



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πλημμυρική Επικινδυνότητα στη Δυτική Θεσσαλία

Ειρήνη Αναγνωστοπούλου

Επιβλέπων Καθηγητής: Κουτσογιάννης Δημήτρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2013



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Πλημμυρική Επικινδυνότητα στη Δυτική Θεσσαλία

Αναγνωστοπούλου Ειρήνη

Επιβλέπων Καθηγητής: Κουτσογιάννης Δημήτρης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Το περιεχόμενο της ανά χείρας διπλωματικής εργασίας αποτελεί προϊόν της δικής μου πνευματικής προσπάθειας. Η ενσωμάτωση σε αυτήν υλικού τρίτων, δημοσιευμένου ή μη, γίνεται με δόκιμη αναφορά στις πηγές, που δεν επιτρέπει ασάφειες ή παρερμηνείες

Ευχαριστίες

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη, Καθηγητή στον τομέα Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος της σχολής Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ, για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας και τις καίριες επισημάνσεις του κατά τη διάρκεια της εκπόνησής της. Κυρίως όμως, για την συνολική και καθοριστική συμβολή του στην εκπαιδευτική μου διαδικασία ως προπτυχιακή φοιτήτρια.

Στη συνέχεια, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αντώνη Κουκουβίνο, Αγρονόμο Τοπογράφο Μηχανικό και μέλος της ερευνητικής ομάδας ΙΤΙΑ, για το ενδιαφέρον του, την συνεχή καθοδήγηση και την αμέριστη βοήθειά του σε όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Τέλος, το υδραυλικό κομμάτι της παρούσας εργασίας διεκπεραιώθηκε με την πολύτιμη βοήθεια του Παναγιώτη Δημητριάδη, Υποψήφιου Διδάκτορα, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για τη συμβολή του.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	viii
ABSTRACT	ix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	1
1. Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας.....	1
1.2 Πλημμύρες	2
1.3 Πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα	3
1.4 Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε.....	5
1.5 Πηγές Δεδομένων	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	7
2. Θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση των πλημμυρών	7
2.1 Οδηγία 2007/60 για την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας.....	7
2.2 Συντονισμός της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ με την Οδηγία 2000/60/ΕΕ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	12
3. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης.....	12
3.1 Εισαγωγή.....	12
3.2 Το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας.....	12
3.2.1 Γεωγραφικά στοιχεία	12
3.2.2 Φυσικά χαρακτηριστικά.....	13
3.2.3 Φυσικό περιβάλλον περιοχής	14
3.2.4 Γεωλογία της περιοχής	16
3.2.5 Υδρογεωλογία της περιοχής	17
3.3 Περιοχή Μελέτης	18
3.3.1 Λεκάνη Δυτικής Θεσσαλίας.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	22
4. Προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας	22
4.1 Εισαγωγή.....	22

4.2 Επιλογή κριτηρίων αξιολόγησης.....	23
4.2.1 Κοινωνικοί παράγοντες	24
4.2.2 Οικονομικοί παράγοντες.....	25
4.2.3 Οικολογικοί παράγοντες	25
4.2.4 Ιστορικές πλημμύρες.....	26
4.3 Αποτίμηση κριτηρίων.....	26
4.3.1 Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας κάθε περιοχής.....	26
4.3.2 Βάρη κριτηρίων	29
4.4 Αξιολόγηση τρωτότητας.....	31
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	 40
5. Κατάρτιση χαρτών πλημμύρας.....	40
5.1 Εισαγωγή.....	40
5.2 Περιοχές μελέτης.....	40
5.3 Σύνθεση Μοναδιαίου Υδρογραφήματος.....	44
5.4 Κατάρτιση Πλημμυρογραφημάτων εισόδου	51
5.5 Υδραυλική προσομοίωση περιοχής μελέτης.....	72
5.5.1 Γεωμετρικά δεδομένα περιοχής μελέτης.....	72
5.5.2 Υδραυλικό Μοντέλο LISFLOOD-FP	78
5.6 Χάρτες Πλημμύρας.....	82
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	 90
6. Πλημμυρική Επικινδυνότητα στη Δημοτική Ενότητα Καρδίτσας	90
6.1 Εισαγωγή.....	90
6.2 Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας	91
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	 95
7. Συμπεράσματα - Προτάσεις	95
7.1 Συμπεράσματα.....	95
7.2 Προτάσεις.....	98
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	 100
 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	 104

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Γεωγραφική κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα και εκτίμηση υψών για βροχόπτωση 24 ωρών και περιόδου επαναφοράς 50 ετών σε χαρακτηριστικές τοποθεσίες.	4
Σχήμα 3.1: Νομοί που απαρτίζουν το υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας.....	13
Σχήμα 3.2: Χρήσεις γης του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.....	15
Σχήμα 3.3: Περιοχές Natura του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.....	16
Σχήμα 3.4: Υδρογραφικό δίκτυο υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.....	18
Σχήμα 3.5: Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας.....	21
Σχήμα 4.1: Χάρτης Τρωτότητας με βάση τους κοινωνικούς παράγοντες.....	33
Σχήμα 4.2: Χάρτης Τρωτότητας με βάση τους οικονομικούς παράγοντες.....	34
Σχήμα 4.3: Χάρτης Τρωτότητας με βάση τους οικολογικούς παράγοντες.....	35
Σχήμα 4.4: Χάρτης Τρωτότητας με βάση τις ιστορικές πλημμύρες.....	36
Σχήμα 4.5: Χάρτης Συνολικής Τρωτότητας χωρίς τη χρήση βαρών.....	38
Σχήμα 4.6: Χάρτης Συνολικής Τρωτότητας με τη χρήση βαρών.....	39
Σχήμα 5.1: Λεκάνες Απορροής και Υδατορεύματα Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας.....	41
Σχήμα 5.2: Λεκάνες Απορροής και Υδατορεύματα Δημοτικής Ενότητας Παλαμά.....	43
Σχήμα 5.3: Μοναδιαία Υδρογραφήματα Λεκανών Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας.....	50
Σχήμα 5.4: Μοναδιαία Υδρογραφήματα Λεκανών Δημοτικής Ενότητας Παλαμά.....	50
Σχήμα 5.5: Τμηματικά Ύψη Λεκάνης Απορροής Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας.....	53
Σχήμα 5.6: Τμηματικά Ύψη Λεκάνης Απορροής Δημοτικής Ενότητας Παλαμά.....	54
Σχήμα 5.7: Διατεταγμένα Τμηματικά Ύψη Λεκάνης Απορροής Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας.....	55
Σχήμα 5.8 Διατεταγμένα Τμηματικά Ύψη Λεκάνης Απορροής Δημοτικής Ενότητας Παλαμά.....	55
Σχήμα 5.9: Αθροιστικό Υετογράφημα Λεκάνης Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας.....	56
Σχήμα 5.10: Αθροιστικό Υετογράφημα Λεκάνης Δημοτικής Ενότητας Παλαμά.....	56
Σχήμα 5.11: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας (Τύπος υγρασίας I).....	63
Σχήμα 5.12: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας (Τύπος υγρασίας II).....	64
Σχήμα 5.13: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας (Τύπος υγρασίας III).....	64
Σχήμα 5.14: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά (Τύπος υγρασίας I).....	65

Σχήμα 5.15: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά (Τύπος υγρασίας II)	65
Σχήμα 5.16: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά (Τύπος υγρασίας III)	66
Σχήμα 5.17: Ενεργά Τμηματικά Ύψη της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας	67
Σχήμα 5.18: Ενεργά Τμηματικά Ύψη της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά	68
Σχήμα 5.19: Πλημμυρογράφημα εισόδου Λεκάνης 1 Δ.Ε. Καρδίτσας	69
Σχήμα 5.20: Πλημμυρογράφημα εισόδου Λεκάνης 2 Δ.Ε. Καρδίτσας	70
Σχήμα 5.21: Πλημμυρογράφημα εισόδου Λεκάνης 1 Δ.Ε. Παλαμά	71
Σχήμα 5.22: Πλημμυρογράφημα εισόδου Λεκάνης 2 Δ.Ε. Παλαμά	71
Σχήμα 5.23: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας	73
Σχήμα 5.24: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους Δημοτικής Ενότητας Παλαμά	74
Σχήμα 5.25: Χρήσεις γης Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας	75
Σχήμα 5.26: Χρήσεις γης Δημοτικής Ενότητας Παλαμά	75
Σχήμα 5.27: Χάρτης με τιμές συντελεστή Manning στη Δ.Ε. Καρδίτσας	77
Σχήμα 5.28: Χάρτης με τιμές συντελεστή Manning στη Δ.Ε. Παλαμά	77
Σχήμα 5.29: Δεδομένα εισόδου υδραυλικού μοντέλου LISFLOOD - FP	82
Σχήμα 5.30: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 1 στη Δ.Ε. Παλαμά	83
Σχήμα 5.31: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 2 στη Δ.Ε. Παλαμά	84
Σχήμα 5.32: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 3 στη Δ.Ε. Παλαμά	84
Σχήμα 5.33: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 1 στη Δ.Ε. Καρδίτσας	85
Σχήμα 5.34: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 2 στη Δ.Ε. Καρδίτσας	85
Σχήμα 5.35: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 3 στη Δ.Ε. Καρδίτσας	86
Σχήμα 5.36: Όρια πλημμυρικού πεδίου για τα τρία σενάρια στη Δ.Ε. Καρδίτσας	87
Σχήμα 5.37: Όρια πλημμυρικού πεδίου για τα τρία σενάρια στη Δ.Ε. Παλαμά	88
Σχήμα 6.1: Μεταβολή των κατακλυζόμενων εκτάσεων (km ²) διαφόρων τύπων χρήσεων γης στα τρία σενάρια	93
Σχήμα 6.2: Μεταβολή των κατακλυζόμενων εκτάσεων (km ²) της μόνιμα αρδευόμενης γης στα τρία σενάρια	93
Σχήμα 6.3: Χάρτης κινδύνων πλημμύρας (Σενάριο 3)	94

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά υπολεκανών Δυτικής Λεκάνης Απορροής Πηνειού	19
Πίνακας 3.2: Περιφερειακές ενότητες Δυτικής Θεσσαλίας	20
Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη Λεκάνης 1 Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας	41
Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη Λεκάνης 2 Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας	42
Πίνακας 5.3: Χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη Λεκάνης 1 Δημοτικής Ενότητας Παλαμά ..	43
Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη Λεκάνης 1 Δημοτικής Ενότητας Παλαμά ..	44
Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα υπολογισμού χρόνων t_p , t_u Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας	47
Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα υπολογισμού χρόνων t_p , t_u Δημοτικής Ενότητας Παλαμά	47
Πίνακας 5.7: Όγκος πλημμύρας, παροχή αιχμής και παράμετροι λογαριθμοκανονικής κατανομής για τη Δημοτική Ενότητα Καρδίτσας	49
Πίνακας 5.8: Όγκος πλημμύρας, παροχή αιχμής και παράμετροι λογαριθμοκανονικής κατανομής για τη Δημοτική Ενότητα Παλαμά	49
Πίνακας 5.9: Χαρακτηριστικά επεισοδίου βροχής	51
Πίνακας 5.10: Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής στη λεκάνη της Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας	52
Πίνακας 5.11: Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής στη λεκάνη της Δημοτικής Ενότητας Παλαμά	53
Πίνακας 5.12: Πίνακας τιμών CN για συνθήκες υγρασίας τύπου II	60
Πίνακας 5.13: Κατηγορίες χρήσεων γης στις λεκάνες απορροής	60
Πίνακας 5.14: Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN που υιοθετήθηκαν για τους 9 συνδυασμούς υδρολογικής ομάδας και χρήσης γης, αντίστοιχες αναλογίες εκτάσεων και τελικοί υπολογισμοί του σταθμισμένου αριθμού καμπύλης απορροής CN της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας	61
Πίνακας 5.15: Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN που υιοθετήθηκαν για τους 9 συνδυασμούς υδρολογικής ομάδας και χρήσης γης, αντίστοιχες αναλογίες εκτάσεων και τελικοί υπολογισμοί του σταθμισμένου αριθμού καμπύλης απορροής CN της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά	62
Πίνακας 5.16: Τιμές CN για τύπους υγρασίας I, II της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας	62
Πίνακας 5.17: Τιμές CN για τύπους υγρασίας I, II της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά	63
Πίνακας 5.18: Συνοπτικά αποτελέσματα υπολογισμών για τη λεκάνη της Δ.Ε. Καρδίτσας	67
Πίνακας 5.19: Συνοπτικά αποτελέσματα υπολογισμών για τη λεκάνη της Δ.Ε. Παλαμά	68
Πίνακας 5.20: Παροχές αιχμής για τις λεκάνες απορροής της Δ.Ε. Καρδίτσας	70

Πίνακας 5.21: Παροχές αιχμής για τις λεκάνες απορροής της Δ.Ε. Παλαμά.....	72
Πίνακας 5.22: Τιμές συντελεστή τραχύτητας Manning για διάφορες χρήσεις γης	76
Πίνακας 5.23: Εκτάσεις κατάκλυσης για τα τρία σενάρια στη Δ.Ε. Καρδίτσας	88
Πίνακας 5.24: Εκτάσεις κατάκλυσης για τα τρία σενάρια στη Δ.Ε. Παλαμά	88
Πίνακας 6.1: Σενάρια πλημμυρικής κατάκλυσης	91
Πίνακας 6.2: Πλημμυρική επικινδυνότητα με βάση τους κοινωνικούς παράγοντες	92
Πίνακας 6.3: Πλημμυρική επικινδυνότητα με βάση τους οικονομικούς παράγοντες (υποδομές)	92
Πίνακας 6.4: Πλημμυρική επικινδυνότητα με βάση τους οικονομικούς παράγοντες (καλλιεργήσιμες εκτάσεις).....	92
Πίνακας 6.5: Πλημμυρική επικινδυνότητα με βάση τους οικολογικούς παράγοντες.....	92

Περίληψη

Στη παρούσα διπλωματική εργασία, αρχικά δημιουργήθηκε ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την εκτίμηση της τρωτότητας των περιοχών της Δυτικής Θεσσαλίας, δηλαδή ο προσδιορισμός των περιοχών εκείνων, οι οποίες σε μία ενδεχόμενη μελλοντική πλημμύρα έχουν μεγάλη πιθανότητα να υποστούν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες. Από τους χάρτες τρωτότητας, που προέκυψαν, επιλέχθηκαν για περαιτέρω υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση οι Δημοτικές Ενότητες Καρδίτσας και Παλαμά, οι οποίες παρουσίασαν την υψηλότερη τρωτότητα. Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η υδρολογική διερεύνηση αρχικά με την σύνθεση των πλημμυρογραφήματων εισροής, για την οποία υιοθετήθηκε η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Αρχικά υπολογίστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα για κάθε λεκάνη απορροής και στη συνέχεια εκτιμήθηκαν οι καταγίδες ελέγχου με βάση τις αντίστοιχες όμβριες καμπύλες για περίοδο επαναφοράς $T=100$. Στο επόμενο βήμα υπολογίστηκαν οι απώλειες και η ωφέλιμη βροχή σύμφωνα με τη μέθοδο του Soil Conservation Service και τέλος εκτιμήθηκαν τα πλημμυρογραφήματα εισροής στις περιοχές μελέτης για κάθε τύπο συνθηκών υγρασίας εδάφους. Επόμενο στάδιο ήταν η υδραυλική προσομοίωση, η οποία πραγματοποιήθηκε με το ψευδο-διδιάστατο υδραυλικό μοντέλο LISFLOOD-FP και έτσι προέκυψαν τα βάθη νερού. Μετά από επεξεργασία των αποτελεσμάτων σε περιβάλλον GIS, προέκυψαν οι χάρτες μέσω των βαθών νερού και ορίων πλημμύρας για τα τρία σενάρια, που εξετάστηκαν. Τέλος, έγινε μία εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας της Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας, η οποία εκτιμά τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες.

Abstract

In the present thesis initially, a methodological framework for the assessment of the vulnerability of areas of western Thessaly was created, namely the identification of those areas, which have a significant possibility of having adverse effects on human health, the environment, cultural heritage and economic activity in future flooding. From the resulted vulnerability maps were selected for further hydrological and hydraulic simulation the regions of Karditsa and Palamas, which showed the highest vulnerability. Then the hydrological investigation initially involved the synthesis of hydrographs, based on the method of unit hydrograph. At first unit hydrographs for each basin were estimated and control storms based on the IDF curves corresponding to a return period of $T = 100$ were estimated. The next step was the calculation of the losses and the net rainfall according to the Soil Conservation Service method and finally the estimation of the flood hydrographs for each type of soil moisture conditions. Next stage was the hydraulic simulation, which was performed with the pseudo 2D hydraulic model LISFLOOD-FP and thus generated the depths of water. After processing the results in GIS environment arised maps for average water depths and flood limits for the three examined cases. Finally, a flood risk assessment in the region of Karditsa was held regarding the potential negative effects on human health, the environment, the cultural heritage and the economic activity.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο διπλωματικής εργασίας

Στο πλαίσιο εφαρμογής της Κοινοτικής Οδηγίας-Πλαίσιο για τις πλημμύρες (2007/60/EK), απαραίτητη κρίνεται η διερεύνηση και εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου. Στη παρούσα διπλωματική εργασία, αρχικά δημιουργήθηκε ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την εκτίμηση της τρωτότητας των περιοχών της Δυτικής Θεσσαλίας, δηλαδή ο προσδιορισμός των περιοχών εκείνων, οι οποίες σε μία ενδεχόμενη μελλοντική πλημμύρα έχουν μεγάλη πιθανότητα να υποστούν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες. Από τους χάρτες τρωτότητας, που προέκυψαν επιλέχθηκαν για περαιτέρω υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση οι Δημοτικές Ενότητες Καρδίτσας και Παλαμά, οι οποίες παρουσίασαν την υψηλότερη τρωτότητα.

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η υδρολογική διερεύνηση αρχικά με την σύνθεση των πλημμυρογραφήματων εισροής, για την οποία υιοθετήθηκε η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Αρχικά υπολογίστηκε το μοναδιαίο υδρογράφημα για κάθε λεκάνη απορροής και στη συνέχεια εκτιμήθηκαν οι καταιγίδες ελέγχου με βάση τις αντίστοιχες όμβριες καμπύλες για περίοδο επαναφοράς $T=100$. Στο επόμενο βήμα υπολογίστηκαν οι απώλειες και η ωφέλιμη βροχή σύμφωνα με τη μέθοδο του Soil Conservation Service και τέλος εκτιμήθηκαν τα πλημμυρογραφήματα εισροής στις περιοχές μελέτης για κάθε τύπο συνθηκών υγρασίας εδάφους.

Επόμενο στάδιο ήταν η υδραυλική προσομοίωση, η οποία πραγματοποιήθηκε με το ψευδο-διδιάστατο υδραυλικό μοντέλο LISFLOOD-FP και έτσι προέκυψαν τα βάθη νερού. Μετά από επεξεργασία των αποτελεσμάτων σε περιβάλλον GIS προέκυψαν οι χάρτες μέσων βαθών νερού και ορίων πλημμύρας για τα τρία σενάρια, που εξετάστηκαν.

Τέλος, έγινε μία εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας της Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας, η οποία περιλαμβάνει την πιθανότητα να λάβει χώρα πλημμύρα και τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται μ' αυτή την πλημμύρα.

1.2 Πλημμύρες

Σύμφωνα με το Άρθρο 2, του πρώτου Κεφαλαίου της Οδηγίας 2007/60/EK για τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, πλημμύρα ορίζεται η προσωρινή κάλυψη εδάφους με νερό, που σε φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Αυτός ο όρος περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, χείμαρρους, εφήμερα υδατορεύματα ή από τη θάλασσα (σε παράκτιες περιοχές). Συνήθως, οφείλονται στη χωροχρονική εξέλιξη της βροχόπτωσης σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (μορφολογικά, εδαφολογικά, χρήσεις γης – φυτοκάλυψη) καθώς και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του συστήματος αποστράγγισης (υδρογραφικό δίκτυο ή ανθρωπογενές περιβάλλον), Οι κυριότερες αιτίες, που τις προκαλούν, είναι οι εξής (Λέκκας, 2009):

- Ραγδαίες και παρατεταμένες βροχές (φθινοπωρινές πλημμύρες)
- Ταχεία τήξη χιονιών και παγετώνων (πλημμύρες της άνοιξης)
- Ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, λόγω παλιρροιακών φαινομένων
- Εφόρμηση της θάλασσας στην ξηρά, λόγω τσουνάμι
- Απότομη διάρρηξη φράγματος τεχνητής λίμνης

Οι πλημμύρες αποτελούν τη δεύτερη πιο συχνή φυσική καταστροφή, μετά τις δασικές πυρκαγιές. Κυρίως, εκδηλώνονται είτε ως βραδείας εξέλιξης (ετήσιες) πλημμύρες, οι οποίες δεν προκαλούν μεγάλες καταστροφές, είτε ως ξαφνικά γεγονότα (flash floods), που έχουν σοβαρές επιπτώσεις στις περιοχές που πλήττουν. (Λέκκας, 2009)

Τα κύρια μεγέθη μιας πλημμύρας είναι η παροχή αιχμής και η αντίστοιχη στάθμη στο υδατόρευμα, ο πλημμυρικός όγκος και η χρονική διάρκεια του πλημμυρικού γεγονότος που συσχετίζεται με τη διάρκεια της βροχόπτωσης. Το μέγεθος μιας πλημμύρας συνδέεται με τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης (συνολικό ύψος, ένταση, διάρκεια), της λεκάνης απορροής (έκταση, συντελεστής απορροής, χρόνος

συρροής) και των υδατορευμάτων (διατομή, κλίση, τραχύτητα, κατόντη στάθμες) (Μαμάσης, 2009).

Η ανάλυση των πλημμυρών περιλαμβάνει δύο κύρια πεδία, την υδρολογική και την υδραυλική ανάλυση. Με την υδρολογική ανάλυση μελετάται το επεισόδιο της βροχής και γίνεται η εκτίμηση των παροχών απορροής σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής. Με αυτά τα δεδομένα η υδραυλική ανάλυση περιγράφει την εξέλιξη της ροής στο υφιστάμενο υδρογραφικό δίκτυο της λεκάνης καθώς και την πιθανή κατάκλυση στα πλημμυρικά πεδία εκατέρωθεν των καναλιών.

Το υδρολογικό και πλημμυρικό καθεστώς στην Ευρώπη είναι ποικίλο λόγω της μεταβλητότητας του ανάγλυφου και του κλίματος μεταξύ των περιοχών. Ωστόσο, η συχνότητα και η ένταση των πλημμυρικών γεγονότων έχει προκαλέσει ανησυχία, λόγω των αυξημένων απωλειών σε ανθρώπινες ζωές αλλά και των εκτεταμένων οικονομικών ζημιών, καθώς πλήττονται κατοικημένες περιοχές καθώς και καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Επιπλέον, οι πλημμύρες μπορεί να έχουν και σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως για παράδειγμα όταν κατακλύζονται εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων ή όταν πλήττονται εργοστάσια με μεγάλες ποσότητες τοξικών χημικών προϊόντων. Τέλος, υπάρχει πιθανότητα να θίξουν προστατευόμενες περιοχές και οικότοπους, γεγονός με περιβαλλοντικές προεκτάσεις (Ε.Ο.Κ.Ε., 2005).

1.3 Πλημμυρικό καθεστώς στην Ελλάδα

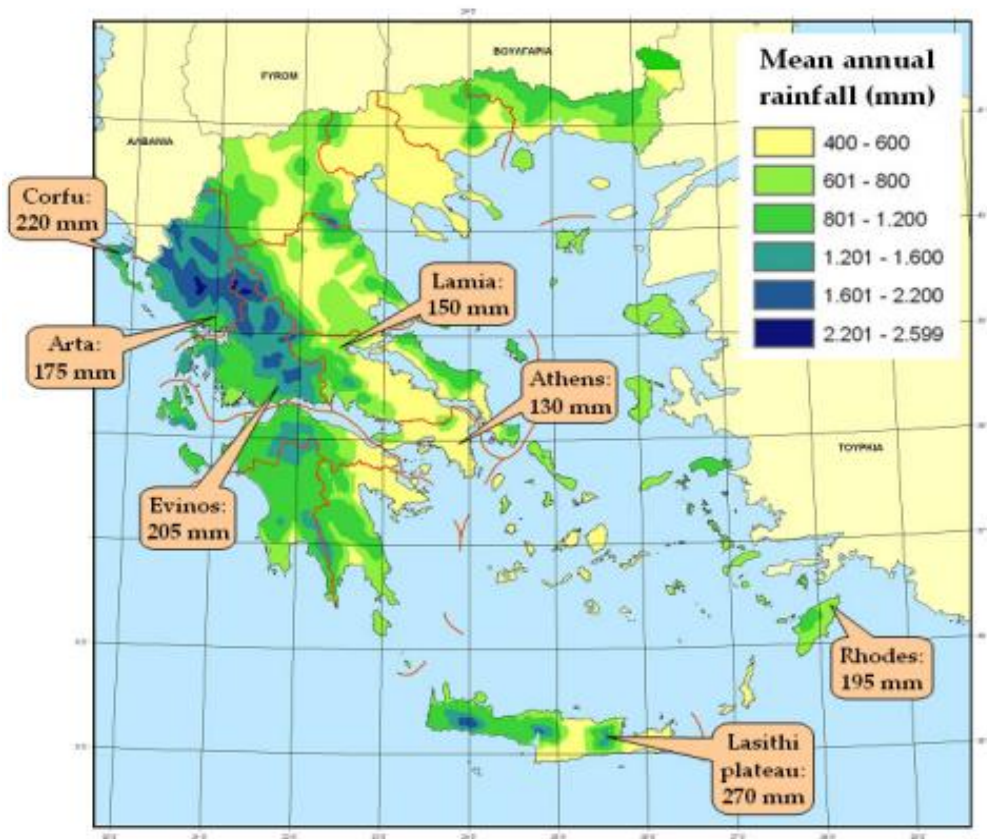
Ο Ελλαδικός χώρος χαρακτηρίζεται από έντονο ανάγλυφο και μεγάλη ακτογραμμή. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική μεταβλητότητα τόσο των τοπογραφικών και εδαφολογικών χαρακτηριστικών, όσο και των υδρολογικών και κλιματικών.

Λόγω του πολύπλοκου ανάγλυφου και των διαφόρων μεγεθών και χαρακτηριστικών των λεκανών απορροής, η χώρα έχει χωριστεί σε 14 υδατικά διαμερίσματα, στο εσωτερικό των οποίων υπάρχει σχετική κλιματική και υδρολογική ομοιογένεια. Η οροσειρά της Πίνδου διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στα φαινόμενα βροχοπτώσεων στην Ελλάδα. Πιο συγκεκριμένα, η δυτική Ελλάδα παρουσιάζει σαφώς αυξημένες βροχοπτώσεις σε σύγκριση με την ανατολική. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην

δυτική Ελλάδα είναι της τάξης των 1800mm, ενώ στην ανατολική το αντίστοιχο μέγεθος είναι περίπου 400mm.

Ωστόσο, η εκδήλωση πλημμυρικών γεγονότων δεν σχετίζεται άμεσα με τη μέση ετήσια βροχόπτωση, αλλά με την ένταση και τη διάρκεια των βροχοπτώσεων, καθώς και με το ανάγλυφο της λεκάνης. Γι' αυτόν τον λόγο, παρότι οι βροχοπτώσεις στην δυτική χώρα είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτερες απ' ότι στην ανατολική, οι πλημμυρικές απορροές στην ανατολική είναι πολύ συχνότερες (Γκιόκας, 2009).

Στην παρακάτω εικόνα, παρουσιάζονται οι μέσες υπερετήσιες βροχοπτώσεις ανά υδατικό διαμέρισμα στην Ελλάδα για το διάστημα 1960-1990.



Σχήμα 1.1: Γεωγραφική κατανομή της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης στην Ελλάδα και εκτίμηση υψών για βροχόπτωση 24 ωρών και περίοδο επαναφοράς 50 ετών σε χαρακτηριστικές τοποθεσίες. (Πηγή: Koutsoyiannis et al, 2012)

1.4 Λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας είναι τα εξής προγράμματα:

- ArcGIS, είναι ομάδα προγραμμάτων διαχείρισης συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών της ESRI.
- Map Window, είναι πρόγραμμα διαχείρισης συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών.
- LISFLOOD – FP, είναι ψευδο-διδιάστατο υδραυλικό μοντέλο και κατασκευάστηκε από τη σχολή Γεωγραφικών Επιστημών του Πανεπιστημίου του Bristol. (<http://www.bris.ac.uk/geography/research/hydrology/models/lisflood>)
- Microsoft Office 2010 (word, excel, power point).

1.5 Πηγές Δεδομένων

Τα δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν, για την Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας, προέρχονται από τους ιστότοπους των αρμόδιων διαχειριστικών αρχών, όπως του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (www.ypeka.gr), της Εθνικής Τράπεζας Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας (www.hydroscope.gr) και της ανοιχτής βάσης γεωχωρικών δεδομένων της ευρύτερης Δημόσιας Διοίκησης (geodata.gov.gr). Τα δεδομένα αυτά είναι σε μορφή shapefile και η επεξεργασία τους έγινε με τη χρήση του ArcMap 10.1. Στον ακόλουθο πίνακα αναφέρονται η μορφή και το όνομα των αρχείων που προέρχονται από το ΥΠΕΚΑ και χρησιμοποιήθηκαν για την Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας και την κατάρτιση Πλημμυρικών Χαρτών.

Πίνακας 1.1: Περιγραφή αρχείων δεδομένων (GIS)

Δεδομένα	Περιγραφή	Γεωμετρία (GIS)	Όνομα Αρχείου (GIS)
Πολιτιστική Κληρονομιά	<ul style="list-style-type: none">• Αρχαιολογικοί χώροι, μνημεία	Σημείο	Ancient
Υποδομές	<ul style="list-style-type: none">• Νοσοκομεία	Σημείο	Hospital
Υποδομές	<ul style="list-style-type: none">• Δομημένες Περιοχές• Νοσοκομεία• Βιομηχανικές	Πολύγωνο Σημείο Σημείο	Built Hospital Industry

Χρήσεις Γης	Μονάδες	Σημείο	
	• Λατομεία	Σημείο	Quarry
	• Φράγματα	Σημείο	Dam
	• Κόμβος σιδηρόδρομου	Σημείο	RailNode
	• Κόμβος δρόμου		RoadNode
	• Μόνιμα αρδευόμενη γη	Πολύγωνο	Corine ID : 212
	• Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	Πολύγωνο	211
	• Σύνθετες καλλιέργειες	Πολύγωνο	242
	• Αμπελώνες	Πολύγωνο	221
Πηγές Ρύπανσης	• Χώροι εξόρυξης ορυκτών	Πολύγωνο	131
	• Βιομηχανικές και Εμπορικές Ζώνες	Πολύγωνο	121
	• Βιολογικοί Καθαρισμοί	Σημείο	WWTP
	• ΧΥΤΑ	Σημείο	Landfill
	• Εγκαταστάσεις I.E.D.	Σημείο	Seveso, IPPC
Προστατευόμενες Περιοχές	• Προστατευόμενη Περιοχή πτηνών	Πολύγωνο	Pa_Bi
	• Προστατευόμενη Περιοχή οικοτόπων	Πολύγωνο	Pa_Ha
Ιστορικές Πλημμύρες	• Πλήθος ιστορικών γεγονότων	Σημείο	HistoricFlood

Επιπλέον, πρόσθετα δεδομένα προήλθαν από τον ιστότοπο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για την εφαρμογή της οδηγίας για τα νερά και τις πλημμύρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2. Θεσμικό πλαίσιο για τη διαχείριση των πλημμυρών

2.1 Οδηγία 2007/60 για την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας

Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της 23^{ης} Οκτωβρίου 2007 εξέδωσε την Οδηγία 2007/60/EK για την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, η οποία τέθηκε σε ισχύ στις 26 Νοεμβρίου 2007. Η Οδηγία αυτή βασίζεται καθώς επίσης συμπληρώνει την Οδηγία Πλαίσιο για τα νερά 2000/60/EK όσον αφορά στη διαχείριση του πλημμυρικού κινδύνου. Η Οδηγία προβλέπει τρία στάδια για την αντιμετώπιση του φαινομένου της πλημμύρας από τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης την προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας, τη δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας και χαρτών κινδύνων πλημμύρας και τέλος την εκπόνηση σχεδίων διαχείρισης κινδύνων πλημμύρας.

Ο σκοπός της Οδηγίας είναι η θέσπιση πλαισίου για τη διαχείριση και αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες που συνδέονται με τις πλημμύρες στην κοινότητα. (Κεφ. 1, Άρθρο 1)

Στη συνέχεια στο Άρθρο 2 ορίζονται :

- η «πλημμύρα» ως η προσωρινή κάλυψη από νερό εδάφους το οποίο, υπό φυσιολογικές συνθήκες, δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους, εφήμερα ρεύματα της Μεσογείου και πλημμύρες από τη θάλασσα σε παράκτιες περιοχές, δύναται δε να εξαιρεί πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης.
- ο «κίνδυνος πλημμύρας» ως ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το

περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται μ' αυτή την πλημμύρα.

Το πρώτο στάδιο, σύμφωνα με το Κεφάλαιο II (Άρθρο 4), περιλαμβάνει την *προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας* για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού και στις αντίστοιχες παράκτιες ζώνες δηλαδή τα Κράτη Μέλη υποχρεούνται να προσδιορίσουν τις περιοχές που είναι επιρρεπείς σε εμφάνιση μελλοντικών πλημμυρικών συμβάντων ώστε να προκαταλάβουν τις ενδεχόμενες δυσμενείς συνέπειες. Προκειμένου να πραγματοποιηθεί αυτή η αξιολόγηση προβλέπονται:

1. χάρτες της περιοχής της λεκάνης απορροής του ποταμού στην κατάλληλη κλίμακα, οι οποίοι περιλαμβάνουν τα όρια των λεκανών και των υπολεκανών απορροής ποταμών.
2. περιγραφή των πλημμυρών οι οποίες σημειώθηκαν κατά το παρελθόν και είχαν σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις στις ανθρώπινες ζωές, στις οικονομικές δραστηριότητες και στο περιβάλλον, όταν υπάρχει ακόμη πιθανότητα παρόμοιων μελλοντικών συμβάντων, συμπεριλαμβανομένων της έκτασης της πλημμύρας, των οδών αποστράγγισης και της αξιολόγησης των αρνητικών επιπτώσεων που προκάλεσαν.
3. περιγραφή των σημαντικών πλημμυρών οι οποίες σημειώθηκαν κατά το παρελθόν, εκ των οποίων θα μπορούσαν, ενδεχομένως να προβλεφθούν οι σημαντικές αρνητικές συνέπειες παρόμοιων φαινομένων στο μέλλον.

Το δεύτερο στάδιο, σύμφωνα με το Κεφάλαιο III (Άρθρο 6), περιλαμβάνει την κατάρτιση *χαρτών επικινδυνότητας πλημμυρών και χαρτών κινδύνων πλημμύρας* για τις περιοχές που χαρακτηρίζονται με βάση την προκαταρκτική εκτίμηση της πλημμυρικής διακινδύνευσης ως δυνητικές περιοχές υψηλής διακινδύνευσης.

Οι χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας καλύπτουν περιοχές που μπορεί να πλημμυρίσουν σύμφωνα με τα ακόλουθα σενάρια (Παρ. 3):

- Πλημμύρες χαμηλής πιθανότητας ή σενάρια ακραίων φαινομένων.
- Πλημμύρες μέσης πιθανότητας (με πιθανή περίοδο επαναληπτικότητας ≥ 100 χρόνια).
- Πλημμύρες υψηλής πιθανότητας, ανάλογα με την περίπτωση.

Για κάθε σενάριο προβλέπεται ο υπολογισμός των ακόλουθων στοιχείων (Παρ. 4):

- Η έκταση της πλημμύρας.
- Το βάθος του νερού ή η στάθμη του νερού, ανάλογα με την περίπτωση.
- Η ταχύτητα ροής ή η σχετική ροή των υδάτων, ανάλογα με την περίπτωση.

Οι *χάρτες κινδύνου πλημμύρας* περιγράφουν τις δυνητικές αρνητικές συνέπειες που συνδέονται με τα αναφερθέντα σενάρια πλημμύρας μέσω δεικτών όπως (Παρ. 5):

- Ο αριθμός κατοίκων που ενδέχεται να πληγούν.
- Ο τύπος της οικονομικής δραστηριότητας στην περιοχή.
- Οι εγκαταστάσεις που ενδέχεται να αποτελούν πηγές ρύπανσης σε ενδεχόμενη πλημμύρα και οι προστατευόμενες περιοχές.
- Άλλες πληροφορίες που το κράτος μέλος θεωρεί χρήσιμες, όπως η επισήμανση των περιοχών όπου υπάρχει το ενδεχόμενο πλημμυρών με αυξημένο ποσοστό μεταφερόμενων ιζημάτων και πλημμυρών που παρασύρουν υπολείμματα και πληροφορίες για πιθανές άλλες σημαντικές πηγές ρύπανσης.

Στο τελικό στάδιο εφαρμογής της οδηγίας, σύμφωνα με το Κεφάλαιο IV, τα κράτη μέλη πρέπει να καταρτίσουν με βάση τους χάρτες πλημμυρικής επικινδυνότητας συντονισμένα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας. Σκοπός των σχεδίων είναι η μείωση των δυνητικών αρνητικών συνεπειών που έχουν οι πλημμύρες για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και την οικονομική δραστηριότητα (Άρθρο 7, Παρ. 2). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της πρόληψης, της προστασίας και της ετοιμότητας συμπεριλαμβανομένων των προβλέψεων πλημμυρών και των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης του πληθυσμού στις περιοχές όπου υπάρχει υψηλή πιθανότητα πλημμύρας. Τέλος, τα Κράτη Μέλη οφείλουν να εκπονήσουν και να δημοσιοποιήσουν τα σχέδια διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας έως τις 22 Δεκεμβρίου του 2015, στη συνέχεια επανεξετάζονται και ανανεώνονται έως το 2021, και μετά ανά εξαετία.

Ενδεικτικά παρατίθεται το χρονοδιάγραμμα εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/EK:

Πίνακας 2.1: Χρονοδιάγραμμα εφαρμογής της Οδηγίας 2007/60/EK

α/α	Διαδικασία	Ημερομηνία
------------	-------------------	-------------------

1	Έναρξη ισχύος της Οδηγίας (Άρθρο 18)	26/11/2007
2	Συμμόρφωση Κρατών Μελών με την Οδηγία (Άρθρο 17)	26/11/2009
3	Θέσπιση τεχνικών υποδειγμάτων (Άρθρο 11) για:	
	▪ Την προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας (Άρθρο 4, παρ.4)	22/12/2009
	▪ Τους χάρτες επικινδυνότητας πλημμύρας και τους χάρτες κινδύνων πλημμύρας (Άρθρο 6, παρ. 8)	22/12/2011
	▪ Τα σχέδια των κινδύνων πλημμύρας (Άρθρο 7, παρ. 5)	22/12/2013
4	Προκαταρκτική αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας (Άρθρα 4, 5)	22/12/2011
5	Κατάρτιση χαρτών επικινδυνότητας και χαρτών κινδύνων πλημμύρας (Άρθρο 6)	22/12/2013
6	Εκπόνηση σχεδίων διαχείρισης των κινδύνων πλημμύρας (Άρθρο 7)	22/12/2015
7	Συντονισμός με την Οδηγία 2000/60, ενημέρωση κοινού και διαβούλευση (Άρθρο 9)	
8	Επανεξέταση και εφόσον απαιτείται επικαιροποίηση της προκαταρκτικής αξιολόγησης κινδύνου πλημμύρας (Άρθρο 14)	22/12/2018 και εν συνεχεία ανά εξαετία
9	Επανεξέταση και εφόσον απαιτείται επικαιροποίηση των χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας και των χαρτών κινδύνων πλημμύρας (Άρθρο 14)	22/12/2019 και εν συνεχεία ανά εξαετία
10	Επανεξέταση και εφόσον απαιτείται επικαιροποίηση των χαρτών επικινδυνότητας πλημμύρας, των χαρτών κινδύνων πλημμύρας και των σχεδίων διαχείρισης συμπεριλαμβανομένων και των στοιχείων του Β μέρους του Παραρτήματος (Άρθρο 14)	22/12/2021 και εν συνεχεία ανά εξαετία

2.2 Συντονισμός της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ με την Οδηγία 2000/60/ΕΕ

Η επιτυχής εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60 δεν περιορίζεται μόνο στην πραγματοποίηση των τριών σταδίων, που αναφέρθηκαν παραπάνω, αλλά και στην ταυτόχρονη τήρηση απαιτήσεων, που έχουν θεσπιστεί με άλλα κοινοτικά νομοθετικά κείμενα. Η οδηγία για την διαχείριση του κινδύνου πλημμύρας παραπέμπει στην Οδηγία 2000/60, ώστε να ληφθούν κατάλληλα μέτρα με σκοπό το συντονισμό των δύο οδηγιών.

Η Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά 2000/60/ΕΚ επιβάλλει την ανάπτυξη ολοκληρωμένων σχεδίων διαχείρισης για κάθε λεκάνη απορροής ποταμού με στόχο την επίτευξη

καλής οικολογικής και χημικής κατάστασης και φιλοδοξεί στην άμβλυση των επιπτώσεων των πλημμυρών.

Ο συντονισμός των δύο οδηγιών αποτελεί την ολοκληρωμένη διαχείριση της λεκάνης απορροής ποταμών. Συνεπώς στους χάρτες κινδύνου πλημμύρας, όχι μόνο θα περιγράφονται οι δυνητικές αρνητικές συνέπειες των πλημμυρών, αλλά και θα καταγράφονται και οι προστατευόμενες περιοχές (NATURA 2000) που αναφέρονται στην οδηγία πλαίσιο και ενδέχεται να πληγούν. Τέλος τα στάδια που περιγράφει η Οδηγία 2007/60, θα πρέπει να επαναλαμβάνονται κάθε έξι έτη όπως ορίζουν τα βήματα της Οδηγίας 2000/60 με αρχή το 2009 (Τσακίρης, 2009).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3. Περιγραφή Περιοχής Μελέτης

3.1 Εισαγωγή

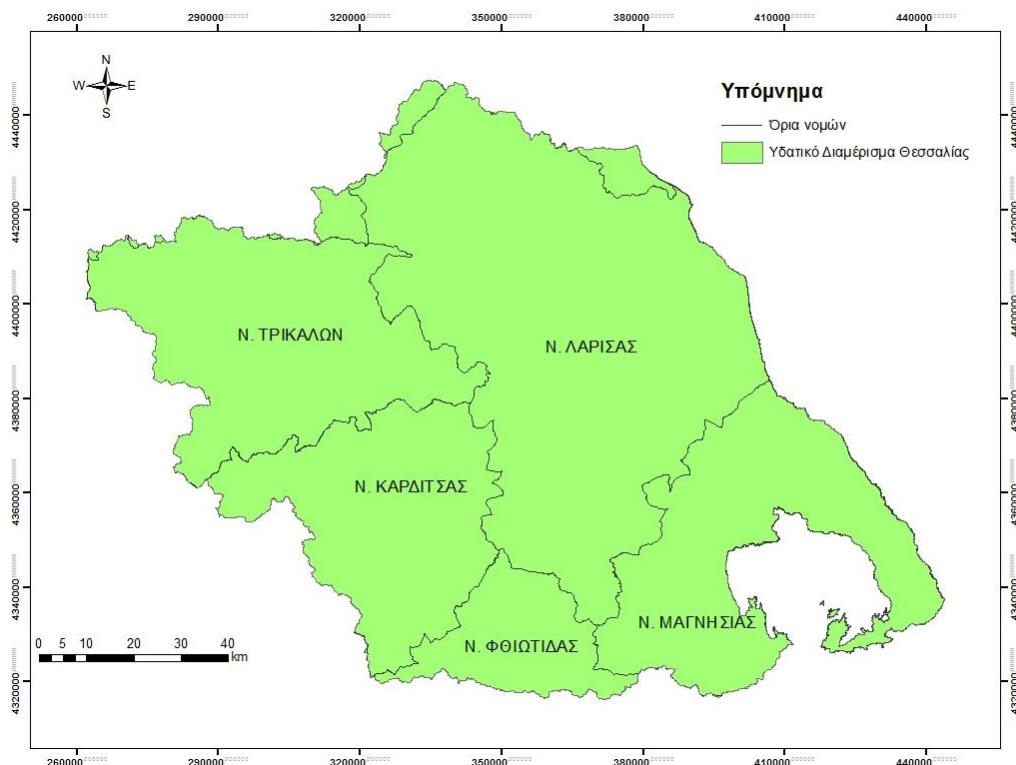
Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μία παρουσίαση των χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης. Στη παρούσα εργασία επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας (GR08) και πιο συγκεκριμένα το δυτικό τμήμα του. Ο λόγος για την επιλογή της συγκεκριμένης περιοχής είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της. Αρχικά, ο μεγάλος αριθμός των πλημμυρικών γεγονότων που έχουν συμβεί στο παρελθόν υποδηλώνουν μία περιοχή ευάλωτη σε πλημμύρες κυρίως λόγω του ομαλού ανάγλυφου. Επιπλέον, η πεδινή περιοχή της Θεσσαλίας αποτελεί οικονομικά μία από τις πιο σημαντικές περιοχές στην Ελλάδα με μεγάλη αγροτική παραγωγή. Με βάση τα παραπάνω κρίνεται επιτακτική η ανάγκη εκτίμησης και αξιολόγησης των επιπτώσεων ενδεχόμενων πλημμυρών στη Θεσσαλία. Στη συνέχεια, το υδατικό διαμέρισμα χωρίστηκε σε δύο τμήματα, ανατολικό και δυτικό, καθώς κρίθηκε ότι θα ήταν δύσκολη η διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων και εν συνεχεία η εξαγωγή συμπερασμάτων για το σύνολο του υδατικού διαμερίσματος λόγω του μεγάλου μεγέθους του.

3.2 Το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας

3.2.1 Γεωγραφικά στοιχεία

Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας εντοπίζεται στο κεντρικό – ανατολικό τμήμα του ηπειρωτικού κορμού της Ελλάδας και απαρτίζεται από τους Νομούς Καρδίτσας, Λαρίσης, Μαγνησίας και Τρικάλων, αλλά και τμήματα των Νομών Φθιώτιδας, Πιερίας και Γρεβενών, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Το βόρειο τμήμα του συνορεύει με τις Περιφέρειες Δυτικής και Κεντρικής Μακεδονίας, το νότιο με την Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδος, το δυτικό με την Περιφέρεια Ηπείρου ενώ το ανατολικό βρέχεται από το Αιγαίο Πέλαγος. Η συνολική έκταση της περιοχής είναι περίπου 13.055 km², ενώ η

έκταση της περιοχής μελέτης δηλαδή του δυτικού τμήματος που θα εξεταστεί υπολογίζεται περί τα 6.650 km². Η πεδιάδα της Θεσσαλίας αποτελεί μία κλειστή λεκάνη, που περιβάλλεται από ορεινούς όγκους και πιο συγκεκριμένα, βόρεια περιβάλλεται από τα Αντιχάσια, δυτικά από την οροσειρά της Πίνδου, νότια από το όρος Όθρυς και ανατολικά από τον Όλυμπο και Όσσα, δια μέσου των οποίων ο ποταμός Πηνειός βρίσκει διέξοδο προς το Αιγαίο. Η Θεσσαλία διαιρείται, από μικρούς κεντρικούς ορεινούς όγκους, σε δύο μικρότερες πεδιάδες, της Καρδίτσας στο δυτικό τμήμα και της Λάρισας στο ανατολικό.



Σχήμα 3.1: Νομοί που απαρτίζουν το υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας

3.2.2 Φυσικά χαρακτηριστικά

Γεωμορφολογία

Το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας παρουσιάζει απλή γεωμορφολογική εικόνα, με ορεινά τμήματα περιμετρικά και πεδινά στις κεντρικές περιοχές. Υπάρχουν πέντε ορεινοί όγκοι, μεταξύ των οποίων ο Όλυμπος, με υψόμετρο 2.917 m, το ψηλότερο στην Ελλάδα. Το πεδινό τμήμα καλύπτει σχεδόν το 35% της περιοχής μελέτης, ενώ η υπόλοιπη είναι ορεινή – ημιορεινή (26%), με υψόμετρο πάνω από 600 m, και

λοφώδες (39%), με υψόμετρο 150-600 m. Η πεδιάδα της Θεσσαλίας είναι η μεγαλύτερη του ελληνικού χώρου. Η ακτογραμμή της περιοχής μελέτης είναι ήπια χωρίς σημαντικό διαμελισμό, με εξαίρεση τον Παγασητικό κόλπο. Ο μεγαλύτερος ποταμός του υδατικού διαμερίσματος, αλλά και ο τρίτος σε μέγεθος στην Ελλάδα, είναι ο Πηνειός (ΥΠΕΚΑ, 2006).

Κλίμα

Το υδατικό διαμέρισμα διαιρείται σε τρεις περιοχές, την ανατολική παράκτια και ορεινή, με μεσογειακό κλίμα, την κεντρική πεδινή, με ηπειρωτικό κλίμα και τη δυτική ορεινή, με ορεινό κλίμα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία κυμαίνεται από 16 ως 17°C. Το ετήσιο θερμομετρικό εύρος ξεπερνά τους 22°C. Οι πιο θερμοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και οι πιο ψυχροί ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος (ΥΠΕΚΑ, 2006).

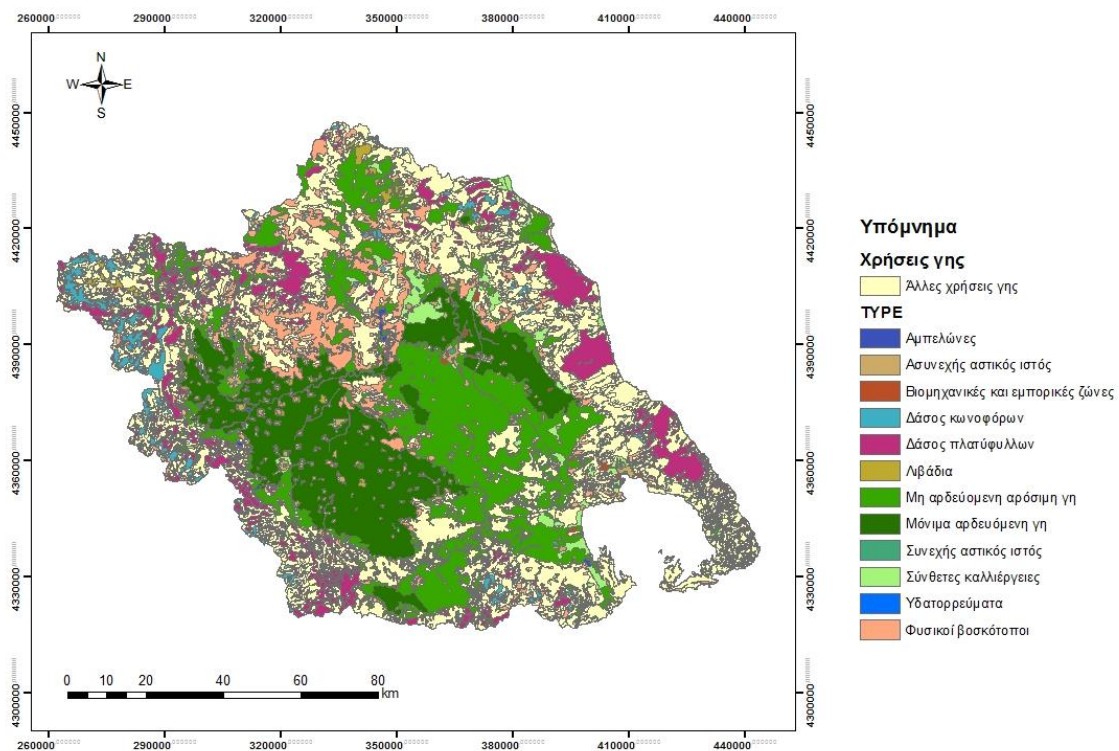
Το ύψος των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων είναι σχετικά μεγάλο στα δυτικά, στη συνέχεια μειώνεται στα πεδινά και αυξάνεται πάλι στο ορεινό ανατολικό τμήμα. Ενδεικτικές τιμές της ετήσιας βροχόπτωσης είναι 468 mm στο σταθμό Λάρισας, 550 mm στο σταθμό Τυρνάβου και 1142 mm στον πιο ορεινό σταθμό του Μουζακίου (Κουτσογιάννης, 1988). Οι πιο βροχεροί μήνες είναι από τον Οκτώβριο ως τον Ιανουάριο, ενώ οι πιο ξηροί οι Ιούλιος και Αύγουστος. Οι χιονοπτώσεις είναι συνηθισμένες, ιδιαίτερα στα ορεινά της Θεσσαλίας, και γίνονται πιο έντονες από τα νότια προς τα βόρεια και από τα ανατολικά προς τα δυτικά. Οι περισσότερες χιονοπτώσεις παρατηρούνται τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο (ΥΠΕΚΑ, 2006).

3.2.3 Φυσικό περιβάλλον περιοχής

Το μεγαλύτερο μέρος της Θεσσαλίας καταλαμβάνεται από καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Το έδαφος είναι κατά κύριο λόγο πεδινό, ενώ οι λοφώδεις και ημιορεινές εκτάσεις είναι ως επί το πλείστον βραχώδεις με μικρή φυσική βλάστηση αποτελούμενη από θαμνώδη και αείφυλλα - πλατύφυλλα. Επίσης, ένα μικρό ποσοστό των εκτάσεων της περιοχής, που δεν καλλιεργούνται, ανήκει στα λιβάδια.

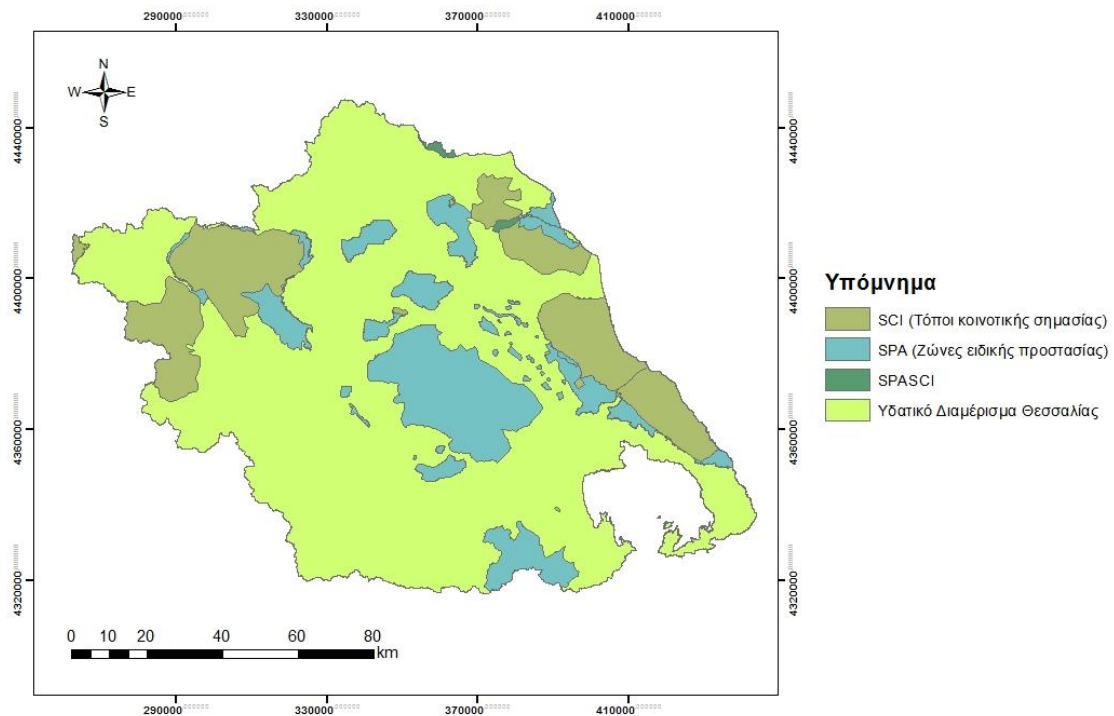
Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2, οι αγροτικές περιοχές κυριαρχούν με ποσοστό 44.8% και την επόμενη μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν οι ανοιχτοί χώροι με λίγη ή

καθόλου βλάστηση και ο συνδυασμός της θαμνώδους ή/και ποώδους βλάστησης με 36% της συνολικής έκτασης. Οι περιοχές, που καλύπτονται από δάση (16.7%), βρίσκονται στο ορεινό Πήλιο, σε περιοχές κοντά στα Τρίκαλα, όπως είναι η Ελάτη, η Πύλη Τρικάλων, το δασικό σύμπλεγμα της Όσσας και ο Κέδρος στο νομό Καρδίτσας. Οι τεχνητές επιφάνειες, όπως οι αστικές περιοχές, οι βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες και τα ορυχεία καταλαμβάνουν 2%, ενώ η επιφάνεια των υγρών ζωνών σε συνδυασμό με τις υδάτινες επιφάνειες καταλαμβάνουν λιγότερο και από το 0.5% της περιοχής. (www.agro-tour.net)



Σχήμα 3.2: Χρήσεις γης του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας
(Πηγή: Corine Land Cover 2000)

Τέλος, το Ευρωπαϊκό Οικολογικό Δίκτυο Περιοχών, δίκτυο NATURA 2000, έχει εντάξει στην λίστα των φυσικών τύπων οικοτόπων και οικοτόπων ειδών, αρκετές περιοχές οι οποίες εντοπίζονται στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Οι περιοχές αυτές, σημαντικές σε ευρωπαϊκό επίπεδο, αποτελούν «Ζώνες Ειδικής Προστασίας» (Special Protection Areas - SPA) ή/και «Τόποι Κοινοτικής Σημασίας» (SCI) και απεικονίζονται στο Σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3: Περιοχές Natura του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας
(Πηγή: www.geodata.gov.gr)

3.2.4 Γεωλογία της περιοχής

Στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας αναπτύσσονται, με βορειοδυτική – νοτιοανατολική κατεύθυνση, τρεις γεωτεκτονικές ζώνες: η Πελαγονική, η Υποπελαγονική και η Ζώνη Ολωνού – Πίνδου. Διακρίνονται μεταξύ τους με βάση το παλαιοπεριβάλλον απόθεσης που αντιπροσωπεύουν και τη γεωτεκτονική ιστορία τους. Τα πετρώματα των ζωνών αυτών αποτελούν το αλπικό υπόβαθρο της περιοχής. Τα βασικά χαρακτηριστικά των ζωνών περιγράφονται παρακάτω (Εθνικό πρόγραμμα Διαχείρισης και προστασίας των Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ 2008):

1. η Πελαγονική ζώνη με παλαιά μεταμορφωμένα σχιστογενευσιακά και ανθρακικά πετρώματα
2. η Υποπελαγονική ζώνη με κύριο χαρακτηριστικό γνώρισμα τις μεγάλες οφιολιθικές μάζες και τη συνοδεύουσα σχιστοκερατολιθική διάπλαση
3. η Ζώνη Ολωνού – Πίνδου με μεσοζωϊκούς ασβεστολιθικούς ορίζοντες και πυριτόλιθους.
- 4.

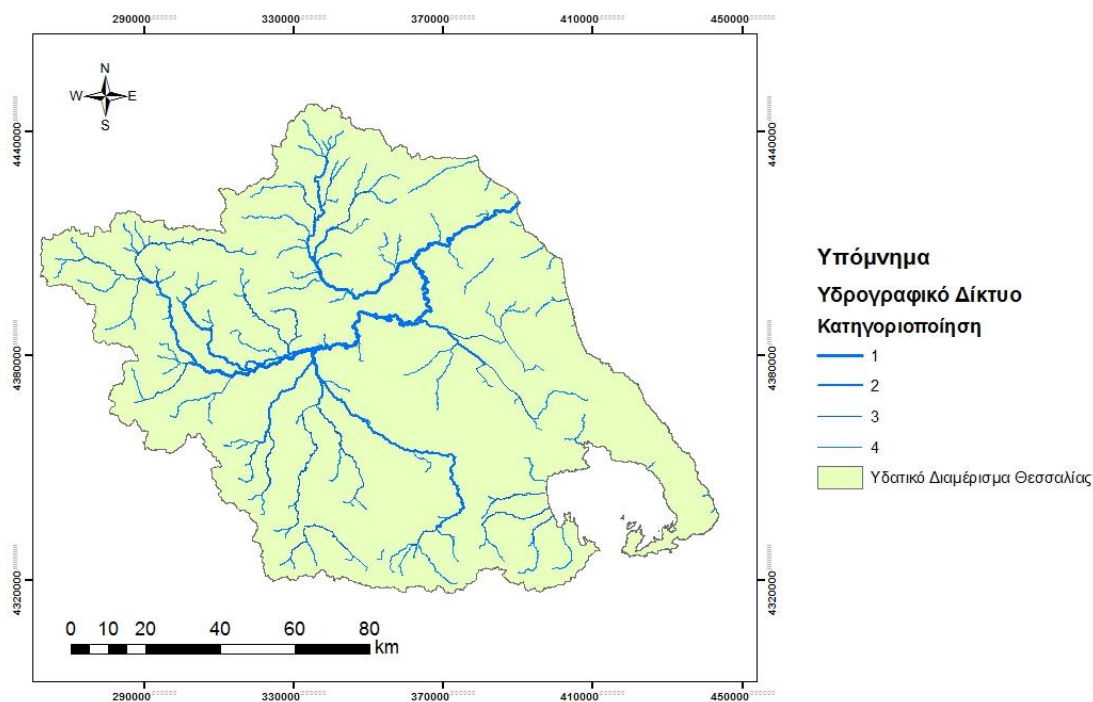
4.2.5 Υδρογεωλογία της περιοχής

Η περιοχή χαρακτηρίζεται από την πλούσια υδροφορία τόσο σε υπόγεια όσο και σε επιφανειακά ύδατα. Αυτό οφείλεται κύρια στο μεγάλο βαθμό καρστικοποίησης των ανθρακικών πετρωμάτων της περιοχής και στη μεγάλη περατότητα των χαλαρών σχηματισμών του Θεσσαλικού κάμπου που ευνοούν την αποθήκευση τεράστιων όγκων υπόγειου νερού. Εξάλλου, η πετρολογική σύσταση των σχηματισμών του κρυσταλλικού υπόβαθρου ευνοεί την επιφανειακή απορροή. Ο εμπλουτισμός του προσχωματικού υδροφορέα εξασφαλίζεται άμεσα από τα ύδατα της βροχής και έμμεσα από την πλευρική τροφοδοσία του καρστικού υδροφορέα (Μπέλλος, 2004).

Σύμφωνα με την από 16-7-2010 πρώτη απόφαση (ΦΕΚ 1383/Β/2-9-2010) της Εθνικής Επιτροπής Υδάτων, καθορίστηκαν οι 45 Λεκάνες Απορροής Ποταμών, οι οποίες υπάγονται στα 14 Υδατικά Διαμερίσματα της χώρας. Σύμφωνα με αυτήν, το Υδατικό Διαμέρισμα Θεσσαλίας αποτελείται από δύο Λεκάνες απορροής, τη Λεκάνη απορροής Πηνειού και τη Λεκάνη απορροής Ρεμάτων Αλμυρού-Πηλίου. Η Λεκάνη απορροής του Πηνειού αποτελεί την κύρια υδρολογική λεκάνη του υδατικού Διαμερίσματος της Θεσσαλίας με έκταση της τάξης των 9.500 km² και διατρέχεται από τον ποταμό Πηνειό και τους παραποτάμους του.

Ο Πηνειός σχηματίζεται από τη συμβολή του Μαλακασιώτικου ποταμού, που πηγάζει από το βουνό Λάκμος και του ρέματος Μουργκάνι (Ιων), που πηγάζει από τα Αντιχάσια. Μετά την είσοδο του στη πεδιάδα δέχεται από αριστερά όλα τα νερά των Χασιών, τα οποία φέρνουν σε αυτόν ο Ληθαίος και ο Νεοχωρίτης. Από τα νότια χύνονται σε αυτόν τα ρέματα της Πίνδου και της Όθρυος, τα οποία είναι ο Πορταϊκός, ο Πάμισος, ο Καλέντζης, ο Σοφαδίτης και ο Ενιππέας. Τα νερά του Καλέντζη, του Σοφαδίτη και του Ενιππέα μετά από μικρό κοινό ρου χύνονται όλα μαζί στον Πηνειό.

Η μέση ετήσια απορροή στις εκβολές του Πηνειού είναι 86,1 m³/s σύμφωνα με την Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας. Τα στενά των Τεμπών καθώς και τα άλλα δύο στενά κατά μήκος του ποταμού (Καλαμακίου και Ροδιάς) αποτελούν την αιτία για τις περισσότερες πλημμύρες που εμφανίζονται στην πεδιάδα, κυρίως στις περιοχές Ζάρκου και Γόννων. Επιπλέον η παρουσία γεφυρών χαμηλού ύψους, η κατασκευή πρόχειρων φραγμάτων για άντληση νερού από τους αγρότες και το χαμηλό ύψος του αποστραγγιστικού δικτύου ενισχύουν την τάση για πλημμύρες (Mimikou et al., 1995).



Σχήμα 3.4: Υδρογραφικό δίκτυο υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας
(Πηγή: www.geodata.gov.gr)

4.3 Περιοχή Μελέτης

3.3.1 Δυτική Λεκάνη Θεσσαλίας

Η Δυτική Λεκάνη του Πηνειού οριοθετείται ανάντη της θέσης Αμυγδαλιά. Έχει έκταση 6300 km², μέση ετήσια βροχόπτωση 779 mm και μέση ετήσια απορροή 259 mm (συντελεστής απορροής 0.33), λαμβάνοντας υπόψη τις απολήψεις (Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών απορροής ποταμών Αχελώου και Πηνειού, ΥΠΕΧΩΔΕ 2006).

Διατρέχεται από τον κύριο κλάδο του ποταμού Πηνειού και τους σημαντικότερους παραποτάμους του, εκτός από τον Τιταρήσιο, ο οποίος διατρέχει την ανατολική λεκάνη. Αποτελεί την περιοχή τις Θεσσαλίας με τους σημαντικότερους διαθέσιμους πόρους αλλά και την περιοχή με τις μεγαλύτερες ανάγκες σε νερό λόγω των αρδευτικών δραστηριοτήτων της πεδιάδας.

Η ύπαρξη πλούσιου δικτύου ποταμών, του Πηνειού και των παραποτάμων του, ευνοεί τον εμπλουτισμό των υπογείων υδροφόρων οριζόντων της Δυτικής πεδιάδας από κατεισδύσεις κατά μήκος των κοιτών με τις σημαντικότερες να σημειώνονται

στους κώνους αποθέσεων από πιο αδρομερή υλικά που έχουν δημιουργηθεί στις περιοχές όπου οι ορεινές κοίτες συναντούν την πεδιάδα. Εμπλουτισμός των υπογείων υδροφόρων γίνεται επίσης και με υπόγειες πλευρικές διηθήσεις κατά μήκος των επαφών του πεδινού προσχωματικού με τους γύρω ορεινούς όγκους.

Στην πραγματικότητα, σύμφωνα με τη Διαχειριστική Μελέτη Υδατικών Πόρων Απορροής π. Πηνειού, ο διαχωρισμός των υδατικών πόρων σε επιφανειακούς και υπόγειους δεν είναι τόσο σαφής όσο φαίνεται αρχικά. Στη Δυτική πεδιάδα, η σχέση μεταξύ επιφανειακών απορροών και υπογείων νερών είναι πολύ στενή. Στα ανάντη της πεδιάδας, οι υδροφόροι εμπλουτίζονται από επιφανειακές απορροές, ενώ στα κατάντη υπάρχουν εκφορτίσεις των υπογείων νερών οι οποίες ενισχύουν την επιφανειακή ροή. Η σχέση αυτή είναι ιδιαίτερα στενή και αμφίδρομη επειδή η Δυτική πεδιάδα θεωρείται πρακτικά υδρογεωλογικά κλειστή, χωρίς αξιόλογες υπόγειες διαφυγές. Συνεπώς, η απορροή που παρατηρείται μέσα σε μεγάλο χρονικό διάστημα (σειρά ετών) στη θέση Αμυγδαλιά καθορίζεται αθροιστικά από την επιφανειακή απορροή και τις υπόγειες εκφορτίσεις μειούμενη από τις καταναλώσεις (Σχέδιο Διαχείρισης Λεκανών απορροής ποταμών Αχελώου και Πηνειού, ΥΠΕΧΩΔΕ 2006).

Η δυτική λεκάνη της Θεσσαλίας αποτελείται από δύο ευρύτερες υπο-λεκάνες :

1. Του κύριου κλάδου του Πηνειού, η οποία περιλαμβάνει και τις λεκάνες του Ληθαίου, του Πάμισου, του Πορταϊκού και του Νεοχωρίτη.
2. Του Ενιππέα η οποία περιλαμβάνει και τις λεκάνες των π. Καλέντζη, π. Σοφαδίτη και π. Φαρσαλιώτη.

Η πλέον κατάντη θέση της πρώτης υπολεκάνης είναι η θέση Αλή Εφέντη. Οι δύο λεκάνες παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά βροχόπτωσης – απορροής όπως φαίνονται στον Πίνακα 3.1.

Πίνακας 3.1: Χαρακτηριστικά υπολεκανών Δυτικής Λεκάνης Απορροής Πηνειού (ΥΠΕΧΩΔΕ, 2006)

Λεκάνη	Έκταση (km ²)	Μέση Βροχόπτωση (mm/y)	Μέση Απορροή (mm/y)	Συντελεστής Απορροής
Αμυγδαλιάς	6300	779	259	0,33
Κυρίου κλάδου Πηνειού και παραποτάμων ανάντη Αλή Εφέντη	2800	939	421	0,43
Ενιππέα και άλλων παραποτάμων ανάντη Αμυγδαλιάς	3500	651	129	0,20

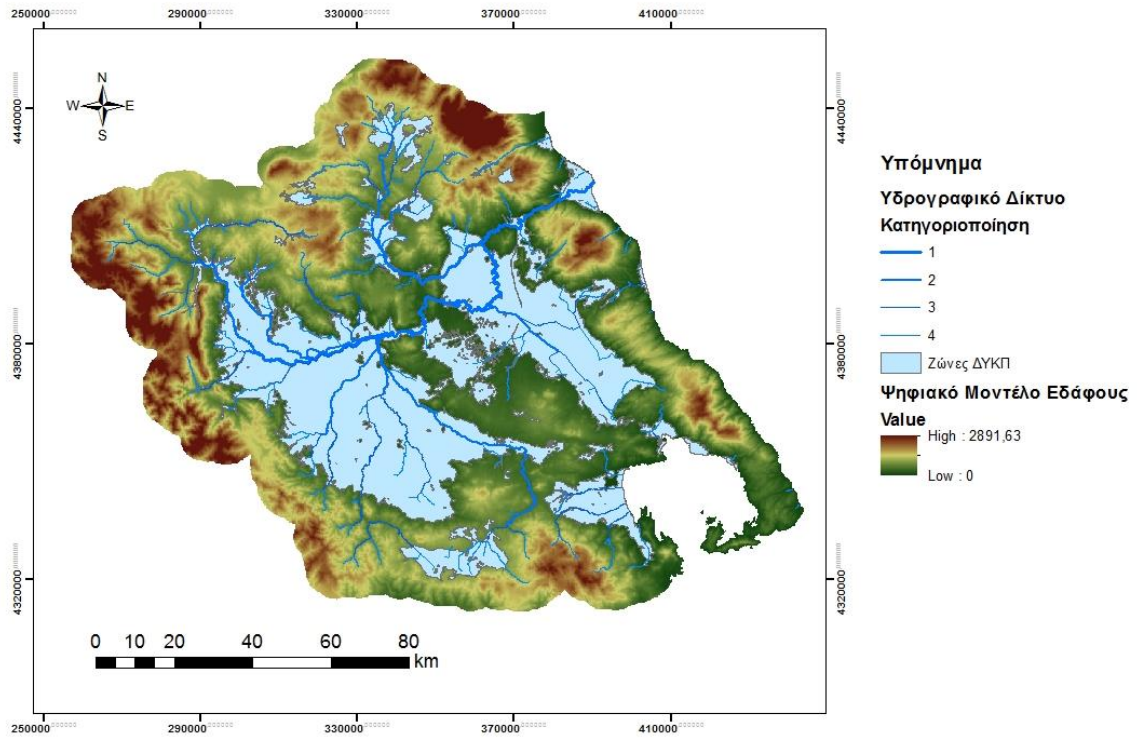
Η περιοχή μελέτης προκειμένου να εξεταστεί, χωρίστηκε σε δημοτικές ενότητες, όπως αυτές ορίστηκαν στο ΦΕΚ με Αρ. Φύλλου 1292 και οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Περιφερειακές ενότητες Δυτικής Θεσσαλίας (Πηγή: www.ypes.gr / ΕΛΣΤΑΤ)

	Πληθυσμός (2001)		Πληθυσμός (2001)
Γ1. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΡΕΒΕΝΩΝ	37.947	α. Δημοτική Ενότητα Βασιλικής	2.461
1. ΔΗΜΟΣ ΔΕΣΚΑΤΗΣ	7.383	β. Δημοτική Ενότητα Καλαμπάκας	11.841
α. Δημοτική Ενότητα Δεσκάτης	5.066	γ. Δημοτική Ενότητα Καστανιάς	1.619
β. Δημοτική Ενότητα Χασιών	2.317	δ. Δημοτική Ενότητα Κλεινόβου	2.301
Ε1. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	129.541	ε. Δημοτική Ενότητα Μαλακασιού	2.090
1. ΔΗΜΟΣ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	55.968	ζ. Δημοτική Ενότητα Τυμφαίων	2.103
α. Δημοτική Ενότητα Ιτάμου	4.726	η. Δημοτική Ενότητα Χασιών	3.736
β. Δημοτική Ενότητα Καλλιφώνου	3.246	2. ΔΗΜΟΣ ΠΥΛΗΣ	20.019
γ. Δημοτική Ενότητα Κάμπου	5.469	α. Δημοτική Ενότητα Αιθίκων	2.744
δ. Δημοτική Ενότητα Καρδίτσας	37.768	β. Δημοτική Ενότητα Γόμφων	5.154
ε. Δημοτική Ενότητα Μητρόπολης	4.759	γ. Δημοτική Ενότητα Πιαλείων	3.813
2. ΔΗΜΟΣ ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	17.910	δ. Δημοτική Ενότητα Πινδέων	2.136
α. Δημοτική Ενότητα Ιθώμης	3.140	ε. Δημοτική Ενότητα Πύλης	4.492
β. Δημοτική Ενότητα Μουζακίου	10.148	3. ΔΗΜΟΣ ΤΡΙΚΚΑΙΩΝ	74.592
γ. Δημοτική Ενότητα Παμισού	4.622	α. Δημοτική Ενότητα Εστιαιωτίδας	2.976
3. ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΑΜΑ	19.144	β. Δημοτική Ενότητα Καλλίδενδρου	2.456
α. Δημοτική Ενότητα Παλαμά	10.050	γ. Δημοτική Ενότητα Κοζιάκα	2.894
β. Δημοτική Ενότητα Σελλάνων	5.051	δ. Δημοτική Ενότητα Μεγ. Καλυβίων	3.169
γ. Δημοτική Ενότητα Φύλλου	4.043	ε. Δημοτική Ενότητα Παληοκάστρου	3.461
4. ΔΗΜΟΣ ΣΟΦΑΔΩΝ	23.043	ζ. Δημοτική Ενότητα Παραληθαίων	3.689
α. Δημοτική Ενότητα Άρνης	3.299	η. Δημοτική Ενότητα Τρικκαίων	51.862
β. Δημοτική Ενότητα Μενελαΐδας	2.701	θ. Δημοτική Ενότητα Φαλωρείας	4.085
γ. Δημοτική Ενότητα Ρεντίνης	756	4. ΔΗΜΟΣ ΦΑΡΚΑΔΟΝΑΣ	15.881
δ. Δημοτική Ενότητα Σοφάδων	12.215	α. Δημοτική Ενότητα Οιχαλίας	5.783
ε. Δημοτική Ενότητα Ταμασιού	4.072	β. Δημοτική Ενότητα Πελλιναίων	3.005
Ε2. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΡΙΣΣΑΣ	279.305	γ. Δημοτική Ενότητα Φαρκαδόνας	7.093
1. ΔΗΜΟΣ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	37.264	Θ4. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	178.771
α. Δημοτική Ενότητα Βερδικούσης	2.236	1. ΔΗΜΟΣ ΔΟΜΟΚΟΥ	14.793
2. ΔΗΜΟΣ ΦΑΡΣΑΛΩΝ	23.531	α. Δημοτική Ενότητα Δομοκού	5.692
α. Δημοτική Ενότητα Ενιππέα	4.526	β. Δημοτική Ενότητα Θεσσαλιώτιδος	4.705
β. Δημοτική Ενότητα Ναρθακίου	1.781	γ. Δημοτική Ενότητα Ξυνιάδος	4.396
Ε5. ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΡΙΚΑΛΩΝ	138.047	2. ΔΗΜΟΣ ΜΑΚΡΑΚΩΜΗΣ	21.570
1. ΔΗΜΟΣ ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	27.555	α. Δημοτική Ενότητα Μακρακώμης	7.132

Η Δυτική λεκάνη της Θεσσαλίας αποτελεί τμήμα Ζώνης Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας, σύμφωνα με την προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας που συντάχθηκε στο πλαίσιο εφαρμογής της

Οδηγίας για την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας (2007/60/ΕΚ), όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.5: Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας (Πηγή: Ειδική Γραμματεία Υδάτων, 2012)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4. Προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται η ανάλυση του πρώτου βήματος για την εκτίμηση της πλημμυρικής διακινδύνευσης περιοχών της Δυτικής Θεσσαλίας, το οποίο είναι η προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας. Στόχος της προκαταρκτικής αξιολόγησης είναι ο προσδιορισμός των περιοχών εκείνων, οι οποίες σε μία ενδεχόμενη μελλοντική πλημμύρα θα υποστούν δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες.

Για την αξιολόγηση της πλημμυρικής τρωτότητας, κατάλληλο μεθοδολογικό πλαίσιο αποτελεί η πολυκριτηριακή ανάλυση (Multiple-criteria Analysis, MCA), η οποία ενσωματώνει όλους τους τύπους πιθανών συνεπειών χωρίς να τους αποτιμά σε οικονομικούς όρους. Αυτή η ανάλυση παρέχει μία εναλλακτική στην πολύπλοκη οικονομική αποτίμηση των συνεπειών. Η επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων καθώς και των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με χρήση προγράμματος διαχείρισης συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS). Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών με την ικανότητά τους να διαχειρίζονται χωρικά δεδομένα αποτελούν ένα κατάλληλο εργαλείο για να επεξεργαστείς δεδομένα στο πλαίσιο της εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας. Επομένως, η προσέγγιση που ακολουθείται συνδυάζει τη χρήση GIS και της μεθόδου MCA (Meyer et al, 2007).

Η πορεία που ακολουθείται αποτελείται ουσιαστικά από τρία βήματα. Αρχικά, πρέπει να επιλεχθούν τα κριτήρια αξιολόγησης για τις διάφορες διαστάσεις της επικινδυνότητας. Το δεύτερο βήμα περιλαμβάνει τη διερεύνηση και την επιλογή μεθόδων, με στόχο την προσέγγιση των κριτηρίων σε χωρική κλίμακα, όπως η κατάρτιση χαρτών τρωτότητας για κάθε κριτήριο. Τέλος, το τρίτο βήμα περιλαμβάνει τον κατάλληλο συνδυασμό όλων των κριτηρίων μέσω κανόνων της πολυκριτηριακής ανάλυσης με στόχο την κατάρτιση ενός τελικού χάρτη τρωτότητας, ο οποίος

περιλαμβάνει όλες τις διαστάσεις πλημμυρικής επικινδυνότητας που επιθυμούμε να εξετάσουμε.

4.2 Επιλογή κριτηρίων αξιολόγησης

Η επιλογή των κριτηρίων αξιολόγησης αποτελεί ένα κρίσιμο στάδιο σε κάθε πολυκριτηριακή ανάλυση, καθώς από αυτή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της. Αφενός, τα κριτήρια αξιολόγησης πρέπει να είναι πλήρη, ώστε να προκύπτει μια πολύπλευρη αντιμετώπιση του προβλήματος, αφετέρου ο αριθμός των κριτηρίων πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός, ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα της διαδικασίας (Keeny and Raiffa, 1993). Για την επιλογή των κριτηρίων λήφθηκαν υπόψη διάφορες μελέτες MCA, καθώς επίσης και τα διαθέσιμα δεδομένα για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης. Τα επιλεχθέντα κριτήρια περιγράφονται στον Πίνακα 4.1. Ο Πίνακας 4.1 περιλαμβάνει τις διαστάσεις της πλημμυρικής επικινδυνότητας, που θα εξεταστούν, και τα κριτήρια με μία σύντομη περιγραφή τους.

Πίνακας 4.1: Περιγραφή κριτηρίων Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων

Διάσταση πλημμυρικής επικινδυνότητας	Κριτήρια	Περιγραφή
Κοινωνική	Πληθυσμιακά Χαρακτηριστικά	<ul style="list-style-type: none"> • Πυκνότητα Πληθυσμού (κατ / km²)
	Πολιτιστική Κληρονομιά	<ul style="list-style-type: none"> • Αρχαιολογικοί χώροι, μνημεία
	Υποδομές	<ul style="list-style-type: none"> • Νοσοκομεία
Οικονομική	Υποδομές	<ul style="list-style-type: none"> • Δομημένες Περιοχές • Νοσοκομεία • Βιομηχανικές Μονάδες • Λατομεία • Φράγματα • Κόμβος σιδηρόδρομου • Κόμβος δρόμου
	Χρήσεις Γης	<ul style="list-style-type: none"> • Μόνιμα αρδευόμενη γη • Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη • Σύνθετες καλλιέργειες

		<ul style="list-style-type: none"> • Αμπελώνες • Χώροι εξόρυξης ορυκτών • Βιομηχανικές και Εμπορικές Ζώνες
Οικολογική	Πηγές Ρύπανσης	<ul style="list-style-type: none"> • Βιολογικοί Καθαρισμοί • ΧΥΤΑ • Εγκαταστάσεις Ι.Ε.Δ.
	Προστατευόμενες Περιοχές	<ul style="list-style-type: none"> • Προστατευόμενη Περιοχή πτηνών • Προστατευόμενη Περιοχή οικοτόπων
Ιστορικές Πλημμύρες	Ιστορικές Πλημμύρες	<ul style="list-style-type: none"> • Πλήθος ιστορικών γεγονότων • Έκταση πλημμύρας • Ύψος αποζημιώσεων • Αριθμός θανάτων

Η λογική που ακολουθήθηκε για την επιλογή των κριτηρίων είναι αφενός να καλύπτουν τις τέσσερις διαστάσεις της πλημμυρικής επικινδυνότητας: κοινωνικοί, οικονομικοί και οικολογικοί κίνδυνοι καθώς και οι ιστορικές πλημμύρες, αφετέρου ο αριθμός των κριτηρίων να μπορεί να διαχειριστεί και να εφαρμοστεί σχετικά απλά χωρίς να γίνεται πολύπλοκη η διαδικασία της αξιολόγησης. Πρέπει να σημειωθεί ότι κάθε παράγοντας εξετάστηκε ανά δημοτική ενότητα, όπως αυτές ορίστηκαν στο Κεφάλαιο 3. Στη συνέχεια ακολουθεί μία σύντομη περιγραφή των κυριότερων παραγόντων.

4.2.1 Κοινωνικοί παράγοντες

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.1, ως κοινωνικοί παράγοντες ελήφθησαν υπόψη ο πληθυσμός, η πολιτιστική κληρονομιά καθώς επίσης και κάποιες υποδομές με ιδιαίτερη κοινωνική σημασία όπως τα νοσοκομεία. Πιο συγκεκριμένα έχοντας ως δεδομένα τον πληθυσμό και την έκταση της κάθε δημοτικής ενότητας κρίθηκε απαραίτητο, ως χρήσιμο μέγεθος, να υπολογιστεί η πυκνότητα πληθυσμού, η οποία εκφράζει τον αριθμό των ανθρώπων ανά μονάδα επιφάνειας και στην περίπτωση μας ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο (κάτοικοι / km²).

Η πολιτιστική κληρονομιά αποτελεί αναμφισβήτητα έναν από τους πιο σημαντικούς κοινωνικούς παράγοντες και μας ενδιαφέρει εάν κάποιος αρχαιολογικός χώρος ή

μνημείο επηρεαστεί από μία ενδεχόμενη πλημμύρα, γι' αυτόν τον λόγο πρέπει να συμπεριληφθεί στην διαδικασία εκτίμησης της πλημμυρικής επικινδυνότητας.

4.2.2 Οικονομικοί παράγοντες

Όπως παρουσιάζεται και στον Πίνακα 4.1, ως οικονομικά κριτήρια ελήφθησαν υπόψη οι υποδομές και οι χρήσεις γης σε κάθε δημοτική ενότητα, δηλαδή αυτά τα δεδομένα τα οποία έχουν σημαντική οικονομική αξία. Οι υποδομές περιλαμβάνουν δομημένες περιοχές, όπως πόλεις, χωριά και οικισμούς, συγκοινωνιακά έργα, βιομηχανίες, νοσοκομεία, φράγματα και λατομεία. Οι χρήσεις γης περιλαμβάνουν τη μόνιμα αρδευόμενη γη, μη αρδευόμενη αρόσιμη γη, σύνθετες καλλιέργειες, αμπελώνες, χώρους εξόρυξης ορυκτών και βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες.

Με τη χρήση προγράμματος διαχείρισης συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών η τομή των επιπέδων των υποδομών με το επίπεδο των δημοτικών ενοτήτων είχε ως αποτέλεσμα το πλήθος των επιμέρους υποδομών ανά δημοτική ενότητα. Η τομή του επιπέδου χρήσεων γης με το επίπεδο των δημοτικών ενοτήτων είχε ως αποτέλεσμα την έκταση της κάθε χρήσης γης ανά δημοτική ενότητα. Στόχος της αξιολόγησης είναι να προσδιοριστεί η σημασία και το βάρος κάθε κριτηρίου στο πλαίσιο της μονάδας του χώρου που εξετάζεται. Συνεπώς, κρίθηκε απαραίτητο οι εκτάσεις να εκφραστούν σε ποσοστό της συνολικής έκτασης της δημοτικής ενότητας σύμφωνα με τη σχέση $P(\%) = A_{cor} / A_i$, όπου A_{cor} : η έκταση της ορισμένης χρήσης γης ανά δημοτική ενότητα, A_i : η έκταση της αντίστοιχης δημοτικής ενότητας.

4.2.3 Οικολογικοί παράγοντες

Στην προκαταρκτική αξιολόγηση, απαραίτητο στάδιο είναι να διερευνηθεί εάν μία ενδεχόμενη πλημμύρα θα προκαλέσει οικολογικές επιπτώσεις στην ευρύτερη περιοχή. Οι πιθανές επιπτώσεις μπορεί να εκδηλωθούν άμεσα ή έμμεσα. Πιο συγκεκριμένα άμεσες επιπτώσεις αποτελούν η κατάκλιση προστατευόμενων περιοχών πανίδας ή χλωρίδας, η απειλή των προστατευόμενων ειδών και η πιθανή επακόλουθη καταστροφή των περιοχών. Έμμεσες επιπτώσεις μπορούν να προκύψουν εάν η κατακλυσμένη περιοχή περιλαμβάνει πηγές ρύπανσης, όπως ΧΥΤΑ και επομένως υπάρχει αυξημένος κίνδυνος μεταφοράς ρύπων μέσω της επιφανειακής αλλά και υπόγειας ροής.

Ως οικολογικοί παράγοντες ελήφθησαν υπόψη οι προστατευόμενες περιοχές και οι πηγές ρύπανσης. Τα δεδομένα των προστατευόμενων περιοχών προήλθαν από το ψηφιακό μοντέλο χρήσεων γης (Corine Land Cover 2000). Οι πηγές ρύπανσης που συμπεριλήφθηκαν είναι οι εγκαταστάσεις ΧΥΤΑ, βιολογικών καθαρισμών καθώς και I.E.D.

Με τη χρήση προγράμματος διαχείρισης συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών η τομή του επιπέδου των χρήσεων γης με το επίπεδο των δημοτικών ενοτήτων είχε ως αποτέλεσμα το πλήθος των προστατευόμενων περιοχών ανά δημοτική ενότητα. Η τομή του επιπέδου των πηγών ρύπανσης με το επίπεδο των δημοτικών ενοτήτων έχει ως αποτέλεσμα το πλήθος των πηγών ρύπανσης ανά δημοτικό διαμέρισμα.

4.2.4 Ιστορικές πλημμύρες

Τέλος, ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη στην προκαταρκτική αξιολόγηση είναι τα ιστορικά πλημμυρικά συμβάντα που έχουν πλήξει τις περιοχές μελέτης, καθώς η ύπαρξη σημαντικών πλημμυρών στο παρελθόν αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης αντίστοιχου συμβάντος στο μέλλον. Επιπλέον, εάν μάλιστα οι ιστορικές πλημμύρες είχαν καταστροφικές συνέπειες, οι αντίστοιχες περιοχές πρέπει να εξεταστούν ως ευάλωτες σε μελλοντικές δυσμενείς επιπτώσεις.

Γι' αυτόν τον λόγο, εξετάζονται εκτός από το πλήθος των ιστορικών συμβάντων, η έκταση της ιστορικής πλημμύρας ως ποσοστό σε σχέση με τη συνολική έκταση της δημοτικής ενότητας, το ύψος των αποζημιώσεων ανά κάτοικο και ο αριθμός των θανάτων. Πρέπει να σημειωθεί βέβαια ότι για την συγκεκριμένη περιοχή μελέτης δεν υπήρχαν καταγεγραμμένοι θάνατοι λόγω πλημμυρών, αλλά γενικά αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες και δε θα πρέπει να παραλείπεται σε αντίστοιχες μελέτες.

4.3 Αποτίμηση κριτηρίων

4.3.1 Χαρακτηρισμός επικινδυνότητας κάθε περιοχής

Το επόμενο στάδιο, έχοντας ορίσει τα κριτήρια αξιολόγησης όπως και τις εξετασθείσες εναλλακτικές που είναι οι δημοτικές ενότητες, περιλαμβάνει την αξιολόγηση της απόδοσης της κάθε δημοτικής ενότητας σε κάθε κριτήριο. Η προσέγγιση MCA έχει το πλεονέκτημα να επιτρέπει το κάθε κριτήριο να μπορεί να μετρηθεί σε διαφορετική κλίμακα.

Η αξιολόγηση έγινε αρχικά με μία ποιοτική κατάταξη των δημοτικών ενότητων σε τέσσερις κατηγορίες :

1. Very High Vulnerability (VH)
2. High Vulnerability (H)
3. Medium Vulnerability (M)
4. Low Vulnerability (L)

Για να γίνει αυτή η κατάταξη πρέπει να εκτιμήσουμε την απόδοση κάθε εναλλακτικής σε κάθε κριτήριο. Αρχικά υπολογίζονται τα ποσοστημόρια των 75%, 50%, 25% των τιμών που καταγράφηκαν ανά δημοτική ενότητα, οι οποίες εκφράζονται σε ποσοστό έκτασης και πλήθος. Ο χαρακτηρισμός των περιοχών γίνεται με βάση τον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Κατηγοριοποίηση τρωτότητας περιοχών με βάση τα ποσοστημόρια

Τιμή	Χαρακτηρισμός
$>P_{75}$	VH
$[P_{50}, P_{75}]$	H
$[P_{25}, P_{50}]$	M
$<P_{25}$	L

Ωστόσο, δεν είναι δυνατό να χαρακτηριστούν με βάση τα ποσοστημόρια όλα τα κριτήρια, καθώς σε πολλές κατηγορίες προκύπτουν λίγες τιμές και επομένως τα ποσοστημόρια τείνουν στο μηδέν. Γι' αυτόν τον λόγο στα υπόλοιπα κριτήρια έγινε μία συγκριτική αξιολόγηση ανάλογα με τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή τους. Στον Πίνακα 4.3 φαίνεται αναλυτικά ο χαρακτηρισμός των περιοχών.

Πίνακας 4.3: Χαρακτηρισμός τρωτότητας περιοχών με βάση τις τιμές των κριτηρίων

Κριτήρια	Τιμή (πλήθος/έκταση)	Χαρακτηρισμός
Νοσοκομεία	1	VH
	0	L
Λατομεία	2	VH
	1	H

	0	L	
Κόμβος σιδ/δρόμου, δρόμου	3	VH	
	2	H	
	1	M	
	0	L	
Εγκαταστάσεις IED	3	VH	
	1	M	
	0	L	
Εγκαταστάσεις WWTP	1	VH	
	0	L	
Προστατευόμενες Περιοχές	3	VH	
	2	H	
	1	M	
	0	L	
Αμπελώνες	>2,5 km ²	VH	
	>2 km ²	H	
	>1,5 km ²	M	
	<1,5 km ²	L	
Χώροι εξόρυξης	≠ 0	VH	
	0	L	
Βιομηχ., ζώνες	Εμπορικές	>0,9 km ²	VH
		>0,7 km ²	H
		<0,7 km ²	L

Στόχος της προκαταρκτικής αξιολόγησης είναι η κατάρτιση χαρτών τρωτότητας, ώστε να εντοπιστούν οι πιο ευάλωτες, σε πλημμύρα, περιοχές. Για το σκοπό αυτό και επειδή στη συνέχεια θα οριστούν κάποια βάρη για κάθε κριτήριο, απαραίτητη είναι η ποσοτικοποίηση μέσω δεικτών των χαρακτηρισμών VH, H, M, L. Μετά από δοκιμές που έγιναν με διάφορες τιμές δεικτών αποδείχθηκε, πως δεν επηρεάζεται σημαντικά το τελικό αποτέλεσμα καθώς στη συνέχεια οι τιμές, που προκύπτουν κανονικοποιούνται, όπως περιγράφεται παρακάτω. Επομένως, οι δείκτες που επιλέχθηκαν παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4.

Πίνακας 4.4: Ποσοτικοποίηση μέσω δεικτών των κατηγοριών τρωτότητας

Χαρακτηρισμός	Τιμή
VH	75
H	50
M	25
L	5

4.3.2 Βάρη κριτηρίων

Το βάρος που θα δοθεί σε κάθε κριτήριο ορίζει το βαθμό στον οποίο το κάθε κριτήριο επηρεάζει τη συνολική αξιολόγηση. Συνεπώς, η επιλογή βαρών αποτελεί ένα από τα πιο κρίσιμα και ευαίσθητα στάδια της πολυκριτηριακής προσέγγισης. Το βάρος ενός κριτηρίου υποδεικνύει τη σχετική σημασία του σε σύγκριση με άλλα κριτήρια, ή πιο συγκεκριμένα, τη σχετική σημασία μιας αλλαγής ενός κριτηρίου από την υψηλότερη στη χαμηλότερη δυνατή τιμή συγκριτικά με αντίστοιχη αλλαγή ενός άλλου κριτηρίου. (Malczewski, 1999)

Αρχικά πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν πολυκριτηριακές προσεγγίσεις, οι οποίες δε λαμβάνουν υπόψη βάρη. Ωστόσο, αυτές οι προσεγγίσεις οδηγούν σε συμπεράσματα με μεγάλη πιθανότητα λάθους, ειδικά όταν στοχεύουν στην εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας, όπου ο κάθε παράγοντας έχει τη δική του βαρύνουσα σημασία. Στην παρούσα εργασία έγινε η προσέγγιση και χωρίς τη χρήση βαρών τα αποτελέσματα της οποίας παρουσιάζονται παρακάτω και συγκρίνονται με την προσέγγιση με βάρη.

Έχουν διατυπωθεί πολλές μέθοδοι για τον προσδιορισμό των βαρών με διαφορετικές παραδοχές, σε όλες όμως ισχύει ότι τα βάρη κανονικοποιούνται ώστε το άθροισμά τους να είναι ίσο με τη μονάδα ($\sum w_j = 1$).

Τα κριτήρια εξετάζονται σύμφωνα με τις κατηγορίες που χωρίστηκαν αρχικά και σύμφωνα με αυτό το διαχωρισμό αποδόθηκαν βάρη, ώστε σε κάθε μία από τις κατηγορίες κοινωνικοί, οικονομικοί, οικολογικοί παράγοντες και ιστορικές πλημμύρες το άθροισμα των βαρών ισούται με ένα. Η μέθοδος που ακολουθήθηκε για την εξαγωγή βαρών είναι γνωστή ως *Swing weight approach*. Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στη διακύμανση των κριτηρίων και περιλαμβάνει τρία απλά στάδια (Malczewski 1999; RPA 2004):

1. Κατάταξη: θεωρούμε μία υποθετική εναλλακτική με όλα τα κριτήρια στο χαμηλότερο επίπεδο. Ο μελετητής πρέπει αποφασίσει ποιο από τα κριτήρια προτιμά να φτάσει στην υψηλότερη τιμή και αυτό το κριτήριο κατατάσσεται πρώτο, το επόμενο δεύτερο κλπ.
2. Σχετική σημασία: στο πρώτο κριτήριο δίνεται μία τιμή (π.χ. 100). Ο μελετητής αποφασίζει τη σχετική σημασία της μεταβολής από το

χαμηλότερο στο υψηλότερο επίπεδο του δεύτερου κριτηρίου σε σχέση με το πρώτο (π.χ. 90) και ακολουθείται αυτή η διαδικασία για όλα τα κριτήρια.

3. Τέλος, οι τιμές που ορίστηκαν στο προηγούμενο βήμα κανονικοποιούνται ως προς το άθροισμα τους, όπως φαίνεται παρακάτω.

$$W_1 = \frac{100}{100+90+80} \quad (4.1)$$

$$W_2 = \frac{90}{100+90+80} \quad (4.2)$$

$$W_3 = \frac{80}{100+90+80} \quad (4.3)$$

Σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράφηκε παραπάνω ορίστηκαν τα βάρη των κριτηρίων λαμβάνοντας υπόψη τη σχετική τους σημασία και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.5: Υπολογισμός βαρών κριτηρίων

Κριτήρια	Τιμές	Άθροισμα	Βάρη
• Πυκνότητα Πληθυσμού (κατ / km ²)	100		0.588
• Αρχαιολογικοί χώροι, μνημεία	70	170	0.412
• Δομημένες Περιοχές	100		0.105
• Νοσοκομεία	100		0.105
• Βιομηχανικές Μονάδες	90		0.095
• Λατομεία	70		0.074
• Κόμβος σιδηρόδρομου	60		0.063
• Κόμβος δρόμου	60		0.063
• Μόνιμα αρδευόμενη γη	80		0.084
• Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	70		0.074
• Σύνθετες καλλιέργειες	80		0.084
• Αμπελώνες	90		0.095
• Χώροι εξόρυξης			

ορυκτών	70		0.074
• Βιομηχανικές και Εμπορικές Ζώνες	80	950	0.084
<hr/>			
• Βιολογικοί Καθαρισμοί	100		0.217
• ΧΥΤΑ	100		0.217
• Εγκαταστάσεις Ι.Ε.Δ.	100		0.217
• Προστατευόμενη Περιοχή πτηνών	80		0.174
• Προστατευόμενη Περιοχή οικοτόπων	80	460	0.174
<hr/>			
• Πλήθος ιστορικών γεγονότων	80		0.296
• Έκταση πλημμύρας	100		0.370
• Ύψος αποζημιώσεων	90	270	0.333
<hr/>			

4.4 Αξιολόγηση τρωτότητας

Το τελικό στάδιο της προκαταρκτικής αξιολόγησης περιλαμβάνει την αποτίμηση της τρωτότητας κάθε περιοχής λαμβάνοντας υπόψη τα βάρη των κριτηρίων, όπως αυτά ορίστηκαν στην προηγούμενη ενότητα.

Η γενική ιδέα της μεθόδου που ακολουθήθηκε είναι να παράγει ένα μέσο όρο των βαρών των κριτηρίων για κάθε εναλλακτική, που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η δημοτική ενότητα. Συνοπτικά, έχοντας ένα σύνολο κριτηρίων αξιολόγησης, ένα σύνολο εναλλακτικών προς σύγκριση, όπως επίσης την απόδοση κάθε εναλλακτικής σε κάθε κριτήριο, και ένα σύνολο βαρών για κάθε κριτήριο, η διαδικασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Υπολογισμός των αποδόσεων με βάρη, πολλαπλασιάζοντας τις αποδόσεις των εναλλακτικών (τιμές 5 έως 75) σε κάθε κριτήριο με τα αντίστοιχα βάρη κάθε κριτηρίου.

$$u_{ik} = w_k * u'_{ik} \quad (4.4)$$

Όπου u_{ik} είναι η απόδοση της εναλλακτικής i στο κριτήριο k λαμβάνοντας υπόψη τα βάρη, u'_{ik} είναι η απόδοση της εναλλακτικής i στο κριτήριο k χωρίς βάρη και w_k είναι το κανονικοποιημένο βάρος του κριτηρίου k .

2. Υπολογισμός απόδοσης κάθε εναλλακτικής για κάθε κατηγορία παραγόντων όπως έχουν οριστεί, δηλαδή κοινωνικοί, οικονομικοί, οικολογικοί και ιστορικές πλημμύρες, αθροίζοντας τις αντίστοιχες αποδόσεις με βάρη, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση.

$$U_i^j = \sum_k w_k * u_{i k} \quad (4.5)$$

Όπου U_i^j είναι η απόδοση της εναλλακτικής i στην κατηγορία παραγόντων j , w_k είναι το κανονικοποιημένο βάρος του κριτηρίου k και $u_{i k}$ είναι η απόδοση της εναλλακτικής i στο κριτήριο k .

3. Κανονικοποίηση των τιμών που υπολογίστηκαν στο βήμα 2 σύμφωνα με ένα γραμμικό μετασχηματισμό κλίμακας. Αυτός ο μετασχηματισμός μπορεί να γίνει με δύο τρόπους, είτε διαιρώντας την τιμή με τη μέγιστη απόδοση (*maximum score approach*), είτε διαιρώντας τη διαφορά της τιμής από την ελάχιστη απόδοση με τη διακύμανση των αποδόσεων. Οι σχέσεις που εκφράζουν μαθηματικά τις δύο προσεγγίσεις είναι

$$x'_{i j} = \frac{x_{i j}}{x_j^{max}} \quad (4.6)$$

και

$$x'_{i j} = \frac{x_{i j} - x_j^{min}}{x_j^{max} - x_j^{min}} \quad (4.7)$$

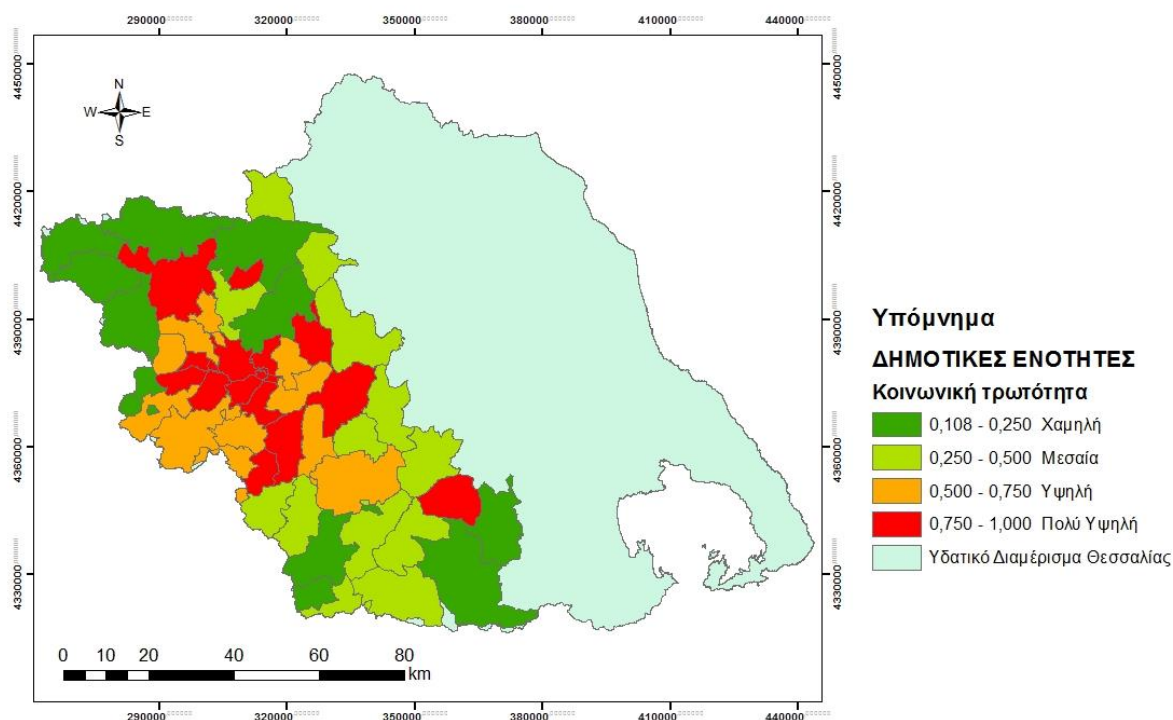
όπου $x'_{i j}$ η κανονικοποιημένη τιμή της απόδοσης της εναλλακτικής i στην κατηγορία παραγόντων j , $x_{i j}$ η τιμή της απόδοσης της εναλλακτικής i στην κατηγορία παραγόντων j , x_j^{max} και x_j^{min} η μέγιστη και ελάχιστη απόδοση στην κατηγορία παραγόντων j .

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η πρώτη προσέγγιση. Έχοντας υπολογίσει και κανονικοποιήσει τις αποδόσεις καθίσταται δυνατή η κατάρτιση χαρτών πλημμυρικής τρωτότητας ανά κατηγορία παραγόντων, όπου οι αποδόσεις ανά

δημοτική ενότητα χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες και χαρακτηρίστηκαν σύμφωνα με τον Πίνακα 4.6.

Πίνακας 4.6: Χαρακτηρισμός αποδόσεων τρωτότητας ανά κατηγορία παραγόντων

Κατηγορία	Εύρος τιμών	Χαρακτηρισμός
1	≥ 0.75	Πολύ Υψηλή
2	$[0.5, 0.75)$	Υψηλή
3	$[0.25, 0.5)$	Μεσαία
4	< 0.25	Χαμηλή



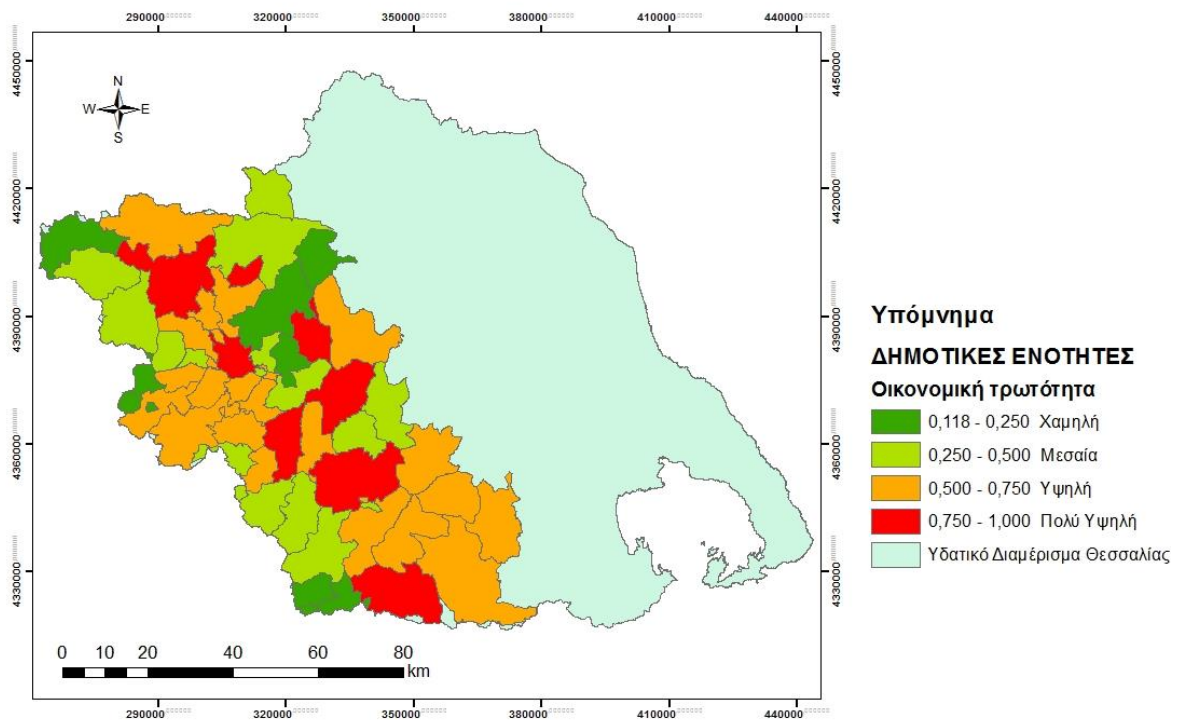
Σχήμα 4.1: Χάρτης Τρωτότητας με βάση τους κοινωνικούς παράγοντες

Οι Δημοτικές Ενότητες, οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία Πολύ Υψηλή Τρωτότητα, όσον αφορά στους κοινωνικούς παράγοντες, είναι οι ακόλουθες:

1. Δ.Ε. Καρδίτσας
2. Δ.Ε. Τρικκαίων
3. Δ.Ε. Παμισού
4. Δ.Ε. Παλαμά
5. Δ.Ε. Εσπιαωτίδας
6. Δ.Ε. Γόμφων
7. Δ.Ε. Μεγάλων Καλυβιών

8. Δ.Ε. Πιαλείων
9. Δ.Ε. Οιχαλίας
10. Δ.Ε. Μητρόπολης
11. Δ.Ε. Φαρσάλων
12. Δ.Ε. Καλλιδενδρου
13. Δ.Ε. Καλαμπάκας

Αυτή η κατάταξη δικαιολογείται καθώς υπάρχει μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού σε αυτές τις Δημοτικές Ενότητες ($D_p > 38$ κατ / km^2) και στη Δ.Ε. Καλαμπάκας υπάρχει αρχαιολογικός χώρος.



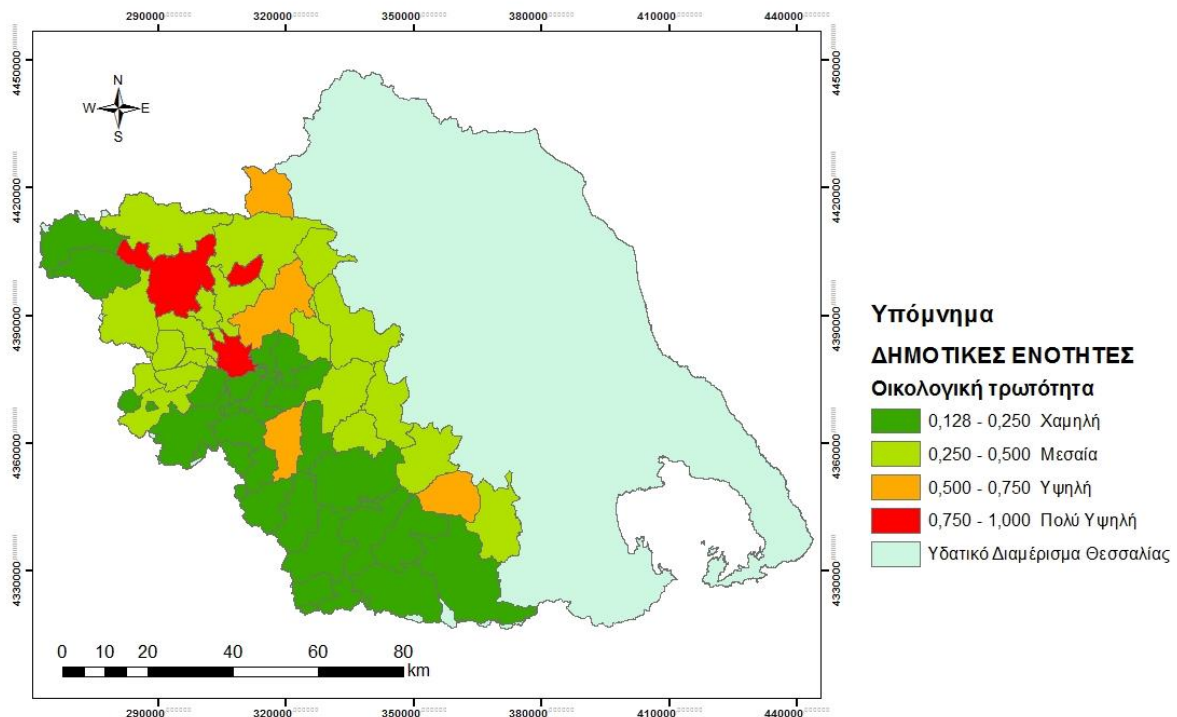
Σχήμα 4.2: Χάρτης Τρωτότητας με βάση τους οικονομικούς παράγοντες

Οι Δημοτικές Ενότητες, οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία Πολύ Υψηλή Τρωτότητα, όσον αφορά στους οικονομικούς παράγοντες, είναι οι ακόλουθες:

1. Δ.Ε. Τρικκαίων
2. Δ.Ε. Καρδίτσας
3. Δ.Ε. Καλαμπάκας
4. Δ.Ε. Σοφάδων

5. Δ.Ε. Ξυνιάδος
6. Δ.Ε. Παλαμά
7. Δ.Ε. Οιχαλίας

Αυτές οι Δημοτικές Ενότητες καθίστανται υψηλά στην κατάταξη λόγω είτε μεγάλου αριθμού οικισμών ή βιομηχανικών ζωνών είτε λόγω σημαντικού ποσοστού καλλιεργήσιμων εκτάσεων.

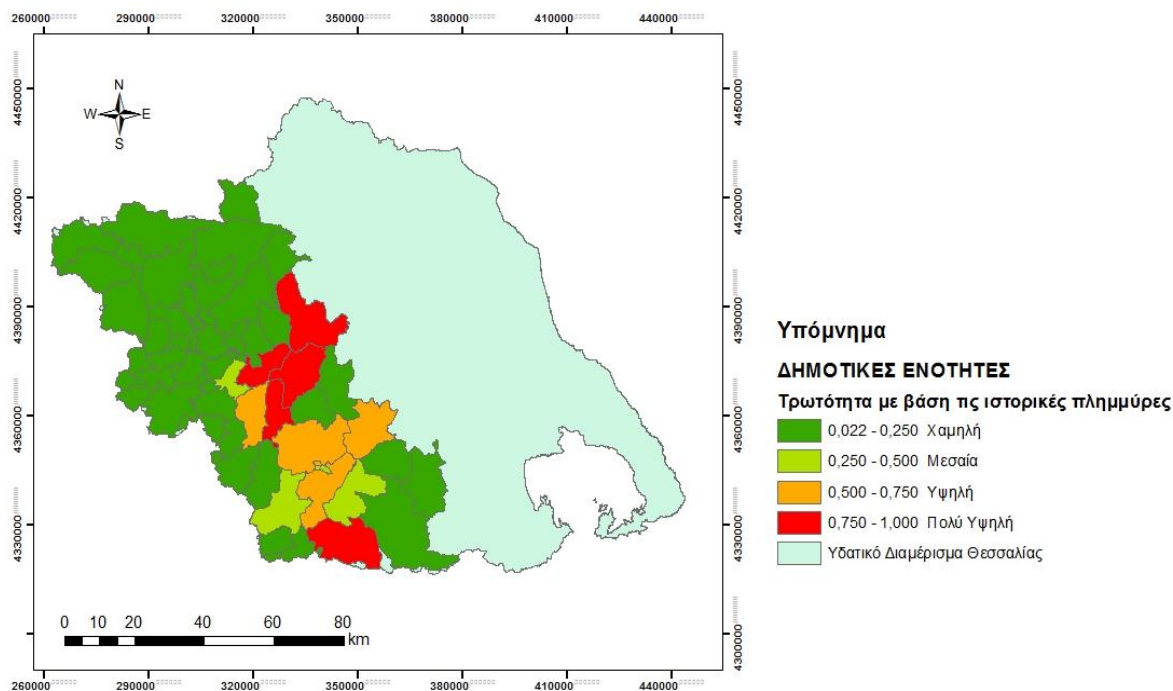


Σχήμα 4.3: Χάρτης Τρωτότητας με βάση τους οικολογικούς παράγοντες

Οι Δημοτικές Ενότητες, οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία Πολύ Υψηλή Τρωτότητα, όσον αφορά στους οικολογικούς παράγοντες, είναι οι ακόλουθες:

1. Δ.Ε. Τρικκαίων
2. Δ.Ε. Καλαμπάκας

Η κατάταξη αυτή δικαιολογείται, καθώς σε αυτές τις Δημοτικές Ενότητες υπάρχουν προστατευόμενες περιοχές καθώς και εγκαταστάσεις βιολογικών καθαρισμών και ΙΕΔ.



Σχήμα 4.4: Χάρτης Τρωτότητας με βάση τις ιστορικές πλημμύρες

Οι Δημοτικές Ενότητες, οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία Πολύ Υψηλή Τρωτότητα, όσον αφορά στις ιστορικές πλημμύρες, είναι οι ακόλουθες:

1. Δ.Ε. Φαρκαδώνας
2. Δ.Ε. Κάμπου
3. Δ.Ε. Παλαμά
4. Δ.Ε. Ξυνιάδος
5. Δ.Ε. Σελλάνων

Σε αυτές τις περιοχές έχει καταγραφεί σημαντικός αριθμός πλημμυρικών συμβάντων με μεγάλες εκτάσεις κατάκλισης και υψηλά ποσά αποζημιώσεων ανά κάτοικο.

Επόμενο και τελικό στάδιο είναι η εκτίμηση της συνολικής επικινδυνότητας, η οποία ουσιαστικά προκύπτει από το άθροισμα των εκτιμήσεων που έγιναν ανά κατηγορία παραγόντων. Πιο συγκεκριμένα η διαδικασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Υπολογισμός των αποδόσεων με βάρη, πολλαπλασιάζοντας τις αποδόσεις των εναλλακτικών (τιμές 5 έως 75) σε κάθε κριτήριο με τα αντίστοιχα βάρη κάθε κριτηρίου.

$$u'_{ik} = w_k * u_{ik} \quad (4.8)$$

Όπου u'_{ik} είναι η απόδοση της εναλλακτικής i στο κριτήριο k λαμβάνοντας υπόψη τα βάρη, u_{ik} είναι η απόδοση της εναλλακτικής i στο κριτήριο k χωρίς βάρη και w_k είναι το κανονικοποιημένο βάρος του κριτηρίου k .

- Υπολογισμός απόδοσης κάθε εναλλακτικής για κάθε κατηγορία παραγόντων όπως έχουν οριστεί, δηλαδή κοινωνικοί, οικονομικοί, οικολογικοί και ιστορικές πλημμύρες, αθροίζοντας τις αντίστοιχες αποδόσεις με βάρη, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση.

$$U_i^j = \sum_k u'_{ik} \quad (4.9)$$

Όπου U_i^j είναι η απόδοση της εναλλακτικής i στην κατηγορία παραγόντων j , u'_{ik} είναι η απόδοση της εναλλακτικής i στο κριτήριο k λαμβάνοντας υπόψη τα βάρη.

- Υπολογισμός συνολικής επικινδυνότητας κάθε εναλλακτικής αθροίζοντας τις αποδόσεις που υπολογίστηκαν στο βήμα 2, σύμφωνα με την παρακάτω σχέση.

$$U_i = \sum_{j=1}^4 U_i^j \quad (4.11)$$

Όπου U_i^j είναι η απόδοση της εναλλακτικής i στην κατηγορία παραγόντων j .

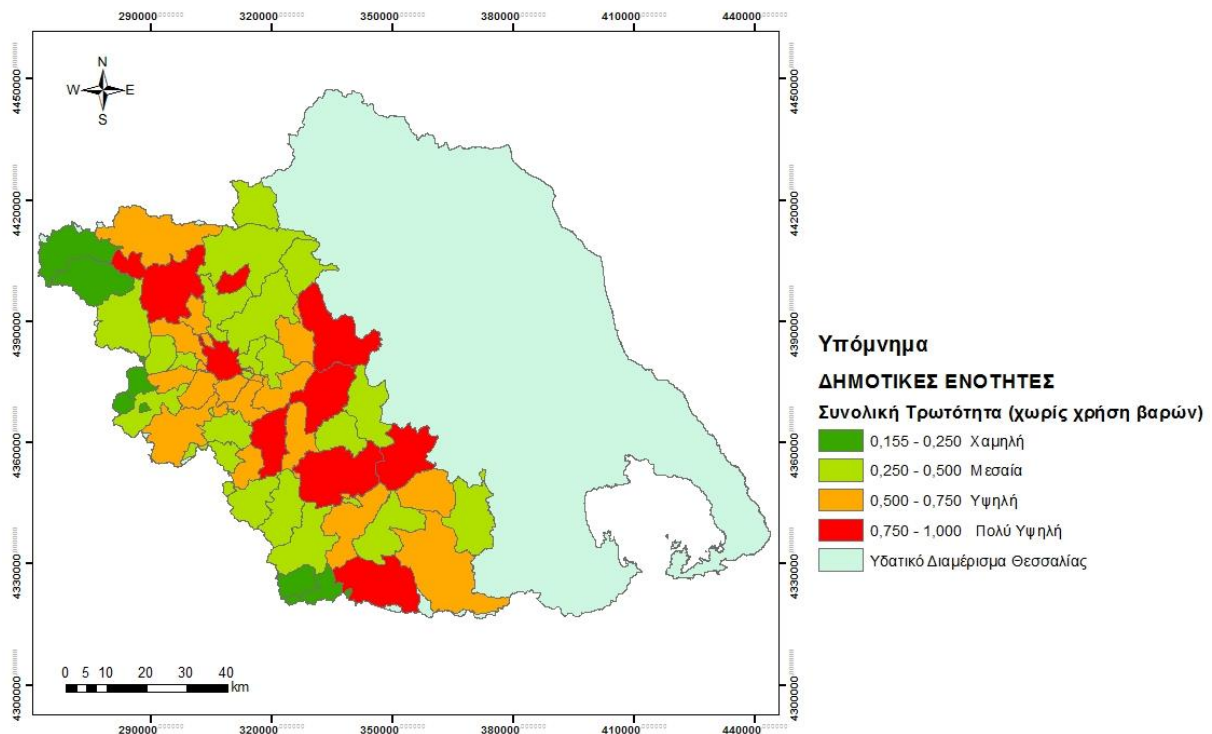
- Κανονικοποίηση των τιμών που υπολογίστηκαν στο βήμα 3 διαιρώντας με τη μέγιστη τιμή (maximum score approach).

Έχοντας υπολογίσει και κανονικοποιήσει τις αποδόσεις καθίσταται δυνατή η κατάρτιση του χάρτη πλημμυρικής τρωτότητας, όπου οι αποδόσεις ανά δημοτική ενότητα χωρίστηκαν σε τέσσερις κατηγορίες και χαρακτηρίστηκαν σύμφωνα με τον Πίνακα 4.7.

Πίνακας 4.7: Χαρακτηρισμός αποδόσεων συνολικής τρωτότητας

Κατηγορία	Εύρος τιμών	Χαρακτηρισμός
1	≥ 0.75	Πολύ Υψηλή
2	$[0.5, 0.75)$	Υψηλή
3	$[0.25, 0.5)$	Μεσαία
4	< 0.25	Χαμηλή

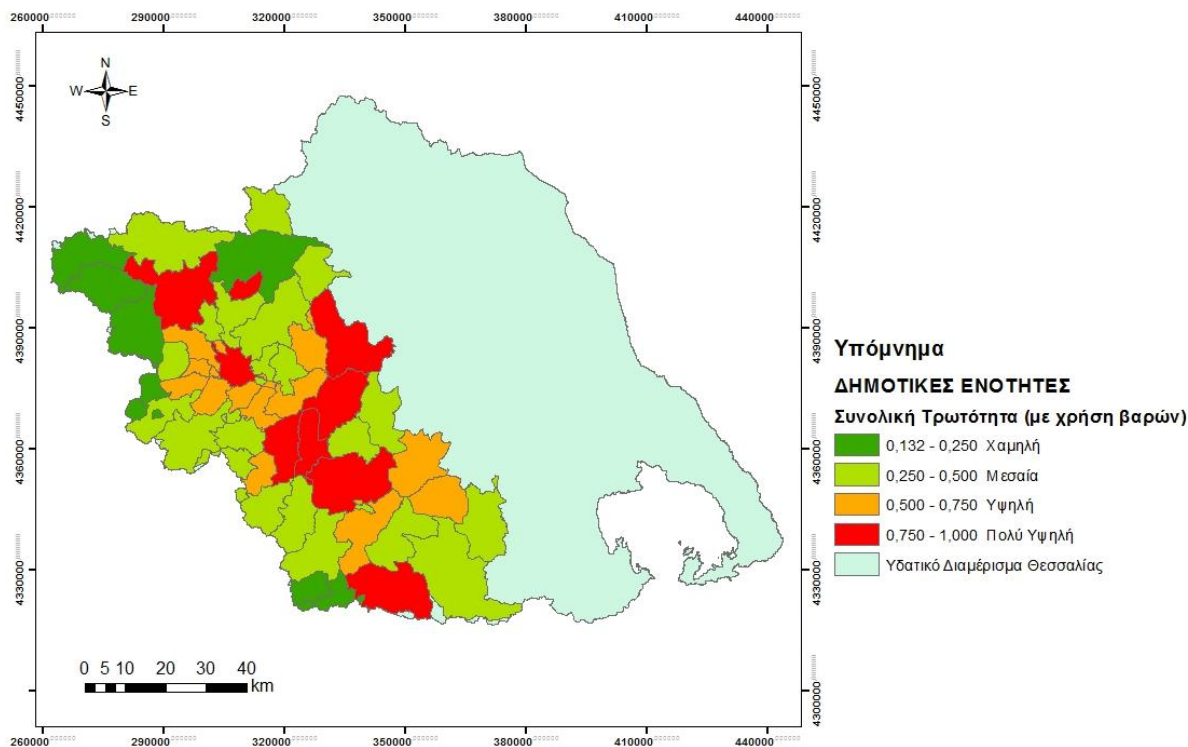
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι συνολικοί χάρτες τρωτότητας, χωρίς και με τη χρήση βαρών στα κριτήρια, όπου παρατηρούμε ότι υπάρχει μία σημαντική διαφορά ανάμεσα στους δύο χάρτες. Το γεγονός αυτό επαληθεύει τον αρχικό ισχυρισμό, ότι η θέσπιση βαρών αποτελεί μία απαραίτητη και κρίσιμη, για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, διαδικασία.



Σχήμα 4.5: Χάρτης Συνολικής Τρωτότητας χωρίς τη χρήση βαρών

Οι Δημοτικές Ενότητες, οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία Πολύ Υψηλή Τρωτότητα, όσον αφορά στη συνολική τρωτότητα χωρίς βάρη, είναι οι ακόλουθες:

1. Δ.Ε. Καρδίτσας
2. Δ.Ε. Τρικκαίων
3. Δ.Ε. Καλαμπάκας
4. Δ.Ε. Παλαμά
5. Δ.Ε. Σοφάδων
6. Δ.Ε. Ξυνιάδος
7. Δ.Ε. Φαρκαδώνας
8. Δ.Ε. Εννιπέα



Σχήμα 4.6: Χάρτης Συνολικής Τρωτότητας με τη χρήση βαρών

Οι Δημοτικές Ενότητες, οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία Πολύ Υψηλή Τρωτότητα, όσον αφορά στη συνολική τρωτότητα με βάρη, είναι οι ακόλουθες:

1. Δ.Ε. Καρδίτσας
2. Δ.Ε. Παλαμά
3. Δ.Ε. Τρικκαίων
4. Δ.Ε. Φαρκαδώνας
5. Δ.Ε. Κάμπου
6. Δ.Ε. Σοφάδων
7. Δ.Ε. Καλαμπάκας
8. Δ.Ε. Ξυνιάδος

Από την Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας, προκύπτει ότι οι Δημοτικές Ενότητες Καρδίτσας και Παλαμά έχουν την υψηλότερη τρωτότητα, έχοντας χρησιμοποιήσει κριτήρια με βάρη. Συνεπώς, αυτές οι περιοχές επιλέγονται προς περαιτέρω υδρολογική και υδραυλική διερεύνηση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5. Κατάρτιση χαρτών πλημμύρας

5.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται αναλυτική περιγραφή των βημάτων που ακολουθήθηκαν, ώστε να καταρτιστούν οι χάρτες πλημμυρικής κατάκλυσης των Δημοτικών Ενοτήτων Καρδίτσας και Παλαμά, οι οποίες επιλέχθηκαν σύμφωνα με την προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας. Στόχος του κεφαλαίου είναι ο υπολογισμός των εκτάσεων που κατακλύζονται στη περιοχή μελέτης, ώστε στη συνέχεια να πραγματοποιηθεί εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας.

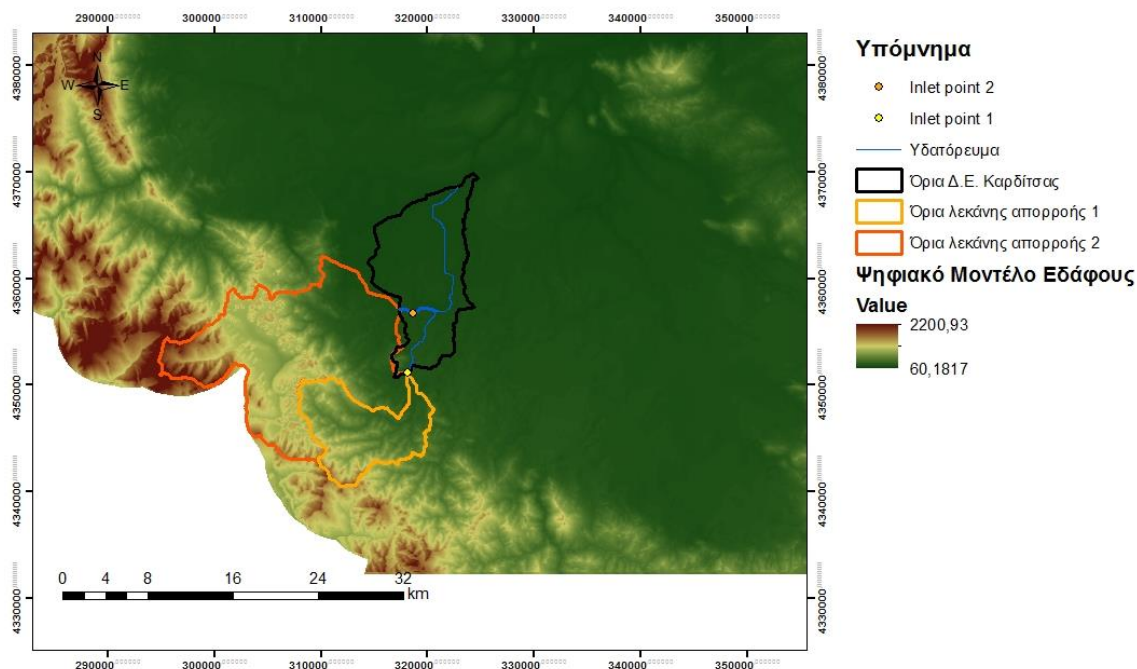
Συνοπτικά, η διαδικασία περιλαμβάνει αρχικά την σύνθεση των πλημμυρογραφήματων εισροής, για την οποία υιοθετήθηκε η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Αρχικά υπολογίζεται το μοναδιαίο υδρογράφημα για κάθε λεκάνη απορροής και στη συνέχεια εκτιμώνται οι καταγίδες ελέγχου με βάση τις αντίστοιχες όμβριες καμπύλες για περίοδο επαναφοράς $T = 100$. Στο επόμενο βήμα υπολογίζονται οι απώλειες και η ωφέλιμη βροχή σύμφωνα με τη μέθοδο του Soil Conservation Service, υπολογίζονται τα πλημμυρογραφήματα εισροής στις περιοχές μελέτης για κάθε τύπο συνθηκών υγρασίας εδάφους και τέλος με τη βοήθεια του προγράμματος LISFLOOD εκτιμώνται τα βάθη νερού. Μετά από επεξεργασία των αποτελεσμάτων προκύπτουν οι χάρτες μέσων βαθών νερού και ορίων πλημμύρας για τα τρία σενάρια, που εξετάστηκαν.

5.2 Περιοχές μελέτης

Δημοτική Ενότητα Καρδίτσας

Η Δημοτική Ενότητα Καρδίτσας έχει συνολικά 37.768 κατοίκους και έκταση 111 km². Διατρέχεται από τον π. Καλέντζη καθώς και παραπόταμούς του. Για την υδρολογική ανάλυση της περιοχής χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα διαχείρισης συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών MapWindow. Προς απλοποίηση έγινε η παραδοχή ότι την περιοχή διατρέχουν ο Καλέντζης και ένας παραπόταμός του, όπως φαίνεται στον χάρτη.

Για τον υπολογισμό των λεκανών απορροής και των υδατορευμάτων της δημοτικής ενότητας Καρδίτσας, έγινε χρήση του εργαλείου Watershed Delineation >> Automatic, εισάγοντας ως δεδομένα το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και το σημείο ανάντη του οποίου επιθυμούμε την εκτίμηση της λεκάνης απορροής (inlet point). Στο Σχήμα 5.1, παρουσιάζονται τα σημεία που επιλέχθηκαν στις θέσεις εισόδων των υδατορευμάτων στη δημοτική ενότητα και οι λεκάνες απορροής που προέκυψαν.



Σχήμα 5.1: Λεκάνες Απορροής και Υδατορεύματα Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας

Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται τα μεγέθη για τις δύο λεκάνες, όπως αυτά ορίζονται στην παράγραφο 5.3, για τον υπολογισμό του χρόνου t_p μέσω της Σχέσης 5.1.

Πίνακας 5.1: Χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη Λεκάνης 1 Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας

Εμβαδόν, A [km^2]	75.3
Μήκος κύριου υδατορεύματος της λεκάνης, L [km]	16.65
Υψόμετρο πυθμένα υδατορεύματος στο 10% του μήκους του, $H_{10\%}$ [m]	175
Υψόμετρο πυθμένα υδατορεύματος στο 85% του μήκους του, $H_{85\%}$ [m]	510

Χαρακτηριστική κλίση της λεκάνης [m/km] ανάμεσα στις θέσεις 10% και 85% του μήκους του κύριου ρεύματος, S_{1085}	26.83
Ποσοστό της λεκάνης με αστική ανάπτυξη, URBAN [%]	0
Μέγιστο καθαρό επιφανειακό ύψος βροχής διάρκειας 24 h, περιόδου επαναφοράς 5 ετών, RSMD [mm],	73

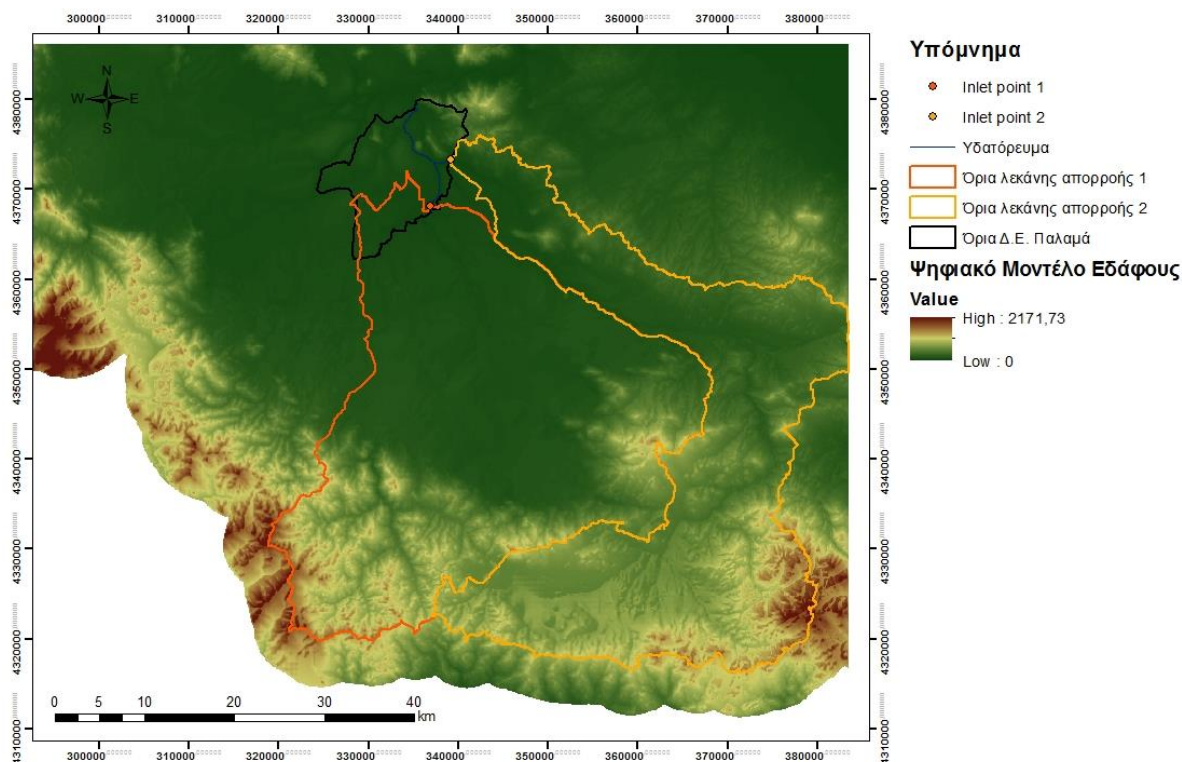
Πίνακας 5.2: Χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη Λεκάνης 2 Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας

Εμβαδόν, A [km ²]	199
Μήκος κύριου υδατορεύματος της λεκάνης, L [km]	12.8
Υψόμετρο πυθμένα υδατορεύματος στο 10% του μήκους του, $H_{10\%}$ [m]	116
Υψόμετρο πυθμένα υδατορεύματος στο 85% του μήκους του, $H_{85\%}$ [m]	575
Χαρακτηριστική κλίση της λεκάνης [m/km] ανάμεσα στις θέσεις 10% και 85% του μήκους του κύριου ρεύματος, S_{1085}	47.72
Ποσοστό της λεκάνης με αστική ανάπτυξη, URBAN [%]	0
Μέγιστο καθαρό επιφανειακό ύψος βροχής διάρκειας 24 h, περιόδου επαναφοράς 5 ετών, RSMD [mm],	73

Δημοτική Ενότητα Παλαμά

Η Δημοτική Ενότητα Παλαμά έχει συνολικά 10.050 κατοίκους και έκταση 154.2 km². Διατρέχεται από τους ποταμούς Ενιπέα, Σοφαδίτη και Καλέντζη. Για την υδρολογική ανάλυση της περιοχής χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα διαχείρισης συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών MapWindow. Προς απλοποίηση έγινε η παραδοχή ότι την περιοχή διατρέχουν ο Ενιπέας και ο Καλέντζης, ο οποίος ενώνεται με τον Ενιπέα κοντά στην είσοδο της δημοτικής ενότητας, όπως φαίνεται στον χάρτη.

Για τον υπολογισμό των λεκανών απορροής της δημοτικής ενότητας Παλαμά ακολουθήθηκε όμοια διαδικασία με τη δημοτική ενότητα Καρδίτσας. Στον ακόλουθο χάρτη, παρουσιάζονται τα σημεία που επιλέχθηκαν στις θέσεις εισόδων των υδατορευμάτων στη δημοτική ενότητα και οι λεκάνες απορροής που προέκυψαν.



Σχήμα 5.2: Λεκάνες Απορροής και Υδατορεύματα Δημοτικής Ενότητας Παλαμά

Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται τα μεγέθη για τις δύο λεκάνες, όπως αυτά ορίζονται στην παράγραφο 5.3, για τον υπολογισμό του χρόνου t_p μέσω της Σχέσης 5.1.

Πίνακας 5.3: Χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη Λεκάνης 1 Δημοτικής Ενότητας Παλαμά

Εμβαδόν, A [km ²]	1400
Μήκος κύριου υδατορεύματος της λεκάνης, L [km]	57.4
Υψόμετρο πυθμένα υδατορεύματος στο 10% του μήκους του, H _{10%} [m]	82
Υψόμετρο πυθμένα υδατορεύματος στο 85% του μήκους του, H _{85%} [m]	310
Χαρακτηριστική κλίση της λεκάνης [m/km] ανάμεσα στις θέσεις 10% και 85% του μήκους του κύριου ρεύματος, S ₁₀₈₅	5.3
Ποσοστό της λεκάνης με αστική ανάπτυξη, URBAN [%]	0
Μέγιστο καθαρό επιφανειακό ύψος βροχής διάρκειας 24 h, περιόδου επαναφοράς 5 ετών, RSM [mm],	73

Πίνακας 5.4: Χαρακτηριστικά γεωμετρικά μεγέθη Λεκάνης 1 Δημοτικής Ενότητας Παλαμά

Εμβαδόν, A [km ²]	1109
Μήκος κύριου υδατορεύματος της λεκάνης, L [km]	117.3
Υψόμετρο πυθμένα υδατορεύματος στο 10% του μήκους του, H _{10%} [m]	88
Υψόμετρο πυθμένα υδατορεύματος στο 85% του μήκους του, H _{85%} [m]	378
Χαρακτηριστική κλίση της λεκάνης [m/km] ανάμεσα στις θέσεις 10% και 85% του μήκους του κύριου ρεύματος, S ₁₀₈₅	3.3
Ποσοστό της λεκάνης με αστική ανάπτυξη, URBAN [%]	0
Μέγιστο καθαρό επιφανειακό ύψος βροχής διάρκειας 24 h, περιόδου επαναφοράς 5 ετών, RSMD [mm],	73

5.3 Σύνθεση Μοναδιαίου Υδρογραφήματος

Ως μοναδιαίο ορίζεται το υδρογράφημα της άμεσης απορροής που προέρχεται από ενεργό βροχόπτωση συγκεκριμένης διάρκειας t_R και ύψους 10mm, ομοιόμορφα κατανεμημένης σε όλη την έκταση της λεκάνης (Sherman, 1932). Το μοναδιαίο υδρογράφημα είναι μοναδικό για κάθε λεκάνη καθώς περιλαμβάνει όλα τα χαρακτηριστικά της και αναφέρεται στη συγκεκριμένη διάρκεια βροχής.

Η βασική προϋπόθεση εφαρμογής της μεθόδου του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η γραμμικότητα της λεκάνης απορροής. Σύμφωνα με την εμπειρία αυτή η προϋπόθεση πληρείται με αποδεκτή προσέγγιση εφόσον ικανοποιούνται οι ακόλουθες αρχές (Κουτσογιάννης, 1988).

1. Η λεκάνη απορροής είναι ομογενής ως προς την απορροή, δηλαδή η απόκρισή της στη συνολική βροχόπτωση είναι επίσης συνολική, ποιοτικά ομογενής και ενιαία. Η ύπαρξη χαμηλών περιοχών που κατακλύζονται και απορρέουν σε άλλη χρονική κλίμακα ή τοπικών διαπερατών περιοχών σε ένα αδιαπέρατο σύνολο λεκάνης αποκλείει την εφαρμογή του μοναδιαίου υδρογραφήματος.

2. Οι καταγιίδες πρέπει να είναι χωρικά ομοιόμορφες και να προκαλούν ταυτόχρονα απορροή από όλη τη λεκάνη.
3. Οι βροχοπτώσεις πρέπει να είναι σύντομες και να εμφανίζουν την ίδια χρονική κατανομή σε όλη τη λεκάνη.
4. Στην επιφανειακή απορροή δεν πρέπει να περιέχονται σημαντικές ποσότητες απορροής από τήξη χιονιού.

Από τις παραπάνω προϋποθέσεις, η πρώτη αναφέρεται στα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, ενώ οι υπόλοιπες αναφέρονται σε χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης ή άλλων κλιματικών παραγόντων. Επομένως, μόνο η πρώτη προϋπόθεση μπορεί να είναι απαγορευτική για τη χρήση του μοναδιαίου υδρογραφήματος, ενώ οι άλλες αποτελούν κριτήρια επιλογής των κατάλληλων βροχοπτώσεων.

Η μέθοδος του μοναδιαίου υδρογραφήματος χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των πλημμυρών σχεδιασμού. Η άμεση κατάρτιση μοναδιαίων υδρογραφημάτων είναι αδύνατη στην περίπτωση που δεν υπάρχει εγκατεστημένος σταθμηγράφος σε κανένα σημείο της λεκάνης.

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε ως βάση για τη σύνθεση των μοναδιαίων υδρογραφημάτων το αδιάστατο στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης της Σαρακίνας, όπως αυτό υπολογίστηκε στο ερευνητικό έργο “Υδρολογική διερεύνηση υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας” (Κουτσογιάννης κ.α.,1988). Πιο συγκεκριμένα, στο Κεφάλαιο “Μεταφορά Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων σε άλλες Λεκάνες Απορροής” περιγράφεται η μέθοδος σύμφωνα με την οποία τα δύο αδιάστατα στιγμιαία μοναδιαία υδρογραφήματα της Σαρακίνας και του Μουζακίου, τα οποία έχουν καταρτιστεί στο πλαίσιο της μελέτης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για τη σύνθεση των μοναδιαίων υδρογραφημάτων σε άλλες θέσεις, όπου δεν υπάρχουν τα απαιτούμενα δεδομένα για την άμεση παραγωγή. Γενικά, θα χρησιμοποιηθεί ως βάση το μοναδιαίο υδρογράφημα της Σαρακίνας, που είναι το δυσμενέστερο από τα δύο. Εφόσον είναι γνωστή η αδιάστατη μορφή του μοναδιαίου υδρογραφήματος, για τον πλήρη καθορισμό του απαιτείται ο προσδιορισμός μιας χρονικής παραμέτρου, έστω της μ_v . Συνήθως ο προσδιορισμός της βασίζεται σε τοπογραφικά και άλλα χαρακτηριστικά της υπό εξέταση λεκάνης απορροής.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας, κατάλληλα προσαρμοσμένης για το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα.

Η μέθοδος του Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας χρησιμοποιεί τοπογραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης, καθώς και δεδομένα κλίσεων που προκύπτουν από τη μηκοτομή του υδατορεύματος. Η εν λόγω μέθοδος στην αυθεντική της μορφή συνιστά τη σύνθεση τριγωνικού υδρογραφήματος για διάρκεια βροχής $d = 1$ h. Ο χρόνος ανόδου του υδρογραφήματος (σε ώρες) υπολογίζεται συναρτήσει των χαρακτηριστικών της λεκάνης από τη σχέση:

$$t_p = \frac{46.6 L^{0.14}}{S_{1085}^{0.38} (1+URBAN)^{1.99} RSMD^{0.4}} \quad (5.1)$$

Όπου

L : το μήκος της μισγάγκειας κατά μήκος του κύριου υδατορεύματος της λεκάνης [km].

S_{1085} : η χαρακτηριστική κλίση της λεκάνης [m/km], η οποία μετράται ανάμεσα στις θέσεις 10% και 85% του μήκους του κύριου ρεύματος, δηλαδή

$$S_{1085} = \frac{H_{10\%} - H_{85\%}}{0.75 L} \quad (5.2)$$

URBAN : το ποσοστό της λεκάνης με αστική ανάπτυξη.

RSMD : παράμετρος μεγέθους βροχοπτώσεων, που για ορεινές ή ημιορεινές λεκάνες απορροής ταυτίζεται με το μέγιστο καθαρό επιφανειακό ύψος βροχής διάρκειας 24 h, περιόδου επαναφοράς 5 ετών [mm].

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος σε συνδυασμό με το στιγμιαίο μοναδιαίο υδρογράφημα είναι σκόπιμο να τροποποιηθεί κατάλληλα ώστε να δίνει το χρόνο t_u , ο οποίος αντιστοιχεί στο κέντρο βάρους του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Ο χρόνος ανόδου $t_{o,p}$ του στιγμιαίου υδρογραφήματος δίνεται από τη Σχέση 5.3.

$$t_{o,p} = t_p - 0.5 \text{ [h]} \quad (5.3)$$

Από το αδιάστατο στιγμιαίο υδρογράφημα της Σαρακίνας προκύπτει:

$$t_{o,p} = 0.7 t_u \quad (5.4)$$

Συνδυάζοντας τις δύο παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι

$$t_u = \frac{t_p - 0.5}{0.7} \text{ [h]} \quad (5.4)$$

Όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 5.2, από την υδρολογική ανάλυση της δημοτικής ενότητας της Καρδίτσας προέκυψαν δύο λεκάνες απορροής, οι οποίες εξετάζονται ξεχωριστά και υπολογίζεται ένα μοναδιαίο υδρογράφημα για κάθε μία. Σύμφωνα με τις Σχέσεις 5.1 και 5.4 προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές.

Πίνακας 5.5: Αποτελέσματα υπολογισμού χρόνων t_p , t_u Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας

	Λεκάνη απορροής 1 ($A_1 = 75,3 \text{ km}^2$)	Λεκάνη απορροής 2 ($A_2 = 199 \text{ km}^2$)
t_p (h)	3.56	2.76
t_u (h)	4.37	3.22

Ομοίως, όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο 5.2, από την υδρολογική ανάλυση της δημοτικής ενότητας του Παλαμά προέκυψαν δύο λεκάνες απορροής, οι οποίες εξετάζονται ξεχωριστά και υπολογίζεται ένα μοναδιαίο υδρογράφημα για κάθε μία. Σύμφωνα με τις Σχέσεις 5.1 και 5.4 προκύπτουν οι ακόλουθες τιμές.

Πίνακας 5.6: Αποτελέσματα υπολογισμού χρόνων t_p , t_u Δημοτικής Ενότητας Παλαμά

	Λεκάνη απορροής 1 ($A_1 = 1400 \text{ km}^2$)	Λεκάνη απορροής 2 ($A_2 = 1109 \text{ km}^2$)
t_p (h)	7.84	10.37
t_u (h)	10.48	14.10

Τέλος ορίζεται η καμπύλη $S_d(t)$, η οποία είναι το υδρογράφημα για άπειρη διάρκεια βροχής, με σταθερή ένταση $i = 10/d$.

Ο όγκος της πλημμύρας υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_0 = h * A \quad (5.5)$$

Όπου $h = 10\text{mm}$ το καθαρό ύψος βροχής του ορισμού του μοναδιαίου υδρογραφήματος.

A: το εμβαδόν της λεκάνης απορροής [km²].

Η οριακή τιμή της καμπύλης S_d(t), για μεγάλες τιμές του χρόνου t (θεωρητικά όταν ο χρόνος t τείνει στο άπειρο), είναι :

$$Q_o = \max S_d = \frac{h}{d} A \quad (5.5)$$

Η σχέση παίρνει την ακόλουθη έκφραση για τις συνήθως χρησιμοποιούμενες μονάδες (A σε km², h=10mm, d σε hr):

$$Q_o = \max S_d \left[\text{m}^3/\text{sec} \right] = \frac{A [\text{m}^2]}{0.36 d [\text{hr}]} \quad (5.6)$$

Στη μελέτη που πραγματοποιήθηκε, για την εκτίμηση της συνάρτησης S_d(t), εξετάστηκαν οι συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας των κατανομών γάμμα και λογαριθμοκανονικής. Τελικά, αποδείχθηκε ότι η λογαριθμοκανονική δίνει καλύτερη προσαρμογή της θεωρητικής με την υπολογιστική τιμή της τρίτης ροπής U₃ καθώς επίσης δίνει δυσμενέστερες παροχές αιχμής. Επομένως για την εκτίμηση της συνάρτησης S_d(t) χρησιμοποιήθηκε η λογαριθμοκανονική κατανομή και υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση (Koutsoyiannis, 1989):

$$s(t) = G \left[\frac{\ln(t/a)}{\sqrt{b/2}} \right] \quad (5.7)$$

$$S_d(t) = s(t) \frac{V_o}{d} \quad (5.8)$$

Όπου

G(y): η συνάρτηση της κανονική αθροιστικής κατανομής, η οποία εκφράζεται

$$\text{από τη σχέση: } G(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^y e^{-x^2/2} dx \quad (5.9)$$

$$\alpha = \frac{t_u}{\sqrt{(1+C_v^2)}}, \quad \alpha > 0 : \text{scale parameter} \quad (5.10)$$

$$b = 2 \ln(1 + C_v^2), \quad b > 0: \text{shape parameter} \quad (5.11)$$

C_v : συντελεστής διασποράς. Θεωρήθηκε ίσος με 0,562 όπως αυτός υπολογίστηκε για την περιοχή της Θεσσαλίας στη μελέτη.

V_0 (m^3): όγκος πλημμύρας, που δίνεται από τη Σχέση 5.5.

d (sec): η διάρκεια του μοναδιαίου υδρογραφήματος, που είναι ίση με 3600 sec.

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω σχέσεις προκύπτουν τα ακόλουθα μεγέθη για τις λεκάνες απορροής.

Πίνακας 5.7: Όγκος πλημμύρας, παροχή αιχμής και παράμετροι λογαριθμοκανονικής κατανομής για τη Δημοτική Ενότητα Καρδίτσας

	Λεκάνη απορροής 1 ($A_1 = 75,3 \text{ km}^2$)	Λεκάνη απορροής 2 ($A_2 = 199 \text{ km}^2$)
V_0 (hm^3)	0.753	1.99
Q_0 (m^3/sec)	209.17	552.78
α	3.81	2.8
b	0.55	0.55

Πίνακας 5.8: Όγκος πλημμύρας, παροχή αιχμής και παράμετροι λογαριθμοκανονικής κατανομής για τη Δημοτική Ενότητα Παλαμά

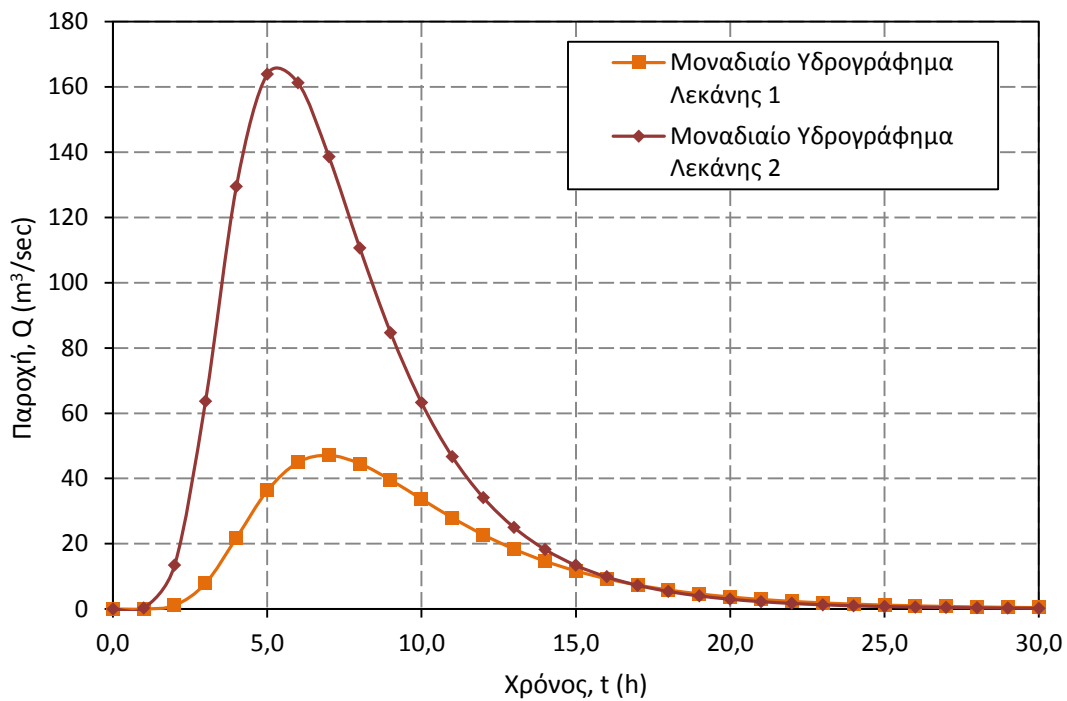
	Λεκάνη απορροής 1 ($A_1 = 1400 \text{ km}^2$)	Λεκάνη απορροής 2 ($A_2 = 1109 \text{ km}^2$)
V_0 (hm^3)	14	11
Q_0 (m^3/sec)	3889	3080
α	9.14	12.3
b	0.55	0.55

Σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία υπολογίζεται η συνάρτηση $S_d(t)$ και με χρονική μετατόπισή της κατά $d = 1h$, προκύπτει η συνάρτηση $S_d(t-d)$.

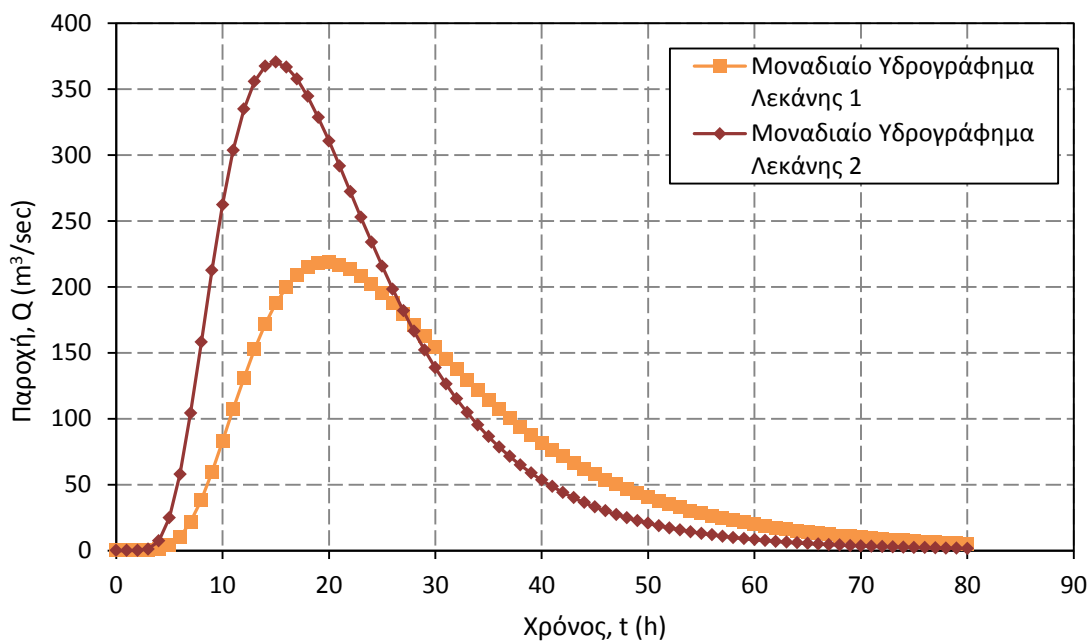
Η συνάρτηση $S_d(t)$ συνδέεται με το μοναδιαίο υδρογράφημα $U_d(t)$ με τη σχέση:

$$U_d(t) = S_d(t) - S_d(t-d) \quad (5.12)$$

Εφαρμόζοντας την παραπάνω σχέση, προκύπτουν τα ακόλουθα Μοναδιαία Υδρογραφήματα.



Σχήμα 5.3: Μοναδιαία Υδρογραφήματα Λεκανών Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας



Σχήμα 5.4: Μοναδιαία Υδρογραφήματα Λεκανών Δημοτικής Ενότητας Παλαμά

5.4 Κατάρτιση Πλημμυρογραφημάτων εισόδου

Το πρώτο στάδιο για τη σύνθεση του υετογράμματος αποτελεί η επιλογή περιόδου επαναφοράς T , διάρκειας επεισοδίου βροχής n και χρονικού βήματος Δt . Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι τιμές των μεγεθών.

Πίνακας 5.9: Χαρακτηριστικά επεισοδίου βροχής

Περίοδος επαναφοράς T (έτη)	100
Διάρκεια επεισοδίου βροχής n (ώρες)	24
Χρονικό βήμα Δt (ώρες)	1

Στη συνέχεια επιλέγεται η όμβρια καμπύλη που αντιστοιχεί στην περιοχή μελέτης και στην περίοδο επαναφοράς T , που έχουμε ήδη επιλέξει. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι όμβριες καμπύλες, όπως αυτές υπολογίστηκαν στο ερευνητικό έργο “Υδρολογική διερεύνηση υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας”, (Κουτσογιάννης κ.α., 1988 β). Για την αναλυτική έκφραση των όμβριων καμπυλών επελέγη η ακόλουθη σχέση:

$$h = at^b \quad (5.13)$$

Όπου

h : το ύψος βροχής σε mm

t : η διάρκεια σε ώρες

T : η περίοδος επαναφοράς σε έτη

a , b : παράμετροι που προσδιορίζονται με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων

Πιο συγκεκριμένα, στο κεφάλαιο 5 “Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα” του τεύχους 3 του ερευνητικού έργου, αναφέρονται οι σταθερές a, b , όπως αυτές υπολογίστηκαν για κάθε σταθμό και τις αντίστοιχες περιόδους επαναφοράς. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η όμβρια καμπύλη στο σταθμό της Καρδίτσας και για περίοδο επαναφοράς $T=100$ έτη, η οποία εκφράζεται μέσω της σχέσης:

$$h = 26.28 t^{0.4617} \quad (5.14)$$

Για την κατάρτιση του πλημμυρογραφήματος ακολουθείται μία διαδικασία, η οποία περιγράφεται από τα παρακάτω βήματα:

1. Υπολογισμός ύψους βροχής h(mm) για T=100 έτη και για διάρκειες t=1-24 h σύμφωνα με τη Σχέση 5.14.
2. Υπολογισμός συντελεστή επιφανειακής αναγωγής φ.

Οι τιμές που προκύπτουν από τη Σχέση 5.14 αφορούν στη σημειακή βροχόπτωση και πρέπει να αναχθούν στην επιφάνεια της εξεταζόμενης λεκάνης. Για την αναγωγή χρησιμοποιείται η ακόλουθη σχέση που δίνεται από τους *Κουτσογιάννη και Ξανθόπουλο* (1999,σ.153) :

$$\varphi = \max \left\{ \left(1 - \frac{0.048 A^{0.36-0.01 \ln A}}{d^{0.35}} \right), 0.25 \right\} \quad (5.15)$$

Όπου

φ: ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής (αδιάστατος αριθμός)

A: η έκταση της λεκάνης σε km²

d: η χρονική κλίμακα σε h

Η σχέση αυτή βασίστηκε σε πινακοποιημένα αποτελέσματα του *National Environmental Research Council* (1975) και αναφέρεται σε εύρος μεταβολής της χρονικής κλίμακας από 1 min έως 25 ημέρες και της έκτασης από 1 έως 30 000 km².

Η εφαρμογή της σχέσης για τη συνολική έκταση της λεκάνης ανάντη της δημοτικής ενότητας Καρδίτσας (274,3 km²) και για χαρακτηριστικές χρονικές κλίμακες, έδωσε τις τιμές που φαίνονται στον Πίνακα 5.10.

Πίνακας 5.10: Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής στη λεκάνη της Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας

d (h)	1	2	4	6	12	24
φ	0.736	0.793	0.837	0.859	0.889	0.913

Η εφαρμογή της σχέσης για τη συνολική έκταση της λεκάνης ανάντη της δημοτικής ενότητας Παλαμά (2509 km²) και για χαρακτηριστικές χρονικές κλίμακες, έδωσε τις τιμές, που φαίνονται στον Πίνακα 5.11.

Πίνακας 5.11: Χαρακτηριστικές τιμές του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής στη λεκάνη της Δημοτικής Ενότητας Παλαμά

d (h)	1	2	4	6	12	24
φ	0.565	0.658	0.732	0.767	0.818	0.857

3. Υπολογισμός τμηματικών υψών βροχής Δh_n σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

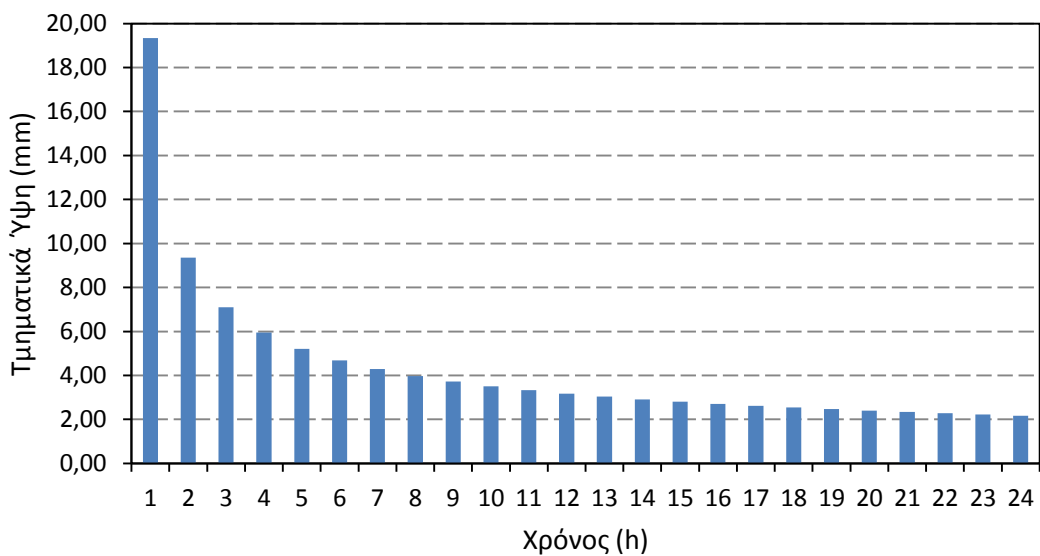
$$\Delta h_n = h_n - h_{n-1} \quad (5.16)$$

Όπου h_n : το ύψος βροχής για διάρκεια n

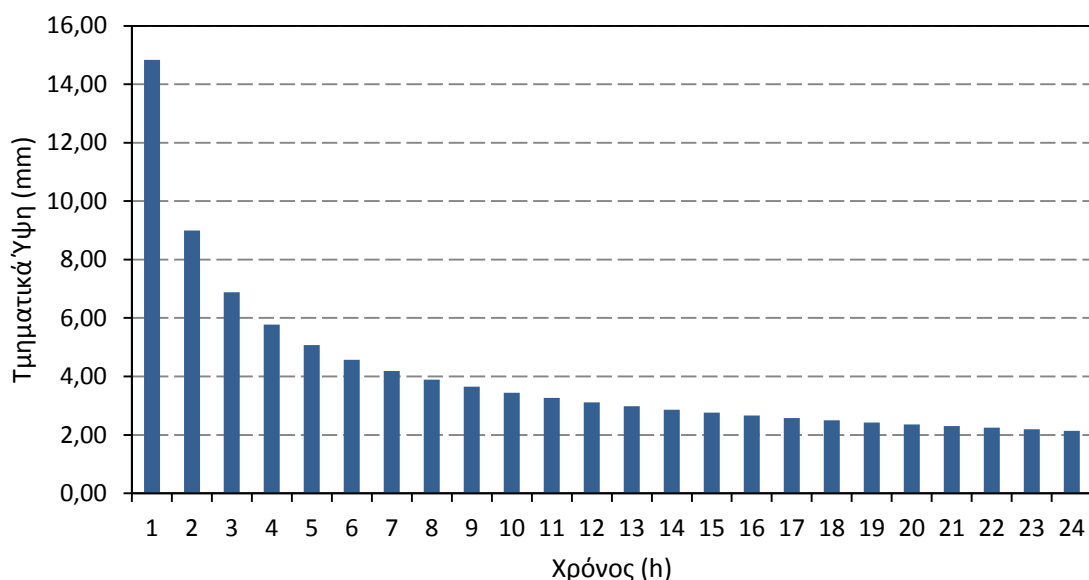
h_{n-1} : το ύψος βροχής για διάρκεια n-1

n : διάρκεια βροχής με τιμές 1-24 h

Τα τμηματικά ύψη παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.5 και 5.6.



Σχήμα 5.5: Τμηματικά Ύψη Λεκάνης Απορροής Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας



Σχήμα 5.6: Τμηματικά Ύψη Λεκάνης Απορροής Δημοτικής Ενότητας Παλαμά

4. Διάταξη τμηματικών υψών βροχής.

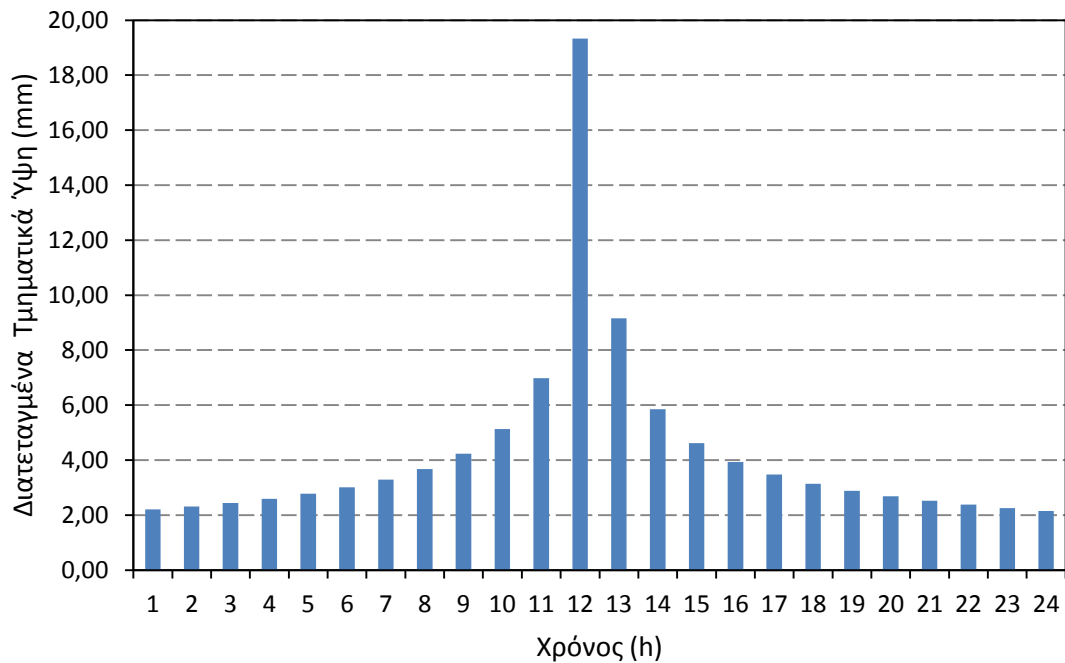
Η βασική παραδοχή στην κατάρτιση της καταιγίδας ελέγχου στη λεκάνη αφορά στη χρονική κατανομή του συνολικού ύψους βροχής. Από τις απλοποιημένες μεθόδους, χρησιμοποιούνται ευρέως αυτές της δυσμενέστερης διάταξης του υετογραφήματος σχεδιασμού ή ελέγχου (*Worst profile, U.S. Department of the Interior, 1977, σ. 817, Κουτσογιάννης, 1994*) και η μέθοδος των εναλλασσόμενων τμηματικών υψών (*Alternating block method, Sutcliffe, 1978, σ. 31-35, Chow et al., 1988, σ. 466*)

Με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων μπλοκ διατάσσονται τα τμηματικά ύψη βροχής με τέτοιο τρόπο ώστε να προκύπτει ένας ρεαλιστικός και παράλληλα δυσμενής συνδυασμός, ενώ στην περίπτωση της μεθόδου της δυσμενέστερης διάταξης προκύπτει ο δυσμενέστερος δυνατός συνδυασμός, δηλαδή αυτός που προκαλεί τη δυσμενέστερη αιχμή της παραγόμενης πλημμύρας. Η βασική παραδοχή και των δύο μεθόδων είναι ότι σε κάθε επιμέρους διάρκεια το ύψος βροχής έχει την ίδια περίοδο επαναφοράς με το τελικό (συνολικό) ύψος βροχής. Ωστόσο, αυτή η παραδοχή δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, γεγονός που αποτελεί και το σημαντικότερο μειονέκτημα των μεθόδων.

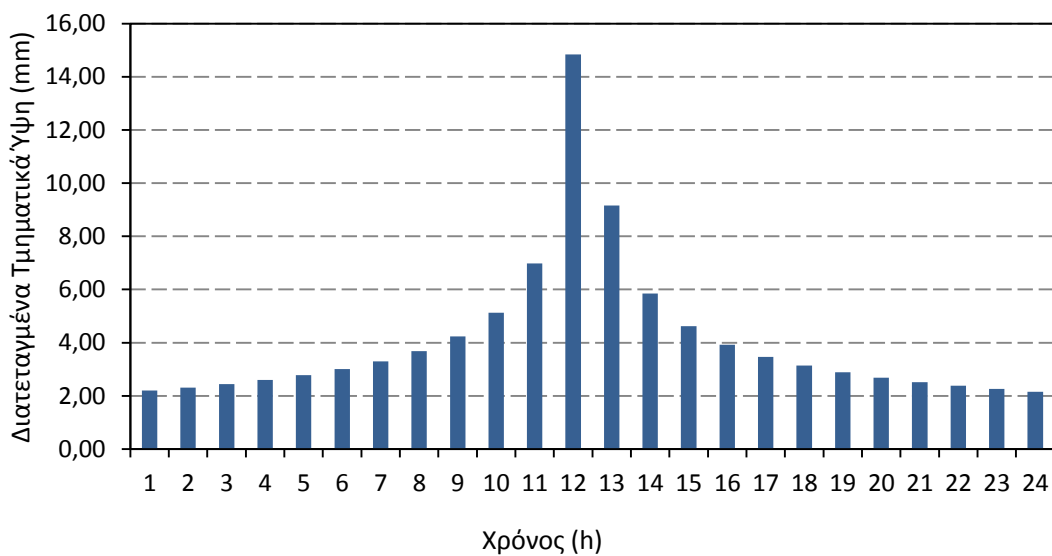
Στην παρούσα εργασία, λόγω μικρής περιόδου επαναφοράς, έγινε χρήση της μεθόδου των εναλλασσόμενων μπλοκ, σύμφωνα με την οποία τα τμηματικά ύψη

βροχής διατάσσονται σε χρονική ακολουθία με το μέγιστο στο μέσο της επιλεγμένης διάρκειας βροχής και τα υπόλοιπα σε φθίνουσα σειρά εναλλακτικά αριστερά και δεξιά από το κεντρικό μπλοκ.

Τα αποτελέσματα της διάταξης των τμηματικών υψών για τις εξεταζόμενες λεκάνες παρουσιάζονται στα Σχήματα 5.7 και 5.8:



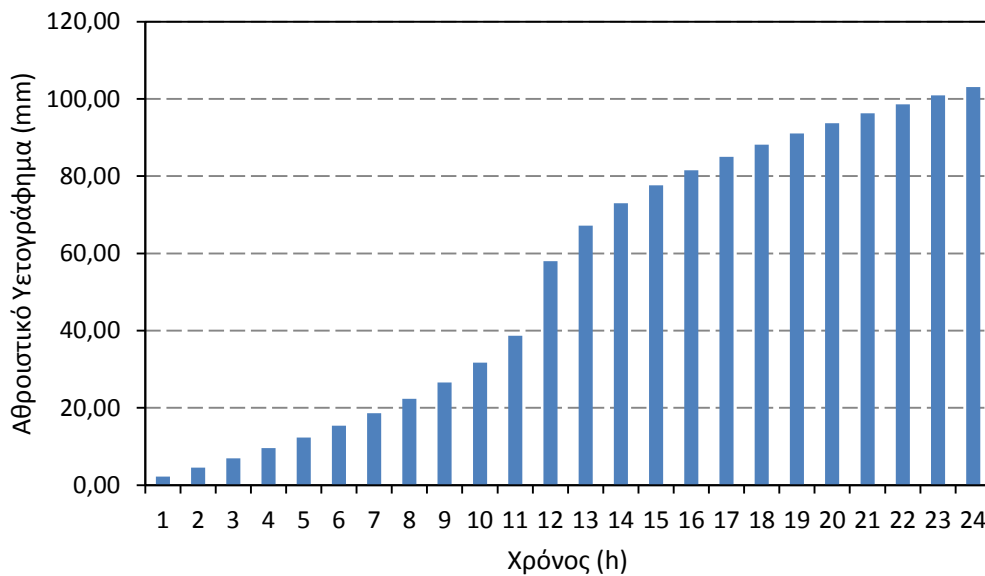
Σχήμα 5.7: Διατεταγμένα Τμηματικά Ύψη Λεκάνης Απορροής Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας



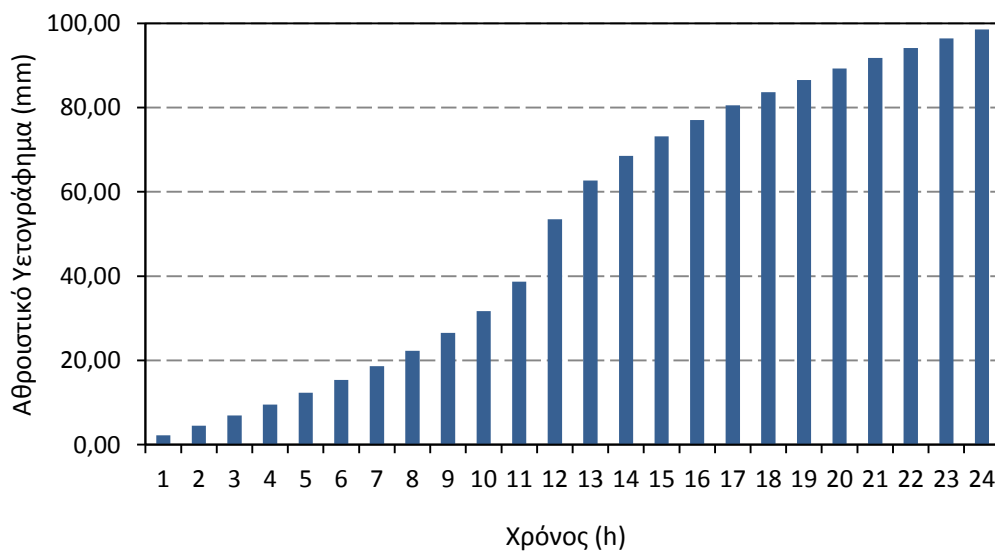
Σχήμα 5.8 Διατεταγμένα Τμηματικά Ύψη Λεκάνης Απορροής Δημοτικής Ενότητας Παλαμά

5. Υπολογισμός αθροιστικού υετογραφήματος και ενεργού αθροιστικού υετογραφήματος.

Το αθροιστικό υετογράφημα προκύπτει από το άθροισμα των διαδοχικών τιμών του. Στα Σχήματα 5.9 και 5.10 παρουσιάζονται τα αθροιστικά υετογραφήματα για τις εξεταζόμενες λεκάνες.



Σχήμα 5.9: Αθροιστικό Υετογράφημα Λεκάνης Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας



Σχήμα 5.10: Αθροιστικό Υετογράφημα Λεκάνης Δημοτικής Ενότητας Παλαμά

Η άμεση απορροή προκύπτει από την ενεργό βροχόπτωση εφόσον έχουν αφαιρεθεί από το συνολικό όγκο βροχόπτωσης οι υδρολογικές απώλειες. Το μέγεθος και το είδος των απωλειών εξαρτώνται από τη χρονική κλίμακα που χρησιμοποιείται. Σε μεγάλη χρονική κλίμακα, όπως η ετήσια οι απώλειες οφείλονται στην εξάτμιση και τη διαπνοή. Αντίθετα όταν εξετάζονται επεισόδια βροχής σε μικρή χρονική κλίμακα, όπως ημερήσια, η συνεισφορά των παραπάνω διεργασιών θεωρείται αμελητέα και οι απώλειες οφείλονται στην κατακράτηση από την φυτοκάλυψη, τη διήθηση και την επιφανειακή αποθήκευση.

Η πιο ρεαλιστική μέθοδος για την εκτίμηση των απωλειών της βροχής είναι η μέθοδος SCS, η οποία έχει αναπτυχθεί από την Αμερικανική Soil Conservation Service και υιοθετήθηκε στην παρούσα εργασία. Η εν λόγω μέθοδος για τη συνολική εκτίμηση των απωλειών χρησιμοποιεί στην τελική της μορφή μία παράμετρο, η οποία σχετίζεται με τον τύπο του εδάφους, τις χρήσεις γης και τις υπάρχουσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας και μπορεί να εκτιμηθεί είτε με χρήση δεδομένων βροχόπτωσης και απορροής είτε μέσω πινάκων που έχουν καταρτιστεί για το σκοπό αυτό.

Η μέθοδος SCS βασίζεται στις εξής παραδοχές (Soil Conservation Service, 1972, U.S. Department of the Interior, 1977 και Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999, σ. 274-278):

- Για ένα αρχικό διάστημα $t_{α0}$, όλη η ποσότητα της βροχόπτωσης $h_{α0}$ μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε έλλειμμα (αρχικό έλλειμμα), χωρίς να δίνει καθόλου ενεργή βροχόπτωση. Κατά συνέπεια, μετά το χρόνο $t_{α0}$, το μέγιστο ενεργό ύψος βροχής h_e δεν μπορεί να υπερβεί το δυνητικό μέγεθος $h - h_{α0}$, όπου h το ολικό ύψος βροχής.
- Το επιπλέον, πέραν του αρχικού $h_{α0}$, ελλειμματικό ύψος κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης βροχόπτωσης δεν μπορεί να ξεπεράσει μια μέγιστη τιμή S , η οποία καλείται μέγιστη δυνητική κατακράτηση (potential maximum retention).
- Σε κάθε χρονική στιγμή $t > t_{α0}$, οι λόγοι του ενεργού (καθαρού) ύψους βροχής h_e και του ελλειμματικού μείον το αρχικό έλλειμμα ($h_a - h_{α0}$), προς τα αντίστοιχα δυνητικά μεγέθη ($h - h_{α0}$ και S , αντίστοιχα), είναι ίσοι.

Βάσει των παραπάνω παραδοχών, προκύπτει η ακόλουθη εμπειρική σχέση:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq h_{a0} \\ \frac{(h-h_{a0})^2}{h-h_{a0}+S} & h > h_{a0} \end{cases} \quad (5.17)$$

Για απλοποίηση, υιοθετείται η επιπλέον παραδοχή ότι $h_{a0} = 0.2 S$, η οποία θεωρείται ως η βέλτιστη προσέγγιση από δεδομένα παρατηρήσεων, οπότε η μέθοδος χρησιμοποιεί τελικά μία μόνο παράμετρο, τη μέγιστη δυνητική κατακράτηση S . Η εμπειρική σχέση, με την επιπλέον παραδοχή, τελικά γράφεται:

$$h_e = \begin{cases} 0 & h \leq 0.2S \\ \frac{(h-0.2S)^2}{h+0.8S} & h > 0.2S \end{cases} \quad (5.18)$$

Η Σχέση 5.18 εφαρμόζεται και για το τελικό ύψος βροχής της καταιγίδας αλλά και για ενδιάμεσες τιμές του, και έτσι προκύπτει η χρονική εξέλιξη του φαινομένου. Το τελικό ύψος των ελλειμμάτων μπορεί να φτάσει ασυμπτωτικά (για βροχόπτωση μεγάλου ύψους) την τιμή 1.2 S.

Εφόσον δεν υπάρχουν μετρήσεις απορροής, η τιμή της παραμέτρου S μπορεί να εκτιμηθεί με βάση τιμές της βιβλιογραφίας. Συγκεκριμένα, η τιμή της S (σε mm) συνδέεται με μια άλλη χαρακτηριστική παράμετρο της λεκάνης, τη CN, η οποία είναι γνωστή ως αριθμός καμπύλης απορροής (runoff curve number), με τη σχέση:

$$S \text{ (mm)} = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (5.19)$$

Η παράμετρος CN παίρνει τιμές από 0 μέχρι 100, και επηρεάζεται από τις συνθήκες εδάφους και τις χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής, καθώς και τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας.

Αρχικά, η SCS κατατάσσει τα εδάφη σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τη διαπερατότητά τους (Κουτσογιάννης και Ξανθόπουλος, 1999):

Ομάδα A: Εδάφη με μεγάλους ρυθμούς διήθησης, π.χ. αμμώδη και χαλικώδη με πολύ μικρό ποσοστό ιλύος και αργίλου.

Ομάδα B: Εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης, π.χ. αμμώδης πηλός.

Ομάδα C: Εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη από αργιλοπηλό, εδάφη με σημαντικό ποσοστό αργίλου, εδάφη φτωχά σε οργανικό υλικό.

Ομάδα D: Εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης, π.χ. εδάφη που διογκώνονται σημαντικά όταν διαβραχούν, πλαστικές άργιλοι, εδάφη μικρού βάθους με σχεδόν αδιαπέρατους ορίζοντες κοντά στην επιφάνεια.

Στη συνέχεια, ορίζει τρεις τύπους προηγούμενων συνθηκών υγρασίας:

Τύπος I: Ξηρές συνθήκες, οι οποίες αντιστοιχούν σε βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών μικρότερη των 13 mm (ή 35 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Τύπος II: Μέσες συνθήκες, οι οποίες αντιστοιχούν σε βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών μεταξύ 13 και 38 mm (ή 35-53 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Τύπος III: Υγρές συνθήκες, οι οποίες αντιστοιχούν σε βροχόπτωση των προηγούμενων 5 ημερών μεγαλύτερη των 38 mm (ή 53 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Για συνθήκες υγρασίας τύπου II, η SCS δίνει πίνακα με τις τιμές του CN για κάθε ομάδα εδαφών και για διάφορες χρήσεις γης .

Πίνακας 5.12: Πίνακας τιμών CN για συνθήκες υγρασίας τύπου II

Περιγραφή χρήση γης	Υδρολογικός τύπος εδάφους			
	A	B	C	D
Καλλιεργημένες εκτάσεις	62 - 72	71 - 81	78 - 88	81 - 91
Λιβάδια, βοσκότοποι	30 - 68	58 - 79	71 - 86	78 - 89
Δάση	25 - 45	55 - 66	70 - 77	77 - 83
Ανοιχτοί χώροι, πάρκα, νεκροταφεία κτλ.				
με κάλυψη από πράσινο > 75%	39	61	74	80
με κάλυψη από πράσινο 50 – 75 %	49	69	79	84
Εμπορικές περιοχές	89	92	94	95
Βιομηχανικές περιοχές (72 % αδιαπέρατες)	81	88	91	93
Οικιστικές περιοχές				
Μέσο μέγεθος οικοπέδου (στρ)	Ποσοστό διαπερατής επιφάνειας %			
≤ 0,5	65	77	85	90
1	38	61	75	83
1.5	30	57	72	81
2	25	54	70	80
4	20	51	68	79
Δρόμοι				
με οδόστρωμα και δίκτυο ομβρίων	98	98	98	98
χαλικόστρωτοι	76	85	89	91
χωματόδρομοι	72	82	87	89

Για λόγους απλότητας, στην παρούσα εργασία οι χρήσεις γης κατηγοριοποιήθηκαν σε τρεις ομάδες. Αναλυτικότερα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.13.

Πίνακας 5.13: Κατηγορίες χρήσεων γης στις λεκάνες απορροής

Τύπος	Περιγραφή εδάφους
1	Καλλιεργημένες εκτάσεις
2	Δάση
3	Λιβάδια - βοσκότοποι

Επίσης, με βάση την υδρογεωλογία της περιοχής, το σύνολο της έκτασης χωρίστηκε σε τρεις ομάδες διαπερατότητας, A,B και D, όπως αυτές ορίστηκαν παραπάνω.

Κάθε λεκάνη δεν απαρτίζεται μόνο από ένα τύπο εδάφους και μία χρήση γης. Με βάση τις εκτάσεις που καταλαμβάνει κάθε συνδυασμός ομάδας εδάφους – χρήσης γης (συνολικά $3 \times 3 = 9$ συνδυασμοί) προκύπτει η σταθμισμένη τελική τιμή της παραμέτρου CN σύμφωνα με τη σχέση:

$$CN = \sum_{j=1}^9 \frac{F_i}{F} CN_i \quad (5.20)$$

Όπου F η συνολική έκταση της υπολεκάνης και i δείκτης που αναφέρεται στο συνδυασμό υδρολογικής ομάδας και χρήσης γης.

Εκτίμηση αριθμού καμπύλης απορροής CN

Ο υπολογισμός της τιμής της παραμέτρου CN γίνεται με τη βοήθεια του GIS. Πιο συγκεκριμένα, τα βήματα που ακολουθήθηκαν είναι τα ακόλουθα:

1. Εισαγωγή χάρτη χρήσεων γης και γεωλογικού χάρτη της ευρύτερης περιοχής.
2. Απομόνωση των γεωλογικών χαρακτηριστικών και των χρήσεων γης της λεκάνης, με τη βοήθεια της εντολής του Arcmap >> Geoprocessing >> Clip.
3. Υπολογισμός της έκτασης κάθε πιθανού συνδυασμού υδρολογικής ομάδας και χρήσης γης, με τη βοήθεια της εντολής του Arcmap >> Geoprocessing >> Clip.
4. Υπολογισμός τελικής τιμής της παραμέτρου CN σύμφωνα με τη σχέση 5.20.

Οι αναλυτικοί υπολογισμοί για τις δύο περιοχές μελέτης παρουσιάζονται στους ακόλουθους πίνακες:

Πίνακας 5.14: Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN που υιοθετήθηκαν για τους 9 συνδυασμούς υδρολογικής ομάδας και χρήσης γης, αντίστοιχες αναλογίες εκτάσεων και τελικοί υπολογισμοί του σταθμισμένου αριθμού καμπύλης απορροής CN της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας

Ομάδα διαπερατότητας	Χρήση γης	CN _i	Αναλογία	
			έκτασης, F _i /F	(F _i /F) CN _i
B	Δάση	64	0	0
	Καλλιεργημένες εκτάσεις	76	0,02	1,58
	Λιβάδια, βοσκότοποι	70	0,01	0,46
D	Δάση	83	0,51	42,73
	Καλλιεργημένες εκτάσεις	87	0,34	29,16
	Λιβάδια, βοσκότοποι	86	0,12	9,22
Σύνολο			1	83,15

Πίνακας 5.15: Τιμές αριθμού καμπύλης απορροής CN που υιοθετήθηκαν για τους 9 συνδυασμούς υδρολογικής ομάδας και χρήσης γης, αντίστοιχες αναλογίες εκτάσεων και τελικοί υπολογισμοί του σταθμισμένου αριθμού καμπύλης απορροής CN της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά

Ομάδα διαπερατότητας	Χρήση γης	CN _i	Αναλογία	
			έκτασης, F _i /F	(F _i /F) CN _i
A	Δάση	45	0,077	3,46
	Καλλιεργημένες εκτάσεις	70	0,021	1,44
	Λιβάδια, βοσκότοποι	65	0,012	0,80
B	Δάση	64	0,023	1,47
	Καλλιεργημένες εκτάσεις	76	0,455	34,62
	Λιβάδια, βοσκότοποι	70	0,015	1,03
D	Δάση	83	0,212	17,61
	Καλλιεργημένες εκτάσεις	87	0,141	12,24
	Λιβάδια, βοσκότοποι	86	0,020	1,71
Σύνολο			1	74,38

Για τους άλλους δύο τύπους συνθηκών υγρασίας γίνεται αναγωγή του CN σύμφωνα με τους παρακάτω τύπους:

$$CN_I = \frac{0.42 CN_{II}}{1 - 0.0058 CN_{II}} \quad (5.21)$$

$$CN_{III} = \frac{2.3 CN_{II}}{1 + 0.013 CN_{II}} \quad (5.22)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις, για τις εξεταζόμενες λεκάνες προκύπτουν οι υπόλοιπες τιμές του CN, όπως εμφανίζονται στους Πίνακες 5.16 και 5.17.

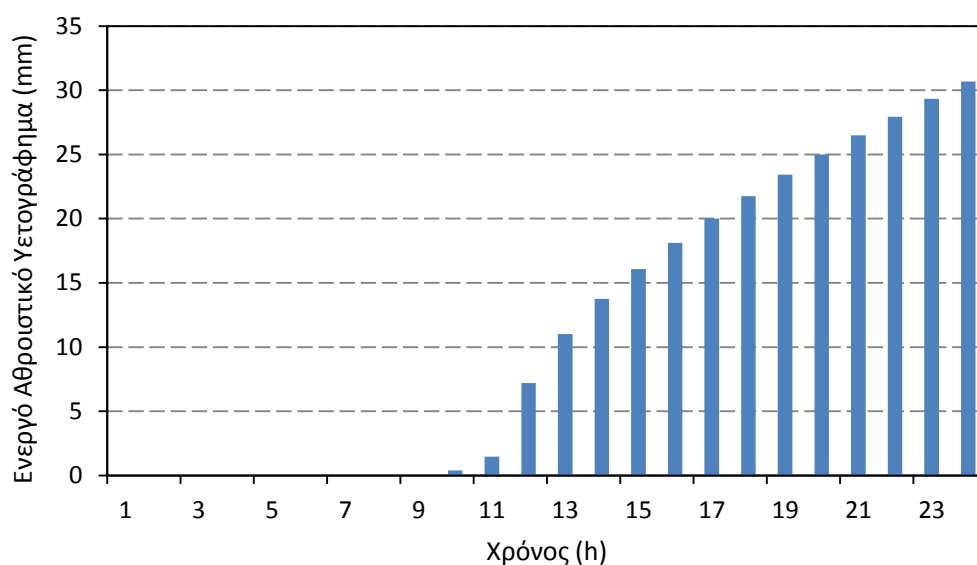
Πίνακας 5.16: Τιμές CN για τύπους υγρασίας I, II της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας

Τύπος συνθηκών υγρασίας	CN
I	67.46
III	91.91

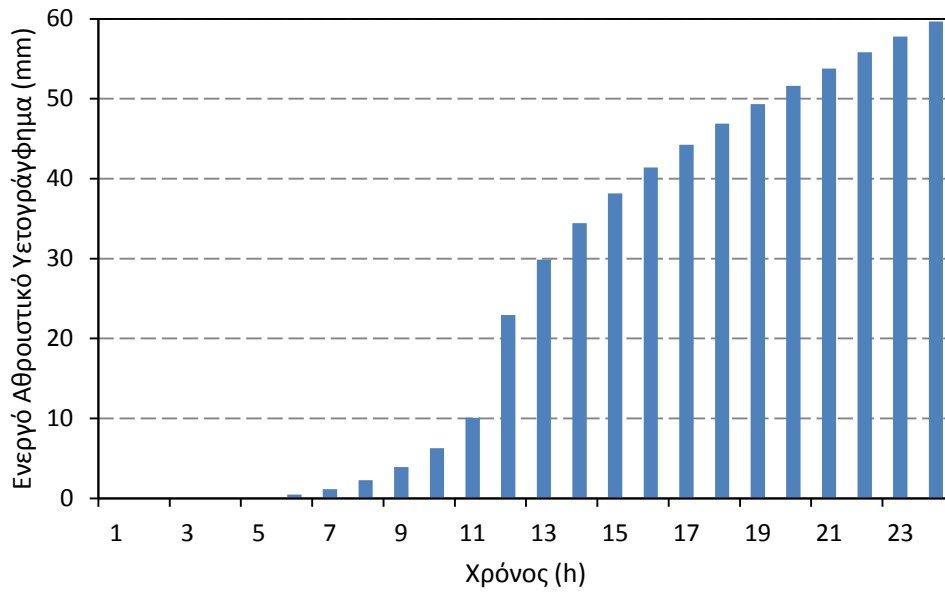
Πίνακας 5.17: Τιμές CN για τύπους υγρασίας I, II της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά

Τύπος συνθηκών υγρασίας	CN
I	54.94
III	86.97

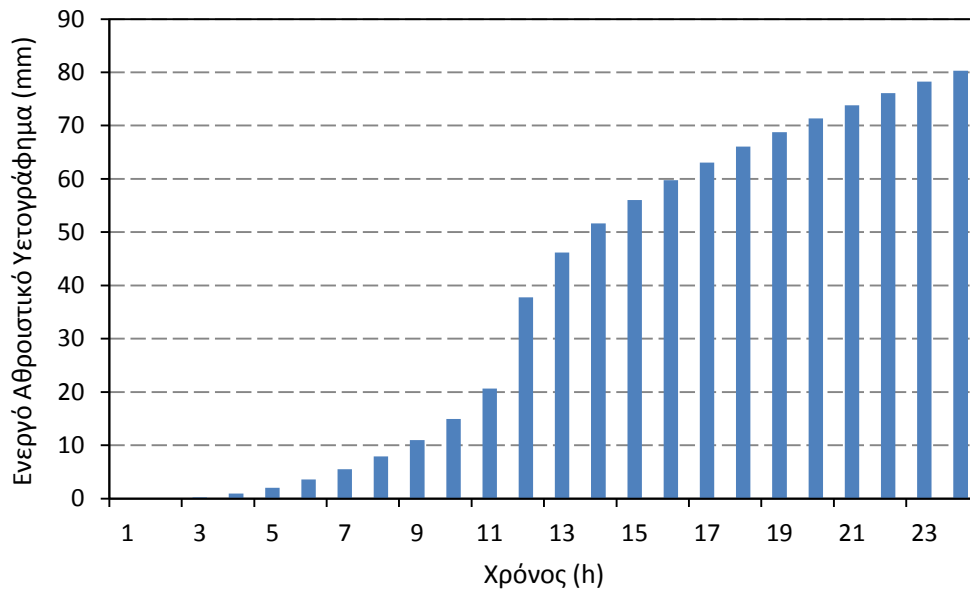
Στα Σχήματα 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16 παρουσιάζονται για τους τρεις τύπους συνθηκών υγρασίας I, II, III τα αντίστοιχα ενεργά αθροιστικά υετογραφήματα για τις δύο περιοχές μελέτης.



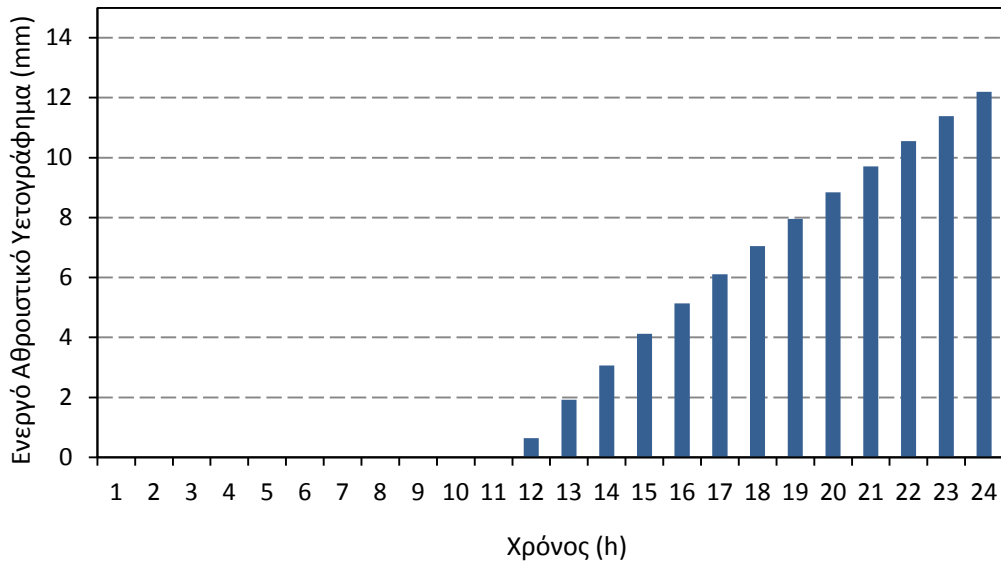
Σχήμα 5.11: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας (Τύπος υγρασίας I)



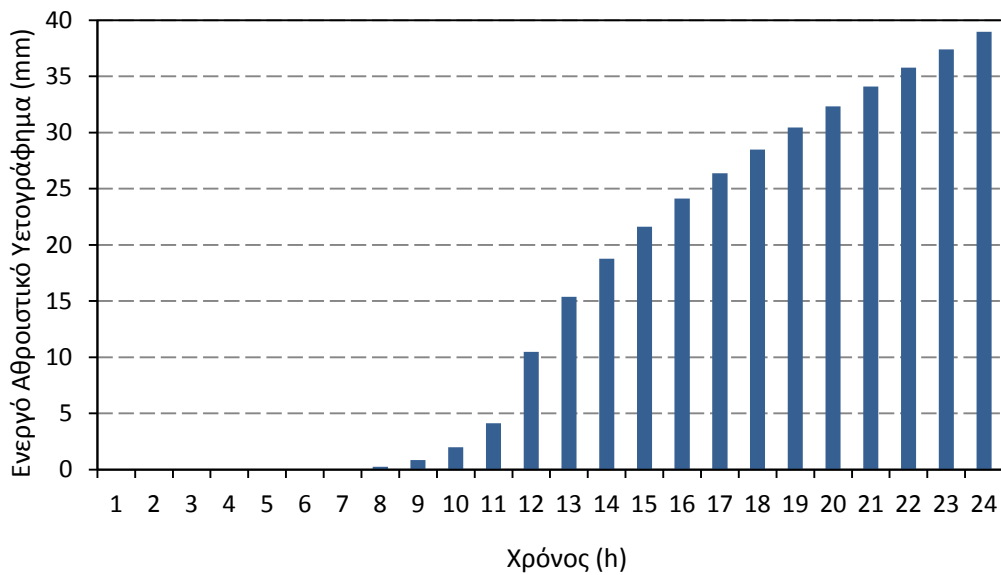
Σχήμα 5.12: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας (Τύπος υγρασίας II)



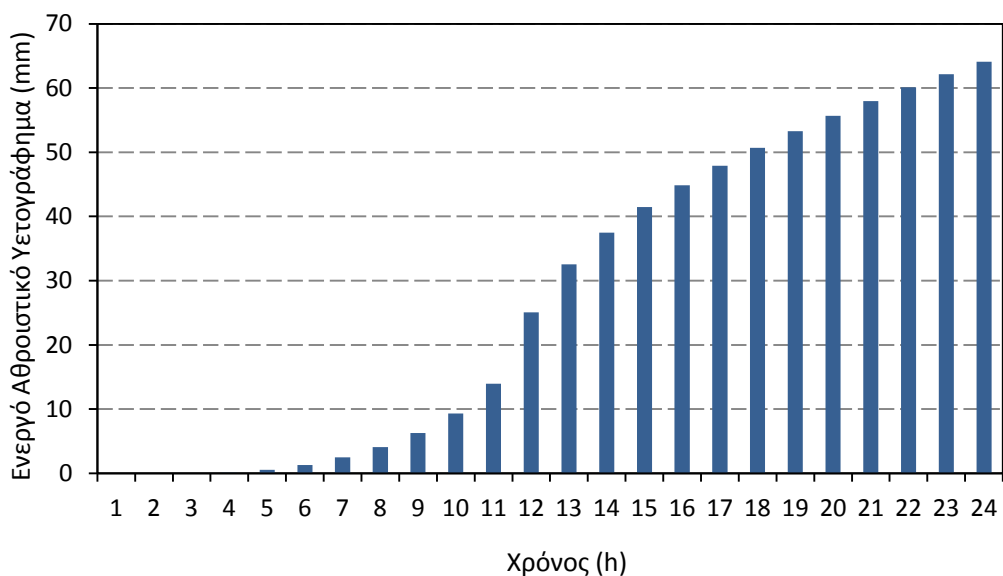
Σχήμα 5.13: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας (Τύπος υγρασίας III)



Σχήμα 5.14: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά (Τύπος υγρασίας I)



Σχήμα 5.15: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά (Τύπος υγρασίας II)



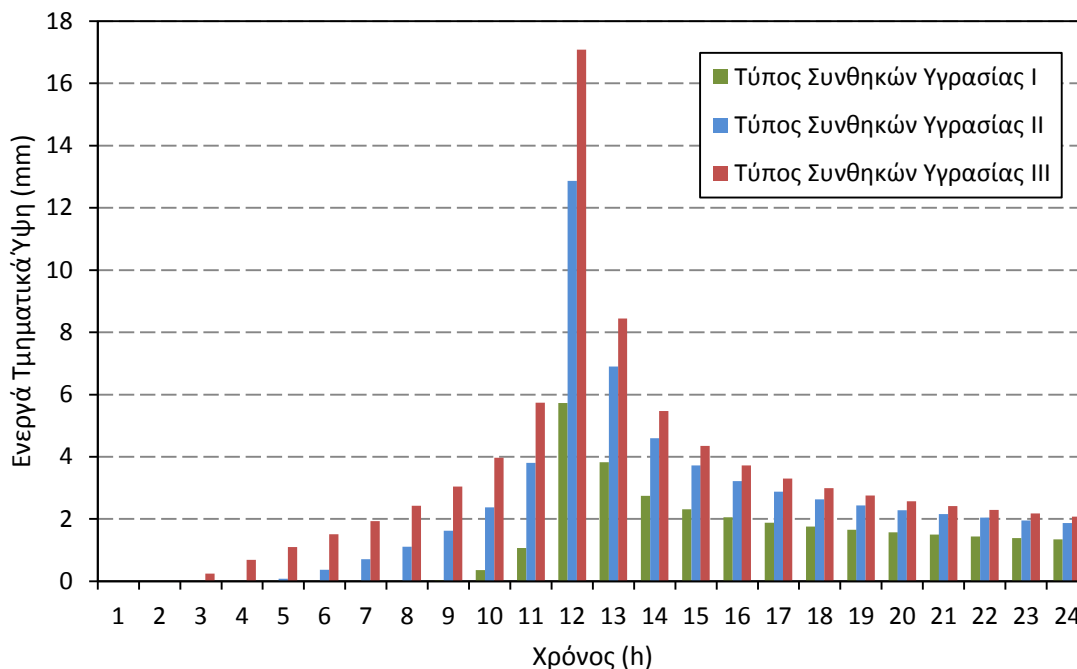
Σχήμα 5.16: Ενεργό Αθροιστικό Υετογράφημα της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά (Τύπος υγρασίας ΙΙΙ)

6. Υπολογισμός ενεργών τμηματικών υψών

Τα ενεργά τμηματικά ύψη προκύπτουν από τη διαφορά διαδοχικών τιμών του ενεργού αθροιστικού υετογραφήματος για τη μονάδα του χρόνου, όπως εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$h'_i = h_e^i - h_e^{i-1} \quad (5.23)$$

Στα Σχήματα 5.17 και 5.18 παρουσιάζονται για τους τρεις τύπους συνθηκών υγρασίας Ι, ΙΙ, ΙΙΙ τα αντίστοιχα ενεργά τμηματικά ύψη.

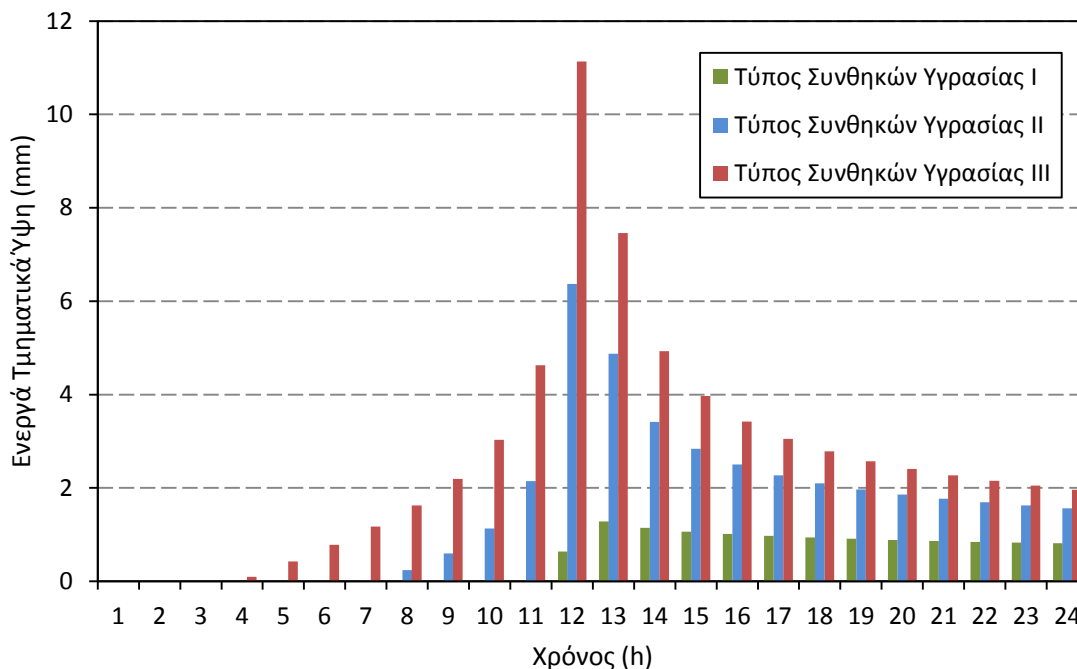


Σχήμα 5.17: Ενεργά Τμηματικά Ύψη της λεκάνης της Δ.Ε. Καρδίτσας

Στους Πίνακες 5.18 και 5.19 παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα των υδρολογικών υπολογισμών.

Πίνακας 5.18: Συνοπτικά αποτελέσματα υπολογισμών για τη λεκάνη της Δ.Ε. Καρδίτσας

Αριθμός καμπύλης απωλειών, CN	67.46	83.15	91.91
Επιφάνεια λεκάνης (km ²)		274.3	
Ολικό σημειακό ύψος βροχής, H (mm)		114.0	
Συντελεστής επιφανειακής αναγωγής, φ		0.91	
Ολικό επιφανειακό ύψος βροχής, H' (mm)		103.03	
Παράμετρος S=25.4 (1000/CN-10) (mm)	122.51	51.46	22.37
Καθαρό ύψος βροχής, H* (mm)	30.68	59.65	80.32
Καθαρός όγκος πλημμύρας	8.42	16.36	22.03



Σχήμα 5.18: Ενεργά Τμηματικά Ύψη της λεκάνης της Δ.Ε. Παλαμά

Πίνακας 5.19: Συνοπτικά αποτελέσματα υπολογισμών για τη λεκάνη της Δ.Ε. Παλαμά

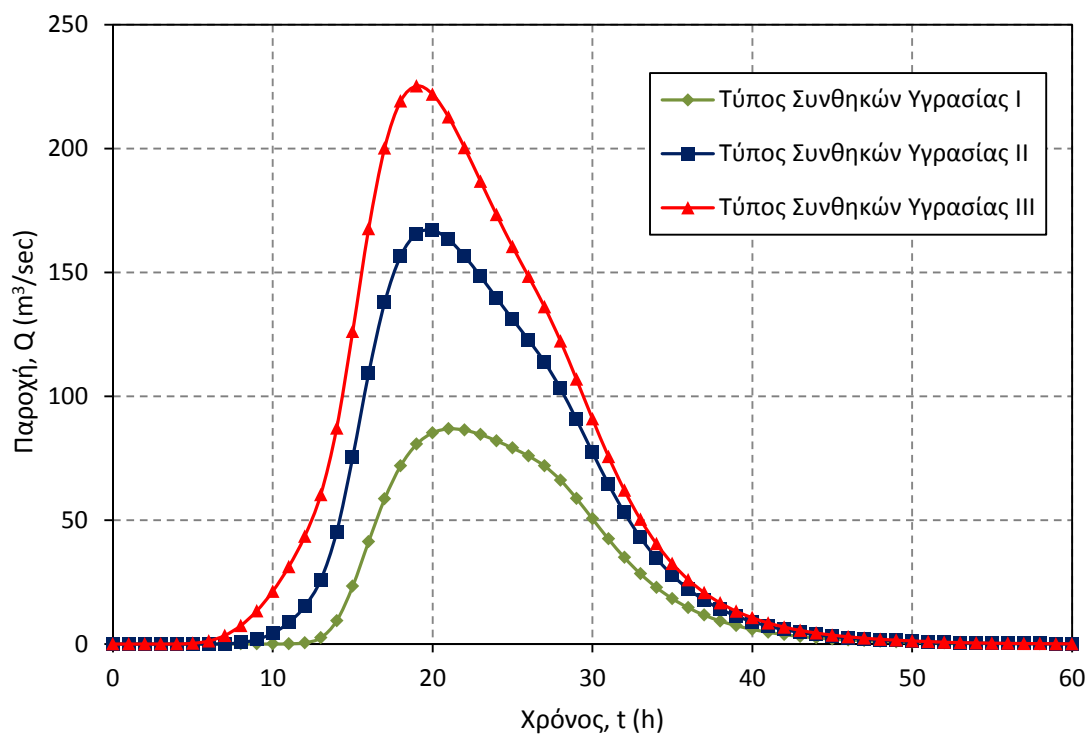
Αριθμός καμπύλης απωλειών, CN	54.94	74.38	86.97
Επιφάνεια λεκάνης (km ²)		2509	
Ολικό σημειακό ύψος βροχής, H (mm)		114.0	
Συντελεστής επιφανειακής αναγωγής, φ		0.86	
Ολικό επιφανειακό ύψος βροχής, H' (mm)		98.54	
Παράμετρος S=25.4 (1000/CN-10) (mm)	208.34	87.50	38.04
Καθαρό ύψος βροχής, H* (mm)	12.19	38.96	64.11
Καθαρός όγκος πλημμύρας (hm ³)	30.58	97.75	160.85

7. Υπολογισμός υδρογραφήματος της άμεσης απορροής.

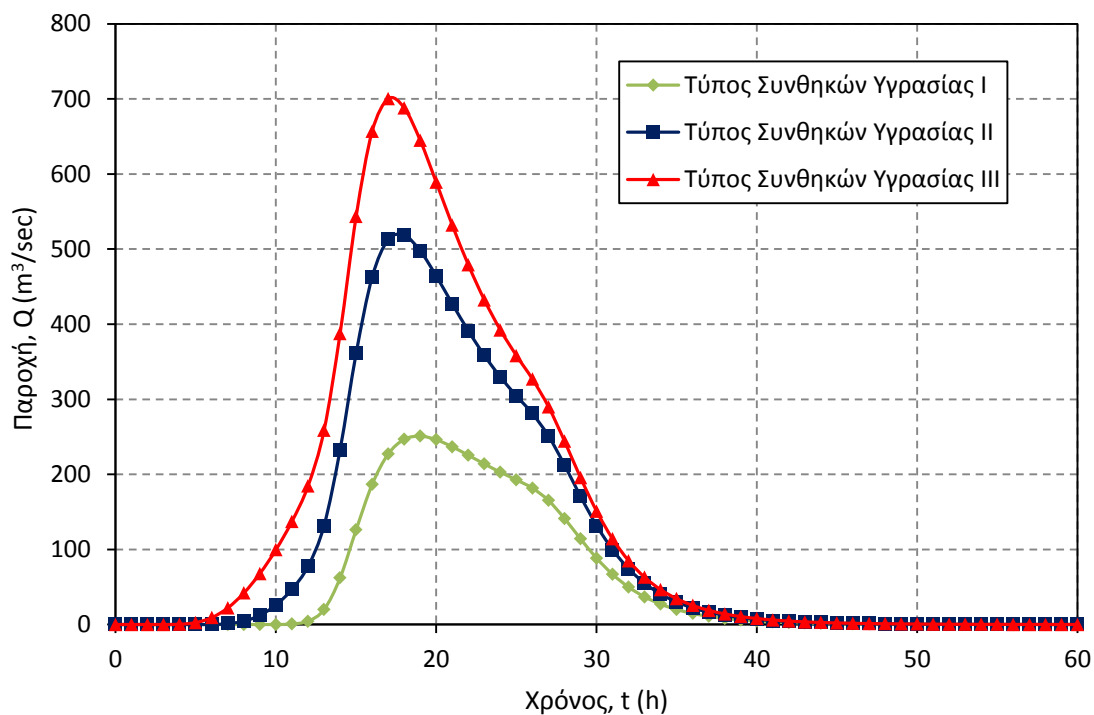
Το υδρογράφημα προκύπτει πολλαπλασιάζοντας το ύψος της ενεργού βροχής της περιόδου αυτής με τις τιμές του μοναδιαίου υδρογραφήματος διάρκειας ίσης με την περίοδο (1 hr).

8. Τελικό βήμα για τον υπολογισμό του πλημμυρογραφήματος αποτελεί το άθροισμα των τιμών των υδρογραφημάτων της άμεσης απορροής, αφού πρώτα γίνει χρονική μετάθεση ίση με 1 ώρα.

Στα Σχήματα 5.19, 5.20, 5.21 και 5.22 παρουσιάζονται για κάθε μία λεκάνη απορροής και για τους τρεις τύπους συνθηκών υγρασίας I, II, III τα αντίστοιχα πλημμυρογραφήματα εισόδου. Στους Πίνακες 5.20 και 5.21 αναφέρονται οι παροχές αιχμής για κάθε λεκάνη και σενάριο, που εξετάστηκε.



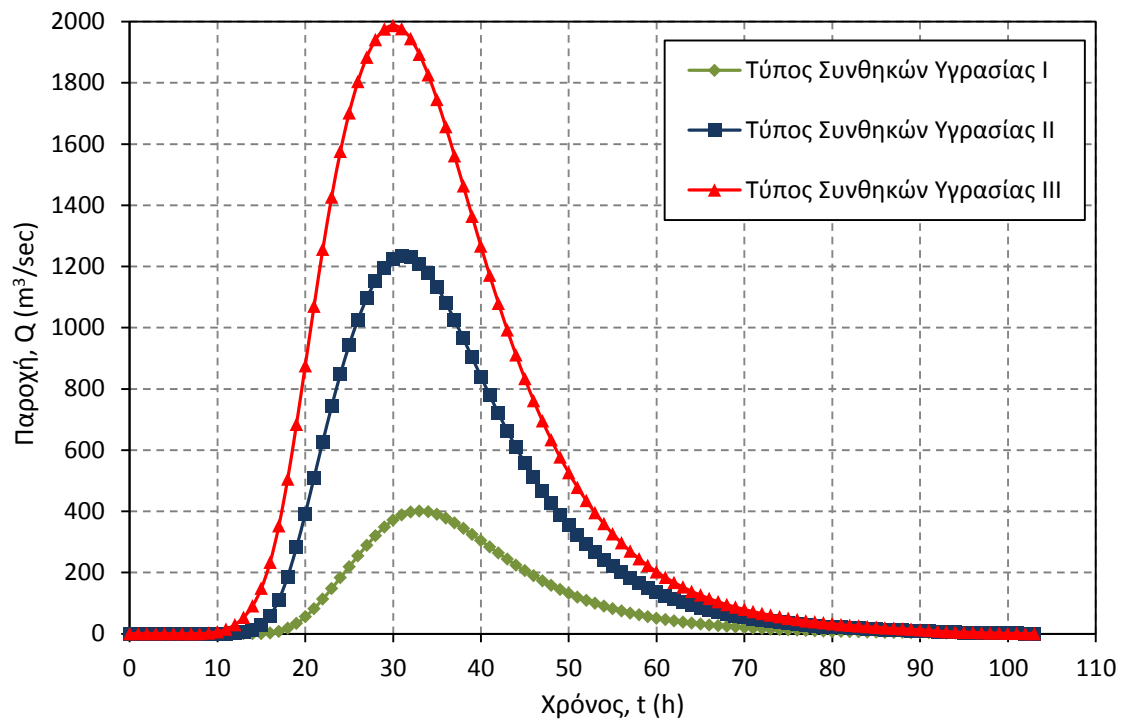
Σχήμα 5.19: Πλημμυρογράφημα εισόδου Λεκάνης 1 Δ.Ε. Καρδίτσας



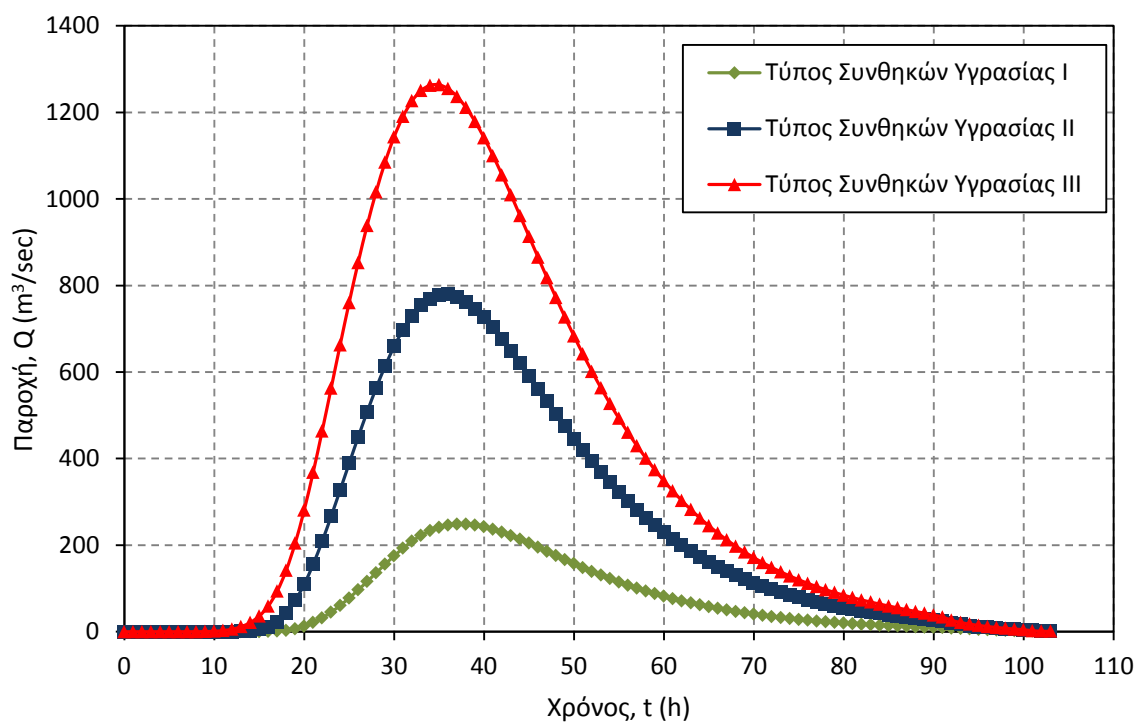
Σχήμα 5.20: Πλημμυρογράφημα εισόδου Λεκάνης 2 Δ.Ε. Καρδίτσας

Πίνακας 5.20: Παροχές αιχμής για τις λεκάνες απορροής της Δ.Ε. Καρδίτσας

Επιφάνεια λεκάνης (km ²)		Τύπος συνθηκών υγρασίας		
		I	II	III
199	Παροχή αιχμής	250.9	518.5	700.3
75.3	(m ³ /sec)	82.7	167.0	225.2



Σχήμα 5.21: Πλημμυρογράφημα εισόδου Λεκάνης 1 Δ.Ε. Παλαμά



Σχήμα 5.22: Πλημμυρογράφημα εισόδου Λεκάνης 2 Δ.Ε. Παλαμά

Πίνακας 5.21: Παροχές αιχμής για τις λεκάνες απορροής της Δ.Ε. Παλαμά

Επιφάνεια λεκάνης (km ²)	Τύπος συνθηκών υγρασίας	Τύπος συνθηκών υγρασίας		
		I	II	III
1400	Παροχή αιχμής	401.1	1234.0	1987.3
1109	(m ³ /sec)	248.6	778.6	1263.6

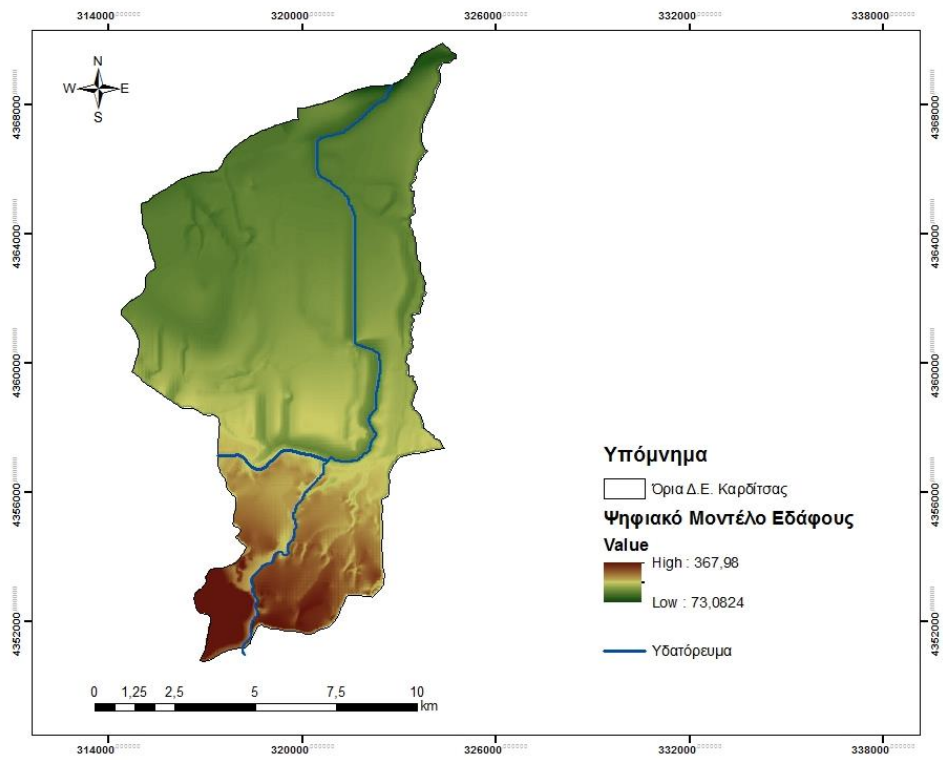
Παρατηρούμε και στις δύο περιοχές μελέτης, ότι όσο αυξάνεται ο τύπος προηγούμενων συνθηκών υγρασίας και κατ' επέκταση αυξάνεται ο αριθμός καμπύλης απορροής τόσο αυξάνεται η παροχή αιχμής των πλημμυρογραφημάτων εισόδου. Αυτό το αποτέλεσμα είναι λογικό, καθώς ο κάθε τύπος περιγράφει κάποιες συνθήκες υγρασίας του εδάφους στη λεκάνη, οι οποίες έχουν ήδη οριστεί. Αυτές οι συνθήκες προσδιορίζουν εμμέσως το πόσο κορεσμένο είναι το έδαφος στην περιοχή, γεγονός που επηρεάζει άμεσα την απορροή. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο κορεσμένο είναι το έδαφος, τόσο μεγαλύτερη απορροή προκύπτει και αντιστρόφως όσο πιο ακόρεστο είναι, τόσο μικρότερη απορροή. Τα αποτελέσματα της υδρολογικής ανάλυσης των περιοχών μελέτης συμφωνούν με το συμπέρασμα αυτό.

5.5 Υδραυλική προσομοίωση περιοχής μελέτης

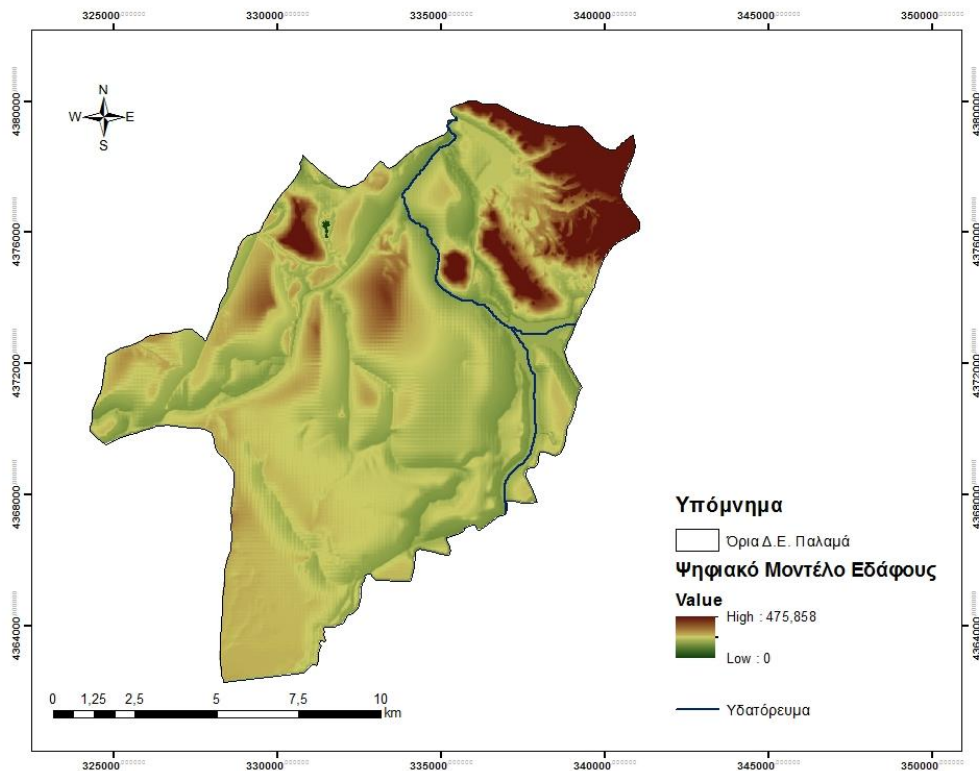
Για την υδραυλική προσομοίωση της εξεταζόμενης λεκάνης χρησιμοποιήθηκε το ψευδο-διδιάστατο υδραυλικό μοντέλο LISFLOOD-FP, το οποίο εφαρμόζει τη μονοδιάστατη ανάλυση σε δύο διευθύνσεις, μία στην κύρια διεύθυνση της ροής και μία στην εγκάρσια διεύθυνση αυτής. Επιπλέον, η μονοδιάστατη ανάλυση εφαρμόζεται ξεχωριστά για το κανάλι και το πλημμυρικό πεδίο και συνδυάζονται μέσω μίας σχέσης συνέχειας. (Οικονόμου, 2013)

5.5.1 Γεωμετρικά δεδομένα περιοχής μελέτης

Η μορφολογία της περιοχής μελέτης περιγράφεται μέσω ενός Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους, κανονικοποιημένης μορφής (grid) και ανάλυσης 25m x 25m, από το οποίο προήλθαν όλα τα απαραίτητα δεδομένα για την υδραυλική προσομοίωση της περιοχής (Σχήματα 5.23, 5.24).



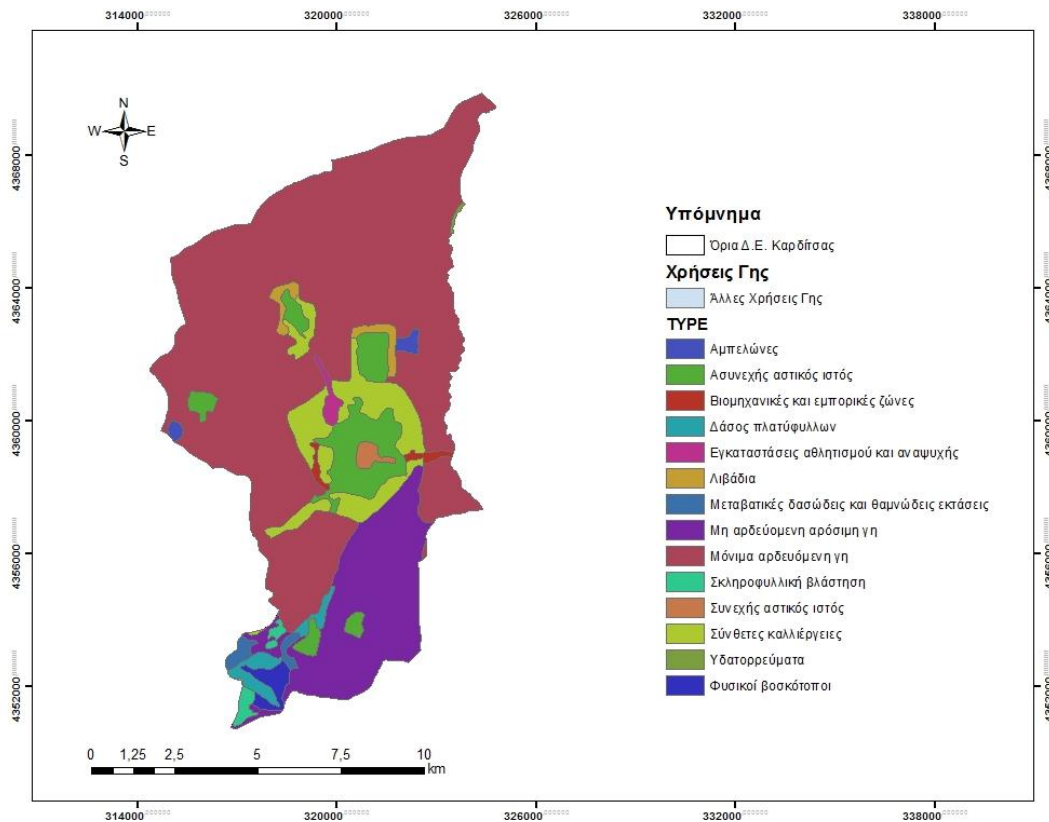
Σχήμα 5.23: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας



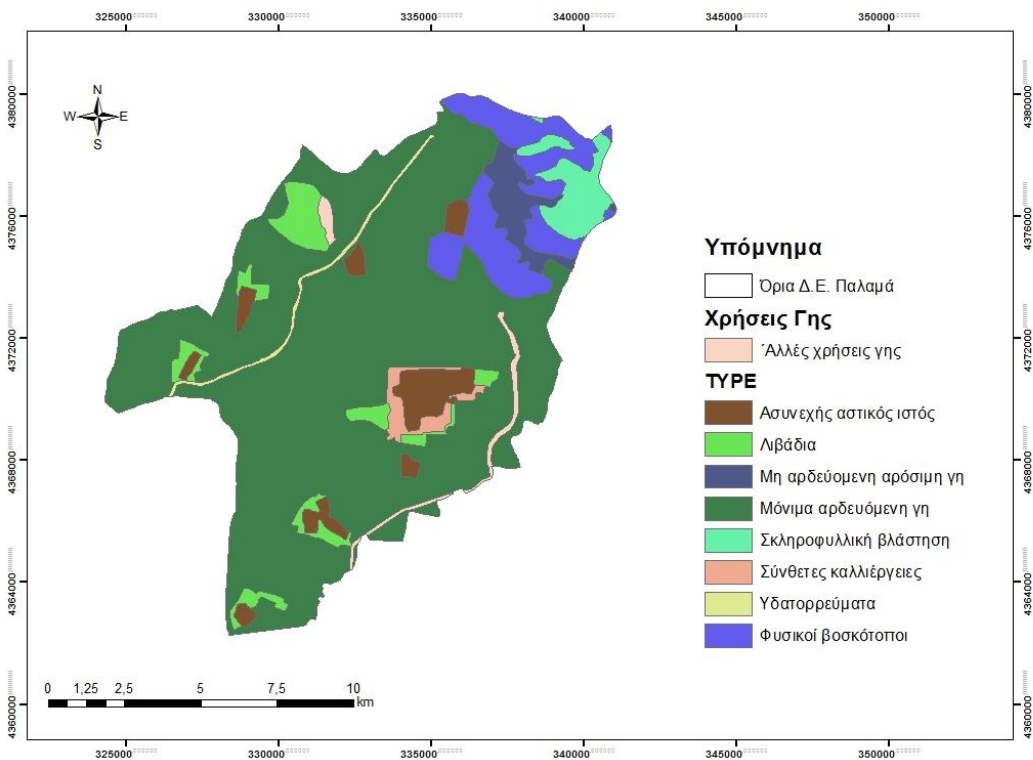
Σχήμα 5.24: Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους Δημοτικής Ενότητας Παλαμά

Από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, προέκυψαν τα υψόμετρα του υδατορεύματος, που διέρχεται από την περιοχή μελέτης. Ωστόσο, η ακρίβεια του Ψ.Μ.Ε. στην υψομετρική διεύθυνση δεν ικανοποιεί τις ανάγκες του υδραυλικού μοντέλου. Το πρόβλημα εντοπίζεται στην κατεύθυνση ροής του υδατορεύματος, η μηκοτομή του οποίου είτε παρουσιάζει έντονη μεταβολή της κλίσης, θετική ή αρνητική, είτε παρουσιάζει μηδενική κλίση σε μεγάλο τμήμα. Γι' αυτόν τον λόγο έγινε μία επεξεργασία των παραχθέντων δεδομένων μέσω γραμμικής παρεμβολής, ώστε να μην παρουσιάζονται θετικές κλίσεις ή "plateau" στα υψόμετρα του υδατορεύματος.

Επιπλέον, δεδομένα αντλούνται από την καταγραφή των χρήσεων κάλυψης γης από το πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης Corine 2000, για την εκτίμηση του συντελεστή τραχύτητας του Manning. (Σχήματα 5.25, 5.26)



Σχήμα 5.25: Χρήσεις γης Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας



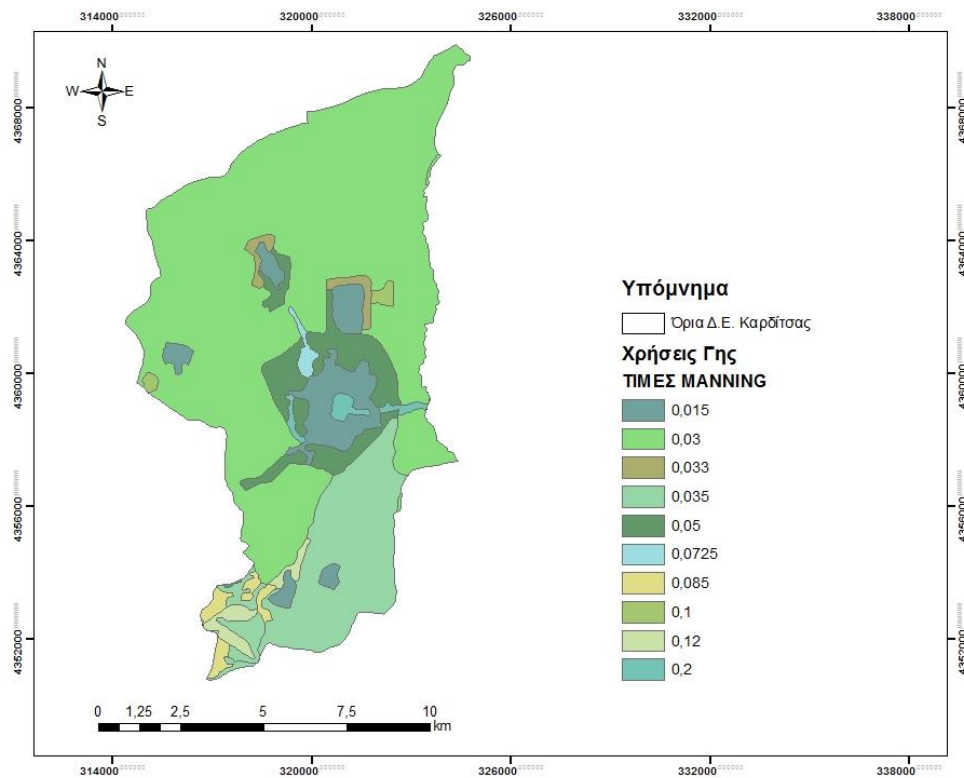
Σχήμα 5.26: Χρήσεις γης Δημοτικής Ενότητας Παλαμά

Οι τιμές του συντελεστή τραχύτητας Manning που αποδόθηκαν σε κάθε επιμέρους κατηγορία χρήσεων γης παρουσιάζονται στον Πίνακα 5.22 (Yan Huang, 2006).

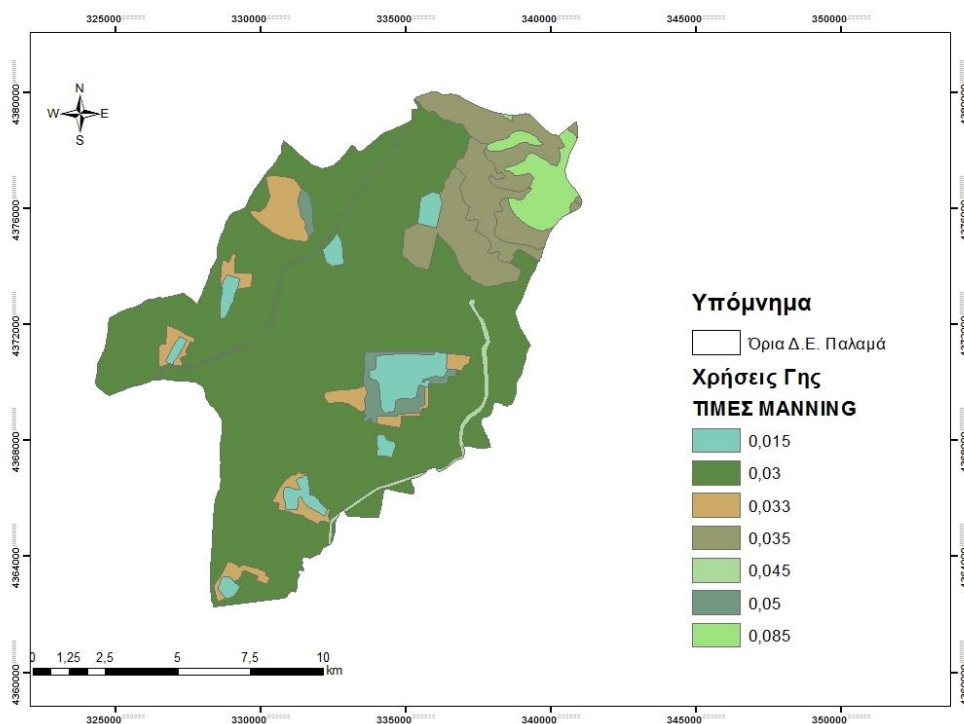
Πίνακας 5.22: Τιμές συντελεστή τραχύτητας Manning για διάφορες χρήσεις γης

Κωδικός Corine	Χρήση γης	Συντελεστής n Manning (m^{-1/3} s)
111	Συνεχής αστικός ιστός	0.2000
112	Ασυνεχής αστικός ιστός	0.0150
121	Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	0.2000
142	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	0.0725
211	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	0.0350
212	Μόνιμα αρδευόμενη γη	0.0300
221	Αμπελώνες	0.1000
231	Λιβάδια	0.0330
242	Σύνθετες καλλιέργειες	0.0500
311	Δάσος πλατύφυλλων	0.1200
321	Φυσιικοί βοσκότοποι	0.0350
323	Σκληροφυλλική βλάστηση	0.0850
324	Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	0.0850
511	Υδατορεύματα	0.0270

Σύμφωνα με τις τιμές του συντελεστή Manning, που θεσπίστηκαν παραπάνω για την κάθε χρήση γης, προκύπτουν τα Σχήματα 5.27, 5.28.



Σχήμα 5.27: Χάρτης με τιμές συντελεστή Manning στη Δ.Ε. Καρðίτσας



Σχήμα 5.28: Χάρτης με τιμές συντελεστή Manning στη Δ.Ε. Παλαμά

5.5.2 Υδραυλικό Μοντέλο LISFLOOD-FP

Το LISFLOOD-FP είναι ένα ψευδο-διδιάστατο μοντέλο που έχει σχεδιαστεί ειδικά να προσομοιώνει την πλημμυρική κατάκλυση με ένα υπολογιστικά αποδοτικό τρόπο σε σύνθετη τοπογραφία. Έχει τη δυνατότητα προσομοίωσης δικτύων μεγέθους έως 10^6 κελιά για δυναμικά γεγονότα πλημμύρας και μπορεί να επωφεληθεί από νέες πηγές πληροφορίας εδάφους από τεχνικές τηλεσκόπησης όπως τα εναέρια υψομετρικά λείζερ και τα δορυφορικά συμβολομετρικά ραντάρ.

Το μοντέλο προβλέπει βάθη νερού σε κάθε κύτταρο σε κάθε χρονικό βήμα και ως εκ τούτου μπορεί να προσομοιώσει τη διάδοση των πλημμυρικών κυμάτων σε ποτάμια, παράκτιες και περιοχές σε εκβολές ποταμού.

Το μοντέλο LISFLOOD-FP, το οποίο εφαρμόζει τη μονοδιάστατη ανάλυση σε δύο διευθύνσεις, μία στην κύρια διεύθυνση της ροής και μία στην εγκάρσια διεύθυνση αυτής. Επιπλέον, η μονοδιάστατη ανάλυση εφαρμόζεται ξεχωριστά για το κανάλι και το πλημμυρικό πεδίο και συνδυάζονται μέσω μίας σχέσης συνέχειας.

Στο επίπεδο του καναλιού το LISFLOOD-FP επιλύει τις εξισώσεις συνέχειας και ποσότητας της κίνησης (ορμής) σε μονοδιάστατη ανάλυση ώστε να περιγράψει την κατάντη διάδοση ενός πλημμυρικού κύματος υπολογίζοντας την κλίση της ελεύθερης επιφάνειας του νερού.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (5.24)$$

$$S_0 - \frac{n^2 P^{4/3} Q^2}{A^{10/3}} = 0 \quad (5.25)$$

όπου, Q : η παροχή στο κανάλι

A : η βρεχόμενη επιφάνεια της διατομής

q : η ροή προς το κανάλι από άλλες πηγές, όπως από οι πλημμυρικές κοίτες ή τυχόν παράπλευρα κανάλια

S_0 : η κλίση του πυθμένα του καναλιού

n : ο συντελεστής τραχύτητας του Manning

P : η βρεχόμενη περίμετρος της διατομής. Γίνεται υπόθεση ότι το κανάλι είναι ευρύ και ρηχό ώστε το πλάτος του να προσεγγίζει τη βρεχόμενη περίμετρο.

Οι παραπάνω εξισώσεις με χρήση της μεθόδου πεπερασμένων διαφορών διαμορφώνονται σε ένα μη γραμμικό σύστημα το οποίο επιλύεται χρησιμοποιώντας την επαναληπτική μέθοδο Newton-Raphson.

Βάσει του πλημμυρογραφήματος που τίθεται ανάντη του υδατορεύματος καθορίζονται οι οριακές συνθήκες της ροής. Δεδομένα εισόδου του μοντέλου είναι το πλάτος του καναλιού, η κλίση του πυθμένα του, τα τοπογραφικά υψόμετρα του καναλιού και πλημμυρικού πεδίου και ο συντελεστής τραχύτητας Manning στο κανάλι και στο πλημμυρικό πεδίο, στοιχεία τα οποία μπορούν να μεταβάλλονται κατά μήκος του υδατορεύματος και πλημμυρικού πεδίου.

Κάθε κανάλι-υδατόρευμα υλοποιείται ως ένα διάνυσμα ανεξάρτητο από το ψηφιδωτό αρχείο της επιφάνειας το οποίο περιλαμβάνει τις πλημμυρικές περιοχές και αντιπροσωπεύει αποκλειστικά τη ροή του νερού στο κανάλι. Με αυτόν τον τρόπο κάθε φατνίο του ψηφιδωτού αρχείου που βρίσκεται πάνω στο κανάλι έχει δύο βάθη νερού. Εκείνο που προέρχεται από τη ροή του καναλιού και εκείνο που προέρχεται από τις πλημμυρικές περιοχές. Το κανάλι (διανυσματικό αρχείο) αλληλεπιδρά με τις πλημμυρικές περιοχές (φατνία ψηφιδωτού αρχείου που διέρχονται πάνω από το διανυσματικό) με αποτέλεσμα το νερό να ρέει από το κανάλι στο πλημμυρικό πεδίο και αντίστροφα, ροή η οποία υπολογίζεται μέσω της εξίσωσης του Manning. Αυτή η λειτουργία δίνει τη δυνατότητα αξιοποίησης δύο διαφορετικής ανάλυσης αρχείων, ενός πιο λεπτομερούς διανυσματικού αρχείου για το κανάλι και ενός πιο αδρομερούς ψηφιδωτού αρχείου για τις πλημμυρικές παροχές, κάτι το οποίο είναι χρήσιμο στην προσομοίωση πλημμυρικών επεισοδίων μεγάλων περιοχών που διατρέχονται από μικρού πλάτους υδατορεύματα (Οικονόμου, 2013).

Ένας βασικός περιορισμός στην εφαρμογή είναι ότι αν και κατά μήκος του καναλιού μπορεί να αλλάζει η κλίση του πυθμένα του, είναι απαραίτητο να διατηρείται συνεχώς αρνητική.

Η ροή στα πλημμυρικά πεδία –πλευρική ροή- περιγράφεται από την εξίσωση του Manning ή την εξίσωση υπερχειλίσης. Οι πλημμυρικές περιοχές υλοποιούνται μέσω ενός ψηφιδωτού αρχείου, όπου οι ροή περιγράφεται από φατνίο σε φατνίο μέσω της

διαφοράς του ύψους της ελεύθερης επιφάνειας σε κάθε ένα από αυτά. Υπολογίζεται ουσιαστικά η χωροχρονική μετατόπιση ενός πλημμυρικού κύματος σε δύο διαστάσεις. Οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται είναι οι ακόλουθες:

$$\frac{\partial h^{i,j}}{\partial t} = \frac{Q_x^{i-1,j} - Q_x^{i,j} + Q_y^{i,j-1} - Q_y^{i,j}}{\Delta x \Delta y} \quad (5.26)$$

$$Q_x^{i,j} = \frac{h_{flow}^{5/3}}{n} \left(\frac{h^{i-1,j} - h^{i,j}}{\Delta x} \right)^{1/2} \Delta y \quad (5.27)$$

όπου, $h_{i,j}$: το ύψος της ελεύθερης επιφάνειας του νερού στο φατνίο i, j

$\Delta x, \Delta y$: οι διαστάσεις του φατνίου

n : ο συντελεστής τραχύτητας για τις πλημμυρικές περιοχές

Q_x, Q_y : οι παροχές μεταξύ των φατνίων στις δύο διευθύνσεις (η Q_y προκύπτει κατ' αντιστοιχία με την τελευταία εξίσωση).

h_{flow} : το ικανό βάθος ώστε να υπάρχει ροή από το ένα φατνίο στο άλλο, το οποίο ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της υψηλότερης στάθμης ελεύθερης επιφάνειας των δύο φατνίων και του υψηλότερου υψομέτρου από το επίπεδο αναφοράς των δύο φατνίων.

Με την ίδια μεθοδολογία οι παραπάνω εξισώσεις χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της ροής μεταξύ πλημμυρικών πεδίων και καναλιού. Σε συνδυασμό με την αρχική εξίσωση του καναλιού επιτυγχάνεται η σύνδεση των πλημμυρικών πεδίων με το κανάλι. Πρόκειται για μια απλουστευμένη προσέγγιση στη σύνδεση πλημμυρικών πεδίων και καναλιού, η οποία βασίζεται αποκλειστικά στη σχετική μεταβολή της ελεύθερης επιφάνειας του νερού (μεταβολή μάζας), χωρίς να λαμβάνονται υπόψη μεταβολές ορμής μεταξύ καναλιού και πλημμυρικών πεδίων.

Το μοντέλο επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει χρονικό βήμα υπολογισμών ενώ, για την αποφυγή αστοχιών, υπολογίζεται και μια μέγιστη επιτρεπτή παροχή μεταξύ των φατνίων ως συνάρτηση του βάθους ροής, του μεγέθους του φατνίου, και του χρονικού βήματος υπολογισμών:

$$Q_x^{i,j} = \min \left(Q_x^{i,j}, \frac{\Delta x \Delta y (h^{i,j} - h^{i-1,j})}{4\Delta t} \right) \quad (5.28)$$

Θέτοντας το παραπάνω περιορισμό εξασφαλίζεται ότι η παροχή δεν θα υπερβεί κάποιο όριο το οποίο θα οδηγήσει σε αντιστροφή της ροής προς ή από το φατνίο στο επόμενο χρονικό βήμα. Σε πιθανή τέτοια περίπτωση αντικαθίσταται η παροχή που υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση του Manning από μια νέα τιμή η οποία προκύπτει λαμβάνοντας υπόψη τις παραμέτρους του μοντέλου -όπως το μέγεθος του φατνίου και το χρονικό βήμα υπολογισμών- και η οποία δεν παρουσιάζει ευαισθησία στο συντελεστή τραχύτητας του Manning. Η εξεύρεση βέλτιστου χρονικού βήματος, τέτοιου ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη υπολογιστική αποδοτικότητα και ταυτόχρονα η μέγιστη σταθερότητα των υπολογισμών άρει την ανάγκη χρήσης του παραπάνω περιορισμού.

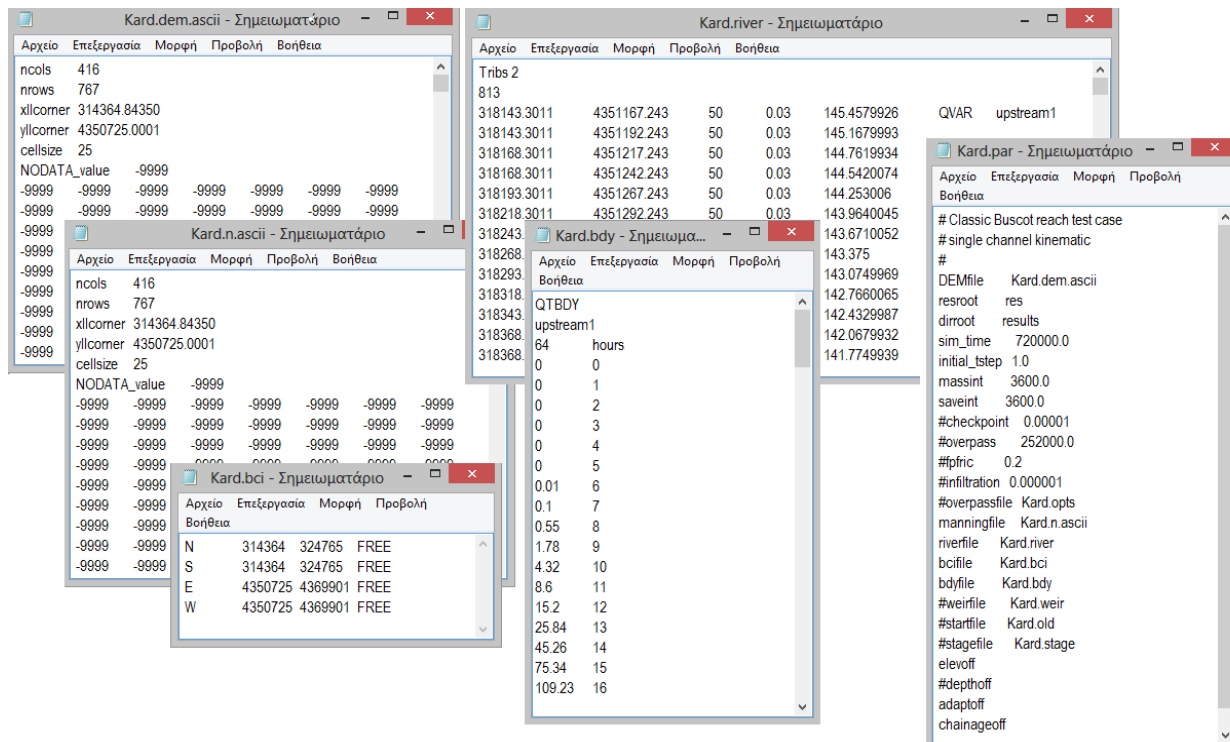
Τα δεδομένα εισόδου του μοντέλου αποτελούν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υδατορεύματος και των πλημμυρικών εκτάσεων, τα υδρολογικά δεδομένα και οι οριακές συνθήκες της ροής.

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των πλημμυρικών πεδίων εισάγονται μέσω ενός αρχείου μορφής `ascii`, το οποίο καταγράφει τα υψόμετρα της έκτασης σε μορφή κανάβου με επέκταση `.dem.ascii`. Οι τιμές των υψομέτρων εξάγονται από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους μέσω του λογισμικού ArcMap, διατηρώντας την ανάλυση του. Σε ένα όμοιο αρχείο μορφής `ascii` καταγράφονται οι τιμές του συντελεστή τραχύτητας Manning με επέκταση `.n.ascii`.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του υδατορεύματος εκφράζονται με τις συντεταγμένες (x, y) , το πλάτος του στη συγκεκριμένη θέση, το συντελεστή τραχύτητας Manning και το υψόμετρο του πυθμένα. Οι συντεταγμένες και το υψόμετρο του πυθμένα προέκυψαν από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους. Όπως αναφέρθηκε, τα υψόμετρα υπέστησαν κάποια επεξεργασία, καθώς το μοντέλο δέχεται στην προς τα κατάντη ροή του ποταμού μόνο αρνητικές κλίσεις. Το πλάτος του καναλιού προέκυψε από τις εικόνες της Κτηματολόγιο ΑΕ, επιλέγοντας μία αντιπροσωπευτική τιμή και κάνοντας την παραδοχή ότι είναι σταθερό σε όλο το μήκος του και ίσο με 50m και τιμή του συντελεστή Manning ίση με 0,03. Τα χαρακτηριστικά του καναλιού καταγράφονται σε ένα αρχείο με επέκταση `.river`.

Η μεταβαλλόμενη ροή περιγράφεται στο αρχείο με επέκταση `.bdy`, στο οποίο εισάγονται τα πλημμυρογραφήματα και ο επιλεγμένος τύπος των οριακών συνθηκών σε κάποια θέση του πλημμυρικού πεδίου καταγράφεται σε αρχείο της μορφής `.bc1`.

Το σύνολο των δεδομένων οργανώνονται σε ένα αρχείο επέκτασης .par το οποίο αποτελεί το αρχείο δεδομένων που εισάγεται στο μοντέλο για την υδραυλική προσομοίωση.



Σχήμα 5.29: Δεδομένα εισόδου υδραυλικού μοντέλου LISFLOOD - FP

5.6 Χάρτες Πλημμύρας

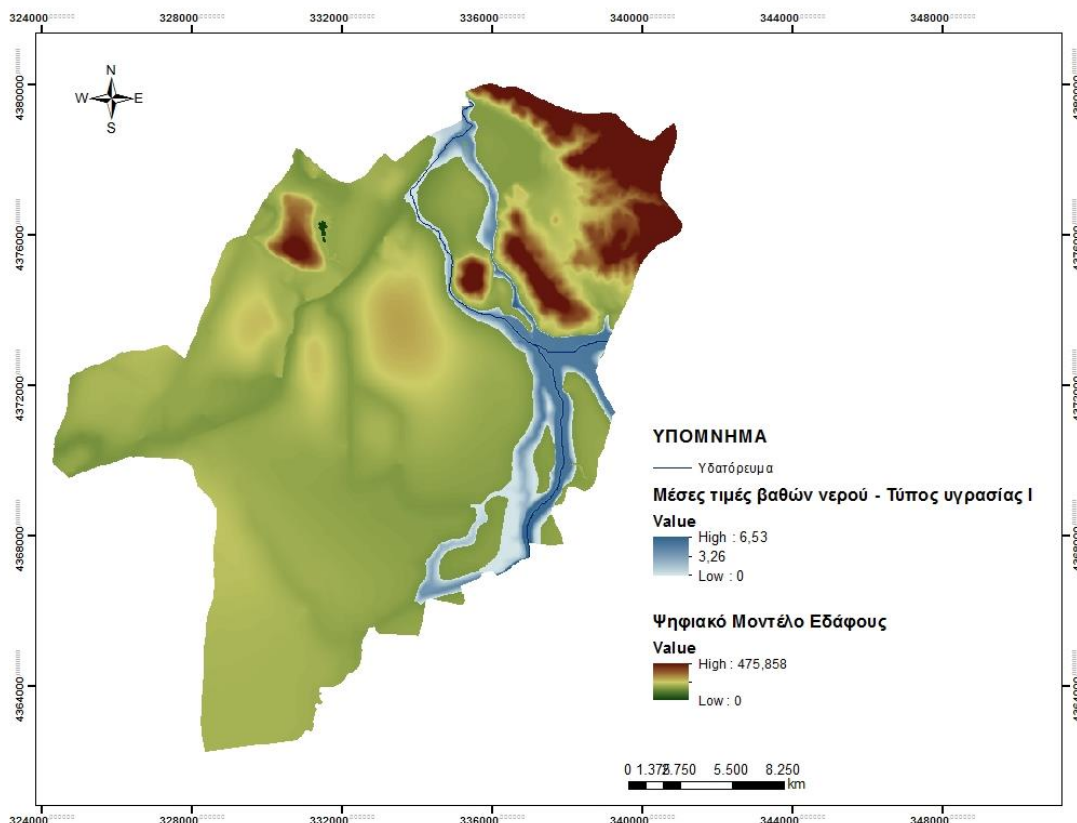
Η προσομοίωση που πραγματοποιήθηκε είχε διάρκεια 200 ωρών, εξάγοντας αποτελέσματα ανά μία ώρα. Τα αποτελέσματα, που προέκυψαν από την εκτέλεση του προγράμματος LISFLOOD-FP, εκφράζουν βάθη νερού και είναι αρχεία με επέκταση .wd.

Για τη δημιουργία των χαρτών μέσων βαθών νερού απαιτήθηκε επεξεργασία των αποτελεσμάτων στο ArcMap, τα βήματα της οποίας περιγράφονται παρακάτω:

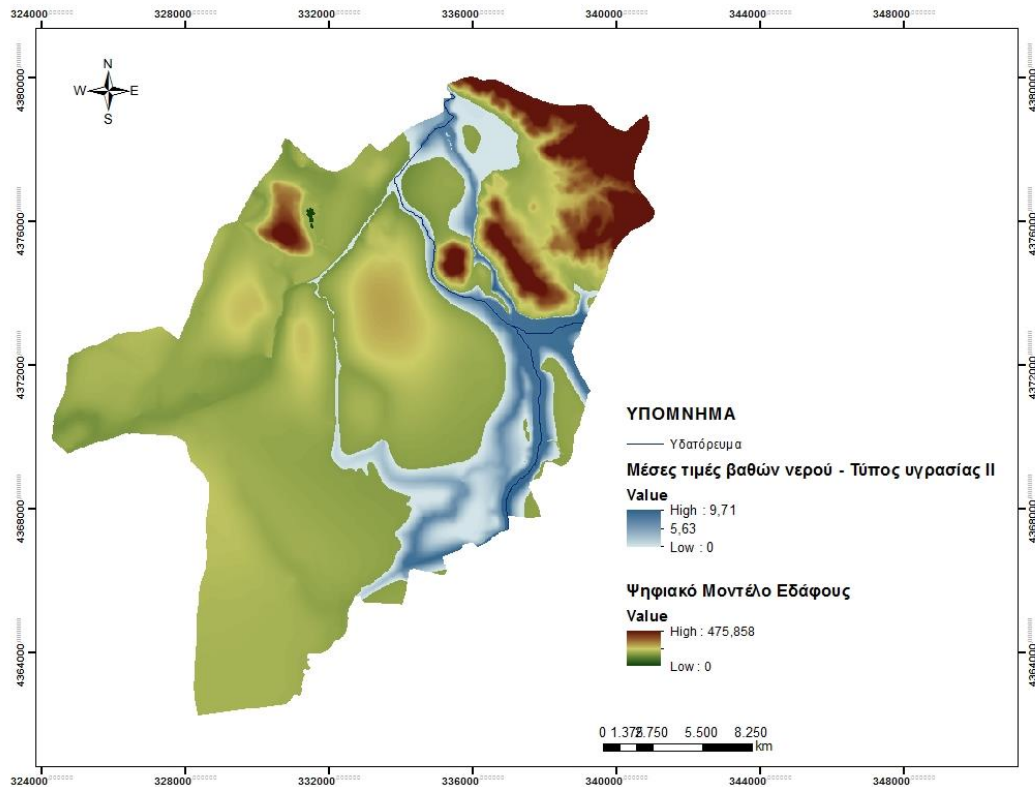
1. Μετατροπή των αποτελεσμάτων, που εξήχθησαν από την προσομοίωση, από αρχεία τύπου .wd σε αρχεία τύπου .txt (ascii) (200 αρχεία).
2. Μετατροπή των αρχείων ascii σε Raster, με τη βοήθεια εργαλείων στο ArcMap : Arc toolbox >> Conversion Tools >> From ASCII to Raster.

3. Δημιουργία ενός Raster με τα μέσα βάθη πλημμύρας από τα 200 Raster, που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα, με τη βοήθεια των εργαλείων στο ArcMap: Arctoolbox >> Spatial Analyst Tools >> Local >> Cell Statistics, εισάγοντας ως input τα 200 raster και overlay statistics: medium, ώστε να προκύψει raster με τις μέσες τιμές βάθους νερού, που εμφανίστηκαν σε κάθε grid.

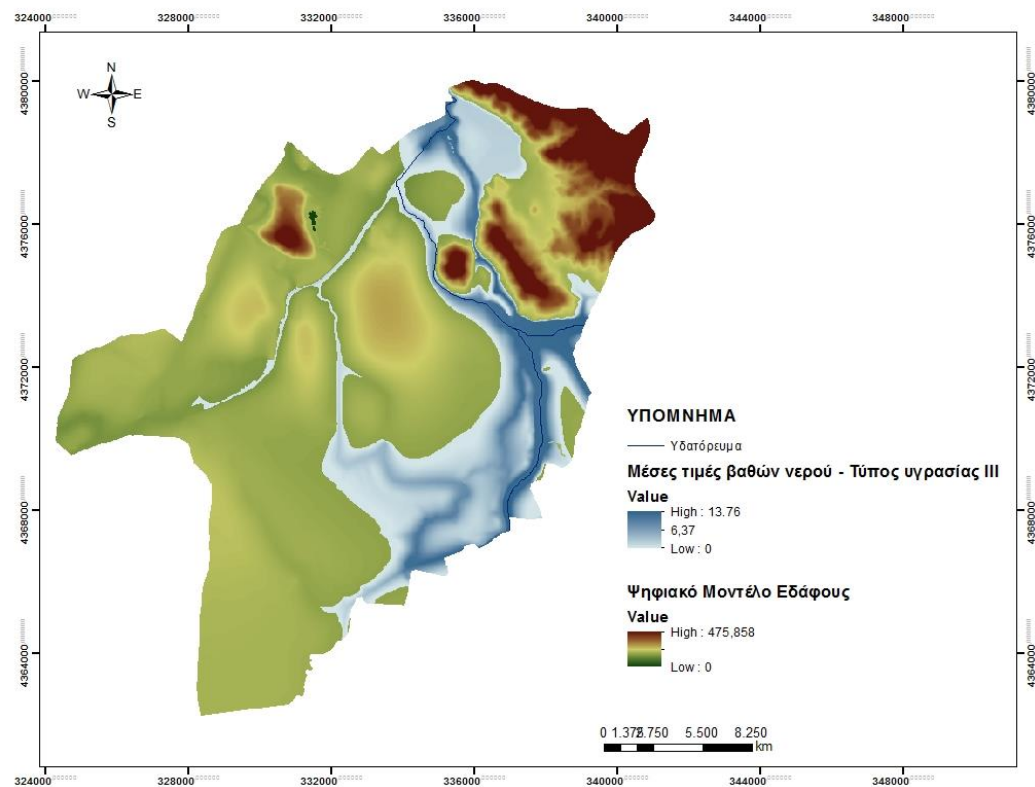
Μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων μέσω του ArcMap, όπως περιγράφηκε παραπάνω, προέκυψαν οι ακόλουθοι χάρτες, οι οποίοι παρουσιάζουν τις μέσες τιμές βαθών νερού στις Δημοτικές Ενότητες Καρδίτσας και Παλαμά για τους τρεις τύπους συνθηκών υγρασίας.



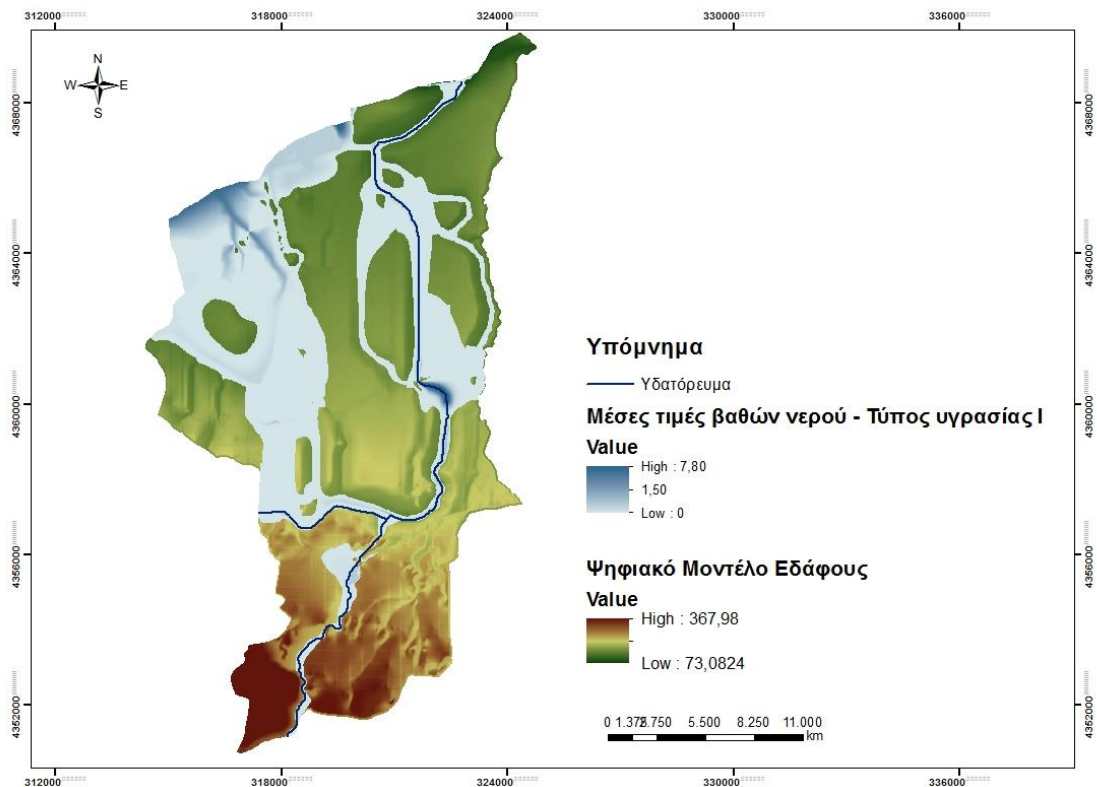
Σχήμα 5.30: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 1 στη Δ.Ε. Παλαμά



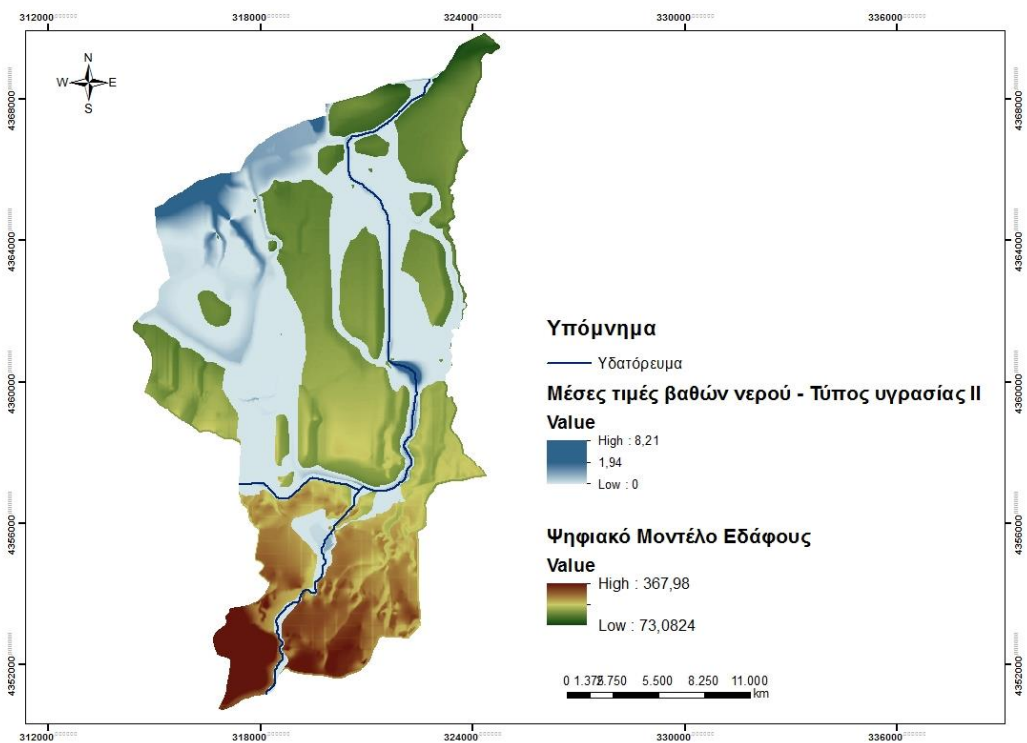
Σχήμα 5.31: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 2 στη Δ.Ε. Παλαμά



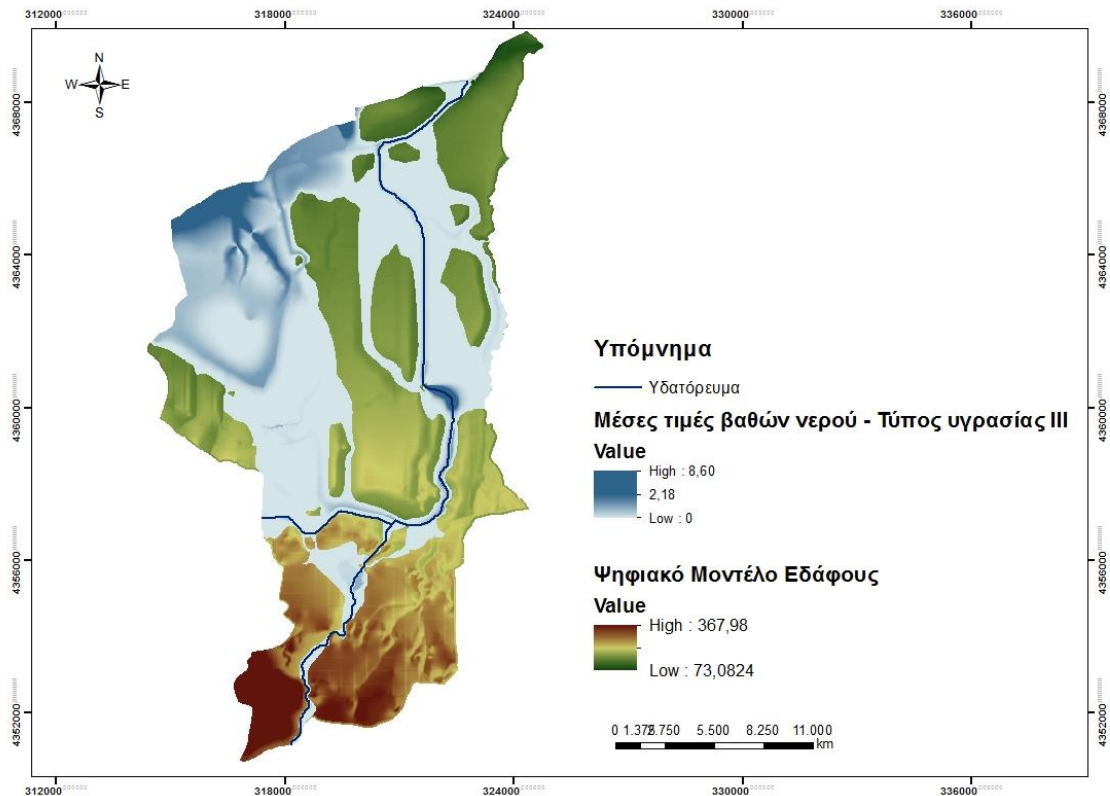
Σχήμα 5.32: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 3 στη Δ.Ε. Παλαμά



Σχήμα 5.33: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 1 στη Δ.Ε. Καρδίτσας



Σχήμα 5.34: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 2 στη Δ.Ε. Καρδίτσας



Σχήμα 5.35: Χάρτης μέσων βαθών νερού – Σενάριο 3 στη Δ.Ε. Καρδίτσας

Παρατηρούμε στα Σχήματα 5.30 - 5.35, ότι όσο αυξάνεται ο τύπος υγρασίας τόσο αυξάνονται τα βάθη νερού, που εμφανίζονται. Το γεγονός αυτό συνδέεται άμεσα με τα πλημμυρογραφήματα εισόδου, στα οποία παρατηρήσαμε ότι η παροχή αιχμής αυξανόταν με την αύξηση του αριθμού καμπύλης απωλειών.

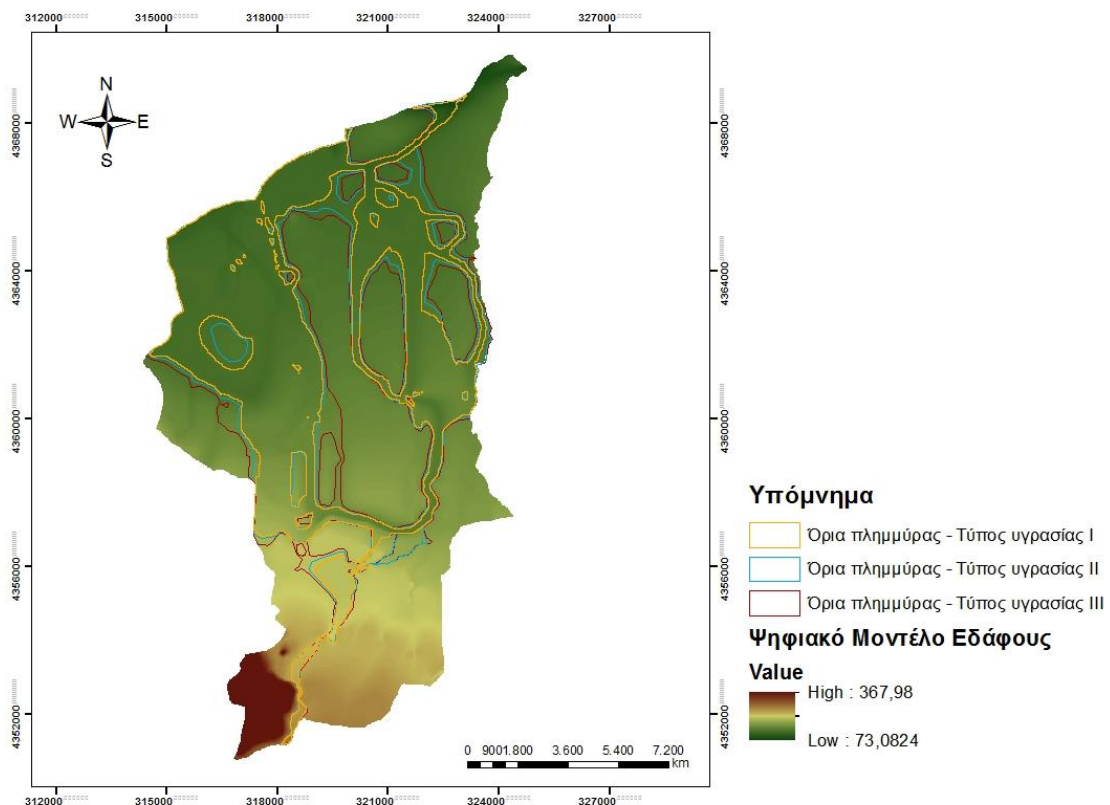
Επιπλέον, οι υψηλότερες τιμές των μέσων βαθών σημειώνονται στην κοίτη του ποταμού και σε κάποιες κοιλάδες, που εμφανίζονται στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Αξίζει να σημειωθεί ότι κάποιες μεγάλες τιμές, που εμφανίζονται σε ελάχιστα σημεία, οφείλονται σε αριθμητικές αστάθειες του μοντέλου προσομοίωσης.

Για τη δημιουργία των πλημμυρικών χαρτών απαιτήθηκε επεξεργασία των αποτελεσμάτων στο ArcMap, τα βήματα της οποίας περιγράφονται παρακάτω:

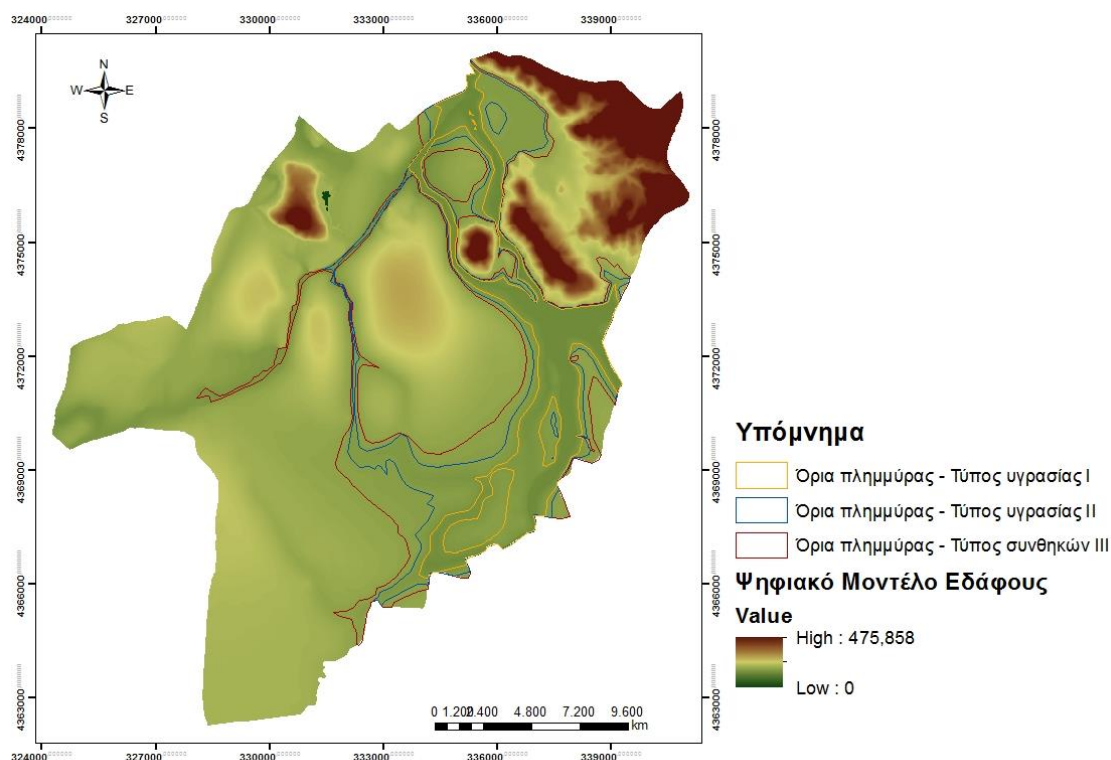
1. Μετατροπή των αποτελεσμάτων, που εξήχθησαν από την προσομοίωση, από αρχεία τύπου .wd σε αρχεία τύπου .txt (ascii) (200 αρχεία).
2. Μετατροπή των αρχείων ascii σε Raster, με τη βοήθεια εργαλείων στο ArcMap : Arctoolbox >> Conversion Tools >> From ASCII to Raster.

3. Δημιουργία ενός Raster με τα μέγιστα βάθη πλημμύρας από τα 200 Raster, που υπολογίστηκαν στο προηγούμενο βήμα, με τη βοήθεια των εργαλείων στο ArcMap: Arctoolbox >> Spatial Analyst Tools >> Local >> Cell Statistics, εισάγοντας ως input τα 200 raster και overlay statistics: maximum, ώστε να προκύψει raster με τις μέγιστες τιμές βάθους νερού, που εμφανίστηκαν σε κάθε grid.
4. Δημιουργία Raster, το οποίο περιέχει μόνο τιμές μεγαλύτερες του μηδενός, με τη βοήθεια των εργαλείων στο ArcMap: Arctoolbox >> Spatial Analyst Tools >> Map Algebra >> Raster Calculator. Με τον τρόπο αυτό, προκύπτει η έκταση, που κατακλύζεται από την πλημμύρα

Μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων μέσω του ArcMap, όπως περιγράφηκε παραπάνω, προέκυψαν οι ακόλουθοι χάρτες, οι οποίοι παρουσιάζουν τα όρια πλημμύρας στις Δημοτικές Ενότητες Καρδίτσας και Παλαμά για τους τρεις τύπους συνθηκών υγρασίας.



Σχήμα 5.36: Όρια πλημμυρικού πεδίου για τα τρία σενάρια στη Δ.Ε. Καρδίτσας



Σχήμα 5.37: Όρια πλημμυρικού πεδίου για τα τρία σενάρια στη Δ.Ε. Παλαμά

Στους Πίνακες 5.23, 5.24, αναφέρονται οι τιμές των εκτάσεων, που κατακλύζονται στις δύο περιοχές μελέτης και για τους τρεις τύπους συνθηκών υγρασίας.

Πίνακας 5.23: Εκτάσεις κατάκλυσης για τα τρία σενάρια στη Δ.Ε. Καρδίτσας

Τύπος συνθηκών υγρασίας	Έκταση κατάκλυσης (km ²)
I	38.24
II	45.03
III	51.50

Πίνακας 5.24: Εκτάσεις κατάκλυσης για τα τρία σενάρια στη Δ.Ε. Παλαμά

Τύπος συνθηκών υγρασίας	Έκταση κατάκλυσης (km ²)
I	13.75
II	26.66
III	37.47

Παρατηρούμε, ότι όσο αυξάνεται ο αριθμός καμπύλης απορροής, τόσο αυξάνεται η κατακλυζόμενη έκταση. Το γεγονός αυτό συνδέεται με τα πλημμυρογραφήματα εισόδου, καθώς όσο αυξάνεται ο τύπος προηγούμενων συνθηκών υγρασίας τόσο αυξάνεται η παροχή αιχμής.

Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι κατακλυζόμενες εκτάσεις είναι σαφώς μεγαλύτερες στην δημοτική ενότητα Καρδίτσας, μολονότι οι παροχές εισόδου είναι σημαντικά χαμηλότερες από αυτές της δημοτικής ενότητας Παλαμά. Το γεγονός αυτό δικαιολογείται από το ήπιο ανάγλυφο της δημοτικής ενότητας Καρδίτσας, το οποίο δεν περιλαμβάνει μεγάλες κοιλότητες ή σημαντικούς ορεινούς όγκους. Σε αντίθεση με το ανάγλυφο της δημοτικής ενότητας Παλαμά, στο οποίο παρατηρούνται κάποιοι ορεινοί όγκοι, οι οποίοι δεν επιτρέπουν την εξάπλωση της πλημμύρας, αλλά ευνοούν τη δημιουργία σημαντικών βαθών νερού στην κοίτη του ποταμού και στη γύρω περιοχή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6. Πλημμυρική Επικινδυνότητα στη Δημοτική Ενότητα Καρδίτσας

6.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο, γίνεται η εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας της Δημοτικής Ενότητας Καρδίτσας. Η επικινδυνότητα ορίζεται ως ο συνδυασμός του δυνητικού κινδύνου πλημμύρας και της τρωτότητας και μπορεί να εκφραστεί από την ακόλουθη σχέση. (Kumpulainen, S. 2006)

$$\text{Επικινδυνότητα} = \text{Δυνητικός Κίνδυνος} \times \text{Τρωτότητα} \quad (6.1)$$

Όπου

Δυνητικός Κίνδυνος, η πιθανότητα να συμβεί ένα επικίνδυνο φυσικό φαινόμενο, όπως η πλημμύρα.

Τρωτότητα, η πιθανή αρνητική συνέπεια, λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως η έκθεση και η ευπάθεια.

Πιο συγκεκριμένα, η εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας έχει στόχο την ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση εκείνων των παραγόντων της τρωτότητας, οι οποίοι θίγονται σε ένα δυνητικό σενάριο πλημμύρας. Οι παράγοντες είναι, όπως εξετάστηκαν στο Κεφ.4, κοινωνικοί (πυκνότητα πληθυσμού, νοσοκομεία), οικονομικοί (οικισμοί, υποδομές, καλλιεργήσιμες περιοχές) και οικολογικοί (πηγές ρύπανσης, προστατευόμενες περιοχές).

Η κοινωνική διάσταση της επικινδυνότητας εκφράζει την διακινδύνευση των ανθρώπων, που μπορεί να θιγούν από μία δυνητική πλημμύρα. Ειδικότερα, οι αδύναμες και φτωχές ομάδες πληθυσμού θεωρούνται ευάλωτες, καθώς αυτές δεν έχουν πάντα την δυνατότητα επιλογής του τόπου κατοικίας και συνεπώς μπορεί να κατοικούν σε επικίνδυνες περιοχές, όπως σε μία λασπώδη πλαγιά ή κοντά σε ένα ποτάμι. (Blaikie et al,1994)

Η οικονομική διάσταση της επικινδυνότητας εκφράζει τη δυνητική οικονομική ζημία, η οποία περιλαμβάνει οτιδήποτε μπορεί να υποστεί φθορές από μία πιθανή πλημμύρα και κατά συνέπεια να επηρεαστεί η οικονομία μιας περιοχής, όπως οικισμοί, συγκοινωνιακό δίκτυο, καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Οι βιομηχανικά αναπτυγμένες κοινωνίες και τα μεγάλα αστικά κέντρα είναι ιδιαίτερα ευάλωτα, καθώς η καταστροφή σημαντικών και εκτενών δικτύων επικοινωνιών και υποδομών έχει μεγάλο κόστος και μπορεί να προκαλέσει τεράστιες εποπτώσεις στην οικονομική σταθερότητα, ακόμη και σε παγκόσμια κλίμακα. (Comfort et al, 1999)

Η οικολογική διάσταση της επικινδυνότητας εκφράζει το κίνδυνο, στον οποίο μπορεί να εκτεθούν τα οικοσυστήματα καθώς και εγκαταστάσεις, που πιθανόν να προκαλέσουν ρύπανση εάν υποστούν ζημιές από μία πιθανή πλημμύρα.

6.2 Εκτίμηση πλημμυρικής επικινδυνότητας

Για την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας στην περιοχή της Καρδίτσας εξετάστηκε ποιοι παράγοντες επηρεάζονται από τα πιθανά σενάρια πλημμύρας και πόσο μεταβάλλονται στις τρεις περιπτώσεις, που έχουμε εξετάσει. Η σύνθεση των χαρτών επικινδυνότητας υλοποιείται με τον συνδυασμό της πλημμυρικής κατάκλυσης, όπως αυτή προέκυψε παραπάνω, και των χρήσεων γης, υποδομών και πληθυσμού της περιοχής μελέτης. Θεωρήθηκαν τρία σενάρια, όπως ορίζονται παρακάτω.

Πίνακας 6.1: Σενάρια πλημμυρικής κατάκλυσης

Σενάριο 1	Τύπος συνθηκών υγρασίας I
Σενάριο 2	Τύπος συνθηκών υγρασίας II
Σενάριο 3	Τύπος συνθηκών υγρασίας III

Η διαδικασία αυτή ολοκληρώνεται με τη βοήθεια των εργαλείων του ArcMap και πιο συγκεκριμένα του εργαλείου Clip, με το οποίο υπολογίζονται οι κοινωνικοί, οικονομικοί και οικολογικοί παράγοντες, που κατακλύζει το πλημμυρικό πεδίο.

Στους Πίνακες 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, αναφέρονται οι παράγοντες, που επηρεάζονται από τα τρία σενάρια πλημμύρας.

Πίνακας 6.2: Πλημμυρική επικινδυνότητα με βάση τους κοινωνικούς παράγοντες

	Κοινωνικοί παράγοντες		
	Πλήθος ανθρώπων	Πολιτιστική κληρονομιά	Νοσοκομεία
Σενάριο 1	141	0	0
Σενάριο 2	177	0	0
Σενάριο 3	324	0	0

Πίνακας 6.3: Πλημμυρική επικινδυνότητα με βάση τους οικονομικούς παράγοντες (υποδομές)

	Οικονομικοί παράγοντες				
	Δομημένες περιοχές (km ²)	Βιομηχανικές μονάδες	Χώροι εξόρυξης	Κόμβοι σιδηρόδρομου	Κόμβοι δρόμου
Σενάριο 1	0.47	15	0	0	0
Σενάριο 2	0.59	15	0	0	2
Σενάριο 3	1.08	19	0	0	2

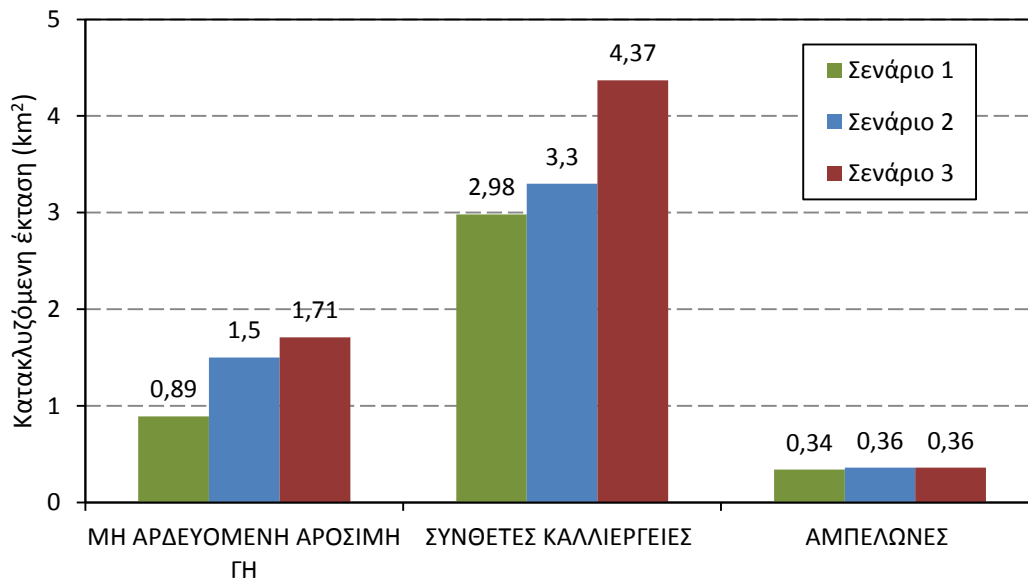
Πίνακας 6.4: Πλημμυρική επικινδυνότητα με βάση τους οικονομικούς παράγοντες (καλλιεργήσιμες εκτάσεις)

	Οικονομικοί παράγοντες			
	Μόνιμα αρδευόμενη γη (km ²)	Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη (km ²)	Σύνθετες καλλιέργειες (km ²)	Αμπελώνες (km ²)
Σενάριο 1	32.5	0.89	2.98	0.34
Σενάριο 2	38.15	1.5	3.3	0.36
Σενάριο 3	42.78	1.71	4.37	0.36

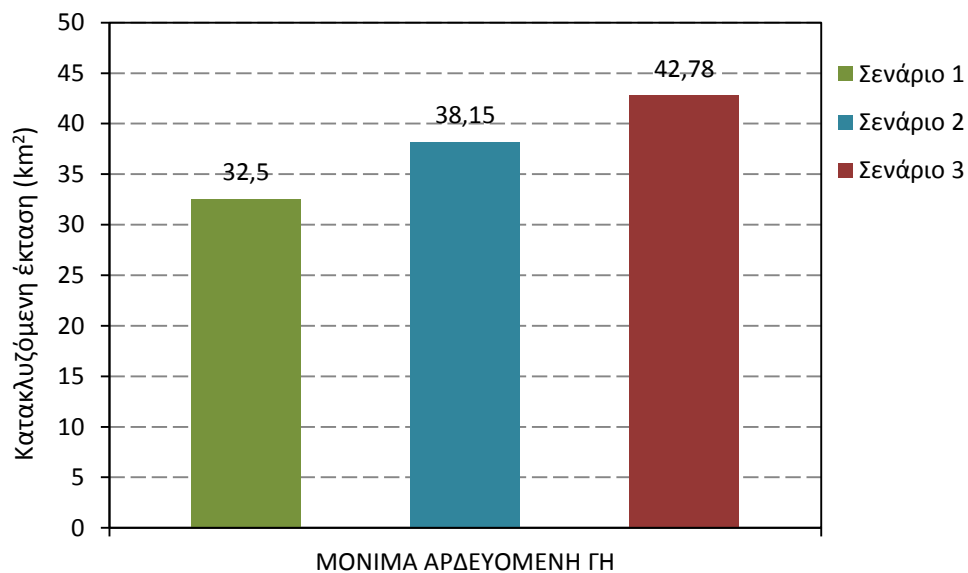
Πίνακας 6.5: Πλημμυρική επικινδυνότητα με βάση τους οικολογικούς παράγοντες

	Οικολογικοί παράγοντες			
	Εγκαταστάσεις Ι.Ε.Δ.	Εγκαταστάσεις Βιολογικών Καθαρισμών	ΧΥΤΑ	Προστατευόμενες περιοχές
Σενάριο 1	0	1	0	0
Σενάριο 2	0	1	0	0
Σενάριο 3	0	1	0	0

Στα Σχήματα 6.1 και 6.2, απεικονίζονται σχηματικά οι μεταβολές στις εκτάσεις, που κατακλύζονται και καλύπτονται από καλλιέργειες διαφόρων τύπων.



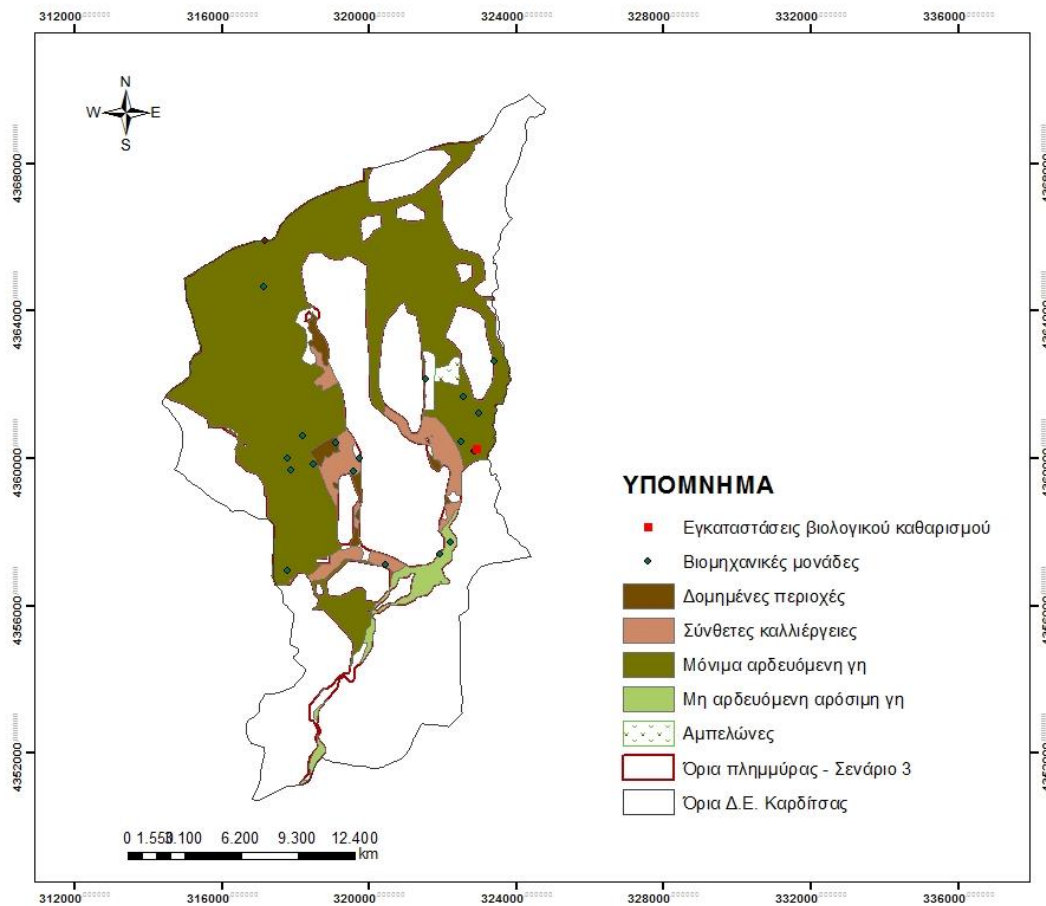
Σχήμα 6.1: Μεταβολή των κατακλυζόμενων εκτάσεων (km²) διαφόρων τύπων χρήσεων γης στα τρία σενάρια



Σχήμα 6.2: Μεταβολή των κατακλυζόμενων εκτάσεων (km²) της μόνιμα αρδευόμενης γης στα τρία σενάρια

Το Σχήμα 6.3 αποτελεί το χάρτη κινδύνων πλημμύρας (πλημμυρικής επικινδυνότητας) για το τρίτο σενάριο, το οποίο κατακλύζει και τη μεγαλύτερη έκταση

από τα σενάρια, που εξετάστηκαν. Στο χάρτη απεικονίζονται οικονομικοί και οικολογικοί παράγοντες, που επηρεάζονται από το πλημμυρικό πεδίο.



Σχήμα 6.3: Χάρτης κινδύνων πλημμύρας (Σενάριο 3)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7. Συμπεράσματα - Προτάσεις

7.1 Συμπεράσματα

Το πρώτο στάδιο της παρούσας εργασίας αποτελεί η Προκαταρκτική αξιολόγηση κινδύνων πλημμύρας, το οποίο ουσιαστικά εκτιμά την τρωτότητα κάθε δημοτικής ενότητας με βάση κοινωνικούς, οικονομικούς, οικολογικούς παράγοντες και ιστορικές πλημμύρες, που έχουν καταγραφεί. Παρατηρείται, ότι κρίσιμο στάδιο της διαδικασίας είναι η επιλογή των κριτηρίων, ώστε αφενός αυτά να είναι πλήρη και να προκύπτει μια πολύπλευρη αντιμετώπιση του προβλήματος, αφετέρου ο αριθμός τους πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός, ώστε να μειωθεί η πολυπλοκότητα της διαδικασίας. Γι' αυτόν τον λόγο κατάλληλο μεθοδολογικό πλαίσιο κρίθηκε η πολυκριτηριακή ανάλυση (Multiple-criteria Analysis, MCA), η οποία ενσωματώνει όλους τους τύπους πιθανών συνεπειών χωρίς να τους αποτιμά σε οικονομικούς όρους.

Επιπλέον, η θέσπιση βαρών σε κάθε κριτήριο, που έχει εξεταστεί είναι μία βασική και ευαίσθητη διαδικασία, καθώς ορίζει το βαθμό στον οποίο το κάθε κριτήριο επηρεάζει τη συνολική αξιολόγηση. Μετά από δοκιμές με διάφορες τιμές βαρών αποδείχθηκε, ότι επηρεάζονται σημαντικά τα αποτελέσματα για την συνολική τρωτότητα των περιοχών μελέτης.

Τέλος, έγινε η εκτίμηση της τρωτότητας ανά διάσταση πλημμυρικού κινδύνου, δηλαδή κοινωνικής, οικονομικής, οικολογικής και με βάση τις ιστορικές πλημμύρες καθώς και της συνολικής τρωτότητας με τη χρήση βαρών και χωρίς. Παρατηρήθηκε αρχικά ότι οι περιοχές, που παρουσιάζουν πολύ υψηλή τρωτότητα σε κάποια κατηγορία παραγόντων δεν παρουσιάζουν απαραίτητα το ίδιο υψηλή συνολική τρωτότητα, η οποία προκύπτει ουσιαστικά ως το άθροισμα των τιμών ανά κατηγορία κριτηρίων. Επίσης, η εκτίμηση της τρωτότητας με χρήση βαρών δίνει διαφορετικά αποτελέσματα από την εκτίμηση χωρίς βάρη, γεγονός που επιβεβαιώνει τη σημασία της θέσπισης βαρών, καθώς δεν έχουν τον ίδιο αντίκτυπο όλοι οι παράγοντες σε ένα ενδεχόμενο γεγονός πλημμύρας.

Επόμενο στάδιο είναι η υδρολογική διερεύνηση των δημοτικών ενοτήτων Καρδίτσας και Παλαμά, οι οποίες επιλέχθηκαν από την Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων. Στόχος της διερεύνησης είναι ο υπολογισμός των πλημμυρογραφημάτων εισόδου σε αυτές τις περιοχές. Τα αποτελέσματα δείχνουν και στις δύο περιοχές μελέτης, ότι όσο αυξάνεται ο τύπος προηγούμενων συνθηκών υγρασίας και κατ' επέκταση αυξάνεται ο αριθμός καμπύλης απορροής, τόσο αυξάνεται η παροχή αιχμής των πλημμυρογραφημάτων εισόδου. Πιο συγκεκριμένα, για την Δ.Ε. Καρδίτσας ανάμεσα στο πρώτο και το τρίτο σενάριο, η παροχή αιχμής σχεδόν τριπλασιάζεται ενώ στη Δ.Ε. Παλαμά σχεδόν πενταπλασιάζεται (Πίνακας 5.20, 5.21). Αντίστοιχες μεταβολές προκύπτουν και στα ενεργά τμηματικά ύψη, όπου για την Δ.Ε. Καρδίτσας ανάμεσα στο πρώτο και το τρίτο σενάριο, σχεδόν τριπλασιάζονται ενώ στη Δ.Ε. Παλαμά σχεδόν εξαπλασιάζονται. Τα αποτελέσματα είναι αναμενόμενα, καθώς ο κάθε τύπος περιγράφει κάποιες συνθήκες υγρασίας του εδάφους στη λεκάνη, οι οποίες έχουν ήδη οριστεί. Αυτές οι συνθήκες προσδιορίζουν εμμέσως το πόσο κορεσμένο είναι το έδαφος στην περιοχή, γεγονός που επηρεάζει άμεσα την απορροή. Πιο συγκεκριμένα, όσο πιο κορεσμένο είναι το έδαφος, τόσο μεγαλύτερη απορροή προκύπτει και αντιστρόφως όσο πιο ακόρεστο είναι, τόσο μικρότερη απορροή.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η υδραυλική προσομοίωση των περιοχών μελέτης και προέκυψαν, ύστερα από κατάλληλη επεξεργασία, τα μέσα βάθη νερού και τα όρια του πλημμυρικού πεδίου.

Όσον αφορά τα μέσα βάθη νερού παρατηρήθηκε αύξηση των τιμών από το πρώτο στο τρίτο σενάριο και στις δύο περιοχές μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, στη Δ.Ε. Καρδίτσας το μέγιστο μέσο βάθος στο πρώτο σενάριο ήταν ίσο με 7.80 m και στο τρίτο ήταν ίσο με 8.60 m (Σχήμα 5.33, 5.35). Αντίστοιχα, στη Δ.Ε. Παλαμά το μέγιστο μέσο βάθος στο πρώτο σενάριο ήταν ίσο με 6.53 m και στο τρίτο ήταν ίσο με 13.76 m (Σχήμα 5.30, 5.32). Αξίζει να σημειωθεί ότι κάποιες μεγάλες τιμές, που εμφανίζονται σε λίγα σημεία, οφείλονται σε αριθμητικές αστάθειες του μοντέλου προσομοίωσης.

Όσον αφορά τις κατακλυζόμενες περιοχές, παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση των εκτάσεων σε συνάρτηση με την αυξανόμενη μέγιστη πλημμυρική παροχή. Ειδικότερα, στη Δ.Ε. Καρδίτσας, συγκρίνοντας τα σενάρια 1 και 3, η πλημμυρική έκταση αυξάνεται κατά 35%, όταν η παροχή αιχμής σχεδόν τριπλασιάζεται.

Αντίστοιχα, στη Δ.Ε. Παλαμά η πλημμυρική έκταση αυξάνεται κατά 173%, όταν η παροχή αιχμής σχεδόν πενταπλασιάζεται (Πίνακας 5.23, 5.24).

Αξίζει να σημειωθεί, ότι μολονότι στη Δ.Ε. Καρδίτσας έχουμε αρκετά χαμηλότερη παροχή αιχμής από τη Δ.Ε. Παλαμά, η κατακλυζόμενη έκταση είναι σαφώς μεγαλύτερη. Για παράδειγμα, στο σενάριο 2 το πλημμυρικό πεδίο στη Δ.Ε. Καρδίτσας έχει έκταση ίση με 45.03 km², ενώ στη Δ.Ε. Παλαμά ίση με 26.6 km². Το αποτέλεσμα αυτό δικαιολογείται από το πιο έντονο ανάγλυφο της περιοχής του Παλαμά, το οποίο δεν επιτρέπει τη μεγάλη εξάπλωση της πλημμύρας. Αντιθέτως, στην περιοχή της Καρδίτσας το ήπιο ανάγλυφο, ειδικά στην περιοχή όπου διέρχεται ο ποταμός, ευνοεί την κατάκλυση μεγάλης έκτασης ακόμη και σε σχετικά χαμηλές πλημμυρικές παροχές. Σε αυτό το σημείο πρέπει να επισημανθεί, ότι ουσιαστικό ρόλο στον υπολογισμό των κατακλυζόμενων εκτάσεων έχει το μοντέλο υδραυλικής προσομοίωσης, που επιλέχθηκε. Σύμφωνα με πηγές, το LISFLOOD - FP παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στη μεταβολή της εισερχόμενης παροχής, καθώς έχει αποδειχθεί ότι με μικρότερες παροχές εκτιμά μεγαλύτερες εκτάσεις κατάκλυσης (Οικονόμου, 2013).

Σε αυτό το σημείο, αξίζει να σημειωθεί ότι σημαντικός παράγοντας, που μπορεί να προσθέτει, ως ένα βαθμό, αβεβαιότητα στα αποτελέσματα των υπολογισμών, είναι τα δεδομένα, που προήλθαν από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους και τις Χρήσεις Γης. Ειδικότερα, το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους σε μεγάλο μήκος του ρου του ποταμού εμφάνιζε σημεία με μηδενική ή θετική υψομετρική διαφορά, γεγονός το οποίο δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα και γι' αυτόν τον λόγο έγινε επεξεργασία των δεδομένων με βάση παραδοχές, οι οποίες περιγράφηκαν στην παράγραφο 5.5. Επιπροσθέτως, η ακρίβεια του καννάβου του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (25 m) αποτελεί έναν ακόμη παράγοντα, που εισάγει αβεβαιότητα στα αποτελέσματα των προσομοιώσεων. Τέλος, δε μπορεί να αμεληθεί η επίδραση της ανακρίβειας δεδομένων των χρήσεων γης, καθώς η ακρίβεια του Corine Land Cover δεν είναι επαρκής για την αποτύπωση των πραγματικών συνθηκών. Η ακρίβεια του στοιχείου του καννάβου του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους (25 m) θα έπρεπε να συνδυαστεί με αντίστοιχη ακρίβεια δεδομένων χρήσεων γης, καθώς το Corine έχει γίνει σε επίπεδο ανάλυσης 100 m, για να δώσει ρεαλιστικά αποτελέσματα. Συνεπώς, οι χάρτες πλημμύρας και πλημμυρικής επικινδυνότητας κρίθηκαν στο επίπεδο ανάλυσης του Corine Land Cover 2000.

Όσον αφορά την εκτίμηση της πλημμυρικής επικινδυνότητας, παρατηρήθηκε ότι από μία πιθανή πλημμύρα θα μπορούσαν να υποστούν ζημιές λίγες κατοικημένες περιοχές. Αντιθέτως, οι γεωργικές εκτάσεις θα υποστούν σοβαρές καταστροφές και σε μεγαλύτερο βαθμό επηρεάζονται οι μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις, οι οποίες καταλαμβάνουν και το υψηλότερο ποσοστό της Δ.Ε. Καρδίτσας και οι σύνθετες καλλιέργειες. Επίσης, αρκετές βιομηχανικές μονάδες βρίσκονται εντός της κατακλυζόμενης περιοχής. Τέλος, ιδιαίτερη μέριμνα χρειάζεται μία εγκατάσταση βιολογικού καθαρισμού, η οποία βρίσκεται εντός του πλημμυρικού πεδίου χωρίς βέβαια να σημειώνονται υψηλά βάθη νερού στην περιοχή.

Προβλήματα αντιμετωπίστηκαν και στην ερμηνεία της Οδηγία 2007/60/EK, για την σωστή εφαρμογή της. Ειδικότερα, στο θέμα του υπολογισμού του κινδύνου και της επικινδυνότητας, δεν είναι ξεκάθαρος ο ρόλος που παίζει κάθε παράγοντας στη διαμόρφωση τους.

Τέλος, αξίζει να αναφερθεί, ότι η επεξεργασία των αποτελεσμάτων της υδραυλικής προσομοίωσης, που πραγματοποιήθηκε με το μοντέλο LISFLOOD – FP με στόχο την κατάρτιση των χαρτών πλημμύρας και την εξαγωγή των ορίων του πλημμυρικού πεδίου, αποτέλεσε μία χρονοβόρα διαδικασία. Η επεξεργασία έγινε σε περιβάλλον ArcMap, και η πολυπλοκότητα οφείλεται στη μορφή των αρχείων, που εξάγει το μοντέλο (.wd) και η ανάγκη μετατροπής του μεγάλου αυτού όγκου αρχείων, σε κατάλληλη μορφή, ώστε να προβληθούν σε σύστημα GIS.

7.2 Προτάσεις

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκαν τρία σενάρια πλημμύρας με βάση τη μεταβολή του τύπου συνθηκών εδάφους της λεκάνης απορροής και για περίοδο επαναφοράς $T=100$, για την κατάρτιση των πλημμυρικών χαρτών. Προτείνεται, λοιπόν, η διερεύνηση σεναρίων για περιόδους επαναφοράς $T=50$ και $T=500$ με στόχο την κατάρτιση πλημμυρικών χαρτών. Επιπλέον, ενδιαφέρον θα είχε η υδραυλική προσομοίωση να πραγματοποιηθεί και με άλλες τιμές του συντελεστή τραχύτητας Manning, ώστε να εκτιμηθεί η επίδρασή του, στις εκτάσεις των πλημμυρικών πεδίων.

Τέλος, μια αναμενόμενη και χρήσιμη μετεξέλιξη της διπλωματικής εργασίας θα ήταν η καταγραφή των ζημιών σε μεγαλύτερο επίπεδο ακρίβειας και κατ' επέκταση η

εκτίμηση του αναμενόμενου κόστους ζημιών. Η εκπόνηση χαρτών πλημμυρικής επικινδυνότητας και χαρτών κινδύνου αποτελούν, σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60/ΕΕ το δεύτερο στάδιο για την αξιολόγηση και της διαχείριση της πλημμύρας. Επομένως, άλλη μία πρόταση είναι η εκπόνηση ενός σχεδίου διαχείρισης της πλημμύρας για την πρόληψη και την ελαχιστοποίηση των πιθανών ζημιών.

Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Γκιοκάς, Α., 2009. *Κατάρτιση μεθοδολογικού πλαισίου για την εκπόνηση χαρτών πλημμύρας*, Μεταπτυχιακή εργασία, ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Αθήνα.
- Ε.Κ., 2000. Οδηγία 2000/60 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23^{ης} Οκτωβρίου 2000 για τη θέσπιση πλαισίου κοινοτικής δράσης στον τομέα της πολιτικής των υδάτων. 22.12.2000. Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων. L 327, 1 – 72
- Ε.Κ., 2007. Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007 για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης της 6.11.2007: L 288: 27 - 34.
- Ε.Ο.Κ.Ε. (Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή), 2005. Γνωμοδότηση με θέμα: “Ανακοίνωση της Επιτροπής προς το Συμβούλιο, το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών: «Διαχείριση του κινδύνου πλημμύρων – Πλημμύρες: Πρόληψη, προστασία και μετριασμός των επιπτώσεων τους»”. COM(2004) τελικό. NAT/263. «Διαχείριση του κινδύνου πλημμύρων». Βρυξέλλες 9.02.2005.
- ΕΣΥΕ, 2001. Πραγματικός πληθυσμός, επιφάνεια και πυκνότητα του πληθυσμού, με διάκριση σε αστικές και αγροτικές περιοχές καθώς, και σε πεδινές, ημιορεινές και ορεινές περιοχές της Ελλάδος κατά νομούς, δήμους, δημοτικά διαμερίσματα και οικισμούς. Απογραφή πληθυσμού της 18ης Μαρτίου 2001. Αθήνα
- Κουγιουμτζίδου, Κ., 2011. *Εφαρμογή της Οδηγίας 2007/60/ΕΚ, για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, στο Υδατικό Διαμέρισμα της Θεσσαλίας*, Μεταπτυχιακή εργασία, ΔΠΜΣ «Οικολογική ποιότητα και διαχείριση υδάτων σε επίπεδο λεκάνης απορροής», Θεσσαλονίκη.
- Κουτσογιάννης, Δ., Ι. Μαρκόνης, Α. Κουκουβίνος, και Ν. Μαμάσης, 2010, Υδρολογική μελέτη πλημμυρών Αράχθου, Οριστική Οριοθέτηση Τμήματος Κοίτης Ποταμού

- Αράχθου που Διέρχεται στα Όρια του Δήμου Αρταίων, Εργοδότης: Δήμος Αρταίων, Ανάδοχοι: ΑΔΚ - Αρώνης – Δρέπτας – Καρλαύτης Σύμβουλοι Μηχανικοί ΑΕ, ΥΔΡΟΤΕΚ - Υδραυλικές Μελέτες ΑΕ, Β. Μούζος, 272 σελίδες.
- Κουτσογιάννης, Δ. και Ξανθόπουλος, Θ., 1999. Τεχνική Υδρολογία , Έκδοση 3, 297 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ., Σ. Ρώτη, Ι. Τζεράνης, και Θ. Ξανθόπουλος, 1988 β. Όμβριες καμπύλες, Υδρολογική διερεύνηση υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας, Τεύχος 3, 501 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Κουτσογιάννης, Δ., Σ. Ρώτη, Ι. Τζεράνης, και Θ. Ξανθόπουλος, 1988. Πλημμύρες σχεδιασμού, Υδρολογική διερεύνηση υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας, Τεύχος 4, 107 σελίδες, Τομέας Υδατικών Πόρων, Υδραυλικών και Θαλάσσιων Έργων – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Λέκκας, Ε., 2009, *Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές - Εκπαιδευτικό υλικό κατάρτισης στελεχών τοπικής αυτοδιοίκησης*, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- Μαμάσης, Ν., Πλημμύρες – Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών, Σημειώσεις μαθήματος Υδρομετεωρολογίας, 2009. Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μαμάσης, Ν., Πλημμύρες, Σημειώσεις μαθήματος Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα, 2013. Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Μιμίκου, Μ., και Μπαλτάς, Ε., 2003. Τεχνική Υδρολογία, Έκδοση 3, 297 σελίδες, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.
- Μπέλλος, Δ., 2004. *Συγκέντρωση θρεπτικών στοιχείων-βαρέων μετάλλων και ραδιοκαισίου στο νερό-ίζημα και υδρόβια φυτά του ποταμού Πηνειού*, Διδακτορική διατριβή, Σχολή Θετικών Επιστημών, Τμήμα Βιολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Οικονόμου, Α., 2013. *Διερεύνηση λειτουργίας λογισμικών υδραυλικής προσομοίωσης στην εξέλιξη πλημμυρικής κατάκλισης. Εφαρμογή στην πεδιάδα της Θεσσαλίας*,

- Μεταπτυχιακή εργασία, ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Αθήνα.
- Παγανά, Β., 2012. *Κατάρτιση Χαρτών Πλημμύρας στην Περιοχή της Ραφήνας*, Διπλωματική εργασία, ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδάτινων Πόρων», Αθήνα.
- Σχέδιο διαχείρισης Λεκανών Απορροής του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας*, 2006. ΥΠΕΚΑ.
- Τσακίρης Π., 2009. *Εκτίμηση οικονομικών ζημιών από πλημμύρες. Μελέτη περίπτωσης: Διευθέτηση ρέματος Ραφήνας*, Εθνικό Μετσόβιο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
- Υποστήριξη της κατάρτισης Εθνικού Προγράμματος Διαχείρισης και Προστασίας των Υδατικών Πόρων*, 2008. Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Blaikie, P. M., 1994. *At Risk: natural hazards, people's vulnerability, and disasters*. London: Routledge
- Chow, V. T., D. R. Maidment, and L. W. Mays, 1988. *Applied Hydrology*, 572 pages, McGraw-Hill
- Cœur, D., & Lang, M., 2008. *Use of documentary sources on past flood events for flood risk management and land planning*. *Comptes Rendus Geoscience*, 340(9), 644-650
- Keeney, Ralph L., and Howard Raiffa. 1993. *Decisions with multiple objectives*.
- Koutsoyiannis, D., & Xanthopoulos, T., 1989. *On the parametric approach to unit hydrograph identification*, *Water resources management*, 3(2), 107-128.
- Koutsoyiannis, D., N. Mamassis, A. Efstratiadis, N. Zarkadoulas, and Y. Markonis, 2012. *Floods in Greece, Changes of Flood Risk in Europe*, edited by Z. W. Kundzewicz, Chapter 12, 238–256, IAHS Press, Wallingford – International Association of Hydrological Sciences.
- Malczewski, J., 2006. *Integrating multicriteria analysis and geographic information systems: the ordered weighted averaging (OWA) approach*. *International journal of environmental technology and management*, 6(1), 7-19.

- Meyer, V., Haase, D., & Scheuer, S., 2007. *GIS-based multicriteria analysis as decision support in flood risk management* (No.6/2007).UFZ-Diskussionspapiere.
- Mimikou, M., Koutsoyiannis, D.,1995. *Extreme Floods in Greece: The case of 1994. Proc. Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts and management of Extreme Floods, US-NSF and Italian Research Council, Perugia, Italy.*
- RPA, 2004. *Evaluating a multi-criteria analysis methodology for application to flood management and coastal defence appraisals*. R&D Technical Report. DEFRA.
- Scheuer, S., Haase, D., & Meyer, V., 2011. *Exploring multicriteria flood vulnerability by integrating economic, social and ecological dimensions of flood risk and coping capacity: from a starting point view towards an end point view of vulnerability. Natural hazards.*
- Schmidt-Thomé, P. (Ed.), 2006. *Natural and technological hazards and risks affecting the spatial development of European regions (Vol. 42)*. Geological Survey of Finland.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Καταγραφή οικονομικών και κοινωνικών παραγόντων ανά Δημοτική Ενότητα

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ (κατ/κμ ²)	Οικισμοί	Νοσοκομεία	Βιομηχ. Μονάδες	Χώροι εξόρυξης	Κόμβος δρόμου	Κόμβος σιδ/δρομου	Πολιτιστική κληρονομιά	ΜΟΝ. ΑΡΔΕΥΟ ΜΕΝΗ (κμ ²)	ΜΗ ΑΡΔΕΥΟ ΜΕΝΗ (κμ ²)	ΣΥΝΘΕΤΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡ ΓΕΙΕΣ (κμ ²)	ΑΜΠΕΛΩ ΝΕΣ (κμ ²)
Δ. ΠΑΛΙΟΚΑΣΤΡΟΥ	17,40	7	0	0	0	0	0	0	21,59	13,75	0,00	0,64
Δ. ΕΣΤΙΑΙΩΤΙΔΑΣ	75,27	4	0	7	0	0	0	0	28,50	0,00	0,00	0,00
Δ. ΤΡΙΚΚΑΙΩΝ	742,65	8	1	27	0	2	2	0	26,28	27,29	1,23	0,00
Δ. ΠΑΜΙΣΟΥ	86,46	6	0	0	0	2	2	0	42,69	0,00	2,03	0,87
Δ. ΣΕΛΛΑΝΩΝ	56,60	8	0	1	0	0	0	0	76,46	0,00	0,00	0,00
Δ. ΠΑΛΑΜΑ	65,12	9	0	10	1	0	0	0	110,89	4,41	2,13	0,00
Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	340,15	7	1	40	1	1	1	0	71,62	15,96	8,17	0,57
Δ. ΚΑΜΠΟΥ	60,20	7	0	3	0	0	0	0	80,80	0,53	2,57	0,00
Δ. ΓΟΜΦΩΝ	88,05	6	0	4	0	0	0	0	46,45	1,16	1,54	0,00
Δ. ΠΕΛΛΙΝΑΙΩΝ	47,11	5	0	0	0	0	0	0	39,33	0,44	0,00	0,00
Δ. ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΥΒΙΩΝ	70,47	3	0	3	0	2	0	0	34,70	0,00	0,00	1,36
Δ. ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	56,96	19	0	5	0	0	0	0	14,21	20,16	5,36	0,00
Δ. ΦΑΛΩΡΕΙΑΣ	53,67	9	1	3	0	0	0	0	38,65	6,16	0,00	0,00
Δ. ΠΙΑΛΕΙΩΝ	71,42	9	0	7	0	0	0	0	19,22	4,61	0,00	0,00
Δ. ΟΙΧΑΛΙΑΣ	67,54	5	0	5	1	2	0	0	33,37	0,62	1,50	0,00
Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	50,55	14	0	9	0	3	2	0	224,22	0,49	1,84	0,00
Δ. ΦΥΛΛΟΥ	29,21	10	0	3	0	0	0	0	0,08	0,03	0,00	0,00
Δ. ΑΡΝΗΣ	37,01	4	0	0	0	0	0	0	81,12	1,39	0,29	0,00
Δ. ΦΑΡΚΑΔΩΝΑΣ	32,32	8	0	6	0	2	0	0	57,78	19,97	0,00	0,00
Δ. ΠΥΛΗΣ	44,60	10	0	0	0	0	0	0	0,24	7,67	2,12	0,00

Δ. ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ	59,05	4	0	9	1	0	0	0	16,49	9,18	4,01	0,00
Δ. ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	42,85	15	0	6	0	2	0	1	6,63	24,50	7,26	0,00
Δ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	21,02	6	0	0	0	0	0	0	18,42	25,97	5,15	0,00
Δ. ΕΝΝΙΠΕΑ	28,23	12	0	4	0	0	2	0	126,20	15,65	0,00	0,00
Δ. ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	82,33	7	0	1	0	0	0	0	19,75	11,86	2,40	1,31
Δ. ΜΕΝΕΛΑΙΔΑΣ	15,79	7	0	0	0	0	0	0	19,51	5,33	2,35	0,00
Δ. ΠΑΡΑΛΗΘΑΙΩΝ	37,56	7	0	3	0	0	0	0	16,81	19,52	2,45	1,24
Δ. ΧΑΣΙΩΝ	12,81	15	0	1	0	3	0	0	0,00	48,73	6,38	0,00
Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	10,76	10	0	0	0	0	0	0	0,13	101,89	1,18	0,00
Δ. ΠΛΑΣΤΗΡΑ	40,36	6	0	0	0	0	0	0	0,14	2,44	5,46	0,00
Δ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	22,25	2	0	0	0	0	0	0	0,00	8,40	0,00	0,00
Δ. ΔΕΣΚΑΤΗΣ	18,76	2	0	0	0	0	0	0	0,00	43,22	1,02	0,65
Δ. ΡΕΝΤΙΝΗΣ	13,32	1	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	1,01	0,00
Δ. ΜΑΚΡΑΚΩΜΗΣ	26,28	2	0	0	0	0	0	0	0,00	0,18	0,73	0,00
Δ. ΞΥΝΙΑΔΟΣ	21,23	9	0	2	0	0	2	0	48,50	49,66	0,57	0,00
Δ. ΔΟΜΟΚΟΥ	16,46	17	1	1	0	0	0	0	10,07	184,97	1,37	0,00
Δ. ΘΕΣΣΑΛΙΩΤΙΔΟΣ	30,26	10	0	0	0	0	0	0	80,90	10,56	1,50	0,00
Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	88,97	5	0	2	2	2	0	0	33,07	27,45	0,39	0,00
Δ. ΤΑΜΑΣΙΟΥ	25,11	8	0	3	0	0	0	0	84,56	19,77	0,59	0,00
Δ. ΙΤΑΜΟΥ	19,89	6	0	1	0	0	0	0	0,00	19,43	1,13	0,00
Δ. ΜΑΛΑΚΑΣΙΟΥ	13,28	6	0	1	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Δ. ΙΘΩΜΗΣ	38,45	9	0	0	0	0	0	0	20,84	14,65	1,77	0,00
Δ. ΑΙΘΗΚΩΝ	9,76	6	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Δ.ΚΑΛΛΙΔΕΝΔΡΟΥ	111,05	9	0	0	0	0	0	0	17,80	0,04	0,00	0,00
Δ. ΚΟΖΙΑΚΑ	49,00	8	0	1	0	0	0	0	7,59	4,64	0,00	0,00
Δ. ΚΛΕΙΝΟΒΟΥ	12,77	7	0	2	0	0	0	0	0,00	0,65	4,47	0,00
Δ. ΤΥΜΦΑΙΩΝ	8,03	9	0	0	0	0	0	0	0,00	16,89	0,00	0,00
Δ. ΠΥΝΔΑΙΩΝ	12,84	1	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Δ. ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	10,82	6	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	1,87	0,00

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Καταγραφή οικολογικών παραγόντων και στοιχείων σχετικών με τις ιστορικές πλημμύρες ανά Δημοτική Ενότητα

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Εγκαταστάσεις I.E.D	ΧΥΤΑ	Βιολογικοί καθαρισμοί	Προστατευόμενη Περιοχή πτηνών	Προστατευόμενη Περιοχή οικοτόπων	Πλήθος ιστορικών γεγονότων	Έκταση πλημμύρας (km ²)	Έκταση πλημμύρας (%)	Ύψος αποζημιώσεων/κατοικο	Αριθμός θανάτων
Δ. ΠΑΛΙΟΚΑΣΤΡΟΥ	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Δ. ΕΣΤΙΑΙΩΤΙΔΑΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δ. ΤΡΙΚΚΑΙΩΝ	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Δ. ΠΑΜΙΣΟΥ	0	0	0	0	0	1	1,42	2,65	13,23	0
Δ. ΣΕΛΛΑΝΩΝ	0	0	0	0	0	3	16,257	18,22	20,56	0
Δ. ΠΑΛΑΜΑ	1	0	0	0	0	6	32,782	21,24	11,57	0
Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	0	0	1	0	0	4	10,006	9,01	6,92	0
Δ. ΚΑΜΠΟΥ	0	0	0	0	0	5	9,051	9,96	239,31	0
Δ. ΓΟΜΦΩΝ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δ. ΠΕΛΛΙΝΑΙΩΝ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δ. ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΥΒΙΩΝ	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Δ. ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δ. ΦΑΛΩΡΕΙΑΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δ. ΠΙΑΛΕΙΩΝ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δ. ΟΙΧΑΛΙΑΣ	1	0	0	0	0	1	0,63	0,73	1,92	0
Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	1	0	0	0	0	4	2,585	1,07	96,31	0
Δ. ΦΥΛΛΟΥ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δ. ΑΡΝΗΣ	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Δ. ΦΑΡΚΑΔΩΝΑΣ	0	0	0	0	0	7	32,331	14,73	21,97	0
Δ. ΠΥΛΗΣ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Δ. ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Δ. ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	0	0	1	1	1	1	0	0,00	4,22	0
Δ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0
Δ. ΕΝΝΙΠΕΑ	0	0	0	0	0	3	4,463	2,78	49,17	0

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: Ποιοτική αξιολόγηση της απόδοσης κάθε κριτηρίου ανά δημοτική ενότητα (κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες)

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ (κατ / km ²)	Οικισμοί	Νοσοκομεία	Βιομηχ. Μονάδες	Χώροι εξόρυξης	Κόμβος δρόμου	Κόμβος σιδ/δρομου	Πολιτιστική κληρονομιά	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΟΝ. ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗΣ (%)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗΣ (%)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ (%)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΜΠΕΛΩΝΩΝ (%)
Δ. ΠΑΛΙΟΚΑΣΤΡΟΥ	L	M	L	L	L	L	L	L	M	M	L	L
Δ. ΕΣΤΙΑΙΩΤΙΔΑΣ	VH	L	L	VH	L	L	L	L	VH	L	L	L
Δ. ΤΡΙΚΚΑΙΩΝ	VH	H	VH	VH	L	H	H	L	H	VH	H	L
Δ. ΠΑΜΙΣΟΥ	VH	M	L	L	L	H	H	L	VH	L	VH	L
Δ. ΣΕΛΛΑΝΩΝ	H	H	L	M	L	L	L	L	VH	L	L	M
Δ. ΠΑΛΑΜΑ	VH	VH	L	VH	H	L	L	L	VH	M	H	L
Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	VH	M	VH	VH	H	M	M	L	VH	H	VH	L
Δ. ΚΑΜΠΟΥ	H	M	L	H	L	L	L	L	VH	M	VH	L
Δ. ΓΟΜΦΩΝ	VH	M	L	VH	L	L	L	L	VH	M	VH	L
Δ. ΠΕΛΛΙΝΑΙΩΝ	H	L	L	L	L	L	L	L	H	M	L	L
Δ. ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΥΒΙΩΝ	VH	L	L	H	L	H	L	L	VH	L	L	VH
Δ. ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	H	VH	L	VH	L	L	L	L	M	H	VH	L
Δ. ΦΑΛΩΡΕΙΑΣ	H	VH	VH	H	L	L	L	L	H	H	L	L
Δ. ΠΙΑΛΕΙΩΝ	VH	VH	L	VH	L	L	L	L	H	H	L	L
Δ. ΟΙΧΑΛΙΑΣ	VH	L	L	VH	H	H	L	L	H	M	H	L
Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	H	VH	L	VH	L	VH	H	L	VH	M	H	L
Δ. ΦΥΛΛΟΥ	M	VH	L	H	L	L	L	L	M	L	L	L
Δ. ΑΡΝΗΣ	M	L	L	L	L	L	L	L	VH	M	M	L
Δ. ΦΑΡΚΑΔΩΝΑΣ	M	H	L	VH	L	H	L	L	H	H	L	M
Δ. ΠΥΛΗΣ	H	VH	L	L	L	L	L	L	M	H	H	L
Δ. ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ	H	L	L	VH	H	L	L	L	H	VH	VH	L
Δ. ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	H	VH	L	VH	L	H	L	VH	M	H	VH	L
Δ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	M	M	L	L	L	L	L	L	M	VH	VH	L

ΠΙΝΑΚΑΣ 4: Ποιοτική αξιολόγηση της απόδοσης κάθε κριτηρίου ανά δημοτική ενότητα (οικολογικοί παράγοντες και ιστορικές πλημμύρες)

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Εγκαταστάσεις Ι.Ε.Δ	ΧΥΤΑ	Βιολογικοί καθαρισμοί	Προστατευόμενη Περιοχή πτηνών	Προστατευόμενη Περιοχή οικοτόπων	Πλήθος ιστορικών γεγονότων	Έκταση πλημμύρας (%)	Ύψος αποζημιώσεων/κατοικο
Δ. ΠΑΛΙΟΚΑΣΤΡΟΥ	L	VH	L	M	M	L		
Δ. ΕΣΤΙΑΙΩΤΙΔΑΣ	L	L	L	M	L	L		
Δ. ΤΡΙΚΚΑΙΩΝ	VH	L	VH	L	M	L		
Δ. ΠΑΜΙΣΟΥ	L	L	L	L	L	L	M	M
Δ. ΣΕΛΛΑΝΩΝ	L	L	L	L	L	H	VH	M
Δ. ΠΑΛΑΜΑ	M	L	L	M	L	VH	VH	M
Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	L	L	VH	L	L	H	H	H
Δ. ΚΑΜΠΟΥ	L	L	L	L	L	VH	H	VH
Δ. ΓΟΜΦΩΝ	L	L	L	L	L	L		
Δ. ΠΕΛΛΙΝΑΙΩΝ	L	L	L	M	L	L		
Δ. ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΥΒΙΩΝ	L	L	L	L	L	L		
Δ. ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	L	L	L	L	M	L		
Δ. ΦΑΛΩΡΕΙΑΣ	L	L	L	M	H	L		
Δ. ΠΙΑΛΕΙΩΝ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΟΙΧΑΛΙΑΣ	M	L	L	M	L	L	L	L
Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	M	L	L	L	L	H	L	VH
Δ. ΦΥΛΛΟΥ	L	L	L	M	H	M		
Δ. ΑΡΝΗΣ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΦΑΡΚΑΔΩΝΑΣ	L	L	L	H	M	VH	VH	M
Δ. ΠΥΛΗΣ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	L	L	VH	H	H	L		L

Δ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	L	L	L	L	L	L		
Δ. ΕΝΝΙΠΕΑ	L	L	L	H	L	H	M	H
Δ. ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	L	L	L	L	L	L	L	
Δ. ΜΕΝΕΛΑΙΔΑΣ	L	L	L	L	L	L	L	M
Δ. ΠΑΡΑΛΗΘΑΙΩΝ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΧΑΣΙΩΝ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	L	L	L	VH	L	L		
Δ. ΠΛΑΣΤΗΡΑ	L	L	L	L	L	L		
Δ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΔΕΣΚΑΤΗΣ	L	L	VH	M	L	L		
Δ. ΡΕΝΤΙΝΗΣ	L	L	L	L	L	L		
Δ. ΜΑΚΡΑΚΩΜΗΣ	L	L	L	L	L	L		
Δ. ΞΥΝΙΑΔΟΣ	L	L	L	L	L	VH	M	H
Δ. ΔΟΜΟΚΟΥ	L	L	L	M	L	L		
Δ. ΘΕΣΣΑΛΙΩΤΙΔΟΣ	L	L	L	L	L	M	M	M
Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	L	L	VH	M	L	L		
Δ. ΤΑΜΑΣΙΟΥ	L	L	L	L	L	H	H	M
Δ. ΙΤΑΜΟΥ	M	L	L	L	L	L		
Δ. ΜΑΛΑΚΑΣΙΟΥ	L	L	L	L	M	L		
Δ. ΙΘΩΜΗΣ	L	L	L	L	L	L		
Δ. ΑΙΘΗΚΩΝ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΚΑΛΛΙΔΕΝΔΡΟΥ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΚΟΖΙΑΚΑ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΚΛΕΙΝΟΒΟΥ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΤΥΜΦΑΙΩΝ	L	L	L	M	M	L		
Δ. ΠΥΝΔΑΙΩΝ	L	L	L	L	M	L		
Δ. ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	L	L	L	L	M	L		

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: Ποσοτικοποίηση απόδοσης κάθε κριτηρίου μέσω δεικτών ανά δημοτική ενότητα (κοινωνικοί και οικονομικοί παράγοντες)

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ	Πολιτιστική κληρονομιά	Οικισμοί	Νοσοκομεία	Βιομηχ. Μονάδες	Χώροι εξόρυξης	Κόμβος δρόμου	Κόμβος σιδ/δρομου	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΟΝ.ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗΣ (%)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΗΣ (%)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ (%)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΜΠΕΛΩΝΩΝ (%)
Δ. ΠΑΛΙΟΚΑΣΤΡΟΥ	5	5	25	5	5	5	5	5	25	25	5	5
Δ. ΕΣΤΙΑΙΩΤΙΔΑΣ	75	5	5	5	75	5	5	5	75	5	5	5
Δ. ΤΡΙΚΚΑΙΩΝ	75	5	50	75	75	5	50	50	50	75	50	5
Δ. ΠΑΜΙΣΟΥ	75	5	25	5	5	5	50	50	75	5	75	5
Δ. ΣΕΛΛΑΝΩΝ	50	5	50	5	25	5	5	5	75	5	5	25
Δ. ΠΑΛΑΜΑ	75	5	75	5	75	50	5	5	75	25	50	5
Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	75	5	25	75	75	50	25	25	75	50	75	5
Δ. ΚΑΜΠΟΥ	50	5	25	5	50	5	5	5	75	25	75	5
Δ. ΓΟΜΦΩΝ	75	5	25	5	75	5	5	5	75	25	75	5
Δ. ΠΕΛΛΙΝΑΙΩΝ	50	5	5	5	5	5	5	5	50	25	5	5
Δ. ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΥΒΙΩΝ	75	5	5	5	50	5	50	5	75	5	5	75
Δ. ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	50	5	75	5	75	5	5	5	25	50	75	5
Δ. ΦΑΛΩΡΕΙΑΣ	50	5	75	75	50	5	5	5	50	50	5	5
Δ. ΠΙΑΛΕΙΩΝ	75	5	75	5	75	5	5	5	50	50	5	5
Δ. ΟΙΧΑΛΙΑΣ	75	5	5	5	75	50	50	5	50	25	50	5
Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	50	5	75	5	75	5	75	50	75	25	50	5
Δ. ΦΥΛΛΟΥ	25	5	75	5	50	5	5	5	25	5	5	5
Δ. ΑΡΝΗΣ	25	5	5	5	5	5	5	5	75	25	25	5
Δ. ΦΑΡΚΑΔΩΝΑΣ	25	5	50	5	75	5	50	5	50	50	5	25
Δ. ΠΥΛΗΣ	50	5	75	5	5	5	5	5	25	50	50	5
Δ. ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ	50	5	5	5	75	50	5	5	50	75	75	5
Δ. ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	50	25	75	5	75	5	50	5	25	50	75	5
Δ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	25	5	25	5	5	5	5	5	25	75	75	5

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: Ποσοτικοποίηση αποδόσεων κάθε κριτηρίου μέσω δεικτών ανά δημοτική ενότητα (οικολογικοί παράγοντες και ιστορικές πλημμύρες)

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ	Εγκαταστάσεις I.E.D	ΧΥΤΑ	Βιολογικοί καθαρισμοί	Προστατευόμενη Περιοχή πτηνών	Προστατευόμενη Περιοχή οικοτόπων	Πλήθος ιστορικών γεγονότων	Έκταση πλημμύρας (%)	Ύψος αποζημιώσεων/ κάτοικο
Δ. ΠΑΛΙΟΚΑΣΤΡΟΥ	5	75	5	25	25	5	0	0
Δ. ΕΣΤΙΑΙΩΤΙΔΑΣ	5	5	5	25	5	5	0	0
Δ. ΤΡΙΚΚΑΙΩΝ	75	5	75	5	25	5	0	0
Δ. ΠΑΜΙΣΟΥ	5	5	5	5	5	5	25	25
Δ. ΣΕΛΛΑΝΩΝ	5	5	5	5	5	50	75	25
Δ. ΠΑΛΑΜΑ	25	5	5	25	5	75	75	25
Δ. ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	5	5	75	5	5	50	50	5
Δ. ΚΑΜΠΟΥ	5	5	5	5	5	75	50	75
Δ. ΓΟΜΦΩΝ	5	5	5	5	5	5	0	0
Δ. ΠΕΛΛΙΝΑΙΩΝ	5	5	5	25	5	5	0	0
Δ. ΜΕΓΑΛΩΝ ΚΑΛΥΒΙΩΝ	5	5	5	5	5	5	0	0
Δ. ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	5	5	5	5	25	5	0	0
Δ. ΦΑΛΩΡΕΙΑΣ	5	5	5	25	50	5	0	0
Δ. ΠΙΑΛΕΙΩΝ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΟΙΧΑΛΙΑΣ	25	5	5	25	5	5	5	5
Δ. ΣΟΦΑΔΩΝ	25	5	5	5	5	50	5	75
Δ. ΦΥΛΛΟΥ	5	5	5	25	50	25	0	0
Δ. ΑΡΝΗΣ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΦΑΡΚΑΔΩΝΑΣ	5	5	5	50	25	75	75	50
Δ. ΠΥΛΗΣ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΒΑΣΙΛΙΚΗΣ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΚΑΛΑΜΠΑΚΑΣ	5	5	75	50	50	5	0	5
Δ. ΚΑΛΛΙΦΩΝΟΥ	5	5	5	5	5	5	0	0
Δ. ΕΝΝΙΠΕΑ	5	5	5	50	5	50	25	50

Δ. ΜΗΤΡΟΠΟΛΗΣ	5	5	5	5	5	5	5	0
Δ. ΜΕΝΕΛΑΙΔΑΣ	5	5	5	5	5	5	5	50
Δ. ΠΑΡΑΛΗΘΑΙΩΝ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΧΑΣΙΩΝ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	5	5	5	75	5	5	0	0
Δ. ΠΛΑΣΤΗΡΑ	5	5	5	5	5	5	0	0
Δ. ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΗΣ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΔΕΣΚΑΤΗΣ	5	5	75	25	5	5	0	0
Δ. ΡΕΝΤΙΝΗΣ	5	5	5	5	5	5	0	0
Δ. ΜΑΚΡΑΚΩΜΗΣ	5	5	5	5	5	5	0	0
Δ. ΞΥΝΙΑΔΟΣ	5	5	5	5	5	75	25	75
Δ. ΔΟΜΟΚΟΥ	5	5	5	25	5	5	0	0
Δ. ΘΕΣΣΑΛΙΩΤΙΔΟΣ	5	5	5	5	5	25	25	25
Δ. ΦΑΡΣΑΛΩΝ	5	5	75	25	5	5	0	0
Δ. ΤΑΜΑΣΙΟΥ	5	5	5	5	5	50	50	50
Δ. ΙΤΑΜΟΥ	25	5	5	5	5	5	0	0
Δ. ΜΑΛΑΚΑΣΙΟΥ	5	5	5	5	25	5	0	0
Δ. ΙΘΩΜΗΣ	5	5	5	5	5	5	0	0
Δ. ΑΙΘΗΚΩΝ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΚΑΛΛΙΔΕΝΔΡΟΥ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΚΟΖΙΑΚΑ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΚΛΕΙΝΟΒΟΥ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΤΥΜΦΑΙΩΝ	5	5	5	25	25	5	0	0
Δ. ΠΥΝΔΑΙΩΝ	5	5	5	5	25	5	0	0
Δ. ΚΑΣΤΑΝΙΑΣ	5	5	5	5	25	5	0	0