

Πρόλογος

Τα τελευταία χρόνια το νερό, το βασικότερο αγαθό για την ύπαρξη ζωής και την οργάνωση της ανθρώπινης κοινωνίας είναι αγαθό σε ανεπάρκεια, όχι μόνο στη χώρα μας, αλλά και διεθνώς. Μεγάλες προσπάθειες καταβάλλονται για την ορθολογικότερη διαχείριση των περιορισμένων υδατικών πόρων, αλλά και της ανομοιόμορφης κατανομής τους στο χώρο και το χρόνο.

Εξίσου σημαντικό πρόβλημα με την ανεπάρκεια του ύδατος (λειψυδρία), είναι και η περίσσεια αυτού (πλημμύρες) σε πάρα πολλές περιπτώσεις. Απρόσμενες και απρόβλεπτες ποσότητες ύδατος, οι οποίες δεν μπορούν να ελεγχθούν και να τιθασευτούν, συχνά έχουν καταστροφικές συνέπειες για την ισορροπία του περιβάλλοντος, την ανθρώπινη ζωή και την οικονομία. Το φαινόμενο της πλημμύρας αποτελεί μία από τις κύριες καταστροφές που με την πάροδο του χρόνου και την επίπτωση της μεταβολής του κλίματος, γίνεται ολοένα και εντονότερο.

Η άνιση κατανομή των βροχοπτώσεων λόγω του μεσογειακού κλίματος της Ελλάδας έχει συνέπεια την εμφάνιση έντονων πλημμυρών, αλλά και έλλειμμα νερού την περίοδο που η ζήτηση αυτού παρουσιάζεται αυξημένη. Οι δύο αντίθετες όψεις του καθεστώτος νερού στη Ελλάδα έχουν πολύ δυσμενή αποτελέσματα στον κοινωνικό και οικονομικό ιστό. Μία από τις γενεσιουργές αιτίες μιας πλημμύρας προφανώς είναι κάποια βροχόπτωση με μεγάλη ένταση και σχετικά μεγάλη διάρκεια. Στις μέρες μας όμως, ακόμη και μικρότερα επεισόδια βροχοπτώσεων, σε σχέση με το παρελθόν, οδηγούν σε εκδήλωση καταστροφικών πλημμυρών σε λεκάνες απορροής χειμαρρικών ρευμάτων λόγω έντονων ανθρωπογενών επεμβάσεων.

Έχουν γίνει πολλές μελέτες και έρευνες για τον καθορισμό του φαινομένου, των παραμέτρων που το προκαλούν, των συνεπειών που έχει τόσο στους ανθρώπους όσο και στις ιδιοκτησίες τους και, τέλος, των τρόπων με τους οποίους μπορούν να αντιμετωπιστούν και να προληφθούν, αν είναι αυτό δυνατό. Παρά τη σημαντική πρόοδο σε αυτόν τον τομέα, το πρόβλημα δεν έχει εξαλειφθεί, και αυτό όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά σε παγκόσμια κλίμακα.

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Τις πιο θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα της εργασίας, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης, κ. Ιωάννη Τσάνη, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλο το ερευνητικό προσωπικό του Εργαστηρίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης και συγκεκριμένα τους: Κουτρούλη Αριστείδη, Δαλιακόπουλο Ιωάννη και Γρυλλάκη Μανώλη, για τη συνεχή τους βοήθεια και συνεργασία κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Περίληψη

Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μια εισαγωγή στα ακραία καιρικά φαινόμενα και τις κλιματικές μεταβολές που συντελούνται στον πλανήτη μας ειδικά τις τελευταίες δεκαετίες και παρουσιάζεται ο σκοπός αυτής της εργασίας και το βασικό αντικείμενο έρευνας.

Έπειτα, (δεύτερο κεφάλαιο), δίνονται τα χαρακτηριστικά και οι βασικές έννοιες των πλημμυρών, αναλύονται πιο εκτενώς οι αστραπιαίες πλημμύρες (flash floods) και παρουσιάζονται διάφορα στοιχεία για πλημμύρες στον ελληνικό χώρο και ειδικότερα για την Κρήτη, όπου και παρουσιάζεται ο χάρτης μέγιστων βροχοπτώσεων με περίοδο επαναφοράς εκατονταετίας για το νησί της Κρήτης ο οποίος προέκυψε μέσω χωρικής παρεμβολής.

Ακολουθεί στο τρίτο κεφάλαιο μια περιγραφή των υδρολογικών-υδραυλικών μοντέλων του HEC (Hydrologic Engineering Center), τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση της πλημμύρας στην περιοχή της Αλμυρίδας στις 17 Οκτωβρίου 2006.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να συλλεχθούν και οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν στο πεδίο μετά από ένα πλημμυρικό γεγονός και η μεθοδολογία συλλογής.

Στο πέμπτο κεφάλαιο δίνονται γενικές πληροφορίες για την περιοχή μελέτης και τα κύρια χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (γεωλογικά, υδρολογικά, χρήσεις γης). Επίσης, δίνεται μια γενική περιγραφή της υπό μελέτη πλημμύρας στις 17 Οκτωβρίου 2006 και ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιήθηκε η συλλογή δεδομένων και πληροφοριών από το πεδίο με σκοπό την προσομοίωση.

Στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η βαθμονόμηση και οι βασικές μεταβλητές και παρουσιάζονται τα τελικά αποτελέσματα της κάθε μεθόδου, που προέκυψαν με χρήση των λογισμικών της HEC.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη και την εφαρμογή όλων των παραπάνω και γίνονται κάποιες συγκρίσεις στα αποτελέσματα των δύο μεθόδων. Επίσης, γίνονται κάποιες προτάσεις κυρίως για περαιτέρω έρευνα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 ΑΚΡΑΙΑ ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ	8
1.2 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ – ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΕΥΝΑΣ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	12
2.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ	12
2.1.1 Ορισμός της πλημμύρας	13
2.1.2 Χαρακτηριστικά των πλημμυρών	13
2.1.3 Αίτια πλημμυρογένεσης	14
2.1.4 Επιπτώσεις των πλημμυρών	16
2.1.5 Αντιμετώπιση των πλημμυρών	17
2.2 ΑΣΤΡΑΠΙΑΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ (FLASH FLOODS)	18
2.2.1 Ορισμός και βασικά χαρακτηριστικά των αστραπιαίων πλημμυρών	18
2.2.2 Μέτρα για την αντιμετώπιση των αστραπιαίων πλημμυρών	20
2.3 ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ	22
2.4 ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ – ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ – HEC	29
3.1 ΓΕΝΙΚΑ	29
3.2 HEC-GeoHMS	32
3.3 HEC-HMS	33
3.4 HEC-GeoRAS	36
3.5 HEC-RAS	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΜΕΤΑ-ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	39
4.1 ΤΥΠΟΙ ΕΡΕΥΝΩΝ ΚΑΙ ΓΕΝΙΚΕΣ ΟΔΗΓΙΕΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	39
4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	44
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΛΜΥΡΙΔΑΣ - ΠΛΗΜΜΥΡΑ 17^{ΗΣ} ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2006	46
5.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	46
5.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	47
5.2.1 Υδρολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης	47
5.2.2 Γεωλογία περιοχής μελέτης	47

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

5.2.3 Χρήσεις Γης	48
5.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟΥ ΓΕΓΟΝΟΤΟΣ	49
5.4 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ	53
5.4.1 Εξοπλισμός	53
5.4.2 Διαδικασία μετρήσεων	54
5.4.3 Επεξεργασία των μετρήσεων	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ - ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	56
6.1 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΕΝΙΑΙΑΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	56
6.1.1 Βαθμονόμηση HEC HMS	56
6.1.2 Υπολογισμός βασικών μεταβλητών HEC-HMS	57
6.1.3 Ανάλυση ευαισθησίας μοντέλου	59
6.2 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	63
6.2.1 Βαθμονόμηση HEC HMS	63
6.2.2 Υπολογισμός βασικών μεταβλητών HEC-HMS	65
6.2.3 Ανάλυση ευαισθησίας μοντέλου	65
6.3 ΠΡΟΕΡΓΑΣΙΑ ΣΤΟ HEC GEORAS ΚΑΙ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ HEC RAS	67
6.3.1 HEC GeoRAS	67
6.3.2 HEC RAS	67
6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ	71
6.4.1 Αποτελέσματα HEC HMS	71
6.4.2 Αποτελέσματα HEC RAS	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	80
7.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	80
7.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΚΕΙΜΕΝΑ	83
ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ	83
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	85
1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	85
2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ ΤΟΥ TOPCON GPT-3000	87
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΠΕΔΙΟΥ ΜΕ ΤΟ TOPCON GPT-3000.	89
4. ΠΙΝΑΚΑΣ ΖΗΜΙΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑ ΣΤΙΣ 17/10/2006 ΣΤΗΝ ΑΛΜΥΡΙΔΑ.	91
5. ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΣΤΟ HEC-GeoHMS	95

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1: ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΥ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	8
ΕΙΚΟΝΑ 2 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟΝ ΟΓΚΟ ΚΑΙ ΤΟ ΠΟΣΟ ΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	16
ΕΙΚΟΝΑ 3 : FLASH FLOOD ΣΤΗ ΓΑΛΛΙΑ (NIMES) ΣΤΙΣ 3 ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 1988	18
ΕΙΚΟΝΑ 4 : ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΦΙΛΤΡΟΥ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	19
ΕΙΚΟΝΑ 5 : ΈΝΤΟΝΑ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΠΕΡΙΟΔΟΥ 1980-2002 ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.	23
ΕΙΚΟΝΑ 6 : ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	24
ΕΙΚΟΝΑ 7 : ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	25
ΕΙΚΟΝΑ 8 : ΧΑΡΤΗΣ ΗΜΕΡΗΣΙΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΕΚΑΤΟΝΤΑΕΤΙΑΣ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ	27
ΕΙΚΟΝΑ 9 : ΤΥΠΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ – ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΟ HEC – HMS	34
ΕΙΚΟΝΑ 10 : ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ ΤΗΣ FEMA ΕΠΙΘΕΩΡΕΙ ΤΙΣ ΖΗΜΙΕΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΛΗΜΜΥΡΑ	41
ΕΙΚΟΝΑ 11 : ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΑΛΜΥΡΙΔΑΣ.	46
ΕΙΚΟΝΑ 12 : ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗΝ ΑΛΜΥΡΙΔΑ ΤΟΝ ΟΚΤΩΒΡΙΟ ΤΟΥ 2006.	50
ΕΙΚΟΝΑ 13: ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΤΟΙΚΩΝ ΣΤΙΣ 18/10/2006	52
ΕΙΚΟΝΑ 14 : TOPCON GPT-3000 SERIES	53
ΕΙΚΟΝΑ 15 : ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ	54
ΕΙΚΟΝΑ 16 : ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ	55
ΕΙΚΟΝΑ 17 : ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΤΟ HEC-HMS (SCS METHOD)	56
ΕΙΚΟΝΑ 18: Η ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΑΛΜΥΡΙΔΑΣ ΜΕ ΤΟ SHG GRID ΤΩΝ 1000M.	63
ΕΙΚΟΝΑ 19: ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΣΤΟ HEC-HMS (MODCLARK METHOD)	64
ΕΙΚΟΝΑ 20: ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΜΕΤΡΗΜΕΝΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΤΗΝ ΑΛΜΥΡΙΔΑ	68
ΕΙΚΟΝΑ 21 : ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΟ HEC-RAS	70
ΕΙΚΟΝΑ 22 : ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS UNIT HYDROGRAPH	71
ΕΙΚΟΝΑ 23 : ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ (SCS METHOD)	72
ΕΙΚΟΝΑ 24 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΕ MM ΚΑΙ MM ³ ΒΡΟΧΗΣ	72
ΕΙΚΟΝΑ 25: ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ MODCLARK	73
ΕΙΚΟΝΑ 26: ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ (MODCLARK METHOD)	74
ΕΙΚΟΝΑ 27: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΥΔΡΟΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ	75
ΕΙΚΟΝΑ 28 : ΕΠΙΤΥΧΗΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ ΣΤΟ HEC-RAS	76
ΕΙΚΟΝΑ 29 : ΎΨΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΡΟΗΣ ΣΤΗΝ ΚΟΙΤΗ ΤΗΣ ΑΛΜΥΡΙΔΑΣ	77
ΕΙΚΟΝΑ 30 : ΜΕΓΙΣΤΟ ΥΨΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΕΛΕΓΧΟΥ	79
ΕΙΚΟΝΑ 31 : ΔΟΜΗ ΤΟΥ TOPCON GPT-3000	87

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΓΕΓΡΑΜΜΕΝΩΝ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	9
ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ	14
ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ, ΑΝΘΡΩΠΙΝΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΙ ΥΨΟΣ ΧΡΗΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΖΗΜΙΩΣΕΩΝ ΣΕ ΠΛΗΜΜΥΡΟΠΑΘΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΤΑ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΧΡΟΝΙΑ.	23
ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΈΝΤΟΝΕΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΕΙΣ 20ΕΤΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΜΕ ΕΝΤΟΝΗ ΠΛΗΜΜΥΡΟΓΕΝΕΣΗ	25
ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΜΕΤΑ-ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	45
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΑΛΜΥΡΙΔΑΣ.	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 8: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΤΗΣ ΑΛΜΥΡΙΔΑΣ	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 9: ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ ΣΤΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΗΣ ΑΛΜΥΡΙΔΑΣ	48
ΠΙΝΑΚΑΣ 10: ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΠΛΗΜΜΥΡΑΣ ΣΤΗΝ ΑΛΜΥΡΙΔΑ	49
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΗΜΕΡΗΣΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ ΣΤΟ ΣΤΑΘΜΟ ΤΩΝ ΚΑΛΥΒΩΝ 1-16/10/2006	59
ΠΙΝΑΚΑΣ 12: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ INITIAL ABSTRACTION	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 13: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ CURVE NUMBER	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 14: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ IMPERVIOUS	60
ΠΙΝΑΚΑΣ 15: ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ HMS ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ SCS	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 16: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΕΧΘΕΙΣΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	61
ΠΙΝΑΚΑΣ 17: ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΤΗΣ ΕΠΙΛΕΧΘΕΙΣΑΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ	62
ΠΙΝΑΚΑΣ 18: ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ HMS ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ MODCLARK	65
ΠΙΝΑΚΑΣ 19: ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ Α ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΙΣ ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 20: ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ R ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ Α	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 21: ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ STORAGE COEFFICIENT	66
ΠΙΝΑΚΑΣ 22: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ MANNING	69
ΠΙΝΑΚΑΣ 23: ΖΗΜΙΕΣ ΣΤΗΝ ΑΛΜΥΡΙΔΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΛΗΜΜΥΡΑ ΤΗΣ 17ΗΣ ΟΚΤΩΒΡΙΟΥ 2006	94

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Ακραία καιρικά φαινόμενα και κλιματικές αλλαγές

Φαινόμενα όπως οι σεισμοί, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι τυφώνες, οι κατιζήσεις εδάφους, οι πλημμύρες, οι ξηρασίες, και οι πυρκαγιές είναι συνήθως γνωστά ως φυσικές καταστροφές. Οι φυσικές καταστροφές αναφέρονται συγκεκριμένα σε εκείνα τα γεγονότα στα οποία οι επιδράσεις υπερβαίνουν την τοπική ή εθνική ικανότητα να εξεταστούν, απαιτώντας κατά συνέπεια την εξωτερική βοήθεια έκτακτης ανάγκης.

Η αναμενόμενη κλιματολογική αλλαγή κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα θα εντείνει περαιτέρω τον υδρολογικό κύκλο, με τις βροχερές εποχές να γίνονται μικρότερες και εντονότερες σε μερικές περιοχές, ενώ οι ξηρασίες σε άλλες περιοχές θα αυξηθούν περισσότερο σε διάρκεια.



Εικόνα 1: Εξέταση του αντίκτυπου των πλημμυρών στη γεωργία

(http://www.oas.org/dsd/policy_series/4_eng.pdf)

Οι εμπειρογνώμονες λένε ότι οι ποταμοί και τα υδροφόρα στρώματα σε πολλά μέρη του κόσμου επηρεάζονται από τη βιομηχανική ρύπανση, τη διάθεση λυμάτων ή την υπερβολική εξαγωγή του νερού. Αυτό επιδεινώνει την ποιότητα του νερού, επιβάλλει ελλείψεις και, στις ανήσυχες συνοριακές περιοχές, μπορεί να φέρει και πόλεμο.

Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών. Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.

Ένα άλλο απο έλεσμα της κλιματικής αλλαγής θα είναι ο κίνδυνος συχνότερων, και ενδεχομένως περισσότερο έντονων θυελλών ή άλλων ακραίων καιρικών γεγονότων.

Ο Πίνακας 1, παρουσιάζει τις καταστροφές που έχουν καταγραφεί στην Ελλάδα εξαιτίας των σημαντικότερων πλημμυρικών γεγονότων (www.em-dat.net/).

Dates: Start date End date	Country:	Location:	Disaster: Type SubType Name	Numbers:	DisNo:
21/Oct/2006 22/Oct/2006	Greece	Lanie, Messène (Peloponese region)	Flood	90 affected	2006-0568
8/Oct/2006 12/Oct/2006	Greece	Thessaloniki, Halkidiki, Magnesia (Peloponnèse)	Flood	1 killed 3,000 affected 5,659,000 US\$ damage	2006-0541
19/Feb/2003	Greece	Central Greece, Aegean Sea Isl.	Flood		2003-0117
2/Feb/2003	Greece	Achaia, Ileia prefectures (Peloponese)	Flood	656,218,000 US\$ damage	2003-0097
25/Jan/2003	Greece	Oropos, Marathon, Halkoutsi, Dilesi, Kardista department, Aguiistri Isl.	Flood	450 affected	2003-0044
27/Dec/2002	Greece	Kassos Isl. (Dodécanèse)	Flood		2002-0806
13/Dec/2002	Greece	Zantre, Laganas, Ambekali, Kalamati	Flood	180 affected	2002-0777
6/Dec/2002 10/Dec/2002	Greece	Pieras, Lierras departments	Flood		2002-0764
7/Nov/2002	Greece	Athènes	Flood	210 affected	2002-0694
29/Nov/2001	Greece	Samos Isl.	Flood	600 affected	2001-0642
Jan/2001	Greece	Athens, Corinth, Cape Sounion, Zakynthos	Flood	11 killed 450 affected	2001-0031
19/Nov/2000	Greece	Athènes, Corinthe	Flood	1 killed 6,000 affected	2000-0742
31/Oct/2000	Greece	Corfou Isl.	Flood	600 affected	2000-0708
3/Feb/1998	Greece	Levos Isl.	Flood	3 killed 900 affected	1998-0023
12/Jan/1997 13/Jan/1997	Greece	Larissa, Athens, Patras, Corinth	Flood	9 killed 160,000,000 US\$ damage	1997-0555
24/Oct/1994 27/Oct/1994	Greece	Athens, Rhodes Isl., Kardhitsa region, Kasos Isl.	Flood	21 killed 35,300,000 US\$ damage	1994-0543
20/Nov/1979	Greece	North	Flood	15 killed	1979-0105
1/Oct/1977 30/Nov/1977	Greece	Piraeus, Athens	Flood	27 killed 1,600 affected 28,000,000 US\$ damage	1977-0129

Created on: Oct-30-2007. - Data version: v03.07

Πίνακας 1: Επιπτώσεις των καταγεγραμμένων πλημμυρών στην Ελλάδα

Το οικονομικό κόστος των ακραίων καταστροφών και των πλημμυρών είναι αρκετό και θεωρείται ότι θα αυξηθεί, χτυπώντας έτσι τα φτωχότερα έθνη πολύ σκληρότερα.

Πιο συγκεκριμένα, η Ευρώπη μεταξύ 1998 και 2002 υπέστη πάνω από 100 σημαντικές καταστροφικές πλημμύρες. Από το 1998, οι πλημμύρες έχουν προκαλέσει περίπου 700 θανάτους, τη μετατόπιση περίπου μισού εκατομμυρίου ανθρώπων και τουλάχιστον €25 δισεκατομμύρια οικονομικές απώλειες (European Environment

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Agency). Η τελευταία έκθεση της ομάδας επιστημόνων του ΟΗΕ για την κλιματική αλλαγή (IPCC) που δημοσιεύθηκε στις 7 Απριλίου 2007, έγραφε τα εξής: «Σχεδόν όλες οι περιοχές της Ευρώπης αναμένεται να επηρεαστούν αρνητικά από την κλιματική αλλαγή. Οι αρνητικές επιπτώσεις θα περιλαμβάνουν αυξημένο κίνδυνο αστραπιαίων πλημμυρών στην ενδοχώρα, πιο συχνές πλημμύρες στις ακτές και αυξημένη διάβρωση. Στη νότια Ευρώπη η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιδεινώσει τις συνθήκες (υψηλές θερμοκρασίες - ξηρασία) και να μειώσει τη διαθεσιμότητα του νερού, την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας, τον θερινό τουρισμό, και την αγροτική παραγωγή. Προβλέπονται επίσης αυξημένοι κίνδυνοι για την υγεία από τους καύσωνες και τις συχνές πυρκαγιές» (http://news.kathimerini.gr/4dcgi/_w_articles_world_2_29/07/2007_236058).

Για την Ελλάδα, σύμφωνα με έρευνες που αφορούν πιθανά κλιματολογικά σενάρια και τις συνέπειες αυτών στην απορροή, θα έχουμε (Μιμίκου, 2005):

- α) Μείωση απορροής σχεδόν για όλους τους μήνες, έως και 60% το Νοέμβρη.
- β) Αύξηση απορροής σε ορισμένους χειμερινούς μήνες με αποτέλεσμα επιδείνωση της συχνότητας και δριμύτητας πλημμυρών.
- γ) Αύξηση αιχμών πλημμυρών για διάφορες περιόδους επαναφοράς.

1.2 Σκοπός της εργασίας – Αντικείμενο έρευνας

Στην παρούσα διατριβή, αρχικά παρουσιάζονται οι βασικές έννοιες και τα χαρακτηριστικά των πλημμυρών δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις αστραπιαίες πλημμύρες (flash floods). Επίσης, παρουσιάζονται η μεθοδολογία συλλογής στοιχείων και δεδομένων για τη μελέτη μιας πλημμύρας καθώς και των ενεργειών για την αντιμετώπιση αυτής. Επίσης, δημιουργήθηκε ένας χάρτης μέγιστων βροχοπτώσεων με περίοδο επαναφοράς εκατονταετίας για το νησί της Κρήτης ο οποίος προέκυψε μέσω χωρικής παρεμβολής στο λογισμικό ArcGIS.

Το βασικό αντικείμενο έρευνας όμως, ήταν η μελέτη της πλημμυρικής απορροής και η χαρτογράφηση του πλημμυρικού επιπέδου της λεκάνης της Αλμυρίδας. Έγινε μια προσπάθεια προσέγγισης και υδραυλικής προσομοίωσης της πλημμύρας που συνέβη την 17^η Οκτωβρίου του 2006 έπειτα από ισχυρή νεροποντή, με τη χρήση κατάλληλων λογισμικών πακέτων του HEC (Hydrologic Engineering Center).

Τα βασικότερα σημεία της εργασίας μπορούν να συνοψισθούν στα ακόλουθα:

- Μεθοδολογία συλλογής στοιχείων και δεδομένων για αποτελεσματική μελέτη πλημμυρών και προστασία από μελλοντικές πλημμύρες.
- Δημιουργία χάρτη επικινδυνότητας για βροχοπτώσεις εκατονταετίας στο νησί της Κρήτης με χρήση βροχομετρικών δεδομένων.
- Προσομοίωση της πλημμύρας της 17^{ης} Οκτωβρίου του 2006 στην Αλμυρίδα (HEC-HMS) και χαρτογράφηση του πλημμυρικού επιπέδου (HEC-RAS).

Κεφάλαιο 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

2.1 Ορισμοί και βασικές έννοιες πλημμυρών

Οι πλημμύρες είναι ένα από τα πιο καταστρεπτικά φυσικά φαινόμενα που απασχολούν και προβληματίζουν τον άνθρωπο από χιλιετίες στο παρελθόν και συνεχίζουν μέχρι σήμερα.

Έχουν γίνει πολλές μελέτες και έρευνες για τον καθορισμό του φαινομένου, των παραμέτρων που το προκαλούν, των συνεπειών που έχει τόσο στους ανθρώπους όσο και στις ιδιοκτησίες τους και τέλος, των τρόπων με τους οποίους μπορούν να αντιμετωπιστούν και να προληφθούν, αν είναι αυτό δυνατό. Παρά τη σημαντική πρόοδο σ' αυτόν τον τομέα, το πρόβλημα δεν έχει εξαλειφθεί και αυτό όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά σε παγκόσμια κλίμακα.

Πιο συγκεκριμένα, στην Ευρώπη, περισσότεροι από 10 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν στις περιοχές με κίνδυνο ακραίων πλημμυρών κατά μήκος του Ρήνου, και το ύψος των ζημιών από τις πλημμύρες εκτιμάται σε €165 δισεκατομμύρια. Οι παράκτιες περιοχές διατρέχουν το μεγαλύτερο κίνδυνο. Η συνολική οικονομική αξία των περιουσιών που βρίσκονται εντός 500 μέτρων από την ευρωπαϊκή ακτή, συμπεριλαμβανομένων των παραλιών, το γεωργικό έδαφος και τις βιομηχανικές εγκαταστάσεις, υπολογίζεται αυτήν την περίοδο σε €500 έως €1.000 δισεκατομμύρια.

Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα που δεν μπορούν να αποτραπούν. Εντούτοις, η ανθρώπινη δραστηριότητα συμβάλλει σε μια αύξηση στην πιθανότητα και τις δυσμενείς επιδράσεις των ακραίων γεγονότων πλημμυρών. Αρχικά, η κλίμακα και η συχνότητα των πλημμυρών είναι πιθανό να αυξηθούν λόγω της αλλαγής κλίματος - που θα φέρει υψηλότερη ένταση βροχοπτώσεων και αύξηση της στάθμης της θάλασσας - καθώς επίσης και της ακατάλληλης γενικότερα διαχείρισης των λεκανών απορροής που μειώνει την ικανότητά τους να διοχετεύσουν τα νερά των πλημμυρών. Αφετέρου, ο αριθμός των ανθρώπων και των περιουσιών που βρίσκονται στις ζώνες υψηλού κινδύνου πλημμυρών συνεχίζει να αυξάνεται.

Πολλά κράτη μέλη λαμβάνουν ήδη τα προτεινόμενα μέτρα προστασίας κατά των πλημμυρών, αλλά η συντονισμένη δράση σε επίπεδο Κοινότητας θα έφερνε καλύτερα συνολικά αποτελέσματα και θα βελτίωνε το γενικό επίπεδο προστασίας κατά των πλημμυρών.

2.1.1 Ορισμός της πλημμύρας

Με τον όρο πλημμύρα εννοούμε γενικά την ανεξέλεγκτη κατάκλυση μίας περιοχής από το νερό, που μπορεί να είναι αποτέλεσμα της εξόδου του νερού ενός υδατορέματος από τη φυσική ή τεχνητή κοίτη του και η κατάκλυση των παρακείμενων περιοχών.

Συνεπώς, πλημμύρα δημιουργείται είτε: α) με την αύξηση της υδατοπαροχής, είτε: β) με τη μείωση της διατομής της κοίτης. Πλημμύρες επίσης συμβαίνουν όταν η στάθμη του νερού στις λίμνες, στις δεξαμενές και τα υδροφόρα στρώματα υπερβαίνει κάποιες κρίσιμες τιμές και πλημμυρίζει ο παρακείμενος χώρος ή όταν η θάλασσα «φουσκώνει» στις παράκτιες περιοχές πολύ πιο πάνω από τη μέση στάθμη της.

Ο συνηθέστερος και κυριότερος όμως λόγος για τον οποίο συμβαίνει μια πλημμύρα είναι οι ξαφνικές ραγδαίες βροχοπτώσεις με πολύ μεγάλη ένταση, κατά τις οποίες οι κοίτες των ποταμών και ρεμάτων ξεχειλίζουν, καθώς το έδαφος δεν είναι σε θέση να απορροφήσει τέτοιες ποσότητες νερού τόσο γρήγορα.

Για την επιστήμη της Υδρολογίας, η έννοια της πλημμύρας είναι λίγο διαφορετική και έχει να κάνει απλά με τη σχετικά μεγαλύτερη παροχή σε ένα υδατόρεμα.

Σαν φυσικό φαινόμενο η πλημμύρα είναι ένα δυναμικό, βίαιο φαινόμενο, εξαιρετικά επικίνδυνο και καταστρεπτικό, που εμφανίζεται γενικά απρόβλεπτα και που αφήνει ελάχιστα χρονικά περιθώρια για να μπορέσει να εκδηλώσει κανείς κάποια αντίδραση για την αντιμετώπισή του. Στον ελληνικό χώρο εμφανίζεται μόνο τοπικά και έχει μικρή διάρκεια. Το κύριο αντικείμενο μελέτης του φαινομένου και μέλημα των μηχανικών είναι το πώς θα αποφευχθούν ακραίες πλημμυρικές παροχές, να μετατραπούν σε πλημμύρα, σε συνδυασμό πάντα με τις αλλαγές που επιφέρει η ανάπτυξη μίας περιοχής στη φυσική διαμόρφωση της επιφάνειας της περιοχής (τεχνικά έργα, κατασκευές, αστικοποίηση).

2.1.2 Χαρακτηριστικά των πλημμυρών

Η πλημμύρα ορίζεται εύκολα ποσοτικά με βάση κάποιο όριο παροχής ή στάθμης, η υπέρβαση του οποίου συνιστά “πλημμύρα” αν αναφερόμαστε σε υδατόρεμα. Μια τέτοια παροχή μπορεί να είναι αυτή που προκαλεί υπερχειλίση της «βαθιάς κοίτης» του υδατορέματος ή η παροχή που προκαλεί ανεπιθύμητη κατάκλιση κάποιας περιοχής κοντά στο υδατόρεμα. Ο Πίνακας 2 παρουσιάζει μια συνοπτική περιγραφή του φαινομένου της πλημμύρας (Βαφειάδης).

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Κύριο χαρακτηριστικό	Υπερβολική ποσότητα νερού
Γενικός χαρακτήρας	Βίαιο φαινόμενο σχετικά μικρής διάρκειας
Έκταση επιρροής	Μπορεί να είναι εξαιρετικά τοπικό, σπάνια αφορά μεγαλύτερες περιοχές.
Κυρία παράμετρος που το χαρακτηρίζει	Κυρία παράμετρος η παροχή ή ο όγκος νερού
Αντιμετώπιση	Μπορεί να αντιμετωπισθεί με κατάλληλα τεχνικά έργα και διοικητικά μέτρα στα όρια των “παροχών μελέτης, πριν την εμφάνισή του
Επιστημονική ανάλυση και μελέτη	Απαιτεί στατιστική ανάλυση των δεδομένων, υδρολογικά και υδραυλικά μοντέλα προσομοιώσεως. Σε ειδικές περιπτώσεις γίνεται μελέτη και σε φυσικά ομοιώματα υπό κλίμακα

Πίνακας 2: Συνοπτική περιγραφή του φαινομένου της πλημμύρας

Για να υπολογιστεί μια πλημμύρα από τις βροχοπτώσεις, αναλύονται οι χρονικές και χωρικές κατανομές των βροχοπτώσεων πέρα από μια ιδιαίτερη περιοχή αποξηράνσεων. Οι προκύπτουσες βροχοπτώσεις, είτε καταγράφονται είτε βασίζονται σε μια στατιστική ή υδρομετεωρολογική ανάλυση και μετασχηματίζονται έπειτα σε μια αιχμή πλημμυρών ή σε ένα υδρογράφημα. Η τεχνική θα μπορούσε να είναι τόσο απλή όπως η εφαρμογή μιας εμπειρικής εξίσωσης, χρησιμοποιώντας την κατακρήμνιση ως εισαγωγή για τη λήψη της μέγιστης εκροής, ή τόσο σύνθετη όπως η χρησιμοποίηση ενός υδρολογικού μοντέλου υδροκρίτη για τη λήψη της πλήρης φυσικής διαδικασίας των βροχοπτώσεων που μετασχηματίζουν την απορροή σε όλο τον υδροκρίτη.

2.1.3 Αίτια πλημμυρογένεσης

Ποια είναι τα αίτια που μπορούν να προκαλέσουν πλημμύρα; Δεν είναι η υπερβολική αύξηση της επιφανειακής απορροής που οδηγεί από μόνη της σε πλημμύρα, αλλά η απώλεια του ελέγχου της απορροής αυτής.

Υπάρχουν **φυσικά** και **ανθρωπογενή** αίτια που προκαλούν τις πλημμύρες.

α) Φυσικά αίτια πλημμυρογένεσης

Ο τρόπος και η διαδικασία συγκέντρωσης και κίνησης του νερού σε μία υδρολογική λεκάνη ή μια ευρύτερη περιοχή, καθορίζεται από τους τέσσερις φυσικούς παράγοντες πλημμυρογένεσης. Αυτοί είναι:

- 1) η τοπογραφία,

- 2) η γεωλογική συγκρότηση,
- 3) το κλίμα και
- 4) η βλάστηση.

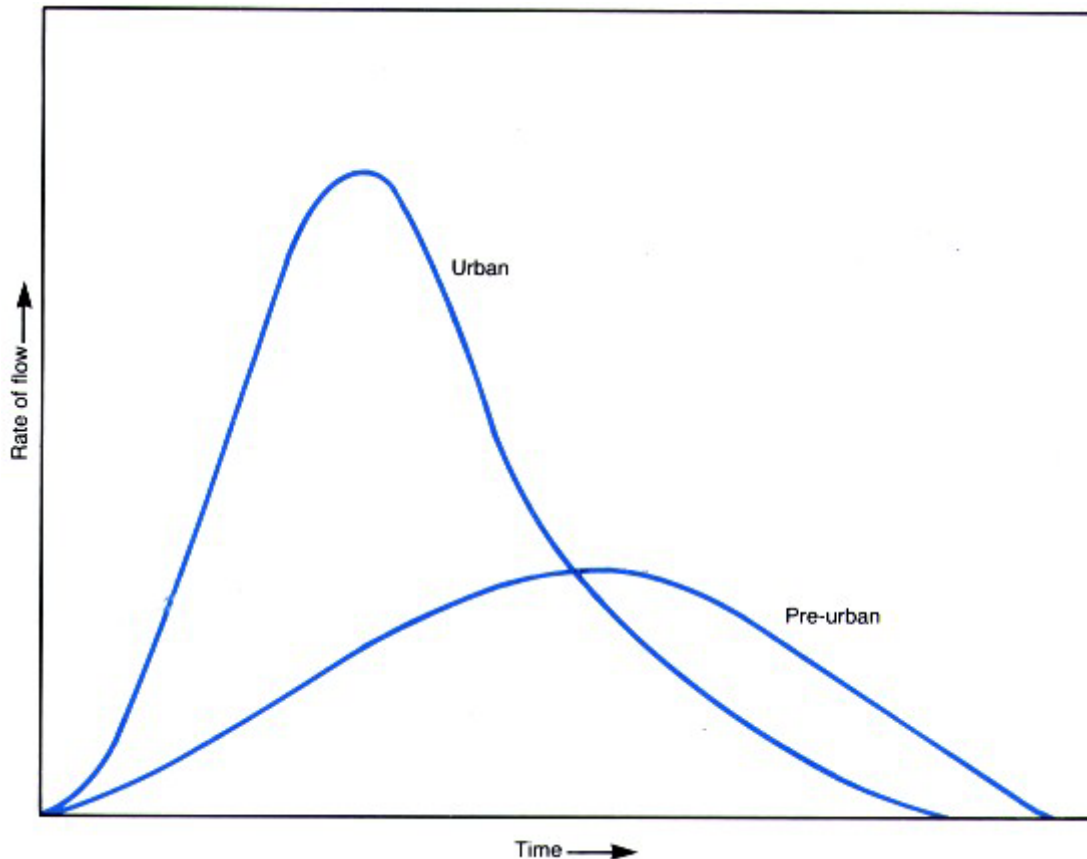
Η τοπογραφία και η γεωλογική συγκρότηση μιας περιοχής καθορίζουν την υδρολογική συμπεριφορά και κατά συνέπεια την απορροή και την παραγωγή των φερτών υλικών. Το κλίμα είναι ο παράγοντας που καθορίζει τη συχνότητα, τη διάρκεια αλλά και την ένταση των βροχοπτώσεων. Τέλος η βλάστηση, ασκεί σημαντική επίδραση τόσο στη διάβρωση όσο και στην απορροή.

β) Ανθρωπογενείς παράγοντες πλημμυρογένεσης

Εκτός από τους αναφερθέντες φυσικούς παράγοντες πλημμυρογένεσης υπάρχουν επίσης ανθρωπογενείς παράγοντες, οι οποίοι θεωρούνται υπεύθυνοι για την πρόκληση σοβαρών πλημμυρών σε διάφορες περιοχές. Αυτοί είναι:

- 1) Η καταστροφή των δασών, με αποτέλεσμα τη διάβρωση του εδάφους και την αύξηση των απορροών.
- 2) Η εξασφάλιση του υδρογραφικού δικτύου μέσα σε μικρά και μεγάλα αστικά κέντρα οδηγεί σε μεγάλες καταστροφές και απώλειες ανθρώπινων ζωών.
- 3) Διακοπές στην ελεύθερη ροή του νερού εξαιτίας κατασκευής στενών γεφυρών, όπως και η ρίψη υλικών στις κοίτες των ρευμάτων.

Στην Εικόνα 2, φαίνεται ένα χαρακτηριστικό υδρογράφημα ενός αστικού ρέματος κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας. Διευκρινίζει ότι οι μέγιστες ροές των αστικοποιημένων ρεμάτων συναντώνται γρηγορότερα και είναι πολύ υψηλότερες από τα ρέματα στα οποία δεν έχει παρέμβει ο ανθρώπινος παράγοντας. Η υποχώρηση της ροής μετά από καταιγίδα είναι επίσης γρηγορότερη. Αυτή η αύξηση στην αποφόρτιση προκαλεί επίσης τη διάβρωση των πυθμένων των ρεμάτων λόγω των υψηλότερων ταχυτήτων ροής (Λυκοκανέλλος, 2003).



Εικόνα 2 : Αποτελέσματα της αστικοποίησης στον όγκο και το ποσό της απορροής

2.1.4 Επιπτώσεις των πλημμυρών

Παρά το γεγονός ότι η πλημμυρική επικινδυνότητα έχει γενικά αντιμετωπιστεί και μειωθεί στις πεδινές εκτάσεις, εντούτοις αυτή έχει αυξηθεί ιδιαίτερα εντός των ορίων των οικιστικών περιοχών ή πολύ κοντά σε αυτά. Οι επιπτώσεις των πλημμυρών διαχωρίζονται σε άμεσες και έμμεσες.

Οι άμεσες πιθανές συνέπειες προκαλούνται από το ίδιο το πλημμυρικό γεγονός και βάση της σοβαρότητάς τους κατατάσσονται ιεραρχικά ως ακολούθως:

- Θάνατοι, τραυματισμοί και εγκλωβισμοί πολιτών, στους πλημμυρισμένους εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους.
- Καταστροφές στα σπίτια, κτίρια, μέσα μεταφοράς, γέφυρες, οδικό δίκτυο και συστήματα επικοινωνίας, οι οποίες προκαλούνται από την αυξημένη ταχύτητα των υδάτων και των ιζημάτων που αυτά μεταφέρουν.
- Διάβρωση και απόθεση των ιζημάτων στις αγροτικές και αστικές περιοχές αντίστοιχα, με συνέπεια την απώλεια σημαντικού τμήματος του εδαφικού μανδύα και της επικείμενης βλάστησης.

Όσον αφορά στις έμμεσες συνέπειες των πλημμυρών, οι οποίες εμφανίζονται αμέσως μετά την εξασθένιση του πλημμυρικού γεγονότος, αυτές διακρίνονται σε:

- Μολύνσεις των ποταμών και ρεμάτων, οι οποίες κατά κύριο λόγο είναι μικρής διάρκειας και προκαλούνται από την παράσυρση νεκρών ζώων, την είσοδο απορριμμάτων στην ροή των υδάτων, κ.α.
- Πείνα και λοιμοί.
- Μόνιμη ή παροδική απομάκρυνση των κατοίκων από τις περιοχές που επλήγησαν από την πλημμύρα.
- Δημιουργία πυρκαγιών λόγω βραχυκυκλωμάτων στο δίκτυο ηλεκτροδότησης.
- Καταστροφή υγροτόπων και μείωση βιοποικιλότητας.

2.1.5 Αντιμετώπιση των πλημμυρών

Από άποψη τεχνικών έργων, η φιλοσοφία των λύσεων που είχε επικρατήσει πριν μερικές δεκαετίες και εφαρμόζεται από τους Έλληνες Πολιτικούς Μηχανικούς, βασίζεται στο σχεδιασμό τεχνικών έργων που είτε συγκρατούν τον πλημμυρικό όγκο των υδάτων μακριά από την πόλη (αντιπλημμυρικά φράγματα ανάντη) είτε απομακρύνουν τα πλημμυρικά νερά όσο το δυνατόν πιο γρήγορα και πάλι έξω από την πόλη (εκτροπές και διευθετήσεις χειμάρρων). Οι λύσεις αυτές εκτός του ότι είναι αντιοικονομικές, δε βρίσκονται προς την πλευρά της ασφαλείας, αφενός λόγω του μεγάλου όγκου των στερεομεταφορών, που προσχώνουν σταδιακά τα φράγματα και αφετέρου λόγω της μελλοντικής επέκτασης των πόλεων που ενσωματώνουν τους χείμαρρους και θα ανατρέπουν έτσι την επιλογή της εκτροπής.

Οι λύσεις που προτείνονται βασίζονται στη δυνατότητα απομείωσης των πλημμυρικών αιχμών στις φυσικές λεκάνες απορροής, με τις κατάλληλες ορεινές διευθετήσεις και την εκτόνωση των πλημμυρικών αιχμών σε ειδικά διαρρυθμισμένες ζώνες μέσα στην πόλη ή στην περιφέρεια των πόλεων (λεκάνες εκτόνωσης πλημμυρικών αιχμών). Οι λεκάνες αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν χώροι πρασίνου η αναψυχής και να είναι οικολογικά πάρκα στη θέση των χειμάρρων. Οποσδήποτε προσφέρουν πρόσθετη ασφάλεια σε περιπτώσεις εξαιρετικών πλημμυρών, εντάσσονται στον ιστό και τις λειτουργίες της πόλης και μπορεί να προγραμματισθούν κατάλληλα για να καλύψουν τις ανάγκες στην περίπτωση επέκτασης του πολεοδομικού σχεδίου.

2.2 Αστραπιαίες πλημμύρες (Flash Floods)

2.2.1 Ορισμός και βασικά χαρακτηριστικά των αστραπιαίων πλημμυρών

Ως αστραπιαία πλημμύρα ορίζεται η πλημμύρα η οποία συμβαίνει πολύ ξαφνικά, είναι συνήθως δύσκολο να προβλεφθεί, ο χρόνος μέχρι το σημείο αιχμής είναι πολύ σύντομος (συνήθως λίγες μόνο ώρες) και η απορροή γι' αυτόν το χρόνο είναι σημαντική.

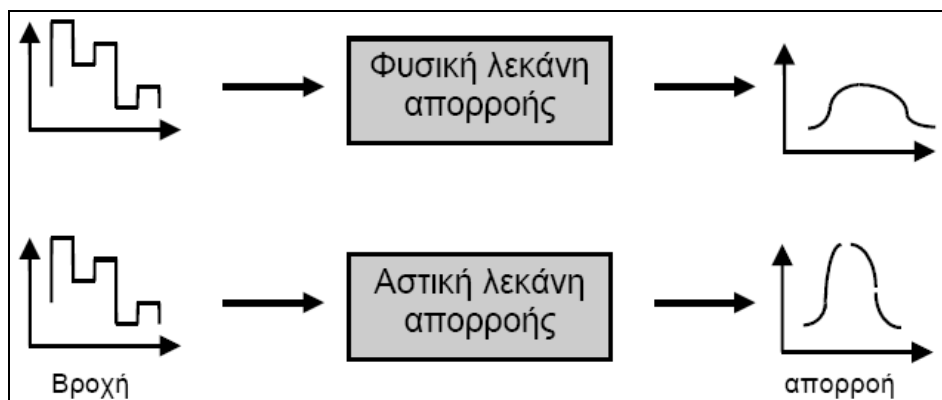
Οι αστραπιαίες πλημμύρες γενικά δημιουργούνται από βροχοπτώσεις μεγάλης έντασης σε σύντομο χρονικό διάστημα που συνήθως συμβαίνουν σε λεκάνες απορροής μετρίου μεγέθους ή λεκάνες απορροής με μικρούς υδροφορείς. Είναι φανερό ότι η φυσιογραφία της λεκάνης απορροής και ειδικότερα οι κλίσεις και ο τύπος βλάστησης έχουν μεγάλη επίδραση στην ικανότητά της να προκαλεί τέτοιου είδους πλημμύρες. Από την πρακτική πλευρά της διαχείρισης του νερού και της αντιπλημμυρικής προστασίας, οι πλημμύρες που προκαλούνται από την κατάρρευση φυσικών ή τεχνητών φραγμάτων μπορούν επίσης να θεωρηθούν ως αστραπιαίες πλημμύρες αν και η δημιουργία τους είναι πολύ διαφορετική.

Οι αστραπιαίες πλημμύρες μπορούν να είναι εξαιρετικά επικίνδυνες. Τέτοιες πλημμύρες γίνονται ταχύτατα επειδή οι βροχοπτώσεις είναι τόσο δυνατές, που το έδαφος είναι ανίκανο να απορροφήσει το νερό, με συνέπεια να έχουμε υψηλή επιφανειακή απορροή. Τα γεγονότα είναι γενικά τοπικά έντονα και οι ζημιές είναι συνήθως περιορισμένες σε μια μικρή περιοχή. Οι μεγάλοι ποταμοί παραμένουν απρόσβλητοι, ενώ τα μικρότερα ποτάμια ή κανάλια μπορούν να πλημμυρίσουν, ακόμη και σε ένα έτος ξηρασίας.



Εικόνα 3 : Flash Flood στη Γαλλία (Nîmes) στις 3 Οκτωβρίου 1988

Μία λεκάνη απορροής γενικά συμπεριφέρεται σαν ένα φίλτρο μεταξύ της βροχόπτωσης και της απορροής. Τα χαρακτηριστικά αυτού του φίλτρου εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά της λεκάνης, όπως είναι το μέγεθος, η κλίση, το έδαφος και ο βαθμός της ανθρώπινης δραστηριότητας. Μια αστικοποιημένη λεκάνη απορροής μπορεί να επιτρέψει τη διόδο σε σχετικά υψηλότερες συχνότητες ενώ μια φυσική λεκάνη δεν μπορεί. Μια πλημμύρα που περιέχει υψηλές συχνότητες μπορεί να οριστεί ως αστραπιαία πλημμύρα (Βαφειάδης).



Εικόνα 4 : Λειτουργία φίλτρου της λεκάνης απορροής

Ενώ έχουν γίνει πολλές επιστημονικές έρευνες και μελέτες για τις πλημμύρες γενικότερα, τα επεισόδια των αστραπιαίων πλημμυρών έχουν περάσει σχεδόν απαρατήρητα στον Ελλαδικό χώρο. Το γεγονός αυτό είναι αξιοπερίεργο γιατί η κατηγορία των πλημμυρών που πλήττει τα τελευταία χρόνια τη χώρα μας με καταστρεπτικές συνέπειες είναι οι αστραπιαίες πλημμύρες. Έτσι, για τη μελέτη του φαινομένου και τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών του είναι πολλές φορές αναγκαία η προσφυγή σε έρευνες που έχουν γίνει από άλλες χώρες όπως στις Η.Π.Α. ή τη Δυτική Ευρώπη.

Η μικρή διάρκεια της βροχόπτωσης που δημιουργεί τις πλημμύρες σε μικρές λεκάνες απορροής και οι κίνδυνοι που προκαλούνται από υψηλές ταχύτητες υδάτων και φερτών υλικών, αποκλείουν την πιθανότητα απόκτησης άμεσων μετρήσεων των αστραπιαίων πλημμυρών. Όλες οι τιμές των αιχμών απορροής για καταστροφικές αστραπιαίες πλημμύρες αποκτώνται από έμμεσες μετρήσεις της απορροής χρησιμοποιώντας εξισώσεις ενέργειας και συνέχειας που βασίζονται σε μεταπλημμυρικές έρευνες στην περιοχή.

2.2.2 Μέτρα για την αντιμετώπιση των αστραπιαίων πλημμυρών

Η πλημμυρογένεση στις αστικές και περιαστικές περιοχές της Ελλάδας, η οποία και επιτείνεται συνεχώς, είναι φανερό ότι προκαλείται από έντονες βροχοπτώσεις σε συνδυασμό με την αστικοποίηση. Καθώς οι παροχές των ομβρίων υδάτων των περιοχών αυτών αθροίζονται, φθάνουν σε μεγάλες τιμές κατά τη διάρκεια μίας πλημμύρας και η αντιπλημμυρική προστασία επιτυγχάνεται με μεγάλη δυσκολία.

Στο γεγονός αυτό παίζει σημαντικό ρόλο και ότι σημαντικά αποχετευτικά έργα κατασκευάστηκαν πριν από αρκετές δεκαετίες με τα δεδομένα εκείνης της περιόδου. Τα δεδομένα που μεταβλήθηκαν είναι: ο συντελεστής απορροής, η στερεοπαροχή από τις ανθρωπογενείς παρεμβάσεις και η φυτοκαλυπτόμενη έκταση. Επίσης δεν είναι γνωστή για το σχεδιασμό των έργων η τιμή έντασης της βροχής που έχει θεωρηθεί σαν βροχή μελέτης. Τα στοιχεία που συχνά οδηγούν στην κατάλληλη επιλογή του τρόπου αντιπλημμυρικής προστασίας είναι η τοπογραφία, η υδρολογία και η μορφολογία της λεκάνης απορροής.

Αποκλείοντας λύσεις που συμπεριλαμβάνουν συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, που καθίστανται άχρηστα λόγω των εξαιρετικά σύντομων χρόνων, οι λύσεις για προστασία από τις αστραπιαίες πλημμύρες είναι αντίστοιχες με τις γενικώς αποδεκτές λύσεις για αντιπλημμυρική προστασία, με έμφαση στις λύσεις αποτροπής της δημιουργίας παροχών αιχμής, με τοπικά έργα στη λεκάνη απορροής ανάντη. Όσον αφορά τη σκοπιμότητα των διαφόρων αντιπλημμυρικών έργων μπορούν να γίνουν οι ακόλουθες επισημάνσεις:

- ✓ Η άμεση προστασία των απειλούμενων περιοχών με αναχώματα είναι μία καλή λύση ανάγκης.
- ✓ Η αύξηση της αποθηκευτικής ικανότητας και παροχευτικότητας της πλημμυρικής διατομής με μετατόπιση των αναχωμάτων, δεν είναι συνήθως δυνατή εξαιτίας ανεπάρκειας χώρου και αντικρουόμενων συμφερόντων.
- ✓ Η παροδική αποθήκευση της πλημμυρικής παροχής σε ταμιευτήρες, εκ πρώτης όψεως φαίνεται πολύ ελκυστική. Στην πράξη όμως, θα πρέπει να πληρούνται τόσες πολλές συνθήκες ώστε σε λίγες μόνο περιπτώσεις ενδείκνυται.
- ✓ Οι λύσεις που βασίζονται στην αρχή της αύξησης της παροχευτικότητας της υπάρχουσας διατομής του ρέματος με διαμόρφωση και επένδυσή της είναι συχνά εφικτές.

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Οι σύγχρονες λύσεις που προτείνονται διεθνώς βασίζονται:

- Στην αποτροπή δημιουργίας ή την απομείωση των πλημμυρικών αιχμών στις φυσικές λεκάνες απορροής με έργα υδρονομίας και μικρά έργα πολιτικού μηχανικού.
- Στην αποτροπή δημιουργίας φερτών υλικών, τη μείωση της στερεοπαροχής και τη συγκράτηση των επιπλέοντων υλικών με πολλά μικρά έργα.
- Στη δυνατότητα εκτόνωσης των πλημμυρικών αιχμών σε ειδικά διαρρυθμισμένες ζώνες μέσα στην πόλη ή στην περιφέρεια των πόλεων.

2.3 Πλημμύρες στον ελληνικό χώρο

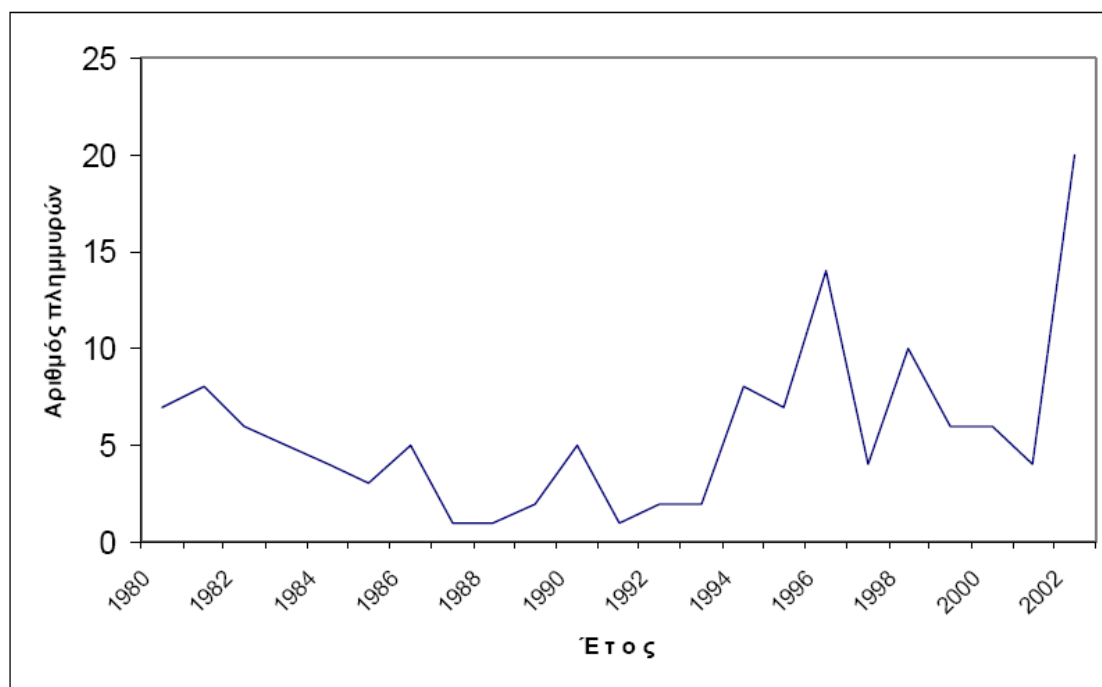
Στην Ελλάδα οι μεγάλες πλημμύρες είναι σπάνιες. Πολύ συχνά όμως παρουσιάζονται τοπικές πλημμύρες που προκαλούν μεγάλες καταστροφές, σε περιορισμένες περιοχές και προέρχονται από μικρές λεκάνες απορροής ή τοπικά υδατορέματα, συνήθως χείμαρρους. Οι τοπικές πλημμύρες προβάλλονται από τα μέσα μαζικής ενημέρωσης ως εξαιρετικά καταστροφικές, όχι μόνο λόγω της συνηθισμένης υπερδιόγκωσης των γεγονότων από τους δημοσιογράφους, αλλά και διότι επισύρουν τη μομφή της κοινής γνώμης κατά των μηχανικών και της πολιτείας.

Οι ζημιές που προκαλούνται από τις πλημμύρες αναφέρονται σε σπίτια και καταστήματα, δρόμους και τεχνικά έργα, δίκτυα τηλεπικοινωνιών και ηλεκτρικού, επαγγελματικά και επιβατικά αυτοκίνητα. Τέλος, οι πλέον σημαντικές είναι οι απώλειες ανθρώπινων ζωών.

Δυστυχώς, στην Ελλάδα δεν υπάρχει ένα συστηματικό αρχείο για την καταγραφή των πλημμυρών και των καταστροφών που προκάλεσαν κατά το παρελθόν, ούτε ενιαίος φορέας, ο οποίος να ασχολείται αποκλειστικά με το θέμα. Για την εκτίμηση του μεγέθους και της έκτασης της πλημμυρογένεσης χρησιμοποιείται το σύνολο των πλημμυρικών γεγονότων που έχουν σημειωθεί στον ελλαδικό χώρο από το έτος 1980 μέχρι το 2002. Η αξιολόγησή τους ως σημαντικά έγινε (από το Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων του τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης) με βάση το ύψος της ζημιάς που σημειώθηκε.

Έχουν σημειωθεί και καταγραφεί 150 έντονα πλημμυρικά φαινόμενα. Σε 22 περιπτώσεις παρατηρήθηκαν ανθρώπινα θύματα, 36 φορές πλημμύρισαν μεγάλοι ποταμοί (Σπερχειός, Έβρος, Πηνειός κλπ.), ενώ οι περισσότερες περιπτώσεις αφορούν τη δράση χειμαρρικών ρεμάτων των οποίων οι κοίτες διέρχονται από αστικές περιοχές. Στην Εικόνα 5 δίνεται η πορεία του αριθμού των έντονων πλημμυρικών συμβάντων της τελευταίας 20ετίας η οποία παρουσιάζει αυξητική τάση (Στάθης, 2004).

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**



Εικόνα 5 : Έντονα πλημμυρικά γεγονότα περιόδου 1980-2002 στην Ελλάδα.

Στον Πίνακα 3 φαίνεται το ύψος της αποζημίωσης που δόθηκε στους πληγέντες από πλημμύρες. Οι ζημιές οπωσδήποτε ήταν πολύ μεγαλύτερες, επειδή η αποζημίωση καλύπτει μόνο μέρος της συνολικής ζημιάς. Από τη μελέτη του πίνακα προκύπτει ότι οι πλημμύρες του 1994 ήταν οι πλέον καταστροφικές (Στάθης, 2004).

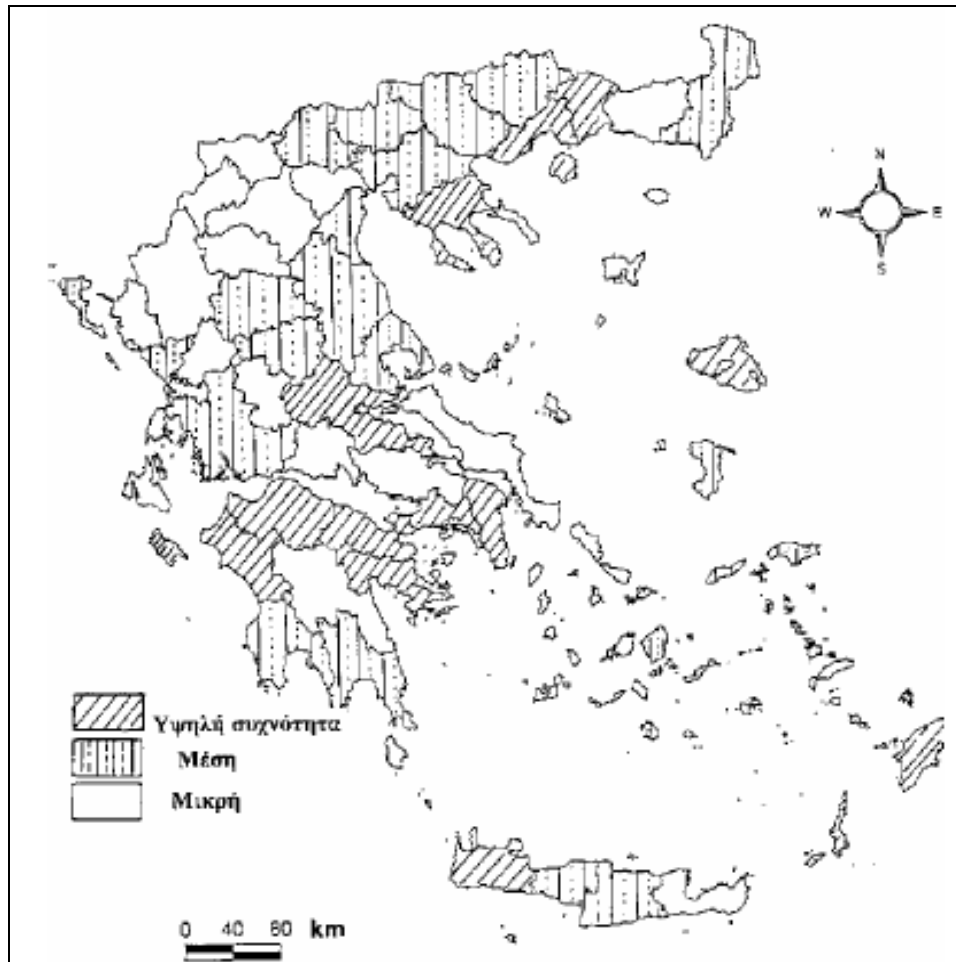
Έτος	Αριθμός πλημμυρών	Ύψος αποζημιώσεων	Ανθρώπινες απώλειες
1994	8	1227	16
1995	7	-	-
1996	14	57	2
1997	4	20	-
1998	10	409	5
1999	6	909	-
2000	6	410	2
2001	4	100	4
2002	10	-	3

Πίνακας 3: Αριθμός πλημμυρών, ανθρώπινες απώλειες και ύψος χρηματικών αποζημιώσεων σε πλημμυροπαθείς στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια.

Με βάση τον αριθμό των σημαντικών πλημμυρικών γεγονότων σχεδιάστηκε ο χάρτης συχνότητας εμφάνισης πλημμυρών στον ελληνικό χώρο και φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Οι βαθμίδες συχνότητας αναφέρονται στα εξής όρια: Μικρή

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

συχνότητα αφορά περιοχές στις οποίες δεν εκδηλώθηκε πλημμύρα ή είχαμε εμφάνιση 1-2 πλημμυρικών επεισοδίων, στην περίοδο που ερευνάται, η μέση συχνότητα 3-7 πλημμύρες και η υψηλή συχνότητα περισσότερες από οκτώ (8) φορές. Η συχνότητα παράλληλα εκφράζει την πλημμυρική επικινδυνότητα της περιοχής (Στάθης, 2004).

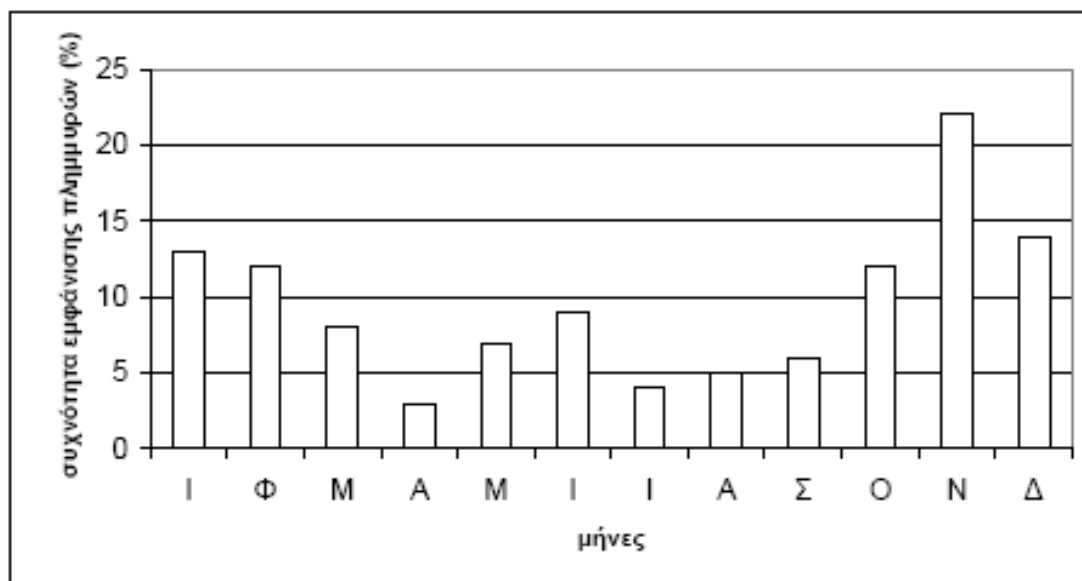


Εικόνα 6 : Γεωγραφική κατανομή της πλημμυρικής επικινδυνότητας στην Ελλάδα

➤ Χρονική εμφάνιση των πλημμυρών

Σε γενικές γραμμές τα έντονα πλημμυρικά φαινόμενα παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της υγρής ή βροχερής περιόδου του έτους. Οι μήνες Νοέμβριος και Δεκέμβριος παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη συχνότητα πλημμυρικών συμβάντων (Εικόνα 7). Επιπλέον, ο μήνας Νοέμβριος είναι ο μήνας που παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές έντασης βροχής 24ώρου (Στάθης, 2004).

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**



Εικόνα 7 : Ετήσια κατανομή της συχνότητας των πλημμυρών στην Ελλάδα

Στον Πίνακα 4 δίνονται τιμές μεγίστων βροχών 24ώρου που έχουν παρατηρηθεί στη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών στην Ελλάδα και έχουν προκαλέσει μεγάλες πλημμύρες. Στον ίδιο πίνακα φαίνεται το μέσο ετήσιο ύψος βροχής καθώς και η μέση τιμή του μήνα που συνέβη η πλημμύρα (Στάθης, 2004).

Τοποθεσία σταθμού	Ημερομηνία	Ένταση βροχής		Μέσο Μηνιαίο Ύψος βροχής	Ετήσιο ύψος βροχής
		Ωριαία	24ώρου		
Κόρινθος	12-11-97	31,3	290	70,5	459,7
Αθήνα	6-11-01	-	82	54,9	358,0
Λαμία	23-11-98	23,6	141	105,0	672,6
Λάρισα	28-11-98	-	167	51,6	465,2
Χαλκιδική	8-9/10/2000	37,5	236	62,0	586,7
Λακωνία	11/90	-	222	112,6	816,7
Αθήνα	21-22/10/94	42,7	140	54,9	358,0
Κάσος	22-23/10/94	-	250	77,5	788,0
Καρδίτσα	22-23/10/94	-	230	79,2	632,0
Σάμος	28/11/2001	-	128	112,4	918,4
Κάσος	28/12/2002	-	170	77,5	788,0

Πίνακας 4: Έντονες βροχοπτώσεις 20ετίας στην Ελλάδα με έντονη πλημμυρογένεση

Από τον Πίνακα 4, προκύπτει ότι το ύψος βροχής 24ώρου ξεπερνάει την κλιματική τιμή του μήνα και αρκετές φορές ξεπερνάει και το μισό ετήσιο βροχομετρικό ύψος της περιοχής. Η εκτιμηθείσα περίοδος επανεμφάνισης κάποιων γεγονότων είναι μεγαλύτερη των 1000 ετών και υπερβαίνει κατά πολύ αυτές που χρησιμοποιούνται στους υδρολογικούς σχεδιασμούς.

➤ Συμπεράσματα

Από τα προηγούμενα μπορεί να ειπωθεί ότι το φυσικό δυναμικό πλημμυρογένεσης που διαμορφώνεται στη χώρα μας ευνοεί την εκδήλωση πλημμυρών. Η κατάσταση αυτή σε συνδυασμό με τις έντονες ανθρωπογενείς επιδράσεις στις λεκάνες απορροής και στις κοίτες των χειμαρρικών ρεμάτων, που διαρρέουν αστικά και τουριστικά κέντρα, επιτείνουν τα αποτελέσματα των πλημμυρών. Το πλημμυρικό πρόβλημα στην Ελλάδα είναι ιδιαίτερα οξύ στις πεδινές περιοχές ρεμάτων, τα οποία διασχίζουν αστικές περιοχές με έντονη οικιστική ανάπτυξη. Έτσι, περιοχές οι οποίες τις προηγούμενες δεκαετίες ήταν δάση ή αγροί μετατρέπονται σε αστικές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερων απορροών σε σχέση με την προηγούμενη κατάσταση (όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4). Το τελικό αποτέλεσμα είναι οι κοίτες των ρεμάτων να μην επαρκούν για την παροχέτευση των αυξημένων παροχών και να πλημμυρίζουν περιοχές με έντονη οικονομική σημασία.

Τα έντονα πλημμυρικά προβλήματα δημιουργούνται από ραγδαίες βροχοπτώσεις. Στις περιπτώσεις αυτές το ύψος βροχής που δέχεται κάποια περιοχή σε διάστημα ενός 24ώρου ξεπερνάει το μισό της κανονικής κλιματικής τιμής. Οι ακραίες αυτές τιμές θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τη διαστασιολόγηση στην κατασκευή των αντιπλημμυρικών έργων.

Σε περιοχές με μεγάλη πλημμυρική επικινδυνότητα (Εικόνα 6) και εκεί που απειλούνται ανθρώπινες ζωές, απαιτείται να ληφθούν τα απαραίτητα μέτρα για την αντιμετώπιση ή τον περιορισμό του προβλήματος. Τα μέτρα αυτά πρέπει να περιλαμβάνουν όλα τα έργα και τις κατασκευές, για την τροποποίηση της πλημμυρικής παροχής με τη μείωση μιας ή περισσότερων υδραυλικών παραμέτρων (όπως της αιχμής της πλημμύρας, το χρόνο ανόδου και τη διάρκεια). Επίσης, κάθε αλλαγή χρήσης γης στο χώρο των λεκανών ή στις επεκτάσεις των πόλεων, πρέπει να προβλέπει την κατασκευή των αναγκαίων αντιπλημμυρικών έργων για τις νέες υδρολογικές συνθήκες των λεκανών απορροής (Στάθης, 2004).

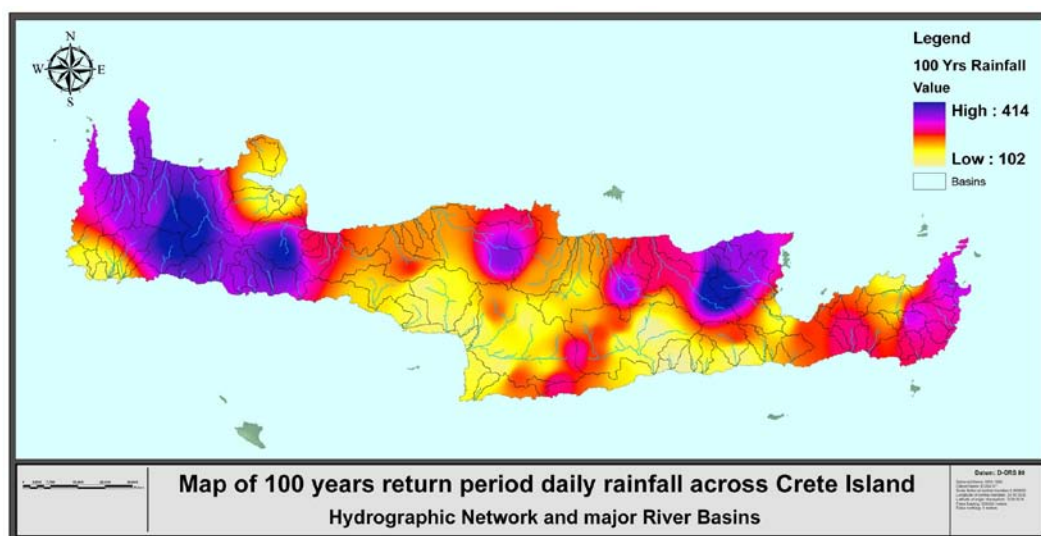
2.4 Πλημμύρες στην Κρήτη

Οι πλημμύρες στο νησί της Κρήτης, είναι ένα σχετικά συχνό φαινόμενο, το οποίο γίνεται όλο και εντονότερο τα τελευταία χρόνια. Μία από τις κύριες αιτίες δημιουργίας πλημμυρών, είναι η έντονη βροχόπτωση. Για τη μελέτη των πλημμυρικών γεγονότων, δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα στοιχεία, καθώς δεν υπάρχει αρμόδιος φορέας για τη διεξαγωγή μετρήσεων.

Με στόχο τη μελέτη της κατανομής της έντονης βροχόπτωσης στο νησί της Κρήτης, δημιουργήθηκε ένας χάρτης ημερήσιας βροχόπτωσης με περίοδο επαναφοράς εκατό ετών από στοιχεία βροχομετρικών σταθμών εγκατεστημένων πάνω στο νησί.

Ο χάρτης παράχθηκε χρησιμοποιώντας μετρήσεις ημερήσιας βροχόπτωσης από 52 σταθμούς πάνω στο νησί της Κρήτης. Το δίκτυο βροχομετρικών σταθμών είναι πυκνότερο στο μέσο του νησιού (Ν. Ηρακλείου). Οι χρονοσειρές βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκαν έχουν στοιχεία έως το υδρολογικό έτος 2005-2006, με ένα εύρος 25 – 30 ετών, ανάλογα το σταθμό. Οι τιμές της βροχόπτωσης με περίοδο επαναφοράς 100 ετών υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας την κατανομή LOG-PEARSON III. Η μέθοδος παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκε ήταν η IDW (Inverse Distance Weighted) μέσω του λογισμικού ArcGIS 9.1.

Ο χάρτης που προέκυψε έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων, παρουσιάζεται στην Εικόνα 8:



Εικόνα 8 : Χάρτης ημερήσιας βροχόπτωσης εκατονταετίας στο νησί της Κρήτης

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Από την Εικόνα 8 προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- α) Ο νομός Χανίων εμφανίζει τη μεγαλύτερη επικινδυνότητα όσο αφορά τη δημιουργία πλημμυρικών γεγονότων εξαιτίας ισχυρής βροχόπτωσης, σε αντίθεση με τη νότια Κρήτη γενικότερα.
- β) Σε περιοχές γύρω από όρη υπάρχει γενικά υψηλότερη πιθανότητα να εμφανιστεί ημερήσια βροχόπτωση με περίοδο επαναφοράς μεγαλύτερη των εκατό ετών.
- γ) Η λεκάνη της Αλμυρίδας, παρουσιάζει σχετικά χαμηλή επικινδυνότητα όσο αφορά γεγονότα βροχόπτωσης με περίοδο επαναφοράς εκατό ετών. Αυτό όμως δεν αποκλείει την εμφάνιση ενός flash flood, όπως αυτή που συνέβη στις 17/10/2006.

Κεφάλαιο 3. Υδρολογικά – Υδραυλικά μοντέλα – HEC

3.1 Γενικά

Η επεξήγηση των φαινομένων από τους επιστήμονες γίνεται με τη χρήση των μοντέλων. Ένα μοντέλο μπορεί να οριστεί ως μία εξιδανικευμένη αναπαράσταση ενός μέρους της πραγματικότητας η οποία είναι δομημένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιαστούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της.

Οι κατηγορίες των μοντέλων σύμφωνα με το βαθμό αφαίρεσης της πραγματικότητας που προσπαθούν να αναπαραστήσουν είναι:

- 1) Τα **εικονικά ή φυσικά** μοντέλα, τα οποία χαρακτηρίζονται από τον μικρότερο βαθμό αφαίρεσης της πραγματικότητας σε σχέση με όλες τις υπόλοιπες κατηγορίες και το μόνο που αλλάζει είναι η κλίμακα των χωρικών προτύπων που αναπαριστώνται (μακέτες).
- 2) Τα **αναλογικά** μοντέλα, τα οποία είναι περισσότερο αφηρημένα διότι εκτός από το μέγεθος μετασχηματίζουν και άλλες ιδιότητες του προτύπου (τα αεροδρόμια στους χάρτες απεικονίζονται ως αεροπλάνα).
- 3) Τα **συμβολικά ή μαθηματικά** μοντέλα όπου οι ιδιότητες της πραγματικότητας μετασχηματίζονται σε αριθμούς, εξισώσεις και σχέσεις. Η αφαίρεση αυτών των μοντέλων είναι και η μεγαλύτερη.

Όσο αφορά στην περαιτέρω κατάταξη των μαθηματικών μοντέλων με βάση άλλα βασικά κριτήρια που αυτά ικανοποιούν (όπως την χρονική διάρκεια του γεγονότος, την τυχαιότητα που εμπεριέχουν, κλπ), ταξινομούνται στις κατηγορίες του Πίνακα 5 που ακολουθεί (Κουτσογιαννάκη, Κουτρούλης, 2004):

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Κατηγορία μοντέλου	Περιγραφή μοντέλου
Συνεχή ή ενός συμβάντος μοντέλα	Η διαφοροποίηση έγκειται στο γεγονός ότι τα μοντέλα ενός γεγονότος αναπαριστούν μία καταιγίδα, ενώ τα συνεχή μοντέλα προσομοιώνουν γεγονότα μεγαλύτερων χρονικών περιόδων, προβλέποντας την απόκριση της λεκάνης και ανάμεσα στα διάφορα επεισόδια βροχής.
Κατανεμημένα ή μη κατανεμημένα μοντέλα	Τα μη κατανεμημένα μοντέλα διαχειρίζονται τις χωρικές διαφοροποιήσεις των χαρακτηριστικών και διαδικασιών αναλυτικά, ενώ τα κατανεμημένα χρησιμοποιούν τις μέσες τιμές τους.
Εμπειρικά ή εννοιολογικά μοντέλα	Τα εννοιολογικά μοντέλα βασίζονται στην γνώση των σχετικών φυσικών, χημικών και βιολογικών διαδικασιών που διέπουν τα στοιχεία εισόδου και παράγουν τα τελικά αποτελέσματα, ενώ τα εμπειρικά μοντέλα βασίζονται στην παρατήρηση των δεδομένων εισόδου και εξόδου, χωρίς να αναπαριστούν αναλυτικά τη διαδικασία της μετατροπής τους.
Προσδιοριστικά ή στοχαστικά μοντέλα	Τα προσδιοριστικά μοντέλα χρησιμοποιούν παραμέτρους και διαδικασίες που δεν διέπονται από τυχαία διακύμανση και οι τιμές τους είναι γνωστές. Αντιθέτως τα στοχαστικά μοντέλα περιγράφουν την τυχαία διακύμανση των δεδομένων και την ενσωματώνουν στην πρόβλεψη των αποτελεσμάτων.
Μετρούμενων παραμέτρων ή εκτιμώμενων παραμέτρων μοντέλα	Τα μετρούμενων παραμέτρων μοντέλα χρησιμοποιούν παραμέτρους οι οποίες προσδιορίζονται από τις ιδιότητες του συστήματος που μελετάται, είτε με απευθείας μετρήσεις είτε έμμεσα με μεθόδους που βασίζονται στις μετρήσεις. Τα εκτιμώμενων παραμέτρων μοντέλα περιλαμβάνουν παραμέτρους που δεν μπορούν να προσδιοριστούν οι τιμές τους. Προκειμένου να εκτιμηθούν οι τιμές αυτές πραγματοποιείται προσαρμογή του μοντέλου σε πραγματικά δεδομένα εισόδου και εξόδου.

Πίνακας 5: Κατάταξη μαθηματικών μοντέλων

Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών. Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.

Για τη μελέτη και την προσομοίωση πλημμυρικών γεγονότων, (κυρίως γεγονότων που αφορούν αστραπιαίες πλημμύρες), το συνηθέστερο εργαλείο στα χέρια ενός μηχανικού ή μελετητή είναι το λογισμικό πακέτο HEC του Ειδικού Σώματος Μηχανικών του Στρατού που υπάγεται στο Ινστιτούτο Υδατικών Πόρων των ΗΠΑ. Τα Υδρολογικά Μοντέλα προσομοίωσης HEC δημιουργήθηκαν και συνεχίζουν να βελτιώνονται και να ανανεώνονται από τους Μηχανικούς της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Στρατού (United States Army Corps of Engineers).

Τα μοντέλα HEC-GeoHMS και HEC-GeoRAS αποτελούν επεκτάσεις του λογισμικού ArcView, ενώ τα HEC-HMS και HEC-RAS είναι αυτόνομα λογισμικά. Στη συνέχεια ακολουθούν λεπτομερέστερες περιγραφές των δεδομένων που χρησιμοποιούν, των λειτουργιών που πραγματοποιούν και των αποτελεσμάτων που εξάγουν.

➤ HEC (Hydrologic Engineering Center)

Οι Μηχανικοί της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Στρατού (Corps) ειδικεύονται σε θέματα Επιφανειακής και Υπόγειας Υδρολογίας, Υδραυλικής Ποταμών, Μεταφοράς Φερτών, Στατιστικής Υδρολογίας, Ανάλυσης Διακινδύνευσης, Ανάλυσης Συστημάτων Ταμιευτήρων, Υδρολογικού Σχεδιασμού, Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και άλλων συναφών Τεχνικών Αντικειμένων. Το HEC υποστηρίζει υπηρεσίες και εργαστήρια παρέχοντας τεχνικές μεθόδους και επιστημονική καθοδήγηση σε θέματα Υδατικών Πόρων. Επίσης, προσφέρει στην έρευνα και την ανάπτυξη και παρέχει τεχνική βοήθεια σε σημαντικά έργα. Ο βασικός στόχος του HEC είναι η αύξηση της τεχνικής ικανότητας των μηχανικών στη γενικότερη διαχείριση των υδατικών πόρων.

Κάτι το οποίο είναι πολύ σημαντικό, είναι ότι τα προϊόντα των εργασιών και τα λογισμικά πακέτα του HEC είναι διαθέσιμα στο κοινό μέσω της κύριας ιστοσελίδας (<http://www.hec.usace.army.mil/>).

3.2 HEC-GeoHMS

Το HEC-GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modelling System) αποτελεί επέκταση του λογισμικού ArcView. Χρησιμοποιεί το ArcView και το Spatial Analyst προκειμένου να δημιουργήσει έναν αριθμό υδρολογικών παραμέτρων. Αναλύοντας το ψηφιακό μοντέλο μορφολογίας εδάφους, μετατρέπει τις οδούς αποστράγγισης και τα όρια των υδρολογικών λεκανών και υπολεκανών σε μία μορφή υδρολογικών δεδομένων, τα οποία αντιπροσωπεύουν την ανταπόκριση του υδροκρίτη στη βροχόπτωση. Εκτός από τα δομικά υδρολογικά δεδομένα, υπάρχουν δυνατότητες εξαγωγής δεδομένων με μορφή κατάλληλη (grid based data) ώστε να χρησιμοποιηθούν από το λογισμικό HEC-HMS, σαν απευθείας στοιχεία εισόδου.

Πιο συγκεκριμένα, το πρόγραμμα δημιουργεί ένα χάρτη υποβάθρου (background map file), ένα «άμορφο» υδρολογικό μοντέλο (lumped basin model), ένα αρχείο παραμέτρων με τη μορφή στοιχείων (grid-cell parameter file) και ένα κατανεμημένο υδρολογικό μοντέλο (distributed basin model). Ο χάρτης υποβάθρου περιλαμβάνει τα επιμέρους υδρολογικά στοιχεία όπως την υδρογραφική παράταξη και τα όρια των υπολεκανών. Το άμορφο υδρολογικό μοντέλο περιγράφει τα υδρολογικά στοιχεία και την αλληλοσύνδεσή τους προκειμένου να απεικονίσει την κίνηση του νερού στην υδρολογική λεκάνη.

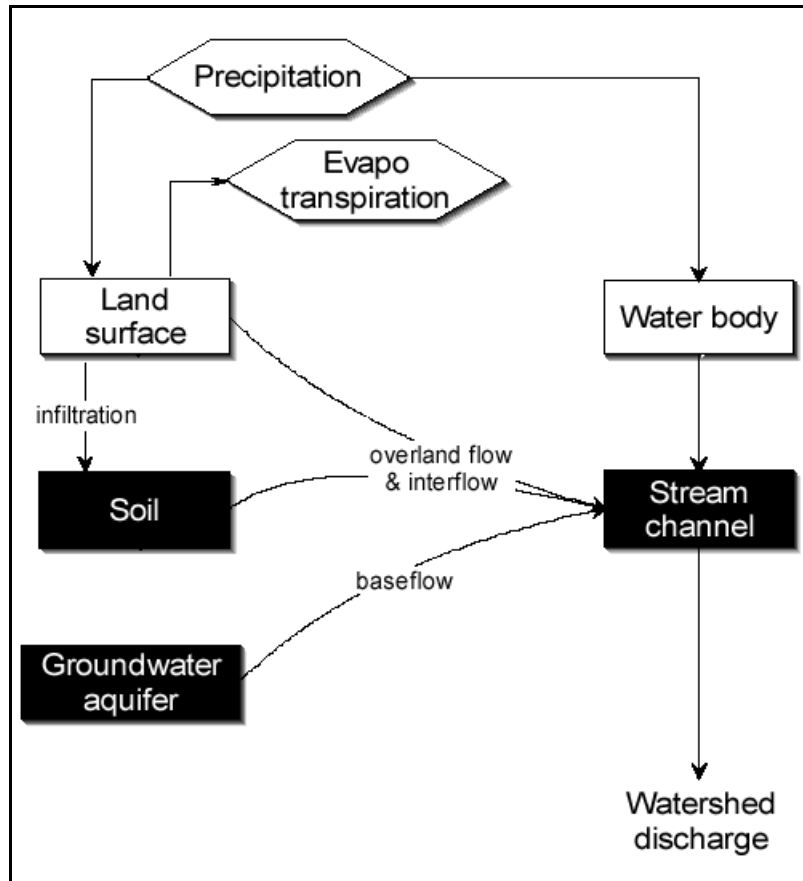
Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το GeoHMS, επισκεφτείτε την ιστοσελίδα: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/index.html> .

3.3 HEC-HMS

Το σύστημα υδρολογικής προσομοίωσης HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) σχεδιάστηκε για την προσομοίωση της διαδικασίας βροχόπτωσης – απορροής δενδριτικών υδρολογικών συστημάτων. Πρόκειται για ένα ευέλικτο πρόγραμμα το οποίο είναι εφαρμόσιμο σε μια ευρεία σειρά γεωγραφικών περιοχών για την επίλυση της ευρύτερης πιθανής σειράς υδρολογικών προβλημάτων. Είναι σε θέση να εφαρμοσθεί σε προβλήματα τροφοδοσίας από μεγάλα υδρογραφικά συστήματα, στην υδρολογία των πλημμυρών, ακόμα και σε μικρή αστική ή φυσική απορροή του υδροκρίτη. Τα υδρογραφήματα που εξάγονται από το πρόγραμμα χρησιμοποιούνται άμεσα ή από κοινού με άλλο λογισμικό για μελέτες διαθεσιμότητας υδάτων, αστικής απορροής, πρόβλεψης πιθανών μελλοντικών απορροών, μελλοντικών επιπτώσεων αστικοποίησης, σχεδιασμού αγωγών υπερχείλισης δεξαμενών, ελάττωσης πλημμυρικών επιπτώσεων, την διαχείριση των πλημμυρικών κοιτών, και των πλημμυρικών περιοχών με τη βοήθεια ολοκληρωμένων αντιπλημμυρικών συστημάτων.

Το πρόγραμμα χαρακτηρίζεται από ένα εντελώς ενσωματωμένο περιβάλλον εργασίας συμπεριλαμβανομένης μιας βάσης δεδομένων, βοηθήματα εισόδου στοιχείων, υπολογιστική μηχανή, και εργαλεία απεικόνισης αποτελεσμάτων. Μια κεντρική επιφάνεια εργασίας επιτρέπει στο χρήστη την μετακίνηση μεταξύ των διαφορετικών μερών του προγράμματος.

Στην Εικόνα 9, αναπαριστάται ένα τυπικό διάγραμμα ροής της διεργασίας βροχόπτωσης – απορροής, πάνω στο οποίο βασίζεται το πρόγραμμα (Κουτσογιαννάκη, Κουτρούλης, 2004):



Εικόνα 9 : Τυπικό διάγραμμα ροής Βροχόπτωσης – Απορροής στο HEC – HMS

Συνοπτικά, η χρήση του προγράμματος HEC – HMS μπορεί να εξυπηρετήσει τις παρακάτω κατηγορίες μελετών:

- Οργάνωσης και εγκατάστασης αντιπλημμυρικών έργων.
- Αξιολόγησης υφιστάμενων αντιπλημμυρικών έργων και έργων ελεγχόμενης απορροής.
- Προετοιμασίας και ανταπόκρισης σε πλημμυρικά γεγονότα.
- Διαχείρισης δραστηριοτήτων σε πλημμυρικές περιοχές.
- Αποκατάστασης περιβάλλοντος.

Η εφαρμογή του λογισμικού HEC-HMS διαιρεί το σύνολο των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα στην υδρολογική λεκάνη σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. Τις απώλειες λόγω διήθησης (infiltration),
2. Την επιφανειακή μεταφορά (απορροή) των υδάτων και
3. Τη ροή των υδάτων εντός του εδάφους, η οποία όμως καταλήγει ξανά στο υδρογραφικό δίκτυο και **όχι** στον υδροφορέα (υπεδάφια απορροή).

➤ Στάδια Μοντελοποίησης

Τα βασικά βήματα τα οποία ακολουθούνται κατά τη μοντελοποίηση ενός γεγονότος με τη χρήση του HEC-HMS, είναι τα παρακάτω:

- 1) **Επεξεργασία Δεδομένων Εισόδου** (χαρτών, κλιματικών χρονοσειρών κ.λ.π.).
- 2) **Σχηματοποίηση Λεκάνης Απορροής (watershed delineation)** στο HEC-GeoHMS.
- 3) **Συμπλήρωση Παραμέτρων Αρχείων Προγράμματος (parameterization)** στο HEC-HMS.
- 4) **Εκτέλεση (run)**.
- 5) **Ρύθμιση (calibration)**. Μεταβολή παραμέτρων του μοντέλου με σκοπό τη σύγκλιση προσομοιωμένων και παρατηρημένων πλημμυρογραφημάτων.
- 6) **Επαλήθευση (validation)**. Σύγκριση ενός ανεξάρτητου σετ πλημμυρογραφημάτων με τα αντίστοιχα του μοντέλου χωρίς περαιτέρω μεταβολή των παραμέτρων.
- 7) **Αξιολόγηση (verification)**. Διερεύνηση της τεχνικής που ακολουθείται ώστε να αποφευχθούν λανθασμένες προσαρμογές του μοντέλου.

➤ Συχνά Προβλήματα Εφαρμογής του Μοντέλου HMS σε Ελληνικές Λεκάνες

- ✓ Λίγα Δεδομένα Παρατηρήσεων στο Χώρο και στο Χρόνο.
- ✓ Κακής Ποιότητας Δεδομένα (Βροχογραφήματα – Σταθμηγραφήματα).
- ✓ Σχεδόν αδύνατη η εφαρμογή του σε κατανεμημένη μορφή (έλλειψη δεδομένων βροχής από radar).

⇒ Αποτέλεσμα: Εισαγωγή Μεγάλης Αβεβαιότητας στη Μοντελοποίηση

Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με το HMS, επισκεφτείτε την ιστοσελίδα: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms> ή ανατρέξτε στο Technical Reference Manual: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/CPD-74B_2000Mar.pdf

3.4 HEC-GeoRAS

Το λογισμικό HEC-GeoRAS (*Geospatial River Analysis System*) είναι μια επέκταση του ArcView GIS, ειδικά σχεδιασμένο για την επεξεργασία γεωμετρικών δεδομένων, με σκοπό την περαιτέρω επεξεργασία τους στο λογισμικό HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System). Το λογισμικό αυτό παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να δημιουργήσει ένα αρχείο εισόδου HEC-RAS import file, το οποίο θα περιέχει όλα τα γεωμετρικά δεδομένα που περιέχει ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους καθώς και συμπληρωματικά δεδομένα. Τα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή του λογισμικού HEC-RAS μπορούν να εισαχθούν στο HEC-GeoRAS με σκοπό να επεξεργασθούν και να προβληθούν γραφικά.

Απαραίτητο συστατικό είναι ένα πολύ λεπτομερές ψηφιακό μοντέλο εδάφους. Ορίζοντας τομές στο ψηφιακό μοντέλο, δημιουργούνται τα απαραίτητα γεωμετρικά δεδομένα για το HEC-RAS. Προκειμένου να γίνει η υπολογιστική προσομοίωση στο λογισμικό HEC-RAS, πρέπει να εισαχθούν τα γεωμετρικά δεδομένα και τα στοιχεία ροής. Αφού ολοκληρωθούν οι υπολογισμοί, τα αποτελέσματα της επιφάνειας του ρέοντος ύδατος και της ταχύτητας μπορούν να εισαχθούν στο HEC-GeoRAS για περαιτέρω χωρική ανάλυση (Κουτσογιαννάκη, Κουτρούλης, 2004).

Για περισσότερες λεπτομέρειες, σχετικά με το HEC-GeoRAS, ανατρέξτε στην ιστοσελίδα: (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hec-georas.html>).

3.5 HEC-RAS

➤ Βασική περιγραφή του HEC-RAS:

Το HEC-RAS (River Analysis System) είναι ένα από τα μοντέλα του U.S. Army Corps of Engineers. Κατασκευάστηκε από το Hydrologic Engineering Center (HEC) και είναι μοντέλο *μεμονωμένου* υδρολογικού γεγονότος. Προσομοιώνει φυσικά ή τεχνητά υδατορέματα, καθώς και μεμονωμένα υδατορέματα ή συστήματα υδατορεμάτων. Πραγματοποιεί υπολογισμούς ροής μονοδιάστατης ανάλυσης σε μόνιμη ροή (steady flow) ή μη μόνιμη ροή (unsteady flow) (για πληροφορίες σχετικά με τα διαφορετικά είδη ροής, βλ. Παράρτημα 1).

Το λογισμικό HEC – RAS είναι ένα ολοκληρωμένο λογισμικό υδραυλικής προσομοίωσης σταθερής και ασταθούς ροής. Αποτελείται από τα εξής επιμέρους δομικά στοιχεία:

- Την εισαγωγή γεωμετρικών δεδομένων
- Την εισαγωγή δεδομένων σταθερής ή ασταθούς ροής
- Την εισαγωγή ιζηματολογικών δεδομένων
- Την εισαγωγή δεδομένων υδραυλικού σχεδιασμού και
- Το παράθυρο διαχείρισης των ανωτέρω στοιχείων

➤ Στάδια Μοντελοποίησης

- 1) Κατασκευή γεωμετρικού υπόβαθρου
- 2) Προσδιορισμός συνθηκών ροής
- 3) Προσομοίωση
- 4) Αποτελέσματα
- 5) Έλεγχος αποτελεσμάτων και αποδοχή ή όχι

➤ Πλεονεκτήματα ως Μοντέλο:

- 1) Φιλικό περιβάλλον για το νέο χρήστη (διαδραστικά παράθυρα και γραφικά).
- 2) Απαιτεί ελάχιστα δεδομένα εισόδου.
- 3) Υπολογιστική διαδικασία απλή και σύντομη.
- 4) Αποτελέσματα σε διάφορες μορφές (πίνακες, σχεδιαγράμματα, σκαριφήματα, τρισδιάστατοι χάρτες).
- 5) Εισαγωγή αποτελεσμάτων σε ArcGIS (για περαιτέρω επεξεργασία).

➤ Μειονεκτήματα ως Μοντέλο:

- 1) Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων απαιτεί καλή γνώση των υδραυλικών συνθηκών που επικρατούν και εμπειρία του χρήστη σε υδραυλικά προβλήματα.
- 2) Η ψηφιοποίηση από χάρτες της ΓΥΣ κλίμακας 1:5000 δεν έχει καλή τελική ακρίβεια, ενώ από την άλλη, η αποτύπωση επιτόπου από τοπογραφικό συνεργείο παρέχει τη ζητούμενη ακρίβεια, αλλά το κόστος της την καθιστά απαγορευτική για μεγάλες εκτάσεις/μήκη υδατορρευμάτων.

➤ Συνολική Κριτική HEC-RAS:

Το HEC-RAS είναι χρήσιμο εργαλείο για τον υδραυλικό μηχανικό, καθώς μειώνει αισθητά σε χρόνο και εργασία την υπολογιστική διαδικασία και δίνει αποτελέσματα σε εύχρηστη μορφή (πίνακες και διαγράμματα). Παραμένει όμως ένα εργαλείο το οποίο ο χρήστης καλείται να χρησιμοποιήσει έχοντας πάντα υπόψη του το θεωρητικό υπόβαθρο που ισχύει.

Για περισσότερες λεπτομέρειες, σχετικά με το HEC-RAS, ανατρέξτε στην ιστοσελίδα: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-hecras.html> και <http://www.itia.ntua.gr/nikos/floods/HEC-RAS.pdf>

Κεφάλαιο 4. Μετα-πλημμυρική έρευνα

4.1 Τύποι ερευνών και γενικές οδηγίες μελέτης

Η χρησιμότητα των ερευνών γύρω από τις αστραπιαίες πλημμύρες είναι αδιαμφισβήτητη. Εμφανίζεται σαφώς ως ανάγκη να αυξηθεί η υπάρχουσα γνώση σχετικά με τέτοια γεγονότα για να βρεθούν κατάλληλες μέθοδοι ανάλυσης και τεχνικές για την πρόληψη και τον έλεγχο των πλημμυρών.

Η ανάλυση που έχει γίνει με βάση προηγούμενες έρευνες, δείχνει ότι δύο κύριοι τύποι μετα-πλημμυρικών ερευνών μπορούν να διακριθούν με βάση τους στόχους και το περιεχόμενό τους.

Ο πρώτος τύπος ανατίθεται γενικά από τις τοπικές ή εθνικές αρχές μετά από μια σημαντική καταστροφή. Ο κύριος στόχος είναι να απαντηθούν τα ερωτήματα που δημιουργούνται από την κοινή γνώμη σχετικά με:

- α) τα αίτια των πλημμυρών,*
- β) τις ανθρώπινες επιδράσεις στο μέγεθος και τη συχνότητα πλημμυρών και*
- γ) την αποδοτικότητα των μέτρων αντιμετώπισης κατά των πλημμυρών.*

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι οι έρευνες που διεξήχθησαν μετά από τις σοβαρές πλημμύρες του 1987 στην Ελβετία ή πιο πρόσφατα στη Γαλλία και την Αλγερία. Οι επιστήμονες αναλαμβάνουν γενικότερα να πραγματοποιήσουν τις μελέτες είτε για να απαντηθούν συγκεκριμένα ερωτήματα της κοινής γνώμης, είτε για να συμμετέχουν στις επιστημονικές ομάδες υποστήριξης.

Ένας *δεύτερος τύπος* μετα-πλημμυρικών ερευνών, *διεξάγεται από τις τεχνικές υπηρεσίες*, όπως παραδείγματος χάριν το γεωλογικό ινστιτούτο των ΗΠΑ ή το IRPI στην Ιταλία (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica) *ή από ερευνητικά ιδρύματα*. Ο στόχος είναι να περιγραφούν τα ακραία γεγονότα. Οι περισσότερες των μελετών, περιορίζονται σε μια περιγραφή του γεγονότος μέσω των διαθέσιμων μετρημένων στοιχείων (μετρήσεις βροχογράφων ή σταθμηγράφων) και μερικών παρατηρήσεων πεδίου. Μερικές φορές παρέχεται η περιγραφή των διαδικασιών μεταφοράς μάζας, ο εντοπισμός της θέσης τους και η εκτίμηση των μεταφερόμενων όγκων. Μια λεπτομερής ανάλυση βροχόπτωσης - απορροής του γεγονότος γίνεται σπάνια λόγω της έλλειψης μετρήσεων.

Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών. Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.

Λόγω της φύσης των αστραπιαίων πλημμυρών, στην πλειοψηφία των περιοχών που συμβαίνουν, δεν είναι δυνατό να μετρηθούν. Επιπλέον, οι παροχές αιχμής εμφανίζονται να είναι ιδιαίτερα ετερογενείς στο χώρο, ακόμη και μέσα σε μικρές περιοχές.

Μια λεπτομερής μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών δεν πρέπει να περιοριστεί στις ελάχιστες μετρημένες διατομές ποταμών (εάν αυτές υπάρχουν). Εάν μια εντατική ερευνητική δραστηριότητα πρόκειται να οργανωθεί σε αυτά τα υδρολογικά γεγονότα, είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν συγκεκριμένες μέθοδοι για να συλλεχθούν και να αναλυθούν οι υπάρχουσες πληροφορίες και να μην περιοριστεί η ανάλυση στα λίγα γεγονότα που έχουν επιπτώσεις στους υδροκρίτες.

Πέρα από τη διαδικασία και τις μεθόδους, είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη η γενική φιλοσοφία: *τα συλλεχθέντα στοιχεία είναι σίγουρα ανακριβή*. Καμία μέθοδος δεν είναι τέλεια και το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνεται είναι ο έλεγχος και η επαλήθευση των δεδομένων. Είναι ο μόνος τρόπος να περιοριστούν τα λάθη κυρίως στην εκτίμηση των μέγιστων παροχών. Τέλος, οι απολογισμοί των αυτόπτων μαρτύρων είναι επίσης μια σημαντική πηγή στοιχείων, ειδικά όσο αφορά το χρονοδιάγραμμα των πλημμυρών, το οποίο είναι ουσιαστική πληροφορία για τη μελέτη και την προσομοίωση της βροχόπτωσης και της απορροής.

Παρακάτω, προτείνονται μερικές οδηγίες για το πώς να προσδιορίσει, να συλλέξει και να αναλύσει τα διαθέσιμα στοιχεία ένας ερευνητής, μετά από ένα σημαντικό γεγονός αστραπιαίας πλημμύρας. Τρεις κύριοι τύποι στοιχείων θα πρέπει να εξεταστούν:

- 1) *Δείκτες των μέγιστων τιμών παροχής*: κυρίως έρευνες διατομής βασισμένες στα σημάδια της πλημμύρας, αλλά και τις ενδείξεις των ταχυτήτων ροής (βιντεοσκόπηση, παρατηρήσεις μαρτύρων).
- 2) *Δείκτες της χρονικής ακολουθίας της πλημμύρας*: κυρίως απολογισμοί αυτόπτων μαρτύρων όπου καμία μέτρηση σταθμημέτρων δεν είναι διαθέσιμη. Οι απολογισμοί από τους αυτόπτες μάρτυρες αναφέρονται περιστασιακά στις μελέτες αστραπιαίων πλημμυρών. Σπάνια έχουν συλλεχθεί και αναλυθεί συστηματικά.
- 3) *Διαδικασίες μεταφοράς μάζας*: (η διάβρωση και οι αποθέσεις στα πρηνή και την κοίτη του ποταμού, η ροή λάσπης ή συντριμμιών, κλπ) ως ο κύριος στόχος της

μετα-πλημμυρικής έρευνας, αλλά και ως ένδειξη της ροής ενέργειας και της ταχύτητας ροής.



Εικόνα 10 : Ερευνητής της FEMA επιθεωρεί τις ζημιές μετά από πλημμύρα

Παρακάτω δίνεται μια λίστα με τις απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να πραγματοποιήσει ένας ερευνητής σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές για μια μετα-πλημμυρική έρευνα αστραπιαίας πλημμύρας.

Φάση 1: *Αμέσως μετά από την πλημμύρα*

- Συλλογή των στοιχείων που αφορούν το γεγονός βροχής (μετρήσεις βροχομέτρων, εικόνες ραντάρ, κλπ.) για να εντοπιστούν οι εμπλεκόμενες περιοχές.
- Εάν είναι δυνατόν, στην πρώτη αναγνωριστική επίσκεψη των εμπλεκόμενων περιοχών, πολύ σημαντικό στοιχείο θεωρείται η λήψη φωτογραφιών, αλλά καμία άλλη εργασία γενικά δε μπορεί να πραγματοποιηθεί εκείνη τη χρονική στιγμή.

Φάση 2: *Μερικές εβδομάδες μετά από την πλημμύρα*

- Οι έρευνες διατομών μπορούν να αρχίσουν, καθώς επίσης και μερικές συνεντεύξεις των μαρτύρων ανάλογα με την επικρατούσα ατμόσφαιρα. Κάποιες επιπλέον φωτογραφίες θα ήταν ένα επίσης χρήσιμο στοιχείο.

Φάση 3: *Μερικούς μήνες μετά από την πλημμύρα*

- Είναι η καλύτερη περίοδος για την έρευνα, ειδικά για τις συνεντεύξεις. Η περιοχή είναι πλήρως προσιτή και η πίεση έχει πέσει πάλι. Οι κοίτες του ποταμού μπορεί να έχουν καθαριστεί, γι' αυτό οι φωτογραφίες που λαμβάνονται στη φάση 1 ή 2 είναι σημαντικές.
- Συλλογή πρόσθετων στοιχείων χρήσιμων στην ανάλυση (μετρήσεις σταθμηγράφων, ψηφιακό μοντέλο εδάφους, τύπος εδάφους, χρήσεις γης, γεωλογικός χάρτης, μετρήσεις εδαφικής υγρασίας, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, σημάδια πλημμύρας).
- Προετοιμασία της προσομοίωσης βροχόπτωσης - απορροής για να υποστηρίξει των ερμηνειών.

Φάση 4: *Το έτος μετά από την πλημμύρα*

- Λόγω της ανακρίβειας των διαθέσιμων στοιχείων, μια μετα-πλημμυρική έρευνα είναι μια μακράς διαρκείας εργασία, που απαιτεί την επαλήθευση και ενδεχομένως την επιστροφή πολλές φορές στη φάση 3.

Ο κύριος στόχος των συνεντεύξεων είναι η συλλογή στοιχείων σχετικά με τη χρονική ακολουθία της πλημμύρας στις περιοχές όπου καμία άμεση μέτρηση σταθμημέτρου δεν είναι διαθέσιμη.

Οι κάτοικοι και οι μάρτυρες γενικότερα, μπορούν επίσης να παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για τη βροχόπτωση (ιδιωτικές μετρήσεις μετρητών βροχής), την απορροή (παρατήρηση της επιφανειακής απορροής, προέλευση αυτής της απορροής, επίπεδα υπόγειων νερών που παρατηρούνται στα φρεάτια, κατακλυσμός των κελαριών, κορεσμός εδάφους που παρατηρείται από τους αγρότες) και τα τοπικά χαρακτηριστικά ροής (π.χ. τύπος ροής, δημιουργία εμποδίων εξαιτίας της πλημμύρας, χρόνος της κατάρρευσης γεφυρών ή αναχωμάτων). Μερικές βιντεοσκοπήσεις της πλημμύρας μπορούν να ληφθούν υπόψη στον υπολογισμό της επιφανειακής ταχύτητας του νερού και την εκτίμηση της απορροής. Τέλος, σημαντικό στοιχείο για την εκτίμηση της περιόδου επαναφοράς της πλημμύρας αποτελεί η συλλογή στοιχείων από προηγούμενες σημαντικές πλημμύρες.

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Για τη μείωση των αβεβαιοτήτων και την αποφυγή σημαντικών λαθών (π.χ. υπερεκτιμήσεις), είναι απαραίτητο να γίνει επαλήθευση για τις διάφορες πηγές πληροφοριών και να εφαρμοσθούν κάποιες απαιτούμενες ενέργειες.

- α) Επιλογή περισσότερων από μία διατομών για κάθε ποταμό, με διαφορετική μορφολογία για συσχέτιση και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.
- β) Εξέταση της ανάντη-κατάντη συσχέτισης των εκτιμηθέντων απορροών σε έναν υδροκρίτη και της συσχέτισης βροχόπτωσης - απορροής.
- γ) Αξιοποίηση των διαθέσιμων ταινιών και των ενδείξεων στις φωτογραφίες, της στερεομεταφοράς και των δεικτών διάβρωσης.

Ανεξάρτητα από το είδος των συλλεχθέντων πληροφοριών, μια μετά-πλημμυρική έρευνα πρέπει να περιέχει τέσσερις σαφείς τύπους στοιχείων:

1. *Γενικές πληροφορίες* (ημερομηνία γεγονότος, ημερομηνία της έρευνας, όνομα των συμμετεχόντων στην έρευνα, θέση και περιγραφή της περιοχής και ενδεχομένως ο τύπος στερεομεταφοράς).
2. *Τα συλλεχθέντα στοιχεία* (υψόμετρα, διατομές, κλίσεις, περίληψη συνεντεύξεων).
3. *Εικόνες* (απαραίτητο συμπλήρωμα των συλλεχθέντων στοιχείων).
4. *Τα επεξεργασμένα ή υπολογισμένα στοιχεία* (ταχύτητες ύδατος, απορροές, καθιζήσεις εδάφους, διάβρωση ή όγκοι αποθέσεων).

4.2 Μεθοδολογία έρευνας και απαραίτητος εξοπλισμός

➤ Γενικά




Για να προβλεφθούν τα επίπεδα πλημμύρας στα ποτάμια ή στις λίμνες, δύο αρχικοί τύποι στοιχείων απαιτούνται: *υδρολογικά και μετεωρολογικά*.

Οι μέθοδοι συλλογής δεδομένων είναι ποικίλες. Η συλλογή δεδομένων ανά τομέα κυμαίνεται από τη χειρωνακτική ανάγνωση των μετρητών, ως τις τηλεφωνικές συνδέσεις των σταθμών μεταξύ ενός μετρητή και ενός κέντρου πρόβλεψης, ή και μια δορυφορική σύνδεση μεταξύ ενός μετρητή και ενός κέντρου που συλλέγει τα δεδομένα. Τα περισσότερα κέντρα έχουν έναν συνδυασμό αυτών των συστημάτων. Ολοένα και πιο πολλά σύγχρονα συστήματα αναπτύσσονται, καθώς ο παλαιός εξοπλισμός αντικαθίσταται ή/και το δίκτυο χρήσης των οργάνων επεκτείνεται. Δεδομένου ότι η εκτέλεση των συστημάτων συλλογής δεδομένων αυξάνεται, η πρόσβαση στα στοιχεία γίνεται πολύ κοντά στον πραγματικό χρόνο, σχεδόν στιγμιαία. Με άλλα λόγια, τα στοιχεία είναι διαθέσιμα στο χρήστη μέσα σε λεπτά ή ακόμα και δευτερόλεπτα από την καταγραφή από το μετρητή.

Κεντρικοί υπολογιστές χρησιμοποιούνται συχνά για την πρόσβαση στις πληροφορίες άλλων υπηρεσιών. Π.χ., το ηλεκτρονικό σύστημα υπολογιστών της μετεωρολογικής υπηρεσίας του Καναδά συνεργάζεται για τα μετεωρολογικά στοιχεία, τις καιρικές προβλέψεις και τους χάρτες των ραντάρ (Λυκοκανέλος, 2003).

Το καλύτερο εργαλείο για να αποθηκευτούν τα στοιχεία που συλλέγονται κατά τη διάρκεια μιας μετα-πλημμυρικής έρευνας στιγμιαίας πλημμύρας, είναι ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (GIS).

➤ *Εξοπλισμός που προτείνεται για μια μετα-πλημμυρική έρευνα*

<i>Εξοπλισμός</i>	<i>Χρησιμότητα</i>	<i>Εικόνα</i>
Ψηφιακή κάμερα	Απεικόνιση της περιοχής μελέτης και ακριβείς θέσεις των σημείων ενδιαφέροντος	
Δέκτης GPS	Εύκολος εντοπισμός των σημείων ενδιαφέροντος και μεταφορά των δεδομένων σε ΓΣΠ (Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών)	
Αποστασιόμετρο με ακτίνα λέιζερ	Μέτρηση διατομών στην κοίτη και σημαδιών της πλημμύρας σε διάφορα κτίσματα	
Γεωδαιτικός σταθμός	Ακριβής μέτρηση των διατομών της κοίτη και σημαδιών που άφησε η πλημμύρα σε διάφορα σημεία και η μετέπειτα συσχέτισή τους με άλλα γεωγραφικά στοιχεία της περιοχής (π.χ. DEM)	

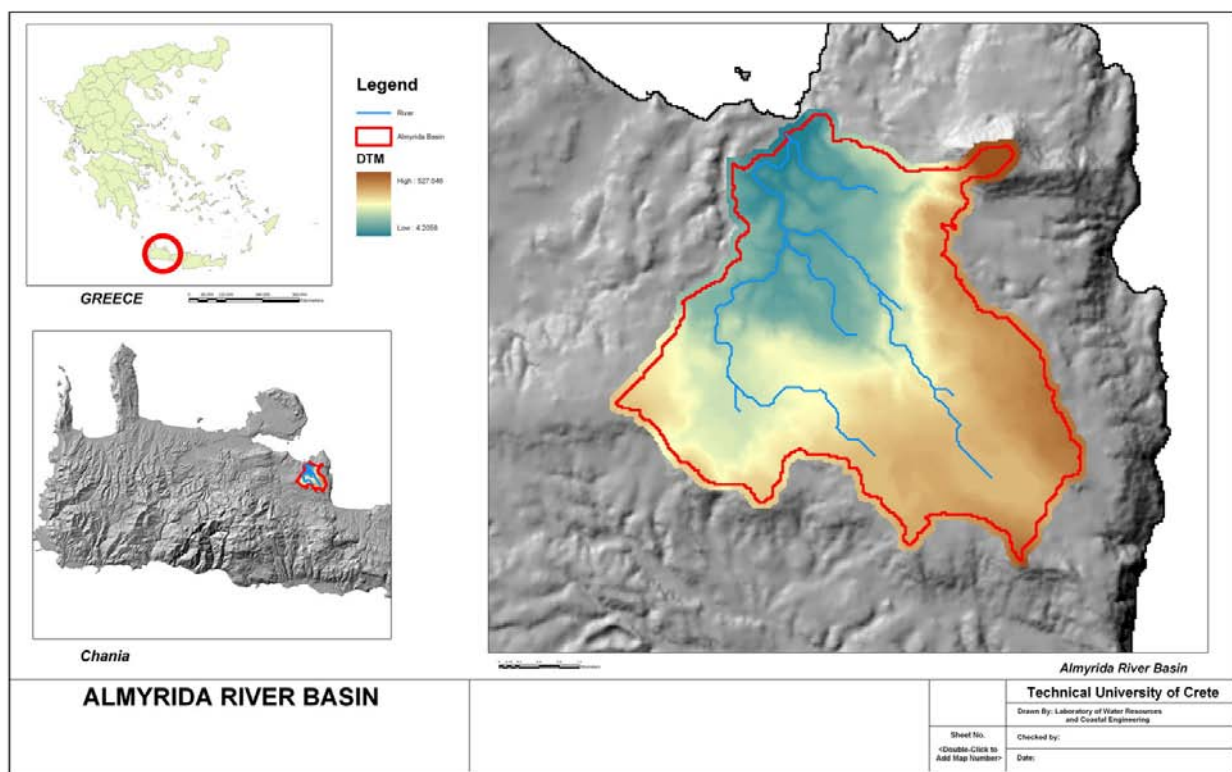
Πίνακας 6: Απαραίτητος εξοπλισμός για μια μετά-πλημμυρική έρευνα

Κεφάλαιο 5. Υδρολογική λεκάνη Αλμυρίδας - Πλημμύρα 17^{ης}

Οκτωβρίου 2006

5.1 Περιοχή μελέτης

Ο οικισμός της Αλμυρίδας (24°12'05,65" E , 35°26'51,99" N) βρίσκεται στον Αποκόρωνα του Νομού Χανίων Κρήτης, ανήκει στο δήμο Βάμου και απέχει 20 χλμ από την πόλη των Χανίων.



Εικόνα 11 : Τοποθεσία της υδρολογικής λεκάνης της Αλμυρίδας.

5.2 Χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

5.2.1 Υδρολογικά χαρακτηριστικά λεκάνης

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται τα κυριότερα υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης της Αλμυρίδας.

Χαρακτηριστικό Λεκάνης	Τιμή
Εμβαδό	24.74 km ²
Μέση ετήσια βροχόπτωση	648 mm *
Χρόνος συγκέντρωσης	3.13 h (εκτιμώμενος)
Μέσο υψόμετρο	212 m (min = 0m , max = 527m)
Μέση κλίση	11.9 %

*: (προέκυψε από περίοδο παρατήρησης 32 ετών)

Πίνακας 7: Κυριότερα υδρολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης της Αλμυρίδας.

5.2.2 Γεωλογία περιοχής μελέτης

Το νότιο τμήμα της λεκάνης αποτελείται από Κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, κατά τόπους μάρμαρα και Βιογενείς ασβεστόλιθους, μάργες, αργίλους και κροκαλοπαγή πετρώματα. Αργιλικές αποθέσεις σε καρστικές κοιλότητες βρίσκονται επίσης σε μικρότερη έκταση. Στο βόρειο τμήμα της λεκάνης συναντώνται κυρίως μάρμαρα, φυλλίτες, δολομίτες, χαλαζίτες, κροκαλοπαγή σε διαδοχικές στρώσεις και αλλουβιακές αποθέσεις κυρίως κατά μήκος των πρηνών των ρεμάτων.

Τύπος Εδάφους	Ποσοστό %
Βιογενείς ασβεστόλιθοι, μάργες, άργιλοι και κροκαλοπαγή πετρώματα (Μειόκαινο)	40
Κρυσταλλικοί ασβεστόλιθοι και κατά τόπους μάρμαρα (Μέσο Ιουρασικό – Ηώκαινο)	29.4
Μάρμαρα, φυλλίτες, δολομίτες, χαλαζίτες και κροκαλοπαγή σε διαδοχικές στρώσεις (Μεσοζωικό)	11.8
Αργιλικές αποθέσεις σε καρστικές κοιλότητες	9.4
Ανθρακικές στρώσεις ασβεστόλιθων και δολομιτών (Τριάσιο – Μέσο Ηώκαινο)	5
Αλλουβιακές αποθέσεις στα πρηνή των ρεμάτων (Ολόκαινο)	4.4
Σύνολο	100

Πίνακας 8: Γεωλογική σύσταση της λεκάνης της Αλμυρίδας

5.2.3 Χρήσεις Γης

Ο Πίνακας 9 παρουσιάζει τις χρήσεις γης εντός της υδρολογικής λεκάνης της Αλμυρίδας, όπως προέκυψαν από το CORINE LANDCOVER 2000.

Χρήση γης	Καλυπτόμενη Επιφάνεια (km²)	Ποσοστό %
Ελαιώνες	9.7173	39.41%
Φυσικά Λιβάδια - Βοσκότοποι	0.3960	1.61%
Σκληροφυλλική βλάστηση	6.5952	26.75%
Καλλιεργήσιμες εκτάσεις	3.6279	14.71%
Σύνθετες καλλιεργήσιμες εκτάσεις	2.7108	10.99%
Βοσκότοποι	1.5291	6.20%
Διακεκομμένη αστική δόμηση	0.0828	0.34%
Σύνολο	24.6591	100 %

Πίνακας 9: Χρήσεις γης στη λεκάνη της Αλμυρίδας

5.3 Χαρακτηριστικά πλημμυρικού γεγονότος

Τα κύρια χαρακτηριστικά της πλημμύρας που προκλήθηκε στις 17 Οκτωβρίου 2006 στην περιοχή της Αλμυρίδας εξαιτίας της ξαφνικής και πολύ έντονης νεροποντής, παρουσιάζονται στον Πίνακα 10.

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Παροχή αιχμής	$\approx 95 \text{ m}^3/\text{s}$
Διάρκεια βροχόπτωσης	$> 24 \text{ h}$
Συνολική βροχόπτωση (σημειακή)	220 mm
Συνολικό κόστος ζημιών	1.089.750 €
Ανθρώπινες απώλειες	1

Πίνακας 10: Κύρια χαρακτηριστικά της πλημμύρας στην Αλμυρίδα

Μέσω τοπικών εφημερίδων και διαφόρων πηγών στο διαδίκτυο, έγινε γνωστό ότι τις μεγαλύτερες ζημιές από τη νεροποντή, υπέστη ο νομός Χανίων και κυρίως η περιοχή του Αποκόρωνα. Η νομαρχία Χανίων κήρυξε σε κατάσταση εκτάκτου ανάγκης τους δήμους: Αρμένων, Βάμου, Γεωργιούπολης και Κρυονερίδας. Η Πυροσβεστική Υπηρεσία δέχτηκε δεκάδες κλήσεις για αντλήσεις νερών από υπόγεια σπιτιών και ξενοδοχείων που πλημμύρισαν. Περισσότερα από 14 αυτοκίνητα (τα περισσότερα εκ των οποίων ενοικιαζόμενα) παρέσυρε στη θάλασσα ο χείμαρρος που περνάει από το κέντρο του οικισμού της Αλμυρίδας. Σύμφωνα με στοιχεία από την Υπηρεσία Πολιτικής Προστασίας, ζημιές προκλήθηκαν σε 20 ξενοδοχεία και 60 κατοικίες, ενώ διαπιστώθηκαν εκτεταμένες ζημιές σε πολλά χιλιόμετρα του οδικού δικτύου.

Από το πρωί της 17^{ης} Οκτωβρίου, αγνοούνταν ο 54χρονος Άγγλος υπήκοος David-John Westwell, μόνιμος κάτοικος Γαβαλοχωρίου, στο νομό Χανίων. Το ίδιο μεσημέρι, βρέθηκε το αυτοκίνητό του σε ρέμα που ξεκινάει από το Γαβαλοχώρι, ενώ αργότερα, ύστερα από έρευνες της ΕΜΑΚ, εντοπίστηκαν το μπουφάν του και τα κλειδιά του, που αναγνωρίστηκαν από τη σύζυγό του, σε απόσταση 300 μέτρων από τη θάλασσα. Την επομένη (18 Οκτωβρίου) στις 17:30 τοπική ώρα, βρέθηκε το πτώμα του 54χρονου Άγγλου, στο λιμάνι της Αλμυρίδας, 3 km μακριά από εκεί όπου την προηγούμενη ημέρα είχε βρεθεί το αυτοκίνητό του. Είχε πληγές σε όλο του το σώμα και το κεφάλι από τις πέτρες του ποταμού όπου πνίγηκε.

(<http://members.explorecrete.com/index.php?showtopic=1788>)

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**



Εικόνα 12 : Συνέπειες της πλημμύρας στην Αλμυρίδα τον Οκτώβριο του 2006.

Στην Εικόνα 13 φαίνονται φωτογραφίες της περιοχής την επομένη της πλημμύρας (18/10/2006) (<http://members.explorecrete.com/index.php?showtopic=1785>)







Εικόνα 13: Φωτογραφίες κατοίκων στις 18/10/2006

Φαίνεται ξεκάθαρα ότι οι καταστροφές που προκάλεσε αυτή η ξαφνική και πολύ έντονη νεροποντή, ήταν πολύ μεγάλες. Αναλυτικά οι ζημιές που προκλήθηκαν, παρουσιάζονται σε σχετικό πίνακα στο Παράρτημα 4.

5.4 Συλλογή δεδομένων και πληροφοριών

Για τη μελέτη και την προσομοίωση της πλημμύρας στην Αλμυρίδα τον Οκτώβριο του 2006, συλλέχτηκαν δεδομένα από το πεδίο. Πιο συγκεκριμένα, για την προσομοίωση με την SCS method, έγινε αποτύπωση 44 διατομών της κοίτης του κυρίως ρέματος, το οποίο στα τελευταία 200 περίπου μέτρα πριν εκβάλλει στη θάλασσα, διασχίζει τον οικισμό της Αλμυρίδας. Επίσης, τραβήχτηκαν φωτογραφίες σε κύρια σημεία της περιοχής και ερωτήθηκαν αυτόπτες μάρτυρες σχετικά με το γεγονός. Από τις μαρτυρίες των κατοίκων, εντοπίστηκαν κάποια σημάδια που άφησε η πλημμύρα σε τοίχους σπιτιών (Εικόνα 13, η 2^η από τις τέσσερις), με βάση τα οποία αξιολογήθηκε η ακρίβεια του μοντέλου στην προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος. Όσο αφορά τη μέθοδο ModClark, τα μοναδικά δεδομένα που χρειάστηκαν, ήταν η βροχή που κατέγραψε το C-Band Radar στο σταθμό της Σούδας στις 17 Οκτωβρίου 2006.

5.4.1 Εξοπλισμός

Ο βασικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την αποτύπωση των διατομών του ρέματος της Αλμυρίδας παρουσιάζεται παρακάτω:

A) Μετροταινία των 20m.

B) Φωτογραφική μηχανή για την αποτύπωση κύριων σημείων της περιοχής.

Γ) Topcon GPT-3000: Πρόκειται για έναν σύγχρονο ηλεκτρονικό γεωδαιτικό σταθμό. Χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, κυρίως για τη μέτρηση αποστάσεων, κλίσεων και γωνιών και τη χάραξη διατομών.



Εικόνα 14 : Topcon GPT-3000 series

Περισσότερες λεπτομέρειες για το Topcon GPT-3000, δίνονται στο Παράρτημα 2 και την ιστοσελίδα της Topcon, <http://www.treecomp.gr/index.asp.htm>.

5.4.2 Διαδικασία μετρήσεων

Για την ακριβή αποτύπωση του ρέματος της Αλμυρίδας, μετρήθηκαν με τη χρήση του Topcon GPT-3000 συνολικά 44 διατομές σε περισσότερα από 500 σημεία. Η αποτύπωση μερικών διατομών ήταν αρκετά δύσκολη, καθώς υπήρχαν δύσβατα σημεία τα οποία ήταν πολύ δύσκολο να μετρηθούν. Στόχος ήταν:

- α) Η αποτύπωση όσο το δυνατόν περισσότερων διατομών και κυρίως αυτών που βρίσκονταν πριν και μετά από μια απότομη αλλαγή του ανάγλυφου της κοίτης.
- β) Η αποτύπωση όσο το δυνατόν περισσότερων σημείων ανά διατομή.
- γ) Η ευθύτητα μεταξύ των σημείων κάθε διατομής και η καθετότητα προς την κατεύθυνση της ροής.
- γ) Η αποτύπωση σημείων και εκτός κοίτης όπου ήταν εφικτό, έτσι ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν πιο ολοκληρωμένη αντίληψη της πλημμυρικής κοίτης.



Εικόνα 15 : Αποτύπωση διατομών στο πεδίο

5.4.3 Επεξεργασία των μετρήσεων

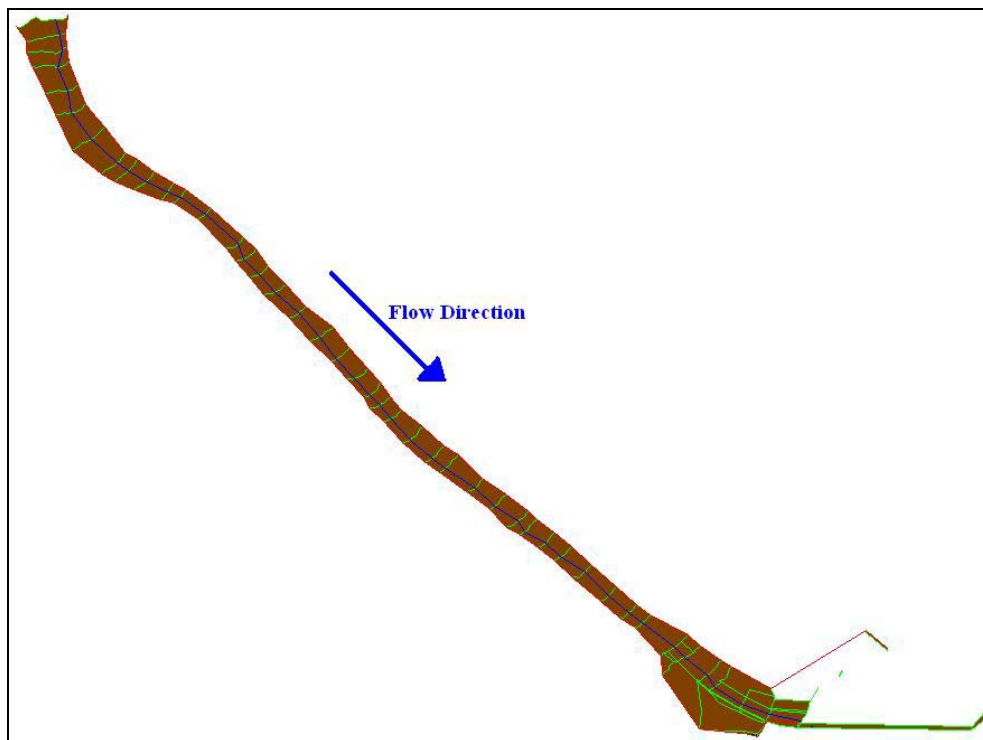
Η χάραξη και αποθήκευση των σημείων του πεδίου στο όργανο, πραγματοποιήθηκε με τον τρόπο που περιγράφεται αναλυτικά στο Παράρτημα 3. Έπειτα, τα μετρημένα σημεία εισήχθησαν στον Η/Υ μέσω λογισμικού προγράμματος της TOPCON σε μορφή κειμένου (txt). Ακολούθησε ταξινόμηση στο MS Excel. Αμέσως μετά, αποτυπώθηκαν τα σημεία στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Autocad 2005, όπου εμφανίστηκε το πραγματικό ανάγλυφο της κοίτης σε τρισδιάστατη απεικόνιση (Εικόνα 16).

Επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία ενός αρχείου εισόδου για το HEC-RAS, το οποίο δημιουργήθηκε με τη χρήση του HEC GeoRAS (extension του ArcGIS 9.1). Το αρχείο αυτό περιείχε όλα τα απαραίτητα γεωμετρικά δεδομένα της περιοχής μελέτης.

Για να εισαχθούν οι μετρημένες διατομές στο HEC RAS (στο οποίο έγινε τελικά και η προσομοίωση της πλημμύρας), χρειάστηκε να μετασχηματιστούν τα δεδομένα ό των των διατομών από τη μορφή X-Y-Z σε ένα νέο σύστημα συντεταγμένων, το οποίο θα περιείχε πληροφορία μόνο για το Z του κάθε σημείου και το όνομα αυτού. Εν τέλει, δημιουργήθηκε κατάλληλος αλγόριθμος σε γλώσσα MATLAB, ο οποίος με κατάλληλους μετασχηματισμούς έδινε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε η εισαγωγή των διατομών στο HEC RAS μαζί με κάποια πρόσθετα δεδομένα σχετικά με τη διάρκεια και την ένταση της βροχόπτωσης και διάφορους συντελεστές για τη συγκεκριμένη λεκάνη απορροής.

Έτσι, το HEC RAS προσομοίασε τον τρόπο με τον οποίο συνέβη η πλημμύρα. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.



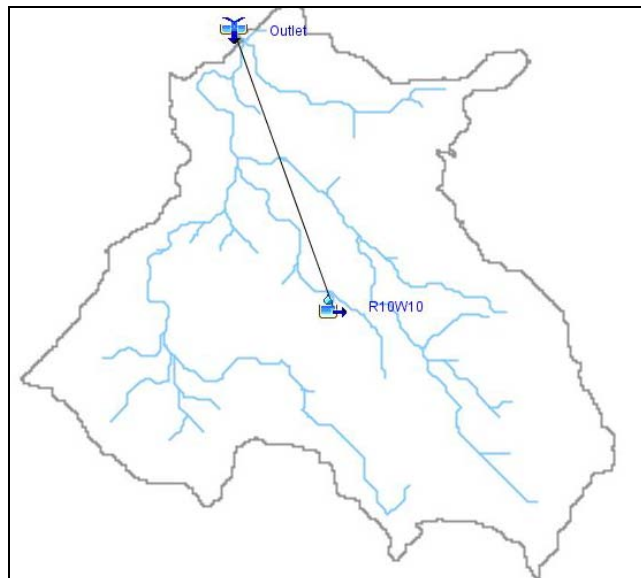
Εικόνα 16 : Τρισδιάστατη απεικόνιση των μετρημένων διατομών

Κεφάλαιο 6. Προσομοίωση της πλημμύρας - Αποτελέσματα

6.1 Προσομοίωση πλημμύρας με χρήση ενιαίας επιφανειακής βροχόπτωσης

6.1.1 Βαθμονόμηση HEC HMS

- ✓ Αρχικά δημιουργήθηκε με τη χρήση του HEC GeoHMS ένα αρχείο εισόδου για το HEC HMS (Almirida.hms), το οποίο περιείχε όλα τα απαραίτητα δεδομένα για τη λεκάνη απορροής.
- ✓ Αφού εισήχθη το αρχείο αυτό στο HMS και φορτώθηκε ο χάρτης της Αλμυρίδας (Almirida.map), εμφανίστηκε η λεκάνη στο αντίστοιχο παράθυρο (Εικόνα 17).
- ✓ Τα υπόλοιπα βήματα αφορούσαν την επιλογή των κατάλληλων μεθόδων (LOSS, TRANSFORM και BASEFLOW) σύμφωνα με τα δεδομένα και το είδος της λεκάνης, καθώς και τη δημιουργία του μετεωρολογικού μοντέλου και την εισαγωγή της χρονοσειράς της βροχόπτωσης στο μοντέλο (για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με το HEC HMS, ανατρέξτε στην παράγραφο 3.3).



Εικόνα 17 : Απεικόνιση λεκάνης στο HEC-HMS (SCS method)

6.1.2 Υπολογισμός βασικών μεταβλητών HEC-HMS

- Επιφάνεια Λεκάνης: Ο υπολογισμός του εμβαδού της λεκάνης πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού ArcView 3.2 στο οποίο και φτιάχτηκε το shape της λεκάνης. Το εμβαδό βρέθηκε ίσο με: 24.74 km².
- Recession Constant: Ο συντελεστής αυτός βρέθηκε από βιβλιογραφικές αναφορές (http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/CPD-74B_2000Mar.pdf , σελ. 86 από 157) ότι, για προσομοίωση ενός επεισοδίου επιφανειακής απορροής, παίρνει τιμές από 0.3 έως 0.8. Έπειτα από δοκιμές με διάφορες τιμές του συντελεστή αυτού, παρατηρήθηκε ότι στην περίπτωση μας δεν παίζει κάποιο ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα κι έτσι θεωρήθηκε μια μέση τιμή (0.55) και με αυτήν εκτελέστηκε η προσομοίωση.
- Curve Number: Για τον υπολογισμό του CN, χρησιμοποιήθηκε το shape με τις χρήσεις γης της Αλμυρίδας ταξινομημένες με βάση το Corine Land Cover 2000. Βάσει αυτού του shape, της γεωλογίας της λεκάνης και της προηγούμενης υγρασίας του εδάφους, μετατράπηκαν οι διάφορες κατηγορίες εδαφών και καλλιεργειών σε επιφάνειες (εμβαδά). Από πίνακα με τις τυπικές τιμές CN για διάφορα είδη εδαφών και καλλιεργειών, παρήχθησαν κάποιοι συντελεστές, οι οποίοι πολλαπλασιαζόμενοι με την επιφάνεια της κάθε κατηγορίας και διαιρούμενοι με τη συνολική επιφάνεια της λεκάνης, έδωσαν το συνολικό Curve Number της λεκάνης, το οποίο ισούται με 62.94 .
- Impervious: Το Impervious (ποσοστό αδιαπερατότητας) για μια λεκάνη απορροής, υπολογίζεται ως η μέση τιμή όλων των συντελεστών υδροπερατότητας για κάθε διαφορετικό τύπο εδάφους. Στην περίπτωση της Αλμυρίδας, το ποσοστό αδιαπερατότητας βρέθηκε ίσο με 5.56%.
- Lag Time (T_{LAG}): Ο χρόνος απόκρισης της λεκάνης υπολογίζεται βάσει συγκεκριμένων εξισώσεων για τη μέθοδο SCS. Η βασική εξίσωση είναι:

$$T_{LAG} = L^{0.8} \cdot \frac{(S+1)^{0.7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} \quad (1) , \text{ όπου:}$$

T_{LAG} : ο χρόνος απόκρισης της λεκάνης (h).

L : το υδραυλικό μήκος της λεκάνης (ft).

Y : η μέση κλίση της λεκάνης (%).

S : η μέγιστη κατακράτηση της λεκάνης, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2), \text{ όπου:}$$

CN : SCS curve number της λεκάνης όπως υπολογίζεται από τη μέθοδο απωλειών SCS (βλ. κεφ. 3 για περισσότερες λεπτομέρειες).

Για την περίπτωση της υδρολογικής λεκάνης της Αλμυρίδας, ισχύει:

$$L = 7300 \text{ m} \cdot (3.28 \text{ ft/m}) \Leftrightarrow L = 23944 \text{ ft}$$

$$\boxed{CN = 62.94}$$

$$S = (1000/62.94) - 10 \Leftrightarrow S = 5.89$$

$$\boxed{Y = 11.9 \%}$$
 (average) (υπολογίστηκε στο ArcGIS 9.1)

Άρα, αντικαθιστώντας στη σχέση (1):

$$T_{LAG} = L^{0.8} \cdot \frac{(S+1)^{0.7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} = 23944^{0.8} \cdot \frac{(5.89+1)^{0.7}}{1900 \cdot \sqrt{11.9}} \Rightarrow T_{LAG} = 1.88 \text{ hrs}$$

Ή αλλιώς: $\boxed{T_{LAG} = 112.6 \text{ min}}$

- Concentration Time (T_C): Η SCS (Soil Conservation Service) εφηύρε τη σχέση (3) μεταξύ του χρόνου απόκρισης και του χρόνου συγκέντρωσης της λεκάνης:

$$T_{LAG} = 0.6 \cdot T_C \quad (3), \text{ όπου:}$$

T_{LAG} : ο χρόνος απόκρισης της λεκάνης (h).

T_C = ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης (h).

Οπότε, από τη σχέση (3), προκύπτει ότι:

$$T_{LAG} = 0.6 \cdot T_C \Rightarrow T_C = T_{LAG} / 0.6 = 1.88 / 0.6 \Rightarrow \boxed{T_C = 3.13 \text{ h}}$$

- Initial Abstraction: Η μεταβλητή αυτή αντιπροσωπεύει πόσο νερό (σε mm) από τα κατακρημνίσματα κατεισδύει άμεσα εντός του εδάφους χωρίς να μετατραπεί σε επιφανειακή απορροή. Εξαρτάται από τον τύπο και την υγρασία του εδάφους τη δεδομένη χρονική στιγμή (κυρίως λόγω τυχόν βροχοπτώσεων κατά τις προηγούμενες μέρες). Με βάση ημερήσια δεδομένα βροχόπτωσης κατά τις προηγούμενες μέρες του Οκτωβρίου πριν από την καταιγίδα στις 17 Οκτωβρίου και αρκετές δοκιμές στη συγκεκριμένη μεταβλητή στο HEC HMS, αποφασίστηκε

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

ότι μια πολύ καλή θεώρηση ήταν τα 4 mm. Στον Πίνακα 11, παρουσιάζονται τα δεδομένα βροχόπτωσης του σταθμού στις Καλύβες για τις πρώτες 16 ημέρες του Οκτωβρίου 2006.

Ημέρα Οκτωβρίου 2006	Βροχόπτωση (mm)
1	0
2	0
3	0
4	0
5	0
6	0
7	0
8	0
9	0.1
10	0.3
11	20.0
12	0.7
13	0
14	0
15	0
16	0

Πίνακας 11: Ημερήσια βροχόπτωση στο σταθμό των Καλυβών 1-16/10/2006

Σημείωση: Η βροχόπτωση που παρουσιάζεται στον Πίνακα 11 πιθανόν να διαφέρει από την πραγματική, καθώς τα μηδενικά δεν γνωρίζεται κατά πόσο ισχύουν. Απλά αποτελεί μια καλή ένδειξη σχετικά με την κατανομή της βροχόπτωσης, έτσι ώστε να εκτιμηθεί η κατάσταση του εδάφους όσο αφορά την υγρασία του.

6.1.3 Ανάλυση ευαισθησίας μοντέλου

Το μοντέλο δοκιμάστηκε για διάφορες τιμές τριών μεταβλητών, οι οποίες περιέχουν κάποια αβεβαιότητα. Αυτές οι μεταβλητές ήταν οι εξής:

- 1) Initial Abstraction (mm)
- 2) Curve Number
- 3) Impervious (%)

Δοκιμάστηκαν λοιπόν διάφορες τιμές, έτσι ώστε να παρατηρηθούν τυχόν αλλαγές στην απόκριση του συστήματος. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω.

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

A) Ανάλυση ευαισθησίας για τη μεταβλητή Initial Abstraction

Οι παρακάτω τιμές υπολογίστηκαν με: $CN = 62.94$, $Impervious = 5.56\%$, $Recession Constant = 0.55$ και $Lag Time = 112.6 \text{ min}$.

Initial Abstraction	Peak Outflow (m ³ /s)	Time of Peak	Total Outflow (Mm ³)
0	96.55	12:00	2.347
2	95.28	12:00	2.311
4	94.20	12:00	2.276
6	92.62	12:00	2.239
8	91.24	12:00	2.203
10	89.83	12:00	2.167

Πίνακας 12: Ανάλυση ευαισθησίας για τη μεταβλητή Initial Abstraction

B) Ανάλυση ευαισθησίας για τη μεταβλητή Curve Number

Όπως φαίνεται από τις σχέσεις (1) και (2), οι έννοιες Curve Number και Lag Time είναι αλληλοεξαρτόμενες. Οι παρακάτω τιμές υπολογίστηκαν με: $Initial Abstraction = 4 \text{ mm}$, $Impervious = 5.56\%$ και $Recession Constant = 0.55$.

Curve Number	Lag Time (min)	Peak Outflow (m ³ /s)	Time of Peak	Total Outflow (Mm ³)
60	121.4	86.43	12:00	2.145
62.94	112.6	94.20	12:00	2.276
65	106.8	100.71	12:00	2.369
67.5	100.0	108.51	12:00	2.485
70	93.6	116.07	12:00	2.604
72.5	87.4	123.18	12:00	2.726
75	81.4	129.72	12:00	2.852

Πίνακας 13: Ανάλυση ευαισθησίας για τη μεταβλητή Curve Number

Γ) Ανάλυση ευαισθησίας για τη μεταβλητή Impervious

Οι παρακάτω τιμές υπολογίστηκαν με: $Initial Abstraction = 4 \text{ mm}$, $CN = 62.94$, $Recession Constant = 0.55$ και $Lag Time = 112.6 \text{ min}$.

Impervious (%)	Peak Outflow (m ³ /s)	Time of Peak	Total Outflow (Mm ³)
4	92.78	12:00	2.243
5	93.54	12:00	2.264
5.56	94.20	12:00	2.276
6	94.30	12:00	2.284
7	95.06	12:00	2.305
8	95.82	12:00	2.325
9	96.57	12:00	2.345
10	97.33	12:00	2.366

Πίνακας 14: Ανάλυση ευαισθησίας για τη μεταβλητή Impervious

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Στον Πίνακα 15 αναφέρονται συνολικά, τα βασικά χαρακτηριστικά της υδρολογικής λεκάνης της Αλμυρίδας τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση στο HEC HMS με τη μέθοδο SCS και τα οποία προέκυψαν από τις διαδικασίες που περιγράφηκαν παραπάνω:

Χαρακτηριστικό	Τιμή
Area (km ²)	24.74
Initial Abstraction (mm)	4
Curve Number	62.94
Impervious (%)	5.56
Lag Time (hr)	1.88
Concentration Time - Tc (h)	3.13
Recession Constant	0.55

Πίνακας 15: Τιμές παραμέτρων HMS για τη μέθοδο SCS

Τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης η οποία επιλέχτηκε για την προσομοίωση, παρουσιάζονται στον Πίνακα 16:

Χαρακτηριστικά Βροχόπτωσης	Τιμή
Διάρκεια (h)	24
Συνολική κατακρήμνιση (mm)	182.7
Χρονικό βήμα (h)	1
Αρχική μέτρηση	17/10/2006 00:00 πμ
Τελική μέτρηση	18/10/2006 00:00 πμ

Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά της επιλεγθείσας βροχόπτωσης

Η χρονοσειρά της βροχόπτωσης που χρησιμοποιήθηκε προέκυψε έμμεσα από το σταθμό της Σούδας. Πιο αναλυτικά, για το σταθμό της Σούδας, υπήρχαν ωριαίες μετρήσεις βροχόπτωσης, ενώ για το σταθμό στις Καλύβες (που είναι και ο μοναδικός βροχομετρικός σταθμός εντός λεκάνης), υπήρχε μόνο ημερήσια τιμή βροχόπτωσης. Οπότε, συγκρίνοντας το λόγο της ημερήσιας βροχόπτωσης στις Καλύβες, με την αντίστοιχη στη Σούδα, προέκυψαν ωριαίες μετρήσεις βροχόπτωσης για το σταθμό στις Καλύβες, για τις 17 Οκτωβρίου 2006.

Στον Πίνακα 17 παρουσιάζεται η χρονοσειρά της βροχόπτωσης, η οποία τελικά χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της πλημμύρας.

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

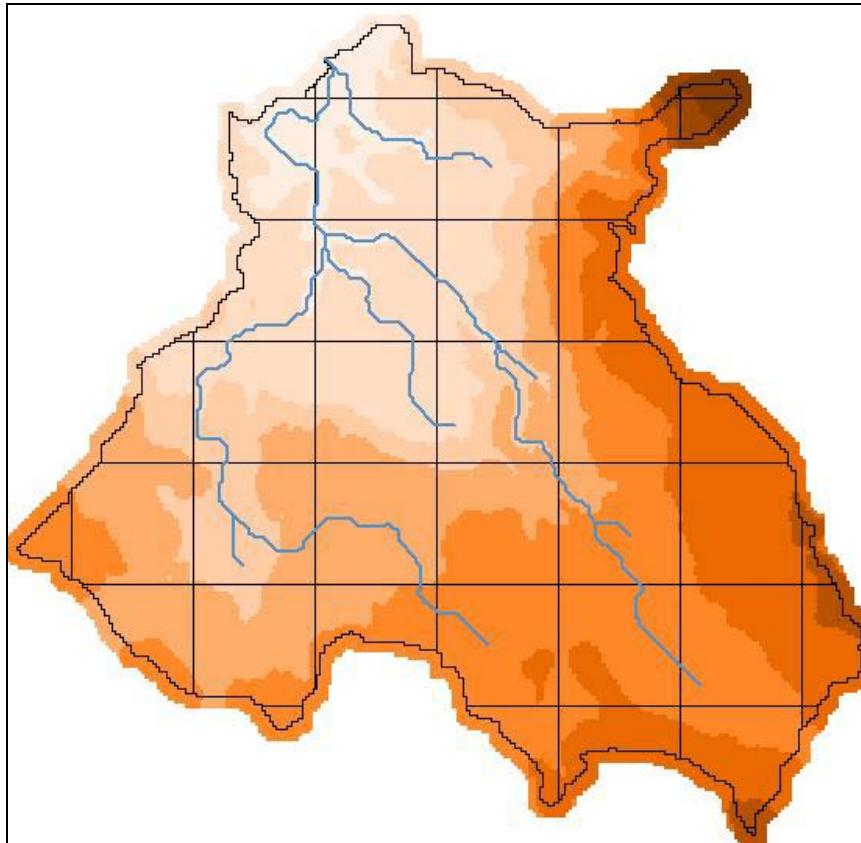
Ημερομηνία (local time)	Βροχόπτωση σταθμού Καλύβες (mm)
17/10/2006 0:00	0.00
17/10/2006 1:00	0.28
17/10/2006 2:00	0.56
17/10/2006 3:00	1.68
17/10/2006 4:00	1.40
17/10/2006 5:00	1.12
17/10/2006 6:00	8.56
17/10/2006 7:00	11.22
17/10/2006 8:00	11.22
17/10/2006 9:00	22.03
17/10/2006 10:00	25.96
17/10/2006 11:00	35.36
17/10/2006 12:00	11.22
17/10/2006 13:00	17.12
17/10/2006 14:00	3.65
17/10/2006 15:00	1.54
17/10/2006 16:00	2.67
17/10/2006 17:00	0.42
17/10/2006 18:00	2.81
17/10/2006 19:00	6.59
17/10/2006 20:00	2.10
17/10/2006 21:00	0.42
17/10/2006 22:00	3.51
17/10/2006 23:00	3.51
18/10/2006 00:00	7.72
Σύνολο (mm)	182.68

Πίνακας 17: Χρονοσειρά της επιλεγθείσας βροχόπτωσης

Έτσι, εισήχθησαν όλα τα παραπάνω δεδομένα στο HMS και το μοντέλο προσομοίωσε το πλημμυρικό γεγονός (τα αποτελέσματα του μοντέλου παρουσιάζονται στην παράγραφο 6.4).

6.2 Προσομοίωση πλημμύρας με χρήση κατανεμημένης βροχόπτωσης

Στην Εικόνα 18, απεικονίζεται το DEM της Αλμυρίδας με το shape του ποταμού και το "grid" που προέκυψε από το HEC-GeoHMS με μέγεθος κελιού 1000m



Εικόνα 18: Η λεκάνη της Αλμυρίδας με το SHG grid των 1000m.

6.2.1 Βαθμονόμηση HEC HMS

Για να «τρέξει» το HEC-HMS, χρειάστηκαν τα εξής εργαλεία και shapes:

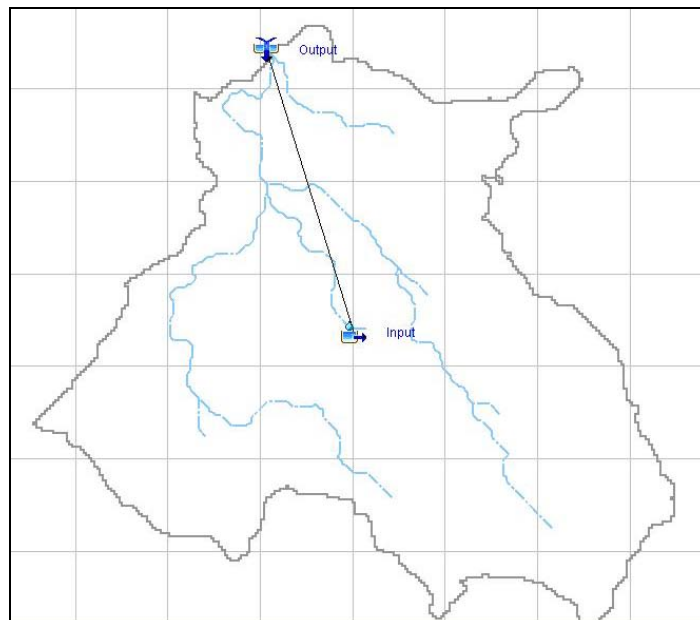
- 1) Το *Basin Model*, το οποίο περιέχει τις κατάλληλες πληροφορίες της λεκάνης και των στοιχείων αυτής (υδατορεύματα, junctions, κλπ)
- 2) Το *ModClark theme*, δηλαδή ένα shape το οποίο συσχετίζει τα κελιά του κανάβου με την υδρολογική λεκάνη και περιέχει κάποιες απαραίτητες πληροφορίες και παραμέτρους για αυτά τα κελιά και

- 3) Το *asc2dssGrid.exe*, το οποίο είναι ένα εργαλείο για να μετατραπούν κατάλληλα τα δεδομένα της βροχόπτωσης από μορφή κειμένου (ascii), σε ένα αρχείο μορφής DSS, το οποίο έπειτα μπορεί να εισαχθεί στο HEC-HMS.

Το κάθε ένα από τα παραπάνω βήματα, απαιτεί μια σειρά διεργασιών, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα 5.

Αφού εκτελεστήκαν τα παραπάνω, τα βήματα που ακολουθήθηκαν στο HEC-HMS για την τελική προσομοίωση με τη μέθοδο ModClark, παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω:

- 1) Άνοιγμα του project που δημιούργησε το GeoHMS. (File → Open Project)
- 2) Ρύθμιση των παραμέτρων του project (Tools → Project Options)
- 3) Εισαγωγή του Basin Model. (File → Import → Basin Model)
- 4) Εισαγωγή μετεωρολογικού μοντέλου (Components → Meteorologic Model Manager)
- 5) Εισαγωγή Control Specification Manager (ComponentsControl Specification Manager).
- 6) Εισαγωγή Grid Data Manager (Components→ Grid Data Manager) και δημιουργία Precipitation Grid.



Εικόνα 19: Απεικόνιση λεκάνης στο HEC-HMS (ModClark method)

6.2.2 Υπολογισμός βασικών μεταβλητών HEC-HMS

Οι βασικές μεταβλητές για την προσομοίωση στο HEC-HMS, είναι σχεδόν ίδιες με αυτές της SCS μεθόδου (βλ. παράγραφο 6.1.2). Η μόνη που διαφέρει είναι το Storage Coefficient (R) αντί για το Recession Constant.

Στον Πίνακα 18 παρουσιάζονται οι τιμές των βασικών παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση στο HEC HMS με τη μέθοδο ModClark.

Παράμετρος	Τιμή
Area (km ²)	24.74
Initial Abstraction (mm)	4
Curve Number	62.94
Impervious (%)	5.56
Concentration Time - T _c (h)	3.13
Storage Coefficient R (h)	Ανάλυση Ευαισθησίας

Πίνακας 18: Τιμές παραμέτρων HMS για τη μέθοδο ModClark

6.2.3 Ανάλυση ευαισθησίας μοντέλου

Το R είναι ένας δείκτης της προσωρινής αποθήκευσης της περίσσειας βροχόπτωσης στη λεκάνη όπως αυτή στραγγίζει προς το σημείο εξόδου. Άρα, όσο μεγαλύτερο είναι το R τόσο το Q_{peak} μειώνεται και το T_{peak} μετατοπίζεται αργότερα.

Η συνηθέστερη μέθοδος υπολογισμού του R είναι γραφικά, από ένα παρατηρημένο υδρογράφημα για το συγκεκριμένο γεγονός που μελετάται. Στην περίπτωση μας, δεν υπήρχε διαθέσιμο αυτό το στοιχείο, οπότε χρειάστηκε να ακολουθηθεί άλλη διαδικασία.

Ο όγκος αποθήκευσης, για κάθε γεγονός, είναι εξαρτώμενος από το CN. Το σχήμα της καμπύλης του υδρογραφήματος όμως, εξαρτάται από το R. Το R και το T_c είναι αλληλοεξαρτώμενα με βάση τη σχέση:

$$\frac{R}{T_c + R} = a \Rightarrow R = \frac{a \cdot T_c}{1 - a}$$

όπου: $0.1 < a < 0.7$ (τα 0.1 και 0.7 είναι σπάνιες και ακραίες περιπτώσεις λεκανών)

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του συντελεστή απορροής, ο συντελεστής α μπορεί να πάρει τιμές ανάλογα με τις χρήσεις γης και τον τύπο του εδάφους, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 19 (Connell Wagner, 2001).

Χρήσεις Γης	Τιμή συντελεστή α
Ιδιαίτερα ανεπτυγμένες οικιστικά και βιομηχανικά λεκάνες	0.25
Συνήθεις κατοικημένες λεκάνες	0.30
Κατοικημένες λεκάνες με εδάφη μεγάλης αποθηκευτικότητας	0.35
Αγροτικές λεκάνες με μεγάλες κλίσεις	0.45
Αγροτικές επίπεδες λεκάνες	0.60

Πίνακας 19: Διαφορετικές τιμές του συντελεστή α ανάλογα με τις χρήσεις γης

Η τιμή του R συναρτήσει του συντελεστή α , για τις παραπάνω πιθανές τιμές του α , παρουσιάζεται στον Πίνακα 20:

α	T_c (h)	R (hr)
0.25	3.13	1.04
0.3	3.13	1.34
0.35	3.13	1.69
0.4	3.13	2.09
0.45	3.13	2.56
0.5	3.13	3.13
0.55	3.13	3.83
0.6	3.13	4.70

Πίνακας 20: Τιμές του R συναρτήσει του α

Η πιο πιθανή τιμή του συντελεστή α , κρίνοντας από τη μορφολογία και τις χρήσεις γης της λεκάνης της Αλμυρίδας, είναι $\alpha=0.3$, που συνεπάγεται για $T_c = 3.13h$ ότι $R = 1.34h$.

Έχοντας σαν οδηγό την παραπάνω μεθοδολογία, για την εκτίμηση του R , το μοντέλο δοκιμάστηκε για διάφορες τιμές της μεταβλητής Storage Coefficient (R).

Στον Πίνακα 21 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα.

R (hrs)	Q_{peak} (m ³ /s)	Time of peak	Outflow (Mm ³)
0.5	108.2	13:00	2.16
0.75	104.6	13:00	2.15
1	100.0	13:00	2.14
1.25	95.6	13:15	2.12
1.5	91.3	13:15	2.11
1.75	87.1	13:30	2.10
2	83.4	13:30	2.08

Πίνακας 21: Ανάλυση ευαισθησίας για τη μεταβλητή Storage Coefficient

6.3 Προεργασία στο HEC GeoRAS και βαθμονόμηση HEC RAS

6.3.1 HEC GeoRAS

Αρχικά, δημιουργήθηκε ένα αρχείο γεωμετρικών δεδομένων στο HEC GeoRAS, το οποίο περιείχε πληροφορίες σχετικά με τις διατομές, τα πρανή της κοίτης και άλλα γεωμορφολογικά στοιχεία της περιοχής γύρω από την κοίτη. Η προεπεξεργασία στο HEC GeoRAS περιελάμβανε μέσα σ' άλλα, τη δημιουργία αυτών των στοιχείων στο GIS και τη μετέπειτα εξαγωγή τους σε αρχείο κατάλληλης μορφής (*.sdf ή *.geo) για να εισαχθεί στο HEC RAS και να προχωρήσει η προσομοίωση.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία αυτού του αρχείου περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

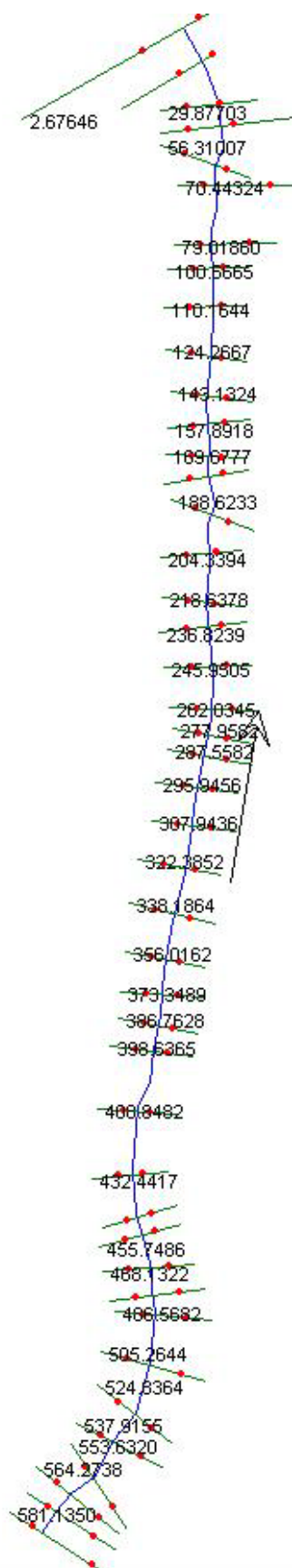
Αρχικά, φορτώνεται η γραμμή εργαλείων του HEC GeoRAS, στο ArcGIS 9.1. Πρώτο βήμα ήταν η δημιουργία ενός αρχείου tin το οποίο περιείχε την περιοχή γύρω από το κομμάτι του ποταμού που μετρήθηκε σε τρισδιάστατη απεικόνιση.

Έπειτα, δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα layers στο GIS τα οποία περιείχαν τις απαραίτητες γεωμετρικές πληροφορίες (river centerline, river banks και δεδομένα διατομών).

Ακολούθησε η ρύθμιση κάποιων παραμέτρων του layer (Layer Setup) και η εξαγωγή από το GIS (Export GIS Data). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκαν δύο αρχεία: ένα xml και ένα sdf.

6.3.2 HEC RAS

Τα παραπάνω δεδομένα, φορτώθηκαν στο HEC RAS μέσω του Geometric Data Editor (File→Import Geometry Data→GIS Format) και προέκυψε η γεωμετρική απεικόνιση των μετρημένων διατομών (Εικόνα 20). Έπειτα, εισήχθησαν τα δεδομένα ροής (Edit → Unsteady Flow Data) και ρυθμίστηκαν οι οριακές συνθήκες.



Εικόνα 20: Γεωμετρική απεικόνιση μετρημένων διατομών στην Αλμυρίδα

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Λόγω της έντασης του γεγονότος το είδος της ροής θεωρήθηκε ως μη σταθερή. Για την ανάλυση μη σταθερής ροής είναι απαραίτητη η εισαγωγή των οριακών συνθηκών του μοντέλου. Οι οριακές συνθήκες στην παρούσα εφαρμογή ήταν το υδρογράφημα εισροής, όπως αυτό προέκυψε από την προσομοίωση ροής του HEC – HMS, η κλίση του πυθμένα του καναλιού, καθώς και οι συντελεστές Manning.

Οι συντελεστές Manning που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση, προέκυψαν από τον Πίνακα 22 (<http://www.lmnoeng.com/manningn.htm>):

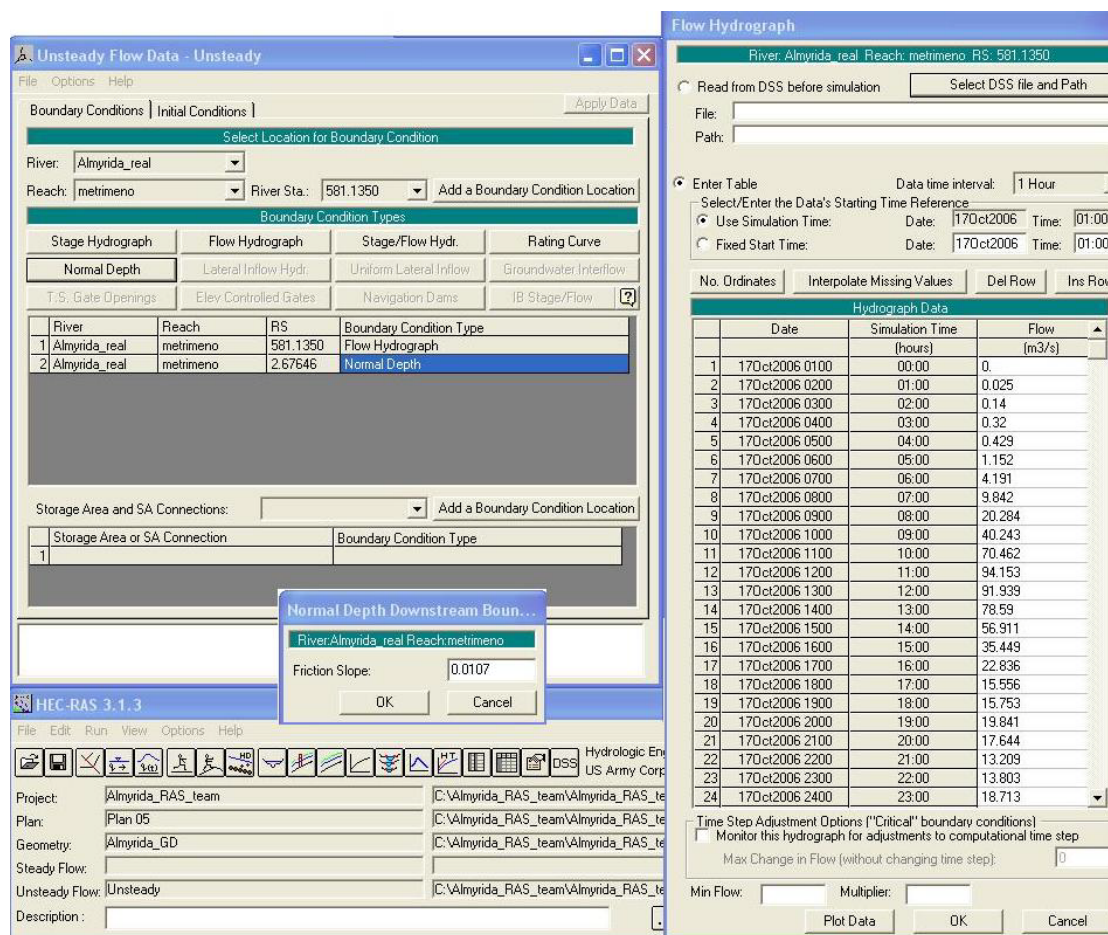
Υλικό	Manning n
<i>Φυσικά Υδατορέματα</i>	
Καθαρά και ευθυτενή	0.030
Κυρίως υδατορέματα	0.035
Με μεγάλες λακούβες	0.040
<i>Σκαμμένα κανάλια</i>	
Καθαρά	0.022
Με χαλίκια	0.025
Με χόρτα	0.030
Με πέτρες , σκύρο	0.035
<i>Πλημμυρικές κοίτες</i>	
Γρασίδι, Βοσκοτόπια	0.035
Αραιά Θαμνώδης έκταση	0.050
Πυκνή Θαμνώδης έκταση	0.075
Δέντρα	0.15

Πίνακας 22: Συντελεστές τραχύτητας Manning

Οι συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν στην προσομοίωση, με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 22, ήταν: 0.035 εντός της κοίτης και 0.06 στα πρανή.

Το HEC-RAS προσομοίωσε το πλημμυρικό γεγονός χρησιμοποιώντας τα δεδομένα ασταθούς ροής της Εικόνα 21:

Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών. Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.



Εικόνα 21 : Δεδομένα εισόδου στο HEC-RAS

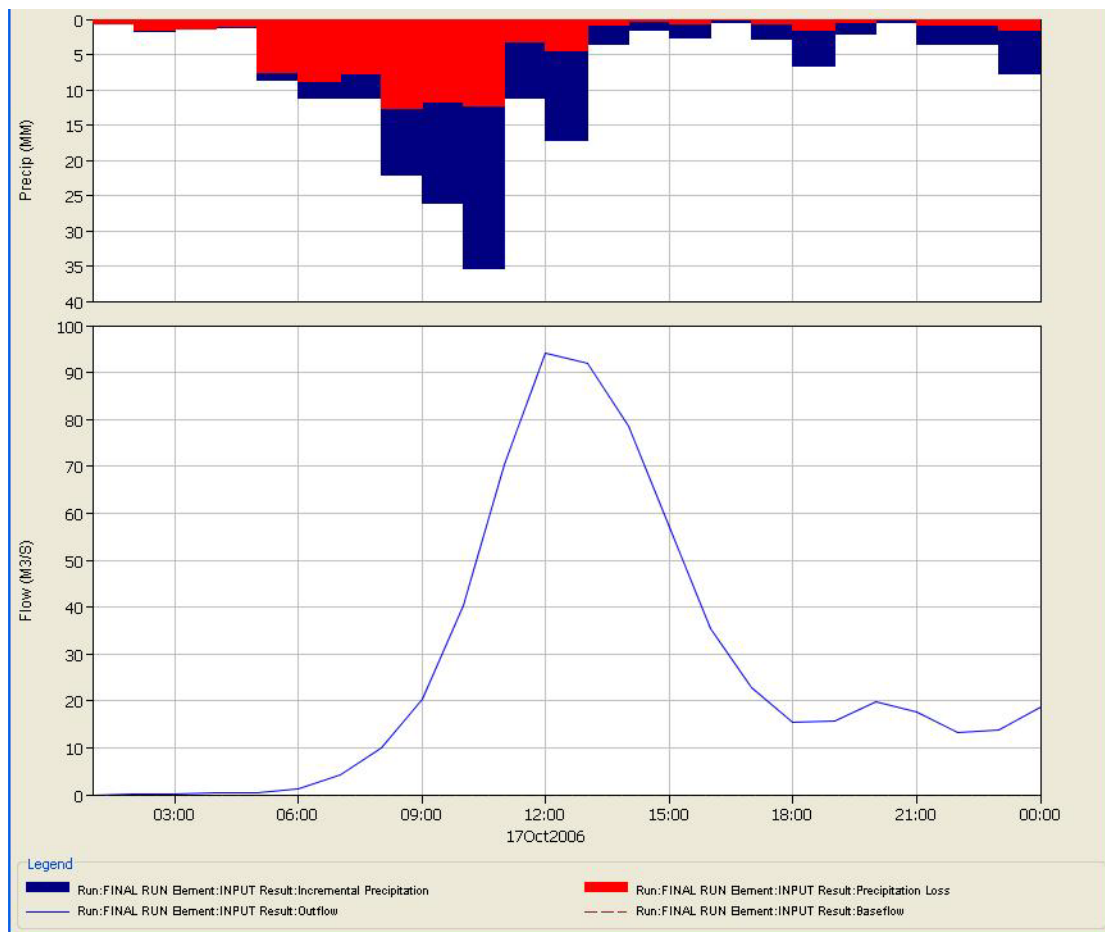
Για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με το HEC RAS, ανατρέξτε στο Reference Manual: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS_Reference_Manual.pdf) και στην ιστοσελίδα: <http://web.ics.purdue.edu/~vmerwade/education/georastutorial.pdf> .

6.4 Αποτελέσματα προσομοίωσης

6.4.1 Αποτελέσματα HEC HMS

- SCS Method

Αναλυτικά, τα αποτελέσματα της προσομοίωσης στο HEC HMS, παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 22 : Υδρογράφημα Απορροής για τη μέθοδο SCS Unit Hydrograph

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
17Οκτ2006	00:00				0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	01:00	0,28	0,26	0,02	0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	02:00	0,56	0,53	0,03	0,1	0,0	0,1
17Οκτ2006	03:00	1,68	1,59	0,09	0,2	0,0	0,2
17Οκτ2006	04:00	1,40	1,32	0,08	0,3	0,0	0,3
17Οκτ2006	05:00	1,12	1,05	0,07	0,4	0,0	0,4
17Οκτ2006	06:00	8,56	7,54	1,02	1,2	0,0	1,2
17Οκτ2006	07:00	11,22	8,74	2,48	4,3	0,0	4,3
17Οκτ2006	08:00	11,22	7,66	3,56	10,0	0,0	10,0
17Οκτ2006	09:00	22,03	12,58	9,45	20,4	0,0	20,4
17Οκτ2006	10:00	25,96	11,73	14,23	40,4	0,0	40,4
17Οκτ2006	11:00	35,36	12,28	23,08	70,6	0,0	70,6
17Οκτ2006	12:00	11,22	3,24	7,98	94,2	0,0	94,2
17Οκτ2006	13:00	17,12	4,46	12,66	92,0	0,0	92,0
17Οκτ2006	14:00	3,65	0,89	2,76	78,7	0,0	78,7
17Οκτ2006	15:00	1,54	0,37	1,17	57,1	0,0	57,1
17Οκτ2006	16:00	2,67	0,63	2,04	35,6	0,0	35,6
17Οκτ2006	17:00	0,42	0,10	0,32	22,9	0,0	22,9
17Οκτ2006	18:00	2,81	0,65	2,16	15,6	0,0	15,6
17Οκτ2006	19:00	6,59	1,47	5,12	15,8	0,0	15,8
17Οκτ2006	20:00	2,10	0,46	1,64	19,9	0,0	19,9
17Οκτ2006	21:00	0,42	0,09	0,33	17,7	0,0	17,7
17Οκτ2006	22:00	3,51	0,75	2,76	13,3	0,0	13,3
17Οκτ2006	23:00	3,51	0,73	2,78	13,9	0,0	13,9
18Οκτ2006	00:00	7,72	1,55	6,17	18,8	0,0	18,8

Εικόνα 23 : Χρονοσειρά της πλημμυρικής παροχής (SCS method)

Volume Units: <input checked="" type="radio"/> MM <input type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge :	94,2 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge :	17Οκτ2006, 12:00
Total Precipitation :	182,67 (MM)	Total Direct Runoff :	92,24 (MM)
Total Loss :	80,66 (MM)	Total Baseflow :	0,00 (MM)
Total Excess :	102,01 (MM)	Discharge :	92,24 (MM)

Volume Units: <input type="radio"/> MM <input checked="" type="radio"/> 1000 M3			
Computed Results			
Peak Discharge :	94,2 (M3/S)	Date/Time of Peak Discharge :	17Οκτ2006, 12:00
Total Precipitation :	4519,4 (1000 M3)	Total Direct Runoff :	2282,2 (1000 M3)
Total Loss :	1995,7 (1000 M3)	Total Baseflow :	0,0 (1000 M3)
Total Excess :	2523,8 (1000 M3)	Discharge :	2282,2 (1000 M3)

Εικόνα 24 : Αποτελέσματα του μοντέλου σε mm και Mm³ βροχής

Πιο συγκεκριμένα, το HEC υπολόγισε ότι, από τα 182.7 mm (δηλαδή περίπου 4,52 Mm³) που έβρεξε συνολικά:

- Τα 80.66 mm κατεισδύσανε στο έδαφος (loss) ($\approx 2 \text{ Mm}^3$) και
- Τα 92.24 mm έγιναν επιφανειακή απορροή (direct runoff) ($\approx 2.28 \text{ Mm}^3$).

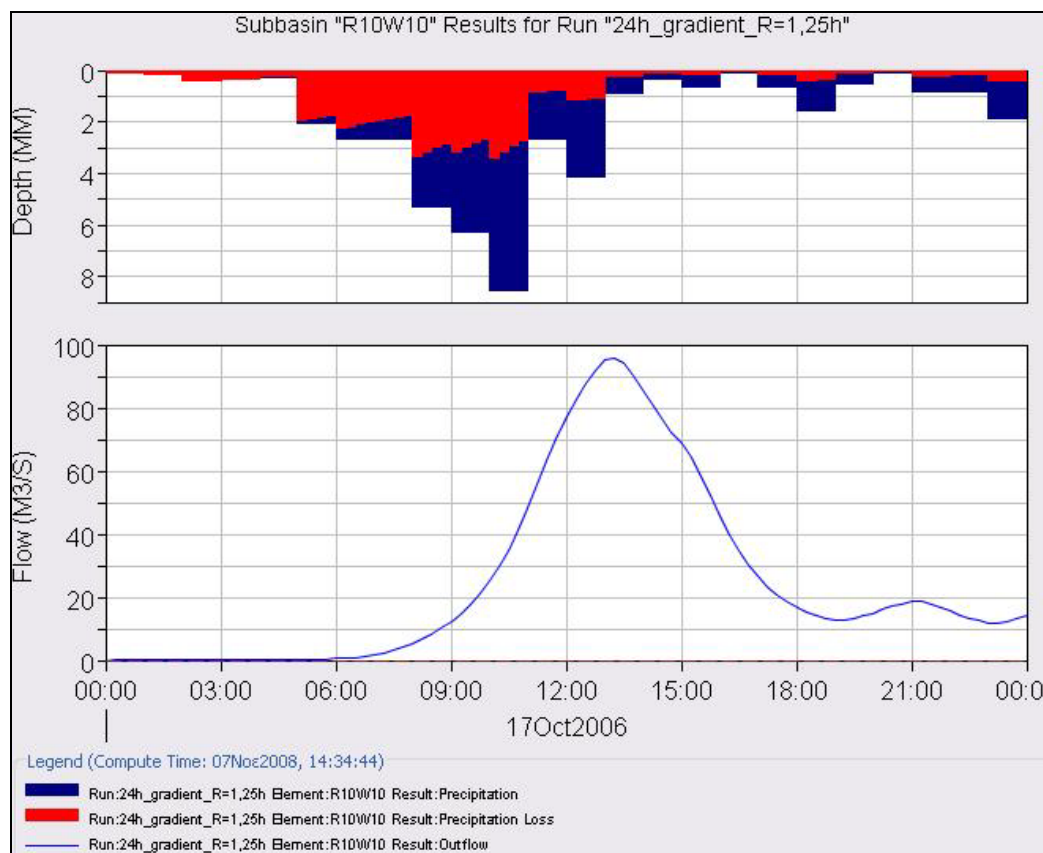
Αυτό σημαίνει ότι ο συντελεστής απορροής (**Discharge Coefficient**) ισούται με: $\text{Απορροή} / \text{Βροχόπτωση} = 2.28 \text{ Mm}^3 / 4.52 \text{ Mm}^3 = \mathbf{0,504}$.

Αυτό μεταφράζεται ως $Q_{\text{out}} = \mathbf{2.28 \text{ Mm}^3}$ περίπου στην έξοδο της λεκάνης, ενώ η παροχή αιχμής (peak discharge) εμφανίζεται στις 12:00 το μεσημέρι (μία ώρα καθυστέρηση δηλαδή από το peak της βροχόπτωσης) και έχει τιμή $Q_{\text{peak}} = \mathbf{94.2 \text{ m}^3/\text{s}}$.

- **ModClark Method**

Η βροχόπτωση που εξετάστηκε είναι χωρικά και χρονικά μεταβαλλόμενη. Αυτό σημαίνει ότι κάθε κελί και για κάθε χρονικό βήμα έχει διαφορετική τιμή βροχόπτωσης, η οποία προέκυψε από κατάλληλες πράξεις με τη χρήση μιας τυπικής εξίσωσης βροχοβαθμίδας για τη λεκάνη της Αλμυρίδας.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου, παρουσιάζονται στην Εικόνα 25.



Εικόνα 25: Υδρογράφημα Απορροής για τη μέθοδο ModClark

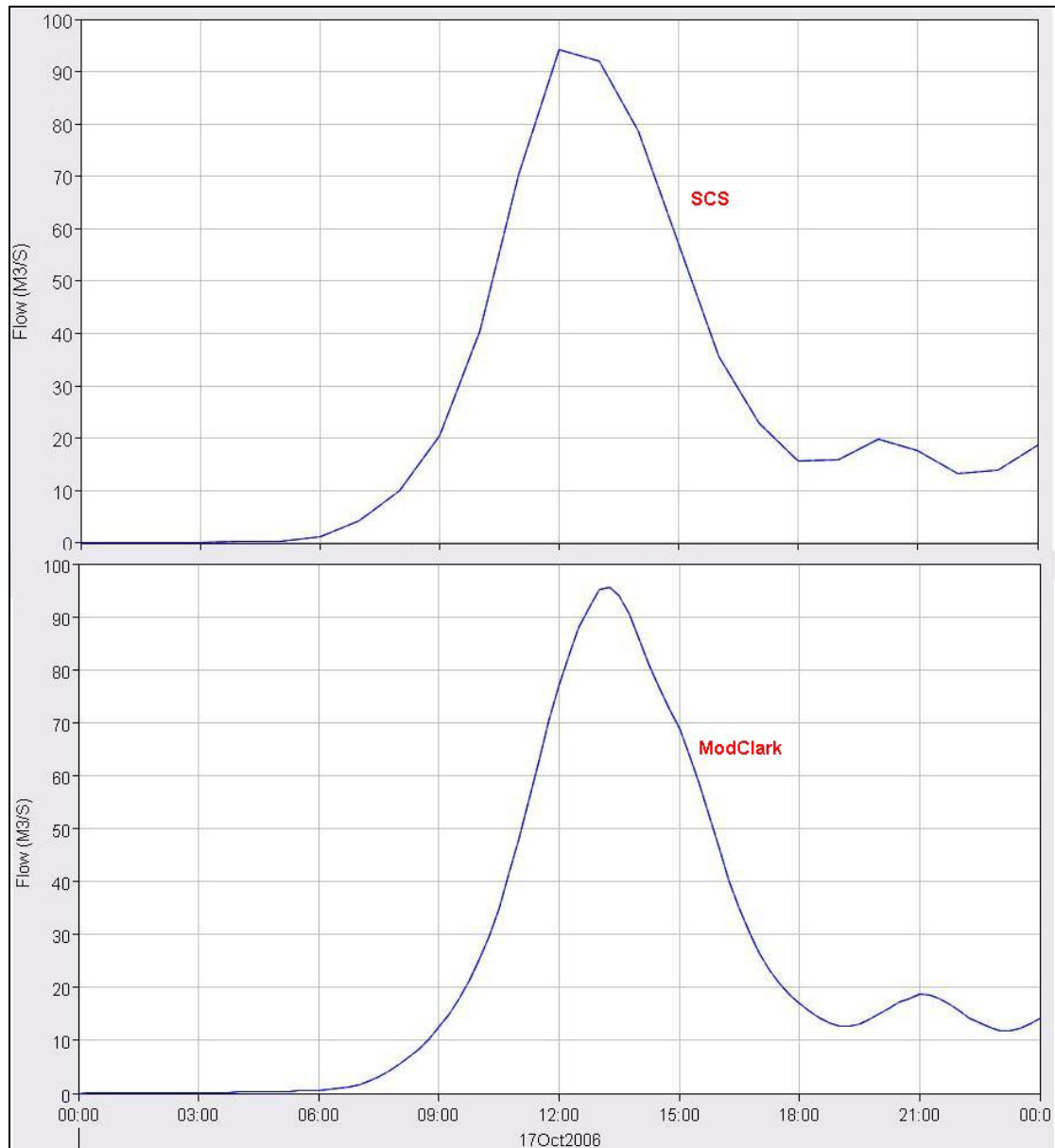
Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών. Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.

Date	Time	Precip (MM)	Loss (MM)	Excess (MM)	Direct Flow (M3/S)	Baseflow (M3/S)	Total Flow (M3/S)
17Οκτ2006	00:00				0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	00:15	0,07	0,06	0,00	0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	00:30	0,07	0,06	0,00	0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	00:45	0,07	0,06	0,00	0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	01:00	0,07	0,06	0,00	0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	01:15	0,14	0,13	0,01	0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	01:30	0,14	0,13	0,01	0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	01:45	0,14	0,13	0,01	0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	02:00	0,14	0,13	0,01	0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	02:15	0,40	0,38	0,02	0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	02:30	0,40	0,38	0,02	0,0	0,0	0,0
17Οκτ2006	02:45	0,40	0,38	0,02	0,1	0,0	0,1
17Οκτ2006	03:00	0,40	0,38	0,02	0,1	0,0	0,1
17Οκτ2006	03:15	0,33	0,31	0,02	0,1	0,0	0,1
17Οκτ2006	03:30	0,33	0,31	0,02	0,2	0,0	0,2
17Οκτ2006	03:45	0,33	0,31	0,02	0,2	0,0	0,2
17Οκτ2006	04:00	0,33	0,31	0,02	0,2	0,0	0,2
17Οκτ2006	04:15	0,26	0,24	0,02	0,3	0,0	0,3
17Οκτ2006	04:30	0,26	0,24	0,02	0,3	0,0	0,3
17Οκτ2006	04:45	0,26	0,24	0,02	0,3	0,0	0,3
17Οκτ2006	05:00	0,26	0,24	0,02	0,4	0,0	0,4
17Οκτ2006	05:15	2,07	1,90	0,16	0,4	0,0	0,4
17Οκτ2006	05:30	2,07	1,85	0,22	0,4	0,0	0,4
17Οκτ2006	05:45	2,07	1,80	0,27	0,5	0,0	0,5
17Οκτ2006	06:00	2,07	1,75	0,31	0,6	0,0	0,6
17Οκτ2006	06:15	2,69	2,22	0,48	0,7	0,0	0,7
17Οκτ2006	06:30	2,69	2,14	0,55	0,9	0,0	0,9
17Οκτ2006	06:45	2,69	2,07	0,62	1,3	0,0	1,3
17Οκτ2006	07:00	2,69	2,01	0,68	1,7	0,0	1,7
17Οκτ2006	07:15	2,69	1,94	0,75	2,4	0,0	2,4
17Οκτ2006	07:30	2,69	1,88	0,81	3,2	0,0	3,2
17Οκτ2006	07:45	2,69	1,83	0,87	4,2	0,0	4,2
17Οκτ2006	08:00	2,69	1,77	0,92	5,4	0,0	5,4
17Οκτ2006	08:15	5,29	3,33	1,96	6,8	0,0	6,8
17Οκτ2006	08:30	5,29	3,14	2,14	8,4	0,0	8,4
17Οκτ2006	08:45	5,29	2,97	2,31	10,3	0,0	10,3
17Οκτ2006	09:00	5,29	2,82	2,47	12,4	0,0	12,4
17Οκτ2006	09:15	6,25	3,15	3,11	14,9	0,0	14,9
17Οκτ2006	09:30	6,25	2,96	3,29	17,9	0,0	17,9
17Οκτ2006	09:45	6,25	2,79	3,46	21,4	0,0	21,4
17Οκτ2006	10:00	6,25	2,64	3,61	25,0	0,0	25,0
17Οκτ2006	10:15	8,51	3,37	5,15	29,6	0,0	29,6
17Οκτ2006	10:30	8,51	3,13	5,38	35,0	0,0	35,0
17Οκτ2006	10:45	8,51	2,92	5,59	41,3	0,0	41,3
17Οκτ2006	11:00	8,51	2,73	5,78	48,1	0,0	48,1
17Οκτ2006	11:15	2,69	0,83	1,87	55,5	0,0	55,5
17Οκτ2006	11:30	2,69	0,81	1,88	63,2	0,0	63,2
17Οκτ2006	11:45	2,69	0,79	1,90	70,4	0,0	70,4
17Οκτ2006	12:00	2,69	0,78	1,91	77,1	0,0	77,1
17Οκτ2006	12:15	4,11	1,16	2,95	83,0	0,0	83,0
17Οκτ2006	12:30	4,11	1,12	2,99	87,9	0,0	87,9
17Οκτ2006	12:45	4,11	1,09	3,02	91,6	0,0	91,6
17Οκτ2006	13:00	4,11	1,06	3,05	95,0	0,0	95,0
17Οκτ2006	13:15	0,86	0,22	0,64	95,6	0,0	95,6
17Οκτ2006	13:30	0,86	0,22	0,64	94,1	0,0	94,1
17Οκτ2006	13:45	0,86	0,22	0,65	90,5	0,0	90,5
17Οκτ2006	14:00	0,86	0,21	0,65	85,7	0,0	85,7
17Οκτ2006	14:15	0,36	0,09	0,27	81,1	0,0	81,1
17Οκτ2006	14:30	0,36	0,09	0,27	76,7	0,0	76,7
17Οκτ2006	14:45	0,36	0,09	0,27	72,5	0,0	72,5
17Οκτ2006	15:00	0,36	0,09	0,27	68,9	0,0	68,9
17Οκτ2006	15:15	0,64	0,16	0,49	64,0	0,0	64,0
17Οκτ2006	15:30	0,64	0,16	0,49	58,4	0,0	58,4
17Οκτ2006	15:45	0,64	0,16	0,49	52,1	0,0	52,1
17Οκτ2006	16:00	0,64	0,16	0,49	45,8	0,0	45,8
17Οκτ2006	16:15	0,09	0,02	0,07	40,0	0,0	40,0
17Οκτ2006	16:30	0,09	0,02	0,07	34,8	0,0	34,8
17Οκτ2006	16:45	0,09	0,02	0,07	30,4	0,0	30,4
17Οκτ2006	17:00	0,09	0,02	0,07	26,5	0,0	26,5
17Οκτ2006	17:15	0,67	0,16	0,51	23,4	0,0	23,4
17Οκτ2006	17:30	0,67	0,16	0,51	20,7	0,0	20,7
17Οκτ2006	17:45	0,67	0,16	0,51	18,6	0,0	18,6
17Οκτ2006	18:00	0,67	0,16	0,51	17,0	0,0	17,0
17Οκτ2006	18:15	1,58	0,37	1,21	15,4	0,0	15,4
17Οκτ2006	18:30	1,58	0,37	1,21	14,2	0,0	14,2
17Οκτ2006	18:45	1,58	0,37	1,22	13,3	0,0	13,3
17Οκτ2006	19:00	1,58	0,36	1,22	12,6	0,0	12,6
17Οκτ2006	19:15	0,50	0,11	0,39	12,6	0,0	12,6
17Οκτ2006	19:30	0,50	0,11	0,39	13,1	0,0	13,1
17Οκτ2006	19:45	0,50	0,11	0,39	14,0	0,0	14,0
17Οκτ2006	20:00	0,50	0,11	0,39	15,0	0,0	15,0
17Οκτ2006	20:15	0,09	0,02	0,07	16,1	0,0	16,1
17Οκτ2006	20:30	0,09	0,02	0,07	17,2	0,0	17,2
17Οκτ2006	20:45	0,09	0,02	0,07	18,0	0,0	18,0
17Οκτ2006	21:00	0,09	0,02	0,07	18,7	0,0	18,7
17Οκτ2006	21:15	0,84	0,19	0,65	18,6	0,0	18,6
17Οκτ2006	21:30	0,84	0,19	0,65	17,9	0,0	17,9
17Οκτ2006	21:45	0,84	0,18	0,65	16,8	0,0	16,8
17Οκτ2006	22:00	0,84	0,18	0,65	15,5	0,0	15,5
17Οκτ2006	22:15	0,84	0,18	0,65	14,3	0,0	14,3
17Οκτ2006	22:30	0,84	0,18	0,66	13,2	0,0	13,2
17Οκτ2006	22:45	0,84	0,18	0,66	12,5	0,0	12,5
17Οκτ2006	23:00	0,84	0,18	0,66	11,9	0,0	11,9
17Οκτ2006	23:15	1,85	0,39	1,46	11,8	0,0	11,8
17Οκτ2006	23:30	1,85	0,39	1,46	12,2	0,0	12,2
17Οκτ2006	23:45	1,85	0,38	1,46	13,1	0,0	13,1
18Οκτ2006	00:00	1,85	0,38	1,47	14,3	0,0	14,3

Εικόνα 26: Χρονοσειρά της πλημμυρικής παροχής (ModClark method)

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Στην Εικόνα 27, παρουσιάζονται τα 2 υδρογραφήματα που προέκυψαν από το HMS για τις δύο μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν.



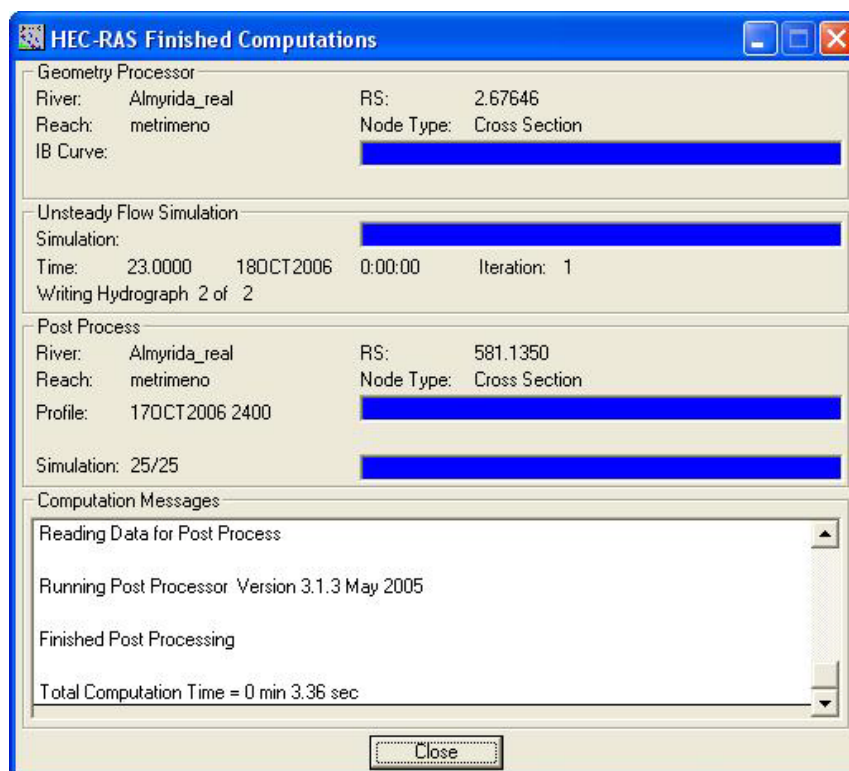
Εικόνα 27: Σύγκριση Υδρογραφημάτων Πλημμυρικής Παροχής

Παρατηρείται ότι οι δύο μέθοδοι δώσανε την ίδια τιμή σχεδόν για την παροχή αιχμής (περίπου 95 m³/s). Παρά ταύτα, η SCS unit Hydrograph μέθοδος προσομοίωσε την αιχμή της πλημμύρας 1 ώρα μετά από την αιχμή της βροχής πωσης, ενώ η μέθοδος ModClark 2 ώρες και 15 λεπτά μετά από την αιχμή της βροχής πωσης (διαφορά 75min).

6.4.2 Αποτελέσματα HEC RAS

Από το κεντρικό μενού του HEC-RAS, πατώντας Run → Unsteady Flow Analysis, εμφανίζεται ένα παράθυρο με τα δεδομένα μη-σταθερής ροής που δόθηκαν.

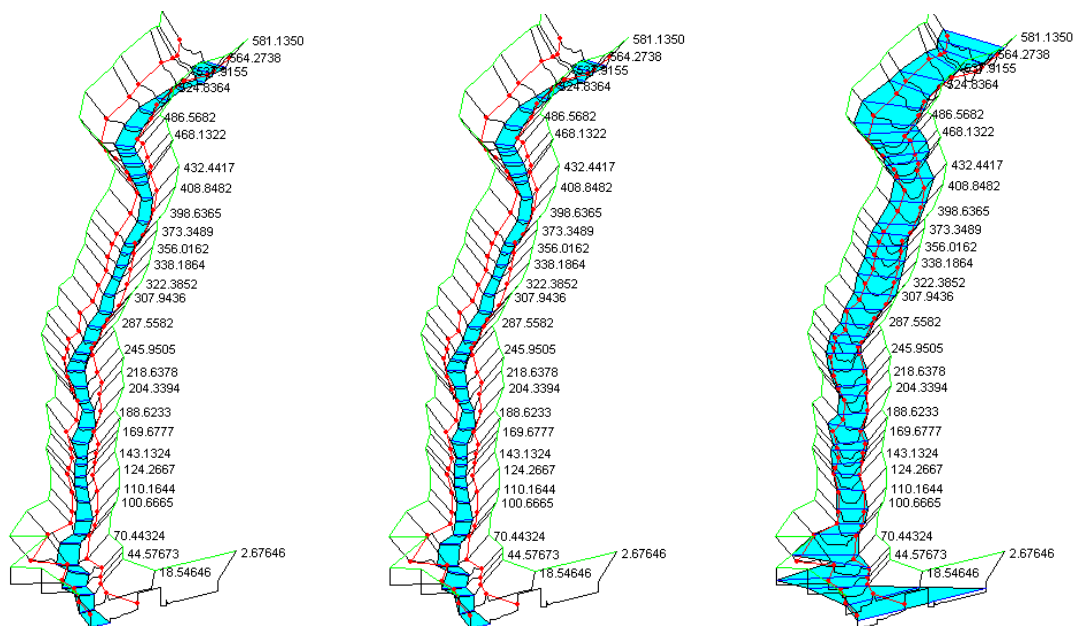
Αφού ελεγχθεί η ορθότητά τους, πατώντας compute ξεκινάει η προσομοίωση, η οποία διαρκεί λίγα δευτερόλεπτα. Μόλις ολοκληρωθεί επιτυχώς, αναδύεται το παρακάτω παράθυρο:



Εικόνα 28 : Επιτυχής ολοκλήρωση προσομοίωσης στο HEC-RAS

Στην Εικόνα 29, παρουσιάζεται το πλημμυρικό κύμα ανά 6 ώρες, όπως προέκυψε από την προσομοίωση του HEC RAS.

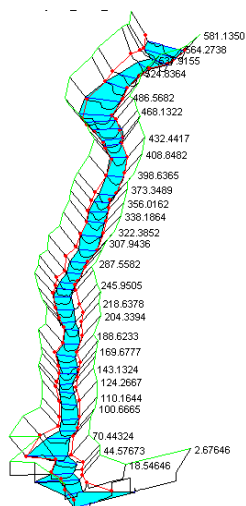
**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**



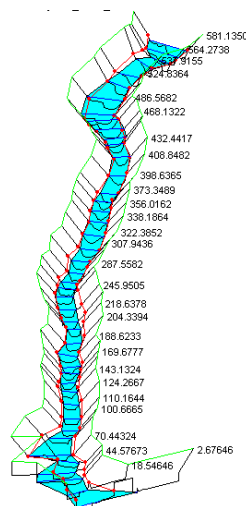
Start of simulation

After 6h

After 12h (max Q)



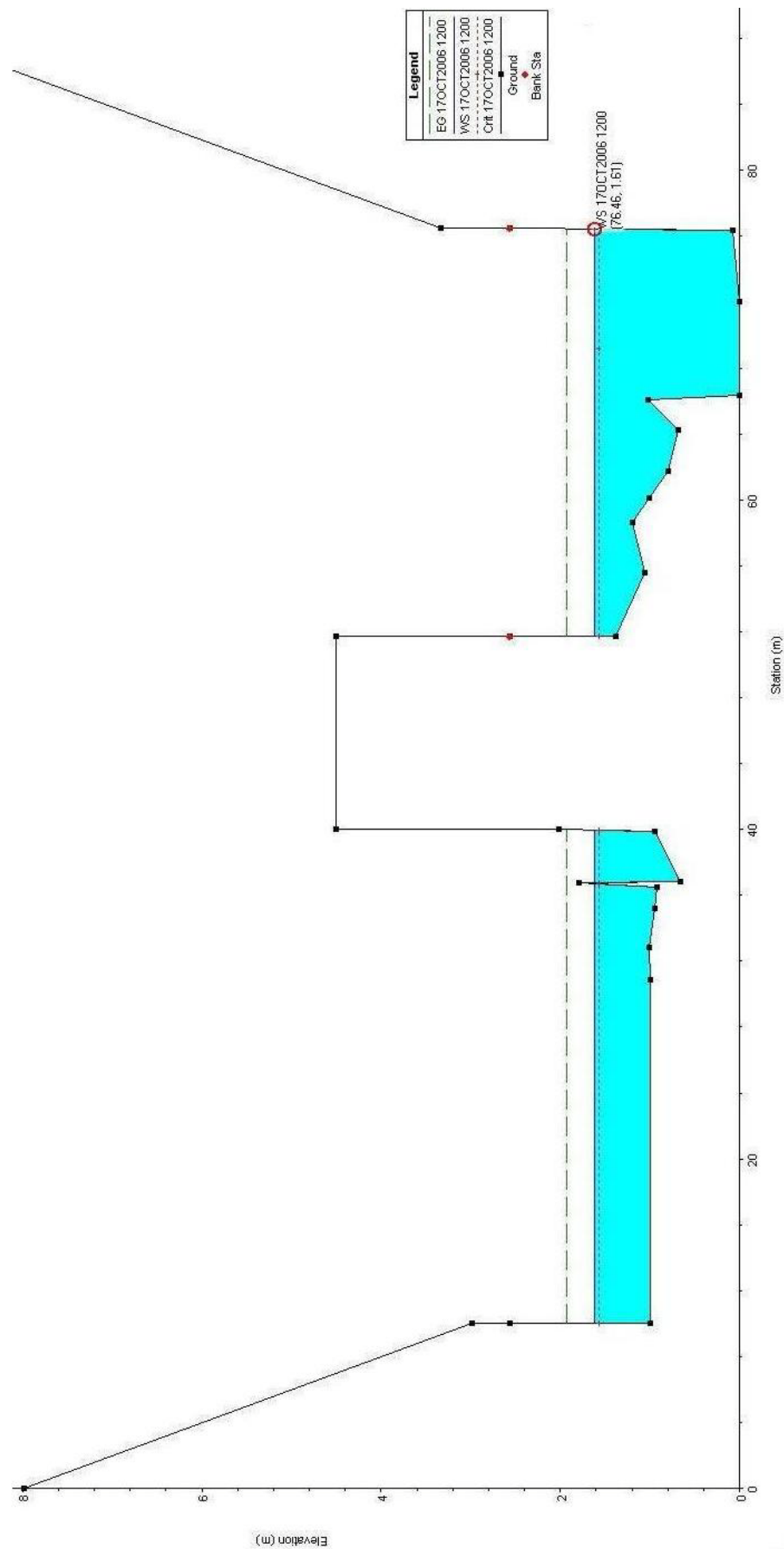
After 18h



After 24h (end of simulation)

Εικόνα 29 : Ύψη πλημμυρικής ροής στην κοίτη της Αλμυρίδας

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**



Εικόνα 30 : Μέγιστο ύψος πλημμυρικής απορροής στη διατομή ελέγχου

Στην Εικόνα 30, φαίνεται το ύψος του νερού στη διατομή ελέγχου τη στιγμή της μέγιστης πλημμυρικής απορροής. Το δεξί όριο της διατομής, είναι ένας τοίχος, στον οποίο υπήρχε σημάδι που είχε αφήσει η πλημμύρα (floodmark), σε ύψος περίπου 2.20m (Εικόνα 13). Το HEC RAS υπολόγισε ότι η μέγιστη στάθμη του νερού στον τοίχο έφτασε σε ύψος 1.61 m, δηλαδή 0.59 m παρακάτω. Αυτό αντιστοιχεί σε σχετικό σφάλμα 26.8%.

Η απόκλιση αυτή του μοντέλου, μπορεί να δικαιολογηθεί ως εξής:

Λόγω της μη μόνιμης ανομοιομορφίας ροής (βλ. Παράρτημα 1), πιθανότατα υπήρχαν γύρω από το σημείο ενδιαφέροντος, εμπόδια (πέτρες, ξύλα, σκουπίδια, κλπ) τα οποία οδήγησαν σε πλασματική ανύψωση της στάθμης κι έτσι το σημάδι είναι υπερεκτιμημένο όσο αφορά τη μέγιστη στάθμη του νερού.

Επίσης, ένας άλλος παράγοντας της μεγάλης απόκλισης, πιθανότατα είναι ότι η διατομή ελέγχου, βρίσκεται πάνω σε στροφή της κοίτης και το σημείο στο οποίο υπάρχει το flood mark, είναι στην εξωτερική μεριά της «στροφής» με αποτέλεσμα το νερό κατά τη διάρκεια της πλημμύρας να πέφτει με μεγαλύτερη ορμή εκεί και να αφήνει σημάδι πιο πάνω απ' ό τι πραγματικά έφτασε η μέγιστη στάθμη.

Τέλος η διατομή ελέγχου κατά τη διάρκεια της πλημμύρας ήταν πολύ διαφορετική από αυτήν που μετρήθηκε, καθώς είχε καθαριστεί από τα υλικά που είχε κατεβάσει η ορμή του ποταμού και αυτός ίσως να είναι ο σημαντικότερος παράγοντας σφάλματος.

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα - Προτάσεις

7.1 Συμπεράσματα

Από όλη την παραπάνω έρευνα και τη μελέτη της αστραπιαίας πλημμύρας στην Αλμυρίδα τον Οκτώβριο του 2006, τα συμπεράσματα που προέκυψαν ήταν:

Ημερήσια βροχόπτωση έντασης 182.7 mm, που μεταφράζεται σε 4.5 Mm³ νερού στη λεκάνη της Αλμυρίδας, αφού προσομοιάστηκε με δύο διαφορετικές μεθόδους, έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

- 1) Η προσομοίωση με την **SCS Unit Hydrograph** μέθοδο, υπολόγισε απορροή **Q_{out} = 2.28 Mm³** στην έξοδο της λεκάνης, ενώ η παροχή αιχμής (peak discharge) υπολογίστηκε ίση με **Q_{peak} = 94.2 m³/s** και συνέβη στις 12:00 το μεσημέρι, δηλαδή 1 ώρα μετά το peak της βροχόπτωσης.
- 2) Η προσομοίωση με την **ModClark** μέθοδο, υπολόγισε απορροή **Q_{out} = 2.12 Mm³** στην έξοδο της λεκάνης, ενώ η παροχή αιχμής (peak discharge) υπολογίστηκε ίση με **Q_{peak} = 95.6 m³/s (για R=75min)** και συνέβη στις 13:15 το μεσημέρι, δηλαδή 2 ώρες και 15 λεπτά μετά το peak της βροχόπτωσης
- 3) Τα αποτελέσματα των δύο μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν είναι παρόμοια, με μικρές διαφορές, οι οποίες μπορούν να οφείλονται σε ποικίλους λόγους (έλλειψη μετρημένων παραμέτρων, βαθμονόμηση μοντέλων, κλπ).
- 4) Καταιγίδα με μέγιστη ωριαία ένταση 35.4 mm/h και διάρκεια ουσιαστικά μικρότερη από 6 h, προκάλεσε καταστροφές ύψους 1.09 εκατ. Ευρώ σε ιδιωτική και δημόσια περιουσία. Αυτό οφείλεται κυρίως στην ανεξέλεγκτη δόμηση στην προέκταση της κοίτης.
- 5) Παρά τη χαμηλή επικινδυνότητα που φαίνεται να εμφανίζει η λεκάνη της Αλμυρίδας από έντονες βροχοπτώσεις, δεν παύει να υπάρχει ο κίνδυνος ενός flash flood, καθώς είναι απρόβλεπτα γεγονότα.

- 6) Στα αποτελέσματα του HEC-RAS, πολλοί είναι οι πιθανοί παράγοντες σφάλματος (εμπόδια, διαφορετική διατομή από την πραγματική, υπόθεση floodplain).

7.2 Προτάσεις

Μέσα από την εμπειρία που αποκτήθηκε στην παρούσα διατριβή, προτείνονται τα ακόλουθα:

- 1) Η διαθεσιμότητα των στοιχείων ήταν περιορισμένη. Οπότε, κρίνεται αναγκαίο να εγκατασταθούν βροχογράφοι και άλλα καταγραφικά όργανα τα οποία θα μετρούν διάφορους βασικούς φυσικούς παράγοντες της λεκάνης (όπως η εδαφική υγρασία και η αδιαπερατότητα). Μία ακόμα καλύτερη μέθοδος καταγραφής είναι η χρήση μετεωρολογικών ραντάρ όπου σε συνδυασμό με τους βροχομετρικούς σταθμούς μπορο υ να δώσο υ πέρα από τα αποτελέσματα καταγραφής, δεδομένα πρόγνωσης πλημμυρών.
- 2) Εκκαθάριση της κοίτης από τυχόν μάζα. Προτείνεται φυσικά και η αναδιάρθρωσή της σε κύρια σημεία, έτσι ώστε να μην περνάει μέσα από τον οικισμό της Αλμυρίδας, για αποφυγή παρόμοιων περιστατικών στο μέλλον.
- 3) Τα τελευταία χρόνια λόγω της έντονη οικιστικής ανάπτυξης στην περιοχή της Αλμυρίδας, η μορφολογία του χειμάρρου έχει αλλάξει σημαντικά. Μια πιο προχωρημένη λεπτομερής καταγραφή κατά μήκος του ρέματος θα παρέχει τη δυνατότητα για μεγαλύτερη ακρίβεια στα αποτελέσματα προσομοίωσης με διάφορα υδραυλικά μοντέλα.

Βιβλιογραφία

Βιβλιογραφικές πηγές και κείμενα

1. ΑΚΡΑΙΑ ΓΕΓΟΝΟΤΑ ΒΡΟΧΗΣ ΚΑΙ ΠΛΗΜΜΥΡΟΓΕΝΕΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ - Δημήτριος Στάθης - Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Διευθέτησης Ορεινών Υδάτων, Δεκέμβριος 2004
2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΓΙΑ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ - ΑΣΤΡΑΠΙΑΙΕΣ ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ, Μ.Βαφειάδης, Επ. Καθηγητής ΤΥΤΠ-ΑΠΘ
3. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕ ΑΝΕΠΑΡΚΗ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΔΙΟΥ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΤΟΥ ΓΙΟΦΥΡΟΥ, Κουτσογιαννάκη Ειρήνη & Κουτρούλης Αριστείδης, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Χανιά Οκτώβριος 2004.
4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΗΜΜΥΡΩΝ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΠΛΗΜΜΥΡΙΚΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ, Διπλωματική Εργασία, Γ.Α. Λυκοκανέλλος, Χανιά 2003
5. ΤΟ ΠΛΗΜΜΥΡΙΚΟ ΚΑΘΕΣΤΩΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ, Μ.Α. Μιμίκου, 2005
6. Connell Wagner, 2001 , Wharemauku Stream Stormwater Runoff and Floodplain Assessment

Ιστοσελίδες

1. <http://www.dartmouth.edu/~floods/>
2. http://www.oas.org/dsd/policy_series/4_eng.pdf
3. http://news.kathimerini.gr/4dcgi/w_articles_world_2_29/07/2007_236058
4. <http://www.physics4u.gr/news/2003/scnews854.html>
5. <http://www.hec.usace.army.mil/>
6. <http://www.hec.usace.army.mil/whoweare/whoweare.html>
7. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/index.html>
8. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/documentation/HEC-GeoHMS11.pdf>
9. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/index.html>
10. http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/CPD-74A_2005Dec.pdf
11. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hec-georas.html>

12. http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documents/HEC-GeoRAS4_UsersManual.pdf
13. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/hecras-hecras.html>
14. http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documents/HEC-RAS_Reference_Manual.pdf
15. http://www.emsi.com/wmshelp/Hydrologic_Models/Calculators/Computing_Travel_Times/Using_Basin_Data/Equations/Lag_Time/SCS_Lag_Time_Equation.htm
16. <http://www.itia.ntua.gr/nikos/floods/HEC-HMS.pdf>
17. <http://www.itia.ntua.gr/nikos/floods/HEC-RAS.pdf>
18. http://www.itia.ntua.gr/nikos/ydatiko/kef_2.pdf (σελ. 15 από 28)
19. http://www.hellenic.org/news/greek/apeg/2006/06-10-18_2.apeg.html
20. http://www.enet.gr/online/online_text/c=112,dt=19.10.2006,id=2094612
21. http://www.itia.ntua.gr/nikos/floods/floods_f3.pdf
22. http://www.topconeurope.com/img/pdf/pdf_surveying/GPT3000_English_final.pdf
23. <http://www.neng.usu.edu/classes/cee/5470/Basics%20of%20HEC-RAS%20Manual.pdf>
24. <http://web.ics.purdue.edu/~vmerrwade/education/georastutorial.pdf>
25. <http://www.treecomp.gr/index.asp.htm>
26. http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/CPD-74B_2000Mar.pdf (σελ. 86)
27. <http://members.explorecreate.com/index.php?showtopic=1785>
28. <http://members.explorecreate.com/index.php?showtopic=1788>
29. www.em-dat.net/
30. <http://www.em-dat.net/disasters/list.php>
31. <http://www.lmnoeng.com/manningn.htm>
32. <http://www.kapiticoast.govt.nz/NR/rdonlyres/9F4609A8-1DD3-4BCA-A67F-0058297D4C18/21103/Schedule4APPENDIX1.pdf>

Παράρτημα

1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

➤ Μονοδιάστατη ανάλυση:

Ονομάζεται η απλοποιητική ανάλυση που χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου η κατά μήκος συνιστώσα της ταχύτητας είναι πολύ σημαντικότερη των άλλων δύο συνιστωσών (η ταχύτητα έχει 3 συνιστώσες u , v , w), όπως π.χ. ροή σε ευθύγραμμους σωλήνες σταθερής διατομής, ή σε ευθύγραμμους αγωγούς με ελεύθερη επιφάνεια και σταθερή διατομή.

A. Κατηγορίες ροών (ανά τύπο ροής):

- ✓ Μόνιμη ροή: είναι η ροή στην οποία το βάθος ροής δε μεταβάλλεται με το χρόνο
 - Ομοιόμορφη ροή : είναι η ροή στην οποία το βάθος ροής δε μεταβάλλεται από διατομή σε διατομή (κατά μήκος του καναλιού) αλλά παραμένει σταθερό.
 - Ανομοιόμορφη ροή : είναι η ροή στην οποία το βάθος ροής μεταβάλλεται από διατομή σε διατομή (κατά μήκος του καναλιού).
 - Ραγδαίως μεταβαλλόμενη ροή – το βάθος ροής αλλάζει απότομα σε μικρή σχετικά απόσταση
 - Βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή – το βάθος ροής αλλάζει σε μεγάλη σχετικά απόσταση
- ✓ Μη μόνιμη ροή: είναι η ροή στην οποία το βάθος ροής μεταβάλλεται με το χρόνο
 - Ομοιόμορφη ροή : είναι η ροή στην οποία το βάθος ροής δε μεταβάλλεται από διατομή σε διατομή (κατά μήκος του καναλιού) αλλά παραμένει σταθερό, μεταβάλλεται όμως με το χρόνο.
 - Ανομοιόμορφη ροή : είναι η ροή στην οποία το βάθος ροής μεταβάλλεται από διατομή σε διατομή (κατά μήκος του καναλιού).
 - Ραγδαίως μεταβαλλόμενη ροή – το βάθος ροής αλλάζει απότομα σε μικρή σχετικά απόσταση
 - Βαθμιαίως μεταβαλλόμενη ροή – το βάθος ροής αλλάζει σε μεγάλη σχετικά απόσταση

B. Κατηγορίες ροών (ανά κατάσταση ροής)

✓ Επιρροή της βαρύτητας

- Δίνεται από τον λόγο των δυνάμεων αδράνειας προς τις δυνάμεις βαρύτητας ο οποίος ονομάζεται αριθμός Froude και ισούται με:

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot L}} \quad \text{όπου:}$$

V: μέση ταχύτητα (m/s).

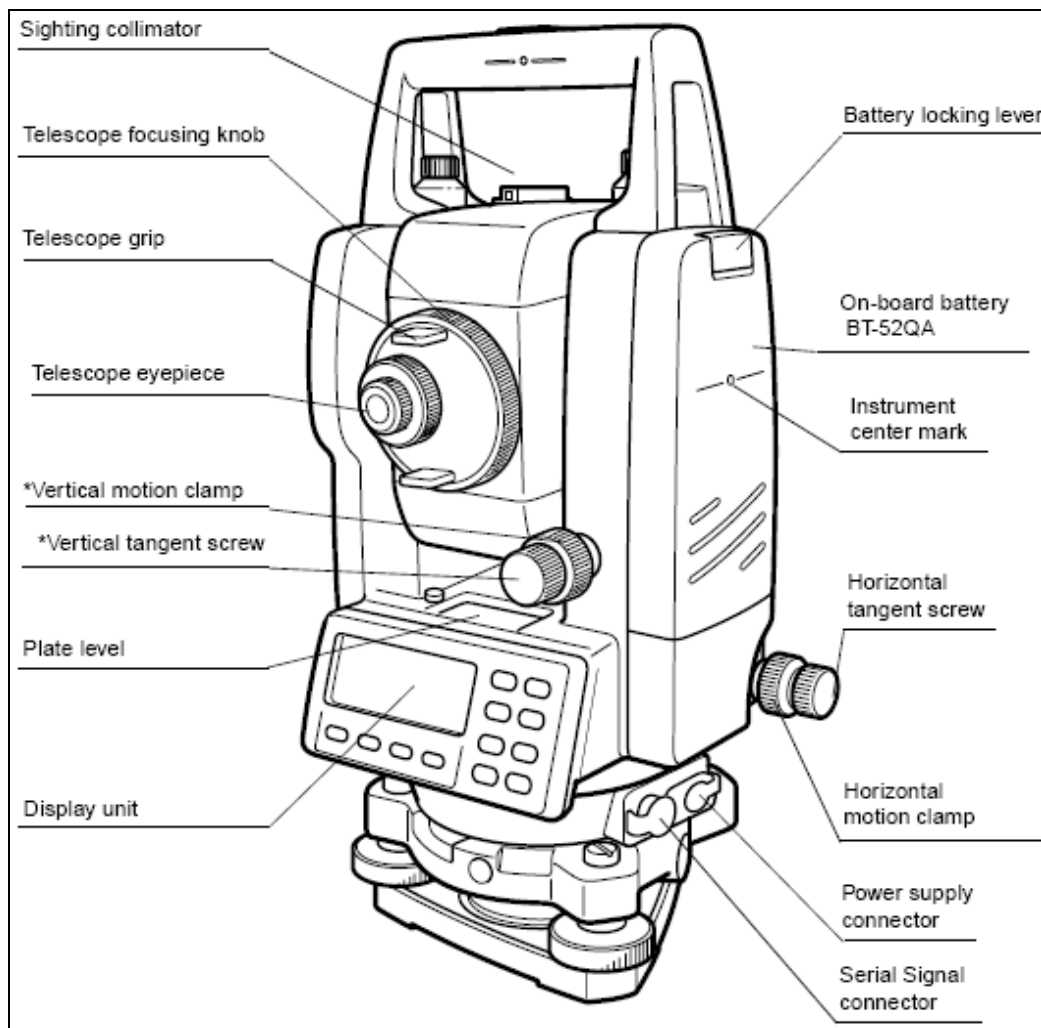
g: επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s²).

L: χαρακτηριστικό μήκος (m), το οποίο για ανοικτούς αγωγούς είναι ίσο με το υδραυλικό βάθος D (m).

- Εάν $F = 1$ τότε η ροή λέγεται κρίσιμη και $V = (gD)^{1/2}$
- Εάν $F < 1$ τότε η ροή λέγεται υποκρίσιμη και $V < (gD)^{1/2}$
 - Στην κατάσταση αυτή ο ρόλος των δυνάμεων της βαρύτητας είναι πιο έντονος γι' αυτό η ροή έχει μικρή ταχύτητα και περιγράφεται συνήθως ως σταθερή, ποτάμια ροή.
- Εάν $F > 1$ τότε η ροή λέγεται υπερκρίσιμη και $V > (gD)^{1/2}$
 - Στην κατάσταση αυτή οι αδρανειακές δυνάμεις επικρατούν και η ροή έχει μεγάλη ταχύτητα και περιγράφεται συνήθως ως ραγδαία, χειμαρρώδης ροή.

Η μετάβαση μίας ροής από υπερκρίσιμη κατάσταση σε υποκρίσιμη ονομάζεται υδραυλικό άλμα.

2. Περιγραφή δομής και λειτουργιών του Topcon GPT-3000



Εικόνα 31 : Δομή του Topcon GPT-3000

Η σειρά Γεωδαιτικών Σταθμών GPT-3000 περιλαμβάνει 4 διαφορετικά μοντέλα ανάλογα με την Γωνιομετρική ακρίβεια τους:

- **GPT-3002N** με ακρίβεια **6cc** ή **2''**
- **GPT-3003N** με ακρίβεια **10cc** ή **3''**
- **GPT-3005N** με ακρίβεια **15cc** ή **5''**
- **GPT-3007N** με ακρίβεια **20cc** ή **7''** της μοίρας

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

Τα βασικότερα **πλεονεκτήματα** της σειράς Topcon GPT-3000, είναι:

- Ελληνικό μενού και νέα οθόνη γραφικών dot-matrix
- Αλφαριθμητικό πληκτρολόγιο 24 πλήκτρων, το οποίο διευκολύνει τους επαγγελματίες που χρησιμοποιούν «κωδικοποίηση» κατά την διάρκεια των μετρήσεων
- Με όλα τα γνωστά προγράμματα τοπογραφικών εφαρμογών (Αποτύπωση – Χάραξη – Οπισθοτομία – Πλευρομέτρηση – Εμβαδομέτρηση – Πύκνωση/Επέκταση Ευθυγραμμίας – Έκκεντρες σκοπεύσεις) αλλά και με το νέο λογισμικό Χάραξης - Αποτύπωσης μελέτης Οδοποιίας On-Board ΔΩΡΕΑΝ.
- Η εσωτερική μνήμη του καταγραφικού παρέχει τεράστια αυτονομία, καθώς μπορεί να αποθηκεύσει μέχρι και 24.000 σημεία αποτύπωσης.
- Η εξαγωγή των αρχείων μετρήσεων μπορεί να γίνει απευθείας σε σχεδιαστικό πρόγραμμα (AUTOCAD) ή ακόμα και σε τοπογραφικό πρόγραμμα επιλύσεων με τη βοήθεια των έτοιμων φορμάτ εξαγωγής που υπάρχουν ήδη για όλα τα γνωστά Ελληνικά προγράμματα επιλύσεων.
- Ο φωτεινός Οδηγός Χάραξης της σειράς GPT-3000, κάνει την διαδικασία της χάραξης πολύ απλή και εφαρμόσιμη κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες φωτισμού.
- Η πλήρως αδιάβροχη και στιβαρή κατασκευή του, εναρμονισμένη με το αυστηρότατο πρότυπο IP66 επιτρέπει να εργαστείτε και στις πιο δύσκολες συνθήκες εργοταξίου (αντοχή στην υγρασία και στην σκόνη).

3. Περιγραφή Διαδικασίας Μετρήσεων Πεδίου με το Topcon GPT-3000.

Για την μέτρηση και αποθήκευση διατομών και κάθε άλλου είδους δεδομένων στο Topcon GPT-3000, συγκεκριμένα βήματα πρέπει να ακολουθηθούν:

A) Στήνεται σωστά το όργανο στο αρχικό σημείο από το οποίο θα ξεκινήσουν οι μετρήσεις.

B) Τίθεται σε λειτουργία το όργανο. Επιλέγεται Menu \Rightarrow F1 (συλλογή στοιχείων). Εκεί ορίζεται το όνομα της δουλειάς που θα πραγματοποιηθεί (π.χ. Almyrida).

Γ) Επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή στάσης, δηλαδή η εισαγωγή (ή ο ορισμός) των συντεταγμένων του σταθερού αυτού σημείου στο οποίο βρίσκεται εκείνη τη στιγμή το όργανο. Αυτό γίνεται ως εξής: Επιλέγεται στο Menu που βρισκόσαστε, το πλήκτρο F1 (εισαγωγή στάσης) και δίνετε ένα όνομα στο σημείο αυτό (π.χ. S1) και το ύψος στο οποίο είναι στημένο το όργανο πάνω από αυτό το σημείο. Έπειτα επιλέγεται το πλήκτρο ΣΤxyz. Έπειτα F3 και ορίζετε συντεταγμένες (π.χ. X,Y,Z = 0,0,0). Το όργανο ρωτάει για επιβεβαίωση: Καταγραφή; Και επιλέγεται NAI. Έπειτα F4 και Esc για να βγείτε από το μενού αυτό.

Δ) Ακολουθεί ο προσανατολισμός, δηλαδή η εισαγωγή ενός δεύτερου σημείου, με βάση το οποίο θα μετρηθούν όλες οι γωνίες στα γύρω σημεία. Για να το κάνετε αυτό, επιλέγεται το μενού F2. Εισάγετε το όνομα του σημείου στο οποίο επιθυμείτε να προσανατολίσετε (π.χ P1) και το ύψος τη σταδίας στην οποία πάνω είναι βιδωμένο το πρίσμα. Κοιτώντας μέσα στο φακό του οργάνου, "χτυπάτε" το πρίσμα και πατάτε: Ορισμ0 και Μέτρηση. Μόλις το όργανο μετρήσει το σημείο, το αποθηκεύει και επιστρέφει στο αρχικό μενού.

Ε) Επόμενο βήμα είναι η λεγόμενη ταχυμετρία, όπου πλέον αρχίζετε να μετράτε σημεία και να τα αποθηκεύετε στο όργανο. Εισάγετε το επιθυμητό όνομα του σημείου και ύψος σταδίας και επιλέγεται F4 (ΟΛΑ). Με αυτόν τον τρόπο χτυπάτε όσα σημεία κρίνετε απαραίτητο μέχρι να υπάρξει οπτική επαφή οργάνου-πρίσματος.

ΣΤ) Αλλαγή στάσης. Όταν πλέον από κάποιο σημείο και μετά, η οπτική επαφή μεταξύ οργάνου και πρίσματος έχει χαθεί, είστε αναγκασμένοι να αλλάξετε στάση. Κλείνετε λοιπόν το όργανο και το μεταφέρετε στο επιθυμητό σημείο, **το οποίο όμως έχετε από πριν αποφασίσει ποιο θα είναι και το έχετε μετρήσει!** Στήνετε το όργανο πάνω από αυτό το σημείο και το ανοίγετε. Μπαίνετε στην ίδια δουλειά με αυτήν στην οποία μετρούσατε πιο πριν και επιλέγετε F1 (εισαγωγή στάσης). Έπειτα F4 (ΣΤxyz) και μετά F2 (Λίστα). Βρίσκετε το παρόν σημείο (αφού το έχετε πιο πριν μετρήσει) και επιλέγετε Enter (ρυθμίζετε και το ύψος του οργάνου αν το έχετε αλλάξει από την προηγούμενη στάση). Όπως και την πρώτη φορά, το όργανο θα σας ρωτήσει: Καταγραφή; Και επιλέγετε ΝΑΙ. Έπειτα F4 και Esc για να βγείτε από το μενού αυτό.

Ζ) Όπως και πριν, ορίζετε προσανατολισμό. Επιλέγετε F2 και μετά F4 (BS). Έπειτα F2 πάλι (Λίστα) και βρίσκετε την προηγούμενη στάση (στη συγκεκριμένη περίπτωση το S1). Όταν το επιλέξετε, το όργανο σας ρωτάει αν θέλετε να δεχτείτε αυτές τις συντεταγμένες. Επιλέγετε ΝΑΙ και μετά F3 (μέτρηση).

Η) Ακολουθεί η ταχυμετρία κατά τα γνωστά (βλ. βήμα Ε).

**4. Πίνακας ζημιών από την πλημμύρα στις 17/10/2006
στην Αλμυρίδα.**

A/A	Είδος	Ιδιοκτήτης	Εκτίμηση Ζημιάς
1	Ενοικιαζόμενα διαμερίσματα	ELLERAY PETER (Αλμυρίδα)	1,500.00 €
2	Ενοικιαζόμενα διαμερίσματα	Μαυριγιαννάκης Γεώργιος	3,000.00 €
3	Κατοικία	WORSLEY PETER	3,500.00 €
4	Κατοικία	WAITE RICHARD	2,500.00 €
5	Ενοικιαζόμενα διαμερίσματα	BOURNETT SARAH-DIMITRA	2,500.00 €
6	Κατάστημα	BAIZEY BEATE-REGINA	3,000.00 €
7	Κατοικίες	PRIOR VICTOR LAURENCE	1,500.00 €
8	Τοιχίο περίφραξης	HERBERT VULIA DORSEY VILLA	3,500.00 €
9	Κατοικία	CRETAN TRADICIONAL HOMES	500.00 €
10	Κατοικία	SMITH PARRELL	1,000.00 €
11	Κατοικία	SUMNER BARBARA BERNARD	2,500.00 €
12	Κατοικία	ΠΙΡΣ ΡΕΙΤΣΕΛ - ΛΟΥΙΖΑ	7,100.00 €
13	Κατοικία	Γαλανάκης Γεώργιος	5,000.00 €
14	Κατοικία	Χατζηδάκης Χαράλαμπος	600.00 €
15	Κατοικία	Αθουσάκης Εμμανουήλ	-
16	Ταβέρνα	CHERNYSH KATERYNA	600.00 €
17	Περίφραξη	Φραντζεσκάκης Ιωάννης	300.00 €
18	Κατοικία	SELL ANN (ΑΣΠΡΟ)	2,000.00 €
19	Κατάστημα	Γυναικείος Αγροτικός Συνεταιρισμός	1,500.00 €
20	Κατοικία	Φρονιμάκη Αναστασία	1,000.00 €
21	Κατοικία	Φρονιμάκη Αναστασία	1,500.00 €
22	Κατοικία	Μαρκάκης Ανδρέας	3,500.00 €
23	Κατοικία	Λυχνάκη Γεωργία	2,500.00 €
24	Κατοικία	Σουμαλά Αλεξάνδρα	6,000.00 €
25	Κατοικία	Στεφανάκης Χρήστος	1,200.00 €
26	Κατοικία	Λουράκης Στυλιανός	300.00 €
27	Κατοικία	ROBERT POLWORTH	500.00 €
28	Κατάστημα	Μπραουδάκης Μιχαήλ	100.00 €
29	Κατάστημα – βιβλιοπωλείο	Βαρδάκης Εμμανουήλ	1,500.00 €
30	Κατοικία	Βαρδάκη Ευτυχία	600.00 €
31	Κατοικία	Σταματάκη Μαρία	1,000.00 €

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

32	Βιοτεχνία επεξεργασίας πέτρας	ΠΙΕΤΡΑ Α.Ε.	22,900.00 €
33	Κατοικία	DONNELLY GLYNIS	2,000.00 €
34	Κατοικία	HOLMES GEORGIOS	1,000.00 €
35	Κατοικία	Μαρκετάκης Νικόλαος	25,000.00 €
36	Κατοικία	VALTA RITTA - HELLENA	1,500.00 €
37	Κατοικία	Τρούλος Σταύρος (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	1,300.00 €
38	Επιπλωμένα διαμερίσματα	Τζομπανάκη- Νικολουδάκη Ευαγγελία (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	10,200.00 €
39	Super Market	Ευθυμάκης Νικόλαος (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	5,406.47 €
40	Εστιατόριο «ΕΡΩΤΟΚΡΙΤΟΣ»	Μαυριδάκη Αθηνά (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	67,690.00 €
41	Ξενοδοχείο	INBESKO ΕΠΕ (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	22,075.00 €
42	Ενοικιαζόμενα διαμερίσματα	Μπλαζάκης Σπύρος και Νικόλαος (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	51,390.00 €
43	Κατοικία	Ποθουλάκης Ιωάννης (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	43,800.00 €
44	Αποθήκη κατοικίας	Παϊζάκης Κυριάκος (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	12,200.00 €
45	Κατοικία	WILSON JOHN (Joseph) (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	14,700.00 €
46	Κατοικία	Smith Dorell (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	3,193.90 €
47	Κατοικία	Mucanzi Sokol (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	500.00 €
48	Ξενοδοχείο (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	Γωνιωτάκης Σωτήριος «ALMYRIDA BEACH»	315,838.00 €
49	Παραλιακή καντίνα	Νικάκης Αναστάσιος (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	30,500.00 €
50	Εστιατόριο	Χαροκοπάκη Πηνελόπη (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	19,050.00 €
51	Ενοικιαζόμενα δωμάτια	Σπανουδάκης Ιωάννης και Ειρήνη (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	4,320.00 €
52	Ενοικιαζόμενα δωμάτια	Ορφανουδάκης Πέτρος (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	4,000.00 €
53	Αποθήκη ενοικιαζομένων δωματίων	Μαρκουλάκη Χρυσούλα (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	5,000.00 €
54	Κατοικία	Ραφτάκης Σπυρίδων (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	4,000.00 €
55	Ενοικιαζόμενα δωμάτια	Αφοί Σγουράκη «ΓΙΑΝΝΑ» (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	11,000.00 €

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

56	Κατοικία – υπόγειο	Μπενάκη Χρυσούλα (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	2,000.00 €
57	Ενοικιαζόμενα δωμάτια	Ροβιθάκης Γεώργιος (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	20,000.00 €
58	Αποθήκη – υπόγειο	Παϊζης Νικήτας (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	5,000.00 €
59	Κατάστημα	Παϊζης Νικήτας (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	7,700.00 €
60	Super market	Σφακιανάκη Αργυρώ (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	3,000.00 €
61	Mini market	Βολικάκη Άννα (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	5,305.00 €
62	Επιχείρηση ενοικιαστικών αυτοκινήτων	Παπαγεωργίου Ιωάννα (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	450.00 €
63	Παλαιά αποθήκη	Σηφάκης Μιχαήλ (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	2,000.00 €
64	Ενοικιαζόμενα δωμάτια	Νικολουδάκης Αλέξανδρος (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	47,663.00 €
65	Κατοικία – υπόγειο	Rudd David (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	21,436.00 €
66	Κατοικία – υπόγειο	Love Ian (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	13,070.69 €
67	Υπόγειο κατοικίας	Khan John (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	600.00 €
68	Super market	Βεργεράκης Νεκτάριος (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	41,400.00 €
69	Κτίσμα υπό ανέγερση	Ζουμαδάκης Εμμανουήλ (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	2,500.00 €
70	Καφετέρια	Ζυμβραγάκης Χαράλαμπος (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	4,595.00 €
71	Τουριστικό – Κτηματομεσιτικό γραφείο	Douglas Milme (Αλμυρίδα) (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	2,500.00 €
72	Κατοικία	Donnellm Glynis (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	1,500.00 €
73	Υπόγεια αποθήκη κατοικίας	Μαρνεράκης Στυλιανός και Διαμαντάκης Ιωάννης (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	57,656.39 €
74	Γήπεδο tennis ξενοδοχείου	Παλιουδάκης Παύλος (Δ.Δ. Αλμυρίδας)	55,100.00 €
ΜΕΡΙΚΟ ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ ΖΗΜΙΩΝ			1,033,839.45€
A/A	Είδος	Ιδιοκτήτης	Εκτίμηση Ζημιάς
1	Αυτοκίνητο ZHT 1776	Παπαγεωργίου Ιωάννα (Γραφείο ενοικιάσεως αυτοκινήτων)	9,968.00 €
2	Αυτοκίνητο	Κοκολάκης Ιωάννης (Ηλεκτρολογικές εργασίες)	1,500.00 €

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

3	Αυτοκίνητο XNT 2602	Παπαγεωργίου Ιωάννα (Γραφείο ενοικιάσεως αυτοκινήτων)	2,833.00 €
4	Αυτοκίνητο Suzuki Vitara XNP 8827	PAN CAR Ε.Π.Ε. (Γραφείο ενοικιάσεως αυτοκινήτων)	6,000.00 €
5	Αυτοκίνητο Fiat Punto HKH 1980	Μανατάκης Εμμανουήλ και Σία Ο.Ε. (Γραφείο ενοικιάσεως αυτοκινήτων)	4,273.30 €
6	Αυτοκίνητο Fiat Punto XNP 4634	Μανατάκης Εμμανουήλ (Γραφείο ενοικιάσεως αυτοκινήτων)	3,546.11 €
7	Αυτοκίνητο Fiat Panda XNP 8450	Μανατάκης Εμμανουήλ (Γραφείο ενοικιάσεως αυτοκινήτων)	4,117.92 €
8	Αυτοκίνητο Chevrolet Matiz XNT 2130	Μανατάκης Εμμανουήλ και Σία Ο.Ε. (Γραφείο ενοικιάσεως αυτοκινήτων)	2,285.00 €
9	Εκσκαφέας	Παντελάκης Χαράλαμπος (Εργολάβος Δημοσίων Έργων)	9,520.00 €
10	Αυτοκίνητο ZMO 3905	ΑΠΟΛΛΩΝΙΑ Α.Ε.	2,520.00 €
11	Αυτοκίνητο ZKI 9446	ΑΠΟΛΛΩΝΙΑ Α.Ε.	797.30 €
12	Αυτοκίνητο ZMY 9178	ΑΠΟΛΛΩΝΙΑ Α.Ε.	976.00 €
13	Αυτοκίνητο SKODA HPO 6750	ΛΕΒΕΝΤΑΚΗΣ – ΜΟΥΣΤΕΡΑΚΗΣ Ε.Π.Ε. ΒΙΟΜΕΤΑΛ Ο.Ε.	7,574.30 €
ΜΕΡΙΚΟ ΥΠΟΣΥΝΟΛΟ ΖΗΜΙΩΝ			55,910.93 €
ΓΕΝΙΚΟ ΣΥΝΟΛΟ ΖΗΜΙΩΝ			1,089,750.38 €

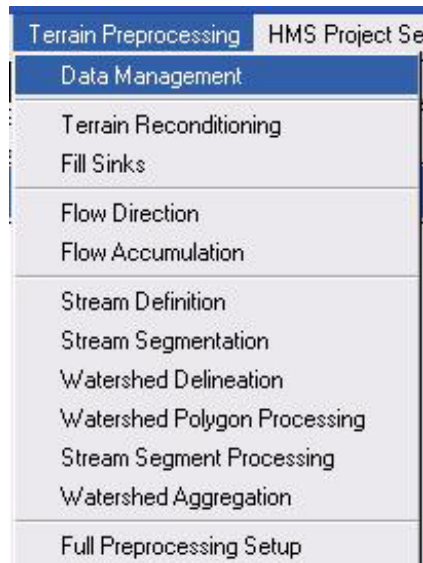
Πίνακας 23: Ζημιές στην Αλμυρίδα από την πλημμύρα της 17ης Οκτωβρίου 2006

(Πηγή: Υπηρεσία Πολιτικής Προστασίας Νομαρχίας Χανίων)

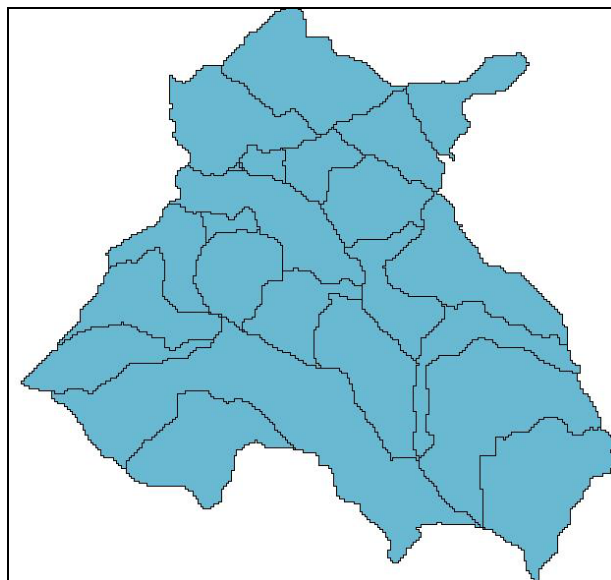
5. Διεργασίες προετοιμασίας στο HEC-GeoHMS

Δημιουργία Basin Model file.


Αρχικά, πρέπει να φορτωθεί στο ArcView το DEM της Αλμυρίδας. Έπειτα, ακολουθούνται ένα-ένα τα βήματα που απαιτούνται για το terrain preprocessing (το οποίο είναι μία από τις γραμμές εργαλείων του GeoHMS μέσα στο ArcView 3.2). Αυτά φαίνονται στην παρακάτω εικόνα:



Το αποτέλεσμα όλης της παραπάνω διαδικασίας, είναι η δημιουργία ενός αρχείου το οποίο περιέχει την υδρολογική λεκάνη και τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά αυτής.

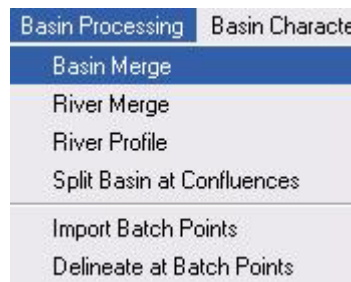


Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών. Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.

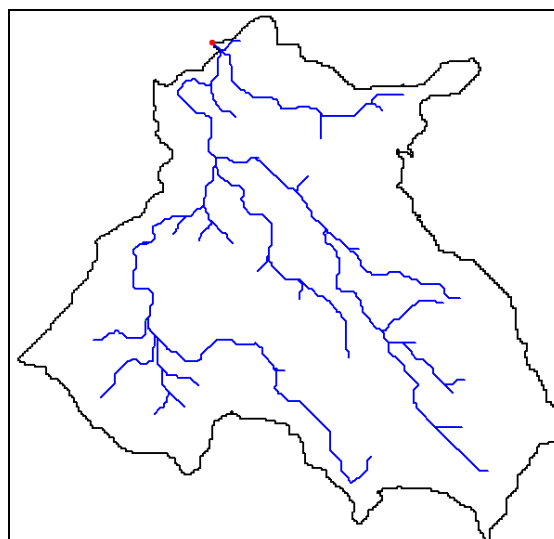
Επόμενο βήμα είναι ο προσδιορισμός ενός σημείου εξόδου στη λεκάνη. Αυτό γίνεται πατώντας το κουμπί  και κλικάροντας το επιθυμητό σημείο πάνω στη λεκάνη. Ακολουθεί το μενού HMS Project Setup, απ' όπου ξεκινάει ένα νέο project για το HMS. Επιλέγεται το Start New Project και δίνεται ένα επιθυμητό όνομα. Αμέσως μετά επιλέγεται το Generate Project δίνοντας ξανά ένα όνομα.



Αυτόματα δημιουργείται ένα ProjView με το όνομα που επιλέχθηκε. Η επεξεργασία συνεχίζεται. Επιλέγεται το μενού Basin Processing. Αρχικά, ενώνονται με την εντολή Basin Merge οι διάφορες υπολεκάνες και αφήνονται μόνο αυτές που είναι απαραίτητες.



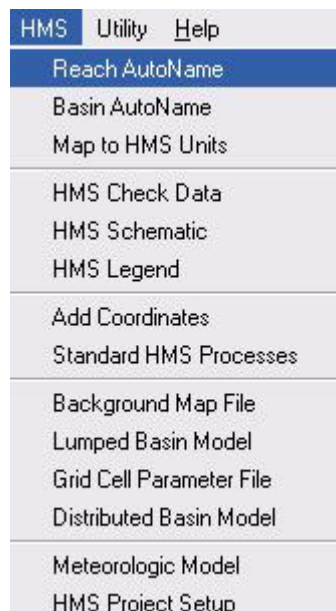
Έπειτα, το ίδιο γίνεται με την εντολή River Merge και για το ποτάμι. Οπότε, η λεκάνη έρχεται στην παρακάτω μορφή:



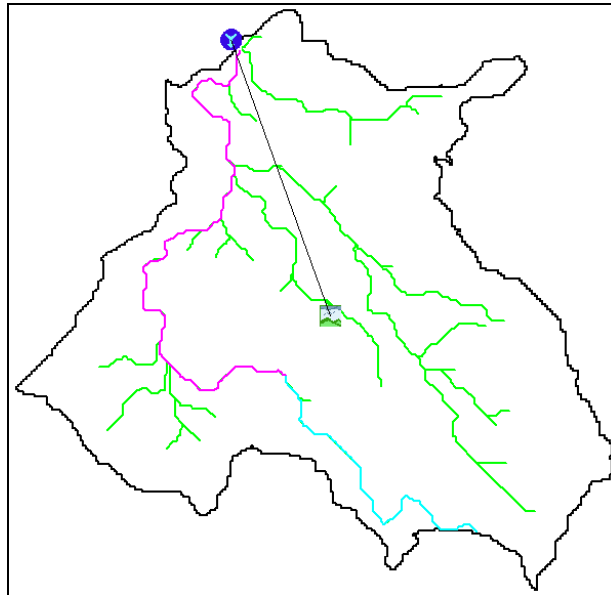
Έπειτα, συνεχίζεται η επεξεργασία εφαρμόζοντας ένα-ένα διαδοχικά τα βήματα που βρίσκονται στο μενού Basin Characteristics.



Αφού εφαρμοστούν διαδοχικά και δημιουργηθούν τα απαραίτητα themes, αποθηκεύεται το project και η διαδικασία συνεχίζεται στο επόμενο μενού, το μενού HMS για να ολοκληρωθεί η προετοιμασία του basin model.

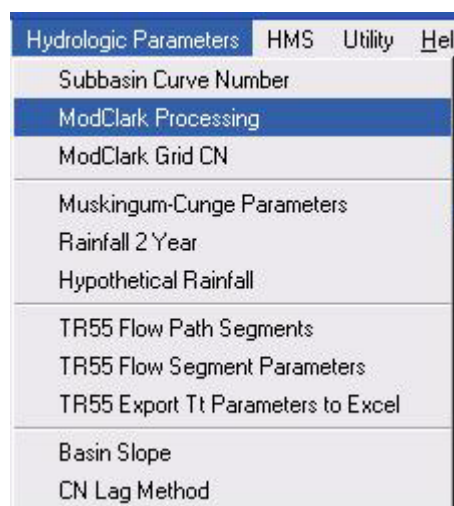


Εφαρμόζονται ένα-ένα τα βήματα με τη σειρά, εκτός των: Standard HMS Processes, Lumped Basin Model και Meteorologic Model. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός φακέλου με όλα τα απαραίτητα για το HEC-HMS αρχεία.



Δημιουργία ModClark theme.

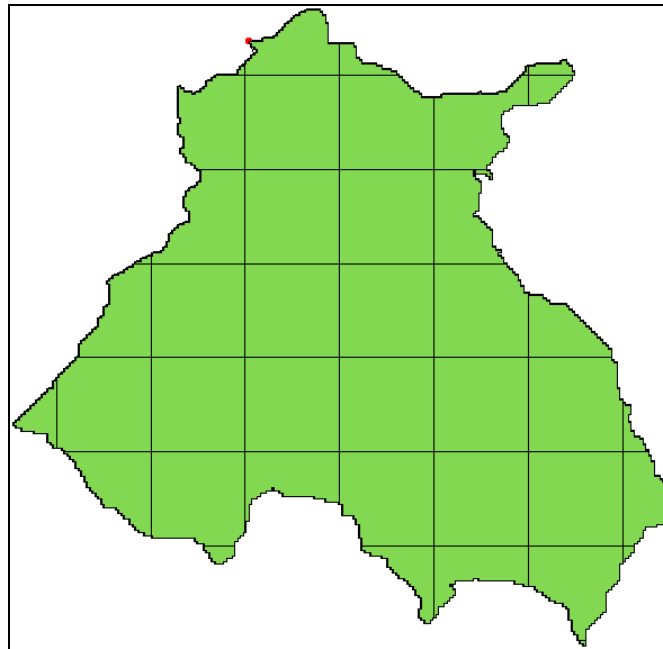
Η συσχέτιση ενός κάναβου κατάλληλου μεγέθους με το παραπάνω σχήμα, επιτεύχθηκε μέσω της εντολής ModClark Processing, που βρίσκεται στο μενού Hydrologic Parameters (εμφανίζεται μόνο στο projview), όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Για να εκτελεστεί αυτή η διαδικασία, δύο themes απαιτούνται. Το grid της κατεύθυνσης ροής (fdirgrid) και το shape της λεκάνης με τις υπολεκάνες (wshedshp). Όμως, επειδή το GeoHMS δεν είναι σχεδιασμένο για να “δουλεύει” εκτός των ΗΠΑ, χρειάστηκε να εφαρμοστεί ένα τρικ όσο αφορά το προβολικό σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, χρειάστηκε να φτιαχτεί ένα δικό μας αρχείο εισόδου (prj.adf) το οποίο

**Μεταπλημμυρική έρευνα και μελέτη αστραπιαίων πλημμυρών.
Προσομοίωση του πλημμυρικού γεγονότος 17/10/2006 στην Αλμυρίδα.**

θα χρησιμοποιούσε το grid της κατεύθυνσης ροής στη θέση του προεπιλεγμένου. Έτσι, κατασκευάστηκε ένα "σωστό" αρχείο το οποίο αντικατέστησε το "λάθος". Έτσι, αφού τέθηκαν ως μονάδες χάρτη και απόστασης το μέτρο (m), η διαδικασία προχώρησε ορθώς και επιλέγοντας το SHG (Standard Hydrologic Grid) με μέγεθος κελιού τα 1000m, προέκυψε το σχήμα που εμφανίζεται παρακάτω (ModClark theme):



Έτσι, με την παραπάνω διαδικασία, συσχετίστηκε η λεκάνη με το SHG grid system των 1000m.

Δημιουργία αρχείου DSS.

Επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία ενός αρχείου ascii με τα δεδομένα της βροχόπτωσης, το οποίο με τη χρήση του εργαλείου asc2dssGrid μετατράπηκε σε dss και εισήχθη στο HEC-HMS για την προσομοίωση.

Εφόσον λοιπόν υπήρχε το αρχείο ascii, το τελευταίο βήμα ήταν η μετατροπή του σε dss μέσω της εφαρμογής asc2dssGrid (μέσω DOS).