



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

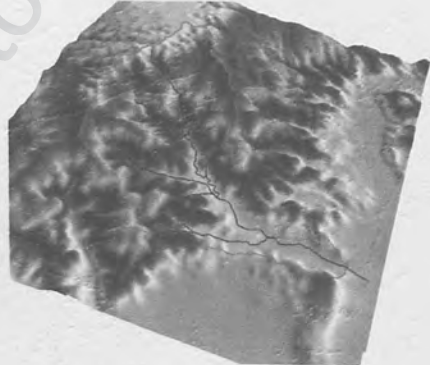
ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

“ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΜΕΝΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ : ΛΕΚ. ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ ΑΡΧΑΙΑΣ ΟΛΥΜΠΙΑΣ



Μιχάλης Μ. Κουφάκης
Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός Π.Θ.

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2008



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΜΠ

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**
ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΕΛΕΓΧΟΣ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ – ΔΙΑΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

“ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ & ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ”

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΑΜΕΝΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ : ΛΕΚ.ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΟΥ ΑΡΧΑΙΑΣ ΟΛΥΜΠΙΑΣ

Μιχάλης Μ. Κουφάκης
Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός Π.Θ.

Τριμελής Επιτροπή:

Καραβίτης Χρίστος, Λέκτορας (Επιβλέπων)
Ασημακόπουλος Διονύσιος, Καθηγητής
Γρηγοροπούλου Ελένη, Αναπλ.Καθηγήτρια



00156814

ΑΘΗΝΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2008

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

ΑΡ. ΕΙΣ. 56814 + CD

COMP. 38266

ΤΑΞΙΝ. 551.302 ΚΟΥ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

Καταθέτω όλο μου τον κόπο και την προσπάθεια
και αφιερώνω την διπλωματική μου εργασία στην
μνήμη του αγαπητού μου φίλου Στέφανου.....

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ.....	1
1.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	1
1.2 Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ.....	2
1.3 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΑΣΩΜΕΝΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	3
1.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ	8
2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ.....	11
2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	11
2.2 ΓΕΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	12
2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΝΕΧΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ.....	14
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	17
3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ.....	17
3.1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ.....	18
3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	20
3.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	20
3.2.2 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ.....	21
3.3 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΟΜΒΡΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ.....	23
3.3.1 ΟΜΒΡΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ.....	23
3.3.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	24
3.4 Η ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ.....	28
4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΕC-1.....	31
4.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	31
4.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	31
4.1.2 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΗΕC-1.....	32
4.2 ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ.....	33

4.2.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	33
4.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΛΕΚΑΝΗΣ (BASIN MODEL).....	34
4.2.2.1 Απώλειες (losses).....	34
4.2.2.2 Μετασηματισός βροχής απορροής.....	45
4.2.2.3 Βασική απορροή (Base flow).....	58
4.2.2.4 Διόδευση (Routing).....	58
4.2.2.5 Εκτροπή (Diversion).....	62
4.2.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	63
4.2.4 ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ.....	64
4.2.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ.....	64
4.2.6 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	65
4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-1.....	65
4.3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-1 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΜΟΡΦΗ.....	65
4.3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-1 ΗΜΙΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΜΟΡΦΗ.....	66
5. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ.....	68
5.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ.....	68
5.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ Γ.Π.Σ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ.....	69
5.2.1 ΠΗΓΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	70
5.3 ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	71
5.3.1 ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	72
5.3.1.1 Χάρτης ψηφιακού μοντέλου εδάφους περιοχής μελέτης.....	75
5.4 ΚΑΔΥΨΗ ΓΗΣ – ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΩΝ.....	76
5.5 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	80
5.6 ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ.....	81
6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-1 ΣΤΗΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	82
6.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΙΔΕΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	82
6.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ.....	84

6.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....	90
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	94
7.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	94
7.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ.....	95
7.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΕΡΓΑ.....	95
7.2.2 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΕΡΓΑ.....	96
7.2.3 ΑΓΡΟΤΕΧΝΙΚΑ – ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ.....	96
7.2.4 ΕΡΓΑ ΣΤΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΚΑΜΕΝΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ.....	97
7.3 ΥΛΟΠΟΙΗΘΕΝΤΑ ΕΡΓΑ ΣΤΗΝ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ.....	98
7.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΧΟΛΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΡΓΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	100
7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	102
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	105
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΒΡΟΧΟΜΕΤΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί το επιστέγασμα μιάς προσπάθειας για την ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Εκτός από προσωπική εργασία περιέλαβε την ηθική και υλική συμβολή και κάποιων ανθρώπων που θεωρώ τιμή μου και υποχρέωση να τους αναφέρω.

Ξεκινάω από τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ.Χρίστο Καραβίτη τον οποίο ιδιαίτερα ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε από την αρχή της ανάθεσης της διπλωματικής αλλά και για την συμπαράσταση με την οποία με περιέβαλε στις δύσκολες περιόδους εκπόνησής της. Με την καθοδήγησή του συνέβαλε ουσιαστικά στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στον κ.Κωνσταντίνο Σούλη, Γεωπόνο και υποψήφιο διδάκτορα στο τμήμα της Γεωργικής Υδραυλικής, του οποίου οι γνώσεις που μου μετέφερε λόγω της εμπειρίας του με το αντικείμενο μελέτης υπήρξαν καθοριστικές για την ολοκλήρωση της συγκεκριμένης εργασίας.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω τους : κ.Αθανάσιο Μπουρλέτσικα (Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών) και κ.Νικόλαο Καραταράκη (Ε.Μ.Υ) για τα χρησιμότητα στοιχεία που μου παρείχαν, απολύτως αναγκαία για την υλοποίηση της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την εκτίμησή μου στον Καθηγητή Ασημακόπουλο Δ. και στην Αναπλ.Καθηγήτρια Γρηγοροπούλου Ε. και να τους ευχαριστήσω για την τιμή που μου έκαναν με το να συμμετάσχουν στην τριμελή επιτροπή.

Η εκδήλωση και εξέλιξη μιας πυρκαγιάς σε λεκάνη απορροής έχει σοβαρότατες οικονομικές, κοινωνικές, περιβαλλοντικές, οικολογικές, αισθητικές κ.ά. επιπτώσεις σ' αυτή και τους κατοίκους της περιοχής. Αναλυτικότερα από την πυρκαγιά επηρεάζονται: η γλωρίδα και η πανίδα της λεκάνης, οι φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους της, η συγκράτηση και στη συνέχεια η κατανομή της βροχής που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους, καθώς επίσης η ποιότητα του νερού και του αέρα. Επιπλέον, επηρεάζονται οι εργασίες και τα εισοδήματα των κατοίκων, οι κοινωνικές τους δραστηριότητες, οι ψυχική τους υγεία, η πολιτιστική τους κληρονομιά κ.λπ. Ειδικότερα, οι δυσμενείς επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς στη βλάστηση και το έδαφος της λεκάνης όπου εκδηλώνεται, αλλάζουν τελείως τους μηχανισμούς μετατροπής της βροχής σε απορροή στο υδρογραφικό της δίκτυο που επικρατούσαν στην αρχή και **δημιουργούν νέες συνθήκες, που οδηγούν στην εκδήλωση πλημμύρας, ακόμα και από ύψη βροχής μικρής σχετικά περιόδου επαναφοράς.**

Η εκδήλωση πλημμύρας με τη σειρά της, όχι μόνο επιδεινώνει τις επιπτώσεις στη λεκάνη, όπως αναφέρθηκαν παραπάνω, αλλά τις επεκτείνει στις γεωργικές και κατοικημένες περιοχές κατάντη αυτής. Η αντιμετώπιση του παραπάνω κινδύνου επιβάλλει τη λήψη άμεσων μέτρων στις καμένες λεκάνες απορροής και κυρίως εκεί όπου τα υδατορεύματα καταλήγουν ή διέρχονται από γεωργικές και κατοικημένες περιοχές.

Σκοπός της παρούσας εργασίας, έχοντας υπόψη τα παραπάνω, είναι η περιληπτική παρουσίαση της υδρολογικής συμπεριφοράς μιας δασωμένης λεκάνης απορροής πριν και μετά την πυρκαγιά καθώς και η εξέταση των πλημμυρικών φαινομένων που αναμένονται εξαιτίας αυτής με στόχο την λήψη αναγκαίων μέτρων και κατασκευή έργων άμεσης εφαρμογής, για την εξάλειψη ή εξομάλυνση των επιπτώσεων από πιθανή πλημμύρα μετά από πυρκαγιά.

Για αυτό τον λόγο επιλέχθηκε η λεκάνη απορροής του ποταμού Κλαδέου της Αρχαίας Ολυμπίας, μιάς περιοχής ιδιαίτερου πολιτιστικού ενδιαφέροντος, η οποία όπως πολύ καλά όλοι θυμόμαστε επλήγη έντονα από τις πρωτοφανείς σε ένταση και έκταση πυρκαγιές του περασμένου καλοκαιριού. Επίσης λόγω της μεγάλης φυτοκάλυψης προ των καταστροφικών πυρκαγιών αλλά και της μετέπειτα σχεδόν

ολοκληρωτικής καταστροφής αυτής, κρίθηκε ότι είναι μια καλή περίπτωση για την παρουσίαση των εν λόγω φαινομένων και συνακόλουθων επιπτώσεων αυτών.

Αναλυτικότερα γίνεται ανάλυση των πλημμυρικών απορροών τμήματος της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κλαδέου του Δήμου Αρχαίας Ολυμπίας, που βρίσκεται κεντρικά του Νομού Ηλείας. Η ανάλυση αυτή πραγματοποιήθηκε με εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου HEC-1, στο οποίο εισήχθησαν δεδομένα μετρήσεων από κοντινούς υδρομετρικούς σταθμούς.

Για την εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου δημιουργήθηκε γεωγραφική βάση δεδομένων με τη χρήση του λογισμικού Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων ArcGIS της ESRI. Στην βάση αυτή περιλαμβάνονται όλα τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου του μοντέλου (ψηφιακό μοντέλο εδάφους, είδος εδαφών κ.τ.λ) ενώ με την βοήθεια του ΓΠΣ υπολογίσθηκαν όλες οι απαραίτητες παράμετροι για την εφαρμογή του.

Τέλος βάσει των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου, προτείνεται μια γενική διάταξη έργων για την αντιμετώπιση των πλημμυρικών φαινομένων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

1. ΥΔΡΟΛΟΓΙΑ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η Τεχνική Υδρολογία αποτελεί βασικό επιστημονικό κλάδο για την μελέτη των Υδραυλικών Έργων. Βασική παράμετρος για την σωστή μελέτη και κατασκευή υδραυλικών έργων είναι αναμφισβήτη η εκτίμηση και η πρόγνωση της πλημμυρικής απορροής, που προκύπτει ύστερα από ένα έντονο πλημμυρικό επεισόδιο (καταιγίδα). Οι πλημμύρες, αποτελούν ένα από τα πλέον καταστροφικά φαινόμενα με τεράστιες οικονομικές (αγροτική παραγωγή, τεχνικά έργα), κοινωνικές (απώλειες ανθρώπινων ζωών, καταστροφές περιουσιών), περιβαλλοντικές (διάβρωση εδαφών κλπ.) αλλά και οικολογικές (καταστροφή υδροβιοτόπων) συνέπειες. Η ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής και η προστασία των περιουσιών από πλημμύρες, αποτελεί αντικείμενο ανησυχίας και πολύ έντονου ενδιαφέροντος των αρμόδιων διεθνών υπηρεσιών (WMO, 1988).

Σαν πλημμύρα ορίζεται το γεγονός κατά το οποίο η άμεση απορροή (επιφανειακή και ταχεία υπεδάφια) είναι τόσο σημαντική ώστε η συνολική παροχή να υπερβαίνει τη διοχετευτική ικανότητα του υδατορεύματος και να κατακλύζει τις γύρω περιοχές με όλες τις δυσμενείς συνέπειες που ακολουθούν (Τσακίρης, 1995). Αντλαμβάνεται, λοιπόν, κανείς ότι η επιφανειακή απορροή είναι η συνιστώσα εκείνη του υδρολογικού κύκλου που ενδιαφέρει περισσότερο από κάθε άλλη, τόσο γιατί παρέχει το μεγαλύτερο μέρος των εκμεταλλεύσιμων υδατικών πόρων, όσο και γιατί δημιουργεί σημαντικούς φυσικούς κινδύνους μετά από ένα γεγονός ραγδαίας βροχόπτωσης. Σχετίζεται, δηλαδή, άμεσα με όλες τις ανθρώπινες παρεμβάσεις, αφού αποτελεί τη βασική υδρολογική παράμετρο σχεδιασμού έργων τα οποία αφορούν στον έλεγχο, στην αξιοποίηση και στην προστασία των υδατικών πόρων.

Τις τελευταίες δεκαετίες, η εκτίμηση της απορροής γίνεται κατ' εξοχήν με τη χρήση κατάλληλα ανεπτυγμένων ομοιωμάτων (μοντέλων). Τα ομοιώματα αυτά διακρίνονται κυρίως, σε δύο βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία, ανήκουν τα ομοιώματα που βασίζονται στη θεωρία του μοναδιαίου υδρογραφήματος και άρα προϋποθέτουν μια γραμμική σχέση μεταξύ της βροχής και της απορροής, ενώ στη δεύτερη κατηγορία ανήκουν τα ομοιώματα που δεν προϋποθέτουν μια τέτοια γραμμικότητα, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα χρήσης τους και σε μη γραμμικές λεκάνες απορροής (Mimikou 1983 and 1984, Mimikou et al 1984, Rogers 1980 and 1982, Rogers and Zia 1982).

1.2 Ο ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ

Ο υδρολογικός κύκλος είναι ένας περιγραφικός όρος που αναφέρεται στην γενική κυκλοφορία του νερού από τους ωκεανούς και τις θάλασσες, στην ατμόσφαιρα, μετά πάνω στη γη και κατόπι πίσω πάλι στις θάλασσες. Ο κύκλος αυτός γραφικά σε μια απλοποιημένη μορφή φαίνεται στο σχήμα 1.1 και δείχνει ότι μπορεί να χωριστεί σε τρεις βασικές φάσεις:

1. εξάτμιση
2. κατακρημνίσματα, και
3. απορροή, επιφανειακή και υπόγεια.

Ακόμη, μπορεί να παρατηρηθεί ότι σε κάποιο στάδιο σε κάθε μια από τις παραπάνω φάσεις μπορεί να παρατηρηθεί

- (α) μεταφορά νερού
- (β) προσωρινή αποθήκευση, και
- (γ) μεταβολή της κατάστασης του νερού.



Σχήμα 1.1 Απλοποιημένη γραφική απεικόνιση του υδρολογικού κύκλου. (USGS)

Η μεταβολή της ποσότητας του νερού που αναφέρεται σε μία φάση ή στάδιο της φάσης μπορεί να εκτιμηθεί με μία εξίσωση υδρολογικού ισοζυγίου που στην γενική της μορφή είναι:

$$\Delta S = I - O \quad (1.1)$$

όπου I είναι η εισροή νερού σε μια δεδομένη περιοχή κατά τη διάρκεια ορισμένου χρόνου, O είναι η εκροή νερού από την περιοχή στον ίδιο χρόνο, και ΔS είναι η μεταβολή του όγκου του νερού για τον ίδιο χρόνο στην ίδια περιοχή.

Ο υδρολογικός κύκλος φαίνεται να μην έχει ούτε αρχή ούτε τέλος, καθώς νερό εξατμίζεται από τη στεριά και τις θάλασσες για να γίνει μέρος της ατμόσφαιρας. Το εξατμιζόμενο νερό ανυψώνεται, μεταφέρεται και προσωρινά αποθηκεύεται στην ατμόσφαιρα μέχρι να ξαναπέσει στη γη. Το νερό που πέφτει στη γη μπορεί να συγκρατηθεί από τη φυτοκάλυψη, να χρησιμοποιηθεί σαν διαπνοή από τα φυτά, να απορρεύσει επιφανειακά ή να διηθηθεί βαθιά στο έδαφος. Το νερό της διαπνοής και μέρος από το νερό της επιφανειακής απορροής μπορεί να ξαναγυρίσει με την εξάτμιση πίσω στην ατμόσφαιρα ή να διηθηθεί πιο βαθιά και να αποθηκευτεί ως υπόγειο νερό και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί πάλι από τα φυτά, ή να εμφανιστεί σαν πηγή ή να φτάσει στις κοίτες των υδάτινων ρευμάτων και τις λίμνες κινούμενο υπόγεια και τελικά πάλι να εξατμιστεί για να συμπληρωθεί ο κύκλος.

Σε παγκόσμια κλίμακα, ο όγκος του νερού που περιλαμβάνει κάθε φάση του υδρολογικού κύκλου είναι σχεδόν σταθερός. Όταν όμως αναφερόμαστε σε μια περιορισμένη εδαφική έκταση όπως είναι η υδρολογική λεκάνη ενός υδάτινου ρεύματος, οι ποσότητες του νερού κάθε φάσης δεν είναι σταθερές αλλά μεταβάλλονται μέσα σε πολύ ευρέα όρια. Οι φάσεις που αναφέρονται στην καθορισμένη έκταση μιας υδρολογικής λεκάνης απαρτίζουν τον «κύκλο απορροής» της λεκάνης αυτής.

1.3 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΑΣΩΜΕΝΩΝ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Η δασική βλάστηση μιάς λεκάνης απορροής συμβάλλει τόσο στη συγκράτηση και αποθήκευση σημαντικού ποσοστού της βροχής ενός επεισοδίου, όσο και στην προστασία του εδάφους από τη διάβρωση. Κατά συνέπεια, ο κίνδυνος πλημμύρας εξαλείφεται ή περιορίζεται σημαντικά από μικρά έως μέτρια και από μεγάλα επεισόδια βροχής, αντίστοιχα. Η επίδραση της βλάστησης στις πλημμύρες σήμερα μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με την αριθμητική έκγραση των υδρολογικών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια μιας βροχής. Οι διεργασίες αυτές περιλαμβάνουν την υδατοσυγκράτηση από τη δασική βλάστηση, τη φυλλάδα και το χούμο, τη διήθηση της βροχής στο έδαφος, τη δημιουργία επιφανειακής και υπεδάφιας απορροής, τη μόνιμη και παροδική συγκράτηση ενός μέρους της βροχής από το έδαφος υπό μορφή υγρασίας, καθώς και τη διάβρωση του εδάφους. Οι

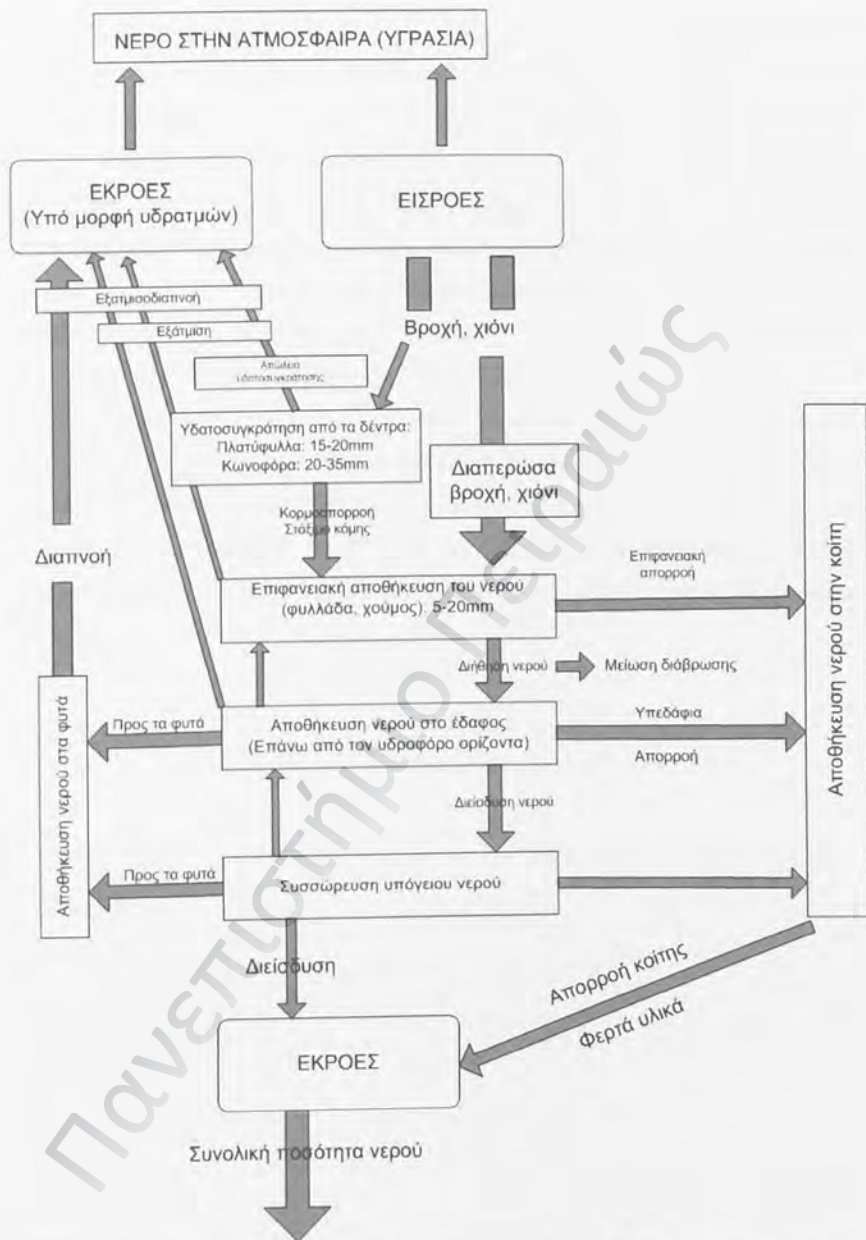
υδρολογικές αυτές διεργασίες απεικονίζονται στο Σχήμα 1.2 και οι αριθμητικές τους τιμές παρουσιάζουν ένα εύρος από περιοχή σε περιοχή, που εξαρτάται από το δασικό είδος, τον τύπο του εδάφους, την τοπογραφία και γεωμορφολογία της λεκάνης, τα χαρακτηριστικά των κατακρημισμάτων κ.λ.π. Παρακάτω δίνονται ορισμένες τιμές των διεργασιών αυτών που προέκυψαν από πληθώρα μετρήσεων σε δασωμένες λεκάνες απορροής. Ειδικότερα:

- **Υδατοσυγκράτηση από την κόμη, τη φυλλάδα και το χούμο**

Η υδατοσυγκράτηση από ένα δάσος πλατυφύλλων και κωνοφόρων μπορεί να ανέλθει σε 15-20 και σε 20-35mm βροχής ανά επεισόδιο, αντίστοιχα. Στη συνέχεια, από τη βροχή που φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους ένα μέρος συγκρατείται από την δασική φυλλάδα και το χούμο και αυτό μπορεί να ανέλθει σε 2mm περίπου ανά ένα (1) εκατοστό βάθους φυλλάδας και χούμου. Επομένως η ποσότητα αυτή κυμαίνεται από 5-20mm βροχής, ανάλογα με το πάχος, (βάθος) των στρωμάτων αυτών.

- **Διήθηση της βροχής στο έδαφος και συνθήκες δημιουργίας επιφανειακής και υπεδάφιας απορροής.**

Η διήθηση της βροχής στα δασικά εδάφη και η αποφυγή έτσι δημιουργίας επιφανειακής απορροής είναι μια άλλη σπουδαία διεργασία με την οποία η δασική βλάστηση συμβάλλει στην εξομάλυνση του μεγέθους των πλημμυρών. Ειδικότερα η δασική βλάστηση με τις ρίζες και την αποσύνθεση των φύλλων και κλάδων, επηρεάζει ευνοικότερα τη δομή του εδάφους και δημιουργεί πολύ μεγάλες ταχύτητες διήθησης της βροχής, που σπάνια ξεπερνούν τις εντάσεις της βροχής. Κατά συνέπεια η βροχή διηθείται και κινείται υπό μορφή υπεδάφιας απορροής. Επισημαίνεται όμως ότι οι θέσεις που παρατηρείται επιφανειακή απορροή σε δασωμένες λεκάνες



Σχήμα 1.2 Υδρολογικές διεργασίες μετατροπής της βροχής σε απορροή στο στόμιο μιας δασωμένης λεκάνης απορροής.

απορροής είναι το κατάστρωμα και τα πρηνή των δρόμων, τα μονοπάτια, οι σύρτες μετατόπισης ξυλείας, οι επιφάνειες βράχων, τα πολύ αβαθή εδάφη, οι παραρεμάτιες

ζώνες κ.α. Η απορροή από τις θέσεις αυτές είναι εκείνη που μετατρέπεται σε πλημμυρική στην κοίτη του υδατορεύματος.

- **Συγκράτηση υγρασίας από το έδαφος**

Η δυνατότητα του εδάφους μιάς υδρολογικής λεκάνης να συγκρατεί πάντοτε μια ορισμένη ποσότητα βροχής από κάθε επεισόδιο, υπό μορφή υγρασίας, καθορίζει μέχρι ενός βαθμού το μέγεθος της απορροής και παροχής που δημιουργούνται στο στόμιο αυτής και οι οποίες στη συνέχεια είναι δυνατόν να δημιουργήσουν πλημμυρικά φαινόμενα στις χαμηλότερες περιοχές.

Η ποσότητα υγρασίας που συγκρατεί το έδαφος εξαρτάται από διάφορους παράγοντες και μεταξύ αυτών είναι το βάθος του, η υφή και η δομή, η αρχική του υγρασιακή κατάσταση, το ύψος και η διάρκεια βροχής κ.λ.π. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται σε τρεις κατηγορίες η μέγιστη ποσότητα υγρασίας που μπορούν να συγκρατήσουν οι διάφορες κατηγορίες εδαφών σε mm/1cm βάθους αδιατάρακτου εδάφους.

Πίνακας 1

Συγκράτηση υγρασίας από διάφορες κατηγορίες εδαφών

Είδος εδαφών	Πορώδες εδάφους (αναλογία κατ'όγκο)	Συγκράτηση υγρασίας (mm/cm βάθους)		
		Μέχρι το σημείο μόνιμου μαρασμού	Μεταξύ του σημείου μόνιμου μαρασμού και υδατοχωρητικότητας	Χώρος μακροπόρων
1	2	3	4	5
Εδάφη λεπτής άμμου	0,41	0,6	0,5	3,0
Αμμοπηλώδη	0,42	0,6	0,8	2,8
Αμμοπηλώδη λεπτής γης	0,44	0,7	1,2	2,5
Πηλώδη	0,46	1,0	1,4	2,2
Ιλύοπηλώδη	0,47	1,3	1,5	1,9
Ελαφρά αργιλοπηλώδη	0,48	1,5	1,5	1,8
Αργιλοπηλώδη	0,49	1,7	1,5	1,7
Βαριά αργιλοπηλώδη	0,50	2,0	1,3	1,7
Αργιλώδη	0,52	2,3	1,2	1,7

Από τις κατηγορίες αυτές η πρώτη αναφέρεται στην ποσότητα υγρασίας που συγκρατεί το έδαφος μέχρι το σημείο του μόνιμου μαρασμού (στήλη 3) , η δεύτερη μεταξύ αυτού και της υδατοχωρητικότητας και η τρίτη μέχρι πλήρους κάλυψης όλων

των μακροπόρων του. Οι τιμές αυτές εκτιμήθηκαν από μεγάλο αριθμό μετρήσεων εδαφικών δειγμάτων στην Αμερική και μπορεί να υποστηριχθεί ως ισχύουν, κατά μεγάλη προσέγγιση, για τις ίδιες κατηγορίες Ελληνικών εδαφών.

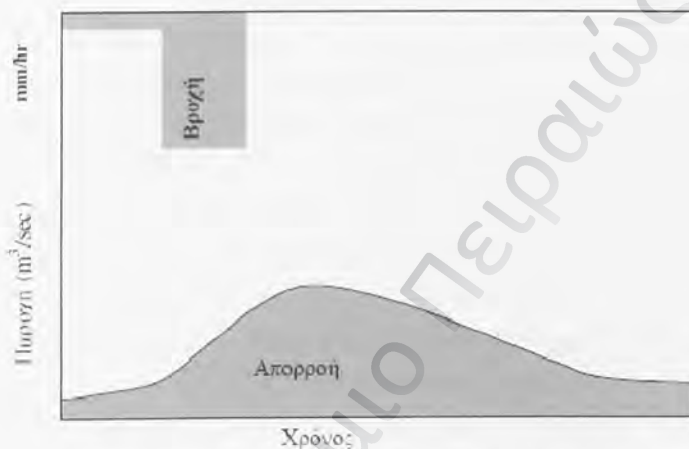
Από τις κατηγορίες υγρασίας που αναφέρθηκαν, οι δύο πρώτες συμβάλλουν στη μείωση της παροχής και απορροής του υδατορεύματος από συγκεκριμένο ύψος βροχής, αφού η συγκράτηση είναι οριστική (retention storage) και η τρίτη στη σημαντική επιβράδυνση (detention storage) άφιξης της υπεδάφιας απορροής στο υδρογραφικό δίκτυο, λόγω της μικρής ταχύτητας μέσα από τους μακροπόρους. Ακόμα επισημαίνεται πως από τις τιμές του πορώδους των προηγούμενων εδαφών, διαπιστώνεται ότι η μέγιστη υγρασία που μπορούν να συγκρατήσουν κυμαίνεται από 4,1 μέχρι 5,2mm/1cm βάθους αδιάταρακτου εδάφους. Οι τιμές αυτές αντιστοιχούν σε εδάφη λεπτής άμμου και αργιλώδη, αντίστοιχα.

Διευκρινίζεται ακόμα, πως ενώ υγρασία συγκρατούν και τα γεωργικά εδάφη, τα δασικά έχουν πάντοτε τη δυνατότητα να συγκρατούν μεγαλύτερη ποσότητα εξαιτίας του μεγαλύτερου κατά κανόνα βάθους, της διήθησης της βροχής σε αυτά και του διαθέσιμου πάντα χώρου από τη συνεχή μετακίνηση του νερού και τη μεγάλη διαπνοή των δασικών ειδών. Τέλος προστίθεται πως όλες οι επιμέρους ποσότητες βροχής που συγκρατούνται σε μια λεκάνη απορροής, αποτελούν το λεγόμενο «υδρολογικό της βάθος» σε mm. Αυτό, είναι προφανές ότι λαμβάνει μεγαλύτερες τιμές σε δασωμένες λεκάνες.

- **Διάβρωση του εδάφους και φερτές ύλες σε δασωμένες λεκάνες απορροής**

Η τελευταία και ίσως πιο σημαντική διεργασία με την οποία η δασική βλάστηση συμβάλλει στην εξομάλυνση του μεγέθους των πλημμυρών, είναι η προστασία του εδάφους από τη διάβρωση. Η επίδραση αυτή θα μπορούσε να θεωρηθεί ως έμμεση, αφού με την ύπαρξη μεγάλων ταχυτήτων διήθησης της βροχής σε δασωμένες λεκάνες, αποφεύγεται, όπως αναφέρθηκε, η δημιουργία επιφανειακής απορροής και κατά συνέπεια η διάβρωση του εδάφους. Επομένως η απορροή και οι παροχές αιχμής των υδατορευμάτων είναι σημαντικά μειωμένες, λόγω και της μικρής ποσότητας φερτών υλών που περιέχουν. Αριθμητικές τιμές ευρείας εφαρμογής για το ποσοστό δασοκάλυψης των λεκανών απορροής και την ποσότητα των φερτών υλών, που παρατηρούνται στο στόμιο αυτών, είναι προφανώς δύσκολο να δοθούν. Η δυσκολία αυτή απορρέει τόσο από τον αριθμό των παραγόντων που εμπλέκονται σε αυτή τη διεργασία, όσο και από τις διαφορές που παρουσιάζουν οι εμπλεκόμενοι παράγοντες.

Είναι όμως γενικά αποδεκτό πως σημαντική μείωση της δασοκάλυψης μιας λεκάνης απορροής, αυξάνει την ποσότητα των φερτών υλών, τουλάχιστον στο εκατοναπλάσιο εκείνης πριν την αποδόσωση. Επομένως γίνεται φανερή η στενή σχέση που υπάρχει μεταξύ διάβρωσης του εδάφους της λεκάνης, στερεοπαροχής-υδατοπαροχής και απορροής στο στόμιο αυτής. (Σχήμα 1.3)



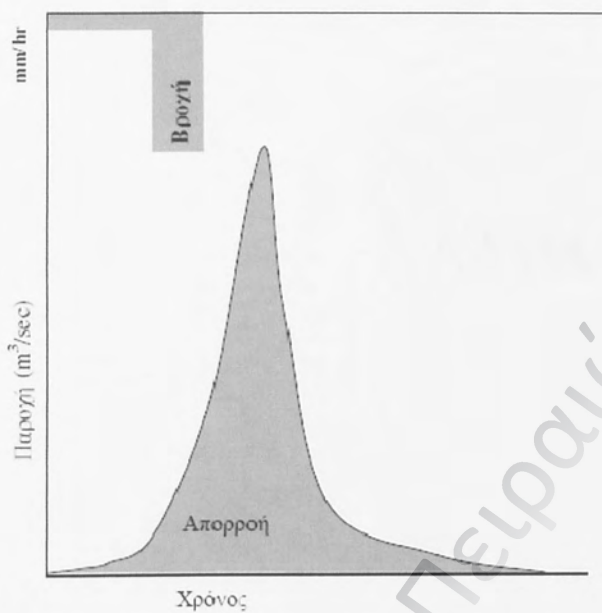
Σχήμα 1.3 Υδρολογική συμπεριφορά δασωμένης λεκάνης απορροής. (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.)

1.4 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΠΥΡΚΑΓΙΑ

Η καταστροφή της βλάστησης και των φυτικών υπολειμμάτων (φυλλάδας, χούμου κ.λ.π) της επιφάνειας μιας λεκάνης απορροής από πυρκαγιά και η εκδήλωση στη συνέχεια ισχυρών βροχοπτώσεων συντελούν: Στην εμφάνιση επιφανειακής απορροής και διάβρωσης του εδάφους, στη μείωση της ικανότητας του εδάφους να συγκρατεί υγρασία, στην αύξηση της παροχής στα υδατορεύματα και τελικά στη δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων τόσο στην ίδια όσο και στην αντίστοιχη πεδινή περιοχή. Ειδικότερα μετά την πυρκαγιά μεταβάλλονται, εκτός των άλλων, τόσο το ύψος και η ενέργεια της βροχής που φθάνει στην επιφάνεια της λεκάνης, όσο και πολλές από τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους της, με αποτέλεσμα την εμφάνιση των δυσμενών φαινομένων που αναφέρθηκαν. Οι παραπάνω μεταβολές, με τη σειρά εμφάνισης μετά την πυρκαγιά και οι διεργασίες διάβρωσης του εδάφους και δημιουργίας πλημμύρας είναι συνοπτικά οι εξής:

- 1) Δημιουργία υδρόφοβου στρώματος εντός του εδάφους μετά την πυρκαγιά από καύση οργανικής ουσίας και διείδυση χημικών ενώσεων εντός αυτού. Συντελεί στην αύξηση της επιφανειακής απορροής και σε πλάγια κίνηση της υπεδάφιας απορροής.
- 2) Πτώση μεγαλύτερου ύψους βροχής στην επιφάνεια της λεκάνης λόγω έλλειψης βλάστησης-υδατοσυγκράτησης.
- 3) Συγκράτηση λιγότερης υγρασίας στην επιφάνεια του εδάφους λόγω της καύσης των επιφανειακών φυτικών υπολλειμάτων.
- 4) Κατακερματισμός των εδαφικών συσσωμάτων λόγω μεγαλύτερης ενέργειας των σταγόνων βροχής.
- 5) Μείωση της ταχύτητας διήθησης της βροχής στο έδαφος λόγω απόφραξης των πόρων του.
- 6) Δημιουργία επιφανειακής απορροής στις πλαγιές της λεκάνης.
- 7) Μείωση της αντίστασης του εδάφους στην παράσυρση από την επιφανειακή απορροή, λόγω έλλειψης βλάστησης.
- 8) Διάβρωση και παράσυρση του εδάφους από τις πλαγιές της λεκάνης προς τα κατάντη και τις κοίτες των υδατορευμάτων.
- 9) Σημαντική και απότομη αύξηση της υδατοστερεοπαροχής στην κοίτη των υδατορευμάτων.
- 10) Διάβρωση του πυθμένα και των πρανών της κοίτης των υδατορευμάτων και μεταφορά των υλικών προς τα κατάντη.
- 11) Υπερχείλιση της πεδινής κοίτης του υδατορεύματος και επιδείνωση της κατάστασης σε περίπτωση ύπαρξης ανθρώπινων παρεμβάσεων.
- 12) Δημιουργία πλημμυρικών φαινομένων στην πεδινή γεωργική και κατοικημένη περιοχή της λεκάνης με πληθώρα δυσμενών επιπτώσεων.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται και η υδρολογική συμπεριφορά της μη δασωμένης λεκάνης και το πόσο αυξάνεται το μέγιστο της απορροής και ο χρόνος που αυτή διοδεύει από την λεκάνη σε σχέση με την δασωμένη.



Σχήμα 1.4 Υδρολογική συμπεριφορά λεκάνης απορροής μετά από πυρκαγιά. (ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε.)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

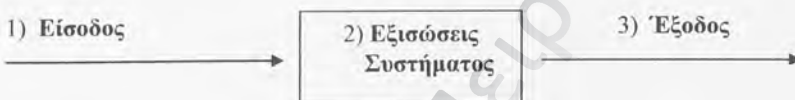
Πανεπιστήμιο Πειραιώς

2. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ

2.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το υδρολογικό μοντέλο, ορίζεται ως ένα σύνολο μαθηματικών εξισώσεων οι οποίες απεικονίζουν κατά προσέγγιση, το σύνολο των αλληλοσχετιζόμενων φαινομένων που υπεισέρχονται στη διαδικασία μετατροπής της βροχής σε απορροή (Γσακίρης, 1995)

Σχηματικά ένα υδρολογικό μοντέλο αναπαρίσταται ως εξής:



Σχήμα 2.1 Γενική αναπαράσταση μοντέλου.

όπου:

1) **Είσοδος:** Μετεωρολογικές μεταβλητές (κατακρημνίσεις, θερμοκρασία, άνεμος, κλπ.).

2) **Εξισώσεις συστήματος:** Σύνολο μαθηματικών εξισώσεων που απεικονίζουν τις φυσικές διαδικασίες μετατροπής της βροχής σε απορροή (κατακράτηση, εξατμισοδιαπνοή, διήθηση, επιφανειακή απορροή, ενδιάμεση απορροή, εδαφική υγρασία, αποθήκευση υπόγειου ορίζοντα). Τα τελευταία χρόνια, το αυξημένο ενδιαφέρον για τη ρύπανση των επιφανειακών και υπόγειων νερών, οδήγησε στην εισαγωγή στα υδρολογικά μοντέλα, αλγορίθμων προσομοίωσης χημικών διαδικασιών.

3) **Έξοδος:** Απορροή.

2.2 ΓΕΝΙΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

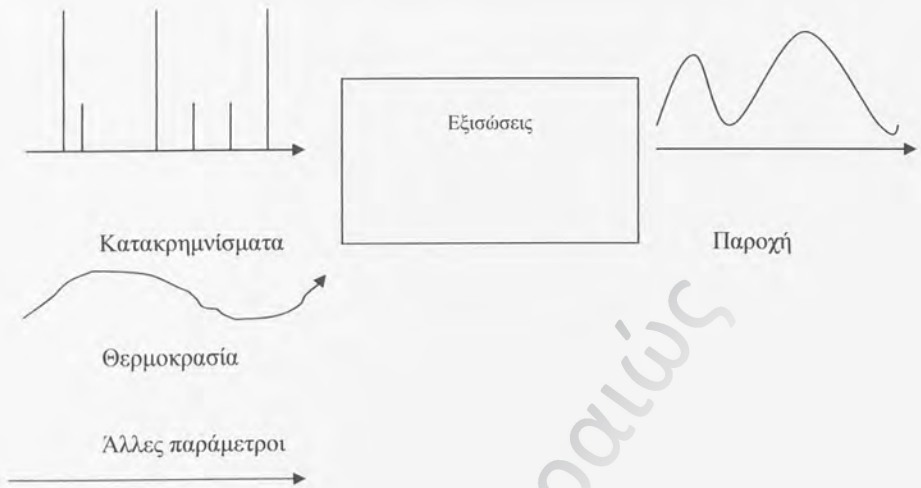
Τα μοντέλα βροχής-απορροής ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το είδος των εξισώσεων που περιλαμβάνουν, το χρονικό τους βήμα, τη λειτουργία τους σε πραγματικό χρόνο κλπ. Ο πλέον συνήθης διαχωρισμός των μοντέλων είναι, πρώτον σε μοντέλα μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος και συνεχή μοντέλα και δεύτερον σε ενιαία (lumped) και κατανεμημένα (discrete). Συγκεκριμένα:

1^α. Το **μοντέλο ενός μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος** περιλαμβάνει ως είσοδο μία ή περισσότερες σειρές παρατηρήσεων στο χρόνο (χρονοσειρές) μιας ή περισσότερων μετεωρολογικών μεταβλητών οι οποίες αναφέρονται σε **ένα μεμονωμένο** υδρολογικό γεγονός.



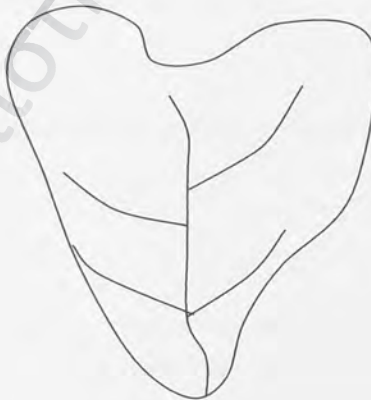
Σχήμα 2.2 Μοντέλο μεμονωμένου υδρολογικού γεγονότος.

1^β. Το **συνεχές μοντέλο** περιλαμβάνει ως είσοδο μία ή περισσότερες σειρές παρατηρήσεων στο χρόνο (χρονοσειρές) μιας ή περισσότερων μετεωρολογικών μεταβλητών οι οποίες αναφέρονται σε **μια σειρά** υδρολογικών γεγονότων.



Σχήμα 2.3 Συνεχές μοντέλο.

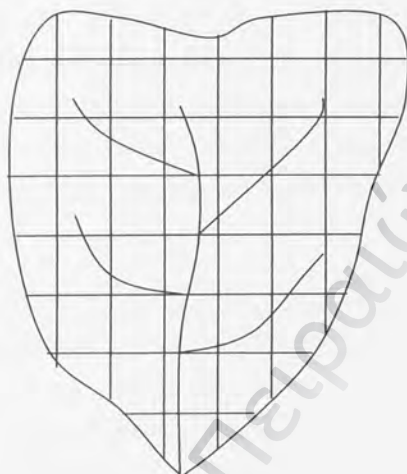
2^α. Τα **ενιαία ή αδρομερή μοντέλα** βασίζονται στην υπόθεση της **ομοιόμορφης κατανομής** στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής των μεγεθών εισόδου (βροχή κλπ.) και εξόδου (απορροή).



Σχήμα 2.4 Ενιαίο μοντέλο.

2^β. Τα **κατανεμημένα μοντέλα**, σε αντίθεση με τα ενιαία, βασίζονται στην υπόθεση της **χωρικής κατανομής** των μεγεθών εισόδου και εξόδου στη λεκάνη απορροής. Τα

μοντέλα αυτά περιλαμβάνουν το διαχωρισμό της λεκάνης σε τμήματα με ομοιόμορφα τοπογραφικά ή άλλα χαρακτηριστικά.



Σχήμα 2.5 Κατανεμημένο μοντέλο.

2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΝΕΧΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Τα συνεχή μοντέλα βροχής-απορροής μπορούν να ταξινομηθούν βάσει των εξής δύο κριτηρίων:

- Το είδος των εξισώσεων που χρησιμοποιούνται. Με βάση το κριτήριο αυτό, τα μοντέλα ταξινομούνται σε φυσικά ή φυσικής βάσης (physically-based), παραμετρικά ή εννοιολογικά (conceptual) και μοντέλα μαύρου κουτιού (black-box).
- Αν λαμβάνεται υπόψη η τυχαιότητα των φαινομένων. Με βάση το κριτήριο αυτό, τα μοντέλα ταξινομούνται σε προσδιοριστικά και στοχαστικά.

Αναλυτικότερα:

1. Τα *προσδιοριστικά φυσικά μοντέλα* βασίζονται στις εξισώσεις της φυσικής, δηλαδή, στις εξισώσεις συνέχειας και ποσότητας κίνησης. Τα μοντέλα αυτά, περιλαμβάνουν ένα σύνολο περίπλοκων μαθηματικών εξισώσεων και συνήθως περιλαμβάνουν ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων. Επίσης, τα μοντέλα αυτά απαιτούν πολλά δεδομένα εισόδου που συνήθως δεν είναι διαθέσιμα. Τέτοια μοντέλα, έχουν εφαρμοσθεί μόνο σε μικρές πειραματικές λεκάνες απορροής, για τις οποίες υπάρχουν τα δεδομένα εισόδου.
2. Τα *προσδιοριστικά παραμετρικά μοντέλα* προσομοιώνουν τη σχέση βροχής-απορροής, βασιζόμενα σε ένα σύνολο απλουστευτικών παραδοχών του φυσικού συστήματος. Τα μοντέλα αυτά, είναι πολύ διαδεδομένα και περιλαμβάνουν παραμέτρους, οι οποίες καθορίζονται από τη διαδικασία «ρύθμισης» του μοντέλου. Η διαδικασία ρύθμισης ενός μοντέλου, είναι ένας αλγόριθμος ο οποίος συνίσταται στην αλλαγή των τιμών των παραμέτρων, έτσι ώστε οι διαφορές μεταξύ των προσομοιωμένων και των παρατηρημένων παροχών, να είναι όσο το δυνατόν μικρότερες.
3. Τα *προσδιοριστικά μοντέλα «μαύρου κουτιού»* βασίζονται σε απλές μαθηματικές εξισώσεις, οι οποίες προσομοιώνουν ικανοποιητικά το υδρογράφημα της μετρημένης παροχής. Ένα παράδειγμα τέτοιου μοντέλου, αποτελεί το μοναδιαίο υδρογράφημα.
4. Τα *στοχαστικά μοντέλα «μαύρου κουτιού»* είναι μοντέλα τα οποία υπολογίζουν τη μεταβλητή εξόδου (απορροή) λαμβάνοντας υπόψη τα στατιστικά χαρακτηριστικά της μεταβλητής εισόδου (βροχή), υπό τον όρο να διατηρούνται τα στατιστικά χαρακτηριστικά της μετρημένης παροχής (π.χ. μέσος, διασπορά, αυτοσυσχέτιση, διαστυρούμενη συσχέτιση κλπ.). Παράδειγμα ενός τέτοιου μοντέλου αποτελεί το υδρολογικό μοντέλο ARIMA.

5. Τα *στοχαστικά παραμετρικά και φυσικά μοντέλα* λαμβάνουν υπόψη τα στατιστικά χαρακτηριστικά της εισόδου και συγχρόνως περιλαμβάνουν εξισώσεις που απεικονίζουν τις βασικές διαδικασίες μετασχηματισμού της βροχής σε απορροή. Τέτοια μοντέλα δεν έχουν ακόμα εφαρμοσθεί σε πραγματικές λεκάνες απορροής και βρίσκονται ακόμα σε στάδιο έρευνας.

Παραδείγματα μοντέλων:

1. Προσδιοριστικό μοντέλο **MORIN** με σχετικά απλή δομή.
2. Προσδιοριστικό παραμετρικό μοντέλο **MERO** που έχει εφαρμοσθεί και στον Ελληνικό χώρο.
3. Προσδιοριστικό παραμετρικό μοντέλο **STANFORD** που έχει εφαρμοσθεί σε πολλές λεκάνες σε όλο τον κόσμο.
4. Προσδιοριστικό μοντέλο φυσικής βάσης **SHE** που αποτελεί ένα σύγχρονο ερευνητικό εργαλείο.
5. Προσδιοριστικό παραμετρικό μοντέλο **ILWAS** που περιλαμβάνει εκτός από την προσομοίωση της απορροής και αλγόριθμους που προσομοιώνουν τη ρύπανση του ποταμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

3.1 ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ

Ο ποταμός Κλαδέος είναι ποταμός της Δυτικής Πελοποννήσου που πηγάζει από τα ορεινά των δήμων Αρχαίας Ολυμπίας και Φολόης του Νομού Ηλείας. Ουσιαστικά αποτελεί παραπόταμο του ποταμού Αλφειού αφού εκβάλλει σε αυτόν δίπλα στο χώρο του ιερού της Αρχαίας Ολυμπίας. Η ανώτερη και μέση ροή του διασχίζει τοπία μεγάλης φυσικής ομορφιάς. Το ποτάμι, η βλάστηση και το τοπίο στις όχθες του σχηματίζουν εικόνες απείρου κάλλους.



Σχήμα 3.1 Γεωγραφική θέση λεκάνης απορροής ποταμού Κλαδέου. (Γ.Υ.Σ)

Η τοποθεσία «θεογέφυρο» είναι ένα σημείο του φαραγγιού του ποταμού Κλαδέου όπου οι δύο βράχοι αριστερά και δεξιά του φαραγγιού ενώνονται και σχηματίζουν ένα φυσικό γεφύρι. Στην οροφή του φυσικού γεφυριού έχουν σχηματιστεί σταλαχτίτες και συνθέτουν σε συνδυασμό με τους κισσούς και τα πλατάνια ένα τοπίο μοναδικής φυσικής ομορφιάς.



Σχήμα 3.2 Δημοτικά διαμερίσματα ευρύτερης περιοχής. (Νομαρχία Ηλείας)

3.1.1 ΙΣΤΟΡΙΑ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ

Στη συμβολή του ποταμού Κλαδέου με τον Αλφειό ποταμό, αναπτύχθηκε κατά την αρχαιότητα ένα από τα σημαντικότερα ιερά του αρχαίου κόσμου, το ιερό της Αρχαίας Ολυμπίας, που ήταν αφιερωμένο στον πατέρα των Θεών, Ολύμπιο Δία. Στην γαλήνια και ειδυλλιακή κοιλάδα του Κλαδέου γεννήθηκαν και τελούνταν οι Ολυμπιακοί Αγώνες. Γεννήθηκε η πανανθρώπινη ιδέα του Ολυμπισμού, οι αρχές της ευγενούς άμιλλας και ο θεσμός της «Ιερής Εκεχειρίας». Το Ιερό της Ολυμπίας απλώνεται στην Ανατολική όχθη του Κλαδέου, στους πρόποδες του πευκόφυτου λόφου του Κρονίου. Το Ιερό ονομαστήκε Άλτης, δηλαδή άλσος, γιατί στην αρχαιότητα η κοιλάδα ήταν κατάφυτη από αγριελιές, λεύκες, δρύες, πεύκα, ιτιές και πλατάνια. Ιστορικά κείμενα αναφέρουν ότι τον 5^ο-6^ο αιώνα μ.Χ ο

Κρόνιος λόφος είχε αποψιλωθεί και οι πλημμύρες του Αλφειού και του Κλαδέου, καθώς και οι κατολισθήσεις των χωμάτων του αμμουδερού Κρόνιου λόφου, κάλυψαν τελικά ολόκληρο τον χώρο του Ιερού με επιχωμάτωση που έφτανε τα επτά μέτρα. Ο δε ποταμός Κλαδέος, που τότε άλλαξε κοίτη, αφού πλησίασε το Ιερό παρέσυρε πολλά από τα κτίρια του δυτικού τμήματός του. (Τις συστηματικές ανασκαφές στο Ιερό άρχισε το 1875 η Γερμανική Αρχαιολογική Σχολή αποκαλύπτοντας τους θαμμένους αρχαιολογικούς θησαυρούς της Ολυμπίας). Το τοπίο λοιπόν είχε διατηρηθεί ανέπαφο από τον 5^ο αιώνα μ.Χ μέχρι το πέρασμα της καταστροφικής πυρκαγιάς του Αυγούστου του 2007 όπου και επλήγησε σημαντικά.

Εντός του περιβόλου της Άλτης περιλαμβάνονται τα κυριότερα θρησκευτικά οικοδομήματα και αναθήματα του Ιερού. Κατά τον 5^ο π.Χ αιώνα, το Ιερό φτάνει στην πιο μεγάλη του ακμή, δόξα και πλούτο με το σημαντικότερο οικοδομήμα του που ήταν ο «Ναός του Διός» στο κέντρο της Άλτης. Άρχισε να κτίζεται το 470 π.Χ περίπου και τελείωσε το 456 π.Χ. Υπήρξε ο μεγαλύτερος δωρικού ρυθμού ναός της Πελοποννήσου, έργο του Ηλείου αρχιτέκτονα Λίβωνος, ήταν περίπτερος και υπήρξε ο «κανών» της δωρικής ναοδομίας. Ειδικά αξίζει να αναφερθεί ότι οι μαρμάρινες συνθέσεις των αετώματων του στην ανατολική πλευρά (κύρια είσοδος) παριστάνουν τον αγώνα της αρματοδρομίας του Οινόμαου και του Πέλοπα, με κυρίαρχη τη μορφή του Δία ως κριτή του αγώνα.

Στα δύο άκρα του αετώματος είναι ξαπλωμένες οι προσωποποιημένες ανδρικές μορφές των δύο ποταμών της Ολυμπίας, Αλφειού και Κλαδέου. Ο Αλφειός αποδίδεται ξαπλωμένος στην αριστερή πλευρά του και στρεφόμενος προς το κέντρο του αετώματος. Ο Κλαδέος στα δεξιά αποδίδεται ως νεαρός αγένειος άνδρας, ξαπλωμένος, στραμμένος και αυτός προς το κέντρο, στηριζόμενος στους βραχίονες. Ιμάτιο καλύπτει τα πόδια των μορφών. **Οι δύο ποταμοί τοποθετήθηκαν στις γωνίες του αετώματος, για να δώσουν το στοιχείο του τόπου, εφόσον μεταξύ Αλφειού και Κλαδέου βρίσκεται η Ολυμπία, που ήταν η αφετηρία του τρομερού αγώνα αρματοδρομίας μεταξύ Πέλοπα-Οινόμαου.**



Σχήμα 3.3 Ανατολικό αέτωμα του Ναού του Διός

Η περιπλάνηση στην ιστορία των Ολυμπιακών Αγώνων μέσα από τον αρχαιολογικό χώρο και το μουσείο, ξεκινά από την γέφυρα του Κλαδέου ποταμού, νοτιοανατολικά της πόλης της Αρχαίας Ολυμπίας.

Ο Έλληνας περιηγητής και γεωγράφος του 2^{ου} αι. Πausanias διάσημος για το έργο του “Ελλάδος περιήγησις” χαρακτηριστικά αναφέρει : «VII. άφικομένῳ δὲ ἐς Ολυμπίαν ἐνταῦθα ἤδη τὸ ὕδωρ ἐστὶ τοῦ Ἄλφειοῦ πλήθει τε πολὺ ἰδόντι καὶ ἠδιστον, ἅτε ποταμῶν καὶ ἄλλων καὶ λόγου μάλιστα ἄξιον ἐπιτὰ ἐς αὐτὸν ῥέοντων. διὰ Μεγάλης μὲν γε πόλεως Ἐλισσῶν ἐρχόμενος ἐκδίδωσιν ἐς τὸν Ἄλφειόν, Βρενθεάτης δὲ ἐκ τῆς Μεγαλοπολιτῶν γῆς, παρὰ δὲ Γόρτυναν ἔνθα ἱερὸν Ἀσκλημιοῦ, παρὰ δὴ ταῦτα Γορτύνιος ῥέων, ἐκ Μελαινεῶν Βουφάγος τῆς Μεγαλοπολίτιδος μεταξύ καὶ Ἡραιίτιδος χώρας, ἐκ δὲ τῆς Κλειτοριῶν Λάδων, ἐκ δὲ Ἐρυμάνθου τοῦ ὄρους ὁμώνυμος τῷ ὄρει. οὗτοι μὲν ἐξ Ἀρκαδίας κατἴασιν ἐς τὸν Ἄλφειόν, Κλάδεος δὲ ἐρχόμενος ἐκ τῆς Ἡλείας συμμίσγει οἱ τὸ ῥεῦμα: αὐτῷ δὲ ἐν τῇ Ἀρκαδῶν τῷ Ἄλφειῷ καὶ οὐχὶ ἐκ τῆς Ἡλείας εἰσὶν ἀπηγαί.» (Τόμος Ηλιακῶν Α’).

3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΥΠΟ ΜΕΛΕΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

3.2.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Η λεκάνη απορροής, ως σύστημα μετασχηματισμού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων σε απορροή, παρουσιάζει ορισμένα ειδικά φυσικά γνωρίσματα που επηρεάζουν καταφανώς, τόσο τη διαδικασία του μετασχηματισμού όσο και το τελικό της αποτέλεσμα, δηλαδή το υδρογράφημα της απορροής. Τα γνωρίσματα αυτά ονομάζονται *φυσιογραφικά χαρακτηριστικά* της λεκάνης απορροής και μπορούν να καταταγούν στις τρεις ακόλουθες κατηγορίες:

- *Μορφολογικά χαρακτηριστικά* (μορφή, ανάγλυφο, υδρογραφικό δίκτυο).
- *Εδαφολογικά χαρακτηριστικά* (μηχανικές ιδιότητες, χημική σύσταση).
- *Φυτοκάλυψη* (είδη χλωρίδας και χωρική διάταξή της).

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά αποτελούν χωρικά κατανεμημένη πληροφορία (μεταβάλλονται από θέση σε θέση) αλλά στην πράξη γίνεται συμπυκνωμένη περιγραφή τους χρησιμοποιώντας διαφόρους δείκτες όπως θα περιγραφούν παρακάτω.

Αξίζει να σημειωθεί ότι πρωταρχικό ρόλο για την εύρεση της λεκάνης απορροής του εκάστοτε ποταμού είναι η σωστή χάραξη του υδροκρίτη, δηλαδή του ορίου που ορίζει την έκταση που καταλαμβάνει η λεκάνη απορροής ανάντη μιας δεδομένης διατομής υδατορεύματος. Σήμερα η τεχνολογία των συστημάτων γεωγραφικής πληροφορίας (αγγλικός όρος: geographical information systems GIS) και ειδικότερα η χρήση των ψηφιακών μοντέλων υψομέτρου (digital terrain models - DEM) επιτρέπει την αυτόματη χάραξη των υδροκритών. (Σχήμα 3.2)

3.2.2 ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ

Οι πληροφορίες που διαθέτουμε στην παρούσα μελέτη σχετικά με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Κλαδέου, εξήχθησαν από τους τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:50.000 (Φύλλο χάρτη Ολυμπίας) και οχτώ επιμέρους φύλλα χάρτη

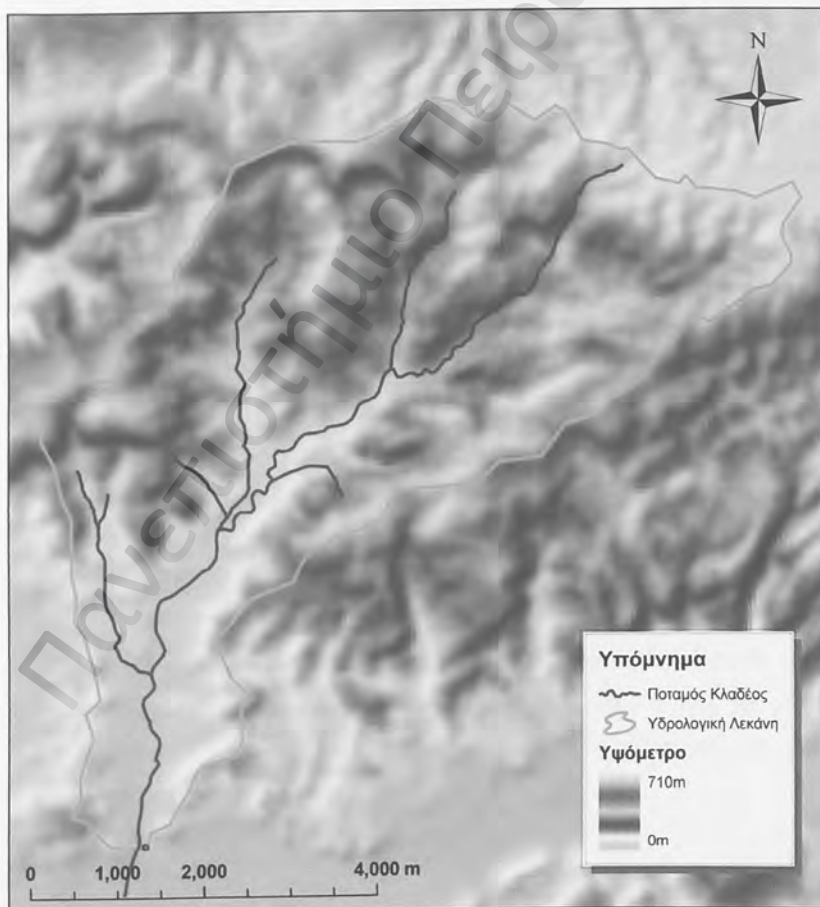


κλίμακας 1:5.000 (6284/1,2,3,4,5,6 και 6283/4,6) που μας χορήγησε η Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού. Επίσης λήφθησαν δεδομένα κάλυψης γης από το Ευρωπαϊκό Προγράμματος CORINE Land Cover. Από τους τοπογραφικούς χάρτες εξήχθησαν στοιχεία σχετικά με τα υψόμετρα, τις εδαφικές κλίσεις και το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής. ενώ χαρακτηριστικά σχετικά με την εδαφική κάλυψη (είδη βλάστησης) προήλθαν από τα δεδομένα του CORINE Land Cover.

Εικόνα 3.1 Άποψη τμήματος του ποταμού Κλαδέου.

Η εξεταζόμενη λεκάνη απορροής του ποταμού Κλαδέου βρίσκεται μέσα σε ορεινό όγκο με απότομο ανάγλυφο στο βόριο τμήμα της ενώ νότια, στην περιοχή της Αρχαίας Ολυμπίας, και αφού ενωθεί με πλήθος άλλων παραποτάμων και ρεμάτων συμβάλλει στον Αλφειό ποταμό, τον μεγαλύτερο ποταμό της Πελοποννήσου, μήκους 110 χιλιομέτρων ο οποίος εκβάλλει στον Κυπαρισσιακό Κόλπο, ύστερα από ροή αρχικά βορειοδυτική και κατόπιν δυτική. Έχει δε επιφάνεια 33,24 Km².

Στο σχήμα 3.2 φαίνεται η λεκάνη απορροής του Κλαδέου μαζί με το υδρογραφικό δίκτυο αυτής καθώς και η ορειογραφία της. Τόσο το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM), όσο και το υδρογραφικό δίκτυο και η ορειογραφία της λεκάνης απορροής του ποταμού Πορταϊκού, παρήχθησαν με χρήση λογισμικού GIS, για το οποίο θα γίνει αναφορά σε επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 3.4 Υδρολογική λεκάνη ποταμού Κλαδέου.

3.3 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΟΜΒΡΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

3.3.1 ΟΜΒΡΙΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Στα προβλήματα σχεδιασμού αντιπλημμυρικών έργων ενδιαφέρει ιδιαίτερα η διαίτα των ισχυρών βροχοπτώσεων της περιοχής, η μαθηματική περιγραφή της οποίας δεν μπορεί να είναι πιθανοτική. Το κλασικό μαθηματικό εργαλείο που περιγράφει αυτή τη διαίτα είναι οι λεγόμενες *καμπύλες έντασης-διάρκειας-περιόδου επαναφοράς* της βροχόπτωσης ή, όπως απλούστερα έχει καθιερωθεί να αποκαλούνται στην ελληνική τεχνική ορολογία, οι *όμβριες καμπύλες* (στην Αγγλική βιβλιογραφία *intensity-duration-frequency curves* ή συνοπτικά *IDF curves*). Πρόκειται για απλές αναλυτικές ή γραφικές εκφράσεις της μέγιστης έντασης βροχής I συναρτήσει της διάρκειας D και της περιόδου επαναφοράς T (Σχήμα 3.3). Σχετικά με τη φύση των μεταβλητών αυτών διευκρινίζονται τα ακόλουθα:

1. Η διάρκεια βροχής D δεν αντιπροσωπεύει κάποια παραγματική ολική διάρκεια ισχυρής καταιγίδας, αλλά είναι μια δεδομένη διάρκεια που καθορίζει τη χρονική κλίμακα παρατήρησης του φαινομένου.
2. Η ένταση βροχής i δεν αναφέρεται σε συγκεκριμένη καταιγίδα, αλλά θεωρείται ως η πραγματοποίηση μιας τυχαίας μεταβλητής I που αντιπροσωπεύει τον πληθυσμό των ισχυρών βροχοπτώσεων, για τη συγκεκριμένη διάρκεια παρατήρησης D . Συνδέεται με το ύψος βροχής h με τη σχέση:

$$i = \frac{h}{d} \quad (3.1)$$

Και κατά συνέπεια αντιπροσωπεύει τη μέση ένταση βροχής και όχι τη στιγμιαία ένταση.

3. Η περίοδος επαναφοράς T αντιπροσωπεύει το χρονικό διάστημα σε έτη που χρειάζεται κατά μέσο όρο να παρέλθει ώστε η μέση ένταση βροχής I σε διάρκεια D να υπερβεί την τιμή i . Η συνάρτηση κατανομής της τυχαίας μεταβλητής I , ορίζεται ως:

$$F_I(i) = P(I \leq i) \quad (3.2)$$

όπου με $P(I \leq i)$ συμβολίζεται η πιθανότητα να μην πραγματοποιηθεί υπέρβαση της τιμής i κατά τη διάρκεια ενός (υδρολογικού ή ημερολογιακού) έτους. Η πιθανότητα υπέρβασης της τιμής i κατά τη διάρκεια ενός έτους είναι:

$$F_{11}(i) = 1 - F_I(i) = P(I > i) \quad (3.3)$$

Η περίοδος επαναφοράς είναι το αντίστροφο της πιθανότητας υπέρβασης, ήτοι:

$$T = \frac{1}{F_{11}(i)} = \frac{1}{P(I > i)} \quad (3.4)$$

Η χρησιμότητα των όμβριων καμπύλων είναι άμεση σε όλα τα προβλήματα υδρολογικού σχεδιασμού που αφορούν την αντιπλημμυρική προστασία και αποτελούν την βασική είσοδο σε μοντέλα μετασχηματισμού της βροχόπτωσης σε πλημμυρική απορροή.

3.3.2 ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Έπειτα από σχετική έρευνα για εύρεση υδρολογικών στοιχείων από σχετικούς φορείς (ΥΠΕΧΩΔΕ, ΔΕΗ, ΕΜΥ κ.τ.λ.) δεν ευρέθηκε βροχομετρικός σταθμός ο οποίος να είναι εγκατεστημένος μέσα στα όρια της υπό εξέτασης λεκάνης. Ο πλησιέστερος βροχομετρικός σταθμός για τον οποίο υπάρχουν δεδομένα είναι αυτός του Πύργου (Γεωγρ.Πλάτος (Lat) $37^{\circ} 40'$, Γεωγρ.Μήκος (Lon) $21^{\circ} 26'$, 17km από Αρχαία Ολυμπία) του οποίου τα δεδομένα μας δόθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Συγκεκριμένα τα δεδομένα περιελάμβαναν το μέγιστο ετήσιο ύψος νετού για τα χρόνια 1980 έως 1990 για διάρκεια 5,10,15,30 λεπτών και 1,2,6,12 και 24 ωρών.

Από τις διάφορες συναρτήσεις περιγραφής μεγίστων υδρολογικών μεταβλητών, χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση κατανομής πιθανοτήτων Gumbel I (Extreme Value Type I), η οποία είναι (Ven Te Chow, Applied Hydrology):

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)\right], \quad -\infty \leq x \leq \infty \quad (3.5)$$

όπου: $\alpha = \frac{\sqrt{6S}}{\pi}$ S: τυπική απόκλιση δείγματος

$$u = x - 0,5772 \alpha$$

x: μέση τιμή δείγματος

μετασχηματίζοντας με:

$$Y = \frac{x - u}{\alpha} \quad \text{από την (1) έχουμε:}$$

$$Y = -\ln\left[\ln\left(\frac{1}{F(x)}\right)\right] \quad (3.6)$$

$$\text{αλλά: } \frac{1}{T} = P(x \geq x_\tau) = 1 - P(x < x_\tau) = 1 - F(x_\tau) \Leftrightarrow F(x_\tau) = \frac{T-1}{T}$$

και αντικαθιστώντας στην (3.6)

$$Y_\tau = -\ln\left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right] \text{ και}$$

$$X_\tau = u + \alpha Y_\tau$$

Συνεπώς, για διάφορους περιόδους επαναφοράς T, μπορούν να υπολογισθούν οι χαρακτηριστικές τιμές ύψους και εντάσεως βροχής με την συνάρτηση Gumbel.

Οι όμβριες καμπύλες περιγράφηκαν με την χρησιμοποίηση ενιαίας σχέσης h, t, της ακόλουθης απλής εκθετικής μορφής:

$$h = \alpha t^n$$

όπου: h = το ύψος βροχής σε mm

t = η διάρκεια βροχής σε ώρες

α, n = παράμετροι της όμβριας καμπύλης

Για περιόδους επαναφοράς $T = 5, 10, 25, 50$ και 100 έτη υπολογίσθηκαν τα σημειοσύνολα (h, t) .

Κατόπιν από τις ευθείες $\log h = \log a + n \log t$ υπολογίζονται με τη μέθοδο των ελάχιστων τετραγώνων (linear regression) οι τιμές των συντελεστών α.π. Από τις όμβριες υπολογίζονται τα ύψη βροχής για διάφορες περιόδους επαναφοράς.

Έπειτα λοιπόν από κατάλληλη στατιστική ανάλυση (κατανομή Gumbel) προέκυψαν οι όμβριες καμπύλες τις εν λόγω λεκάνης απορροής οι οποίες περιγράφονται από την ακόλουθη σχέση:

$$i = \frac{22,71 \cdot T^{0,123}}{D^{0,709}} \quad (3.7)$$

Όπου i η ένταση βροχής σε mm/h, T η περίοδος επαναφοράς και D η διάρκεια της βροχής σε ώρες.

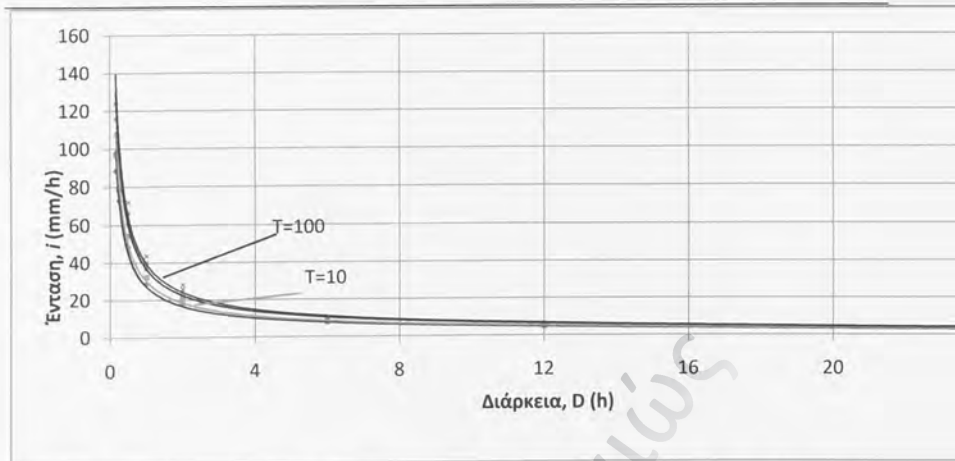
Λόγω του μικρού μεγέθους του ποταμού Κλαδέου δεν υπάρχουν καταγραφές σχετικά με την παροχή, στερεοπαροχή κ.τ.λ.

Πίνακας 2
Στοιχεία βροχομετρικού σταθμού Πύργου

Μέγιστο Ετήσιο Ύψος Βροχής 10, 15, 30 min και 1, 2, 6, 12, 24 ωρών	
ΕΘΝΙΚΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ Γ/ ΤΜΗΜΑ ΥΔΡΟΛΟΓΙΑΣ	
ΣΤΑΘΜΟΣ: ΠΥΡΓΟΣ	WMO No 16 707
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΠΛΑΤΟΣ Β 37° 40'	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟ ΜΗΚΟΣ Α 21° 26'
ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΤΟΥ ΒΑΡΟΜΕΤΡΟΥ 12 ΜΕΤΡΑ	

Μέγιστο
ύψος
βροχής
(mm)

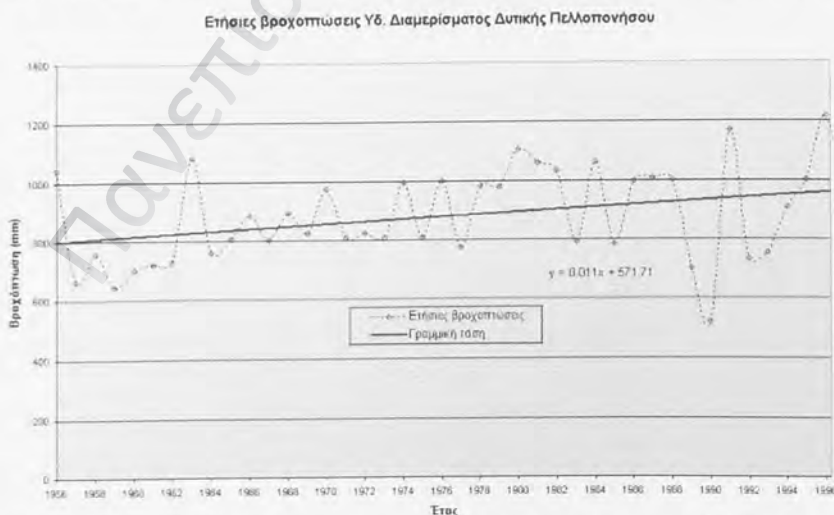
	10 min	15 min	30 min	1 h	2 h	6 h	12 h	24 h
ΕΤΟΣ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΓΙΣΤΟ
1980	12,1	16,6	18	20,5	31,2	39,8	39,8	40,1
1981	16,1	19,2	24	25,1	25,2	41,3	53,1	69,5
1982	11,8	13,8	15,6	18	21,2	29,2	40,9	48,3
1983	10,2	16,2	26,4	32,1	47,1	52,5	67,6	84,7
1984	13,1	15,1	18,9	23,6	25,4	35,8	47,9	47,9
1985	16,8	20,3	23,4	28,7	31,8	38,2	38,2	40,6
1986	13,5	17,5	26,5	31,4	35	39,8	46,5	48,4
1987	10,2	13,2	14,1	15,2	22,1	42,2	45,6	45,6
MAX	16,8	20,3	26,5	32,1	47,1	52,5	67,6	84,7
M.V.	13,0	16,5	20,9	24,3	29,9	39,9	47,5	53,1
St. Dev.	2,46	2,48	4,84	6,20	8,50	6,55	9,48	15,68
n =	8	8	8	8	8	8	8	8



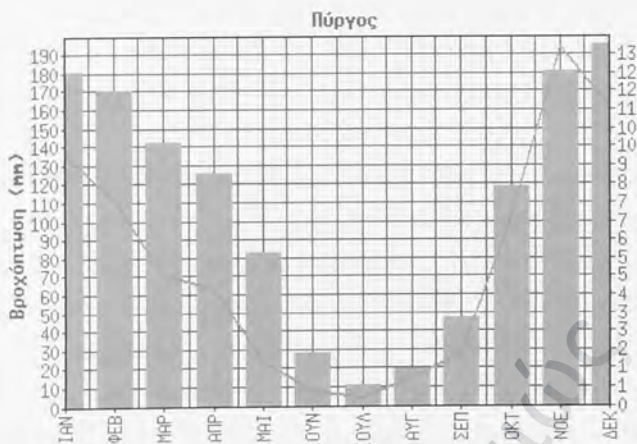
Σχήμα 3.5 Όμβριες καμπύλες του βροχομετρικού σταθμού του Πύργου (Ν.Ηλείας)

Από το παραπάνω διάγραμμα καταλήγουμε και στο λογικό συμπέρασμα ότι για την ίδια περίοδο επαναφοράς η ένταση της βροχής i , μειώνεται με την αύξηση της διάρκειας ενώ για την ίδια διάρκεια η ένταση αυξάνει με την αύξηση της περιόδου επαναφοράς.

Κάποια γενικά στοιχεία επίσης αντλήθηκαν από την Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας η οποία εκπονήθηκε από το Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο για λογαριασμό του ΥΠΕΧΩΔΕ όχι προς χρήση αλλά περισσότερο για μια γενικότερη κατανόηση των υδρολογικών φαινομένων της ευρύτερης περιοχής.



Σχήμα 3.6 Ετήσιες βροχοπτώσεις Υδατικού Διαμερίσματος Δυτικής Πελοποννήσου.



Σχήμα 3.7 Μέση μηνιαία βροχόπτωση και συνολικές μέρες βροχής βροχομετρικού σταθμού Πύργου.

3.4 Η ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΕΠΕΙΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ

Το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών εκπόνησε μελέτη «ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΤΟΜΕΑ - ΤΩΝ ΔΑΣΩΝ & ΤΗΣ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΙΣ ΠΥΡΟΠΛΗΚΤΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ» όπου και καταγράφονται οι πληγήςες περιοχές όπως διακρίνονται στο ακόλουθο σχήμα:

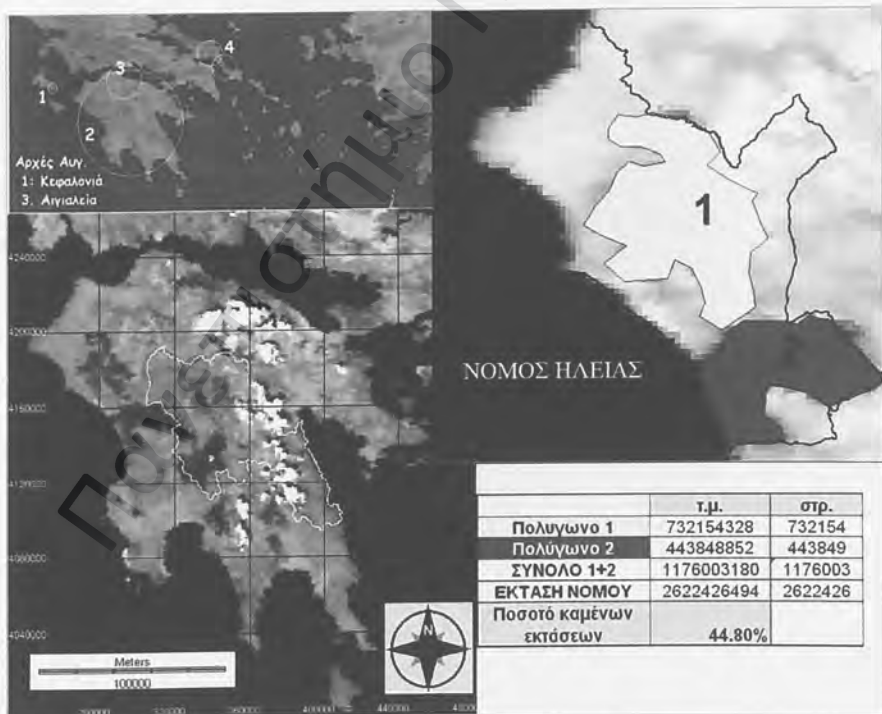


Σχήμα 3.8 Πυρόπληκτα δημοτικά διαμερίσματα.

Παρατηρείται ότι ο Νομός Ηλείας είναι από ένας από τους πλέον καθολικά πληγέντες Νομούς. Η συνολική έκταση των πυρόπληκτων Δημοτικών Διαμερισμάτων είναι 1.994 km² και καταλαμβάνουν το 76% της συνολικής έκτασης του νομού.(2.681 km²)

Επίσης ο Λέκτορας του τμήματος Γεωλογίας του Πανεπιστημίου Πατρών στο γνωστικό αντικείμενο : “ Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και Τηλεπισκόπησης στην Εφ.Γεωλογία” χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα και έπειτα από κατάλληλη επεξεργασία (δεν κρίνεται σκόπιμο στα πλαίσια της παρούσης εργασίας να γίνει εκτενέστερη αναφορά στο πολύ ενδιαφέρον και πολλά υποσχόμενο αντικείμενο της Τηλεπισκόπησης στην μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης των πυρκαγιών και τον προσδιορισμό των περιοχών που έχουν πληγεί.) προδιόρισε την έκταση της καταστροφής (Σχήμα 3.9)

Σύμφωνα με αυτή την μελέτη το ποσοστό των καμένων εκτάσεων ανέρχεται στα 1.176 km² ποσοστό του 44,8% της συνολικής έκτασης του Νομού Ηλείας.(2.622 km²)



Σχήμα 3.9 Αποτύπωση καμένων εκτάσεων από δορυφορική εικόνα.

Παρατηρείται ότι υπάρχει μια διαφορά στον προσδιορισμό της έκτασης των καμένων περιοχών με την δεύτερη προσέγγιση να δίνει μικρότερο ποσοστό.

Η περιοχή όμως της υπό εξέταση λεκάνης απορροής του ποταμού Κλαδέου και στις δύο προσεγγίσεις παρουσιάζεται ολοκληρωτικά πηγήσα.

Χαρακτηριστικά διακρίνονται οι καμένες εκτάσεις στην παρακάτω δορυφορική εικόνα :



Σχήμα 3.10 Καμένες εκτάσεις της Πελοποννήσου (με κόκκινο) από τον δορυφόρο Modis στις 30 Αυγούστου 2007.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
HEC-1

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-1

4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εκτίμηση της πλημμυρικής απορροής αποτελούσε πάντοτε ένα σημαντικό θέμα στις υδρολογικές επιστήμες και την εφαρμοσμένη μηχανική. Πιο συγκεκριμένα, στην εκτίμηση της πλημμυρικής απορροής έχει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή, εξαιτίας, της επιρροής που έχουν οι σωστές προγνώσεις στη διαχείριση έργων σχετικά με την πλημμυρική προστασία. Το μοντέλο HEC-1, το οποίο και εφαρμόζεται στην παρούσα εργασία, αποτελεί ένα από τα ευρέως χρησιμοποιούμενα ομοιώματα εκτίμησης της πλημμυρικής απορροής.

4.1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Το υδρολογικό μοντέλο HEC-1 είναι ένα πρόγραμμα κατασκευασμένο από το Σώμα Μηχανικών του Αμερικανικού Στρατού (U.S. Army Corps of Engineers, 1990), με σκοπό την πραγματοποίηση υδρολογικών αναλύσεων. Αρχικά, αναπτύχθηκε το 1967 από τον Leo R. Beard και άλλα μέλη του Κέντρου Υδρολογικής Μηχανικής (Hydrologic Engineering Center, HEC). Η πρώτη έκδοση του προγράμματος δημοσιεύτηκε τον Οκτώβριο του 1968. Ακολούθησαν επεκτάσεις και αναθεωρήσεις και το πρόγραμμα επαναδημοσιεύθηκε το 1970 με τη μορφή συνδυασμού υποπρογραμμάτων, τα οποία είχε διαπιστωθεί ότι μπορούν να λειτουργήσουν και ανεξάρτητα. Τα υποπρογράμματα αυτά εξακολουθούν να είναι διαθέσιμα στο Κέντρο Υδρολογικής Μηχανικής (HEC), ως ανεξάρτητα προγράμματα.

Το 1973, η έκδοση του 1970 δέχθηκε μια πολύ σημαντική αναθεώρηση. Παρόλο που οι υπολογιστικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνταν από το πρόγραμμα έως τότε παρέμεναν ακριβώς οι ίδιες, τα σχήματα εισόδου και εξόδου (inputs, outputs) δέχθηκαν σχεδόν ολοκληρωτική αναδόμηση. Οι αλλαγές αυτές έγιναν με απώτερο σκοπό, την απλοποίηση των σχημάτων εισόδου και την ευκολότερη και αμεσότερη λήψη και κατανόηση των αποτελεσμάτων.

Το 1981 πραγματοποιήθηκαν και πάλι σημαντικές αναθεωρήσεις στην έκδοση του 1973. Τα σχήματα εισόδου και εξόδου επανεξετάστηκαν πλήρως και οι υπολογιστικές ικανότητες των ειδικών υποπρογραμμάτων (dam-break-HEC1 DB, project optimization-HEC1 GS, kinematic wave-HEC1 KW), συνδυάστηκαν σε ένα πρόγραμμα. Το νέο αυτό πρόγραμμα, περιελάμβανε την ισχυρή δυνατότητα ανάλυσης των διαθέσιμων χαρακτηριστικών όλων των υποπρογραμμάτων, σε συνδυασμό με πολύ ισχυρές ικανότητες, σε ένα ενιαίο εύχρηστο πακέτο (HEC-1, Version 4.0, September 1990).

Το 1984, αναπτύχθηκε μια έκδοση του προγράμματος για μικροϋπολογιστές (PC version). Η έκδοση αυτή, περιελάμβανε όλες τις υδραυλικές και υδρολογικές δυνατότητες του προγράμματος που είχαν αναπτυχθεί για μεγάλους υπολογιστές, όμως οι δυνατότητες σχετικά με τις βλάβες ροής (flood damage) και τις υπερχειλίσεις δεν ήταν δυνατόν να συμπεριληφθούν, λόγω, της μικρής χωρητικότητας μνήμης και του ανεπαρκούς μεταφραστικού προγράμματος (compiler) των μέχρι τότε μικροϋπολογιστών.

Η τελευταία έκδοση, του 1990, παρουσιάζει μεγάλες βελτιώσεις και επεκτάσεις, όσον αφορά, στις δυνατότητες υδρολογικής προσομοίωσης οι οποίες συμπληρώνονται από επιφάνειες εργασίας (interfaces) του HEC DSS (Data Storage System). Το ολοκληρωμένο πακέτο του HEC-1, συμπεριλαμβανομένου και του DSS interface, είναι διαθέσιμο μόνο για μικροϋπολογιστές PC και HARRIS. Η ικανότητα του DSS επιτρέπει την αποθήκευση και την ανάκτηση δεδομένων από και προς άλλα υπολογιστικά προγράμματα και είναι μεγαλύτερη όσο καλύτερη είναι η δημιουργία και η ποιότητα των γραφικών και των πινάκων.

4.1.2 Η ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-1

Το υδρολογικό μοντέλο HEC-1, σχεδιάστηκε για να προσομοιώνει την ανταπόκριση σε κατακρήμνιση μιας λεκάνης απορροής, όσον αφορά, την επιφανειακή απορροή, παρουσιάζοντας την υδρολογική λεκάνη ως ένα σύστημα αποτελούμενο από ένα σύνολο υδραυλικών και υδρολογικών συστατικών. Κάθε συστατικό μέρος προσομοιώνει μια όψη της διαδικασίας κατακρήμνισης και απορροής μέσα σε ένα τμήμα της λεκάνης το οποίο κοινώς αναφέρεται σαν υπολεκάνη. Ένα συστατικό

μέρος που μπορεί να απεικονίσει την επιφανειακή απορροή για παράδειγμα είναι ένα υδατόρευμα ή ένας ταμιευτήρας (HEC-1, 1990).

Η αναπαράσταση ενός συστατικού μέρους απαιτεί ένα σύνολο παραμέτρων οι οποίες καθορίζουν τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του και τις μαθηματικές σχέσεις οι οποίες περιγράφουν την φυσική διαδικασία. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας του μοντέλου, είναι ο υπολογισμός υδρογραφήματος σε επιθυμητές τοποθεσίες εντός της λεκάνης απορροής (HEC-1, 1990).

Το υδρολογικό μοντέλο HEC-1 μπορεί να εφαρμοσθεί είτε ως συγκεντρωτικό (lumped) αντιμετωπίζοντας τη λεκάνη συνολικά, είτε ως ημικαταναμημένο (semi-distributed) με χωρισμό της κύριας λεκάνης σε υπολεκάνες.

4.2 ΜΕΤΑΒΑΗΤΕΣ ΕΙΣΟΔΟΥ

4.2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εκτέλεση της προσομοίωσης της απορροής της βροχόπτωσης από το μοντέλο HEC-1 απαιτεί τον καθορισμό τριών ενότητων δεδομένων εισαγωγής (HEC-1, Version 4.0, September 1990):

1. Η πρώτη ενότητα αφορά τη λεκάνη απορροής και περιγράφει τα διάφορα στοιχεία ενός υδρολογικού συστήματος [υπολεκάνες (subbasins), κανάλια (channels), κόμβους (junctions), πηγές (sources), βυθίσματα (sinks), ταμιευτήρες (reservoirs) και εκτροπές (diversions)], τις υδρολογικές τους παραμέτρους και την τοπολογία. Η ενότητα αυτή αποτελεί το **Μοντέλο Λεκάνης (Basin Model)**.
2. Η δεύτερη ενότητα, η οποία αφορά την κατακρήμνιση, περιγράφει χωροχρονικά το προς προσομοίωση επεισόδιο βροχής, και αποτελείται από χρονοσειρές βροχής συγκεκριμένων σημείων ή επιφανειών καθώς και από τη σχέση αυτών με τα υδρολογικά στοιχεία. Η ενότητα αυτή αποτελεί το **Μοντέλο Κατακρήμνισης (Precipitation Model)**, και

3. Η τρίτη ενότητα περιλαμβάνει την ημερομηνία αρχής και τέλους της προσομοίωσης καθώς και το χρονικό βήμα για τους υπολογισμούς. Η ενότητα αυτή χαρακτηρίζεται ως **Παράμετροι Ελέγχου (Control Specifications)**.

Οι πρώτες δύο ενότητες εξαρτώνται σθεναρά από χωρικούς παράγοντες, γι' αυτό και τα συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών αποτελούν ένα ισχυρό εργαλείο για τη δημιουργία τέτοιου είδους δεδομένων εισαγωγής.

Για την ολοκλήρωση της προσομοίωσης απαιτείται η εισαγωγή ενός ή περισσότερων δεδομένων κάθε ενότητας. Η λειτουργία (τρέξιμο) του προγράμματος πραγματοποιείται σε κάθε ένα από τα μοντέλα (λεκάνης, κατακρήμνισης, παραμέτρων ελέγχου).

4.2.2 ΜΟΝΤΕΛΟ ΛΕΚΑΝΗΣ (BASIN MODEL)

Η απορροή σε μια υπολεκάνη μπορεί να υπολογισθεί, όπως ήδη έχει αναφερθεί, είτε με ένα ενιαίο (αδρομερές), είτε με ένα γραμμικά κατανεμημένο μοντέλο. Τα ενιαία ή αδρομερή μοντέλα βασίζονται στην υπόθεση της ομοιόμορφης κατανομής στην επιφάνεια της λεκάνης απορροής των μεγεθών εισόδου (βροχή κλπ.) και εξόδου (απορροή). Αντίθετα, τα κατανεμημένα, βασίζονται στην υπόθεση της χωρικής κατανομής των μεγεθών εισόδου και εξόδου στη λεκάνη απορροής, η οποία διαχωρίζεται σε τμήματα με ομοιόμορφα τοπογραφικά ή άλλα χαρακτηριστικά.

Στη φάση αυτή και αφού έχει επιλεγεί η επιθυμητή μέθοδος, υπολογίζονται από το μοντέλο, με παράλληλη βελτιστοποίηση των αντίστοιχων παραμέτρων, τα ακόλουθα:

1. Απώλειες (Losses)
2. Μετασχηματισμός απορροής (Runoff Transformation)
3. Διόδευση (Routing)
4. Εκτροπή (Diversion)

4.2.2.1 Απώλειες (Losses)

Μετά το σχηματισμό και την πτώση της βροχής και πριν τη δημιουργία της απορροής, αρχίζουν διάφορες διαδικασίες που συντελούν σε αυτό που ονομάζεται *απώλειες της βροχής*. Πιο συγκεκριμένα, από την ποσότητα της βροχής (και πριν αυτή φτάσει στο έδαφος) ένα μέρος συγκρατείται από τη βλάστηση και άλλα ψηλά εμπόδια και ονομάζεται *συγκράτηση* (interception). Συνήθως, το τμήμα αυτής της ποσότητας που παραμένει αποθηκευμένο πάνω στη φυτοκόμη και εξατμίζεται, λέγεται *απώλεια συγκράτησης* (interception loss).

Χρονικά, έπεται η πτώση της βροχής στο έδαφος, που ακολουθείται από το φαινόμενο της *διήθησης* (infiltration), η οποία αποτελεί, επίσης, απώλεια. Με τον όρο *διήθηση*, εννοείται η κίνηση του νερού σε περιοχές κάτω από την επιφάνεια του εδάφους.

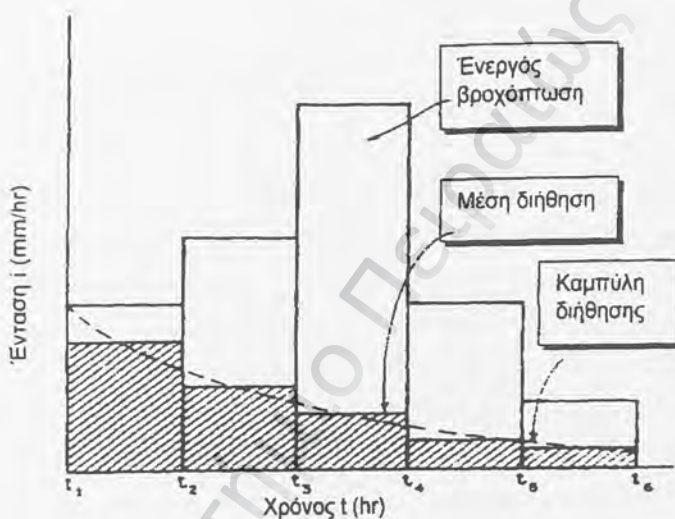
Μετά την αφαίρεση από το συνολικό ύψος βροχής των αρχικών απωλειών συγκράτησης και των απωλειών διήθησης και εφόσον η βροχή συνεχίζεται, παρατηρείται συγκέντρωση του νερού σε επιφανειακές κοιλότητες του τοπογραφικού ανάγλυφου, που αποτελεί την *επιφανειακή αποθήκευση* (depression). Το νερό που συγκεντρώνεται σ' αυτές τις κοιλότητες ή στην επιφάνεια εξατμίζεται ή διηθείται αργότερα και επομένως αποτελεί, επίσης, απώλεια (Τσακίρης, 1995).

Όσον αφορά, στον υπολογισμό των απωλειών της κατακρήμνισης στο Υδρολογικό Μοντέλο HEC-1, πρέπει να τονισθούν δύο πολύ σημαντικοί παράγοντες: α) η ποσότητα των κατακρημνισμάτων, η οποία δεν συνεισφέρει στη διαδικασία απορροής, θεωρείται ότι χάνεται από το σύστημα και β) οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των απωλειών, δεν λαμβάνουν υπόψη τους τη μεταβολή της παραμένουσας εδαφικής υγρασίας. Το γεγονός αυτό, υποδηλώνει ότι το μοντέλο HEC-1 λειτουργεί μόνο σε επίπεδο επεισοδίου βροχής.

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου παρατηρούνται αμελητέες απώλειες κατακρήμνισης για ένα μέρος μιας υπολεκάνης. Αυτό, παρατηρείται σε περιοχές όπου υπάρχει λίμνη, ταμιευτήρας ή άλλη αδιαπέρατη περιοχή (impervious area). Στην περίπτωση αυτή, οι απώλειες κατακρήμνισης δε θα υπολογισθούν για το ποσοστό της αδιαπέρατης περιοχής.

Οι μέθοδοι υπολογισμού των απωλειών κατακρήμνισης είναι αρκετές. Χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε από αυτές, καθορίζεται μια μέση απώλεια

κατακρήμνισης για ένα διάστημα υπολογισμού και αφαιρείται από το υετογράφημα, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1. Η ενεργός βροχοπτώση που προκύπτει, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του πλημμυρογραφήματος εξόδου για μια υπολεκάνη. Ένας εκατοστιαίος συντελεστής αδιαπερατότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιαδήποτε μέθοδο ρυθμού απωλειών για να εγγυηθεί 100 % απορροή από εκείνο το μέρος της λεκάνης.



Σχήμα 4.1 Ρυθμός Απωλειών, Υετογράφημα Ενεργού Βροχοπτώσης.
(Γ.Τσακίρης – Τεχνική Υδρολογία)

Οι μέθοδοι που διαθέτει το μοντέλο για τον υπολογισμό των απωλειών, με σκοπό την προσομοίωση ενός επεισοδίου βροχής, είναι οι παρακάτω:

- Initial and Uniform
- SCS Curve Number
- HEC exponsial
- Green and Ampt
- Holtan

Παρακάτω περιγράφονται λεπτομερώς οι διαδικασίες υπολογισμών των σημαντικότερων από τις παραπάνω μεθόδους:

▪ **Μέθοδος Initial and Uniform**

Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής, οι παράμετροι που καθορίζονται είναι οι αρχικές απώλειες (Initial losses) σε μονάδες ύψους (mm), ο σταθερός ρυθμός απωλειών (Constant Loss Rate) σε μονάδες ύψους / ώρας (mm/hr) και το ποσοστό επί τοις εκατό της αδιαπερατότητας (Imperviousness). Όλη η βροχόπτωση χάνεται μέχρι να ικανοποιηθεί ο όγκος των αρχικών απωλειών. Μετά την ικανοποίηση του όγκου αυτού, η βροχόπτωση χάνεται με ένα σταθερό ρυθμό.

▪ **Μέθοδος SCS Curve Number**

Όπως είναι φανερό, στις περιπτώσεις όπου δεν υπάρχουν μετρήσεις για τις διάφορες απώλειες, η εκτίμηση του περισσεύματος της βροχής αποτελεί ουσιαστικά ένα μεγάλο πρόβλημα (Τσακίρης, 1995). Η υπηρεσία Soil Conservation Service των ΗΠΑ, παρουσίασε μια μέθοδο υπολογισμού του ύψους περισσεύματος της βροχής, από μια δεδομένη βροχή με τη βοήθεια τριών μεταβλητών. Αυτές είναι το ύψος βροχής, η αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους και το υδρολογικό σύμπλοκο εδάφους – καλύμματος (SCS, 1972). Η μέθοδος της SCS, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του περισσεύματος της βροχής ή την εκτίμηση της συνολικής άμεσης απορροής, που προήλθε από βροχή συγκεκριμένης διάρκειας (π.χ. βροχή 24ώρου). Σύμφωνα με τη μέθοδο SCS, έγινε η εκτίμηση ότι οι αρχικές απώλειες (συγκράτησης και εξάτμισης) είναι 20 % των συνολικών απωλειών, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ βροχής (h_r) και περισσεύματος βροχής (h_R).

Σύμφωνα με τη μέθοδο:

$$h_R = \frac{(h_r - 0.2S)^2}{h_r + 0.8S} \quad \text{για } h_r > 0.2S \quad (4.1)$$

$$\text{και αν } h_r < 0.2S, \quad h_R = 0$$

όπου:

$$S = \text{Συνολικές απώλειες} = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{mm}) \quad (4.2)$$

CN = Αριθμός καμπύλης (Curve Number)

Εκφράζοντας τις συνολικές απώλειες με μια παράμετρο, γνωστή ως αριθμός καμπύλης (Curve Number), όπως φαίνεται στην εξίσωση (4.2), μπορεί να προκύψει η σχέση (4.1) μεταξύ h_f και h_R . (Τσακίρης, 1995).

Ο αριθμός καμπύλης CN, είναι αδιάστατος και οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 0 και 100. Αναλυτικότερα, για αδιαπέρατες και υδάτινες επιφάνειες, η τιμή του CN είναι 100, ενώ για φυσικές επιφάνειες η τιμή του CN είναι μικρότερη από 100. Η εν λόγω παράμετρος, επηρεάζεται από τις συνθήκες εδάφους, τη χρήση γης στη λεκάνη απορροής καθώς και τις προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας. Οι συνθήκες της εδαφικής υγρασίας, εξαρτώνται από τη χρονική απόσταση της υπό μελέτη καταγίγδας από προηγούμενες καταγίγδες.

Η SCS εξετάζει τα διάφορα εδάφη σύμφωνα με την αρχική κατάσταση υγρασίας τους και τα κατατάσσει σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες, ενώ ως προς την υδρολογική τους συμπεριφορά τα κατατάσσει σε τέσσερις διαφορετικούς τύπους (Τσακίρης, 1995).

Έτσι:

- Με βάση το συνολικό ύψος βροχής των προηγούμενων 5 ημερών διακρίνονται οι ακόλουθες κατηγορίες που χαρακτηρίζουν την αρχική κατάσταση υγρασίας του εδάφους (SCS, 1992).

Πίνακας 3

Κατηγορίες με βάση την υγρασία του εδάφους (SCS, 1972)

Κατηγορία	Συνολικό ύψος βροχής των 5 προηγούμενων ημερών (mm)	
	Χειμερινή περίοδος	Περίοδος βλάστησης
I	< 13	< 35
II	13 - 28	35 - 53
III	> 28	> 53

- Κατηγορίες εδαφών από υδρολογική άποψη:

Κατηγορία A:

Εδάφη με υψηλή βασική διηθητικότητα και υψηλή διαπερατότητα. Συνήθως αμμώδη ή χαλικιώδη εδάφη.

Κατηγορία B:

Εδάφη με μέτρια βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα που αποτελούνται από μέσης μέχρι ελαφριάς σύστασης εδάφη.

Κατηγορία C:

Εδάφη με μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν εδάφη μέσης μέχρι βαριάς σύστασης.

Κατηγορία D:

Εδάφη με πολύ μικρή βασική διηθητικότητα και διαπερατότητα. Περιλαμβάνουν κυρίως αργιλώδη εδάφη, εδάφη με υψηλή στάθμη υπόγειου νερού ή με αδιαπέρατο στρώμα.

Στην συνέχεια, παρουσιάζεται πίνακας με τους αριθμούς CN για ένα εύρος συνθηκών, με τις υποθέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω. Επειδή, οι κατηγορίες χρήσης γης και φυτοκάλυψης που περιέχονται στον Πίνακα 4 δεν είναι τόσο αντιπροσωπευτικές για τις Ελληνικές συνθήκες και επειδή από την εμπειρία της χρήσης της μεθόδου, προέκυψαν πολλές αδυναμίες στη διαδικασία, προτείνεται αντί του Πίνακα 4 που αρχικά προτάθηκε από την SCS, να χρησιμοποιείται ο Πίνακας 5 (Wanielista, 1978) που στηρίζεται στις ίδιες υποθέσεις (δηλαδή κατάσταση υγρασίας II και αρχικές απώλειες 0,2 S).

Το περίσσειμα της βροχής, h_R (mm), προκύπτει (εξίσωση 4.1) με είσοδο το ύψος βροχής h_r (mm) και με γνωστό τον αριθμό καμπύλης CN από το διάγραμμα του σχήματος 4.2 (Τσακίρης, 1995).

Πίνακας 4

Αριθμός καμπύλης απορροής CN (SCS, 1972),

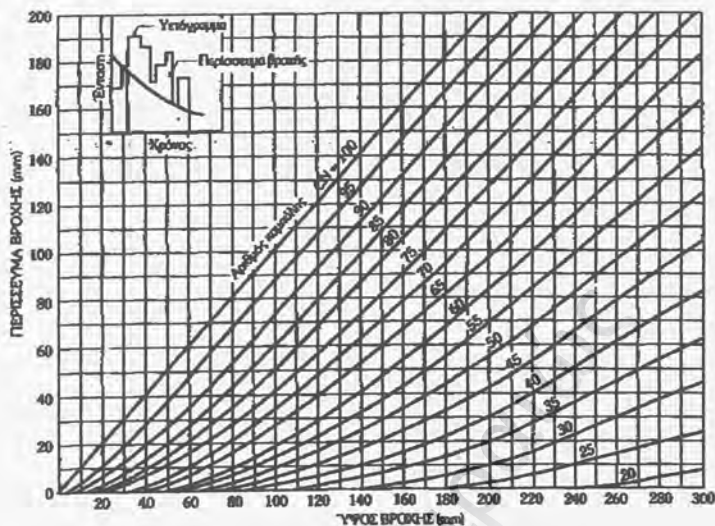
(Κατηγορία αρχικής κατάστασης υγρασίας II, και αρχικές απώλειες 0.20 S).

Χρήση γης	Κατάσταση Φυτοκάλυψης	Υδρολογικές Συνθήκες	Υδρολογική κατηγορία εδάφους			
			A	B	C	D
Χέραςος	Γραμμική	-	77	86	91	94
	Γραμμική	Δυσμενής	72	81	88	91
	Γραμμική	Καλή	67	78	85	89
	Κατά ισούψεις	Δυσμενής	70	79	84	88
	Κατά ισούψεις	Καλή	65	75	82	86
	Κατά ισούψεις και αναβαθμίδωση	Δυσμενής	66	74	80	82
	Κατά ισούψεις και αναβαθμίδωση	Καλή	62	71	78	81
Σιτηρά	Γραμμική	Δυσμενής	65	76	84	88
	Γραμμική	Καλή	63	75	83	87
	Κατά ισούψεις	Δυσμενής	63	74	82	75
	Κατά ισούψεις	Καλή	61	73	81	84
	Κατά ισούψεις και αναβαθμίδωση	Δυσμενής	61	72	79	82
	Κατά ισούψεις και αναβαθμίδωση	Καλή	59	70	78	81
Πυκνή φύτευση χορτολειαδικές εκτάσεις	Γραμμική	Δυσμενής	66	77	85	89
	Γραμμική	Καλή	58	72	81	85
	Κατά ισούψεις	Δυσμενής	64	75	83	85
	Κατά ισούψεις	Καλή	55	69	78	83
	Κατά ισούψεις και αναβαθμίδωση	Δυσμενής	63	73	80	83
Λειβάδια	Κατά ισούψεις και αναβαθμίδωση	Καλή	51	67	76	80
		Δυσμενής	68	79	86	89
		Μέτρια	49	69	79	84
		Καλή	39	61	74	80
	Κατά ισούψεις	Δυσμενής	47	67	81	88
	Κατά ισούψεις	Μέτρια	25	59	75	83
Δάση	Κατά ισούψεις	Καλή	6	35	70	79
		Καλή	30	58	71	78
		Δυσμενής	45	66	77	83
		Μέτρια	36	60	73	79
Φάρμες Δρόμοι		Καλή	25	55	70	77
		-	59	74	82	86
		-	72	82	87	89
	-	74	84	90	92	

Πίνακας 5

Αριθμός καμπύλης απορροής CN (Wanielista, 1978)

Χρήση Γης	Υδρολογικός τύπος εδάφους			
	A	B	C	D
Καλλιεργημένες εκτάσεις				
• Χωρίς έργα συντήρησης	72	81	88	91
• Με έργα συντήρησης	62	71	78	81
Ορεινοί βοσκότοποι				
• Κακή κατάσταση	68	79	86	89
• Καλή κατάσταση	39	61	74	80
Λιβαδικές εκτάσεις				
• Καλή κατάσταση	30	58	71	78
Δασικές εκτάσεις				
• Αραιή συστάδα	45	66	77	83
• Πυκνή συστάδα	25	55	70	77
Ελευθères εκτάσεις, γήπεδα γκολφ, πάρκα				
• Καλή κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 75% της έκτασης	39	61	74	80
• Μέτρια κατάσταση, κάλυψη με γρασίδι στο 50% της περιοχής	49	69	79	84
Εμπορικές περιοχές (85% αδιαπερατές)	89	92	94	95
Βιομηχανικές περιοχές (72% αδιαπερατές)	81	88	91	93
Οικιστικές περιοχές				
Μέσο μέγεθος οικόπεδου		Ποσοστό αδιαπερατής επιφάνειας		
< 500	65		77	85
1000	40		61	75
1500	30		83	87
2000	25		57	72
4000	20		81	86
			54	70
			80	85
			51	68
			79	84
Χώροι πάρκινγκ, στέγες, κ.λ.π.	98	98	98	98
Δρόμοι				
• με οδόστρωμα και αγωγούς ομβρίων	98	98	98	98
• χαλικόστρωτοι	76	85	89	91
• κωματόδρομοι	72	82	87	89
Αστικές συνθήκες				
• Γυμνό έδαφος	77	86	91	94
• Κήποι ή θάμνοι	72	81	88	91
• Μεγάλη κάλυψη με πράσινο (> 75% της διαπερατής περιοχής)	39	61	74	80
• Μέτρια κάλυψη πρασίνου (50 - 75% της διαπερατής περιοχής)	49	69	79	84
• Μικρή κάλυψη πρασίνου (< 50% της διαπερατής περιοχής)	68	79	86	89
• Άλσπ	36	60	73	79



Σχήμα 4.2 Υπολογισμός του περισσεύματος βροχής με τη μέθοδο SCS.
(Γ.Τσακίρης – Τεχνική Υδρολογία)

Οι αριθμοί καμπύλης περιγράφουν μέσες συνθήκες που είναι χρήσιμες για τον σχεδιασμό. Αν το επεισόδιο βροχόπτωσης που χρησιμοποιείται είναι μια ιστορική καταιγίδα που διαφοροποιείται από τις μέσες συνθήκες, η ακρίβεια της μεθόδου μειώνεται. Η εξίσωση του αριθμού καμπύλης, πρέπει να εφαρμόζεται με προσοχή όταν αναδημιουργούνται συγκεκριμένα χαρακτηριστικά μιας αληθινής καταιγίδας.

Η μέθοδος SCS, εφαρμόζεται μόνο στην άμεση επιφανειακή απορροή, δεν εξετάζει μεγάλες πηγές υπόγειας ροής ή ανώτερα υπόγεια επίπεδα νερού που συνεισφέρουν στην απορροή.

- **HEC expensial**

Είναι μία εμπειρική μέθοδος υπολογισμού των απωλειών, η οποία συσχετίζει το ποσοστό απωλειών και την ένταση της βροχόπτωσης. Παρακάτω δίνονται οι εξισώσεις υπολογισμού της μεθόδου:

$$\text{Loss} = (\text{AK} + \text{DLTK}) \text{PRCP}^{\text{ERAIN}}$$

$$\text{DLTK} = 0.2 \text{DLTKR} (1 - (\text{CUML}/\text{DLTKR}))^2 \quad \text{for } \text{CUML} \leq \text{DLTKR}$$

$$AK = STRKR / (RTIOL^{0.1 CUML})$$

Loss: ποσοστό απώλειας ανά ώρα, ανά χρονικό διάστημα

AK: συντελεστής ποσοστού απώλειας στην αρχή του χρονικού διαστήματος

DLTK: στο συντελεστή ποσοστού απώλειας κατά τη διάρκεια

▪ Μέθοδος Green – Ampt

Οι Green και Ampt πρότειναν μια απλοποιημένη μορφή της διήθησης. Η συνάρτηση της διήθησης των Green και Ampt για τον υπολογισμό των απωλειών βροχόπτωσης είναι συνδυασμένη με μια αρχική απώλεια. Η αρχική απώλεια ικανοποιείται προ της διηθήσεως της βροχής, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$r(t) = 0 \quad \text{για} \quad P(t) \leq IA \quad T > 0 \quad (4.3)$$

$$r(t) = r_0(t) \quad \text{για} \quad P(t) > IA \quad T > 0 \quad (4.4)$$

όπου: P(t): η αθροιστική βροχόπτωση σε όλη τη λεκάνη απορροής

r(t): η ένταση της βροχόπτωσης προσαρμοσμένη για επιφανειακές απώλειες

t: ο χρόνος από την αρχή της βροχόπτωσης $t_0(t)$ και

IA: η αρχική απώλεια (initial abstraction)

Η διήθηση, όπως αυτή εκφράζεται από τους Green και Ampt, εκφράζεται με την παρακάτω εξίσωση:

$$F(t) = \frac{\psi * \Delta\theta}{f(t)/(K-1)} \quad f(t) > K \quad (4.5)$$

$$f(t) = r(t) \quad f(t) \leq K \quad (4.6)$$

όπου:

$F(t)$: η αθροιστική διήθηση (ύψος διήθησης)

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} : \text{η ένταση διήθησης} \quad (4.7)$$

$\Delta\theta$: το έλλειμμα υγρασίας το οποίο εξαρτάται από το πορώδες του εδάφους n , την υδραυλική αγωγιμότητα K στο φυσικό κορεσμό και το ύψος μύζησης ψ στο μέτωπο διαβροχής

Οι παράμετροι που απαιτείται το μοντέλο ως είσοδο για την εφαρμογή της μεθόδου είναι οι αρχικές απώλειες (mm), το έλλειμμα υγρασίας $\Delta\theta$, το ύψος μύζησης ψ στο μέτωπο διαβροχής (mm), η υδραυλική αγωγιμότητα K (mm / hr) και το ποσοστό αδιαπερατότητας.

Η εφαρμογή της εξίσωσης είναι περίπλοκη, εξαιτίας του γεγονότος ότι εφαρμόζεται μόνο σε ένα σταθερό ρυθμό βροχόπτωσης. Η δυσκολία όμως αυτή, αντιμετωπίζεται υπολογίζοντας τον χρόνο στον οποίο η επιφάνεια του εδάφους έχει φτάσει σε κατάσταση κορεσμού (saturation).

Ο χρόνος κορεσμού, υπολογίζεται εφαρμόζοντας την εξίσωση (4.6) με μια επαναληπτική διαδικασία, όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\Delta F = F_j - F_{j-1} = \frac{\psi * \Delta\theta}{\frac{r_j}{K} - 1} - \sum_{i=1}^{j-1} r_i \Delta t \quad (4.8)$$

$$r_j \geq K_{sat}$$

Από την επίλυση της παραπάνω εξίσωσης, αναγνωρίζεται ότι στον κορεσμό οι ρυθμοί διήθησης και βροχόπτωσης είναι ίσοι ($i(t) = r(t)$), όπου r_j είναι η μέση ένταση βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της περιόδου j , F_j και F_{j-1} είναι οι εντάσεις διήθησης στο τέλος των περιόδων j και $j-1$ και ΔF είναι το ύψος διήθησης κατά την περίοδο j . Ο κορεσμός πραγματοποιείται όταν ικανοποιείται η σχέση:

$$\Delta F < r_j \Delta t \quad (4.9)$$

σε αντίθετη περίπτωση όλη η βροχόπτωση μιας περιόδου θα διηθηθεί. Από τη στιγμή που υπάρχει κορεσμός, οι εντάσεις της διήθησης και της βροχόπτωσης είναι ανεξάρτητες και η εξίσωση (4.5) μπορεί εύκολα να υπολογίσει τη διήθηση κατά το υπολογιστικό χρονικό διάστημα Δt . Η κατάσταση του κορεσμού της επιφάνειας, μπορεί να μην διατηρηθεί κατά τη διάρκεια όλης της καταιγίδας. Αυτό, συμβαίνει όταν η ένταση της βροχόπτωσης γίνει μικρότερη της μετά – κορεσμού έντασης διήθησης. Στην περίπτωση αυτή, ένας νέος χρόνος κορεσμού υπολογίζεται και εφαρμόζεται η προαναφερθείσα διαδικασία για τον υπολογισμό της διήθησης.

4.2.2.2 Μετασχηματισμός Βροχής – Απορροής (Runoff Transformation)

Ο μετασχηματισμός της ενεργού βροχής σε άμεση απορροή μπορεί να πραγματοποιηθεί με μεθόδους μοναδιαίου υδρογραφήματος (unit hydrograph) ή κινηματικού κύματος (kinematic wave). Ένα μοναδιαίο υδρογράφημα μπορεί να καθορισθεί σε πινακοειδή μορφή ή σε σχέση με παραμέτρους που προσδιορίζονται από τις μεθόδους Clark, Snyder ή SCS. Η μέθοδος κινηματικού κύματος επιτρέπει τον καθορισμό δύο ορθογωνίων επίγειων επιπέδων ροής. Η απορροή από ένα επίγειο επίπεδο ροής μπορεί να διοδευθεί μέσω ενός ή δύο καναλιών συλλογής (collector channels) και ένα κύριο κανάλι, με μεθόδους κινηματικού κύματος ή Muskingum Cunge.

Μια ημι – καταναμημένη (semi – distributed) μεταχείριση της απορροής της υπολεκάνης μπορεί να πραγματοποιηθεί με την τροποποιημένη μέθοδο Modified Clark (Peters and Easton, 1996), η οποία βασίζεται στο θεμελιώδες μοντέλο απορροής Clark (Clark, 1945). Στη μέθοδο Modified Clark, τα φατνία καννάβου εναποτίθενται πάνω στη λεκάνη και η βροχόπτωση και οι απώλειες παγιδεύονται μοναδικά για κάθε κελί. Το πλεόνασμα βροχής, καθυστερεί να φτάσει στην έξοδο της λεκάνης και διοδεύεται μέσω ενός γραμμικού ταμιευτήρα. Για την απόκτηση ενός υδρογραφήματος ολικής απορροής, αθροίζονται οι παροχές εξόδου από τον γραμμικό ταμιευτήρα και στην συνέχεια προστίθεται σ' αυτές η βασική απορροή.

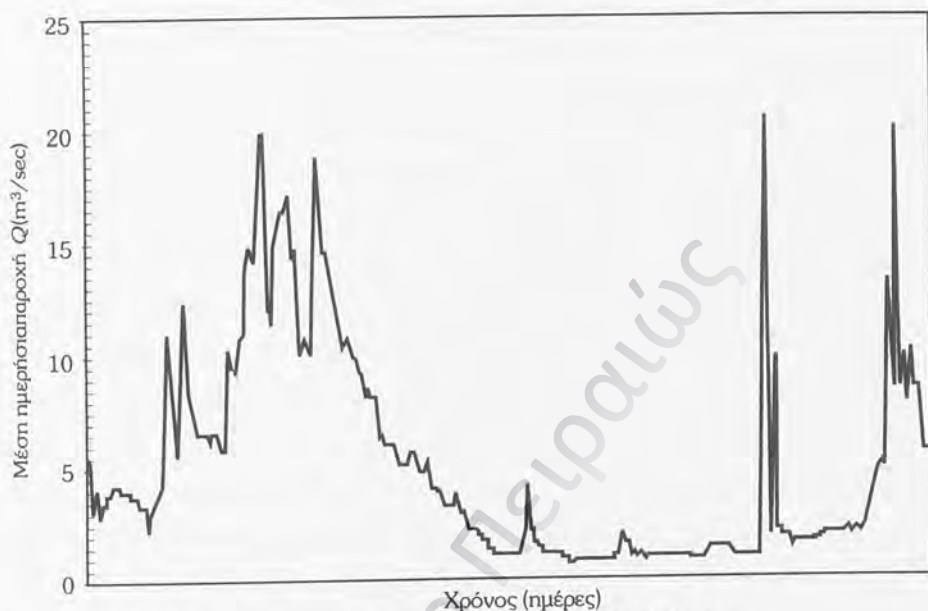
Το μοντέλο HEC-1 διαθέτει τρεις τύπους συνθετικών μοναδιαίων υδρογραφημάτων για τη μετατροπή της ενεργού βροχόπτωσης σε απορροές στη λεκάνη (HEC-1, 1990): (1) εκείνο που σχετίζει τα χαρακτηριστικά του υδρογραφήματος (παροχή αιχμής, χρόνος βασικής απορροής κλπ.) με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής (Snyder, 1938, Gray, 1961), (2) εκείνο που βασίζεται σε ένα αδιάστατο μοναδιαίο υδρογράφημα (Soil Conservation Service, 1972) και (3) εκείνο που βασίζεται σε μοντέλα αποθήκευσης της λεκάνης απορροής (Clark, 1943).

Πριν προχωρήσουμε σε αναλυτική περιγραφή των τύπων υδρογραφημάτων τους οποίους διαθέτει το μοντέλο HEC-1, θα ήταν καλό να αναφέρουμε κάποιες βασικές έννοιες τις οποίες θα συναντήσουμε στην πορεία της μελέτης. Έτσι:

• Υδρογράφημα

Η μεταβολή της παροχής στη διατομή ενός υδατορεύματος κατά τη διάρκεια μιας χρονικής περιόδου, έχει άμεση σχέση με την αντίστοιχη μεταβολή των βροχών που πέτουν στη λεκάνη απορροής. Η γραφική παράσταση της μεταβολής της παροχής, συναρτήσει του χρόνου, αποτελεί το υδρογράφημα (Βαλιάντζας, 1995). Δύο τύποι υδρογραφημάτων είναι ιδιαίτερα σημαντικοί για τον υδρολογικό σχεδιασμό ενός έργου. Το ετήσιο υδρογράφημα και το υδρογράφημα πλημμύρας.

Ετήσιο Υδρογράφημα: Το ετήσιο υδρογράφημα είναι ένα διάγραμμα που απεικονίζει τη μεταβολή της παροχής κατά τη διάρκεια ενός έτους. Αποτελεί τη βάση για την εφαρμογή του ισοζυγίου του ύδατος στη λεκάνη απορροής για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα (Βαλιάντζας, 1995).



Σχήμα 4.3 Τυπικό ετήσιο υδρογράφημα για τον Ελλαδικό χώρο.

Τα σημεία όπου παρατηρείται πολύ μεγάλη μεταβολή της παροχής στη διατομή του υδατορεύματος, αντιστοιχούν στους μήνες Οκτώβριο, Νοέμβριο, Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Μάρτιο όταν δηλαδή παρατηρούνται και οι εντονότερες βροχοπτώσεις στον Ελλαδικό χώρο.

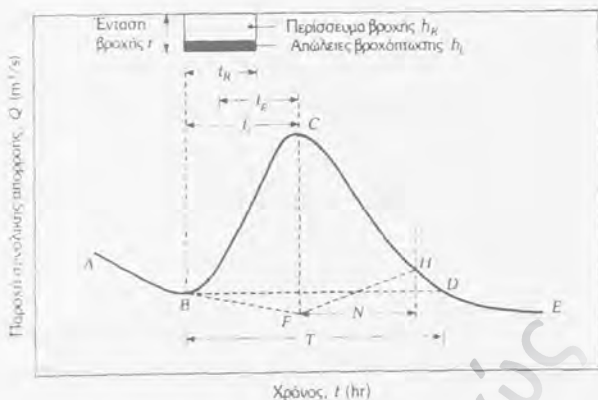
Τα ετήσια υδρογραφήματα μιας σειράς ετών αποτελούν τη βάση για τον υδρολογικό σχεδιασμό έργων *χρησιμοποίησης και διαχείρισης των υδάτινων πόρων* όπως είναι τα έργα ύδρευσης πόλεων, άρδευσης γεωργικών εκτάσεων ή τα υδροηλεκτρικά έργα. Έτσι, τα ετήσια υδρογραφήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον υδρολογικό σχεδιασμό ενός ταμιευτήρα (Βαλιάντζας, 1995).

Υδρογράφημα πλημμύρας: Κατά τη μελέτη των ετήσιων υδρογραφημάτων παρατηρείται η εμφάνιση εξάρσεων (αιχμών) της παροχής. Οι αιχμές αυτές της παροχής, οι οποίες ορίζονται σαν υδρογραφήματα πλημμύρας, είναι συνήθως το άμεσο αποτέλεσμα βροχόπτωσης μεγάλης έντασης και μικρής διάρκειας (ραγδαία βροχόπτωση), της οποίας το μεγαλύτερο τμήμα μετατρέπεται σε επιφανειακή

απορροή. Εύκολα, λοιπόν, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι το υδρογράφημα πλημμύρας, το οποίο προέρχεται από επιφανειακή απορροή, είναι συνήθως μικρής διάρκειας (λίγων ωρών έως λίγων ημερών), (Βαλιάντζας, 1995).

Έτσι, ενώ τα ετήσια υδρογραφήματα χρησιμοποιούνται συνήθως για τον υδρολογικό σχεδιασμό έργων χρησιμοποίησης και διαχείρισης των υδάτων, τα υδρογραφήματα πλημμύρας (ραγδαίων βροχοπτώσεων) έχουν ιδιαίτερη σημασία για τον υδρολογικό σχεδιασμό έργων *ελέγχου* της ροής του ύδατος, όπως στραγγιστικών έργων, αντιπλημμυρικής προστασίας, αποχέτευσης, φραγμάτων κλπ. Ο σχεδιασμός των έργων αυτών, πραγματοποιείται συνήθως για μια δυσμενή πλημμυρική απορροή, που μπορεί να προέλθει μετά από στατιστική επεξεργασία των αιχμών παροχής.

Στο σχήμα 4.4, φαίνεται ένα υδρογράφημα πλημμύρας (ή πλημμυρογράφημα), που προέρχεται από μια μεμονωμένη ραγδαία βροχή σταθερής έντασης. Κατά τη χρονική στιγμή που η απορροή έχει φθάσει στο σημείο Β (συνεχώς μειούμενη), αρχίζει η ραγδαία βροχή που δημιουργεί περίσσειμα βροχόπτωσης διάρκειας t_R όπως φαίνεται στο υετόγραμμα του ίδιου σχήματος. Αμέσως μετά, η απορροή αυξάνει με τη δημιουργία του «ανιόντος κλάδου» BC που εξαρτάται κύρια από τα χαρακτηριστικά της βροχής και της λεκάνης. Στο σημείο C, συνήθως μετά το τέλος της βροχόπτωσης, παρουσιάζεται η αιχμή της απορροής και ακολουθεί ο κατιών κλάδος CD. Ο χρόνος από το κέντρο βάρους της βροχόπτωσης ως την αιχμή, λέγεται χρονική επιβράδυνση, t_p . Από το σημείο D και μετά, επικρατούν οι ίδιες περίπου συνθήκες απορροής όπως και πριν το Β. Αν ενωθεί το Β με το D επιτυγχάνεται ένας κατά προσέγγιση διαχωρισμός της άμεσης από τη βασική απορροή. Η χρονική περίοδος, κατά την οποία παρατηρείται επιφανειακή απορροή από μια διατομή, είναι γνωστή ως χρονική βάση του υδρογραφήματος, T.



Σχήμα 4.4 Τυπικό Υδρογράφημα Πλημμύρας. (Γ.Τσακίρης – Τεχνική Υδρολογία)

• Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Ως Μοναδιαίο Υδρογράφημα μιας βροχής διάρκειας περισσέυματος t_R ομοιόμορφα κατανεμημένης σε μια λεκάνη απορροής, ονομάζεται το αντίστοιχο υδρογράφημα της άμεσης απορροής που προήλθε από περίσσευμα βροχής $h_R = 1 \text{ cm}$. Το Μοναδιαίο Υδρογράφημα – κοινώς ΜΥΓ – είναι ουσιαστικά ένα μοντέλο που περικλείει όλα τα χαρακτηριστικά της λεκάνης και αναφέρεται στη συγκεκριμένη διάρκεια περισσέυματος βροχής. Για κάθε, δηλαδή, διάρκεια περισσέυματος υπάρχει κι ένα διαφορετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα, το οποίο αποτελεί την βάση (την μονάδα) για τον υπολογισμό του υδρογραφήματος άμεσης απορροής από οποιοδήποτε ύψος περισσέυματος της ίδιας διάρκειας. Αυτός είναι και ο λόγος που ονομάζεται μοναδιαίο (Τσακίρης, 1995).

Η χρησιμότητα του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος είναι μεγάλη, διότι μπορεί να μετασχηματίσει κάτω από ορισμένες παραδοχές, οποιοδήποτε περίσσευμα ραγδαίας βροχής διαφορετικής έστω διάρκειας, σε υδρογράφημα της άμεσης απορροής.

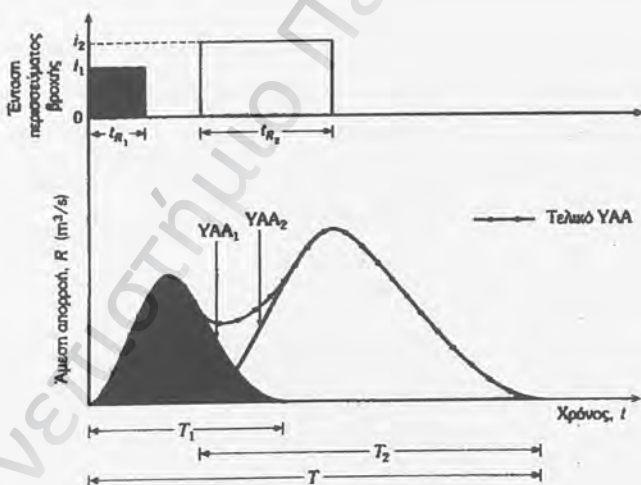
Οι αρχές που στηρίζεται η μέθοδος του Μοναδιαίου Υδρογραφήματος είναι οι ακόλουθες:

- Αρχή της αναλογίας

Σύμφωνα με την αρχή αυτή, δύο βροχές με περίσσειμα βροχής της ίδιας διάρκειας, αλλά με διαφορετικές εντάσεις περισεύματος βροχόπτωσης, δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με την ίδια χρονική βάση, αλλά με τεταγμένες σε κάθε χρονική στιγμή που έχουν λόγο μεταξύ τους ίσο με το λόγο των εντάσεων.

- Αρχή της υπέρθεσης

Σύμφωνα με την αρχή της υπέρθεσης, το συνολικό Υδρογράφημα Άμεσης Απορροής (ΥΑΑ) που προκύπτει από επιμέρους βροχοπτώσεις, είναι το υδρογράφημα που έχει ως τεταγμένες το άθροισμα των τεταγμένων των ΥΑΑ των επιμέρους βροχοπτώσεων.



Σχήμα 4.5 Η Αρχή της Υπέρθεσης. (Γ.Τσακίρης – Τεχνική Υδρολογία)

Οι παραπάνω αρχές, πηγάζουν ουσιαστικά από τις ακόλουθες παραδοχές (Linsley κ.α. 1949) που αποτελούν και προϋποθέσεις για τη χρήση του μοναδιαίου υδρογραφήματος:

- Η κατανομή του περισεύματος της βροχής στο χώρο και στο χρόνο είναι η ίδια για βροχές με την ίδια διάρκεια.

- ii. Η ένταση της βροχής είναι σταθερή κατά τη διάρκεια του γεγονότος της βροχής.
- iii. Δύο ραγδαίες βροχές της ίδιας διάρκειας, αλλά διαφορετικού ύψους περισεύματος βροχής, δημιουργούν υδρογραφήματα άμεσης απορροής με τεταγμένες ανάλογες των υψών περισεύματος βροχής (Συνθήκη Γραμμικότητας – linearity).
- iv. Από δύο ραγδαίες βροχές με το ίδιο ύψος περισεύματος της βροχής και την ίδια διάρκεια που συμβαίνουν σε διαφορετικούς χρόνους, προκύπτουν εντελώς όμοια μοναδιαία υδρογραφήματα (Συνθήκη Στασιμότητας – time invariance).
- v. Για μια λεκάνη απορροής, το σχήμα του μοναδιαίου υδρογραφήματος δεδομένης διάρκειας βροχής, αντιπροσωπεύει τα φυσικά χαρακτηριστικά της λεκάνης.

• Χρόνος Συγκέντρωσης

Σαν χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής, ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται από ένα σωματίδιο βροχής να διανύσει την απόσταση από το πιο απομακρυσμένο, υδραυλικά, σημείο της λεκάνης μέχρι την έξοδο αυτής (Βαλιάντζας, 1995). Η διαδρομή του σωματιδίου συνήθως περιλαμβάνει:

1. Ροή επί της επιφάνειας του εδάφους.
2. Ροή δια μέσου αγωγών, φυσικών (υδατορεύματα) ή τεχνητών (για παράδειγμα αγωγό αποχέτευσης ομβρίων υδάτων).

Συνήθως, ο χρόνος συγκέντρωσης t_c εκτιμάται από διάφορους εμπειρικούς ή ημ εμπειρικούς τύπους, οι οποίοι συνδέουν το χρόνο t_c με τα χαρακτηριστικά της λεκάνης. Οι πιο σημαντικές μέθοδοι υπολογισμού του χρόνου συγκέντρωσης t_c είναι οι εξής:

Πίνακας 6

Σημαντικές μέθοδοι υπολογισμού χρόνου συγκέντρωσης t_c
(Ven Te Chow – Applied Hydrology)

Μέθοδος και Ημερομηνία	Εξίσωση του t_c (min)	Παρατηρήσεις
Kirpich (1940)	$t_c = 0.0078 L^{0.77} S^{-0.385}$ L = Μήκος καναλιού / τάφρου από την είσοδο έως την έξοδο, ft S = Μέση κλίση της λεκάνης απορροής, ft/ft	Αναπτύχθηκε βάσει δεδομένων της SCS για επτά αγροτικές λεκάνες στο Tennessee, με σωστά οριοθετημένα κανάλια και απότομες κλίσεις (3% έως 10%), για υπέργεια ροή σε επιφάνειες από τσιμέντο ή άσφαλτο το t_c πολλαπλασιάζεται επί 0.4, για τσιμεντένια κανάλια επί 0.2, ενώ δεν απαιτείται ρύθμιση για υπέργεια ροή στο έδαφος ή ροή σε τάφρους.
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 60(11.9L^3 / H)^{0.385}$ L = Μήκος μέγιστου καναλιού, mi H = Διαφορά υψομέτρου μεταξύ της γραμμής διαχωρισμού του νερού και της εξόδου, ft	Στην ουσία είναι η εξίσωση του Kirpich, αναπτύχθηκε βάσει μικρών ορεινών λεκανών στην Καλιφόρνια (U.S. Bureau of Reclamation, 1973, pp. 67-71).
Izzard (1946)	$t_c = \frac{41.025(0.0007i + c)L^{0.33}}{S^{0.333}i^{0.667}}$ i = Ένταση βροχής, in/h c = Συντελεστής επιβράδυνσης L = Μήκος διαδρομής ροής, ft S = Κλίση διαδρομής ροής, ft/ft	Αναπτύχθηκε βάσει εργαστηριακών πειραμάτων από το Bureau of Public Roads για υπέργεια ροή σε επιφάνειες δρόμου και τύρφης, οι τιμές του συντελεστή επιβράδυνσης κυμαίνονται από 0.0070 για πολύ επίπεδη επιφάνεια έως 0.012 για επιφάνεια τσιμέντου και έως 0.06 για πυκνή τύρφη, η επίλυση της εξίσωσης απαιτεί επανάληψη, το γινόμενο $i \times L$ πρέπει να είναι ≤ 500 .
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = 1.8(1.1 - C)L^{0.50} / S^{0.333}$ C = Συντελεστής απορροής ορθολογικής μεθόδου L = Μήκος ροής δια ξηράς, ft S = Κλίση επιφάνειας, %	Αναπτύχθηκε βάσει δεδομένων που συλλέχθηκαν από την Corps of Engineers, η μέθοδος προορίζεται για χρησιμοποίηση της σε προβλήματα, αλλά συχνά χρησιμοποιείται και για υπέργεια ροή σε αστικές λεκάνες.
Kinematic wave formulas Morgali and Linsley (1965) Aron and Erborge (1973)	$t_c = \frac{0.94L^{0.6}n^{0.6}}{(i^{0.4}S^{0.3})}$ L = Μήκος ροής δια ξηράς, ft i = Ένταση βροχής, in/h n = Συντελεστής τραχύτητας Manning S = Μέση κλίση επιφάνειας, ft/ft	Εξίσωση υπέργειας ροής που αναπτύχθηκε βάσει της θεωρίας του κινηματικού κύματος της επιφανειακής απορροής από σχηματισμένες επιφάνειες, η μέθοδος απαιτεί επανάληψη καθώς και το i και το t_c είναι άγνωστα, η σύγκλιση της καμπύλης έντασης- διάρκειας-συχρότητας δίνει άμεση γραφική λύση του t_c .
SCS equation (1973)	$t_c = \frac{100L^{0.8}[(1000 / CN) - 9]^{0.7}}{1900S^{0.5}}$ L = Υδραυλικό μήκος της λεκάνης (μέγιστη διαδρομή ροής), ft CN = SCS αριθμός καμπύλης απορροής S = Μέση κλίση λεκάνης, ft/ft	Εξίσωση που αναπτύχθηκε από την SCS βάσει δεδομένων γεωργικής λεκάνης απορροής, προσαρμόστηκε για μικρές αστικές λεκάνες μικρότερες από 2000 acres, φαίνεται γενικώς καλή σε πλήρως πλακόστρωτες περιοχές, σε μεικτές περιοχές φαίνεται να υπερεκτιμά, χρησιμοποιούνται παράγοντες ρύθμισης για την βελτίωση του καναλιού και τις αδιαπέρατες περιοχές, η εξίσωση θεωρεί ότι $t_c = 1.67 \times$ υστέρηση λεκάνης.
SCS average velocity charts (1975, 1986)	$t_c = \frac{1}{60} \sum \frac{L}{V}$ L = Μήκος διαδρομής ροής, ft V = Μέση ταχύτητα, ft/sec	

Τύποι Υδρογραφήμάτων διαθέσιμοι στο μοντέλο HEC-1

1^α. Μοναδιαίο Υδρογράφημα Clark

Η μέθοδος Clark απαιτεί τρεις παραμέτρους για να υπολογίσει ένα μοναδιαίο υδρογράφημα. Τον χρόνο συγκέντρωσης T_c (concentration time) για τη λεκάνη, τον συντελεστή αποθήκευσης R (storage coefficient) και μια καμπύλη χρόνου – επιφάνειας (time – area curve). Η καμπύλη αυτή, καθορίζει την ολική επιφάνεια της λεκάνης που συνεισφέρει στην απορροή στην έξοδο της υπολεκάνης, ως μια συνάρτηση του χρόνου (εκφρασμένη ως μια αναλογία του χρόνου συγκέντρωσης T_c). Στην περίπτωση που δεν υπάρχει time – area curve, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μια αδιάστατη καμπύλη χρόνου – επιφάνειας.

$$AI = 1.414T^{1.5} \quad 0 \leq T < 0.5 \quad (4.10)$$

$$1 - AI = 1.414(1 - T)^{1.5} \quad 0.5 < T < 1 \quad (4.11)$$

όπου AI η επιφάνεια (αθροιστικά), ως ένα ποσοστό της ολικής επιφάνειας της υπολεκάνης και T το ποσοστό του χρόνου συγκέντρωσης. Οι τεταγμένες της καμπύλης χρόνου, μετατρέπονται σε όγκο απορροής ανά δευτερόλεπτο για μονάδα περισεύματος και παρεμβάλλονται στο δοθέν χρονικό διάστημα. Έπειτα, το μετασχηματισμένο υδρογράφημα που προκύπτει διοδεύεται. Από μοναδιαίο υδρογράφημα που προκύπτει για το στιγμιαίο περίσσειμα, παράγεται το υδρογράφημα για μοναδιαίο περίσσειμα που συμβαίνει στο δοθέν χρονικό διάστημα.

Η διόδευση ολοκληρώνεται χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση:

$$Q(2) = CA * I + CB * Q(1) \quad (4.12)$$

όπου:

- Q(2): η στιγμιαία παροχή στο τέλος της περιόδου,
- Q(1): η στιγμιαία παροχή στην αρχή της περιόδου,
- I: η τεταγμένη από το μετασχηματισμένο υδρογράφημα,
- Δt: το υπολογιστικό χρονικό διάστημα σε ώρες (επίσης η διάρκεια του μοναδιαίου περισεύματος),
- R: ο παράγοντας αποθήκευσης της λεκάνης σε ώρες και
- Q: η τεταγμένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος στο τέλος του υπολογιστικού διαστήματος.

Οι συντελεστές της διόδευσης υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$CB = 1 - CA \quad (4.13)$$

$$CA = \Delta t / (R + 0.5 * \Delta t) \quad (4.14)$$

$$Q = 0.5(Q(1) + Q(2)) \quad (4.15)$$

1^β. Συνθετικό Μοναδιαίο Υδρογράφημα Snyder

Η συγκεκριμένη μέθοδος, προσδιορίζει την παροχή αιχμής του μοναδιαίου υδρογραφήματος (time to peak) και τα πλάτη του στο 50 % και το 75 % της παροχής αιχμής. Η μέθοδος, δεν παράγει το πλήρες μοναδιαίο υδρογράφημα που απαιτείται από το μοντέλο HEC-1. Έτσι, το HEC-1 χρησιμοποιεί τη μέθοδο Clark για να στηρίξει το μοναδιαίο υδρογράφημα Snyder. Οι αρχικές παράμετροι Clark εκτιμώνται από τις δοθείσες Snyder παραμέτρους, T_p και C_p . Ένα μοναδιαίο υδρογράφημα υπολογίζεται με τη μέθοδο Clark και από αυτό οι παράμετροι Snyder με τις παρακάτω εξισώσεις:

$$C_p = Q_{\max} * \frac{T_{peak} - 0.5 * \Delta t}{C * A} \quad (4.16)$$

$$T_p = 1.048 * (T_{peak} - 0.75 * \Delta t) \quad (4.17)$$

όπου:

- ο C_p : συντελεστής που αντιπροσωπεύει τις συνθήκες μεταφοράς του πλημμυρικού κύματος και της αποθήκευσης της λεκάνης,
- ο Q_{max} : η μέγιστη τεταγμένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος,
- ο T_{peak} : ο χρόνος που συμβαίνει η Q_{max} σε ώρες (hours),
- ο Δt : η διάρκεια της ενεργού βροχόπτωσης σε ώρες (hours),
- ο A : το εμβαδόν της υπολεκάνης σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (km^2),
- ο C : ο συντελεστής μετατροπής και
- ο T_p : ο τυπικός χρόνος υστέρησης Snyder για το εκτιμώμενο υδρογράφημα.

Ο τυπικός χρόνος υστέρησης είναι για ένα υδρογράφημα ενεργού διάρκειας βροχής ίση με $T_p / 5,5$. Ο συντελεστής 1,048 στην εξίσωση (4.17) προκύπτει από τη μετατροπή της διάρκειας της ενεργού βροχόπτωσης στο δοθέν χρονικό διάστημα.

Οι παράμετροι T_c και R της μεθόδου Clark προσαρμόζονται για να εξισορροπήσουν τις διαφορές μεταξύ των τιμών T_p και C_p που υπολογίζονται από τις εξισώσεις (4.16) και (4.17) και τις τιμές που δίνονται. Στην συνέχεια, ένα νέο μοναδιαίο υδρογράφημα υπολογίζεται με τη χρήση αυτών των προσαρμοσμένων τιμών. Η διαδικασία αυτή συνεχίζεται μέσω 20 επαναλήψεων ή μέχρι οι διαφορές μεταξύ των εκτιμημένων και των δοθέντων τιμών των T_p και C_p να είναι λιγότερες του 1 % των δοθέντων τιμών.

1⁷. Συνθετικό Αδιάστατο Μοναδιαίο Υδρογράφημα SCS

Τα δεδομένα εισαγωγής για τη μέθοδο SCS αδιάστατου μοναδιαίου υδρογραφήματος, αποτελούνται από την απλή παράμετρο T_{lag} , η οποία είναι ίση με την υστέρηση (σε ώρες) ανάμεσα στο κέντρο βάρους του ενεργού υετογραφήματος και της αιχμής του μοναδιαίου υδρογραφήματος. Η παροχή αιχμής και ο χρόνος μέχρι να πραγματοποιηθεί η αιχμή υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$Q_p = 484 * \frac{S}{T_p} \quad (4.18)$$

$$T_p = 0.5 * \Delta t + T_{lag} \quad (4.19)$$

όπου:

- T_p : ο χρόνος πραγματοποίησης της αιχμής του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε ώρες,
- Δt : η διάρκεια της ενεργού βροχόπτωσης σε ώρες ή σε υπολογιστικά χρονικά διαστήματα και
- Q_p : η παροχή αιχμής του μοναδιαίου υδρογραφήματος σε m^3 / sec και S το εμβαδόν της υπολεκάνης σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (km^2).

Η επιλογή του υπολογιστικού διαστήματος του προγράμματος, το οποίο είναι επίσης η διάρκεια του μοναδιαίου υδρογραφήματος, βασίζεται στη σχέση:

$$\Delta t = 0.2 * T_p \quad (4.20)$$

Στην παραπάνω σχέση, υπάρχει κάποιο επιτρεπόμενο εύρος, παρ' όλα αυτά, η διάρκεια του μοναδιαίου υδρογραφήματος θα πρέπει να είναι:

$$\Delta t \leq 0.25 * T_p \quad (4.21)$$

Οι σχέσεις (4.20) και (4.21) βασίζονται στις παρακάτω εμπειρικές σχέσεις:

$$T_{lag} = 0.6 * T_c \quad (4.22)$$

και

$$1.7 * T_p = \Delta t + T_c \quad (4.23)$$

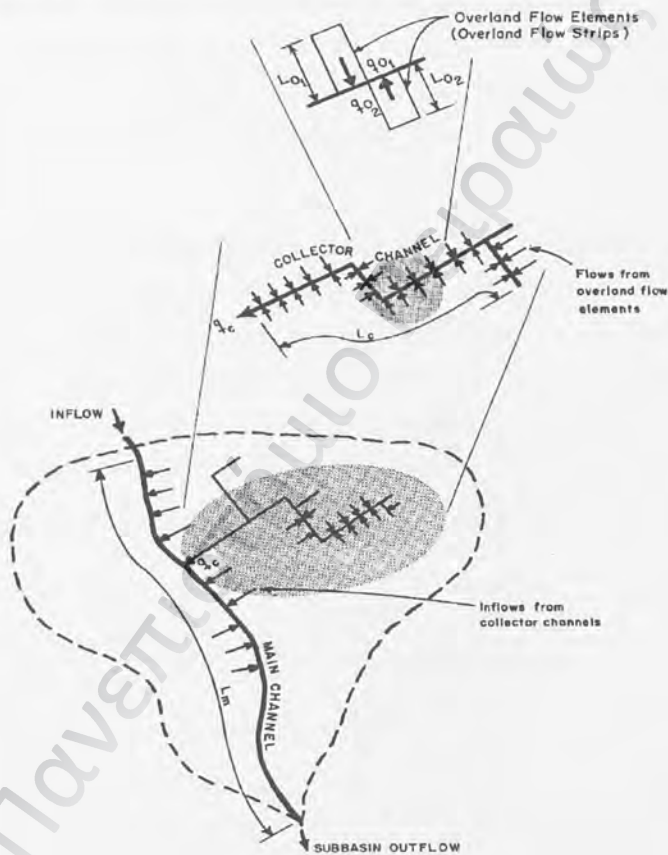
όπου T_c είναι ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής.

Χρησιμοποιώντας τις παραπάνω σχέσεις σε συνδυασμό με την εξίσωση (4.11), έχει βρεθεί ότι η διάρκεια Δt θα πρέπει να είναι:

$$\Delta t \leq 0.29 * T_{lag} \quad (4.24)$$

1^δ. Κατανεμημένος Υπολογισμός Απορροής με τη Μέθοδο του Κινηματικού κινήματος (kinematic wave)

Ο κατανεμημένος υπολογισμός της απορροής μιας υπολεκάνης μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας συνδυασμούς τριών εννοιολογικών στοιχείων: α) επιφανειακή ροή (overland flow planes), β) κανάλια συλλογής (collector channels) και γ) ένα κύριο κανάλι (main channel), όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.6..



Σχήμα 4.6 Σύνδεση στοιχείων ροής (Εγχειρίδιο HEC)

Η μέθοδος του κινηματικού κύματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην διόδευση του περισσέυματος βροχής κατά την ροή του στην επιφάνεια του εδάφους (overland flow planes) όπως και στην διόδευση πλευρικών εισροών δια μέσου καναλιών συλλογής

(collector channels) και πλευρικών εισροών δια μέσου ενός κεντρικού καναλιού (main channel).

Λεπτομέρειες για την μέθοδο του κινηματικού κύματος αναφέρονται στην παράγραφο 4.2.2.4 β.

4.2.2.3 Βασική Απορροή (Base Flow)

Η απορροή αποτελείται από δύο συνιστώσες: την άμεση και τη βασική απορροή. Την άμεση αποτελούν η επιφανειακή απορροή, η ταχεία υπεδάφιος απορροή και η απ' ευθείας στα ρεύματα απορροή. Τη βασική απορροή, αποτελούν η υπόγειος απορροή και η βραδεία υπεδάφιος απορροή (Τσακίρης, 1995).

Στο υδρολογικό μοντέλο HEC-1 η βασική απορροή, R , περιγράφεται από τρεις παραμέτρους. Τη βασική απορροή εκκίνησης σε m^3/sec (starting base flow), την παροχή κατωφλίου σε m^3/sec (threshold discharge), και τον δείκτη ρυθμού αποφόρτισης (rate of recession index). Η τελευταία παράμετρος (recession constant), ορίζεται στο μοντέλο HEC-1 ως ο λόγος της τρέχουσας απορροής αποφόρτισης προς την απορροή αποφόρτισης, μια ημέρα νωρίτερα. Οι τυπικές τιμές του συντελεστή μεταβολής της βασικής απορροής (συντελεστή αποφόρτισης) φαίνονται στον Πίνακα 7.

Πίνακας 7

Τυπικές τιμές του συντελεστή αποφόρτισης f

	f
Υπόγεια Ροή (Groundwater)	0.95
Υποδερμική Ροή (Interflow)	0.8 – 0.9
Επιφανειακή Απορροή (Surface Runoff)	0.3 – 0.8

4.2.2.4 Διόδευση (Routing)

Διόδευση πλημμύρας ονομάζεται αυτή καθαυτή η διέλευση μιας πλημμύρας μέσω ενός επιφανειακού υδροφορέα, δηλαδή, μέσω ενός τμήματος ποταμού ή ενός ταμειυτήρα. Με τη διέλευση μιας πλημμύρας διαμέσου ενός επιφανειακού

υδροφορέα, παρατηρείται μείωση της αιχμής της πλημμύρας, η οποία συνοδεύεται από μια καθυστέρηση (Τσακίρης, 1995).

Οι χρησιμοποιούμενες μεθοδολογίες διόδευσης είναι δύο:

- η Υδρολογική, και
- η Υδραυλική.

α) Η Υδρολογική βασίζει την πρόβλεψη εξέλιξης της πλημμύρας στην εξίσωση της συνέχειας και σε μια συνάρτηση της χωρητικότητας του συστήματος. Αν ο φορέας διαμέσου του οποίου γίνεται η διόδευση, είναι ταμειυτήρας, απαιτείται επιπλέον μια συνάρτηση που να συνδέει την παροχή εκροής με την αποθήκευση του φορέα.

Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούν δεδομένα της πλημμύρας εισόδου και προβλέπουν τα χαρακτηριστικά της πλημμύρας εξόδου. Οι μέθοδοι αυτές δε δίνουν πληροφορίες για την πλήρη χωροχρονική εξέλιξη της πλημμύρας και δεν απαιτούν γνώσεις των χαρακτηριστικών του φορέα (κλίσεις, διατομές κλπ.).

β) Η Υδραυλική μέθοδος βασίζει τη μαθηματική αναπαράσταση της εξέλιξης της πλημμύρας, στην χρησιμοποίηση των εξισώσεων ασταθούς ροής σε ανοιχτούς αγωγούς (Εξισώσεις Saint Venant).

Οι μέθοδοι αυτής της κατηγορίας, δίνουν όλες τις πληροφορίες κατά τη διέλευση μιας πλημμύρας μέσω ενός υδρογραφικού δικτύου, χρησιμοποιούν όμως στοιχεία που σπάνια είναι γνωστά και οι παραδοχές που γίνονται για την απλοποίηση και την επίλυση των εξισώσεων, μεταβάλουν σε κάποιο βαθμό την ακρίβεια και την αξιοπιστία των εν λόγω μεθόδων.

Οι περισσότερες από τις μεθόδους διόδευσης που περιλαμβάνονται στο υδρολογικό μοντέλο HEC-1, βασίζονται στην εξίσωση της συνέχειας και σε κάποιες σχέσεις μεταξύ της ροής και της αποθηκευτικότητας. Οι μέθοδοι αυτές είναι οι εξής:

- Muskingum
- Modified Puls

- Kinematic Wave
- Muskingum - Cunge

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι βασίζονται στο γεγονός ότι η ροή στο υδατόρευμα είναι μόνιμη και ομοιόμορφη, πριν το γεγονός της πλημμύρας εισόδου. Δεν λαμβάνονται υπόψη, τόσο οι ποσότητες λιμναζόντων υδάτων όσο και τα υδραυλικά άλματα (HEC-1, 1990).

Η μέθοδος αποθήκευσης της διόδευσης στο μοντέλο HEC-1 είναι εκείνη η οποία απαιτεί δεδομένα τα οποία προσδιορίζουν τα χαρακτηριστικά αποθηκευτικότητας ενός καναλιού ή ενός ταμειυτήρα. Η μέθοδος αυτή, είναι η Modified Puls.

Η μέθοδος Muskingum - Cunge χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό πλευρικής εισροής δια ξηράς ή πλευρικής εισροής από κανάλια συλλογής, μέσω ενός υδρογραφήματος που υπολογίζεται στην είσοδο ενός κεντρικού καναλιού (HEC-1, 1990).

□ Μέθοδος Kinematic Wave (Κινηματικού Κύματος)

Η ερμηνεία της μεθόδου Κινηματικού Κύματος στην εξίσωση της κίνησης, υποθέτει ότι η κλίση του πυθμένα και η κλίση της επιφάνειας των υδάτων είναι ίσες και ότι τα αποτελέσματα της επιτάχυνσης είναι αμελητέα (HEC-1, 1990).

Η εξίσωση της ορμής, τότε απλοποιείται και γίνεται:

$$S_f = S_0 \quad (4.25)$$

όπου S_f είναι η κλίση ροής και S_0 είναι η κλίση του πυθμένα του καναλιού.

Έτσι, η παροχή σε κάθε διατομή του καναλιού μπορεί να υπολογισθεί από τον τύπο του Manning σύμφωνα με τον οποίο:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S_0^{\frac{1}{2}} \quad (4.26)$$

όπου

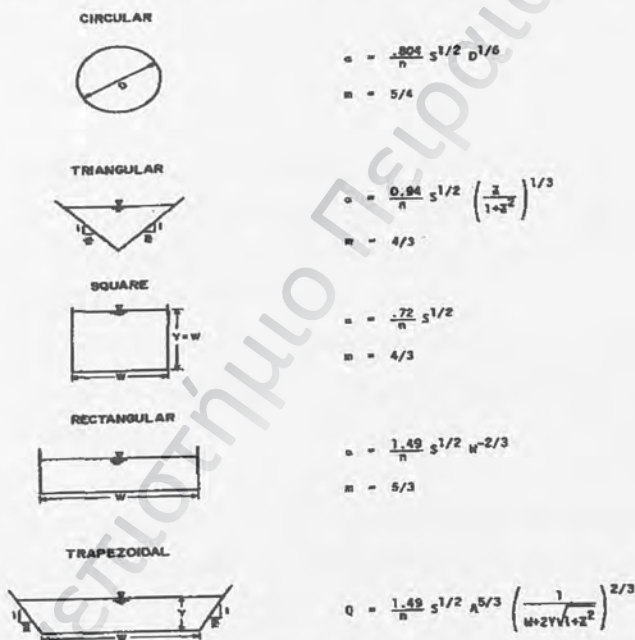
- Q: η παροχή του καναλιού (m^3/sec),

- S: η κλίση του πυθμένα του καναλιού,
- R: η υδραυλική ακτίνα (m), $R = A/P$ (P = βρεχόμενη περίμετρος, m)
- A: η βρεχόμενη επιφάνεια του καναλιού (m²),
- n: συντελεστής αντίστασης ή Manning (Τραχύτητα).

Τελικά, η παραπάνω σχέση λαμβάνει τη μορφή:

$$Q = a \cdot A^m \quad (4.27)$$

Όπου a και m συνδέονται με τη γεωμετρία και την τραχύτητα του καναλιού.



Σχήμα 4.7 Σχέσεις για τα a και m, ανάλογα με τη γεωμετρία των καναλιών που χρησιμοποιούνται στο HEC-1. (Εγχειρίδιο HEC)

□ **Μέθοδος Muskingum**

Η υδρολογική μέθοδος διόδευσης Muskingum, βασίζεται στην εξίσωση της συνέχειας και σε μια συνάρτηση χωρητικότητας του συστήματος.

Προκειμένου να υπολογίσει την εκροή από ένα υδατορεύμα, η μέθοδος Muskingum χρησιμοποιεί τις παρακάτω εξισώσεις (Corps of Engineers, 1960):

$$Q_{out(2)} = (C_A - C_B) * Q_{in(1)} + (1 - C_A) * Q_{out(1)} * C_B * Q_{in(2)} \quad (4.28)$$

$$C_A = \frac{2 * \Delta t}{2 * k * (1 - x) + \Delta t} \quad (4.29)$$

$$C_B = \frac{\Delta t - 2 * k * x}{2 * k * (1 - x) + \Delta t} \quad (4.30)$$

όπου:

$Q_{in(i)}$: η εισροή στο τμήμα του υδατορεύματος διόδευσης σε m^3/sec .

$Q_{out(i)}$: η εκροή από το τμήμα του υδατορεύματος διόδευσης σε m^3/sec .

k : ο χρόνος διόδευσης της αιχμής του κύματος από την είσοδο στην έξοδο του τμήματος του υδατορεύματος σε hrs.

x : ένας συντελεστής βαρύτητας της συμμετοχής της εισροής στην αποθήκευση (και $1-x$ η βαρύτητα συμμετοχής της εκροής). Το x κυμαίνεται μεταξύ του 0 και του 0.5 (αδιάστατο).

Η διαδικασία διόδευσης, μπορεί να επαναληφθεί για αρκετά υπό-υδατορεύματα, έτσι ώστε, ο συνολικός χρόνος διόδευσης της αιχμής διαμέσου του υδατορεύματος να είναι k .

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθούν τα εξής: (1) ο προσδιορισμός των συντελεστών k και x αποτελεί περιοριστικό παράγοντα ως προς την χρήση της μεθόδου (χρησιμοποιούνται υδρογραφήματα εισροής και εκροής), και (2) η εφαρμογή της μεθόδου έχει δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα για αριθμούς Froude μικρότερους από 0,5.

4.2.2.5 Εκτροπή (Diversion)

Η αλλαγή κατεύθυνσης μπορεί να καθορισθεί με μια πινακοποιημένη σχέση μεταξύ εισροής και εκτρεπόμενης ροής. Το υδρογράφημα που προκύπτει από την εκτροπή, μπορεί να θεωρηθεί ως μια εισροή σε μια κατάντη θέση του υδρογραφικού δικτύου.

4.2.3 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΛΕΚΑΝΗΣ

Ένα μοντέλο λεκάνης αποτελείται από υδρολογικά στοιχεία τα οποία είναι πέντε τύπων: υπολεκάνη, διατομή υδατορεύματος, κόμβος, ταμιευτήρας, εκτροπή. Η ανάπτυξη ενός μοντέλου λεκάνης απαιτεί τον καθορισμό τέτοιων στοιχείων και δεδομένων που ελέγχουν την «συμπεριφορά» τους. Η συμπεριφορά αυτή, μπορεί να καθορισθεί από εναλλακτικές υπολογιστικές μεθόδους (π.χ., μέθοδοι διόδευσης για μια διατομή υδατορεύματος).

Η λειτουργικότητα των υδρολογικών στοιχείων είναι η παρακάτω:

Υπολεκάνη: η υπολεκάνη είναι ένα στοιχείο που παράγει ένα υδρογράφημα παροχής στην έξοδο της. Οι ιδιότητες της περιλαμβάνουν εμβαδόν και ποσοστά αδιαπερατότητας (imperviousness). Το υδρογράφημα παροχής, βασίζεται στην αφαίρεση «απωλειών» από τα δεδομένα εισαγωγής και κατακρήμνισης, μετασχηματίζοντας την ενεργή βροχόπτωση που προκύπτει σε άμεση απορροή στην έξοδο και προσθέτοντας τη βασική απορροή.

Διατομή Υδατορεύματος: η διατομή του υδατορεύματος είναι ένα γραμμικό στοιχείο που έχει ένα γνωστό υδρογράφημα εισόδου στα ανάντη του και παράγει ένα υδρογράφημα εξόδου στα κατόντη. Τα δεδομένα που απαιτούνται ποικίλουν ανάλογα με την πολυπλοκότητα της μεθόδου διόδευσης που χρησιμοποιείται.

Κόμβος: ο κόμβος είναι μια θέση όπου δύο ή περισσότερα υδρογραφήματα εισόδου (εισροής) προστίθενται και παράγουν ένα υδρογράφημα εξόδου (εκροής).

Ταμιευτήρας: Ο ταμιευτήρας είναι όμοιος με τη διατομή υδατορεύματος, όσον αφορά το γεγονός ότι, υπάρχει ένα «γνωστό» υδρογράφημα εισόδου και ότι το στοιχείο του ταμιευτήρα παράγει ένα υδρογράφημα εξόδου.

Εκτροπή: η εκτροπή είναι ένα στοιχείο για το οποίο ένα μέρος της εισροής εκτρέπεται, ενώ αυτή που απομένει διαφεύγει. Η εκτροπή βασίζεται σε μια σχέση καθορισμένη από το χρήστη μεταξύ εισροής και εκτρεπόμενης ροής. Η εκτρεπόμενη

ροή μπορεί να γυρίσει πίσω μέσα στο δίκτυο της λεκάνης σε ένα υδρολογικό στοιχείο κατάντη από το σημείο της εκτροπής.

Στην εφαρμογή της παρούσας εργασίας το μοντέλο λεκάνης αποτελείται μόνο από υπολεκάνες, τις αντίστοιχες διατομές υδατορευμάτων και κόμβους.

4.2.4 ΜΟΝΤΕΛΟ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ

Το μοντέλο κατακρήμνισης, αποτελείται από την πληροφορία που απαιτείται για να καθορισθεί η ιστορική ή η υδρολογική κατακρήμνιση η οποία θα χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με ένα μοντέλο λεκάνης.

Αρκετές επιλογές είναι διαθέσιμες για τον καθορισμό της ιστορικής κατακρήμνισης:

- 1^η: χρήση κατακρήμνισης σε ψηφιοποιημένη βάση όπως απαιτείται στην τροποποιημένη μέθοδο Clark.
- 2^η: εισαγωγή προσδιορισμένης βροχής ομοιόμορφης χωρικά κατανομής.
- 3^η: καθορισμός βροχογράφων και των αντίστοιχων συσχετιζόμενων βαρών.
- 4^η: καθορισμός των σταθμηγράφων και της τοποθεσίας τους.

4.2.5 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΚΑΤΑΚΡΗΜΝΙΣΗΣ

Η συνάρτηση ενός μοντέλου κατακρήμνισης παράγει υετογραφήματα για κάθε υπολεκάνη του μοντέλου λεκάνης. Υπάρχουν τρεις μέθοδοι δημιουργίας μοντέλου κατακρήμνισης:

- Specify Rainfall
- Compute Average
- Define Balance Rainfall

Επιγραμματικά μπορούμε να πούμε ότι η μέθοδος Specify Rainfall απαιτεί ακριβή δεδομένα βροχόπτωσης για την συνολική λεκάνη απορροής ή για την κάθε υπολεκάνη, η μέθοδος Compute Average απαιτεί τον καθορισμό των θέσεων των σταθμηγράφων και των αντίστοιχων βαρών τους στην συνολική λεκάνη απορροής ή

στην κάθε υπολεκάνη, ενώ η μέθοδος Define Balance Rainfall απαιτεί στατιστική επεξεργασία ιστορικών επεισοδίων ραγδαίων βροχοπτώσεων.

4.2.6 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ

Οι παράμετροι ελέγχου περιλαμβάνουν τις ημερομηνίες αρχής και τέλους για την προσομοίωση, το χρονικό βήμα για τους υπολογισμούς και το ενδιάμεσο χρονικό διάστημα μεταξύ των μετρήσεων βροχόπτωσης.

Η εισαγωγή των στοιχείων αυτών μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Οι μήνες μπορούν να καθορισθούν με τους τρεις πρώτους χαρακτήρες του ονόματός τους. Η ώρα καθορίζεται ως ένας τετραψήφιος αριθμός, αναπαριστώντας όλο το 24ωρο.

4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-1

Το υδρολογικό μοντέλο HEC-1 μπορεί να αντιμετωπίσει μια λεκάνη απορροής τόσο σε συγκεντρωτική (lumped) όσο και σε ημι-κατανεμημένη (semi-distributed) μορφή, όσον αφορά, στην συμπεριφορά και στην μορφολογία της. Στην παρούσα μελέτη, η λεκάνη απορροής του ποταμού Πορταϊκού αντιμετωπίζεται στην ημι-κατανεμημένη μορφή της από το μοντέλο HEC-1, παρ' όλα αυτά θεωρείται σκόπιμο να γίνει μια μικρή αναφορά και στους δύο τρόπους αντιμετώπισης μιας υδρολογικής λεκάνης από το εν λόγω μοντέλο.

4.3.1 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-1 ΣΤΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΗ ΜΟΡΦΗ

Το υδρολογικό μοντέλο HEC-1 στη συγκεντρωτική (lumped) μορφή αντιμετωπίζει τη λεκάνη ενιαία, όσον αφορά, στη συμπεριφορά και στη μορφολογία της. Τίθενται, δηλαδή, κοινοί συντελεστές βασικής απορροής, απωλειών και συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (SCS, Clark, Snyder) για όλη την έκταση της λεκάνης, ανεξάρτητα από το αν αυτή χωρίζεται σε υπολεκάνες, χωρίς να λαμβάνονται υπόψη η τυχόν διαφορετική γεωμορφολογία και υδρολογική συμπεριφορά των υπολεκανών.

Η λειτουργία το μοντέλου πραγματοποιείται σε ένα στάδιο (on line) κατά το οποίο γίνονται παράλληλα, η βελτιστοποίηση των παραμέτρων των απωλειών, της βασικής απορροής και των συντελεστών των μεθόδων που κάθε φορά χρησιμοποιούνται καθώς και η εκτίμηση της πλημμυρικής απορροής με βάση τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων. Αρχικά, δημιουργούνται αρχεία εισόδου για κάθε ιστορικό επεισόδιο που έλαβε χώρα στη συγκεκριμένη λεκάνη. Τα αρχεία αυτά περιλαμβάνουν τις δοθείσες από το χρήστη αρχικές τιμές των συντελεστών απωλειών (αρχικές και ρυθμός απωλειών) και βασικής απορροής (αρχική, τελική και ρυθμός μεταβολής της), καθώς και των παραμέτρων που περιγράφουν το μοναδιαίο υδρογράφημα (C_p και T_p για το μοναδιαίο υδρογράφημα Snyder, T_{lag} για το SCS, R και T_c για το Clark). Οι συντελεστές αυτοί αποτελούν και τις παραμέτρους που επηρεάζουν τη σωστή ρύθμιση και λειτουργία του μοντέλου.

4.3.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-1 ΣΤΗΝ ΗΜΙ-ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΜΟΡΦΗ

Το υδρολογικό μοντέλο HEC-1 στην ημι-κατανεμημένη μορφή (semi-distributed) αντιμετωπίζει τη λεκάνη χωρισμένη σε υπολεκάνες, ανάλογα με τη γεωμορφολογία, τους παραποτάμους του κυρίως ποταμού και τον διαθέσιμο αριθμό βροχογράφων / βροχόμετρων. Το γεγονός αυτό, δίνει τη δυνατότητα εισαγωγής στο πρόγραμμα συντελεστών, όπως της βασικής απορροής, των απωλειών και του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος, οι οποίοι εκφράζουν αποκλειστικά τα χαρακτηριστικά των επιμέρους υπολεκανών, με συνέπεια την καλύτερη προσέγγιση της συμπεριφοράς ολόκληρης της λεκάνης. Επίσης, η μελέτη της κάθε υπολεκάνης ξεχωριστά, επιτρέπει την ακριβέστερη χωρική κατανομή της βροχόπτωσης στο σύνολο της λεκάνης.

Το μοντέλο, κατά τη λειτουργία του ως ημι-κατανεμημένο, κάνει υπολογισμό των πλημμυρογραφημάτων στις εξόδους των επιμέρους υπολεκανών, χρησιμοποιώντας ως αρχείο εισόδου τους συντελεστές βασικής απορροής, απωλειών και συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος, καθώς και τις μέσες επιφανειακές ανά δίκωρο τιμές της βροχόπτωσης των υπολεκανών. Κατόπιν, με τη χρήση της μεθόδου διόδευσης Kinematic Wave που έχουν ήδη εισαχθεί στο πρόγραμμα, γίνεται η διόδευση των

πλημμυρογραφημάτων των επιμέρους υπολεκανών στην έξοδο ολόκληρης της λεκάνης.

Η λειτουργία του μοντέλου στην ημι-κατανεμημένη μορφή γίνεται σε ένα στάδιο (όπως και στην περίπτωση της συγκεντρωτικής μορφής του μοντέλου). Κατά το στάδιο αυτό, πραγματοποιείται η βελτιστοποίηση των αρχικών τιμών της βασικής απορροής, των αρχικών απωλειών, του σταθερού ρυθμού απωλειών και των συντελεστών του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος (SCS, Clark, Snyder), που χρησιμοποιείται κάθε φορά, για κάθε υπολεκάνη, η διόδευση των πλημμύρων στην έξοδο της λεκάνης, με την εφαρμογή της μεθόδου Kinematic Wave, καθώς και η εκτίμηση της πλημμύρας στην έξοδο της συνολικής λεκάνης.

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ
ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

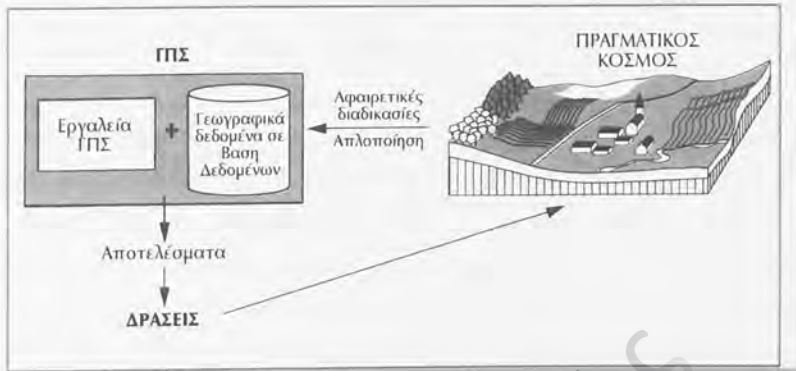
5. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

5.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΟΥ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ

Η συλλογή και επεξεργασία δεδομένων, ποιοτικών και ποσοτικών, που αφορούν τη χωρική κατανομή χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος αποτελεί ένα σημαντικό μέρος των επιστημονικών δραστηριοτήτων των ανθρώπων. Από τη χρησιμοποίηση γραφικών συμβόλων και χαρτών για την αναπαράσταση πληροφοριών του περιβάλλοντος έχουμε περάσει σε ένα ηλεκτρονικά υποστηριζόμενο στάδιο που περιλαμβάνει την **ημιαυτοματοποιημένη καταγραφή δεδομένων, τα πολύπλοκα χωρικά και μη μοντέλα επεξεργασίας και τις σύγχρονες μεθόδους απόδοσης αυτών**. Οι τρεις βασικές αυτές λειτουργίες στηρίζονται και επιτυγχάνονται στα πλαίσια ενός καλά οργανωμένου συστήματος το οποίο ονομάζεται Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Κούτσιας και Καρτέρης, 2001)

Ως Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (ΓΣΠ) ορίζεται εκείνο το πληροφοριακό σύστημα το οποίο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να επεξεργάζεται δεδομένα τα οποία αναφέρονται με χωρικές ή γεωγραφικές συντεταγμένες. Ένα ΓΣΠ αποτελείται από ένα σύστημα στήριξης βάσεων δεδομένων με συγκεκριμένες δυνατότητες για χωρικά αναφορικά δεδομένα και από ένα σύστημα λειτουργιών επεξεργασίας και απόδοσης αυτών των δεδομένων (Burrough 1986, Κουτσόπουλος 1990, Star και Estes 1990)

Τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα αποτελούν την ανάπτυξη μιας μοντέρνας τεχνολογίας στη χρήση των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (Η/Υ), όσον αφορά στην ψηφιακή διασύνδεση των χωρικών δεδομένων και των βάσεων πληροφοριών που σχετίζονται με αυτά. Με τη χρήση των ΓΠΣ ο σύνθετος "πραγματικός κόσμος" μπορεί να "απλοποιηθεί", να "μεταφερθεί" στον Η/Υ και να "συντεθεί" εκ νέου με δομή που προσαρμόζεται στις προσωπικές ανάγκες του χρήστη (Σχήμα 5.1). Έτσι το ΓΠΣ αποτελεί το εργαλείο ανάλυσης και απλοποίησης σύνθετων δεδομένων που οδηγεί στη θεμελίωση μιας πυραμίδας λήψης αποφάσεων.



Σχήμα 5.1 Σχηματική απεικόνιση λειτουργίας Γεωγραφικού Πληροφοριακού Συστήματος.

Ο στόχος της ανάπτυξης του ΓΠΣ στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κλαδέου του νομού Ηλείας, είναι η υποστήριξη λειτουργίας και η εφαρμογή υδρολογικών μοντέλων σε ολόκληρη την υδρολογική λεκάνη ώστε να επιτευχθεί η αξιολόγηση του πλημμυρικού κινδύνου.

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά, ο σχεδιασμός του ΓΠΣ, καθώς και τα επίπεδα πληροφορίας (layers) που περιέχονται σε αυτό. Επίσης, αναφέρονται οι πηγές και τα χαρακτηριστικά των πρωτογενών και τελικών δεδομένων, καθώς και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία των επιπέδων αυτών.

5.2 ΑΝΑΠΤΥΞΗ Γ.Π.Σ ΣΤΗΝ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗ ΛΕΚΑΝΗ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ

Για την κάλυψη των αναγκών της παρούσας πτυχιακής διατριβής σχεδιάστηκε και δημιουργήθηκε ένα ΓΠΣ που καλύπτει την ανάγκη εισαγωγής, επεξεργασίας και αποθήκευσης των Γεωγραφικών δεδομένων. Επίσης, το ΓΠΣ σχεδιάστηκε με κατάλληλο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η παροχή δεδομένων εισόδου για το υδρολογικό μοντέλο HEC-1 καθώς, επίσης, και η δυνατότητα της χωρικής αποτύπωσης των δεδομένων εισόδου αλλά και των αποτελεσμάτων που θα εξαχθούν από το εν λόγω μοντέλο.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, τέθηκαν προδιαγραφές για το σύστημα, που αφορούν στις απαιτήσεις ακρίβειας των πρωτογενών δεδομένων (με βάση την κλίμακα από την οποία προήλθαν) και στα χαρακτηριστικά τους (ευκρίνεια

ψηφιοποιημένων χαρτών, λεπτομερειακή διανυσματοποίηση, εισαγωγή κατάλληλων περιγραφικών δεδομένων κλπ.).

Ο σχεδιασμός του συγκεκριμένου ΓΠΣ έγινε με στόχο την διερεύνηση του πλημμυρικού κινδύνου στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κλαδέου, με ιδιαίτερη έμφαση στην περιοχή του αρχαιολογικού χώρου. Η εμφάνιση πλημμύρας, εκτός από το ανάγλυφο (μορφολογία, κλίσεις, προσανατολισμός κλίσεων), εξαρτάται από το γεωλογικό υπόβαθρο, το εδαφολογικό υπόβαθρο και από την κάλυψη γης. Επίσης, ένας σημαντικός παράγοντας για τα αποτελέσματα της πλημμύρας, είναι η χρήση της γης των περιοχών που πλημμυρίζουν.

5.2.1 ΠΗΓΕΣ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η εισαγωγή χωρικής μορφής δεδομένων (spatial data) σε ένα GIS αποτελεί την πρωταρχική ενέργεια στην οποία θα πρέπει να προβεί ένας χρήστης προκειμένου να ξεκινήσει μια διαδικασία (χωρικής) ανάλυσης. Στην περίπτωση εκπόνησης υδρολογικής ανάλυσης, βασικό στοιχείο που αναλύεται είναι το υψόμετρο του γήινου αναγλύφου, καθώς και η τοπογραφική κλίση – ως άμεσα παράγωγο του υψόμετρου – επιδρά σημαντικά στην δημιουργία του υδρολογικού δικτύου, στην μεταφορά φερτών κ.τ.λ. Αναπόφευκτα όμως η προέλευση της πληροφορίας θα επηρεάσει την ορθότητα, την ακρίβεια και την αξιοπιστία του παραγόμενου αποτελέσματος.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η ανάκτηση πληροφορίας υψόμετρου προήλθε από ψηφιοποίηση των ισουψών γραμμών ήδη υφιστάμενων τοπογραφικών (αναλογικών) χαρτών.(από Γ.Υ.Σ)

Πίνακας 8

Χάρτες Γ.Υ.Σ.

Αριθμός χάρτη	Τίτλος χάρτη	Κλίμακα
1	ΟΛΥΜΠΙΑ	1:50.000
2	6283/4	1:5.000
3	6283/6	1:5.000
4	6284/1	1:5.000
5	6284/5	1:5.000
6	6284/4	1:5.000
7	6284/2	1:5.000
8	6284/3	1:5.000

Τα παραπάνω φύλλα χάρτη αφού σαρώθηκαν, γεωαναφέρθηκαν δηλαδή απέκτησαν πραγματικές συντεταγμένες, στο ενιαίο Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς ΕΓΣΑ87.

Εν συνεχεία ακολούθησε η χρονοβόρα διαδικασία της ψηφιοποίησης με χρήση του προγράμματος “R2V” (Raster to Vector).



Σχήμα 5.2 Δημιουργία ισοψών.

Μετά το πέρας της ψηφιοποίησης, αποδόθηκε αντίστοιχη τιμή υψομέτρου σε κάθε μία ισοψή καμπύλη ανά 10μ.

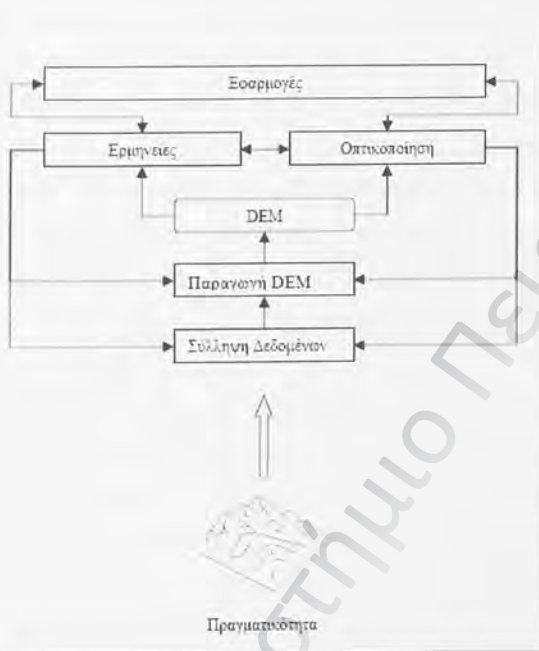
Τέλος να σημειώσουμε ότι ψηφιοποιήθηκε και το υδρογραφικό δίκτυο της εν λόγω λεκάνης απορροής.

5.3 ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ

Γενικά, ως Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM-DTM) ορίζεται κάθε «ψηφιακή αναπαράσταση της συνεχούς μεταβολής του αναγλύφου στο χώρο». Ο όρος DTM

αναφέρεται ευρέως στην απόδοση οποιουδήποτε χαρακτηριστικού στο χώρο, ενώ ο όρος DEM σχετίζεται αποκλειστικά με την αναπαράσταση του ανάγλυφου.

Η αξιοποίηση των υψομετρικών στοιχείων του εδάφους (terrain) – υπό κατάλληλη (ψηφιακή) δομή – ως εισροή σε ένα (υπολογιστικό) σύστημα είναι καθοριστική για



την διαχείριση της μορφολογίας της γήινης επιφάνειας και την ανάπτυξη αναλυτικών διαδικασιών που διέπουν την ατμόσφαιρα (π.χ. υδρολογικός κύκλος). Η αναπαράσταση λοιπόν του εδάφους υπό τη μορφή ενός DEM μπορεί να αποτελέσει το συνδετικό κρίκο ανάμεσα στα δεδομένα συλλογής και σε ποικίλες εφαρμογές όπως φαίνεται και στο διπλανό διάγραμμα.

Σχήμα 5.3 Το μοντέλο DEM στην μετάβαση από την φυσική πραγματικότητα στη υλοποίηση εφαρμογών.

5.3.1 ΨΗΦΙΑΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΔΑΦΟΥΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου δημιουργήθηκε με την μέθοδο παρεμβολής που παρέχεται στο λογισμικό **GIS Arc Info**, η οποία βασίζεται στο πρόγραμμα ANUDEM. Η μέθοδος αυτή, είναι προσαρμοσμένη κατάλληλα στην δημιουργία υδρολογικά ορθών μοντέλων ανάγλυφου, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισόδου κατάλληλα διαμορφωμένα Coverage ισούψων, κορυφών και υδρογραφικού δικτύου.

1) Μέθοδος Παρεμβολής

Η μέθοδος παρεμβολής, είναι σχεδιασμένη, έτσι ώστε, να εκμεταλλεύεται με τον καλύτερο τρόπο τα δεδομένα εισόδου που συνήθως είναι διαθέσιμα (ισούψεις, κορυφές, υδρογραφικό δίκτυο, λίμνες κλπ.) και να λαμβάνει υπόψη της όλα τα χαρακτηριστικά που μπορεί να έχει το ανάγλυφο.

Η μέθοδος αυτή, χρησιμοποιεί μια επαναληπτική τεχνική πεπερασμένων διαφορών και είναι βελτιστοποιημένη, έτσι ώστε, να έχει την αποδοτικότητα των τοπικών μεθόδων παρεμβολής, όπως είναι η μέθοδος IDW (Inverse Distance Weighted ή Βαρύτητα Αντίστροφη της Απόστασης), χωρίς όμως να χάνει την συνέχεια της επιφάνειας, όπως με την μέθοδο **kriging** ή την μέθοδο **splines**. Στην ουσία, είναι μια επιμερισμένη τεχνική **Thin plate spline**, όπου το σφάλμα ανωμαλίας έχει τροποποιηθεί, έτσι ώστε, να επιτρέπει στο προσαρμοσμένο Ψηφιακό Μοντέλο Ανάγλυφου να ακολουθεί τις απότομες αλλαγές ανάγλυφου όπως είναι τα ρέματα ή οι κορυφογραμμές.

Το νερό είναι η κύρια αιτία διάβρωσης, η οποία καθορίζει και το γενικό σχήμα των περισσότερων τοπίων. Για τον λόγο αυτό, τα περισσότερα τοπία έχουν πολλά τοπικά μέγιστα (κορυφές) και πολύ λίγα τοπικά ελάχιστα (καταβόθρες), γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός συνεχούς και συνδεδεμένου υδρογραφικού δικτύου. Η διαδικασία παρεμβολής, λαμβάνει υπόψη της αυτό το χαρακτηριστικό και θέτει περιορισμούς, έτσι ώστε, να παράγεται ορθή αναπαράσταση του υδρογραφικού δικτύου. Οι περιορισμοί αυτοί έχουν σαν αποτέλεσμα την καλύτερη και με μεγαλύτερη ακρίβεια αναπαράσταση των ρευμάτων και των κορυφογραμμών και κατ' επέκταση, την δημιουργία λεπτομερέστερου και ακριβέστερου ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου.

Τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται με βάση την διαδικασία αυτή περιορίζονται αισθητά και είναι αρκετά λιγότερα από αυτά που θα χρειαζόνταν για την αναπαράσταση μιας περιοχής με ισούψεις, με την ίδια ακρίβεια. Επίσης, περιορίζεται κατά πολύ η ανάγκη εκ των υστέρων επεξεργασιών για την διόρθωση του μοντέλου, ώστε να γίνει υδρολογικά ορθό.

Παρ' όλα αυτά, επειδή η όλη διαδικασία λειτουργεί συντηρητικά, δηλαδή προτιμάται να παραμείνουν τοπικά ελάχιστα εκεί που δεν υπάρχουν παρά να καταργηθούν αυτά που υπάρχουν στην πραγματικότητα, μετά την δημιουργία του DEM παραμένουν αρκετά σημεία τοπικού ελαχίστου και ειδικά στις περιοχές που υπάρχουν αμφιβολίες,

όπως είναι οι σχετικά επίπεδες περιοχές. Κατά τον τρόπο αυτό, κρίνεται απαραίτητη η διόρθωση του DEM μετά την δημιουργία του, η οποία όμως διευκολύνεται σημαντικά από την επισήμανση των τοπικών ελαχίστων σε ειδικό αρχείο που δημιουργείται γι' αυτό το σκοπό.

2) Διαδικασία Τονισμού Υδρογραφικού Δικτύου

Ο σκοπός της διαδικασίας τονισμού του υδρογραφικού δικτύου είναι η απαλοιφή όλων των βυθισμάτων του ανάγλυφου που δεν καθορίζονται από τα Coverage ως βυθίσματα (π.χ. λίμνες). Το πρόγραμμα υποθέτει ότι όσα βυθίσματα δεν ορίζονται στα Coverage είναι λάθη, αφού τα βυθίσματα είναι πάρα πολύ σπάνια στην πραγματικότητα.

Ο αλγόριθμος τονισμού του υδρογραφικού δικτύου, επιχειρεί να καθαρίσει τα βυθίσματα τροποποιώντας το DEM, λαμβάνοντας υπόψη του τις γραμμές ροής που διέρχονται από το χαμηλότερο σημείο της περιοχής γύρω από το βύθισμα. Δεν απαλείφει τα βυθίσματα που ορίζονται στα δεδομένα εισόδου. Επίσης, παραμένουν τα βυθίσματα που έχουν βάθος μεγαλύτερο από το όριο ανοχής που ορίζεται στις παραμέτρους του προγράμματος.

Πολύ καλύτερα αποτελέσματα δίνει ο αλγόριθμος όταν έχει ως πληροφορία εισόδου και το υδρογραφικό δίκτυο. Αυτό βοηθάει στο να γίνεται καλύτερος καθορισμός της θέσεως του υδρογραφικού στο DEM που παράγεται.

3) Χρήση Ισοϋψών στην Παραγωγή DEM

Οι ισοϋψείς γραμμές είναι, παραδοσιακά, ο πλέον συνηθισμένος τρόπος για την αποθήκευση και αναπαράσταση των δεδομένων υψομέτρου. Δυστυχώς, είναι επίσης και ο πλέον δύσχρηστος τύπος πληροφορίας, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί από μεθόδους παρεμβολής. Το κύριο μειονέκτημά τους, είναι η έλλειψη πληροφορίας ανάμεσα στις ισοϋψείς, κάτι που γίνεται εντονότερο σε περιοχές με ομαλό ανάγλυφο. Στην αρχή της διαδικασίας, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τις πληροφορίες που υπάρχουν στις ισοϋψείς για να χτίσει ένα γενικό μοντέλο στράγγισης. Ανιχνεύοντας τα σημεία των ισοϋψών με την μεγαλύτερη καμπυλότητα, βρίσκει τα σημεία με την πιο απότομη κλίση και έτσι δημιουργεί ένα δίκτυο που περιλαμβάνει το υδρογραφικό δίκτυο και τις κορυφογραμμές. Αυτή η πληροφορία χρησιμοποιείται για να

εξασφαλίσει τις κατάλληλες υδρογεωμορφολογικές ιδιότητες στο DEM που παράγεται, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την επαλήθευση της ακρίβειας του DEM.

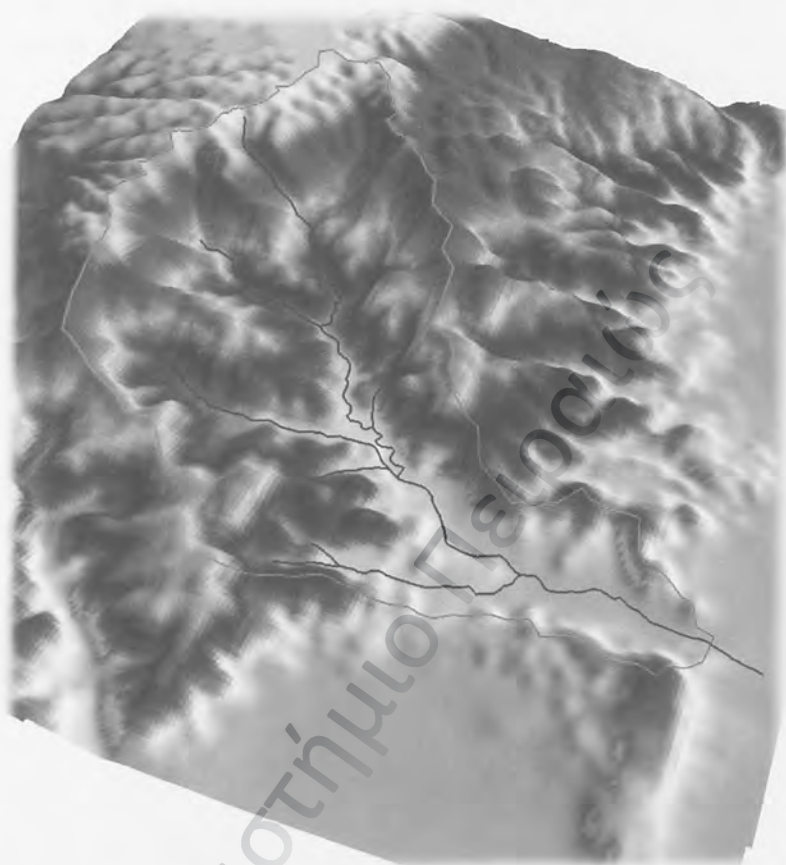
Μετά από τον καθορισμό της γενικής μορφής του ανάγλυφου, οι πληροφορίες των ισοϋψών χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό των τιμών όλων των κελιών του πλέγματος.

Όταν οι ισοϋψείς χρησιμοποιούνται για την παρεμβολή του υψομέτρου, όλες οι πληροφορίες διαβάζονται και γενικεύονται. Κατόπιν, το μέγιστο 50 τιμές διαβάζονται από αυτές τις ισοϋψείς για κάθε κελί. Στην τελική ανάλυση χρησιμοποιείται μόνο η τιμή ενός κρίσιμου σημείου για κάθε κελί. Για το λόγο αυτό, πρέπει να επιλέγεται η κατάλληλη πυκνότητα των δεδομένων εισόδου για το επιθυμητό μέγεθος κελιού ή να καθορίζεται το μέγεθος του κελιού ανάλογα με την πυκνότητα των αρχικών δεδομένων.

Επίσης πρέπει να γίνονται οι απαραίτητες διορθώσεις στα όρια των χαρτών για την αποφυγή υπερκαλύψεων ή ελλείψεων των ισοϋψών γραμμών μεταξύ τους και του υδρογραφικού δικτύου.

5.3.1.1 Χάρτης ψηφιακού μοντέλου εδάφους περιοχής μελέτης

Για την απεικόνιση του επιπέδου πληροφορίας του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου (DEM) κατασκευάστηκε ο τοπογραφικός χάρτης (Σχήμα 5.4) Στον χάρτη αυτόν έχει ληφθεί ιδιαίτερη μέριμνα για την εμφάνιση των δεδομένων με τον καλύτερο δυνατό τρόπο από πλευράς χρωμάτων και σκιών, ώστε να αποδίδεται καλύτερα η διαφορά του υψομέτρου, καθώς και η απότομη ή μη εναλλαγή αυτού, με τρόπο που να δίνεται η αίσθηση ενός πραγματικού ανάγλυφου. Αναλυτικά, αυτό επιτυγχάνεται με την απόδοση διαφορετικού χρώματος σε κάθε τιμή υψομέτρου και με την κατασκευή ενός δεύτερου Grid σκίασης (Hill shade Grid), που απεικονίζει τις σκιές του φυσικού ανάγλυφου όταν αυτό δέχεται δέσμη φωτός από φωτεινή πηγή υπό γωνία, η οποία βρίσκεται βορειοανατολικά σε σχέση με το ανάγλυφο. Από τα δύο προηγούμενα Grids, δημιουργείται μία σύνθετη ψευδοέγχρωμη εικόνα μορφής HSI (χροιά, κορεσμός, φωτεινότητα), όπου η χροιά και ο κορεσμός των χρωμάτων προέρχονται από το DEM, ενώ η φωτεινότητα προέρχεται από το Grid σκίασης.

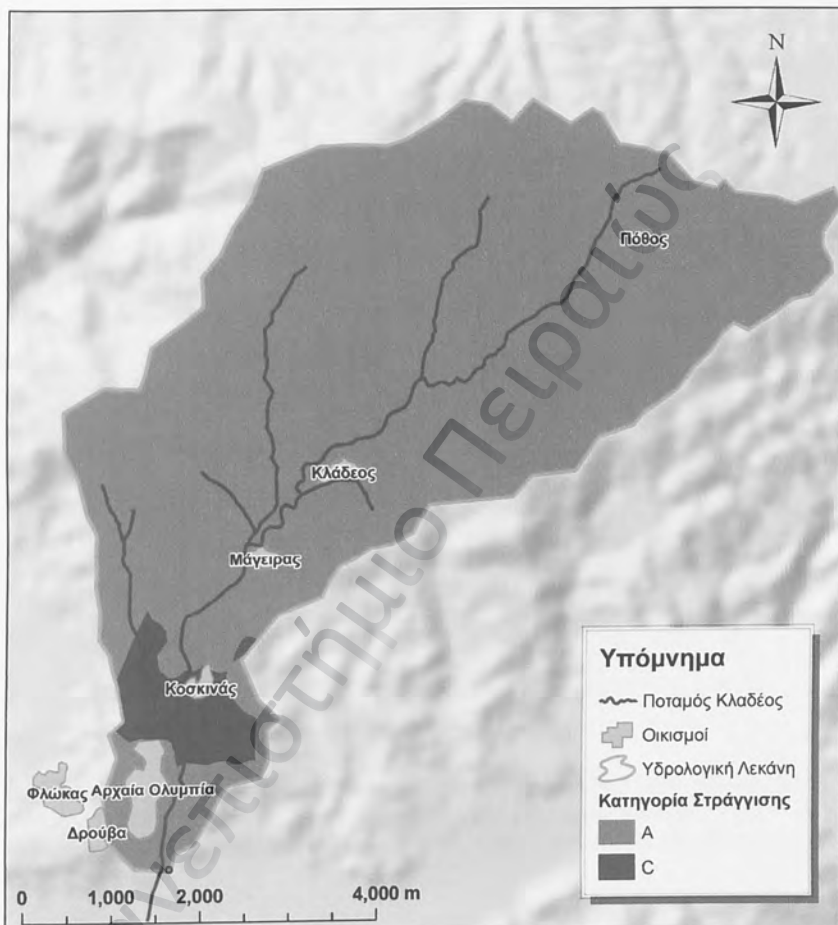


Σχήμα 5.4 DEM – Λεκάνη απορροής και υδρογραφικό δίκτυο περιοχής μελέτης (Χαρακτηριστικά διακρίνεται η σωστή χάραξη του υδροκρίτη.)

5.4 ΚΑΛΥΨΗ ΓΗΣ – ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΑΦΩΝ

Από το τμήμα εδαφολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών μας δόθηκαν στοιχεία σχετικά με την κατηγορία των εδαφών της περιοχής μελέτης (Σχήμα 5.5). Συνεπώς ακολουθώντας την παραδοχή ότι η λεκάνη απορροής είναι ολοκληρωτικά καμένη, όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο και διακρίνεται και στον ακόλουθο χάρτη (Σχήμα 5.6), προσδιορίστηκαν οι συντελεστές της μεθόδου SCS Curve Number (Κεφάλαιο 4, Πίνακας 4.3)

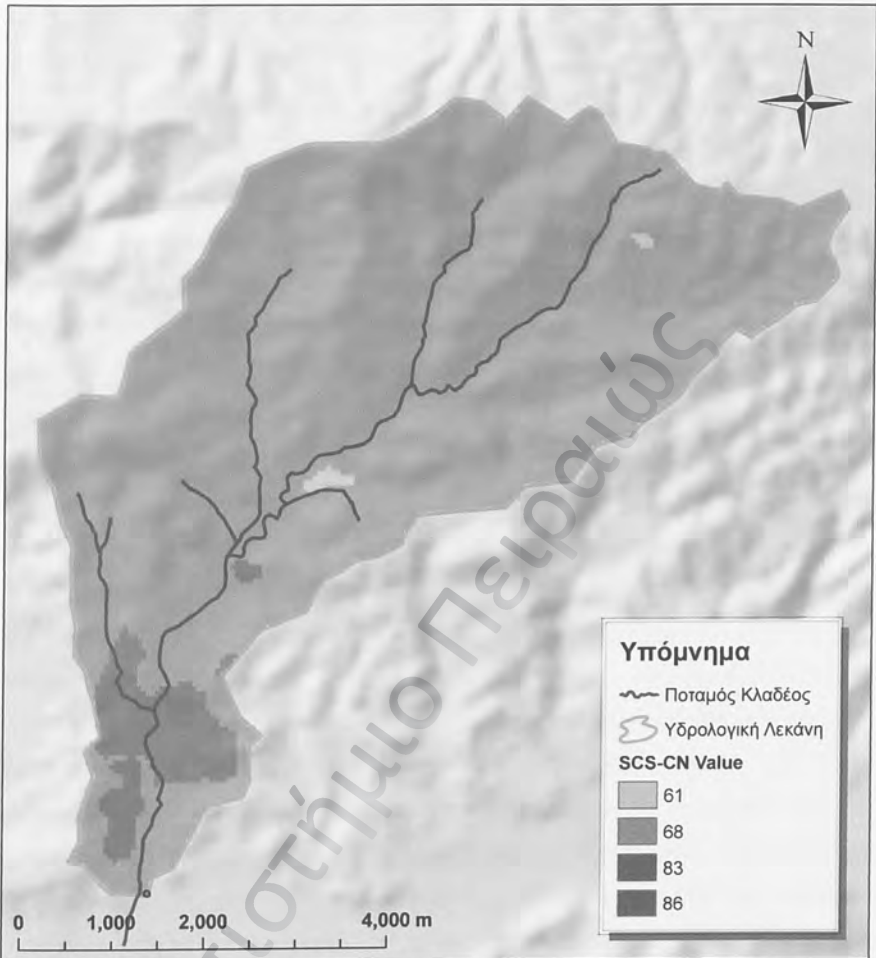
Θεωρήθηκε ότι όλη η έκταση της λεκάνης προσομοιάζεται στην παρούσα φάση με λειβάδι σε δυσμενή κατάσταση. (Στον έναν χρόνο που έχει περάσει από την πυρκαγιά έχει αναπτυχθεί χαμηλή βλάστηση) (Σχήμα 5.7)



Σχήμα 5.5 Κατηγορία εδαφών.



Σχήμα 5.6 Καμένες εκτάσεις και το υδρογραφικό δίκτυο του Νομού Ηλείας. Στο σημείο 2 βρίσκεται η συμβολή του ποταμού Κλαδέου με τον ποταμό Αλφειό. Ανάντη διακρίνεται η καμένη έκταση. (Μηλιαρέσης Χ., Γεωλογικό τμήμα Παν.Πατρών)



Σχήμα 5.7 Αριθμός καμπύλης (Curve number)

Ο υπολογισμός αριθμού καμπύλης (Curve Number, σύμφωνα με το U.S. S.C.S.) για την υπό εξέταση λεκάνη, όπου εξαρτώνται από την υδρολογική κατηγορία των εδαφών και από την κάλυψη γης, έγινε με την επικάλυψη των επιπέδων πληροφορίας της υδρολογικής κατηγορίας εδαφών και της κάλυψης γης σε μορφή πλέγματος (grid). Με τον παραπάνω τρόπο δημιουργήθηκε ένα νέο επίπεδο πληροφορίας που περιείχε ως πληροφορία σε κάθε κελί τον αριθμό καμπύλης. Η τελική τιμή του αριθμού καμπύλης για την λεκάνη, προέκυψε ως ο σταθμισμένος μέσος όρος όλων των κελιών που ανήκαν σε αυτή.

5.5 ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Το επίπεδο πληροφορίας του υδρογραφικού δικτύου, προέρχεται από τους τοπογραφικούς χάρτες κλίμακας 1:5.000, που χρησιμοποιήθηκαν και για το DEM. Οι τοπογραφικοί χάρτες ψηφιοποιήθηκαν σε ικανοποιητική ανάλυση, ώστε να ξεχωρίζει ευκρινώς το υδρογραφικό δίκτυο και εν συνεχεία έγινε διανυσματοποίηση των κυριοτέρων κλάδων του. Η **τοπολογία** που εφαρμόστηκε ήταν **τοπολογία Line** με πληροφορία διεύθυνσης. Τελικά, το αποτέλεσμα του κάθε χάρτη μετατράπηκε σε Coverage. Κατόπιν, τα παραγόμενα Coverage από τον κάθε χάρτη ενώθηκαν μεταξύ τους σε ενιαία Coverage.

Επίσης, το υδρογραφικό δίκτυο δημιουργήθηκε από το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου (DEM), αυτόματα, με τη χρήση μιας σειράς κατάλληλων εντολών. Με αυτόν τον τρόπο, επιτυγχάνεται καλύτερη σύμπτωση του υδρογραφικού δικτύου με το DEM, αφού αυτό δημιουργείται κατ' ευθείαν από το ψηφιακό μοντέλο ανάγλυφου και αποφεύγονται έτσι τα πιθανά λάθη αποτύπωσης του υδρογραφικού δικτύου που υπάρχουν στους πρωτογενείς τοπογραφικούς χάρτες. Έτσι, δημιουργείται αρχικά ένα Grid υδρογραφικού δικτύου, το οποίο ακολούθως μετατρέπεται σε Coverage.

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω μεθοδολογία, θεωρητικώς θα μπορούσε να αποφευχθεί η επίπονη διαδικασία της διανυσματοποίησης του υδρογραφικού δικτύου.

Για τη συγκεκριμένη όμως μελέτη, η δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου μέσω διανυσματοποίησης κρίθηκε απαραίτητη για την σύγκριση των δύο υδρογραφικών δικτύων μεταξύ τους και με αυτό τον τρόπο την αποφυγή λαθών που προέρχονται κυρίως από κατασκευαστικά έργα (αρδευτικά, στραγγιστικά έργα εκτροπής, κλπ.), που δεν λαμβάνονται υπόψη με την μεθοδολογία της αυτόματης δημιουργίας του υδρογραφικού δικτύου, μέσω του ψηφιακού μοντέλου ανάγλυφου. Επίσης, άλλη μία αναγκαιότητα της διανυσματοποίησης του υδρογραφικού δικτύου των τοπογραφικών χαρτών προκύπτει από το ότι η παραπάνω διαδικασία της αυτόματης δημιουργίας του μέσω του DEM, ενώ δίνει πολύ καλά αποτελέσματα στα τμήματα με έντονο ανάγλυφο, δεν δίνει αντίστοιχα καλά αποτελέσματα στα πεδινά τμήματα.

Έτσι, για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου του υδρογραφικού δικτύου χρησιμοποιήθηκε κυρίως το υδρογραφικό δίκτυο που προήλθε από το DEM αλλά και σε αρκετές θέσεις - περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε το υδρογραφικό δίκτυο που προήλθε από την διανυσματοποίηση των τοπογραφικών χαρτών. Αυτό, έγινε με κατάλληλες τομές του Coverage του διανυσματοποιημένου υδρογραφικού δικτύου

και με ένωσή τους στο Coverage του υδρογραφικού δικτύου που παράχθηκε από το Grid. Τέλος, έγιναν οι απαραίτητες διορθώσεις στα σημεία των ενώσεων των δύο υδρογραφικών δικτύων.

Τεχνικά χαρακτηριστικά Ψηφιακού Μοντέλου Υδρογραφικού Δικτύου:

- Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς (Projection): ΕΓΣΑ87
- Τύπος Αρχείου (Data type): Arc Info Coverage
- Τοπολογία: Line
- Πεδία Γεωγραφικής Βάσης: Length (Μήκος), From, To (Φορά)

Στον τοπογραφικό χάρτη (Σχήμα 3.2), γίνεται και η απεικόνιση του επιπέδου πληροφορίας του ψηφιακού μοντέλου του υδρογραφικού δικτύου.

Με αυτό τον τρόπο με απλή διαδικασία μέσα από το πρόγραμμα ArcView υπολογίστηκε το μήκος του υδατορεύματος και η κλίση αυτού.

5.6 ΛΟΙΠΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΙΣΟΔΟΥ ΣΤΟ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ

Επίσης, μέσω της γεωγραφικής βάσης δεδομένων που δημιουργήθηκε για την παραγωγή, διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων εισόδου του υδρολογικού μοντέλου HEC-1, υπολογίστηκαν και διάφορες άλλες γεωμορφολογικές παράμετροι για την λεκάνη. Έτσι, προέκυψε ότι η συνολική έκταση της λεκάνης απορροής του ποταμού Κλαδέου είναι 33,24 Km², η μέση εδαφική κλίση εμφανίζεται με τιμή 17%. Τέλος, η μέση τιμή του αριθμού καμπύλης CN είναι 69.

Τέλος από τις όμβριες καμπύλες που υπολογίστηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο, εξήχθησαν δεδομένα ύψους βροχής για διάρκειες D= 10,15,30 min 1,2,6,12 h και για περιόδους επαναφοράς T=5, 50, 500 και 5000 έτη σύμφωνα με την βασική σχέση :

$$R = i \times D$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ
HEC-1 ΣΤΗΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗ
ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ HEC-1 ΣΤΗΝ ΥΠΟ ΕΞΕΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Το υδρολογικό μοντέλο HEC-1, ενώ είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα για την ανάλυση πλημμυρικών απορροών, στην αρχική του μορφή είναι εξαιρετικά δύσχρηστο λόγω του γεγονότους ότι χαρακτηρίζεται από μεγάλο αριθμό παραμέτρων, οι οποίες απαιτούν σημαντική εμπειρία και χρόνο για την σωστή κατάστρωση και βαθμονόμησή τους. Όμως, αρκετές σε βάθος διερευνήσεις έχουν δείξει ότι για την ικανοποιητική μαθηματική αναπαράσταση των υδρολογικών διεργασιών αρκεί ένας μικρός αριθμός παραμέτρων (τρεις έως πέντε), ενώ η προσθήκη μεγάλου αριθμού παραμέτρων σε υδρολογικά μοντέλα έχει χαρακτηριστεί ως «υπερπαραμετροποίηση» (overparameterization). Εξάλλου, όπως πρόσφατα έχει διαπιστωθεί σε εφαρμογές υδρολογικών μοντέλων στην πράξη, είναι συνήθως αρκετή η χρήση ενιαίων τιμών για τις παραμέτρους σε όλο το χώρο της υδρολογικής λεκάνης, ακόμα και όταν το μοντέλο είναι κατανεμημένο (distributed) ή ημι-κατανεμημένο (semi-distributed). Με αυτήν την παραδοχή, λαμβάνοντας υπόψιν και το μικρό μέγεθος της λεκάνης απορροής του ποταμού Κλαδέου, χρησιμοποιήθηκαν εννιαίοι παράμετροι για όλη την έκταση αυτής.

6.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΙΔΕΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

Το μοντέλο Graphical HEC-1, διαθέτει πολλές μεθόδους όσον αφορά στην προσομοίωση των υδρολογικών διαδικασιών για την εκτίμηση της πλημμυρικής απορροής, όπως αναλυτικά περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 4. Έτσι, δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να πειραματιστεί ανάμεσα στις μεθόδους αυτές και να επιλέξει τελικά τη μέθοδο που θα οδηγήσει σε ικανοποιητικότερα αποτελέσματα.

Παρακάτω, αναφέρονται επιγραμματικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή του υδρολογικού μοντέλου HEC-1 στην περιοχή μελέτης, δηλαδή, στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κλαδέου:

- I. Δημιουργία ιδεατού μοντέλου της λεκάνης απορροής
- II. Εισαγωγή δεδομένων που αφορούν το μοντέλο της λεκάνης (Basin Model)
- III. Εισαγωγή δεδομένων που αφορούν το μοντέλο κατακρήμνισης (Precipitation Model)
- IV. Εισαγωγή παραμέτρων ελέγχου
- V. Εκτέλεση του υδρολογικού μοντέλου
- VI. Αποτελέσματα

Στις επόμενες ενότητες περιγράφονται αναλυτικά όλα τα βήματα εφαρμογής του υδρολογικού μοντέλου HEC-1, καθώς και οι τρόποι και οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των απαιτούμενων, από το μοντέλο, υδρολογικών παραμέτρων.

Η δημιουργία ενός ιδεατού μοντέλου μίας υδρολογικής λεκάνης είναι, όπως έχει αναφερθεί και στο Κεφάλαιο 4, η διαίρεση της λεκάνης σε υπολεκάνες οι οποίες χαρακτηρίζονται από ομοιομορφία, όσον αφορά στη μορφολογία του εδάφους και στα τοπογραφικά τους χαρακτηριστικά, καθώς και από την ύπαρξη ενός κυρίου υδατορεύματος μέσω του οποίου θα γίνεται η ροή των υδάτων προς την έξοδο κάθε υπολεκάνης. Στην περίπτωση μας τα πράγματα απλοστεύονται διότι η υπό εξέταση περιοχή αποτελείται από μία λεκάνη απορροής.

Το μοντέλο HEC-1, διαθέτει εργαλεία και σύμβολα τα οποία αναπαριστούν τα επιμέρους στοιχεία και τις επιμέρους υδρολογικές διαδικασίες που συνιστούν την υδρολογική λεκάνη (υπολεκάνες, παραποτάμους, λίμνες ή ταμιευτήρες, συμβολές παραποτάμων κλπ.). Στο παρακάτω σχήμα, παρουσιάζονται τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία του ιδεατού μοντέλου μίας λεκάνης.



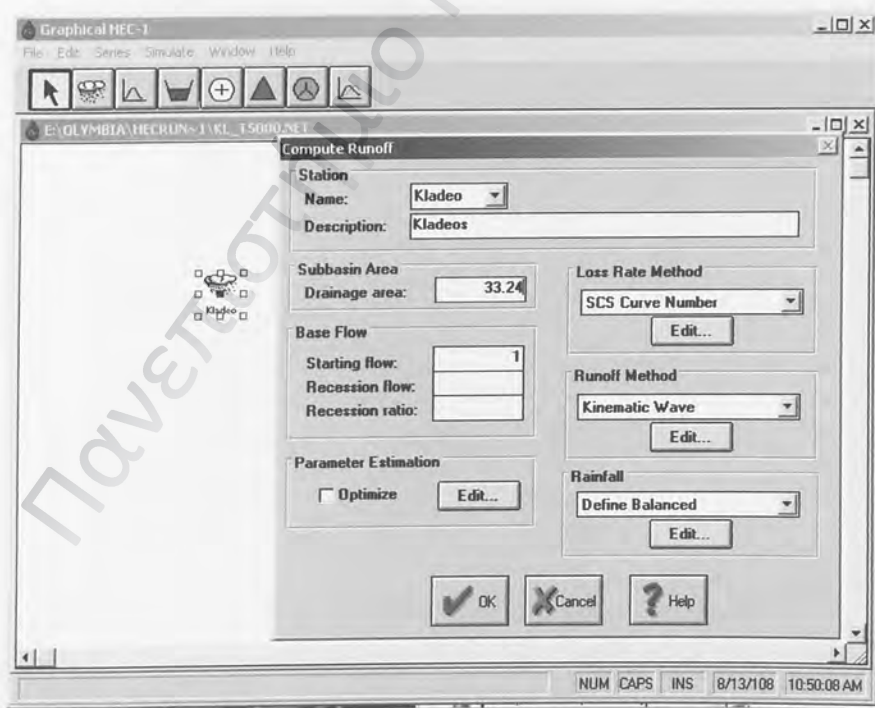
Σχήμα 6.1 Σύμβολα που χρησιμοποιούνται στο ιδεατό μοντέλο.

6.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ

Μετά τη δημιουργία του ιδεατού μοντέλου της λεκάνης απορροής, επόμενο βήμα είναι η εισαγωγή των δεδομένων εισόδου, για το κάθε επιμέρους στοιχείο της υδρολογικής λεκάνης.

ΛΕΚΑΝΗ

Επιλέγοντας το εικονίδιο που αναπαριστά την κάθε λεκάνη, προκύπτει το περιβάλλον του προγράμματος όπου ο χρήστης καλείται να εισάγει στοιχεία σχετικά με αυτή. Το πρώτο βήμα, είναι η εισαγωγή ενός κωδικού ονόματος. Στην συνέχεια, καλείται να περιγράψει την λεκάνη (description), όπου στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιείται το όνομα του κύριου υδατορεύματος που τη διασχίζει και τέλος εισάγεται το εμβαδόν της (drainage area) σε km^2 .



Σχήμα 6.2 Περιβάλλον εισαγωγής στοιχείων λεκάνης.

Εν συνεχεία εισήχθησαν στο μοντέλο ύψη βροχής για συγκεκριμένες διάρκειες κατακρημνίσματος και για τα έτη επαναφοράς 5,50,500 και 5000 ετών όπως προαναφέρθηκε στην υδρολογική ανάλυση της περιοχής.

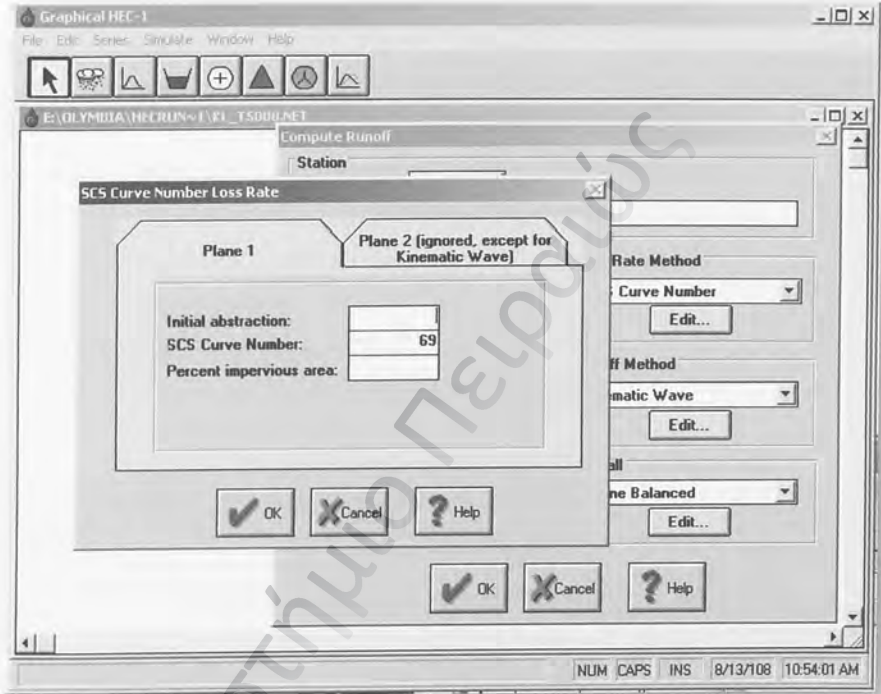
Πίνακας 9

Υδρολογικά στοιχεία

T	D (h)	I (mm/h)	R (mm)
5	0,083333	161,187	13,43
5	0,25	73,96921	18,49
5	1	27,68155	27,68
5	2	16,93402	33,87
5	3	12,70315	38,11
5	6	7,771077	46,63
5	12	4,75391	57,05
50	0,083333	213,9587	17,83
50	0,25	98,18632	24,55
50	1	36,74434	36,74
50	2	22,47813	44,96
50	3	16,86209	50,59
50	6	10,31528	61,89
50	12	6,310314	75,72
500	0,083333	284,0076	23,67
500	0,25	130,332	32,58
500	1	48,77423	48,77
500	2	29,83735	59,67
500	3	22,38265	67,15
500	6	13,69245	82,15
500	12	8,376275	100,52
5000	0,083333	376,9901	31,42
5000	0,25	173,0019	43,25
5000	1	64,74265	64,74
5000	2	39,60593	79,21
5000	3	29,7106	89,13
5000	6	18,17528	109,05
5000	12	11,11862	133,42

Επόμενο βήμα, είναι η επιλογή της μεθόδου σχετικά με το ρυθμό απωλειών (Loss Rate Method). Στην παρούσα μελέτη, έγινε επιλογή της μεθόδου SCS Curve Number, όπου εισάγεται η τιμή του αριθμού καμπύλης (CN). Ο υπολογισμός του αριθμού της καμπύλης βασίζεται στον Πίνακα 4 (όπως προαναφέρθηκε θεωρήθηκε ότι η καμένη λεκάνη απορροής προσομοιάζεται με λειβαδική έκταση σε δυσμενή κατάσταση) σε

συνδυασμό με πληροφορίες που εξήχθησαν από τους χάρτες γαιών που αφορούν την υδρολογική κατηγορία εδάφους και πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια των Γ.Π.Σ. όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5 (Σχήμα 5.7)



Σχήμα 6.3 Εισαγωγή αριθμού καμπύλης SCS.

Στο σημείο αυτό, πρέπει να αναφερθεί ότι η επιλογή της μεθόδου SCS CN έγινε με τη λογική ότι η συγκεκριμένη μέθοδος είναι ευρέως διαδεδομένη και οι παράμετροι αυτής προσδιορίζονται από τα χαρακτηριστικά της περιοχής. Επίσης τα στοιχεία που ήταν διαθέσιμα, καθώς και τα δεδομένα που εύκολα μπορούσαν να εξαχθούν από τα ΓΠΣ, προσαρμόζονταν στην εν λόγω μέθοδο, ενώ για παράδειγμα στην μέθοδο Green – Ampt έπρεπε αναγκαστικά να εισαχθούν στοιχεία, όπως η τιμή της υδραυλικής αγωγιμότητας K (mm/hr) και το ποσοστό αδιαπερατότητας του εδάφους, τα οποία όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό ήταν δύσκολο να εκτιμηθούν.

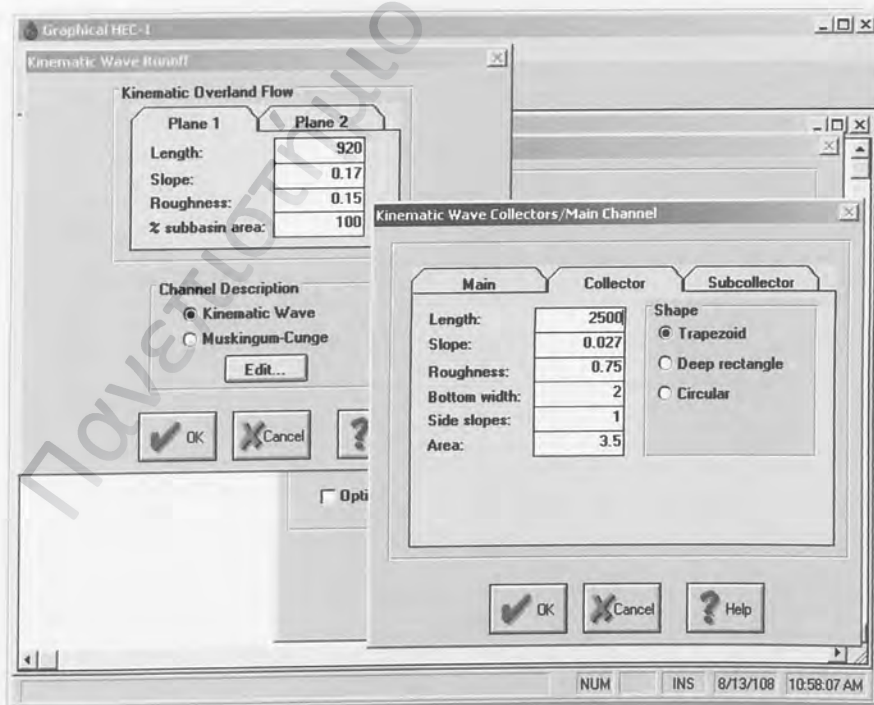
Για την διόδευση της ωφέλιμης βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του κινηματικού κύματος η οποία είναι μια σύγχρονη μέθοδος που ταιριάζει σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο.

KINEMATIC WAVE

Για την χρησιμοποίηση της μεθόδου του Κινηματικού Κύματος απαιτείται ο υπολογισμός διαφόρων παραμέτρων που αφορούν την επιφανειακή ροή, τη ροή δια μέσω των συλλεκτήριων καναλιών και τη ροή μέσω του κυρίου καναλιού.

Για την επιφανειακή ροή (overland flow) υπολογίστηκαν τα ακόλουθα.

1. Μήκος επιφανειακής ροής (Length) σε m
2. Κλίση εδάφους (Slope)
3. Συντελεστής Τραχύτητας, n (Roughness)
4. Ποσοστό αποστραγγιζόμενης έκτασης της υπολεκάνης



Σχήμα 6.3 Εισαγωγή στοιχείων μεθόδου Kinematic Wave και χαρακτηριστικών κύριου υδατορεύματος (ποταμού Κλαδέου)

Επίσης χρειάστηκε να υπολογίσουμε τις αναγκαίες παραμέτρους και για το βασικό κανάλι συλλογής (collector channel) αλλά και τα δευτεύοντα (παραπόταμοι).

Αναλυτικά υπολογίστηκαν τα εξής:

1. Μήκος καναλιού συλλογής (Length) σε m
2. Κλίση καναλιού συλλογής (Slope)
3. Συντελεστής Τραχύτητας, n (Roughness)
4. Πλάτος πυθμένα του καναλιού συλλογής (Bottom width) σε m
5. Κλίση πρανών (Side slopes)
6. Σχήμα διατομής του καναλιού συλλογής (Shape)

Πρέπει να αναφερθεί ότι το μήκος της επιφανειακής ροής του καναλιού καθώς και η μέση κλίση υπολογίστηκαν με την βοήθεια των Γ.Π.Σ. ενώ η τραχύτητα υπολογίστηκε με βάση τον παρακάτω Πίνακα 10:

Πίνακας 10

Τραχύτητα (n) από το AASHTO MODEL DRAINAGE MANUAL

<i>Surface Description</i>	<i>n^1</i>
Smooth surfaces-concrete, asphalt, gravel, or bare soil (compacted)	0.011
Fallow-no residue (non compacted bare, plowed soil)	0.05
Cultivated soils:	
Residue cover \leq 20%	0.06
Residue cover \geq 20%	0.17
Grasses:	
Short grass prairie	0.15
Dense grasses	0.24
Bermuda grass	0.41
Range (natural)	0.13
Woods:	
Light underbrush	0.40
Dense underbrush	0.80

Το μήκος και η κλίση του κάθε καναλιού εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια των ΓΠΣ, όπως αναλυτικά περιγράφηκε στο Κεφάλαιο 5. Το πλάτος του πυθμένα καθώς και η κλίση

των πρανών εκτιμήθηκαν προσεγγιστικά, βάσει παρατηρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί στην περιοχή μελέτης (Εικόνα 6.1), ενώ σαν σχήμα διατομής των υδατορευμάτων επιλέχθηκε το τραπεζοειδές (Trapezoid) για το κύριο υδατόρευμα (ποταμό Κλαδέο) και το ορθογωνικό (Deep rectangle) για τους παραποτάμους (χειμάρους). Τέλος, ο συντελεστής τραχύτητας εκτιμήθηκε με βάση τον Πίνακα 11 όπου και εκτιμήθηκαν οι σχετικοί μορφολογικοί παράγοντες.



Σχήμα 6.4 Εισαγωγή στοιχείων παραποτάμων.

Πίνακας 11
Προσδιορισμός συντελεστή τραχύτητας

Channel conditions $n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3)m$	Values	
a. Material involved	Earth	0.020
	Rock cut	0.025
	Fine gravel	n_0 0.024
	Coarse gravel	0.028
b. Degree of irregularity	Smooth	0.000
	Minor	0.005
	Moderate	n_1 0.010
c. Relative effect of obstruction	Severe	0.020
	Negligible	0.000
	Minor	n_2 0.010–0.015
d. Vegetation	Appreciable	0.020–0.030
	Severe	0.040–0.060
	Low	0.005–0.010
	Medium	0.010–0.025
e. Degree of meandering	High	n_3 0.025–0.050
	Very high	0.050–0.100
	Minor	m 1.000
	Appreciable	1.150
	Severe	1.300

Source: U.S. Department of Transportation, 1985, and W.L. Cowan, 1956.

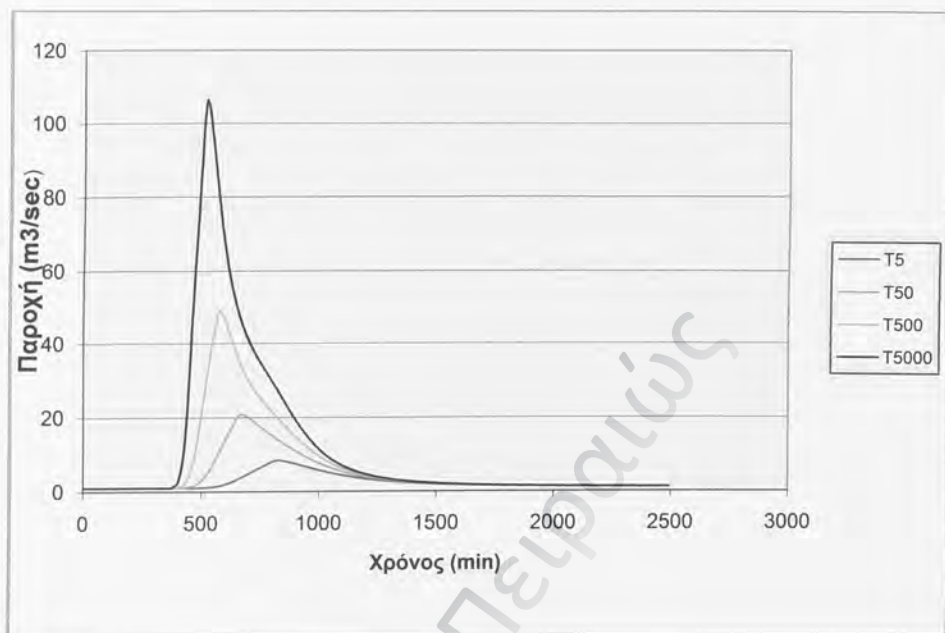


Εικόνα 6.1 Άποψη ποταμού Κλαδέου από την γέφυρα στην Αρχαία Ολυμπία.

6.2 ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Μετά το πέρας της εισαγωγής των προαναφερθέντων παραμέτρων ακολουθεί η τελική εκτέλεσή του κάνοντας χρήση της επιλογής Simulate από το βασικό μενού του προγράμματος.

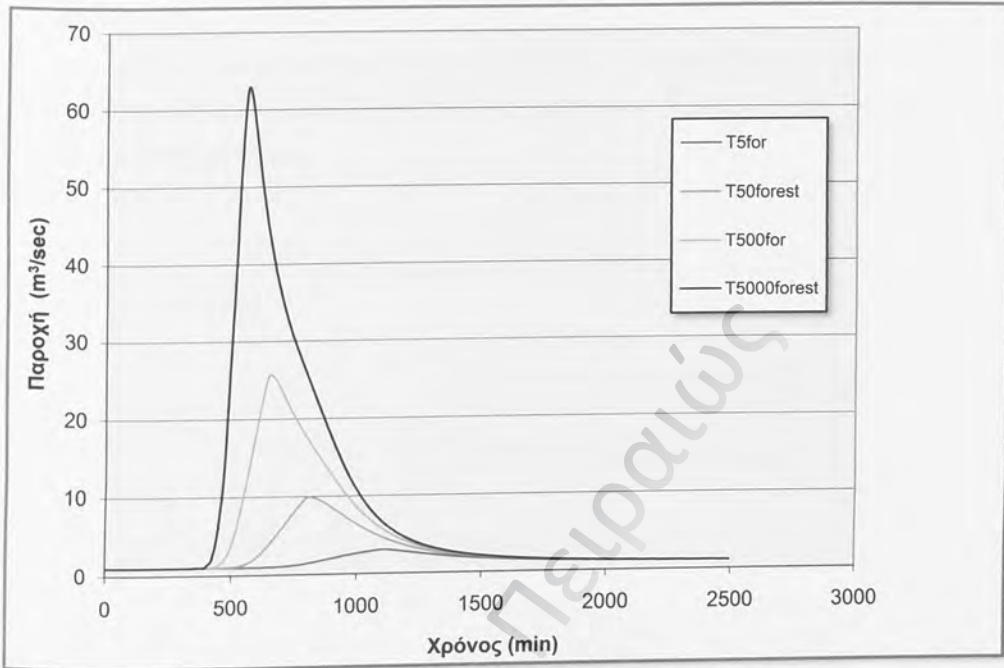
Τελειώνοντας τη διαδικασία εκτέλεσης του μοντέλου δημιουργείται διάγραμμα για τις τέσσερις περιόδους αναφοράς που αποικονίζει την παροχή που προκύπτει από την εφαρμογή του μοντέλου για τον αρχικό αριθμό καμπύλης (CN number).



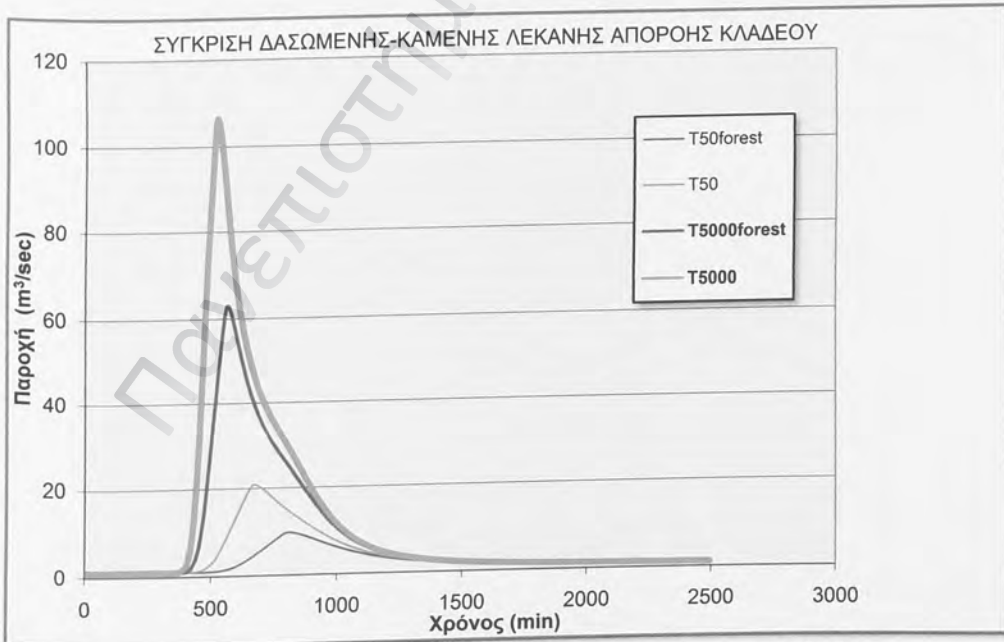
Διάγραμμα 1. Εφαρμογή του μοντέλου για καμένη λεκάνη απορροής.

Εν συνεχεία θεωρήθηκε ότι η λεκάνη απορροής δεν έχει πληγεί από την φωτιά και με την διαδικασία που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο υπολογίστηκε ο αριθμός καμπύλης $CN = 61$ (Για δάσος μέτριας κατάστασης) και ξαναεκτελέστηκε το μοντέλο. Όλες οι καμπύλες ξεκινούν από την τιμή του $1\text{m}^3/\text{sec}$ γιατί θεωρήθηκε ότι στο ποτάμι ρέει αυτό το ελάχιστο νερό. (Starting flow)

Συγκρίνοντας τα δύο διαγράμματα παρατηρούμε την διαφορά στις μέγιστες τιμές τις απορροής με σχεδόν **διπλάσιες τιμές** στην περίπτωση της καμένης λεκάνης, καθώς και την χρονική διάρκεια της εξέλιξης του φαινομένου όπου στην περίπτωση της δασωμένης λεκάνης οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται πιο καθυστερημένα σε σχέση με την καμένη. Τέλος άλλη μία βασική παρατήρηση είναι ότι στην δασωμένη λεκάνη οι καμπύλες δεν είναι τόσο απότομες όσο στην καμένη πράγμα που δείχνει την ομαλότερη εξέλιξη του φαινομένου. (Μεγαλύτερη διάρκεια με μικρότερα μέγιστα).

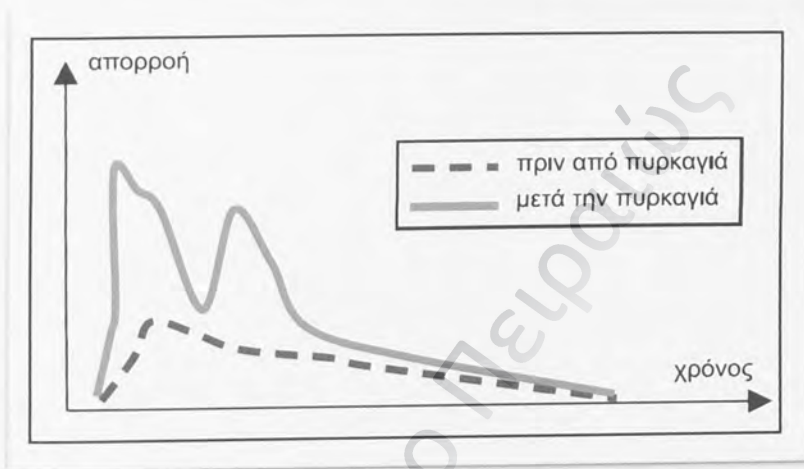


Διάγραμμα 2. Εφαρμογή του μοντέλου για δασωμένη λεκάνη απορροής.



Διάγραμμα 3. Σύγκριση δασωμένης με καμένη λεκάνη απορροής ποταμού Κλαδέου

Αξίζει τέλος να σημειωθεί ότι έπειτα από εξέταση υδρογραφημάτων απορροών σε πυρόπληκτες λεκάνες αυτά εκτός ότι παρουσιάζονται πολύ πιο απότομα, με γρήγορη άνοδο, μεγαλύτερη αιχμή και απότομη μείωση της ροής, **πολλές φορές εμφανίζουν και μια δεύτερη αιχμή**.



Σχήμα 6.5 Οι πλημμυρικές αιχμές σε ένα δάσος πριν και μετά από μια πυρκαγιά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε μια προσπάθεια παρουσίασης των επιπτώσεων, κυρίως υδρολογικών, μίας τυρόπληκτης λεκάνης απορροής με περιοχή μελέτης την υδρολογική λεκάνη του Ποταμού Κλαδέου με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών και του υδρολογικού μοντέλου HEC-1. Τα αποτελέσματα που εξήχθησαν μας οδηγούν στην λήψη αναγκαίων μέτρων για την αποφυγή των δυσμενών επιπτώσεων που προαναφέρθηκαν.

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ολοκληρωμένες προτάσεις μέτρων και έργων για την εξομάλυνση των επιπτώσεων από πλημμύρες σε καμένες λεκάνες απορροής δεν μπορούν να δοθούν. Αντίθετα όμως, υπάρχει σημαντικός αριθμός περιπτώσεων όπου μία ή και περισσότερες κατηγορίες μέτρων και έργων εφαρμόστηκαν και αξιολογήθηκαν σε καμένες λεκάνες ανά τον κόσμο, ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες κάθε λεκάνης.

Ειδικότερα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη:

- Μια καμένη λεκάνη απορροής είναι ιδιαίτερα εύθραυστη και κάθε επέμβαση κατακερματίζει τα συσσωματώματα του εδάφους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία εδαφικού υλικού, εύκολα μεταφερόμενου με επιφανειακή απορροή.
- Σε κάθε υδρολογική λεκάνη μόνο ορισμένες θέσεις συμβάλλουν στη δημιουργία της πλημμυρικής απορροής από ένα επεισόδιο βροχής. Οι θέσεις αυτές πρέπει να εντοπίζονται και σε αυτές να επικεντρώνεται η κατασκευή των έργων.
- Το σύνολο των μέτρων και έργων σε καμένες λεκάνες απορροής, υπάγονατα στην κατηγορία των “προσωρινών” και επομένως θα πρέπει η αποτελεσματικότητά τους να παραμένει σε ισχύ τουλάχιστον μέχρι την αποκατάσταση της βλάστησης.
- Το κόστος εξομάλυνσης των επιπτώσεων από πλημμύρες μιας καμένης λεκάνης απορροής είναι πολύ υψηλό και γι’ αυτό θα πρέπει να καταβάλλεται ιδιαίτερη προσπάθεια ώστε να χρησιμοποιούνται υλικά από την ίδια ή κοντινότερη περιοχή.



Σχήμα 7.1 Πιθανές θέσεις έργων

Τα μέτρα και έργα σε μία ορεινή λεκάνη απορροής μετά από πυρκαγιά έχουν ως σκοπό την εξάλειψη ή το μετριασμό των πλημμυρικών επιπτώσεων τόσο στο ορεινό όσο και στο αντίστοιχο πεδινό της τμήμα.

Εδικότερα οι επεμβάσεις στοχεύουν :

- Στην αποφυγή δημιουργίας εκτεταμένης επιφανειακής απορροής και διάβρωσης του εδάφους στις πλαγιές της λεκάνης από ισχυρή βροχόπτωση.
- Στην προστασία της κοίτης των υδατορευμάτων από διάβρωση και εκσκαφή και στη δημιουργία συνθηκών απόθεσης φερτών υλών.
- Στην ταμίευση όσο το δυνατόν μαγαλύτερου όγκου νερού και στη συγκράτηση υγρασίας από το έδαφος των πλαγιών και της κοίτης των υδατορευμάτων, για τη μείωση των πλημμυρικών παροχών στο στόμιο της λεκάνης.
- Στη δημιουργία ευνοικών συνθηκών αποκατάστασης της βλάστησης.

7.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΡΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ

7.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΜΕΤΡΑ ΚΑΙ ΕΡΓΑ

Τα βασικά γενικά μέτρα που πρέπει να παρθούν είναι:

- Πλήρης απαγόρευση της βοσκής για προστασία της νέας βλάστησης και αποφυγή κατακερματισμού του καμένου εδάφους.
- Κύρηξη της περιοχής αναδασωτέας.
- Αποφυγή διάνοιξης νέων δρόμων για να μην δημιουργηθούν καινούριες εστίες παραγωγής φερτών υλών.
- Συντήρηση – βελτίωση του αποστραγγιστικού δικτύου των υπάρχοντων δρόμων, όπου η επιφανειακή απορροή από τα πρηνή και το κατάστρωμα ρέει ανεξέλεγκτα και μπορεί να δημιουργήσει νέες κοίτες αυλάκων ή και υδατορευμάτων, στα κατάντη κάθε θέσης του δρόμου, όπου το επιτρέπουν οι τοπογραφικές συνθήκες και το κατάστρωμα.
- Αποφυγή μετατόπισης της καμένης ξυλείας δια σύρσεως.

7.2.2 ΒΙΟΛΟΓΙΚΑ ΕΡΓΑ

Στα βιολογικά έργα υπάγονται η σπορά και η φύτευση των καμένων λεκανών απορροής. Τα μέτρα αυτά έχει παρατηρηθεί ότι υπολείπονται σημαντικά σε αποτελεσματικότητα κατά των πλημμυρών, σε σχέση με την φυσική εμφάνιση και εξέλιξη της βλάστησης και γι αυτό δεν πρέπει να συνιστώνται. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις όπου η σπορά ή η φύτευση επιβάλλεται και κυρίως εκεί όπου η φυσική επανεγκατάσταση της βλάστησης είναι αβέβαιη και προβληματική (π.χ σε άγονα-βραχώδη εδάφη, σε θέσεις με απότομες κλίσεις κ.α)

7.2.3 ΑΓΡΟΤΕΧΝΙΚΑ - ΤΕΧΝΙΚΑ ΕΡΓΑ

Τα έργα αυτά έχουν ως σκοπό την αποφυγή εμφάνισης επιφανειακής απορροής ή την μετατροπή αυτής σε υπεδάφια, την προστασία του εδάφους από τη διάβρωση, τη δημιουργία ευνοικών συνθηκών για την ανάπτυξη της νέας βλάστησης και την συγκράτηση φερτών υλών.

Τα κυριότερα από τα έργα που εκτελούνται στις πλαγιές μιας λεκάνης απορροής είναι:

- Κορμοδέματα

Τα κορμοδέματα χρησιμοποιούνται σε πολλές λεκάνες απορροής της Ελλάδας από το 1995. Αυτά κατασκευάζονται στις θέσεις τροφοδοσίας των υδατορευμάτων δηλαδή στις θέσεις εκατέρωθεν και κατά μήκος των υδατορευμάτων και κυρίως εκείνων που βρίσκονται στο στόμιο της λεκάνης. (Στην περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας η θέση αυτή βρίσκεται στον αρχαιολογικό χώρο της Αρχαίας Ολυμπίας)

Η τακτική κατασκευής κορμοδεμάτων σε ολόκληρη την επιφάνεια της λεκάνης δεν συνιστάται, αφού εκτός από οικονομική επιβάρυνση των έργων, πολλά από αυτά δεν έχουν θετικό αποτέλεσμα στην ελάφρυνση των πλημμυρικών φαινομένων. Δεν κρίνεται σκόπιμο στα πλαίσια της παρούσας εργασίας πέραν της αναφοράς να συμπεριληφθούν λεπτομέρειες σχετικά με τον τρόπο κατασκευής των έργων αυτών.



Εικόνα 7.1 Κατασκευή κορμοδεμάτων στην Αρχαία Ολυμπία.

- Τοίχοι από ξηρολιθοδομη

Οι τοίχοι αυτοί κατασκευάζονται παράλληλα προς τις χωροσταθμικές καμπύλες και η επιλογή τους ως μέτρο προστασίας καθορίζεται κυρίως από την ύπαρξη διαθέσιμων λίθων στην περιοχή. Οι θέσεις κατασκευής τους στη καμένη λεκάνη καθορίζονται με τα κριτήρια των κορμοδεμάτων και πλεονεκτούν έναντι αυτών αφού παρουσιάζουν μεγάλη ελαστικότητα και λόγω της μεγάλης διάρκειας εκπληρούν τον προστατευτικό τους σκοπό μετά και από νέα πυρκαγιά.

Λόγω έλλειψης λίθων σε μια καμένη λεκάνη απορροής και ανάλογα με την σπουδαιότητα της κατάντη περιοχής για προστασία, παρόμοιοι τοίχοι είναι δυνατόν να κατασκευασθούν με σάκους άμμου, σκύρων κ.τ.λ.

- Υλοτομία

Υλοτομία των καμένων δέντρων, ρήψη κατά τις χωροσταθμικές καμπύλες, πλήρης αποκλάδωση και παραμονή του υλικού στο έδαφος.

7.2.4 ΕΡΓΑ ΣΤΟ ΥΔΡΟΓΡΑΦΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΚΑΜΕΝΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ

Αυτά έχουν ως σκοπό την προστασία του πυθμένα και των πρηνών της κοίτης των υδατορευμάτων από διάβρωση και εκσκαφή καθώς και την απόθεση-συγκράτηση φερτών υλών. Οι κυριότερες κατηγορίες των έργων στο υδρογραφικό δίκτυο είναι:

1. Φράγματα από κορμούς καμένων δέντρων (κορμοφράγματα) Εικόνα 2.
2. Φράγματα από ξηρολιθοδομή
3. Φράγματα από συρματοκιβώτια (ζαρζανέτια)
4. Φράγματα από σκυρόδεμα



Εικόνα 7.2 Κατασκευή κορμοφραγμάτων στην περιοχή της Αρχαίας Ολυμπίας.

7.3 ΥΛΟΠΟΙΗΘΕΝΤΑ ΕΡΓΑ ΣΤΗΝ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΠΟΤΑΜΟΥ ΚΛΑΔΕΟΥ

Τα έργα στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής του ποταμού Κλαδέου, έπειτα από την καταστροφική πυρκαγιά του Αυγούστου του 2007, επικεντρώθηκαν στην περιοχή της Αρχαίας Ολυμπίας (κάηκε σε ποσοτό 80-100%) λόγω της μεγάλης ιστορικής-αρχαιολογικής σημασίας αλλά και στο γεγονός ότι ο χώρος έχει μεγάλη επισκεψιμότητα και εκεί πραγματοποιούνται διάφορες παγκοσμίας εμβέλειας εκδηλώσεις (όπως η τελετή αφής Ολυμπιακής φλόγας).

Οι κύριοι χώροι παρέμβασης, έκτασης 500 στρεμμάτων (0,5km²), αφορούσαν στους λόφους Κρόνιο (κάηκε σε ποσοστό 95-98%), Ζούνη και Καλόσακα, στον αύλειο

χώρο του Νέου Αρχαιολογικού Μουσείου, στο μνημείο Pierre de Coubertin, στην διαδρομή από το μουσείο μέχρι το εν λόγω μνημείο και στον περιβάλλοντα χώρο της Διεθνούς Ολυμπιακής Ακαδημίας.

Ειδικότερα σε ό,τι αφορά στα έργα προστασίας του εδάφους, οι εργασίες άρχισαν με την κατασκευή αντιδιαβρωτικών- αντιπλημμυρικών έργων ειδικών προδιαγραφών κορμοδεμάτων και ξυλοφραγμάτων, απόλυτα προσαρμοσμένων στο ανάγλυφο του εδάφους, την αισθητική του τοπίου και τις απαιτήσεις του αρχαιολογικού χώρου.

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην αισθητική αποκατάσταση του τοπίου στον αρχαιολογικό χώρο, λόγω του αυστηρού χρονοδιαγράμματος ενεργειών που προσδιόριζε η τελετή αφής της Ολυμπιακής φλόγας για τους Ολυμπιακούς Αγώνες του Πεκίνου τον Μάρτιο του 2008.

Συνολικά στην περιοχή υλοποιήθηκαν αντιδιαβρωτικά - αντιπλημμυρικά έργα για τα οποία χρησιμοποιήθηκαν 115.000 κορμοδέματα, αντίστοιχος αριθμός κλαδοπλεγμάτων και ξυλοφραγμάτων ενώ φυτεύτηκαν 38.000 δενδρύλλια με σεβασμό στην ελληνική βιοποικιλότητα και στο γενετικό υπόστρωμα. Άλλα 6.000 δενδρύλλια φυτεύτηκαν στη βόρεια είσοδο της αρχαίας Ολυμπίας, ολοκληρώνοντας την τεχνητή αναδάσωση του χώρου.



Εικόνα 7.3 Η νότια πλευρά του Κρόνιου λόφου κατά την διάρκεια και μετά τις εργασίες αποκατάστασης.

7.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ – ΣΧΟΛΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΡΓΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Όπως προαναφέρθηκε τα υλοποιηθέντα αντιπλημμυρικά-αντιδιαβρωτικά έργα καλύπτουν μία έκταση της τάξεως του 0,5km². Όμως η έκταση της λεκάνης απορροής του ποταμού Κλαδέου, σύμφωνα με την επεξεργασία που παρουσιάστηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, είναι 33,24 km². **Δηλαδή τα κατασκευασθέντα έργα αφορούν μόνο το 1,5% της συνολικής περιοχής που αποστραγγίζει ο συγκεκριμένος ποταμός στις ορεινές περιοχές της Ηλείας.** (Σχήμα 7.2)

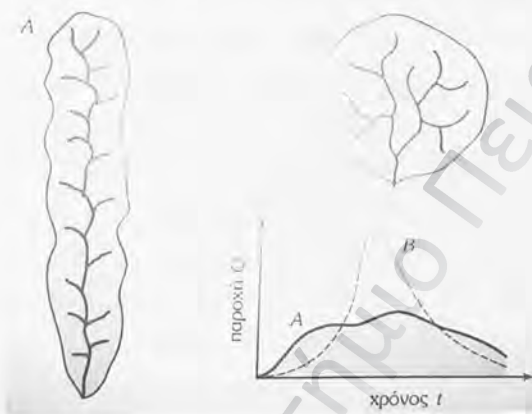
Αυτές οι περιοχές, όπως προαναφέρθηκε, έχουν κατά ένα μεγάλο ποσοστό καταστραφεί από τις δασικές πυρκαγιές με αποτέλεσμα οι όγκοι νερού οι οποίοι αναμένεται να τροφοδοτήσουν την κοίτη του είναι τεράστιοι. Θα λέγαμε λοιπόν ότι ο αρχαιολογικός χώρος της Ολυμπίας περισσότερο κινδυνεύει από τον Κλαδέο Ποταμό παρά από τον Αλφειό ο οποίος είναι κατά πολύ μεγαλύτερος. Βέβαια και ο κίνδυνος από τον Αλφειό Ποταμό είναι υπαρκτός, όχι κοντά στην Αρχαία Ολυμπία αλλά στην κατάντι της συμβολής του με τον Κλαδέο περιοχή.



Σχήμα 7.2 Υλοποιηθέντα έργα στην λεκάνη απορροής του ποταμού Κλαδέου.

Εξάλλου είναι σκόπιμο να αναφερθεί ότι ένα πλημμυρικό φαινόμενο θα ήταν σκόπιμο να αντιμετωπιστεί από την αρχή της δημιουργίας του και όχι όταν ήδη έχει πάρει μεγάλες διαστάσεις. Παρατηρώντας την λεκάνη απορροής βλέπουμε ότι οι εμπλεκόμενοι φορείς έχουν επικεντρωθεί στην κατασκευή έργων στον χώρο της Αρχαίας Ολυμπίας, δηλαδή στην περιοχή του στομίου της λεκάνης.

Σε συνέχεια αυτών θα εκφράζαμε σημαντικές επιφυλάξεις κατά πόσο αυτά είναι αποτελεσματικά, γιατί τα μικροφράγματα ή ξυλοδεσιές και τα κλαδοφράγματα αφενός μεν δεν μπορούν να συγκρατήσουν μεγάλες ποσότητες ύδατος και εδαφών, αφετέρου δεν δρουν σε βάθος χρόνου με άμεση επίπτωση να ενισχύουν τα πλημμυρικά φαινόμενα. Τα φαινόμενα αυτά, γίνονται ακόμα πιο έντονα εξαιτίας του ριπιδοειδούς σχήματος της λεκάνης σε συγκρίση με μίας επιμήκουσ. Πιο συγκεκριμένα οι επιμήκεις λεκάνες απορροής έχουν μεγαλύτερο χρόνο συγκέντρωσης από τις ριπιδοειδείς και κατά συνέπεια, κάτω από τις ίδιες συνθήκες οι δεύτερες εμφανίζουν μεγαλύτερες παροχές. (Σχήμα 7.3)



Σχήμα 7.3 Επίδραση του σχήματος της λεκάνης απορροής στη μορφή του υδρογραφήματος απορροής. (Υδατικοί Πόροι, Γ.Τσακίρης)

Ήδη κατά την διάρκεια του προηγούμενου έτους αρκετές φορές η στάθμη του νερού στο σημείο διακλάδωσης του Αλφειού με τον Κλαδέο οριακά δεν ξεπέρασε τα ειδικά διαμορφωμένα αναχώματα.

Συνεπώς καθίσταται αναγκαία η λήψη μέτρων λαμβάνοντας υπόψιν και εξετάζοντας το σύνολο της λεκάνης απορροής και όχι μεμονωμένο τμήμα αυτής.

Η παρούσα εργασία καθώς και τα υπόβαθρα που αναπτύχθηκαν θα μπορούσαν να αποτελέσουν την βάση για την επιλογή, διαστασιολόγηση και χωροθέτηση των έργων αυτών στην λεκάνη απορροής. (Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας δεν κρίνεται σκόπιμη η εκτενέστερη εμβάθυνση σε αυτό το αντικείμενο).

7.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Εν κατακλείδι, αντικείμενο της παρούσας μελέτης αποτέλεσε αρχικά η περιγραφή της υδρολογικής συμπεριφοράς καμένων λεκανών απορροής και εν συνεχεία η αναλυτικότερη μελέτη μιας προσφάτως ολοκληρωτικά πληγήσας από φωτιά λεκάνης απορροής. (Ποταμού Κλαδέου Αρχαίας Ολυμπίας)

Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε και ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) σε συνεργασία με το υδρολογικό μοντέλο υπολογισμού HEC-1.

Τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα αποδείχθηκαν πολύτιμο εργαλείο σε όλα τα στάδια της εργασίας, όπως η συλλογή και αποθήκευση των απαραίτητων χωρικών και περιγραφικών δεδομένων, η ανάλυση τους, η δημιουργία των απαραίτητων ομάδων δεδομένων εισόδου για το υδρολογικό μοντέλο και η απεικόνιση τους. Με τη βοήθεια των ΓΠΣ, υπολογίστηκαν πολύ εύκολα και με μεγάλη ακρίβεια τα δεδομένα εισόδου για το υδρολογικό μοντέλο HEC-1, γεγονός που καθιστά τα ΓΠΣ απαραίτητο εργαλείο για την ποιοτική εκπόνηση παρεμφερών μελετών.

Επιπροσθέτως, βελτίωση των αποτελεσμάτων θα επιτυγχάνονταν εάν υπήρχαν:

- Λεπτομερέστερα στοιχεία για τα εδάφη της περιοχής (ο εδαφολογικός χάρτης της Ελλάδος δεν έχει ακόμη ολοκληρωθεί)
- Γενικότερα στοιχεία για την διαμόρφωση της κοίτης των υδατορευμάτων. Το τελευταίο στοιχείο ξεφεύγει από τα όρια της παρούσας πτυχιακής μελέτης, κατά την οποία δεν ήταν εφικτή η άστυρη τοπογραφική αποτύπωση.
- Ικανοποιητικός αριθμός μετεωρολογικών και υδρομετρικών δεδομένων μιάς και τα μοναδικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο προήλθαν από τον βροχομετρικό σταθμό του Πύργου για περίοδο μόνο 10 ετών
- Βροχομετρικοί σταθμοί εντός της λεκάνης απορροής. (Ο σταθμός του Πύργου απέχει 17 χιλιόμετρα από την Αρχαία Ολυμπία και βρίσκεται εκτός λεκάνης απορροής ποταμού Κλαδέου.)
- Εφαρμογή και βαθμονόμηση για πολλά επεισόδια βροχής, τα οποία θα καλύπτουν τη συμπεριφορά της λεκάνης, καθ' όλη τη διάρκεια ενός υδρολογικού έτους
- Παλαιότερες μετρήσεις παροχής του ποταμού

Έπειτα από την εκτέλεση του μοντέλου παρατηρήσαμε την αύξηση των πλημμυρικών παροχών με μεγαλύτερες επιπτώσεις στις πλημμυρικές αιχμές με μικρές περιόδους επαναφοράς. Οι επιπτώσεις βέβαια μειώνονται μετά την φυσική αναγέννηση της βλάστησης αλλά και με την ανθρώπινη συμβολή όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο. Για την εκτίμηση λοιπόν της επιδείνωσης των υδρολογικών συνθηκών σε περίπτωση δασικής πυρκαγιάς σημαντικός είναι ο ρόλος των αριθμητικών προσομοιώσεων της λειτουργίας των λεκανών απορροής. Προαπαιτούμενα όμως για επιτυχείς προσομοιώσεις είναι :

1. Οργανωμένα και σχετικώς πλήρη υδρολογικά δεδομένα
2. Ικανοποιητική βαθμονόμηση των ομοιωμάτων

Προαπαιτούμενα που συνήθως δεν υπάρχουν.

Με την παρούσα εργασία επίσης έγινε αντιληπτό μέσω της παρουσίασης μιας γενικής μεθοδολογίας αντιμετώπισης μιάς καμένης λεκάνης απορροής, ότι αυτή πρέπει να εξετάζεται συνολικά (έργα αποκατάστασης – πρόληψης πλημμυρών, διαβρώσεων κ.τ.λ) και όχι μεμονωμένα γιατί μπορεί να μην αντιμετωπιστούν επαρκώς οι δυσάρεστες επιπτώσεις που προαναφέρθηκαν ή ακόμα και να προκύψουν τα αντίθετα αποτελέσματα (Επιδείνωση φαινομένων με λανθασμένο τρόπο αντιμετώπισης αυτών).

Γι'αυτούς τους λόγους συγκεκριμένα προτείνεται ο συνδυασμός των αντιπλημμυρικών μέτρων προστασίας του αρχαιολογικού χώρου με έργα στον άνω ρου του Κλαδέου έτσι ώστε να ελαττωθούν οι ποσότητες των υδάτων που θα φθάσουν στην περιοχή συμβολής του με τον Αλφειό.

Βέβαια πρέπει επίσης να αναφερθεί ότι οι πλημμύρες όμως στην Ολυμπία είναι παλιά ιστορία και συνδέονται με τον 6ο άθλο του Ηρακλή. Ο καθαρισμός των Στάβλων του Αυγεία έγινε με ένα υδραυλικό έργο -με νερά που μετέφερε από τους δύο γειτονικούς ποταμούς. Γι' αυτό ο Ηρακλής θεωρείται ως ο μεγαλύτερος υδραυλικός μηχανικός, γεωτεχνικός και υδρογεωλόγος της ακμής της Μυκηναϊκής εποχής (1.300 π.Χ.).

Κλείνοντας, ο Klaus Hermann στο έργο του «Ολυμπία. Το Ιερό και οι αγώνες. Το σώμα και το πνεύμα» χαρακτηριστικά αναφέρει για τα καιρικά φαινόμενα της περιοχής:

« Όποιος έζησε κάποτε μιά άγρια χειμερινή καταιγίδα με εκτυφλωτικές αστραπές στον ουρανό της κοιλάδας του Αλφειού, ή τρόμαξε από ένα δυνατό κεραυνό μια αποπνικτική καλοκαιριάτικη μέρα, δεν θα έχει κανένα λόγο να απορεί, πως το πιο σημαντικό ιερό του κεραυνοσειστή Διός, του πατέρα των θεών, βρίσκεται σε αυτήν την απόμακρη περιοχή της Δυτικής Πελοποννήσου.»

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Γ.Τσακίρης (1995): *Υδατικοί πόροι : 1.Τεχνική Υδρολογία*, Αθήνα: Εκδόσεις Συμμετρία.
2. Μαρία Α. Μιμίκου (1994): *Τεχνολογία Υδατικών Πόρων*, Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
3. Κουτσογιάννης, Δ., και Θ. Ξανθόπουλος (1996): *Τεχνική Υδρολογία*, Αθήνα Έκδοση 3, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
4. Κουτσογιάννης, Δ.(1995): *Στατιστική Υδρολογία*, Αθήνα Έκδοση 4, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
5. Μπαλούτσος Γ., Οικονόμου Α., Καούκης Κ.,(2001): *Ο κίνδυνος πλημμύρας σε λεκάνη απορροής μετά από πυρκαγιά: Ανάλυση του προβλήματος και άμεσα μέτρα μείωσης των επιπτώσεων*. Αθήνα: Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας.
6. Χριστοφίδης Α. (2008): *Ανάπτυξη μοντέλου βροχής-απορροής σε γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS)*. Αθήνα: Ε.Μ.Π Διπλωματική εργασία
7. Μηλιαρέσης Γ. (2007): *Αξιολόγηση χωρικών αντικειμένων εκτίμηση ζωνών επικινδυνότητας χωροθέτηση αντι-πλημμυρικών*. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Νομού Ηλείας.
8. Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών (2007) : *Μελέτη αποκατάστασης και ανάπτυξης του αγροτικού τομέα – δασών και της προστασίας του περιβάλλοντος στις πυρόπληκτες περιοχές*.
9. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (2007): Πρακτικά επιστημονικού συνεδρίου : *"Αποκατάσταση καμένων εκτάσεων"*.
10. Κούτσιας Ν, Καρτέρης Μ. (2001): *Μοντελοποίηση και χαρτογράφηση του βαθμού επικινδυνότητας έναρξης των δασικών πυρκαγιών σε εθνική κλίμακα*. . Ελληνική Εταιρεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο "Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών – Δυνατότητες και Εφαρμογές, Προοπτικές και Προκλήσεις"
11. Μαντούδη Κ., Μαμάσης Ν., Κουτσογιάννης Δ.(2004): *Μοντέλο ισοζυγίου υδρολογικής λεκάνης με χρήση γεωγραφικού συστήματος πληροφορίας*.
12. Διον.Π.Καλύβας : *Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών στην διαχείριση των υδατικών πόρων*.

13. Σιδηρόπουλος Ε., Λουκάς Α. (2007) : *Καμία καταστροφή δεν έρχεται μόνη της*, Άρθρο στο περιοδικό «Πολυμήχανο» (Περιοδική έκδοση της Πολυτεχνικής Σχολής του Α.Π.Θ) Νοέμβριος 2007, Αριθμός τεύχους 20.
 14. Λυριντζής Γ.(2008): *Τα έργα αποκατάστασης του Αρχαιολογικού και ευρύτερου τοπίου της Αρχαίας Ολυμπίας*, άρθρο στην τριμηνιαία έκδοση του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας, Τεύχος 32 (Απρίλιος-Μάιος-Ιούνιος 2008)
 15. Μπαλούτσος Γ., Λυριντζής Γ., Μπουρλέτσικας Α., Καούκης Κ. (2007): *Τα αντιδιαβρωτικά και αντιπλημμυρικά έργα στους χώρους της Αρχαίας Ολυμπίας μετά την πυρκαγιά της 26^{ης} Αυγούστου 2007 : σχεδιασμός, κατασκευή και λειτουργικότητα.*, άρθρο στην τριμηνιαία έκδοση του Εθνικού Ιδρύματος Αγροτικής Έρευνας, Τεύχος 30 (Οκτώβριος-Νοέμβριος-Δεκέμβριος 2007)
 16. Ν. Παπαχατζή (1979): *Πανσανίου Ελλάδος Περιήγησης, Ηλιακά*, Αθήνα, Εκδοτική Αθηνών.
-
17. V.T.Chow, D.R.Maidment, L.W.Mays (1988): *Applied Hydrology*, McGraw-Hill
 18. Jakeman, A. J., and G. M. Hornberger (1993): *How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model?* Water Resour. Res., 29(8), 2637- 2649, 1993.
 19. ArcGIS Desktop Help. ESRI ArcGIS Desktop 9.2, Copyright 1999 – 2000
 20. Marathon Data Systems, 2004. Training manual ArcGIS, ESRI
 21. Hydrologic Modeling System, User’s manual, US Army Corps of Engineers.
-
22. <http://support.esri.com> (Ιστοσελίδα Arcview)
 23. <http://www.marathondata.gr> (Αντιπρόσωπος Arcview στην Ελλάδα)
 24. <http://el.wikipedia.org> (Δικτυακή εγκυκλοπαίδεια)
 25. <http://www.itia.ntua.gr> (Ερευνητική ομάδα του τομέα Υδατικών Πόρων του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου)
 26. <http://www.fria.gr> (Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών)
 27. <http://web.gys.gr> (Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού)
 28. <http://geogr.eduportal.gr/> (Δικτυακός τόπος e-γεωγραφία)
 29. <http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr> (Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής και Μετεωρολογικής Πληροφορίας)

30. <http://www.hnms.gr> (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία)
31. <http://www.panoramio.com> (Δικτυακός τόπος με φωτογραφίες)
32. <http://www.aua.gr> (Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών)
33. <http://www.nagref.gr> (Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας)

Πανεπιστήμιο Πειραιώς

