



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ
ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΣΕΡΡΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
& ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ**



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

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ

ΑΡΓΥΡΗΣ ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ
Διπλ. Γεωλόγος Γεωτεχνικός Ε.Κ.Π.Α.

**ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ GIS
ΣΤΗ ΜΑΝΔΡΑ ΑΤΤΙΚΗΣ**

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

**Ι. Φουντούλης
Δ. Παπανικολάου
Ε. Λέκκας**

**Αναπλ. Καθηγητής ΕΚΠΑ (Επιβλέπων)
Καθηγητής ΕΚΠΑ
Καθηγητής ΕΚΠΑ**

**ΑΘΗΝΑ
ΜΑΡΤΙΟΣ 2010**



**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ**



**ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ**



Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης

.....στο θείο μου



τον παπα Μαρίνο.....

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1. Γενικά περί πλημμυρών – Φυσική καταστροφή ή φυσική διεργασία;	1
1.2. Στόχος διπλωματικής εργασίας	1
1.3. Μεθοδολογία	2
1.4. Θέση και έκταση περιοχής μελέτης	2
1.5. Διάρθρωση της μεταπτυχιακής εργασίας	4
2. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ & ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΣΟΥΡΕΣ	6
2.1. Αίτια πλημμυρών.....	6
2.1.1. Γενικά περί αιτίων ποτάμιων πλημμυρών.....	6
2.1.2. Διαπίστωση των αιτίων των πλημμυρών στη λεκάνη του χειμάρρου Σούρες, στα πλαίσια της αναγνώρισης του κινδύνου.....	7
2.2. Ιστορικό πλημμυρικών επεισοδίων στην περιοχή μελέτης.....	23
2.3. Βιβλιογραφία.....	25
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	26
3.1. Γεωγραφική θέση χειμάρρου Σούρες	26
3.2. Χαρακτηριστικά στοιχεία λεκάνης απορροής χειμάρρου Σούρες	26
3.2.1. Η εξεταζόμενη λεκάνη σε αριθμούς.....	26
3.2.2. Βροχοπτώσεις.....	28
3.2.3. Θερμοκρασία.....	29
3.2.4. Σχετική υγρασία.....	30
3.2.5. Άνεμοι.....	30
3.2.6. Χλωρίδα.....	31
3.2.7. Πανίδα.....	31
3.3. Χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής του ρέματος χειμάρρου Σούρες	32
3.3.1. Κατοικία.....	32
3.3.2. Τουρισμός - Αναψυχή - Παραθεριστική κατοικία.....	33
3.3.3. Βιομηχανία – Βιοτεχνία.....	34
3.3.4. Γεωργική γη.....	35
3.3.5. Δάση - Δασικές εκτάσεις.....	35
3.4. Γεωλογικό υπόβαθρο της λεκάνης απορροής.....	36
3.5. Υδρολογικές συνθήκες –καρστικοποίηση.....	40

3.5.1.	Υδρολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών που απαρτίζουν το υπόβαθρο της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Σούρες.....	40
3.5.2.	Καρστικά συστήματα λεκάνης απορροής χειμάρρου Σούρες.....	42
3.6.	Υδρογραφικό δίκτυο.....	45
3.7.	Γεωδυναμικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής – Αίτιο για την επιλεκτική κατεύθυνση ροής και ανάπτυξης του Υ.Δ. Σούρες	48
3.8.	Βιβλιογραφία.....	54
4.	ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ	57
4.1.	Περί των υδρολογικών καταγραφών του μετεωρολογικού σταθμού του αεροδρομίου Ελευσίνας	57
4.2.	Ανάλυση συχνότητας - θεωρητικό υπόβαθρο	58
4.3.	Πρακτικός τρόπος ανάλυσης συχνότητας	61
4.4.	Χρήση συναρτήσεων κατανομής πιθανότητας	65
4.4.1.	Μέθοδος του παράγοντα της συχνότητας.....	65
4.4.2.	Κατανομή Ακραίων Τιμών Τύπου I (Gumbel).....	67
4.4.3.	Κατανομή Pearson III.....	69
4.4.4.	Κατανομή Λογαριθμική Pearson III (Log Pearson III).....	69
4.4.5.	Συσχέτιση των μεγίστων τιμών περιόδου επαναφοράς των κατανομών Λογαριθμικής Pearson III (Log Pearson III) & Ακραίων Τιμών Τύπου (Gumbel).....	71
4.5.	Συμπεράσματα από την ανάλυση της συχνότητας των βροχοπτώσεων	72
4.6.	Βιβλιογραφία.....	75
5.	ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΓΠΣ (GIS) ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ & ΠΟΛΥΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗΣ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	76
5.1.	Γενικά χαρακτηριστικά των Σ.Γ.Π.	76
5.2.	Κανονικοποιημένα (ή μωσαϊκά) μοντέλα	77
5.3.	Προκαταρκτικά στάδια σε περιβάλλον Σ.Γ.Π. εν όψει εφαρμογής των μεθοδολογιών	78
5.3.1.	Παραγωγή του Ψηφιακού Μοντέλου εδάφους (DEM)	78
5.3.1.1.	Γενικά περί Ψηφιακού Μοντέλου εδάφους.....	78
5.3.1.2.	Παραγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της λεκάνης του χειμάρρου Σούρες	79
5.3.2.	Πρώιμο στάδιο επεξεργασίας του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (DEM)	84
5.3.2.1.	Απομάκρυνση των Κοιλωμάτων του ΨΜΕ.....	84
5.3.2.2.	Προσομοίωση επιφανειακής απορροής –Κατεύθυνση ροής	84
5.3.2.3.	Συσώρευση της απορροής	86

5.3.2.4.	<i>Παραγωγή & καθορισμός πλέγματος σύνδεσης ρευμάτων.....</i>	88
5.3.2.5.	<i>Παραγωγή Υδρογραφικού δικτύου διανυσματικής μορφής.....</i>	90
5.3.3.	<i>Παραγωγή Υδρολογικών Λεκανών - Υπολογισμοί υδρολογικών παραμέτρων υπολεκανών.....</i>	92
5.3.3.1.	<i>Χωρική απόδοση των λεκανών απορροής.....</i>	93
5.3.3.2.	<i>Υπολογισμός παραμέτρων.....</i>	94
5.4.	Βιβλιογραφία.....	94
6.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΧΕΙΜΑΡΡΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΙΚΗ (ΜΕΘΟΔΟΣ STREAM POWER).....	96
6.1.	Εισαγωγή	96
6.2.	Τρόποι υπολογισμού των παραμέτρων της μεθόδου.....	98
6.2.1.	<i>Υπολογισμός ενεργούς κλίσης.</i>	98
6.2.2.	<i>Υπολογισμός των παροχών.</i>	99
6.3.	Εφαρμογή της μεθόδου και αποτελέσματα.....	100
6.3.1.	<i>Εφαρμογή stream power στο χείμαρρο Σούρες.</i>	100
6.3.2.	<i>Εφαρμογή stream power στο χείμαρρο Αγίας Αικατερίνης.....</i>	106
6.3.3.	<i>Εφαρμογή stream power στο χείμαρρο Μικρό Κατερίνι.....</i>	111
6.4.	Συμπεράσματα από την εφαρμογή της ενέργειας χειμάρρου στο υπό μελέτη υδρογραφικό δίκτυο.....	116
6.5.	Βιβλιογραφία.....	120
7.	ΠΟΛΥΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΚΑΙ ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ.....	122
7.1.	Γενικά περί μεθοδολογιών Εκτίμησης του Πλημμυρικού κινδύνου.....	122
7.2.	Θεωρητική Προσέγγιση της Πολυπαραγοντικής Μορφομετρικής Ανάλυσης.....	123
7.2.1.	<i>Μετατροπή της Δυναμικής Ενέργειας σε Κινητική.....</i>	123
7.2.2.	<i>Η κρίσιμη παράμετρος της μορφολογικής κλίσης – Μεταβολή της ορμής του νερού κατά μήκος της διαδρομής του.</i>	124
7.3.	Πρακτική εφαρμογή της μεθόδου & εξαγωγή χαρτών κινδύνου - τρωτότητας στη λεκάνη του χειμάρρου Σούρες.....	125
7.3.1.	<i>Παραγωγή χάρτη πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης.....</i>	125
7.3.2.	<i>Παραγωγή χάρτη πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης- αναγλύφου.....</i>	128

7.3.3. Παραγωγή χάρτη τρωτότητας λεκάνης	130
7.4. Συμπεράσματα από την εφαρμογή της πολυπαραγοντικής μορφομετρικής ανάλυσης στο υπό μελέτη υδρογραφικό δίκτυο.....	134
7.5. Βιβλιογραφία.....	135
8. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	136
8.1. Συμπεράσματα από την εκπόνηση της παρούσας εργασία.....	136
8.2. Προτάσεις για μέτρα αντιμετώπισης του κινδύνου της πλημμύρας στην υδρολογική λεκάνη του χείμαρρου Σούρες.....	142

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γενικά περί πλημμυρών – Φυσική καταστροφή ή φυσική διεργασία;

Ο έλεγχος της φύσης ήταν, είναι και θα παραμείνει η φιλοδοξία, ο πόθος και συνάμα η ματαιοδοξία του ανθρώπου. Ο άνθρωπος σαν κυρίαρχο είδος πάνω στη γη, κατάφερε να υποτάξει τη χλωρίδα και τη πανίδα. Τα καιρικά φαινόμενα όμως μέχρι σήμερα δεν κατέστη δυνατόν να τα δαμάσει, με την υποψία πάντα ότι έχει επηρεάσει το παγκόσμιο κλίμα (αν εξαιρέσουμε την περιοδικότητα των φαινομένων μέσα στο γεωλογικό χρόνο), με την αλόγιστη χρήση (=κατάχρηση) των φυσικών πόρων. Το ίδιο συμβαίνει και με τα αποτελέσματα των καιρικών φαινομένων όπως π.χ. το αποτέλεσμα των υδάτινων όγκων που προέρχονται από την τοπική ισχυρή βροχόπτωση, την υπερχείλιση ποταμού, την εισροή της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές και προκαλούν τις **πλημμύρες**.

Τα πλημμυρικά φαινόμενα αποτελούν μια φυσική κατ' αρχήν διαδικασία που συνέβαινε και θα συμβαίνει πάντα όταν η ένταση και η ποσότητα της βροχής ξεπερνούν την ικανότητα του εδάφους και του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής να απορροφήσει και να αποστραγγίσει αντίστοιχα το νερό που συγκεντρώνεται. Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν πλημμύρες δεν μπορούν να ελεγχθούν, αλλά οι γεωμορφολογικές και εδαφολογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής είναι δυνατόν να τροποποιηθούν με την ανθρώπινη επέμβαση.

Ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι συνάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης του φυσικού φαινομένου και της επίδρασης που θα έχει στην ανθρώπινη κοινωνία. Επομένως, εάν αυτός ο κίνδυνος πραγματοποιηθεί, προκαλούνται θάνατοι ή τραυματισμοί ανθρώπων και καταστροφές σε κατασκευές. Άρα ο ορισμός των πλημμύρων σαν φυσική καταστροφή έχει ανθρωποκεντρικό χαρακτήρα, ενώ δεν είναι τίποτε άλλο από μια φυσική διεργασία τυχαία η περιοδική.

1.2. Στόχος διπλωματικής εργασίας

Ο στόχος της διπλωματικής εργασίας επιμερίζεται σε δύο άξονες

A) στην εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας του χειμάρρου Σούρες στη Μάνδρα Αττικής με τον προσδιορισμό συγκεκριμένων περιοχών αυξημένου πλημμυρικού κινδύνου. Η εκτίμηση αυτή αποτυπώνεται σε χάρτες ανάλογου θεματικού πεδίου κλίμακας 1:5.000. Για το λόγο ότι τα αποτελέσματα χαρακτηρίζονται από υψηλό βαθμό αξιοπιστίας και παράλληλα από μικρό χρόνο ανάλωσης για την ανάπτυξη της μεθοδολογίας (με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών - GIS), φιλοδοξεί, να αποτελέσει ένα εργαλείο υποβοήθησης λήψεων αποφάσεων στα κέντρα της τοπικής αυτοδιοίκησης, που έχουν επιφορτιστεί (τουλάχιστον στα χαρτιά) το έργο της πρόληψης και καταστολής των πλημμυρικών επεισοδίων.

B) στην υποβολή προτάσεων αντιπλημμυρικών έργων, στα σημεία που έχουν καταδειχθεί με την εφαρμογή της μεθοδολογίας για ανάλυση του πλημμυρι-

κού κινδύνου, με γνώμονα τη γεωοικολογική παρέμβαση στα ανάντη του χειμάρρου.

1.3. Μεθοδολογία

Για την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας εφαρμόστηκε η θεωρία του προσδιορισμού της εκτόνωσης της δυναμικής ενέργειας του νερού της βροχόπτωσης σε μια λεκάνη, μέσω της μετατροπής της σε κινητική και η τελική (ή προσωρινή) απόσβεσής της σε ένα τοπικό βασικό επίπεδο. Στην πράξη εφαρμόστηκαν δύο μεθοδολογίες α) ο προσδιορισμός της *Ενέργειας Χειμάρρου (stream power)* σε διαμορφωμένες κοίτες του υδρογραφικού δικτύου & β) η *Πολυπαραγοντική Μορφομετρική Ανάλυση Αναγλύφου* της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Σούρες. Οι δύο αυτές εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), αφού απαιτείται χωρική ανάλυση όλων των παραμέτρων, με απώτερο σκοπό την παραγωγή χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας, έτοιμων προς χρήση. Με την χρήση της υψομετρικής πληροφορίας και της προσομοίωσης του αναγλύφου της περιοχής ενδιαφέροντος, κατέστη δυνατή η παραγωγή του υδρογραφικού δικτύου και των υδρολογικών λεκανών απορροής με διανυσματική (γραμμική και πολυγωνική απεικόνιση) και κανναβική μορφή αντίστοιχα. Η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους αλλά και οι μετέπειτα επεξεργασίες αυτού πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του λογισμικού ArcGIS της ESRI και της εξειδικευμένης εργαλειοθήκης ArcHydro.

Η ιδέα της δημιουργίας χαρτών επικινδυνότητας με βάση την αναφερόμενη μεθοδολογία ωρίμασε κατά την διεκπεραίωση σχετικού εφαρμοσμένου ερευνητικού προγράμματος στην Λακωνία (Φουντούλης κ.συν., 2007). Είναι η πρώτη φορά όμως που επιχειρείται η εφαρμογή της σε Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους που έχει προκύψει από χάρτες κλίμακας 1:5.000, τα αποτελέσματα της οποίας είναι θαυμαστά.

1.4. Θέση και έκταση περιοχής μελέτης

Η εν λόγω εργασία εκπονήθηκε στην Δυτική Αττική και συγκεκριμένα στην υδρολογική λεκάνη του χειμάρρου Σούρες, ενός υδρολογικού συστήματος που πηγάζει και αποστραγγίζει το κεντρικό τμήμα των ανατολικών – νοτιοανατολικών απολήξεων του Όρους Πατέρα, και εκβάλλει στον Σαρωνικό κόλπο, πλησίον του ρέματος Σαρανταπόταμου στα δυτικά της πόλης της Ελευσίνας.

Η συνολική έκταση της λεκάνης υπολογίσθηκε στα 58 περίπου Km². Το 90% της έκτασης της λεκάνης βρίσκεται εντός των διοικητικών ορίων του δήμου Μάνδρας (52,2 Km²), το 8,7% εντός της κοινότητας Μαγούλας (5,1 Km²), και ένα μικρό τμήμα 1,3% εντός των διοικητικών ορίων του δήμου Ελευσίνας (0,78 Km² Χάρτης 1-1).



Χάρτης 1-1: Η υδρολογική λεκάνη του χειμάρρου Σούρες, σε σχέση με τις γειτονικά όρη της Πάρνηθας, του Κιθαιρώνα, του Πατέρα, καθώς και με τα διοικητικά όρια της Νομαρχίας Δ. Αττικής του Δήμου Μάνδρας & της Κοινότητας Μαγούλας.

Για την εκπόνηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν :

A) Χάρτες της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού α) με κλίμακα 1:50.000 τα φύλλα Ερυθραί και Αθήναι - Ελευσίς και

β) με κλίμακα 1:5.000 τα φύλλα A/A: 6432/, 6432/8, 6441/2, 6442/1, 6442/2, 6442/3, 6442/4, 6443/1, 6443/3

B) Γεωλογικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 τα φύλλα Ερυθραί (Δούνας 1971) και Αθήναι – Ελευσίς (Δούνας , Κατσικάτσος Μέττος, Βιδάκης 1980)

Ιδιαίτερη συμβολή στην απεικόνιση και κατανόηση διαφόρων θεμάτων κυρίως των χρήσεων γης, έγινε από δορυφορικές φωτογραφίες της ιστοσελίδας Google.

Η μελετηθείσα περιοχή ορίζεται από τις συντεταγμένες (σε WGS84):

38° 02' 28'' έως 38° 07' 13'' Βόρειο πλάτος

23° 23' 06'' έως 23° 31' 60'' Ανατολικό μήκος

1.5. Διάρθρωση της μεταπτυχιακής εργασίας.

Η παρούσα εργασία διαμορφώνεται ως εξής:

Στο Κεφ. 2 καταγράφεται και αναγνωρίζεται ο κίνδυνος της πλημμύρας στη λεκάνη Σούρες. Πρόκειται για μία εργασία που αφορά την αντίληψη του κινδύνου και αποτελεί ένα από τα δύο πρωταρχικά στάδια για την ΠΡΟΛΗΨΗ του. Το δεύτερο στάδιο αφορά την εκτίμηση (ανάπτυξη της μεθοδολογίας), που αποτελεί και το κύριο αντικείμενο της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφεται η λεκάνη απορροής και αναπτύσσονται τα υδρολογικά, υδρολιθολογικά και άλλα χαρακτηριστικά της (χρήσεις γης, χλωρίδα, πανίδα, κ.α.). Στο κεφάλαιο 4 διερευνάται η συχνότητα των βροχοπτώσεων, η οποία συνδυαζόμενη με τα πλημμυρικά επεισόδια, δίδουν τη σχέση και τη περιοδικότητα των φαινομένων βροχής - πλημμύρας. Στο κεφάλαιο 5 αναγνωρίζεται η συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στην ανάπτυξη των μεθοδολογιών που ακολουθούν.

Στο κεφ.6 μελετάται η ενέργεια χειμάρρου (stream power) στη λεκάνη του Σούρες, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως η ενεργός κλίση & η παροχή σε κάθε σημείο επί της κοίτης. Αναλύονται δηλαδή υδραυλικές παράμετροι της κοίτης, (οι οποίες μπορούν να εμπλουτιστούν με διατομές και άλλα χαρακτηριστικά) σε συνδυασμό με τη συγκέντρωση (συσσώρευση) του νερού σε κάθε σημείο που αλλάζει η ενεργός κλίση. Αν και περιέχεται η χωρική πληροφορία με τη *συσσώρευση ροής*, ωστόσο στον υπολογισμό της παροχής λαμβάνεται υπ όψη η ενεργός βροχόπτωση, που αποτελεί «εξωγενή» παράγοντα (προερχόμενο από την ατμόσφαιρα), ως προς την λεκάνη που ανήκει στη λιθόσφαιρα. Εν το μεταξύ ο υπολογισμός της ενεργούς βροχόπτωσης δηλ το ποσοστό της βροχής το οποίο τελικά απορρέει, υπολογίζεται με διάφορες μεθόδους, στις οποίες υπεισέρχεται ο υποκειμενικός παράγοντας, αφού

για το απορρέων κλάσμα βροχής κυρίαρχο ρόλο παίζουν η γεωλογία, η δασοκάλυψη (και γενικά οι χρήσεις γης), το ποσοστό της περιβάλλουσας υγρασίας κ.α.

Στο κεφάλαιο 7 η προσπάθεια εστιάζεται, στη διερεύνηση μόνο των «ενδογενών» παραγόντων που επηρεάζουν μια πλημμύρα και αφορούν τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής οποιασδήποτε τάξης, απομονώνοντας τη συμπεριφορά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων κυρίως ως προς τη χρονική τους εμφάνιση¹. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τη χρήση μορφομετρικών στοιχείων του αναγλύφου, σε περιβάλλον GIS για τον υπολογισμό της ενδογενούς πλημμυρικής επικινδυνότητας ως φυσικού μεγέθους, σαν γενική τάση κατανεμημένη στη περιοχή έρευνας, με την εξαγωγή χαρτών πλημμυρικού κινδύνου & πλημμυρικής επικινδυνότητας (εφόσον γίνεται στάθμιση των χαρτών με το συντελεστή Mapping που εκφράζει χρήσεις γης που ισοδυναμούν με τη *τρωτότητα* της ανθρώπινης δραστηριότητας).

Στο τελευταίο κεφάλαιο γίνεται σύνθεση των παρατηρήσεων που έχουν προκύψει, οπότε και αναδεικνύονται οι επιρρεπείς περιοχές για πλημμυρικά φαινόμενα. Τέλος προτείνονται άμεσες, μεσοπρόθεσμες άλλα και μακροπρόθεσμες ενέργειες για την αντιμετώπιση του πλημμυρικού κινδύνου και μάλιστα έξω από τα στενά όρια της λεκάνης εφόσον δεχθούμε ότι το υδρογραφικό δίκτυο του Σούρες, αποτελεί ένα υποσύστημα ενός μεγαλύτερου εκείνου του Σαρανταπόταμου που δεσπόζει στη Δυτική Αττική.

¹ Η συμπεριφορά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων σε σχέση με το χρόνο χαρακτηρίζεται: α) Τυχαία αλλά σύνθετη β) Κανονικοί κύκλοι στην κλίμακα των εποχών του έτους (εποχιακή διακύμανση) γ) Τυχαίες διακυμάνσεις (ακανόνιστοι κύκλοι) σε όλες τις χρονικές κλίμακες δ) Χρονική και χωρική εξάρτηση

2. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ & ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΤΟΥ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ ΣΟΥΡΕΣ

Ως γνωστό τα δύο πρωταρχικά στάδια της Πρόληψης και της Διαχείρισης των κινδύνων είναι η αντίληψη και η εκτίμησή των. Πριν επομένως εκτιμηθεί ο πλημμυρικός κίνδυνος του εν λόγω χειμάρρου (που αποτελεί και το κύριο αντικείμενο της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας), επιβάλλεται να καταγραφεί και να αναγνωρισθεί.

2.1. Αίτια πλημμυρών

Οι τύποι των πλημμυρών είναι τρεις: ποτάμιες, παράκτιες και εκείνες που οφείλονται στην τήξη χιονιού και πάγου σε ορεινές – πολικές περιοχές. Στην συνέχεια περιγράφονται τα αίτια των ποτάμιων πλημμυρών, που αφορούν την εξεταζόμενη περιοχή τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό πλαίσιο, με την παράθεση φωτογραφικών ντοκουμέντων.

2.1.1. Γενικά περί αιτίων ποτάμιων πλημμυρών

Οι βαθύτερες αιτίες των ποτάμιων πλημμυρών (βροχόπτωση), είναι φυσικά φαινόμενα τα οποία δεν μπορούν κατ' ουσία να ελεγχθούν. Εντούτοις, το εάν μια δεδομένη βροχόπτωση, θα προκαλέσει ζημίες λόγω πλημμύρας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις ανθρώπινες ενέργειες.

Τα συνήθη αίτια των πλημμυρών είναι πολλά, τα σημαντικότερα είναι:

- Η στεγανοποίηση της επιφάνειας της γης, λόγω αστικής ανάπτυξης
- Η πλήρης κάλυψη των κοιτών των χειμάρρων.
- Ότι η αντιπλημμυρική προστασία γίνεται από τις πεδινές περιοχές προς τα ανάντη και όχι αντιθέτως.
- Ο εγκιβωτισμός της κοίτης & η εξάλειψη των φυσικών πεδίων κατάκλυσης
- Οι διαστάσεις και το μικρό ύψος των γεφυρών.
- Η περιοδικότητα του πλημμυρικού φαινομένου, που μπορεί να διακριθεί σε μικρής και μεγαλύτερης διάρκειας, που συνδέεται με την κίνηση της γης και της σελήνης.
- Η αποψίλωση των δασών από πυρκαγιές ή άλλα αίτια και η επακόλουθη διάβρωση.
- Η κατασκευή μεγάλων έργων, κυρίως οδικών, εγκάρσια προς την κοίτη, ιδιαίτερα σε περιοχές που δεν υπάρχει εμφανής διατομή της.
- Οι καθιζήσεις που παρατηρούνται σε πεδινές περιοχές, λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων π.χ. λόγω υπεραντλήσεων.
- Αλλαγή ή εκτροπή κοίτης.

Σημαντική παράμετρος στη μελέτη της υποβάθμισης των υδατορευμάτων είναι το ποσοστό της αστικοποίησης. Όπως είναι φανερό η αστικοποίηση είναι μια διαδικασία με πολλές φυσικές, περιβαλλοντικές και κοινωνικές διαστάσεις. Όταν γίνεται αναφορά στην υποβάθμιση ενός υδατορεύματος αναφερόμαστε:

- Στην αλλαγή των υδρολογικών δεδομένων που αντιστοιχούν στο υδατό- ρευμα
- Στην αλλαγή των υδραυλικών και άλλων φυσικών χαρακτηριστικών του υ- δατορεύματος
- Στην αλλαγή του οικοσυστήματος του υδατορεύματος, της δομής των ενδι- αιτημάτων και της βιοποικιλότητας
- Στην αλλαγή της ποιότητας του νερού του υδατορεύματος. Όταν τα πλημ- μυρικά νερά παρασύρουν ρύπους ή αναμειγνύονται με μολυσμένα νερά από αποστραγγίσεις και γεωργικές γαίες μπορεί να προκαλέσουν υγειονο- μικές συνέπειες.

Διεθνώς η επιστημονική έρευνα φαίνεται μετά από προσπάθειες δεκαετιών, να καταλήγει σε ένα μάλλον απρόσμενο συμπέρασμα: ότι δηλαδή η υποβάθμιση των υδατορευμάτων συμβαίνει σε περιπτώσεις χαμηλών ποσοστών αδιαπερατότητας (π.χ. 10 – 20%). Αυτό σημαίνει ότι και μικρά ποσοστά αστικοποίησης μπορούν να οδηγήσουν σε καταστροφικά αποτελέσματα για τα υδατορεύματα της περιοχής. Παρόλο που οι αστικές περιοχές καταλαμβάνουν λιγότερο από το 3% της γήινης επιφάνειας, εν τούτοις οι συνέπειες της αστικοποίησης στους κινδύνους πλημμυ- ρών είναι δυσανάλογα μεγάλες. Μεταξύ 1970 και 1990 το ποσοστό ανθρώπων που ζει σε αστικές περιοχές αυξήθηκε κατακόρυφα από 37% σε 47% (UNEP, 1991α).

Η υδρολογική σημασία της αστικοποίησης αντανakλά την ευρείας κλίμακα προέλευση της πλημμυρικής διαδικασίας. Έχει άλλωστε αποδειχθεί ότι οι αστικές περιοχές διαμορφώνουν ένα δικό τους ιδιαίτερο κλίμα και ότι σε αυτές πέφτει και περισσότερη βροχή λόγω του μικροκλίματος (Perry, 1981). Ωστόσο οι πλημμυρι- κές συνθήκες στις αστικές περιοχές διαφοροποιούνται λόγω αλλαγής της μορφο- λογίας του ρέματος. Αυτό συμβαίνει είτε σκόπιμα με κατάλληλο σχεδιασμό και ε- πένμβαση έτσι ώστε να βελτιωθεί η μεταφορική ικανότητα του υδατορεύματος, ή προέρχεται από την προσαρμογή των κατάντη περιοχών στην διαφορετική ποσό- τητα νερού και φερτών των αστικοποιημένων περιοχών.

Η διαπίστωση όμως των αιτίων, δεν εμποδίζει τις πλημμύρες ούτε τις κατα- στροφές, παρ' όλες τις προσπάθειες που καταβάλουν (ή πουν δεν καταβάλουν) οι αρμόδιοι φορείς και ιδιαίτερα οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης. Βασική φιλο- σοφία στην όποια αντιπλημμυρική προστασία, είναι να μην αγνοείται η μακροχρό- νια δυναμική των ρεμάτων, που εκφράζεται με την γεωμετρία της διατομής της φυσικής κοίτης και με τα γεωλογικά χαρακτηριστικά των σύγχρονων προσχώσεων (μέγεθος και σύνθεση κλαστικών υλικών).

2.1.2. Διαπίστωση των αιτίων των πλημμυρών στη λεκάνη του χειμάρρου Σούρες, στα πλαίσια της αναγνώρισης του κινδύνου

Εξαιρώντας (προς το παρών) το φυσικό φαινόμενο της βροχόπτωσης σαν αίτιο των πλημμυρών (του οποίου το μέγεθος και η συχνότητα εμφάνισης μελετώνται στο Κεφ.4), απομένει το αίτιο των ανθρώπινων παρεμβάσεων στα στοιχεία του

χειμάρρου (δηλ. κυρίως κοίτη, αναβαθμίδες και λεκάνη κατάκλυσης), λόγω αύξησης του πληθυσμού και των δραστηριοτήτων του.

Πριν αναγνωρισθούν οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις στην κοίτη και την λεκάνη κατάκλυσης του χειμάρρου Σούρες, θα πρέπει να αναζητηθεί ο λόγος για τον οποίο συμβαίνουν. Είναι γνωστό ότι κατά την αστικοποίηση αυξάνεται η ζήτηση γης και κατ'επέκταση αυξάνεται και η αξία της με όλα τα επακόλουθα που αναφέρθηκαν παραπάνω. Το ίδιο συμβαίνει και με τους κατοικούντες στη λεκάνη Σούρες. Όμως γιατί διακινδυνεύουν την περιουσία τους, οικοδομώντας στο ρέμα ή στις αναβαθμίδες. Για να απαντηθεί αυτό το ερώτημα θα πρέπει να γίνει μια σύντομη αναφορά στο υδρολογικό ισοζύγιο της λεκάνης.

Ως γνωστόν η εξίσωση του υδρολογικού ισοζυγίου δίδεται απ' την σχέση:

$$P + (-) R - ET - I = 0 \text{ όπου:}$$

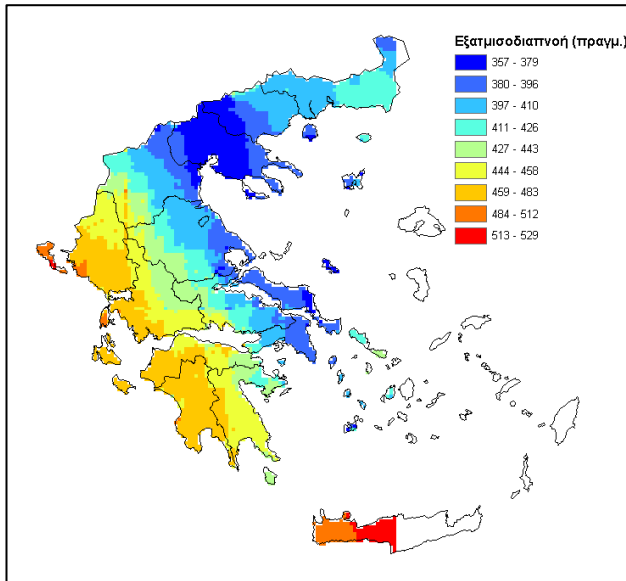
P: η βροχόπτωση
R: η επιφανειακή απορροή
ET: η εξατμισοδιαπνοή
I: η κατείσδυση

Η βροχόπτωση P σε ένα σημείο στη λεκάνη απορροής, ισούται με το υψόμετρο του σημείου επί τη βροχοβαθμίδα της περιοχής, πλέον το ύψος βροχής στο επίπεδο του μηδενός. Η εξίσωση της βροχοβαθμίδας για την περιοχή μελέτης, βάσει των βροχομετρικών σταθμών Πειραιά, Ελευσίνας, Μεγάρων, Αστεροσκοπείου, Ν. Φιλαδέλφειας, Παράδεισου Αμαρουσίου, Μπογιατίου (Νέου), Αναβρύτων, Μπογιατίου (παλαιού) και Κηφισιάς είναι: $\psi = 0,4 \cdot \chi + 420$ (Δούνας 1971) Οπότε το μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης υπολογίζεται στα 524 mm, με δεδομένο το μέσο υψόμετρο της λεκάνης 260 μέτρα.

Οι απώλειες του νερού λόγω εξατμισοδιαπνοής, προκύπτουν από το χάρτης κατανομής της ετήσιας πραγματικής εξατμισοδιαπνοής σε mm του Εργαστηρίου Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδάτινων Ε.Μ.Π. Έτσι η ελάχιστη πραγματική εξατμισοδιαπνοή για την περιοχή μελέτης είναι 397 mm ενώ η μέγιστη 410 mm. Δεχόμαστε για την περίπτωση της λεκάνης την τιμή των 400 mm.

Η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος δομείται κυρίως από Τριαδικούς ασβεστολίθους που ανήκουν στη κατηγορία των μακροπερατών - καρστικών σχηματισμών (βλ. Κεφ.3). Η κίνηση του νερού εντός των ανθρακικών μαζών είναι ανισότροπη και τυρβώδης, στην περίπτωση κινήσεως εντός αγωγών μεγάλης διαμέτρου. Η κατακόρυφη περατότητα, είναι πολύ υψηλή σε σχέση με την οριζόντια. Από την διαβρωτική διεργασία που πραγματοποιείται εξαιτίας της κίνησης του νερού, δημιουργούνται διάφοροι τύποι καρστικών εγκοίλων ποικίλου μεγέθους. Η κατείσδυση έχει υπολογισθεί για τη εν λόγω περιοχή, με τον τύπο του Kessler και έχει συνδυαστεί με μετρήσεις των D. Burdon - N.Parakis (1963) που έχουν εκπονήσει στην ασβεστολιθική περιοχή Παρνασσού - Γκιώνας (εφόσον η κατανομή των ασβεστολιθικών και στεγανών σχηματισμών, η φυσιογραφία και οι υπόλοιποι παράγοντες είναι περίπου οι ίδιοι). Οπότε προκύπτει κατείσδυση 35% - 55% επί του πίπτοντας υετού, ανάλογα με το βαθμό καρστικοποίησης.

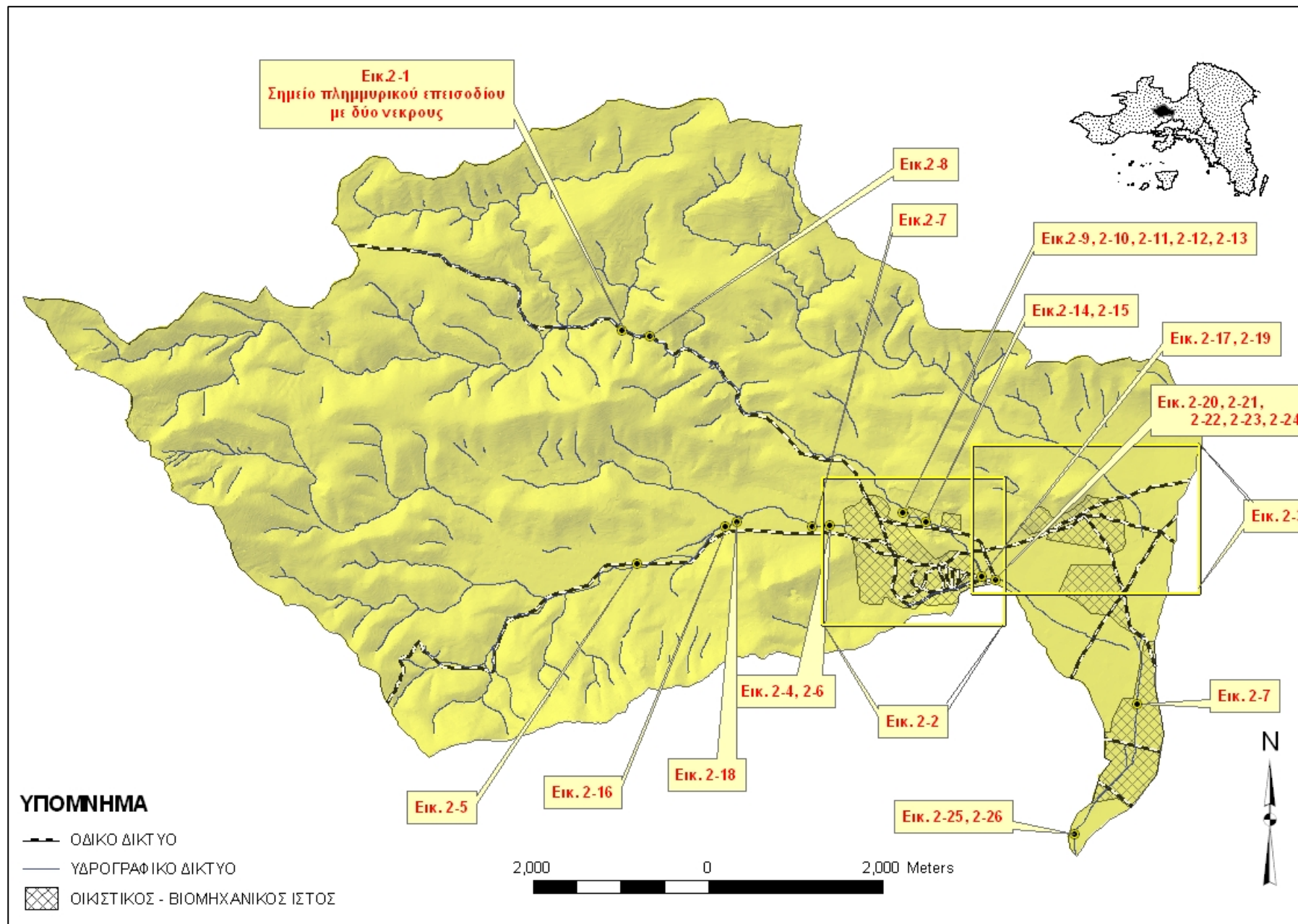
Επομένως, αν από τις ετήσιες βροχοπτώσεις (524 mm) αφαιρέσουμε 400mm



Χάρτης 2-1: Η πραγμ. Εξατμισοδιαπνοή για τις λεκάνες απορροής των εξεταζόμενων ρεμάτων, είναι περίπου 400mm, σύμφωνα με το Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδάτινων Ε.Μ.Π.

εξατμισοδιαπνοής, το υπόλοιπο που αποτελεί το 23,5% της βροχόπτωσης κατεισδύει (ακόμα και αν δεχθούμε όλες τις υπόλοιπες απώλειες μηδενικές). **Πρακτικά δηλαδή, έχουμε μηδενική απορροή** για τους χειμάρρους της εξεταζόμενης περιοχής. Η μηδενική απορροή, έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργείται **εσφαλμένη αίσθηση ασφάλειας**. Για αυτό το λόγο η αυξημένη ζήτηση σε γη, **οδηγεί στην εσφαλμένη χρήση** της (τεχνικά έργα επί της κοίτης ή της ζώνης κατάκλυσης), με τις επακόλουθες επιπτώσεις σε περίπτωση απορροής των ρεμάτων στα πλαίσια της συχνότητας ενός πλημμυρικού επεισοδίου.

Στη συνέχεια αναγνωρίζονται και αναδεικνύονται μερικές παρεμβάσεις στην κοίτη και τη ζώνη κατάκλυσης του χειμάρρου Σούρες με την παράθεση φωτογραφικού υλικού.



Χάρτης 2-2: Θέσεις εικόνων 2-1 έως 2-26 για την αναγνώριση των ανθρώπινων παρεμβάσεων και κατασκευών στην κοίτη και τη ζώνη κατάκλισης του χειμάρρου Σούρες



Εικόνα 2-2: Η πόλη της Μάνδρας δομημένη πάνω στο ρέμα και τις αναβαθμίδες του κλάδου της Αγ. Αικατερίνης. Στα βόρεια διακρίνονται βιομηχανικά κτίρια πάνω στη κοίτη του Σούρες εγκάρσια προς τη διεύθυνση ροής. Απεικονίζεται επίσης η διαδρομή που ακολούθησε το νερό κατά την πλημμύρα της 27 Ιαν. 1996, ακολουθώντας το οδικό δίκτυο, το οποίο στο μεγαλύτερο τμήμα του είναι μπαζωμένος χείμαρρος.



Εικόνα 2-3: Ο κλάδος του Μικρού Κατερινιού στα βορειοανατολικά την κοινότητα Μαγούλας. Η τομή του με τη κυρίως κοίτη του χ. Σούρες είναι ασαφής, διότι δεν υπάρχει διαμορφωμένη κοίτη. Στη μεταξύ των κοιτών περιοχή η αλλαγή χρήσεων γης από αγροτική σε οικιστική και στη συνέχεια συγκοινωνιακή (κατασκευή της Αττικής οδού), την έχει εξαφανίσει.



Εικόνα 2-4: Η κοίτη του χειμάρρου Αγίας Αικατερίνης, όπως είναι σήμερα και έχει διαμορφωθεί από τη μηχανική διάβρωση λόγω της γεωργίας αλλά και από τα μπαζώματα. Διακρίνονται αιωνόβια ελαιόδενδρα στην κοίτη, ένδειξη της μηδενικής επιφανειακής απορροής για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Στο βάθος οι δυτικές συνοικίες της πόλης Μάνδρας, που πλημμυρίζουν σε ακραίες καταστάσεις απορροής.



Εικόνα 2-5: Αναβαθμίδα του χ. Αγίας Αικατερίνης ανάντη, κοντά στην περιοχή Κορακάς. Συνεχή μπαζώματα που τείνουν να εξαφανίσουν ακόμα και την κυρίως κοίτη η οποία μόλις που διακρίνεται στα δεξιά μεταξύ θάμνων και δέντρων. Τα μπαζώματα από το εικονιζόμενο σημείο μέχρι το δυτικό τμήμα του δήμου είναι συνηθισμένη πρακτική, ή οποία εντάθηκε τα τελευταία χρόνια όταν διαδόθηκε, ότι η εν λόγω περιοχή θα ενταχθεί στο σχέδιο πόλης.



Εικόνα 2-6: Χείμαρρος Αγίας Αικατερίνης στο ύψος της ομώνυμης εκκλησίας, μερικές ώρες μετά το πέρας του επεισοδίου της 27ης Ιανουαρίου 1996. Διακρίνονται οι φερτές ύλες σε ύψος περίπου ενός μέτρου σε περίφραξη καθώς και η δημιουργία διαβρωσιγενής επιφάνειας μεταξύ ασφαλτοστρωμένου δρόμου και αλλουβιακών αποθέσεων. Ένδειξη της ενέργειας του χειμάρρου κατά τη απορροή αιχμής.



Εικόνα 2-7: Η κοίτη του χ. Σούρες στη συνοικία Πατράκωστα μερικές μέρες μετά το πλημμυρικό επεισόδιο της 27^{ης} Ιαν 1996. Διακρίνονται α) η ενέργεια του χειμάρρου που έχει αποτυπωθεί στην τοιχοποιία, σε ύψος μεγαλύτερο από εκείνο του γεφυριού στο βάθος, β) ο εγκιβωτισμός της κοίτης από παράνομες κατασκευές επί της κοίτης και η εξαφάνιση του φυσικού πεδίου κατάκλισης γ) η γέφυρα στο βάθος με ανεπαρκή διαστασιολόγηση, όπως αποδεικνύεται από τα νεονότα.



Εικόνα 2-8: Π.Ε.Ο. Αθηνών – Θηβών δύο ημέρες μετά την καταστροφή της 27^{ης} /1/1996. Η εικονιζόμενη περιοχή βρίσκεται 1Km κατάντη του σημείου της Εικ. 2-1. Είναι διακριτή η στερεοπαροχή του Σούρες που έχει εξισώσει το υψόμετρο του οδοστρώματος.



Εικόνα 2-9: 27/1/1996 Απεικονίζονται οι καταστροφές των πλημμυρικών απορροών του χειμάρρου Σούρες σε κατασκευές δομημένες πάνω στην κοίτη του. Διακρίνονται σε πρώτο πλάνο η βιομηχανία ΒΑΚΟΝΤΙΟΣ ΑΕΒΕ και στο βάθος το εργοτάξιο του Δήμου Μάνδρας. Ενδιάμεσα άλλες επιχειρήσεις που επλήγησαν, κατασκευασμένες στη ζώνη κατάκλυσης. Στο κάτω αριστερό και δεξιό τμήμα της φωτογραφίας διακρίνεται η στερεοπαροχή του χειμάρρου λόγω του φραγμού που έχει προκαλέσει η ΒΑΚΟΝΤΙΟΣ ΑΕΒΕ



Εικόνα 2-10 & 2-11: Βιομηχανία Βακόντιος ΑΕΒΕ και κοίτη του χ. Σούρες στο βόρειο περιθώριο του δήμου Μάνδρας. Από τις μοναδικές περιπτώσεις καταπάτησης κοίτης και διαστασιολόγησης διατομής ανοίγματος. Στην άνω εικόνα απεικονίζεται το σημείο λίγες μέρες μετά το πλημμυρικό επεισόδιο της 27ης ΙΑΝ 1996. Διακρίνονται α) η στερεοπαροχή λόγω ενέργειας χειμάρρου β) φερτά υλικά που μαρτυρούν το ύψος του νερού κατά την απορροή αιχμής γ) την αλλαγή φοράς ροής του χειμάρρου από τα ανατολικά προς τα νότια, αφού η διατομή δεν είναι ικανή να καλύψει την ενέργεια, ενώ η τοιχοποιία (αριστερά) λειτουργεί σαν φράγμα. Η αποφόρτιση προς τα νότια, είχε σαν αποτέλεσμα την όδευση των νερών στην παρακείμενη Παλαιά Εθνική Οδό Αθηνών – Θηβών και την κατάκλιση της. Η εικόνα 1-9 απεικονίζει την κατάσταση σήμερα.



Εικόνα 2-12: Η κοίτη του χ. Σούρες κάτω από τη ΒΑΚΟΝΤΙΟΣ ΑΕΒΕ – Αριστερό τμήμα της διατομής διαστάσεων 2,20 m πλάτος x 1,20m ύψος. Σκουπίδια και πάσης φύσης φερτά υλικά, ανά πάσα στιγμή μπορούν να φράξουν το στόμιο. Υδραυλικά και ηλεκτρικά στοιχεία σε άμεση επαφή με το νερό.



Εικόνα 2-13: Η κοίτη του χ. Σούρες κάτω από τη ΒΑΚΟΝΤΙΟΣ ΑΕΒΕ – Δεξί τμήμα της διατομής διαστάσεων 2,20 m πλάτος x 1,20m ύψος, σχήματος ορθογώνιο παραλληλογράμμου. Στο βάθος η διατομή αλλάζει σε σχήμα τετραγώνου μικρότερων διαστάσεων (περίπου 1,2 m x 1,2). Η αλλαγή σε στενότερη διατομή δημιουργεί το φαινόμενο του σίφωνα (στομίου μπουκαλιού), με αύξηση της ταχύτητας ροής στην έξοδο αλλά συσσώρευση στην είσοδο. Το φαινόμενο αυτό είναι επιθυμητό και σχεδιάζεται μόνο στη περίπτωση των υδροηλεκτρικών φραγμάτων, για την μέγιστη εκμετάλλευση της ενέργειας ταχύτητας νερού. Υδραυλικός σωλήνας στο διάμεσο της διατομής, έτοιμος να λειτουργήσει σαν ανασχετικό στοιχείο φερτών υλικών στοιχείων με αποτέλεσμα την απόφραξη. Στο βάθος αλλαγή σχεδόν 90° προς βορά της εν λόγω κατασκευής, υποχρεώνει τα νερά σε επιβράδυνση δηλ σε έναν ακόμα παράγοντα κατάκλισης της ανάντη περιοχής.



Εικόνα 2-14: Το εργοτάξιο του δήμου Μάνδρας (κατασκευασμένο εγκάρσια στην κοίτη του χ. Σούρες) την επομένη του πλημμυρικού επεισοδίου της 27^{ης} ΙΑΝ 1996. Είναι τοποθετημένο ανατολικά της Βακόντιος ΑΕΒΕ. Οι καταστροφές που απεικονίζονται δεν οφείλονται μόνο στο ακραίο πλημμυρικό επεισόδιο, αλλά και στην επέμβαση της κοίτης λόγω κατασκευής της βιομηχανίας, που είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας ροής των υδάτων (βλ εικ 1-10 & 1-11) . Εργοταξιακά αυτοκίνητα, περνοφόρα οχήματα, φορτηγά και άλλα χρήσιμα υλικά που θα ήταν απαραίτητα για την αντιμετώπιση της κατάστασης στις πρώτες ώρες της κρίσης, έχουν παρασυρθεί και έχουν τεθεί εκτός λειτουργίας. Ο πληθυσμός μέσα στην πόλη αναγκάστηκε να αντιμετωπίσει μόνος τα νερά και τις φερτές ύλες, ώσπου να έρθει βοήθεια από τους όμορους δήμους που επλήγησαν και αυτοί από τη ίδια θεομηνία.



Εικόνα 2-15: Η κοίτη του χ. Σούρες δεν είναι δυνατόν να διακριθεί αφού έχει κατά σειρά καταπατηθεί από τα δυτικά προς τα ανατολικά, από την Βακόντιος ΑΕΒΕ, από ιδιωτικό κέντρο διασκέδασης και το εργοτάξιο του δήμου Μάνδρας. Ο άξονας του χειμάρρου απεικονίζεται με διακεκομμένη μπλε γραμμή και είναι σχεδόν παράλληλος προς τον άξονα της Παλαιάς Εθνικής Οδού Αθηνών – Θηβών που διακρίνεται στο κέντρο της εικόνας. Το καλοκαίρι του 2008 στο εργοτάξιο του Δήμου Μάνδρας έγινε διευθέτηση της κοίτης, με την τοποθέτηση αγωγού κυκλικής διατομής φ200, ενώ έχει πλήρως ασφαλτοποιηθεί η εκατέρωθεν αναβαθμίδα κατάκλισης. Η εν λόγω εικόνα λήφθηκε μετά από καλοκαιρινή νεροποντή της 10^{ης} ΑΥΓ 2008 κατά την οποία παρατηρείται κατάκλιση του εργοταξίου από νερά, τα οποία εκτός από την επέμβαση της Βακόντιος, πιθανόν να οφείλεται και την πρόσφατη αυτή του εργοταξίου. Το πάθημα του 1996 όπως φαίνεται δεν έγινε μάθημα.



Εικόνα 2-16 & 2-17: Επίδραση της αστικοποίησης στα υδραυλικά και άλλα φυσικά χαρακτηριστικά του υδατορεύματος. Βροχόπτωση της 21ης Οκτωβρίου 2007 (54,4mm).. Στην πάνω φωτογραφία απεικονίζεται η κατάσταση του χειμάρρου της Αγίας Αικατερίνης στα δυτικά της πόλης της Μάνδρας, ενώ στην κάτω εκείνη στην έξοδο της από τον οικιστικό ιστό στην συμβολή με τον χείμαρρο Σούρες. Είναι εμφανής η ταχύτητα ροή που τείνει να γίνει τυρβώδης στην κάτω εικόνα. Επιπροσθέτως ο όγκος του νερού στον αριστερό κλάδο της Αγ. Αικατερίνης, είναι μεγαλύτερος από εκείνον του δεξιού κλάδου του Σούρες. Το φαινόμενο αυτό προκύπτει τόσο από το γεγονός ότι τα νερά στη έξοδο της πόλης αποτελούν στραγγίσματα της αδιαπέρατης επιφάνειας λόγω τσιμεντοποίησης, όσο και από τη αλλαγή των υδραυλικών στοιχείων της κοίτης λόγω εγκιβωτισμού.



Εικόνα 2-18: Ο χείμαρρος της Αγίας Αικατερίνης δυτικά της πόλης της Μάνδρας ανάντη (περιοχή Ριζαμπλέτα), πριν συναντήσει τον οικιστικό ιστό. Διακρίνονται οι αναβαθμίδες με χαρακτηριστικούς ορίζοντες που αποτυπώνουν θερμές και ψυχρές περιόδους κατά το τεταρτογενές. Η μηδενική απορροή έχει επιτρέψει τους αγρότες της περιοχής να χρησιμοποιούν την κοίτη για αγροτικό δρόμο.



Εικόνα 2-19: Ο χείμαρρος της Αγίας Αικατερίνης νοτιοανατολικά της πόλης της Μάνδρας στην τομή του με τον Σούρες. Η αλλοίωση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κοίτης ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1970, κατά την κατασκευή του οδικού δικτύου και συνεχίζεται μέχρι σήμερα. Οι διαστάσεις αντί να αυξηθούν προκειμένου να ανακουφίσουν τις επιπρόσθετες υδάτινες μάζες λόγω τσιμεντοποίησης της επιφάνειας κατάκλυσης, έχουν υποπολλαπλασιαστεί. Σήμερα είναι 1,5x1,5 m, ενώ το πλάτος θα έπρεπε να ήταν τουλάχιστον όσο το πλάτος του οδοστρώματος, το οποίο άλλωστε έχει αντικαταστήσει την κοίτη (περίπου 6 m).



Εικόνα 2-20 & 2-21: Στην πάνω εικόνα ο χείμαρρος Σούρες μετά την τομή του με τον κλάδο της Αγίας Αικατερίνης τον Νοέμβριο του 2007. Στην κάτω εικόνα το ίδιο ρέμα σήμερα. Η τιμεντοποίηση του δαπέδου και τμήματος των πρανών, θα προκαλέσουν διαφορετική διάβρωση και υποσκαφή του τεχνικού έργου, αλλά και επιπρόσθετη διάβρωση των αναβαθμίδων εκατέρωθεν.



Εικόνα 2-22, 2-23 & 2-24: Χείμαρρος Σούρες και Παλαιά Εθνική Οδός Αθηνών – Θηβών. Στην αριστερή εικόνα είναι εμφανές το σημείο, όπου έχει αποτυπωθεί η υδάτινη μάζα της βροχόπτωσης της 17 Νοεμβρίου 2007 κατά την απορροή αιχμής. Σήμερα αυτό το σημείο έχει τιμεντοποιηθεί (κεντρική εικόνα). Αποτέλεσμα αυτού είναι η αλλαγή της ταχύτητας των νερών και η διαφορεική διάβρωση, η οποία είναι εμφανής κάτω από τα θεμέλια της γέφυρας. Δεν έχουμε παρά να περιμένουμε το πέρας του χρόνου για τις επιπτώσεις στα θεμέλια της γέφυρας, τα αίτια των οποίων θα αποδοθούν φυσικά στα «ακραία καιρικά φαινόμενα».





Εικόνα 2-25 & 2-26: Χείμαρρος Σούρες στο ύψος της ΠΥΡ-ΚΑΛ, λίγο πριν την εκβολή του στο Σαρωνικό κόλπο, λίγες μέρες μετά το πλημμυρικό επεισόδιο της 27^{ης} Ιαν 1996. Πρόχειρη και ανεπαρκής διαστασιολόγηση αγωγών ομβρίων υδάτων ακατάλληλη για την περίπτωση κοίτης χειμάρρου. Ομοίως η τοιχοποιία εγκάρσια προς τον ρου του χειμάρρου. Διακρίνονται τα κιγκλιδώματα ασφαλείας (τα οποία «παραβιάστηκαν» από την ίδια τη φύση) και το ίχνος κατά τη απορροή αιχμής. Τα κιγκλιδώματα λόγω φερτών υλών έφραξαν τη διατομή αυτή, αναγκάζοντας το νερό να ρεύσει στα αριστερά και να κατακλύσει την Παλαιά Εθνική οδό Αθηνών – Κορίνθου. Η κατάσταση σήμερα είναι καλύτερη, αφού σε αυτό το σημείο έχει γίνει διευθέτηση της κοίτης (με καλυπτόμενη την άνω ελεύθερη επιφάνεια), η οποία όμως δεν έχει δοκιμασθεί σε ακραίο πλημμυρικό επεισόδιο. Μάλιστα εάν η διαστασιολόγηση έχει γίνει με τα βροχομετρικά δεδομένα της Ελευσίνας, στα οποία έχει καταγραφεί ύψος βροχόπτωσης 27^{ης} ΙΑΝ 1996 17,3 mm αντί για 173 mm (βλ. Κεφ3), τότε κινδυνεύει το έργο σε αστοχία.

2.2. Ιστορικό πλημμυρικών επεισοδίων στην περιοχή μελέτης

Καταγεγραμμένα πλημμυρικά φαινόμενα στο χείμαρρο Σούρες, βρέθηκαν κυρίως από ιστορικές αναφορές και άρθρα εφημερίδων. Στα άρθρα εφημερίδων εξαιρουμένης της τελευταίας 15ετίας, αν δεν υπήρχαν εκτεταμένες ζημιές ή θύματα δεν αποτελούσαν είδηση. Επιπροσθέτως επειδή ο χείμαρρος Σούρες γειτνιάζει με την υδρολογική λεκάνη του Σαρανταπόταμου (η οποία και δεσπόζει στη Δυτική Αττική), υποσκιάζονται τυχόν πλημμυρικά φαινόμενα.

Πλημμύρες στην περιοχή μελέτης καταγράφονται από τους **Ρωμαϊκούς χρόνους**, την εποχή του Αδριανού. Τότε βέβαια καταστροφές είχε προκαλέσει ο Ελευσίνιος Κηφισός (σημερινός Σαρανταπόταμος) και μάλιστα με ανθρώπινα θύματα στην περιοχή της Ελευσίνας (Παυσανίας 150 μ.χ.). Για να αντιμετωπισθεί ο πλημμυρικός κίνδυνος κατασκευάσθηκαν στα βόρεια όριά της αναχώματα προστασίας και η γέφυρα η οποία σώζεται μέχρι σήμερα σε πολύ καλή κατάσταση. Ο Παυσανίας επισκέφθηκε την Ελευσίνα 25 χρόνια μετά την πολύμηνη παραμονή του Αδριανού¹ στην Αθήνα και ίσως έμαθε, πως αφορμή για την κατασκευή της γέφυρας, έδωσε μια πλημμύρα του Κηφισού το φθινόπωρο του 125 μ.Χ. Η πληροφορία αυτή, έκανε τον Παυσανία να χαρακτηρίσει το Ελευσίνιο ρέμα, ως "βιαιότερον" του ομώνυμου Αθηναϊκού. Οι Ελευσίνιοι φαίνεται, πως συχνά υπέφεραν απ' τα νερά του ποταμού, αν κρίνουμε από ένα χωρίο, του Προς Καλλικλέα λόγου του Δημοσθένη: *"σκοπίτ' , ω άνδρες δικασταί, πόσους υπό των υδάτων εν τοις αγροίς βεβλάφθαι συμβέβηκεν, τα μέν Ελευσίνι τα δ' εν τοις άλλοις τόποις"*.

Στους νεότερους χρόνους η πρώτη πλημμύρα καταγράφηκε το **1953**. Δεν υπάρχουν περισσότερα στοιχεία παρά την καταγραφή του γεγονότος στις τελευταίες στήλες των εφημερίδων. Ούτε καν το ύψος βροχής αφού ο βροχομετρικός σταθμός του αεροδρομίου της Ελευσίνας ξεκίνησε να λειτουργεί το 1958.

Το πλημμυρικό επεισόδιο του **Νοεμβρίου του 1963** στους χείμαρρους της Αγίας Αικατερίνης και του Σούρες είχαν σαν αποτέλεσμα το θάνατο ενός ανθυπολοχαγού, και πολλές ζημιές σε κατοικίες και καλλιέργειες στην περιοχή της πόλης της Μάνδρας, ενώ ζημιές προκλήθηκαν στη σιδηροδρομική γραμμή και την (τότε) εθνική οδό Αθηνών – Κορίνθου στο ύψος της ΠΥΡ-ΚΑΛ.

Το διπλό χτύπημα για τα εν λόγω ρέματα ήρθε το **Νοέμβριο του 1977** και επαναλήφθηκε ένα μήνα αργότερα.

Η πέμπτη καταστροφή σημειώθηκε τη νύχτα **5^{ης} προς 6^{ης} Φεβρουαρίου 1978**. εκατοντάδες ζώα πνίγηκαν και αποκλείστηκαν οι κάτοικοι της περιοχής.

Η μεγαλύτερη ίσως καταστροφή (συγκρίνοντας αποκλειστικά και μόνο τα ύψη βροχής και όχι άλλους παράγοντες των πλημμυρών) αποτελεί η νύχτα της **26ης** έως τα ξημερώματα της **27ης Ιανουαρίου 1996**, με 2 ανθρώπινα θύματα όταν το αυτοκίνητο στο οποίο επέβαιναν παρασύρθηκε από τα ορμητικά νερά του χείμαρρου Σούρες στο 8^ο Km της Παλαιάς Εθνικής Οδού Ελευσίνας Θηβών (βλ. Χάρτη 2-2).

¹ Ως γνωστόν, ο Αδριανός μύηθηκε στα Ελευσίνια Μυστήρια μεταξύ των ετών 124-125 μ.Χ. Τότε πρέπει να τοποθετηθεί και χρονικά η κατασκευή της γέφυρας.



Εικόνα 2-1: 8ο Km Π.Ε.Ο. Ελευσίνας – Θηβών, 27/1/1996. Το σημείο στο οποίο εγκλωβίσθηκε το άτυχος ζεύγος Μαυρομάτη στο αυτοκίνητό τους. Στα δεξιά της εικόνας είναι αποτυπωμένη η διαβρωτική ενέργεια του χειμάρρου, η οποία έχει υποσκάψει τα θεμέλια του οδοστρώματος.

Να σημειωθεί, ότι ο άξονας της Παλαιάς Εθνικής Οδού που διέρχεται από τα ορεινά της λεκάνης του Σούρες για αρκετά (τμηματικά) χιλιόμετρα, είναι κατασκευασμένος πάνω στην κοίτη όπως στη περιοχή του θλιβερού συμβάντος. Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία εκτός των δύο νεκρών, καταγράφηκαν εκατοντάδες πλημμυρισμένα σπίτια, καταστήματα και εργοστάσια, δεκάδες κατεστραμμένα αυτοκίνητα και μάλιστα ορι-

σμένα από αυτά χωμένα μέσα στους τόνους λάσπης, που συγκέντρωσαν οι χειμάρροι, ενώ δημιουργήθηκαν σοβαρότατα προβλήματα στις συγκοινωνίες. Πολύς κόσμος που έτυχε την ώρα εκείνη να ταξιδεύει προς την Πελοπόννησο και άλλες περιοχές της Ηπείρου και της Δυτικής Ελλάδας έζησαν εφιαλτικές στιγμές μέσα στα αυτοκίνητά τους, αφού παγιδεύτηκαν στον εθνικό δρόμο Αθήνας - Κορίνθου στο ύψος της "Χαλυβουργικής", ενώ ορισμένοι από αυτούς προκειμένου να σωθούν ανέβηκαν στην οροφή των αυτοκινήτων τους. Η στάθμη του νερού σε αυτό το σημείο έφθασε το ενάμισι μέτρο. Τα ακινητοποιημένα αυτοκίνητα με τους εγκλωβισμένους κινδύνευσαν για περισσότερες από 12 ώρες, καθώς η εθνική οδός και από τα δύο κυκλοφοριακά ρεύματα, είχε κλείσει από τόνους λάσπης. Μετά από ειδική "επιχείρηση", τόσο της πυροσβεστικής υπηρεσίας, όσο και της αστυνομίας, με γερανοφόρα πυροσβεστικά αυτοκίνητα, αλλά και περονοφόρα, ο δρόμος άνοιξε και γύρω στις 2 μ.μ. αποκαταστάθηκε η κυκλοφορία των αυτοκινήτων.

Η έβδομη στη σειρά καταστροφή σημειώθηκε την **9^η Νοεμβρίου 1999**.

Εξαιτίας της καταρρακτώδους βροχής μόνο στο συνοικισμό Πατακώστα, αλλά και μέσα στην πόλη της Μάνδρα (το ΒΔ τμήμα της που είναι χτισμένο πάνω στο ρέμα της Αγ. Αικατερίνης) 80 σπίτια έπαθαν μεγάλες ζημιές και κόπτοι μιας ζωής πήγαν χαμένοι. Να σημειωθεί ότι η βροχή ξεκίνησε το μεσημέρι της Κυριακής ενώ τα ξημερώματα της Δευτέρας (6 π.μ.) η 3ωρη καταρρακτώδης βροχή προξένησε τις ζημιές στο ήδη κορεσμένο περιβάλλον.

Τα πιο πρόσφατα προβλήματα δημιουργήθηκαν την **7η Νοεμβρίου 2002** μετά από χαλαζόπτωση και καταρρακτώδη βροχή, όπου οι δρόμοι οι οποίοι αποτελούν

συνέχεια του χειμάρρου της Αγίας Αικατερίνης πληρώθηκαν με φερτές ύλες. Στα νότια διοικητικά όρια του δήμου στη θέση ΠΥΡ-ΚΑΛ υπέστη βλάβη η σιδηροδρομική γραμμή στο σημείο όπου διασταυρώνεται με τη κοίτη του χειμάρρου Σούρες. Στο ίδιο σημείο αλλά επί τη παλαιάς εθνικής οδού Αθηνών – Κορίνθου, όχημα παρασύρθηκε (για αρκετή απόσταση) από τα ορμητικά νερά και εγκλωβίσθηκε ο οδηγός του.

2.3. Βιβλιογραφία

- BURTON D., PAPAKIS N. 1963 (a) «The karst groundwater resources of Parnassos-Ghiona», Greece. I.G.S.R., 2, Peris
- BURTON D., PAPAKIS N. 1963 (b) «Handbook of Karst Hydrogeology with Special Reference of the Carbonate Aquifers of the Mediterranean Region». I.G.S.R., Athens
- ΔΟΥΝΑΣ Α. (1971), «Η Γεωλογία της Μεταξύ Μεγάρων & Ερυθρών Περιοχής» Κεφ. 4, Ινστιτούτο Γεωλογίας & Ερευνών Υπεδάφους, Αθήνα
- ΈΘΝΟΣ (1996), Φύλλο της 8ης Νοεμβρίου 2002, σελ 13-15
- ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ (1996), Φύλλο της 29ης Ιανουαρίου 1996, σελ 56-59
- ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ (1999), Φύλλο της 9ης Νοεμβρίου 1999, σελ 18 & 47
- ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ (1999), Φύλλο της 10ης Νοεμβρίου 1999, σελ 19
- ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΗ (1963), Φύλλο της 8ης Νοεμβρίου 1963, σελ 8
- ΛΕΚΚΑΣ Ε. (2000), «Φυσικές & Τεχνολογικές Καταστροφές» Κεφ. 7 Εκδόσεις Access, Αθήνα
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η. (1996), «Οι πλημμύρες της 27/01/1996 στο Θριάσιο Πεδίο και τα αίτια που προκάλεσαν τις καταστροφές» - Πρόδρομη συνοπτική έκθεση, Οργανισμός Αθήνας.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η. (1999), «Το Νερό, ο Άνθρωπος και ο Ελληνικός Πολιτισμός» – Πρακτικά Συμποσίου «Το Αθάνατο Νερό», 18-21 Νοεμβρίου 1999, Ευρωπαϊκές Ημέρες Πολιτιστικής Κληρονομιάς, Αθήνα.
- ΜΙΜΙΚΟΥ Μ. (2006). Χάρτες κατανομή δυναμικής και πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Ιστοσελίδα Εργαστηρίου Υδρολογίας και αξιοποίησης Υδάτινων πόρων Ε.Μ.Π.
- ΤΣΑΚΙΡΗΣ Γ. (1995) Υπεύθ. Έκδοσης: «Υδατικοί Πόροι : Η Τεχνική Υδρολογία», Κεφ. 8,11 Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
- ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ Ι. (2006) «Πλημμύρες», σημειώσεις μαθήματος Φυσικές & Τεχνολογικές Καταστροφές, Αθήνα σελ. 27

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

3.1. Γεωγραφική θέση χειμάρρου Σούρες

Ο χειμάρρος Σούρες είναι ένα υδρολογικό σύστημα της Δυτικής Αττικής που πηγάζει και αποστραγγίζει το κεντρικό τμήμα των ανατολικών – νοτιοανατολικών απολήξεων του Όρους Πατέρα, και εκβάλλει στον Σαρωνικό κόλπο, πλησίον του ρέματος Σαρανταπόταμου στα δυτικά της πόλης της Ελευσίνας (Χάρτης 3-1).

Αποτελείται από τρεις κυρίως κλάδους:

- Το ομώνυμο κλάδο του Σούρες
- Τον κλάδο της Αγ. Αικατερίνης
- Τον κλάδο του Μικρού Κατερινιού

Κατά την είσοδο των δύο πρώτων κλάδων σε χαμηλών κλίσεων (πεδινές) περιοχές του δυτικού περιθωρίου του Θριασίου Πεδίου, συναντούν τον οικιστικό ιστό της πόλης Μάνδρας. Ο κλάδος Σούρες την περιβάλλει (περιμετρικά) από τα βόρεια και βορειοανατολικά με νοτιοανατολική φορά ροής. Ο κλάδος της Αγ. Αικατερίνης ρέει από τα δυτικά προς τα ανατολικά, ενώ όταν συναντά την πόλη της Μάνδρας στα δυτικά έχει απολέσει τα χαρακτηριστικά της κοίτης λόγω μηχανικής διάβρωσης (βλ εικ. 2-2) και καταπάτησης για οικιστική χρήση. Τμήμα του οδικού δικτύου της πόλης έχει κατασκευασθεί πάνω στον ομώνυμο χειμάρρο, οπότε και μαρτυράται η πορεία του στα νοτιοδυτικά και νότια τμήματα της πόλης. Σούρες και Αγ. Αικατερίνη τέμνονται στα νοτιοανατολικά της Μάνδρας και ακολουθούν νοτιοανατολική & νότια φορά ροής προς το Σαρωνικό Κόλπο.

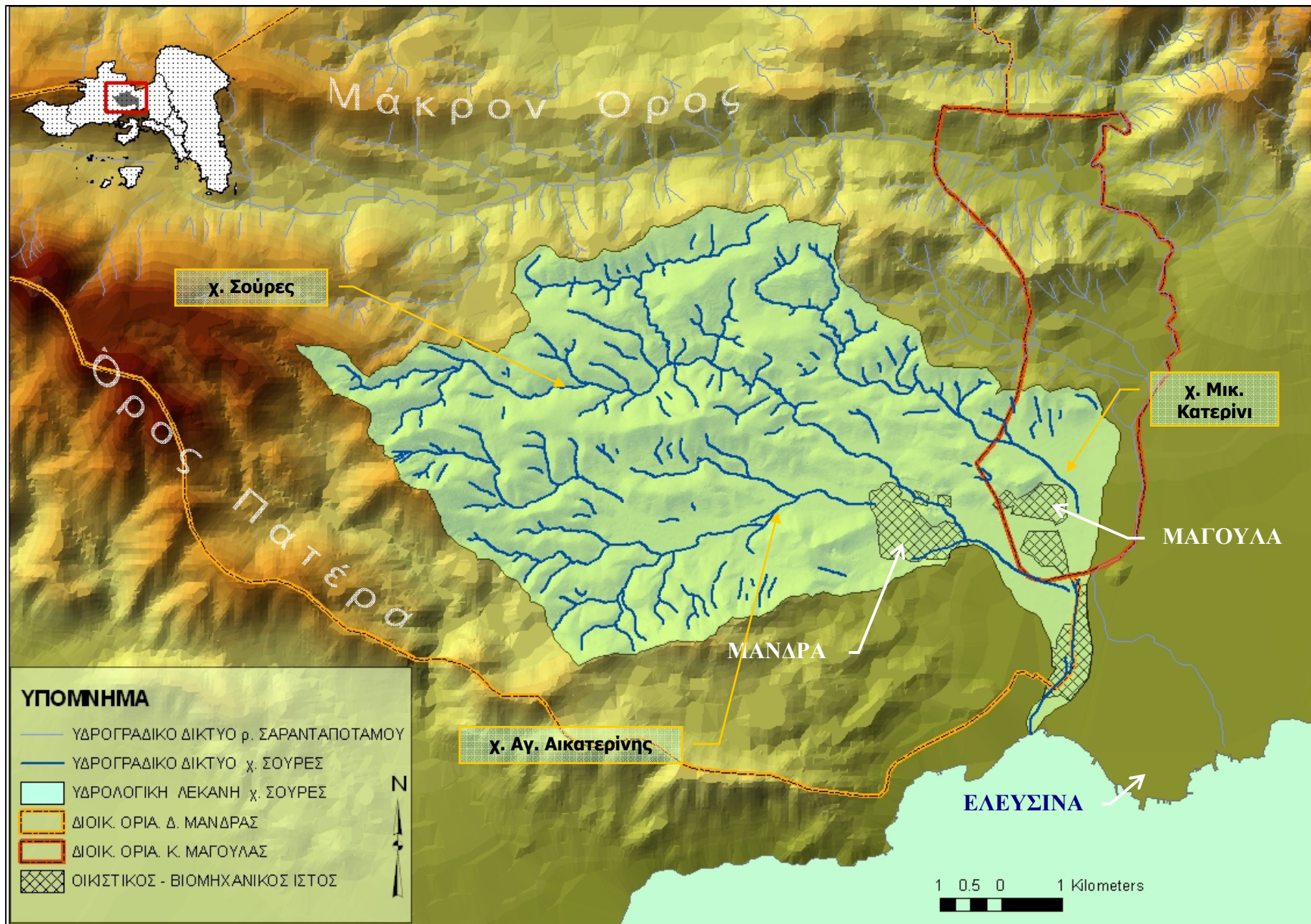
Ο κλάδος του Μικρού Κατερινιού που ανήκει στο Υδρογραφικό δίκτυο του Σούρες από τις ημιορεινές περιοχές με νοτιοανατολική φορά ροής απαντά περιμετρικά στα βορειοανατολικά την κοινότητα Μαγούλας, ενώ η τομή του με το χειμάρρο Σούρες είναι ασαφής, διότι δεν υπάρχει διαμορφωμένη κοίτη. Στη μεταξύ των κοιτών περιοχή η αλλαγή χρήσεων γης από αγροτική σε οικιστική και στη συνέχεια συγκοινωνιακή (κατασκευή της Αττικής οδού), την έχει εξαφανίσει (βλ εικ. 1-3).

Η συνολική έκταση της λεκάνης υπολογίσθηκε στα 58 περίπου Km². Το 90% της έκτασης της λεκάνης βρίσκεται εντός των διοικητικών ορίων του δήμου Μάνδρας (52,2 Km²), το 8,7% εντός της κοινότητας Μαγούλας (5,1 Km²), και ένα μικρό τμήμα 1,3% εντός των διοικητικών ορίων του δήμου Ελευσίνας (0,78 Km² Χάρτης 3-1).

3.2. Χαρακτηριστικά στοιχεία λεκάνης απορροής χειμάρρου Σούρες

3.2.1. Η εξεταζόμενη λεκάνη σε αριθμούς

Το εμβαδόν της λεκάνης απορροή του χειμάρρου Σούρες εκτιμάται στα 58 km² (στη έξοδο του στο κόλπο του Σαρωνικού), συμπεριλαμβανομένων και των κλάδων Αγ. Αικατερίνης και Μ. Κατερινιού. Η περίμετρος της λεκάνης είναι 43,5 Km. Αναλυτικά για τους τρεις κλάδους στους οποίους επιμερίζεται ο εν λόγω χειμάρρος, ισχύουν τα παρακάτω:



Χάρτης 2-1: Περιοχή Μελέτης

Λεκάνη	Εμβαδόν (Km ²)	Περίμετρος λεκάνης (Km)	Μέσο υψόμετρο (m)	Μέγιστο υψ. (m)	Ελάχιστο υψ. (m)
χ. Σούρες	19,3	42,2	347	859	62
χ. Αγ. Αικατερίνης	22,8	30	281	678	62
χ. Μ. Κατερίνι	0,85	23	180	451	26

Πίνακας 3-1 Γενικά χαρακτηριστικά υπολεκανών χειμάρρου Σούρες

Τα χαρακτηριστικά της τοπογραφικής διαμόρφωσης της λεκάνης του χειμάρρου Σούρες, είναι οι ομαλές κλιτύες των υπωρειών του όρους Πατέρα, που φτάνουν στο απόλυτο υψόμετρο των 860 μέτρων και οι μικρής έκτασης πεδινές περιοχές σε διάφορες θέσεις, οι οποίες δίνουν τη θέση τους στην επίπεδη αλλουβιακή πεδιάδα του δυτικού περιθωρίου του Θριασίου Πεδίου. Το μέσο υψόμετρο της λεκάνης είναι +260.

3.2.2. Βροχοπτώσεις

Με βάση τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού Ελευσίνας το μέσο ετήσιο ύψος κατακρημνισμάτων, είναι 372,9mm. Το μέγιστο ύψος των κατακρημνισμάτων εμφανίζεται το χειμώνα με 156,4³ mm, ακολουθεί το φθινόπωρο με 111,7 mm, κατόπιν η άνοιξη με 85,5 mm και τέλος, το καλοκαίρι με 19,3 mm. Ο ξηρότερος μήνας είναι ο Αύγουστος, με μέσο ύψος 5,4 mm, ενώ ο βροχερότερος μήνας είναι ο Δεκέμβριος με μέσο ύψος 67,9 mm.

Η διακύμανση του μέσου μηνιαίου ύψους και του μέγιστου 24h ύψους κατακρημνισμάτων είναι η ακόλουθη:

ΜΗΝΑΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
ΟΛΙΚΟ	48,4	40,1	39,3	26,7	19,5	8,4	5,5	5,4	11,3	41,6	58,8	67,9
MAX 24h	59,3	61,0	51,6	51,1	38,8	35,9	36,0	45,5	33,5	83,3	90,5	65,5

Πίνακας 3-2: Ύψος κατακρημνισμάτων ανά μήνα (mm)

Όσον αφορά δε την ανάλυση των κατακρημνισμάτων στις επιμέρους κατηγορίες, στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται ο αριθμός των ημερών σε κάθε μήνα, στις οποίες επικρατούσε η κάθε υποκατηγορία, απ' όπου φαίνεται ότι κυριαρχούν οι βροχοπτώσεις.

³ Το μέγιστο ύψος που αναφέρεται στο παρόν κεφάλαιο είναι υπολογισμένο με βάση τις επίσημες καταγραφές της ΕΜΥ. Όμως, όπως εκτενώς περιγράφεται και αιτιολογείται στο Κεφ. 3, τον χειμώνα του 1996 και συγκεκριμένα την 26^η Ιανουαρίου, η βροχόπτωση των 173 χιλ. (που προξένησε και πλημμυρικό επεισόδιο) καταγράφηκε επίσημα σαν 17,3 χιλ. Ως εκ τούτου τα γενικά στατιστικά στοιχεία τελούν υπό διόρθωση.

	ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ	ΧΙΟΝΙ	ΚΑΤΑΙΓΙΔΑ	ΧΑΛΑΖΙ	ΟΜΙΧΛΗ
ΙΑΝ.	11,1	1,3	0,9	0,1	0,1
ΦΕΒ.	10,2	1,1	1,2	0,0	0,2
ΜΑΡΤ.	10,0	0,5	1,1	0,0	0,3
ΑΠΡ.	7,9	0,0	1,4	0,0	0,1
ΜΑΙ.	5,6	0,0	1,8	0,1	0,1
ΙΟΥΝ.	3,0	0,0	1,9	0,0	0,0
ΙΟΥΛ.	1,4	0,0	1,0	0,0	0,0
ΑΥΓ.	1,6	0,0	1,1	0,0	0,0
ΣΕΠΤ.	3,1	0,0	1,1	0,0	0,0
ΟΚΤ.	7,5	0,0	2,3	0,0	0,0
ΝΟΕΜ	10,0	0,1	2,0	0,1	0,1
ΔΕΚ.	12,1	0,0	2,0	0,0	0,6

Πίνακας 3-3: Χρονική εμφάνιση κατακρημνισμάτων ανά μήνα (σε ημέρες)

3.2.3. Θερμοκρασία

Τα δεδομένα της θερμοκρασίας που ελήφθησαν από τον μετεωρολογικό σταθμό Ελευσίνας, φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα :

	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)			
	ΜΕΣΗ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΜΕΣΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΗ ΜΕΓΙΣΤΗ	ΑΠΟΛΥΤΗ ΕΛΑΧΙΣΤΗ
ΙΑΝ.	13,0	5,4	23,1	-5,0
ΦΕΒ.	13,6	5,6	23,6	-5,0
ΜΑΡΤ.	15,8	7,1	26,6	-2,2
ΑΠΡ.	20,1	10,1	31,4	0,8
ΜΑΙ.	25,7	14,9	38,6	5,0
ΙΟΥΝ.	30,6	19,5	43,8	9,6
ΙΟΥΛ.	32,9	22,3	48,0	15,4
ΑΥΓ.	32,7	22,2	43,5	12,0
ΣΕΠΤ.	28,9	18,8	39,8	9,6
ΟΚΤ.	23,2	14,6	37,4	5,2
ΝΟΕΜ.	18,5	10,4	29,0	0,4
ΔΕΚ.	14,7	7,2	23,2	-3,0

Πίνακας 3-4: Θερμοκρασιακά δεδομένα

Από τα δεδομένα του ανωτέρω πίνακα προκύπτουν τα εξής:

η απόλυτη μέγιστη θερμοκρασία είναι 48 °C κατά τον μήνα Ιούλιο.

η απόλυτη ελάχιστη θερμοκρασία είναι -5,0 °C κατά τον Ιανουάριο και Φεβρουάριο

η μέση μέγιστη θερμοκρασία του έτους είναι +32,9 °C κατά τον Ιούλιο

η μέση ελάχιστη θερμοκρασία του έτους είναι +5,4 °C κατά τον Ιανουάριο

Η μέση θερμοκρασία κάθε μήνα για τον σταθμό είναι:

ΜΗΝΑΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
ΘΕΡΜ (°C)	9,2	9,7	11,8	15,9	21,4	26,1	28,6	28,2	24,3	19,0	14,4	10,9

Πίνακας 3-5: Μέση μηνιαία θερμοκρασία

3.2.4. Σχετική υγρασία

Τα αναλυτικά στοιχεία που αφορούν τη διακύμανση της σχετικής υγρασίας ανά μήνα, για το Μ.Σ. Ελευσίνας φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

ΜΗΝΑΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι
ΣΧΕΤ. ΥΓΡΑΣ. (%)	72,0	69,9	67,2	61,2	53,6	46,6

ΜΗΝΑΣ	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
ΣΧΕΤ. ΥΓΡΑΣ. (%)	42,8	44,5	52,4	62,7	70,8	73,3

Πίνακας 3-6: Μέση μηνιαία υγρασία

Η μέση σχετική υγρασία είναι 59,8% με διακυμάνσεις από 42,8% (Ιούλιος) έως 73,3% (Δεκέμβριος).

3.2.5. Άνεμοι

Ο άνεμος προσδιορίζεται με την ένταση ή την ταχύτητά του και με τη διεύθυνσή του, που δεν είναι η ανυσματική, αλλά η διεύθυνση από την οποία πνέει ο άνεμος σ' ένα τόπο.

Το ποσοστό των ανέμων που σε κάθε μήνα υπερβαίνουν τα 6 και 8 Beaufort αντίστοιχα, επί του συνόλου των ανέμων του μήνα, για τον Μετεωρολογικό Σταθμό στην Ελευσίνα, αναφέρεται στον ακόλουθο πίνακα:

ΜΗΝΑΣ	Ι	Φ	Μ	Α	Μ	Ι
>6B	2,8	2,6	2,3	1,2	1,3	1,3
>8B	0,6	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1

ΜΗΝΑΣ	Ι	Α	Σ	Ο	Ν	Δ
>6B	2,4	2,6	1,8	2,0	1,3	2,5
>8B	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,3

Πίνακας 3-7: Άνεμοι μεγαλύτεροι των 6 και 8 b. ανά μήνα

Η κατεύθυνσή των, σε μεγαλύτερο ποσοστό επικρατούντων κατά μήνα ανέμων, σύμφωνα με τα δεδομένα του Μ.Σ. Ελευσίνας, είναι:

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ	Β	ΒΑ	Α	ΝΑ	Ν	ΝΔ	Δ	ΒΔ	ΝΗΝΕΜΙΑ
ΠΟΣΟΣΤΟ (%)	29,320	3,091	2,816	1,930	10,934	3,934	3,233	6,673	38,069

Πίνακας 3-8: Ετήσια ποσοστά κύριας διεύθυνσης ανέμων

Με βάση τα στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού στην Ελευσίνα, οι άνεμοι που

επικρατούν είναι βόρειοι. Όσον αφορά τις εντάσεις των ανέμων οι ισχυρότεροι (10,1 Beaufort) και οι ασθενέστεροι (1 Beaufort) εμφανίζονται από βόρεια.

3.2.6. Χλωρίδα

Στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Αττικής όπου εντάσσεται η περιοχή μελέτης, διακρίνονται 3 ζώνες βλάστησης, οι οποίες ξεκινούν από τη θάλασσα και φθάνουν ως τις κορυφές των βουνών της Πάρνηθας και του Πατέρα:

- Οι θερμομεσογειακές διαπλάσεις της Ανατολικής Μεσογείου, (*Olea Ceratonia*), ξεκινούν από τη θάλασσα και καλύπτουν τις πεδινές και ξηροθερμικές περιοχές. Κύρια χαρακτηριστικά φυτά είναι ο σχίνος, το πουρνάρι, η αφάνα και εν μέρει η άρκευθος και η χαλέπιος πεύκη. Η ζώνη αυτή, καταλαμβάνει κυρίως τις περιοχές με το μικρότερο υψόμετρο.
- Η Μεσομεσογειακή διάπλαση της Αριάς (*Quercion Ilicis*), βρίσκεται υψομετρικά πάνω από την προηγούμενη ζώνη, και καταλαμβάνει υγρότερες περιοχές. Στη ζώνη αυτή έχουμε απρόσκοπτη εξάπλωση της χαλεπίου πεύκης, (παρατηρούνται πολύ σημαντικά δάση χαλεπίου πεύκης) ενώ άλλα χαρακτηριστικά είδη είναι η κουτσουπιά, το χρυσόξυλο, η κουμαριά.
- Η ορομεσογειακή διάπλαση της κεφαλληνιακής ελάτης (*Abietum Cephallonicae*), καταλαμβάνει τις κορυφές των δύο βουνών. Στη ζώνη αυτή, που έχουμε μικρή ξηροθερμική περίοδο και μεγαλύτερο ύψος βροχοπτώσεων, κύριο είδος και εκπρόσωπος της ζώνης, είναι η ελάτη.

3.2.7. Πανίδα

Η έκταση της ευρύτερης περιοχής μελέτης μπορεί να διακριθεί σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες σε σχέση με την κατάσταση των οικοσυστημάτων και ειδικότερα της πανίδας. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:

Οι εκτάσεις που περιλαμβάνουν γεωργικές, βιομηχανικές και οικιστικές χρήσεις (π.χ. πόλη της Μάνδρας). Τα οικοσυστήματα είναι υποβαθμισμένα, η υπάρχουσα πανίδα έχει μικρή ποικιλία και αποτελείται κυρίως από ανθρωπόφιλα είδη, π.χ. ποντίκια, κουρούνες, ψαρώνια κλπ.

Οι εκτάσεις που περιλαμβάνουν δασικές εκτάσεις, οι οποίες επιμερίζονται ανάλογα την κατάσταση του δασούς από πλευράς πυρκαγιών ή άλλων ανθρωπογενών παρεμβάσεων. Έτσι διακρίνουμε:

α) Τις δασικές εκτάσεις που κήκαν κατά τις πρόσφατες πυρκαγιές (1995, 2004, 2007). Τα οικοσυστήματα είναι υποβαθμισμένα, η πρωτογενής και δευτερογενής παραγωγικότητα είναι χαμηλές και η φυσική πανίδα έχει μειωθεί πολύ σε ποικιλία και πληθυσμούς. Οι καμένες εκτάσεις έχουν κηρυχθεί αναδασωτές και η αυστηρή προστασία τους επί αρκετά χρόνια θα εξασφάλιζε τη φυσική αναγέννηση και την ανάκαμψη των οικοσυστημάτων. Στην πρώτη όμως ευκαιρία, οι εκτάσεις αυτές χρησιμοποιούνται για βόσκηση, μερικές φορές για οικοδόμηση αυθαιρέτων κ.λπ. Επιπλέον, υπάρχει πίεση από το κυνήγι, την υλοτομία, τις πυκνές διελεύσεις οχημάτων και ανθρώπων και άλλες δραστηριότητες. Για τους λόγους αυτούς, η πανί-

δα των καμένων εκτάσεων παραμένει υποβαθμισμένη και είναι δύσκολο να ανακάμψει.

β) Τις περιοχές που δεν έχουν καεί και εξακολουθούν να καλύπτονται από δασική βλάστηση. Παρά την υπερβόσκηση, το κυνήγι και άλλες νόμιμες ή παράνομες δραστηριότητες, τα οικοσυστήματα των περιοχών αυτών παραμένουν σε σχετικά καλή κατάσταση και η πανίδα παρουσιάζει σχετικό πλούτο και ποικιλία. Οι εκτάσεις αυτές είναι από οικολογική άποψη χαρακτηριστικές της ημιορεινής Αττικής. Αν και λείπουν οι ζωολογικές μελέτες που θα επέτρεπαν τον αναλυτικό προσδιορισμό των ζωικών ειδών, με βάση την οπτική αναγνώριση της περιοχής σε συνδυασμό με μελέτη επί χάρτου, θεωρείται πιθανή ότι στην ευρύτερη περιοχή ζουν πολλά από τα είδη που απαντώνται στην Πάρνηθα, δηλαδή περισσότερα από 20 είδη θηλαστικών, πάνω από 100 είδη πτηνών, πάνω από 10 είδη ερπετών και μεγάλος αριθμούς ασπόνδυλων ειδών. Από αυτά, τουλάχιστον 80 είδη πτηνών και πάνω από 15 είδη θηλαστικών και ερπετών βρίσκονται σε καθεστώς αυστηρής προστασίας σύμφωνα με τη Σύμβαση της Βέρνης.

Επισημαίνεται η οικολογική αξία των δασωμένων αυτών περιοχών που δεν έχουν καεί, αλλά και αυτών που τελούν υπό καθεστώς αναγέννησης (80.000 στρέμματα) ως φυσικού διαδρόμου επικοινωνίας μεταξύ του ορεινού όγκου και του Εθνικού Δρυμού Πάρνηθας (ειδικότερα μετά τις καταστροφικές πυρκαγιές του 2007) αφενός και του ορεινού όγκου του Κιθαιρώνα και του Πατέρα αφετέρου. Οι διάδρομοι επικοινωνίας μεταξύ δύο διαφορετικών φυσικών ενοτήτων, είναι πολύ σημαντικοί για τη διατήρηση της ποικιλίας των βιολογικών ειδών χλωρίδας και πανίδας και επομένως του πλούτου των οικοσυστημάτων της κάθε μιας φυσικής ενότητας καθώς και του φυσικού περιβάλλοντος της ευρύτερης περιοχής. Για να ανταποκριθούν στη λειτουργία τους αυτοί οι διάδρομοι, πρέπει να καλύπτονται από φυσική βλάστηση και να μην είναι πολύ στενοί σε σχέση με το μήκος τους. Ο σημερινός φυσικός διάδρομος μεταξύ Πάρνηθας και Κιθαιρώνα - Πατέρα, είναι ό,τι απέμεινε από το φυσικό οικοσύστημα της περιοχής, μετά από την ανάπτυξη εκατέρωθεν, διαφόρων γεωργικών, βιομηχανικών και οικιστικών δραστηριοτήτων. Περαιτέρω στένωση αυτού του διαδρόμου θα προκαλέσει τη σχετική απομόνωση των δύο μεγάλων φυσικών περιοχών και μακροπρόθεσμα, θα υπονομεύσει τη διατήρησή τους.

3.3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Οι βασικές κατηγορίες χρήσεων γης στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Σούρες, περιγράφονται παρακάτω. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η εν λόγω λεκάνη καταλαμβάνει ένα μεγάλο μέρος της έκτασης του δήμου Μάνδρας, και ένα τμήμα της έκτασης της κοινότητας Μαγούλας.

3.3.1. Κατοικία

Δήμος Μάνδρας

Ο οικισμός της Μάνδρας, έχει σήμερα δομή επηρεασμένη αφενός από την το-

πογραφία της περιοχής, και αφετέρου από την ιστορική εξέλιξη του (αρχική απασχόληση των κατοίκων του με την κτηνοτροφία, καθαρά αγροτικός χαρακτήρας κλπ.). Ακόμα και σήμερα το παραδοσιακό τμήμα του οικισμού έχει καθαρά αγροτικό χαρακτήρα με πυκνό οικιστικό ιστό.

Η κυρίως περιοχή κατοικίας, περιορίζεται μέσα στα όρια του εγκεκριμένου σχεδίου ($1,35 \text{ Km}^2$), και είναι διαμορφωμένη σε ενότητες γύρω από τον αρχικό πυρήνα του οικισμού, που διακρίνονται μεταξύ τους από το σύστημα των δρόμων και τον τύπο των κατοικιών.

Οι τάσεις ανάπτυξης του κυρίως οικισμού, προσδιορίστηκαν μονοσήμαντα, αφού τα υφιστάμενα εμπόδια, δεν έδιναν πολλές δυνατότητες επεκτάσεων. Στα βόρεια η Ζώνη λατομείων βωξίτη της Εταιρείας «Σκαλιστήρη», η παλιά εθνική Αθηνών - Θηβών, στα ανατολικά ομοίως η παλιά εθνική Αθηνών - Θηβών και η υπό ανάπτυξη βιομηχανική ζώνη, στα νότια και νοτιοανατολικά στρατόπεδα και αποθήκες, υποχρέωσαν τους κατοίκους της Μάνδρας να αναπτύξουν τον οικιστικό ιστό στα δυτικά. Λόγω της αυξημένης όμως ζήτησης σε γη, άλλα και με την **εσφαλμένη αίσθηση ασφάλειας** που παρέχει ο ίδιος ο χείμαρρος της Αγίας Αικατερίνης με τη σπάνια απορροή του (βλ. Κεφ.1 & Κεφ3), ανάγκασαν τους κατοίκους να οικοδομήσουν όχι μόνο τις αναβαθμίδες, αλλά και την κοίτη του.

Κοινότητα Μαγούλας

Η έκταση του εγκεκριμένου σχεδίου πόλης της Μαγούλας, σύμφωνα με τα στοιχεία του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου ήταν $0,75 \text{ Km}^2$, και η έκταση καθαρής κατοικίας $0,20 \text{ Km}^2$. Από την υπόλοιπη έκταση, τα $0,46 \text{ Km}^2$ καλύπτονται από καλλιέργειες και τα $0,09 \text{ Km}^2$ δεν έχουν ακόμη αξιοποιηθεί.

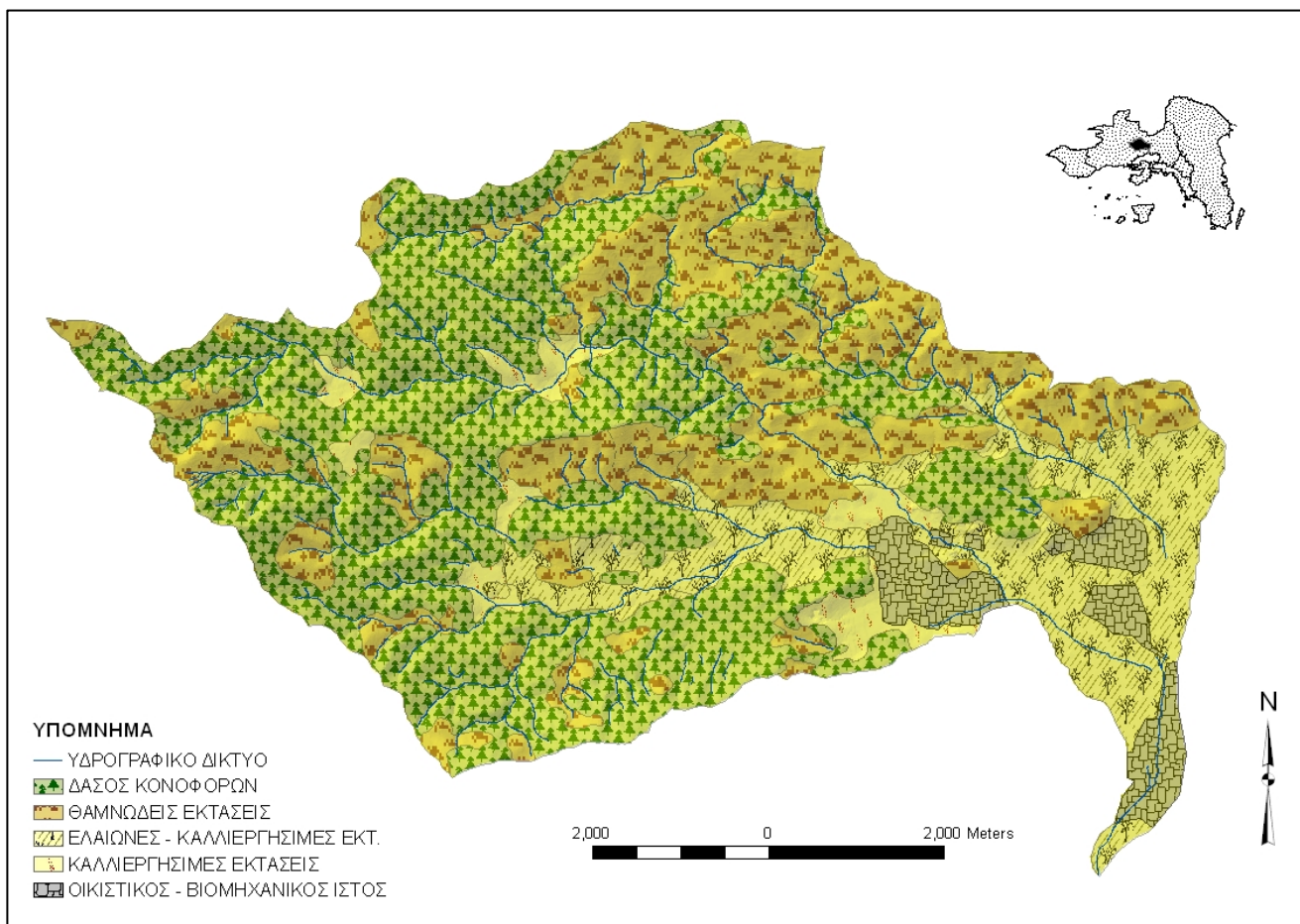
Το δομημένο περιβάλλον του οικισμού έχει χαρακτήρα αγροτικό, είναι δε οργανωμένο σε τρεις οικιστικούς πυρήνες ("Οικισμός", "Πάτημα", και "Τσακάλι").

Διάσπαρτα αυθαίρετα κτίσματα Α' κατοικίας, υπάρχουν στο νότιο τμήμα της κοινότητας καθώς και στο δυτικό τμήμα (στην περιοχή του Προφήτη Ηλία).

3.3.2. Τουρισμός - Αναψυχή - Παραθεριστική κατοικία

Παραθεριστικές συγκεντρώσεις σημαντικής έκτασης παρατηρούνται στα ορεινά του Δήμου Μάνδρας, με αρκετά πυκνοδομημένα τμήματα στα Παλαιοκούνδουρα, στην εντός Σχεδίου περιοχή του οικισμού "Τιτάν" και ακόμη, αραιότερες συγκεντρώσεις στις περιοχές Αγία Σωτήρα, Βιλιαρί, Διόδια, Λεύκα, Θέα, Λούτσα, Αγ.Γεώργιος, Καραούλι, Κόρακα, Μελετάκι, Σωτήροζα.

Να σημειωθεί ότι στο δήμο Μάνδρας υπάρχει σημαντικός αριθμός οικοδομικών συνεταιρισμών, πολλοί εκ των οποίων έχουν ήδη εγκεκριμένο σχέδιο για δημιουργία παραθεριστικής κατοικίας.



Χάρτης 3-2: Χάρτης χρήσεων γης υδρογραφικής λεκάνης χειμάρρου Σούρες

3.3.3. Βιομηχανία – Βιοτεχνία

Δήμος Μάνδρας

Στο Δήμο Μάνδρας παρατηρούνται 108 περίπου διάσπαρτα βιομηχανικά καταστήματα, τα περισσότερα από τα οποία είναι συγκεντρωμένα νότια και νοτιοανατολικά της πόλης. Μέσα στο εγκεκριμένο σχέδιο, δεν υπάρχουν οχλούσες μονάδες. Το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο του Δήμου Μάνδρας προσδιορίζει τον καθορισμό Βιομηχανικών Πάρκων και Βιοτεχνικού Πάρκου, ΒΙΟΠΑ, μεταξύ των οικισμών Μάνδρας και Μαγούλας (έκτασης 2.000 στρεμμάτων), για τη μετεγκατάσταση μονάδων από κατοικημένες περιοχές με παραμονή μονάδων που δεν προκαλούν ιδιαίτερα προβλήματα όχλησης. Μέσα στη ζώνη αυτή, λειτουργούν ήδη 27 περίπου μονάδες από τις σημαντικότερες που υπάρχουν σε όλο το Δήμο.

Κοινότητα Μαγούλας

Μέσα στο εγκεκριμένο σχέδιο, λειτουργούν βιομηχανικά καταστήματα που δεν ενοχλούν ιδιαίτερα. Όμως η μείξη μονάδων βιομηχανίας και βιοτεχνίας με τις περιοχές κατοικίας ή η διασπορά τους στον περιεριστικό χώρο και εκτός των σχεδιασμένων ζωνών ΒΙΟΠΑ-ΒΙΠΕ-ΒΕΠΕ, συνιστά πολεοδομικό πρόβλημα στην εν λόγω κοινότητα που χρήζει επίλυσης με κριτήρια περιορισμού της ασυμβίβαστης μείξης χρήσεων. Αντίθετα, προβληματικές από πλευράς όχλησης είναι οι ασβεστοκάμινοι που βρίσκονται στη βορειοανατολική πλαγιά του λόφου του Προφήτη Ηλία και το χοιροστάσιο δυτικά της περιοχής "Τσακάλι".

3.3.4. Γεωργική γη

Δήμος Μάνδρας

Σχεδόν όλες οι πεδινές εκτάσεις της λεκάνης καταλαμβάνονται από αιωνόβιους ελαιώνες (παραδοσιακή καλλιέργεια στην περιοχή). Το χαρακτηριστικό αυτών των ελαιώνων είναι η αραιή διάταξη των δένδρων, έτσι ώστε στην ίδια γη να καλλιεργούνται και δημητριακά (κυρίως σιτάρι). Λιγότερες εκτάσεις χρησιμοποιούνται για την παραγωγή κηπευτικών (που απαιτούν και μεγάλες ποσότητες νερού), οι οποίες διοχετεύονται κυρίως στις τοπικές λαϊκές αγορές αλλά και εκείνες της Αθήνας.

Στα Δυτικά της πόλης της Μάνδρας και σε όλη την πεδινή έκταση της λεκάνης Αγ. Αικατερίνης η χρήση αυτή διατηρείται ακόμα και σήμερα. Στα ανατολικά νοτιοανατολικά και νότια (δηλ. στο Δυτικό περιθώριο του Θριασίου Πεδίου), η χρήση αυτή εκτοπίζεται με το πέρασ του χρόνου, αλλάζοντας σε βιομηχανική χρήση ή χρήση χονδρεμπορίου, παράλληλα με τη συρρίκνωση του αγροτικού πληθυσμού.

Γεωργικά χρησιμοποιούμενες εκτάσεις, άλλοτε μικρές και άλλοτε μεγαλύτερες, (ανάλογα με τις κλίσεις του εδάφους, το εδαφικό υλικό και τη δυνατότητα πρόσβασης), βρίσκονται και σε ημιορεινές και ορεινές περιοχές της λεκάνης. Πρόκειται κυρίως για «λάκκες» (τοπική ονομασία), που προκύπτουν από το καρστικού τύπου υπόβαθρο και βρίσκονται παρενεσπαρμένες ανάμεσα σε λόφους και σε βουβά.

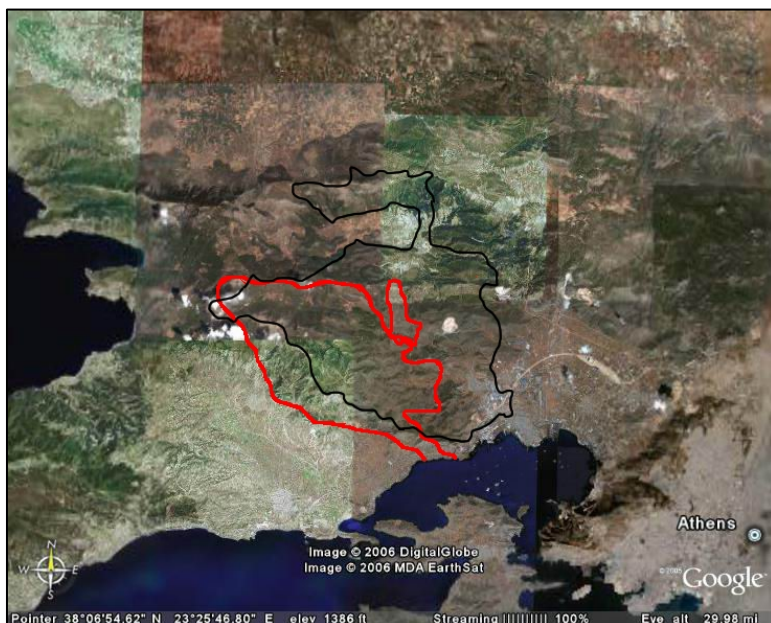
Κοινότητα Μαγούλας

Η γεωργική γη στην κοινότητα Μαγούλας τείνει να εξαφανιστεί, λόγω της μεγάλης ζήτησης σε γη για οικιστική, βιομηχανική χρήση και ανάγκες χονδρεμπορίου. Έτσι περιμετρικά της κοινότητας και συγκεκριμένα στις χειμαρρώδεις αποθέσεις του Μικρού Κατερινιού, παρατηρείται ασυμβίβαστη μείξη χρήσεων γης που τείνουν να εξαφανίσουν αιωνόβιους ελαιώνες ανάλογους με αυτούς που περιγράφηκαν στη λεκάνη Αγ. Αικατερίνης

3.3.5. Δάση - Δασικές εκτάσεις

Τα δάση και οι δασικές εκτάσεις είναι η κύρια μορφή κάλυψης του εδάφους στα ορεινά και ημιορεινά της λεκάνης απορροής το είδος των οποίων περιγράφεται στην παρ. 3.2.6. Καταλαμβάνουν πάνω από το μισό της συνολικής έκτασης του δήμου Μάνδρας (122.000 στρ από τα 206.000 στρ).

Η μορφή των δασών, όπου δεν έχει διαταραχθεί πρόσφατα από πυρκαγιές, είναι αρκετά καλή, και κυρίως εκείνο το τμήμα που έχει αναγεννηθεί μετά την πυρκαγιά του Αυγούστου 1985 κατά την οποία αποτεφρώθηκαν 80.000 στρέμματα. Τμήμα αυτής της έκτασης αποτελεί σήμερα καταφύγιο άγριας ζωής.



Εικόνα 3-1 Με το κόκκινο περίγραμμα απεικονίζεται η καμένη έκταση των πυρκαγιών του 1985, σε σχέση με τα διοικητικά όρια του δήμου Μάνδρας (μαύρο περίγραμμα). Διακρίνονται οι πιο σκουρόχρωμες εκτάσεις που αντιστοιχούν σε ώριμα δάση, καθώς και ανοιχτόχρωμες που αντιστοιχούν σε αναγεννημένα.

Η εν λόγω πυρκαγιά ξεκίνησε από το Μάκρο όρος και με τη βοήθεια των ετησίων, πέρασε στην κυρίως οροσειρά του Πατέρα και έφθασε μέχρι το Σαρωνικό (Νεράκι Μεγάλου Πεύκου). Επόμενη μεγάλη πυρκαγιά εκδηλώθηκε το καλοκαίρι 1995 στη θέση Αγία Σωτήρα, όπου κατέκαψε 3000 περίπου στρέμματα χαλεπίου Πεύκης. Έκτοτε μικρότερης έκτασης και έντασης πυρκαγιές, καίνε ετησίως δεκάδες ή εκατοντάδες στρέμματα δασικής έκτασης.

Η χρήση των δασών για παραγωγή ξυλείας περιορίζεται μόνο στην κάλυψη ατομικών αναγκών των κατοίκων των γύρω οικισμών.

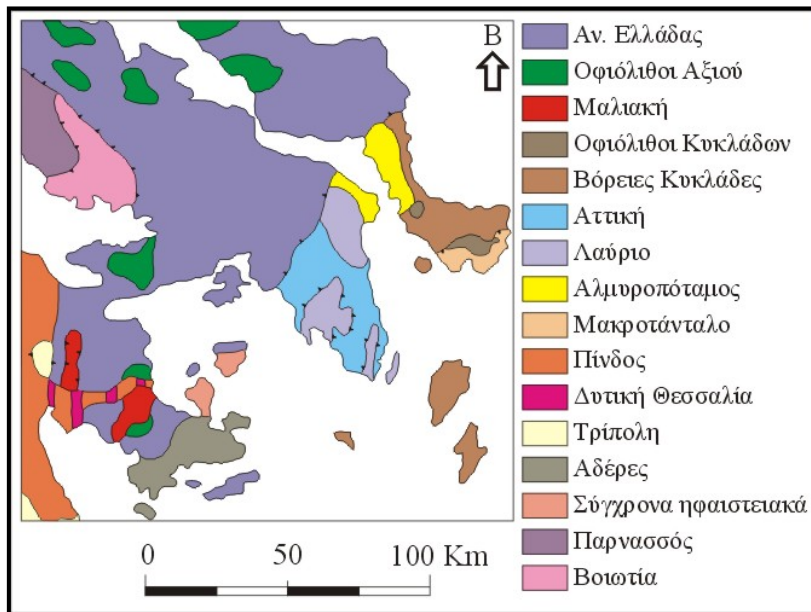
Η ρητινοσυλλογή, που παλαιότερα απέφερε ένα αξιόλογο εισόδημα, σήμερα έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί. Η χρήση της ξυλείας κυρίως σκληρόξυλων θάμνων για κάρβουνο, είναι επίσης υπό εγκατάλειψη.

Σήμερα και τα δάση, όπως και οι δασικές εκτάσεις, αποτελούν βοσκοτόπια, όπου η κτηνοτροφία αποτελεί παραδοσιακή οικονομική δραστηριότητα και παρατηρείται μεγάλη συγκέντρωση ζωικού κεφαλαίου.

Οι χορτολιβαδικές εκτάσεις στην ευρύτερη περιοχή, είναι λιγότερες. Χρησιμοποιούνται ως βοσκότοποι, κάτι που γίνεται και με τις περισσότερες δασικές εκτάσεις και τα δάση της χώρας. Η βοσκή στην περιοχή αυτή της Αττικής, είναι κυριολεκτικά ανεξέλεγκτη, αφού παρατηρείται ακόμη και σε περιοχές πρόσφατα καμένες.

3.4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Η Αττική (στην οποία ανήκει η υπό μελέτη υδρολογική λεκάνη) χαρακτηρίζεται από μία σύνθετη γεωλογική δομή, στην οποία απαντώνται τόσο αλπικοί όσο και μεταλπικοί γεωλογικοί σχηματισμοί, που καλύπτουν όλους τους κύριους πετρολογικούς τύπους (ιζηματογενή, εκρηξιγενή, μεταμορφωμένα πετρώματα). Οι αλπικοί σχηματισμοί ανήκουν σε δύο βασικές κατηγορίες πετρωμάτων τα αμεταμόρφωτα και τα μεταμορφωμένα. Διακρίνονται σε επιμέρους γεωτεκτονικές ενότητες όπως της Ανατολικής Ελλάδας, της ενότητας Αλμυροποτάμου, της ενότητα Λαυρίου και της ενότητας της Αττικής (Χαρτ. 3.3).



Χάρτης 3-3: Χάρτης Γεωτεκτονικών ενοτήτων (τροποποιημένος από PAPANIKOLAΟΥ 1989).

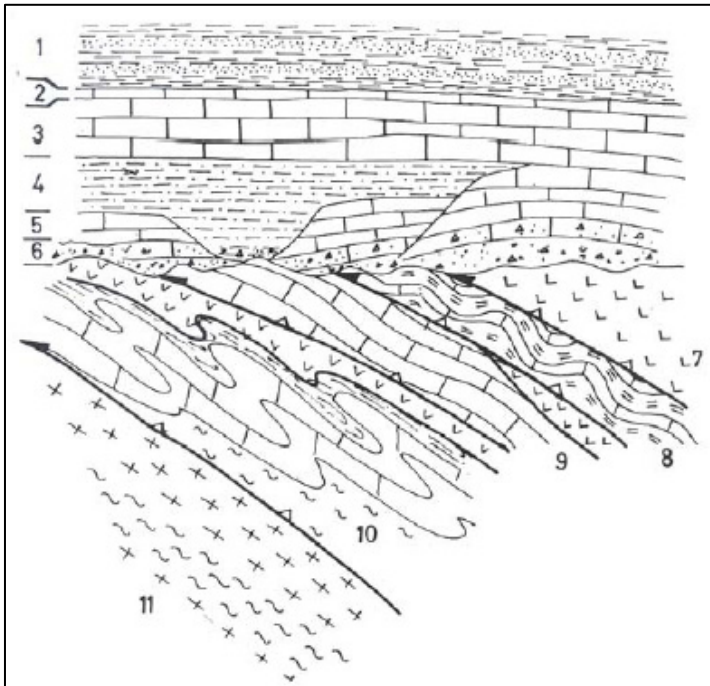
Πιο συγκεκριμένα οι αλπικοί σχηματισμοί οι οποίοι απαρτίζουν το υπόβαθρο της λεκάνης απορροής του χ. Σούρες, εντάσσονται στην γεωτεκτονική ενότητα Ανατολικής Ελλάδας. Πρόκειται για πλήθος ενοτήτων παλαιοτεκτονισμένων οι οποίες έχουν ομογενοποιηθεί από την Ανωκρητιδική επίκλυση. Το κατώτερο τμήμα της ενότητας αποτελείται από ένα

σύνολο μεταμορφωμένων και αμεταμόρφωτων ενοτήτων («Υποπελαγονική», Μαλιακή, Αλμωπία, κλπ). Στην περιοχή ενδιαφέροντος εμφανίζεται η «Υποπελαγονική» ενότητα. Το ανώτερο τμήμα, το οποίο καλύπτει ασύμφωνα (και ενοποιεί τις ενότητες που υπόκεινται), αποτελείται από ιζήματα της ανωκρητιδικής επίκλυσης (κυρίως Κενομάνιο) που καταλήγουν στον Ηωκαινικό φλύσχη. Η γεωτεκτονική ενότητα της Ανατολικής Ελλάδας έχει νόημα μόνο για το διάστημα μετά το Κενομάνιο. Έρχεται να ενοποιήσει όλους τους παλαιογεωγραφικούς χώρους που είχαν ήδη τεκτονιστεί κατά την παλαιοαλπική ορογένεση, στο διάστημα Άνω Ιουρασικό - Κάτω Κρητιδικό, και στη συνέχεια συμμετέχουν μαζί σε ένα νέο ορογενετικό κύκλο, σ' αυτό της κύριας αλπικής φάσης κατά το Ηώκαινο. Πρόκειται δηλαδή για δύο σύνολα σχηματισμών:

Ένα κατώτερο το οποίο αποτελείται από διαφορετικούς παλαιογεωγραφικούς χώρους (Υποπελαγονική, Αλμωπία, κλπ) οι οποίοι σταματούν να λειτουργούν στο διάστημα από το Άνω Ιουρασικό έως το Κάτω Κρητιδικό όπου και συμμετέχουν στην παλαιοαλπική ορογενετική φάση.

Ένα ανώτερο το οποίο ομογενοποιεί όλους τους υποκείμενους χώρους κάτω από τα ιζήματα της Κενομάνιας επίκλυσης. Στη συνέχεια οι χώροι αυτοί, σαν Ανατολική Ελλάδα πλέον, συμμετέχουν στον καθαρά αλπικό κύκλο του Ηωκαίνου (Εικ. 3.2). Πρόκειται κυρίως για ανθρακικά πετρώματα, κροκαλοπαγή και φλύσχη που έχουν αποθεθεί μετά την Κενομάνια επίκλυση. Εντοπίζεται κατά θέσεις στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής. Τα ανθρακικά του Κενομανίου καλύπτουν το 4% του υποβάθρου της λεκάνης απορροής του χ. Σούρες.

«Υποπελαγονική»



Εικόνα 3-2: Σχηματική απεικόνιση της συνθετικής γεωλογικής δομής του χώρου της Ανατολικής Ελλάδας (ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ 1986). 1-6: Ιζήματα της Άνω Κρητιδικής επίκλυσης. 1: Φλύσχης (Δάνιο – Ηώκαινο), 2: Πελαγικοί ασβεστόλιθοι με *Globotruncanes* (Μαιστρίχτιο), 3: ρουδιστοφόροι ασβεστόλιθοι (κυρίως Καμπάνιο – Μαιστρίχτιο), 4: κλαστικοί τουρβιδιτικοί σχηματισμοί φλυσχοειδούς χαρακτήρα (κυρίως Κενομάνιο – Τουρώνιο), 5: νηριτικοί ασβεστόλιθοι (κυρίως Κενομάνιο – Τουρώνιο), 6: κροκαλοπαγή και ψαμμιτικοί ασβεστόλιθοι (Κενομάνιο). 7-11: Προ – Ανωκρητιδικές ενότητες. 7: οφιόλιθοι, 8: Μαλιακή, 9: «Υποπελαγονική», 10: Αλμωπία (και μεταμορφωμένη Πελαγονική s.s.), 11: Καστοριά και Φλάμπουρο

τισμός ο οποίος περιέχει ολισθόλιθους μαύρων ασβεστόλιθων Περμικής ηλικίας. Εμφανίζεται στην περιοχή της Αγ. Τριάδας δυτικά της στενής περιοχής ενδιαφέροντος.

Ηφαιστειακά (μεταηφαιστίτες). Στη βάση της ανθρακικής πλατφόρμας εμφανίζονται ηφαιστειακά βασικής σύστασης. Πρόκειται για χαλαζιακούς κερατοφύρες, τόφφους, κλπ του Μέσου Τριαδικού. Ο ορίζοντας των ηφαιστειακών παρεμβάλλεται, κατά θέσεις, ανάμεσα στα ανθρακικά ιζήματα της πλατφόρμας και στον Περμοτριάδικό κλαστικό σχηματισμό. Το όριο των ανθρακικών με τον υποκείμενο ηφαιστειοϊζηματογενή σχηματισμό λειτουργεί πολλές φορές σαν επιφάνεια τεκτονικής αποκόλλησης (decollement). Αποτελούν μόνο το 1% του υποβάθρου της λεκάνης απορροής

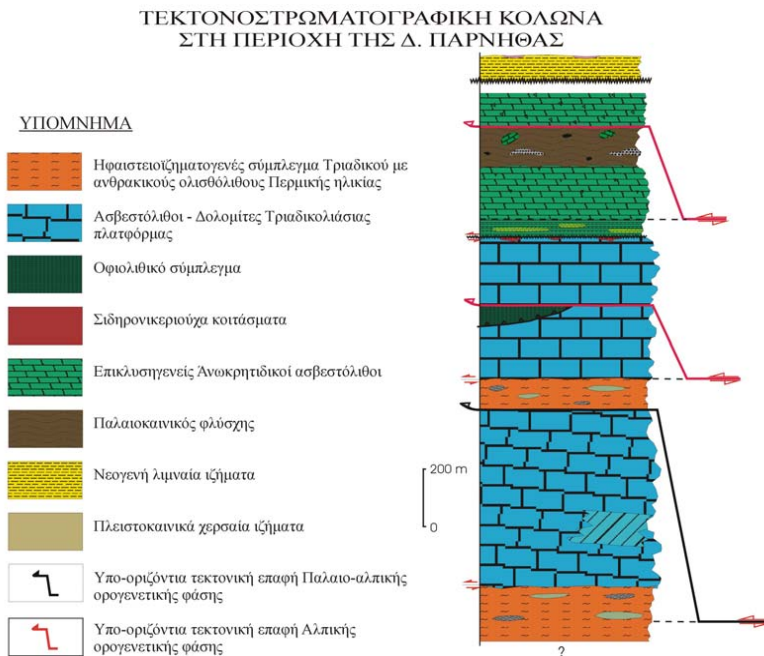
Ανθρακικά ιζήματα. Το μεγαλύτερο τμήμα των ορεινών όγκων της Αττικής καλύπτεται από ανθρακικά πετρώματα της Τριαδικολιάσιας πλατφόρμας η οποία καλύπτει το διάστημα από το μέσο Τριαδικό έως το Δογγέριο. Οι παλαιότεροι ορι-

Η γεωτεκτονική ενότητα της «Υποπελαγονικής» δομεί το μεγαλύτερο τμήμα της Αττικής. Αναπτύσσεται κυρίως στους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας, του Πατέρα, του Κιθαιρώνα και δυτικότερα. Πρόκειται για μια αμεταμόρφωτη ενότητα της οποίας η στρωματογραφική κολώνα αποτελείται από μια νηριτική ακολουθία από το Άνω Τριαδικό έως και το Ιουρασικό. Στο όριο Ιουρασικού -Κρητιδικού έχουν τοποθετηθεί τεκτονικά οφιόλιθοι.

Η στρωματογραφική διάρθρωση της ενότητας είναι η ακόλουθη, από τους παλαιότερους σχηματισμούς προς τους νεότερους (Εικ. 3.3).

Περμοτριάδικός Κλαστικός σχηματισμός. Στη βάση της κολώνας, στο Ανώτερο Παλαιοζωικό -Κατώτερο Τριαδικό, παρατηρείται ένας πηλιτοψαμμιτικός κλαστικός σχημα-

ζοντες (Μέσο Τριαδικό) είναι μερικές φορές κρυσταλλικοί ή άλλοτε περιέχουν οξειδία που οφείλονται στη δράση κοντινής ηφαιστειότητας και σχηματίζουν οριζόντες ερυθρών κονδυλωδών μαργαϊκών ασβεστόλιθων φάσης *ammonitico rosso*. Στο Άνω Τριαδικό εμφανίζονται επίσης ωλιθικοί ασβεστόλιθοι και δολομίτες.



Εικόνα 3-3: Τεκτονοστρωματογραφική κολώνα των ενότητων Ανατολικής Ελλάδας και Υποπελαγονικής στην περιοχή της Δυτικής Πάρνηθας (από Μαριολλάκος και συνεργάτες 2004)

τρωμάτων μέσα στην αργιλική μάζα τα οποία είναι συνήθως εξαλλοιωμένα και αποσαθρωμένα με κύριες πετρολογικές φάσεις τον κεροστιλβικό γάββρο και το λερζόλιθο. Κατά θέσεις διακρίνονται και συμπαγείς περιδοτίτες με ελάχιστη εξαλλοίωση. Δεν εμφανίζονται στην λεκάνη απορροής

Οι μεταλλικοί σχηματισμοί που απαρτίζουν το υπόβαθρο της λεκάνης απορροής του χ. Σούρες αφορούν κυρίως χειμαρρώδεις αποθέσεις του Τεταρτογενούς. Συνίστανται από άμμους χάλικες λατύπες κροκάλες. Σχηματισμοί με ισχυρή διαγένεση οπότε προκύπτουν ισχυρά – συγκολλημένα λατυποκροκαλοπαγή (με ασβεστομαργαϊκή κόλλα), μεταξύ των οποίων παρεμβάλλονται ενστρώσεις καστανέρυθρου αμμούχου αργίλου με ασβεστιτικά συγκρίματα. Καταλαμβάνουν κοίτες και αναβαθμίδες των χειμάρρων και μικρές λεκάνες. Κώνοι κορημάτων και πλευρικά κορήματα (ολοκαινικής ηλικίας) αποτελούμενα από ασύνδετα ή μικρής συνεκτικότητας κροκαλολατυποπαγή, κυρίως ασβεστολιθικής σύστασης, εμφανίζονται στις πλαγιές ορεινών και ημιορεινών περιοχών, εκεί όπου απαντώνται μορφολογικές ασυνέχειες.

Όλοι οι παραπάνω σχηματισμοί έχουν αποτεθεί ασύμφωνα πάνω στο διαμορφωμένο παλαιοαναγλυφο των Τριαδικών και Άνωκρητιδικών ασβεστόλιθων. Το συνολικό πάχος του σχηματισμού κυμαίνεται από 0- 50 μέτρα για τη στενή περιο-

Στην λεκάνη απορροής καταλαμβάνουν το 72% του υποβάθρου της.

Σχιστοψαμμιοκερατολιθική (sh) διάπλαση – Οφιόλιθοι. Η σχιστοψαμμιοκερατολιθική διάπλαση αποτελείται από μία κύρια μάζα αργιλοπυριτικού υλικού, συνήθως κοκκινωπού χρώματος, που φιλοξενεί τεμάχια ανθρακικών (κυρίως του ιουρασικού), κερατόλιθους και πρασινοπετρώματα υπερβασικής σύστασης. Αυτή η μορφή της δεν είναι η μοναδική αφού μπορεί κανείς να παρατηρήσει ολόκληρα τεμάχια υπερβασικών πε-

χή ενδιαφέροντος, ενώ αυξάνεται προχωρώντας ανατολικότερα στο Δυτικό περιθώριο του Θριασίου Πεδίου, ξεπερνώντας τα 450 μέτρα τοπικά (βλ. Χάρτη 3-4).

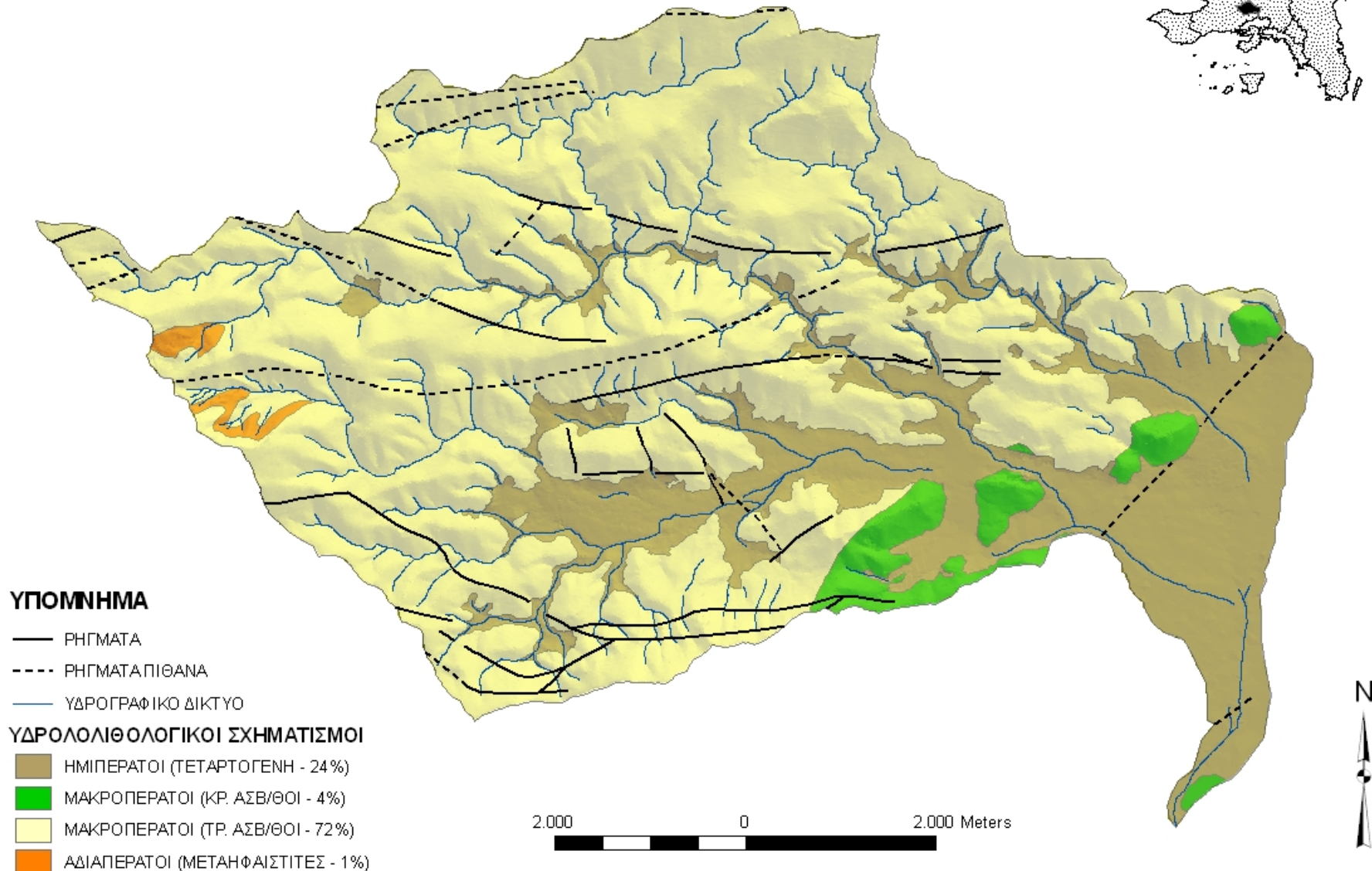
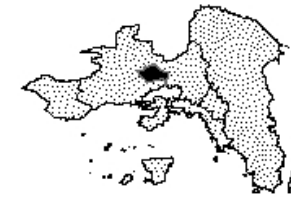
3.5. Υδρολογικές συνθήκες - Καρστικοποίηση

3.5.1. Υδρολογική συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών που απαρτίζουν το υπόβαθρο της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Σούρες.

Οι γεωλογικοί σχηματισμοί που απαρτίζουν το υπόβαθρο της λεκάνης του χειμάρρου Σούρες, ως προς την υδρολιθολογική συμπεριφορά (Χάρτης 3-4) χαρακτηρίζονται ως εξής:

- *Υδατοστεγείς σχηματισμοί.* Είναι οι νεοπαλαιοζωικοί σχηματισμοί από σχιστοψαμμίτες και ηφαιστίτες, που καταλαμβάνουν το 1% της επιφάνειας του δυτικού τμήματος της λεκάνης απορροής. Δεν διαμορφώνουν τις υδρολογικές συνθήκες της λεκάνης και τα υδρολογικά όρια των καρστικών υδροφορέων της περιοχής. Η σχέση τους με τους υποκείμενους ασβεστολίθους είναι τεκτονική (επίπτευση μικρής κλίμακας), απ όπου προκύπτει εποχιακή πηγή που αποφορτίζεται μέσα στη λεκάνη.
- *Μακροπερατοί - Καρστικοί σχηματισμοί.* Σε αυτήν την κατηγορία περιλαμβάνονται οι ανθρακικοί σχηματισμοί του Τριαδικού και του Κρητιδικού από μέτρια έως μεγάλη υδροφορία. Η κατείσδυση στους εν λόγω σχηματισμούς εκτιμάται 35% - 55% (επί του πίπτοντας υετού), ανάλογα με το βαθμό καρστικοποίησης. Η κίνηση του νερού εντός των ανθρακικών αυτών μαζών, είναι ανισότροπη και μερικές φορές τυρβώδης (στην περίπτωση αγωγών μεγάλης διαμέτρου). Η κατακόρυφη περατότητα, είναι πολύ υψηλή σε σχέση με την οριζόντια. Από την διαβρωτική διεργασία που πραγματοποιείται εξαιτίας της κίνησης του νερού, δημιουργούνται διάφοροι τύποι καρστικών εγκοίλων ποικίλου μεγέθους. Εκτός της καρστικοποίησης (χημική διάλυση των ασβεστολίθων) η υδροφορία των ανθρακικών σχηματισμών οφείλεται στο βαθμό κατακερματισμού τους, (τεκτονική καταπόνηση), που δημιουργεί δευτερογενές πορώδες μέσω των διαρρήξεων. Οι Τριαδικοί ασβεστόλιθοι αποτελούν σχηματισμοί που διαμορφώνουν τις υδρολογικές συνθήκες της λεκάνης αφού καταλαμβάνουν το 72% του υποβάθρου της εξεταζόμενης λεκάνης.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΟΣ - ΥΔΡΟΛΙΘΟΛΟΓΙΚΟΣ ΧΑΡΤΗΣ
ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΟΥ Χ. ΣΟΥΡΕΣ



Χάρτης 3-4: Υδρολιθολογικός – Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης του χείμαρρου Σούρες.

- *Ημιπερατοί ή μικρής δυναμικότητας σχηματισμοί.* Οι εμφανίσεις των Ανωκρητιδικών ασβεστολίθων τοπικά χαρακτηρίζονται από μέτρια έως πτωχή περατότητα, εκεί όπου υπερισχύει το μαργαϊκό υλικό. Αποτελούν μικρής δυναμικότητας υδαταποθήκες, που εκφορτίζονται στους Τριαδικούς ασβεστολίθους κυρίως μέσω κατακόρυφης υδραυλικής επικοινωνίας. Γι αυτό το λόγο, αλλά και επειδή καταλαμβάνουν μόνο το 4% του υποβάθρου της λεκάνης, δεν αποτελούν σχηματισμούς που διαμορφώνουν τις υδρολογικές συνθήκες της λεκάνης. Οι μεταλλικοί σχηματισμοί (χειμαρρώδεις αποθέσεις, κώνοι κορημάτων, κ.α.) αποτελούν ανάλογες υδρολιθολογικές ενότητες ως προς την περατότητα. Λόγω του ότι, ως προς τη σύνθεσή τους καλύπτουν κατά μεγάλο μέρος την κλίμακα από τα αδρομερή μέχρι χάλικες και άμμους, εξυπηρετούν τη συντήρηση της υδροφορίας, κυρίως εκεί που αυξάνεται το πάχος. Οι εναλλαγές με φακούς ή ενστρώσεις καστανέρυθρου αμμούχου αργίλου που «παίζουν» το ρόλο του αδιαπέρατου υποβάθρου, επιτρέπουν τη δημιουργία επικρεμάμενων υδροφόρων οριζόντων. Η υδροφορία τους μαρτυράται από το αραιό ρηχό και συχνά αποσβούμενο υδρογραφικό δίκτυο. Τοπική αύξηση του λεπτομερούς υλικό (αργιλικό μέλος) μειώνει την υδροδοτική ικανότητά τους. Οι εν λόγω σχηματισμοί μπορούν με πλευρική υδραυλική επικοινωνία, να τροφοδοτούνται από τις ασβεστολιθικές μάζες, εφόσον επικάθονται ασύμφωνα πάνω σ αυτές. Η υδροφορία τους είναι διάχυτη και ελέγχεται από τους φακούς και τις ενστρώσεις των αμμούχων αργίλων.

3.5.2. Καρστικά συστήματα λεκάνης απορροής χείμαρρου Σούρες



Εικόνα 3-4: Δολίνη στη περιοχή Κορυφή – Μπούφος στο Όρος Πατέρα πληρωμένη με αργιλοαμμώδες υλικό.

Το μεγαλύτερο ποσοστό της επιφάνειας της λεκάνης του Σούρες (76%), απαρτίζεται από ανθρακικού τύπου πετρώματα. Οι μορφές ανάγλυφου που προκύπτουν από τη διάλυση των ανθρακικών πετρωμάτων από το νερό καλείται καρστ, η διαδικασία δε της διάλυσης των πετρωμάτων και η δημιουργία των μορφών καλείται καρστικοποίηση⁴.

⁴ Το νερό της βροχής είναι ελαφρώς όξινο, το οποίο εμπλουτίζεται απ' το CO² της ατμόσφαιρας, διαλύοντας τους ασβεστόλιθους κατά την αντίδραση $\text{CaCO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \leftrightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.



Εικόνα 3-5: Καρστικό φρέαρ – ανενεργή καταβόθρα στη περιοχή Στρογγυλά (Νοτιοδυτική Πάρνηθα πλησίον της πόλης των Σκούρτων)

Οι πλέον καρστικοποιημένοι σχηματισμοί είναι οι Τριαδικο-ιουρασικοί ασβεστόλιθοι της υποπελαγονικής που αποτελούν το 72% του υποβάθρου της λεκάνης. Τούτο συμβαίνει λόγω ιδιόμορφης εξέλιξης των πετρωμάτων αυτής της ενότητας δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος Τέλος Ιουρασικού μέχρι το Κενομάνιο, δηλαδή σε όλη τη διάρκεια του Κάτω Κρητιδικού (50 εκατομμύρια χρόνια) ήταν πάνω από τη στάθμη της θάλασσας και υπόκειντο σε διαδικασίες αποσάθρωσης, διάβρωσης και καρστικοποίησης. Οι ανωκρητιδικοί ασβεστόλιθοι είναι και αυτοί καρστικοποιημένοι, αλλά το χρονικό διάστημα που εξελίχθηκε η καρστικοποίηση σε αυτούς είναι σαφώς μικρότερο και αφορά τα τελευταία 30 εκατομμύρια χρόνια. Το ίδιο όμως χρονικό διάστημα η καρστικοποίηση εξελίσσεται και στους τριαδικο-ιουρασικούς ασβεστόλιθους της Υποπελαγονικής. Συνοψίζοντας η καρστικοποίηση στους τριαδικο-ιουρασικούς ασβεστόλιθους διαρκεί περισσότερο από 80 εκατομμύρια χρόνια, ενώ στους νεότερους ανωκρητιδικούς ασβεστόλιθους διαρκεί περίπου 30 εκατομμύρια χρόνια. Επιπλέον στοιχείο που ενισχύει την άποψη για την καρστικοποίηση των τριαδικο-ιουρασικών ασβεστολίθων είναι και η παρουσία των βωξιτών, οι οποίοι έχουν αποτεθεί σε καρστικά έγκοιλα τα οποία δημιουργήθηκαν σε χρονική περίοδο μετά το Ιουρασικό και πριν το Κενομάνιο.

Το καρστ από την άποψη θέσης προς την επιφάνεια του εδάφους διακρίνεται σε: α) Επιφανειακό και β) Υπόγειο

Από τις επιφανειακές καρστικές μορφές που παίζουν σημαντικό ρόλο στην



Εικόνα 3-6: Καρστικοποιημένες ασυνέχειες σε Τριαδικούς ασβεστολίθους που απαρτίζουν το 72 % του υποβάθρου της λεκάνης.

τέτοιες μεγάλες επιφανειακές καρστικές μορφές, οι οποίες σήμερα διαβρώνονται λόγω της ανοδικής κίνησης της περιοχής κατά την νεοτεκτονική περίοδο (βλ. Υποκεφάλαιο 3.7). Οι περιοχές οι οποίες δεν έχουν επηρεαστεί ακόμα από τις κινήσεις αυτές, δεν έχουν διαβρωθεί και σώζονται δολίνες σαν αυτές της εικόνας 3-4 που παρατηρούνται σε επιφάνειες επιπέδωσης του Όρους Πατέρα στα 1050. Δολίνες, ουβάλες καθώς και η πόλγη των Σκούρτων διατηρούνται στη μεταξύ της



Εικόνα 3-7: Δαιδαλώδη καρστικά συστήματα πληρωμένα με βωξίτικο υλικό στη περιοχή Μπούφος του Όρους Πατέρα. Είναι ευδιάκριτο το ολοκάρστ που αναπτύσσεται και κατακόρυφα και οριζόντια.

υδροφορία, είναι οι δολίνες, οι ουβάλες, οι πόλγες και οι καταβόθρες. Είναι δηλαδή οι μορφές εκείνες που συνδέονται με μία μορφολογική ταπεινώση και επομένως συμπεριφέρονται σαν επιφανειακές συλλεκτήριες λεκάνες, που άλλοτε έχουν μεγαλύτερη και άλλοτε μικρότερη λεκάνη απορροής, ανάλογα με το αν στις μορφολογικές αυτές ταπεινώσεις καταλήγουν ρέματα ή όχι. Στην περιοχή ενδιαφέροντος υπάρχουν παλαιές επιφανειακές καρστικές μορφές (ουβάλες, πόλγες) που σήμερα έχουν διαβρωθεί στις νοτιοδυτικές πλευρές τους και εμφανίζονται ως τμήμα υδρογραφικού δικτύου, όπως η κοιλάδα της Αγ. Αικατερίνης (η οποία στη συνέχεια πληρώθηκε με χειμαρρώδεις αποθέσεις). Άλλωστε οι βωξίτες της περιοχής που βρίσκονται μέσα στη λεκάνη του Σούρες, δημιουργήθηκαν σε

Πάρνηθας και Πάστρας περιοχή με πλήθος ανενεργών καταβοθρών (εικ3.5).

Εκτός από τις εμφανείς αυτές επιφανειακές καρστικές μορφές, υπάρχουν και οι μικρότερες, που στο σύνολό τους διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην κατείσδυση κυκλοφορία μέσα στις ανθρακικές μάζες του νερού των βροχοπτώσεων.

Αυτές οι μορφές είναι τεκτονοκαρστικής προέλευσης, πρόκειται δηλαδή για

τεκτονικές επιφάνειες (ρήγματα διακλάσεις κλπ), που έχουν υποστεί στη συνέχεια την επίδραση της καρστικοποίησης (καρστικής διάβρωσης) δημιουργώντας διάφορες μορφές σε διάφορες κλίμακες και είδη, ανάλογα με την καθαρότητα των ασβεστολίθων, την τεκτονική τους καταπόνηση, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα και τις κλιματικές συνθήκες. Στην λεκάνη του Σούρες αναπτύσσονται στους Τριαδικούς κυρίως ασβεστολίθους.

Η καρστικοποίηση αυτού του είδους, είναι βασικής σημασίας, όταν συνδέεται με μεγάλου μήκους ρηξιγενείς ζώνες, ιδιαίτερα εκεί όπου οι ασβεστόλιθοι έχουν μεγάλο πάχος, όπως συμβαίνει στην γεωτεκτονική ενότητα Ανατολικής Ελλάδας.

Στις υπόγειες ή εσωτερικές καρστικές μορφές υπάγονται οι διευρυμένες τριχοειδείς ή μεγαλύτερων διαστάσεων ρωγμές, μικροί ή μεγαλύτεροι αγωγοί, έγκοιλα και σπήλαια μικρά ή μεγάλα. Στο υπόγειο καρστ (εικ. 3-7), τα σπήλαια εκτείνονται οριζόντια ή είναι βαραθρώδη - δαιδαλώδη κλπ., πάνω ή κάτω από τη στάθμη, της θάλασσας. Πολλές φορές υπάρχει άμεση επικοινωνία του επιφανειακού με το υπόγειο καρστ.

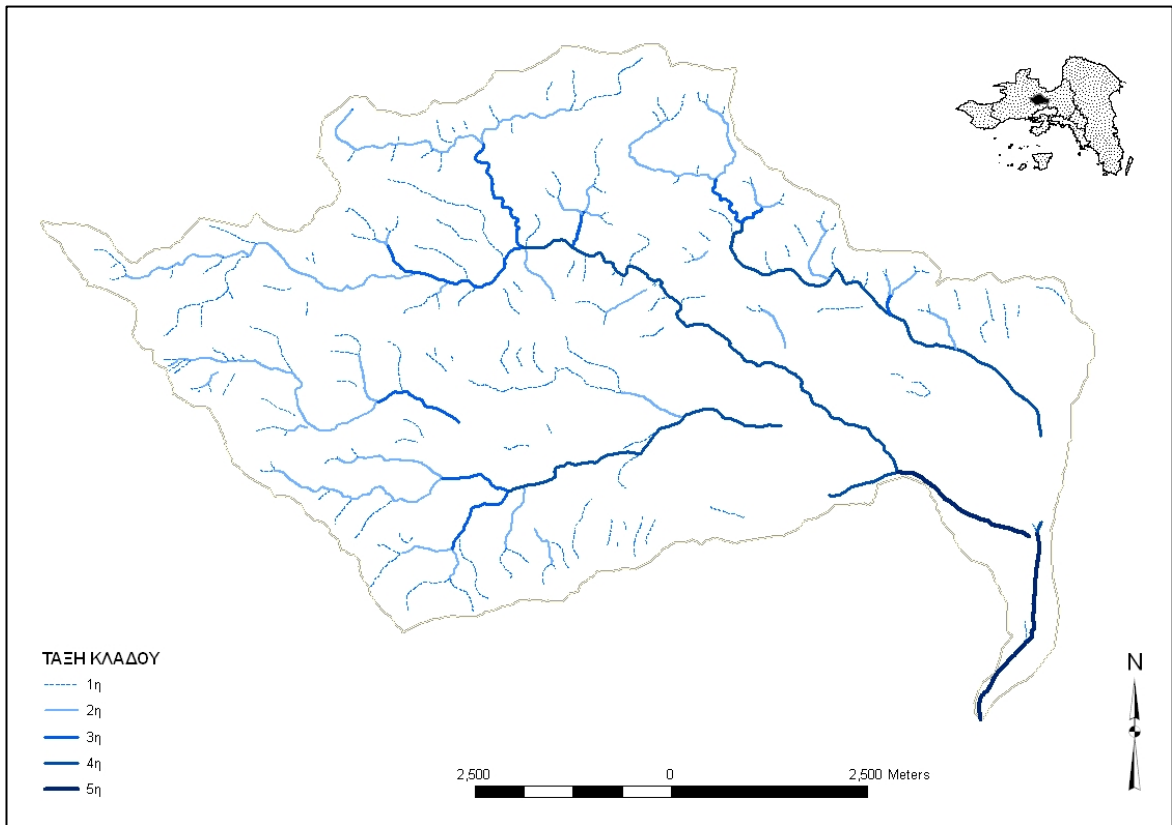
3.6. Υδρογραφικό δίκτυο

Για την δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου του χείμαρρου Σούρες χρησιμοποιήθηκαν χάρτες της ΓΥΣ κλίμακας 1:5000. Δεν προτιμήθηκε εκείνο που προκύπτει από το Ψηφιακό Μοντέλο Αναγλύφου, για το λόγο ότι δεν αναδεικνυε το καρστικό υπόβαθρο της λεκάνης, εφόσον όλοι οι κλάδοι είναι υποχρεωμένοι να τέμνονται (κάτι που δεν υφίσταται). Το υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης του Σούρες ανήκει στα καρστικού τύπου δίκτυα με φτωχή ανάπτυξη και μικρότερο (του αναμενόμενου) αριθμό κλάδων (όπως άλλωστε αναμενόταν μετά την περιγραφή των ανθρακικών πετρωμάτων παραπάνω). Κατά την ιεράρχηση κατά Strahler προέκυψαν 5 τάξεις υδρογραφικού δικτύου (Χάρτης 3-5). Ο αριθμός κλάδων κάθε τάξης και το συνολικό μήκος τους, παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Τάξη κλάδου	Αριθμό κλάδων	Συνολικό μήκος κλάδων (Κm)
1 ^η	171	54,5
2 ^η	33	30
3 ^η	10	17,5
4 ^η	5	10,3
5 ^η	1	4,6

Πίνακας 3-9: Αριθμός και συνολικά μήκη κλάδων Υ.Δ. χείμαρρου Σούρες

Στη συνέχεια εφαρμόζεται ο 1^{ος} Νόμος του Horton προκειμένου να αναδειχθεί η επίδραση του καρστικού υποβάθρου στην ανάπτυξη των κλάδων. Σύμφωνα με αυτόν, ο αριθμός των διαδοχικών μικρότερων τάξεων ενός υδρογραφικού δικτύου, τείνει να σχηματίσει μια αύξουσα γεωμετρική ακολουθία, της οποίας ο πρώτος όρος είναι η μονάδα και λόγος ο συντελεστής διακλάδωσης Rb.



Χάρτης 3-5: Ιεράρχηση υδρογραφικού δικτύου Σούρες κατά Strahler

$$N_u = R_b^{(k-u)} \text{ \& \ } R_b = N_u / N^{(u+1)}$$

Όπου

N_u : ο αριθμός κλάδων τάξης

k : η μέγιστη τάξη

u : η ζητούμενη τάξη

R_b : ο λόγος διακλάδωσης

Έτσι προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

Τάξη u	Αριθμός κλάδων N_u	Λόγος διακλάδωσης R_b	Μέσος λόγος διακλάδωσης R_b	Ιδανικός αριθμός κλάδων	Απόκλιση επί % από ιδαν. τιμή
1η	171	$R_{b_{1-2}}=5,18$ $R_{b_{2-3}}=3,30$ $R_{b_{3-4}}=3,33$ $R_{b_{4-5}}=3,00$	3,70	207	-17
2η	33			56	-41
3η	10			15	-33
4η	3			4	-25
5η	1			1	

Πίνακας 3-10: 1^{ος} Νόμος του Horton στο Υ.Δ. του χειμάρρου Σούρες

Είναι χαρακτηριστική η ελλιπής ανάπτυξη των 1^{ης}, 2^{ης}, 3^{ης} & 4^{ης} τάξης κλάδων από την ιδανική τιμή, ένδειξη της μεγάλης κατεΐσδυσης και της μικρής επιφανειακής απορροής. Η ελλιπής αυτή ανάπτυξη είναι εντονότερη στον κλάδο του Μικρού Κατερινιού, όπου δεν αναπτύσσονται κλάδοι στα νοτιοδυτικά αυτού, ενώ στον

κλάδο του Σούρες υπάρχει δυσανάλογη ανάπτυξη δικτύου, μεταξύ της βόρεια και νότιας περιοχής που αποστραγγίζει στα πλαίσια της υπολεκάνης του.

Οι κύριοι κλάδοι απορροής 4^{ης} τάξης (Σούρες, Αγ. Αικατερίνης, Μικρού Κατερινιού) αναπτύσσονται παράλληλα στους υδροκρίτες που ελέγχουν την επιφανειακή απορροή, με αποτέλεσμα η λεκάνη να παρουσιάζει μια χαρακτηριστική μορφή ρόμβου (αν εξαιρέσουμε το τμήμα εκείνο που αφορά τον 5^{ης} τάξη κλάδο). Συγκεκριμένα οι κλάδοι Σούρες και Μ. Κατερίνι έχουν διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ (παράλληλα προς τις δύο πλευρές του ρομβικού αυτού σχήματος του υδροκρίτη) και νοτιοανατολική φορά ροής. Ομοίως και ο κλάδος της Αγίας Αικατερίνης έχει διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ (παράλληλα με τις άλλες δύο πλευρές) και βορειοανατολική φορά ροής. Γενικά τόσο οι υδροκρίτες όσο και οι κύριοι κλάδοι ακολουθούν τις δύο αυτές κύριες διευθύνσεις οι οποίες είναι ενεργές για όλη την Δυτική Αττική και διαμορφώνουν το ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής, δημιουργώντας νεοτεκτονικά βυθίσματα και εξάρματα (βλ. Υποκεφάλαιο 3.7).

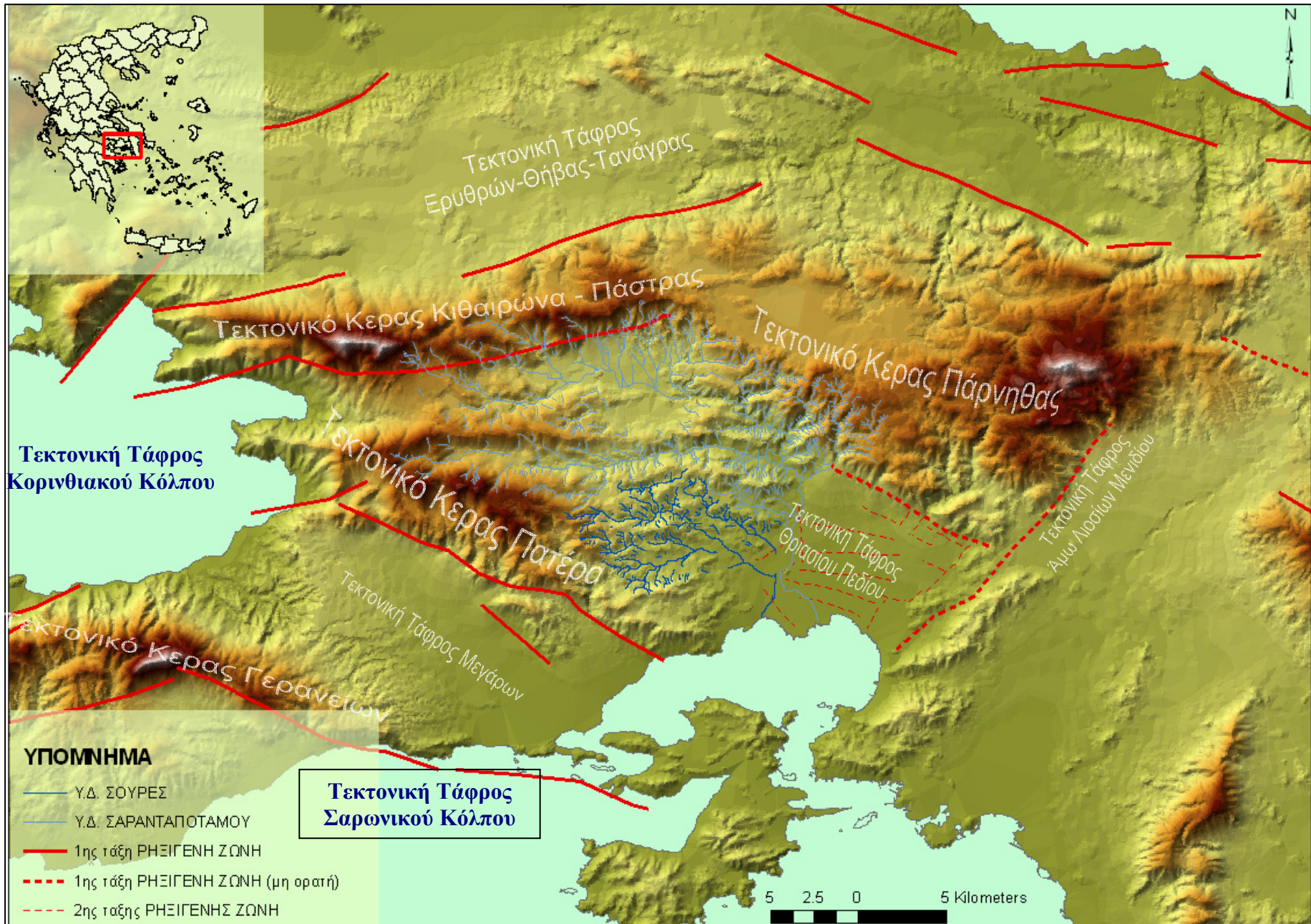
Οι παράγοντες επομένως που διαμορφώνουν την ανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου Σούρες είναι η λιθολογία και η τεκτονική. Η λιθολογία ευθύνεται για τον περιορισμό και την ελλιπή εξέλιξη των κλάδων (αν και η περιοχή βρίσκεται σε στάδιο αναγέννησης εφόσον ανυψώνεται – βλ. Υποκεφάλαιο 3.7), ενώ οι νεοτεκτονικές ενεργές δομές για την επιλεκτική ανάπτυξη της διεύθυνσης απορροής.

3.7. Γεωδυναμικό καθεστώς της ευρύτερης περιοχής – Αίτιο για την επιλεκτική κατεύθυνση ροής και ανάπτυξης του Υ.Δ. Σούρες

Όπως έχει ήδη περιγραφεί ανωτέρω, οι κλάδοι στους οποίους επιμερίζεται ο χείμαρρος Σούρες, ακολουθούν μια ιδιόμορφη φορά ροής, κυρίως όταν εγκαταλείπουν το αλπικό υπόβαθρο και εισέρχονται στο δυτικό περιθώριο του Θριασίου Πεδίου (μεταλπικό υπόβαθρο). Το ρέμα Σούρες στο τμήμα της λεκάνης όπου επικρατεί η αλπική τεκτονική έχει φορά ροής προς τα ΝΑ, ενώ όταν συναντά το Δυτικό περιθώριο του Θριασίου πεδίου με μία δεξιόστροφη αλλαγή της φοράς ροής κατά 120°, ακολουθεί νότια πορεία προς τον Σαρωνικό. Ομοίως ο κλάδος της Αγίας Αικατερίνης ρέει με ανατολική φορά ροής, εκεί όπου επικρατεί κυρίως η αλπική τεκτονική δομή (χωρίς να αποκλείονται και νεοτεκτονικές κινήσεις μέσα στη λεκάνη της στην περιοχή Κορακάς), στρίβει δεξιόστροφα κατά 90° στα βόρειο-δυτικά της πόλης της Μάνδρας ακολουθώντας νότια πορεία, κατόπιν αλλάζει αριστερόστροφα κατά 90° τη φορά ροής προς τα ανατολικά, ώσπου συναντά τον κλάδο του Σούρες. Το Μικρό Κατερίνι αποτελεί μία «μικρογραφία» του κλάδου του Σούρες με δεξιόστροφη κατά 120° αλλαγή φοράς ροής στο δυτικό περιθώριο του Θριασίου Πεδίου. Σε μεγαλύτερη κλίμακα συμβαίνει το ίδιο με το γειτονικό υδρογραφικό δίκτυο του Σαρανταπόταμου (ή Ελευσίνιου Κηφισού). Το εν λόγω υδρογραφικό δίκτυο καταλαμβάνει επιφάνεια 253 Km² και αποστραγγίζει τις βόρειες κλιτύες του όρους Πατέρα (και των προβούνων αυτού), το ανατολικό ήμισυ του όρους Κιθαιρώνα, τις νότιες κλιτύες της μεταξύ Πάρνηθας και Κιθαιρώνα οροσειράς της Πάστρας και μικρό τμήμα της νοτιοδυτικής Πάρνηθας. Χείμαρρος Σούρες και ρέμα Σαρανταπόταμος εκβάλουν στον Σαρωνικό κόλπο ανατολικά της πόλης της Ελευσίνας (Χαρτης 3-1).

Για να μπορέσουμε να αποκρυπτογραφήσουμε το αίτιο των επιλεκτικών φορών ροής και των απότομων αλλαγών τους, πρέπει να γίνει αναφορά στη παραμόρφωση της ευρύτερης περιοχής κατά την νεοτεκτονική περίοδο.

Είναι γνωστό ότι ο ευρύτερος χώρος της Αττικής παρουσιάζει μία σύνθετη μεταλπική μορφοτεκτονική δομή, η οποία αποτελείται α) από μεγάλα ρηξιτεμάχη (ή τεκτονικά κέρατα) 1ης τάξης. Έτσι αναγνωρίζουμε από τα δυτικά προς τα ανατολικά τα μορφοτεκτονικά πολυτεμάχη των Γερανείων, του Πατέρα του συστήματος Κιθαιρώνα – Πάστρας, της Πάρνηθας, της Πεντέλης ενώ ενδιάμεσά τους, τις τεκτονικές τάφρους του σημερινού Κορινθιακού κόλπου, της νεογενούς λεκάνης της Κορίνθου, το σημερινό Σαρωνικό κόλπο, της νεογενούς λεκάνης των Μεγάρων, της τεταρτογενούς λεκάνης του Θριασίου πεδίου, της λεκάνης του Ασωπού ποταμού (λεκάνη Ερυθρών - Θήβας – Τανάγρας – Ωρωπού / Χάρτης 3-6).



Χάρτης 3-6: Τεκτονικά κέρατα και τάφροι (ή βυθίσματα) στην ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος. Διακρίνονται οι ρηξιγενείς ζώνες στα περιθώρια αυτών.

Αυτού του τύπου οι δομές οριοθετούνται από περιθωριακές ρηξιγενείς ζώνες, όπου μέσα σ' αυτές απαντώνται 2ης, 3ης κλπ. μικρότερης τάξης βυθίσματα και κέρατα. Ολόκληρη η περιοχή επομένως είναι κατακερματισμένη και αποτελεί μωσαϊκό μορφοτεκτονικών ρηξιτεμαχών, που οριοθετούνται από ρήγματα δύο κυρίως διευθύνσεων, ήτοι ΒΑ-ΝΔ και ΒΔ-ΝΑ (έως ΔΒΔ-ΑΝΑ). Ο διαμελισμός αυτός αποδεικνύεται από τις ασύμμετρες και ιδιόμορφες αναπτύξεις των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου, που αποκλίνουν από μια φυσιολογική απορροή, δημιουργώντας τύπους υδρογραφικών δικτύων (ακτινωτούς, κεντρομόλους, ορθογώνιους), που συνεπάγονται απόλυτο έλεγχο από την τεκτονική και την νεοτεκτονική.

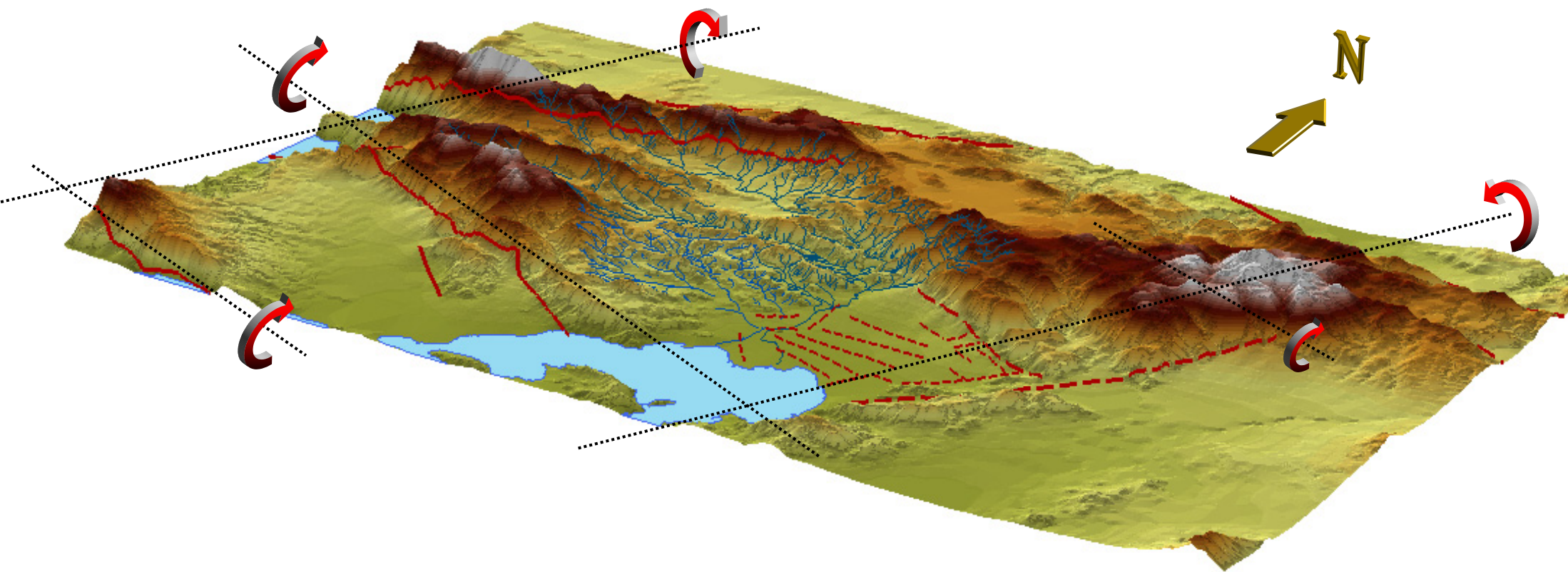
Εξετάζοντας την κινηματική των ρηξιτεμαχών αυτών προκύπτει ότι, (γενικά) λειτουργούν με βάση τη θεωρία της περιστροφής διπόλου γύρω από άξονα, υποχρεώνοντας μια σειρά γεωμορφολογικών, στρωματογραφικών και μορφοτεκτονικών στοιχείων, σε μια γραμμική εξάρτηση μίας συγκεκριμένης διεύθυνσης.

Τα ρηξιτεμάχη που σχετίζονται με την ερμηνεία των Υ. Δ. Σούρες και Σαρανταπόταμου, είναι εκείνα της Πάρνηθας του Κιθαιρώνα (συμπεριλαμβανομένων των ανατολικών απολήξεων της Πάστρας) και του Πατέρα.

Εκείνο της Πάρνηθας στα ανατολικά και της Πάστρας (σαν τμήμα του Κιθαιρώνα) στα δυτικά, λειτουργούν επομένως σαν δίπολα με σύνθετη κινηματική κατά την οποία υπόκεινται σε ανοδικές κινήσεις. Συγκεκριμένα στο ρηξιτέμαχος της Πάρνηθας η περιστροφή συντελείται αριστερόστροφα γύρω από άξονα ΒΑ-ΝΔ, με μέγιστη ανύψωση του ανατολικού του τμήματος (κορυφή Φλάμπουρο) και μέγιστη βύθιση του βορειοδυτικού του (οροπέδιο των Σκούρτων). Αυτός είναι και ο λόγος ότι στην περιοχή αυτή παρουσιάζονται και τα μεγαλύτερα υψόμετρα του ορεινού όγκου, με όλα τα επακόλουθα, όπως η έντονη κατά βάθος διάβρωση, μεγάλη ενέργεια αναγλύφου, μεγάλες μορφολογικές κλίσεις. Κατά την κίνηση αυτή δημιουργούνται και τα περιθωριακά ρήγματα του Θριασίου Πεδίου στα νοτιοδυτικά του ρηξιτεμάχους και της λεκάνης του Ασωπού στα βόρεια και βορειοανατολικά.

Ομοίως το ρηξιτέμαχος της Πάστρας περιστρέφεται δεξιόστροφα γύρω από ίδιας διεύθυνσης άξονα (ΒΑ-ΝΔ), αλλά με ανύψωση του δυτικού της τμήματος και μέγιστη βύθιση του ανατολικού της, πάλι στο οροπέδιο των Σκούρτων. Να σημειωθεί ότι η Πάστρα ανήκει στο 1^{ης} τάξης ρηξιτέμαχος του Κιθαιρώνα το οποίο ανυψώνεται από την πλευρά του Κορινθιακού, ομοίως με δεξιόστροφη γύρω από άξονα ΒΑ-ΝΔ κίνηση (εικ. 3-8).

Το ρηξιτέμαχος του Πατέρα υπόκειται σε μια σύνθετη κινηματική (συνισταμένη), η οποία αναλύεται α) σε μια ανοδική δεξιόστροφη περιστροφική κίνηση, γύρω από άξονα διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ με ανύψωση των νοτιοδυτικών τμημάτων της οροσειράς δημιουργώντας παράλληλα την περιθωριακή ρηξιγενή ζώνη της λεκάνης των Μεγάρων (στα νοτιοδυτικά του τεμάχους με συνεπακόλουθα τις μορφολογικές ασυνέχειες και την έντονη κατά βάθος διάβρωση) και β) σε μια ανοδική δεξιόστροφη περιστροφική κίνηση, γύρω από άξονα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ με ανύψωση των ΒΑ



Εικόνα 3-1: Τρισδιάστατη απεικόνιση α) των μορφοτεκτονικών ρηξιτεμαχών Πάρνηθας, Κιθαιρώνα Πατέρα & τμήματος των Γερανείων β) των τεκτονικών τάφρων Μεγάρων, Θριάσιου Πεδίου και Άνω Λιοσίων-Μενιδίου. Αποτυπώνονται επίσης οι περιστροφικές κινήσεις των τεμαχών γύρω από άξονες ΒΔ – ΝΑ και ΝΔ – ΒΑ. Στα περιθώρια των δομών αυτών διακρίνονται οι ρηξιγενείς ζώνες της Κακιάς Σκάλας, του Πατέρα του Κιθαιρώνα, της Πάρνηθας, με αντίστοιχες (ως προς τους άξονες περιστροφής) διευθύνσεις (Mariolakos, Papanikolaou 1982, Papanikolaou, Mariolakos, Lekkas, Lozios 1986, Mariolakos, Fountoulis 1999).

Αποτέλεσμα της ανύψωσης των δυτικών τμημάτων των μορφοτεκτονικών πολυτεμαχών του Πατέρα και του Κιθαιρώνα, είναι η ανατολική - νοτιοανατολική φορά ροής των υδρογραφικών δικτύων (συμπεριλαμβανομένου και του Σούρες) και εκφόρτιση στο Σαρωνικό Κόλπο, διανύοντας μεγαλύτερη απόσταση (σχεδόν 5πλάσια) από αυτή που θα χρειαζόνταν, για την εκφόρτιση των νερών στον Κορινθιακό. Επειδή δε, το Θριάσιο Πεδίο αποτελεί και αυτό μωσαϊκό ρηξιτεμαχών καλυμμένα κάτω από τα νεογενή και τα τεταρτογενή, των οποίων οι ζώνες μετάπτωσης του αλπικού υποβάθρου εντοπίζονται στο δυτικό περιθώριο του Θριάσιου πεδίου (Μάνδρα, Μαγούλα), ευθύνονται για την προς νότο ροή (δεξιόστροφη αλλαγή φοράς 90°- 120°) των Σούρες και Σαρανταπτάμου.

τμημάτων του πολυτεμάχους δημιουργώντας ομοίως περιθωριακή ρηξιγενή ζώνη διεύθυνση ΒΑ-ΝΔ στον ανατολικό Κορινθιακό κόλπο (εικ. 3-8).

Η αναγέννηση και ο έντονος διαμελισμός του ανάγλυφου που αποστραγγίζει ο Σαρανταπόταμος και το Σούρες, αποδεικνύεται επιπροσθέτως:

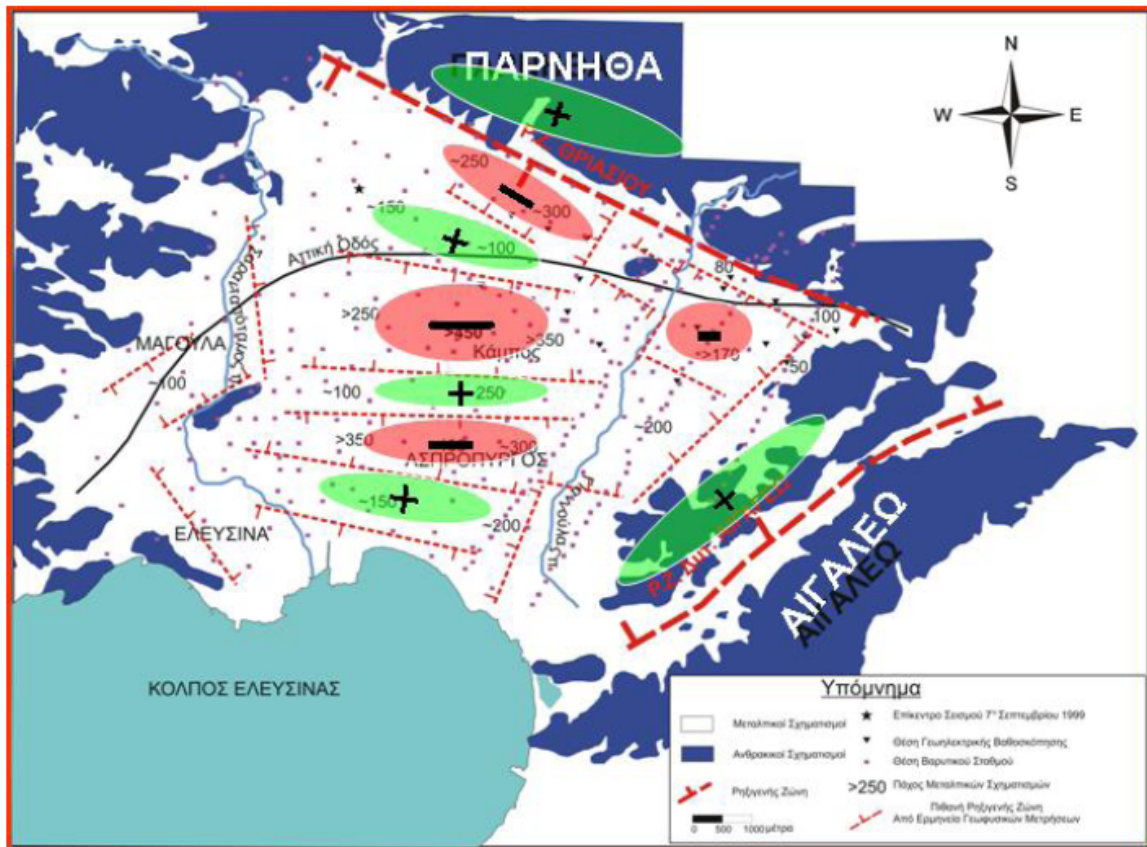
- απ' την ανάλυση και τη γεωγραφική κατανομή των μορφολογικών στοιχείων (επιφάνειες επιπέδωσης, μεγάλες μορφολογικές κλίσεις και ασυνέχειες)
- απ' την έντονη κατά βάθος διάβρωση στις παρειές των μορφοτεκτονικών πολυτεμαχών
- απ' την διαφορετική γεωγραφική κατανομή των μορφών επιφανειακής διάβρωσης στα ανθρακικά (διαφορετική εξέλιξη του καρστικού κύκλου διάβρωσης κατά περιοχές σε αντίθεση με το υψόμετρο που παρατηρούνται σήμερα)
- απ' την διαφορετική γεωγραφική κατανομή των Κρητιδικών στρωμάτων καθώς και των υψομέτρων που αυτά απαντώνται σήμερα.

Αποτέλεσμα της ανύψωσης των δυτικών τμημάτων των μορφοτεκτονικών πολυτεμαχών του Πατέρα και του Κιθαιρώνα, είναι η νοτιοανατολική φορά ροής των υδρογραφικών δικτύων (συμπεριλαμβανομένου και εκείνου του Σούρες) και εκφόρτιση στο Σαρωνικό Κόλπο, διανύοντας μεγαλύτερη απόσταση (σχεδόν 5πλάσια) από αυτή που θα χρειάζονταν, για την εκφόρτιση των νερών στον Κορινθιακό.

Κατά την είσοδο των υδρογραφικών δικτύων στο δυτικό περιθώριο του Θριασίου πεδίου, υπόκεινται στο αποτέλεσμα της κινηματικής του ίδιου του ομώνυμου βυθίσματος, αλλά και της αριστερόστροφης περιστροφικής ανοδικής κίνησης της Πάρνηθας.

Εξαιτίας αυτής της κίνησης το μεγάλο περιθωριακό ρήγμα που οριοθετεί το τεκτονικό βύθισμα του Θριασίου πεδίου προς το πολυτεμαχικό κέρασ της Πάρνηθας παρουσιάζει διαφορετικό άλμα που μειώνεται στα βορειοδυτικά. Αυτό σημαίνει ότι τα υδρογραφικά δίκτυα δεν μπορούν να συνεχίσουν την νοτιοανατολική φορά ροής και αναγκαστικά θα ρεύσουν προς νότο, αφού σήμερα το Θριάσιο Πεδίο τελεί υπό καθεστώς ανύψωσης.

Ακόμα και η προς νότο ροή στο Δυτικό περιθώριο του βυθίσματος ελέγχεται από διαμελισμό και την σύνθετη κινηματική ρηξιτεμαχών 2^{ης} και 3^{ης} τάξης, που οριοθετούνται από αντίστοιχες μικρότερης τάξης ρηξιγενείς ζώνες (ή ρήγματα) που είναι καλυμμένα από νεότερα ιζήματα. Με βάση γεωφυσικές έρευνες που διεξήχθησαν στο Θριάσιο Πεδίο (ΓΚΟΥΜΑΣ, 2006) προσδιορίστηκε το παλαιοανάγλυφο του αλπικού υποβάθρου που έχει καλυφθεί από τις μεταλπικές αποθέσεις, ρήγματα που μετατοπίζουν το αλπικό υπόβαθρο και τέλος εκτιμώνται τα πάχη των μεταλπικών αποθέσεων σε χαρακτηριστικές θέσεις (Χάρτης 3-7)



Χάρτης 3-7: Χάρτης των καλυμμένων (από τις μεταλλικές αποθέσεις) ρηξιγενών ζωνών του αλπικού υποβάθρου στο Θριάσιο πεδίο, με το εκτιμώμενο πάχος τους. Ο προσδιορισμός έγινε με γεωφυσικές μεθόδους (ΓΚΟΥΜΑΣ 2006).

Σύμφωνα με το χάρτη 3-7 τα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων κυμαίνονται από περίπου 50 μέτρα έως και πάνω από 450 μέτρα στο κέντρο της λεκάνης. Πιο συγκεκριμένα: Στο βόρειο τμήμα του Θριάσιου πεδίου, τα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων κυμαίνονται από 250 έως 350 μέτρα. Η περιοχή αυτή αποτελεί μία υπολεκάνη, η οποία αναπτύσσεται σε διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και είναι παράλληλη με την περιθωριακή ρηξιγενή ζώνη του Θριάσιου πεδίου. Στο κεντρικό τμήμα της περιοχής (περιοχή Κάμπος) απαντούν τα μεγαλύτερα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων (>450 μέτρα). Πρόκειται για μία υπολεκάνη της οποίας ο μεγάλος άξονας έχει μήκος περίπου 6km και διεύθυνση Α-Δ. Στο νότιο τμήμα και ειδικότερα στην περιοχή του Ασπροπύργου και δυτικά αυτού, εντοπίζεται μία τρίτη υπολεκάνη, η οποία παρουσιάζει και αυτή μία επιμήκη γεωμετρία σε διεύθυνση Α-Δ. Τα πάχη των μεταλλικών αποθέσεων στην εν λόγω λεκάνη είναι της τάξης των 400 μέτρων.

Εν κατακλείδι το ίδιο το Θριάσιο Πεδίο αποτελεί και αυτό μωσαϊκό ρηξιτεμαχών καλυμμένα κάτω από τα νεογενή και τα τεταρτογενή, των οποίων οι ζώνες μετάπτωσης του αλπικού υποβάθρου εντοπίζονται στο δυτικό περιθώριο του Θριάσιου πεδίου (Μάνδρα, Μαγούλα) και φαίνεται ότι ευθύνονται για την προς νότο ροή των Σούρες και Σαρανταπόταμου.

3.8. Βιβλιογραφία

- AMBRASEYS N.N & JACKSON J.A. (1990). «Seismicity and associated strain of central Greece between 1890 and 1988». *Geophys. J. Int.* 101, 663-708.
- BURTON, D-PAPAKIS, N. (1963). «The karst groundwater resources of Parnassos-Ghiona, Greece». I.G.S.R., 2, Paris.
- CLEMENT B., (1968) «Observations sur le Trias du Pateras et du Parnes en Attique (Crece) ». (B.S.G.F. Fanc. 9, Paris
- CLEMENT B., (1983) «Evolution Geodynamique d' un Secteur des Hellenides Internes: L' Attique Beotie» These Lille, 521 p.
- DELIBASIS N., PAPADIMITRIOU P., VOULGARIS N. & KASSARAS I. (2000). «The Parnitha fault: a possible relationship with other neighboring faults and causes of larger damages». *Ann. Geol. De pays Hellen.*, Vol. XXXVIII, 41-50.
- ENVIROPLAN A.E. - ΕΠΕΜ Α.Ε.- Ι. ΦΡΑΝΤΖΗΣ & ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ ΕΠΕ (2003). «Περιφερειακός Σχεδιασμός Διαχείρισης Απορριμμάτων Αττικής». Περιφέρεια Αττικής – Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε. – Ε.Σ.Δ.Κ.Ν.Α.
- FOUNTOULIS D., METAXAS CH., LALECHOS S. & KOUROU A. (2000). «Active tectonic structures of Attica». *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 1e série, t. XXXVIII, fasc. B, p.155-164, Athènes.
- FREYBERG B. (1951) «Das Neogen-Gebiet nordwestlich Athen». *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 3, 65-86
- LEKKAS E. (2001). «The Athens earthquake (7 September 1999): intensity distribution and controlling factors». *Engineering Geology*, 50, 297-311.
- MARIOLAKOS I., FOUNTOULIS I., MARIOLAKOS D., ANDREADAKIS EM. & GEORGAKOPOULOS A (2000). «Geodynamic phenomena observed during the Athens earthquake (Ms=5.9) 7-9-99». *Annales Geologiques des Pays Helleniques*, 1e serie, t. XXXVIII, fasc. B, p. 175-186, Athenes.
- MARIOLAKOS I. & FOUNTOULIS I. (2000). «The Athens earthquake September 7, 1999: the neotectonic regime of the affected area». *Annales Géologiques des Pays Helléniques*, 1e série, t. XXXVIII, fasc. B, p. 165-174, Athènes.
- MARIOLAKOS I. & PAPANIKOLAOU D. (1982). «The Neogene basins of the Aegean arc from paleogeographic and geodynamic point of view». *Int. Symp. Hellen. Arc and Trench (HEAT)*, April 1981, Proceedings 383-399, Athens.
- MARIOLAKOS I., & THEOCHARIS D. (2003). «Asopos river and the creation of Aegina and Salamis Islands (Saronic Gulf, Greece) ». A geomorphological approach. In: *The Mediterranean World Environment and History* (editor: Eric Fouache), Elsevier Publication, Paris 2003, p. 301-307.
- MARIOLAKOS I., PAPANIKOLAOU D. & LAGIOS E (1985). «A Neotectonic Geodynamic Model of Peloponnesus Based on Morphotectonics Repeated Gravity Measurements and Seismicity». *Geol. Jb.*, B 50, 3-17.
- MARIOLAKOS I., PAPANIKOLAOU D., SYMEONIDIS N., LEKKAS S., KAROTSIERIS Z. & SIDERIS CH (1981). «The deformation of the Area around the Eastern Korinthian Gulf, Affected by the Earthquakes of February March 1981». *Int. Symp. (H.E.A.T.) Hell. Arc and Trench*, Athens 1981, Proceedingw 1, 400-420.
- MOREWOOD N.C. & ROBERTS G.P. (1999). «Lateral propagation of the surface trace of the South Alkyonides normal fault segment, central Greece: its impact on models of fault growth and displacement - length relationships». *Journal of Structural Geology* 21 635-652.
- PAPANASTASSIOU, D., STAVRAKAKIS, G., DRAKATOS, G. & PAPADOPOULOS, G. (2000). «The Athens, September 7, 1999, Ms=5.9, earthquake: first results on the main shock and the aftershock sequence». *Ann. Geol. de pays Hellen.*, Vol. XXXVIII, 73-88.
- PAPANIKOLAOU D., LEKKAS E., SIDERIS CH., FOUNTOULIS I., DANAMOS G., KRANIS CH. AND LOZIOS S., (1999). «Geology and tectonics of Western Attica in relation to the 7-9-99 earthquake. Newsletter of the European Centre on Prevention and Forecasting of Earthquakes, special edition on Athens earthquakes of September 7, 1999», issue No 3, p. 30-34, Athens.
- PAPANIKOLAOU, D. (1989). «Geotectonic map of Greece». *Special Publ. 1, IGCP Project No 276, Newsletter No 1.*

- TAYMAZ T., JACKSON J. & MCKENZIE D. (1991). «Active tectonics of the north and central Aegean Sea». *Geophys. J. Int.*, 106, 433-490.
- THEODOROPOULOS D. (1968) «Stratigraphie und Tectonik des Isthmos von Megara». *Erlanger geologische Abhandlungen*, Helf 73
- ΑΝΤΩΝΙΟΥ Β. & ΜΙΓΚΙΡΟΣ Γ. (2002). «Η μορφοτεκτονική δομή της Αττικής». Πρακτικά 6ου Πανελληνίου Γεωγραφικού Συνέδριου της Ελλην. Γεωγρ. Ετ., Τομ. 1, 1-8, Θεσ/νίκη.
- ΑΡΩΝΗΣ Γ., (1953) «Οι βωξίτες της περιοχής Ελευσίνας - Μάνδρας». Ι.Γ.Ε.Υ. Γεωλ. & Γεωφυσ. Μελέτες III, Αθήνα
- ΓΑΪΤΑΝΑΚΗΣ Π. (1982). «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Μέγαρο (Κλίμακα 1:50.000) ». Ι.Γ.Μ.Ε.
- ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ Α. (1955). «Σεισμική Γεωγραφία της Ελλάδας». *Ann. Geol. Pays Hellen.* 6, 83-121.
- ΓΑΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ Α. (1981). «Οι βλαβεροί σεισμοί και το Σεισμικό δυναμικό της Ελλάδας». *Ann. Geol. Pays Hellen.* 30/2, 647-724.
- ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α. (2000). «Συμβολή στην κατανόηση της νεοτεκτονικής εξέλιξης των μορφοτεκτονικών πολυτεμαχών Πατέρα - Κιθαιρώνα - Πάρνηθας». Πτυχιακή διατριβή, Βιβλιοθήκη Γεωλογικού τμήματος Ε.Κ.Π.Α, Αθήνα.
- ΓΕΩΡΓΑΚΟΠΟΥΛΟΣ Α. (2006). «Αναγνώριση κινδύνων λόγω φυσικών καταστροφών στο δήμο Μάνδρας. Διδρυματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Πρόληψη και Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών» Παν/μιο Αθηνών Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος – ΤΕΙ Σερρών Τμήμα Γεωπληροφορικής & Τοπογραφίας.
- ΓΚΟΥΜΑΣ Γ. (2006). «Διερεύνηση της δομής του Θριάσιου Πεδίου με Γεωφυσικές Μεθόδους». Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Παν/μιο Αθηνών Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος.
- Δούνας Α. (1971), «Η Γεωλογία της Μεταξύ Μεγάρων & Ερυθρών Περιοχής» Κεφ. 4, Ινστιτούτο Γεωλογίας & Ερευνών Υπεδάφους, Αθήνα
- ΔΟΥΝΑΣ Α. (1970) «Γεωλογικός Χάρτης φύλλο Ερυθραία κλίμακας 1:50.000» Ι.Γ.Μ.Ε.
- ΔΟΥΝΑΣ Α., ΠΑΝΑΓΙΩΤΙΔΗΣ Γ., (1964) «Πρόδρομος έκθεση επί των υδρογεωλογικών συνθηκών του Θριάσιου Πεδίου». Ι.Γ.Ε.Υ., Γ764/Υ 379 Αθήνα
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (2006) μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού Ελευσίνας, έτη 1958-2003 Γλυφάδα.
- ΘΕΟΧΑΡΗΣ Δ. (2001). «Ρηξιγενής νεοτεκτονικός ιστός της νήσου Σαλαμίνας». Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης Πανεπιστήμιο Αθηνών.
- ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ Γ. (1992). Γεωλογία της Ελλάδας». Αθήνα 1992, 451 σ.
- ΚΑΤΣΙΚΑΤΣΟΣ Γ., ΔΟΥΝΑΣ ΑΘ. & συν. (1986). «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδας, Φύλλο Αθήναι - Ελευσίς (Κλίμακα 1:50.000) ». Ι.Γ.Μ.Ε.
- ΚΙΣΚΥΡΑΣ Δ. (1960) «Τεκτονική των βωξιτικών κοιτασμάτων της περιοχής Ελευσίνας Μάνδρας Μεγάρων». Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, Τομ 35ος. Αθήνα
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η. & ΘΕΟΧΑΡΗΣ Δ. (2001). «Μετατοπίσεις των ακτογραμμών στο Σαρωνικό κόλπο κατά τα τελευταία 18.000 χρόνια και η Κυχρεία Παλαιολίμνη». Δ.Ε.Γ.Ε., Τομ. XXXIV/1, 405-413.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η. (1976) «Σκέψεις και απόψεις επί ορισμένων προβλημάτων της γεωλογικής και τεκτονικής δομής της Πελοποννήσου». *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 27, 215-313.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ Ι., ΣΙΔΕΡΗΣ Χ. & ΧΑΤΟΥΠΗΣ, Θ. (2001). «Μορφονεοτεκτονική δομή του όρους Πάρνηθα Αττικής». ΕΓΕ, XXXIV, No 1, σελ 183-190.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η. & ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ, Δ. (1987). «Είδος παραμόρφωσης και σχέση παραμόρφωσης - σεισμικότητας στο Ελληνικό τόξο». Δ.Ε.Γ.Ε., XIX: 59-76, Αθήνα.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., ΛΟΓΟΣ, Ε., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι. (1993). «Συμπληρωματικές εργασίες για την σύνταξη πλήρων χαρτών στον υποψήφιο ΧΥΤΑ θέση "ΤΡΙΚΕΡΑΤΟ"». Τεχνική Έκθεση, 16 σελ, ΕΣΔ-ΚΝΑ.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ, Η., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ, Ι. & ΘΕΟΧΑΡΗΣ, Δ. (2001). «Νεοτεκτονική δομή και εξέλιξη νήσου Σαλαμίνας». Δ.Ε.Γ.Ε., XXXIV/1, 165 – 173
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ. (1985) «Γεωλογία Ελλάδας» University Studio Press, Θεσσαλονίκη.
- ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ, ΔΗΜ. (1985). «Γεωλογία της Ελλάδας». University Studio Press, 207 σ.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ. (1986). «Γεωλογία της Ελλάδας», Αθήνα 240 σελ.
- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ., ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., ΛΕΚΚΑΣ Ε. & ΛΟΖΙΟΣ, Σ. (1988). «Μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις στη λεκάνη Ασωπού και την παραλιακή ζώνη Ωρωπού, συμβολή στη νεοτεκτονική της Βόρειας Αττικής». Δελτ. Ελλ. Γεωλ. Ετ., τ. XX/1, σ. 251-267.

- ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΑΟΥ Δ., ΧΡΟΝΗ Γ., ΛΥΚΟΥΣΗ Β., ΠΑΥΛΑΚΗ Π., ΡΟΥΣΑΚΗ Γ. & ΣΥΣΚΑΚΗ Δ. (1989). «Υποθαλάσσιος Νεοτεκτονικός χάρτης Σαρωνικού κόλπου. Κλίμακα 1:100.000», ΟΑΣΠ - ΕΚΘΕ - Τομέας Δυναμικής Τεκτονικής Εφαρμοσμένης Γεωλογίας Πανεπιστημίου Αθηνών.
- ΠΑΡΑΣΧΟΥΔΗΣ Β. (2002). «Υδρογεωλογική Μελέτη Δυτικής Αττικής», Υπουργείο Γεωργίας, Γεν. Δ/ση Ε.Β και Γ.Δ, Δ/ση Γεωλογίας-Υδρολογίας, Τμήμα: Υδρογεωλογίας – Γεωτρήσεων και Μαθηματικών Ομοιωμάτων.
- ΣΙΔΕΡΗΣ Χρ. (1986). «Συμβολή στη γνώση της Γεωδυναμικής εξέλιξης κατά το Περμοτριάδικό στο χώρο της ανατολικής Ελλάδας». Διδ. Διατριβή, Αθήνα 212 σελ.
- ΣΠΗΛΙΑΔΗΣ Θ. (1960) «Συμβολή στη γνώση της γεωλογίας της περιοχής Μεγαρίδος». Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, Τομ. 35 σελ. 265-272 Αθήνα
- ΣΠΗΛΙΑΔΗΣ Θ. (1961) «Περί της ανευρέσεως παλαιοζωϊκών στρωμάτων στην οροσειρά Πατέρας Αττικής». Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, Τομ. 36 σελ. 254-261. Αθήνα
- ΣΠΗΛΙΑΔΗΣ Θ. (1963) «Η ανάπτυξη του Μεσοζωϊκού και η τεκτονική εξέλιξη της περιοχής Μεγαρίδος Δυτικής Αττικής». Δελτ. Ε.Γ.Ε., Τομ. V, τεύχος 1, σελ. 89-107, Αθήνα
- ΤΑΤΑΡΗΣ Α. (1967α) «Παρατηρήσεις επί της δομής της περιοχής Σκαρμαγκά - Όρους Αιγάλεω - Πειραιώς - Αθηνών». Δελτ. Ε.Γ.Ε., τομ. VIII, τευχ. 1σελ 52-88, Αθήνα.
- ΤΑΤΑΡΗΣ Α. (1967β). «Νεώτεροι έρευναι επί της δομής της νήσου Σαλαμίνας και της απέναντι περιοχής του Περάματος (Αττική) » - Πρόδρομος ανακοίνωση. Δ.Ε.Γ.Ε. VII/1, 36-51 Αθήνα.
- ΤΑΤΑΡΗΣ Α., ΚΟΥΝΗΣ Γ., (1968α) «Παρατηρήσεις επί της δομής των ορέων Κιθαιρώνα - Κορομπιλίου. Συσχετισμός αυτών προς τις γειτονικές προνεογενείς μεσοζωϊκές μάζες της Στερεάς Ελλάδας». Πρακτ. Ακαδ. Αθηνών, 43
- ΤΡΙΚΑΛΙΝΟΣ Ι. (1958) «Συμβολή στην έρευνα της τεκτονικής δομής της Ελλάδας. Περί της παρουσίας στην περιοχή Πανάκτου Οινόης (Μάζι) - Οσίου Μελετίου της Οροσειράς Πάρνηθας - Κιθαιρώνα λιθανθρακοφόρων στρωμάτων και τόφων τα οποία κείνται ασυμφώνως επί του κρυσταλλοσχιστώδους». Πρακτ. Ακαδ. Αθ. 33, σ. 96 - 102, Αθήνα.
- ΤΡΙΚΑΛΙΝΟΣ Ι. (1963) «Περί των επιδράσεων ορογενετικών κινήσεων στην περιοχή της ζώνης της Ανατολικής Ελλάδας. Συμβολή στην διερεύνηση της τεκτονικής δομής της Ελλάδας». Πρακτ. Ακαδ. Αθ. 38

4. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΩΝ ΥΔΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ

4.1. Υδρομετεωρολογικός Σταθμός Ελευσίνας

Για να γίνει εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή μελέτης, συλλέχθηκαν ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό της Ελευσίνας από το 1958 – 2003. Ο σταθμός της Ελευσίνας (ο πλησιέστερος στην περιοχή που ερευνάται), ανήκει στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία και είναι τοποθετημένος στο ομώνυμο στρατιωτικό αεροδρόμιο σε υψόμετρο 31 μέτρων με γεωγραφικό μήκος 23°33' και γεωγραφικό πλάτος 38°04'.

Μετά από τις καταστροφικές πλημμύρες της 27^{ης} Ιανουαρίου 1996 στους δήμους Ελευσίνας και Μάνδρας, ολιγομελής επιστημονική ομάδα (μέλος της οποίας διητέλεσε και ο γράφων της διπλωματικής αυτής) υπό την καθοδήγηση του Καθηγητή Γεωλογίας και τότε Αντιπροέδρου του Ε. Ε. Οργανισμού Αθηνών κ. Ηλία Μαριολάκου, εκτιμήθηκε η κατάσταση και στη συνέχεια συντάχθηκε την 18η Φεβρουαρίου 1996 πρόδρομη συνοπτική έκθεση, συμπεριλαμβανομένων άμεσων και μεσοπρόθεσμων μέτρων αντιμετώπισης του φαινομένου. Η εν λόγω έκθεση υποβλήθηκε επισήμως στην τοπική αυτοδιοίκηση (Νομαρχία, Δήμοι). Στηρίχθηκε δε, σε μαρτυρία στελέχους της επιστημονικής ομάδας, το οποίο κατάφερε να επικοινωνήσει με αξιωματικό υπηρεσίας αμέσως μετά το συμβάν. Είναι γνωστό ότι επισήμως η ΕΜΥ δε δίδει μετεωρολογικά δεδομένα της τελευταίας τριετίας για το λόγο ότι και αυτά τα δεδομένα εντάσσονται στις απόρρητες πληροφορίες περί Εθνικής Ασφαλείας. Ο Αξιωματικός Υπηρεσίας σκεπτόμενος και κατανοώντας ότι η βροχομετρική πληροφορία έχρηζε άμεσης αξιοποίησης από τους ερευνητές, (αφού είχε προξενήσει ζημιές όχι μόνο σε γειτονικούς δήμους αλλά και στην ίδια την αεροπορική βάση από το Σαρανταπόταμο τμήμα του οποίου διέρχεται μέσα απ αυτό), διαβίβασε (προς τιμή του) την υδρολογική πληροφορία που του ζητήθηκε δια τηλεφώνου, αφού δεν μπορούσε να έχει επίσημο χαρακτήρα.

Η πληροφορία περιγράφεται στη σελίδα 2 της Πρόδρομης Έκθεσης και αναφέρει τις εξής βροχοπτώσεις και τις αντίστοιχες διάρκειες:

Για το χρονικό διάστημα 20:05 της 26/01/96 – 07:40 της 27/01/96:	114 mm
Για το χρονικό διάστημα 10:30 της 27/01/96 – 14:30 της 27/01/96:	59 mm
Αθροισμα 27/01/96:	173 mm

Να σημειωθεί ότι μια βροχόπτωση που ξεκινά χρονικά πριν τα μεσάνυκτα και συνεχίζεται την επομένη ημερολογιακή μέρα αυτή λογίζεται στην επομένη μέρα. Στην περίπτωση μας η βροχόπτωση των τεσσάρων ωρών της 26ης Ιανουαρίου λογίσθηκε στην 27^η λόγω της συνέχειας της βροχόπτωσης. Τα επίσημα βροχομετρικά δεδομένα που δόθηκαν από την ΕΜΥ για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας περιγράφουν 17,3 mm (!!!) ένα ύψος βροχής που αδύνατον (σχετικά) να προκαλέσει τέτοιες πρωτοφανείς καταστροφές. Το πιθανότερο είναι να οφείλεται σε τυπογραφικό λάθος αφού η ομοιότητα των αριθμών (αν εξαιρεθεί η υποδιαστολή) είναι δεδομένη.



Εικόνα 4-1: Φωτογραφία του ρέματος της Αγίας Αικατερίνης 500 μέτρα ανάντη από το σημείο λήψης της επόμενης εικόνας, και αμέσως μετά από βροχόπτωση 54mm της 21^{ης} Οκτωβρίου 2007.

Όμως ποιος μας βεβαιώνει ότι τέτοια τυπογραφικά λάθη δεν έχουν επαναληφθεί σε 16.795 ημερήσια ύψη βροχής που μας δόθηκαν επισήμως; Μία οπτική σύγκριση μεταξύ των εικόνων 4-1 & 4-2, που απεικονίζουν τη ροή του ρέματος της Αγίας Αικατερίνης σε δύο διαφορετικές βροχοπτώσεις μπορεί να επιβεβαιώσει το ότι αποκλείεται η καταγραφή των 17,3 χιλιοστών να ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

Ορμώμενοι επομένως από το ύψος βροχής που έχει καταγραφεί επισήμως από την ΕΜΥ για την 27η Ιανουαρίου 1996, ημέρα, η οποία έχει μείνει στην τοπική ιστορία σαν μία από τις καταστροφικότερες όσον αφορά τα φυσικά φαινόμενα, η αξιοπιστία των βροχομετρικών δεδομένων τίθεται σε αμφισβήτηση, αν και ο σταθμός ελέγχεται και ακολουθεί τα αυστηρά στρατιωτικά πρότυπα του αεροδρομίου της Ελευσίνας.

Στους υπολογισμούς που ακολουθούν λαμβάνεται σαν ύψος βροχής της 27^{ης} Ιανουαρίου 1996 η τιμή 173 mm.

4.2. Ανάλυση συχνότητας - θεωρητικό υπόβαθρο

Η ανάλυση συχνότητας συσχετίζει το μέγεθος ακραίων γεγονότων με την συχνότητα εμφάνισής τους μέσω κατανομών πιθανότητας. Η ανάλυση συχνότητας προϋποθέτει ότι οι παρατηρήσεις είναι τυχαίες με τη στατιστική έννοια του όρου και ομοιογενείς (χωρίς δηλαδή να έχει συμβεί καμία μεταβολή κατά τη διάρκεια της περιόδου των παρατηρήσεων).



Εικόνα 4-1: Φωτογραφία του ρέματος της Αγίας Αικατερίνης στο ύψος της ομώνυμης εκκλησίας, μερικές ώρες μετά το πέρας του επεισοδίου της 27^{ης} Ιανουαρίου 1996. Διακρίνονται οι φερτές ύλες σε ύψος περίπου ενός μέτρου σε περίφραξη καθώς και διαβρωσιγενή επιφάνεια μεταξύ ασφαλτοστρωμένου δρόμου και αλλουβιακών αποθέσεων. Μια εικόνα που είναι αδύνατον να υπάρξει με ένα ύψος βροχής 17,3 mm σε ασβεστολιθικό υπόβαθρο.

Ορισμοί

Χρονοσειρές υδρολογικών φαινομένων αποτελούν οι διαταγμένες μετρήσεις κατά χρονολογική σειρά.

Περίοδος επαναφοράς δοθέντος ετήσιου μεγέθους ενός φαινόμενου είναι το μέσο χρονικό διάστημα T (έτη) μέσα στο οποίο το θεωρούμενο υδρολογικό φαινόμενο θα εμφανιστεί μια μόνο φορά με τιμή ίση ή μεγαλύτερη της δοθείσας. Αν η σειρά που εξετάζεται είναι σειρά ετήσιων μεγίστων η περίοδος επαναφοράς αναφέρεται στο μέγεθος του φαινόμενου ως ετήσιο μέγιστο, πράγμα που δεν συμβαίνει αν η σειρά είναι μερική. Σημείωση: όταν λέμε ότι ένα γεγονός (π.χ. μια καταιγίδα, μια τιμή ετήσιας βροχόπτωσης ή μια ξηρασία) έχει περίοδο επαναφοράς 100 ετών, αυτό σημαίνει ότι κάθε χρόνο υπάρχει πιθανότητα 1% να συμβεί ένα τέτοιο γεγονός. Αυτό, δηλαδή σημαίνει ότι το συγκεκριμένο γεγονός θα εμφανίζεται κατά μέσο όρο μια φορά κάθε 100 χρόνια, αλλά είναι επίσης πιθανό να εμφανιστεί και σε συντομότερα χρονικά διαστήματα, αφού υπάρχει θεωρητική πιθανότητα να συμβεί κάθε χρόνο (έστω και πολύ μικρή της τάξεως του 1%).

Έστω η ετήσια σειρά μεγίστων $x_i, i=1(1)N$ διατάσσεται κατά φθίνουσα σειρά μεγέθους. Δηλαδή $x_1 > x_2 > x_3 > \dots > x_N$. τότε η συχνότητα υπερβάσεως του μεγέθους x είναι:

$$P(X \geq x) = \frac{m}{N} \quad (4.1)$$

όπου N είναι ο αριθμός των παρατηρήσεων, m είναι η σειρά του μεγέθους x στην φθίνουσα σειρά $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$. Η εξίσωση αυτή εφαρμόζεται ικανοποιητικά στις λεγόμενες κλειστές σειρές στις οποίες δεν υπάρχει πιθανότητα να εμφανισθεί κάποιο μέγεθος έξω από τα όρια της μεταβλητής του δείγματος σ' ένα άλλο δείγμα ή στο μέλλον. Όμως οι σειρές στην υδρολογία είναι συνήθως ανοικτές.

Γι' αυτό η εκτίμηση της πιθανότητας υπερβάσεως γίνεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$P(X \geq x) = \frac{m}{N+1} \quad \text{Weibull (1939)} \quad (4.2)$$

άλλες εξισώσεις που επίσης χρησιμοποιούνται είναι:

$$P(X \geq x) = \frac{2m-1}{2N} \quad \text{Hazen (1930)} \quad (4.3)$$

$$P(X \geq x) = \frac{m-0.3}{N+0.4} \quad \text{Chegodayev (1955)} \quad (4.4)$$

$$P(X \geq x) = \frac{3m-1}{3N+1} \quad \text{Tucey (1962)} \quad (4.5)$$

Σύμφωνα λοιπόν με τον ορισμό προκειμένου για ανάλυση μεγίστων και ελαχίστων τιμών ενός φαινομένου ισχύουν αντίστοιχα τα παρακάτω:

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} \quad \text{ή} \quad T = \frac{1}{P(X \geq x)} \quad (4.6)$$

$$P(X \leq x) = \frac{1}{T} \quad \text{ή} \quad T = \frac{1}{P(X \leq x)} \quad (4.7)$$

Αν και υπάρχει μια μικρή διαφορά στο νόημα της περιόδου επαναφοράς μερικής σειράς, (T_p), από την περίοδο επαναφοράς μιας ετήσιας σειράς (T), στην πράξη δεν γίνεται διάκριση μια που τα αποτελέσματα δεν διαφέρουν ουσιαστικά για περιόδους μεγαλύτερες των πέντε ετών. Γενικά υπάρχει η ακόλουθη σχέση μεταξύ των δύο περιόδων επαναφοράς:

$$T_p = \frac{1}{\ln T - \ln(T-1)} \quad (4.8)$$

όπως, προκύπτει από τον ορισμό της περιόδου επαναφοράς για τα μέγιστα (εξίσωση 4.6), η πιθανότητα υπέρβασης σε ένα έτος είναι $1/T$. Αν θεωρήσουμε ότι το γεγονός της υπέρβασης (ή μη υπέρβασης) είναι ανεξάρτητο για κάθε έτος τότε η πιθανότητα μη υπέρβασης του μεγέθους x στα n έτη είναι:

$$P(X \leq x)_n = P(X \leq x)^n = (1 - P(X > x))^n \quad (4.9)$$

Αντίστοιχα η πιθανότητα υπέρβασης (έστω και μία φορά) στα n έτη λόγω της παραπάνω εξίσωσης είναι:

$$P(X \geq x)_n = 1 - P(X \leq x)_n = 1 - (1 - P(X > x))^n \quad (4.10)$$

Η εξίσωση 4.10 λόγω της 4.6 γίνεται:

$$P(X \geq x) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (4.11)$$

Από την τελευταία σχέση που εκφράζει την πιθανότητα υπέρβασης στην περίοδο n ετών μπορεί να προκύψει η περίοδος σχεδιασμού n

$$n = \frac{\log(1 - P(X \geq x)_n)}{\log\left(\frac{T-1}{T}\right)} \quad (4.12)$$

Περίοδος Σχεδιασμού, n , είναι η περίοδος σε έτη κατά τη οποία η πιθανότητα υπέρβασης του μεγέθους x του υδρολογικού φαινομένου (με περίοδο επαναφοράς T) δεν υπερβαίνει τη δοθείσα τιμή πιθανότητας.

4.3. Πρακτικός τρόπος ανάλυσης συχνότητας

Στην περίπτωση που η περίοδος επαναφοράς είναι μικρή ($T < 10$) και μικρότερη από την περίοδο των παρατηρήσεων και η χρονοσειρά είναι σχετικά μικρή (αριθμός παρατηρήσεων < 30) είναι δυνατόν η ανάλυση συχνότητας του υδρολογικού φαινομένου να γίνει με την εξής απλή διαδικασία:

- I. Επιλέγονται οι τιμές που θα αποτελέσουν το δείγμα ώστε να είναι σχετικές με το υπό μελέτη πρόβλημα.
- II. Διατάσσονται κατά φθίνουσα σειρά μεγέθους (προκειμένου για μέγιστα)
- III. Υπολογίζονται οι περίοδοι επαναφοράς και οι πιθανότητες υπέρβασης χρησιμοποιώντας τις σχέσεις 4.2 και 4.6

Παρατήρηση: Αν δύο διαδοχικές παρατηρήσεις στη φθίνουσα σειρά είναι ίσες υπάρχουν δύο τρόποι να υπολογισθεί η πιθανότητα υπέρβασης της τιμής αυτής:

a) Να δοθεί σειρά m και $m+1$ στις δύο ίσες παρατηρήσεις με αποτέλεσμα για το ίδιο μέγεθος να υπάρχουν δύο διαφορετικές πιθανότητες υπέρβασης.

b) Να δοθεί και στις δύο παρατηρήσεις σειρά $(2m+1)/2$.

Από τους παραπάνω τύπους ο δεύτερος είναι προτιμότερος.

- IV. Οι εκτιμήσεις των σχέσεων μεγέθους – περιόδου επαναφοράς για την περίοδο που καλύπτεται από το δείγμα γίνεται με γραμμική παρεμβολή στα μεγέθη που έχουν προκύψει στο βήμα III της διαδικασίας ή με εμπειρική προέκταση για περιόδους λίγο μεγαλύτερες του δείγματος.

Η παραπάνω μεθοδολογία εφαρμόστηκε για την ανάλυση συχνότητας ακραίων μεγίστων τιμών υετού 24ώρου για δεδομένα του βροχομετρικού σταθμού του αεροδρομίου Ελευσίνας (υψόμετρο 31 m) οπότε προέκυψε ο πίνακας 4.1 και 4.2. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο εν λόγω σταθμός είναι ο μοναδικός στη λεκάνη απορ-

ροής του ρέματος του Σούρες για τον όποιο υπήρχε στη διάθεση μας χρονοσειρά βροχομετρικών δεδομένων μακράς χρονικής περιόδου (Ιανουάριος 1958 έως Δεκέμβριος/2003 – 16.795 τιμές).

ΕΤΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΑ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ	ΕΤΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΑ ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΥΨΗ ΒΡΟΧΗΣ
1958	54,9	1981	36,3
1959	29,5	1982	51,1
1960	41,4	1983	47,1
1961	51,6	1984	51,3
1962	45	1985	24,8
1963	<u>56,9</u>	1986	35,9
1964	21,6	1987	57,2
1965	28,8	1988	33,8
1966	31,6	1989	83,3
1967	22	1990	20,9
1968	35,8	1991	65,5
1969	33,2	1992	29,5
1970	39,7	1993	32,2
1971	36,8	1994	59,3
1972	71,7	1995	62,7
1973	18,6	1996	<u>173</u>
1974	38,8	1997	55,6
1975	40,2	1998	52,6
1976	61	1999	<u>46,8</u>
1977	<u>90,5</u>	2000	28,9
1978	55,1 ⁵	2001	37,9
1979	42	2002	<u>57</u>
1980	56,3	2003	39

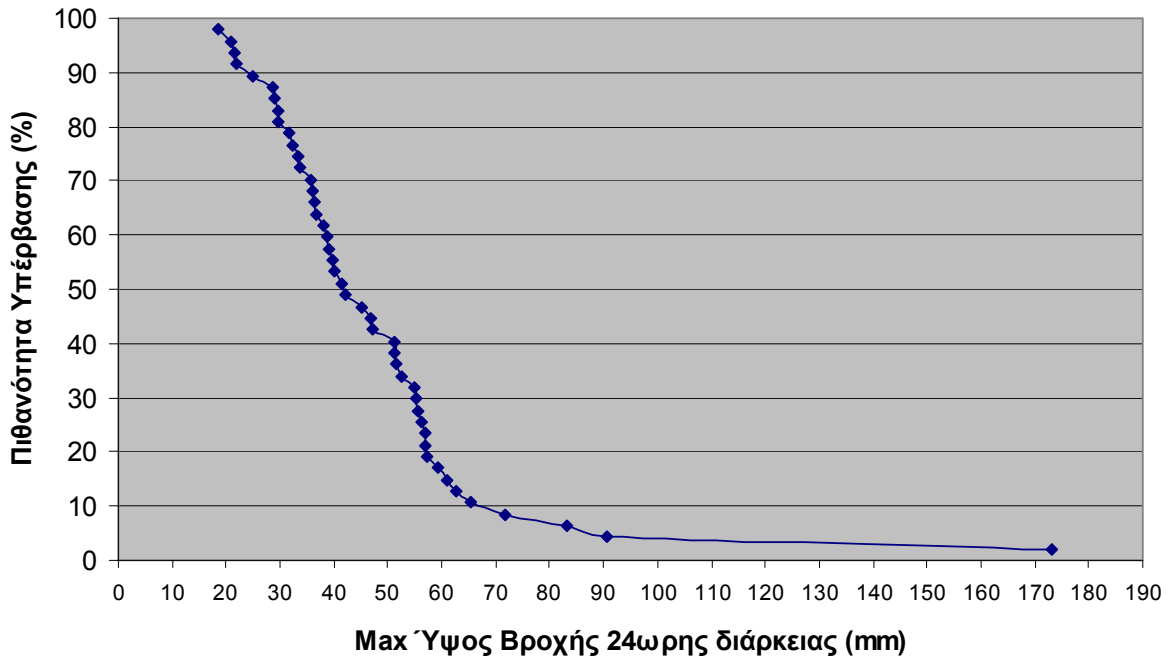
Πίνακας 4-1: Μέγιστα ύψη βροχής (mm) για 24ωρη διάρκεια για το μετεωρολογικό σταθμό της Ελευσίνας. Με έντονη & υπογραμμισμένη γραμματοσειρά σημειώνονται τα καταστροφικά πλημμυρικά φαινόμενα στο ρέμα Σούρες.

⁵ Το πλημμυρικό επεισόδιο που συνέβη τα ξημερώματα της 6^{ης} ΦΕΒ 1978 προκλήθηκε από βροχόπτωση 26,4 mm, αλλά για τις ανάγκες της μεθόδου στον πίνακα λογίζεται το μέγιστο του χρόνου.

Τάξη (m)	Ύψος βροχής 24h διάρκειας (mm)	Περίοδος Επαναφοράς T (έτη)	Πιθανότητα υπέρβασης 1/T	Πιθανότητα υπέρβασης %
1	<u>173</u>	<u>47,000</u>	<u>0,021</u>	<u>2,128</u>
2	<u>90,5</u>	<u>23,500</u>	<u>0,043</u>	<u>4,255</u>
3	83,3	15,667	0,064	6,383
4	71,7	11,750	0,085	8,511
5	65,5	9,400	0,106	10,638
6	62,7	7,833	0,128	12,766
7	61	6,714	0,149	14,894
8	59,3	5,875	0,170	17,021
9	57,2	5,222	0,191	19,149
10	<u>57</u>	<u>4,700</u>	<u>0,213</u>	<u>21,277</u>
11	<u>56,9</u>	<u>4,273</u>	<u>0,234</u>	<u>23,404</u>
12	56,3	3,917	0,255	25,532
13	55,6	3,615	0,277	27,660
14	<u>55,1</u>	<u>3,357</u>	<u>0,298</u>	<u>29,787</u>
15	54,9	3,133	0,319	31,915
16	52,6	2,938	0,340	34,043
17	51,6	2,765	0,362	36,170
18	51,3	2,611	0,383	38,298
19	51,1	2,474	0,404	40,426
20	47,1	2,350	0,426	42,553
21	<u>46,8</u>	<u>2,238</u>	<u>0,447</u>	<u>44,681</u>
22	45	2,136	0,468	46,809
23	42	2,043	0,489	48,936
24	41,4	1,958	0,511	51,064
25	40,2	1,880	0,532	53,191
26	39,7	1,808	0,553	55,319
27	39	1,741	0,574	57,447
28	38,8	1,679	0,596	59,574
29	37,9	1,621	0,617	61,702
30	36,8	1,567	0,638	63,830
31	36,3	1,516	0,660	65,957
32	35,9	1,469	0,681	68,085
33	35,8	1,424	0,702	70,213
34	33,8	1,382	0,723	72,340
35	33,2	1,343	0,745	74,468
36	32,2	1,306	0,766	76,596

37	31,6	1,270	0,787	78,723
38	29,5	1,237	0,809	80,851
39	29,5	1,205	0,830	82,979
40	28,9	1,175	0,851	85,106
41	28,8	1,146	0,872	87,234
42	24,8	1,119	0,894	89,362
43	22	1,093	0,915	91,489
44	21,6	1,068	0,936	93,617
45	20,9	1,044	0,957	95,745
46	18,6	1,022	0,979	97,872

Πίνακας 4-2: Υπολογισμός πιθανότητας υπέρβασης και περιόδου επαναφοράς. Με έντονη & υπογραμμισμένη γραμματοσειρά σημειώνονται τα καταστροφικά πλημμυρικά φαινόμενα στο ρέμα Σούρες.



Διάγραμμα 4-1: Πιθανότητα Υπέρβασης των Μεγίστων Ψών Βροχής 24ωρης διάρκειας για το σταθμό του Αεροδρομίου της Ελευσίνας.

Αν δεχθούμε ότι η παραπάνω στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων 24ωρης διάρκειας (οι οποίες δεν αποτελούν στην πλειοψηφία τους πλημμυρικά φαινόμενα) μπορεί να εφαρμοστεί για εκείνες που προκάλεσαν καταστροφικά φαινόμενα (**ελλείψει εντάσεων και ακριβούς διάρκειας υετού**), προκύπτει ότι μέχρι σήμερα και από τα καταγεγραμμένα στοιχεία του Αεροδρομίου της Ελευσίνας, η **ετήσια πιθανότητα** να συμβούν ανάλογα πλημμυρικά φαινόμενα:

- με αυτό της 27^{ης} ΙΑΝ 1996 (173 mm) είναι **2,128%**, ενώ θα εμφανίζεται μία φορά κάθε 47 χρόνια.
- με αυτό της 2^{ας} ΝΟΕ 1977 (90,5 mm) είναι **4,255%**, ενώ θα εμφανίζεται μία φορά κάθε 23,5 χρόνια.
- με αυτό της 7^{ης} ΝΟΕ 2002 (57 mm) είναι **21,277%**, ενώ θα εμφανίζεται μία φορά κάθε 4,7 χρόνια.
- με αυτό της 29^{ης} ΝΟΕ 1963 (56,9 mm) είναι **23,404%**, ενώ θα εμφανίζεται μία φορά κάθε 4,3 χρόνια.
- με αυτό της 9^{ης} ΝΟΕ 1999 (46,8 mm) είναι **44,681%**, ενώ θα εμφανίζεται μία φορά κάθε 2,2 χρόνια.
- με αυτό της 6^{ης} ΦΕΒ 1978 (26,4 mm) είναι περίπου **88%**⁶, ενώ θα εμφανίζεται σχεδόν κάθε χρόνο

4.4. Χρήση συναρτήσεων κατανομής πιθανότητας – εκτίμηση παραμέτρων

Το σύνηθες πρόβλημα στην ανάλυση συχνότητας των υδρολογικών φαινομένων είναι ότι η περίοδος επαναφοράς είναι μεγαλύτερη (αν όχι πολλαπλάσια) από το μέγεθος του δείγματος. Επομένως, η προηγούμενη μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί. Σ' αυτήν την περίπτωση κρίνεται σκόπιμη η χρήση των γνωστών συναρτήσεων κατανομής πιθανότητας. Όταν παράμετροι μιας τέτοιας συνάρτησης κατανομής προσδιοριστούν από τις υπάρχουσες παρατηρήσεις τότε είναι δυνατή η εκτίμηση της τιμής του φαινομένου για μεγάλες περιόδους επαναφοράς με τη χρησιμοποίηση της θεωρητικής κατανομής. Υπάρχουν οι εξής αναλυτικές τεχνικές για την εκτίμηση των παραμέτρων των Θεωρητικών Κατανομών Πιθανότητας:

- A. Η μέθοδος των Ροπών (method of moments)
- B. Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας (method of maximum likelihood)
- C. Η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων (method of least squares)
- D. Η μέθοδος του ελαχίστου x^2 (minimum x^2 method)
- E. Η μέθοδος των έξι διαιρέσεων (method of sextiles)
- F. Η μέθοδος επιλογής ειδικών σημείων (method of matching selected points).

Στην υδρολογία αντί των παραπάνω αναλυτικών μεθόδων με εξαίρεση ίσως τη μέθοδο των ροπών, χρησιμοποιούνται κυρίως οι εξής μέθοδοι:

- i. Η γραφική μέθοδος - χαρτί πιθανότητας.
- ii. Η μέθοδος του παράγοντα συχνότητας.

4.4.1. Μέθοδος του Παράγοντα Συχνότητας

Σύμφωνα με τον Chow (1951) για πολλές θεωρητικές κατανομές πιθανότητας ισχύει η σχέση:

⁶ Το πλημμυρικό επεισόδιο που συνέβη τα ξημερώματα της 6^{ης} ΦΕΒ 1978 προκλήθηκε από βροχόπτωση 26,4 mm, αλλά η μέθοδος αξιώνει το μέγιστο του χρόνου το οποίο είναι 55,1mm. Γι αυτό το λόγο η περίοδος επαναφοράς και το ποσοστό υπέρβασης λήφθηκε από έτη με παραπλήσια βροχόπτωση .

$$x_T = \bar{x}(1 + c_V k_T) \quad (4.13)$$

όπου:

x_T : το μέγεθος του γεγονότος περιόδου επαναφοράς T,

\bar{x} : ο μέσος όρος,

c_V : ο συντελεστής διακύμανσης ή μεταβλητότητας ($\hat{\sigma}/\bar{x}$)

k_T : ο παράγοντας συχνότητας (εξαρτάται από την T και τα χαρακτηριστικά της κατανομής).

Για τις συνήθεις κατανομές πιθανότητας έχουν προκύψει σχέσεις για τον υπολογισμό του παράγοντα συχνότητας.

Οπότε το ύψος βροχής 24ωρης διάρκειας περιόδου επαναφοράς T υπολογίζεται σύμφωνα με τη μέθοδο του παράγοντα της συχνότητας:

$$h_T = \bar{h} + \hat{\sigma} K_T \quad (4.14)$$

όπου

$\hat{\sigma}$: Τυπική απόκλιση δείγματος

\bar{h} : Μέση τιμή δείγματος (μέση ημερήσια βροχόπτωση στην περίπτωση μας)

K_T : παράγοντας συχνότητας που είναι συνάρτηση του T

Προσδιορίζονται επομένως η **Μέση ημερήσια βροχόπτωση** \bar{h} και η **Τυπική απόκλιση** $\hat{\sigma}$

Έτη	46
Μέση ημερήσια βροχόπτωση \bar{h}	47,49 mm
Τυπική απόκλιση $\hat{\sigma}$	24,71 mm
Ελάχιστη ετήσια βροχόπτωση	18,60 mm
Μέγιστη ετήσια βροχόπτωση	173,00 mm

Πίνακας 4-3: Στατιστικά στοιχεία των μεγίστων υψών βροχής για τον μετεωρολογικό σταθμό της Ελευσίνας.

Θεωρητικές Κατανομές Πιθανότητας

Με την προϋπόθεση, λοιπόν, ότι οι τιμές του υδρολογικού φαινομένου είναι τυχαίες και ανεξάρτητες, η κατανομή πιθανότητας εμφανίσεώς τους μπορεί να περιγραφεί από τις θεωρητικές κατανομές πιθανότητας. Πρέπει να σημειώσουμε ότι αποδεικνύεται η ακραία τιμή (μέγιστη ή ελάχιστη) από ένα δείγμα τυχαίων τιμών είναι επίσης τυχαία. Επίσης, αποδεικνύεται ότι η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της ακραίας τιμής εξαρτάται από την αρχική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας και το μέγεθος του αρχικού δείγματος. Για μεγάλο αριθμό αρχικών παρατηρήσεων η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας για τις ακραίες τιμές περιγράφεται από ασυμπτωτικές κατανομές (Gumbel 1954, 1958). Έχουν προταθεί τρεις τύποι ασυμπτωτικών κατανομών:

Τύπος I : Αρχική κατανομή χωρίς όριο προς την κατεύθυνση της ακραίας τιμής.

Τύπος II : Αρχική κατανομή χωρίς όριο και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Τύπος III : Αρχική κατανομή με όριο προς την κατεύθυνση της ακραίας τιμής.

Η κατανομή τύπου I (ή Gumbel) ενδείκνυται να εφαρμόζεται συνήθως για ανάλυση μεγίστων τιμών αν η αρχική κατανομή είναι η Κανονική, Λογαριθμοκανονική, Εκθετική ή Γάμμα και για ελάχιστα αν η αρχική κατανομή είναι κανονική. Η κατανομή τύπου II (ή Cauchy) δεν έχει σημαντική εφαρμογή στην υδρολογία. Η κατανομή τύπου III ενδείκνυται να εφαρμόζεται συνήθως για ανάλυση μεγίστων τιμών αν η αρχική κατανομή είναι Βήτα και για ελάχιστα αν η αρχική κατανομή είναι Βήτα, Λογαριθμοκανονική, Εκθετική ή Γάμμα.

4.4.2. Κατανομή Ακραίων Τιμών Τύπου I (Gumbel)

Με τη μέθοδο του παράγοντα συχνότητας για πολύ μεγάλο δείγμα ($N \rightarrow \infty$) έχει προκύψει αναλυτικά η σχέση μεταξύ παράγοντα συχνότητας και περιόδου επαναφοράς :

$$K_T = -0.7797[0.5772 + \ln(\ln[T/(T-1)])] \quad (4.15)$$

Για μικρά σχετικά δείγματα ($N < 100$) ο παράγοντας συχνότητας υπολογίζεται ως εξής:

$$K_T = \frac{-[\ln(\ln[\frac{T}{T-1}]) + \bar{y}_N]}{\sigma_N} \quad (4.16)$$

Όπου \bar{y}_N και σ_N (μέσος όρος και τυπική απόκλιση της ανηγμένης μεταβλητής y) από πίνακα βρίσκονται με βάση τον αριθμό των παρατηρήσεων του δείγματος.

Με την βοήθεια του πίνακα περί τιμών των παραμέτρων \bar{y}_N και σ_N για διάφορες τιμές του αριθμού των παρατηρήσεων $N = 46$ (βλ. Παράρτημα I) προκύπτει

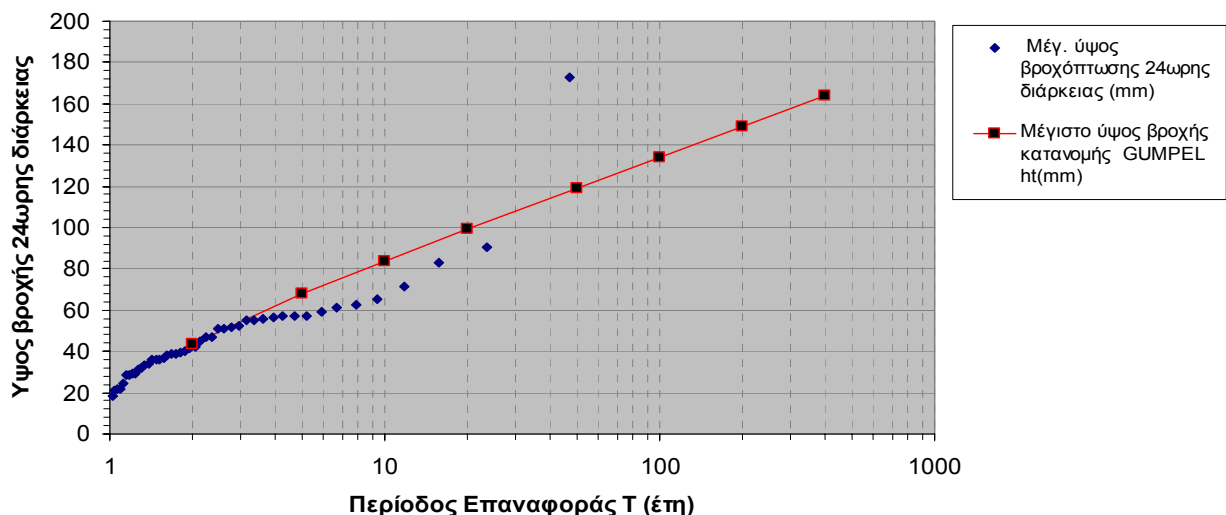
$$\bar{y}_N = 0,5468 \quad \sigma_N = 1,1588$$

Από τις εξισώσεις 4.15 και 4.16 τέλος προκύπτει ο παρακάτω πίνακας για διάφορες περιόδους επαναφοράς

Περίοδος Επαναφοράς T (έτη)	Παράγοντας συχνότητας ΚΤ	Μέγιστο ύψος βροχής ht(mm)
2	0,1563	43,63
5	0,8261	67,90
10	1,4765	83,97
20	2,1004	99,39
50	2,9079	119,34
100	3,513	134,30
200	4,116	149,20
400	4,7178	164,07

Πίνακας 4-4: Το μέγιστο ύψος υετού στην Ελευσίνα για διάφορες περιόδους επαναφοράς όπως προέκυψε από την κατανομή Gumbel με τον παράγοντα της συχνότητας

Τα αποτελέσματα του πίνακα 4-4 έχουν τοποθετηθεί σε χαρτί πιθανότητας της κατανομής Gumbel (Διαγραμμα 4-2) όπου θεωρούνται ικανοποιητικά έως άριστα μόνο όμως για τις τιμές ημερήσιας βροχόπτωσης από 18 έως 55 mm. Από την τιμή των 55 mm μέχρι τα 90 mm και δη περισσότερο μέχρι την ακραία τιμή των 173 mm δεν δύναται να επικαλεσθούμε ότι ακολουθούν την κατανομή Gumbel.



Διάγραμμα 4-2: Τα μέγιστα ύψη βροχής 24ωρης διάρκειας του βροχομετρικού σταθμού του αεροδρομίου της Ελευσίνας ακολουθούν μερικώς την κατανομή Μεγίστων Τιμών περιόδου επαναφοράς T κατά Gumbel.

4.4.3. Κατανομή Pearson III

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας και η συνάρτηση αθροιστικής πιθανότητας είναι:

$$p(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} \exp[-(x - x_0)/\beta]}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)}$$

$$P(x) = \int_{x_0}^x \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} \exp[-(x - x_0)/\beta]}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} dx$$

Με την αντικατάσταση $z = x - x_0$ προκύπτει η κατανομή Γάμμα με παραμέτρους β και γ . δηλαδή η κατανομή Pearson III είναι η αντίστοιχη κατανομή Γάμμα αλλά με αρχικό όριο $x = x_0 \neq 0$.

Βασικές στατιστικές ποσότητες:

$$E(x) = x_0 + \beta\gamma \quad (\text{μέσος όρος})$$

$$Var(x) = \beta^2\gamma \quad (\text{διασπορά})$$

$$g = 2/\sqrt{\gamma} \quad (\text{συντελεστής ασυμμετρίας})$$

Η τυπική μεταβλητή $y = (x - x_0)/\beta$ αυτής της κατανομής είναι η ίδια με της Γάμμα για την ίδια τιμή της παραμέτρου γ . Η χρήση των κατανομών Pearson διευκολύνεται με τη μέθοδο του παράγοντα συχνότητας. Ο παράγοντας συχνότητας δίνεται σε πίνακες με βάση την αθροιστική πιθανότητα και το συντελεστή ασυμμετρίας. Για αρνητικές τιμές του συντελεστή ασυμμετρίας η τιμή του παράγοντα συχνότητας βρίσκεται ως εξής: Πρώτα επιλέγεται η τιμή που αντιστοιχεί στην αντίστοιχη θετική τιμή και στην αθροιστική πιθανότητα αθροιστική πιθανότητα $1 - P(x)$. Στην τιμή του παράγοντα συχνότητας που προκύπτει από τον πίνακα αλλάζεται το πρόσημο.

4.4.4. Κατανομή Λογαριθμική Pearson III (Log Pearson III)

Όταν μια σειρά από παρατηρήσεις περιγράφεται ικανοποιητικά από την κατανομή Λογαριθμική Pearson III (Log Pearson III) σημαίνει ότι οι λογάριθμοι των παρατηρήσεων περιγράφονται από την κατανομή Pearson III. Επομένως η διαδικασία που ακολουθείται περιλαμβάνει :

- i. Αντικατάσταση των τιμών των παρατηρήσεων x_i από του λογαρίθμους y_i όπου $y_i = \log x_i$.

- ii. Υπολογισμό του μέσου όρου \bar{y} , της τυπικής απόκλισης $\hat{\sigma}_y$ και του συντε-

λεστή ασυμμετρίας \hat{g}_y ,

$$\hat{g}_y = \frac{n \sum (y_i - \bar{y})^3}{(n-1)(n-2)(\hat{\sigma}_y)^3}$$

- iii. Υπολογισμό του μεγέθους y_T περιόδου επαναφοράς T ετών με τη μέθοδο του παράγοντα συχνότητας K_T . $y_T = \bar{y} + \hat{\sigma}_y K_T$, όπου K_T από πίνακες της κατανομής Pearson III.
- iv. Υπολογισμό του μεγέθους $x_T = anti \log y_T$.

Σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε ανωτέρω σχετικά με την κατανομή Λογαριθμική Pearson III (Log Pearson III) των μεγίστων τιμών περιόδου επαναφοράς προκύπτει ο παρακάτω πίνακας :

$y_T = \bar{y} + \hat{\sigma}_y K_T$		
Μέσος όρος λογαρίθμων y_i	\bar{y}	1.636
Συντελεστής ασυμμετρίας	\hat{g}_y	0,522
Τυπική απόκλιση λογαρίθμων y_i	$\hat{\sigma}_y$	0.182

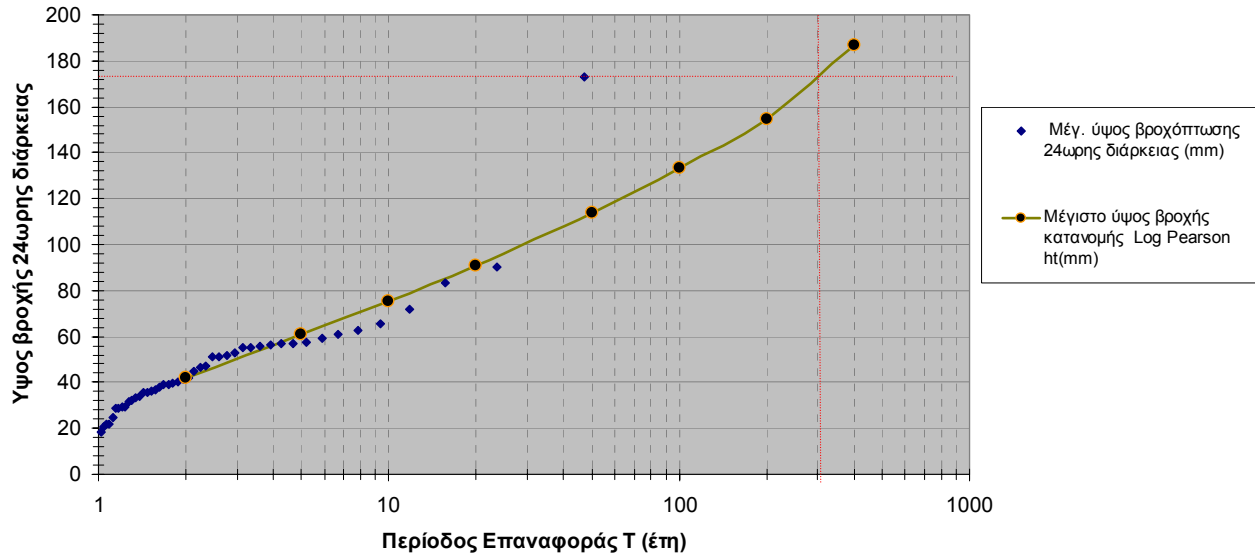
Πίνακας 4-5: Παράμετροι Log Pearson III

Έτσι, η εξίσωση είναι $y_T = 1.636 + 0.522 * 0.182 * K_T$, όπου το K_T είναι συνάρτηση του συντελεστή ασυμμετρίας και της πιθανότητας της περιόδου επαναφοράς και βρίσκεται από πίνακες (βλ. Παράρτημα Ι). Τέλος, η βροχόπτωση της αντίστοιχης περιόδου επαναφοράς είναι $10^{(y_T)}$.

Οπότε προκύπτει ο παρακάτω πίνακας και διάγραμμα για διάφορες περιόδους επαναφοράς

Περίοδος Επαναφοράς T (έτη)	Μέγιστο ύψος βροχής ht(mm)
2	41,77
5	60,69
10	75,30
20	90,97
50	113,91
100	133,29
200	154,69
400	186,51

Πίνακας 4-6: Το μέγιστο ύψος υετού στην Ελευσίνα για διάφορες περιόδους επαναφοράς όπως προέκυψε από την κατανομή Log Pearson III με τον παράγοντα της συχνότητας



Διάγραμμα 4-3: Τα μέγιστα ύψη βροχής 24ωρης διάρκειας του βροχομετρικού σταθμού του αεροδρομίου της Ελευσίνας ακολουθούν ολικώς ικανοποιητικά την κατανομή Μεγίστων Τιμών περιόδου επαναφοράς T κατά Log Pearson III.

Απ' το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει το συμπέρασμα ότι όλα τα μέγιστα ύψη βροχής 24ωρης διάρκειας ακολουθούν με καλή προσαρμογή την κατανομή Μεγίστων Τιμών περιόδου επαναφοράς T κατά Log Pearson III εκτός την ακραία τιμή των 173mm. Αν δεχθούμε την ακραία βροχόπτωση της 27^{ης} Ιανουαρίου 1996 ότι εντάσσεται στην καμπύλη Log Pearson III, μπορούμε να προσεγγίσουμε την περίοδο επαναφοράς της **στα 300 περίπου χρόνια**.

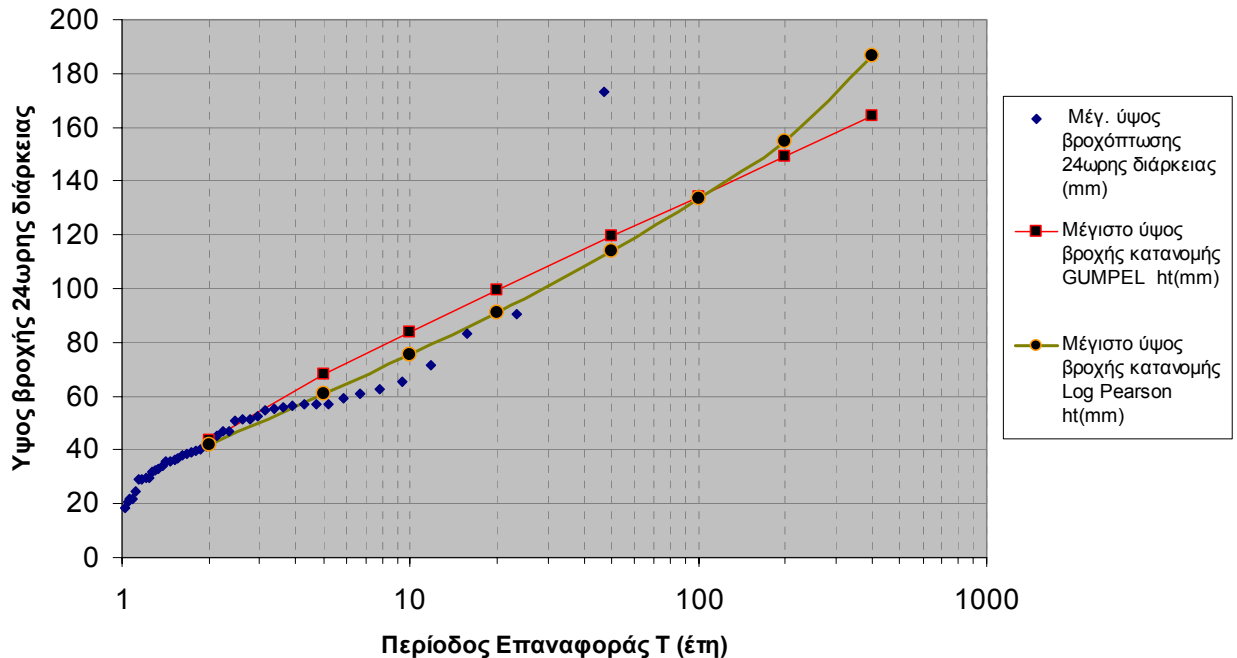
4.4.5. Συσχέτιση των μεγίστων τιμών περιόδου επαναφοράς των κατανομών Λογαριθμικής Pearson III (Log Pearson III) & Ακραίων Τιμών Τύπου I (Gumbel) .

Σύμφωνα με τα παραπάνω τα μέγιστα ύψη βροχής 24ωρης διάρκειας του βροχομετρικού σταθμού του αεροδρομίου της Ελευσίνας προσεγγίζουν ικανοποιητικά την κατανομή Μεγίστων Τιμών περιόδου επαναφοράς T κατά Log Pearson III όχι όμως την κατανομή Μεγίστων Τιμών περιόδου επαναφοράς T κατά Gumbel.

Πιθανότητα εμφάνισης, P% Περίοδος Επαναφοράς, T	Log Pearson III Ύψος Υετού (mm)	Gumbel Ύψος Υετού (mm)
P50 (T=2 έτη)	41,77	43,63
P20 (T=5 έτη)	60,69	67,90
P10 (T=10 έτη)	75,30	83,97
P5 (T=20 έτη)	90,97	99,39
P2 (T=50 έτη)	113,91	119,34

P1 (T=100 έτη)	133,29	134,30
P0.5 (T=200 έτη)	154,69	149,20
P0.25 (T=400 έτη)	186,51	164,07

Πίνακας 4-7: Το μέγιστο ύψος υετού στην Ελευσίνα για διάφορες περιόδους επαναφοράς όπως προέκυψε από τις μεθόδους Log Pearson III και Gumbel



Διάγραμμα 4-4: Τα μέγιστα ύψη βροχής 24ωρης διάρκειας του βροχομετρικού σταθμού του αεροδρομίου της Ελευσίνας προσεγγίζουν ικανοποιητικά την κατανομή Μεγίστων Τιμών περιόδου επαναφοράς T κατά Log Pearson III όχι όμως την κατανομή Μεγίστων Τιμών περιόδου επαναφοράς T κατά Gumbel.

4.5. Συμπεράσματα από την ανάλυση της συχνότητας των βροχοπτώσεων

Η ανάλυση και επεξεργασία των βροχομετρικών δεδομένων για την ανάδειξη της περιόδου επαναφοράς και της πιθανότητας υπέρβασης ενός πλημμυρικού γεγονότος, είναι εφικτή με διάφορες μεθόδους. Με την εφαρμογή των εξισώσεων Weibull (1939) περί ανάλυσης μεγίστων και ελαχίστων τιμών ενός φαινομένου προέκυψε ο πίνακας 4-2.

Αν δεχθούμε ότι η παραπάνω στατιστική ανάλυση των βροχοπτώσεων 24ωρης διάρκειας (οι οποίες δεν αποτελούν στην πλειοψηφία τους πλημμυρικά φαινόμενα), μπορεί να εφαρμοστεί για εκείνες που προκάλεσαν καταστροφικά φαινόμενα (ελλείψει εντάσεων και ακριβούς διάρκειας υετού), προκύπτει ότι μέχρι σήμερα και από τα καταγεγραμμένα στοιχεία του Αεροδρομίου της Ελευσίνας, η *ετήσια πιθανότητα* να συμβούν ανάλογα πλυμμηρικά φαινόμενα:

- με αυτό της 27ης ΙΑΝ 1996 (173 mm) είναι **2%**(περίπου), ενώ θα εμφανίζεται μία φορά κάθε **47** χρόνια. Είναι όμως πιθανό να εμφανισθεί και σε συντομότερα χρονικά διαστήματα, αφού υπάρχει η θεωρητική πιθανότητα 2% να συμβεί κάθε χρόνο.

- με αυτό της 2^{ας} NOE 1977 (90,5 mm) είναι **4%**(περίπου), ενώ θα εμφανίζεται μία φορά κάθε **23,5** χρόνια. Είναι όμως πιθανό να εμφανισθεί και σε συντομότερα χρονικά διαστήματα, αφού υπάρχει η θεωρητική πιθανότητα 4% να συμβεί κάθε χρόνο.
- με αυτό της 7^{ης} NOE 2002 (57 mm) είναι **21%**(περίπου), ενώ θα εμφανίζεται μία φορά κάθε **4,7** χρόνια. Είναι όμως πιθανό να εμφανισθεί και σε συντομότερα χρονικά διαστήματα, αφού υπάρχει η θεωρητική πιθανότητα 21% να συμβεί κάθε χρόνο.
- με αυτό της 29^{ης} NOE 1963 (56,9 mm) είναι **23%** (περίπου), ενώ θα εμφανίζεται μία φορά κάθε **4** χρόνια. Είναι όμως πιθανό να εμφανισθεί και σε συντομότερα χρονικά διαστήματα, αφού υπάρχει η θεωρητική πιθανότητα 23% να συμβεί κάθε χρόνο.
- με αυτό της 9^{ης} NOE 1999 (46,8 mm) είναι **45%**(περίπου), ενώ θα εμφανίζεται μία φορά κάθε **2** χρόνια. Είναι όμως πιθανό να εμφανισθεί και σε συντομότερα χρονικά διαστήματα, αφού υπάρχει η θεωρητική πιθανότητα 45% να συμβεί κάθε χρόνο.
- με αυτό της 6^{ης} ΦΕΒ 1978 (26,4 mm) είναι περίπου **88%**, ενώ θα εμφανίζεται σχεδόν κάθε χρόνο. Είναι όμως πιθανό να εμφανισθεί και σε συντομότερα χρονικά διαστήματα, αφού υπάρχει η θεωρητική πιθανότητα 88% να συμβεί κάθε χρόνο.

Αξιολογώντας την παραπάνω μεθοδολογία, θα πρέπει να αναδείξουμε την αποτυχία της μεθόδου για πρακτική εφαρμογή (ή τουλάχιστον να την αποδεχθούμε με επιφύλαξη), ελλείψει εντάσεων και διάρκειας βροχόπτωσης. Χαρακτηριστικά παραδείγματα της εν λόγω αποτυχίας αποτελούν οι τιμές της 9^{ης} NOE 1999 (46,8 mm) & της 6^{ης} ΦΕΒ 1978 (26,4 mm), αφού σύμφωνα με τη μέθοδο θα έπρεπε να είχαμε καταστροφικές πλημμύρες κάθε 2 & 1 χρόνο αντίστοιχα με μεγάλες μάλιστα θεωρητικές πιθανότητες (κάτι που δε συμβαίνει).

Για την ολοκλήρωση του πιθανοτικού πλαισίου, υπολογίσθηκε το μέγιστο ύψος υετού στην Ελευσίνα για διάφορες περιόδους επαναφοράς, όπως προέκυψε τόσο από την κατανομή Gumbel, όσο και από την κατανομή Log Pearson III με τον παράγοντα της συχνότητας. Το συμπέρασμα από την ανάλυση είναι ότι όλα τα μέγιστα ύψη βροχής 24ωρης διάρκειας ακολουθούν με καλή προσαρμογή την κατανομή Μεγίστων Τιμών περιόδου επαναφοράς T κατά Log Pearson III εκτός την ακραία τιμή των 173 mm.

Μάλιστα μπορούμε να προσεγγίσουμε από το διάγραμμα 4-3, την περίοδο επαναφοράς όλων των μεγίστων υψών υετού που αφορούν πλημμυρικά φαινόμενα όπως:

- αυτό της 27ης ΙΑΝ 1996 (173 mm) στα 300 περίπου χρόνια με θεωρητική πιθανότητα 0,33% να συμβεί κάθε χρόνο (αν μπορούμε να εντάξουμε την εν λόγω βροχόπτωση μέσα στην καμπύλη Log Pearson III)
- αυτό της 2^{ας} NOE 1977 (90,5 mm) στα 25 περίπου χρόνια με θεωρητική πιθανότητα 4% να συμβεί κάθε χρόνο

- αυτό της 7^{ης} NOE 2002 (57 mm) στα 3,3 περίπου χρόνια με θεωρητική πιθανότητα 30% να συμβεί κάθε χρόνο.
- αυτό της 29^{ης} NOE 1963 (56,9 mm) στα 3,3 περίπου χρόνια με θεωρητική πιθανότητα 30% να συμβεί κάθε χρόνο.
- αυτό της 9^{ης} NOE 1999 (46,8 mm) στα 2,4 περίπου χρόνια με θεωρητική πιθανότητα 42% να συμβεί κάθε χρόνο.
- αυτό της 6^{ης} ΦΕΒ 1978 (26,4 mm) στα 1,2 περίπου χρόνια με θεωρητική πιθανότητα 83% να συμβεί κάθε χρόνο.

Δεν κατέστη δυνατόν να επιβεβαιώσουμε τα παραπάνω με ημερήσια βροχομετρικά δεδομένα από το μετεωρολογικό σταθμό της Ελευσίνας μετά το 2003. Πλησίον όμως του αεροδρομίου της Ελευσίνας βρίσκεται βροχόμετρο του Μετσόβειου Πολυτεχνείου που λειτουργεί από το 2005. Τα 10 μεγαλύτερα επεισόδια βροχόπτωσης παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Επεισόδιο	Μέγιστη ένταση δεκαλέπτου (mm/h)	Συνολική βροχόπτωση (mm)	Διάρκεια επεισοδίου (HH:MM)	Έναρξη	Λήξη
<u>1</u>	10,8	141,4	11:40	30/10/2006 10:50	31/10/2006 22:30
<u>2</u>	22,8	83,2	5:50	24/11/2005 1:50	25/11/2005 7:40
<u>3</u>	49,2	54,4	11:00	20/10/2007 13:00	21/10/2007 0:00
<u>4</u>	99,6	48	5:00	21/10/2007 20:40	22/10/2007 1:40
<u>5</u>	14,4	44,8	16:00	5/4/2008 13:20	6/4/2008 5:20
<u>6</u>	19,2	42	14:20	22/3/2007 10:00	23/3/2007 0:20
<u>7</u>	12	41,2	12:20	9/10/2006 22:00	10/10/2006 10:20
<u>8</u>	38,4	41,2	6:00	24/5/2007 10:00	24/5/2007 16:00
<u>9</u>	16,8	40	16:10	23/11/2006 16:40	24/11/2006 8:50
<u>10</u>	86,4	39	3:30	2/7/2006 17:00	2/7/2006 20:30

Πίνακας 4-8: Τα 10 μεγαλύτερα επεισόδια βροχόπτωσης του μετεωρολογικού σταθμού του Μετσόβειου Πολυτεχνείου στη θέση Μάνδρα

Αν και δεν βρίσκεται στο ίδιο υψόμετρο με το βροχόμετρο του Αεροδρομίου της Ελευσίνας, βάσει του οποίου μελετήθηκε η συχνότητα, ωστόσο είναι χαρακτηριστική η περιοδικότητα των βροχοπτώσεων μέχρι την τιμή των 55 mm (περίπου) τα οποία δεν προξένησαν πλημμύρες. Σύμφωνα με το γεγονός αυτό οι στατιστικές αναλύσεις που ακολουθούν μαθηματικά μοντέλα 24ωρης διάρκειας είναι ελλιπείς οπότε και προκύπτει η επιτακτική ανάγκη για στοιχεία **εντάσεων και ακριβούς διάρκειας υετού σε βάθος χρόνου.**

4.6. Βιβλιογραφία

ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ (2006) μετεωρολογικά δεδομένα του σταθμού Ελευσίνας, έτη 1958-2003 Γλυφάδα.

ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η. (1996), «Οι πλημμύρες της 27/01/1996 στο Θριάσιο Πεδίο και τα αίτια που προκάλεσαν τις καταστροφές» - Πρόδρομη συνοπτική έκθεση, Οργανισμός Αθήνας.

ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΤΖΩΡΑΚΗ Ρ., ΣΤΑΜΑΤΗ Φ.,(2007) Προκαταρκτική ανάλυση πλημμυρικών φαινομένων νόμου Λακωνίας. Τεχνική έκθεση προς την επιτροπή «Στρατηγικού Σχεδιασμού Αντιπλημμυρικής Προστασίας Νόμου Λακωνίας» Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείο Κρήτης-Χανιά

ΤΣΑΚΙΡΗΣ Γ. (1995) Υπεύθ. Έκδοσης: «Υδατικοί Πόροι : Ι Τεχνική Υδρολογία», Κεφ. 2 Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

5. ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ Σ.Γ.Π. ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΧΕΙΜΑΡΡΟΥ & ΠΟΛΥΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗΣ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

5.1. Γενικά χαρακτηριστικά των Σ.Γ.Π.

Κατά καιρούς έχουν δοθεί διάφοροι ορισμοί για τα Σ.Γ.Π. Ο Goodchild (1985) όρισε τα Σ.Γ.Π. ως: «ένα ολοκληρωμένο σύστημα συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάλυσης και απόδοσης της πληροφορίας που αναφέρεται σε φαινόμενα που εξελίσσονται στο γεωγραφικό χώρο» Σύμφωνα με τον Βαϊόπουλο (1997), πρόκειται για ένα δυναμικό σύστημα πληροφορίας υψηλής ποιότητας, χρησιμοποιώντας την εξελιγμένη τεχνολογία της πληροφορικής.

Η σχετικά καθυστερημένη εμφάνιση της τεχνολογίας των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Σ.Γ.Π.) και των Συστημάτων Ψηφιακής Χαρτογραφίας (Σ.Ψ.Χ.), ερμηνεύεται ως ένα βαθμό από το γεγονός, ότι ο τύπος των πληροφοριών που αποθηκεύει, διαχειρίζεται, αναλύει και αποδίδει ένα χαρτογραφικό σύστημα και κατ' επέκταση ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών, αλλά και το είδος της ανάλυσης των χωρικών δεδομένων, είναι ιδιαίτερα πολύπλοκο σε σχέση με πληροφορίες μη γεωγραφικού χαρακτήρα. Παρά όλα αυτά, και μετά την επίλυση των προβλημάτων που έχουν σχέση με τη δομή και οργάνωση των χαρτογραφικών στοιχείων σε ψηφιακό περιβάλλον, διατίθενται πλέον χαρτογραφικά συστήματα, που χαρακτηρίζονται από πληρότητα και λειτουργικότητα.

Τα αίτια που οδήγησαν προς την κατεύθυνση αυτή είναι:

- α) Γενική παραδοχή των πλεονεκτημάτων που έχουν τα γεωγραφικά χαρτογραφικά στοιχεία σε ψηφιακή μορφή.
- β) Το αυξανόμενο κόστος της παραδοσιακής χαρτογραφικής εργασίας σε αντίθεση με το συνεχώς μειούμενο κόστος των χαρτογραφικών συστημάτων σε σχέση και με την αδυναμία εύρεσης «παραδοσιακών» χαρτογράφων.
- γ) Οι συνεχώς βελτιούμενες μέθοδοι και τεχνολογία για ψηφιοποίηση, έλεγχο, σχεδίαση και παραγωγή χαρτών.
- δ) Η αυξανόμενη απαίτηση για γεωγραφικά – χαρτογραφικά στοιχεία σε ψηφιακή μορφή, με σκοπό την επεξεργασία τους για δημιουργία μοντέλων του γεωγραφικού χώρου και την αξιοποίησή τους σε περιβάλλον Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών.
- ε) Η διαθεσιμότητα ελεγμένων και ολοκληρωμένων προγραμμάτων λογισμικού, τα οποία αντιμετωπίζουν αποτελεσματικά τα διάφορα χαρτογραφικά προβλήματα καθώς και αξιόπιστων χαρτογραφικών βάσεων δεδομένων.
- στ) Η αναγνώριση της εμπορικής σημασίας των χαρτογραφικών εφαρμογών σε ψηφιακό περιβάλλον.

Οι γεωγραφικές πληροφορίες που διαχειρίζεται ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών είναι πληροφορίες που αναφέρονται σε γεωγραφικά στοιχεία. Ως γεωγραφικό στοιχείο ορίζεται το χωρικό εκείνο στοιχείο ή οντότητα, το οποίο υ-

ποπύπτει στην ανθρώπινη αντίληψη. Αφορά δε τις οντότητες που έχουν σχέση με τη γη, οι οποίες δεν υποδιαιρούνται περαιτέρω σε άλλες επί μέρους οντότητες. Κάθε γεωγραφικό στοιχείο προσδιορίζεται από δύο κατηγορίες χαρακτηριστικών παραμέτρων, οι οποίες είναι:

- Χωρική Πληροφορία
- Περιγραφική πληροφορία

Χωρική πληροφορία είναι ο προσδιορισμός της θέσης και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των γεωγραφικών δεδομένων με βάση ένα σύστημα αναφοράς. Περιγραφική πληροφορία είναι τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά τα οποία αναφέρονται στα γεωγραφικά δεδομένα. Το μεγάλο πλεονέκτημα των Σ.Γ.Π. είναι η σύνδεση των χωρικών με τις περιγραφικές πληροφορίες, καθώς και η εκτέλεση πράξεων μεταξύ χαρτών. Τα Σ.Γ.Π. μπορούν να διαχειριστούν τον μεγάλο όγκο δεδομένων και επεξεργασιών που απαιτούν τα κατανεμημένα υδρολογικά μοντέλα. Επίσης, με την ραγδαία ανάπτυξη της δύναμης των υπολογιστών, δόθηκε η δυνατότητα ανάπτυξης περισσότερο πολύπλοκων και αναλυτικών υδρολογικών μοντέλων, τα οποία εκτελούνται κατά κύριο λόγο μέσα σε περιβάλλον ενός Σ.Γ.Π.

Αυτό το πλεονέκτημα των Σ.Γ.Π. το εκμεταλλεύεται και ο γραφών την παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, προκειμένου να αναλυθεί η *Ενέργεια του Χειμάρου* Σούρες (stream power) στο Κεφ. 5, καθώς και να αναδειχθούν επιρροές περιοχές για πλημμύρες με την *Πολυπαραγοντική Μορφομετρική Ανάλυση* στο Κεφ. 6. Υλοποιήθηκε δε χρησιμοποιώντας το λογισμικό ArcGIS της ESRI έκδοση 9.1, το οποίο περιλαμβάνει σειρά από προγράμματα, μεταξύ αυτών το ArcMap και ArcHydro, στο περιβάλλον των οποίων έλαβε χώρα η επεξεργασία των δεδομένων και η ανάπτυξη του μοντέλου βροχής - απορροής. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Microsoft Excel για την δημιουργία των πινάκων και διαγραμμάτων.

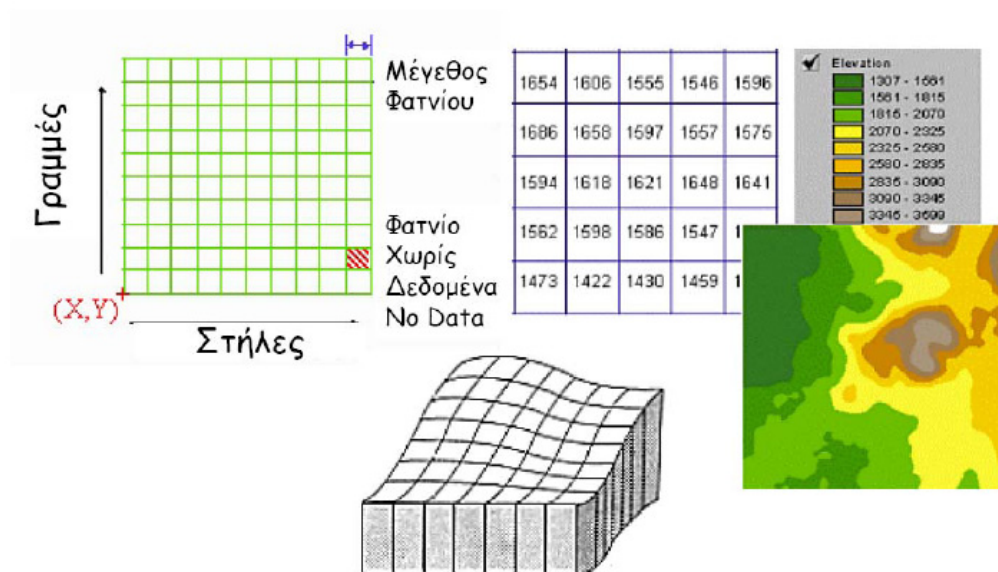
5.2. Κανονικοποιημένα (ή μωσαϊκά) μοντέλα

Τα ψηφιακά χωρικά μοντέλα διακρίνονται σε δύο υποκατηγορίες:

- Διανυσματικά μοντέλα (Vector)
- Κανονικοποιημένα (Raster)

Στα διανυσματικά μοντέλα η βασική λογική μονάδα είναι η γραμμή, εκφρασμένη από μια σειρά σημείων με συντεταγμένες x , y . Αντίθετα, στα κανονικοποιημένα μοντέλα, ο γεωγραφικός χώρος χωρίζεται σε χωρία κανονικού σχήματος, τα φατνία. Το κάθε φατνίο αποτελεί βασική λογική μονάδα και όλα μαζί ένα κάναβο (GRID). Σε κάθε λογική μονάδα αντιστοιχεί το περιεχόμενο (τιμή) μία συνεχούς μεταβλητής και ως εκ τούτου τα μοντέλα της κατηγορίας αυτής, είναι πλέον κατάλληλα για την ψηφιακή καταγραφή μη διακριτών (συνεχών) οντοτήτων, όπως για παράδειγμα, ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους.

Η υδρολογική ανάλυση στα Σ.Γ.Π. χρησιμοποιεί ως βάση της, κανονικοποιημένα μοντέλα, για να μπορέσει να προσομοιώσει την κίνηση της κάθε σταγόνας πάνω στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους.



Εικόνα 5-1: Κανονικοποιημένο χωρικό μοντέλο

Συνδυάζουν πολλά επί μέρους θεματικά επίπεδα όπως τοπογραφικά, γεωμορφολογικά, εδαφολογικά και επίπεδα χρήσεων γης. Τα τελευταία χρόνια αναπτύχθηκαν, τα καταμεμημένα - κανονικοποιημένα υδρολογικά μοντέλα που εκμεταλλεύονται την χωρική κατανομή των δεδομένων. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να συνδυάσουν πληροφορίες για την χωρική μεταβλητότητα της τοπολογίας, των χρήσεων γης, της γεωλογίας και οποιονδήποτε άλλων παραμέτρων περιλαμβάνουν.

5.3. Προκαταρκτικά στάδια σε περιβάλλον Σ.Γ.Π. εν όψει εφαρμογής των μεθοδολογιών.

Η διαδικασία για την ανάπτυξη των μεθοδολογιών, τόσο της *Ενέργειας Χειμάρρου*, όσο και της *Πολυπαραγοντικής Μορφομετρικής Ανάλυσης* περιλαμβάνει συνοπτικά τα εξής προκαταρκτικά στάδια:

- Πρώτο στάδιο: Παραγωγή του Ψηφιακού Μοντέλου εδάφους (DEM)
- Δεύτερο στάδιο: Πρώιμο στάδιο επεξεργασίας του Ψηφιακού Μοντέλου εδάφους (DEM)
- Τρίτο στάδιο: εφαρμογή των εργαλείων ArcHydro & υπολογισμοί υδρολογικών παραμέτρων υπολεκανών.

5.3.1. Παραγωγή του Ψηφιακού Μοντέλου εδάφους (DEM)

5.3.1.1. Γενικά περί Ψηφιακού Μοντέλου εδάφους

Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) είναι η αναπαράσταση των χαρακτηριστικών του γήινου αναγλύφου κάνοντας χρήση μίας διακριτικής ψηφιακής φόρμας, η οποία μπορεί να είναι κανονικής δομής (DEMs ή RSGs – Regular Spaced Grids) ή μη κανονικής δομής (TINs). Σύμφωνα με έναν δεύτερο ορισμό ως ψηφια-

κό μοντέλο εδάφους ορίζεται η προσέγγιση της επιφάνειας του εδάφους με αριθμητικές τιμές θέσης και υψομέτρου διακεκριμένων σημείων (ψηφιακά δεδομένα), οι οποίες χρησιμοποιούνται κατάλληλα για τη δημιουργία μαθηματικής συνάρτησης (μοντέλου) που εκφράζει ικανοποιητικά τη συνεχή επιφάνεια του εδάφους (Χατζόπουλος, 2006). Λόγω του ότι, δεν έχει καθιερωθεί μέχρι στιγμής μία ενιαία ορολογία για την περιγραφή των μοντέλων αυτών, έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς διάφοροι όροι, όπως DTM (Digital Terrain Model), DHM (Digital Height Model), DGM (Digital Ground Model) και DEM (Digital Elevation Model). Στην παρούσα εργασία υιοθετήθηκε ο όρος DEM (Digital Elevation Model), ο οποίος αποδόθηκε στην ελληνική ως Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ).

Τα ΨΜΕ διαμορφώνουν μια συνεχή μαθηματική επιφάνεια, η οποία προσεγγίζει την πραγματική επιφάνεια του εδάφους με ακρίβεια που ορίζεται υπό προδιαγραφές.

5.3.1.2. Παραγωγή Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους της λεκάνης του χειμάρρου Σούρες

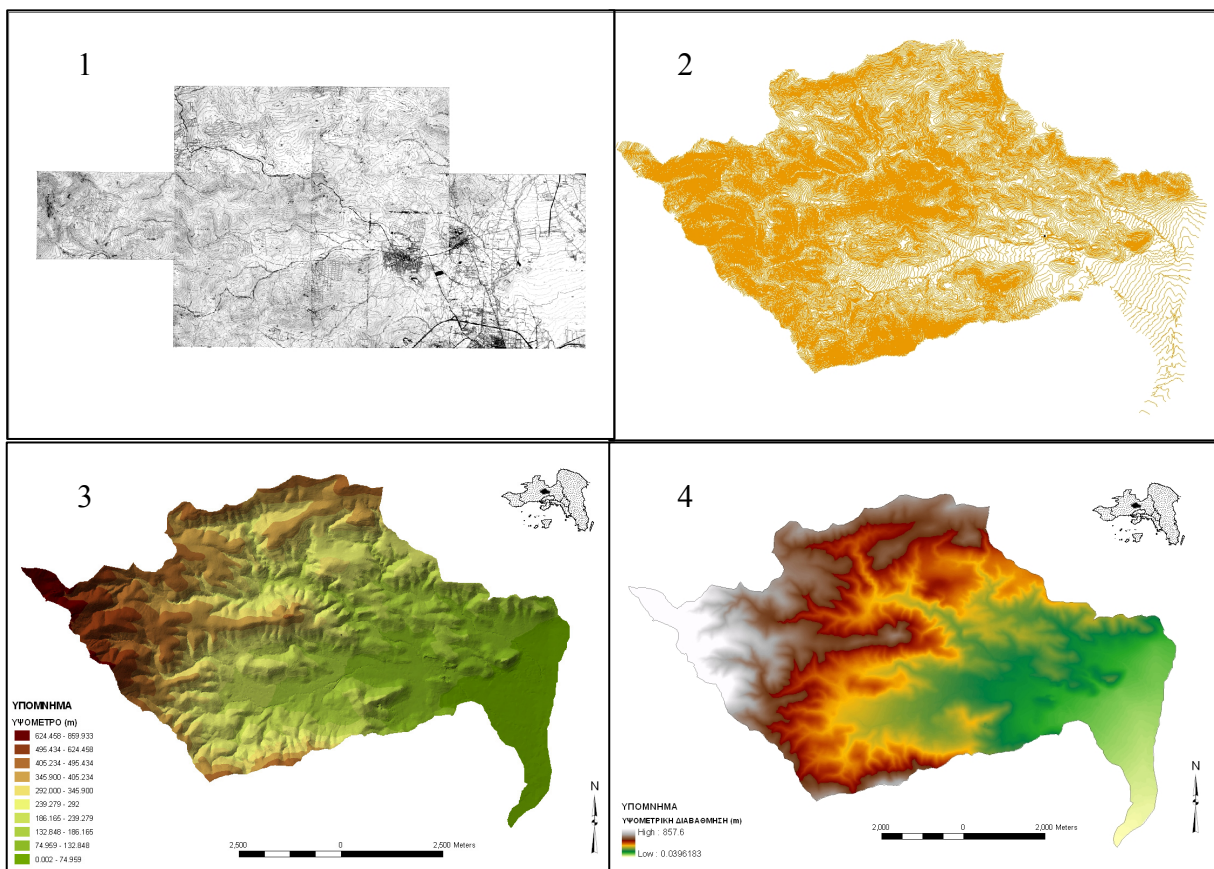
Τα Ψ.Μ.Ε. ως καθαρά ψηφιακά προϊόντα, αποτελούν την βάση για πολλές περαιτέρω διαδικασίες χαρτογραφικού περιεχομένου και παραγωγής δευτερογενούς πληροφορίας, αλλά και δημιουργίας παράγωγων χωρικών μοντέλων όπως είναι το ολικό ανάγλυφο, ο προσανατολισμός και οι κλίσεις των πρανών κ.α. Για την παραγωγή του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους χρησιμοποιήθηκαν ισοϋψείς καμπύλες ισοδιάστασης 4 μέτρων και 2 μέτρων (στις πεδινές περιοχές), όπως και υψομετρικά σημεία τα οποία προήλθαν από την ψηφιοποίηση των τοπογραφικών διαγραμμάτων της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (κλίμακας 1:5.000).

Κατά την δημιουργία του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, όλες οι σταδιακές διαδικασίες παραγωγής των ενδιάμεσων προϊόντων, συνήθως επιφέρουν σφάλματα τα οποία μεταδίδονται πολλαπλασιαζόμενα στο τελικό προϊόν. Τα σφάλματα αυτά δεν γίνονται αντιληπτά στο αποτέλεσμα της διαδικασίας, που δεν είναι άλλο από το τελικό ψηφιακό μοντέλο εδάφους, με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος ψευδούς απεικόνισης του αναγλύφου σε συγκεκριμένες ζώνες. Στην σύνθεση της τελικής ακρίβειας και ποιότητας του Ψ.Μ.Ε, συνεισφέρουν όλοι οι παράγοντες, οι οποίοι εμπλέκονται κατά την διαδικασία παραγωγής του, όπως είναι ο αναλογικός τοπογραφικός χάρτης, η ψηφιοποίηση, ο μετασχηματισμός των δεδομένων και ο αλγόριθμος παρεμβολής.

Για τον περιορισμό των ενδιάμεσα παραγόμενων σφαλμάτων και την καλύτερη δυνατή απεικόνιση του αναγλύφου, πραγματοποιήθηκε σχολαστικός έλεγχος των προϊόντων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την δημιουργία του ΨΜΕ της περιοχής μελέτης. Στα πλαίσια του ελέγχου αυτού, βεβαιώθηκε η ορθότητα της ψηφιακής απόδοσης των ισοϋψών καμπύλων από τους αναλογικούς χάρτες και η ορθότητα της υψομετρικής πληροφορίας που φέρουν τόσο οι υψομετρικές καμπύλες, όσο και τα υψομετρικά σημεία. Επιπλέον, κατά την διαδικασία παραγωγής του ΨΜΕ χρησιμοποιήθηκε και το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής σε διανυσματική μορ-

φή, όπως προήλθε από την ψηφιοποίηση των απεικονιζόμενων κλάδων των τοπογραφικών διαγραμμάτων 1:5000 της ΓΥΣ. Η χρήση αυτού του υδρογραφικού δικτύου με την μορφή διανυσμάτων, φοράς όμοιας με αυτή της κίνησης των υδάτων, συμβάλει σημαντικά τόσο στην ενίσχυση της υψομετρικής διαφοροποίησης του αναγλύφου κατά μήκος των κλάδων, όσο και στην ορθότερη προσομοίωση των κοιτών των ρευμάτων.

Η διαδικασία παραγωγής του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, πραγματοποιήθηκε σε δύο στάδια, στην δημιουργία ενός τρισδιάστατου υψομετρικού μοντέλου εδάφους (TIN) και στην δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους με μορφή κανάβου (GRID).

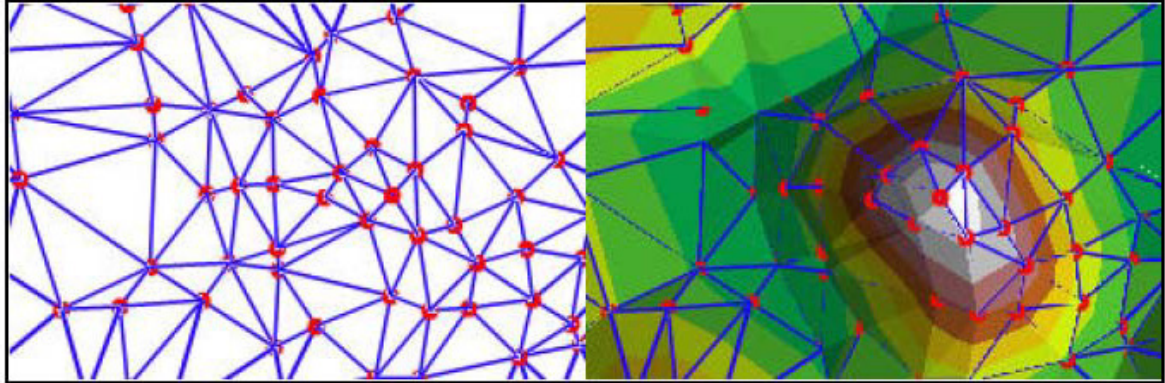


Εικόνα 5-2: Διαδικασία παραγωγής Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους υδρολογικής λεκάνης χειμάρου Σούρες (1: τοπογραφικό διάγραμμα 2: ψηφιοποιημένες ισοψείς καμπύλες 3: TIN 4: GRID)

Κάθε ένα από τα μοντέλα δομής που χρησιμοποιήθηκαν έχει τα πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς του. Τα Grid είναι ευρέως διαδεδομένα λόγω της απλότητας, της εύκολης επεξεργασίας και της υπολογιστικής αποδοτικότητας. Παρόλα αυτά, εμφανίζονται μειονεκτήματα εξαιτίας της εξάρτησης του μεγέθους του πλέγματος, από συγκεκριμένες υπολογίσιμες εδαφολογικές παραμέτρους και της αδυναμίας προσαρμογής του μεγέθους του, στις αλλαγές του μεγέθους των εδαφολογικών χαρακτηριστικών. Τα TIN ξεπερνούν σε κάποιο βαθμό αυτά τα μειονεκτήματα, όμως ο υπολογισμός των χαρακτηριστικών του εδάφους από ακανόνιστα τρίγωνα είναι δυσκολότερος απ' ότι στα πλέγματα.

Παραγωγή TIN

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο υψομετρικό μοντέλο εδάφους (TIN), εφαρμόζοντας την μέθοδο τριγωνοποίησης Delunay. Η μέθοδος αυτή, εξασφαλίζει ότι καμία κορυφή τριγώνου δεν εμπερικλείεται σε κανέναν από τους περιγεγραμμένους κύκλους των τριγώνων στο υπάρχον δίκτυο.



Εικόνα 5-3: Οι άκρες των TIN διαμορφώνουν τις παρακείμενες, μη συγκαλυπτώμενες τριγωνικές δομές και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συλλάβουν τη θέση των γραμμικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων που διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο σε μία επιφάνεια.

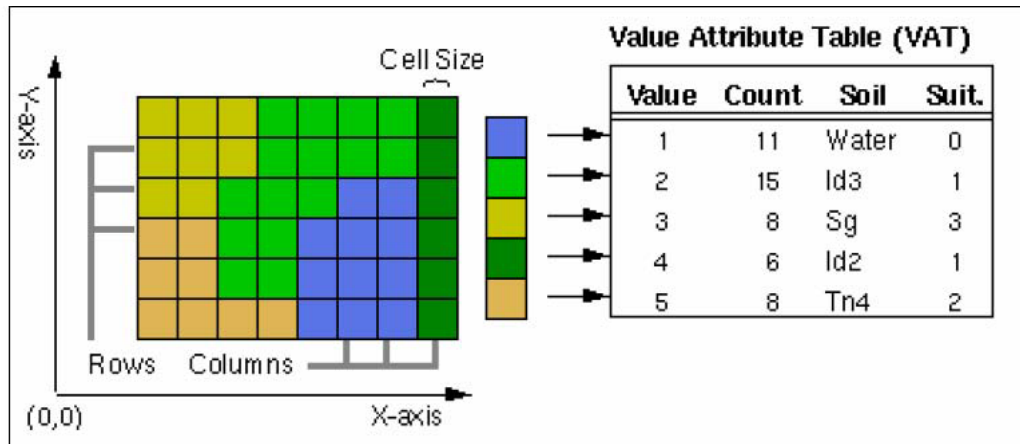
Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθόδου οδήγησε στην παραγωγή ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους (Χάρτης 5-1) το οποίο προσομοιώνει (παραπάνω από) ικανοποιητικά την μορφολογία του αναγλύφου της περιοχής μελέτης και την απεικονίζει σε τρεις διαστάσεις. Για την ομαδοποίηση και την χρωματική απόδοση των υψομέτρων του ΨΜΕ εφαρμόστηκε η μέθοδος των Φυσικών Ορίων Τιμών (Natural Breaks), επιτυγχάνοντας έτσι την ανάδειξη των φυσικών δομών του αναγλύφου. Η διαδικασία τριγωνοποίησης πραγματοποιήθηκε με την χρήση εξειδικευμένων εργαλείων του λογισμικού προγράμματος ArcGIS Desktop 9.1.

Παραγωγή GRID

Χρησιμοποιώντας το ήδη υπάρχον τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο εδάφους, παράχθηκε το μοντέλο εδάφους με την μορφή κανάβου (GRID), το οποίο καλύπτει όλη την περιοχή ενδιαφέροντος, αποδίδοντας σε κυψέλες (cells) τις τιμές των υψομέτρων. Η μετατροπή του τρισδιάστατου υψομετρικού μοντέλου εδάφους σε GRID βασίστηκε στο γεγονός ότι τα μοντέλα κανάβου απεικονίζουν ακριβέστερα την επιφάνεια του εδάφους, καθορίζοντας με απλούστερο τρόπο τις διαδρομές ροής λόγω της απλής δομής των κελιών τους.

Η καλύτερη δυνατή απόδοση του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε μορφή κανάβου, εξαρτάται κυρίως από την ανάλυση του παραγόμενου GRID. Λαμβάνοντας υπόψη την ακρίβεια των πρωτογενών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν, τα οποία αναφέρονταν σε κλίμακα 1:5.000, αλλά και την επιθυμητή ακρίβεια των εν συνεχεία παραγόμενων μοντέλων, επιλέχθηκε η τιμή μεγέθους της κυψέλης (cell size) του παραγόμενου GRID αρχείου, ίση με 4 μέτρα. Διαπιστώθηκε λοιπόν πως το GRID αρχείο (4μ) παρήγαγε δεδομένα που πλησίαζαν πολύ ικανοποιητικά την υπάρχουσα κατάσταση του υδρογραφικού δικτύου και των λε-

κανών του, αποφεύγοντας την μεγάλη συσσώρευση πληροφορίας σε περιοχές μη ανάλογου ενδιαφέροντος.

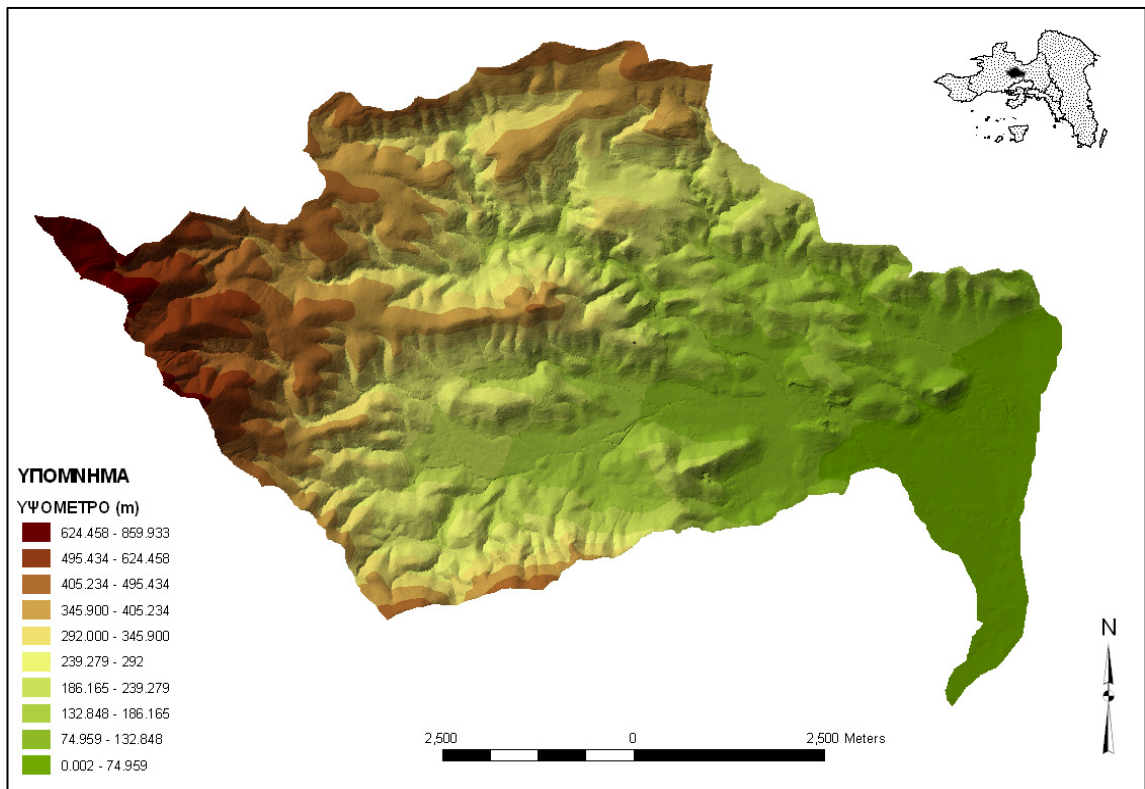


Εικόνα 5-4: Η δομή ενός GRID αρχείου που αποτελείται από κελιά ίδιου μεγέθους, τα οποία εκφράζουν τη μέση τιμή της εξεταζόμενης παραμέτρου. Στην παρούσα εργασία η εξεταζόμενη παράμετρος αφορά το υψόμετρο.

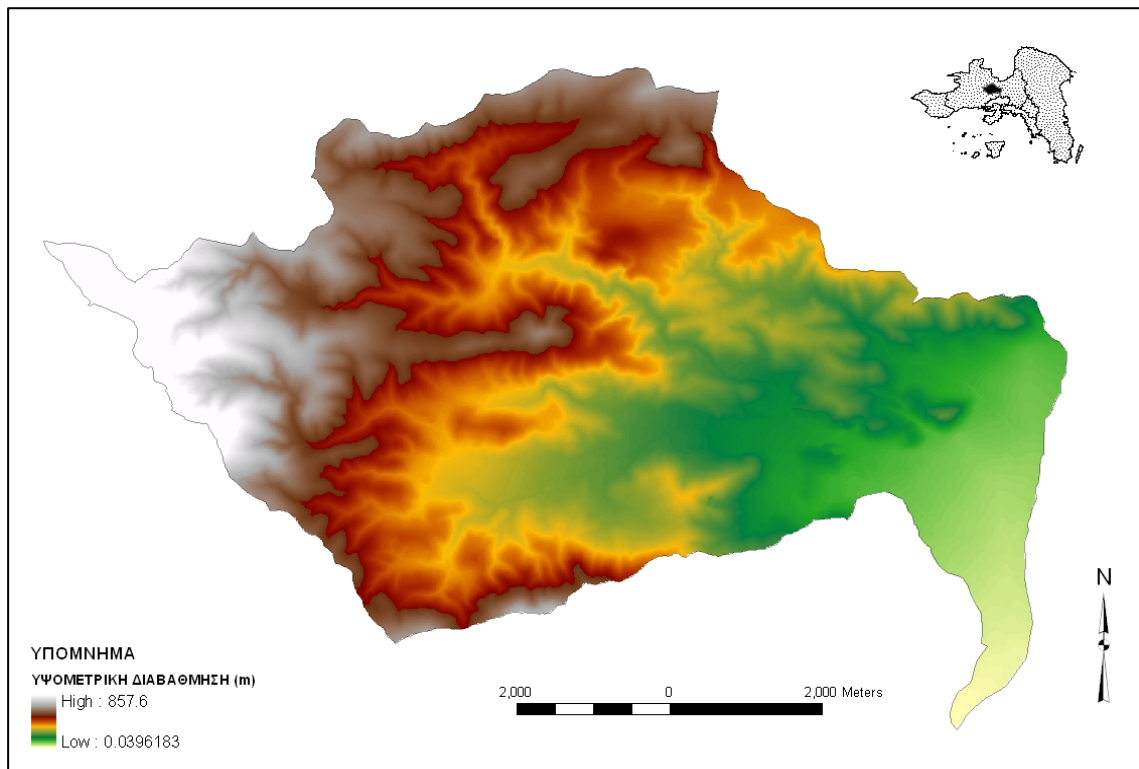
Τα παραγόμενα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους που παράχθηκαν βάση της παραπάνω διαδικασίας, παρουσιάζονται στους χάρτες 5-1, 5-2. Τα μοντέλα αυτά χρησιμοποιήθηκαν ως πρωτογενή δεδομένα στις διαδικασίες παραγωγής των διανυσματικών επιπέδων πληροφορίας του υδρογραφικού δικτύου και των λεκανών απορροής της περιοχής ενδιαφέροντος. Οι παραπάνω διαδικασίες πραγματοποιήθηκαν με την χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), και συγκεκριμένα του λογισμικού προγράμματος ArcInfo 9.1 της ESRI όπου και ενσωματώθηκαν οι εργαλείοι Arc Hydro και Hydrology.

Σημαντική παράμετρος για την εκτίμηση των υδρολογικών παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν στην ενέργεια χειμάρρου και την πολυπαραγοντική μορφομετρική ανάλυση, αποτελεί η υδρολογική προσομοίωση της λεκάνης.

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι διάφορες φάσεις εργασίας για την προσομοίωση αυτή, που καταλήγει εκτός των άλλων, σε ένα χάρτη ροής που αναπαριστά όσο το δυνατό καλύτερα την κίνηση των επιφανειακών υδάτων στη λεκάνη του Σούρες. Όλη η διαδικασία βασίστηκε εξολοκλήρου στην χρήση εξειδικευμένων εργαλείων, και συγκεκριμένα της εργαλειοθήκης Arc Hydro Tools, σε συνεργασία με το λογισμικό ArcGIS 9.1. Θα πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι μέθοδοι και οι αλγόριθμοι που αναφέρονται παρακάτω, εφαρμόζονται αποκλειστικά σε ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου με τη μορφή πλέγματος (GRID).



Χάρτης 5-1 Χάρτης Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους λεκάνης χείμαρρου Σούρες σε μορφή TIN.

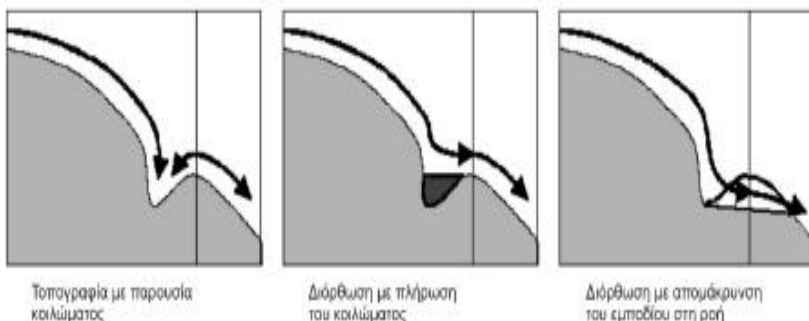


Χάρτης 5-2 Χάρτης Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους λεκάνης χείμαρρου Σούρες σε μορφή GRID.

5.3.2. Πρώιμο στάδιο επεξεργασίας του Ψηφιακού Μοντέλου εδάφους (DEM)

5.3.2.1. Απομάκρυνση των Κοιλωμάτων του ΨΜΕ

Το βασικότερο πρόβλημα που απαντάται κατά την καταγραφή της διεύθυνσης ροής είναι η παρουσία κοιλωμάτων, τοπικών δηλαδή ταπεινώσεων του αναγλύφου, στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Τα βυθίσματα αυτά, υπαρκτά ή μη στην μορφολογία της περιοχής, προκαλούν κλειστούς βρόγχους, όπου δεσμεύεται μέρος της απορροής, με αποτέλεσμα να μην υπολογίζεται ποτέ αυτή η ποσότητα στο στόμιο των λεκανών. Αποτέλεσμα αυτού είναι η αστοχία των αλγορίθμων. Ανεξάρτητα αν πρόκειται για φυσικά χαρακτηριστικά του αναγλύφου ή σφάλματα των ΨΜΕ, τα κοιλώματα αυτά θα πρέπει να απομακρυνθούν, στοχεύοντας πάντα στην ομαλή εκτίμηση της διεύθυνσης της ροής.



Το πρόβλημα της ύπαρξης των κοιλωμάτων στα ΨΜΕ, οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων μεθόδων απομάκρυνσης. Από τις πρώτες μεθοδολογίες είναι αυτή των Mark

(1984) και O'Callaghan & Mark (1984), η οποία βασίζεται στη υπόθεση ότι τα κοιλώματα αποτελούν πρωταρχικά σφάλματα υποεκτίμησης των υψομέτρων στα ΨΜΕ, και η πλήρωση οφείλει να διορθώσει αυτό το σφάλμα αυξάνοντας τις τιμές των υψομέτρων στις προβληματικές θέσεις. Πάνω στην ίδια λογική αναπτύχθηκαν και οι αλγόριθμοι των μεθόδων των Band (1986), Jenson & Trantwein (1987) και Jenson & Domingue (1988). Άλλοι ερευνητές ακολούθησαν διαφορετικές υποθέσεις, όπως οι Martz & De Jong (1988), οι οποίοι υποθέτουν ότι όλα τα κοιλώματα αντιστοιχούν σε πραγματικές μορφές του αναγλύφου. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των Jenson & Domingue ο αλγόριθμος της οποίας βρίσκεται ενσωματωμένος μέσα στα σχετικά εργαλεία του ArcGis.

Συγκεκριμένα, η διόρθωση του ΨΜΕ της περιοχής μελέτης πραγματοποιήθηκε με την χρήση των εργαλείων Fill Sinks και DEM Reconditioning της εργαλειοθήκης Terrain Preprocessing. Ουσιαστικά, πραγματοποιήθηκε α) τροποποίηση του υπάρχοντος ψηφιακού μοντέλου εδάφους με την επιβολή των γραμμικών χαρακτηριστικών του ψηφιοποιημένου υδρογραφικού δικτύου (όπως προκύπτουν από δι-αγράμματα 1:5000 της ΓΥΣ), και β) το γέμισμα των κοιλωμάτων.

5.3.2.2. Προσομοίωση επιφανειακής απορροής –Κατεύθυνση ροής

Η προσομοίωση της επιφανειακής απορροής των λεκανών απαιτεί τη λεπτομερή γνώση της υδρολογικής δομής αυτών, δηλαδή την θέση, το μήκος, και την τάξη κάθε επιμέρους κλάδου του υδρογραφικού δικτύου. Έχουν αναπτυχθεί κατά

καιρούς, αρκετά μοντέλα προσομοίωσης, τα οποία στο σύνολο τους λαμβάνουν υπόψη την χωρική κατανομή και σε ορισμένες περιπτώσεις την χρονική διακύμανση διάφορων φυσικών παραμέτρων, εκτιμώντας στην συνέχεια βασικές υδρολογικές μεταβλητές.

Από τις παραδοσιακές πλέον μεθόδους κατασκευής χαρτών κατεύθυνση ροής είναι η μέθοδος d8, των Jenson & Domingue (1988). Σύμφωνα με την μέθοδο αυτή η διεύθυνση ροής για κάθε ψηφίδα του πλέγματος, ορίζεται ως η κατεύθυνση στην οποία θα κινηθεί το νερό καθώς απομακρύνεται από το κέντρο τις εξεταζόμενης



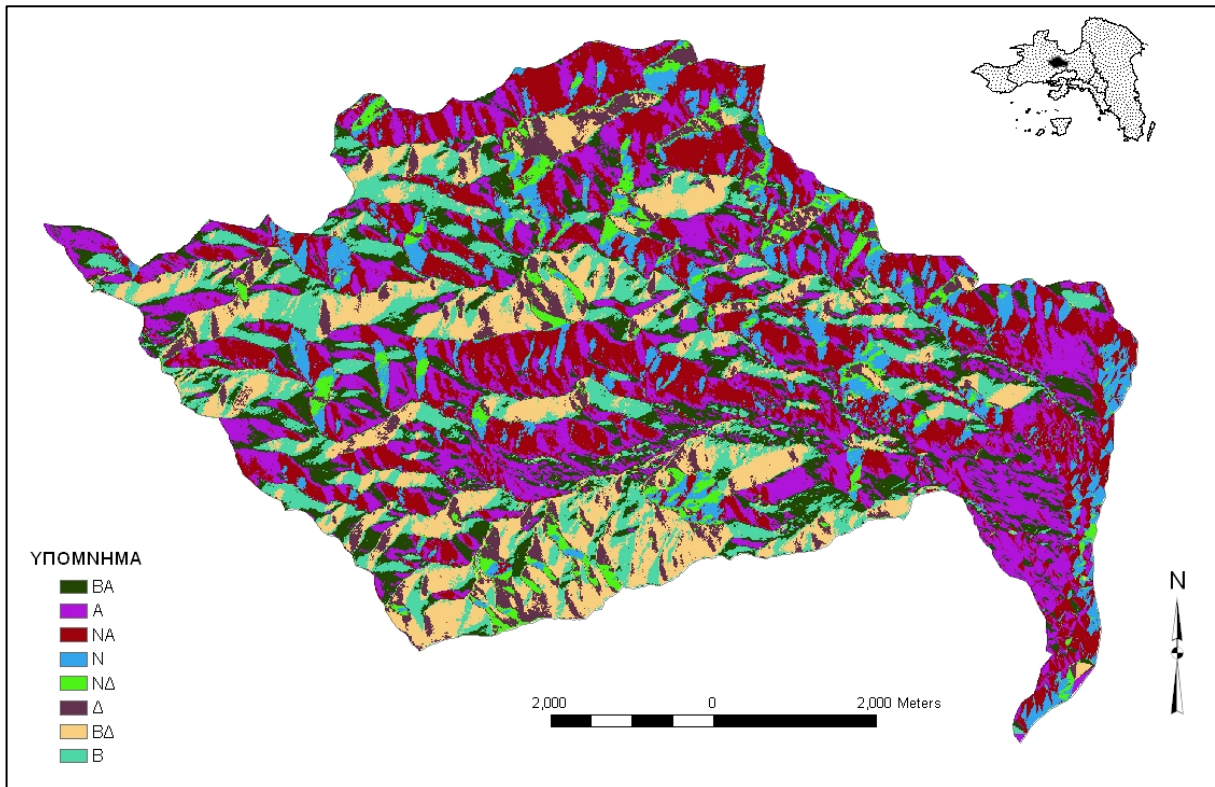
Εικόνα 5-5 Οι πιθανές διευθύνσεις κίνησης του νερού περιορίζονται σε οκτώ κατευθύνσεις που αντιστοιχούν στις οκτώ γειτονικές ψηφίδες της υπό μελέτης ψηφίδας.

ψηφίδας. Οι πιθανές διευθύνσεις κίνησης του νερού περιορίζονται σε οκτώ κατευθύνσεις που αντιστοιχούν στις οκτώ γειτονικές ψηφίδες της υπό μελέτης ψηφίδας. Ως παράδειγμα κατανόησης της συγκεκριμένης μεθόδου, θεωρούμε ένα 3x3 παραθύρο ψηφίδων (Εικ 5-16), όπου το νερό της κεντρικής ψηφίδας υποθέτουμε ότι κινείται προς τα αριστερά. Η τιμή που θα καταχωρηθεί σε αυτήν είναι ο αριθμός 32 της αντίστοιχης γειτονικής ψηφίδας. Ο υπολογισμός αυτός συνεχίζεται και για τις υπόλοιπες ψηφίδες, παράγοντας τελικά ένα μωσαϊκό ψηφίδων με καταχωρημένες τις διευθύνσεις ροής αυτών ως προς τις γειτονικές τους.

Η αναπαράσταση της ροής χρησιμοποιώντας αποκλειστικά οκτώ μόνο δυνατές κατευθύνσεις έχει ως επακόλουθο την απώλεια πληροφορίας σχετικά με την πραγματική ροή του νερού. Το πρόβλημα αυτό εντείνεται στις επίπεδες περιοχές των ψηφιακών μοντέλων, όπου λόγω της απουσίας δεδομένων ροής, απαιτείται η επιβολή τεχνικών διαδρομών που προκύπτουν μέσα από τον τυχαίο προσδιορισμό της ροής. Ο Jones (2002) εντοπίζει το πρόβλημα στην αδυναμία των ψηφιακών μοντέλων εδάφους να αναπαραστήσουν επαρκώς το ανάγλυφο του εδάφους, ιδιαίτερα σε περιοχές με μικρή κλίση, τονίζοντας ότι οι παρουσία εκτεταμένων επίπεδων εκτάσεων δεν υφίστανται στην φύση. Αντίθετα οι Turcotte et al (2001) υποστηρίζουν ότι τέτοια προβλήματα προλαμβάνονται με την χρήση ακριβέστερου ΨΜΕ και αποδίδουν το πρόβλημα στην ίδια την εσωτερική δομή του αλγορίθμου.

Την αδυναμία αληθής απόδοσης της ροής σε επίπεδες περιοχές της μεθόδου d8, προσπάθησαν να ξεπεράσουν διάφοροι ερευνητές, αναπτύσσοντας μεθόδους βασισμένες στην θεωρία της πολλαπλής ροής. Οι αλγόριθμοι πολλαπλής ροής (multiple direction algorithms), βασιζόμενοι αποκλειστικά στο βαθμό μεταβολής της κλίσης, καταχωρούν αναλογικά, ποσοστά της ροής στο σύνολο των ψηφίδων με υψόμετρο μικρότερο της κεντρικής ψηφίδας του 3x3 παραθύρου ψηφίδων. Μία εναλλακτική μέθοδος για την καλύτερη απόδοση της ροής σε προβληματικές περιοχές, είναι ο συνυπολογισμός του ψηφιοποιημένου υδρογραφικού δικτύου σε διανυσματική μορφή, μαζί με το ΨΜΕ κατά την μοντελοποίηση των υδρολογικών

λεκανών. Η μέθοδος αυτή συναντάται με τον όρο τεχνική επιβολή ροής (stream burning techniques), όπως δόθηκε από την Saunders (1999).



Χάρτης 5-3: Χάρτης κατεύθυνσης ροής υδρολογικής λεκάνης χειμάρρου Σούρες

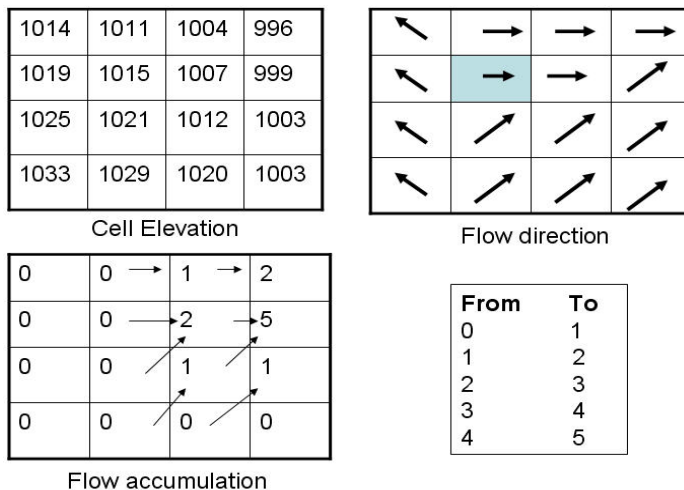
Για την προσομοίωση της επιφανειακής απορροής της υπό μελέτη περιοχής, επιλέχθηκε η μέθοδος απλής ροής $d8$, των Jenson & Domingue (1988), λαμβάνοντας υπόψη τις μορφολογικές ιδιαιτερότητες της περιοχής και τα διαθέσιμα δεδομένα προς επεξεργασία. Ο παραπάνω αλγόριθμος είναι ενσωματωμένος στο εργαλείο Flow Direction Grid (μενού Terrain Preprocessing) του Arc Hydro της ESRI.

Με σκοπό την καλύτερη δυνατή προσέγγιση της διεύθυνσης ροής των προβληματικών περιοχών, εφαρμόστηκε η τεχνική επιβολής ροής στο υπάρχον ΨΜΕ, κατά την οποία χρησιμοποιήθηκε το ψηφιοποιημένο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχή μελέτης που προέκυψε από χάρτες 1:5.000 της ΓΥΣ. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιήθηκε με την χρήση του εργαλείου AgreeDEM του μενού Terrain Preprocessing. Το ΨΜΕ που παράχθηκε από αυτή την διαδικασία (Εικ 5-17) χρησιμοποιήθηκε μετέπειτα για την παραγωγή του χάρτη κατεύθυνση ροής με την χρήση του εργαλείου Flow Direction Grid (μενού Terrain Preprocessing). Η λειτουργία Flow Direction υπολογίζει την κατεύθυνση ροής για ένα δεδομένο πλέγμα, όπου το νερό που είναι αποθηκευμένο σε κάθε κελί θα κυλήσει προς τα γειτονικά κελιά με το χαμηλότερο υψόμετρο.

5.3.2.3. Συσσώρευση της απορροής

Ο όρος συσσώρευση της ροής αναφέρεται στην αθροιστική συσσώρευση της επιφανειακής απορροής σε μία υδρολογική λεκάνη. Τα μοντέλα συσσώρευσης

ροής είναι δευτερογενή προϊόντα που προέρχονται από την κατάλληλη επεξεργασία των ψηφιακών μοντέλων εδάφους και συγκεκριμένα των μοντέλων κατεύθυνσης ροής. Τα πλέγματα των χαρτών συσσώρευσης ροής απαρτίζονται από ψηφίδες στις οποίες καταχωρούνται ακέραιες τιμές, που αντιστοιχούν στον αριθμό των ψηφίδων των οποίων οι διαδρομές ροής διέρχονται από την υπό εξέταση ψηφίδα. Με άλλα λόγια η τιμή της κάθε ψηφίδας προκύπτει από το άθροισμα εκείνων που αποστραγγίζονται από αυτή.



Εικόνα 5-6: Ενδιάμεσα παραγόμενα πλέγματα κατά την διαδικασία παραγωγής του υδρογραφικού δικτύου με τη συσσώρευση απορροής

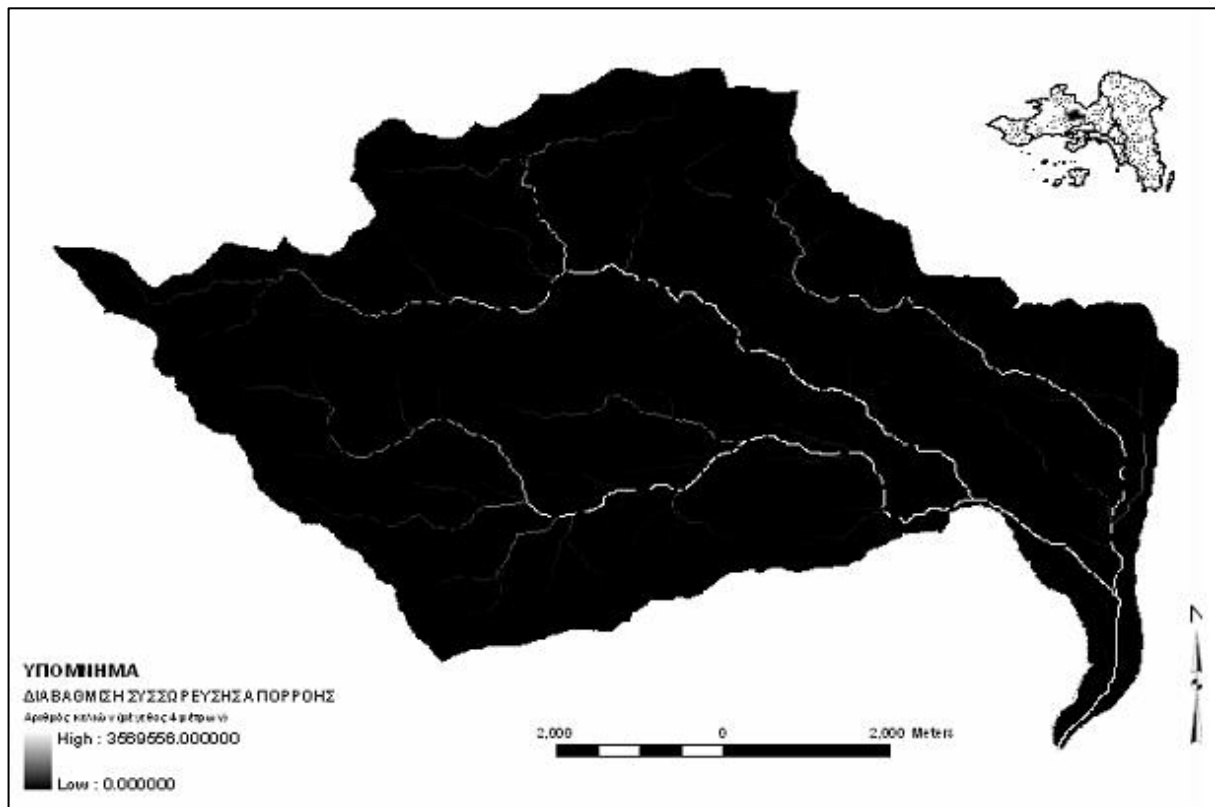
Γνωρίζοντας λοιπόν τις διαστάσεις των ψηφίδων του ΨΜΕ, είναι δυνατή η αναγωγή των ακέραιων τιμών των παραπάνω χαρτών σε εμβαδά. Η διαδικασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός χάρτη που παρέχει πληροφορίες σχετικά με το εμβαδόν της περιοχής που αποστραγγίζεται από κάθε επιμέρους ψηφίδα. Η τιμή για παράδειγμα της ψηφίδας που βρίσκεται στο στόμιο μίας λεκάνης, οφείλει να ισούται με το εμβαδόν ολόκληρης

της λεκάνης, ενώ οι ψηφίδες κατά μήκος των υδροκριτών έχουν κατά βάση τιμή ίση με το μηδέν καθώς συνεισφέρουν στη ροή, χωρίς όμως να δέχονται επιφανειακή απορροή από κάποιο άλλο τμήμα της λεκάνης.

Η πληροφορία της συσσώρευσης ροής είναι ιδιαίτερα σημαντική, αφού επιτρέπει την εξαγωγή του υδρογραφικού δικτύου (το οποίο συγκρίνεται με εκείνο που προκύπτει από την ψηφιοποίηση των χαρτών της ΓΥΣ), αλλά και των επιμέρους υδροκριτών των υδρολογικών υπολεκανών (απαραίτητα για την ανάπτυξη των μεθοδολογιών), χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τα αρχικά υψομετρικά δεδομένα του ΨΜΕ. Παρόλο που οι χάρτες συσσώρευσης ροής για την εξαγωγή των επιθυμητών αποτελεσμάτων έχουν πρακτική σημασία, αυτοί παρουσιάζουν σημαντική υστέρηση κατά την ακριβή προσέγγιση των περιοχών, όπου αναμένεται επιφανειακή συσσώρευση ροής. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην παράβλεψη σημαντικών παραμέτρων όπως είναι η λιθολογία, η βλάστηση της περιοχής και η κατανομή των βροχοπτώσεων εντός των λεκανών. Οι παράμετροι αυτοί είναι δυνατό να εισαχθούν στην διαδικασία υπολογισμού των χαρτών συσσώρευσης ροής με την μορφή πλεγμάτων (GRID) που θα φέρουν την αντίστοιχη πληροφορία και θα λειτουργούν σαν σταθμιστές στους παραγόμενους χάρτες.

Στην παρούσα εργασία ο χάρτης συσσώρευσης ροής προήλθε από το ΨΜΕ της περιοχής μελέτης, χωρίς να συνυπολογιστούν οι παραπάνω επιπλέον παράμετροι. Το αποτέλεσμα των υπολογισμών κρίθηκε ικανοποιητικό, σε σχέση πάντα με

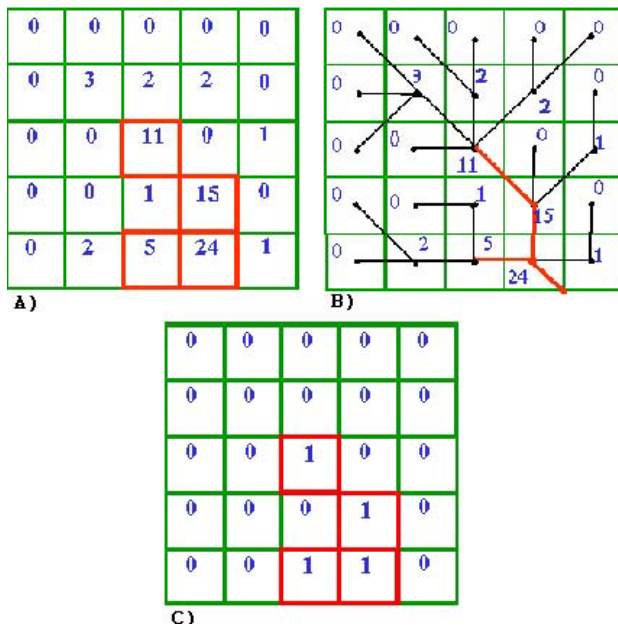
την έκταση των 58 Km² της εξεταζόμενης περιοχής και την επιθυμητή ακρίβεια των τελικών αποτελεσμάτων.



Χάρτης 5-4: Χάρτης συσσώρευσης απορροής της υδρολογικής λεκάνης του χειμάρρου Σούρες
Η παραγωγή του χάρτη συσσώρευση ροής πραγματοποιήθηκε με την χρήση του εργαλείου Flow Accumulation Grid από το μενού Terrain Preprocessing του Arc Hydro. Η λειτουργία του εργαλείου αυτού (Flow Accumulation) υπολογίζει το πλέγμα συσσώρευσης ροής (flow accumulation grid) που περιλαμβάνει τον συσσωρευμένο αριθμό κελιών που αποστραγγίζονται σε κάθε κελί του δοθέντος πλέγματος (χάρτης 5-4).

5.3.2.4. Παραγωγή & καθορισμός πλέγματος σύνδεσης ρευμάτων

Ο όρος πλέγμα σύνδεσης ρευμάτων προέρχεται καθαρά από τον χώρο των ΓΣΠ, και αναφέρεται στην απόδοση των διαδρομών ροής των υδάτων του αναγλύφου πάνω στα κελιά ενός πλέγματος (GRID). Συγκεκριμένα, η πληροφορία, ή αλλιώς η τιμή, που φέρουν τα κελιά του πλέγματος δηλώνει την ύπαρξη ή όχι συσσωρευμένης ροής, επιτρέποντας την αναγνώριση των κλάδων των ρευμάτων. Βασικός παράγοντας υπολογισμού του πλέγματος σύνδεσης ρευμάτων, είναι η πληροφορία της συσσώρευσης ροής σε κάθε κελί του πλέγματος, βάση της οποίας είναι δυνατός ο προσδιορισμός των διαδρομών των ρευμάτων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη παράγραφο, κάθε κελί του πλέγματος συσσώρευσης ροής κατέχει μία τιμή που αντιστοιχεί στην συσσώρευση ροής της συγκεκριμένης περιοχής που καταλαμβάνει το κελί. Ο προσδιορισμός των κελιών από τα οποία διέρχεται το ρέμα σχετίζεται άμεσα με τον εντοπισμό των κελιών μεγάλης



Εικόνα 5-7: Προσδιορισμός ρευμάτων με τη χρήση του πλέγματος συσσώρευσης απορροής και της τιμής ορίου.

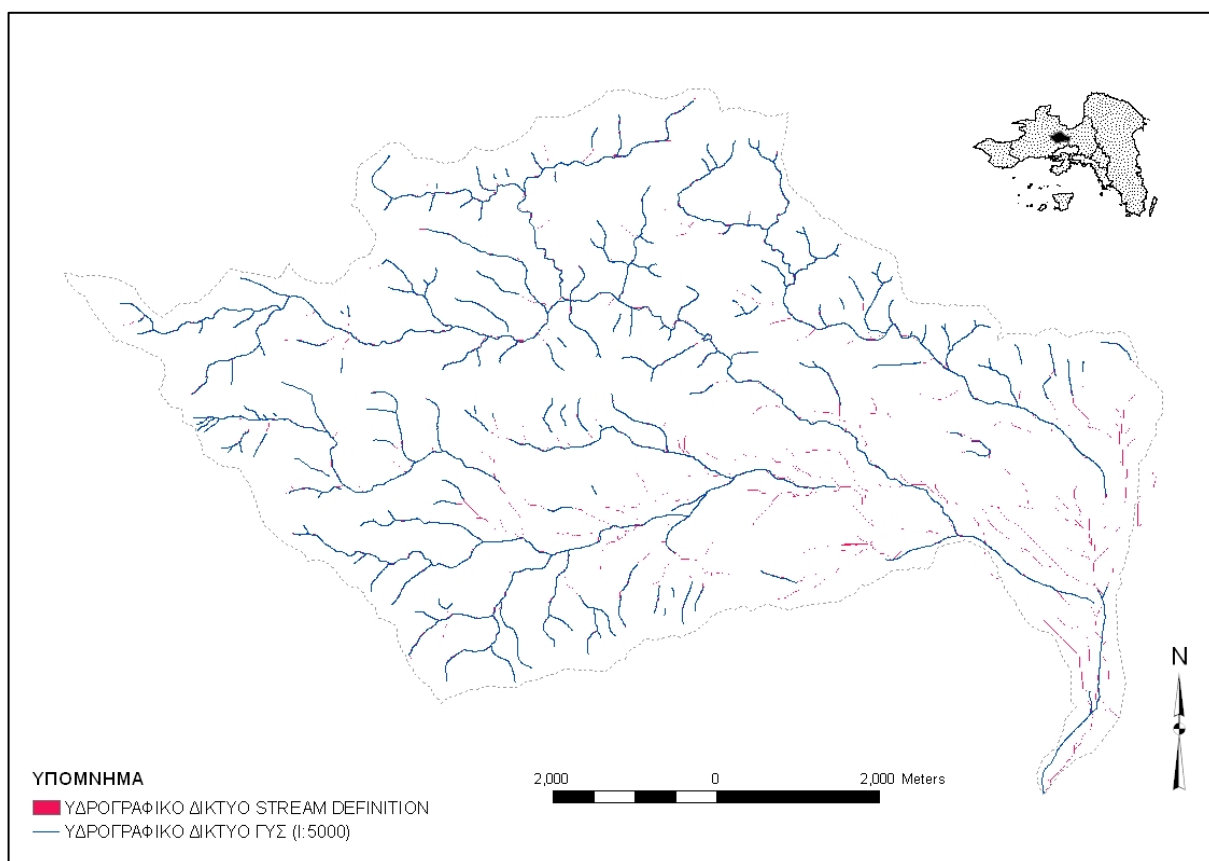
υπόλοιπα θα δοθεί η τιμή 0 δηλώνοντας αυτόματα την μη ύπαρξη δεδομένων (Εικ 5-8).

Το παραγόμενο πλέγμα είναι ενδιάμεσο προϊόν της διαδικασίας παραγωγής του πλέγματος των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου, στο οποίο οι τιμές των κελιών διαχωρίζουν τους κλάδους των ρευμάτων και σηματοδοτούν τις εξόδους αυτών. Σε κάθε κελί του εν λόγω πλέγματος το οποίο αφορά τον ίδιο κλάδο του δικτύου, καταχωρείται ένας κοινός αριθμός, ενώ το τελευταίο κελί κάθε κλάδου χαρακτηρίζεται ως κελί εξόδου που αποτελεί την σύνδεση με τον επόμενο κλάδο.

Η ακρίβεια επομένως στην προσέγγιση των διαδρομών των ρευμάτων εξαρτάται τόσο από την ακρίβεια υπολογισμού της συσσώρευσης ροής όσο και από την επιλογή του ορίου συσσώρευσης κατά την διαδικασία δημιουργίας του πλέγματος. Όσο μικρότερο είναι το κατώτατο όριο, τόσο πυκνότερο θα σχεδιάζεται το υδρογραφικό δίκτυο με αποτέλεσμα την τελική παραγωγή μεγάλου αριθμού λεκανών.

Ο υπολογισμός του πλέγματος πραγματοποιήθηκε με την χρήση του εργαλείου Stream Definition του μενού Terrain Preprocessing. Ο καθορισμός των ορίων γίνεται είτε με εισαγωγή αριθμού κελιών είτε σαν επιφάνεια αποστράγγισης. Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκε μετά από δοκιμές το όριο των 3125 φατνίων (ή 0,05 Km²), το οποίο προέκυψε από την σύγκριση του παραγόμενου πλέγματος με εκείνο που προκύπτει από την ψηφιοποίηση των χαρτών της ΓΥΣ.

απορροής. Ορίζοντας λοιπόν μία τιμή συσσώρευσης ροής ως όριο, πάνω από το οποίο γίνεται αποδεκτή η ύπαρξη ρέματος, έχουμε ένα πρώτο προσδιορισμό των διαδρομών των ρευμάτων. Η οπτικοποίηση της παραγόμενης πληροφορίας πραγματοποιείται με την απόδοση μίας τιμής (για παράδειγμα 1), σε όλα τα κελιά που καταλαμβάνουν περιοχές με συσσώρευση ροής άνω του ορίου. Για παράδειγμα, εάν θέσουμε ως όριο συσσώρευσης την τιμή 5 τότε όλα τα κελιά με συσσώρευση ροής πάνω από 5 θεωρούνται κελιά του ρέματος και θα τους αποδοθεί η τιμή 1, ενώ στα



Χάρτης 5-5: Συγκριτικός χάρτης παραγόμενου πλέγματος υδρογραφικού δικτύου με τη διαδικασία stream definition & υδρογραφικού δικτύου όπως προκύπτει από την ψηφιοποίηση χαρτών ΓΥΣ 1:5.000

5.3.2.5. Παραγωγή Υδρογραφικού δικτύου διανυσματικής μορφής

Η διαδικασία που προηγήθηκε και περιγράφηκε παραπάνω, παρήγαγε το τελικό πλέγμα ροής του υδρογραφικού δικτύου, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί με την σειρά του για την παραγωγή του υδρογραφικού δικτύου ανυσματικής μορφής.

Αρχικά πραγματοποιείται αναγνώριση των διαδρομών των ρευμάτων μέσα από το πλέγμα (GRID), οι οποίες και αποδίδονται διανυσματικά, ορίζοντας την είσοδο και την έξοδο αποστράγγισης του κάθε ρέματος. Με τον τρόπο αυτό ουσιαστικά πραγματοποιείται η χωρική περιγραφή του υδρογραφικού δικτύου με την δημιουργία γραμμικών συμβάντων (αντικειμένων), τα οποία αντιστοιχούν σε κλάδους του δικτύου. Τα γραμμικά αυτά τμήματα συνδέονται μεταξύ τους, δημιουργώντας κόμβους οι οποίοι ουσιαστικά συνδέουν την έξοδο ενός ή περισσότερων κλάδων με την είσοδο ενός μόνο κλάδου. Η πληροφορία που βρισκόταν αποθηκευμένη στα κελιά του πλέγματος, μεταφέρεται πλέον στο κάθε γραμμικό αντικείμενο, ως περιγραφική πληροφορία, που αφορά την τάξη κάθε κλάδου και την φορά ροής.

Στο στάδιο αυτό παραγωγής του υδρογραφικού δικτύου χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Drainage Line Processing του μενού Terrain Preprocessing. Η λειτουργία Drainage Line Processing μετατρέπει το εισαγόμενο πλέγμα σύνδεσης ρευμάτων

σε μια κατηγορία γραμμικής αποστράγγισης. Κάθε γραμμή σε αυτή τη κατηγορία γραμμικών χαρακτηριστικών, φέρει ένα προσδιοριστικό της λεκάνης συλλογής στην οποία ανήκει. Το παραγόμενο υδρογραφικό δίκτυο παρουσιάζεται στο χάρτη 5-6, όπου μπορεί να συγκριθεί με εκείνο που προκύπτει από την ψηφιοποίηση των διαγραμμάτων 1:5.000 της ΓΥΣ.

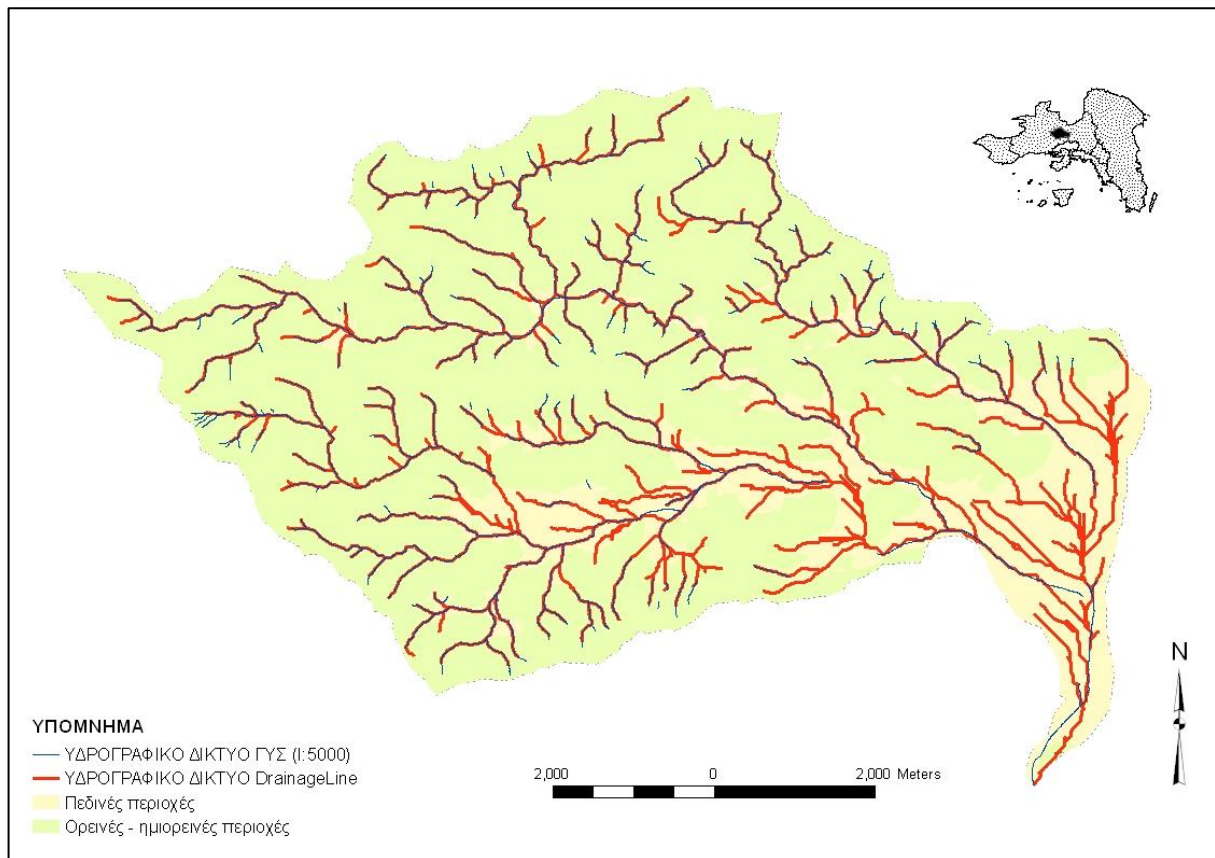
Το αποτέλεσμα της παραπάνω διαδικασίας κρίθηκε ικανοποιητικό, τόσο λόγω της σωστής αποτύπωσης των κλάδων των ρευμάτων στον χώρο, όσο και λόγω της ορθότητας των χαρακτηριστικών του δικτύου (πυκνότητα, συχνότητα, τάξη κλάδων), σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση στο πεδίο (όπως αυτή αποτυπώνεται στα τοπογραφικά διαγράμματα 1:5.000 της ΓΥΣ. Όπως προκύπτει από το χάρτη 5-6 στον οποίο συγκρίνεται το υδρογραφικό δίκτυο κατά ΓΥΣ και αυτό που προκύπτει από την διαδικασία του Drainage Line Processing, οι κύριοι και οι δευτερεύοντες κλάδοι σε ορεινές και ημιορεινές περιοχές, είναι σχεδόν πιστά αντίγραφα. Αυτό οφείλεται αφενός μεν στην ακρίβεια του αρχικού ΨΜΕ (μέγεθος κελιού = 4 & 2 μέτρα) όσο και στη σωστή επιλογή των ορίων του stream definition (βλ. 5.3.2.4).

Στις ορεινές και ημιορεινές περιοχές παρατηρείται, ότι η διαδικασία μέσω drainage line processing, επιτρέπει την συνέχεια των κλάδων και την τομή τους με άλλον σε χαμηλότερο υψόμετρο. Όπου δεν συμβαίνει το ίδιο για το υδρογραφικό δίκτυο κατά ΓΥΣ (ασυνέχεια των κλάδων), οφείλεται καθαρά σε δύο υδρογεωλογικούς παράγοντες: α) στο καρστικοποιημένο υπόβαθρο της λεκάνης, που δεν επιτρέπει την προς τα κατάντη ροή & β) στην τροφοδοσία των τεταρτογενών σχηματισμών, που συνεπάγεται φτωχή ως ελλιπή ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου (βλ 2.5 περί υδρολογικής συμπεριφορά των γεωλογικών σχηματισμών που απαρτίζουν το υπόβαθρο της λεκάνης απορροής).

Στις πεδινές περιοχές (με χαμηλές κλίσεις πρηνών) παρατηρείται υπερανάπτυξη του υδρογραφικού δικτύου με τη διαδικασία drainage line processing. Αυτό συμβαίνει διότι η μορφολογία των περιοχών αυτών, δεν μπορεί να αποδοθεί σωστά σε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Επιπλέον, ισχύει πάλι η υδρολογική συμπεριφορά των ημιπερατών τεταρτογενών σχηματισμών (βλ. Υποκεφάλαιο 2.5.), που λόγω της φύσης τους δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη υδρογραφικού δικτύου στην πραγματικότητα.

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής του αλγόριθμου στην περιοχή αυτή, είναι η ένωση των κλάδων με τους κατάντη κλάδους των υδρολογικών συστημάτων, αλλά και η δημιουργία επιπλέον κλάδων που στην πραγματικότητα δεν υφίσταται. Αυτό όμως δεν αποτελεί πρόβλημα, διότι κατά τη διάρκεια μιας πλημμύρας το πλεονάζων νερό θα φθάσει στο στόμιο της λεκάνης, αφού πρώτα την διατρέξει είτε με γραμμική ροή (η οποία θα δημιουργηθεί τη χρονική στιγμή της πλημμύρας), είτε με διάχυτη. Οπότε για ένα μοντέλο υδρογραφικού δικτύου που έχει προκύψει από χάρτες 1:5.000 και με μέγεθος φατνίου 4 μέτρα, μπορούμε να θεωρήσουμε, ότι κατά τις πλημμυρικές καταστάσεις στις πεδινές περιοχές, το πλεονάζων νερό ρέει κατά μήκος του «υπερανπτυγμένου» υδρογραφικού δικτύου που γεννά το

drainage line processing. Την ίδια θεώρηση φυσικά δεν μπορούμε να κάνουμε, όταν τα υδρολογικά συστήματα είναι ανοικτά, άλλα υδρογεωλογικώς είναι κλειστά (περίπτωση αποστράγγισης πολγών μέσω καταβοθρών).



Χάρτης 5-6: Συγκριτικός χάρτης παραγόμενου υδρογραφικού δικτύου με τη διαδικασία drainage line processing & υδρογραφικού δικτύου όπως προκύπτει από την ψηφιοποίηση χαρτών ΓΥΣ 1:5.000. Διακρίνεται η ταύτιση των 2 συγκρινόμενων δικτύων στις ορεινές – ημιορεινές περιοχές και η υπερανάπτυξη του δικτύου κατά drainage line processing στις πεδινές.

Έτσι ο ορθός υπολογισμός των μορφομετρικών δεικτών των λεκανών εν όψει της ανάπτυξης των μεθοδολογιών είναι πλέον εφικτός.

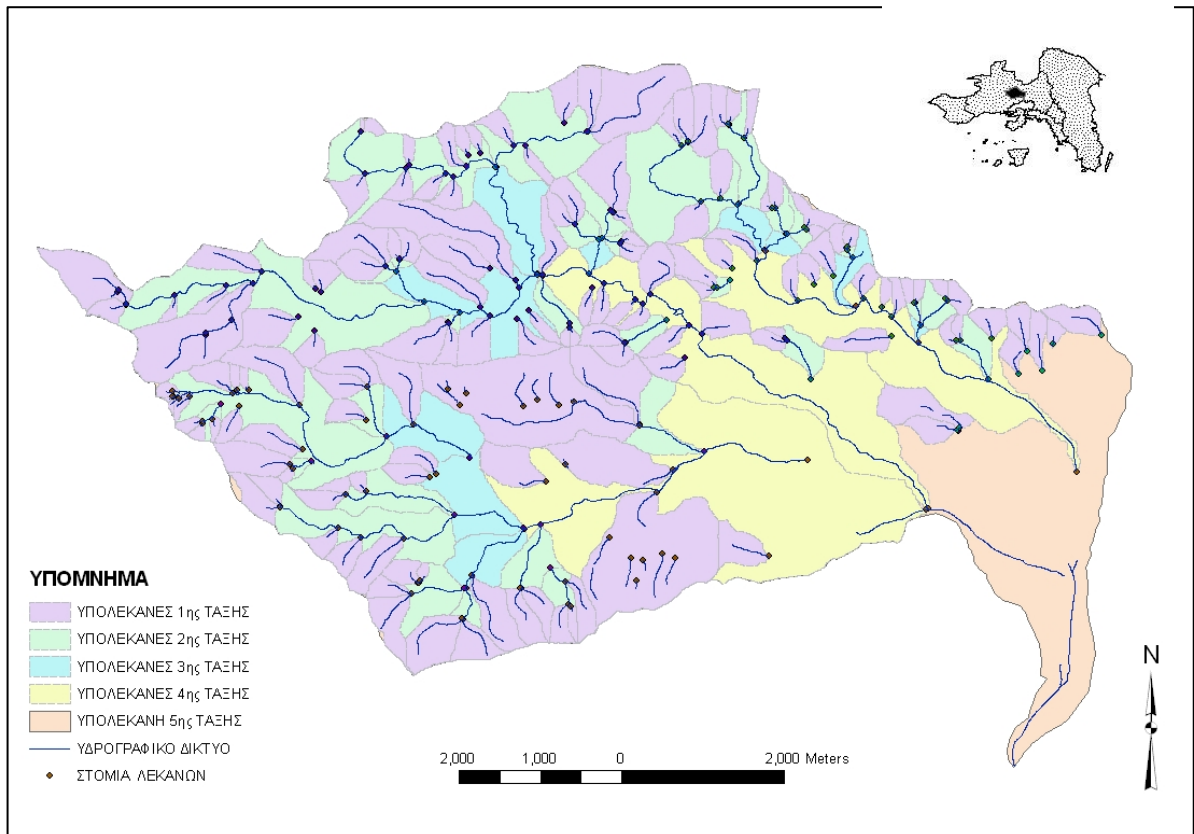
5.3.3. Παραγωγή Υδρολογικών Λεκανών - Υπολογισμοί υδρολογικών παραμέτρων υπολεκανών

Επόμενο στάδιο των ακολουθούμενων διαδικασιών, είναι η διανυσματική απεικόνιση των υδρολογικών υπολεκανών απορροής κάθε ενδιαφερόμενου κλάδου, με την μορφή πολυγωνικών οντοτήτων από τους υδροκρίτες μέχρι το στόμιο αυτών. Η προσομοίωση των υπολεκανών απορροής της περιοχής μελέτης πραγματοποιείται με την χρήση του ΨΜΕ και των παραγόμενων από αυτό πλεγμάτων που δημιουργήθηκαν στα προηγούμενα υποκεφάλαια. Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά οι εργασίες που πραγματοποιήθηκαν, προκειμένου να παραχθεί ένα διανυσματικό αρχείο που να αναπαριστά όσο το δυνατό καλύτερα τις επιφάνειες απορροής των υδρολογικών υπολεκανών που απαρτίζουν το χείμαρρο Σούρες. Οι διαδικασίες παραγωγής βασίσθηκαν εξολοκλήρου στην χρήση εξειδικευμένων

εργαλείων, και συγκεκριμένα της εργαλειοθήκης Arc Hydro Tools, σε συνεργασία με το λογισμικό ArcGIS 9.1.

5.3.3.1. Χωρική απόδοση των λεκανών απορροής

Στα πλαίσια των εργασιών παραγωγής του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής μελέτης παράχθηκαν αρχεία πλέγματος (είτε τα τελικά, είτε τα ενδιάμεσα



Χάρτης 5-7: Η υδρολογική λεκάνη του χειμάρρου Σούρες επιμερισμένη σε υπολεκάνες ανάλογα με τη τάξη των κλάδων.

παραγόμενα πλέγματα), τα οποία φέρουν πληροφορία ικανή για τον προσδιορισμό των λεκανών απορροής. Με την χρήση του ΨΜΕ και των παράγωγων αυτού, πραγματοποιήθηκε αυτόματος προσδιορισμός των υδροκρίτων και των στομιών των υδρολογικών λεκανών, στοιχεία που εξαρτώνται εξολοκλήρου από την μορφολογία του αναγλύφου. Ο υδροκρίτης των λεκανών σχηματίζεται με την ένωση των ψηλότερων σημείων των επιφανειών αποστράγγισης των ρευμάτων, ενώ το στόμιο των λεκανών αντιστοιχεί στο κατώτερο σημείο της λεκάνης. Η χάραξη του υδροκρίτη απαιτεί προσεκτική παρατήρηση της μορφολογίας και του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής. Στην περίπτωση παραγωγής του υδροκρίτη από το ΨΜΕ της περιοχής, η ακρίβεια σχεδίασης του εξαρτάται άμεσα από την ανάλυση του μοντέλου.

Για την παραγωγή των λεκανών απορροής χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Point Delineation της εργαλειοθήκης του Arc Hydro. Η λειτουργία του εργαλείου Point Delineation, απαιτεί τον χωρικό προσδιορισμό των στομιών των λεκανών ως ση-

μειακά συμβάντα από όπου ενεργοποιείται ο αυτόματος προσδιορισμός του υδροκρίτη των λεκανών, με τον συνυπολογισμό των δεδομένων διεύθυνσης ροής και κλάδων ροής. Η παραπάνω διαδικασία εφαρμόστηκε για τον υπολογισμό όλων των λεκανών από 1^{ης} έως 5^{ης} τάξης της λεκάνης απορροής.

Στις περιπτώσεις στις οποίες τόσο τα στόμια των λεκανών (σημειακά θεματικά αρχεία), όσο και η θέση των υδροκρίτων και κλάδων (διανυσματικά θεματικά αρχεία), εάν δεν συμφωνούσαν μεταξύ των παραγόμενων από τη διαδικασία Point Delineation και των ορθών (όπως προκύπτουν από τα διαγράμματα 1:5.000), έγινε διόρθωση με το εργαλείο editor.

Από την διεξαγωγή των παραπάνω εργασιών προέκυψαν αρχεία λεκανών πρώτης τάξης (171 λεκάνες), δεύτερης τάξης (33 λεκάνες), τρίτης τάξης (10 λεκάνες), τέταρτης τάξης (5 λεκάνες), πέμπτης τάξης (λεκάνη Σούρες).

5.3.3.2. Υπολογισμός παραμέτρων

Η παραπάνω διαδικασία παρήγαγε την γεωμετρική απεικόνιση των υδρολογικών λεκανών στον χώρο, χωρίς όμως να αποδίδει σε αυτές τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά τους. Ο υπολογισμός των στοιχείων αυτών είναι το επόμενο στάδιο των εργασιών, στα πλαίσια του οποίου συμπληρώνονται και ολοκληρώνονται οι οντότητες των λεκανών απορροής. Τα μεγέθη που υπολογίσθηκαν αφορούσαν το εμβαδόν, το μέσο υψόμετρο, η μέση κλίση, το ολικό ανάγλυφο των υπολεκανών. Εκτός των παραπάνω υπολογίσθηκε το σύνολο των κλάδων ανά τάξη και το μήκος των κλάδων ανά τάξη των υδρολογικών λεκανών (βλ. Κεφ.2).

Η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών διευκόλυναν αρκετά τον υπολογισμό των παραπάνω παραμέτρων λόγω της ικανότητάς τους να εκτελούν χωρικές πράξεις μεταξύ διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας. Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Compute Local Parameters του μενού εργαλείων Attribute Tools του ArcHydro, που αυτοματοποίησαν σε μεγάλο βαθμό τις εργασίες.

5.4. Βιβλιογραφία

Band, L.E., (1986), Topographic partition of watersheds with digital elevation models, Water Resources Research 22, 15-24.

Haneberg, William C., Haneberg Geoscience, Effects of Digital elevation Model errors on slope angle, static factor of safety, and newmark acceleration uncertainty in GIS-style landslide hazard modeling.

Jenson S.K., Domingue J.O., (1988), Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information systems analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54, 1593-1600.

Jenson S.K., Trautwein C.M., (1987), Methods and applications in surface depression analysis. Proceeding of 8th International Symposium on Computer-Assisted Cartography - AutoCarto, Baltimore, Maryland, 137-144.

Jonev R., (2002), Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples. Computers & Geosciences 28, 105-1060.

Kilgore J.L., (1997). Development and evaluation of a GIS-based spatially distributed unit hydrograph model. MS thesis, Biological Systems Engineering Dept., Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg

Lawler, D.M., (1995), The impact of scale on the processes of channel-side sediment supply: a conceptual model. In: Osterkamp, W.R. (Ed.), Effects of Scale on Interpretation and Management of Sediment and Water Quality. International Association of Hydrological Sciences Publication No. 226. IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK, pp. 175-184.

Mark, D.M., (1984), Automated detection of drainage networks from digital elevation models, Cartographica 21, 168-178.

Martz L.W., DeJong E., (1988), Catch: A Fortran program for measuring catchments area from digital elevation models. Computers & Geosciences 14, 627-640.

Montgomery, D., (2003). Modeling large-scale fluvial erosion in geographic information systems. Geomorphology, 53, 147-164

Montgomery, D.R., Buffington, J.M., (1997), Channel-reach morphology in mountain drainage basins. Geological Society of America Bulletin 109, 596-611.

Saunders WK, (1999), Preparations of DEMs for use in environment modeling analysis, ESRI User Conference, San Diego, CA. Schauble, H., (1998), Bewertung des Bodenerosionspotentials einer Muschelkalklandschaft mittels GIS, Diploma at the university of Tübingen, Institute of Geography, Germany. Sherman, L.K., (1932): Stream flow from rainfall by unit-graph method. Engineering news-record 108, vol. 14, 501-506.

Water Framework Directive (WFD) (2002), Common Implementation Strategy Guidance Document on Implementing the GIS Elements of the WFD

Li Z. and Zhang J., 2001. Calculation of Field Manning's Roughness Coefficient, Agricultural Water Management 49: 153-161

Marathon Data Systems, 2002. Training manual ArcGIS, ESRI

ArcGIS Desktop Help. ESRI ArcGIS Desktop 9.2, Copyright 1999 – 2000

6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΧΕΙΜΑΡΡΩΝ ΣΕ ΚΙΝΗΤΙΚΗ (ΜΕΘΟΔΟΣ STREAM POWER - SP)

6.1. Εισαγωγή

Η αποτελεσματική διαχείριση των ποτάμιων συστημάτων απαιτεί αποδοτικά μέσα και στοιχεία, συμπεριλαμβανομένων της ανάλυσης Stream Power και άλλων υδραυλικών ιδιοτήτων. Η συμπεριφορά και η μορφή των συστημάτων αυτών ποικίλουν από θέση σε θέση, λόγω πολυάριθμων παραγόντων. Η κλίση της κοίτης ο αριθμός των κλάδων που αποφορτίζονται στο κυρίως κανάλι, ο χαρακτήρας και η προέλευση των ιζημάτων, η βλάστηση, η πλημμυρική ιστορία, η ανθρώπινη δραστηριότητα, είναι παράγοντες που ελέγχουν και διαμορφώνουν σε ορισμένο βαθμό το ποτάμι (ή χείμαρρο). Ο Bagnold (1966) υιοθέτησε την ανάλυση Stream Power, σαν θεωρητική βάση για την αξιολόγηση της μεταφοράς των ιζημάτων κατά μήκος της κοίτης. Από τότε έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως για να γίνει κατανοητή η μορφή και η συμπεριφορά των καναλιών, καθώς επίσης η δυναμική των μαιάνδρων (Ferguson 1981) και οι αλλαγές που προκαλούνται ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης παρέμβασης στις λεκάνες κατάκλισης (Brooke 1988). Η μεθοδολογία Stream Power έχει χρησιμοποιηθεί επίσης σαν παράγοντας για να σκιαγραφήσει διαδικασίες διαμόρφωσης κοιτών ποταμών, ειδικότερα όταν πρόκειται για διακλαδώσεις κοίτης (Van den Berg 1995). Stream Power είναι η διαθέσιμη ενέργεια για τη μεταφορά ιζημάτων κατά μήκος ενός ποτάμιου συστήματος. Η αρχική δυναμική ενέργεια του νερού σε ένα ποτάμι μετατρέπεται, εξαιτίας της διαφοράς υψομέτρου σε κινητική. Το μεγαλύτερο ποσοστό αυτής της κινητικής ενέργειας καταναλώνεται στις τριβές που συναντά το νερό, κατά την ροή του στην κοίτη του ποταμού. Παρόλα αυτά, το υπολειπόμενο ποσοστό της κινητικής ενέργειας μπορεί να διαβρώσει την κοίτη του ποταμού και να μεταφέρει ίζημα.

Έτσι, δόκιμα ο McEwen (1994) όρισε ως 'Stream Power' το ρυθμό κατανάλωσης της ενέργειας που είναι διαθέσιμη για την υπερκέρραση των τριβών και την μεταφορά ιζήματος σε δοθέν σημείο του ποτάμιου συστήματος.

Μια άλλη προσέγγιση, με την οποία οι μορφολογικές αλλαγές της κοίτης από τα ανάντη στα κατόντη επηρεάζουν τα ποτάμια συστήματα, δόθηκε από τον Knighton (1999). Ο Knighton μοντελοποίησε τις αλλαγές αυτές κατά μήκος της κοίτης. Η μοντελοποίηση αφορούσε το ολικό δυναμικό του χείμαρρου, κατά μήκος του επιμήκους προφίλ του ποταμού Trent στο Ηνωμένο Βασίλειο. Βασίστηκε δε, πάνω σε παλαιότερες μοντελοποιήσεις της δυναμικής των ρεμάτων, που είχαν αναπτύξει οι Nanson και Hean (1985), Magillikan (1992), Lawler (1992, 1995) και Leece (1997). Οι προηγούμενοι, βασίστηκαν σε σημειακές παρατηρήσεις για να τυποποιήσουν τις τάσεις στα επιμήκη προφίλ, μετρώντας την κλίση της κοίτης σε διαστήματα 0,5 έως 1km (από τοπογραφικούς χάρτες), προκειμένου να κατασκευάσουν όσο το δυνατόν ακριβέστερο χάρτη κλίσεων κατά μήκος των 280km του ποταμού Trent. Για να καθοριστεί η μέση ετήσια απορροή στην κοίτη του πο-

ταμού Trent χρησιμοποιήθηκε μία πολύ καλώς ορισμένη σχέση μεταξύ της παροχής και του μεγέθους της έκτασης (link Magnitude), (μία μέτρηση σχετική με την τάξη του ποταμού), η οποία αν συνδυαστεί με τα δεδομένα των κλίσεων τελικά είναι δυνατόν να υπολογιστεί η ολική δυναμική του ποταμού (ή του χειμάρρου). Το ζητούμενο όμως από τον Knighton, ήταν να μοντελοποιηθεί αυτή η μεταβολή της κλίσης, κατά μήκος της κοίτης από τα ανάντη στα κατόντη.

Σήμερα με την αυξανόμενη διαθεσιμότητα των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και των Ψηφιακών Μοντέλων Αναγλύφων (DEMs), το πρόβλημα της μοντελοποίησης έχει ξεπεραστεί και είμαστε σε θέση να υπολογίσουμε το δείκτη Stream Power σε οποιοδήποτε σημείο της κοίτης. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα εργαλεία αυτά, δεν μπορούν να αντικαταστήσουν την εργασία υπαίθρου. Η παραδοσιακή μέθοδος της συλλογής δεδομένων στο ύπαιθρο, δηλαδή μετρήσεις παροχών και κλίσεων κοίτης, είναι περιορισμένη και αφορούν περιβάλλοντα με σταθερή ροή και όχι χειμάρρους με περιοδική. Εκτός των άλλων είναι και οικονομικά ασύμφορη. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μπορούν αφενός μεν να καλύψουν το κενό αυτό, αφετέρου να βελτιώσουν και να αυξήσουν την ποσότητα και την ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων για την ανάλυση των ποτάμιων (ή των χειμαρρωδών) συστημάτων. Ελλείπει μάλιστα μετρήσεων στην περίπτωση των παροχών των χειμάρρων, η μελέτη μέσα από τη χωρική ανάλυση του υδρογραφικού τους δικτύου είναι επιτακτική.

Ο μόνος περιορισμός στη χωρική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου είναι το θέμα της κλίμακας. Τα παραχθέντα ψηφιακά μοντέλα αναγλύφου από δορυφορικές εικόνες LiDAR (Light Detection And Ranging or Laser Radar) μπορούν να έχουν ανάλυση έως 1 m^2 . Σε προηγούμενες αναλύσεις αναγλύφου χρησιμοποιήθηκαν αναλύσεις της τάξεως των 25 m^2 έως 1 Km^2 ή και μεγαλύτερης προκειμένου να μοντελοποιηθούν διάφορες παράμετροι συμπεριλαμβανομένων του υψομέτρων των κλίσεων και του δείκτη Stream Power (Rienschfeld et al. 1999, Finlayson et al. 2002, Finlayson & Montgomery 2003). Ενώ η διακριτική ικανότητα δημιουργεί αποτελέσματα ιδιαίτερης βαρύτητας για μεγάλης κλίμακας εκτάσεις, οι Finlayson & Montgomery (2003) διαπίστωσαν, ότι το μέγεθος του κανάβου (grid size) έχει επίδραση στα αποτελέσματα που παράγονται. Οι κλίσεις τείνουν να μειωθούν καθώς αυξάνεται το μέγεθος του πλέγματος, οι λεκάνες απορροής τείνουν να αυξάνονται, ενώ ταυτόχρονα μειώνεται σημαντικά το πραγματικό μήκος του ποταμού. Αυτό σημαίνει ότι μειώνονται τα σημεία δειγματοληψίας με τη μειωμένη διακριτική ικανότητα και κατά συνέπεια επιπτώσεις στην στατιστική απόκλιση των μεταβλητών. Το προηγούμενο με τη σειρά του μεταφράζεται σε σφάλμα στην εκτίμηση του μεγέθους των τιμών Stream Power κατά μήκος του ποταμού.

Τα μεγέθη των εικονοστοιχείων διαστάσεων 1 m^2 από τις δορυφορικές εικόνες LiDAR επιτρέπουν τη λεπτομερή απεικόνιση των διατομών αλλά και των κλίσεων των καναλιών και κατ' επέκταση τη σωστή εκτίμηση του δείκτη Stream Power.

Στην παρούσα εργασία μπορεί να μην έχουν χρησιμοποιηθεί δορυφορικές εικόνες LiDAR, ωστόσο οι ψηφιοποιημένες ισοϋψείς σε κλίμακα 1:5000, των ο-

ποίων η ισοδιάσταση στα πεδινά είναι της τάξεως των 2 μέτρων, έχουν επιτρέψει τη δημιουργία λεπτομερούς Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου καθώς και κανναβικό θεματικό αρχείο (grid) της λεκάνης απορροής διαστάσεων 16 m² (4m x 4m grid size).

Τέλος η εφαρμογή του δείκτη Stream Power, έχει σαν στόχο την παραγωγή θεματικού χάρτη, στον οποίο θα υποδεικνύονται οι θέσεις με τη μεγαλύτερη ενέργεια και στερεοπαροχή κατά μήκος της κοίτης. Ο χάρτης αυτός σε συνδυασμό με άλλους θεματικούς χάρτες (π.χ. χρήσεων γης ή πολυπαραγοντικής ανάλυσης λεκάνης), θα παράξει έναν τελικό χάρτη πλημμυρικής επικινδυνότητας άμεσο προς χρήση.

6.2. Τρόποι υπολογισμού των παραμέτρων της μεθόδου.

Όπως περιγράφηκε παραπάνω ως Stream Power, ορίζεται ο ρυθμός κατανάλωσης της δυναμικής ενέργειας ανά μονάδα μήκους ποταμού και υπολογίζεται από το γινόμενο της πυκνότητας του νερού επί της επιτάχυνσης της βαρύτητας οπότε προκύπτει το ειδικό βάρος του νερού και στη συνέχεια επί της παροχής και της ενεργού κλίσης στο σημείο ενδιαφέροντος:

$$\Omega = \gamma \times Q \times s . \quad (6.1)$$

Όπου:

Ω = Stream Power στο σημείο ενδιαφέροντος

γ = το ειδικό βάρος του νερού (9810 N/m³)

Q = η παροχή στο σημείο ενδιαφέροντος

s = η ενεργός κλίση στο εν λόγω σημείο

Στην περιοχή μελέτης η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε στους χείμαρρους που απαρτίζουν το υδρογραφικό δίκτυο του Σούρες: α) στο ομώνυμο χείμαρρο, β) στο χείμαρρο της Αγίας Αικατερίνης γ) στο χείμαρρο του Μικρού Κατερινιού και αυτό διότι και οι τρεις χείμαρροι έχουν βεβαρημένο πλημμυρικό ιστορικό, αφού διασχίζουν εκτάσεις βιομηχανικής ή οικιστικής χρήσης.

Προκειμένου να εφαρμοστεί η εξίσωση 6.1, ακολουθήθηκε η παρακάτω διαδικασία.

6.2.1. Υπολογισμός ενεργούς κλίσης.

Για τον υπολογισμό της ενεργούς κλίσης χρησιμοποιήθηκε έμμεσα το περιβάλλον GIS. Με τη βοήθεια των ψηφιοποιημένων ισοϋψών, του υδρογραφικού δικτύου και του εργαλείου Easy Profiler, προέκυψαν οι αποστάσεις μεταξύ διαδοχικών ισοϋψών. Κατόπιν με πρόγραμμα excel υπολογίστηκε η κλίση και η μεταβολή αυτής μεταξύ δύο διαδοχικών ισοϋψών (ενεργή κλίση).

6.2.2. Υπολογισμός των παροχών.

Οι παροχές σε κάθε σημείο υπολογισμού της ενεργής κλίσης προκύπτουν από το πηλίκο του συνολικού όγκου που απορρέει στο σημείο προς τον χρόνο απορροής (εξίσωση 6.2). Ο όγκος του νερού που μπορεί να απορρεύσει, προκύπτει από το ύψος της ενεργού βροχόπτωσης επί την επιφάνεια της ανάντη, απορρεύσιμης στο σημείο αυτό, υπολεκάνης.

$$Q_i = \frac{V_i}{t_{ci}} = \frac{A_i \times h_{ενεργό}}{t_c} \quad (6.2)$$

Όπου:

Q_i = Παροχή στο σημείο ενδιαφέροντος (-φατνίο) i

V_i = Όγκος απορροής (m^3)

t_{ci} = Χρόνος συρροής υπολεκάνης i

$h_{ενεργό}$ = Ύψος ενεργού βροχόπτωσης (m)

A_i = Επιφάνεια υπολεκάνης i (m^2)

Στην πράξη δηλαδή, κάθε σημείο στο οποίο υπολογίζεται η ενεργός κλίση αντιμετωπίζεται σαν στόμιο υπολεκάνης, της οποίας τα ζητούμενα είναι η επιφάνεια συγκεντρωτικής ροής και ο χρόνο συγκέντρωσης. Η ανάντη αυτή επιφάνεια προκύπτει από το χάρτη συσσώρευσης της απορροής ή από το εργαλείο Batch Watershed Delineation του Arc Hydro, ενώ ο προσδιορισμός του χρόνου συρροής t_{ci} προκύπτει από διάφορες εμπειρικές σχέσεις. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ο τύπος του Kirpich

$$t_{ci} = 0,02 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (6.3)$$

Όπου:

L = το μέγιστο μήκος διαδρομής του νερού στη λεκάνη από το πιο απομακρυσμένο σημείο έως την έξοδο (σε m)

S = η μέση κλίση κατά μήκος του μήκους διαδρομής της διαδρομής L . Προκύπτει δε από το λόγο H/L , με H την υψομετρική διαφορά ανάμεσα στο πιο απομακρυσμένο υδρολογικό σημείο της υπολεκάνης και στομίου της (σε m/m)

Είναι γνωστό, ότι το κλάσμα επί του συνολικού ύψους βροχής, το οποίο τελικά απορρέει μετά τις απώλειες (ενεργός βροχόπτωση), εκτιμάται κυρίως με δύο μεθόδους: την μέθοδο του δείκτη Φ και την μέθοδο του SCS (Soil Conservation Service). Για το λόγο ότι δεν δόθηκαν από την ΕΜΥ αναλυτικά βροχομετρικά δεδομέ-

να, ήτοι τμηματικά ύψη βροχής ανά ώρα ή άλλου χρονικού διαστήματος παρά μόνο το αθροιστικό ύψος (βλ. Κεφ3), δεν ήταν δυνατή καμία εφαρμογή από τις προαναφερθέντες μεθόδους. Γι αυτό το λόγο εκτιμήθηκε στην παρούσα εργασία, το 60% του αθροιστικού ύψους. Ο υπολογισμός της αφορούσε το ακραίο φαινόμενο των 114ων mm της πρώτης φάσης του πλημμυρικού φαινομένου της 27ης Ιανουαρίου 1996 για χρονικό διάστημα 12ωρης συνεχόμενης βροχόπτωσης (20:05 της 26/01/96 – 07:40 της 27/01/96). Έτσι στους υπολογισμούς της 6.2 εξίσωσης λαμβάνεται σαν

$$h_{ενεργό} = 0.6 \times 114 = 68,4\text{mm}$$

Όπως έχει ήδη λεχθεί στο Κεφ 3, το συνολικό ύψος βροχόπτωσης του ακραίου φαινομένου της 27ης Ιαν 1996 (24ωρης αποτίμησης) ήταν 173mm, εφόσον μετά τη λήξη του πρώτου 12ωρου με 114mm, ακολούθησε βροχόπτωση 4ωρης διάρκειας της τάξεως των 59 mm. Η τελευταία βροχόπτωση ήταν εξίσου καταστρεπτική, για το λόγο ότι το περιβάλλον της λεκάνης (ατμόσφαιρα και λιθόσφαιρα) ήταν ήδη κορεσμένο. Η περίοδος επαναφοράς των 173mm είναι της τάξεως των 300 ετών, σύμφωνα με την ανάλυση συχνότητας που πραγματοποιήθηκε για τα βροχομετρικά δεδομένα του Ελευσίνας.

6.3. Εφαρμογή της μεθόδου και αποτελέσματα

Το προϊόν από την εφαρμογή της μεθόδου είναι ένα διάγραμμα με 2 τεταγμένες, που απεικονίζουν αφενός τις τιμές υψομέτρου, αφετέρου τις τιμές Stream Power και τη τετμημένη που απεικονίζει το μήκος του χείμαρρου (από τα ανάντη στα κατόντη), όπου εφαρμόστηκε ο δείκτης ενέργειας (Stream Power) χείμαρρου. Δηλαδή στο ίδιο διάγραμμα έχουμε μια εικόνα της μεταβολής του δείκτη Stream Power κατά μήκος της κοίτης με φόντο την τοπογραφική της τομή. Στη συνέχεια εντοπίζονται τα σημεία τα οποία σχηματίζουν ricks, εκεί όπου η κλίση της καμπύλης απεικόνισης αυξάνεται και γίνεται παρακατακόρυφη, ενώ στη συνέχεια εντοπίζονται τα σημεία αυτά στο χάρτη προκειμένου να γίνει ποιοτική ανάλυση του σημειακού αποτελέσματος με βάση χωρικά δεδομένα (γεωλογικός, τοπογραφικός χάρτη, χρήσεων γης κλπ) .

Για να γίνει πιο εμφανές και ουσιαστικό το αποτέλεσμα της μεθόδου, σε κάθε θέση υπολογίστηκε η μεταβολή της τιμής Stream Power από την προηγούμενη της και με φορά υπολογισμών από τα ανάντη στα κατόντη. Δηλαδή πόσες φορές μεγαλύτερη είναι η τιμή Stream Power σε μια θέση από την προηγούμενη της και το σημαντικότερο σε πόσα μέτρα επί της κοίτης υφίσταται η μεταβολή αυτή. Αυτός ο συνδυασμός είναι που αντιστοιχεί στις παρακατακόρυφες απεικονίσεις της διαγραμματικής καμπύλης απ' όπου και προκύπτουν οι θέσεις επικινδυνότητας.

6.3.1. Εφαρμογή Stream Power στο χείμαρρο Σούρες.

Στο διάγραμμα της επόμενης σελίδας απεικονίζεται αφενός μεν, η μεταβολή της τιμής Stream Power κατά μήκος τμήματος του χείμαρροτος Σούρες, αφετέρου η

τοπογραφική του τομή, από το οποίο προκύπτουν 8 σημεία απότομης αύξησης της ενέργειας χειμάρρου. Ακολουθεί ο σχετικός χάρτης όπου αποτυπώνονται τα σημεία αυτά.

Γενικά η κοίλη μορφή της τοπογραφικής τομής του χειμάρρου, υποδηλώνει την ήπια γεωμορφολογία της κοίτης, χωρίς έντονες μορφολογικές ασυνέχειες. Χαρακτηριστικό είναι η δυσκολία διαχωρισμού του τμήματος του χειμάρρου που διατρέχει ημιορεινές έως ορεινές περιοχές με βραχώδες (ασβεστολιθικό) υπόβαθρο, από εκείνο με τις αλλουβιακές αποθέσεις που χαρακτηρίζουν πεδινές περιοχές (στη περίπτωση μας το Δυτικό περιθώριο του Θριασίου Πεδίου). Υπό άλλες συνθήκες το τμήμα του χειμάρρου που διατρέχει πεδινές περιοχές θα είχε μικρότερη κλίση από εκείνο με ημιορεινές ή ορεινές περιοχές.

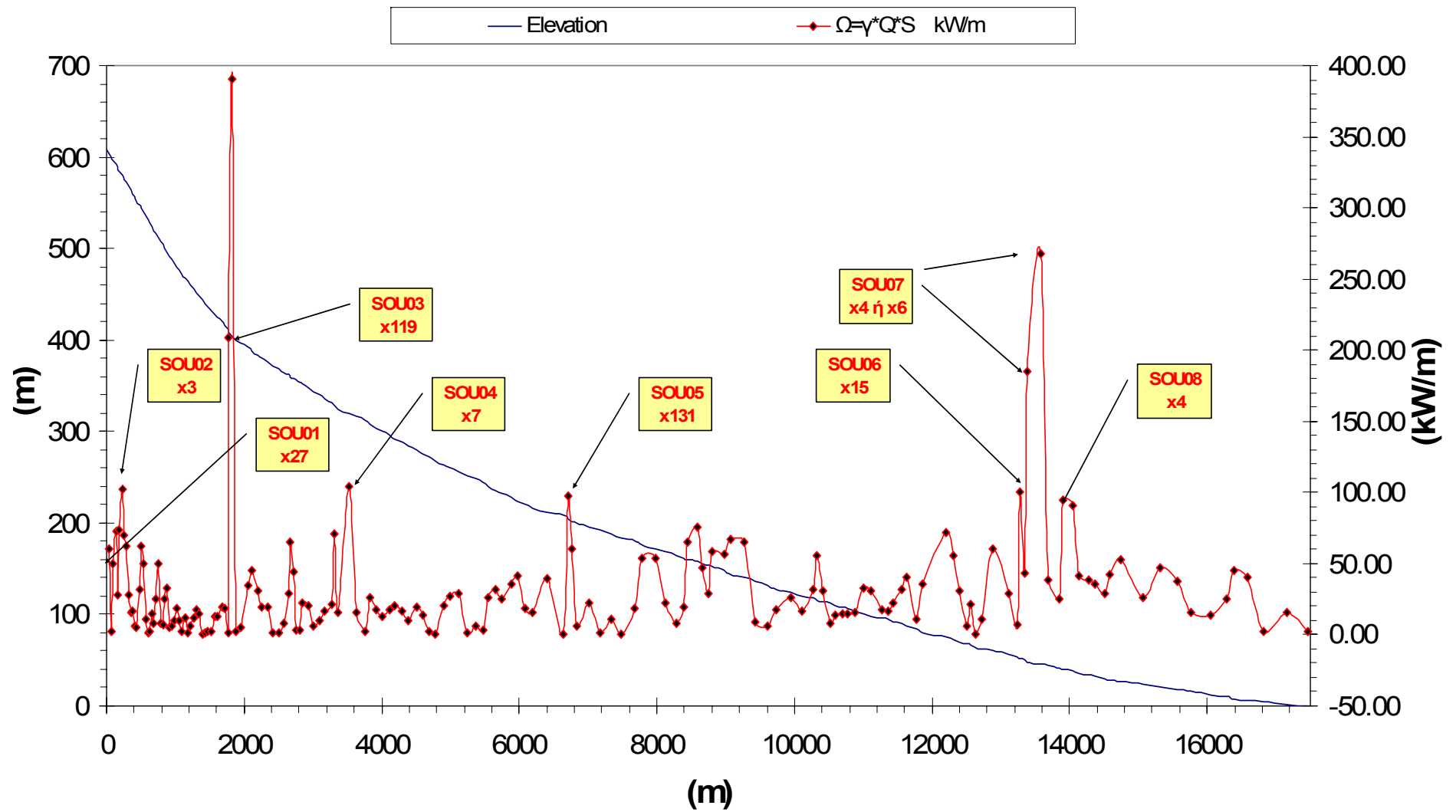
Ωστόσο υπάρχουν 8 σημεία στα οποία η κλίση της κοίτης του Σούρες και κατ' επέκταση η ενεργός κλίση μεταβάλλεται όχι βαθμιαία αλλά απότομα, οπότε και προκύπτουν οι ζητούμενες θέσεις υπέρβασης της τιμής Stream Power. Επιπροσθέτως σε μερικά απ' αυτά αυξάνεται και το υδραυλικό φορτίο λόγω μεγαλύτερης επιφάνειας αποστράγγισης είτε με γραμμική ροή (είσοδος γειτονικού κλάδου) είτε με διάχυτη ροή.

Στη συνέχεια ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των εν λόγω θέσεων υπέρβασης.

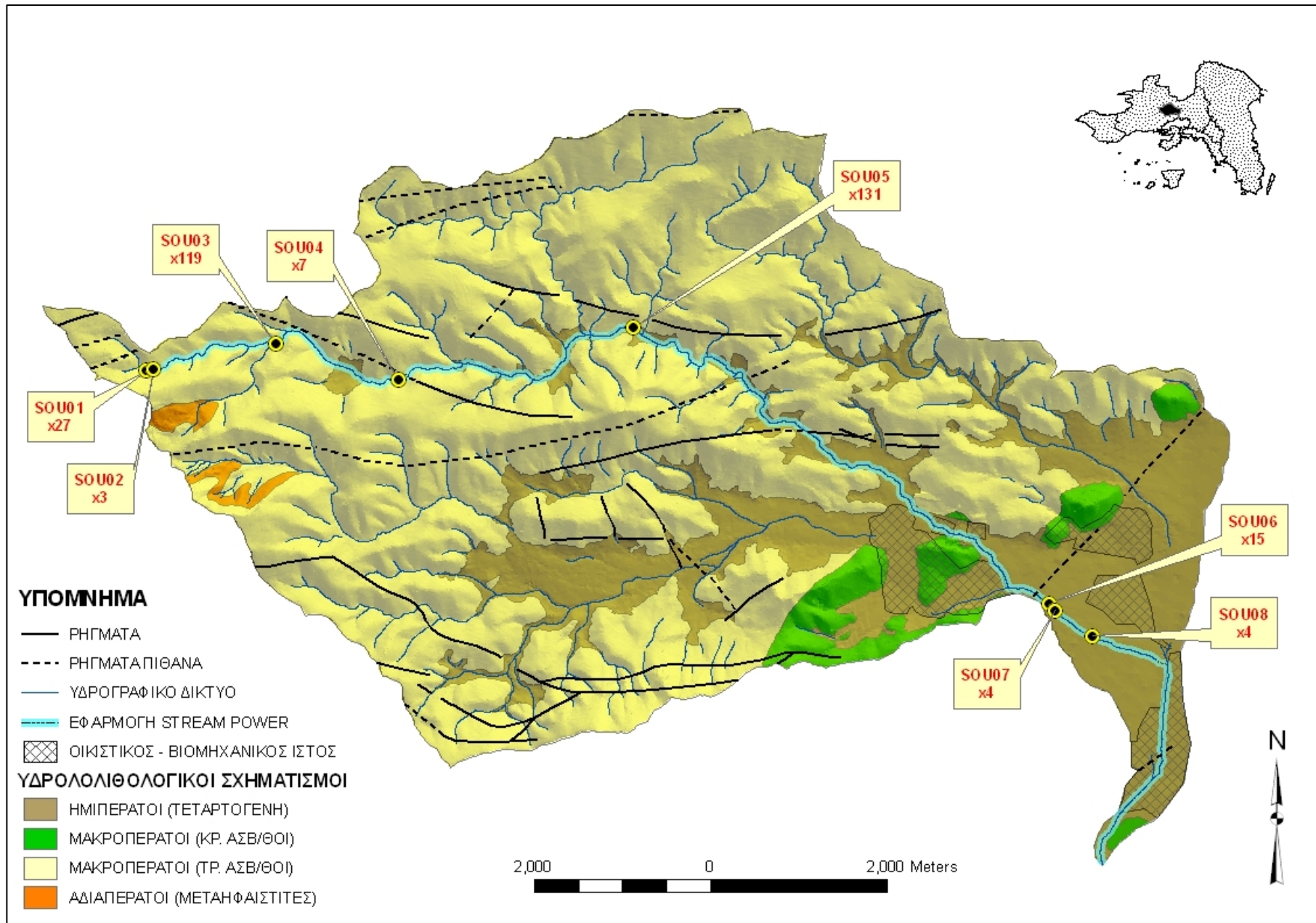
Θέση SOU01: βρίσκεται σε υψόμετρο 596 μέτρων, παρουσιάζει 27 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση που απέχει 18 μόλις μέτρα. Η ενέργεια από 1,9 kW/m γίνεται 50 kW/m. Το υπόβαθρο είναι ασβεστολιθικό, ενώ η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται στην αύξηση της ενεργής κλίσης (από 0,0038 σε 0,1), από το προηγούμενο σημείο υπολογισμού στα 600 μέτρα.

Θέση SOU02: βρίσκεται σε υψόμετρο 584^{ωv} μέτρων, παρουσιάζει 3 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση που απέχει μόλις 14 μέτρα. Η ενέργεια από 28 kW/m γίνεται 74 kW/m και κατόπιν 102 kW/m. Το υπόβαθρο είναι ασβεστολιθικό, ενώ η απότομη αυτή αύξηση οφείλεται στην αύξηση της ενεργής κλίσης από 0,05 σε 0,14 και κατόπιν σε 0,20, από το προηγούμενο σημείο υπολογισμού στα 592 μέτρα.

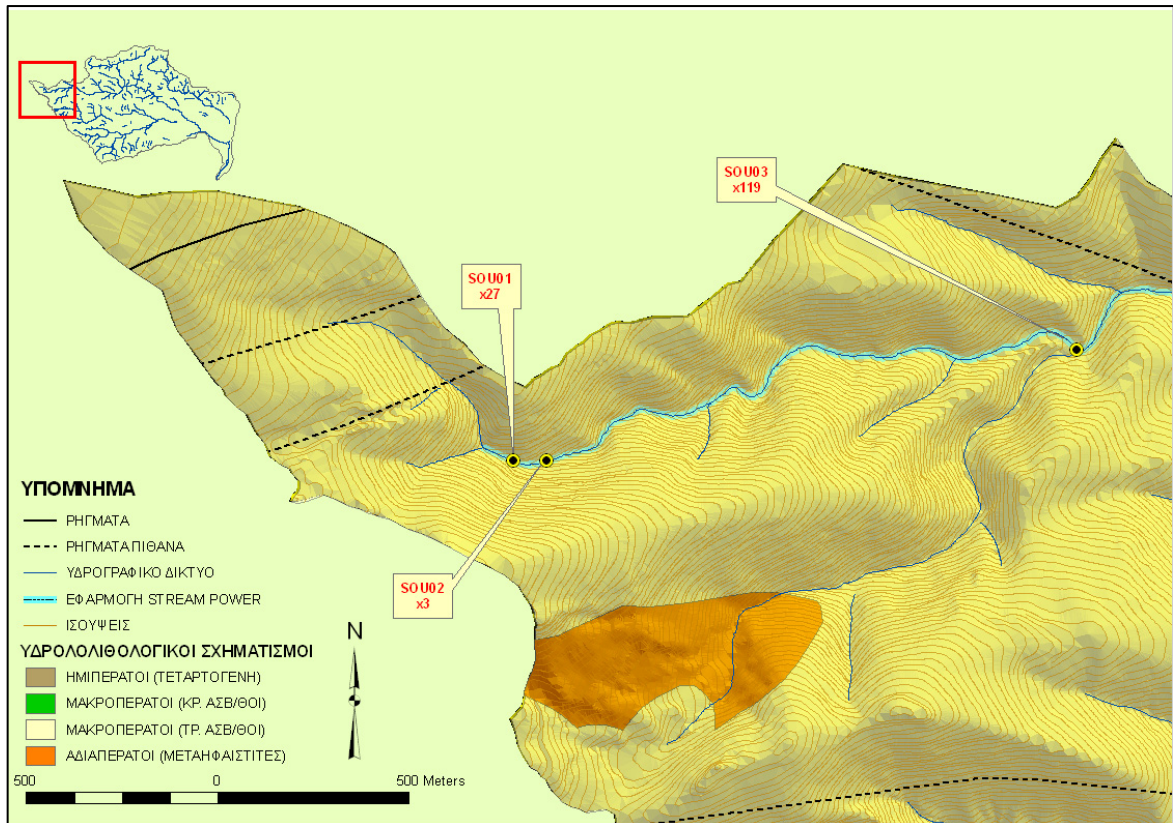
Θέση SOU03: βρίσκεται σε υψόμετρο 408 μέτρων, παρουσιάζει 119 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση υπολογισμού (ισοϋψής των 412 μέτρων), που απέχει μόλις 9 μέτρα. Η ενέργεια από 1,75 kW/m γίνεται 209 kW/m και εξελίσσεται στα 309 kW/m. Το υπόβαθρο είναι ασβεστολιθικό. Η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται στο συνδυασμό της αύξησης της ενεργής κλίσης (από 0,003 σε 0,35 και κατόπιν σε 0,37) και της προσαύξησης της επιφάνειας αποστράγγισης. Στη θέση αυτή, στον ήδη υπάρχοντα 2^{ης} τάξης κλάδο με 1,25 km² εμβαδόν λεκάνη απορροής, αποφορτίζεται ένας πρώτης τάξης με εμβαδόν 1 km². Έχουμε δηλαδή επιπλέον και το (σχεδόν) διπλασιασμό της λεκάνης αποστράγγισης.



Διάγραμμα 6-1: Διαγραμματική απεικόνιση της μεταβολής της Ενέργειας Χειμάρρου κατά μήκος της κοίτης του Σούρες



Χάρτης 6-1: Χάρτης θέσεων υπέρβασης της τιμής Ενέργειας Χειμάρρου (Stream Power) για τον κλάδο του Σούρες



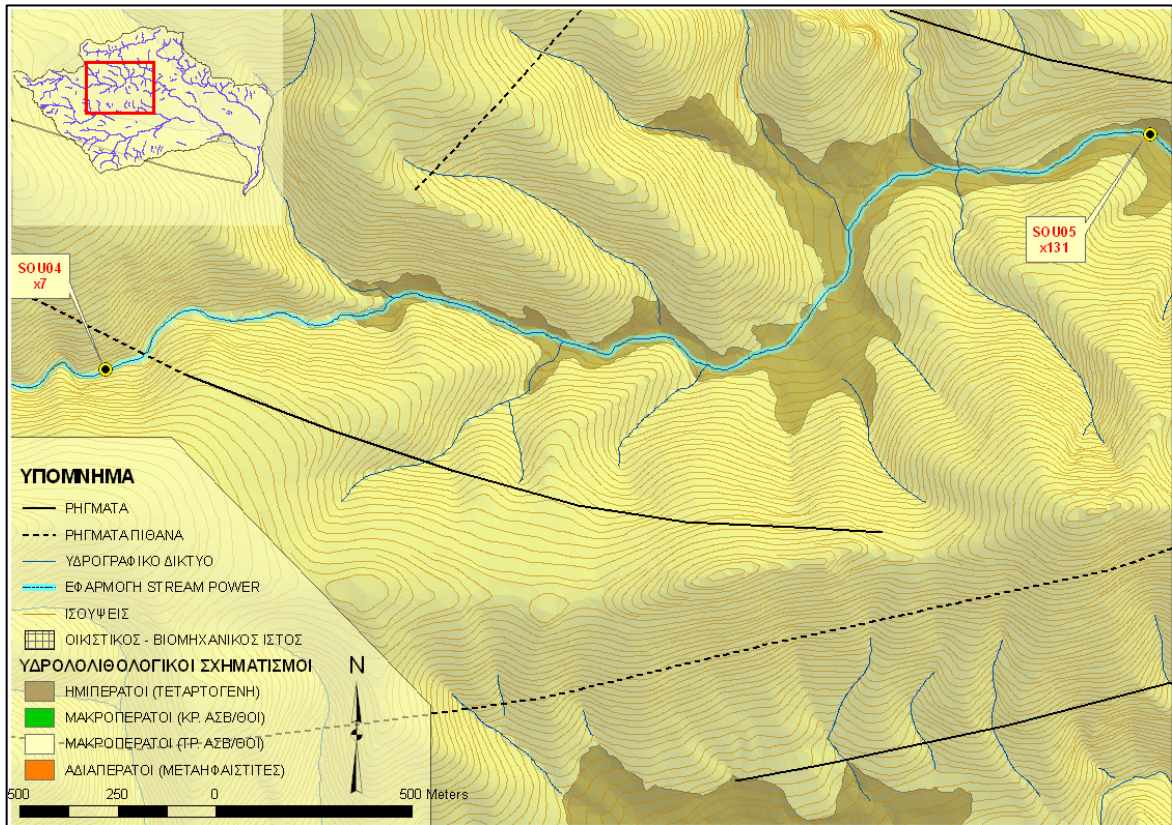
Χάρτης 6-2: Οι θέσεις των 3 πρώτων σημείων υπέρβασης της τιμής Stream Power στο χείμαρρο Σούρες. Στις πινακίδες σήμανσης περιλαμβάνεται και αριθμός που υποδεικνύει τη μεταβολή από την προηγούμενη θέση υπολογισμού

Θέση SOU04: βρίσκεται σε υψόμετρο 320 μέτρων, παρουσιάζει 7 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση υπολογισμού (ισοΐψης των 324 μέτρων) που απέχει 170 μέτρα. Η ενέργεια από 16 kW/m γίνεται 104 kW/m. Το υπόβαθρο είναι ασθεστολιθικό, ενώ ο λόγος της απότομής αυτής μεταβολής είναι η αύξηση της ενεργής κλίσης από 0,01 σε 0,08.

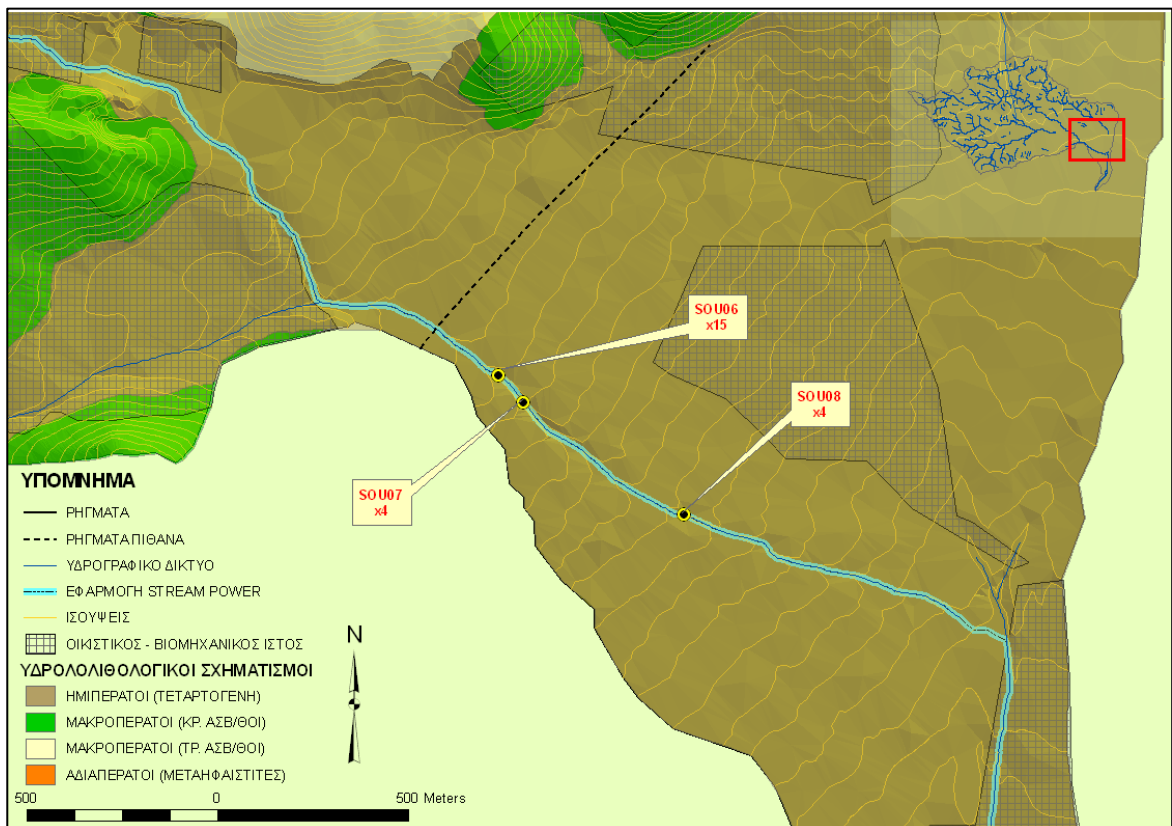
Θέση SOU05: βρίσκεται σε υψόμετρο 204^{ωv} μέτρων, παρουσιάζει 131 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση υπολογισμού (ισοΐψης των 208 μέτρων), που απέχει 71 μέτρα. Η ενέργεια από 0,75 kW/m γίνεται 98 kW/m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις. Ο λόγος της απότομής αυτής μεταβολής είναι η αύξηση της ενεργής κλίσης από 0,0003 σε 0,038.

Θέση SOU06: βρίσκεται σε υψόμετρο 52 μέτρων, παρουσιάζει 15 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση υπολογισμού (ισοΐψης των 54 μέτρων), που απέχει 52 μέτρα. Η ενέργεια από 6,5 kW/m γίνεται 100 kW/m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις. Η απότομή αυτή μεταβολή οφείλεται στην αύξηση της ενεργής κλίσης από 0,0014 σε 0,022.

Θέση SOU07: βρίσκεται σε υψόμετρο 48 μέτρων, παρουσιάζει 4 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση υπολογισμού (ισοΐψης των 50 μέτρων), που απέχει 28 μέτρα. Η ενέργεια από 43 kW/m γίνεται 185 kW/m και εξελίσσεται σε 267 kW/m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέ-



Χάρτης 6-3: Οι θέσεις των 4ου και 5ου σημείων υπέρβασης της τιμής Stream Power στο χείμαρρο Σούρες. Στις πινακίδες σήμανσης περιλαμβάνεται και αριθμός που υποδεικνύει τη μεταβολή από την προηγούμενη θέση υπολογισμού.



Χάρτης 6-4: Οι θέσεις των 6^{ου}, 7ου και 8ου σημείων υπέρβασης της τιμής Stream Power στο χείμαρρο Σούρες. Στις πινακίδες σήμανσης περιλαμβάνεται και αριθμός που υποδεικνύει τη μεταβολή από την προηγούμενη θέση υπολογισμού.

σεις. Η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται στην αύξηση της ενεργής κλίσης από 0,0096 σε 0,04 και κατόπιν σε 0,06.

Θέση SOU08: βρίσκεται σε υψόμετρο 40 μέτρων, παρουσιάζει 4 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση υπολογισμού (ισοϋψής των 42 μέτρων), που απέχει 58 μέτρα. Από 25 kW/m γίνεται 95 kW/m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις. Ο λόγος της απότομης αυτής μεταβολής είναι η αύξηση της ενεργής κλίσης από 0,005 σε 0,0219.

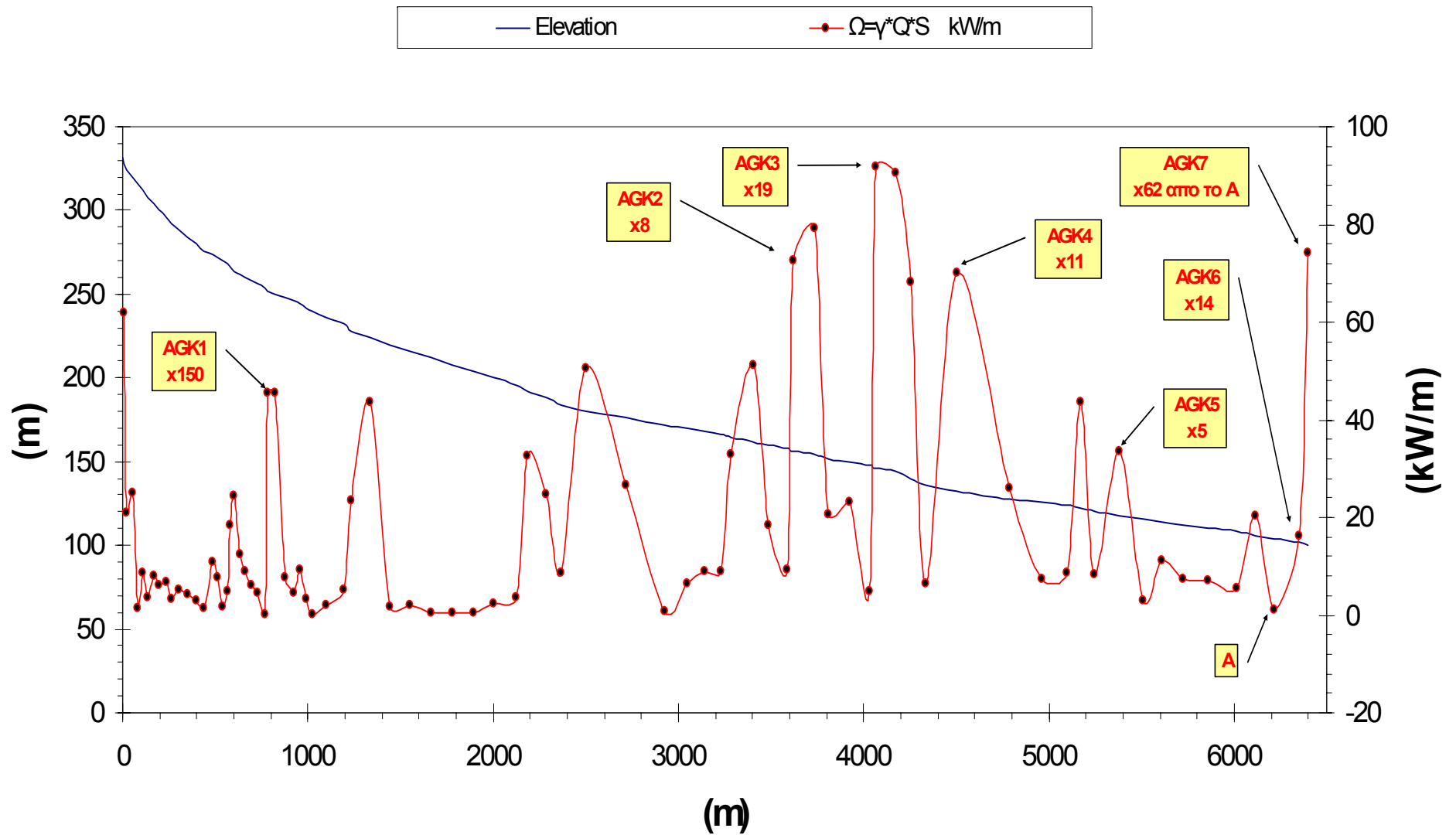
6.3.2. Εφαρμογή Stream Power στο χείμαρρο Αγίας Αικατερίνης

Στο διάγραμμα της επόμενης σελίδας απεικονίζεται αφενός μεν, η μεταβολή της τιμής Stream Power κατά μήκος τμήματος του χείμαρρου της Αγίας Αικατερίνης, αφετέρου η τοπογραφική του τομή, από το οποίο προκύπτουν 7 σημεία απότομης αύξησης της ενέργειας. Ακολουθεί ο σχετικός χάρτης όπου αποτυπώνονται τα σημεία αυτά.

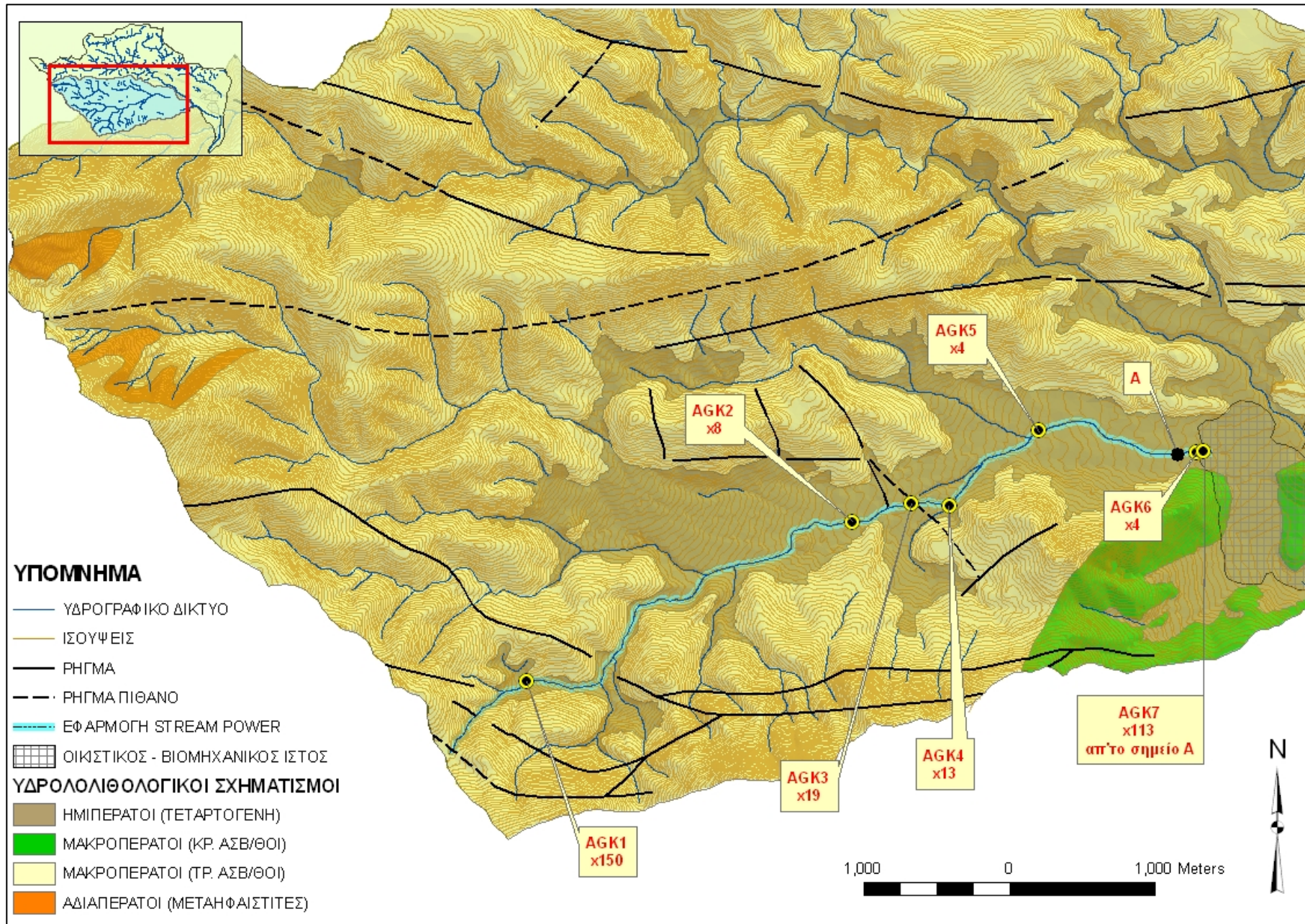
Η κοίλη μορφή της τοπογραφικής τομής του χείμαρρου, υποδηλώνει την ήπια γενικά γεωμορφολογία της κοίτης, χωρίς έντονες μορφολογικές ασυνέχειες. Σχεδόν όλο το υπόβαθρο του τμήματος του χείμαρρου στο οποίο εφαρμόστηκε η μεθοδολογία απαρτίζεται από αλλουβιακές αποθέσεις οπότε και αναμένονται ήπιες κλίσεις στη διαγραμματική απεικόνιση της ενέργειας χείμαρρου. Ωστόσο υπάρχουν 7 σημεία στα οποία η κλίση της κοίτης της Αγίας Αικατερίνης και κατ' επέκταση η ενεργός κλίση μεταβάλλεται όχι βαθμιαία αλλά απότομα, οπότε και προκύπτουν οι ζητούμενες θέσεις υπέρβασης της τιμής Stream Power. Επιπροσθέτως σε μερικά απ' αυτά αυξάνεται και το υδραυλικό φορτίο λόγω μεγαλύτερης επιφάνειας αποστράγγισης είτε με γραμμική ροή (εκβολή γειτονικού κλάδου) είτε με διάχυτη ροή. Στη συνέχεια ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των εν λόγω θέσεων υπέρβασης.

Θέση AGK01: βρίσκεται σε υψόμετρο 254^{wv} μέτρων (επί της κοίτης), παρουσιάζει 150 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση στο υψόμετρο 258, το οποίο απέχει 14 μέτρα. Από 0,3 kW/m γίνεται 45,3 kW/m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις. Η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται στο συνδυασμό της αύξησης της ενεργής κλίσης (από 0,0008 σε 0,09) και της προσαύξησης της επιφάνειας αποστράγγισης. Στη θέση αυτή, στον ήδη υπάρχων 2^{ης} τάξης κλάδο ο οποίος αποστραγγίζει επιφάνεια εμβαδού 0,45 km², αποφορτίζεται μία επιπλέον γειτονική λεκάνη με εμβαδόν 0,17 km².

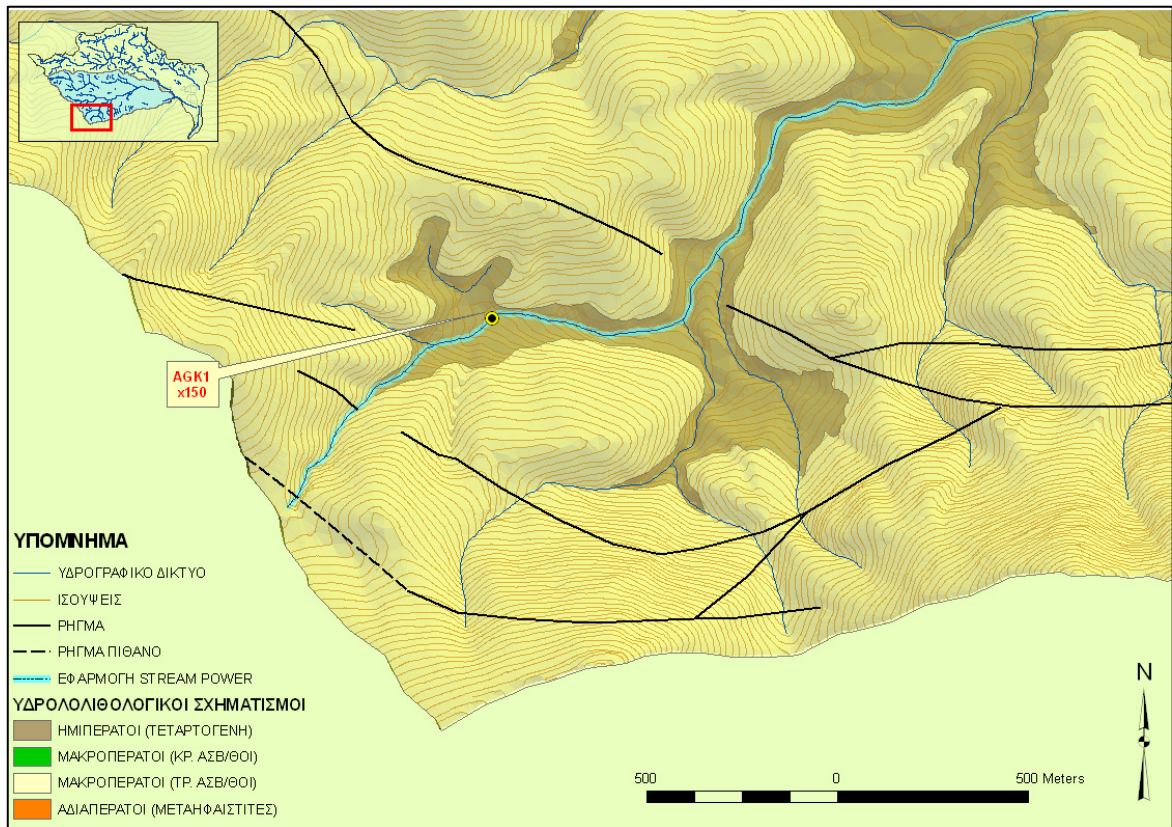
Θέση AGK2 : βρίσκεται σε υψόμετρο 156 μέτρων, παρουσιάζει δε 8 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση στο υψόμετρο 158, το οποίο απέχει 40 μέτρα. Από 9,3 kW/m γίνεται 73 kW/m, από τις υψηλότερες τιμές που υπολογίζονται σε όλο το μήκος της κοίτης που εφαρμόζεται η μέθοδος. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις. Ο κυρίαρχος λόγος της απότομης αύξησης, στην αύξηση της ενεργούς κλίσης από 0,0038 σε 0,03



Διάγραμμα 6-2: Διαγραμματική απεικόνιση της μεταβολής της Ενέργειας Χειμάρρου κατά μήκος της κοίτης της Αγίας Αικατερίνης



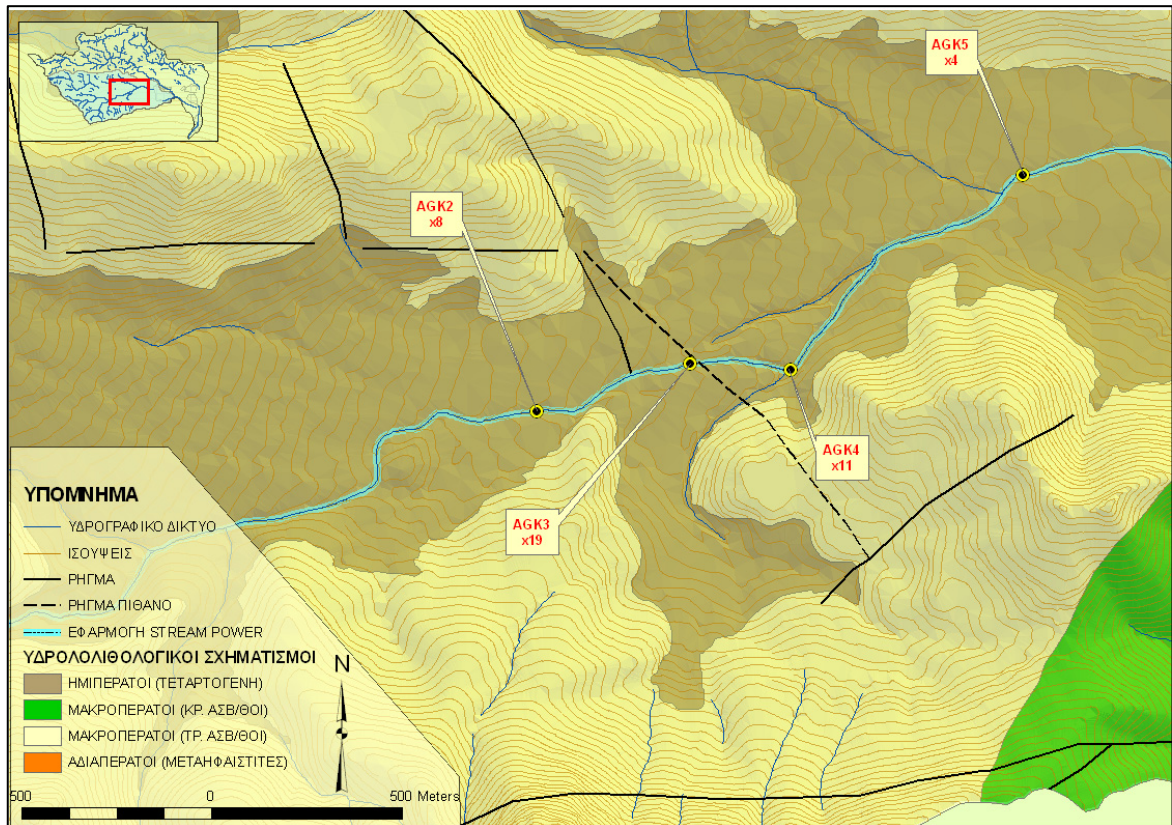
Χάρτης 6-5: Χάρτης θέσεων υπέρβασης της τιμής Ενέργειας Χειμάρρου (Stream Power) για τον κλάδο της Αγίας Αικατερίνης



Χάρτης 6-6: Η θέση του 1ου σημείο υπέρβασης της τιμής Stream Power στο χείμαρρο Αγ. Αικατερίνης. Στις πινακίδες σήμανσης περιλαμβάνεται και αριθμός που υποδεικνύει τη μεταβολή από την προηγούμενη θέση υπολογισμού.

Θέση AGK3: βρίσκεται σε υψόμετρο 146 μέτρων, παρουσιάζει 19 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση στο υψόμετρο 148, το οποίο απέχει 35 μέτρα. Από 5 kW/m γίνεται 92 kW/m η υψηλότερη τιμή σε όλο το μήκος εφαρμογής. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις. Η ακραία αυτή τιμή οφείλεται αποκλειστικά στη αύξηση της ενεργής κλίσης (από 0,002 σε 0,04), η οποία δεν αποκλείεται να σχετίζεται με το πιθανό ρήγμα που είναι χαρτογραφημένο πλησίον του σημείου.

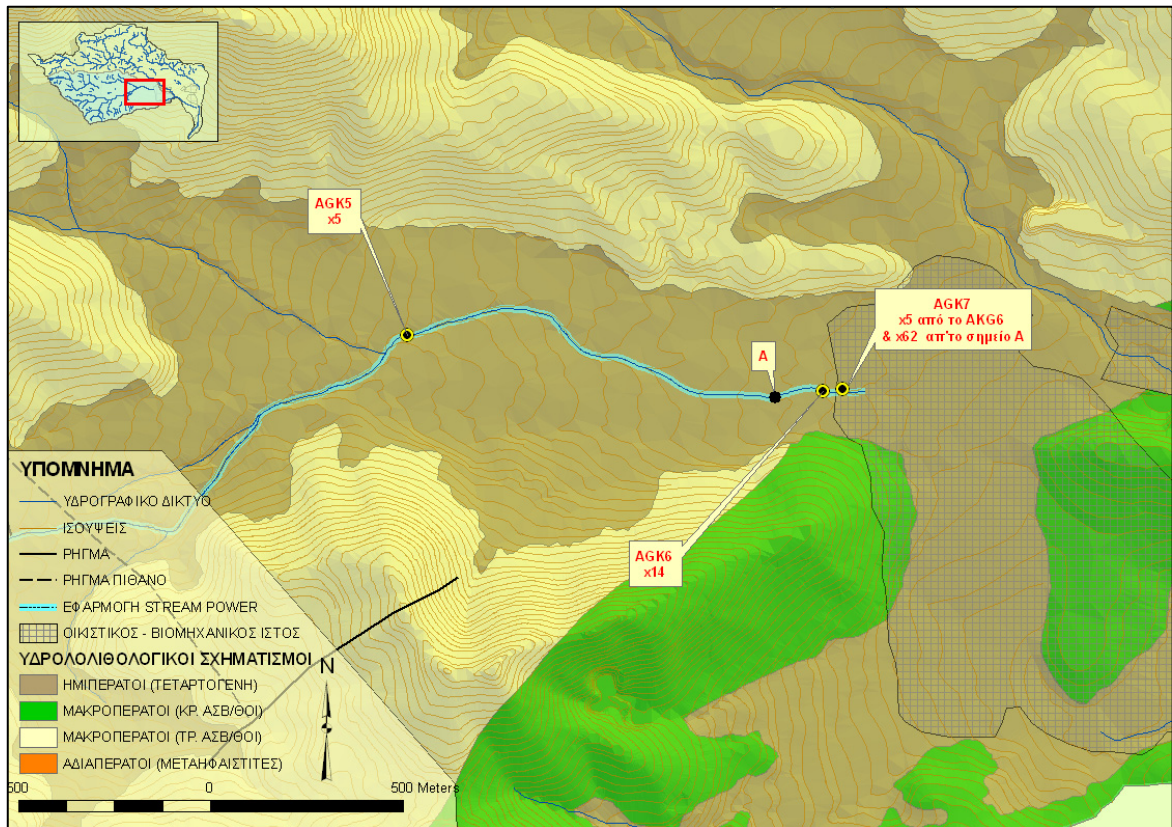
Θέση AGK4: βρίσκεται σε υψόμετρο 132 μέτρων, παρουσιάζει δε 11 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση στο υψόμετρο 258, το οποίο απέχει 14 μέτρα. Από 6,4 kW/m γίνεται 70 kW/m. Το υπόβαθρο εξακολουθεί να αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις. Η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται στο συνδυασμό της αύξησης της ενεργής κλίσης (από 0,0024 σε 0,027) και της προσαύξησης της επιφάνειας αποστράγγισης. Στη θέση αυτή, στον ήδη υπάρχων 4^{ης} τάξης κλάδο με 12,8 km² εμβαδόν λεκάνη απορροής, αποφορτίζεται λεκάνη έκτασης 2 km².



Χάρτης 6-7: Οι θέσεις των 2ου, 3ου & 4ου σημείων υπέρβασης της τιμής Stream Power στο χείμαρρο Αγ. Αικατερίνης. Στις πινακίδες σήμανσης περιλαμβάνεται και αριθμός που υποδεικνύει τη μεταβολή από την προηγούμενη θέση υπολογισμού.

Θέση AGK5: βρίσκεται σε υψόμετρο 122 μέτρων, παρουσιάζει 5 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση στο υψόμετρο 124, το οποίο απέχει 69 μέτρα. Από 8,7 kW/m γίνεται 43,5 kW/m. Το υπόβαθρο εξακολουθεί να αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις. Η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται στο συνδυασμό της αύξησης της ενεργής κλίσης (από 0,003 σε 0,014) και της προσαύξησης της επιφάνειας αποστράγγισης. Στη θέση αυτή, στον ήδη υπάρχων 4^{ης} τάξης κλάδο με 15,6 km² εμβαδόν λεκάνη απορροής, αποφορτίζεται γειτονική λεκάνη έκτασης 2,8 km².

Θέση AGK6: βρίσκεται σε υψόμετρο 102 μέτρων, παρουσιάζει δε 14 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση στο υψόμετρο 104 μέτρων, το οποίο απέχει 138 μέτρα. Από 1,2 kW/m γίνεται 16,4 kW/m, το οποίο εξελίσσεται σε 74,3 kW/m οπότε και προκύπτει η **θέση AGK7.** η τιμή αυτή είναι από τις υψηλότερες που απαντώνται κατά μήκος του χείμαρροτος και είναι κατά 5 φορές μεγαλύτερη από την αντίστοιχη της Θέσης AGK6 που απέχει 48 μέτρα. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις. Ο λόγος της αύξησης της τιμής, οφείλεται στη αύξηση της ενεργής κλίσης. Από 0,0004 στο σημείο A γίνεται 0,006 στη θέση **AGK6** και εξελίσσεται σε 0,027 στην **AGK7.**



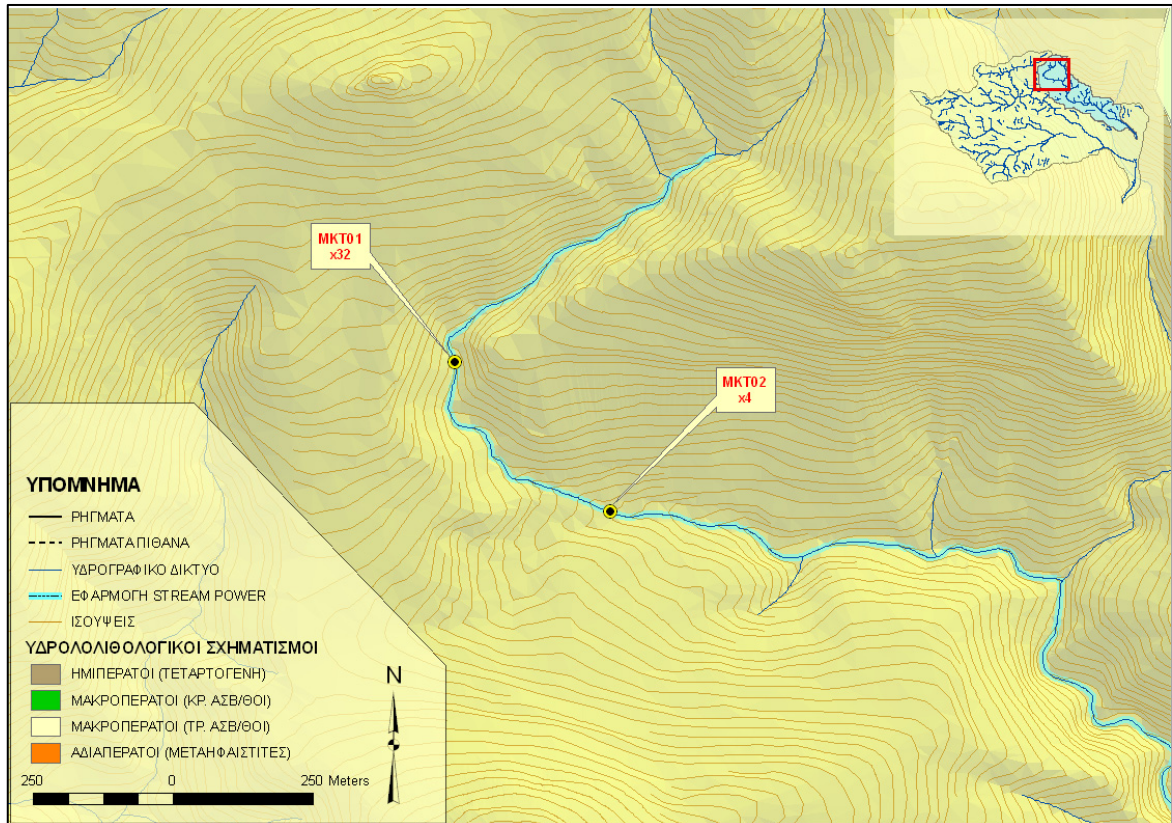
Χάρτης 6-8: Οι θέσεις των 5ου & 6ου σημείων υπέρβασης της τιμής Stream Power στο χείμαρρο Αγ. Αικατερίνης. Στις πινακίδες σήμανσης περιλαμβάνεται και αριθμός που υποδεικνύει τη μεταβολή από την προηγούμενη θέση υπολογισμού.

6.3.3. Εφαρμογή Stream Power στο χείμαρρο Μικρό Κατερίνι.

Στο διάγραμμα της επόμενης σελίδας απεικονίζεται αφενός μεν, η μεταβολή της τιμής Stream Power κατά μήκος τμήματος του χείμαρροτος Μικρού Κατερινιού, αφετέρου η τοπογραφική του τομή, από το οποίο προκύπτουν 7 σημεία απότομης αύξησης της ενέργειας. Ακολουθεί ο σχετικός χάρτης όπου αποτυπώνονται τα σημεία αυτά.

Η ελαφρά κοίλη μορφή της τοπογραφικής τομής του χείμαρροτος, υποδηλώνει την ήπια γενικά γεωμορφολογία της κοίτης, χωρίς έντονες μορφολογικές ασυνέχειες. Το μεγαλύτερο ποσοστό του υπόβαθρου του χείμαρροτος στο οποίο εφαρμόστηκε η μεθοδολογία απαρτίζεται από αλλουβιακές αποθέσεις οπότε και αναμένονται ήπιες κλίσεις στη διαγραμματική απεικόνιση της ενέργειας χειμάρρου. Ωστόσο υπάρχουν 7 σημεία στα οποία η κλίση της κοίτης της Αγίας Αικατερίνης και κατ' επέκταση η ενεργός κλίση μεταβάλλεται όχι βαθμιαία αλλά απότομα, οπότε και προκύπτουν οι ζητούμενες θέσεις υπέρβασης της τιμής Stream Power.

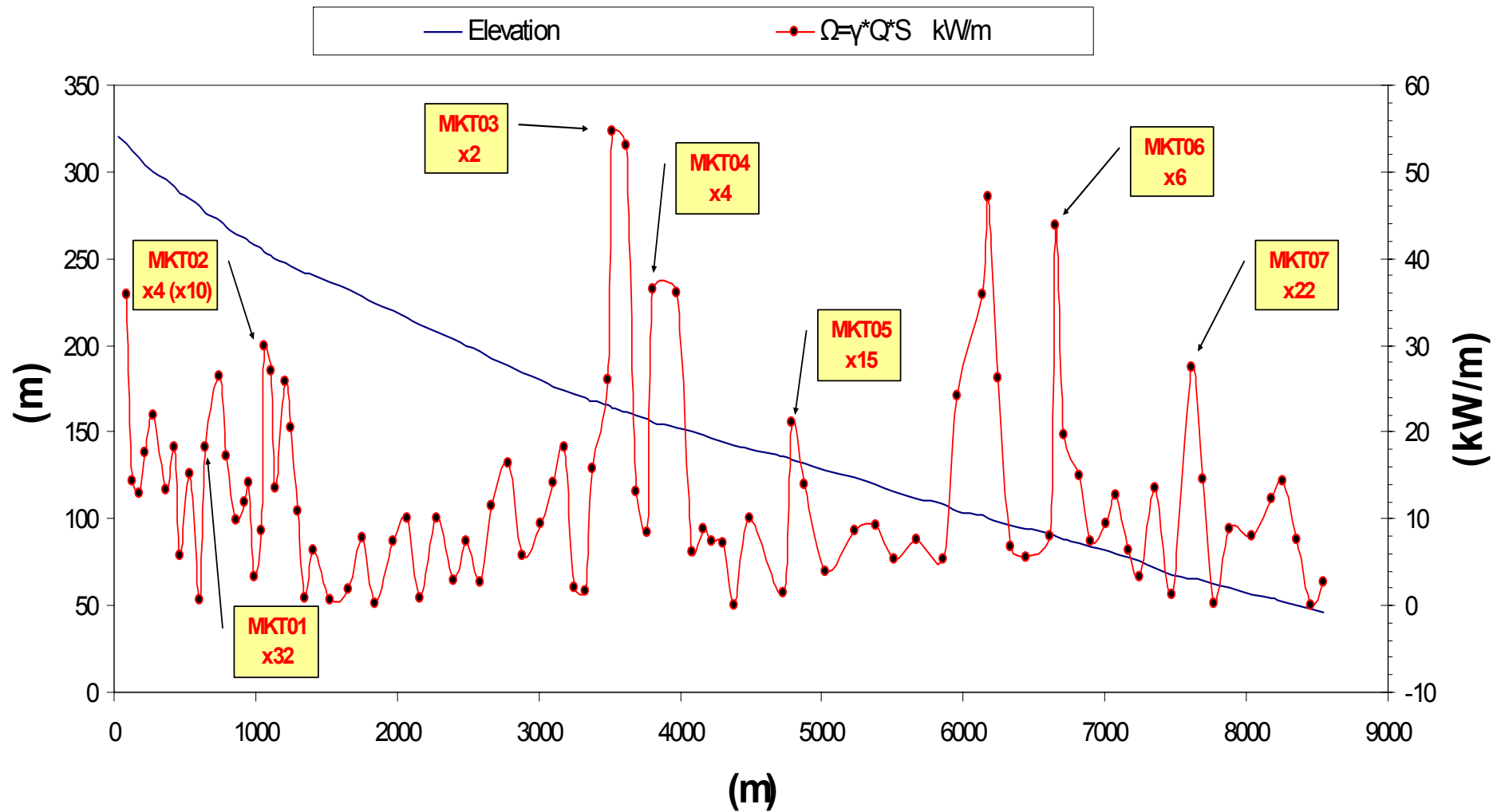
Θέση MKT01: βρίσκεται σε υψόμετρο 276 μέτρων, παρουσιάζει 32 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση που απέχει 67 μέτρα. Από 0,6 kW/m γίνεται 18 kW/m. Το υπόβαθρο είναι ασθεστολιθικό, ενώ η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται στην αύξηση της ενεργής κλίσης (από 0,0009 σε 0,032), από το προηγούμενο σημείο υπολογισμού στα 280 μέτρα υψόμετρο.



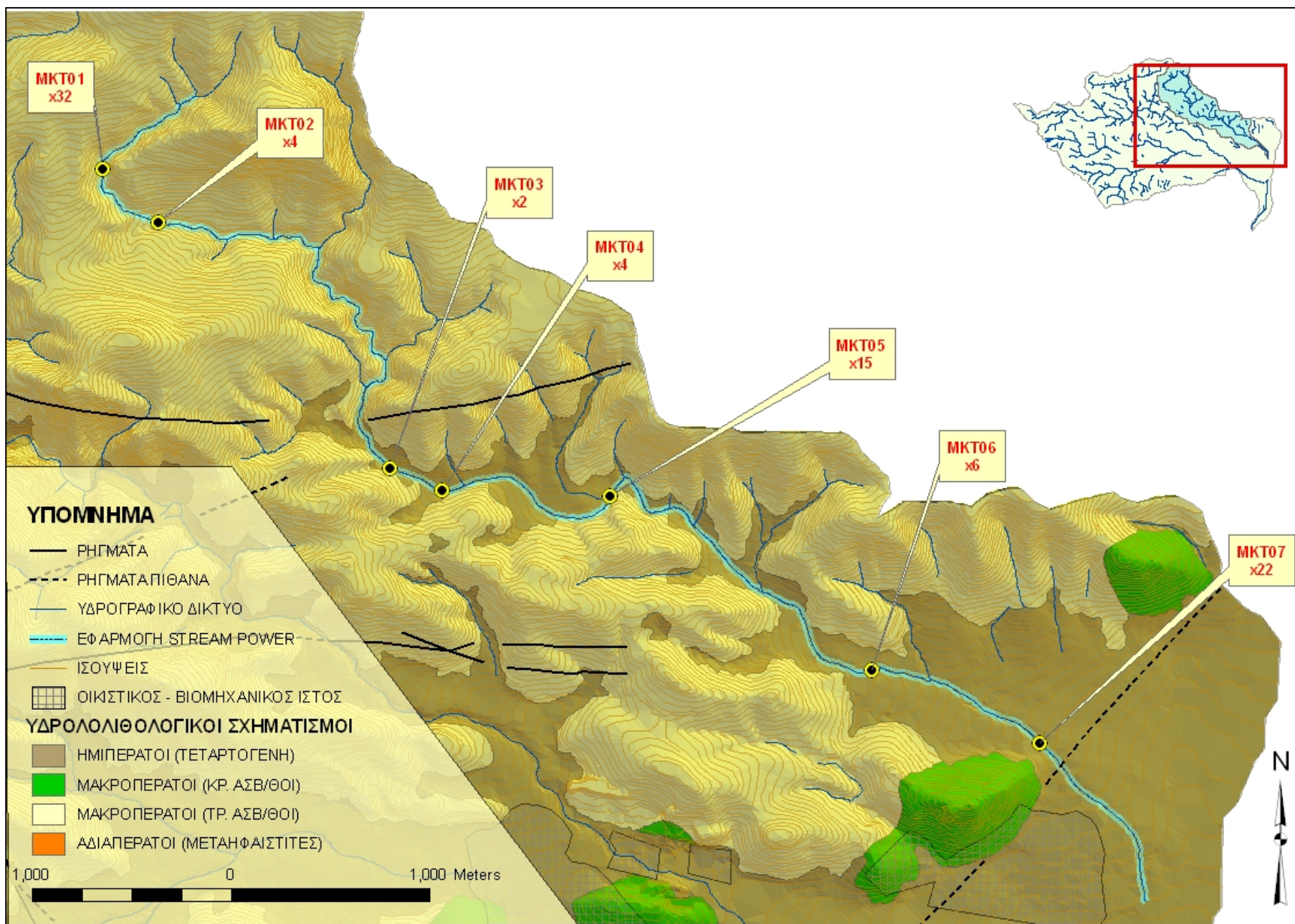
Χάρτης 6-9: Οι θέσεις των 1ου & 2ου σημείων υπέρβασης της τιμής Stream Power στο χείμαρρο του Μικρού Κατερινιού. Στις πινακίδες σήμανσης περιλαμβάνεται και αριθμός που υποδεικνύει τη μεταβολή από την προηγούμενη θέση υπολογισμού.

Θέση ΜΚΤ02: βρίσκεται σε υψόμετρο 254^{ωv} μέτρων, παρουσιάζει 4 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση που απέχει μόλις 21 μέτρα και 10 φορές από την προπροηγούμενη που απέχει 73 μέτρα. Από 3,3 kW/m γίνεται 8,5 kW/m και εξελίσσεται στα 30 kW/m. Το υπόβαθρο είναι ασθεστολιθικό, ενώ η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται αφενός μεν στην αύξηση της ενεργής κλίσης (από 0,006 σε 0,016) από το προηγούμενο σημείο υπολογισμού στα 256 μέτρα υψόμετρο, αφετέρου στην μεγαλύτερη επιφάνεια αποστράγγισης, αφού σε αυτό το σημείο από 0,8 km² γίνεται 1,2 km².

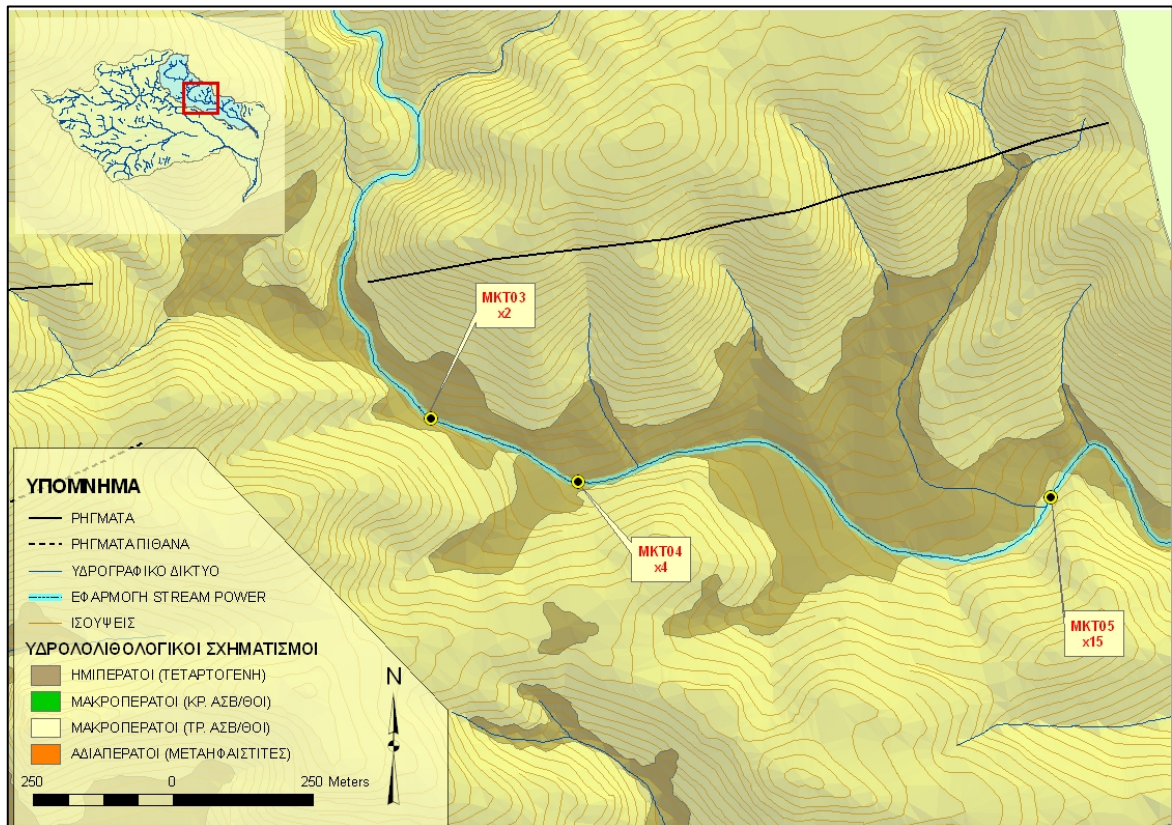
Θέση ΜΚΤ03: βρίσκεται σε υψόμετρο 164^{ωv} μέτρων, παρουσιάζει 2 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση υπολογισμού (ισοϋψής των 168 μέτρων), που απέχει μόλις 32 μέτρα. Από 26 kW/m γίνεται 54 kW/m. Η τιμή αυτή είναι η υψηλότερη υπολογιζόμενη ενέργεια στον εν λόγω χείμαρρο. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις. Η ενεργός κλίση διπλασιάζεται από 0,02 σε 0,04 η οποία είναι και η υψηλότερη που υπολογίζεται κατά μήκος του χείμαρροτος. Δευτερευόντως στην αύξηση της ενέργειας επιδρά και η επιφάνεια αποστράγγισης η οποία από 4,1 Km² γίνεται 4,25 Km².



Διάγραμμα 6-3: Διαγραμματική απεικόνιση της μεταβολής της Ενέργειας Χειμάρρου κατά μήκος της κοίτης του Μικρού Κατερινιού



Χάρτης 6-10: Χάρτης θέσεων υπέρβασης της τιμής Ενέργειας Χειμάρρου (Stream Power) για τον κλάδο του Μικρού Κατερινιού

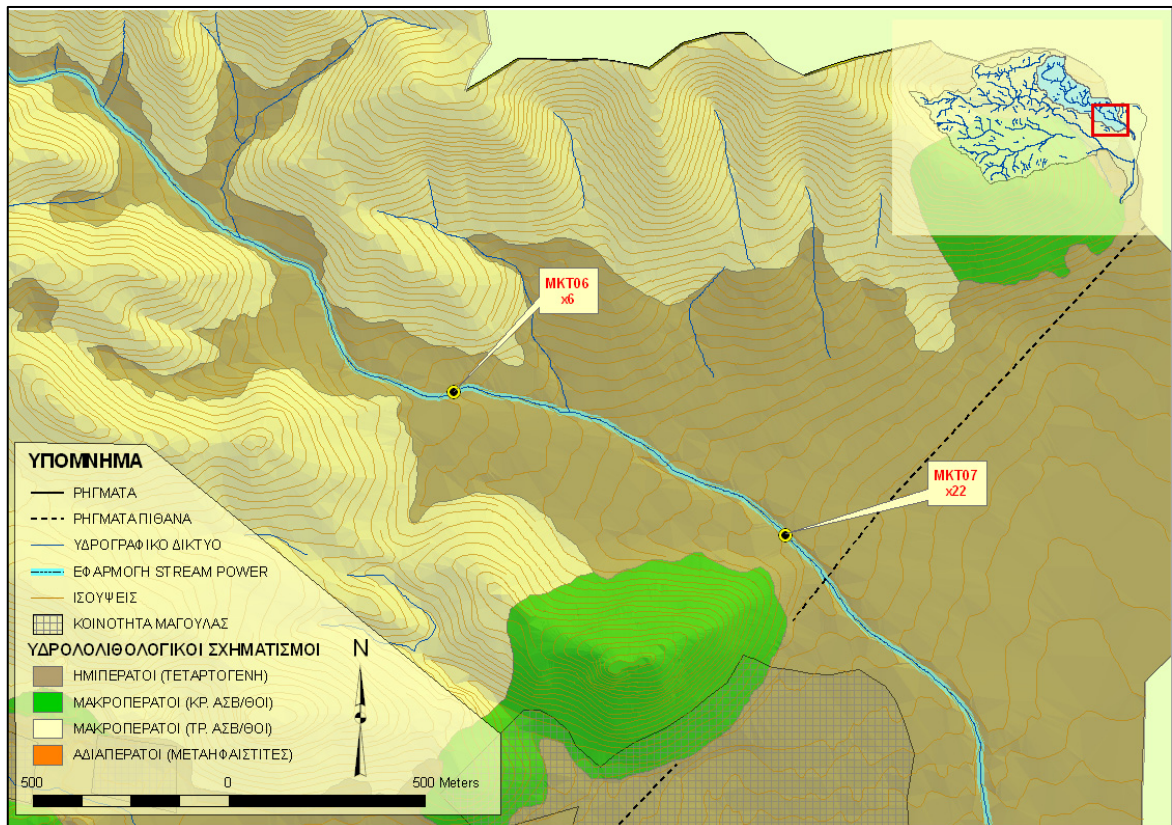


Χάρτης 6-11: Οι θέσεις των 3^{ου}, 4^{ου} & 5^{ου} σημείων υπέρβασης της τιμής Stream Power στο χειμάρρο του Μικρού Κατερινιού. Στις πινακίδες σήμανσης περιλαμβάνεται και αριθμός που υποδεικνύει τη μεταβολή από την προηγούμενη θέση υπολογισμού.

Θέση MKT04: βρίσκεται σε υψόμετρο 156 μέτρων, παρουσιάζει 4 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση υπολογισμού (ισούψης των 158 μέτρων) που απέχει 38 μέτρα. Από 8,33 kW/m γίνεται 36,5 kW/m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται στην αύξηση της ενεργής κλίσης (από 0,007 σε 0,03), από το προηγούμενο σημείο υπολογισμού. Δευτερευόντως στην αύξηση της ενέργειας επιδρά και η επιφάνεια αποστράγγισης η οποία από 4,33 Km² γίνεται 4,52 Km².

Θέση MKT05: βρίσκεται σε υψόμετρο 134 μέτρων, παρουσιάζει 15 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση υπολογισμού (ισούψης των 136 μέτρων) που απέχει 58 μέτρα. Από 1,5 kW/m γίνεται 45 kW/m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις, Η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται στο συνδυασμό της αύξησης της ενεργής κλίσης (από 0,0012 σε 0,018) και της προσαύξησης της επιφάνειας αποστράγγισης. Στη θέση αυτή, στον ήδη υπάρχων 4^{ης} τάξης κλάδο με 5,13 km² λεκάνη απορροής, αποφορτίζεται 3^{ης} τάξης κλάδος που αποστραγγίζει λεκάνη έκτασης 0,5 km².

Θέση MKT06: βρίσκεται σε υψόμετρο 90 μέτρων, παρουσιάζει 6 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση υπολογισμού (ισούψης των 92 μέτρων) που απέχει 43 μέτρα. Από 7 kW/m γίνεται 42 kW/m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται στην αύξηση της ενεργής κλίσης (από 0,006 σε 0,035), από το προηγούμενο σημείο .

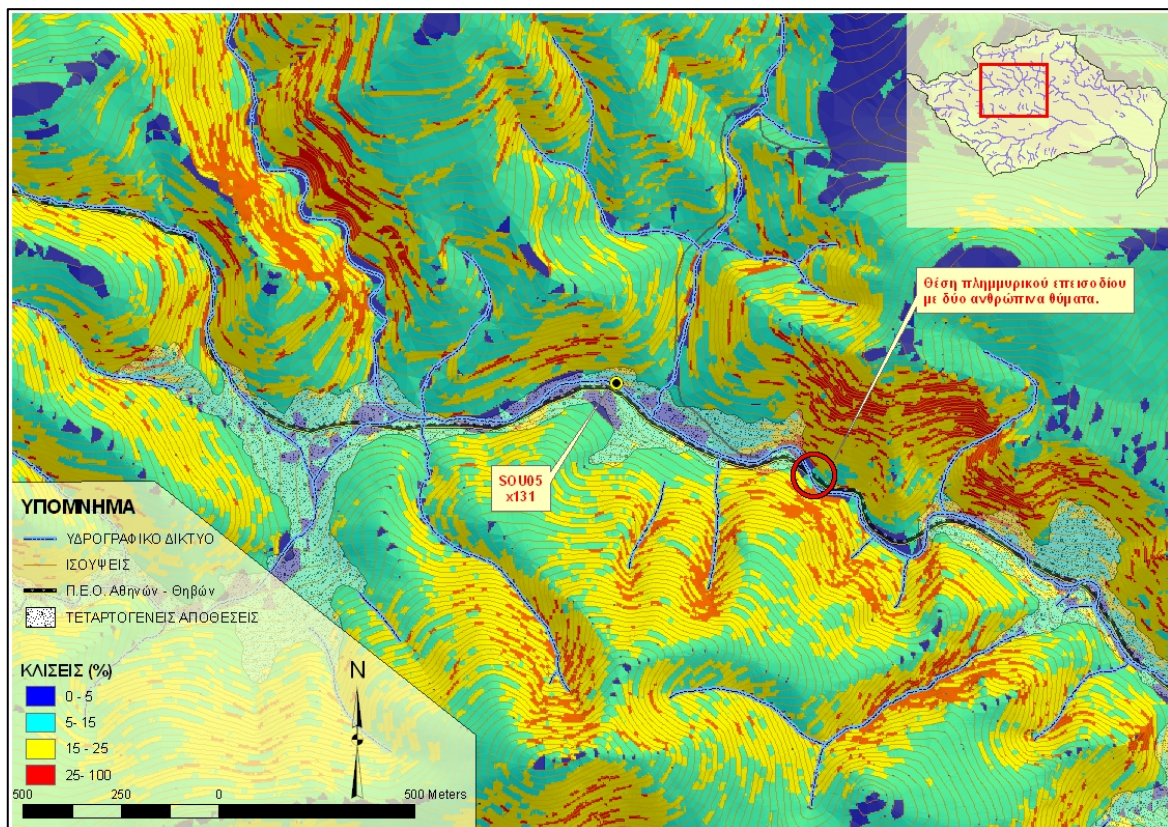


Χάρτης 6-12: Οι θέσεις των 6^{ου} & 7^{ου} σημείων υπέρβασης της τιμής Stream Power στο χείμαρρο του Μικρού Κατερινιού. Στις πινακίδες σήμανσης περιλαμβάνεται και αριθμός που υποδεικνύει τη μεταβολή από την προηγούμενη θέση υπολογισμού.

Θέση ΜΚΤ07: βρίσκεται σε υψόμετρο 66 μέτρων, παρουσιάζει 22 φορές μεγαλύτερη τιμή Stream Power από την προηγούμενη θέση υπολογισμού (ισοϋψής των 68 μέτρων) που απέχει 143 μέτρα. Από 1,26 kW/m γίνεται 27,5 kW/m. Το υπόβαθρο αποτελείται από αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ η απότομη αυτή μεταβολή οφείλεται στην αύξηση της ενεργής κλίσης (από 0,001 σε 0,021), από το προηγούμενο σημείο υπολογισμού.

6.4. Συμπεράσματα από την εφαρμογή της Ενέργειας Χειμάρρου στο υπό μελέτη υδρογραφικό δίκτυο.

Όπως τονίσθηκε και στο Κεφ. 6.1 η Ενέργεια Χειμάρρου αφορά το υπόλοιπο ποσοστό της κινητικής ενέργειας του νερού που δεν καταναλώνεται σε τριβές και είναι δυνατόν να διαβρώσει την κοίτη του ποταμού και να μεταφέρει μαζί με τη ποσότητα του νερού και ιζήματα. Υπολογίζοντας επομένως το ρυθμό κατανάλωσης της ενέργειας του που είναι διαθέσιμη για την υπερκέραση των τριβών και την μεταφορά ιζήματος σε δοθέν σημείο του ποτάμιου συστήματος και προσδιορίζοντας τα σημεία επί της κοίτης που αυτή η μεταβολή συμβαίνει απότομα και όχι βαθμιαία, καταδεικνύονται στην ουσία οι θέσεις με αυξημένο τον πλημμυρικό κίνδυνο. Στις θέσεις αυτές η φύση του νερού γίνεται καταστροφική (για τον άνθρωπο) και διευκολύνεται το πλημμυρικό φαινόμενο, αφού μεταξύ ενός σημείου με αυξημένη Ενέργεια και του επομένου με μειωμένη, προκύπτει σε μικρό χρονικό διά-



Χάρτης 6-13: Χάρτης μορφολογικών κλίσεων στην ευρύτερη περιοχή του σημείου επί της κοίτης του χειμάρρου Σούρες που εμφανίζει την μεγαλύτερη Ενέργεια. Διακρίνεται το σημείο όπου βρέθηκε ακινητοποιημένο το αυτοκίνητο του ζεύγους Μαυρομάτη. Στο σημείο αυτό, έκτος της αυξημένης Ενέργειας Χειμάρρου συνυπάρχουν οι δυσμενείς συνθήκες α) αλλαγή της διατομής της κοιλάδας με πιο αυξημένες κλίσεις πρανών, β) συμβολή κλάδου Υ.Δ., γ) ταύτιση κοίτης και οδικού δικτύου.

στημα συσσώρευση ποσότητας νερού, μεγαλύτερης της αναμενόμενης.

Εφαρμόζοντας επομένως την Ενέργεια Χειμάρρου στους τρεις επιμέρους κλάδους του Υδρογραφικού Δικτύου του Σούρες, αναδείχθηκαν τα σημεία επί των κοιτών (που περιγράφηκαν λεπτομερώς ανωτέρω), με αυξημένο τον πλημμυρικό κίνδυνο, πολύ δε περισσότερο όταν σε αυτά τα σημεία γειτνιάζουν κατασκευές ή γενικότερα επικρατεί γύρω από αυτά εσφαλμένη χρήση γης. Ένα απ' αυτά μάλιστα, επιβεβαιώνεται με τον τραγικότερο τρόπο κατά το πλημμυρικό επεισόδιο της 27^{ης} Ιανουαρίου 1996, αφού πνίγηκε σ αυτό το ζεύγος Μαυρομάτη, όταν παρασύρθηκε το αυτοκίνητό τους από τα πλημμυρικά νερά. Πρόκειται για τη θέση S005 επί της κοίτης του χειμάρρου Σούρες ή καλύτερα επί του 8^{ου} χιλιομέτρου Παλαιάς Οδού Ελευσίνας – Θηβών. Ο άνδρας βρέθηκε στη θέση του οδηγού, εκεί όπου τελικά ακινητοποιήθηκε το όχημα (αφού είναι σίγουρο ότι πριν ακινητοποιηθεί παρασύρθηκε για αρκετά μέτρα), ενώ η σύζυγός του 100 μέτρα κατάντη. Εστιάζοντας στη περιοχή του συμβάντος (βλ.Χάρτη 6-13) συνυπάρχουν οι εξής δυσμενείς παράγοντες που οδήγησαν στη δυστυχή κατάληξη:

1) Η Ενέργεια Χειμάρρου, υπολογίζεται 131 φορές μεγαλύτερη από την προηγούμενη θέση υπολογισμού και για τη βροχόπτωση της 27^{ης} Ιανουαρίου 1996, αγγίζει τα 100 kW/m (από 0,75 kW/m της προηγούμενης θέσης).



Εικόνα 6-1: 8ο Km Π.Ε.Ο. Ελευσίνας – Θηβών, 27/1/1996. Το σημείο στο οποίο εγκλωβίσθηκε το άτυχος ζεύγος Μαυρομάτη στο αυτοκίνητό τους. Στα δεξιά της εικόνας είναι αποτυπωμένη η διαβρωτική ενέργεια του χειμάρρου, η οποία έχει υποσκάψει τα θεμέλια του οδοστρώματος. Άξονας *Εθνικής Οδού* και *άξονας κοίτης ταυτίζονται*.

2) Αλλάζει η γεωμορφολογία της περιοχής κατάντη του σημείου όπου βρέθηκε ακινητοποιημένο το αυτοκίνητο. Συγκεκριμένα αυξάνονται οι κλίσεις των πρανών (βλ Χάρτη 6-13) οπότε μειώνεται η διατομή της κοιλάδας, δημιουργώντας το φαινόμενο του στομίου μπουκαλιού. Σε αυτό το σημείο η ορμή του νερού πολλαπλασιάζεται, αφού αυξάνεται η ταχύτητα ροής των νερών (δο-

θείσης της στερεοπαροχής), με αποτέλεσμα α) συσσώρευση ποσότητας νερού σε μικρό χρονικό διάστημα σε περιοχή με μικρότερη διοχετευτική ικανότητα (σε σχέση με το προηγούμενο τμήμα της κοιλάδας), που συνεπάγεται άνοδος της στάθμης του νερού και κατάκλυση β) καθεστώς διάβρωσης για μήκος 500 μέτρων επί πρανών της κοιλάδας, αφού η κοίτη καταλαμβάνεται από μεγάλες στερεοπαροχές (βλ. Εικ 2-8 & 6-3). Μάλιστα το καθεστώς διάβρωσης επιβελώνεται όχι μόνο από την ενέργεια χειμάρρου, αλλά και από την παντελή έλλειψη των αποθέσεων των τεταρτογενών σχηματισμών.

θής της στερεοπαροχής), με αποτέλεσμα α) συσσώρευση ποσότητας νερού σε μικρό χρονικό διάστημα σε περιοχή με μικρότερη διοχετευτική ικανότητα (σε σχέση με το προηγούμενο τμήμα της κοιλάδας), που συνεπάγεται άνοδος της στάθμης του νερού και κατάκλυση β) καθεστώς διάβρωσης για μήκος 500 μέτρων επί πρανών της κοιλάδας, αφού η κοίτη καταλαμβάνεται από μεγάλες στερεοπαροχές (βλ. Εικ 2-8 & 6-3). Μάλιστα το καθεστώς διάβρωσης επιβελώνεται όχι μόνο από την ενέργεια χειμάρρου, αλλά και από την παντελή έλλειψη των αποθέσεων των τεταρτογενών σχηματισμών.



Εικόνα 6-2: Διαφορετική οπτική γωνία της εικόνας 6-1. Διακρίνονται α) τα πρανή εκατέρωθεν της κοίτης με αυξημένη κλίση που διαδέχθηκαν ένα ηπιότερο ανάγλυφο β) η διαβρωτική ενέργεια του χειμάρρου, και το κατεστραμένο τμήμα οδοστρώματος γ) ο άξονας της *Εθνικής Οδού* και ο *άξονας της κοίτης ταυτίζονται* δ) ο αγωγός εκτροπής της κοίτης, φυσικά μη διαστασιολογημένος για πλημμυρικές απορροές με μεγάλη περίοδο επαναφοράς.

3) Συμβάλει δευτερεύων κλάδος του υδρογραφικού δικτύου, οπότε προστίθεται επιπλέον υδάτινη μάζα.

4) Ο άξονας της Παλαιάς Εθνικής Οδού ταυτίζεται με την κοίτη του ρέματος και τα



Εικόνα 6-1: 8^ο Χιλιόμετρο Π.Ε.Ο Ελευσίνας – Θηβών, 300 μέτρα κατάντη του σημείου που απεικονίζεται στην εικόνα 6-1. Διακρίνεται η στερεοπαροχή αλλά και η διαβρωτική Ενέργεια του Χειμάρρου. Στο βάθος η στερεοπαροχή του Σούρες, έχει εξισώσει το υψόμετρο του οδοστρώματος και το έχει κατακλύσει με φερτές ύλες.

πλημμυρικά νερά κατακλύζουν τον ασφαλτοτάπητα. Τέτοιες κατασκευαστικές ατέλειες ή καλύτερα τέτοια σημεία με εσφαλμένη χρήση γης, υπάρχουν σε αρκετά σημεία επί της Π.Ε.Ο. Ελευσίνας – Θηβών, κυρίως όταν το οδικό δίκτυο διασχίζει το ημιορεινό – ορεινό ανάγλυφο της περιοχής.

Στη μέθοδο όμως αυτή υπάρχουν και περιορισμοί. Πλη-

ρέστερη δηλαδή θα ήταν, εάν υπήρχε τρισδιάστατη ανάλυση της κοίτης, υπολογίζοντας και τη διατομή της σε πυκνά βήματα. Το αποτέλεσμα θα ήταν θαυμαστό, διότι θα εντοπιζόνταν όλα τα σημεία στα οποία η Ενέργεια του Χειμάρρου θα μεταβαλλόταν επί πλέον λόγω της μεταβολής των εγκάρσιων (ως προς τη φορά ροής) διαστάσεων της κοίτης. Σε αυτή τη περίπτωση θα μπορούσε να υπολογισθεί και ο όγκος των φερτών υλών που θα καταλάμβαναν τη διατομή του ποτάμιου συστήματος (στα σημεία που υπάρχει απόθεση) και ως εκ τούτου θα μπορούσε να προσδιοριστεί και η στάθμη των πλημμυρικών νερών για δοθέν πλημμυρικό επεισόδιο. Όμως σε αυτή τη περίπτωση υπεισέρχεται ο υποκειμενικός παράγοντας της μοντελοποίησης της κοίτης σε όλο το μήκος της, αφού είναι πρακτικά αδύνατο να μετρηθεί – αποτυπωθεί σε πυκνά βήματα.

Έτσι οδηγούμαστε στο συμπέρασμα, ότι η μεθοδολογία όπως περιγράφηκε και εφαρμόστηκε ανωτέρω, οδηγεί σε ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά την ανάδειξη περιοχών επιρρεπών σε πλημμυρικά φαινόμενα με φόντο τη χωρική ανάλυση του υδρογραφικού δικτύου και κατ' επέκταση στην ανάδειξη των απαραίτητων μελετών (γεωμορφολογικών, γεωλογικών, υδραυλικών κ.α.) που πρέπει να εκπονηθούν, για την διερεύνηση τυχόν δυσμενών παραγόντων, που είναι δυνατόν να ενισχύσουν τον πλημμυρικό κίνδυνο στις θέσεις αυτές.

6.5. Βιβλιογραφία

- ArcGIS Desktop Help. ESRI ArcGIS Desktop 9.2, Copyright 1999 – 2000
- Arc Hydro Help. Arc Hydro for ArcGIS 9 (version 1.1 Final, July, 21st 2005)
- ENGMAN, E. T. (1986). «Roughness Coefficients for Routing Surface Runoff». *J. Irrig. Drainage Eng.* 112(1):39-53.
- GOLDEN L., SPRINGER G., (2006) «Channel Geometry, Median Grain Size, and Stream Power in Small Mountain Streams» *Geomorphology Vol 78 p64–76*
- GRAY, D. M. (1973). *Handbook on the Principles of Hydrology*. Syosset, N.Y.: Water Information Center, Inc.
- HODGKINS G., HEBSON C., LOMBARD P., MANN A. «Comparison of Peak-Flow Estimation Methods for Small Drainage Basins in Maine» *Scientific Investigations Report 2007–5170 U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey*
- JORDAN D., FONSTAD M., (2005) «Two Dimensional Mapping of River Bathymetry and Power using Aerial Photography and GIS on the Brazos River, Texas» *Geocarto International, Vol. 20, No. 3, September 2005*
- KNIGHTON, D., (1999): «Downstream Variation in Stream Power». *Geomorphology* 29, 293-306.
- LAWLER, M., (1995), «The Impact of Scale on the Processes of Channel-Side Sediment Supply: a Conceptual Model. In: Osterkamp, W.R. (Ed.), *Effects of Scale on Interpretation and Management of Sediment and Water Quality*». International Association of Hydrological Sciences Publication No. 226. IAHS Press, Wallingford, Oxfordshire, UK, pp. 175-184.
- LEECE, A., (1997), «Nonlinear Downstream Changes in Stream Power on Wisconsin's Blue River». *Annals of the American Association of Geographers* 87, 471-486.
- LI Z. & ZHANG J., (2001). «Calculation of Field Manning's Roughness Coefficient», *Agricultural Water Management* 49: 153-161
- MAGILLIGAN, J., (1992), «Thresholds and the Spatial Variability of Flood Power During Extreme Floods». *Geomorphology* 5, 373-390.
- Marathon Data Systems, 2002. «Training manual ArcGIS», ESRI
- RHOADS, B. (1987). *Stream power terminology*. *Professional Geographer* 39, no. 2: 189-195.
- SAMBAZIOTIS, E. & FOUNTOULIS, I., (2007), «Estimation of Flash Flood Hazards in the Pidima-Arfara Area (messinia, Greece), Based of the study of instantaneous unitary Hydrographs, Longitudinal Profiles and stream power». *Proc. 11th International conference of Geological Society of Greece, Athens, 24-26 May 2007, Bull. Geol. Soc. Greece, XXXX/4, p. 1621-1633.*
- WESCHE T., HILL W., HASFURTHER V., (1983). «Two Approaches for Estimation of Manning's n in Mountain Streams», *Wyoming Water Research Center University of Wyoming, Laramie, Wyoming*
- WORTHY M., «High-Resolution Total Stream Power Estimates for the Cotter River, Namadgi National Park, Australian Capital Territory». Roach I C. ed. 2005. *Regolith 2005 – Ten Years of CRC LEME. CRC LEME, pp. 338-343.*
- ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ ΕΜΜ., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ Ι., (2007), «Εκτίμηση της Πλημμυρικής Επικινδυνότητας σε Τεκτονικά Ενεργές Περιοχές». Συμπόσιο Τεκτονικής Γεωλογίας προς τιμή του Ομότιμου Καθηγητή Ηλία Μαριολάκου της Επιτροπής Τεκτονικής της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 7 Δεκεμβρίου 2007, Τεύχος περιλήψεων σ. 25-26.
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η. (1996), «Οι Πλημμύρες της 27/01/1996 στο Θριάσιο Πεδίο και τα Αίτια που Προκάλεσαν τις Καταστροφές» - Πρόδρομη συνοπτική έκθεση, Οργανισμός Αθήνας.

ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ Ι., ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ Ε., ΣΑΜΠΑΖΙΩΤΗΣ Ε., ΚΑΠΟΥΡΑΝΗ Ε., ΚΑΡΑΓΚΙΟΖΗ Ε. (2007) «Στρατηγικός Σχεδιασμός Αντιπλημμυρικής Προστασίας Νομού Λακωνίας» - Τελική Έκθεση, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λακωνίας

ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ Ν., ΤΖΩΡΑΚΗ Ρ., ΣΤΑΜΑΤΗ Φ.,(2007) «Προκαταρκτική Ανάλυση Πλημμυρικών Φαινομένων Νομού Λακωνίας». Τεχνική έκθεση προς την επιτροπή «Στρατηγικού Σχεδιασμού Αντι-πλημμυρικής Προστασίας Νομού Λακωνίας» Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος Πολυτεχνείο Κρήτης-Χανιά

ΣΑΜΠΑΖΙΩΤΗΣ. Ε., (2005) «Έρευνα για την αντιμετώπιση πλημμυρών στην περιοχή μεταξύ Πηδήματος και Αρφαρών του νομού Μεσσηνίας και δυνατότητα εμπλουτισμού του υδροφόρου ορίζοντα που αναπτύσσεται στην περιοχή». Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τομέας δυναμικής τεκτονικής και εφαρμοσμένης Γεωλογίας, Αθήνα.

ΤΣΑΚΙΡΗΣ Γ. (1995) Υπεύθ. Έκδοσης: «Υδατικοί Πόροι : Ι Τεχνική Υδρολογία», Κεφ. 2 Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα

ΧΡΙΣΤΟΦΙΔΗΣ Χ. (2008) «Ανάπτυξη Μοντέλου Βροχής – Απορροής Σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)» μεταπτυχιακή εργασία ΔΜΠΣ «Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων» - ΕΜΠ

7. ΠΟΛΥΠΑΡΑΓΟΝΤΙΚΗ ΜΟΡΦΟΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΧΑΡΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ & ΤΡΩΤΟΤΗΤΑΣ

7.1. Γενικά περί μεθοδολογιών Εκτίμησης του Πλημμυρικού Κινδύνου

Η ανάγκη εκτίμησης της επικινδυνότητας¹ και τρωτότητας² μιας περιοχής όσον αφορά διάφορα φαινόμενα και ιδιαίτερα φυσικές καταστροφές (ρύπανση υπόγειου νερού, πλημμύρες, διάβρωση εδαφών, κτλ.) υπήρχε από πολύ παλιά, αλλά άρχισε να εφαρμόζεται σαν πρακτική στην δεκαετία του 60, με την ισχυροποίηση των υπολογιστών και την εμφάνιση εξειδικευμένου λογισμικού χαρτογραφίας (Dixon, 2005). Αρχικά εφαρμόστηκε για την εκτίμηση επικινδυνότητας ρύπανσης του υπόγειου νερού και μετέπειτα εξαπλώθηκε σε άλλες διεργασίες, με έμφαση τις φυσικές καταστροφές (σεισμούς, πλημμύρες, διάβρωση εδαφών, κτλ.).

Τα τελευταία χρόνια έχουν ενταθεί οι προσπάθειες διαχείρισης του πλημμυρικού κινδύνου τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ε.Ε, ενισχύοντας την ανάγκη της χωρικής απεικόνισης των δύο αυτών συνιστωσών³ του κινδύνου της πλημμύρας, με προϊόν την τελική παραγωγή σχετικών χαρτών. Η βασική αρχή στην οποία στηρίζεται η εκτίμηση της επικινδυνότητας και της τρωτότητας, είναι η ταξινόμηση των μοναδιαίων τμημάτων της υπό μελέτη περιοχής, σε κατηγορίες ως προς την εξεταζόμενη παράμετρο (πολύ υψηλή, υψηλή, μέτρια, χαμηλή και πολύ χαμηλή). Η ταξινόμηση αυτή γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες που διαμορφώνουν και επηρεάζουν την διεργασία που αποτιμάται, δίδοντας σχετικούς συντελεστές βαρύτητας σε αυτούς. Η συγκεκριμένη διαδικασία πραγματοποιείται συνήθως σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), από όπου παράγονται θεματικοί χάρτες για κάθε μια παράμετρο που εξετάζεται. Η αλγεβρική συνένωση των θεματικών χαρτών και η κατάλληλη κατηγοριοποίηση τιμών βαρύτητας δίδει τον χάρτη επικινδυνότητας ή τρωτότητας για την εξεταζόμενη διεργασία. Οι σύγχρονες επιστημονικές, διαχειριστικές αλλά και νομοθετικές πρακτικές επιβάλλουν την εκτίμηση επικινδυνότητας & τρωτότητας, σαν μια σημαντική προσέγγιση για την αποτελεσματικότερη διαχείριση και προστασία του ανθρωπογενούς και του φυσικού περιβάλλοντος.

Η προσπάθεια του χωρικού προσδιορισμού της πλημμυρικής επικινδυνότητας και τρωτότητας, έχει συναντήσει αρκετές δυσκολίες τόσο στην χαρτογράφησή της όντας φυσική παράμετρος, όσο και στην επιλογή της κατάλληλης μεθοδολογίας. Θα πρέπει δηλαδή να υπάρχει ένα φυσικό μέγεθος, που να περιγράφει τα ζητούμενα αντικειμενικά (τουλάχιστον ως προς το σκέλος της φυσικής διεργασίας) και θα αποτυπώνεται σε χάρτη, με απώτερο σκοπό την κατάδειξη συγκεκριμένων ε-

¹ Επικινδυνότητα ορίζεται ως, η πιθανότητα εκδήλωσης του φαινομένου μέσα σε μία καθορισμένη χρονική περίοδο και δεδομένη περιοχή.

² Τρωτότητα ορίζεται ως, το σύνολο των παραγόντων που επιτρέπουν σε ένα φαινόμενο να προκαλέσει μία καταστροφή.

³ Τέσσερις είναι οι συνιστώσες του κινδύνου από ένα φυσικό φαινόμενο: α) η επικινδυνότητα, β) η τρωτότητα, γ) η εκθεσιμότητα (ως το σύνολο των στοιχείων που είναι εκτεθειμένα σε κίνδυνο μερικής ή ολικής απώλειας), δ) η απόσταση (ως η θέση της εκθεσιμότητας, ως προς την εξεταζόμενη επικινδυνότητα).

πιρρεπών περιοχών. Είναι γεγονός ότι η μελέτη των δύο αυτών συνιστωσών³ του κινδύνου πάνω στο υπάρχον υδρογραφικό δίκτυο, εξαρτάται κατά πολύ από την κλίμακα του χάρτη που χρησιμοποιείται. Όσο πιο λεπτομερής είναι η κλίμακα τόσο περισσότεροι κλάδοι απεικονίζονται, σε βαθμό που να θεωρείται ότι το υδρογραφικό δίκτυο (που χαρτογραφικά αποτελείται από μονοδιάστατες γραμμές) τείνει να καλύψει όλη την επιφάνεια του αναγλύφου. Αυτό πρακτικά σημαίνει, ότι κάθε σημείο του αναγλύφου μπορεί να θεωρείται επικίνδυνο για πλημμύρα, ως σημείο συγκέντρωσης νερού. Θεωρώντας λοιπόν εφικτή την αναγωγή ποσοτικών στοιχείων στην πλήρη έκταση μίας περιοχής, είναι δυνατή η απεικόνιση της πλημμυρικής επικινδυνότητας σε κάθε σημείο της υπό μελέτη περιοχής.

Στο κεφ.5 μελετήθηκε η ενέργεια χειμάρρου (stream power) στη λεκάνη του Σούρες, λαμβάνοντας υπόψη παραμέτρους όπως η ενεργός κλίση & η παροχή σε κάθε σημείο επί της κοίτης. Αναλύονται δηλαδή υδραυλικές παράμετροι της κοίτης, (οι οποίες μπορούν να εμπλουτιστούν με διατομές και άλλα χαρακτηριστικά), σε συνδυασμό με τη συγκέντρωση (συσσώρευση) του νερού σε κάθε σημείο που αλλάζει η ενεργός κλίση. Αν και περιέχεται η χωρική πληροφορία με τη συσσώρευση ροής, ωστόσο στον υπολογισμό της παροχής λαμβάνεται υπόψη η ενεργός βροχόπτωση, που αποτελεί «εξωγενή» παράγοντα (προερχόμενο από την ατμόσφαιρα), ως προς την λεκάνη που ανήκει στη λιθόσφαιρα. Εν το μεταξύ ο υπολογισμός της ενεργούς βροχόπτωσης δηλ. το ποσοστό της βροχής το οποίο τελικά θα απορρεύσει, υπολογίζεται με διάφορες μεθόδους, στις οποίες υπεισέρχεται ο υποκειμενικός παράγοντας, αφού για το απορρέον κλάσμα βροχής κυρίαρχο ρόλο παίζουν η γεωλογία, η δασοκάλυψη (και γενικά οι χρήσεις γης), το ποσοστό της περιβάλλουσας υγρασίας κ.α.

Η προσπάθεια σε αυτό το κεφάλαιο εστιάζεται, στη διερεύνηση μόνο των «ενδογενών» παραγόντων που επηρεάζουν μια πλημμύρα και αφορούν τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής οποιασδήποτε τάξης, απομονώνοντας τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα, που προβληματίζουν κυρίως ως προς τη χρονική τους εμφάνιση⁴. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει τη χρήση μορφομετρικών στοιχείων του αναγλύφου, σε περιβάλλον GIS για τον υπολογισμό της ενδογενούς πλημμυρικής επικινδυνότητας ως φυσικού μεγέθους, σαν γενική τάση κατανεμημένη στη περιοχή έρευνας, εν αντιθέσει με τη ενέργεια του χειμάρρου, που εκφράζει μεν το ίδιο, άλλα σε γραμμική απεικόνιση και μάλιστα με μονάδες ισχύος.

7.2. Θεωρητική Προσέγγιση της Πολυπαραγοντικής Μορφομετρικής Ανάλυσης

7.2.1. Μετατροπή της Δυναμικής Ενέργειας σε Κινητική

Το φυσικό φαινόμενο της βροχόπτωσης, μπορεί να περιγραφεί ως η μετα-

⁴ Η συμπεριφορά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων σε σχέση με το χρόνο χαρακτηρίζεται: α) Τυχαία αλλά σύνθετη β) Κανονικοί κύκλοι στην κλίμακα των εποχών του έτους (εποχιακή διακύμανση) γ) Τυχαίες διακυμάνσεις (ακανόνιστοι κύκλοι) σε όλες τις χρονικές κλίμακες δ) Χρονική και χωρική εξάρτηση (Δ. Λέκκας Σημειώσεις Θαλάσσιας Γεωλογίας 2005)

κίνηση μιας μάζας (ενεργός βροχόπτωση) από το σημείο που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης, μέχρι το επίπεδο βάσης. Το γεγονός αυτό, είναι μέρος της φυσικής διεργασίας της μεταφοράς και απόθεσης του προϊόντος της αποσάθρωσης. Η μεταφορά και η απόθεση εξαρτώνται θεμελιωδώς από την ενέργεια του νερού της βροχόπτωσης και την κατανάλωσή της κατά τη διαδρομή του από τα ανάντη προς τα κατόντη. Το νερό της βροχής, από τη στιγμή της πρόσπτωσης του στη γήινη επιφάνεια, έχει ήδη μια συγκεκριμένη ποσότητα δυναμικής ενέργειας, σε σχέση με οποιοδήποτε κατόντη σημείο. Αν θεωρήσουμε μια οποιαδήποτε περιοχή συγκέντρωσης (λεκάνη), τότε αυτή η δυναμική ενέργεια εξαρτάται από τη διαφορά του υψόμετρου πρόσπτωσης της βροχής από το υψόμετρο του σημείου συγκέντρωσης, δηλαδή του στομίου της λεκάνης.

Κατά τη διαδρομή του νερού προς το σημείο συγκέντρωσης, η δυναμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική, και στο στόμιο της λεκάνης, έχει ολοκληρωθεί η μεταβολή της φύσης αυτού του ποσού ενέργειας. Είναι φανερό ότι για κάθε σημείο συγκέντρωσης, υπάρχουν δύο χαρακτηριστικά μεγέθη που περιγράφουν αυτή την ενεργειακή μεταβολή α) το συνολικό ποσό της ενέργειας ΔE που μετατρέπεται από δυναμική σε κινητική, και β) ο χρόνος Δt μέσα στον οποίο γίνεται αυτή η μετατροπή.

Το ηλίκο $\Delta E/\Delta t$ που προκύπτει, είναι μοναδικό για κάθε σημείο της μορφολογίας, για μια δεδομένη μάζα βροχόπτωσης. Ο υπολογισμός λοιπόν, της ποσότητας αυτής για κάθε σημείο της περιοχής, θα έδινε ένα αντικειμενικό μέτρο του ρυθμού με τον οποίο η δυναμική ενέργεια της βροχόπτωσης «εκτονώνεται» μέσω της κίνησης.

7.2.2. Η κρίσιμη παράμετρος της μορφολογικής κλίσης – Μεταβολή της ορμής του νερού κατά μήκος της διαδρομής του.

Ο παραπάνω υπολογισμός παρέχει ένα μέτρο ισχύος της αποστραγγιστικής ικανότητας των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου, η οποία ικανότητα μπορεί να συγκριθεί μεταξύ περιοχών, χωρίς όμως αυτό να αποτελεί μέτρο της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Το γεγονός ότι ένα σημείο του αναγλύφου παρουσιάζει υψηλό ρυθμό μεταβολής της ενέργειας από δυναμική σε κινητική από ένα άλλο, δεν σημαίνει απαραίτητα ότι εκεί θα εκδηλωθεί πλημμύρα. Το αν η ποσότητα του νερού που αποστραγγίζεται θα υπερβεί σε κάποιο σημείο την ικανότητα παροχέτευσης μιας κοίτης, εξαρτάται πρωτίστως από την ίδια την ποσότητα του νερού. Από ποιον φυσικό παράγοντα εξαρτάται όμως το σημείο στο οποίο θα γίνει η υπέρβαση;

Το ότι οι πλημμύρες εκδηλώνονται σε συγκεκριμένες περιοχές, δείχνει ότι αυτές δεν είναι τυχαίες. Μάλιστα είναι αποτυπωμένες στη γεωλογία και τη γεωμορφολογία με τις χαρακτηριστικές γεωμορφές των αναβαθμίδων και των ριπιδίων. Η ανύψωση της στάθμης του νερού σε κάποιο σημείο, σημαίνει ότι αυξάνεται η υδάτινη μάζα που διέρχεται σε συγκεκριμένο χρόνο από τη συγκεκριμένη διατομή. Στην πραγματικότητα, κατά την πορεία του νερού από τις υψηλές προς τις χαμηλές περιοχές, συμβαίνει μια κρίσιμη μεταβολή, που δεν είναι άλλη από τη μεταβολή της

κλίσης της μορφολογίας. Εκεί δηλαδή, που αλλάζουν απότομα οι ορεινές κλίσεις και ξεκινούν οι πεδιάδες, το νερό φτάνει με μεγάλες ταχύτητες, συναντά σημαντικές αντιστάσεις λόγω μορφολογίας και έτσι μειώνεται απότομα η ταχύτητά του και αποθηκεύεται επιφανειακά.

Αν και η τραχύτητα (συντελεστής τριβής) του εδάφους μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στη συσσώρευση της βροχής, ωστόσο η στάθμη της υδάτινης μάζας αυξάνεται όσο μειώνεται η κλίση της μορφολογίας. Εφόσον λοιπόν το πλημμυρικό φαινόμενο εκδηλώνεται εκεί που συνδυάζεται ο υψηλός ρυθμός εκτόνωσης της ενέργειας του νερού της βροχόπτωσης με τις ευνοϊκές μορφολογικές συνθήκες, τότε ένα μέγεθος που περιγράφει αντικειμενικά την πλημμυρική επικινδυνότητα, δίνεται ουσιαστικά από τη σχέση:

$$\Delta E / (\eta \mu \varphi * \Delta t)$$

Όπου ΔE = συνολικό ποσό ενέργειας
 φ = γωνία κλίσης εδάφους
 Δt = χρόνος μεταβολής

7.3. Πρακτική εφαρμογή της μεθόδου & εξαγωγή χαρτών κινδύνου – τρωτότητας στη λεκάνη του χειμάρρου Σούρες

7.3.1. Παραγωγή χάρτη πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης.

Για τον υπολογισμό της ποσότητας $\Delta E / (\eta \mu \varphi * \Delta t)$ επιλέγονται όλα τα στόμια όλων των λεκανών κάθε τάξης, ως βάση των υπολογισμών (βλ. Κεφ.5.3), εφόσον όπως προαναφέρθηκε οι τιμές $\Delta E / \Delta t$ είναι μοναδικές για κάθε σημείο της επιφάνειας. Σε κάθε στόμιο λεκάνης δηλαδή, εκτελούνται οι υπολογισμοί ως προς ολόκληρη την ανάντη λεκάνη, ανεξάρτητα με τις υπολεκάνες που περιέχονται σ' αυτήν (Μαριολάκος Η., Φουντούλης Ι., Ανδρεαδάκης Εμμ., Ζαμπαζιώτης Ε., Καπουράνη Ε., Καραγκιόζη Ε. - 2007). Είναι προφανές ότι όσο πιο λεπτομερές είναι το αρχικό τοπογραφικό υπόβαθρο που χρησιμοποιείται καθώς και όσο μικρότερης τάξης (αν είναι δυνατόν και 1ης) λεκάνης χρησιμοποιούνται στην ανάλυση, τόσο πιο ακριβείς είναι οι υπολογισμοί. Αυτή η προσέγγιση έχει το πλεονέκτημα, να μην αγνοεί μεγάλες μεταβολές μεταξύ περιοχών που βρίσκονται σε μια μεγαλύτερης τάξης λεκάνη, για τους λόγους της υψηλής διακύμανσης της ενέργειας του αναγλύφου που προαναφέρθηκε.

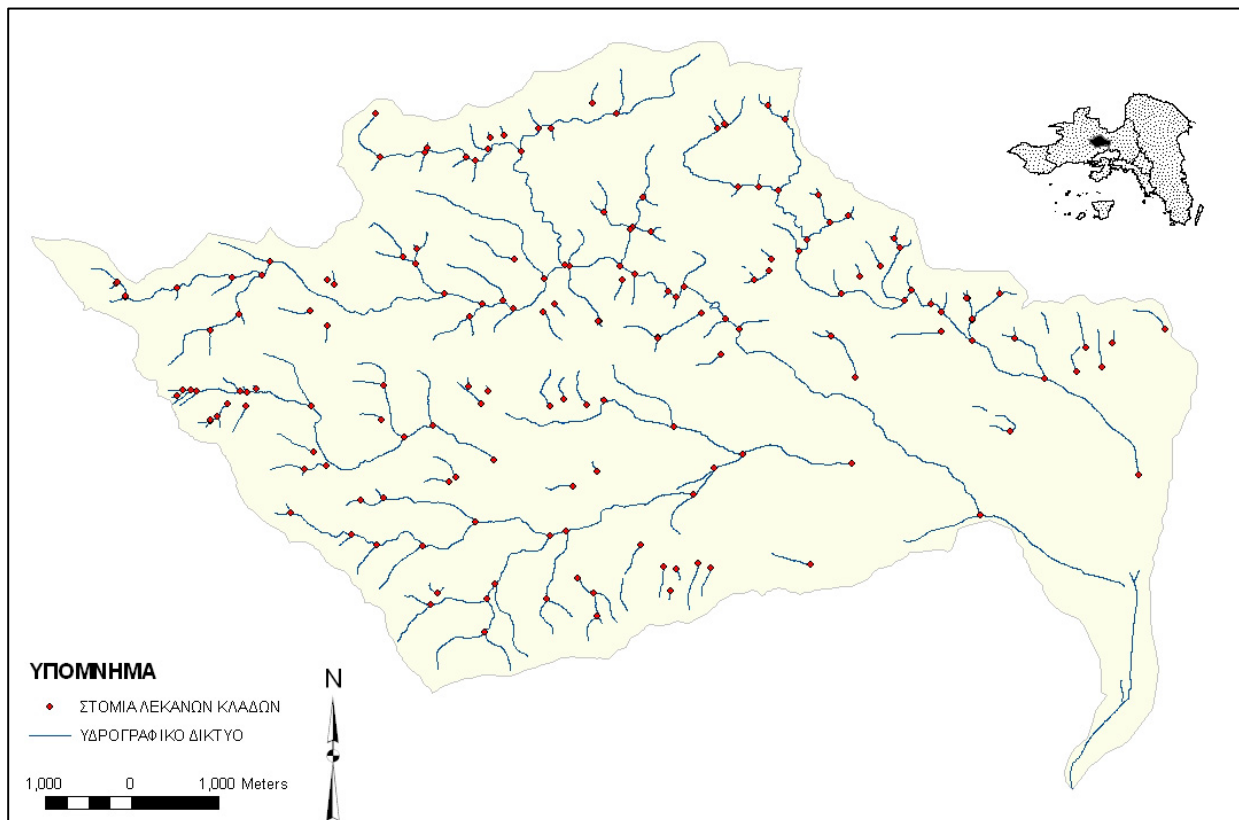
Ο ρυθμός με τον οποίο εκτονώνεται η ενέργεια αυτή στο στόμιο της λεκάνης, είναι ανάλογος του ποσού της δυναμικής ενέργειας και αντιστρόφως ανάλογος του χρόνου απόκρισης της λεκάνης (είτε εκφράζεται ως χρόνος συγκέντρωσης των υδάτων είτε ως χρόνος διαδρομής ροής). Στην περίπτωση αυτή το μέτρο του ρυθμού εκτόνωσης της ενέργειας στο στόμιο κάθε λεκάνης, ($\Delta E / \Delta t$), αυξάνεται τουλάχιστον ανάλογα με τα παρακάτω μεγέθη

Έκταση λεκάνης
Μέσο υψόμετρο λεκάνης
Μέση κλίση λεκάνης
Ολικό ανάγλυφο

Για να μεγιστοποιηθούν οι διαφοροποιήσεις μεταξύ των στομιών των λεκανών, αυτοί οι παράγοντες ενσωματώθηκαν σε ένα γινόμενο, λειτουργώντας ως «ενισχυτές» ο καθένας για το σύνολο. Το γινόμενο αυτό δεν αποτελεί το μέτρο του ρυθμού εκτόνωσης της ενέργειας στο στόμιο κάθε λεκάνης, αποτελεί όμως ένα πολύ καλά καθορισμένο ποσοτικό μέτρο σύγκρισης μεταξύ τους.

Αυτό το γινόμενο εφαρμόστηκε ως τιμή στις θέσεις των στομιών, για να δημιουργηθεί ένας χάρτης χωρικής κατανομής αυτού του μεγέθους του «ενδογενούς πλημμυρικού κινδύνου» της εξεταζόμενης λεκάνης (Ανδρεαδάκης Εμμ., Φουντούλης Ι.,- 2007).

Έτσι σε συνέχεια του Κεφαλαίου 5 και μετά τον καθορισμό των υπολεκανών των 1ης 2ης 3ης 4ης και 5ης τάξης κλάδων, προκύπτει ένα σημειακό θεματικό αρχείο, το οποίο απεικονίζει τα στόμια όλων των λεκανών με τη τιμή του γινομένου αυτού.

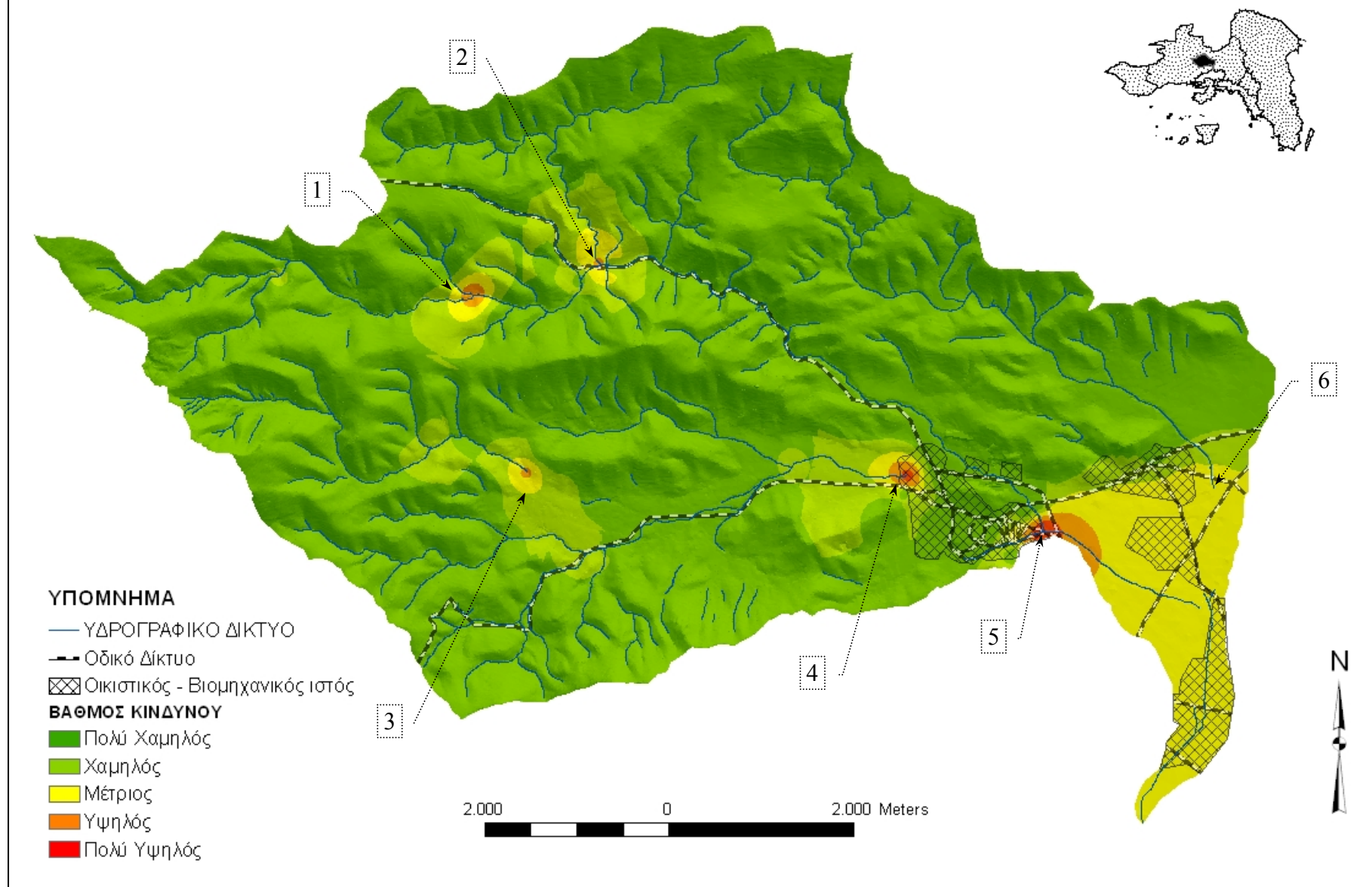


Χάρτης 7-1: Σημειακό θεματικό αρχείο της λεκάνης του χειμάρρου Σούρες, που απεικονίζει τα στόμια όλων των λεκανών, βάσει των οποίων εφαρμόζεται η πολυπαραγοντική μορφομετρική ανάλυση.

Στη συνέχεια με την επιλογή *Interpolate to Raster* της εργαλειοθήκης *3D Analyst*, εφαρμόζεται η *IDW (Inverse Distance Weighed)* παρεμβολή σημείων. Το αποτέλεσμα είναι ένα καναβικό αρχείο, στο οποίο κάθε κύτταρο περιλαμβάνει την τιμή της εξεταζόμενης παραμέτρου.

Με την εντολή *reclassify* της εργαλειοθήκης *3D Analyst*, δημιουργείται ένα καινούργιο καναβικό αρχείο, με 5 κατηγορίες της πλημμυρικής επικινδυνότητας ως (πολύ υψηλή, υψηλή, μέτρια, χαμηλή και πολύ χαμηλή).

ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ



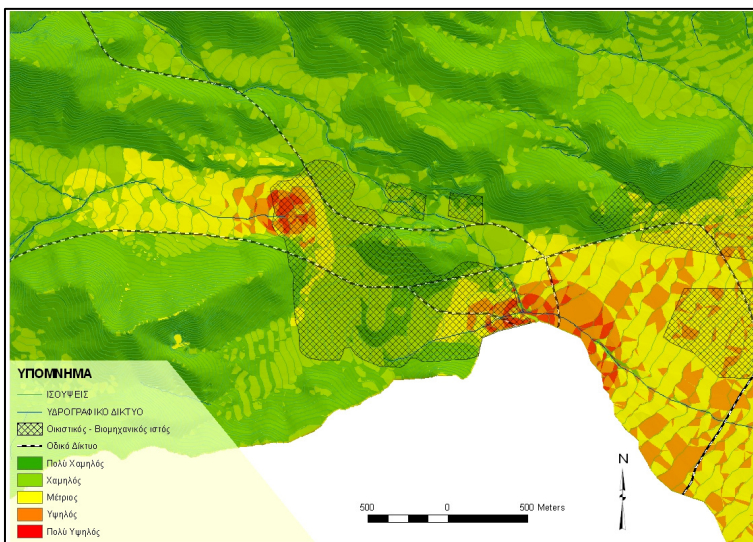
Χάρτης 7-2: Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης του χειμάρρου Σούρες, όπου αναδεικνύονται οι εν δυνάμει περιοχές, όπου μπορεί να δημιουργηθεί πλημμυρικό επεισόδιο, λαμβάνοντας υπ' όψη τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά όλων των λεκανών.

Για την ομαδοποίηση και την χρωματική απόδοση των 5 κατηγοριών, εφαρμόστηκε η μέθοδος των Φυσικών Ορίων Τιμών (*Natural Breaks*), επιτυγχάνοντας έτσι την ανάδειξη των φυσικών διαφορών μεταξύ των γινομένων των ενισχυτών (έκτασης λεκάνης, μέσο υψόμετρο, μέση κλίση, ολικό ανάγλυφο). Έτσι προκύπτει ο χάρτης πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης (χάρτης 7-2).

Αξιολογώντας τον εν λόγω χάρτη προκύπτουν 6 περιοχές ενδιαφέροντος, με μέτρια έως πολύ υψηλή επικινδυνότητα. Αν μπορούμε να ομαδοποιήσουμε περαιτέρω αυτές τις περιοχές, προκύπτει μία ομάδα που χαρακτηρίζεται από συμβολές κλάδων (περιοχές 1,2,5) και μία που χαρακτηρίζεται από «τυφλούς» κλάδους δηλαδή ασυνεχείς. Το ενδιαφέρον εστιάζεται στον καθορισμό της εξεταζόμενης παραμέτρου μεταξύ τους και την κατάταξη τους ως περισσότερο ή λιγότερο επικίνδυνες, σε σχέση προς την γειτονική περιοχή. Η περιοχή π.χ. 1 είναι πιο επικίνδυνη από την περιοχή 2, άλλα και οι δύο, λιγότερο επικίνδυνες από την περιοχή 5. Λίγο πολύ είναι αναμενόμενο, γιατί στη περιοχή 5 συμβάλλουν οι λεκάνες του Σούρες και της Αγίας Αικατερίνης. Η μεθοδολογία έρχεται να το επιβεβαιώσει αυτό και να τις αναδείξει. Ομοίως συμβαίνει και για τις περιοχές 3,4,6. Η περιοχή 3 (στόμιο τμήματος του υδρογραφικού δικτύου της Αγ. Αικατερίνης με εμβαδόν 4,6Km²), είναι εν δυνάμει πιο επικίνδυνη από το Μικρό Κατερίνι (περιοχή 6) αν και έχει μικρότερη έκταση λεκάνης (εμβαδόν Υ.Δ. Μικρού Κατερινιού = 8,46 Km²).

7.3.2. Παραγωγή χάρτη πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης - αναγλύφου.

Στη συνέχεια για να προσδιοριστούν καλύτερα οι περιοχές που φέρουν το μεγαλύτερο (με βάση πάντα



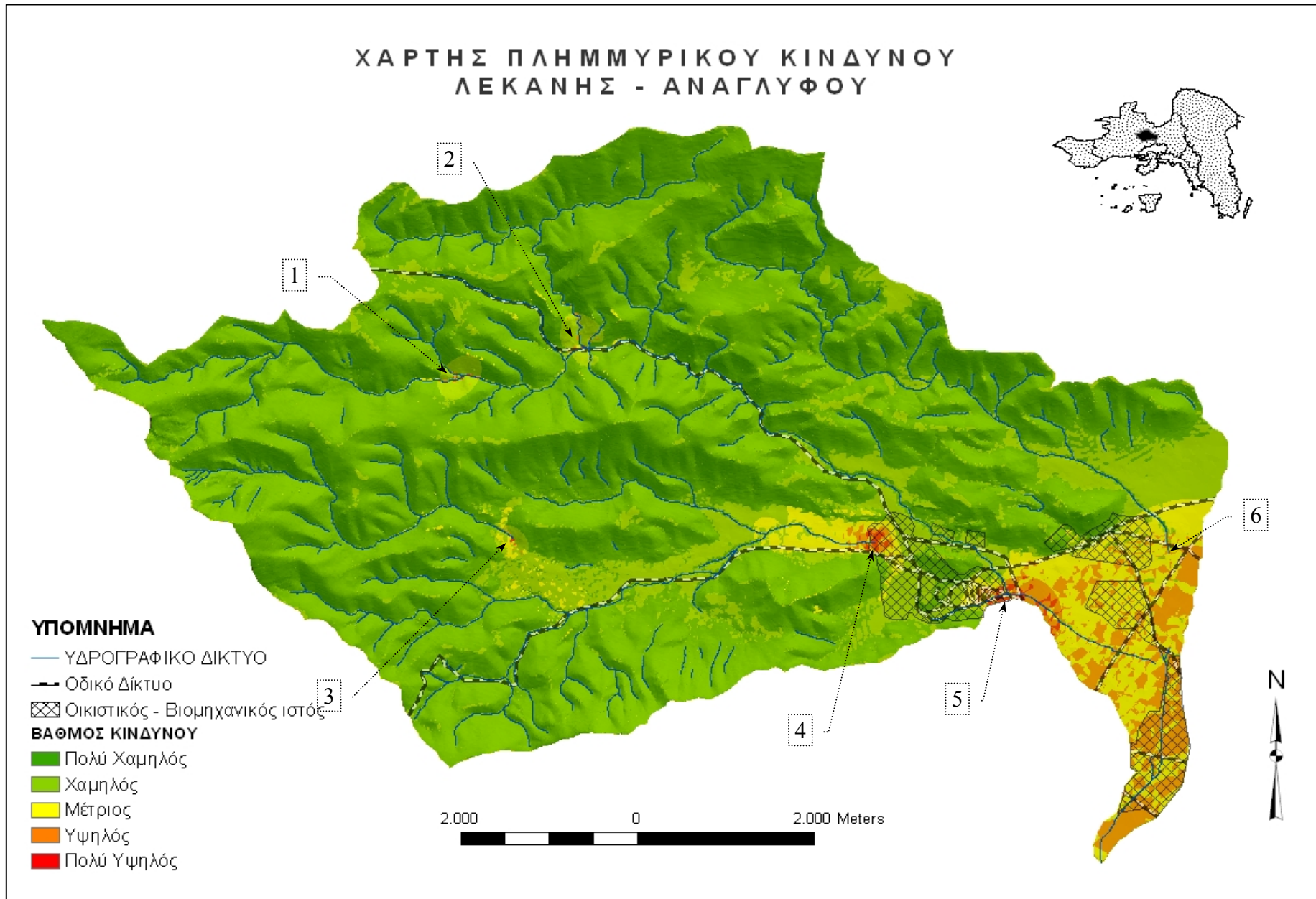
Χάρτης 7-3 Ο παραγόμενος χάρτης πλημμυρικής επικινδυνότητας έχει προσαρμοστεί στις τοπογραφικές κλίσεις. Χαρακτηριστική είναι η διαβάθμιση της επικινδυνότητας μέσα στον οικιστικό ιστό

τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους) κίνδυνο εκδήλωσης των πλημμυρών, ελήφθησαν υπόψη οι ίδιες οι μορφολογικές κλίσεις του αναγλύφου, με το σκεπτικό ότι η εκδήλωση των πλημμυρικών φαινομένων, ευνοείται στις περιοχές με πολύ μικρές μορφολογικές κλίσεις, και δεν ευνοείται στις υπόλοιπες. Έγινε συνεπώς, ένας επιπλέον υπολογισμός με στόχο να «σταθμιστεί» ο προηγούμενος χάρτης με βάση την

τιμή των μορφολογικών κλίσεων.

Θεωρώντας ότι σε περιοχές με κλίση πάνω από 8% δεν έχει νόημα η λεπτομερής ανάλυση, εφαρμόστηκε ένας επιπλέον παράγοντας ενίσχυσης του γινομένου

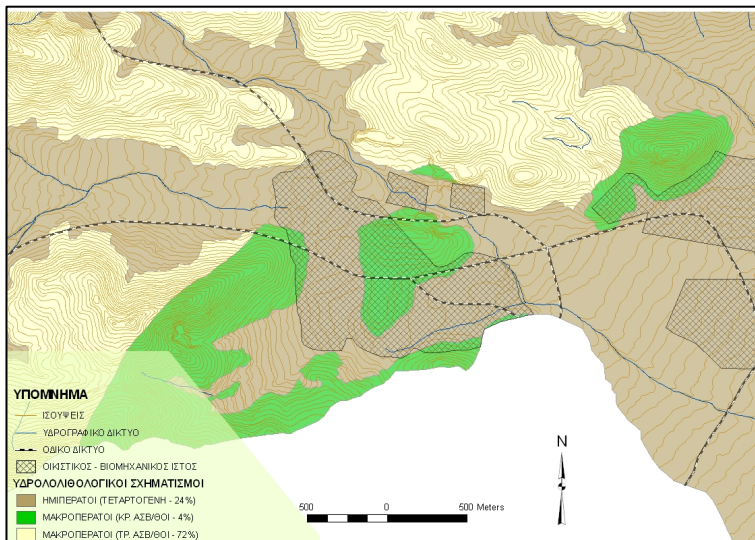
ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ - ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ



Χάρτης 7-4: Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης – αναγλύφου του χειμάρρου Σούρες, όπου αναδεικνύονται οι εν δυνάμει περιοχές, όπου μπορεί να δημιουργηθεί πλημμυρικό επεισόδιο, λαμβάνοντας υπ’ όψη τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά όλων των λεκανών, ενώ οι μορφολογικές κλίσεις του αναγλύφου, έχουν λειτουργήσει σαν σταθμιστές στους προηγούμενους παράγοντες.

των μορφομετρικών παραγόντων που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως. Ξεκινώντας από παράγοντα ενίσχυσης ίσο με μονάδα για τις περιοχές με κλίσεις πάνω από 8%, μέχρι τη τιμή 5 για τις περιοχές με κλίση 0-2%, προέκυψε ένα καναβικό αρχείο με 5 κατηγορίες κλίσεων, ο οποίος πολλαπλασιάστηκε με τον χάρτη πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης. Στο νέο χάρτη που προκύπτει (Χάρτης 7-3 πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης - αναγλύφου), η γενική μορφή της κατανομής είναι αρκετά παρόμοια, αλλά τόσο η σχετική αξιολόγηση ανάμεσα στις περιοχές, όσο και η πιθανότητα εκδήλωσης πλημμυρών είναι πιο κοντά στα πραγματικά δεδομένα. Αξιολογώντας τους χάρτες αυτούς προκύπτουν οι παρακάτω παρατηρήσεις: α) τα σημεία 1,2,3 έχουν υποβαθμιστεί κατά δύο τουλάχιστον επίπεδα επικινδυνότητας και αυτό διότι οι μορφολογικές κλίσεις εκατέρωθεν του ρέματος δεν επιτρέπουν τη συσσώρευση υδάτων.

β) Στα σημεία 4,5 που αφορούν την πόλη της Μάνδρας, ο βαθμός επικινδυνότητας έχει προσαρμοστεί στα δεδομένα των κλίσεων του αναγλύφου και αναδεικνύονται περιοχές, οι οποίες είναι επιρρεπείς στη συσσώρευση υδάτων στην περίπτωση πλεονάζοντος νερού. γ) Οι περιοχές μέτριας έως πολύ υψηλής πλημμυρικής επικινδυνότητας σχεδόν ταυτίζονται με τις περιοχές που εμφανίζονται οι Ολοκαινικοί σχηματισμοί, δηλαδή με τις περιοχές ενεργού απόθεσης κατά τα τελευταία 10000-12000 χρόνια.



Χάρτης 7-5: Υδρολιθολογικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της πόλης Μάνδρας. Οι ολοκαινικοί σχηματισμοί με χαμηλές τοπογραφικές κλίσεις, παίζουν σημαντικό ρόλο για τον κίνδυνο μιας περιοχής ως προς τις πλημμύρες.

7.3.3. Παραγωγή χάρτη τρωτότητας λεκάνης.

Ως γνωστόν οι χρήσεις γης διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην προστασία από πλημμύρες (πχ φυσική βλάστηση, δάση), καθώς και στην ενίσχυσή τους (πχ τσιμεντοποίηση λόγω οικιστικής ανάπτυξης - βλ. Κεφ2). Για αυτό το λόγο θεωρήθηκε σκόπιμο, να σταθμιστεί το προηγούμενο αποτέλεσμα (ο χάρτης πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης αναγλύφου), με ένα καναβικό αρχείο που θα περιλάμβανε τις χρήσεις γης, ώστε να προκύψει ο χάρτης τρωτότητας της λεκάνης απορροής. Όμως πιο μέγεθος είναι εκείνο που θα μπορούσε να παραμετροποιηθεί και να εισαχθεί στο καναβικό αρχείο που θα λειτουργήσει σαν σταθμιστής; Η απάντηση βρέθηκε στην εξίσωση κατά Manning περί χερσαίας ροής.

Χερσαία ή επιφανειακή ροή είναι η ροή που σχηματίζεται στην επιφάνεια του εδάφους, εκτός υδρογραφικού δικτύου. Ο υπολογισμός των ταχυτήτων της χερσαίας ροής γίνεται με τον συνδυασμό της μεθόδου κινηματικού κύματος και της εξίσωσης Manning. Κυρίαρχο ρόλο στην εξίσωση Manning έχει ο συντελεστής τραχύτητας n , που αντιπροσωπεύει την αντίσταση που συναντά το νερό σε κάθε είδους επιφάνεια απορροής.

Αναφορικά με τους συντελεστές τραχύτητας Manning (n), προκύπτουν βάση του κανόνα των χρήσεων γης της υπό μελέτη περιοχής. Ανάλογα με την κάθε χρήση, ορίστηκαν τιμές του συντελεστή Manning, αντλώντας ορισμένα δεδομένα από την βιβλιογραφία. Οι συντελεστές που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 7-1.

Κατηγορία	Συντελεστής Manning	Σχετική Αναλογία μεταξύ των συντελεστών	Συντελεστής βαρύτητας Raster
Οικιστικός ιστός	0,015	100	13
Καλλιεργήσιμες εκτάσεις	0,11	700	7
κωνοφόρα	0,2	1300	1

Πίνακας 7-1: Συντελεστές τραχύτητας κατά Manning της περιοχής μελέτης. Πηγές: Gray (1973), Novotny and Olem (1994), Engman (1986), Brater and King (1976) Mc Cuen 2004)

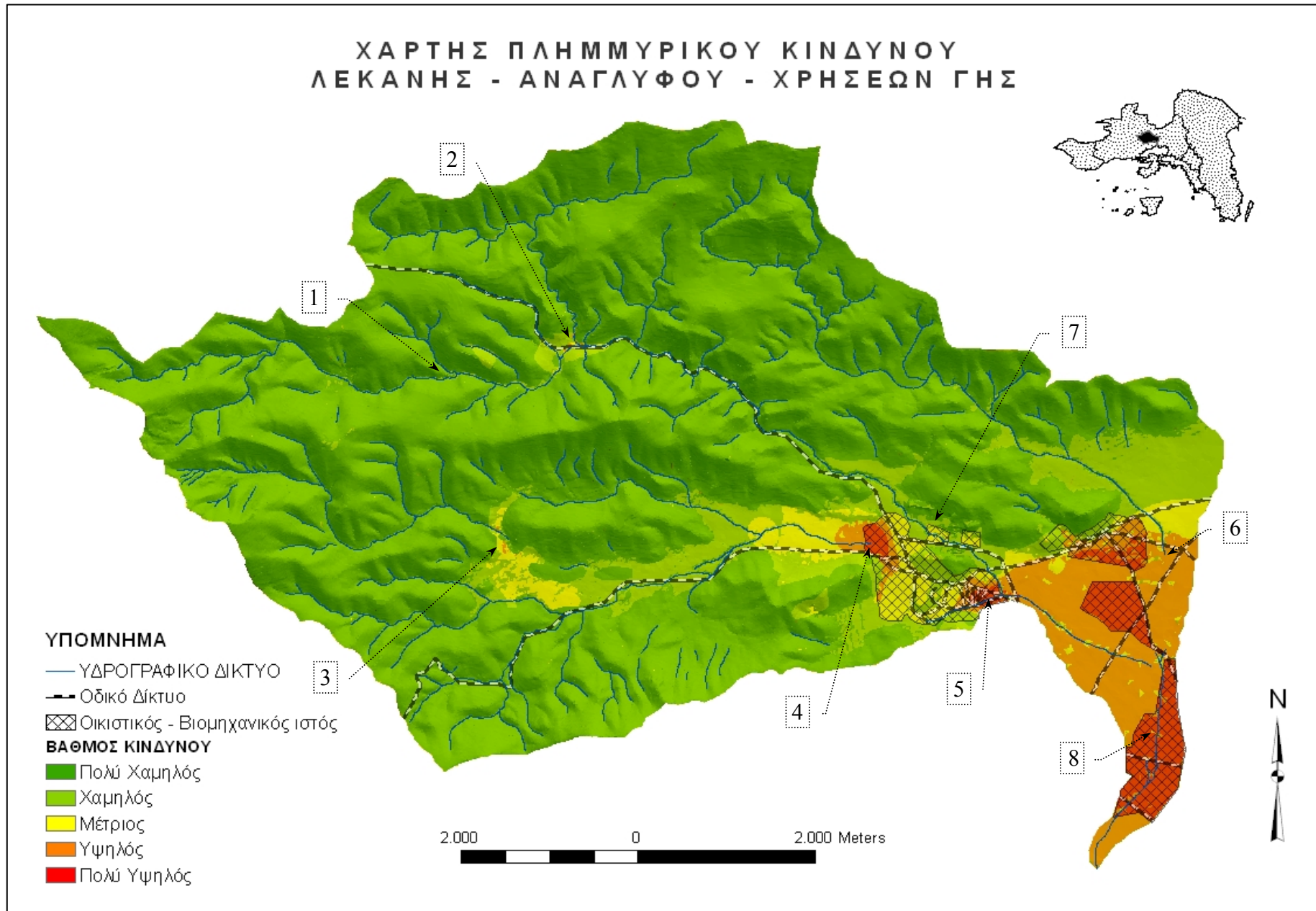
Με απλή αναλογία των τριών προκύπτει η σχετική αναλογία μεταξύ των συντελεστών τραχύτητας. Προκειμένου στη συνέχεια να μετατραπεί ο χάρτης χρήσης γης σε χάρτη τραχύτητας εδαφών, δόθηκαν στο καναβικό αρχείο ακέραιες τιμές, ξεκινώντας από παράγοντα ενίσχυσης ίσο με μονάδα για τις περιοχές με κάλυψη κωνοφόρων δένδρων που έχουν το μεγαλύτερο συντελεστή (άρα επιβραδύνουν τη χερσαία ροή) και λειτουργούν ευεργετικά στο χρόνο συρροής των υδάτων. Στη συνέχεια δόθηκε η ενδιάμεση τιμή 7 για τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις και η τιμή 13 για τον τσιμεντοποιημένο οικιστικό ιστό με την μικρότερη αντίσταση, άρα την μεγαλύτερη ταχύτητα χερσαίας ροής και κατ'επέκταση το μικρότερο χρόνο συγκέντρωσης των υδάτων, που επιδρούν ενισχυτικά για τις πλημμυρικές απορροές. Έτσι προέκυψε ένα καναβικό αρχείο με 3 κατηγορίες τραχύτητας, ο οποίος πολλαπλασιάστηκε με τον χάρτη πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης/αναγλύφου, και προέκυψε ο χάρτης πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης / αναγλύφου / χρήσεων γης ή τρωτότητας (χάρτης 7-6).

Αξιολογώντας τον παραγόμενο χάρτη και σχολιάζοντας τα προηγούμενα σημεία επικινδυνότητας προκύπτουν τα εξής:

α) Τα σημεία 1, 2 έχουν υποβαθμιστεί περισσότερο, λόγω της φύσης της χλωρίδας που προστατεύει την περιοχή.

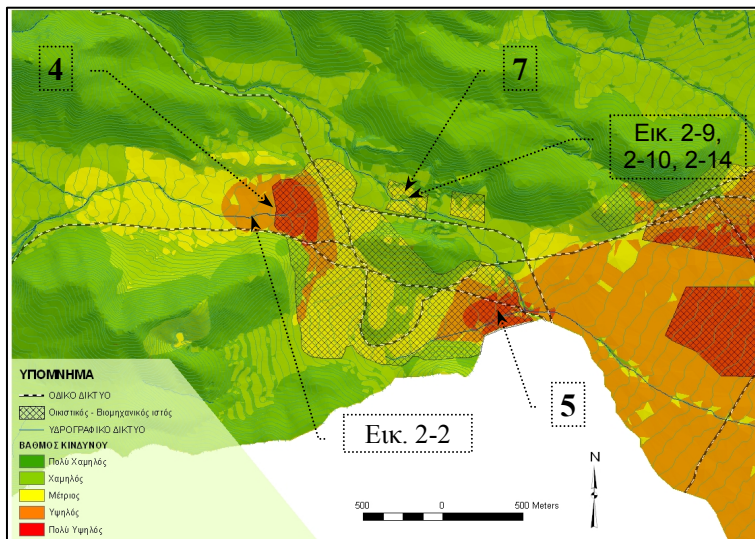
β) Το σημείο 3 έχει παραμείνει στον ίδιο βαθμό επικινδυνότητας και μάλιστα έχει αναδειχθεί η τρωτότητα στη κατάντη κοιλάδα.

ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΚΙΝΔΥΝΟΥ
ΛΕΚΑΝΗΣ - ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ - ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ



Χάρτης 7-6: Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης – αναγλύφου – χρήσεων γης ή τρωτότητας του χειμάρρου Σούρες. Αναδεικνύονται οι εν δυνάμει περιοχές, που μπορεί να δημιουργηθεί πλημμυρικό επεισόδιο, λαμβάνοντας υπ’ όψη α) τα μορφολογικά χαρακτηριστικά όλων των λεκανών, β) τις μορφολογικές κλίσεις του αναγλύφου, γ) την τραχύτητα όλων των επιφανειών (φυσικών & τεχνητών) της λεκάνης.

Ο κίνδυνος για ζημιές στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις στην εν λόγω περιοχή είναι υπαρκτός, διότι δεν υπάρχει κανάλι παροχέτευσης των νερών (βλ. κεφ 3.5 περί υδρολογικής συμπεριφοράς γεωλογικών σχηματισμών). Οπότε δύναται να προξενήσει ζημιές με διάχυτη ροή σε περίπτωση πλημμυρικών απορροών.



Χάρτης 7-7: Χάρτης πλημμυρικού κινδύνου λεκάνης – αναγλύφου – χρήσεων γης ή τρωτότητας πέριξ της πόλης Μάνδρας. Αναδεικνύεται το σημείο Νο7 επί της κοίτης του Σούρες, για το οποίο υπάρχουν φωτογραφικά ντοκουμέντα κατά την πλημμύρα της 27^{ης} Ιαν. 1996.

γ) Στα σημεία 4,5 που αφορούν την πόλη της Μάνδρας, αυξήθηκε ο κίνδυνος λόγω του οικιστικού ιστού. Είναι αξιοσημείωτη η διαβάθμιση της τρωτότητας μέσα στην πόλη, η οποία επιβεβαιώνεται με τις καταστροφές που σημειώθηκαν την 27^η Ιανουαρίου 1996 (βλ. Χαρτ. 7-7 & Εικ.2-2). Επιπροσθέτως στα ανάντη του σημείου 4, οι διαβαθμίσεις σε υψηλού και μέτριου κινδύνου ζώνες δεν τυγχάνουν καλύτερης επιβεβαίωσης από την ει-

κόνα 2-6, όπου είναι αποτυπωμένη η ενέργεια του χειμάρρου της Αγίας Αικατερίνης προξενώντας ζημιές σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις και αγροτικές κατοικίες.

δ) το σημείο 6 που αφορά το χειμάρρο του Μικρού Κατερινιού έχει αυξήσει το βαθμό κινδύνου σε υψηλό.

ε) Σύμφωνα με τις χρήσεις γης και τον παραγόμενο χάρτη τραχύτητας κατά Mapping, αναδεικνύεται ένα άλλο σημείο το Νο7. (βλ. Χάρτη. 7-7) το οποίο αποκτά μεσαίου βαθμό κίνδυνο. Η περιοχή που αφορά το σημείο 7, δεν είναι άλλη από την καταπατημένη κοίτη & ζώνη κατάκλισης του χειμάρρου Σούρες από τη βιομηχανία ΒΑΚΟΝΤΙΟΣ ΑΕΒΕ και το εργοτάξιο του δήμου Μάνδρας (κυρίως), οι ζημιές των οποίων έχουν καταγραφεί στις εικόνες 2-9, 2-10, 2-14. Να σημειωθεί ότι στην ανάδειξη του εν λόγω κινδύνου (και κατ επέκταση της τρωτότητας) στο σημείο 7, δεν έχουν συνυπολογισθεί οι παρεμβάσεις επί της κοίτης, όπως αυτές περιγράφονται αναλυτικά κατά την αναγνώριση του κινδύνου στο Κεφάλαιο 2. Αν επομένως κατασκευαστεί ένα άλλο καναβικό αρχείο με τέτοια λεπτομέρεια, είναι σίγουρο ότι σημεία σαν αυτά θα αναβαθμιστούν σε μεγαλύτερο βαθμό κινδύνου & τρωτότητας.

στ) Στο σημείο 8 (βλ. Χάρτη. 7-6) που αφορά την συνοικία Παπακώστα (του δήμου Μάνδρας), αυξήθηκε ο κίνδυνος λόγω του οικιστικού ιστού. Η αναβάθμιση της τρωτότητας στην ανώτερη κλίμακα, επιβεβαιώνεται με τις καταστροφές που σημειώθηκαν την 27^η Ιανουαρίου 1996 (βλ. Εικ.2-7).

7.4. Συμπεράσματα από την εφαρμογή της Πολυπαραγοντικής Μορφομετρικής Ανάλυσης της υπό μελέτης υδρολογικής λεκάνης.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ένας από τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής διατριβής είναι ο προσδιορισμός των περιοχών αυξημένου πλημμυρικού κινδύνου (Flood Hazard Map) και η τελική δημιουργία χαρτών αντίστοιχου θεματικού πεδίου (συμπεριλαμβανομένης και της τρωτότητας), που αφορούν τη λεκάνη του χειμάρρου Σούρες στη Δυτική Αττική. Η μέθοδος υπολογισμού του πλημμυρικού κινδύνου της περιοχής μελέτης που επιλέχθηκε, βασίζεται στη μεθοδολογία που αναπτύχθηκε σε προηγούμενες παραγράφους. Συγκεκριμένα η πλημμυρική επικινδυνότητα εκτιμήθηκε βάση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του αναγλύφου της περιοχής μελέτης και των υδρολογικών λεκανών απορροής, μη λαμβάνοντας υπόψη την βροχόπτωση που λαμβάνει χώρα στην περιοχή.

Κύρια στάδια της ακολουθούμενης μεθοδολογίας είναι αρχικά ο υπολογισμός της ενέργειας των λεκανών και μετέπειτα ο προσδιορισμός της πλημμυρικής επικινδυνότητας αυτών. Η υπολογισμένη ενέργεια των λεκανών αν και αφορά το σύνολο της επιφάνειας αυτών, αποδόθηκε στα στόμια τους, ως σημεία εξόδου της υδάτινης μάζας. Θεωρήθηκε λοιπόν το στόμιο κάθε λεκάνης ως το σημείο που η δυναμική ενέργεια του νερού που πέφτει σε κάθε σημείο της λεκάνης, έχει μετατραπεί σε κινητική και αντιμετωπίστηκε κάθε λεκάνη ως ενιαία οντότητα με ξεχωριστά χαρακτηριστικά.

Οι παραπάνω υπολογισμοί βασίστηκαν στην γνώση των βασικών παραμέτρων των υδρολογικών λεκανών απορροής ήτοι την έκταση, το μέσο υψόμετρο, την μέση κλίση και το ολικό ανάγλυφο των υδρολογικών λεκανών. Ο υπολογισμός των παραμέτρων αυτών δεν προέκυψε από την απλή χρήση των σχετικών εξισώσεων, αλλά από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής ενδιαφέροντος και την χωρική και ποσοτική επεξεργασία δευτερογενών δεδομένων, απαραίτητων στην διαδικασία υπολογισμού.

Έτσι παρήχθησαν οι χάρτες 7-2, 7-4, 7-6, στους οποίους αναδεικνύονται συγκεκριμένες τρωτές περιοχές που χρίζουν προστασίας. Αυτό σημαίνει ότι πριν εμφανιστεί ο κίνδυνος, οι θέσεις αυτές είναι οι πρώτες που θα μπορούσε κάποιος να εξετάσει και να επέμβει μηδενίζοντας τον κίνδυνο. Ο προσδιορισμός των επικίνδυνων περιοχών είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια, στους παραγόμενους χάρτες, εάν σταθμιστούν με ένα νέο καναβικό αρχείο που θα περιλαμβάνει επεμβάσεις επί της κοίτης, δηλαδή τιμές που θα αντιπροσωπεύουν τις διατομές της κοίτης, τις καταπατήσεις, τις μηχανικές διαβρώσεις λόγω καλλιεργειών ή τεχνικών έργων κ.α. Αυτό όμως με τη σειρά του προϋποθέτει λεπτομερής καταγραφή και οριοθέτηση αυτών των παρεμβάσεων, με χαρτογράφηση μικρής κλίμακας και λαμβάνοντας υπόψη τις υπάρχουσες κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Παράλληλα όμως με τα πλεονεκτήματα της μεθόδου θα πρέπει να αναφέρουμε και μία βασική αδυναμία της. Αδυναμία αποτελεί (προς το παρόν) ο έλεγχος της διαβάθμιση του κινδύνου σε πεδινές περιοχές, αφού παρατηρείται υψηλός

βαθμός κινδύνου και τρωτότητας πέραν της ζώνης κατάκλυσης, κάτι που δεν υφίσταται. Το αίτιο του προβλήματος είναι η μη ικανοποιητική προσομοίωση του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου στις πεδινές περιοχές (βλ. Κεφ5). Αυτό το πρόβλημα μπορεί (ίσως) να αντιμετωπιστεί είτε με λεπτομερέστερο Ψ.Μ.Ε. που θα προκύψει από ψηφιοποίηση μικρότερης από 1:5000 κλίμακας χάρτη είτε με την εφαρμογή κάποιου φίλτρου, που θα αποκλείει τις πεδινές περιοχές εκτός ζώνης κατάκλυσης. Αντιθέτως δουλεύει ικανοποιητικά σε κλειστές λεκάνες σαν αυτή του χειμάρρου της Αγίας Αικατερίνης, αλλά και σε όλα τα στόμια των υπολεκανών που αποστραγγίζουν ημιορεινές και ορεινές περιοχές (δηλ. έντονο ανάγλυφο).

Εν κατακλείδι, από την εφαρμογή της εν λόγω μεθοδολογίας, προέκυψε ότι η μεθοδολογία οδηγεί σε ασφαλή συμπεράσματα, όσον αφορά την ανάδειξη περιοχών επιρρεπών σε πλημμυρικά φαινόμενα. Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων της μεθόδου πραγματοποιήθηκε με το καταγεγραμμένο πλημμυρικό ιστορικό της λεκάνης (συγκεκριμένα με το πλημμυρικό επεισόδιο της 27^{ης} Ιανουαρίου 1996, βλ § 7.3.3), όπου επιβεβαιώνονται οι θέσεις αυτές, ενώ παράλληλα δεν προκύπτουν άλλες λανθασμένες. Επιπροσθέτως αποδείχθηκε, ότι αποτελεί ιδιαίτερα ταχεία ως μεθοδολογία, και παραπάνω από αξιόπιστη για το διαθέσιμο χρόνο και την κλίμακα εφαρμογής. Ένα πλεονέκτημα πολύ βασικό στις λήψεις αποφάσεων κατά τη σύνταξη στρατηγικών σχεδιασμών.

7.5. Βιβλιογραφία

- ARCEMENT G.J., JR., SCHNEIDER V.R., USGS. «Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains», United States Geological Survey Water – supply Paper 2339, Metric Version
- ArcGIS Desktop Help. ESRI ArcGIS Desktop 9.2, Copyright 1999 – 2000
- Arc Hydro Help. Arc Hydro for ArcGIS 9 (version 1.1 Final, July, 21st 2005)
- MAGILLIGAN, F.J., (1992), «Thresholds and the spatial variability of flood power during extreme floods». *Geomorphology* 5, 373-390.
- MAIDMENT, D. (2002). «ArcHydro: GIS for water resources». Redlands: ESRI Press.
- WESCHE T., HILL W. & HASFURTHER V., (1983). «Two Approaches for Estimation of Manning's n in Mountain Streams», Wyoming Water Research Center University of Wyoming, Laramie, Wyoming
- ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ ΕΜΜ., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ Ι., (2007), «Εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας σε τεκτονικά ενεργές περιοχές». Συμπόσιο Τεκτονικής Γεωλογίας προς τιμή του Ομότιμου Καθηγητή Ηλία Μαριολάκου της Επιτροπής Τεκτονικής της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας, 7 Δεκεμβρίου 2007, Τεύχος περιλήψεων σ. 25-26.
- ΚΑΡΑΓΚΙΟΖΗ Ε. (2008) «Ανάλυση Και Εκτίμηση Φυσικών Κινδύνων στο Ν. Λακωνίας Με Την Χρήση Γ.Σ.Π Μέσω Διαδικτύου» Αθήνα - Μεταπτυχιακή εργασία - βιβλιοθήκη Διδρυματικού Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών "Πρόληψη και Διαχείριση Φυσικών Καταστροφών"
- ΛΕΚΚΑΣ Δ. (2005) Σημειώσεις Θαλάσσιας Γεωλογίας
- ΛΕΚΚΑΣ Ε. (2000), «Φυσικές & Τεχνολογικές Καταστροφές» Κεφ. 7 Εκδόσεις Access, Αθήνα
- ΜΑΡΙΟΛΑΚΟΣ Η., ΦΟΥΝΤΟΥΛΗΣ Ι., ΑΝΔΡΕΑΔΑΚΗΣ ΕΜΜ., ΖΑΜΠΑΖΙΩΤΗΣ Ε., ΚΑΠΟΥΡΑΝΗ Ε., ΚΑΡΑΓΚΙΟΖΗ Ε. (2007) «Στρατηγικός Σχεδιασμός Αντιπλημμυρικής Προστασίας Νομού Λακωνίας» - Τελική Έκθεση, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λακωνίας

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

8.1. Συμπεράσματα από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας

Τα πλημμυρικά φαινόμενα αποτελούν μια φυσική κατ' αρχήν διαδικασία που συνέβαινε και θα συμβαίνει πάντα, όταν η ένταση και η ποσότητα της βροχής ξεπερνούν την ικανότητα του εδάφους και του υδρογραφικού δικτύου μιας περιοχής να απορροφήσει και να αποστραγγίσει αντίστοιχα το νερό που συγκεντρώνεται. Έτσι μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα από την έναρξη της βροχής επιτυγχάνεται η μεταφορική ικανότητα του υδρογραφικού δικτύου και η περίσσεια νερού υπερχειλίζει για να δημιουργήσει πλημμυρικές απορροές, με επιπτώσεις που μπορεί να περιλαμβάνουν οικονομικές ζημίες, ανθρώπινες απώλειες και υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Αυτό που μπορεί (και πρέπει) να γίνεται είναι να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες (έμψυχες και άψυχες), με προσεκτικές και ήπιες παρεμβάσεις και να προειδοποιείται έγκαιρα ο πληθυσμός.

Στα πλαίσια της ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων εντάσσεται και η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία που αφορά την πλημμυρική επικινδυνότητα του ρέματος Σούρες στη Δυτική Αττική. Η εν λόγω εργασία επιμερίστηκε σε τρεις βασικούς άξονες.

Α) Στην αναγνώριση και την καταγραφή του πλημμυρικού κινδύνου (που αποτελούν πρωταρχικό στάδιο της αντίληψης στα πλαίσια της Πρόληψης και Διαχείρισης κινδύνων).

Β) Στην εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας, που αφορά τον προσδιορισμό των περιοχών με αυξημένη τη συνιστώσα του κινδύνου και τη τελική δημιουργία χαρτών ανάλογου θεματικού πεδίου (ενέργειες προκατασταλτικού σταδίου της Πρόληψης και Διαχείρισης κινδύνων).

Γ) Στην υποβολή συμπερασμάτων και προτάσεων για την αντιμετώπιση του πλημμυρικού κινδύνου, που προκύπτουν από τα προηγούμενα και εφαρμόζονται στο προληπτικό στάδιο αντιμετώπισης.

Κατά την αναγνώριση και καταγραφή του πλημμυρικού κινδύνου στο χειμάρρου Σούρες, εξετάσθηκε το ιστορικό της περιοχής και διαπιστώθηκε ότι ήταν ιδιαίτερα βεβαρημένο με αποκορύφωμα το πλημμυρικό επεισόδιο της 27ης Ιανουαρίου 1996. Τα βαθύτερα αίτια για την αυξημένη επικινδυνότητα στη λεκάνη του χειμάρρου Σούρες, διαπιστώθηκαν ότι ήταν: (α) η επέμβαση στα στοιχεία του χειμάρρου (δηλ. κυρίως κοίτη, αναβαθμίδες και λεκάνη κατάκλισης), λόγω αύξησης του πληθυσμού και των δραστηριοτήτων του και (β) το μέγεθος η ένταση και η συχνότητα των βροχοπτώσεων που είναι ικανές να δημιουργήσουν πλημμύρες και είναι πιθανόν να αυξηθούν στο μέλλον λόγω κλιματικών διακυμάνσεων.

Σύμφωνα με το υδρολογικό ισοζύγιο που εφαρμόστηκε στη λεκάνη (κεφ.2.1.2), προέκυψε μηδενική απορροή για τους χειμάρρους της εξεταζόμενης περιοχής, λόγω της υδρολογικής συμπεριφοράς αφενός μεν των ασβεστολίθων (υψηλή περατότητα - καρστικοποίηση), αφετέρου δε των τεταρτογενών ημιπερατών σχημα-

τισμών (βλ. Κεφ 3.5). Η μηδενική απορροή, έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργείται εσφαλμένη αίσθηση ασφάλειας. Γι αυτό το λόγο η αυξημένη ζήτηση σε γη, οδήγησε και συνεχίζει να οδηγεί στην εσφαλμένη χρήση της, με τις επακόλουθες επιπτώσεις σε περίπτωση πλημμυρικής απορροής των χειμάρρων.

Παρόλο που η δυνητική κατάσταση υποδεικνύει μηδενική απορροή στους χειμάρρους της περιοχής, ωστόσο είχαμε οχτώ καταστροφικές πλημμύρες στον εν λόγω χειμάρρο (1953, 1963, 1977, 1978, 1996, 1999, 2002) τα τελευταία 60 χρόνια, αν και καταγραφές κατά τους αρχαίους χρόνους υποδεικνύουν περισσότερες, οι οποίες παραμένουν άγνωστες. Η πιο καταστροφική ήταν αυτή της 27ης Ιανουαρίου 1996, με πολλές καταστροφές κατά μήκος των κλάδων της Αγίας Αικατερίνης και του Σούρες σε κατοικίες και βιομηχανίες, ενώ υπήρξαν και δύο ανθρώπινα θύματα, όταν εγκλωβίσθηκαν στο αυτοκίνητό τους στο 8ο Km Π.Ε.Ο. Ελευσίνας - Θηβών. Εξετάζοντας τους παράγοντες (εξαιρουμένων των ανθρώπινων δραστηριοτήτων) που οδήγησαν στην καταστροφή αυτή, διαπιστώθηκε ότι η συγκεκριμένη βροχόπτωση αποτελεί ακραίο καιρικό φαινόμενο. Αυτό δικαιολογείται:

α) με τη ραγδαιότητα της βροχής των 114 mm διάρκειας 12 ωρών (απ' την 20.05 της 26/01/1996 έως την 07.40 της 27/01/1996)

β) με την εκ νέου βροχόπτωση των 59 mm διάρκειας 4 ωρών (10.30 έως 14.30 της ίδιας μέρας) στο ήδη κορεσμένο περιβάλλον και μετά από 3ωρη διακοπή από την προηγούμενη (οπότε και προκύπτει η τιμή των 173mm για 24ωρη διάρκεια). Να σημειωθεί ότι ο μέσος όρος απ' το 1951 για το μήνα Ιανουάριο είναι 52,8 mm.

β) με την «επιλεκτική» ένταση της βροχής σε ορισμένες λεκάνες (και όχι σε όλες) της ευρύτερης περιοχής της Δυτικής Αττικής (Μαριολάκος Η. (1996). Το χαμηλό βαρομετρικό σύστημα έπληξε τους ορεινούς όγκους του Πατέρα και όχι την Πάρνηθα ή τη λεκάνη των Μεγάρων, αφού το ρέμα Γιαννούλας και Μαύρης ώρας (που αποστραγγίζουν τμήμα της Πάρνηθας) στα ανατολικά και τα αντίστοιχα στα δυτικά Μαυρατζάς, Καμάρας και Κουλουριωτικό (που αποστραγγίζουν τη λεκάνη των μεγάρων και τμήμα των ΝΔ απολήξεων του Πατέρα), δεν παρουσίασαν ίχνη πλημμυρικών απορροών.

Όμως σύμφωνα με τον πίνακα 3-2 του Κεφ. 3, πλημμυρικά φαινόμενα στο χειμάρρο Σούρες υπήρξαν και με βροχόπτωση της τάξεων των 46,8 mm των 55mm και 57mm. Αν εξαιρέσουμε τα «τυπογραφικά¹» λάθη από πλευράς ΕΜΥ (όπως

¹ Η αξιοπιστία των καταγραφών των μετεωρολογικών φαινομένων, είναι πολύ σημαντική παράμετρος για τη μελέτη και αξιολόγησή των και είναι συνυφασμένη, τόσο με τη περιοδική συντήρηση και βαθμονόμηση των σχετικών οργάνων, όσο και με την υπευθυνότητα και τον επαγγελματισμό του προσωπικού που τις διαχειρίζεται. Στην προκειμένη περίπτωση, ενώ οι αξιωματικοί της Π.Α. του Αεροδρομίου της Ελευσίνας κατέγραψαν σωστά την μετεωρολογική πληροφορία, οι αντίστοιχοι της ΕΜΥ προφανώς δεν τη διαχειρίστηκαν με τον δέοντα τρόπο, αφού αντί για 173mm βροχόπτωση κατέγραψαν επισήμως 17,3mm (Βλ. Κεφ4). Το λυπηρό σε αυτή τη περίπτωση είναι, ότι βάσει αυτής της λανθασμένης πληροφορίας ή καλύτερα βάσει της απουσίας του ακραίου αυτού γεγονότος στο επίσημο αρχείο της ΕΜΥ, σχεδιάστηκαν και διαστασιολογήθηκαν πλήθος τεχνικών έργων στη Δυτική Αττική (όπως α) η διευθέτηση και διαστασιολόγηση των εκβολών του ρέματος Σαρανταπόταμου στο Σαρωνικό, δυτικά της Χαλυβουργικής, β) η διευθέτηση και διαστασιολόγηση των εκβολών του χειμάρρου Σούρες στο Σαρωνικό πλησίον της ΠΥΡΚΑΛ γ) η διευθέτηση των κοιτών των χειμάρρων Μικρού Κατερινιού και Σούρες, εν όψει της κατασκευής της Αττικής Οδού, δ) η χωροθέτηση των εγκαταστάσεων ολοκληρωμένης διαχείρισης αποβλήτων στη θέση Τρικέρατο Μάνδρας στα πλαίσια

συνέβη με τη βροχόπτωση της 27ης Ιανουαρίου 1996, όπου αντί για 173mm έχει καταγραφεί επίσημα 17,3mm!!! Βλ. Κεφ4), τότε οφείλουμε να τα εντάξουμε στις Ξαφνικές Πλημμύρες (flash floods). Έτσι προέκυψε η ανάγκη υπολογισμού του μεγέθους και της συχνότητας των βροχοπτώσεων που προκαλούν αυτού του είδους τις πλημμύρες, με τη βοήθεια των εξισώσεων περί εκτίμησης της πιθανότητας υπερβάσεως κατά Weibull (1939), ενώ σε δεύτερο στάδιο χρησιμοποιήθηκαν οι συναρτήσεις κατανομής πιθανότητας μεγίστων τιμών βροχόπτωσης κατά Log Pearson II & ακραίων τιμών Τύπου I Gumbel. Σύμφωνα με την εξίσωση κατά Weibull προέκυψε ότι, θεομηνίες σαν αυτή της 27ης Ιανουαρίου 1996 θα εμφανίζεται μία φορά κάθε 47 χρόνια ενώ υπάρχει 2,128% πιθανότητα για ετήσια εμφάνιση. Για ξαφνικές πλημμύρες όπως της 9ης ΝΟΕ 1999 (46,8 mm) & της 6ης ΦΕΒ 1978 (26,4 mm) η περίοδος επανάληψης βρέθηκε ότι είναι κάθε 2 & 1 χρόνο αντίστοιχα με μεγάλες μάλιστα θεωρητικές πιθανότητες, κάτι που δε συμβαίνει. Για το λόγο ότι η πιθανολογική προσέγγιση με την εξίσωση Weibull δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα (όπως αποδεικνύεται από τις βροχοπτώσεις μετά το 2003), προέκυψε η ανάγκη της ολοκλήρωσης του πιθανοτικού πλαισίου, υπολογίζοντας το μέγιστο ύψος υετού στην Ελευσίνα για διάφορες περιόδους επαναφοράς από την κατανομή Gumbel και την κατανομή Log Pearson III. Το συμπέρασμα από τις δύο αυτές αναλύσεις είναι ότι όλα τα μέγιστα ύψη βροχής 24ωρης διάρκειας του σταθμού Ελευσίνας, ακολουθούν με καλή προσαρμογή την κατανομή Μεγίστων Τιμών περιόδου επαναφοράς T κατά Log Pearson III, εκτός την ακραία τιμή των 173 mm. Συγκεκριμένα για την τιμή των 173mm η περίοδος επαναφοράς υπολογίσθηκε στα 300 χρόνια. Όμως την 30η Οκτωβρίου 2006 υπήρξε βροχόπτωση 141,4mm² διάρκειας 11 ωρών και 40 λεπτών, κατά το οποίο δεν προέκυψε πλημμυρικό φαινόμενο. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στη διαφορετική κατανομή της βροχόπτωσης στο χώρο, καθώς και στην επιλεκτική ένταση βροχής σε ορισμένες λεκάνες. Από τις ίδιες καταγραφές του σταθμού του ΕΜΠ είναι χαρακτηριστική η περιοδικότητα των βροχοπτώσεων μέχρι την τιμή των 55 mm (περίπου), τα οποία όμως δεν προξένησαν πλημμύρες όπως αναμένονται κατά την ανάλυση περιοδικότητας των μεγίστων τιμών βροχόπτωσης. Σύμφωνα με το γεγονός αυτό, οι στατιστικές αναλύσεις που ακολουθούν μαθηματικά μοντέλα 24ωρης διάρκειας είναι ελλιπείς, οπότε και προκύπτει η αδήριτη ανάγκη για στοιχεία εντάσεων και ακριβούς διάρκειας υετού σε βάθος χρόνου.

Στη συνέχεια για την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας εφαρμόστηκε η θεωρία του προσδιορισμού της εκτόνωσης της δυναμικής ενέργειας του νερού της βροχόπτωσης σε μια λεκάνη, μέσω της μετατροπής της σε κινητική και η τελική (ή προσωρινή) απόσβεσής της σε ένα τοπικό βασικό επίπεδο. Στην πράξη εφαρμόστηκαν δύο μεθοδολογίες α) ο προσδιορισμός της Ενέργειας Χειμάρρου

του Περιφερειακού Σχεδιασμού Διαχείρισης Απορριμμάτων Αττικής. Δηλαδή στις υδραυλικές μελέτες αυτών των Έργων έχει αγνοηθεί το συγκεκριμένο πλημμυρικό επεισόδιο και κατ'επέκταση το Μοναδιαίο Υδρογράφημά του καθώς και η περίοδος επαναφοράς του.

² Τα στοιχεία αντλήθηκαν από βροχόμετρο ΕΜΠ στο βορειοδυτικό περιθώριο του Θριασίου Πεδίου στα διοικητικά όρια του δήμου Μάνδρας, πιο κοντά όμως στην υδρολογική λεκάνη του Σαρανταπόταμου

(stream power) σε διαμορφωμένες κοίτες του υδρογραφικού δικτύου & β) η Πολυπαραγοντική Μορφομετρική Ανάλυση Αναγλύφου της λεκάνης απορροής του χειμάρρου Σούρες. Οι δύο αυτές εφαρμογές πραγματοποιήθηκαν σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), αφού απαιτείται χωρική ανάλυση όλων των παραμέτρων, με απώτερο σκοπό την παραγωγή του χαρτών πλημμυρικού κινδύνου και τρωτότητας, έτοιμων προς χρήση. Με την χρήση της υψομετρικής πληροφορίας και της προσομοίωσης του αναγλύφου της περιοχής ενδιαφέροντος, κατέστη δυνατή η παραγωγή του υδρογραφικού δικτύου και των υδρολογικών λεκανών απορροής με διανυσματική μορφή (γραμμική και πολυγωνική απεικόνιση). Η δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους αλλά και οι μετέπειτα επεξεργασίες αυτού πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του λογισμικού ArcGIS της ESRI και της εξειδικευμένης εργαλειοθήκης ArcHydro.

Η μεθοδολογία της ενέργειας Χειμάρρου (Stream Power) εφαρμόστηκε στους τρεις επιμέρους κλάδους του Υδρογραφικού Δικτύου, ήτοι στον ομώνυμο κλάδο του Σούρες, στον κλάδο της Αγίας Αικατερίνης και σε εκείνον του Μικρού Κατερινιού (πάντα σε διαμορφωμένες κοίτες). Στην εν λόγω ανάλυση λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως η ενεργός κλίση κατά μήκος της κοίτης & η παροχή σε κάθε σημείο της. Αναλύονται δηλαδή υδραυλικές παράμετροι της κοίτης, (οι οποίες μπορούν να εμπλουτιστούν με διατομές και άλλα χαρακτηριστικά) σε συνδυασμό με τη συγκέντρωση (συσσώρευση) του νερού σε κάθε σημείο που αλλάζει η ενεργός κλίση. Αν και περιέχεται η χωρική πληροφορία με τη *συσσώρευση ροής*, ωστόσο στον υπολογισμό της παροχής λαμβάνεται υπ όψη η ενεργός βροχόπτωση, που αποτελεί «εξωγενή» παράγοντα (προερχόμενο από την ατμόσφαιρα), ως προς την λεκάνη που ανήκει στη λιθόσφαιρα. Εν το μεταξύ ο υπολογισμός της ενεργούς βροχόπτωσης δηλ το ποσοστό της βροχής το οποίο τελικά θα απορρευθεί, υπολογίζεται με διάφορες μεθόδους, στις οποίες υπεισέρχεται ο υποκειμενικός παράγοντας, αφού για το απορρέον κλάσμα βροχής κυρίαρχο ρόλο παίζουν η γεωλογία, η δασοκάλυψη (και γενικά οι χρήσεις γης), το ποσοστό της περιβάλλουσας υγρασίας κ.α. Το αποτέλεσμα είναι η παραγωγή των χαρτών 6-1, 6-5, 6-10, στους οποίους καταδεικνύονται συγκεκριμένες θέσεις επί της κοίτης, όπου η ενέργεια αυτή αυξάνεται όχι βαθμιαία αλλά απότομα. Οι περισσότερες θέσεις που προέκυψαν οφείλονται κυρίως στην απότομη μεταβολή της ενεργούς κλίσης, μιας μεταβλητής που αφορά κυρίως την γραμμική ανάλυση επί του ίχνους της κοίτης. Δεν απουσιάζουν όμως και οι θέσεις στις οποίες πρωτεύοντα ή δευτερεύοντα ρόλο παίζει και η χωρική μεταβλητή της παροχής Q , που είναι βασισμένη στη συσσωρευση ροής λόγω αποφόρτισης επιμέρους λεκανών στο κυρίως χείμαρρο. Αυτές οι θέσεις αποτελούν εν δυνάμει περιοχές με αυξημένο τον πλημμυρικό κίνδυνο, πολύ δε περισσότερο όταν γειτνιάζουν σε κατασκευές ή γενικότερα επικρατεί γύρω από αυτές εσφαλμένη χρήση γης. Μία απ' αυτές μάλιστα, επιβεβαιώνεται με τον τραγικότερο τρόπο κατά το πλημμυρικό επεισόδιο της 27ης Ιανουαρίου 1996, αφού πνίγηκε το ζεύγος Μαυρομάτη, όταν παρασύρθηκε το αυτοκίνητό τους από τα πλημμυρικά νερά. Πρόκειται για τη θέση SOU05 επί της κοίτης του χειμάρρου

Σούρες ή καλύτερα επί του 8ου χιλιομέτρου Παλαιάς Οδού Ελευσίνας – Θηβών. Ο άνδρας βρέθηκε στη θέση του οδηγού, εκεί όπου τελικά ακινητοποιήθηκε το όχημα (αφού είναι σίγουρο ότι πριν ακινητοποιηθεί παρασύρθηκε για αρκετά μέτρα), ενώ η σύζυγός του 100 μέτρα κατάντη. Εστιάζοντας στη περιοχή του συμβάντος (βλ.Χάρτη 6-13) συνυπάρχουν τέσσερις δυσμενείς παράγοντες που οδήγησαν στη δυστυχή κατάληξη ήτοι η Η Ενέργεια Χειμάρρου, η αλλαγή της γεωμορφολογίας, η εκφόρτιση δευτερεύοντος κλάδου Υ.Δ., η κατασκευαστική ατέλεια του οδοστρώματος αφού ο ασφαλτοτάπητας καταλαμβάνει τη κοίτη του χειμάρρου (βλ. Κεφ 6.4).

Για την ανάδειξη περιοχών επιρρεπών σε πλημμυρικά φαινόμενα με φόντο τη χωρική ανάλυση της λεκάνης απορροής, εκπονήθηκε και η μεθοδολογία της Πολυπαραγοντικής Μορφομετρικής Ανάλυσης Αναγλύφου, η οποία δε λαμβάνει υπόψη τον εξωγενή (ως προς τη λιθόσφαιρα) παράγοντα της βροχόπτωσης. Η προσπάθεια εστιάζεται, στη διερεύνηση μόνο των «ενδογενών» παραγόντων που επηρεάζουν μια πλημμύρα και αφορούν τα μορφομετρικά χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής οποιασδήποτε τάξης (έκταση, μέσο υψόμετρο, μέση κλίση λεκάνης ολικό ανάγλυφο), απομονώνοντας τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που προβληματίζουν κυρίως ως προς τη χρονική τους εμφάνιση. Το αποτέλεσμα είναι η εξαγωγή χαρτών πλημμυρικού κινδύνου και τρωτότητας (εφόσον γίνεται στάθμιση των χαρτών με το συντελεστή Manning). Θεωρήθηκε λοιπόν το στόμιο κάθε λεκάνης ως το σημείο που η δυναμική ενέργεια του νερού, έχει μετατραπεί σε κινητική και αντιμετωπίστηκε κάθε λεκάνη ως ενιαία οντότητα με ξεχωριστά χαρακτηριστικά. Ο υπολογισμός των παραμέτρων αυτών δεν προέκυψε από την απλή χρήση των σχετικών εξισώσεων, αλλά από την επεξεργασία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής ενδιαφέροντος και την χωρική και ποσοτική επεξεργασία δευτερογενών δεδομένων, απαραίτητων στην διαδικασία υπολογισμού. Την έννοια του συντελεστή βαρύτητας στους προηγούμενους υπολογισμούς παίρνει η κρίσιμη παράμετρος της τιμής της κλίσης στις πεδινές περιοχές αλλά και ο υδραυλικός παράγων (της ταχύτητας ροής) συντελεστής τραχύτητας Manning (ανάλογα με τις χρήσεις γης). Μία αδυναμία της μεθοδολογίας αποτελεί (προς το παρόν) ο έλεγχος της διαβάθμιση του κινδύνου σε πεδινές περιοχές, αφού παρατηρείται υψηλός βαθμός κινδύνου και τρωτότητας πέραν της ζώνης κατάκλυσης, κάτι που δεν υφίσταται. Το αίτιο του προβλήματος είναι η μη ικανοποιητική προσομοίωση του ψηφιακού μοντέλου αναγλύφου στις επίπεδες πεδινές περιοχές (βλ. Κεφ.5). Αυτό το πρόβλημα μπορεί (ίσως) να αντιμετωπιστεί είτε με λεπτομερέστερο Ψ.Μ.Ε. που θα προκύψει από ψηφιοποίηση μικρότερης από 1:5000 κλίμακας χάρτη είτε με την εφαρμογή κάποιου φίλτρου, που θα αποκλείει τις πεδινές περιοχές εκτός ζώνης κατάκλυσης. Αντιθέτως δουλεύει ικανοποιητικά σε κλειστές λεκάνες σαν αυτή του χειμάρρου της Αγίας Αικατερίνης, αλλά και σε όλα τα στόμια των υπολεκανών που αποστραγγίζουν ημιορεινές και ορεινές περιοχές.

Ολοκληρώνοντας τους υπολογισμούς σύμφωνα με τη μεθοδολογία και την μελέτη των επιμέρους παραμέτρων των υδρολογικών συστημάτων των λεκανών

απορροής, είναι πλέον δυνατή η εκτίμηση των αναμενόμενων θέσεων εκδήλωσης των πλημμυρικών φαινομένων, μέσα από την δημιουργία των τελικών χαρτών Πλημμυρικού Κινδύνου Τρωτότητας των λεκανών. Έτσι παρήχθησαν οι χάρτες 7-2, 7-4, 7-6, στους οποίους αναδεικνύονται συγκεκριμένες τρωτές περιοχές που χρίζουν προστασίας. Αυτό σημαίνει ότι πριν εμφανιστεί ο κίνδυνος, οι θέσεις αυτές είναι οι πρώτες που θα μπορούσε κάποιος να εξετάσει και να επέμβει μηδενίζοντας τον κίνδυνο. Μάλιστα οι περιοχές που προκύπτουν από τον πρωτογενή Χάρτη 7-2 μετά την εφαρμογή της Πολυπαραγοντικής Μορφομετρικής Ανάλυσης Αναγλύφου, αναβαθμίζονται ή υποβαθμίζονται όταν σταθμίζεται ο χάρτης αυτός με τις μορφολογικές κλίσεις (οπότε προκύπτει ο χάρτης 7-4) και στη συνέχεια με το συντελεστή τραχύτητας επιφανειών Manning (οπότε προκύπτει ο χάρτης 7-6). Στον τελευταίο αυτόν χάρτη, αναδεικνύεται ένα άλλο σημείο το Νο7. (βλ. Χάρτες. 7-6 & 7-7) το οποίο αποκτά μεσαίου βαθμό κίνδυνο. Η περιοχή που αφορά το σημείο 7, δεν είναι άλλη από την καταπατημένη κοίτη & ζώνη κατάκλυσης του χειμάρρου Σούρες από τη βιομηχανία ΒΑΚΟΝΤΙΟΣ ΑΕΒΕ και το εργοτάξιο του δήμου Μάνδρας (κυρίως), οι ζημιές των οποίων έχουν καταγραφεί στις εικόνες 2-9, 2-10, 2-14. Να σημειωθεί ότι στην ανάδειξη του εν λόγω κινδύνου (και κατ'επέκταση της τρωτότητας) στο σημείο 7, δεν έχουν συνυπολογισθεί οι παρεμβάσεις επί της κοίτης, όπως αυτές περιγράφονται αναλυτικά κατά την αναγνώριση του κινδύνου στο Κεφ.2. Αν επομένως κατασκευαστεί ένα άλλο καναβικό αρχείο με τέτοια λεπτομέρεια, είναι σίγουρο ότι σημεία σαν αυτά θα αναβαθμιστούν σε μεγαλύτερο βαθμό κινδύνου & τρωτότητας.

Ο προσδιορισμός επομένως των επικίνδυνων περιοχών, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια στους παραγόμενους χάρτες από τη μεθοδολογία αυτή, εάν σταθμιστούν με ένα νέο καναβικό αρχείο, που θα περιλαμβάνει επεμβάσεις επί της κοίτης. Το καναβικό αρχείο θα περιλαμβάνει τιμές που θα αντιπροσωπεύουν τις διατομές της κοίτης, τις καταπατήσεις, τις μηχανικές διαβρώσεις των αναβαθμιδών λόγω καλλιεργειών, την ύπαρξη τεχνικών έργων πάσης φύσεως κ.α. Αυτό όμως με τη σειρά του προϋποθέτει λεπτομερή καταγραφή και οριοθέτηση αυτών των παρεμβάσεων, με χαρτογράφηση μικρής κλίμακας και λαμβάνοντας υπόψη τις υπάρχουσες κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Εν κατακλείδι, από την εφαρμογή της Πολυπαραγοντικής Μορφομετρικής Ανάλυσης προέκυψε, ότι οδηγεί σε ασφαλή συμπεράσματα όσον αφορά την ανάδειξη περιοχών επιρρεπών σε πλημμυρικά φαινόμενα. Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων της μεθόδου πραγματοποιήθηκε με το καταγεγραμμένο πλημμυρικό ιστορικό της λεκάνης (συγκεκριμένα με το πλημμυρικό επεισόδιο της 27^{ης} Ιανουαρίου 1996, βλ § 7.3.3), όπου επιβεβαιώνονται οι θέσεις αυτές, ενώ παράλληλα δεν προκύπτουν άλλες λανθασμένες. Επιπροσθέτως αποδείχθηκε, ότι αποτελεί ιδιαίτερα ταχεία ως μεθοδολογία, και παραπάνω από αξιόπιστη για το διαθέσιμο χρόνο και την κλίμακα εφαρμογής. Ένα πλεονέκτημα πολύ βασικό στις λήψεις αποφάσεων κατά τη σύνταξη στρατηγικών σχεδιασμών.

8.2. Προτάσεις για μέτρα αντιμετώπισης του κινδύνου της πλημμύρας στην υδρολογική λεκάνη του χειμάρρου Σούρες.

Κατά τη προκατασταλτική φάση αντιμετώπισης του κινδύνου της πλημμύρας, πρέπει να πραγματοποιούνται δύο βασικές εργασίες. Κατά την πρώτη εργασία θα εντοπίζονται οι περιοχές που παρουσιάζουν σημαντικό πρόβλημα και κατά τη δεύτερη, θα πραγματοποιείται λεπτομερής καταγραφή και οριοθέτηση αυτών των περιοχών (μέσω χαρτογράφησης μικρής κλίμακας), λαμβάνοντας υπόψη τις υπάρχουσες κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές συνθήκες. Στα πλαίσια της πρώτης εργασίας αναπτύχθηκαν οι μεθοδολογίες που περιγράφηκαν παραπάνω, οπότε και προέκυψαν οι σχετικοί χάρτες με την υπόδειξη των περιοχών που παρουσιάζουν έντονο πρόβλημα πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του χειμάρρου Σούρες. Το προϊόν αυτό μπορεί να αποτελέσει ένα επιστημονικό εργαλείο, συμβάλλοντας στις λήψεις αποφάσεων και αυτό διότι όπως αποδείχθηκε αποτελούν ιδιαίτερα ταχείες ως μεθοδολογίες, και αρκετά αξιόπιστες για το διαθέσιμο χρόνο και την κλίμακα εφαρμογής.

Η μέχρι τώρα αντιμετώπιση (από πλευράς αρμοδίων αρχών) του πλημμυρικού κινδύνου στους χειμάρρους που μελετήθηκαν (αλλά και των γειτονικών), αφορούσε κυρίως επεμβάσεις στα πεδινά τμήματα της λεκάνης, εκεί όπου γειτνιάζουν με τον οικιστικό και βιομηχανικό ιστό. Κατασκευάστηκαν λοιπόν δαπανηρά έργα στα



Εικόνες 8-1 & 8-1: Ανασχετικά φράγματα και γεώτρηση εμπλουτισμού στο χειμάρρο Κουλουριώτικο, που αποστραγγίζει γειτονική λεκάνη στο δυτικό περιθώριο της λεκάνης του Σούρες. Το έργο κατασκευάστηκε το 2004 και η εγκατάλειψη του είναι εμφανής. Η ημ/νια λήψης της αριστερής εικόνας είναι του Δεκ 2005 και της δεξιά του Ιαν 2009. Η στερεοπαροχή του χειμάρρου τείνει να καταστρέψει το 1^ο φράγμα. Το αντίστοιχο έργο στον Σαρανταπόταμο (στη θέση Τιάν), έχει ήδη καταστραφεί, αφού έχουν σπάσει τα δύο πρώτα φράγματα και έχει πληρωθεί με φερτές ύλες το τρίτο, καταστρέφοντας τη γεώτρηση εμπλουτισμού.

σημεία που εμφανίζεται μεγάλη τρωτότητα, η οποία τρωτότητα προέκυψε κατόπιν πλημμυρικών γεγονότων και όχι από την εκπόνηση μελετών. Η αντίληψη δηλαδή που επικρατεί μέχρι σήμερα, δεν έχει να κάνει με έναν στρατηγικό σχεδιασμό που να λαμβάνει υπ όψη και να εκμεταλλεύεται την ιδιαιτερότητα των λεκανών απορροής (όπως π.χ. το καρστικό υποβάθρο τους), αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα ανάντη. Προσπάθεια αντιμετώπισης ανάντη, έγιναν στο γειτονικό ρέμα Σαραντα-

πόταμο και στο χειμάρρο Κουλουριώτικο (το οποίο εκφορτίζεται στο Μεγάλο Πεύκο δυτικά της Ελευσίνας). Όμως χωρίς συντήρηση των έργων αυτών ισοδυναμεί με ακύρωσή τους (βλ. Εικ. 8-1 & 8-2). Αντιθέτως τα δαπανηρά έργα που έχουν γίνει στα πεδινά, αφορούν διευθετήσεις κοιτών (σε διάφορα τμήματα), εκτροπές και κατασκευές στις εκβολές των χειμάρρων και των ρεμάτων.

Συγκρίνοντας τις θέσεις των έργων στα πεδινά, με τις υποδεικνυόμενες θέσεις των παραγομένων χαρτών από την εφαρμογή της μεθοδολογίας, προέκυψε ταύτιση. Συγκεκριμένα :

α) στο χειμάρρο Σούρες Τα σημεία SOU6, 7 (βλ. Χάρτη 6-1, 6-4) όπου αυξάνεται η ενέργεια του χειμάρρου, έχει ήδη γίνει τεχνικό έργο διευθέτησης της κοίτης. Η επέμβαση έχει γίνει μέσα στη βιομηχανική ζώνη που υπέστη πολύ σοβαρές ζημιές κατά την πλημμύρες του 1996 και 1999.

β) στο χειμάρρο του Μικρού Κατερινιού το σημείο ασυνέχειας του χειμάρρου, όπου προκύπτει από τον χάρτη 7-4, 7-6 μέτριος και υψηλός βαθμός κινδύνου, έχει κατασκευαστεί τεχνικό έργο υπογειοποίησης της κοίτης (εικ. 8-2). Το τεχνικό αυτό έργο συνδέεται με τα όμβρια ύδατα της Αττικής οδού, τα οποία πιθανόν οδεύουν στο χειμάρρο του Σούρες (κατάνη). Η διαστασιολόγηση της διατομής θα επιβεβαιωθεί εν καιρό. Να σημειωθεί ότι η ασυνέχεια του Μικρού Κατερινιού που λήφθηκε υπ όψη κατά την εφαρμογή των μεθοδολογιών, είναι αποτυπωμένη στους Χάρτες της ΓΥΣ πριν την κατασκευή της Αττικής Οδού.



Εικόνα 8-2: διευθέτηση του χειμάρρου Μικρού Κατερινιού στο σημείο που υποδεικνύεται από το χάρτη 7-6 σαν υψηλής επικινδυνότητας και τρωτότητας περιοχή

Αυτό αποτελεί επιβράβευση των εφαρμογών και διαπιστώνεται η πρακτικότητα των χαρτών που προέκυψαν. Όμως αν δεν υπήρχε η κατασκευή της Αττικής οδού και οι ζημιές κατά το παρελθόν στη βιομηχανική ζώνη, πιθανόν να μην υπήρχαν και τα έργα αυτά. Κοινή διαπίστωση και στους τρεις κλάδους που αναπτύχθηκαν οι μεθοδολογίες είναι, ότι η επέμβαση στα ανάντη απουσιάζει παντελώς.

Δεδομένης της σημερινής κατάστασης και της ανάπτυξης του οικιστικού και βιομηχανικού ι-

στού στις κοίτες και τις ζώνες κατάκλισης των κλάδων των επιμέρους κλάδων του Σούρες, προκύπτει η αδήριτη ανάγκη για αντιμετώπιση του πλημμυρικού κινδύνου στις ορεινές – ημιορεινές περιοχές, πριν η ενέργεια των χειμάρρων εκτονωθεί σε περιοχές με μικρή τοπογραφική κλίση.

Η πλέον σύγχρονη αντίληψη της αντιπλημμυρικής προστασίας σε χώρες με τη γεωλογική – τεκτονική δομή και εξέλιξη της Ελλάδας, συνδυάζεται με τον εμπλου-

τισμό των υπογείων υδάτων. Με το δεδομένο επομένως ότι το επιφανειακό και υπόγειο καρστ τόσο στη λεκάνη απορροής του χειμάρρου Σούρες, όσο και των γειτονικών λεκανών είναι καλά ανεπτυγμένο, υπάρχει η δυνατότητα παροχέτευσης των νερών (πλημμυρικών και μη) της βροχής στον υπόγειο – καρστικό υδροφόρο ορίζοντα, με τη βοήθεια ανασχετικών φραγμάτων και γεωτρήσεων εμπλουτισμού στα ανάντη (βλ. Εικ. 8-1 & 8-2). Το όφελος θα είναι διπλό, διότι θα προλαμβάνονται οι πλημμύρες, αλλά και θα εμπλουτίζεται ο υδροφόρος ορίζοντας. Συγκεκριμένα τα εν λόγω ανασχετικά φράγματα φέρουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Ελαττώνουν την κλίση της κοίτης οπότε και την ενέργεια των υδάτων
- Παρακρατούν τα νερά στη λεκάνη κατάκλισης, οπότε κατεισδύουν μέσω του επιφανειακού καρστ
- Εμπλουτίζεται ο υπόγειος υδροφόρος ορίζοντας (καρστικός ή ελεύθερος), μέσω των γεωτρήσεων που βρίσκονται ανάμεσα στα φράγματα και πάνω στη μισγάγγεια.



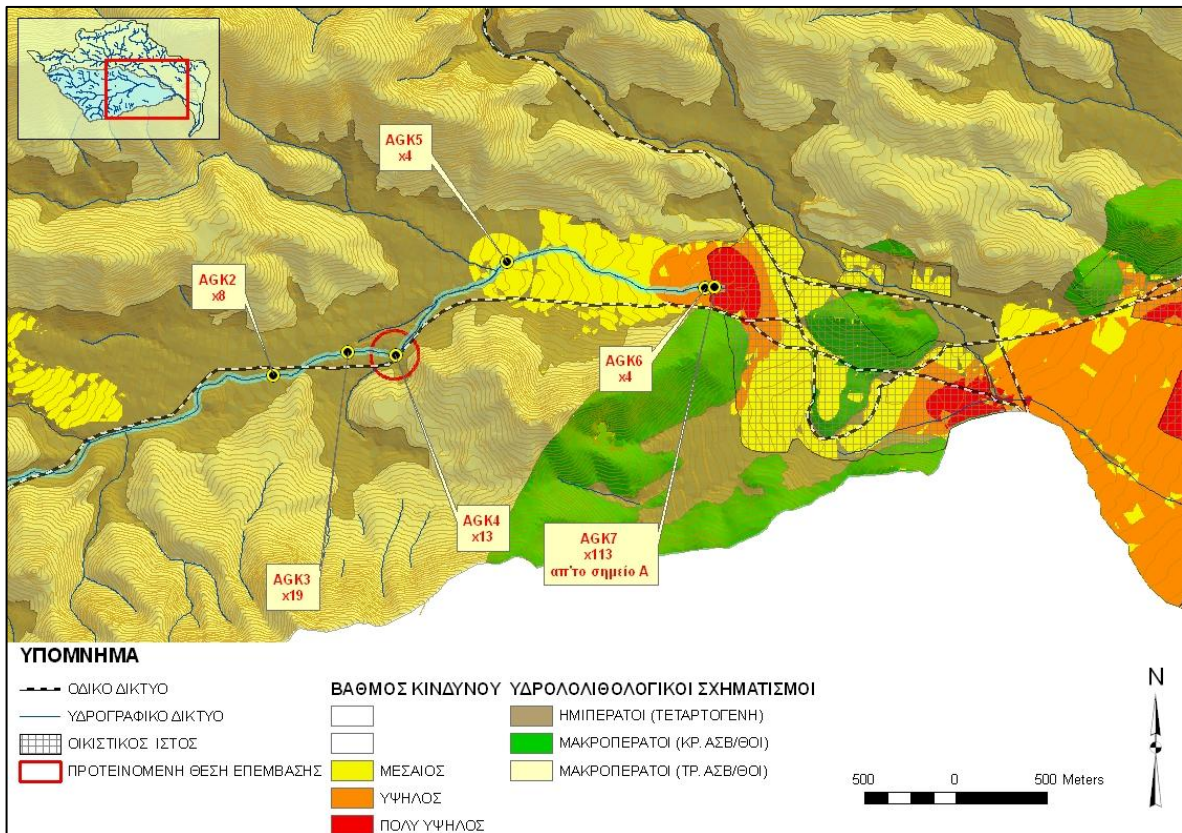
Εικόνα 8-3: Το σημείο AGK4 στο χειμάρρο της Αγίας Αικατερίνης, όπου παρατηρείται αύξηση στην ενέργεια (stream power). Είναι εμφανής η διάβρωση της αναβαθμίδας και του επιχώματος του δρόμου, με αποτέλεσμα μικρής κλίμακας ολίσθηση γαιώδους μάζας. 100 μέτρα κατάντη του σημείου αυτού (βλ. Εικ. 8-6) προτείνεται αντιπλημμυρικό έργο με γεώτρηση εμπλουτισμού και ανασχετικά φράγματα, τα συρματοκιβώτια των οποίων μπορούν να αποτελέσουν και μέτρα αντιστήριξης των εκατέρωθεν πρανών.

Στο χειμάρρο της Αγίας Αικατερίνης δεν έχει κατασκευαστεί αντιπλημμυρικό έργο και οι δυτικές συνοικίες της πόλης είναι παντελώς απροστάτευτες. Έτσι δοκιμάζεται στη συνέχεια η πρακτική εφαρμογή των μεθοδολογιών της Ενέργειας Χειμάρρου και Πολυπαραγοντικής Μορφομετρικής Ανάλυσης, προτείνοντας την κατασκευή αυτών των φραγμάτων σε συγκεκριμένο σημείο με απώτερο σκοπό το μηδενισμό του κινδύνου και της τρωτότητας των ανθρώπινων κατασκευών κατάντη αυτού.

Για την καλύτερη εικόνα

της πλημμυρικής επικινδυνότητας του χειμάρρου αυτού, συνδυάστηκαν οι χάρτες 7-6 (της Πολυπαραγοντικής Μορφομετρικής Ανάλυσης) & 6-5 (Ενέργειας Χειμάρρου) και προέκυψε ο χάρτης 8-1. Στον εν λόγω χάρτη απεικονίζονται α) το γεωλογικό υπόβαθρο β) τα σημεία που παρατηρείται αύξηση της Ενέργειας του Χειμάρρου, γ) η χωρική κατανομή του πλημμυρικού κινδύνου και της τρωτότητας. Άξια παρατηρήσεων αποτελούν τα σημεία υψηλής Ενέργειας Χειμάρρου AGK5,6,7

που ταυτίζονται με τη μεσαία, υψηλή και πολύ υψηλή επικινδυνότητα και τρωτότητα, μάλιστα σε μία περιοχή η οποία είναι υπό ένταξη στο σχέδιο πόλης.



Χάρτης 8-1: Σύνθετος Χάρτης Εφαρμογής που περιλαμβάνει α) το γεωλογικό υπόβαθρο β) τα σημεία με την μεγαλύτερη Ενέργεια Χειμάρρου γ) τον πλημμυρικό κίνδυνο & τρωτότητα της ευρύτερης περιοχής της πόλης Μάνδρας. Η πρακτική εφαρμογή των μεθοδολογιών υποδεικνύει το σημείο ανάσχεσης των πλημμυρικών νερών και ταυτόχρονου εμπλουτισμού του υπόγειου - καρστικού υδροφόρου ορίζοντα, προστατεύοντας το ανατολικό τμήμα της κοιλάδας της Αγίας Αικατερίνης, που αποτελεί περιοχή υπό ένταξη στο σχέδιο πόλης.

Η αντιπλημμυρική επέμβαση που προτείνεται αφορά ανασχετικά φράγματα και γεωτρήσεις εμπλουτισμού στην περιοχή του σημείου AGK4 (βλ. Εικ 8-4, 8-5 & χάρτη 8-1). Η συγκεκριμένη θέση προσφέρει τα εξής πλεονεκτήματα:

- την άμεση πρόσβαση (επιφανειακή & υπόγεια) στους Τριαδικούς ασβεστολίθους και διοχέτευση των νερών στα καρστικά τους συστήματα
- την ανάσχεση της Ενέργειας Χειμάρρου στο σημείο αυτό αλλά και των υπολοίπων κατάντη (AGK5, AGK6, AGK7) αφού ήδη θα έχει αναχαιτισθεί η ορμή, ένα τμήμα της μάζας του νερού θα έχει παγιδευτεί στα φράγματα και ένα άλλο θα έχει διοχετευτεί στο επιφανειακό και υπόγειο καρστ.
- είναι άμεσα προσβάσιμο από την επαρχιακή οδό Μάνδρας – Μεγάρων, όποτε και η διαδικασία συντήρηση είναι μη χρονοβόρος και μη δαπανηρή.
- το ανάγλυφο είναι ήπιο και δεν χρειάζονται ιδιαίτερα τεχνικά έργα υποστήριξης που θα αλλοιώσουν το οικοσύστημα της περιοχής.

- η μορφολογία κοίτης και πρηνών αναβαθμιδών προσφέρουν έτοιμες θέσεις για την τοποθέτηση των συρματοκιβωτίων, που αποτρέπει την εκτενή παρέμβαση μηχανικών μέσων για την κατασκευή, ενώ η τυχόν περαιτέρω διάνοιξη των σχετικών λεκανών συγκέντρωσης είναι εύκολη, αφού πρόκειται για εκσκαφές τεταρτογενών σχηματισμών ελαφρά συγκολλημένων αποτελούμενων από αμμοχάλικα και λατύπες.
- τα συρματοκιβώτια των ανασχετικών φραγμάτων μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα για την αντιστήριξη των πρηνών, τα οποία είδη διαβρώνονται και υποχωρούν στο σημείο AGK4.

Επιπροσθέτως η αντιπλημμυρική προστασία σε όλους τους κλάδους της λεκάνης του Σούρες πρέπει να ολοκληρωθεί με άμεσες και μέσο -μακροπρόθεσμες ενέργειες, όχι μόνο στα σημεία όπου υποδεικνύονται από τους παραγόμενους χάρτες, αλλά και σ' αυτά που διαπιστώθηκαν στο ύπαιθρο κατά την εργασία της καταγραφής και της αντίληψης του κινδύνου (βλ. Κεφ.2). Αυτές είναι:

Άμεσες ενέργειες

- Συστηματικός καθαρισμός των κοιτών από κάθε είδους υλικά που προέρχονται είτε από φυσική είτε από τεχνίτη απόθεση.
- Αυστηροποίηση των κανονισμών περί απαγόρευσης απόθεσης απορριμμάτων και μπαζών (ή άλλων αντικειμένων) που αποβλέπουν στην οικοπεδοποίηση
- Συνεχής έλεγχος των κοιτών και των αναβαθμιδών από καταπατήσεις και μπαζώματα.

Μέσο -μακροπρόθεσμες ενέργειες

- Απομάκρυνση οποιασδήποτε κατασκευής από τους άξονες των χειμάρρων, διευκολύνοντας τις επιχειρήσεις να μετεγκατασταθούν σε βιομηχανικό πάρκο (συμπεριλαμβανομένου και του εργοταξίου του Δήμου Μάνδρας).
- Κατασκευή αγωγού ομβρίων υδάτων σε όλο το τμήμα του οδικού δικτύου που είναι κατασκευασμένο πάνω στη κοίτη του χείμαρρου της Αγ. Αικατερίνης.
- Ανάσχεση των υδάτων (πλημμυρικών και μη) με τη δημιουργία φραγμάτων και παροχέτευση των στο υπέδαφος. Το εν λόγω έργο προϋποθέτει ετήσια συντήρηση.
- Οριοθέτηση ζωνών προστασίας πλημμυρών, όπου θα καθορίζονται ή θα απαγορεύονται συγκεκριμένες δραστηριότητες, ώστε να αποφεύγονται πιθανές καταστροφές, αλλά και να επιτρέπεται η φυσική εκτόνωση της πλημμύρας.
- Εγκατάσταση και λειτουργία δικτύου παρακολούθησης μετεωρολογικών παραμέτρων (βροχόπτωση κ.α.) και αν είναι δυνατόν και υδρολογικών παραμέτρων (στάθμη / ποιότητα) στην ευρύτερη περιοχή συμπεριλαμβανομένου και του Σαρανταπόταμου που δεσπόζει στη Δυτική Αττική. Οι σταθμοί θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα τηλεμετρικού χειρισμού ώστε η διαχείριση των δεδομένων να γίνεται στην αίθουσα αντιμετώπισης εκτάκτων καταστάσεων στην τοπική αυτοδιοίκηση. Η πρακτική αυτή θα έχει σαν αποτέλεσμα αφενός την

απόκτηση σημαντικών στοιχείων για την εκπόνηση σχετικών μελετών σε βάθος χρόνου, αλλά κυρίως θα προσφέρει την δυνατότητα έγκαιρης προειδοποίησης για την έναρξη επικίνδυνων πλημμυρικών γεγονότων. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να αποδειχθεί κρίσιμη εφόσον συνδυαστεί με κατάλληλα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας (άμεσης απόκρισης), αφού θα υπάρχει συνεχής παρακολούθηση και άμεση παρέμβαση όπου κρίνεται αναγκαίο για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων πιθανών πλημμύρων.



Εικόνα 8-4: Ρέμα Αγ. Αικατερίνης 100 μέτρα ανατολικά του σημείου AGK4. Η θέση όπου προτείνεται να κατασκευαστούν τα ανασχετικά φράγματα και η γεωτρηση εμπλουτισμού. Μεταξύ άλλων είναι εμφανείς α) η πρακτικότητα που προσφέρει η μορφολογία κοίτης και πρηνών αναβαθμίδων, που αποτρέπει την εκτενή παρέμβαση μηχανικών μέσων για την κατασκευή, β) το καρστικοποιημένο δάπεδο της κοίτης το οποίο θα λειτουργήσει ευεργετικά για τον εμπλουτισμό.

Αναφορικά με το αντιπλημμυρικό έργο των ανασχετικών φραγμάτων με τις γεωτρήσεις εμπλουτισμού και το πόσο ευεργετικές είναι για την αιφόρο ανάπτυξη της ευρύτερης περιοχής του Θριασίου Πεδίου, διαπιστώνεται ότι, όσο ελαττώνονται οι βροχοπτώσεις τόσο αυξάνονται τα υδροληπτικά έργα. Ειδικά η σχέση στάθμη υδροφόρου / υδροληπτικά έργα είναι δυσανάλογη, προκύπτοντας μια δυσάρεστη κατάσταση για το υπόγειο δυναμικό. Το Θριάσιο Πεδίο (τμήμα του οποίου

ανήκει στο δήμο Μάνδρας), δέχεται τα νερά λεκανών με συνολική επιφάνεια 500 km² περίπου, εφόσον το διασχίζουν οι χείμαρροι Σαρανταπόταμος, Σούρες, Μεγ. Κατερίνη, Γιαννούλας, Άγιος Γεώργιος (Ασπροπύργου). Οι επίσημα καταγεγραμμένες γεωτρήσεις και τα φρέατα που υπήρχαν στο πεδινό τμήμα έκτασης 100 km² περίπου, υπερέβαιναν τις 4000 μέχρι το 1986. Οι ετήσιες απολήψεις νερού για τις διάφορες χρήσεις προσεγγίζουν τα 9.000.000 m³, η δε ταπείνωση του υδροφόρου ορίζοντα κάθε χρόνο, είναι της τάξεως των 0,25 m.

Τα ρυθμιστικά αποθέματα της περιοχής που ανέρχονται σε 7.000.000 m³ λαμβάνονται εξ ολοκλήρου αμέσως με την έναρξη της αρδευτικής περιόδου, ενώ το ίδιο συμβαίνει και με τα εκμεταλλεύσιμα, που υπολογίζονται σε 8.000.000 m³.

Όσον αφορά την ποιότητα των υδροφόρων της περιοχής και σύμφωνα με αποτελέσματα χημικών αναλύσεων, είναι γεγονός, ότι τα 3/5 περίπου της περιοχής είναι βεβαρημένα και σε τέτοια κατάσταση, που να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί το νερό για τις ελάχιστες καλλιέργειες που έχουν απομείνει στην πεδιάδα. Το γεγο-

νός αυτό οφείλεται στην εισβολή του θαλασσινού νερού. Δεν είναι υπερβολικό δηλαδή να μιλάμε για ερημοποίηση του Θριασίου πεδίου.

Γι αυτό το λόγο τα αντιπλημμυρικά έργα θα πρέπει να συγκλίνουν προς μια γεωοικολογική παρέμβαση, ώστε οι πλημμυρικές παροχές (και μη), όχι μόνο να μην απομακρύνονται προς την θάλασσα, αλλά να διοχετεύονται στους υπόγειους υδροφόρους ορίζοντες, προς αύξηση της υδροστατικής στάθμης και ανάσχεση του υφάλμυρου μετώπου.



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ

ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης