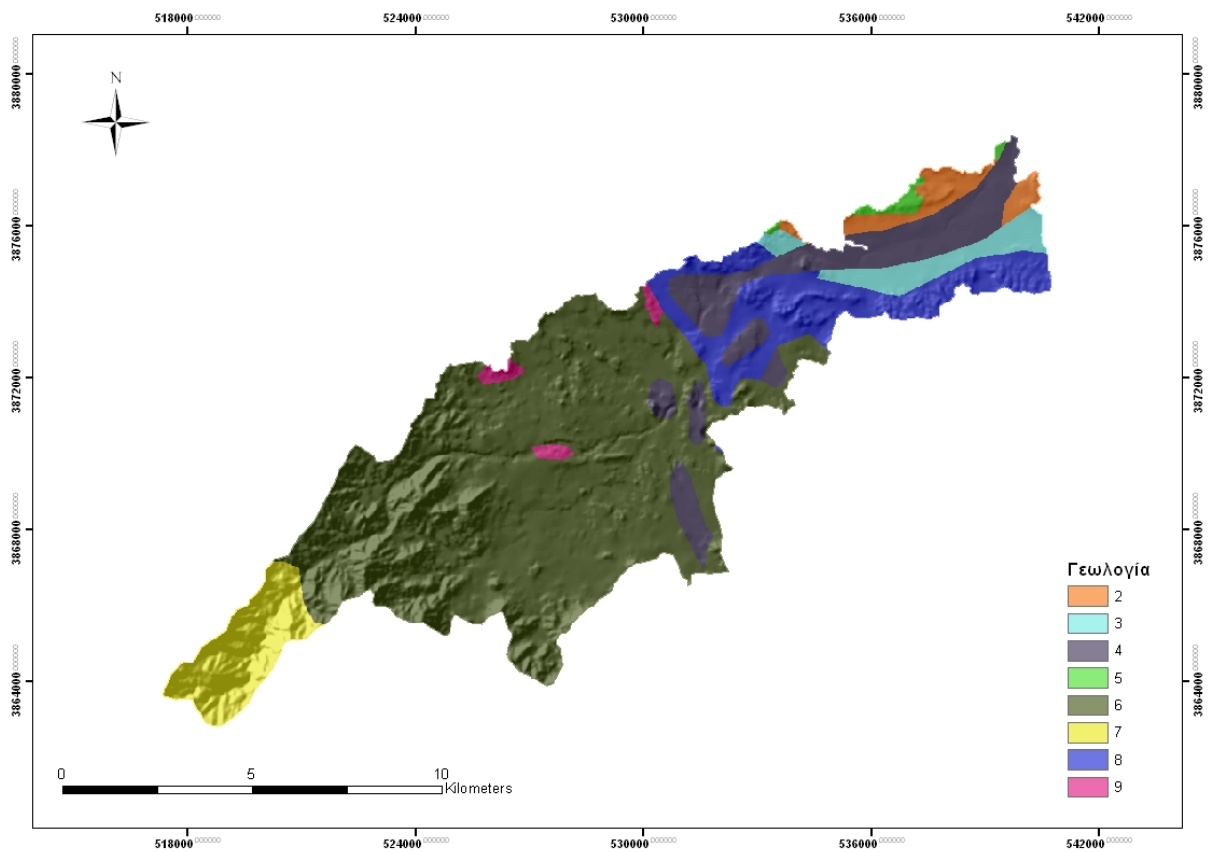
Απόσταση από το υδρογραφικό δίκτυο (m)	Βαθμονόμηση
< 50	9
50-100	7
100-200	6
200-500	5
500-1000	4
1000-1700	2

### 5.2.4 Γεωλογία

Ως τέταρτος παράγοντας στη δημιουργία των χαρτών επικινδυνότητας χρησιμοποιήθηκε το γεωλογικό καθεστώς της περιοχής μελέτης. Εισάγοντας διανυσματικό αρχείο (shapefile) το οποίο περιείχε την γεωλογία της λεκάνης απορροής του Γιαλία ποταμού, έγινε ενοποίηση των κύριων γεωλογικών σχηματισμών σε οκτώ από τους ένδεκα που ήταν ταξινομημένοι στην επιφάνεια κάλυψης της λεκάνης (εικόνα 5-11 και 5-12). Στην συνέχεια το σχηματικό αρχείο της Γεωλογίας μετατράπηκε σε αρχείο πλέγματος με απόδοση τιμών βαρύτητας ανάλογα με την υδατοπερατότητα του κάθε σχηματισμού (Πίνακας 5-11 ). Στα εικονοστοιχεία στα οποία αντιστοιχούν αδιαπέρατοι γεωλογικοί σχηματισμοί όπως είναι ο σχιστόλιθος, αποδόθηκαν μεγάλες τιμές διότι σε αυτά παρατηρούνται φαινόμενα επιφανειακής απορροής που ευνοούν την εμφάνιση και αντίστοιχων πλημμυρικών φαινομένων.



Εικόνα 5-11: Γεωλογικός χάρτης της περιοχής μελέτης Γιαλιά πόταμου



Εικόνα 5-12: Αναταξινομημένος γεωλογικός χάρτης με βάση την υδατοπερατότητα

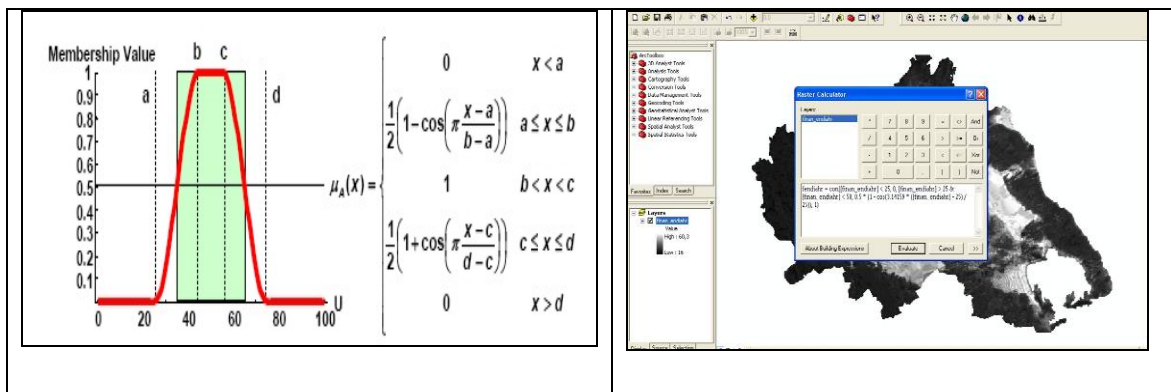
**Πίνακας 5-11: Βαθμονόμηση του γεωλογικού χάρτη με βάση την υδατοπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών**

Γεωλογικοί Σχηματισμοί	Βαθμονόμηση
Σχιστόλιθοι	9
Μάργες, Κρητίδες	8
Πυριγενή πετρώματα	7
Ηφαιστειακά	6
Λατυποπαγή	5
Κροκαλοπαγή	4
Ασβεστόλιθοι	3
Ψαμμίτες	2

Για την εισαγωγή όλων των αναταξινομημένων αρχείων πλέγματος (raster) σε περιβάλλον ΓΣΠ και την ταυτόχρονη χρήση τους για τη δημιουργία χάρτη επικινδυνότητας κρίθηκε αναγκαίο να πραγματοποιηθεί ένα είδος κανονικοποίησης των τιμών όλων των αρχείων με τιμές από 0-1. Το γεγονός ότι το εξαγόμενο αποτέλεσμα δεν βασίζεται σε κάποιο δείγμα εκπαίδευσης, καθώς στις επεξεργασίες υπάρχουν διαφορετικές κατηγοριοποιήσεις δημιουργεί πρόβλημα στο να γίνει καθορισμός των τελικών δεικτών επικινδυνότητας. Ενώ η Boolean γεωμετρία βασίζεται στη δυαδική λογική, δηλαδή ένα στοιχείο είναι είτε αληθές είτε ψευδές, στην περίπτωση της ασαφούς λογικής το στοιχείο μπορεί να είναι ως ένα βαθμό ψευδές και ως ένα βαθμό αληθές. Η βασική ιδέα της ασαφούς λογικής συνοψίζεται στην ομοιότητα που μπορεί να παρουσιάζει ένα στοιχείο με τα δεδομένα ενός συνόλου στοιχείων. (Mather,1999) Η ομοιότητα αυτή υπολογίζεται με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 1. Έτσι αν το στοιχείο έχει τιμές κοντά στο 0 δεν παρουσιάζει μεγάλη ομοιότητα με τις τιμές του γκρουπ ενώ αντίθετα αν έχει τιμές κοντά στο 1 τότε παρουσιάζει ομοιότητες. Η μέθοδος της ασαφούς λογικής (fuzzy logic) δίνει την ευκαιρία στους ερευνητές να εφαρμόσουν την μέθοδο σε κάθε περιοχή με παρόμοια γεωγραφικά χαρακτηριστικά.. Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι γραφικής απεικόνισης των μοντέλων ασαφούς λογικής. Αν θεωρούμε ότι μια απεικόνιση κυκλικού σχήματος είναι πιο κατάλληλη για την περιγραφή των δεδομένων μας, η κατάλληλη επιλογή είναι η γραφική παράσταση σιγμοειδούς μορφής. Όπως και στην γραμμική απεικόνιση τα δεδομένα μπορούν να απεικονιστούν με γραφική παράσταση μορφής σχήματος S, σχήματος L, και σχήματος καμπάνας (Εικ.5-13,αριστερά). Για την εφαρμογή του αλγόριθμου ασαφούς

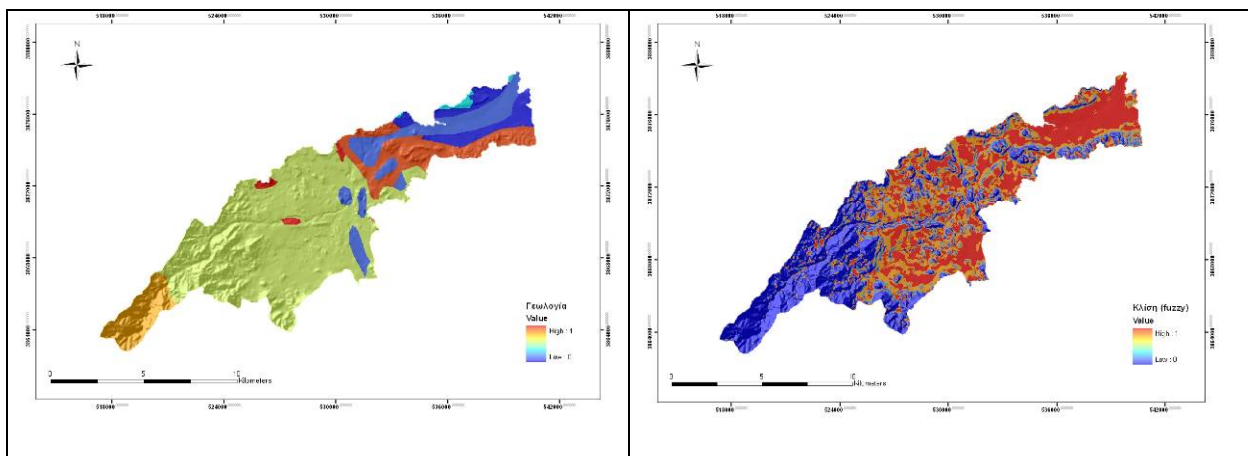


λογικής, χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο *Raster Calculator* του Γ.Σ.Π. ArcGIS 9.3 (Εικ.5-13,δεξιά).



**Εικόνα 5-13:** Γραφική παράσταση σιγμοειδούς μορφής (αριστερά). Εφαρμογή αλγόριθμου ασαφούς λογικής σε περιβάλλον ΓΣΠ (δεξιά)

Το αποτέλεσμα ήταν να κανονικοποιηθούν όλες οι τιμές των παραγόντων επικινδυνότητας από 0-1 όπως φαίνεται στην Εικόνα 5-14.



**Εικόνα 5-14:** Εφαρμογή αλγόριθμου ασαφούς λογικής στο γεωλογικό χάρτη της περιοχής μελέτης (αριστερά). Εφαρμογή αλγόριθμου ασαφούς λογικής στο χάρτη κλίσεων της περιοχής μελέτης (δεξιά)

Για τον υπολογισμό των τελικών συντελεστών βαρύτητας των παραγόντων που επηρεάζουν την επικινδυνότητα χρησιμοποιήθηκε η στατιστική μέθοδος της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (Analytic Hierarchy Process - AHP). Η συγκεκριμένη διαδικασία αποτελεί μια προσέγγιση στην λήψη αποφάσεων η οποία συνδυάζει ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων σε ιεραρχική δομή. Ειδικότερα, η AHP βοηθά στην αφομοίωση τόσο υποκειμενικών όσο και

αντικειμενικών κριτηρίων προσφέροντας έναν αποτελεσματικό μηχανισμό ελέγχου της συνέπειας των μέτρων αξιολόγησης (Saaty, 1994).

Η Αναλυτική ιεραρχική διαδικασία (Analytic Hierarchy Process ή AHP) αποτελεί ένα από τα πιο διαδεδομένα εργαλεία λήψης αποφάσεων. Το πρώτο βήμα στην AHP αποτελεί η διαμόρφωση μίας ιεραρχίας που αντικατοπτρίζει το πρόβλημα σχετικά με το οποίο πρέπει να ληφθεί μία απόφαση. Το δεύτερο βήμα είναι ο σχηματισμός των πινάκων κατά ζεύγη συγκρίσεων ή αλλιώς πινάκων AHP, στους οποίους αποτυπώνονται οι κρίσεις του αποφασίζοντα ανά ζεύγη των υπό εξέταση στοιχείων. Το επόμενο βήμα, συνιστά ο υπολογισμός των προτεραιοτήτων των στοιχείων του πίνακα AHP. Για την εφαρμογή της διαδικασίας, πραγματοποιείται κάθε φορά συγκριτική μελέτη ενός ζευγαριού δύο παραγόντων. Στη σύγκριση αυτή πραγματοποιείται εκτίμηση και σύγκριση του βαθμού σπουδαιότητας του ενός παράγοντα σε σχέση με τον άλλο στην εκτίμηση επικινδυνότητας και αποδίδεται μια τελική τιμή. Οι τιμές που χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση των κριτηρίων παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-12.

**Πίνακας 5-12: Κλίμακα βαθμονόμησης για τη συγκριτική μελέτη ζευγαριών παραγόντων πολυκριτηριακής ανάλυσης**

1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
	Πολύ	Ισχυρό	Μέτριο	Ίσο	Μέτριο	Ισχυρό	Πολύ	
Λιγότερο σημαντικό					Περισσότερο Σημαντικό			

Έτσι για όλους τους παράγοντες έγινε απόδοση ενός συντελεστή βαρύτητας με βάση την εμπειρία του ερευνητή και τη βιβλιογραφική του ενημέρωση σε σχετικά θέματα. Οι τιμές κάθε παράγοντα σε κάθε γραμμή του Πίνακα αθροίστηκαν και τα επιμέρους αθροίσματα αθροίστηκαν και αυτά με τη σειρά τους για να δώσουν μια τελική τιμή. Η τελική αυτή τιμή διαιρέθηκε με το κάθε επιμέρους άθροισμα έτσι ώστε να προκύψει ο τελικός συντελεστής βαρύτητας κάθε παράγοντα της πολυκριτηριακής ανάλυσης (Πίνακας 5-13).

**Πίνακας 5-13: Πίνακας βαρών παραγόντων πολυκριτηριακής ανάλυσης**

Κλίση	Κλίση	Απόσταση από ρέμα	Γεωλογία	Χρήσεις Γης	Άθροισμα	Κανονικοποιημένα βαρη
Απόσταση από ρέμα	1	0,33	5	3	9,33	0,278
Γεωλογία	3	1	7	5	16	0,477
Χρήσεις Γης	0,2	0,1428	1	0,33	1,6728	0,05
Κλίση	0,33	0,2	5	1	6,53	0,195
Total					33,53	

Μετά και την εξαγωγή των κανονικοποιημένων βαρών με τη βοήθεια της μεθόδου AHP όλα τα αρχεία πλέγματος εισήχθησαν σε περιβάλλον ΓΣΠ και με τη βοήθεια της Boolean άλγεβρας προέκυψαν οι τελικοί χάρτες επικινδυνότητας σύμφωνα με την σχέση:

$$\text{Χάρτης} = \{\text{Απόσταση από ρέμα}\} * 0,278 + \{\text{Γεωλογία}\} * 0,477 + \{\text{Χρήσεις Γης}\} * 0,05 + \{\text{Κλίση}\} * 0,195$$

## 6 Αποτελέσματα

### 6.1 Επιφανειακή απορροή συναρτήσει αστικοποίησης για τις λεκάνες απορροής στην Επαρχία Πάφου

Στην επίλυση του υδρολογικού μοντέλου για περίοδο επαναφοράς δέκα ετών με δεδομένα βροχόπτωσης 30 Οκτώβριου 2006 η λεκάνη απορροής "Αγριοκαλάμι" και "Λιμνάρια" ενδεικνύουν ότι καθώς γίνεται αλλαγή χρήσεων γης, με μείζονα αυτή της αύξησης οικοδομικής δραστηριότητας μειώνεται η διήθηση βροχόπτωσης από το έδαφος και παράλληλα γίνεται αλλαγή της επιφανειακής απορροής αυξητικά, με αποτέλεσμα την αύξηση των πλημμυρικών φαινομένων όπως διαφαίνεται από τους ακόλουθους πίνακες 6-1, 6-2, 6-3 και το σχήμα 6-1 για την λεκάνη "Αγριοκαλάμι" και αντίστοιχα οι πινάκες 6-6, 6-7, 6-8 και το σχήμα 6-2 για την λεκάνη Λιμνάρια.

**Πίνακας 6-1:** Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης που αφορά τη χρονιά 1984, λεκάνης απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" Κισσόνεργας

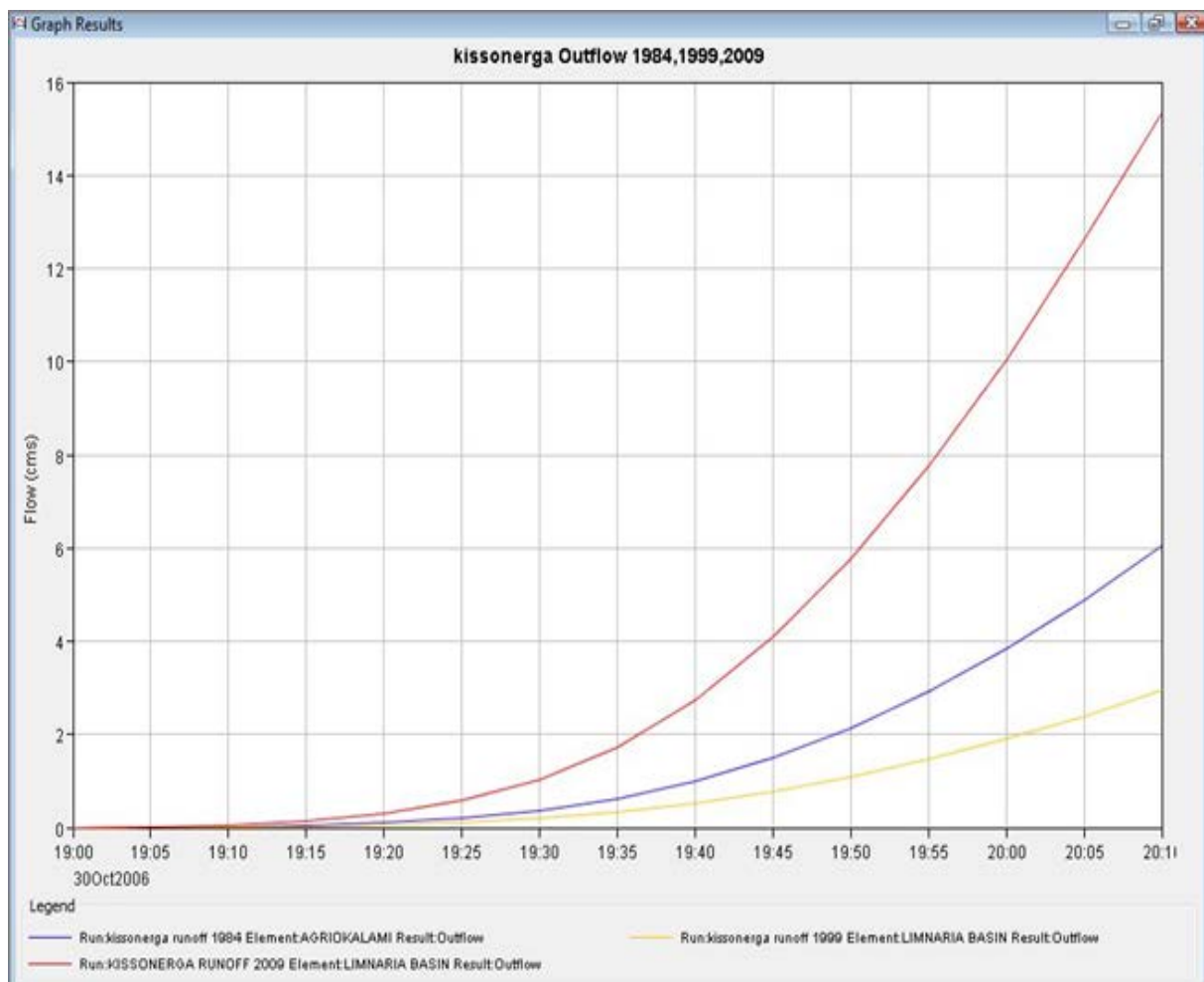
Project: limnaria flood final			
Simulation Run: kissonerga runoff 1984		Subbasin: agriokalami	
Start of Run: 30Οκτ2006, 19:00	Basin Model: kissonerga 1984		
End of Run: 30Οκτ2006, 20:10	Meteorologic Model: meteorological model		
Compute Time: 18Απρ2011, 22:52:15	Control Specifications: control specification manag.		
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge : 6,1 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge : 30Οκτ2006, 20:10		
Total Precipitation : 49,81 (MM)	Total Direct Runoff : 0,83 (MM)		
Total Loss : 33,38 (MM)	Total Baseflow : 0,00 (MM)		
Total Excess : 16,43 (MM)	Discharge : 0,83 (MM)		

**Πίνακας 6-2: Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωση που αφορά τη χρονιά 1999, λεκάνης απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" Κισσόνεργας**

Project: limnaria flood final			
Simulation Run: kissonerga runoff 1999 Subbasin: limnaria basin			
Start of Run: 30Οκτ2006, 19:00	Basin Model: kissonerga 1999		
End of Run: 30Οκτ2006, 20:10	Meteorologic Model: meteorological model		
Compute Time: 18Απρ2011, 22:52:15	Control Specifications: control specification manag.		
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge : 3,0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge : 30Οκτ2006, 20:10		
Total Precipitation : 49,81 (MM)	Total Direct Runoff : 0,41 (MM)		
Total Loss : 31,31 (MM)	Total Baseflow : 0,00 (MM)		
Total Excess : 18,50 (MM)	Discharge : 0,41 (MM)		

**Πίνακας 6-3: : Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωση που αφορά τη χρονιά 2009, λεκάνης απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" Κισσόνεργας**

Project: limnaria flood final			
Simulation Run: kissonerga runoff 2009 Subbasin: limnaria basin			
Start of Run: 30Οκτ2006, 19:00	Basin Model: kissonerga 2009		
End of Run: 30Οκτ2006, 20:10	Meteorologic Model: meteorological model		
Compute Time: 18Απρ2011, 22:52:16	Control Specifications: control specification manag.		
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge : 15,3 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge : 30Οκτ2006, 20:10		
Total Precipitation : 49,81 (MM)	Total Direct Runoff : 2,18 (MM)		
Total Loss : 26,73 (MM)	Total Baseflow : 0,00 (MM)		
Total Excess : 23,09 (MM)	Discharge : 2,18 (MM)		



Σχήμα 6-1: Γραφική παράσταση επιφανειακής απορροής σε εκροή για τις χρονιές 1984, 1999 και 2009 για την λεκάνη απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι", Κισσόνεργας

Πίνακας 6-4: Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωσης που αφορά τη χρονιά 1984, λεκάνης απορροής της περιοχής "Λιμνάρια" στην Πάφο

Project: limnaria flood final	
Simulation Run: limnaria flood 1984 Subbasin: limnaria basin	
Start of Run: 30Οκτ2006, 19:00	Basin Model: limnaria 1984
End of Run: 30Οκτ2006, 20:10	Meteorologic Model: meteorological model
Compute Time: 18Απρ2011, 23:09:09	Control Specifications: control specification manag.
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3	
Computed Results	
Peak Discharge : 1,3 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge : 30Οκτ2006, 20:10
Total Precipitation : 49,81 (MM)	Total Direct Runoff : 0,14 (MM)
Total Loss : 37,86 (MM)	Total Baseflow : 0,00 (MM)
Total Excess : 11,96 (MM)	Discharge : 0,14 (MM)

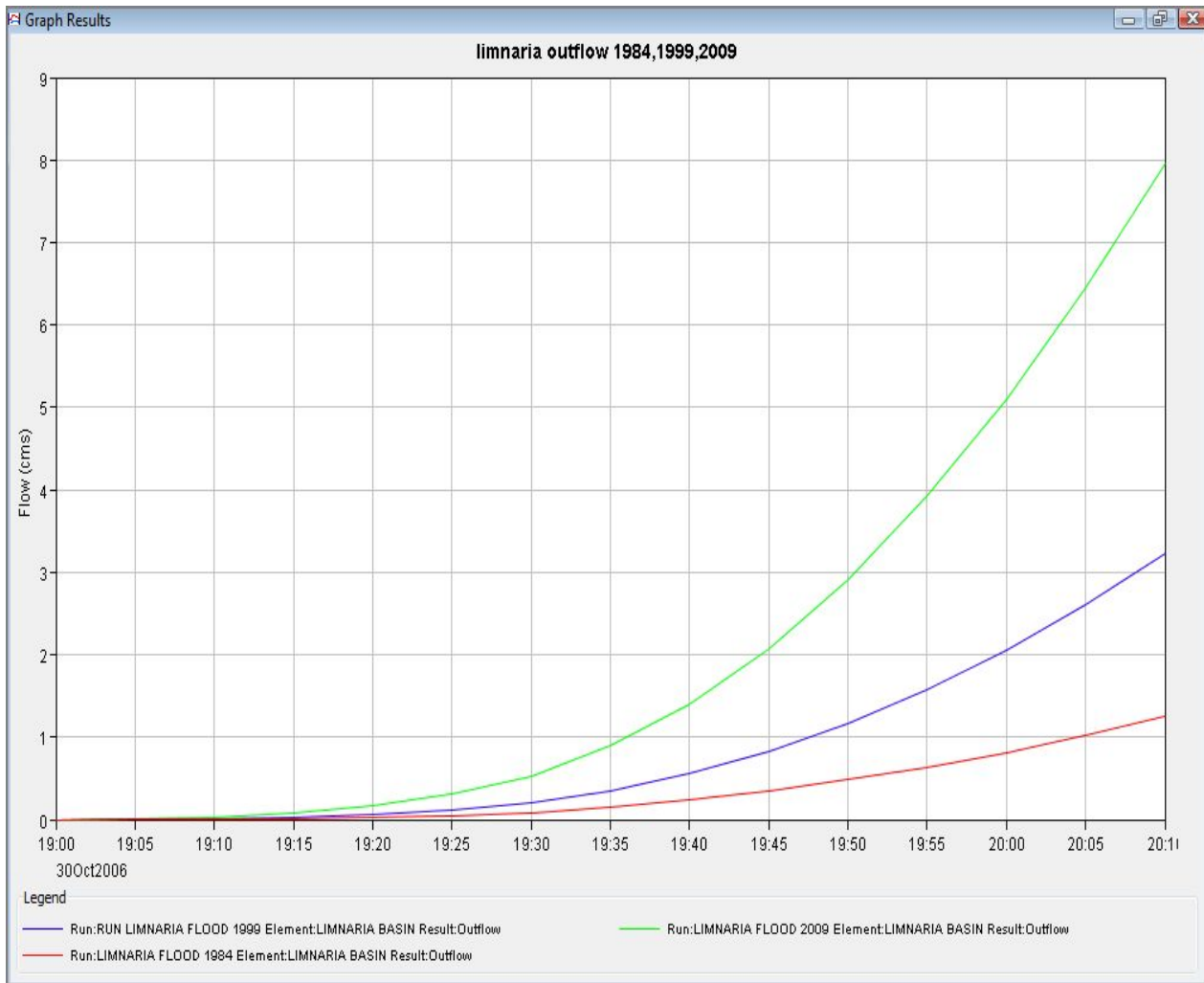


**Πίνακας 6-5: Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωση που αφορά τη χρονιά 1999, λεκάνης απορροής της περιοχής "Λιμνάρια" στην Πάφο**

Project: limnaria flood final			
Simulation Run: Run limnaria flood 1999		Subbasin: limnaria basin	
Start of Run:	30Οκτ2006, 19:00	Basin Model:	limnaria 1999
End of Run:	30Οκτ2006, 20:10	Meteorologic Model:	meteorological model
Compute Time:	18Απρ2011, 23:09:10	Control Specifications:	control specification manag.
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge :	3,2 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge :	30Οκτ2006, 20:10
Total Precipitation :	49,81 (MM)	Total Direct Runoff :	0,35 (MM)
Total Loss :	33,99 (MM)	Total Baseflow :	0,00 (MM)
Total Excess :	15,82 (MM)	Discharge :	0,35 (MM)

**Πίνακας 6-6: Συνοπτικά αποτελέσματα υδρολογικής προσομοίωση που αφορά τη χρονιά 2009, λεκάνης απορροής της περιοχής "Λιμνάρια" στην Πάφο**

Project: limnaria flood final			
Simulation Run: limnaria flood 2009		Subbasin: limnaria basin	
Start of Run:	30Οκτ2006, 19:00	Basin Model:	limnaria 2009
End of Run:	30Οκτ2006, 20:10	Meteorologic Model:	meteorological model
Compute Time:	18Απρ2011, 23:09:10	Control Specifications:	control specification manag.
Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge :	8,0 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge :	30Οκτ2006, 20:10
Total Precipitation :	49,81 (MM)	Total Direct Runoff :	0,86 (MM)
Total Loss :	26,65 (MM)	Total Baseflow :	0,00 (MM)
Total Excess :	23,17 (MM)	Discharge :	0,86 (MM)

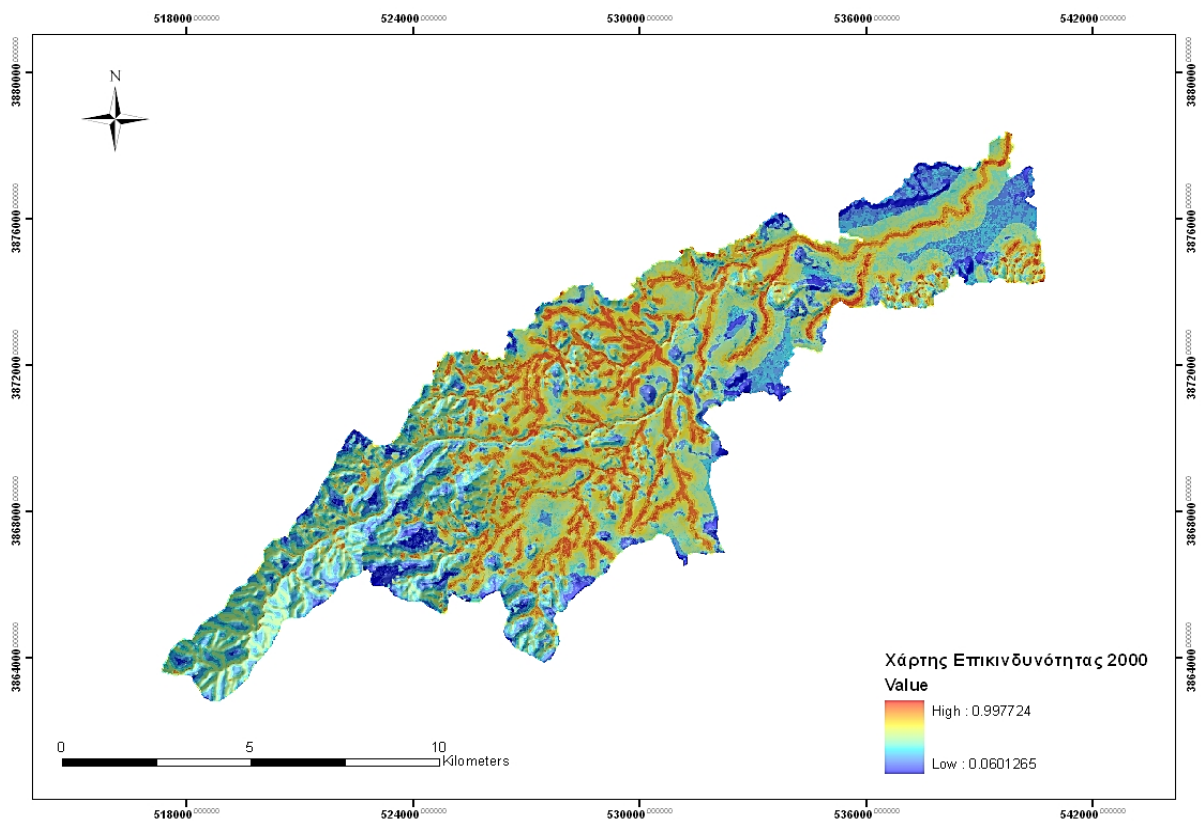


**Σχήμα 6-2. Γραφική παράσταση επιφανειακής απορροής σε εκροή για τις χρονιές 1984, 1999 και 2009 για την λεκάνη απορροής της περιοχής " Λιμνάρια" στη Πάφος**

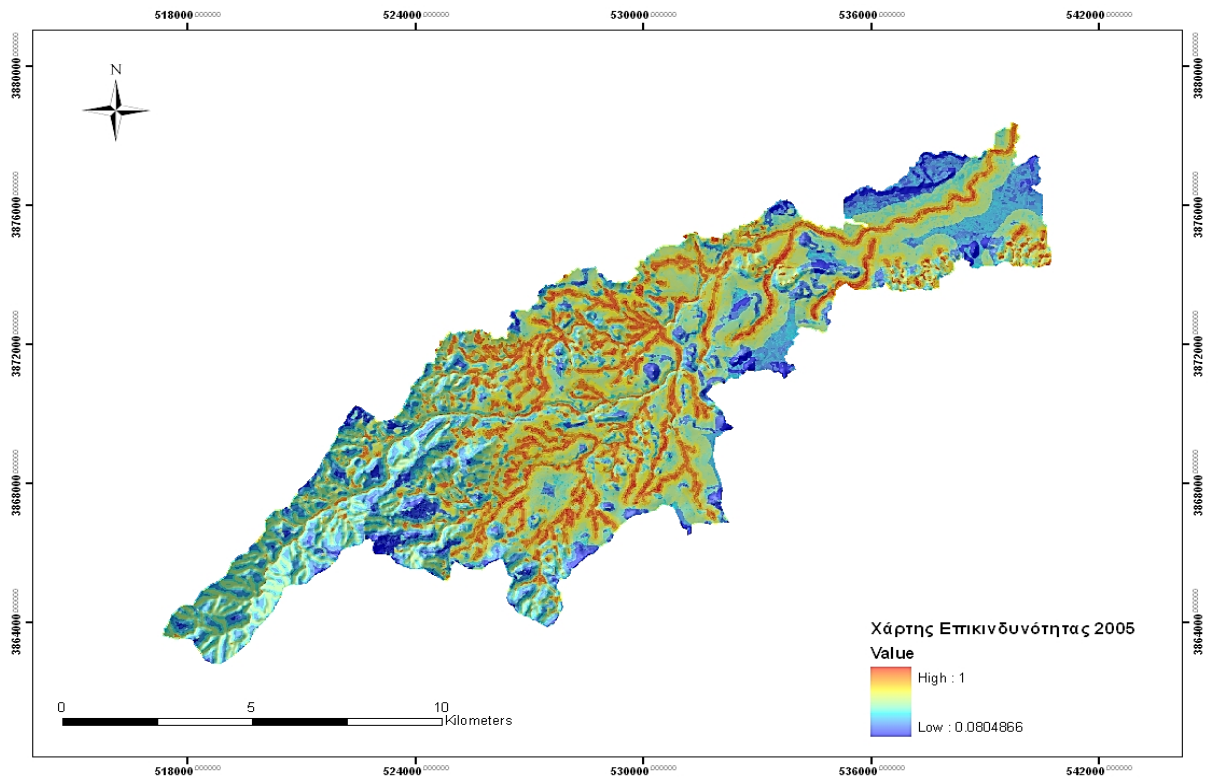


## 6.2 Χάρτες επικινδυνότητας για την περιοχή λεκάνης απορροής Γιαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας

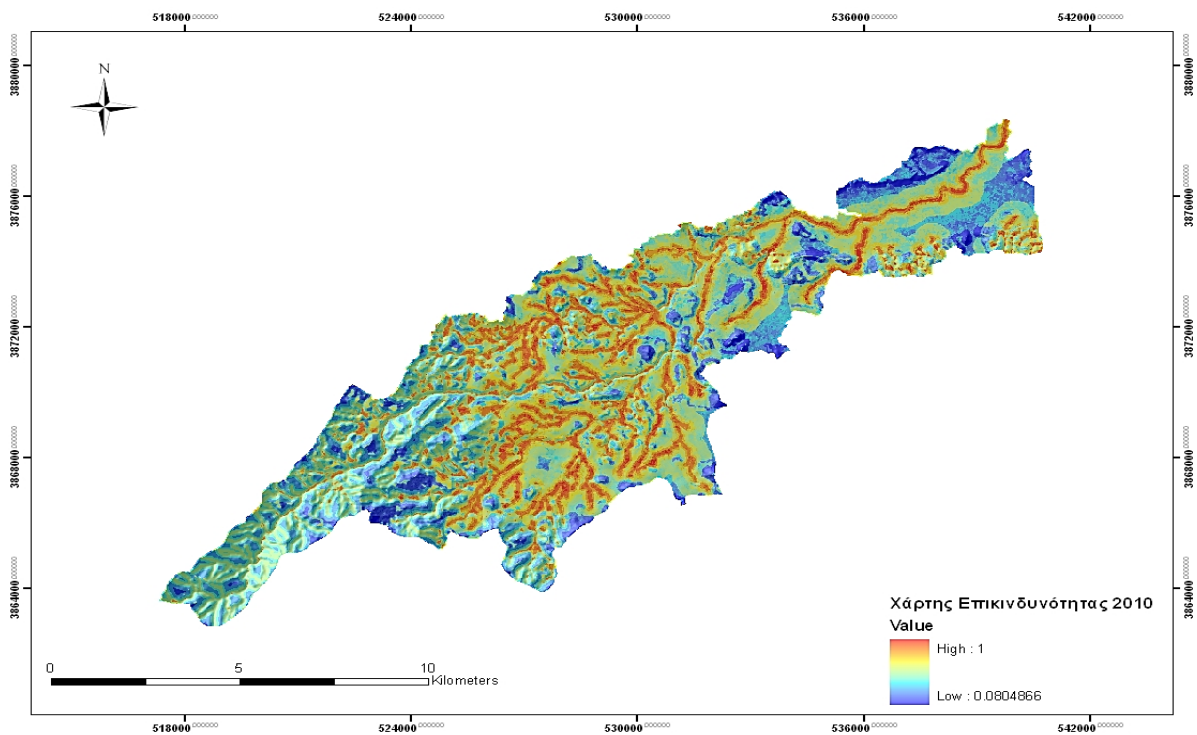
Οι τελικοί χάρτες που προέκυψαν είναι τρεις και καταδεικνύουν την εξέλιξη του βαθμού επικινδυνότητας στην περιοχή μελέτης για το διάστημα 2000-2010. Ουσιαστικά στην εξίσωση χρησιμοποιήθηκαν τα τρία διαφορετικά αρχεία που δημιουργήθηκαν από την ταξινόμηση των χρήσεων γής των δορυφορικών εικόνων Aster. Στους τελικούς χάρτες έγινε εφαρμογή αλγόριθμου ασαφούς λογικής για βαθμονόμηση του δείκτη επικινδυνότητας από 1 (επικίνδυνες για πλημμύρα περιοχές) έως 0 (μη επικίνδυνες περιοχές) (Εικόνες 6-1, 6-2, 6-3).



Εικόνα 6-1: Χάρτης επικινδυνότητας το 2000 για την περιοχή λεκάνης απορροής Γιαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας



**Εικόνα 6-2: Χάρτης επικινδυνότητας το 2005 για την περιοχή λεκάνης απορροής Γαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας**



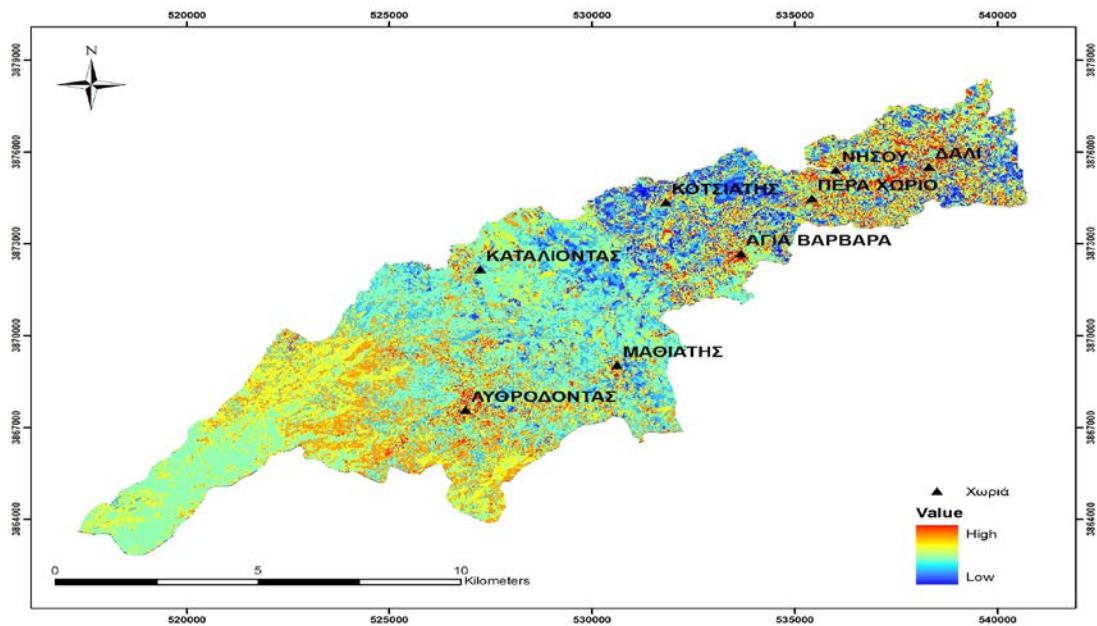
**Εικόνα 6-3: Χάρτης επικινδυνότητας το 2010 για την περιοχή λεκάνης απορροής Γαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας**

## 7 Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα της εν λόγω πτυχιακής εργασίας είναι τα ακόλουθα:

- Τα ποσοστά αστικοποίησης για τις λεκάνες απορροής της περιοχής "Αγριοκαλάμι" και "Λιμνάρια" της Επαρχίας Πάφου, όπου υπήρχαν διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα τύπου Landsat TM/ETM+ ήταν κατ'αντιστοιχία για τις χρονολογίες 1984, 1999 και 2009: 19,09%, 22,94%, 31,70% και 11%, 18,2%, 32%.
- Επίσης για τις δύο λεκάνες απορροής της Επαρχίας Πάφου τα πιο πάνω ποσοστά αστικοποίησης χρησιμοποιήθηκαν σαν δεδομένα εισαγωγής στο υδραυλικό μοντέλο HEC-HMS 3.5 και έγινε συσχέτιση της επιφανειακής απορροής βροχόπτωσης συναρτήσει των διαφορετικών ποσοστών αστικοποίησης με τα αποτελέσματα να δείχνουν αύξηση της επιφανειακής απορροής και πλημμυρικού όγκου.
- Για την λεκάνη απορροής της περιοχής του Γιαλιά ποταμού στην Επαρχία Λευκωσίας έχουν δημιουργηθεί τρεις χάρτες επικινδυνότητας για τις χρονολογίες 2000, 2005 και 2010 σύμφωνα με την εφαρμογή του αλγορίθμου της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας. Στα τελικά αποτελέσματα καταγράφηκε και για τις 3 διαφορετικές περιπτώσεις (2000, 2005 και 2010) αυξημένη τιμή του βαθμού επικινδυνότητας στα κατάντη της λεκάνης απορροής. Τα αποτελέσματα αυτά οφείλονται τόσο στις μικρές κλίσεις που παρατηρούνται στη συγκεκριμένη περιοχή όσο και στην ύπαρξη πυκνού υδρογραφικού δικτύου. Ταυτόχρονα, το αυξημένο ποσοστό επιφανειακής απορροής των υδάτων λόγω της ύπαρξης σχετικά αδιαπέρατων γεωλογικών σχηματισμών αλλά κυρίως εξαιτίας του διαρκώς αυξανόμενου ποσοστού αστικοποίησης στην περιοχή μελέτης, εντείνει την κατάσταση. Για να απεικονιστεί η αύξηση του βαθμού επικινδυνότητας πλημμυρών σε μορφή χάρτη, πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον GIS αφαίρεση του ψηφιδωτού αρχείου του δείκτη επικινδυνότητας για την περίοδο 2000 από το ψηφιδωτό αρχείο του 2010. Στην τελική εικόνα 7-1 εμφανίζεται το τελικό προϊόν της αφαίρεσης όπου με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές στις οποίες παρατηρείται αυξητική τάση του δείκτη επικινδυνότητας και

οι οποίες συμπίπτουν με τις περιοχές ύπαρξης αστικών κέντρων στην περιοχή (Λυθροδόνας, Μαθιάτης, Πέρα Χωριό-Νήσου, Δάλι, Αγία Βαρβάρα, Κοτσιάτης)



**Εικόνα 7-1: Καταγραφή της αύξησης του πλημμυρικού κινδύνου (κόκκινο χρώμα) στην περιοχή του ποταμού Γυαλιά για το χρονικό διάστημα 2000-2010**

- Αξίζει να αναφερθεί ότι η πιο πάνω διαδικασία καθώς και η μεθοδολογία που έχει αναπτυχθεί θα μπορούσε να εφαρμοστεί από τις Αρμόδιες κρατικές αρχές και υπηρεσίες σχετικά εύκολα. Τα οφέλη και πλεονεκτήματα μιας τέτοιας τεχνογνωσίας θα ήταν εξοικονόμηση πόρων, μείωση πλημμυρικών καταστροφών με πρόβλεψη και κατάρτιση χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας σε συνδυασμό με την εφαρμογή της Ευρωπαϊκής Οδηγίας 2007/60/EK.
- Είναι φανερό ότι η χρήση δορυφορικών δεδομένων για τον υπολογισμό της αστικοποίησης και την χαρτογράφηση των αλλαγών χρήσεων γης είναι παρά πολύ αποτελεσματική. Η λήψη δορυφορικών εικόνων σε τακτά χρονικά διαστήματα παρέχει την δυνατότητα συστηματικής κάλυψης των υπό μελέτη περιοχών, ιδιαίτερα για την Κύπρο όπου υπάρχουν καλές καιρικές συνθήκες, η χρήση δορυφορικής τηλεπισκόπησης από τις κρατικές υπηρεσίες αποτελεί ένα παρά πολύ χρήσιμο εργαλείο παρακολούθησης.

## 8 Βιβλιογραφία

Xiang ,F.N.,C.Z.,(2008). "Learning a Mahalanobis distance metric for data clustering and classification." *Pattern Recognition* 41, no. 12 (december 2008): 3600-3612.

Mather P ,(1999). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images, second edition, John Wiley, Chichester, UK.*

Alayande Adegoke Waheed, A. J. (2010). The Impacts of Urbanization on Kaduna River Flooding. *Journal of American Science*, 6(5), 28-35.

ArmyCorpsUS. (2000). Hydrologic Modeling System Hec-Hms. *Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center.

Gangodagamage, C. (2001). HYDROLOGICAL MODELING USING REMOTE SENSING AND GIS. *22nd Asian Conference on Remote Sensing* (σσ. 1-6). Singapore: Centre for Remote Imaging, Sensing and Processing (CRISP), National University of Singapore,;

Hadjimitsis, D. (2008). Detecting urbanization in the vicinity of Agriokalamini Catchment area in Paphos-Cyprus from remote sensing data: a flood hazard risk assessment and hydraulic analysis. *1st International Conference on Remote Sensing Techniques in Disaster Management and Emergency Response in the Mediterranean Region*. Zadar.

Joseph D.J. Mbogoni,ARI Mlingano. (2005). Topographic and Hydrologic Analysis for Determining Potential of Surface Water. *PROCEEDINGS OF THE EAST AFRICA RIVER BASIN MANAGEMENT. MOROGORO-TANZANIA.*

Savvidou,K. (2008). A study of the flood events in Cyprus. *Advances in Science and Research*, 2, 127-131.

Khan, D. (2005). Urban Development and Flooding in Houston Texas, Inferences from Remote Sensing Data using Neural Network Technique. *Environmental Geology*, 47(8), 1120-1127.

Weiland and Reinstorf (2009) , "The influence of land use and land cover changes on the flood risk in Santiago de Chile" *Helmholtz-Centre for Environmental Research – UFZ*

Menzel. L (2002). Climate change scenarios and runoff response in the Mulde catchment (Southern Elbe, Germany). *Journal of Hydrology*, 53-64.

N. I. Fox, C. G. (2000). Estimating medium-range catchment flood potential. *Journal of Hydrology*, 237(1-2), 1-16.

Rosso. R, M. C. (2002). An integrated simulation method for flash-flood risk assessment:2. Effects of changes in land-use under a historical perspective. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(3), 285-294.

Saaty (1994). *Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the AHP*. Pittsburgh, P.A.: RWS Publications.

Anselmo, V, G. G. (1996). Flood risk assessment using an integrated hydrological and hydraulic modelling approach: a case study. *Journal of Hydrology*, 175(1-4), 533-554.

Vanessa Cançado, L. B. (2008). Flood risk assessment in an urban area: Measuring hazard and Vulnerability. *11th International Conference on Urban Drainage* (σσ. 1-10). Edinburgh: Department of Hydraulics and Water Resources Engineering, Federal University of Minas Gerais.

Μαραγκουδάκη Ρ., Τ. Γ. (2005). Επίδραση της αστικοποίησης στα χαρακτηριστικά της πλημμύρας. *5ο Εθνικό Συνέδριο της ΕΕΔΥΠ «Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων με βάση τη λεκάνη απορροής»*, (σσ. 193-199). Ξάνθη.

Δερμίσης, Β. (2007). *Κίνδυνοι από το νερό και τα φερτά υλικά υδατορευμάτων, Διδακτικές Σημειώσεις Π.Μ.Σ. Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.*

Μπαντής, Σ. (2007). *Διαχείριση φυσικών κινδύνων - Κατολισθήσεις, Διδακτικές Σημειώσεις Π.Μ.Σ. Προστασία Περιβάλλοντος και Βιώσιμη Ανάπτυξη, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.*

Μαμάσης, Ν. (2007). *Διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου, Διδακτικές Σημειώσεις Π.Μ.Σ. Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων, Ε.Μ.Π., Αθήνα.*

Διαμαντής, Κ. Α. *Το πρόγραμμα HEC-HMS 3.0.0 μικρός οδηγός για το HEC-HMS στηριζόμενος στη λεκάνη της Μεσοχώρας.*

Βαφειάδης, Μάριος. (2000). *Επιφανειακή Υδρολογία. Διδακτικές Σημειώσεις Π.Μ.Σ. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής Και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη*

Βαφειάδης, Μάριος. (2011). *Υδρολογική Σύνθεση και Προσομοίωση. Διδακτικές Σημειώσεις Π.Μ.Σ. Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικής Και Τεχνικής Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ, Θεσσαλονίκη*

D.S. Fernández, M. L. (2010). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, 111, 90-98.

USGS. (2011). Ο υδρολογικός κύκλος. Ανάκτηση 2,2, 2011, από Γεωλογική Υπηρεσία ΗΠΑ: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclegreek.html>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

### 8.1 Πρόνοιες Τοπικού Σχεδίου Πάφου για αργακία

#### Πρόνοια 13.5.2 (γ)

«Η κοίτες όλων των αργακιών που διασχίζουν την περιοχή του Σχεδίου κάθετα προς την παραλία, θα πρέπει αφενός να προστατευθούν ώστε να παραμείνουν σαν φυσικοί σχηματισμοί απορροής των ομβρίων νερών και αφετέρου να αξιοποιηθούν σαν μέρος του ευρύτερου συστήματος δημόσιων ελεύθερων χώρων του Σχεδίου, ανάλογα με την περίπτωση, με πεζόδρομους, καθιστικά κλπ. Στην κοίτη και στις παρυφές των αργακιών/ποταμών δεν θα επιτρέπεται οποιαδήποτε ανάπτυξη και καμιά ανάπτυξη δεν θα εκτελείται σε απόσταση μικρότερη των 5.00 μέτρων από την κορυφή του πρανούς, του αργακιού ή ποταμού».

#### Πρόνοια 13.8.4

1) «Κατά μήκος της κοίτης χειμάρρων ή αργακιών, η Πολεοδομική Αρχή μπορεί να απαιτήσει την απόλυτη προστασία της λωρίδας γης που εφάπτεται, άμεσα με την κοίτη. Παράλληλα, λαμβανομένου υπόψη της τοπογραφίας και γεωμορφολογίας της περιοχής, μπορεί η Πολεοδομική Αρχή να ζητήσει την αύξηση της απόστασης των οικοδομών από τα σύνορα των τεμαχίων, ώστε να διασφαλίζεται η φυσική και οπτική επαφή με τους σχηματισμούς αυτούς και να μην παρεμποδίζεται η απορροή των νερών.»

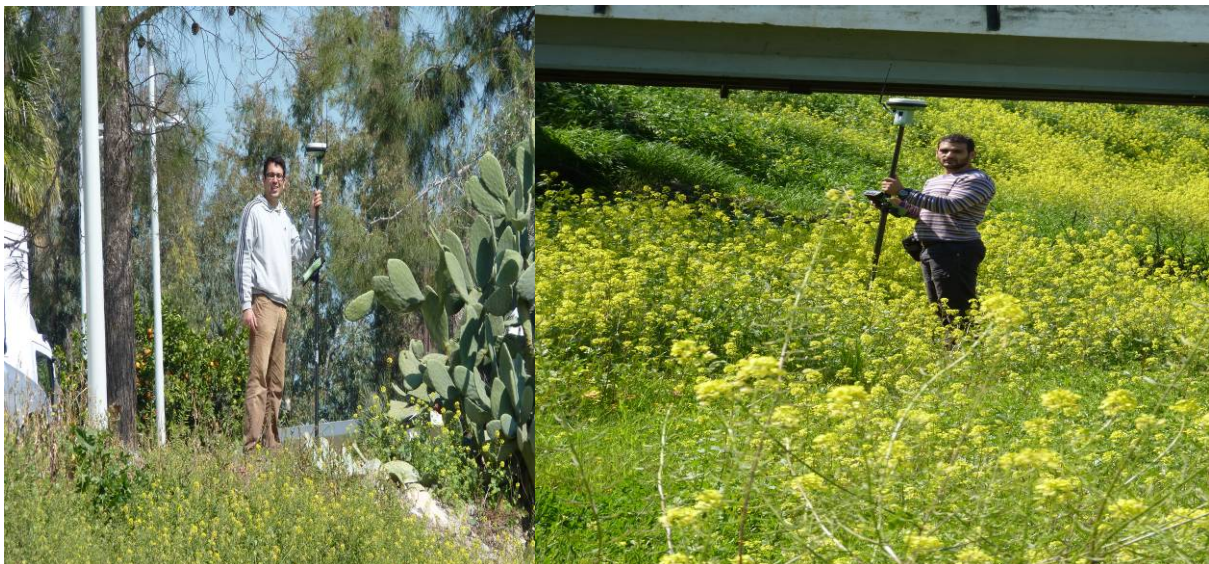
2) «Κατά μήκος της κοίτης χειμάρρων ή αργακιών, η Πολεοδομική Αρχή μπορεί να απαιτήσει την απόλυτη προστασία της λωρίδας γης που εφάπτεται, άμεσα με την κοίτη. Παράλληλα, λαμβανομένου υπόψη της τοπογραφίας και γεωμορφολογίας της περιοχής, μπορεί η Πολεοδομική Αρχή να ζητήσει την αύξηση της απόστασης των οικοδομών από τα σύνορα των τεμαχίων, ώστε να διασφαλίζεται η φυσική και οπτική επαφή με τους σχηματισμούς αυτούς και να μην παρεμποδίζεται η απορροή των νερών.»



## 8.2 Αποτύπωση κοίτης ποταμού Γιαλιά στις περιοχές Ιδαλίου και Πέρα Χωριού-Νήσου, 15 Μαρτίου 2011



Εικόνα 8-1: Τοποθέτηση και οριζοντίωση τρισδιάστατου σαρωτή, Leica Laser Scanner



Εικόνα 8-2: Αποτύπωση σημείων με Leica Gps





**Εικόνα 8-3: Αποτύπωση γέφυρας για σκοπούς υδραυλικής προσομοίωσης του ερευνητικού προγράμματος "SATFLOOD"**



**Εικόνα 8-4: Τοποθέτηση στόχων αποτύπωση περιοχής με Laser Scanner Leica**





**Εικόνα 8-5: Τοποθέτηση στόχων ώστε να περιληφθεί στην τρισδιάστατη σάρωση η γέφυρα.**



**Εικόνα 8-6: Τοποθέτηση στόχων ώστε να περιληφθεί στην τρισδιάστατη σάρωση η γέφυρα.**





**Εικόνα 8-5: Τοποθέτηση πομπού για να γίνει αποτύπωση με Leica Gps**