

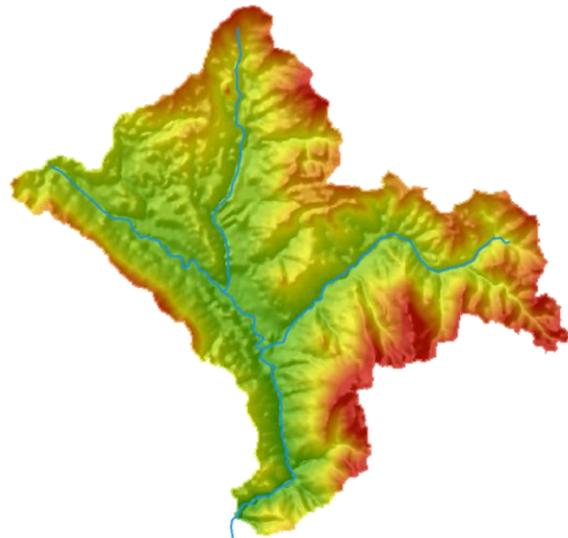


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ - ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
(Δ.Π.Μ.Σ.) "ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ"

Διπλωματική Εργασία:

*«Ανάπτυξη εργαλείων υδρολογικής ανάλυσης,
σε περιβάλλον ΓΣΠ: η περίπτωση της λεκάνης
απορροής του ποταμού Αράχθου, ανάντη του
Τσιμόβου»*



Περιβάλλον

και

Ανάπτυξη

Αυγέρη Μαρίνα

(Επιστήμονας της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου)

Αθήνα, Μάιος 2010

Επιβλέπων: Λέκτορας Ν. Μαμάσης

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους, που με στήριξαν και με βοήθησαν, κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Κατ' αρχήν, εκφράζω τις θερμές μου ευχαριστίες στον κ. Νίκο Μαμάση, επιβλέποντα της διπλωματικής μου εργασίας, ο οποίος υπέδειξε το θέμα και μου πρόσφερε αμέριστη βοήθεια για την ολοκλήρωσή της, με την συνέπειά του και τις καίριες συμβουλές του.

Ειλικρινά ευχαριστώ τον Καθηγητή κ. Κουτσόπουλο Κωστή, που δέχτηκε να συμμετάσχει στην εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας.

Ένα πολύ μεγάλο και ειλικρινές ευχαριστώ, θα ήθελα να εκφράσω στην κα. Δήμητρα Κίτσιου, Επίκουρο Καθηγήτρια του Τμήματος Επιστημών της Θάλασσας, στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου, κατ' αρχήν γιατί δέχτηκε να συμμετάσχει στην τριμελή εξεταστική επιτροπή, αλλά κυρίως για τη συμπαράσταση και ενθάρρυνση που μου προσέφερε τα χρόνια των σπουδών μου στη Μυτιλήνη, καθώς επίσης και για την προτροπή της να παρακολουθήσω το ΔΠΜΣ «Περιβάλλον και Ανάπτυξη».

Εν συνεχεία, οφείλω τις μεγαλύτερες μου ευχαριστίες στην οικογένεια μου, και ιδιαίτερος στους γονείς μου, Σταύρο και Φρόσω, για όσα έχουν προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια, με μεγάλο μόχθο.

Ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στην αδερφή μου, Ειρήνη, για όσα μου έχει προσφέρει μέχρι σήμερα και για τον ιδιαίτερο τρόπο, με τον οποίο πάντοτε μου δείχνει την αγάπη της.

Θα ήταν αγνωμοσύνη αν δεν ευχαριστούσα θερμά τους φίλους μου 'Μιχάλη' και 'Ψηλό', που ακόμη και σήμερα στέκονται πλάι μου, στις πιο δύσκολες στιγμές της ζωής μου.

Τέλος, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στους φίλους μου, που έζησαν και άντεξαν τις ψυχολογικές μου μεταπτώσεις και 'εκρήξεις', όχι μόνο κατά την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, αλλά καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής μου. Μαριονίνα, Πασχουλίνι, Πολυχρονάκι, Ντάλια, Κεφτεδάκι, Νέμη και Φυστίκι σας ευχαριστώ ειλικρινά.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	4
ABSTRACT	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1.1 Γενικά	8
1.2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Υδρολογική Ανάλυση	9
1.3 Σκοπός – Αντικείμενο	10
1.4 Διάρθρωση Εργασίας	11
2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	13
2.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο Υδρολογικών Μεθόδων	13
2.1.1 Προέλευση και εξέλιξη ποτάμιων συστημάτων.....	13
2.1.2 Ταξινόμηση Ποτάμιων Κλάδων	14
2.1.3 Χαρακτηριστικά Λεκάνης Απορροής	15
2.1.4 Μοναδιαίο Υδρογράφημα.....	16
2.1.5 Μέθοδος χρόνου – επιφάνειας	18
2.1.6 Πλημμύρες και πλημμυρικές παροχές.....	19
2.1.7 Εκτίμηση πλημμυρικής αιχμής με την Ορθολογική Μέθοδο	21
2.1.8 Υπολογισμός ενεργού βροχής με τη Μέθοδο SCS.....	22
2.1.9 Εντοπισμός χωρικών μεγίστων υδρολογικών μεταβλητών	25
2.2 ΓΣΠ και Υδρολογική Ανάλυση	25
2.3 Λογισμικό ArcGIS	27
2.3.1 Παρουσίαση του Toolset Hydrology	27
2.3.2 Model Builder.....	35
3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – Case Study	36
3.1 Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης	36
3.1.1 Λεκάνη Απορροής Αράχθου – Υπολεκάνη στην περιοχή Τσίμοβο.....	36
3.2 Εφαρμογή της Μεθοδολογίας	38
3.2.1 Ανάπτυξη Βάσης Δεδομένων με χρήση ΓΣΠ	38
3.2.2 Μοντέλο χρόνου – επιφάνειας: Δημιουργία ιστογράμματος χρόνου – επιφάνειας... ..	39
3.2.3 Μοντέλο Ορθολογικής Μεθόδου	43
3.2.4 Μοντέλο Μεθόδου SCS.....	49
3.2.5 Μοντέλο εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχόπτωσης.....	54

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ -----	56
4.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων -----	56
4.1.1 Μοντέλο Χρόνου - Επιφάνειας.....	56
4.1.2 Μοντέλο Ορθολογικής Μεθόδου.....	59
4.1.3 Μοντέλο SCS.....	61
4.1.4 Μοντέλο εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχόπτωσης.....	63
4.2 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων -----	66
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ -----	69
5.1 Ως προς τη μεθοδολογία -----	69
5.2 Ως προς τα αποτελέσματα -----	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: Πίνακες -----	81
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: Χάρτες -----	84
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: Μοντέλα -----	97
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: Δημιουργία μοντέλων ‘βήμα προς βήμα’ -----	113

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται μια δέσμη μεθοδολογιών υδρολογικής ανάλυσης, σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, οι οποίες αναπτύχθηκαν, αξιοποιώντας παραδοσιακές υδρολογικές μεθόδους, που εδώ και πολλές δεκαετίες έχουν αναπτυχθεί.

Η ανάπτυξη μοντέλων, που να προσομοιώνουν τη φύση, είναι ένα αρκετά δύσκολο εγχείρημα, με αμφίβολα αποτελέσματα, καθώς δεν υπάρχει πλήρης γνώση των υδρολογικών διεργασιών, ενώ τα διαθέσιμα δεδομένα συνήθως είναι ελάχιστα έως ανεπαρκή. Συνεπώς, η ακρίβεια των μοντέλων και οι παραδοχές που γίνονται, εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις υπάρχουσες μετρήσεις (ποσότητα και ποιότητα).

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η λεκάνη απορροής του ποταμού Αράχθου, ανάντη της θέσης Τσίμοβο, λόγω διαθεσιμότητας δεδομένων. Έτσι, αρχικά συλλέχθηκε πληροφορία υπό τη μορφή γεωγραφικών υποβάθρων, η οποία αποθηκεύθηκε σε μια χωρική Βάση Δεδομένων, που αναπτύχθηκε για το σκοπό αυτό. Η πληροφορία αυτή αποτέλεσε τη βάση για την ανάπτυξη και λειτουργία των επιμέρους μοντέλων, που απαρτίζουν τα εργαλεία υδρολογικής ανάλυσης, που δημιουργήθηκαν.

Απώτερος στόχος, της παρούσας εργασίας, είναι η εφαρμογή των μοντέλων και η λειτουργία των εργαλείων να λαμβάνει χώρα στο βασικό περιβάλλον εργασίας του λογισμικού ArcGIS, χωρίς να απαιτείται η ιδιοκτησία διαφορετικών επεκτάσεων του λογισμικού, ή συγκεκριμένων υδρολογικών μοντέλων, που έχουν ήδη αναπτυχθεί.

Με τον τρόπο αυτό, αναμένεται να υπάρξει σημαντική συμβολή στις διαδικασίες υδρολογικής ανάλυσης, έτσι ώστε αυτές να μπορούν να διενεργούνται ακόμα και από λιγότερο εξειδικευμένους ή πεπειραμένους χρήστες, ενώ παράλληλα επιτυγχάνεται μείωση του απαιτούμενου, για την εφαρμογή τους, χρόνου.

Συγκεκριμένα, τα εν λόγω μοντέλα υλοποιήθηκαν και εφαρμόστηκαν για δεδομένα διαφορετικής ανάλυσης και πηγής προέλευσης και αξιολογήθηκαν τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Η εφαρμογή τους στοχεύει:

- α) στην εκτίμηση της πλημμυρικής αιχμής, μέσω προσδιορισμού του ιστογράμματος χρόνου – επιφανείας, απ' το οποίο εύκολα προκύπτει το μοναδιαίο υδρογράφημα, της υπό μελέτη λεκάνης,
- β) στην εκτίμηση του συντελεστή απορροής της λεκάνης, βάσει της Ορθολογικής μεθόδου,
- γ) στην εκτίμηση της ενεργού βροχής, μέσω εκτίμησης του αριθμού καμπύλης απορροής CN, βάσει της μεθόδου SCS και
- δ) στον εντοπισμό χωρικών μεγίστων βροχοπτώσεων, σε συγκεκριμένους χρόνους.

Αυτά τα μοντέλα αναπτύχθηκαν έτσι ώστε να μην απαιτείται σημαντική προεπεξεργασία των δεδομένων, να εκτελούνται σε λεκάνες με μη διαθέσιμα υδρολογικά δεδομένα και χωρίς να χρησιμοποιούν πολύπλοκες μακροεντολές, που αυξάνουν τον χρόνο εκτέλεσής τους ή απαιτούν πολλές επαναλήψεις.

Στα Παραρτήματα, παρατίθενται πίνακες και διαγράμματα, που περιγράφουν τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν, βήμα προς βήμα, για την καλύτερη και ολοκληρωμένη κατανόηση της λειτουργίας των εν λόγω μοντέλων, ή ακόμη και την επαναδημιουργία τους.

Τέλος, αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα προβλήματα της παρούσας εφαρμογής, καθώς και προτάσεις για τις δυνατότητες και την προοπτική περαιτέρω βελτίωσής της, ώστε να γίνει πιο αποτελεσματική και ευέλικτη.

ABSTRACT

In this paper we present several methodologies of hydrological analysis, developed in a GIS (Geographic Information Systems) environment, by utilizing hydrological methods that have been developed over the past decades.

Developing nature-simulation models is a fairly difficult enterprise with dubious results, since there is no complete knowledge of the hydrological processes, while available data is usually scarce or incomplete. Consequently, the models' precision, as well as some of the assumptions made, greatly depends on the quantity and quality of the available measurements.

The drainage basin of the Arachthos river, located on the upstream of the Tsimovo territory, has been selected as the case study, because of the satisfactory data availability. Thus, information was collected in the form of geographical background, which was then stored in a spatial database developed especially for this purpose. This information was the foundation used to develop and put into action individual models, which finally created the tools of hydrological analysis.

The ultimate objective of this paper is the successful application of the aforementioned models and tools in the working environment of the ArcGIS software, without need of software extensions' ownership, or of particular hydrological models that have already been developed.

Therefore, we expect an important contribution to the hydrological analysis procedures, so that less familiar or experienced users can still use them effectively. Meanwhile, there has also been an important decrease regarding the time needed for their application.

More specifically, these models have come to existence and put into action, aiming to examine data of a different spatial resolution and origin. The respective results have been evaluated. Their applications aim to:

a) evaluate the flood peak, by defining the time-surface histogram. From this histogram we can easily deduct the unit hydrograph of the drainage basin we have been studying,

b) evaluate the drainage basin's variant, based on the Rational method,

c) evaluating the effective rainfall, by examining the runoff's curve number (CN), based on the SCS method, and

d) locate spatial maximum rainfall data, in a specific amount of time.

These models have been developed in such a way that pre-processing of the data is not necessary and that putting them into action in drainage basins with unavailable hydrological data is possible. Furthermore, they do not use complicated macro-commands, because these increase the application's time or require numerous repetitions.

In the Annexes, you can find tables and charts which describe, step by step, the procedures that have been followed. These tables and charts aim to a better understanding of the function of the aforementioned models, or even to a complete recreation of these models.

Finally, the advantages and disadvantages of the present application are mentioned, as well as different suggestions concerning its potential and improvement margin, aiming to make it more effective and flexible.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Το νερό, ένας από τους πιο βασικούς φυσικούς πόρους στην καθημερινή ζωή, γίνεται όλο και πιο σπάνιο, εξαιτίας διαφορετικών αιτιών, συμπεριλαμβανομένων των μειωμένων ποσοστών διείσδυσης στο έδαφος, των υψηλότερων ποσοστών απορροής, την αντιοικονομική χρήση, την υπερεκμετάλλευση των επιφανειακών πόρων κλπ. Επίσης, η αλλαγή των χρήσεων γης, η υποβάθμιση των δασικών περιοχών και η δημόσια αδιαφορία συντελούν στη μείωση της διαθεσιμότητάς του (Gupta et al., 2003).

Η καθοριστική σημασία του υδάτινου στοιχείου για τις κοινωνίες των ανθρώπων, (από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα), ως μέσο για τη διατήρηση της ζωής, είναι αναμφισβήτητη. Επίσης αναμφισβήτητη είναι η ευεργετική επίδραση της παρουσίας ποταμών στην ευημερία και οικονομική ευρωστία των κοινωνιών. Εκτός όμως από τα οφέλη που προσφέρει ένα ποτάμιο σύστημα σε μια δεδομένη γεωγραφική περιοχή, και συγκεκριμένα στους βιοτικούς παράγοντες που την απαρτίζουν (χλωρίδα, πανίδα, άνθρωποι), δυνητικά επιφέρει και αρνητικές επιπτώσεις.

Ένα συνηθισμένο φαινόμενο, που απαντάται σε παραποτάμιες – παρόχθιες περιοχές και έχει καταστροφικό αντίκτυπο, είναι αυτό των πλημμυρών. Όταν ένα τέτοιο ακραίο συμβάν πλήττει μια περιοχή, είναι εξαιρετικά δύσκολο να αποσοβηθεί. Ο περιβάλλον χώρος είναι ιδιαίτερα ευπαθής, ειδικά αν οι χρήσεις γης που απαντώνται σε αυτόν απαρτίζονται από ανθρωπογενείς δομημένες εκτάσεις, καθώς οι ζώες, αλλά και οι περιουσίες των κατοίκων, τίθενται σε κίνδυνο (Μισθός, 2006).

Απ' την άλλη μεριά, η διαχείριση των υδατικών πόρων απαιτεί μια πολύ καλή κατανόηση του γεωγραφικού χώρου και της χωρικής πληροφορίας που σχετίζεται με αυτόν, όπως οι πηγές νερού, η επιφάνεια του εδάφους, οι λεκάνες απορροής, οι χρήσεις γης, η απορροή, η θερμοκρασία, η υγρασία, η εδαφική σύνθεση, η γεωλογία, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, οι ανθρώπινες δραστηριότητες, τα περιβαλλοντικά δεδομένα κ.α. (Hatzopoulos, 2002).

Στον τομέα των υδάτινων πόρων, πολλές φορές, οι αποφάσεις που λαμβάνονται αφορούν σε μεγάλες λεκάνες απορροής. Για τη λήψη μιας απόφασης είναι αναγκαία η κατανόηση, και κατ' επέκταση η γνώση των σχέσεων μεταξύ ποικίλων παραγόντων

(νερό, έδαφος, κάλυψη γης, κλπ.) σε επίπεδο λεκάνης. Χάρη στις τεχνικές μοντελοποίησης, είναι δυνατό να σημειωθεί πρόοδος, στους τομείς αναπαράστασης και λειτουργίας, που καθορίζουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων αυτών παραγόντων (Mendas et al., 2007).

Η διαχείριση υδρολογικών λεκανών αφορά κυρίως σε μια επαναληπτική διαδικασία λήψης αποφάσεων, όσον αφορά στις χρήσεις και στις τροποποιήσεις των εδαφών και των υδάτων, μέσα σε μια λεκάνη απορροής. Για την ολοκληρωμένη προσέγγιση των διαφόρων ζητημάτων που προκύπτουν, απαιτείται ο συνδυασμός κοινωνικών, οικονομικών και περιβαλλοντικών επιστημών.

Για την σε βάθος κατανόηση του προβλήματος και την ανάλυση των διαφορετικών λύσεων, απαιτείται μια ολοκληρωμένη προσέγγιση της γεωγραφικής πληροφορίας, η οποία μπορεί να δώσει μια σφαιρική άποψη για τις συνιστώσες που αποτελούν το σύστημα.

1.2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Υδρολογική Ανάλυση

Η ακριβής γνώση και μελέτη του γήινου ανάγλυφου βοηθά στην κατανόηση και μοντελοποίηση των περισσότερων υδρολογικών διεργασιών. Έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα μοντέλων (Maidment, 1993), για επιφανειακά και υπόγεια νερά, ενώ τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) αποτελούν το κυριότερο εργαλείο, με το οποίο οι περισσότεροι ερευνητές διαχειρίζονται την πληροφορία. Η γήινη επιφάνεια είναι το μέσο, στο οποίο πολλές υδρολογικές διεργασίες λαμβάνουν χώρα: η βροχόπτωση, η διήθηση, η εξατμισοδιαπνοή, η απορροή κ.α.

Τα ΓΣΠ υποστηρίζουν επαρκώς τα υδρολογικά μοντέλα, για τα οποία απαιτείται ποικίλη πληροφορία, σε κατάλληλη μορφή (επίπεδα/layers, βάσεις δεδομένων). Τα υδρολογικά μοντέλα είναι μείζονος σημασίας για την ισορροπία των υδάτινων πόρων (Singh and Valiron, 1995), καθώς επιτρέπουν την αποτίμησή τους και διευκολύνουν τη διαχείρισή τους, ενώ παράλληλα εκτιμούν τις επιπτώσεις των διαφόρων επιλογών.

Τα ΓΣΠ, ως ουσιαστικά και αποτελεσματικά εργαλεία, για τη συλλογή, αποθήκευση και αναζήτηση των απαιτούμενων δεδομένων, χαρακτηρίζονται από μια σχετικά απλή διαδικασία διαχείρισης και ανάλυσης των δεδομένων αυτών (Goodchild et al., 1996), σε αντίθεση με τα υδρολογικά μοντέλα, που χαρακτηρίζονται από πολύπλοκες

διαδικασίες ανάλυσης, συμπεριλαμβανομένων των απαιτούμενων πολλαπλών επαναλήψεων των διαφόρων διεργασιών.

Έτσι, το ενδιαφέρον των υδρολόγων για τα ΓΣΠ έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Ένας βασικός λόγος, είναι η δυνατότητα χρήσης ψηφιακών μοντέλων εδάφους, για την αυτόματη χάραξη των λεκανών απορροής, καθώς και την εκτίμηση των εδαφικών παραμέτρων, που επηρεάζουν τα υδρολογικά φαινόμενα (Streit and Kleeberg, 1996).

Ένας άλλος λόγος είναι η δυνατότητα οπτικοποίησης χωρικών δεδομένων. Η γρήγορη δημιουργία χαρτών χωρικής κατανομής των δεδομένων εισόδου, των παραμέτρων και των αποτελεσμάτων των μοντέλων, τα καθιστούν εργαλεία υψηλής αξίας (Diekkraeger et al., 1993).

Ιδιαίτερα στον ελλαδικό χώρο, τα ΓΣΠ έχουν χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση και επεξεργασία υδρολογικών μεταβλητών, για την κατάρτιση μοναδιαίου υδρογραφήματος μιας λεκάνης (Λαζαρίδου και Μίχας, 1994), για την ανάπτυξη μοντέλου ισοζυγίου υδρολογικής λεκάνης (Μαντούδη κ.α., 2004), για την εύρεση γεωμορφομετρικών χαρακτηριστικών (Κουμούλη, 2001) και σε ποικίλες ακόμη εφαρμογές.

1.3 Σκοπός – Αντικείμενο

Βασικός σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη εργαλείων υδρολογικής ανάλυσης, σε περιβάλλον ΓΣΠ, που θα καλύπτουν απαραίτητες και σημαντικές λειτουργίες, στην αναλυτική διαδικασία που ακολουθούν, τόσο οι Υδρολόγοι Μηχανικοί, όσο και αναλυτές ποικίλων επιστημονικών πεδίων.

Απώτερος σκοπός είναι η εφαρμογή των μοντέλων και η λειτουργία των εργαλείων αυτών να λαμβάνει χώρα στο βασικό περιβάλλον εργασίας του λογισμικού ArcGIS, χωρίς να απαιτείται η ιδιοκτησία διαφορετικών επεκτάσεων του λογισμικού, ή συγκεκριμένων υδρολογικών μοντέλων, που έχουν ήδη αναπτυχθεί. Με τον τρόπο αυτό, αναμένεται να υπάρξει σημαντική συμβολή στις διαδικασίες υδρολογικής ανάλυσης, έτσι ώστε αυτές να μπορούν να διενεργούνται ακόμα και από λιγότερο εξειδικευμένους ή πεπειραμένους χρήστες.

Συγκεκριμένα, οι επιμέρους στόχοι της παρούσας εργασίας, ως προς την ανάπτυξη των εργαλείων, σχετίζονται με:

- α) την ανάπτυξη μοντέλου, για τη δημιουργία υδρογραφήματος, με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών,
- β) την ανάπτυξη μοντέλου εκτίμησης του συντελεστή απορροής μιας υδρολογικής λεκάνης, βάσει της Ορθολογικής μεθόδου,
- γ) την ανάπτυξη μοντέλου για την εκτίμηση του αριθμού καμπύλης απορροής CN, με τη μέθοδο SCS, που θα χρησιμοποιηθεί στον περαιτέρω υπολογισμό της ενεργού βροχής και
- δ) την ανάπτυξη μοντέλου εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχόπτωσης, σε συγκεκριμένους χρόνους.

Τα εν λόγω μοντέλα αναμένεται να φανούν χρήσιμα και λειτουργικά, καθότι αναπτύχθηκαν έτσι ώστε:

- i. να λειτουργούν αποκλειστικά σε περιβάλλον ΓΣΠ, χωρίς να απαιτείται σημαντική προεπεξεργασία των δεδομένων,
- ii. να εκτελούνται σε λεκάνες με μη διαθέσιμα υδρολογικά δεδομένα και
- iii. να εκτελούνται χωρίς να χρησιμοποιούν πολύπλοκες μακροεντολές, που αυξάνουν τον χρόνο εκτέλεσής τους ή απαιτούν πολλές επαναλήψεις.

1.4 Διάρθρωση Εργασίας

Στο παρόν πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μια σύντομη αναφορά στη σημασία του υδάτινου στοιχείου για τις κοινωνίες των ανθρώπων και την ισορροπία των οικοσυστημάτων, καθώς και στη σημαντικότητα της σωστής διαχείρισης των υδρολογικών λεκανών. Στο ίδιο κεφάλαιο αναφέρεται η συμβολή των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στις διαδικασίες υδρολογικής ανάλυσης, ενώ στο τέλος αναλύονται οι στόχοι και ο σκοπός της παρούσας εργασίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, ακολουθεί μια εκτενής παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου των υδρολογικών μεθόδων, που χρησιμοποιήθηκαν, και συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στην προέλευση και εξέλιξη των ποτάμιων κλάδων, καθώς και στην ταξινόμηση αυτών, στα χαρακτηριστικά των λεκανών απορροής, καθώς επίσης και στο θεωρητικό πλαίσιο, που αφορά στο μοναδιαίο υδρογράφημα, στις πλημμύρες και

στις πλημμυρικές παροχές . Επίσης, παρουσιάζονται η μέθοδος χρόνου – επιφάνειας, η Ορθολογική μέθοδος και η μέθοδος SCS, στις οποίες στηρίχθηκε η ανάπτυξη των μοντέλων. Ολοκληρώνοντας το δεύτερο κεφάλαιο, αποσαφηνίζεται η αυξανόμενη ανάπτυξη GIS εφαρμογών για την επεξεργασία δεδομένων, που χρησιμοποιούνται σε υδρολογικά μοντέλα, ενώ γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των εργαλείων υδρολογικής ανάλυσης, που παρέχουν οι νεότερες εκδόσεις του λογισμικού ArcGIS, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά, στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφεται συνοπτικά η περιοχή μελέτης, δηλ. η λεκάνη απορροής του ποταμού Αράχθου, ανάντη του Τσιμόβου, ενώ γίνεται μια αναλυτική παρουσίαση των μεθοδολογιών που εφαρμόστηκαν, για την ανάπτυξη των επιμέρους μοντέλων, που απαρτίζουν τα εργαλεία υδρολογικής ανάλυσης, που δημιουργήθηκαν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα, τα οποία αφορούν στη δημιουργία τεσσάρων εργαλείων, η χρήση των οποίων ‘οδηγεί’ στην παραγωγή πινάκων και γεωγραφικών υποβάθρων, που περικλείουν όλη τη ζητούμενη πληροφορία.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθενται ορισμένα συμπεράσματα, που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, ως προς τη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε, αλλά και ως προς τα αποτελέσματά της, ενώ γίνεται αναφορά στις προοπτικές εξέλιξης και τις δυνατότητες περαιτέρω έρευνας.

Τέλος, ακολουθούν παραρτήματα, τα οποία περιλαμβάνουν περιγραφικούς πίνακες, που βοηθούν στην κατανόηση συγκεκριμένων σημείων, καθώς επίσης χάρτες και διαγράμματα που αφορούν, τα μεν πρώτα στα δεδομένα και στα αποτελέσματα, ενώ τα δε δεύτερα στα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία των επιμέρους μοντέλων.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Θεωρητικό Υπόβαθρο Υδρολογικών Μεθόδων

2.1.1 Προέλευση και εξέλιξη ποτάμιων συστημάτων

Σύμφωνα με τους Leopold et al. (1964), ένα αποστραγγιστικό δίκτυο αποτελείται από κύρια ρεύματα (ποτάμια) και παραποτάμους, και θεωρητικά συμπεριλαμβάνει έως και τα ρεύματα εποχιακής ροής και τις «μικροαυλακώσεις» του εδάφους. Στην πράξη, το είδος και το μέγεθος των ρευμάτων, που διαφαίνεται να εμπεριέχονται σε μια περιοχή συγκέντρωσης των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, που ονομάζεται λεκάνη αποστράγγισης, εξαρτάται από τη λεπτομέρεια, και επομένως από την κλίμακα του χρησιμοποιούμενου (τοπογραφικού) χάρτη.

Προτού το νερό της βροχής συγκεντρωθεί σε κάποια υποτυπώδη κοίτη, διανύει κάποια απόσταση, η οποία, κατά τον Horton (1945), εξαρτάται από δύο παράγοντες: την *ικανότητα διήθησης*, δηλ. την ικανότητα διείσδυσης στο υπέδαφος, και τη σχέση μεταξύ της *ποσότητας του νερού* και του *ρυθμού της επιφανειακής απορροής*. Η ικανότητα διήθησης προσδιορίζεται από μια σειρά χαρακτηριστικών του εδάφους, όπως η δομή του, η υφή του, η υγρασία, η παρουσία μικροοργανισμών, η κάλυψη ή μη με βλάστηση, η προσωρινή ή και μόνιμη κατάστασή του και ενδεχομένως η θερμοκρασία του.

Η αλληλένδετη δράση τεκτονικών δυνάμεων και εξωγενών διεργασιών¹, επί του ανάγλυφου της γης, έχει πολλές φορές ως αποτέλεσμα τη δημιουργία υδρογραφικών δικτύων. Καθώς η ξηρά ανυψώνεται τεκτονικά, το νερό, που συσσωρεύεται στη γήινη επιφάνεια, επιτελεί τη διαβρωτική του δράση επ' αυτής, τείνοντας να ταπεινώσει το γήινο ανάγλυφο έως την επιφάνεια της θάλασσας (Μισθός, 2006).

Απαράβατη προϋπόθεση για την έναρξη και τη μετέπειτα συνέχιση της ροής αποτελεί μια προϋπάρχουσα κλίση πρανών, έστω και μικρή. Η δύναμη της βαρύτητας παίζει πρωταρχικό ρόλο στη διαδικασία καθορισμού της ροής ενός ποτάμιου ρεύματος. Ένας άλλος, εξίσου σημαντικός, παράγοντας για τη ροή που θα ακολουθήσει εν

¹ Τεκτονικές ονομάζονται οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στον φλοιό της γης, ως αποτέλεσμα της κίνησης και σύγκρουσης των λιθσφαιρικών πλακών. Αντίθετα, ως εξωγενείς διεργασίες νοούνται όλες εκείνες που «εξωθούνται» από τις συνθήκες του περιβάλλοντος, όπως η κίνηση του αέρα, του νερού, η μεταβολή της θερμοκρασίας κ.α., καθώς και η διαβρωτική επενέργειά τους.

συνεχία ένας ποτάμιος κλάδος, συνδέεται με τη δομή του υποκείμενου πετρώματος (Παυλόπουλος και Καρύμπαλης, 2003).

Για τη διαδικασία έναρξης της δημιουργίας αυλακώσεων στην επιφάνεια της γης, οι οποίες μελλοντικά θα διαρρέονται από νερό και θα σχηματίσουν δυνητικά ποτάμιους κλάδους, απαιτείται: επαρκής ποσότητα ύδατος, μια κρίσιμη επιφάνεια λεκάνης απορροής και τοπογραφική κλίση. Η αρχική πρόκληση του φαινομένου οφείλεται ενδεχομένως στη συγκεντρωμένη εκφόρτιση ύδατος, λόγω της μορφολογίας του εδάφους, αλλά και στη μεγάλη διαπερατότητα των γεωλογικών σχηματισμών. Η συνέχιση της διαβρωτικής δράσης του νερού θα εξαρτηθεί από τη γενικότερη τοπογραφία της περιοχής και από τις συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους.

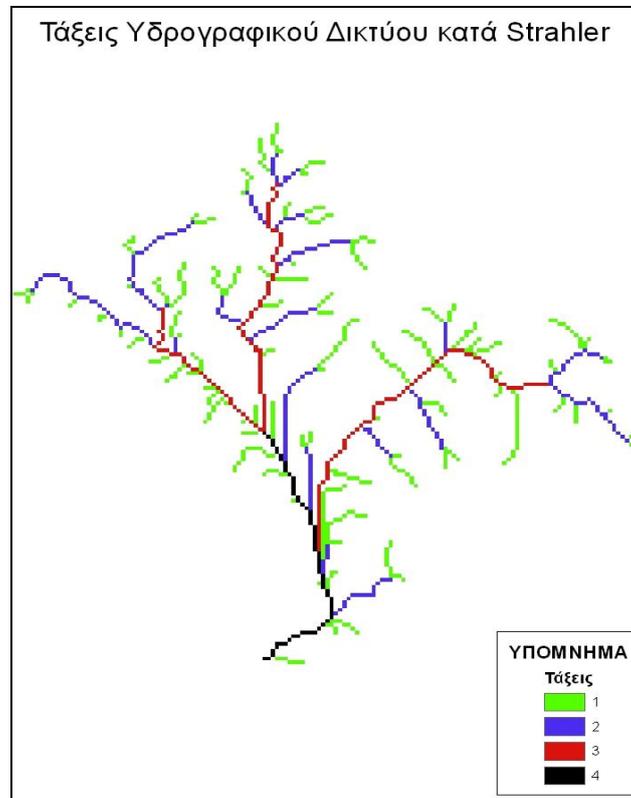
Εκτός όμως από τη διάβρωση, λόγω επιφανειακής ροής του νερού, οι τοπικές διαρροές από υπόγεια ύδατα και οι επιφανειακές κατολισθήσεις, που προκαλούν τη δημιουργία ανώμαλων τοπογραφικών επιφανειών σε τοπικό επίπεδο, απογυμνώνουν τα εδάφη και τα καθιστούν ακόμα πιο επιρρεπή στο φαινόμενο της διάβρωσης. Στην πραγματικότητα, καμία από αυτές τις διεργασίες δεν υφίσταται ανεξάρτητα από τις άλλες (Bridge, 2003).

2.1.2 Ταξινόμηση Ποτάμιων Κλάδων

Η μελέτη μιας λεκάνης απορροής ενός ποταμού παραπέμπει άμεσα, σε πρώτη φάση, στη μελέτη των ποτάμιων κλάδων. Έτσι, σε ένα τυπικό ποτάμιο σύστημα, που οριοθετείται από έναν υδροκρίτη και καταλήγει σε μια θάλασσα ή μια λίμνη, η καταμέτρηση και ταξινόμηση των κλάδων του αποτελεί το πρώτο και βασικό στάδιο για την περαιτέρω αξιολόγησή του.

Συγκεκριμένα, ο Horton (1945) και αργότερα ο Strahler (1957), εισήγαγαν ένα σύστημα ταξινόμησης των ποτάμιων κλάδων σε τάξεις μεγέθους. Η λογική που διέπει τη διαβάθμιση των κλάδων είναι η εξής (Εικόνα 1): οι ανώτεροι (υψομετρικά – τοπογραφικά) παραπόταμοι ανήκουν σε 1^η τάξη μεγέθους και δεν δέχονται νερό από άλλους παραποτάμους. Καθώς συνενώνονται με άλλους, ίδιας τάξης μεγέθους, αποδίδουν κλάδους 2^{ης} τάξης κ.ο.κ. Γενικά, κάθε κλάδος (ρεύμα), που είναι αποδέκτης υδάτων άλλων παραποτάμων, διατηρεί την τάξη μεγέθους τού

μεγαλύτερου παραποτάμου. Στην περίπτωση που οι συμβάλλοντες ποταμοί ανήκουν στην ίδια οικογένεια κλάδων, ως προς τη διαβάθμιση, τότε ο κλάδος που θα σχηματιστεί θα είναι κατά μια τάξη μεγαλύτερος (Παυλόπουλος και Καρύμπαλης, 2003).



Εικ.1 Ταξινόμηση ποτάμιων κλάδων κατά Strahler.

(Πηγή: ίδια επεξεργασία)

2.1.3 Χαρακτηριστικά Λεκάνης Απορροής

Στο φυσικό περιβάλλον, τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα καταλήγουν σε μια ενιαία περιοχή. Το νερό που δεν κατεισδύει και δεν εξατμίζεται, είναι πιθανόν να δημιουργήσει τελικά κανάλια – κοίτες και να απορρέει μέσω αυτών. Η επιφάνεια που βρίσκεται ανάντη από την κοίτη από την οποία διέρχεται το νερό ονομάζεται *λεκάνη απορροής* (Bloom, 1998). Κάθε λεκάνη απορροής διακρίνεται από τα μοναδικά μορφολογικά χαρακτηριστικά της, που σχετίζονται με το υδρογραφικό δίκτυο, καθώς επίσης και με τη γεωμορφολογία της (Strahler, 1957).

Επεξηγηματικά, ως λεκάνη απορροής ορίζεται η περιοχή που φαίνεται, βάσει της τοπογραφίας, να συγκεντρώνει (αποστραγγίζει) επιφανειακά το νερό των κατακρημνισμάτων, που καταλήγουν στην κοίτη ενός ποτάμιου κλάδου. Επιπλέον, η νοητή γραμμή, που οριοθετεί αυτή τη λεκάνη απορροής και τη διαχωρίζει από μια γειτονική της, ονομάζεται *υδροκρίτης*. Επειδή όμως, μια τέτοια λεκάνη εκτείνεται στον τρισδιάστατο χώρο και η αποτύπωσή της γίνεται συνήθως στον δισδιάστατο χώρο – με εικόνες, χάρτες κ.α. – κρίνεται σκόπιμη και η αναφορά του όρου της *περιοχής αποστράγγισης*. Η τελευταία δεν αντιπροσωπεύει τίποτε άλλο, παρά την οριζόντια προβολή του χώρου μιας λεκάνης αποστράγγισης (Dingman, 2002).

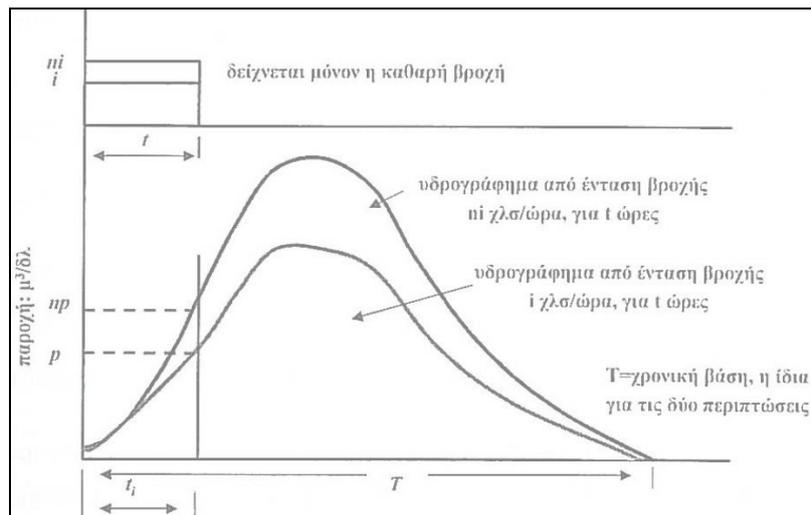
Η λεκάνη απορροής, ως σύστημα μετασχηματισμού των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων σε απορροή, παρουσιάζει ορισμένα ειδικά φυσικά γνωρίσματα, που επηρεάζουν σημαντικά, τόσο τη διαδικασία του μετασχηματισμού, όσο και το τελικό της αποτέλεσμα, δηλαδή το υδρογράφημα της απορροής. Τα γνωρίσματα αυτά ονομάζονται *φυσιογραφικά χαρακτηριστικά* της λεκάνης απορροής και μπορούν να καταταγούν στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες (Μαμάσης, 2007α):

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

2.1.4 Μοναδιαίο Υδρογράφημα

Το μοναδιαίο υδρογράφημα, σύμφωνα με τον Sherman (1932), είναι το υδρογράφημα που προκαλείται από ενεργό βροχή, ύψους ίσου με τη μονάδα (στο μετρικό σύστημα ίσης με 1 cm), που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σ' όλη την έκταση της υδρολογικής λεκάνης και έχει ομοιόμορφη ένταση. Δηλαδή, το μοναδιαίο υδρογράφημα απορροής προκαλείται από ενεργό βροχή, ίση με 10 mm, συγκεκριμένης διάρκειας.

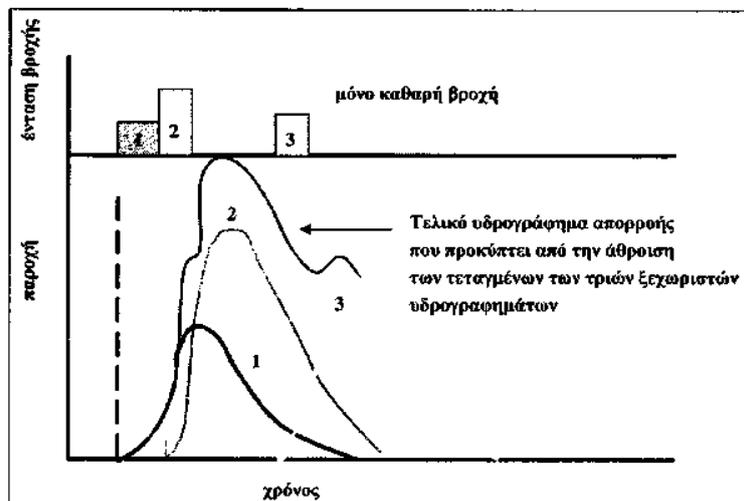
Οι δύο βασικές αρχές του μοναδιαίου υδρογραφήματος είναι η *αρχή της αναλογίας* και η *αρχή της επαλληλίας*. Σύμφωνα με την αρχή της αναλογίας, δύο ενεργές βροχές, ίδιας χρονικής διάρκειας, αλλά διαφορετικών εντάσεων, δίνουν υδρογραφήματα ίδιας χρονικής βάσης, αλλά με τεταγμένες, που σε κάθε χρονική στιγμή, έχουν λόγο ίσο με τον λόγο των εντάσεων (Εικόνα 2).



Εικ.2 Η αρχή της αναλογίας του μοναδιαίου υδρογραφήματος.

(Πηγή: Μιμίκου και Μπαλτάς, 2002)

Η αρχή της επαλληλίας θεωρεί ότι, το συνολικό υδρογράφημα που προκύπτει από επιμέρους βροχοπτώσεις είναι το υδρογράφημα με τεταγμένες το άθροισμα των τεταγμένων των επιμέρους υδρογραφημάτων (Εικόνα 3). Η χρονική αρχή των επιμέρους υδρογραφημάτων που αθροίζονται, ταυτίζεται με την αρχή των αντίστοιχων επεισοδίων ενεργού βροχοπτώσης (Χριστοφίδης, 2008).



Εικ.3 Η αρχή της επαλληλίας του μοναδιαίου υδρογραφήματος.

(Πηγή: Λέκκας, 2006)

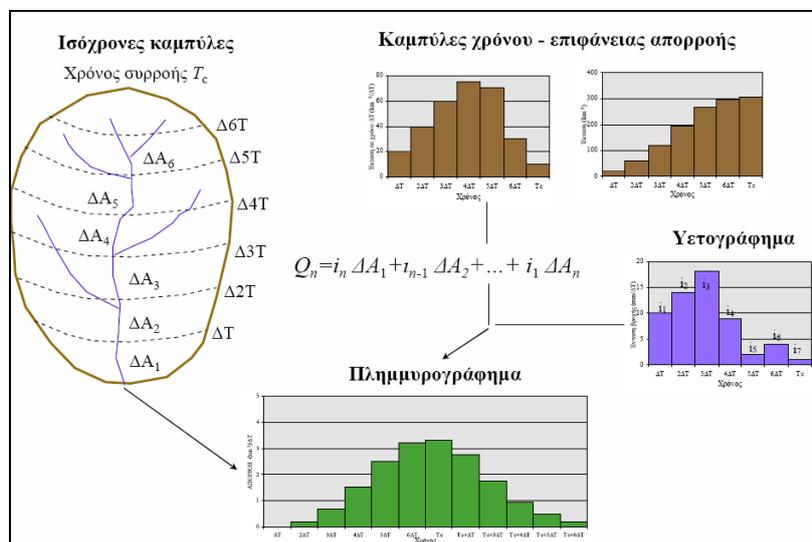
Εφαρμόζοντας αυτές τις δυο αρχές, γίνεται η παραγωγή του υδρογραφήματος οποιασδήποτε βροχοπτώσης, έχοντας γνωστό το μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης απορροής. Προηγουμένως όμως, το υδρογράφημα των βροχοπτώσεων πρέπει να «καθαριστεί», δηλαδή να αφαιρεθούν οι κατακρατήσεις του εδάφους, που δεν

καταλήγουν στην άμεση απορροή. Αυτό γίνεται με διάφορες μεθόδους, όπως η μέθοδος SCS, η οποία περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο.

2.1.5 Μέθοδος χρόνου – επιφάνειας

Η θεμελιώδης αρχή της μεθόδου χρόνου – επιφάνειας είναι η ανάπτυξη του ιστογράμματος χρόνου – επιφάνειας, με το οποίο εκφράζεται η σχέση μεταξύ του χρόνου της απορροής και της επιφάνειας της λεκάνης απορροής, που συμβάλλει στην απορροή, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένης χρονικής περιόδου (Χριστοφίδης, 2008). Η λεκάνη απορροής χωρίζεται σε υποπεριοχές, βάσει των ισόχρονων² καμπυλών (Εικόνα 4).

Η μέθοδος χρόνου – επιφάνειας μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε μικρές ή μεσαίου μεγέθους λεκάνες, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη την αποθηκευτικότητα της λεκάνης. Επίσης, ισχύουν οι δύο αρχές του μοναδιαίου υδρογραφήματος, η αρχή της αναλογίας και η αρχή της επαλληλίας. Αυτό σημαίνει ότι, για τον υπολογισμό της πλημμυρικής απορροής εφαρμόζεται μία και μοναδική συνάρτηση ανεξάρτητα από τις μεταβολές της έντασης της ενεργού βροχόπτωσης (Χριστοφίδης, 2008).



Εικ.4 Μέθοδος χρόνου – επιφάνειας. Κατάρτιση πλημμυρογραφήματος.

(Πηγή: Μαμάσης, 2007α)

² Ισόχρονη καμπύλη είναι ο γεωμετρικός τόπος των σημείων, όπου οι σταγόνες της βροχής απέχουν χρονικά το ίδιο από την έξοδο της λεκάνης. Οι ισόχρονες καμπύλες δεν τέμνονται, ενώ ξεκινούν και τερματίζουν μόνο στα όρια της λεκάνης (Σούλιος, 1996).

2.1.6 Πλημμύρες και πλημμυρικές παροχές

Πλημμύρα ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία, περιοχές, που συνήθως είναι στεγνές, καλύπτονται από ποσότητες νερού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (U.S. Committee on Opportunities in the Hydrological Sciences, 1992). Πρόκειται για φυσικό φαινόμενο – αφού συνήθως προέρχεται από μετεωρολογικές καταστάσεις – όμως, συμβαίνει όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης (φυσικού ή ανθρωπογενούς) δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού, που παράγεται από τη βροχόπτωση (Μαμάσης, 2009).

Οι κυριότερες αιτίες που προκαλούν πλημμύρες είναι (Λέκκας, 2009):

- ραγδαίες και παρατεταμένες βροχές (φθινοπωρινές πλημμύρες),
- ταχεία τήξη χιονιών και παγετώνων (πλημμύρες της άνοιξης),
- ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, λόγω παλιρροιακών φαινομένων,
- εφόρμηση της θάλασσας στην ξηρά, λόγω τσουνάμι, και
- απότομη διάρρηξη φράγματος τεχνητής λίμνης.

Ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι συνάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης του φυσικού φαινομένου και της επίδρασης που θα έχει στην ανθρώπινη κοινωνία. Σε μια δεδομένη βροχόπτωση, οι ζημιές που θα προκληθούν λόγω πλημμύρας εξαρτώνται από τρεις κύριους παράγοντες:

- την παρουσία αντιπλημμυρικών έργων,
- την αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του πλημμυρικού όγκου και τη μείωση του χρόνου συρροής των νερών, και
- την ένταση της ανθρώπινης δραστηριότητας, σε πεδία που αποτελούν πεδία πλημμυρών με κάποια πιθανότητα.

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

Φυσικό Πλαίσιο Πλημμυρών

Τα τρία κύρια μεγέθη της πλημμύρας είναι:

1. η παροχή αιχμής και η αντίστοιχη στάθμη στο υδατόρευμα,
2. ο πλημμυρικός όγκος και
3. η χρονική διάρκεια.

Τα μεγέθη των πλημμυρών συνδέονται με τα χαρακτηριστικά α) της *βροχόπτωσης*, που αφορούν στο συνολικό ύψος, στην ένταση και στη διάρκειά της, β) της *λεκάνης απορροής*, που αφορούν στην έκταση, στον συντελεστή απορροής και στον χρόνο συρροής και γ) των *υδατορευμάτων*, που αφορούν στη διατομή, στην κλίση, στην τραχύτητα και στις κατάντη στάθμες τους (Μαμάσης, 2009).

Απώλειες βροχοπτώσεων

Το ποσό της βροχής, που αποτελεί την άμεση απορροή, ονομάζεται συνήθως *περίσσευμα βροχής* (rainfall excess) ή *ενεργός βροχόπτωση* (effective rainfall). Το ποσό αυτό της βροχής αποτελείται κυρίως από την επιφανειακή απορροή και από την υπεδάφια απορροή. Το υπόλοιπο ποσό της βροχής, που αφορά στη συγκράτηση από τη φυτοκάλυψη και τις μικροκοιλότητες του εδάφους, στην εξατμισοδιαπνοή και στη βαθιά διήθηση, αναφέρεται με τον όρο *απώλειες βροχής* (rainfall losses) (Μπέλλος, 2006).

Η εκτίμηση των απωλειών της βροχής είναι ένα δύσκολο πρόβλημα, που εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως τα χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής και τα χαρακτηριστικά της βροχής. Σε μια πρώτη προσέγγιση, οι απώλειες από τη συγκράτηση λόγω της φυτοκάλυψης και των κοιλοτήτων μπορούν να συμπεριληφθούν γενικά στις απώλειες λόγω διήθησης, που ακολουθεί το φαινόμενο της βροχής. Έτσι, με μετρημένες ποσότητες βροχόπτωσης και απορροής είναι δυνατό να προσδιορισθούν διάφοροι δείκτες (συντελεστής απορροής, μέση ταχύτητα διήθησης κ.α.), που αφορούν στη λεκάνη απορροής και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της ενεργού βροχής σε μια βροχόπτωση (Μπέλλος, 2006).

2.1.7 Εκτίμηση πλημμυρικής αιχμής με την Ορθολογική Μέθοδο

Η ορθολογική μέθοδος εφαρμόζεται συχνά στις υδρολογικές μελέτες για την εκτίμηση της πλημμυρικής αιχμής. Χρησιμοποιείται σε μικρές σχετικά υδρολογικές λεκάνες και βασίζεται στην αρχή ότι, σε βροχές που παρουσιάζουν ομοιόμορφη ένταση και κατανομή στη λεκάνη, η μέγιστη απορροή εμφανίζεται, όταν στην έξοδο της λεκάνης καταφθάσει το νερό από όλα τα σημεία της (Μαμάσης, 2009).

Η μέθοδος αυτή στηρίζεται στη σχέση αναλογίας μεταξύ της αιχμής απορροής και του συντελεστή απορροής, της έντασης της βροχής και της έκτασης της λεκάνης απορροής, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$Q = 0,278 * C * i * A$$

όπου, Q (m^3/sec) η αιχμή της απορροής, C ο συντελεστής απορροής, i (mm/hr) η ένταση της βροχόπτωσης για τον χρόνο συγκέντρωσης και A (km^2) η επιφάνεια της υδρολογικής λεκάνης (Λέκκας, 2006).

Ο συντελεστής απορροής εκτιμάται από το άθροισμα των επιμέρους συντελεστών $C1, C2, C3, C4$, οι οποίοι εξαρτώνται αντίστοιχα από (ΟΜΟΕ – ΑΣΥΕΟ, 2002):

1. το ανάγλυφο της επιφάνειας της λεκάνης,
2. τη διηθητικότητα του εδάφους,
3. την έκταση και την πυκνότητα της φυτοκάλυψης και
4. την κλίση των πρανών και την αποθηκευτική ικανότητα σε χαμηλά σημεία της επιφάνειας της λεκάνης απορροής.

Οι τιμές των επιμέρους συντελεστών παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, που παρατίθεται παρακάτω. Δεδομένου ότι, οι τιμές του πίνακα ισχύουν για περιόδους επαναφοράς 5-10 έτη, ο τελικός συντελεστής απορροής θα πρέπει να προσαυξάνεται κατά 10% για $T=25$ έτη, κατά 20% για $T=50$ έτη και κατά 25% για $T=100$ έτη, παραμένοντας πάντως μικρότερος της μονάδας.

Επιπλέον, δεδομένου ότι, ο συντελεστής απορροής εξαρτάται (εκτός από τους προηγούμενους παράγοντες) και από την εδαφική υγρασία κατά την έναρξη της βροχής και την ένταση της βροχόπτωσης, συμπεραίνεται ότι δεν παραμένει σταθερός για την ίδια λεκάνη (ΟΜΟΕ – ΑΣΥΕΟ, 2002).

Πίνακας 1. Τιμές των επιμέρους συντελεστών C1, C2, C3 και C4.

C	Τιμές			
	Ακραίες	Υψηλές	Συνήθειες	Χαμηλές
1	0,28 – 0,35 επικλινές, ανώμαλες επιφάνειες με μέσες κλίσεις >30%	0,20 – 0,28 λοφώδες με μέσες κλίσεις 10 – 30 %	0,14 – 0,20 κυματώδες με μέσες κλίσεις 5 – 10 %	0,08 – 0,14 σχετικά επίπεδο με μέσες κλίσεις 0 – 5 %
2	0,12 – 0,16 με επηρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδες είτε μανδύας λεπτόκκοκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	0,08 – 0,12 βραδείας διηθητικότητας, άργιλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας, ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	0,06 – 0,08 κανονικής διηθητικότητας καλά αποστραγγιζόμενο μικρής ή μεσσίας μακροϋφής εδάφη, αμμώδη παχιά εδάφη, ίλνες και ιλυώδη εδάφη	0,04 – 0,06 υψηλής διηθητικότητας βαθιά άμμος ή άλλο έδαφος που απορροφά το νερό, πολύ ελαφριά καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη
3	0,12 – 0,16 βλάστηση που δεν επηρεάζει, γυμνό ή πολύ αραιά κάλυψη	0,08 – 0,12 πτωχή έως μέτρια, καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυσικής κάλυψης, λιγότερο από 20% της αποχετευόμενης επιφάνειας με καλή κάλυψη	0,06 – 0,08 μέτρια ως καλή περίπου 50% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες, λιγότερο από 50% της επιφάνειας είναι καλλιέργειες	0,04 – 0,06 καλή έως άριστη περίπου 90% της αποχετευόμενης επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης
4	0,10 – 0,12 αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβαθείς, μικροί διάδρομοι αποστράγγισης, καθόλου τέλματα	0,08 – 0,10 χαμηλή, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα	0,06 – 0,08 κανονική, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα	0,04 – 0,06 υψηλή, αποθηκευτικότητα, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών ή τελμάτων

(Πηγή: ΟΜΟΕ – ΑΣΥΕΟ, 2002)

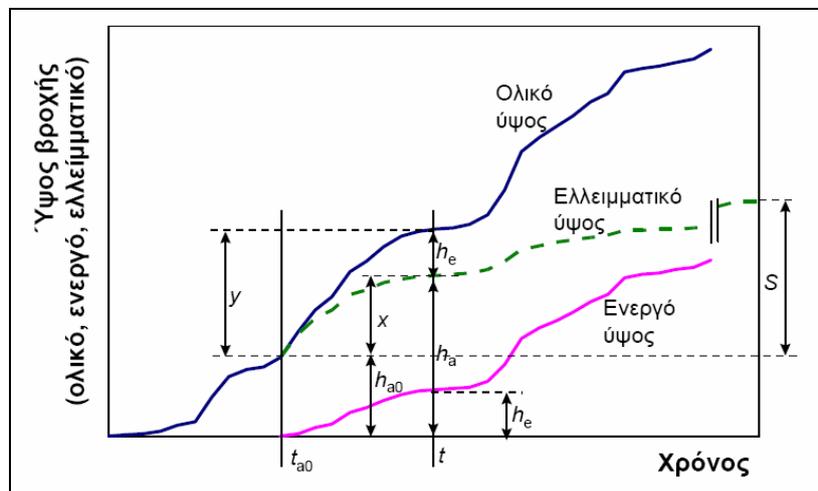
2.1.8 Υπολογισμός ενεργού βροχής με τη Μέθοδο SCS (Soil Conservation Service)

Η Soil Conservation Service των Η.Π.Α. ανέπτυξε μια μέθοδο για τον υπολογισμό της ενεργού βροχής, η οποία χρησιμοποιείται αρκετά τα τελευταία χρόνια από τους Υδρολόγους Μηχανικούς, κυρίως σε εμπορικά λογισμικά προγράμματα βροχόπτωσης – απορροής.

Στη μέθοδο αυτή, ο υπολογισμός γίνεται από δεδομένη βροχή, με τη βοήθεια του ύψους βροχής, της αρχικής κατάστασης υγρασίας και των υδρολογικών χαρακτηριστικών της λεκάνης, που αφορούν στη γεωμορφολογία, στη λιθολογία και στη βλάστησή της. Αυτά τα υδρολογικά χαρακτηριστικά συμπεριλαμβάνονται σε έναν δείκτη, που ονομάζεται αριθμός καμπύλης απορροής CN (curve number) (Μπέλλος, 2006).

Οι κύριες παραδοχές αυτής της μεθόδου είναι οι εξής (Μαμάσης, 2009):

- στην αρχή του επεισοδίου βροχής, το σύνολο της βροχόπτωσης μετατρέπεται σε έλλειμμα. Αυτό συμβαίνει μέχρι τον χρόνο t_0 και για το συνολικό ύψος ελλειμμάτων h_0 ,
- το συνολικό έλλειμμα, που μπορεί να πραγματοποιηθεί σε μια βροχόπτωση συνολικού ύψους h , δεν μπορεί να ξεπεράσει μια μέγιστη τιμή $S + h_0$. Η τιμή S λέγεται *δυναμικά μέγιστη κατακράτηση*,
- σε κάθε χρονική στιγμή (μετά την t_0), ο λόγος του ενεργού ύψους βροχής h_e προς το δυναμικό ενεργό ύψος ($h - h_0$) είναι ίσος με τον λόγο των απωλειών μείον το αρχικό έλλειμμα ($h_a - h_0$) προς τη δυναμικά μέγιστη κατακράτηση S (Εικόνα 5).



Εικ.5 Εκτίμηση ύψους βροχής, με τη μέθοδο SCS.

(Πηγή: Χριστοφίδης, 2008)

Η δυναμικά μέγιστη κατακράτηση S μπορεί να εκτιμηθεί από την εξίσωση:

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

όπου, ο αριθμός καμπύλης απορροής CN προσδιορίζεται με τη βοήθεια πινάκων, ως συνάρτηση των χρήσεων γης, της διαπερατότητας του εδάφους και των συνθηκών εδαφικής υγρασίας (Μπέλλος, 2006).

Οι τύποι των εδαφών ανάλογα με τη διαπερατότητά τους διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες, ως εξής:

- A:** Μεγάλοι ρυθμοί διήθησης (π.χ. αμμώδη και χαλικώδη)
B: Μέσοι ρυθμοί διήθησης (π.χ. αμμώδης πηλός)
C: Μικροί ρυθμοί διήθησης (π.χ. αργιλοπηλός)
D: Πολύ μικροί ρυθμοί διήθησης (π.χ. πλαστικές άργιλοι).

Αντίστοιχα, οι συνθήκες εδαφικής υγρασίας διακρίνονται σε τρεις τύπους, βάσει τη βροχή των τελευταίων πέντε ημερών:

- I:** Ξηρές συνθήκες (βροχή < 13 mm ή <35 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)
II: Μέσες συνθήκες (βροχή μεταξύ 13 και 38 mm ή μεταξύ 35 και 53 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης)
III: Υγρές συνθήκες (βροχή > 38 mm ή >53 mm για περιοχή με φυτοκάλυψη σε συνθήκες ανάπτυξης).

Σύμφωνα λοιπόν με τη μέθοδο SCS, ο αριθμός καμπύλης απορροής CN, για διάφορες χρήσεις γης και συνθήκες υγρασίας τύπου II, μπορεί να προσδιοριστεί από τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2. Τιμές CN για διάφορες χρήσεις γης και συνθήκες εργασίας τύπου II.

Χρήσεις γης	Τύποι Εδαφών			
	A	B	C	D
Λιβάδια	30-68	58-79	71-86	78-89
Δάση	25-45	55-66	70-77	77-83
Οικιστικές Περιοχές	51-77	68-85	79-90	84-92
Δρόμοι	72-98	82-98	87-98	89-98

(Πηγή: Μαμάσης, 2009)

Οι τιμές του αριθμού καμπύλης απορροής CN, για συνθήκες υγρασίας τύπου I και III αντίστοιχα, υπολογίζονται εν συνεχεία, βάσει των σχέσεων (Μαμάσης, 2009):

$$CN_I = \frac{0.42 * CN_{II}}{1 - 0.0058 * CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{2.3 * CN_{II}}{1 + 0.013 * CN_{II}}$$

2.1.9 Εντοπισμός χωρικών μεγίστων υδρολογικών μεταβλητών

Έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, πως ο πλημμυρικός κίνδυνος είναι συνάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης του φυσικού φαινομένου και της επίδρασης που θα έχει στην ανθρώπινη κοινωνία.

Επίσης, είναι γνωστό πως, τα μεγέθη των πλημμυρών (παροχή αιχμής, πλημμυρικός όγκος, χρονική διάρκεια) συνδέονται, μεταξύ άλλων, και με τα χαρακτηριστικά της βροχόπτωσης, που αφορούν στο συνολικό ύψος, στην ένταση και στη διάρκειά της (Μαμάσης, 2009).

Σε πολλές όμως περιπτώσεις, είναι ιδιαίτερος σημαντικό, να καταστούν γνωστά τα χωρικά μέγιστα των υδρολογικών αυτών μεταβλητών. Για παράδειγμα, στη βροχόπτωση παίζει σημαντικό ρόλο η επιφανειακή τιμή της μεταβλητής – η οποία συνδέεται με την έκταση της υδρολογικής λεκάνης – σε συγκεκριμένους χρόνους (π.χ. 10min, 1h, 6h, κλπ.) – οι οποίοι, αντίστοιχα, συνδέονται με τον χρόνο συρροής της λεκάνης.

Επομένως, είναι σαφές πως, το πρώτο βήμα για τη μελέτη των πλημμυρών είναι ο εντοπισμός και η επεξεργασία των χωρικών μεγίστων βροχοπτώσεων (ΥΠΕΧΩΔΕ και ΕΜΠ, 1988).

2.2 ΓΣΠ και Υδρολογική Ανάλυση

Η δημιουργία υδρολογικών μοντέλων επιφανειακών υδάτων περιλαμβάνει προσομοιώσεις, που αναπαριστούν τις επιδράσεις των βροχοπτώσεων και της απορροής στη συγκέντρωση επιφανειακών υδάτων, όπως λίμνες, κανάλια και ποτάμια. Εφαρμοσμένα μοντέλα βροχοπτώσεων – απορροής απαιτούν ένα μεγάλο αριθμό παραμέτρων, για την περιγραφή της μορφολογίας – γεωμορφολογίας, των κατηγοριών των εδαφών και των χρήσεων γης.

Βασικό στοιχείο στα υδρολογικά μοντέλα είναι η σωστή κατανόηση των πληροφοριών που περιγράφουν το σύστημα. Ως εκ τούτου, η ακρίβεια εξαρτάται από τα δεδομένα εισαγωγής. Χάρη στις ικανότητές τους σε θέματα χειρισμού και επεξεργασίας των δεδομένων, τα ΓΣΠ χρησιμοποιούνται με αυξανόμενους ρυθμούς στη διαχείριση δεδομένων για υδρολογικά μοντέλα. Τα ΓΣΠ, μέσω σωστών διαστρωματώσεων και των δυνατοτήτων χωροχρονικών αναλύσεων που παρέχουν,

αποτελούν τους συνδετικούς μηχανισμούς μεταξύ δεδομένων και υδρολογικών μοντέλων.

Υπάρχει μια πληθώρα GIS εφαρμογών για την επεξεργασία δεδομένων σε συνδυασμό με υδρολογικά μοντέλα (Ross and Tara, 1993; Shea et al., 1993), καθώς και για την οπτικοποίηση των δεδομένων εισόδου/εξόδου, αλλά και των αποτελεσμάτων. Τα GIS παρέχουν τη δυνατότητα 'ένωσης' και κατακερματισμού, αντίστοιχα, της χωρικής ανάλυσης των δεδομένων, καθώς και τη μετατροπή ενός γεωγραφικού μοντέλου σε ένα άλλο (Skop and Loaiciga, 1998).

Η βάση για τις περισσότερες υδρολογικές εφαρμογές, σε συνδυασμό με τα GIS, είναι τα Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους³, τα οποία διευκολύνουν την ανάλυση των τοπογραφικών στοιχείων, που επηρεάζουν τη ροή του νερού, και έτσι τα καθιστούν σημαντικά εργαλεία στη μοντελοποίηση υδρολογικών διεργασιών. Οι Moore et al. (1991), Quinn et al. (1991), Jenson (1994) και Benosky and Merry (1995) δίνουν αρκετά παραδείγματα για το πώς τα βασικά χαρακτηριστικά μιας υδρολογικής λεκάνης μπορούν να εξαχθούν αυτόματα από ένα DEM.

Ένα σημαντικό ζήτημα στην επιφανειακή υδρολογία είναι η χάραξη των λεκανών και υπολεκανών απορροής, τα όρια των οποίων μπορούν να καθοριστούν από την εξαγωγή του υδροκρίτη από ένα DEM. Ένα άλλο σημαντικό θέμα είναι η χάραξη του υδρογραφικού δικτύου και ο καθορισμός των κατευθύνσεων ροής του νερού (Fairfield and Leymarie, 1991; Tarboton et al., 1991; Montgomery and Foufoula-Georgiou, 1993).

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μέθοδοι για την χάραξη υδρογραφικών δικτύων σε τοπικό (Peucker and Douglas, 1975) και παγκόσμιο επίπεδο (O'Callaghan and Mark, 1984). Οι μέθοδοι παγκόσμιας κλίμακας χαράσσουν

³ Ένα Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) είναι ένας κάρναβος δειγματοληψίας ή μία ψηφιδωτού τύπου (raster) αναπαράσταση της συνεχούς τοπογραφικής επιφάνειας (DeMers, 2000). Είναι, δηλαδή, ένας κάρναβος υψομέτρων, που αναπαριστά μια κανονική διάταξη υψομετρικών σημείων (Chang, 2003). Ένα DEM, όπως άλλωστε και κάθε άλλο αρχείο καννάβου, αποτελεί έναν τρόπο κατάτμησης του γεωγραφικού χώρου, ώστε ο τελευταίος να μπορεί να αναπαρασταθεί σε υπολογιστή (DeMers, 2002). Με την ανάθεση μιας αριθμητικής τιμής – της τιμής του αντίστοιχου υψομέτρου – σε κάθε ένα κελί / φατνίο του καννάβου (grid) του DEM λαμβάνεται πληροφορία υψομέτρων για το σύνολο της περιοχής. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται εφικτή η αναπαράσταση του γήινου ανάγλυφου.

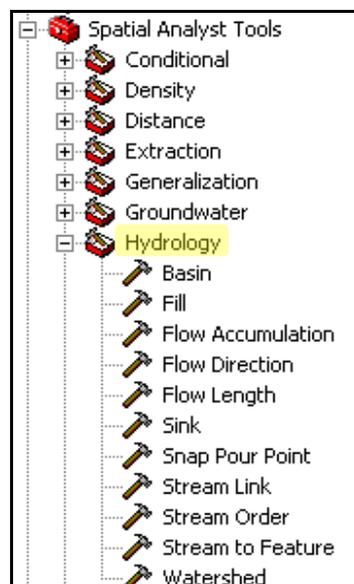
τους ποτάμιους κλάδους, εντοπίζοντας σε ένα DEM τα κελιά εκείνα, των οποίων η τιμή είναι μεγαλύτερη από αυτήν που έχει δοθεί ως κατώφλι (Bloschl and Sivaralan, 1995) και έχουν αποδειχθεί ως οι καταλληλότερες, καθώς μπορούν και αναπαριστούν καλύτερα τη συνδεσιμότητα μεταξύ των κλάδων ενός υδρογραφικού δικτύου.

2.3 Λογισμικό ArcGIS

2.3.1 Παρουσίαση του Toolset Hydrology

Η κατανόηση και μελέτη του σχήματος της γήινης επιφάνειας είναι ιδιαίτερος χρήσιμη σε διάφορους επιστημονικούς τομείς, όπως η χωροταξία, η γεωλογία, η υδρολογία, η δασολογία, κλπ. Γι' αυτούς τους τομείς, είναι σημαντική η κατανόηση της ροής του νερού πάνω σε μια δεδομένη επιφάνεια, καθώς επίσης και το πώς μπορεί να επηρεαστεί αυτή η ροή, εξαιτίας διαφόρων αλλαγών.

Για τους λόγους αυτούς, κρίθηκε σκόπιμο και απαραίτητο να ενσωματωθεί στο ToolBox του λογισμικού ArcGIS, στις πιο πρόσφατες εκδόσεις του, το Toolset Hydrology (Εικόνα 6), ως τμήμα του Spatial Analyst Extension, του οποίου τα εργαλεία περιγράφονται εκτενώς παρακάτω.



Εικ.6 Toolset Hydrology του λογισμικού ArcGIS

(Πηγή: περιβάλλον εργασίας ArcMap 9.3)

Εργαλείο Basin

Το εν λόγω εργαλείο δίνει τη δυνατότητα χάραξης μιας λεκάνης απορροής ενός ποταμού, με μοναδικό δεδομένο ένα raster⁴ αρχείο, που αφορά στη διεύθυνση ροής, και του οποίου η δημιουργία αναφέρεται εκτενώς παρακάτω. Συγκεκριμένα, το εργαλείο basin αναγνωρίζει τους υδροκρίτες που οριοθετούν τη λεκάνη, εντοπίζοντας τα σημεία εκείνα του χώρου που απορρέουν έξω από την επιφάνεια (βλ. εργαλείο flow direction).

Εργαλείο Fill

Γενικά, μια ρουτίνα υδρολογικής ανάλυσης εξάγει τοπογραφικά χαρακτηριστικά, όπως η λεκάνη απορροής και το υδρογραφικό δίκτυο, αξιοποιώντας ψηφιδωτά δεδομένα υψομέτρου (Jenson, 1994; Moore, 1996). Πρώτο βήμα σε μια τέτοια διαδικασία αποτελεί η πλήρωση του DEM, το οποίο ενδεχομένως να παρουσιάζει κάποιες τοπικές ταπεινώσεις (depressions) του αναπαριστώμενου αναγλύφου, σε κάποιο ή κάποια φατνία του καννάβου (Εικόνα 7α). Αυτές οι τοπικές ταπεινώσεις οφείλονται συνήθως σε σφάλματα και ατέλειες του DEM και συνήθως κρίνεται σκόπιμο να εξαλειφθούν, με τη δημιουργία ενός νέου καννάβου, παρόμοιου με τον αρχικό (filled DEM), στο οποίο οι πολύ χαμηλές τιμές υψομέτρου αντικαθίστανται από υψηλότερες, σύμφωνα με εκείνες των γειτονικών κελιών (Εικόνα 7β) (Jenson and Domingue, 1988).



Εικ.7 (α) Προφίλ ενός DEM που παρουσιάζει τοπική ταπείνωση αναπαριστώμενου αναγλύφου και (β) προφίλ νέου DEM, όπου οι χαμηλές τιμές υψομέτρου έχουν αντικατασταθεί από υψηλότερες, με χρήση του εργαλείου fill.

(Πηγή: *Advanced GIS Workshop for UCCE, 2007*)

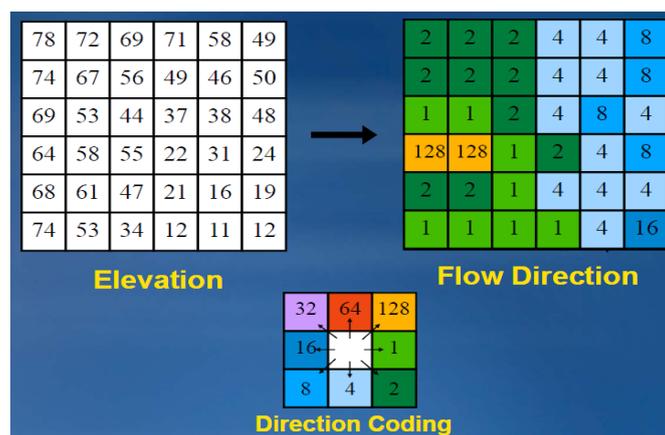
⁴ Raster model (ψηφιδωτό μοντέλο) είναι ένα μοντέλο βάσει του οποίου μια περιοχή μελέτης χωρίζεται σε ένα σύνολο από χωρικές μονάδες, που ονομάζονται κελιά (cells) ή εικονοψηφίδες (pixels). Το σύνολο των χωρικών αυτών μονάδων ονομάζεται ψηφιδωτό (grid). Σε κάθε κελί αντιστοιχεί μόνο μία τιμή, η οποία αντιπροσωπεύει κάποια ιδιότητα του πραγματικού κόσμου. Η θέση του κάθε κελιού προσδιορίζεται από τον αντίστοιχο αριθμό της γραμμής και της στήλης του ψηφιδωτού (Κίτσιου, 2003).

✚ Εργαλεία Flow Direction και Flow Accumulation

Εφόσον έχει πραγματοποιηθεί το ‘γέμισμα’ του DEM, μπορεί να ακολουθήσουν διαδικασίες που αφορούν στη διεύθυνση ροής ή στη συγκέντρωση ροής. Συγκεκριμένα, στην πρώτη περίπτωση, η ανάλυση συνίσταται στη δημιουργία ενός νέου grid, στο οποίο θα εμπεριέχεται πληροφορία, που αφορά στη διεύθυνση ροής (flow direction grid). Μέσω ενός αλγορίθμου, για κάθε ένα από τα φαντρία του grid αναζητούνται τα οκτώ (8) γειτονικά φαντρία – εντός ενός παραθύρου 3x3 – που ουσιαστικά το περιβάλλουν. Έπειτα, ελέγχονται οι τιμές υψομέτρου και καθορίζεται η διεύθυνση ροής, από τα φαντρία με τις μεγαλύτερες τιμές υψομέτρου προς εκείνα με τις μικρότερες, συνυπολογίζοντας και τις μεταξύ τους αποστάσεις (Εικόνα 8).

Με άλλα λόγια, για κάθε φαντριο υπολογίζονται οι κλίσεις⁵ (slopes) προς κάθε ένα από τα οκτώ λοιπά φαντρία. Μεταξύ των δύο εκείνων γειτονικών φαντριών, για τα οποία η τιμή της κλίσης μεγιστοποιείται, αποκαλύπτονται και τα δύο εκείνα κελιά, στα οποία θα επιτευχθεί η ροή, και επομένως καθορίζεται η διεύθυνση ροής (DeMers, 2002).

Η απορροή των κυττάρων που βρίσκονται στο σύνορο (στην περιφέρεια) διοχετεύεται στη διεύθυνση με τη μεγαλύτερη θετική κλίση (μπορεί και στο εσωτερικό της επιφάνειας). Αν η υψομετρική διαφορά είναι μηδενική ή αρνητική, τότε η απορροή θα διοχετευτεί έξω από την επιφάνεια.



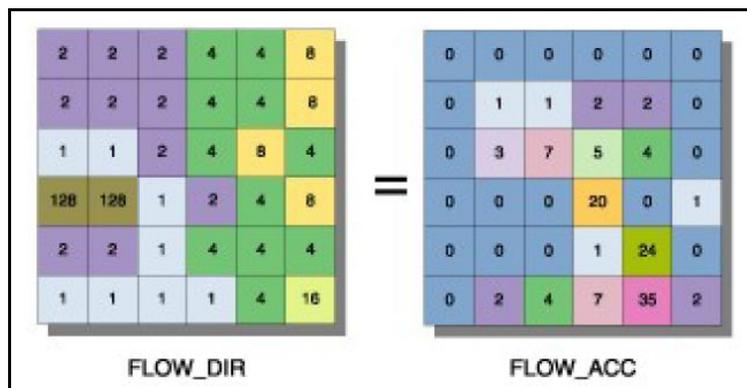
Εικ.8 Δημιουργία flow direction grid, από ένα DEM.

(Πηγή: Kopp and Noman, 2008)

⁵ **Κλίση** $\Delta z / \Delta x$: όπου Δz η διαφορά των τιμών υψομέτρου (κατακόρυφη απόσταση) και Δx η απόσταση μεταξύ γειτονικών κελιών (οριζόντια απόσταση)

Στη δεύτερη περίπτωση αντίστοιχα, μπορεί να δημιουργηθεί ένα νέο grid, το οποίο να αποτυπώνει πληροφορία, που αφορά στα κελιά εκείνα, στα οποία συγκεντρώνεται ροή νερού (flow accumulation grid). Συγκεκριμένα, σε κάθε ένα φατνίο του νέου καννάβου καταχωρείται μια τιμή: ο αριθμός των φατνίων, δια μέσου των οποίων διέρχεται το νερό. Αυτό πραγματοποιείται ύστερα από επεξεργασία του flow direction grid, μέσω ενός αλγορίθμου, αποκαλύπτοντας τον αριθμό των φατνίων (που αναπαριστούν την τοπογραφική επιφάνεια) ανάντη της κοίτης, απ' τα οποία θα μεταβεί το νερό, προκειμένου να καταλήξει σε κάθε κελί (Εικόνα 9).

Επομένως, για περιοχές κοντά στις κορυφογραμμές, δηλ. στον υδροκρίτη, αναμένονται τιμές κοντά στο 0, ενώ για κεντρικές κοίτες των ποταμών αναμένονται πολύ υψηλές τιμές. Τέλος, θέτοντας ένα κατώφλι⁶ (threshold) στην τιμή συσσώρευσης – κάνοντας την παραδοχή ότι για τιμές μικρότερες από αυτήν που παίρνει το κατώφλι δεν υφίσταται συγκεντρωμένη ροή – υπάρχει η δυνατότητα απεικόνισης ενός αποστραγγιστικού δικτύου, πλήρως συνδεδεμένου (Chang, 2003).



Εικ.9 Μετατροπή του flow direction grid σε flow accumulation. Τα φατνία με τις υψηλότερες τιμές απεικονίζουν τις περιοχές στις οποίες συγκεντρώνεται νερό και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη χάραξη του υδρογραφικού δικτύου. Αντίστοιχα, τα κελιά με μηδενικές τιμές αναπαριστούν τοπικά υψηλά τοπογραφικά σημεία και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη χάραξη του υδροκρίτη.

(Πηγή: *Advanced GIS Workshop for UCCE, 2007*)

⁶ Όσο χαμηλότερη είναι η τιμή του threshold, τόσο διευρύνεται το υδρογραφικό δίκτυο, με αποτέλεσμα αυτό να περιλαμβάνει κλάδους μικρότερης τάξης, ακόμα και ανύπαρκτες κοίτες. Επειδή η επιφανειακή απορροή είναι ένα φαινόμενο που μεταβάλλεται δυναμικά στον χρόνο, πολλές φορές οι κοίτες 1^{ης} τάξης συγχέονται με μικροαυλακώσεις του εδάφους, και το αντίθετο, χωρίς να υπάρχει πάντοτε ένα αντικειμενικό κριτήριο διαχωρισμού τους.

Εργαλείο Flow Length

Το εργαλείο αυτό εφαρμόζεται σε κάνναβο διεύθυνσης ροής (flow direction grid) και υπολογίζει το μήκος της ροής κάθε κυττάρου, μέχρι την έξοδο της λεκάνης απορροής (Μαμάσης και Κουτσογιάννης, 1999). Η κύρια χρήση του συνίσταται στον υπολογισμό του μήκους του κυρίου υδατορεύματος μιας λεκάνης, ενώ δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού του χρόνου απορροής της, για υποθετικά επεισόδια βροχής και φαινόμενα απορροής, με χρήση ενός weight raster (κάνναβος βαρών).

Εργαλείο Sink

Αυτό το εργαλείο χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό των «βυθισμάτων» (των κελιών που παρουσιάζουν πολύ χαμηλές τιμές υψομέτρου) στο εσωτερικό της επιφάνειας. Για τη λειτουργία του απαιτείται ως αρχείο εισόδου ένα αρχείο, που αφορά στη διεύθυνση ροής (flow direction grid).

Αυτά τα «βυθίσματα» οφείλονται κυρίως σε σφάλματα του αρχικού ψηφιακού μοντέλου εδάφους, αλλά μπορεί να αναπαριστούν και κάποια πραγματική τοπική ταπείνωση του αναγλύφου. Σύμφωνα όμως, με τους Goodchild and Mark (1987) και Mark (1988), σε ψηφιακά μοντέλα εδάφους με μέγεθος pixel 10 m ή μεγαλύτερο, σπάνια εντοπίζονται πραγματικές ταπεινώσεις, επομένως τα «βυθίσματα» μπορούν γενικά να θεωρηθούν ως σφάλματα. Όσο αυξάνει το μέγεθος του pixel, τόσο περισσότερα «βυθίσματα» εμφανίζονται σε ένα DEM.

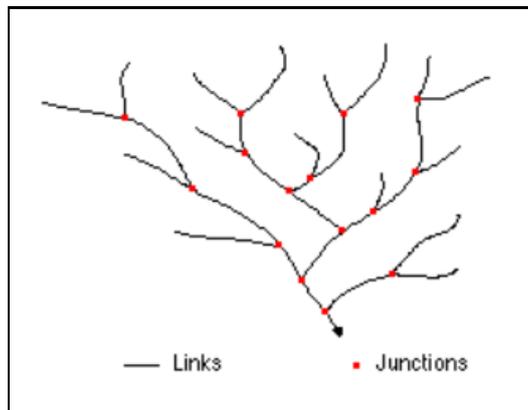
Εργαλείο Snap pour point

Με το εργαλείο Snap pour point αποτυπώνονται τα σημεία εξόδου ενός υδρογραφικού δικτύου, μέσα σε μια ορισμένη απόσταση. Όσο περισσότερο αυξάνεται το μέγεθος αυτής της απόστασης, έως κάποιου μεγέθους, τόσο πιο διακριτά αποτυπώνονται τα υδατορεύματα του δικτύου. Τα σημεία εξόδου μπορεί να είναι οι εκβολές των ρευμάτων ή άλλα υδρολογικά σημεία ενδιαφέροντος, όπως σταθμοί μέτρησης κλπ.

Εργαλείο Stream Link

Το εργαλείο αυτό χρησιμοποιεί ως αρχείο εισόδου ένα raster αρχείο, όπου απεικονίζεται ένα υδρογραφικό δίκτυο. Με τη χρήση του εργαλείου αποδίδεται μια

μοναδική τιμή σε κάθε ένωση μεταξύ των γραμμικών στοιχείων του αρχικού raster, **συναρτήσει** του καννάβου διεύθυνσης ροής (flow direction) (Εικόνα 10).

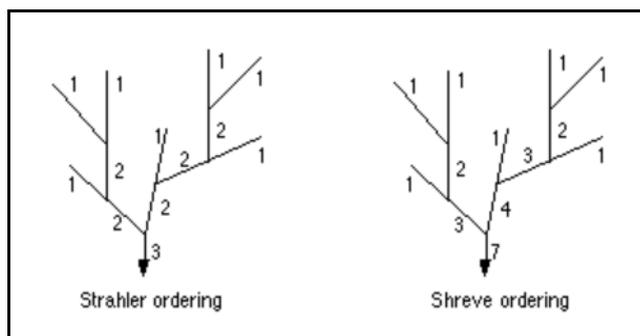


Εικ.10 Σύνδεσμοι (links) είναι τα τμήματα εκείνα του υδρογραφικού δικτύου, που συνδέουν δύο διαδοχικούς κόμβους (junctions), ή έναν κόμβο με το σημείο εξόδου, ή κόμβους με τα σημεία έναρξης της απορροής.

(Πηγή: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3>)

Εργαλείο **Stream Order**

Γενικά, με τη χρήση αυτού του εργαλείου αποδίδεται μια αριθμητική σειρά στα επιμέρους τμήματα ενός γραμμικού δικτύου. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε δύο μεθόδους ταξινόμησης, αυτήν του Strahler, η οποία περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2.1.2, και αυτήν του Shreve (Εικόνα 11).

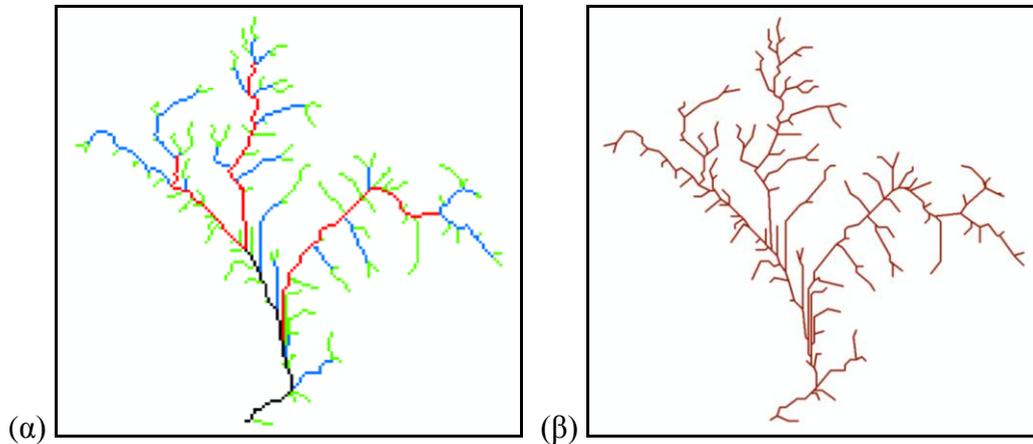


Εικ.11 Ταξινόμηση ποτάμιων κλάδων κατά Strahler και κατά Shreve.

(Πηγή: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3>)

Εργαλείο Stream to Feature

Ουσιαστικά, αυτό το εργαλείο έχει δημιουργηθεί για τη μετατροπή ενός raster αρχείου, που απεικονίζει υδρογραφικό δίκτυο και του οποίου η διεύθυνση ροής (flow direction) είναι γνωστή, σε ένα vector⁷ αρχείο (Εικόνα 12) (Tarboton et al., 1991).



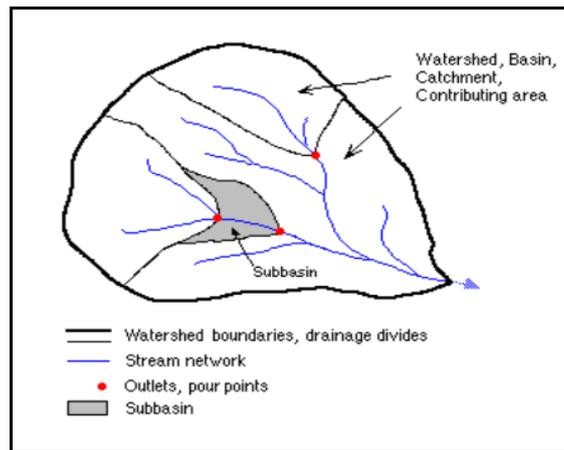
Εικ.12 (α) Raster αρχείο, όπου απεικονίζεται ταξινόμηση υδρογραφικού δικτύου κατά Strahler και (β) Vector αρχείο υδρογραφικού δικτύου, ως αρχείο εξόδου του εργαλείου stream to feature.

(Πηγή: *ιδία επεξεργασία*)

Εργαλείο Watershed

Με το εργαλείο αυτό παρέχεται η δυνατότητα χάραξης ενός υδροκρίτη, βάσει της διεύθυνσης ροής και των σημείων εξόδου (Εικόνα 13).

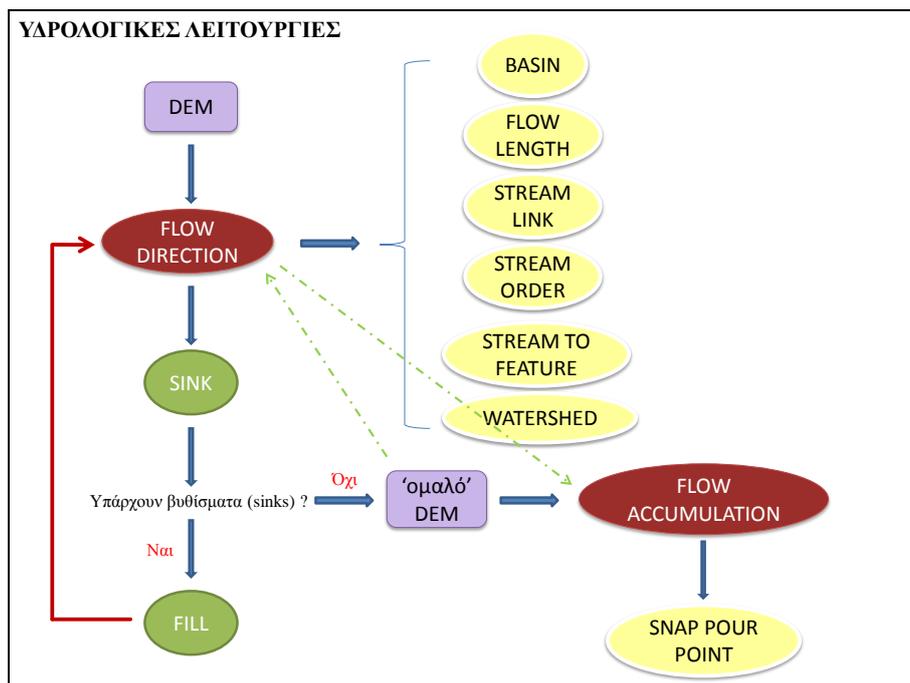
⁷ Vector (διανυσματικό) είναι ένα μοντέλο, του οποίου οι βασικές λογικές μονάδες απεικόνισης είναι τα σημεία, οι γραμμές και τα πολύγωνα. Κάθε γραμμή κωδικοποιείται με τη μορφή σειράς ζευγών συντεταγμένων (X,Y) των σημείων της. Όλα τα αντικείμενα απεικονίζονται συνδέοντας σημεία με ευθείες γραμμές/τόξα (arcs). Μια κλειστή επιφάνεια, με μορφή πολυγώνου, κωδικοποιείται με μια σειρά γραμμών, οι οποίες αποτελούν και τα όρια του πολυγώνου (Κίτσιου, 2003).



Εικ.13 Χάραξη των ορίων του υδροκρίτη, βάσει της διεύθυνσης ροής (flow direction) και των σημείων εξόδου (βλ. εργαλείο Snap pour point).

(Πηγή: <http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3>)

Στην εικόνα που ακολουθεί απεικονίζονται διαγραμματικά όλες οι λειτουργίες του Toolset Hydrology, σύμφωνα με το ποια βήματα πρέπει να προηγηθούν κάθε εργαλείου.



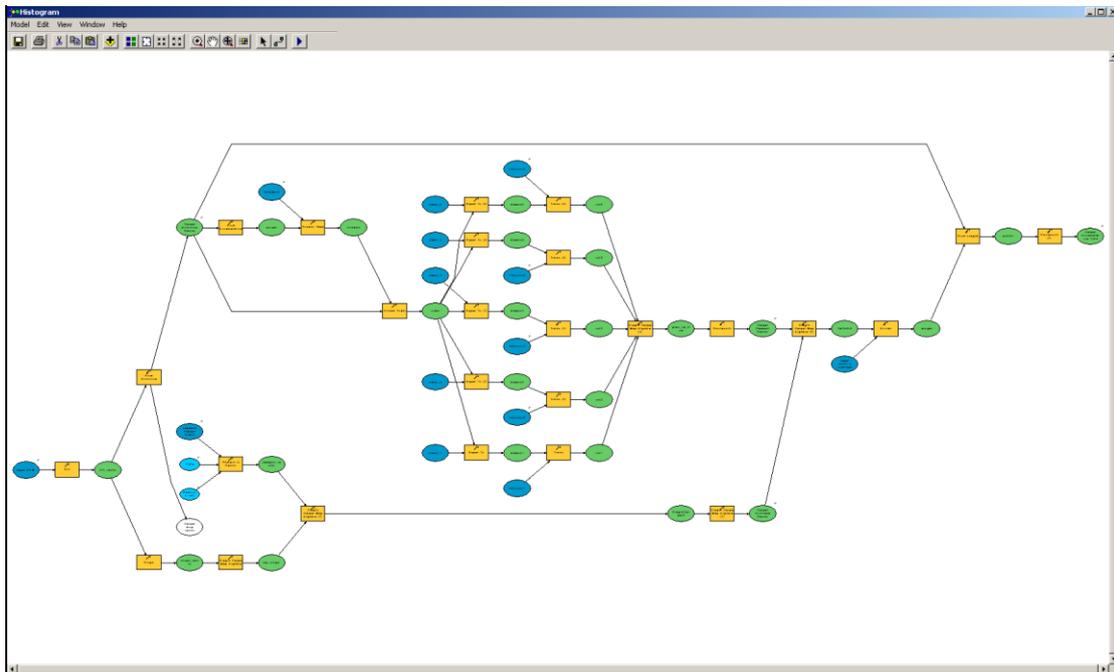
Εικ.14 Διάγραμμα ροής για εξαγωγή υδρολογικών χαρακτηριστικών, από ένα DEM. (Πηγή: *Advanced GIS Workshop for UCCE, 2007, τροποποίηση*)

2.3.2 *Model Builder*

Το Model Builder είναι ένα καινούργιο περιβάλλον, που έχει προστεθεί στο λογισμικό ArcGIS 9.x. Μέσω αυτού, ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει ή να εφαρμόσει μια σειρά αναλυτικών εργαλείων, ακολουθώντας ένα σαφώς καθορισμένο μοντέλο, που έχει δημιουργηθεί για ένα συγκεκριμένο σκοπό (Εικόνα 15).

Η δημιουργία ενός μοντέλου με τη βοήθεια της λειτουργίας του Model Builder δίνει τη δυνατότητα αυτοματοποίησης της χωρικής αναλυτικής διαδικασίας. Επίσης, ο χρήστης έχει τον πλήρη έλεγχο των διαδικασιών και των δεδομένων. Αυτό είναι πολύ σημαντικό, ειδικά όταν οι διαδικασίες που εκτελούνται είναι πολλές και **απαιτούν πειραματισμό με τις παραμέτρους**.

Συγκεκριμένα, η χρήση του Model Builder επιτρέπει την εύκολη και άμεση αλλαγή των τιμών των παραμέτρων, ανανεώνεται αυτόματα με κάθε αλλαγή του μοντέλου και επιτρέπει την άμεση προσθήκη ή αφαίρεση διαδικασιών, ή ακόμη και την αλλαγή σχέσεων μεταξύ των διαδικασιών (Κουτσόπουλος και Ανδρουλακάκης, 2005).



Εικ.15 Παράδειγμα δημιουργίας μοντέλου, με τη βοήθεια του μηχανισμού Model Builder. *(Πηγή: ίδια επεξεργασία)*

3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ – Case Study

3.1 Περιγραφή της Περιοχής Μελέτης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε ανάπτυξη και εφαρμογή εργαλείων υδρολογικής ανάλυσης, που αφορούν στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αράχθου, στη θέση Τσίμοβο (υπολεκάνη), με δεδομένα διαφορετικής ανάλυσης και διαφορετικών πηγών προέλευσης και επεξεργασίας.

3.1.1 Λεκάνη Απορροής Αράχθου – Υπολεκάνη στην περιοχή Τσίμοβο

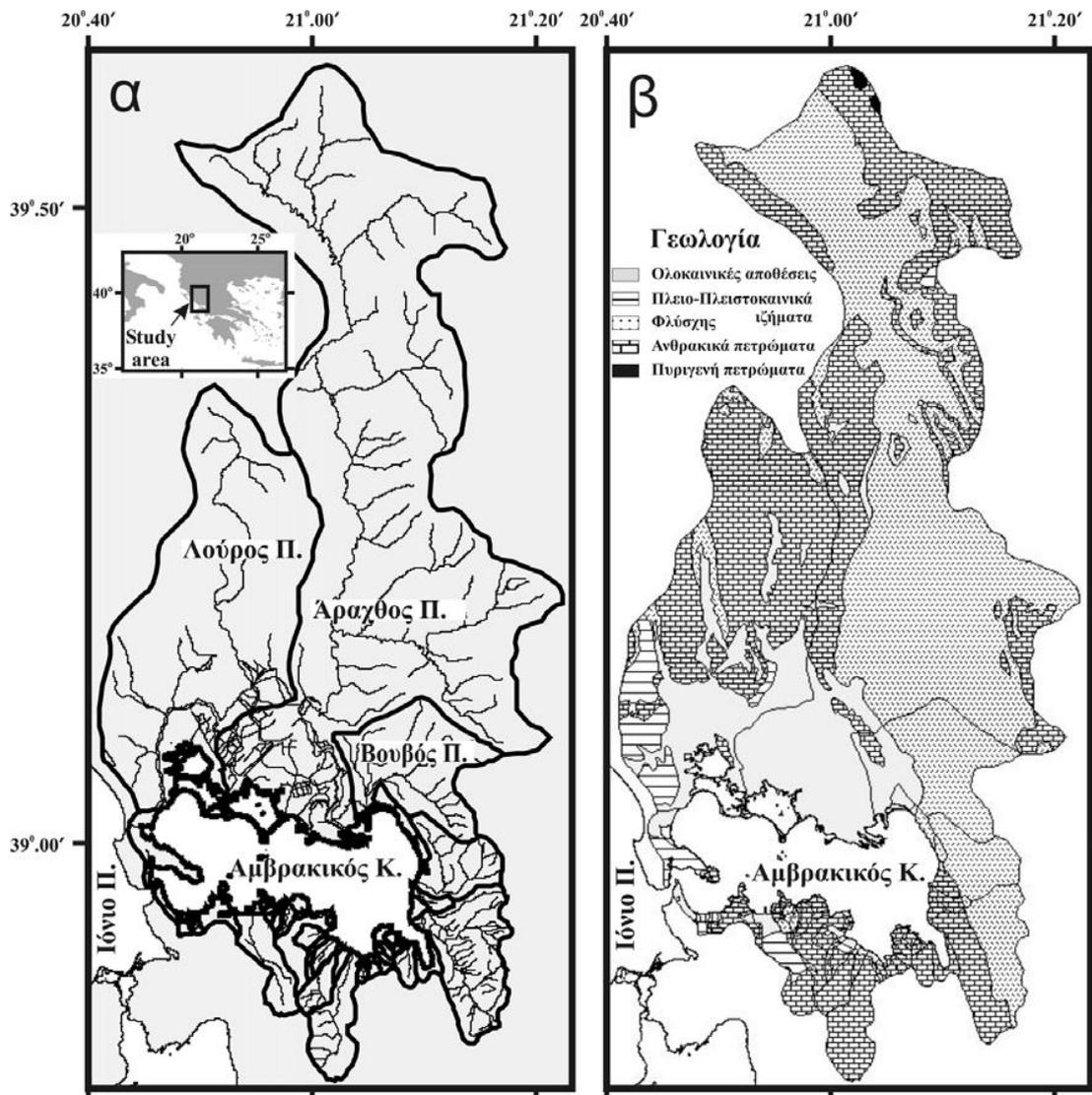
Ο Αραχθος είναι ο μεγαλύτερος ποταμός της Ηπείρου, που ρέει γύρω από την Άρτα και εκεί έχει κατασκευαστεί το περίφημο Γεφύρι της Άρτας. Πηγάζει από την Πίνδο, από τις πηγές του όρους Λάκμωνα, σε υψόμετρο 1700 m, στη θέση Οξιά του Δεσπότη, κοντά στο Μέτσοβο, όπου και λέγεται Μετσοβίτικο Ποτάμι. Στο ύψος του οροπεδίου των Γιαννιτσών δέχεται τον Ζαγορίσιο ή Διπόταμο. Άλλοι παραπόταμοί του είναι ο Καλαρρυτινός ή Ντουβιάκας, ο ποταμός της Καλενδίνης, το ποτάμι του Πέτα, το ποτάμι του Λοζίτσι κ.α. (Αυγέρη κ.α., 2005).

Η λεκάνη απορροής του έχει έκταση ίση με 1850 km² (Μερτζάνης, 1992), ενώ το μήκος της κύριας μισγάγγειας είναι ίσο με 110 km (άξονας Β-Ν) και εκβάλλει στον Αμβρακικό Κόλπο (Εικόνα 16α) (Μιμίκου, 2005).

Τα πετρώματα που διαβρέχει ο ποταμός είναι κυρίως φλύσχης και σε μικρή έκταση ασβεστόλιθος (Εικόνα 16β). Τα νερά του Αράχθου προέρχονται κυρίως από τη βροχή, το λιωμένο χιόνι και από διάφορες πηγές που ανήκουν σε δύο σημαντικά καρστικά συστήματα: το αντίκλινο του Αράχθου (ανατολικές πλαγιές των βουνών Μιτσικέλι και Ξεροβούνι) και των Τζουμέρκων (Kapsimalis et al., 2004).

Η μέση ετήσια παροχή είναι της τάξης των 70 m³/sec, με σημαντικές διακυμάνσεις των μέσων μηνιαίων τιμών (Kapsimalis et al., 2004). Συγκεκριμένα, η παροχή του ποταμού ανέρχεται σε 22 m³/sec στη γέφυρα Τσιμόβου, 39 m³/sec στη γέφυρα Πλάκας, 10.5 m³/sec στη γέφυρα Γκόγκου και 68.5 m³/sec στο φράγμα Πουρναρίου (<http://diocles.civil.duth.gr/links/home/database/ioanina/pr21ge.pdf>).

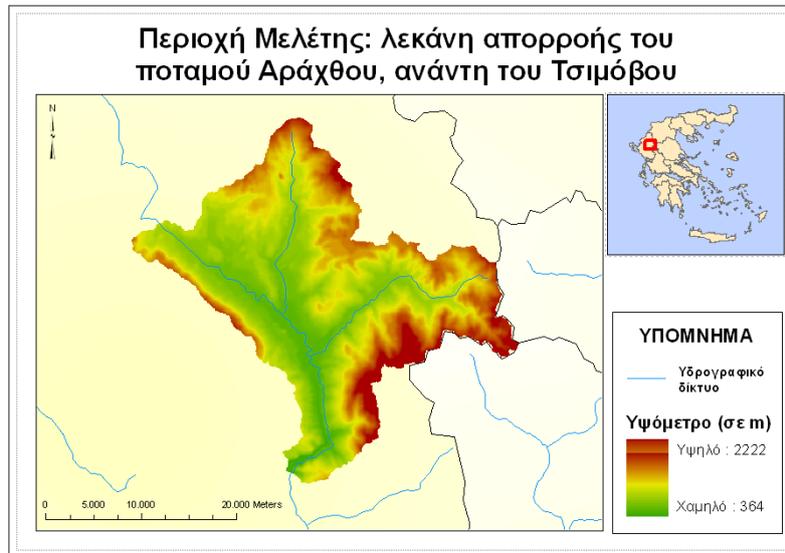
Το κλίμα της περιοχής χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, με ήπιους χειμώνες (μέση ετήσια βροχόπτωση: 1600 mm), ενώ το υψομετρικό της εύρος κυμαίνεται από 0 έως 2400 m, με μέσο υψόμετρο τα 785 m (Μιμίκου, 2005).



Εικ.16 Η ευρύτερη περιοχή του Αμβρακικού Κόλπου: (α) το υδρογραφικό δίκτυο και η λεκάνη απορροής του ποταμού Αράχθου και (β) οι γεωλογικοί σχηματισμοί (απλοποιημένος χάρτης).

(Πηγή: (α) Kapsimalis et al., 2004, (β) Μπορνόβας και Ροντογιάννη-Τσιαμπάου, 1983)

Στην παρούσα εργασία, όλα τα δεδομένα και τα αποτελέσματα αφορούν στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αράχθου, ανάντη της περιοχής του Τσιμόβου (Εικόνα 17), τα κύρια χαρακτηριστικά της οποίας δίνονται στον Πίνακα I.1, του Παραρτήματος I.



Εικ.17 Περιοχή μελέτης: λεκάνη απορροής του ποταμού Αράχθου, ανάντη της θέσης Τσίμοβο. (Πηγή: ίδια επεξεργασία)

3.2 Εφαρμογή της Μεθοδολογίας

3.2.1 Ανάπτυξη Βάσης Δεδομένων με χρήση ΓΣΠ

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αφορούν τόσο σε χωρική, όσο και στην αντίστοιχη περιγραφική πληροφορία. Συγκεκριμένα, η πληροφορία που συλλέχθηκε υπό μορφή γεωγραφικών υποβάθρων είναι η εξής:

- Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους για την περιοχή του Τσίμοβου, ανάλυσης 250x250 m και ανάλυσης 100x100 m (Πηγή: Τομέας Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ), (Παράρτημα II, Χάρτες II.1 και II.2, αντίστοιχα),
- Χρήσεις γης (CORINE) (Πηγή: <http://www.eea.europa.eu> και Τομέας Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ), (Παράρτημα II, Χάρτης II.3 και II.4, αντίστοιχα),
- Υδρολιθολογικός χάρτης της Ελλάδος (Πηγή: Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΜΠ, ΙΓΜΕ και ΚΕΠΕ), (Παράρτημα II, Χάρτης II.5)
- Ετήσια κατανομή βροχόπτωσης της Ελλάδος (Πηγή: Τομέας Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ), (Παράρτημα II, Χάρτης II.6).

Τα παραπάνω δεδομένα είναι γεωαναφερμένα στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ '87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς). Το προβολικό αυτό σύστημα βασίζεται στο νέο Ελληνικό Datum και υλοποιήθηκε το 1987. Χρησιμοποιεί το ελλειψοειδές

GRS80, με αρχή το κεντρικό βάθρο του Διονύσου. Η Ελλάδα είναι χωρισμένη σε μία ζώνη, με κεντρικό μεσημβρινό $\lambda_0 = 24^\circ$ και συντελεστή κλίμακας 0,9996. Ο κεντρικός μεσημβρινός απεικονίζεται στο επίπεδο σαν άξονας των Y , ενώ ο ισημερινός σαν άξονας των X . Για να μην υπάρχουν αρνητικές τιμές στον άξονα των X , θεωρήθηκε ότι ο κεντρικός μεσημβρινός έχει τιμή $X_0 = 500000$ μέτρα (Κουτσόπουλος και Ανδρουλακάκης, 2005).

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη δημιουργία των εργαλείων υδρολογικής ανάλυσης.

3.2.2 Μοντέλο χρόνου – επιφάνειας: Δημιουργία ιστογράμματος χρόνου – επιφάνειας

Η δημιουργία ιστογράμματος χρόνου – επιφάνειας περιλαμβάνει συνοπτικά τα εξής στάδια:

- δημιουργία καννάβου ταχυτήτων χερσαίας ροής⁸ (overland flow), βάσει των χρήσεων γης και του αναγλύφου της περιοχής μελέτης,
- δημιουργία καννάβου ταχυτήτων υδρογραφικού δικτύου (channel flow), και
- δημιουργία καννάβου συνολικών ταχυτήτων ροής, βάσει συνδυασμού των δυο προηγούμενων καννάβων (accum_time).

Στην παρούσα εργασία, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο, μέσω του μηχανισμού Model Builder, του λογισμικού ArcGIS, με σκοπό την αυτοματοποίηση της διαδικασίας δημιουργίας καννάβου συνολικών ταχυτήτων ροής. Αρχικά, δημιουργήθηκαν δύο επιμέρους μοντέλα, που αφορούν στις ταχύτητες χερσαίας ροής και στις ταχύτητες υδρογραφικού δικτύου, αντίστοιχα, τα οποία ενσωματώθηκαν, μέσω συνδυασμού τους, στο τελικό μοντέλο. Η διαδικασία περιγράφεται αναλυτικά παρακάτω. Ολόκληρη η διαδικασία της μεθόδου βασίζεται στα ψηφιακά μοντέλα εδάφους της περιοχής μελέτης, τα οποία αποτελούν και τα αρχεία εισόδου του μοντέλου.

⁸ Χερσαία ή επιφανειακή ροή ονομάζεται η ροή, που σχηματίζεται στην επιφάνεια του εδάφους, εκτός υδρογραφικού δικτύου (Kilgore, 1997; Δέρβος, 2005).

α) Κάνναβος ταχυτήτων χερσαίας ροής

Το πρώτο βήμα για τη δημιουργία του ιστογράμματος χρόνου – επιφάνειας είναι η δημιουργία καννάβου ταχυτήτων χερσαίας ροής. Για τη δημιουργία του εν λόγω καννάβου, είναι απαραίτητη η πλήρωση (Fill) του ψηφιακού μοντέλου εδάφους και η παραγωγή του καννάβου των κλίσεων (Slope⁹). Στη συνέχεια, συνεκτιμώντας τα δεδομένα χρήσεων γης και των κλίσεων της περιοχής, προκύπτει ο κάνναβος ταχυτήτων χερσαίας ροής.

Συγκεκριμένα, η ταχύτητα χερσαίας ροής υπολογίζεται βάσει του τύπου (Μαμάσης, 2007β):

$$V(m/sec) = k * S(m/m)^{1/2}$$

όπου k: συντελεστής τραχύτητας και S: κλίσεις.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί ότι, το γεωγραφικό υπόβαθρο χρήσεων γης, που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εφαρμογή, περιλάμβανε στον αντίστοιχο περιγραφικό του πίνακα ένα πεδίο με τις τιμές του συντελεστή τραχύτητας για κάθε χρήση, πολλαπλασιασμένες επί εκατό. Έτσι, και το αντίστοιχο μοντέλο που αναπτύχθηκε, λαμβάνει υπόψιν τις τιμές αυτές κατά την εφαρμογή του. Επομένως, σε μελλοντικές εφαρμογές, στο αντίστοιχο υπόβαθρο χρήσεων γης, είναι απαραίτητη η εισαγωγή ενός νέου item, που θα αντιπροσωπεύει τις τιμές του συντελεστή τραχύτητας επί 100.

Στο Διάγραμμα III.1 (Παράρτημα III) και στον Πίνακα IV.1 (Παράρτημα IV) παρουσιάζονται όλα τα 'βήματα' του μοντέλου, που αναπτύχθηκε για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας δημιουργίας καννάβου ταχυτήτων χερσαίας ροής (Overland Flow).

⁹ Το εργαλείο Slope περιλαμβάνεται στο Toolset Surface, του Spatial Analyst Extension, του λογισμικού ArcGIS και η λειτουργία του έγκειται στον υπολογισμό των κλίσεων ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους, το οποίο αποτελεί και το αρχείο εισόδου. Συγκεκριμένα, υπολογίζει για κάθε κελί (cell) τη μεταβολή της τιμής υψομέτρου του, συναρτήσει των τιμών των γειτονικών του κελιών (Burrough and McDonell, 1998). Χαμηλή κλίση συνεπάγεται ομαλό έδαφος, ενώ υψηλή κλίση συνεπάγεται απότομο ανάγλυφο.

β) Κάνναβος ταχυτήτων υδρογραφικού δικτύου

Το δεύτερο βήμα για τη δημιουργία του ιστογράμματος χρόνου – επιφάνειας είναι η δημιουργία καννάβου ταχυτήτων υδρογραφικού δικτύου. Για τη δημιουργία του εν λόγω καννάβου, αρχικά απαιτείται η πλήρωση (Fill) του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, καθώς και η παραγωγή των καννάβων διεύθυνσης ροής (Flow direction) και συγκεντρωσης ροής (Flow accumulation).

Βασιζόμενο στον κάνναβο συγκεντρωτικής ροής, το μοντέλο μπορεί να σχηματίσει το υδρογραφικό δίκτυο. Το εργαλείο, που χρησιμοποιείται για τον σκοπό αυτό, είναι το Grater Than (Extension: Spatial Analyst, Toolset: Math → Logical), στο οποίο δίνεται ως αρχείο εισόδου ο κάνναβος συγκεντρωτικής ροής και βάσει μιας τιμής (threshold), που θέτει ο χρήστης (Εικόνα 18), χαράσσεται το υδρογραφικό δίκτυο. Κατά την εφαρμογή του μοντέλου, τα φατνία εκείνα που έχουν τιμές μικρότερες από αυτήν που έχει δοθεί ως κατώφλι, παίρνουν τον χαρακτηρισμό No Data.

0	0	0	0	0
0	3	2	2	0
0	0	11	0	1
0	0	1	15	0
0	2	5	24	1

Εικ.18 Επιλογή φατνίων με κατώφλι (threshold) την τιμή 5.

(Πηγή: Σκοπελίτη και Στάμου, 2006)

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται ταξινόμηση των κλάδων του υδρογραφικού δικτύου που προέκυψε, με τη μέθοδο Strahler. Σε αυτό το σημείο, μέσω της δυνατότητας χρήσης παραμετροποιημένων μεταβλητών, που δίνει ο μηχανισμός Model Builder, ο χρήστης μπορεί να καθορίσει την ταχύτητα κάθε κλάδου του υδρογραφικού δικτύου.

Τέλος, αφού πολλαπλασιάζεται κάθε κλάδος με την αντίστοιχη ταχύτητα, δημιουργούνται τέσσερις (4) κάνναβοι με τις ταχύτητες κάθε τάξης υδατορεύματος αντίστοιχα, οι οποίοι τελικά ενώνονται για να προκύψει ο κάνναβος ταχυτήτων υδρογραφικού δικτύου.

Στο εν λόγω μοντέλο, προβλέπεται ταξινόμηση κλάδων έως και 5^{ης} τάξης. Σε περίπτωση που το εξεταζόμενο υδρογραφικό δίκτυο περιλαμβάνει λιγότερες τάξεις κλάδων, το μοντέλο λειτουργεί ‘ομαλά’, χωρίς να λαμβάνονται υπόψιν οι κλάδοι που δεν υφίστανται. Αντιθέτως, για υδρογραφικά δίκτυα, με κλάδους μεγαλύτερους της 5^{ης} τάξης, πρέπει να αυξηθεί το ‘κατώφλι’, έτσι ώστε να χαραχτούν οι κύριοι κλάδοι του δικτύου (έως 5^{ης} τάξης).

Στο Διάγραμμα III.2 (Παράρτημα III) και στον Πίνακα IV.1 (Παράρτημα IV) παρουσιάζονται όλα τα ‘βήματα’ του μοντέλου, που αναπτύχθηκε για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας δημιουργίας καννάβου ταχυτήτων υδρογραφικού δικτύου (Channel Flow).

γ) Κάνναβος συνολικών ταχυτήτων ροής

Για τη δημιουργία του καννάβου συνολικών ταχυτήτων ροής απαιτείται συνδυασμός του καννάβου ταχυτήτων υδρογραφικού δικτύου με τον κάνναβο ταχυτήτων χερσαίας ροής.

Στο Διάγραμμα III.3 (Παράρτημα III) και στον Πίνακα IV.1 (Παράρτημα IV) παρουσιάζονται όλα τα ‘βήματα’ του μοντέλου, που αναπτύχθηκε για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας δημιουργίας καννάβου συνολικών ταχυτήτων ροής (Accum_time).

δ) Δημιουργία ιστογράμματος χρόνου – επιφάνειας

Ο αντίστροφος του τελικού καννάβου συνολικών ταχυτήτων ροής χρησιμοποιείται ως κάνναβος «βαρών» (Weight Raster), στην εφαρμογή του εργαλείου Flow Length, του Toolset Hydrology, του Spatial Analyst Extension. Με τη χρήση αυτού του εργαλείου δημιουργείται ένας κάνναβος, ο οποίος αντιπροσωπεύει τον χρόνο απορροής κάθε φατνίου μέχρι την έξοδο της λεκάνης απορροής. Από αυτόν τον κάνναβο, ανάλογα με το χρονικό βήμα που επιλέγει ο χρήστης και μέσω άθροισης των εμβαδών των επιμέρους τμημάτων, μεταξύ των ισόχρονων καμπυλών, προκύπτει το ιστογράμμα χρόνου – επιφάνειας, που απεικονίζει το μέγεθος της λεκάνης που αποφορτίζεται στην έξοδο, σε κάθε χρονικό βήμα.

Στο Διάγραμμα III.4 (Παράρτημα III) παρουσιάζεται συνολικά το μοντέλο, που αναπτύχθηκε βάσει της μεθόδου χρόνου – επιφανείας, βάσει του οποίου μπορεί να δημιουργηθεί το υδρογράφημα μιας λεκάνης απορροής.

3.2.3 Μοντέλο Ορθολογικής Μεθόδου

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η εφαρμογή της Ορθολογικής Μεθόδου αποσκοπεί στην εκτίμηση της πλημμυρικής αιχμής. Η μέθοδος συνεκτιμά, για τον σκοπό αυτό, παραμέτρους που αφορούν στο ανάγλυφο της επιφάνειας της λεκάνης απορροής, στη διηθητικότητα του εδάφους, στην έκταση και την πυκνότητα της φυτοκάλυψης, καθώς και στην κλίση των πρανών και την αποθηκευτική ικανότητα σε χαμηλά σημεία της λεκάνης.

Δεδομένου ότι, η πλημμυρική αιχμή υπολογίζεται συναρτήσει του συντελεστή απορροής της λεκάνης, κρίθηκε σκόπιμη η δημιουργία ενός μοντέλου, μέσω του οποίου θα υπολογίζεται αυτόματα ο συντελεστής απορροής, για οποιαδήποτε λεκάνη απορροής. Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αρχικά, αναπτύχθηκαν τέσσερα (4) επιμέρους μοντέλα, που εκτιμούν τον συντελεστή απορροής για κάθε μία από τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Στη συνέχεια, περιγράφεται η διαδικασία ανάπτυξης των τεσσάρων μοντέλων, που τελικά θα αποτελέσουν τα τμήματα του τελικού μοντέλου της Ορθολογικής Μεθόδου.

α) Εκτίμηση συντελεστή απορροής συναρτήσει του αναγλύφου της λεκάνης

Για την ανάπτυξη του εν λόγω μοντέλου, χρησιμοποιήθηκε ως αρχείο εισόδου το ψηφιακό μοντέλο εδάφους, της υπολεκάνης απορροής του ποταμού Αράχθου, στη θέση Τσίμοβο. Στο DEM αυτό εφαρμόστηκε πλήρωση των «βυθισμάτων» (Fill) και στη συνέχεια υπολογίστηκαν οι κλίσεις του, ως ποσοστό % (Slope).

Στον περιγραφικό πίνακα του καννάβου των κλίσεων προστέθηκε ένα πεδίο με το όνομα C1, στο οποίο υπολογίστηκε ο επιμέρους συντελεστής απορροής για κάθε κλίση, σύμφωνα με την Ορθολογική Μέθοδο (Πίνακας 1, Κεφάλαιο 2.1.7). Συγκεκριμένα, οι τιμές του C1 υπολογίστηκαν μέσω της λογικής πράξης if. Οι εν λόγω τιμές παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 3. Τιμές του συντελεστή απορροής, συναρτήσει των κλίσεων της λεκάνης απορροής.

ΚΛΙΣΗ (%)	C1	ΚΛΙΣΗ (%)	C1
0	0	19	0,23
1	0,08	20	0,24
2	0,10	21	0,24
3	0,12	22	0,24
4	0,13	23	0,25
5	0,14	24	0,25
6	0,15	25	0,26
7	0,16	26	0,26
8	0,17	27	0,27
9	0,18	28	0,27
10	0,20	29	0,28
11	0,21	30	0,28
12	0,21	[31,40]	0,29
13	0,21	[41,50]	0,30
14	0,22	[51,60]	0,31
15	0,22	[61,70]	0,32
16	0,22	[71,80]	0,33
17	0,23	[81,90]	0,34
18	0,23	> 90	0,35

Στο Διάγραμμα III.5 (Παράρτημα III) και στον Πίνακα IV.2 (Παράρτημα IV) παρουσιάζονται όλα τα 'βήματα' του μοντέλου, που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσει των κλίσεων της περιοχής μελέτης.

β) Εκτίμηση συντελεστή απορροής συναρτήσει της έκτασης και της πυκνότητας της φυτοκάλυψης

Για την ανάπτυξη του εν λόγω μοντέλου, ως αρχείο εισόδου χρησιμοποιήθηκε ένα πολυγωνικό shapefile¹⁰ χρήσεων γης, σύμφωνα με την κατηγοριοποίηση Corine (Παράρτημα I, Πίνακας I.2). Με την εφαρμογή του μοντέλου, το πολυγωνικό αυτό shapefile μετατρέπεται σε raster αρχείο, ανάλυσης ίδιας με αυτήν του ψηφιακού μοντέλου εδάφους, που χρησιμοποιείται κάθε φορά.

Στον αντίστοιχο πίνακα, προστέθηκε ένα πεδίο με το όνομα C2, στο οποίο υπολογίστηκε ο επιμέρους συντελεστής απορροής για κάθε χρήση γης, σύμφωνα με

¹⁰ Το shapefile είναι η απλούστερη μονάδα αποθήκευσης διανυσματικών δεδομένων του λογισμικού ArcGIS. Δεν παρέχει τη δυνατότητα αποθήκευσης περισσότερων του ενός είδους διανυσματικών δεδομένων (σε αντίθεση με τα coverages) και επομένως διακρίνεται στους εξής τύπους: γραμμικό (γραμμές / τόξα), σημειακό (σημεία) και πολυγωνικό (πολύγωνα) (Αυγέρη και Τουλουπάκη, 2005).

την Ορθολογική Μέθοδο (Πίνακας 1, Κεφάλαιο 2.1.7). Συγκεκριμένα, οι τιμές του C2 υπολογίστηκαν μέσω της λογικής πράξης if και παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 4. Τιμές του συντελεστή απορροής, συναρτήσει του είδους και της πυκνότητας της φυτοκάλυψης.

Ονοματολογία CORINE	Κωδικός	C2
Συνεχής αστικός ιστός	111	0,13
Ασυνεχής αστικός ιστός	112	0,13
Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	121	0,13
Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	122	0,13
Ζώνες λιμένων	123	0,14
Αεροδρόμια	124	0,14
Χώροι εξορύξεως ορυκτών	131	0,15
Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων	132	0,15
Χώροι οικοδόμησης	133	0,14
Περιοχές αστικού πρασίνου	141	0,10
Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	142	0,11
Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	211	0,10
Μόνιμα αρδευόμενη γη	212	0,09
Ορυζώνες	213	0,09
Αμπελώνες	221	0,08
Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	222	0,08
Ελαιώνες	223	0,08
Λιβάδια	231	0,08
Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες	241	0,07
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	242	0,07
Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία, με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	243	0,07
Γεωργικές - δασικές περιοχές	244	0,07
Δάσος πλατύφυλλων	311	0,04
Δάσος κωνοφόρων	312	0,04
Μικτό δάσος	313	0,04
Φυσικοί βοσκότοποι	321	0,06
Θάμνοι και χερσότοποι	322	0,06
Σκληροφυλλική βλάστηση	323	0,05
Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	324	0,05
Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	331	0,00
Απογυμνωμένοι βράχοι	332	0,15

Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	333	0,16
Αποτεφρωμένες εκτάσεις	334	0,16
Παγετώνες και αέναο χιόνι	335	0,16
Βάλτοι στην ενδοχώρα	411	0,00
Τυρφώνες	412	0,00
Παραθαλάσσιοι βάλτοι	421	0,00
Αλυκές	422	0,00
Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα	423	0,00
Υδατορεύματα	511	0,99
Επιφάνειες στάσιμου ύδατος	512	0,00
Παράκτιες λιμνοθάλασσες	521	0,00
Εκβολές ποταμών	522	0,00
Θάλασσες και ωκεανοί	523	0,00

Στο Διάγραμμα III.6 (Παράρτημα III) και στον Πίνακα IV.2 (Παράρτημα IV) παρουσιάζονται όλα τα 'βήματα' του μοντέλου, που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσεως του είδους και της πυκνότητας της φυτοκάλυψης, στην περιοχή μελέτης.

γ) Εκτίμηση συντελεστή απορροής συναρτήσεως της διηθητικότητας του εδάφους

Για την ανάπτυξη αυτού του μοντέλου, ως αρχείο εισόδου χρησιμοποιήθηκε ένα πολυγωνικό shapefile, που αφορά στο υδρολιθολογικό υπόβαθρο της λεκάνης απορροής.

Στον πίνακα του υδρολιθολογικού υποβάθρου προστέθηκε ένα πεδίο με το όνομα TYPE, στο οποίο δόθηκαν κωδικοί για κάθε τύπο εδάφους, ως εξής:

- εδάφη με μεγάλους ρυθμούς διήθησης (τελείως περατά): κωδικός A
- εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης (ημιπερατά I): κωδικός B
- εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης (ημιπερατά II): κωδικός C
- εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης (αδιαπέρατα): κωδικός D

Συγκεκριμένα, η αντιστοίχιση έγινε όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 5. Απόδοση κωδικών στους τέσσερις τύπους εδαφών του υδρολιθολογικού υποβάθρου.

CODE	...	TYPE
A1	αδιαπέρατα	D
A2	αδιαπέρατα	D
A3	αδιαπέρατα	D
I1	ημιπερατά II	C
I2	ημιπερατά I	B
I3	ημιπερατά I	B
C	τελείως περατά	A
C1	τελείως περατά	A
C1'	τελείως περατά	A

Σημείωση: το πεδίο *CODE* και η σημασία κάθε κωδικού προβλέπεται από τον υδρολιθολογικό χάρτη.

Στη συνέχεια, προστέθηκε άλλο ένα πεδίο με το όνομα C3, στο οποίο υπολογίστηκε ο επιμέρους συντελεστής απορροής, συναρτήσει της διηθητικότητας του εδάφους, όπως αυτή εκφράζεται μέσω του υδρολιθολογικού υποβάθρου και σύμφωνα με την Ορθολογική Μέθοδο (Πίνακας 1, Κεφάλαιο 2.1.7).

Συγκεκριμένα, οι τιμές του C3 υπολογίστηκαν μέσω της λογικής πράξης *if* και παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 6. Τιμές του συντελεστή απορροής, συναρτήσει της διηθητικότητας του εδάφους της περιοχής μελέτης.

TYPE	C3
A	0,05
B	0,07
C	0,10
D	0,14

Στο Διάγραμμα III.7 (Παράρτημα III) και στον Πίνακα IV.2 (Παράρτημα IV) παρουσιάζονται όλα τα 'βήματα' του μοντέλου, που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσει της διηθητικότητας του εδάφους της περιοχής μελέτης.

δ) Εκτίμηση συντελεστή απορροής συναρτήσει της κλίσης των πρανών και της αποθηκευτικής ικανότητας, σε χαμηλά σημεία της λεκάνης απορροής

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, για την εκτίμηση του συντελεστή απορροής συναρτήσει της κλίσης των πρανών και της αποθηκευτικής ικανότητας, σε χαμηλά σημεία της λεκάνης απορροής, χρησιμοποιήθηκε ως κριτήριο το ποσοστό έκτασης του υδρογραφικού δικτύου, επί της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης απορροής.

Εναλλακτικά, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, ως κριτήριο, το μήκος του κυρίου υδατορεύματος του υδρογραφικού δικτύου, με αποτέλεσμα όμως, να χαθεί σημαντική πληροφορία, σχετικά με τους δευτερεύοντες κλάδους του δικτύου, καθώς και την έκταση αυτών, που επηρεάζουν την αποθηκευτική ικανότητα, σε χαμηλά σημεία της λεκάνης.

Επομένως, η έκταση του υδρογραφικού δικτύου, επί της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης απορροής, κρίθηκε ως το πλέον αντιπροσωπευτικό, και κυρίως **εφαρμόσιμο** κριτήριο, για την εφαρμογή της Ορθολογικής Μεθόδου.

Βάσει όλων των παραπάνω, για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου μοντέλου, ως αρχείο εισόδου χρησιμοποιήθηκε το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της λεκάνης απορροής του ποταμού Αράχθου, ανάντη της θέσης Τσίμοβο, στο οποίο αρχικά πραγματοποιήθηκε πλήρωση (Fill), ενώ στη συνέχεια, δημιουργήθηκαν οι αντίστοιχοι κάρναβοι διεύθυνσης ροής (Flow Direction) και συγκέντρωσης ροής (Flow Accumulation).

Μετάπειτα, παρήχθη το υπόβαθρο του υδρογραφικού δικτύου, της περιοχής μελέτης, θέτοντας κατώφλι (threshold) ίσο με την τιμή 30, για τα δεδομένα ανάλυσης 250x250 m και 230, για τα δεδομένα ανάλυσης 100x100 m, αντίστοιχα. Στη συνέχεια, υπολογίστηκε το ποσοστό που καταλαμβάνει το υδρογραφικό δίκτυο επί της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης απορροής (πεδίο: RATE_NET), το οποίο και αποτέλεσε κριτήριο για την πυκνότητα του συστήματος διαδρομών αποστράγγισης.

Ακολούθως, στον πίνακα του υδρογραφικού δικτύου, προστέθηκε ένα πεδίο με το όνομα C4, στο οποίο υπολογίστηκε ο επιμέρους συντελεστής απορροής για το κριτήριο που αναφέρθηκε παραπάνω, σύμφωνα με την Ορθολογικά Μέθοδο (Πίνακας 1, Κεφάλαιο 2.1.7).

Συγκεκριμένα, οι τιμές του C4 υπολογίστηκαν μέσω της λογικής πράξης if και παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 7. Τιμές του συντελεστή απορροής, συναρτήσει της πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου.

RATE_NET	C4	RATE_NET	C4
0	0	16	0,08
1	0,04	17	0,08
2	0,04	18	0,08
3	0,04	19	0,09
4	0,05	20	0,09
5	0,05	21	0,09
6	0,05	22	0,09
7	0,05	23	0,10
8	0,06	24	0,10
9	0,06	25	0,10
10	0,06	26	0,10
11	0,06	27	0,11
12	0,07	28	0,11
13	0,07	29	0,11
14	0,07	30	0,11
15	0,08	[31,100]	0,12

Στο Διάγραμμα III.8 (Παράρτημα III) και στον Πίνακα IV.2 (Παράρτημα IV) παρουσιάζονται όλα τα 'βήματα' του μοντέλου, που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσει της έκτασης του υδρογραφικού δικτύου επί της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης απορροής.

Το μοντέλο που αντιπροσωπεύει συνολικά την Ορθολογική μέθοδο και βάσει του οποίου προκύπτουν οι τέσσερις (4) επιμέρους συντελεστές απορροής, συναρτήσει κάθε κριτηρίου αντίστοιχα, παρουσιάζεται στο Διάγραμμα III.9 (Παράρτημα III).

3.2.4 Μοντέλο Μεθόδου SCS

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, η μέθοδος SCS αναπτύχθηκε με σκοπό την εκτίμηση της ενεργού βροχής, για ένα δεδομένο γεγονός βροχόπτωσης. Όμως, αρχικά απαιτείται η εκτίμηση του αριθμού καμπύλης απορροής CN, ο οποίος προσδιορίζεται με τη βοήθεια πινάκων, ως συνάρτηση των χρήσεων γης, της διαπερατότητας του εδάφους και των συνθηκών εδαφικής υγρασίας (Μπέλλος, 2006).

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αναπτύχθηκε ένα μοντέλο, το οποίο, συνεκτιμώντας δεδομένα χρήσεων γης και διαπερατότητας εδαφών, προσδιορίζει αυτόματα την τιμή της μεταβλητής CN, για οποιαδήποτε λεκάνη απορροής.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως, το μοντέλο εκτιμά την τιμή CN για συνθήκες υγρασίας τύπου II (δηλ. την τιμή CN_{II}), η οποία στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παραμέτρου CN, για συνθήκες υγρασίας τύπου I και III, βάσει των εξισώσεων που έχουν παρουσιαστεί στο κεφάλαιο 2.1.8.

Καθώς έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα εφαρμογών για την εκτίμηση του αριθμού CN, το εν λόγω μοντέλο αποσκοπεί στην απλοποίηση της διαδικασίας, όσον αφορά στα 'βήματα' που πρέπει να ακολουθήσει ο εκάστοτε χρήστης, καθώς και στη διαθεσιμότητα λογισμικών.

Έτσι, για την ανάπτυξη του μοντέλου εκτίμησης των απωλειών βροχόπτωσης, με τη μέθοδο SCS, χρησιμοποιήθηκαν, ως αρχεία εισόδου, δύο πολυγωνικά shapefiles, τα οποία αφορούν στο υδρολιθολογικό υπόβαθρο και στις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης, αντίστοιχα.

Στον πίνακα του υδρολιθολογικού υποβάθρου προστέθηκε ένα πεδίο με το όνομα TYPE, στο οποίο δόθηκαν κωδικοί για κάθε τύπο εδάφους, ως εξής:

- εδάφη με μεγάλους ρυθμούς διήθησης (τελείως περατά): κωδικός A
- εδάφη με μέσους ρυθμούς διήθησης (ημιπερατά I): κωδικός B
- εδάφη με μικρούς ρυθμούς διήθησης (ημιπερατά II): κωδικός C
- εδάφη με πολύ μικρούς ρυθμούς διήθησης (αδιαπέρατα): κωδικός D

Συγκεκριμένα, η αντιστοίχιση έγινε όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 8. Απόδοση κωδικών στους τέσσερις τύπους εδαφών του υδρολιθολογικού υποβάθρου.

CODE	...	TYPE
A1	αδιαπέρατα	D
A2	αδιαπέρατα	D
A3	αδιαπέρατα	D
I1	ημιπερατά II	C
I2	ημιπερατά I	B
I3	ημιπερατά I	B

C	τελείως περατά	A
C1	τελείως περατά	A
C1'	τελείως περατά	A

Σημείωση: το πεδίο CODE και η σημασία κάθε κωδικού προβλέπεται από τον υδρολιθολογικό χάρτη.

Αντίστοιχα, στον πίνακα του πολυγωνικού shapefile χρήσεων γης προστέθηκε ένα πεδίο με το όνομα TYPE, στο οποίο κάθε μία χρήση γης κατηγοριοποιήθηκε σε μία από τέσσερις μεγαλύτερες κατηγορίες, που προβλέπει η μέθοδος (Πίνακας 2, Κεφάλαιο 2.1.8), σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 9. Κατηγοριοποίηση χρήσεων γης (CORINE), βάσει των κατηγοριών χρήσεων γης, που προβλέπει η μέθοδος SCS.

Ονοματολογία CORINE	Κωδικός	TYPE
Συνεχής αστικός ιστός	111	Residential areas
Ασυνεχής αστικός ιστός	112	Residential areas
Βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες	121	Roads
Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	122	Roads
Ζώνες λιμένων	123	Roads
Αεροδρόμια	124	Roads
Χώροι εξορύξεως ορυκτών	131	Residential areas
Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων	132	Residential areas
Χώροι οικοδόμησης	133	Residential areas
Περιοχές αστικού πρασίνου	141	Grasslands
Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	142	Grasslands
Μη αρδευόμενη αρόσιμη γη	211	Grasslands
Μόνιμα αρδευόμενη γη	212	Grasslands
Ορυζώνες	213	Grasslands
Αμπελώνες	221	Grasslands
Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς	222	Grasslands
Ελαιώνες	223	Grasslands
Λιβάδια	231	Grasslands
Ετήσιες καλλιέργειες που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες	241	Grasslands
Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	242	Grasslands
Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία, με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης	243	Grasslands
Γεωργικές - δασικές περιοχές	244	Grasslands
Δάσος πλατύφυλλων	311	Forests
Δάσος κωνοφόρων	312	Forests

Μικτό δάσος	313	Forests
Φυσικοί βοσκότοποι	321	Forests
Θάμνοι και χερσότοποι	322	Forests
Σκληροφυλλική βλάστηση	323	Forests
Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις	324	Forests
Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές	331	Forests
Απογυμνωμένοι βράχοι	332	Residential areas
Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	333	Grasslands
Αποτεφρωμένες εκτάσεις	334	Residential areas
Παγετώνες και αέριο χιόνι	335	Roads
Βάλτοι στην ενδοχώρα	411	Forests
Τυρφώνες	412	Forests
Παραθαλάσσιοι βάλτοι	421	Forests
Αλυκές	422	Forests
Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα	423	Forests
Υδατορεύματα	511	Roads
Επιφάνειες στάσιμου ύδατος	512	Forests
Παράκτιες λιμνοθάλασσες	521	Forests
Εκβολές ποταμών	522	Forests
Θάλασσες και ωκεανοί	523	Forests

Η παραπάνω κατηγοριοποίηση χρήσεων γης αντιπροσωπεύει το ποσοστό απορροής που «επιτρέπει» κάθε χρήση, και όχι το είδος αυτό καθαυτό. Δηλ. η χρήση 'Παραθαλάσσιοι βάλτοι' (κωδικός 421), για παράδειγμα, εντάχθηκε στην κατηγορία 'Forests', διότι επιτρέπει μόνο ένα μικρό ποσοστό νερού να απορρευθεί, όπως και τα δάση.

Στη συνέχεια, προστέθηκε άλλο ένα πεδίο με το όνομα `CODE_TYPE`, στο πολυγωνικό `shapefile` χρήσεων γης, όπου σε κάθε τύπο χρήσης γης δόθηκε ένας κωδικός, για την ευκολότερη επεξεργασία των δεδομένων. Οι κωδικοί παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 10. Απόδοση κωδικών για κάθε κατηγορία χρήσεων γης.

TYPE	CODE_TYPE
Grasslands	1
Forest	2
Residential areas	3
Roads	4

Ακολουθως, τα δύο πολυγωνικά shapefiles, καθώς και οι πίνακές τους αντίστοιχα, ενώθηκαν **χωρικά**, με τη βοήθεια του εργαλείου Spatial Join¹¹, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου πολυγωνικού shapefile, το οποίο περιλαμβάνει τα πολύγωνα των χρήσεων γης, σε κάθε ένα απ' τα οποία έχει αντιστοιχηθεί και όλη η πληροφορία του υδρολιθολογικού υποβάθρου.

Στον πίνακα αυτού του νέου shapefile, προστέθηκε ένα ακόμα πεδίο με το όνομα CN, στο οποίο υπολογίστηκε η τιμή της παραμέτρου CN, για μέσες συνθήκες εδαφικής υγρασίας, δηλ. CN_{II}, σύμφωνα με τη Μέθοδο SCS (Πίνακας 2, Κεφάλαιο 2.1.8). Οι τιμές της παραμέτρου παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 11. Τιμές της παραμέτρου CN_{II}, συναρτήσει των χρήσεων γης και της διαπερατότητας του εδάφους, της περιοχής μελέτης.

ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ & ΤΥΠΟΙ ΕΔΑΦΩΝ	CN_{II}
1 και A	49
2 και A	35
3 και A	64
4 και A	85
1 και B	69
2 και B	61
3 και B	77
4 και B	90
1 και C	79
2 και C	74
3 και C	84
4 και C	93
1 και D	83
2 και D	80
3 και D	88
4 και D	94

Σημείωση: Οι τιμές του CN_{II} προέρχονται από τον απλό μέσο όρο του εύρους τιμών, που δίνει η μέθοδος, για κάθε κατηγορία χρήσεων γης και τύπο εδάφους.

¹¹ Το εργαλείο Spatial Join (Analysis Extension, Overlay Toolset) επισυνάπτει τα πεδία του περιγραφικού πίνακα ενός γεωγραφικού υποβάθρου με τα πεδία ενός άλλου, βάσει των σχετικών θέσεων των αντικειμένων που αυτά περιλαμβάνουν. Δηλ. για δύο layers, που αφορούν σε διαφορετικά χαρακτηριστικά των ίδιων οντοτήτων, μεταφέρεται όλη η περιγραφική πληροφορία και των δύο πινάκων σε έναν.

Τέλος, το εν λόγω shapefile μετατράπηκε σε raster αρχείο, διατηρώντας όλη την πληροφορία.

Στο Διάγραμμα III.10 (Παράρτημα III) και στον Πίνακα IV.3 (Παράρτημα IV) παρουσιάζονται όλα τα 'βήματα' του μοντέλου, που αναπτύχθηκε για την εκτίμηση της παραμέτρου CN_{II} , συναρτήσεως των χρήσεων γης και της διαπερατότητας του εδάφους της περιοχής μελέτης, σύμφωνα με τη Μέθοδο SCS.

3.2.5 Μοντέλο εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχόπτωσης

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε ένα μοντέλο για τον εντοπισμό των χωρικών μεγίστων βροχόπτωσης, με δεδομένο έναν κάρναβο, που αφορά στην ετήσια κατανομή βροχοπτώσεων στον Ελλαδικό χώρο. Η χωρική ανάλυση του raster αρχείου, που χρησιμοποιήθηκε, είναι 250x250 m, το οποίο αποτέλεσε και το μοναδικό αρχείο εισόδου του εν λόγω μοντέλου.

Η λειτουργία του μοντέλου στηρίζεται στην εφαρμογή Focal συναρτήσεων¹², καθώς και στην στατιστική επεξεργασία των δεδομένων που περιλαμβάνει το αρχείο εισόδου.

Στο συγκεκριμένο μοντέλο προβλέπεται η εφαρμογή της συνάρτησης Focal mean, εντός ενός μεταβλητού μεγέθους kernel (2x2, 3x3, 4x4, 5x5, 6x6, 7x7, 8x8, 9x9, 10x10, 20x20, 30x30, 40x40 και 50x50). Κάθε φορά, για κάθε kernel, υπολογίζεται η μέση τιμή των φατνίων που περιλαμβάνονται στο εκάστοτε kernel, και αυτή η τιμή αποδίδεται στο κεντρικό φατνίο.

Στη συνέχεια, μέσω του εργαλείου Block Statistics, εντοπίζεται η μέγιστη τιμή των φατνίων, εντός διαφορετικών μη επικαλυπτόμενων kernel, η οποία τελικά αποδίδεται σε όλα τα φατνία, που περιλαμβάνονται στο εκάστοτε kernel, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός καννάβου, παρόμοιου με τον αρχικό, του οποίου όλες οι τιμές έχουν προκύψει από τη διαδικασία που περιγράφηκε.

¹² Οι Focal συναρτήσεις επεξεργάζονται τα δεδομένα των κελιών (φατνίων), βάσει των τιμών των γειτονικών κελιών. Για τον σκοπό αυτό, ορίζεται ένα 'kernel' ή 'φίλτρο', για να ορίσει την έκταση της 'γειτονιάς' (π.χ. 2x2, 3x3, 4x4, κλπ). Μερικές φορές στη χωρική ανάλυση χρησιμοποιούνται διάφορα σχήματα για να οριστεί ποια θα είναι τα γειτονικά κελιά, δηλ. η focal neighborhood. Συναρτήσεις αυτού του είδους είναι: focal sum, focal mean, focal max, focal range (Κίτσιου, 2003).

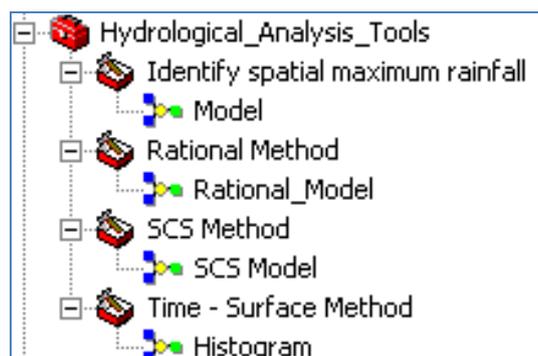
Συνεπώς, με την εφαρμογή αυτού του μοντέλου, είναι δυνατός ο εντοπισμός των περιοχών αυτών που δέχτηκαν το μέγιστο ποσό βροχής, κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου ή μιας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου.

Στο Διάγραμμα III.12 (Παράρτημα III) και στον Πίνακα IV.4 (Παράρτημα IV) παρουσιάζονται όλα τα 'βήματα' του μοντέλου, που αναπτύχθηκε για τον εντοπισμό των χωρικών μεγίστων.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Παρουσίαση των αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας αφορούν στην ανάπτυξη εργαλείων υδρολογικής ανάλυσης σε περιβάλλον ΓΣΠ. Συγκεκριμένα, πρόκειται για την ενσωμάτωση υδρολογικών εργαλείων, στο Toolbox, του λογισμικού ArcGIS 9.3 (Εικόνα 19).



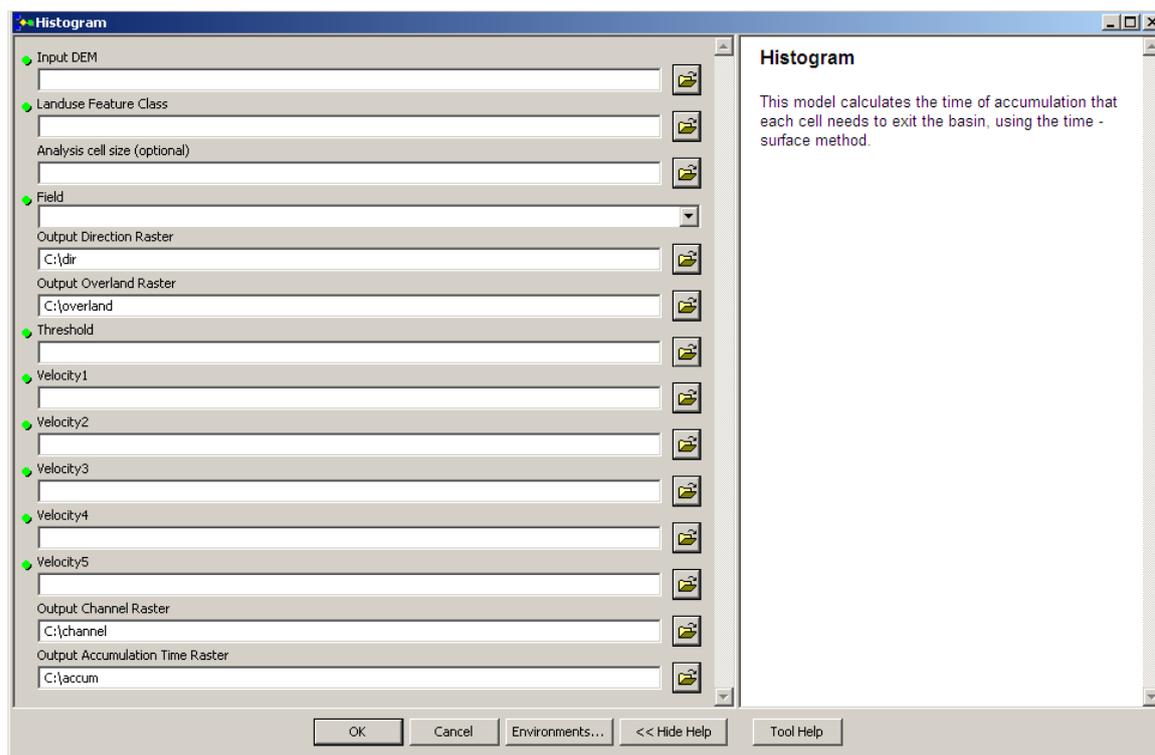
Εικ.19 Toolset Hydrological Analysis, σε περιβάλλον ArcMap 9.3.

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται αναλυτικά τα επιμέρους εργαλεία της παραπάνω εργαλειοθήκης. Το βασικό περιβάλλον των εν λόγω εργαλείων περιλαμβάνει τα εξής τμήματα:

- ✓ περιγραφή της λειτουργίας των μοντέλων, καθώς και των παραμέτρων τους, με συγκεκριμένη επεξήγηση για κάθε μία από αυτές,
- ✓ πεδία καθορισμού του χώρου στον οποίο πρόκειται να αποθηκευθούν τα παραγόμενα αρχεία,
- ✓ πεδία καθορισμού του χώρου, στον οποίο υπάρχουν τα απαιτούμενα αρχεία εισόδου.

4.1.1 Μοντέλο Χρόνου - Επιφάνειας

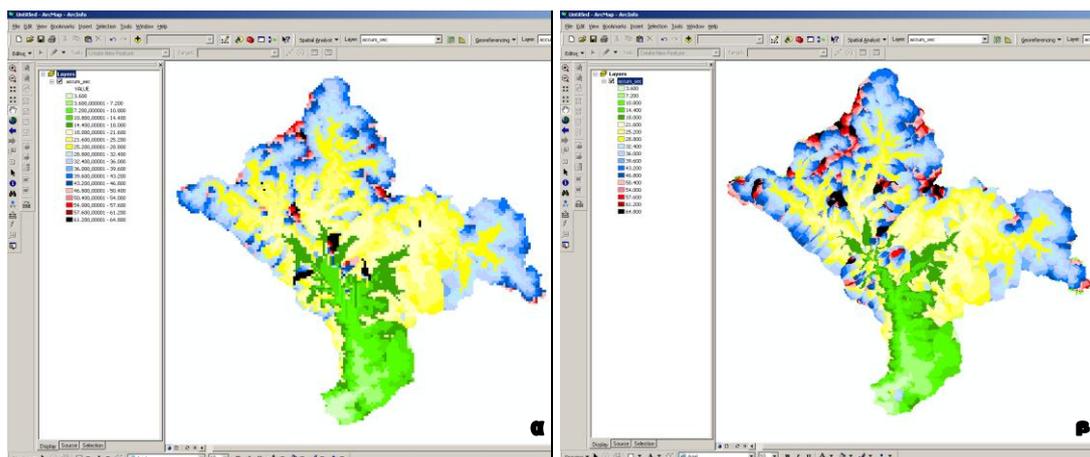
Για τον υπολογισμό των συνολικών ταχυτήτων ροής στην περιοχή μελέτης, και κατ' επέκταση για τη δημιουργία του ιστογράμματος χρόνου - επιφάνειας, αναπτύχθηκε το εργαλείο Histogram (Εικόνα 20).



Εικ.20 Εργαλείο Histogram: εκτίμηση χρόνου απορροής.

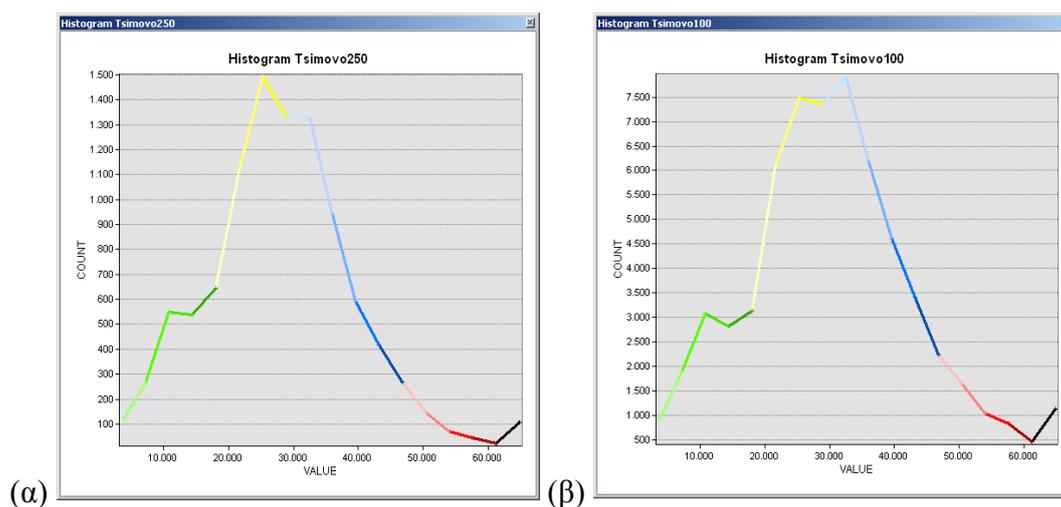
Τα αρχεία εισόδου αυτού του μοντέλου αφορούν στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους, τις χρήσεις γης και το υδρολιθολογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης. Οι παράμετροι που περιλαμβάνει το μοντέλο και που μπορεί να τροποποιεί ο χρήστης αφορούν στις ταχύτητες κάθε τάξης του υδρογραφικού δικτύου, καθώς και στο κατώφλι που θα χρησιμοποιηθεί, για τη χάραξη του υδρογραφικού δικτύου.

Τέλος, ως αρχεία εξόδου προκύπτουν τέσσερα (4) raster αρχεία, που αφορούν στη διεύθυνση ροής, στις ταχύτητες χερσαίας ροής και στις ταχύτητες υδρογραφικού δικτύου, και τέλος, στους χρόνους απορροής κάθε εικονοστοιχείου της περιοχής μελέτης (Εικόνα 21). Στο Παράρτημα II (Χάρτες II.7, II.8 και II.9) παρουσιάζονται υπό μορφή γεωγραφικών υποβάθρων τα αποτελέσματα του μοντέλου.



Εικ.21 Χρόνοι απορροής για δεδομένα ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m.

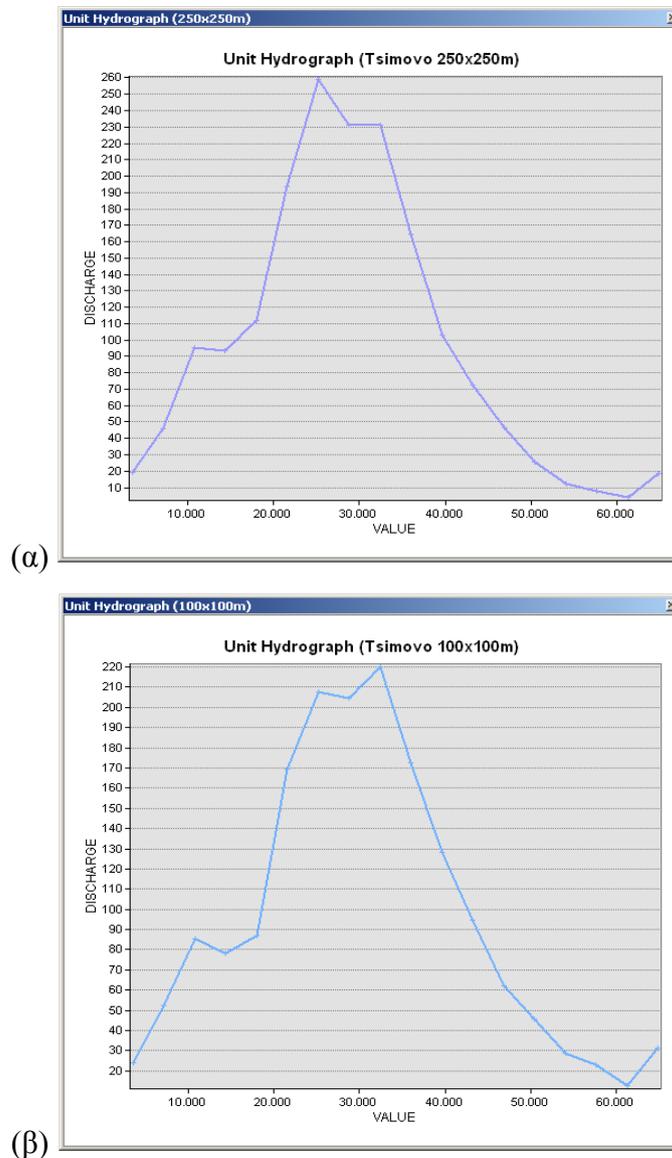
Με δεδομένο πλέον, τον κάνναβο χρόνου απορροής όλων των εικονοστοιχείων, μπορεί να παραχθεί, εύκολα και μέσα στο περιβάλλον εργασίας του λογισμικού, το ιστόγραμμα χρόνου - επιφάνειας της περιοχής μελέτης (Εικόνα 22).



Εικ.22 Ιστόγραμμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Αράχθου, ανάντη της θέσης Τσίμοβο, από δεδομένα ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m, αντίστοιχα (άξονας x'x: χρόνος σε sec, άξονας y'y: αριθμός εικονοστοιχείων που απορρέουν κάθε χρονική στιγμή).

Με βάση τα παραπάνω ιστογράμματα είναι δυνατή η δημιουργία των μοναδιαίων υδρογραφημάτων, που αφορούν στην υπό μελέτη λεκάνη. Συγκεκριμένα, πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό των pixels με την επιφάνεια κάθε pixel, αναλόγως με την ανάλυση του αρχικού DEM, καθώς επίσης και με ύψος βροχής ίσο με 10 mm (εξ' ορισμού), δημιουργείται το μοναδιαίο υδρογράφημα, για οποιαδήποτε λεκάνη απορροής.

Στην παρούσα εργασία, τα μοναδιαία υδρογράφηματα που προέκυψαν, εκφρασμένα σε m^3/sec , για τα δύο διαφορετικής ανάλυσης DEM, παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα.

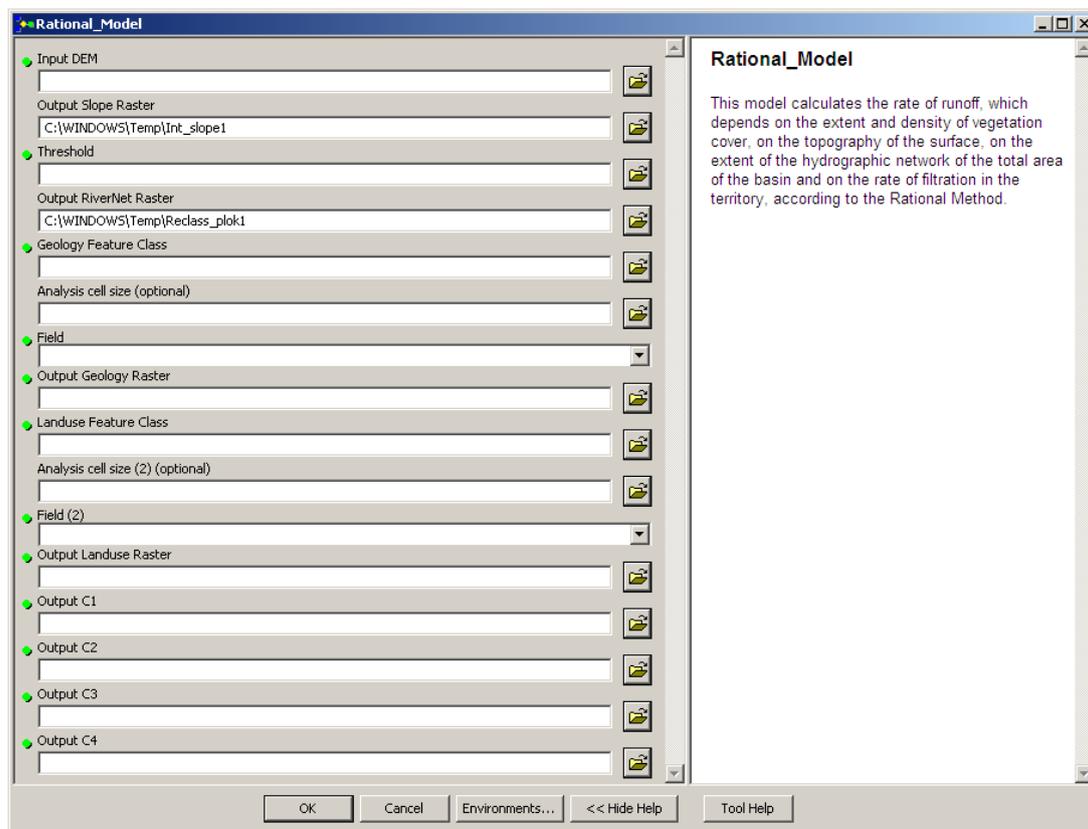


Εικ.23 Μοναδιαίο υδρογράφημα της λεκάνης απορροής του ποταμού Αράχθου, ανάντη του Τσιμόβου, από δεδομένα ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m, αντίστοιχα (άξονας x'x: χρόνος σε sec, άξονας y'y: παροχή σε m^3/sec).

4.1.2 Μοντέλο Ορθολογικής Μεθόδου

Για τον υπολογισμό του συντελεστή απορροής μιας λεκάνης απορροής, συναρτήσκει της πυκνότητας και της έκτασης της φυτοκάλυψης, της διηθητικότητας του εδάφους, του ανάγλυφου της επιφάνειας της λεκάνης και της κλίσης των πρανών και την

αποθηκευτική ικανότητα, σε χαμηλά σημεία της λεκάνης, βάσει της Ορθολογικής Μεθόδου, αναπτύχθηκε το εργαλείο Rational Model (Εικόνα 24).



Εικ.24 Εργαλείο Rational Model: εκτίμηση συντελεστή απορροής.

Τα αρχεία εισόδου αυτού του μοντέλου αφορούν στο ψηφιακό μοντέλο εδάφους, στις χρήσεις γης και στο υδρολιθολογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης. Κατά την εφαρμογή του μοντέλου προκύπτουν τέσσερα raster αρχεία, που αφορούν στο υδρογραφικό δίκτυο, το ανάγλυφο της επιφάνειας της λεκάνης (κλίσεις), καθώς επίσης και στο υδρολιθολογικό υπόβαθρο και τις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης.

Επίσης, δημιουργούνται τέσσερις πίνακες, οι οποίοι περιλαμβάνουν τις τιμές των τεσσάρων επιμέρους συντελεστών απορροής, που προβλέπει η μέθοδος, το άθροισμα των οποίων δίνει τον τελικό συντελεστή απορροής της εκάστοτε λεκάνης.

Τέλος, ο χρήστης καλείται να δώσει μια τιμή για την παράμετρο Threshold (κατώφλι), βάσει της οποίας πρόκειται να χαραχθεί το υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής και η οποία εξαρτάται από την ανάλυση των αρχικών δεδομένων.

Στις εικόνες που ακολουθούν, παρουσιάζονται οι πίνακες που προκύπτουν από την εφαρμογή του μοντέλου.

OJD	FREQUENCY	MEAN
0	82	0,269878

OJD	FREQUENCY	MEAN
0	16	0,143125

OJD	FREQUENCY	MEAN
0	4	0,095

OJD	FREQUENCY	MEAN
0	1	0,06

Εικ.25 Εκτίμηση των επιμέρους συντελεστών απορροής, βάσει της Ορθολογικής μεθόδου, για δεδομένα ανάλυσης 250x250 m και κατώφλι ίσο με 30.

OJD	FREQUENCY	MEAN
0	135	0,30037

OJD	FREQUENCY	MEAN
0	16	0,143125

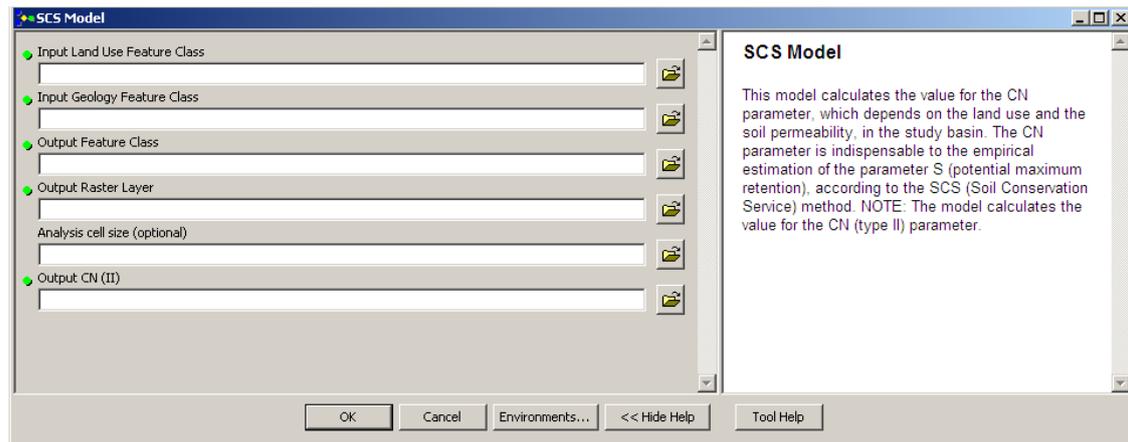
OJD	FREQUENCY	MEAN
0	4	0,095

OJD	FREQUENCY	MEAN
0	1	0,05

Εικ.26 Εκτίμηση των επιμέρους συντελεστών απορροής, βάσει της Ορθολογικής μεθόδου, για δεδομένα ανάλυσης 100x100 m και κατώφλι ίσο με 230.

4.1.3 Μοντέλο SCS

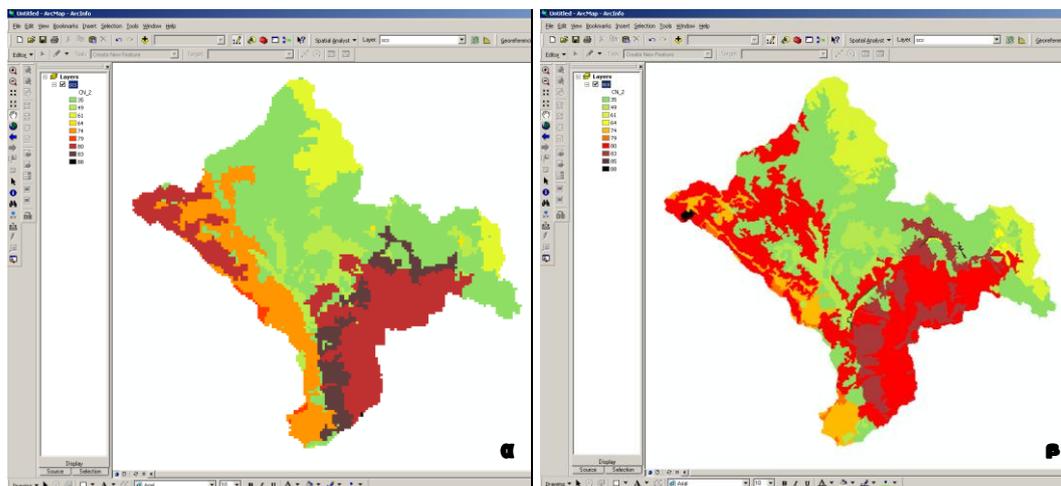
Για τον υπολογισμό της ενεργού βροχής, για ένα δεδομένο επεισόδιο, αναπτύχθηκε το εργαλείο SCS Model (Εικόνα 27), μέσω του οποίου υπολογίζεται ο αριθμός καμπύλης απορροής CN_{II} , ο οποίος χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της δυναμικά μέγιστης κατακράτησης S .



Εικ.27 Μοντέλο SCS: Εκτίμηση του αριθμού καμπύλης απορροής CN, για μέσες συνθήκες υγρασίας (τύπου II), συναρτήσει των χρήσεων γης και της διαπερατότητας του εδάφους.

Τα αρχεία εισόδου αυτού του εργαλείου αφορούν στις χρήσεις γης και το υδρολιθολογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης. Για κάθε ένα από τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους χρησιμοποιήθηκαν υπόβαθρα χρήσεων γης διαφορετικής προέλευσης και ανάλυσης. Για το μεν DEM ανάλυσης 250x250 m χρησιμοποιήθηκε υπόβαθρο χρήσεων γης, το οποίο παραχωρήθηκε από τον Τομέα Υδατικών Πόρων, του ΕΜΠ, ενώ για το DEM ανάλυσης 100x100 m χρησιμοποιήθηκε το διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <http://www.eea.europa.eu> υπόβαθρο χρήσεων γης.

Με την εφαρμογή του μοντέλου προκύπτει ένας κάρναβος αριθμού καμπύλης απορροής CN (Εικόνα 28) και (Παράρτημα II, Χάρτης II.10) και ένας πίνακας (Εικόνα 29), ο οποίος περιλαμβάνει την τιμή του αριθμού καμπύλης απορροής.



Εικ.28 Ψηφιδωτά αριθμού καμπύλης απορροής CN ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m.

OID	FREQUENCY	MEAN CN
0	231	53,337662

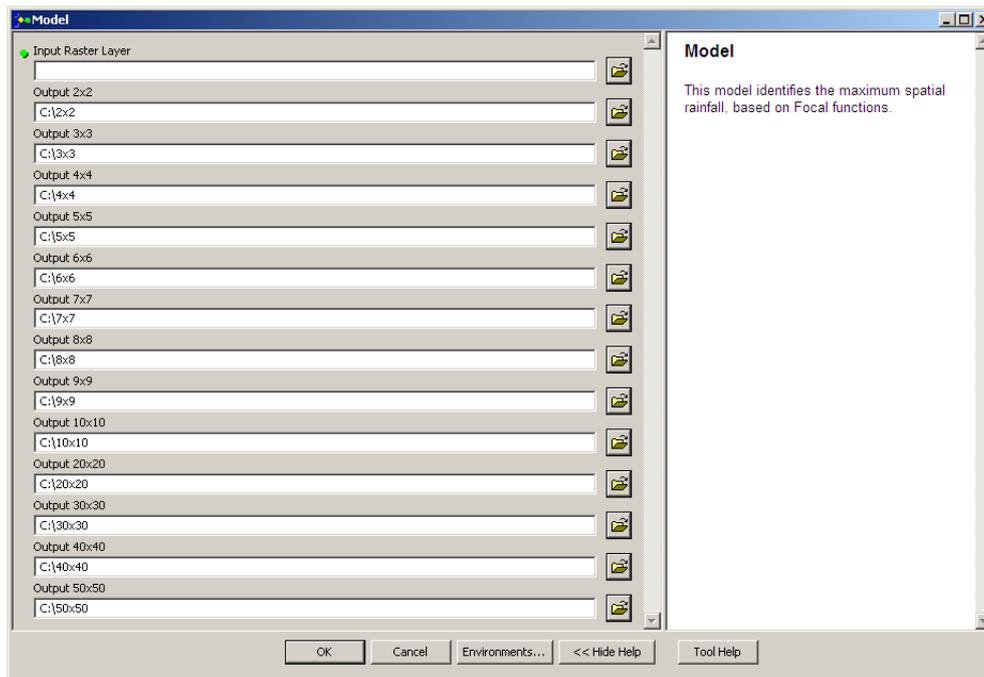
OID	FREQUENCY	MEAN CN
0	348	50,416667

Εικ.29 Εκτίμηση του αριθμού καμπύλης απορροής CN_{II} , βάσει της μεθόδου SCS, για το υπόβαθρο χρήσεων γης της <http://www.eea.europa.eu> (πάνω) και για το υπόβαθρο χρήσεων γης του Τομέα Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ (κάτω), αντίστοιχα.

Σημειώνεται, πως τα αρχικά υπόβαθρα χρήσεων γης σε μορφή shapefile (vector αρχεία) μετατρέπονται, κατά την εκτέλεση του μοντέλου, σε raster αρχεία, ανάλυσης 250x250 m, για το υπόβαθρο του Τομέα Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ και 100x100 m, για το υπόβαθρο της <http://www.eea.europa.eu>.

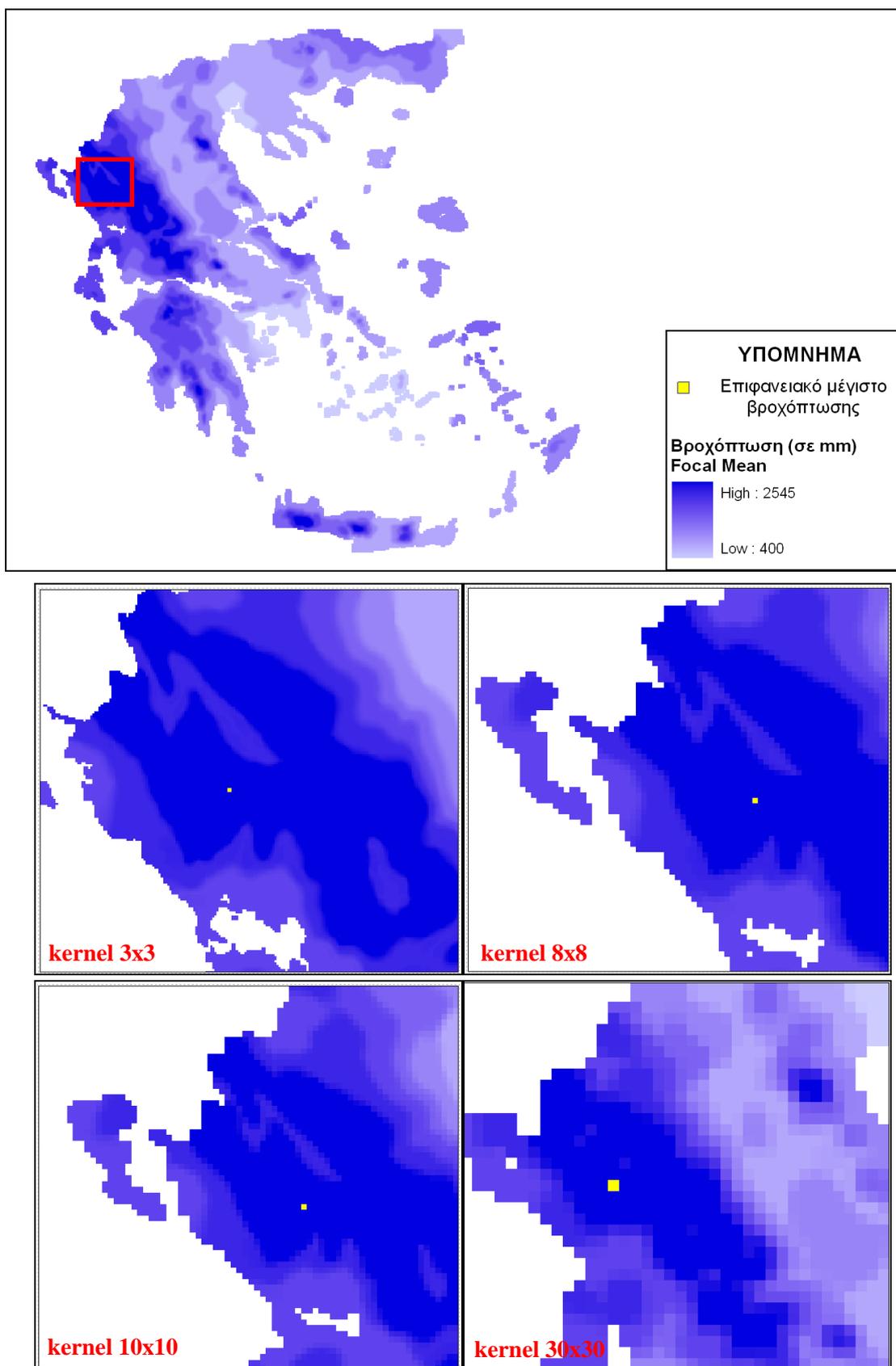
4.1.4 Μοντέλο εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχόπτωσης

Για τον εντοπισμό των χωρικών μεγίστων υδρολογικών μεταβλητών, και συγκεκριμένα βροχοπτώσεων, αναπτύχθηκε το παρακάτω μοντέλο:



Εικ.30 Μοντέλο εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχόπτωσης.

Το μοναδικό αρχείο εισόδου αυτού του μοντέλου είναι ένα raster αρχείο, που αφορά στην ετήσια χωρική κατανομή της βροχόπτωσης, στον Ελλαδικό χώρο. Ως αρχεία εξόδου προκύπτουν δεκατρία (13) raster αρχεία, που δημιουργούνται βάσει kernel διαφορετικών μεγεθών (Εικόνα 31). Για κάθε ένα από αυτά τα αρχεία, είναι δυνατός ο εντοπισμός της μέγιστης τιμής, μέσω των περιγραφικών πινάκων, απ' τους οποίους συνοδεύονται. Στο Παράρτημα II, Χάρτες II.11 και II.12 παρουσιάζονται ενδεικτικά δύο από αυτά.



Εικ.31 Ενδεικτικά αποτελέσματα μοντέλου εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχοπτώσεων, για kernel 3x3, 8x8, 10x10 και 30x30.

4.2 Σχολιασμός των αποτελεσμάτων

Όσον αφορά στα ιστογράμματα, και κατ' επέκταση στα **μοναδιαία υδρογραφήματα**, που προέκυψαν κατά την εφαρμογή του μοντέλου Histogram, για δεδομένα διαφορετικής ανάλυσης και πηγής προέλευσης, αυτά κρίνονται ικανοποιητικά, καθότι παρουσιάζουν σχετική ομοιομορφία μεταξύ τους.

Παρατηρείται πως τα ιστογράμματα δίνουν περίπου τους ίδιους χρόνους απορροής για το σύνολο της λεκάνης απορροής, με μόνη εξαίρεση τα pixels που απορρέουν σε χρόνο μεταξύ 25000 sec και 35000 sec.

Στο ιστόγραμμα, που προέκυψε από το DEM ανάλυσης 250x250 m, εμφανίζεται maximum αριθμός pixels για $t = 25000$ sec, ενώ στο ιστόγραμμα, που προέκυψε από το DEM ανάλυσης 100x100 m, εμφανίζεται maximum για $t = 35000$ sec.

Αντίστοιχα, στο υδρογράφημα, που προέκυψε από το DEM ανάλυσης 250x250 m, εμφανίζεται maximum παροχής ίση με $260 \text{ m}^3/\text{sec}$ και για $t = 25000$ sec, ενώ στο υδρογράφημα, που προέκυψε από το DEM ανάλυσης 100x100 m, εμφανίζεται maximum παροχής ίση με $220 \text{ m}^3/\text{sec}$ και για $t = 35000$ sec.

Η διαφοροποίηση αυτή έγκειται στη διαφορετική χωρική ανάλυση των δύο DEM, καθώς και στην επιλογή τιμής threshold, για τη δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου. Επίσης, σημαντικό ρόλο παίζει και ο τρόπος δημιουργίας, καθώς και η ακρίβεια του εκάστοτε DEM.

Τελικά όμως, και τα δύο ιστογράμματα, και κατ' επέκταση τα αντίστοιχα μοναδιαία υδρογραφήματα, αποδίδουν ικανοποιητικά τους χρόνους απορροής κάθε εικονοστοιχείου, που χαρακτηρίζουν την υπό μελέτη λεκάνη.

Ακολούθως, όσον αφορά στα αποτελέσματα του **Rational Model**, για δεδομένα διαφορετικής ανάλυσης και πηγής προέλευσης, αυτά παρουσιάζουν ταύτιση ως προς τους επιμέρους συντελεστές απορροής C2 και C3, που αφορούν στο είδος και την πυκνότητα της φυτοκάλυψης, καθώς και στη διηθητικότητα του εδάφους, αντίστοιχα.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τον υπολογισμό του συντελεστή απορροής C3, χρησιμοποιήθηκε και στις δύο περιπτώσεις (DEM: 250x250 m και DEM: 100x100 m)

το ίδιο υδρολιθολογικό υπόβαθρο, που είναι και το μόνο που επηρεάζει τα αποτελέσματα, ανεξαρτήτως της ανάλυσης των αρχικών DEM.

Αντίστοιχα, κατά τον υπολογισμό του συντελεστή απορροής C2, παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικής πηγής προέλευσης υπόβαθρα χρήσεων γης, με μικρές κατά τόπους διαφοροποιήσεις, στο σύνολο της λεκάνης απορροής αυτά ταυτίζονται, ως προς το είδος και την έκταση της φυτοκάλυψης, με αποτέλεσμα να δίνουν την ίδια τιμή, στον επιμέρους συντελεστή C2.

Αντιθέτως, όσον αφορά στην εκτίμηση των συντελεστών απορροής C1 και C4, συναρτήσει του αναγλύφου και της κλίσης των πρανών και της αποθηκευτικής ικανότητας, σε χαμηλά σημεία της λεκάνης απορροής, η τιμή αυτών εξαρτάται άμεσα από την ανάλυση των αρχικών DEM.

Συγκεκριμένα, DEM διαφορετικής ανάλυσης ‘δίνουν’ διαφορετικά υπόβαθρα κλίσεων, μικρότερης ή μεγαλύτερης ακρίβειας αντίστοιχα, με αποτέλεσμα να διαφοροποιούν τις τιμές που αποδίδονται στον επιμέρους συντελεστή C1.

Ομοίως, για DEM διαφορετικής ανάλυσης, διαφοροποιείται σημαντικά η τιμή του συντελεστή C4, καθώς αυτός αποδίδεται, στην παρούσα εργασία, μέσω του ποσοστού έκτασης του υδρογραφικού δικτύου, επί της συνολικής έκτασης της λεκάνης, δηλαδή μέσω του αριθμού των pixels που απαρτίζουν το δίκτυο.

Παρ’ όλα αυτά, θεωρείται πως το εν λόγω μοντέλο έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα, των οποίων η διαφοροποίηση δεν είναι σημαντική σε μέγεθος, αφού για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από DEM ανάλυσης 100x100 m, η τιμή του C4 εκτιμάται ίση με 0.05, ενώ για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από DEM ανάλυσης 250x250 m, η τιμή αυτή ανέρχεται στο 0.06.

Στη συνέχεια, όσον αφορά στα ψηφιδωτά αριθμού **καμπύλης απορροής CN**, που προέκυψαν κατά την εφαρμογή του μοντέλου SCS, για δεδομένα διαφορετικής ανάλυσης και πηγής προέλευσης, αυτά παρουσιάζουν μια γενική ομοιομορφία στο σύνολο της περιοχής μελέτης, με σημαντικές όμως τοπικές διαφοροποιήσεις.

Και σε αυτή την περίπτωση, τα αποτελέσματα εξαρτώνται σημαντικά από τα αρχικά δεδομένα χρήσεων γης και διαπερατότητας του εδάφους. Στην παρούσα εργασία, το

μοντέλο εφαρμόστηκε δύο φορές, για δεδομένα χρήσεων γης διαφορετικής προέλευσης, αλλά για το ίδιο υδρολιθολογικό υπόβαθρο.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζουν μια σχετική διαφοροποίηση, όμως η τελική τιμή για την παράμετρο CN (II), που εκτιμά το μοντέλο, και αφορά στον απλό μέσο όρο των τιμών CN (II) της λεκάνης απορροής συνολικά, δεν διαφέρει σημαντικά στις δύο περιπτώσεις, αφού για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το υπόβαθρο χρήσεων γης του Τομέα Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ, είναι ίση με 50.4, ενώ για τα αποτελέσματα που προέκυψαν από το υπόβαθρο χρήσεων γης της <http://www.eea.europa.eu> είναι ίση με 53.3.

Τέλος, όσον αφορά στα αποτελέσματα του μοντέλου, για τον εντοπισμό των **χωρικών μεγίστων βροχόπτωσης**, αυτά κρίνονται ικανοποιητικά καθώς δίνουν μια σαφή εικόνα, της περιοχής εκείνης, σε ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο, που δέχεται το μεγαλύτερο ποσό βροχόπτωσης.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Ως προς τη μεθοδολογία

➤ ΓΣΠ και Υδρολογία

Όσον αφορά στη μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, αυτή βασίστηκε στα πλεονεκτήματα που απορρέουν από τον συνδυασμό της τεχνολογίας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και των υδρολογικών μεθοδολογιών, που έχουν αναπτυχθεί, για τον υπολογισμό ποικίλων παραμέτρων.

Στη συγκεκριμένη εργασία, τα ΓΣΠ χρησιμοποιήθηκαν αφενός για την επεξεργασία των δεδομένων και την παραγωγή δευτερογενών πληροφοριών, και αφετέρου για τη δημιουργία μοντέλων, στα οποία ενσωματώθηκαν οι αρχές που διέπουν συγκεκριμένες υδρολογικές μεθόδους.

Τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παραπάνω διαδικασία, συνοψίζονται στα εξής:

- η χρήση του Model Builder έδωσε τη δυνατότητα αυτοματοποίησης των χωρικών αναλυτικών διαδικασιών, που ακολουθήθηκαν, γεγονός που είναι πολύ σημαντικό για τη μείωση του απαιτούμενου χρόνου εργασίας και της φυσικής κόπωσης,
- σημαντική θεωρήθηκε η δυνατότητα που παρέχεται σε μη πεπειραμένους χρήστες του λογισμικού και των εργαλείων, να εφαρμόζουν τις εν λόγω υδρολογικές ρουτίνες και να αξιοποιούν αναλόγως τα αποτελέσματά τους,
- επίσης, η χρήση του Model Builder επιτρέπει την εύκολη και άμεση αλλαγή των τιμών των παραμέτρων, την άμεση προσθήκη ή αφαίρεση των διαδικασιών, ενώ παρέχεται η δυνατότητα αυτόματης ανανέωσης, με κάθε αλλαγή των μοντέλων,
- η χρήση των ΓΣΠ, ως εργαλείο λήψης αποφάσεων και ως ‘πλατφόρμα’ υποστήριξης μοντέλων, μειώνει τον απαιτούμενο χρόνο και αυξάνει την ορθότητα και ακρίβεια των αποτελεσμάτων και των αντίστοιχων αποφάσεων (Wellar, 1990; Crossland et al., 1995),

- ενώ τέλος, η χρήση των ΓΣΠ επέτρεψε την επεξεργασία, συνένωση και ανάλυση υδρολιθολογικών δεδομένων και δεδομένων υψομέτρου και χρήσεων γης, ώστε να αποδοθεί μια σαφής εικόνα της απορροής σε μια υδρολογική λεκάνη.

➤ Εφαρμογές

Οι μέθοδοι που παρουσιάστηκαν υστερούν σε συγκεκριμένα σημεία. Αυτά αφορούν στη διαθεσιμότητα δεδομένων διαφορετικής ανάλυσης, στην επιλογή τιμής threshold (κατώφλι), στην ορθή ποσοτικοποίηση των διαφόρων κριτηρίων και παραμέτρων, στον καθορισμό των ταχυτήτων των ποτάμιων κλάδων κάθε τάξης, κλπ.

Κάθε ένα από αυτά τα ζητήματα μπορούν να αποτελέσουν ξεχωριστά πεδία μελλοντικής έρευνας, των οποίων η σε βάθος ανάλυση βρίσκεται έξω από τα όρια, τους σκοπούς και τις δυνατότητες της παρούσας εργασίας.

- Στη **μέθοδο χρόνου – επιφανείας**, η ορθότητα των εξαγόμενων υδρογραφικών δικτύων εξαρτάται από την ακρίβεια των ψηφιακών μοντέλων εδάφους, που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και από την επιλογή της τιμής threshold.

Επειδή η επιφανειακή απορροή είναι ένα φαινόμενο που μεταβάλλεται δυναμικά στον χρόνο, πολλές φορές οι κοίτες 1^{ης} τάξης συγχέονται με μικροαυλακώσεις του εδάφους και το αντίθετο, χωρίς να υπάρχει πάντοτε ένα αντικειμενικό κριτήριο διαχωρισμού τους. Έτσι, η απόδοση τιμής threshold είναι ζήτημα μείζονος σημασίας, καθώς από αυτήν εξαρτάται άμεσα η ορθότητα του εξαγόμενου υδρογραφικού δικτύου, ενώ επιπλέον όσο χαμηλότερη είναι, τόσο περισσότερο διευρύνεται το δίκτυο.

- Ακόμη, η ύπαρξη βυθισμάτων, στα ψηφιακά μοντέλα εδάφους που χρησιμοποιήθηκαν, και η υποχρεωτική κάλυψή τους, διαδραμάτισε σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια του υδρογραφικού δικτύου.

Ένα ακόμη σημαντικό, για τους Υδρολόγους Μηχανικούς, ζήτημα αποτελεί η εκτίμηση της ταχύτητας του υδρογραφικού δικτύου, για τον υπολογισμό της οποίας έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα μεθόδων.

Στην προκειμένη περίπτωση, οι ταχύτητες των κλάδων κάθε τάξης έχουν παραμετροποιηθεί, έτσι ώστε να εισάγονται από τον εκάστοτε χρήστη. Αυτές μπορούν να προκύψουν είτε από την εφαρμογή μοντέλων αυτόματου υπολογισμού, που έχουν αναπτυχθεί για τον σκοπό αυτό (Kilgore, 1997; Χριστοφίδης, 2008), είτε από επιτόπιες μετρήσεις και ακολούθως την ‘χειροκίνητη’ εισαγωγή τους (Δέρβος, 2005; Βαρσάμου, 2007) στο μοντέλο, που αναπτύχθηκε σε αυτή την εργασία.

Στη συνέχεια, όσον αφορά στην **Ορθολογική μέθοδο**, πρέπει να σημειωθεί πως αυτή είναι απλοποιητική, καθώς για την εκτίμηση της πλημμυρικής αιχμής, μέσω υπολογισμού του συντελεστή απορροής, αυτή καταλήγει σε έναν σταθερό συντελεστή, που αφορά σε όλη την έκταση της λεκάνης απορροής, ενώ όπως έχει αναφερθεί, ο συντελεστής απορροής δεν παραμένει σταθερός για την ίδια λεκάνη.

- Η ποσοτικοποίηση των παραμέτρων και η απόδοση διαφορετικών τιμών στους επιμέρους συντελεστές απορροής, συναρτήσει των κριτηρίων, που προβλέπει η μέθοδος, αποτέλεσε σημαντικό και δύσκολο ζήτημα. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε βάσει προσωπικής κρίσης.
- Αντίστοιχα, για την εκτίμηση της ενεργού βροχής, βάσει της **μεθόδου SCS**, σημαντικό ζήτημα αποτέλεσε η απόδοση κωδικών στις χρήσεις γης και τους διαφορετικούς τύπους εδαφών.

Για την απόδοση των διαφορετικών τύπων εδάφους χρησιμοποιήθηκε ο υδρολιθολογικός χάρτης της Ελλάδος, στον οποίο αποδίδεται η διαπερατότητα του εδάφους, βάσει τεσσάρων κατηγοριών, που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά ποσοστά διαπερατότητας. Αντίστοιχα, οι διάφορες χρήσεις γης (βάσει CORINE) ομαδοποιήθηκαν σε τέσσερις νέες μεγάλες κατηγορίες χρήσεων, που προβλέπει η μέθοδος, σύμφωνα με προσωπική κρίση.

Τα παραπάνω ζητήματα θα μπορούσαν να ερευνηθούν περαιτέρω, στα πλαίσια μιας άλλης έρευνας, με διαφορετικές, ίσως, επιλογές και συνεπώς διαφοροποιημένα αποτελέσματα.

5.2 Ως προς τα αποτελέσματα

- Όσον αφορά στο μοντέλο χρόνου – επιφανείας, κατά τη σύγκριση των εξαγόμενων υδρογραφικών δικτύων από τα DEM ανάλυσης 250x250 m και 100x100 m αντίστοιχα, τα αποτελέσματα κρίθηκαν αρκετά ικανοποιητικά, καθώς δεν παρατηρούνται σημαντικές διαφοροποιήσεις, κατά μήκος των κυρίων υδατορευμάτων,
- επίσης, τα ιστογράμματα χρόνου – επιφάνειας, καθώς και τα αντίστοιχα μοναδιαία υδρογραφήματα, έδωσαν περίπου τους ίδιους χρόνους απορροής για το σύνολο της λεκάνης, ανεξαρτήτως της χωρικής ανάλυσης των χρησιμοποιούμενων DEM.

Ακολούθως, για τη δημιουργία του μοντέλου της Ορθολογικής μεθόδου, η κλίση των πρανών και η αποθηκευτική ικανότητα, σε χαμηλά σημεία της λεκάνης απορροής (κριτήριο για την εκτίμηση του συντελεστή απορροής C4) αποδόθηκε μέσω του ποσοστού έκτασης του υδρογραφικού δικτύου επί της συνολικής έκτασης της λεκάνης. Ο συσχετισμός αυτός όμως, χαρακτηρίζεται από πιθανά σφάλματα, καθότι παρατηρήθηκε πως τα αποτελέσματα διαφοροποιούνται σημαντικά συναρτήσει της χωρικής ανάλυσης των χρησιμοποιούμενων DEM.

Στην παρούσα εργασία, το ποσοστό έκτασης του υδρογραφικού δικτύου αποδόθηκε βάσει του αριθμού των pixels που το απαρτίζουν. Επομένως, η ανάλυση του αρχικού DEM παίζει σημαντικό ρόλο στην εκτιμώμενη έκταση του υδρογραφικού δικτύου, καθώς αυτή δεν παραμένει σταθερή για DEM διαφορετικών αναλύσεων.

Εναλλακτικά, για την ποσοτικοποίηση του εν λόγω κριτηρίου, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί η υδρογραφική πυκνότητα¹³ ή το μήκος του κυρίου υδατορεύματος. Επομένως, εκτιμάται πως το εν λόγω ζήτημα χρήζει εκτενέστερης μελέτης, για μεγαλύτερη ακρίβεια και ορθότητα των αποτελεσμάτων.

- Παρά τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, κρίνεται πως το μοντέλο λειτούργησε μάλλον καλά, καθώς τα αποτελέσματα είτε ταυτίζονταν, είτε παρουσίαζαν

¹³ Υδρογραφική πυκνότητα είναι ο λόγος του συνολικού μήκους των κλάδων όλων των τάξεων, που βρίσκονται εντός της λεκάνης απορροής, προς το εμβαδόν της λεκάνης. Η παράμετρος αυτή δηλαδή, εκφράζει τον αριθμό των km κοίτης ποτάμιου ρεύματος, που διατηρείται από επιφάνεια αποστράγγισης 1km² (Παυλόπουλος και Καρύμπαλης, 2003).

μικρή μεταξύ τους απόκλιση, για κάθε ένα από τα κριτήρια που προβλέπει η μέθοδος.

- Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα του μοντέλου SCS – και όχι μόνο – εξαρτώνται σημαντικά από την ακρίβεια των αρχικών δεδομένων χρήσεων γης και διαπερατότητας του εδάφους. Παρουσιάζουν σχετική διαφοροποίηση μεταξύ τους, όμως η τελική τιμή CN (II) δεν διαφέρει σημαντικά, γεγονός που υποδηλώνει την ορθή λειτουργία του μοντέλου.
- Τέλος, όσον αφορά στα αποτελέσματα του μοντέλου εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχόπτωσης, και οι 13 κάναβοι, που προκύπτουν από την εφαρμογή του, δίνουν μια σαφή εικόνα της περιοχής εκείνης, που δέχεται το μεγαλύτερο ποσό βροχόπτωσης, σε ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο, σε ετήσια βάση.

Παρά τους περιορισμούς που αναφέρθηκαν, οι μέθοδοι που παρουσιάστηκαν, και τα αντίστοιχα μοντέλα που αναπτύχθηκαν, ικανοποίησαν σε μεγάλο βαθμό τους στόχους της παρούσας διπλωματικής εργασίας, συνθέτοντας και αναλύοντας ποικίλων προελεύσεων πληροφορία και παρέχοντας χρήσιμα συμπεράσματα ως προς την εκτίμηση διαφόρων υδρολογικών παραμέτρων.

Με τα εν λόγω μοντέλα, αναμένεται να υπάρξει σημαντική συμβολή στις διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα, στις περισσότερες υδρολογικές μελέτες, ως προς το χρόνο και την ορθότητα των αποτελεσμάτων. Είναι σαφές πως, μέσω της μοντελοποίησης οποιονδήποτε μεθόδων επιτυγχάνεται σημαντική μείωση του απαιτούμενου, για την εφαρμογή τους, χρόνου, καθώς και μείωση της φυσικής κόπωσης του εκάστοτε μελετητή ή χρήστη.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι οποιοδήποτε υδρολογικό μοντέλο θα πρέπει να ρυθμίζεται και να επαληθεύεται με τη χρήση μετρήσεων απορροής. Τα συγκεκριμένα μοντέλα που αναπτύχθηκαν υποστηρίζουν τη διαδικασία ρύθμισης, αφού οι τιμές των περισσοτέρων παραμέτρων μπορούν να ελεγχθούν από τον χρήστη.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, πως η ανάπτυξη συγκεκριμένων υδρολογικών μοντέλων, περιορισμένων σχετικά απαιτήσεων, σε λογισμικό και δεδομένα, αποτέλεσε τον ουσιαστικότερο στόχο αυτής της εργασίας και απέδωσε ικανοποιητικά ως προς το αντικείμενό της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αυγέρη Μ. και Τουλουπάκη Ε. (2005), «*Μορφολογία Πυθμένα Νοτίου Αιγαίου, με χρήση του λογισμικού ArcGIS 9.0*», Εργασία στα πλαίσια της ‘Θερινής Πρακτικής Άσκησης’, Marathon Data Systems και Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Μυτιλήνη 2005

Αυγέρη Μ., Ευρυγένη Ε., Κουτσανίτη Α., Κωσταντής Α. και Ντούλιας Θ. (2005), «*Αμβρακικός Κόλπος: ένα σύνθετο οικοσύστημα*», Εργασία για το μάθημα ‘Υφάλμυρα Οικοσυστήματα’, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Μυτιλήνη 2005

Δέρβος Ν. (2005), «*Υπολογισμός Συνθετικών Υδρογραφημάτων με χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών*», ΔΠΜΣ ‘Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων’, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα 2005

Κίτσιου Δ. (2003), «*Σημειώσεις μαθήματος ‘Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών’*», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Μυτιλήνη 2003

Κουμούλη Δ.Β. (2001), «*Γεωμορφολογική και υδρολογική διερεύνηση για επαναπροσδιορισμό των υδατικών διαμερισμάτων της χώρας*», Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα 2001

Κουτσόπουλος Κ. και Ανδρουλακάκης Ν. (2005), «*Εφαρμογές του λογισμικού ArcGIS 9.x με απλά λόγια*», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2005

Λαζαρίδου Π.Α. και Μίχας Σ.Ν. (1994), «*Κατάρτιση μοναδιαίου υδρογραφήματος με τη βοήθεια συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών*», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα 1994

Λέκκας Δ. (2006), «*Σημειώσεις για το μάθημα ‘Θαλάσσια Γεωλογία’*», Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Περιβάλλοντος, Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Μυτιλήνη 2006

Λέκκας Ε. (2009), «*Φυσικές και Τεχνολογικές Καταστροφές*», Εκπαιδευτικό υλικό κατάρτισης στελεχών τοπικής αυτοδιοίκησης, Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο, Αθήνα 2009

Μαμάσης Ν. και Κουτσογιάννης Δ. (1999), «*Γεωμορφολογία και Απορροή*», Σημειώσεις μαθήματος ‘Προχωρημένη Υδρολογία’, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα 1999

Μαμάσης Ν. (2007α), «Γεωμορφολογία και Απορροή. Εφαρμογές με τη χρήση ΣΓΠ», Σημειώσεις μαθήματος 'Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα', ΔΠΜΣ 'Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων', Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα 2007

Μαμάσης Ν. (2007β), «Εκτίμηση απορροής με τη χρήση ισόχρονων καμπυλών», Σημειώσεις μαθήματος 'Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα', ΔΠΜΣ 'Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων', Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα 2007

Μαμάσης Ν. (2009), «Τυπικά Συστήματα Υδατικών Πόρων: εκτίμηση πλημμυρικών παροχών», Σημειώσεις μαθήματος 'Πλημμύρες και Αντιπλημμυρικά Έργα', ΔΠΜΣ 'Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων', Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα 2009

Μαντούδη Κ., Μαμάσης Ν. και Κουτσογιάννης Δ. (2004), «Μοντέλο Ισοζυγίου Υδρολογικής Λεκάνης με Χρήση Συστήματος Γεωγραφικής Πληροφορίας», Τεχν. Χρον. Επιστ. Έκδ. ΤΕΕ, Ι, τεύχ. 1, 2004

Μερτζάνης Α.Κ. (1992), «Γεωμορφολογική εξέλιξη του Αμβρακικού Κόλπου», Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Γεωγραφίας-Κλιματολογίας, Αθήνα 1992

Μιμίκου Μ. και Μπαλτάς Ε., (2002), «Σημειώσεις για το μάθημα Τεχνική Υδρολογία», Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα 2002

Μιμίκου Μ.Α. (2005), «Η περίπτωση του ποταμού Αράχθου», Πρόγραμμα CADSEALAND, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Εργαστήριο Υδρολογίας και Αξιοποίησης Υδατικών Πόρων, Ιωάννινα 2005

Μισθός Μ.Α. (2006), «Ανάλυση μορφομετρικών παραμέτρων υδρολογικής λεκάνης με χρήση GIS», Πτυχιακή Εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα, Σεπτέμβριος 2006

Μπέλλος Κ.Β. (2006), «Σημειώσεις για το μάθημα Τεχνικής Υδρολογίας: Απορροές», Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Πολυτεχνική Σχολή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδραυλικών Έργων, 2006

Μπορνόβας Ι. και Ροντογιάννη-Τσιαμπάου Θ. (1983), «Γεωλογικός χάρτης της Ελλάδος, κλίμακας 1:500000», Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών, 2^η έκδοση, Αθήνα 1983

ΟΜΟΕ – ΑΣΥΕΟ (2002), «Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων – Αποχέτευση, Στράγγιση, Υδραυλικά έργα οδών», 2002

- Παναγούλια Δ. και Δήμου Γ. (2008), «Υδρολογία και εκτιμήσεις στερεοαπορροής», Σημειώσεις μαθήματος ‘Μηχανική των Φερτών Υλικών’, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αθήνα 2008
- Παυλόπουλος Κ. και Καρύμπαλης Ε. (2003), «Σημειώσεις για το μάθημα Φυσικής Γεωγραφίας», Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Γεωγραφίας, Αθήνα 2003
- Σκοπελίτη Α. και Στάμου Λ. (2006), «Παρουσίαση για το μάθημα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών», ΔΠΜΣ ‘Επιστήμη & Τεχνολογία Υδατικών Πόρων’, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Τομέας Υδατικών Πόρων, Αθήνα 2006
- Σούλιος Γ.Χ. (1996), «Γενική Υδρογεωλογία», Α’ Τόμος, Εκδόσεις Επιστημονικών Βιβλίων & Περιοδικών ‘University Studio Press’, Θεσσαλονίκη 1996
- ΥΠΕΧΩΔΕ και ΕΜΠ (1988), «Ερευνητικό Έργο: Υδρολογική διερεύνηση υδατικού διαμερίσματος Θεσσαλίας», Τεχνική Έκθεση, Τεύχος 7, Αθήνα, Ιούνιος 1988
- Υπουργείο Ανάπτυξης, ΕΜΠ, ΙΓΜΕ και ΚΕΠΕ (1996), «Σχέδιο Προγράμματος Διαχείρισης των Υδατικών Πόρων της χώρας», Αθήνα 1996
- Χριστοφίδης Α.Δ. (2008), «Ανάπτυξη Μοντέλου Βροχής – Απορροής σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)», Διπλωματική Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, ΔΠΜΣ ‘Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων’, Αθήνα 2008

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

- Advanced GIS Workshop for UCCE (2007), “Geospatial Imaging & Informatics Facility: HYDROLOGICAL ANALYSIS WITH ARCGIS”, Berkeley, University of California, 2007
- Benosky C.P. and Merry C.J. (1995), “Automatic extraction of watershed characteristics using spatial analysis techniques with application to groundwater mapping”, J. Hydrol., Vol. 173, 1995
- Bloom A.L. (1998), “Geomorphology: A systematic analysis of Late Cainozoic landforms”, Upper Saddle River, Prentice-Hall, New Jersey 1998
- Bloschl G. and Sivapalan M. (1995), “Scale issues in hydrological modelling: A review”, Hydrological Processes, Vol. 9, 1995
- Bridge J.S. (2003), “Rivers and Floodplains: forms, processes and sedimentary record”, Blackwell Publishing Company, U.K. 2003\
- Burrough P.A. and McDonnell R.A. (1998), “Principles of Geographical Information Systems”, Oxford University Press, New York, 1998

Chang K. (2003), *“Introduction to Geographic Information Systems”*, International edition: McGraw-Hill, 2003

Crossland M.D., Perkins W.C. and Wynne B.E. (1995), *“Spatial decision support systems: an overview of technology and a test efficiency”*, Decision Support Systems, Vol. 14, 1995

DeMers N.M. (2000), *“Fundamental of Geographic Information Systems”*, John Wiley and Sons, New York 2000

DeMers N.M. (2002), *“GIS Modeling in Raster”*, John Wiley and Sons, New York 2002

Diekkriiger B., Liicke A., Nieschulz K. and Richter O. (1993), *“Regionalization of water fluxes using a deterministic simulation model and GIS”*, In: ‘Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management’ (Proc. Int. Conf. HydroGIS'93), Vienna, April 1993

Dingman S.L. (2002), *“Physical Hydrology”*, Upper Saddle River, Prentice-Hall, New Jersey 2002

Fairfield J. and Leymarie P. (1991), *“Drainage Networks from grid digital elevation models”*, Water Resources Research, Vol. 27, 1991

Goodchild M.F. and Mark D.M. (1987), *“The fractal nature of geographic phenomena”*, Annals of Association of American Geographers, Vol. 77, 1987

Goodchild M.F., Kemp K.K., Theriault M. and Roche Y. (1996), *“Geographic Information Systems”*, Lecture notes, Volume I, LATIG, Department of Geography, Laval University, Quebec, 1996

Gupta P., Minhas D.S., Tamhane R.M. and Mookerjee A.K. (2003), *“Application of Geographical Information System (GIS) tools in watershed analysis”*, ESRI India, New Delhi and LEA Associates South Asia, 2003

Hatzopoulos J.N. (2002), *“Geographic Information Systems in Water Management”*, University of the Aegean, Department of Environmental Studies, Remote Sensing Laboratory and GIS, Greece, Mytilene 2002

Horton R.E. (1945), *“Erosional characteristics of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology”*, Bull. Geol. Soc. America, 1945

Jenson S.K. and Domingue J. O. (1988), *“Extracting topographic structure for Digital Elevation data for Geographic System Analysis”*, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1988

- Jenson S.K. (1994), “*Application of hydrologic information automatically extracted from Digital Elevation Models*”, in Bevan K.J. and Moore I.D. (eds.) ‘*Terrain Analysis and Distributed Modeling in Hydrology*’, John Wiley and Sons, Chichester, England 1994
- Kapsimalis V., Tziavos C., Livanos I. and Anagnostou C. (2004), “*The new mouth of the Arachthos River (NW Greece): Factors affected the geomorphological evolution*”, Hellenic Centre of Marine Research and University of the Aegean, School of the Environment, Department of Marine Science, 2004
- Kilgore J.L. (1997), «*Development and evaluation of a GIS-based spatially distributed unit hydrograph model*», MS thesis, Biological Systems Engineering Dept., Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 1997
- Kopp S. and Noman N. (2008), “*ArcGIS Spatial Analyst: Hydrologic Modeling*”, Technical Workshops, ESRI User Conference, 2008
- Leopold L.B., Wolman M.G. and Miller J.P. (1964), “*Fluvial processes in geomorphology*”, General Publishing Company, Canada, Toronto 1964
- Maidment D.R. (1993), “*GIS and Hydrologic Modeling*”, in Goodchild M.F. (eds) ‘*Environmental Modeling with GIS*’, Oxford University Press, 1993
- Mark, D.M. (1988), “*Network Models in Geomorphology. Modelling in Geomorphological Systems*”, Publications by John Wiley & Sons, 1988
- Mendas A., Errih M., Benhanifia K., Maldi M. and Rahmani M.A. (2007), “*Hydrologic model and GIS to estimate hydrologic balance at watershed scale – Application to the watershed of Macta (Western Algerian)*”, Algeria, Arzew 2007
- Montgomery D.R. and Foufoula-Georgiou E. (1993), “*Channel network source representation using digital elevation models*”, Water Res. Res. Vol. 29, 1993
- Moore I.D., Grayson R.B. and Ladson A.R. (1991), “*Digital terrain modelling: A review of hydrological geomorphological and biological applications*, Hydrol. Processes, Vol. 5, 1991
- Moore I.D. (1996), “*Hydrological modeling and GIS*”, in Goodchild M.F., Steyaert L.T., Parks B.O., Johnston C., Maidment D., Crane M. and Glendinnings S. (eds.) ‘*GIS and Environmental Modeling: Progress and Research Issues*’, Fort Collin, Co: GIS World Books, 1996
- O’Callaghan J. and Mark D.M. (1984), “*The extraction of drainage networks from digital elevation data*”, Computer vision graphics and image processing, Vol. 28, 1984

- Peucker T.K. and Douglas D.H. (1975), “*Detection of surface-specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data*”, Computer graphics and image processing, Vol. 4, 1975
- Quinn P., Beven K., Chevallier P. and Planchon O. (1991), “*The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models*”, Hydrol. Processes., Vol. 5, 1991
- Ross M.A and Tara P.D. (1993), “*Integrated hydrologic modeling with geographic information Systems*”, J. of Water. Resour. Planning and Management, Vol. 119, 1993
- Shea C., Grayman W., Douglas D., Males R.M. and Sushinsky P. (1993), “*Integrated GIS and hydrologic modeling for countywide drainage study*”, J. of Water. Resour. Planning and Management, Vol. 119, 1993
- Sherman L.K. (1932), “*Streamflow from rainfall by the unit-graph method*”, Eng. News Record, 1932
- Singh V.P. and Valiron F. (1995), “*Computer models of Watershed Hydrology*”, Water Resources Publications, USA, 1995
- Skop E. and Loaiciga H.A. (1998), “*Investigating Catchment Hydrology and Low Flow Characteristics using GIS*”, Nordic Hydrology, Vol. 29, 1998
- Strahler A. (1957), “*Quantitative analysis of watershed geomorphology*”, Amer. Geophys. Union, 1957
- Streit U. and Kleeberg H. (1993), “*GIS-based regionalization in hydrology: German priority programme on spatial transfer of hydrological information*”, In: ‘Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management’ (Proc. Int. Conf. HydroGIS'93), Vienna, April 1993
- Tarboton D.G., Bras R.L. and Rodriguez-Iturbe I. (1991), “*On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data*”, Hydrological Processes, 1991
- U.S. Committee on Opportunities in the Hydrological Sciences, “*Opportunities in the Hydrological Sciences*”, edited by P. S. Eagleson, National Academy Press, Washington, D.C., 1992
- Wellar B. (1990), “*Science, Applications, Coherence and GIS: Seizing the Moment*”, GIS/LIS '90 Proceedings, Vol. 2, California, November 1990

Διαδίκτυο

ArcGIS Desktop Help 9.3 (<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3>), Last Modified: April 2009

Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών (<http://diocles.civil.duth.gr>)

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, ΕΜΠ, Περιβάλλον Μαθημάτων NCCMS (<http://ecourses.dbnet.ntua.gr>)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι: Πίνακες

Πίνακας Ι.1. Κύρια χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Αράχθου, ανάντη της περιοχής του Τσιμόβου.

Πίνακας Ι.2. Κατηγοριοποίηση χρήσεων γης: Ονοματολογία CORINE.

Πίνακας I.1. Κύρια χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού Αράχθου, ανάντη της περιοχής του Τσιμόβου.

ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ	ΑΡΑΧΘΟΣ – Τσίμοβο
Έκταση (km ²)	640
Περίοδος μετρήσεων	1965 – 1978
Υδρολογικά – Κλιματικά χαρακτηριστικά (σε ετήσια βάση)	
Μέση βροχόπτωση λεκάνης (mm)	1377
Μέση ισοδύναμη απορροή λεκάνης (mm)	960
Μέση θερμοκρασία λεκάνης (°C)	10,65
Χαρακτηριστικά υψόμετρα (m)	
Μέσο λεκάνης	1070
Μέγιστο λεκάνης	2222
Μέγιστο κυρίου κλάδου	1200
Χαρακτηριστικά μήκη ποταμού (km)	
Ολικό κυρίου κλάδου	43,8
Χαρακτηριστικές κλίσεις	
Μέση ποταμού	19,1
Μέση λεκάνης	41%
Γεωλογικά χαρακτηριστικά λεκάνης (Ποσοστά εμφάνισης πετρωμάτων %)	
Αλλούβια	4,1
Φλύσχης	75,8
Ψαμμίτες – Μάργες – Σχιστόλιθοι	0,0
Ασβεστόλιθοι – Δολομίτες	17,0
Μεταμορφωμένα – Εκρηξιγενή	3,1

(Πηγή: Παναγούλια και Δήμου, 2008)

Πίνακας Ι.2 Κατηγοριοποίηση χρήσεων γης: Ονοματολογία CORINE.

Πρώτο Επίπεδο	Δεύτερο Επίπεδο	Τρίτο Επίπεδο
1. ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	1.1 ΑΣΤΙΚΟΣ ΙΣΤΟΣ	1.1.1 Συνεχής αστικός ιστός 1.1.2 Ασυνεχής αστικός ιστός
	1.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ – ΕΜΠΟΡΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ	1.2.1 Βιομηχανικές και Εμπορικές Ζώνες 1.2.2 Οδικά και Σιδηροδρομικά Δίκτυα 1.2.3 Ζώνες λιμένων 1.2.4 Αεροδρόμια
	1.3 ΟΡΥΧΕΙΑ, ΧΩΡΟΙ ΑΠΟΡΡΙΨΕΩΣ ΑΠΟΡΡΙΜΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΧΩΡΟΙ ΟΙΚΟΔΟΜΗΣΗΣ	1.3.1 Χώροι εξορύξεως ορυκτών 1.3.2 Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
	1.4 ΤΕΧΝΗΤΕΣ ΜΗ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ	1.4.1 Περιοχές αστικού πράσινου 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	2.1 ΑΡΩΣΙΜΗ ΓΗ	2.1.1 Μη αρδευόμενη γη 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη 2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 ΜΟΝΙΜΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	2.2.1 Αμπελώνες 2.2.2 Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκώδεις καρπούς 2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 ΛΙΒΑΔΙΑ	2.3.1 Λιβάδια
	2.4 ΕΤΕΡΟΓΕΝΕΙΣ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες, που σχετίζονται με μόνιμες καλλιέργειες 2.4.2 Σύνθετες καλλιέργειες 2.4.3 Γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία, μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης 2.4.4 Γεωργικές – δασικές περιοχές
3. ΔΑΣΗ ΚΑΙ ΗΜΙ-ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	3.1 ΔΑΣΗ	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων 3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΘΑΜΝΩΔΟΥΣ Η/ΚΑΙ ΠΟΩΔΟΥΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση 3.2.4 Μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 ΑΝΟΙΧΤΟΙ ΧΩΡΟΙ ΜΕ ΛΙΓΗ Ή ΚΑΘΟΛΟΥ ΒΛΑΣΤΗΣΗ	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι 3.3.3 Εκτάσεις με αραιή βλάστηση 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις 3.3.5 Παγετώνες και ανέαιο χιόνι
4. ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ	4.1 ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ ΕΝΔΟΧΩΡΑΣ	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα 4.1.2 Τυρφώνες
	4.2 ΠΑΡΑΘΑΛΑΣΣΙΟΙ ΥΓΡΟΤΟΠΟΙ	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι 4.2.2 Αλυκές 4.2.3 Ζώνες που καλύπτονται από παλιρροιακά ύδατα
5. ΥΔΑΤΙΝΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ	5.1 ΧΕΡΣΑΙΑ ΥΔΑΤΑ	5.1.1 Υδατορρέυματα 5.1.2 Επιφάνειες στάσιμου ύδατος
	5.2 ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΥΔΑΤΑ	5.2.1 Παράκτιες λιμνοθάλασσες 5.2.2 Εκβολές ποταμών 5.2.3 Θάλασσες και ωκεανοί

(Πηγή: <http://ecourses.dbnet.ntua.gr>)

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: Χάρτες

Χάρτης ΙΙ.1. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ανάλυσης 250x250 m) της περιοχής μελέτης (Πηγή: *ιδία επεξεργασία*).

Χάρτης ΙΙ.2. Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ανάλυσης 100x100 m) της περιοχής μελέτης (Πηγή: *ιδία επεξεργασία*).

Χάρτης ΙΙ.3. Χρήσεις γης (<http://www.eea.europa.eu>) της περιοχής μελέτης, βάσει της κωδικοποίησης CORINE (Πηγή: *ιδία επεξεργασία*).

Χάρτης ΙΙ.4. Χρήσεις γης (Τομέας Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ) της περιοχής μελέτης, βάσει της κωδικοποίησης CORINE (Πηγή: *ιδία επεξεργασία*).

Χάρτης ΙΙ.5. Υδρολιθολογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης (Πηγή: *ιδία επεξεργασία*).

Χάρτης ΙΙ.6. Ετήσια κατανομή βροχόπτωσης της Ελλάδος (Πηγή: *ιδία επεξεργασία*).

Χάρτης ΙΙ.7. Ταχύτητες χερσαίας ροής από δεδομένα ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m.

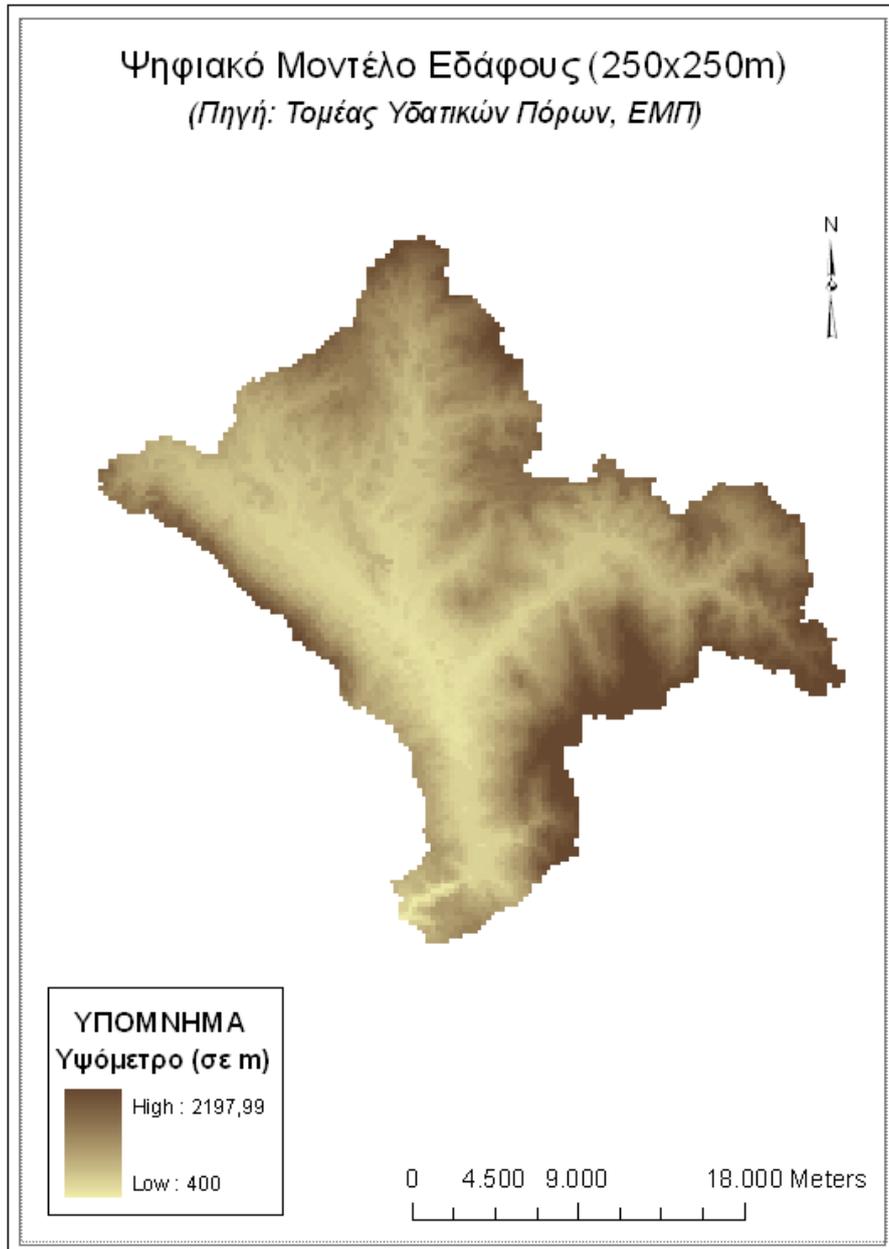
Χάρτης ΙΙ.8. Ταχύτητες υδρογραφικού δικτύου από δεδομένα ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m και τιμές για κατώφλι ίσο με 30 και 230, αντίστοιχα.

Χάρτης ΙΙ.9. Χρόνοι απορροής για δεδομένα ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m.

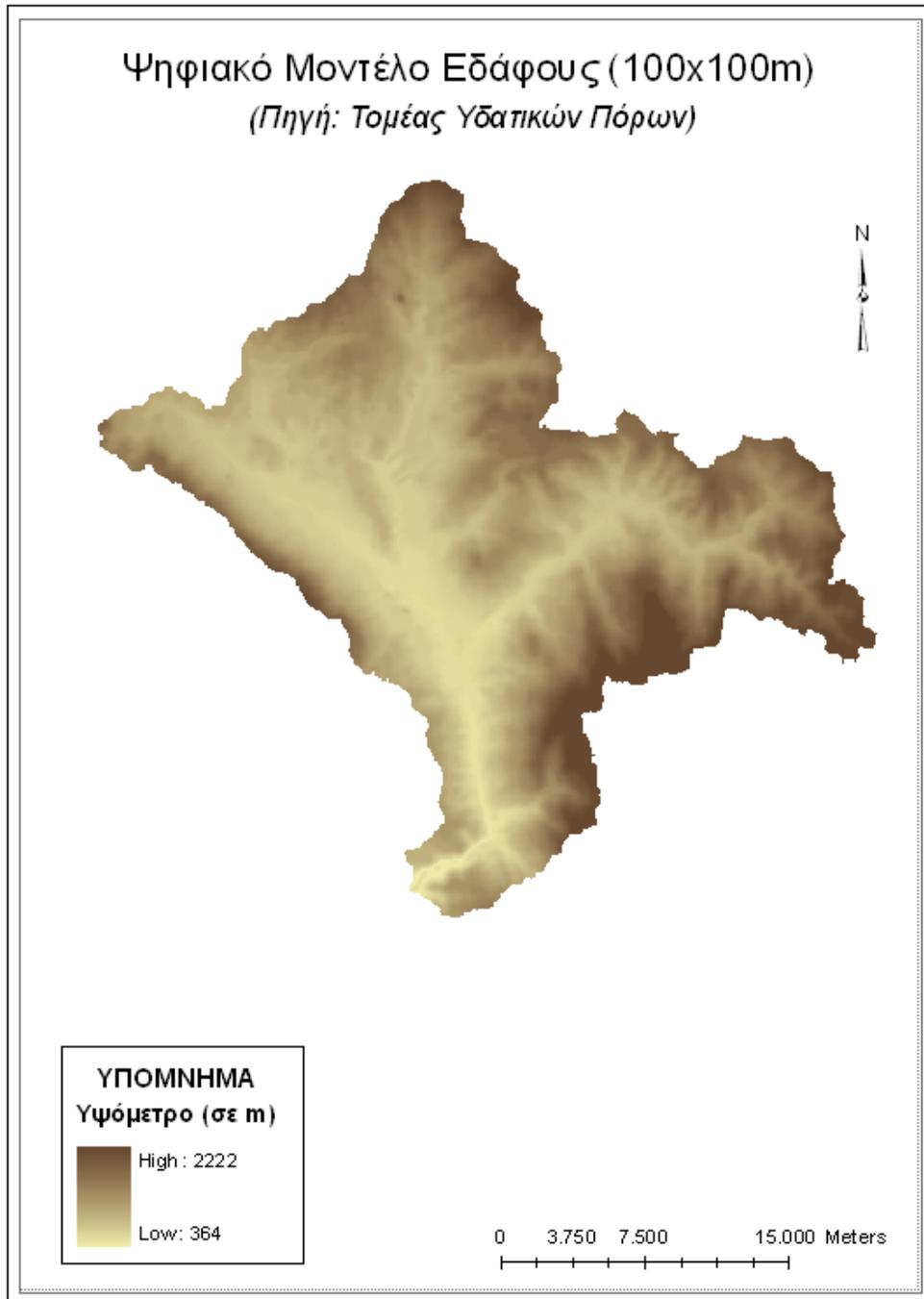
Χάρτης ΙΙ.10. Ψηφιδωτά αριθμού καμπύλης απορροής CN ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m.

Χάρτης ΙΙ.11. Επιφανειακό μέγιστο βροχόπτωσης, για 8x8 kernel, ίσο με 2545 mm.

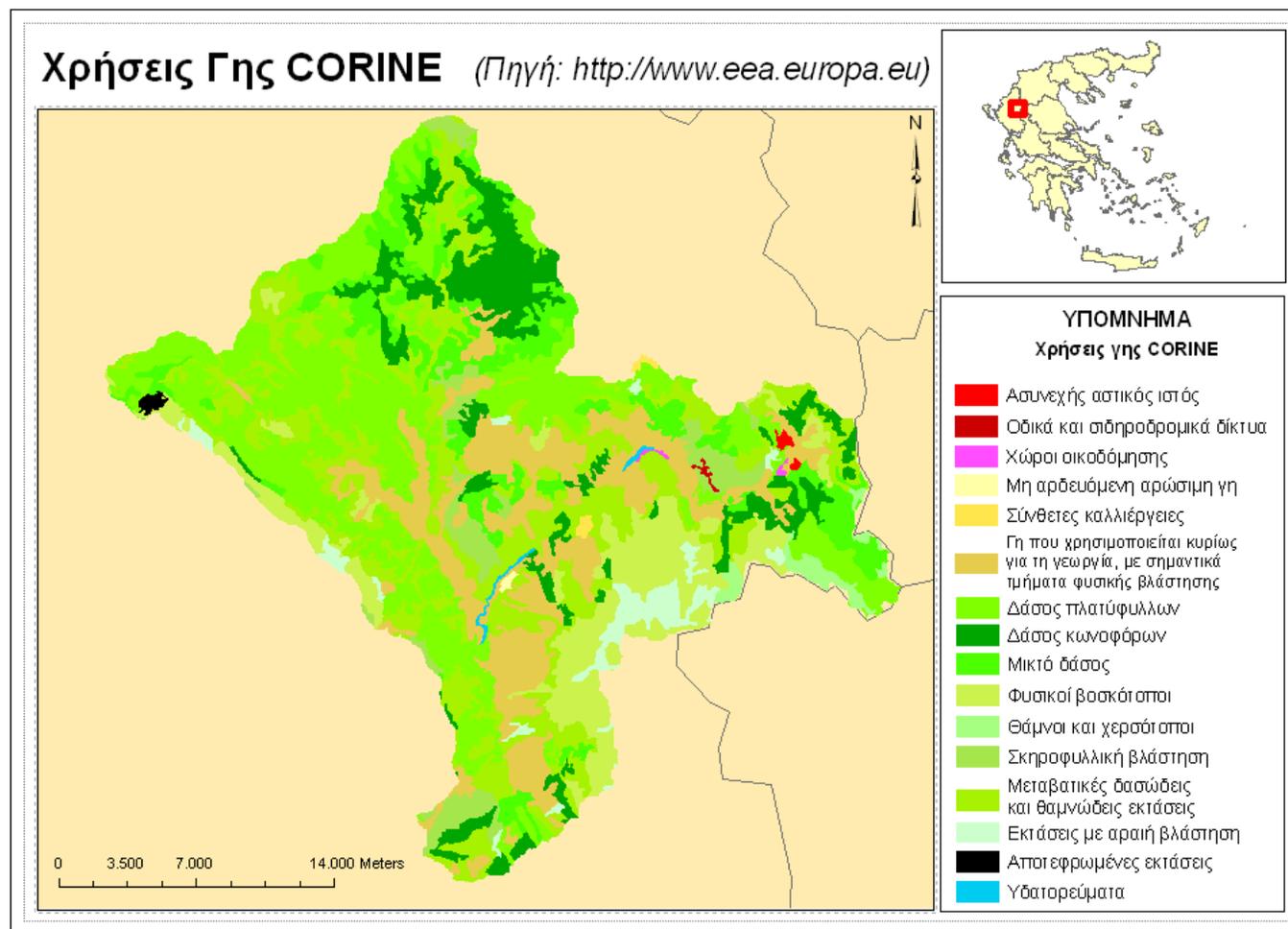
Χάρτης ΙΙ.12. Επιφανειακό μέγιστο βροχόπτωσης, 30x30 kernel, ίσο με 2341 mm.



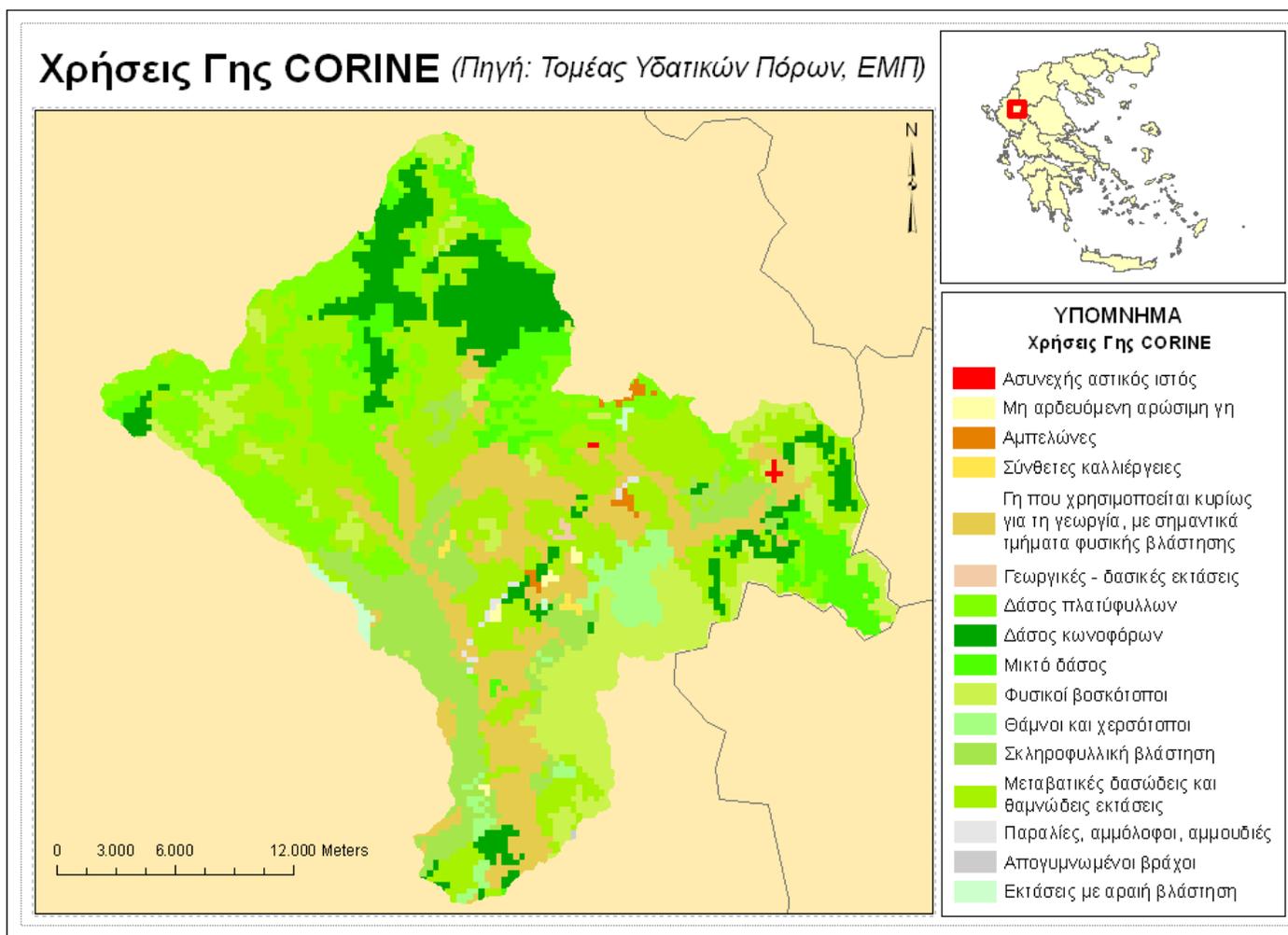
Χάρτης Π.1 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ανάλυσης 250x250 m) της περιοχής μελέτης.
(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



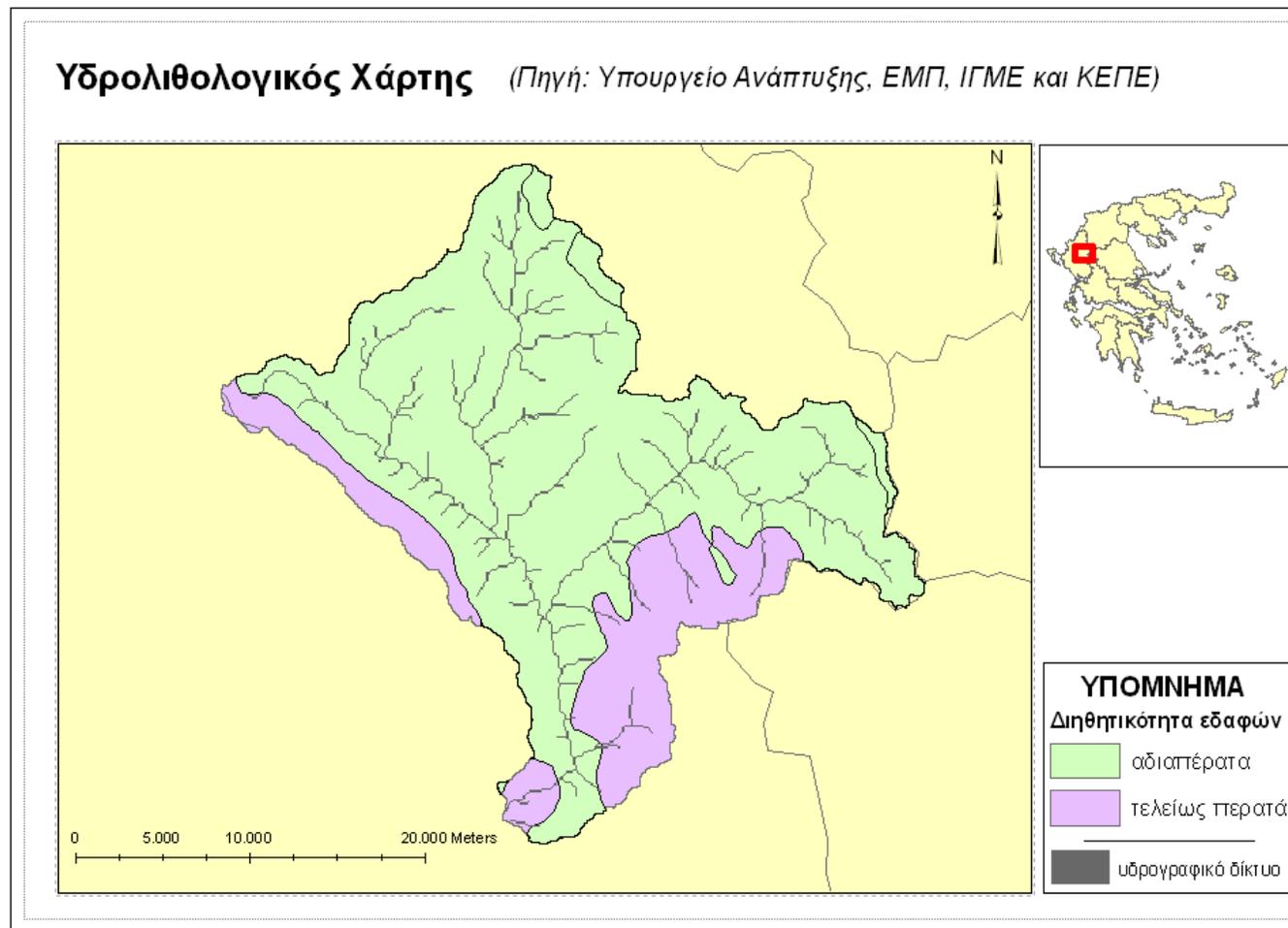
Χάρτης Π.2 Ψηφιακό μοντέλο εδάφους (ανάλυσης 100x100 m) της περιοχής μελέτης.
(Πηγή: ίδια επεξεργασία)



Χάρτης II.3 Χρήσεις γης (<http://www.eea.europa.eu>) της περιοχής μελέτης, βάσει της κωδικοποίησης CORINE.
(Πηγή: ίδια επεξεργασία)

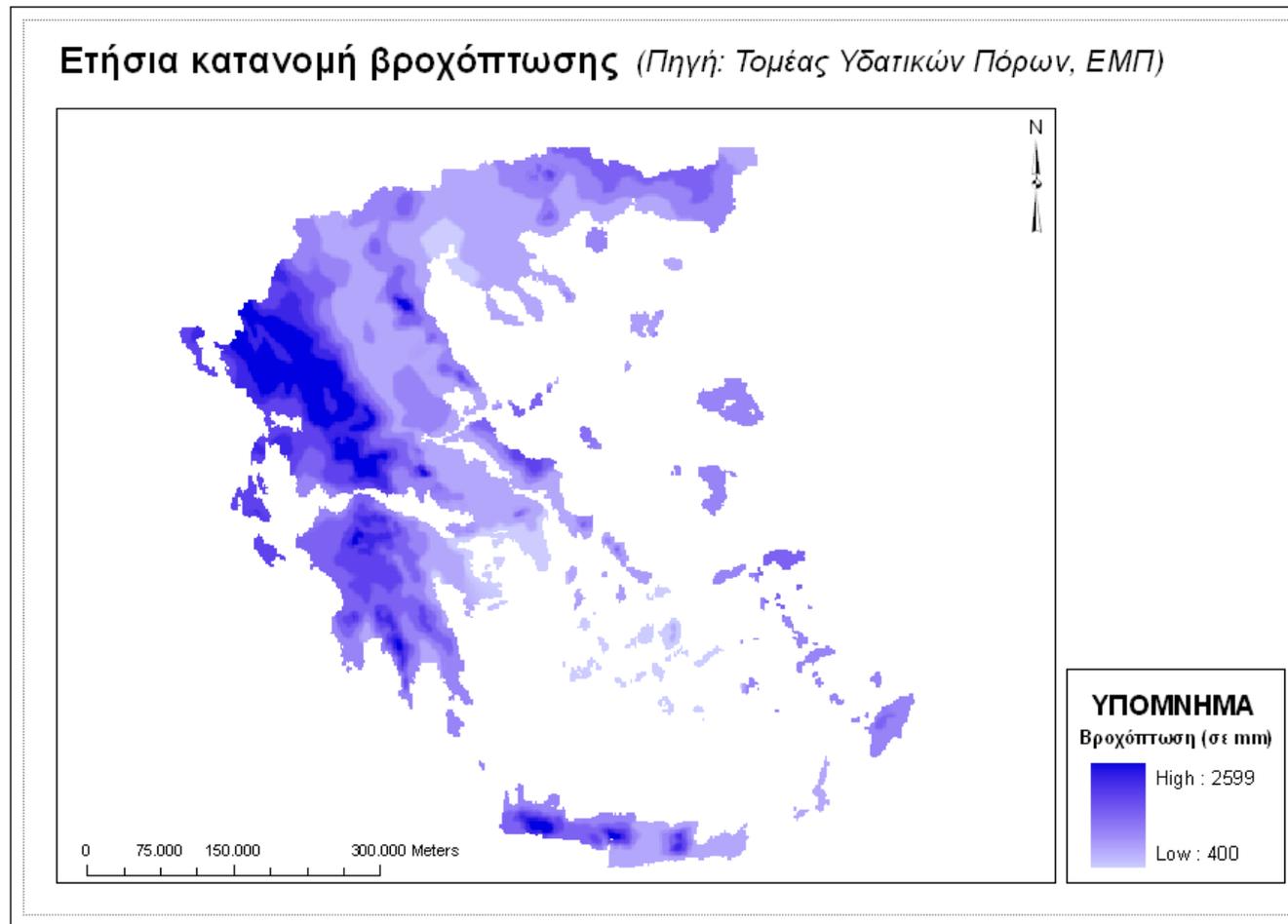


Χάρτης II.4 Χρήσεις γης (Τομέας Υδατικών Πόρων, ΕΜΠ) της περιοχής μελέτης, βάσει της κωδικοποίησης CORINE.
(Πηγή: *ιδία επεξεργασία*)



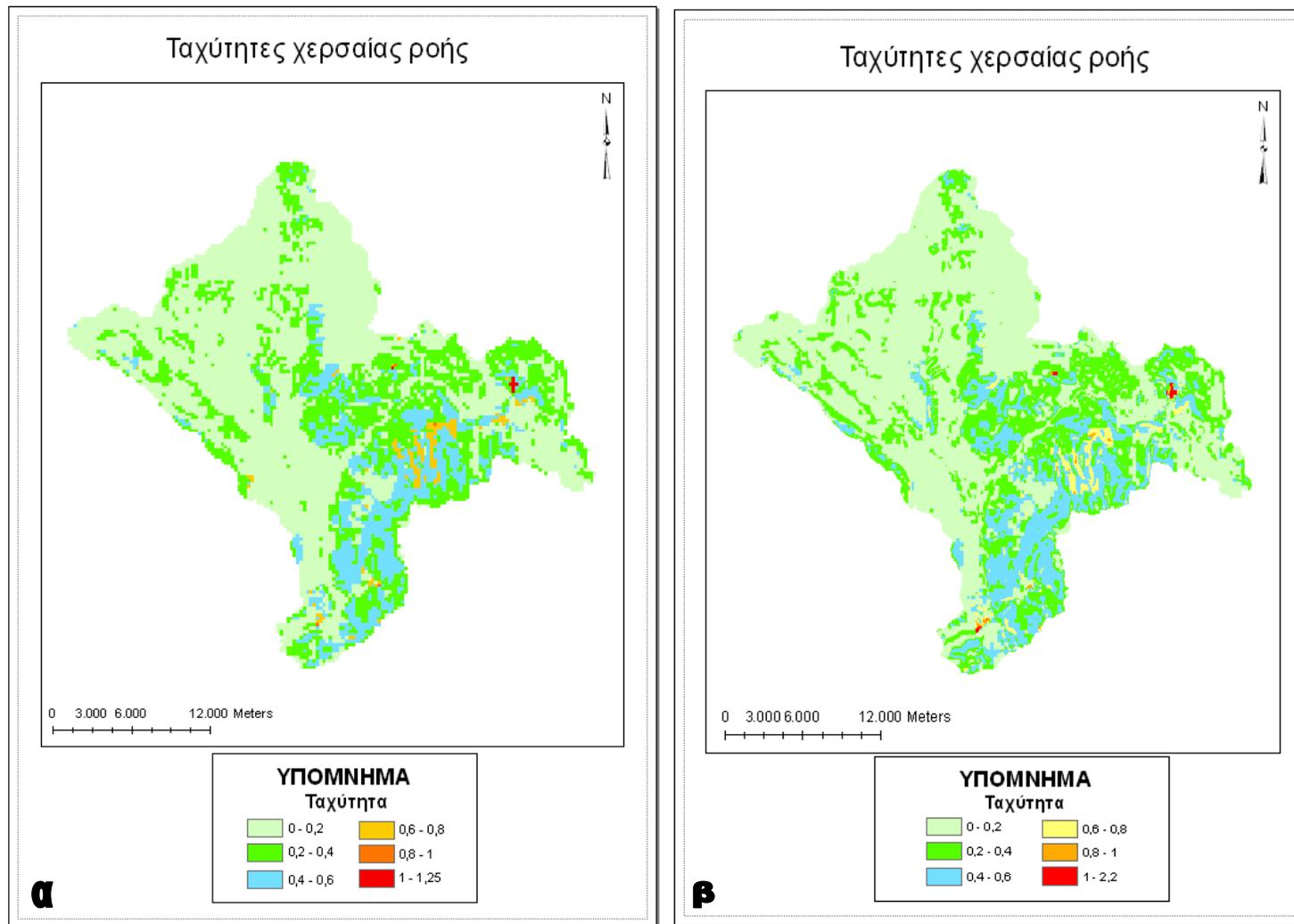
Χάρτης Π.5 Υδρολιθολογικό υπόβαθρο της περιοχής μελέτης.

(Πηγή: ίδια επεξεργασία)

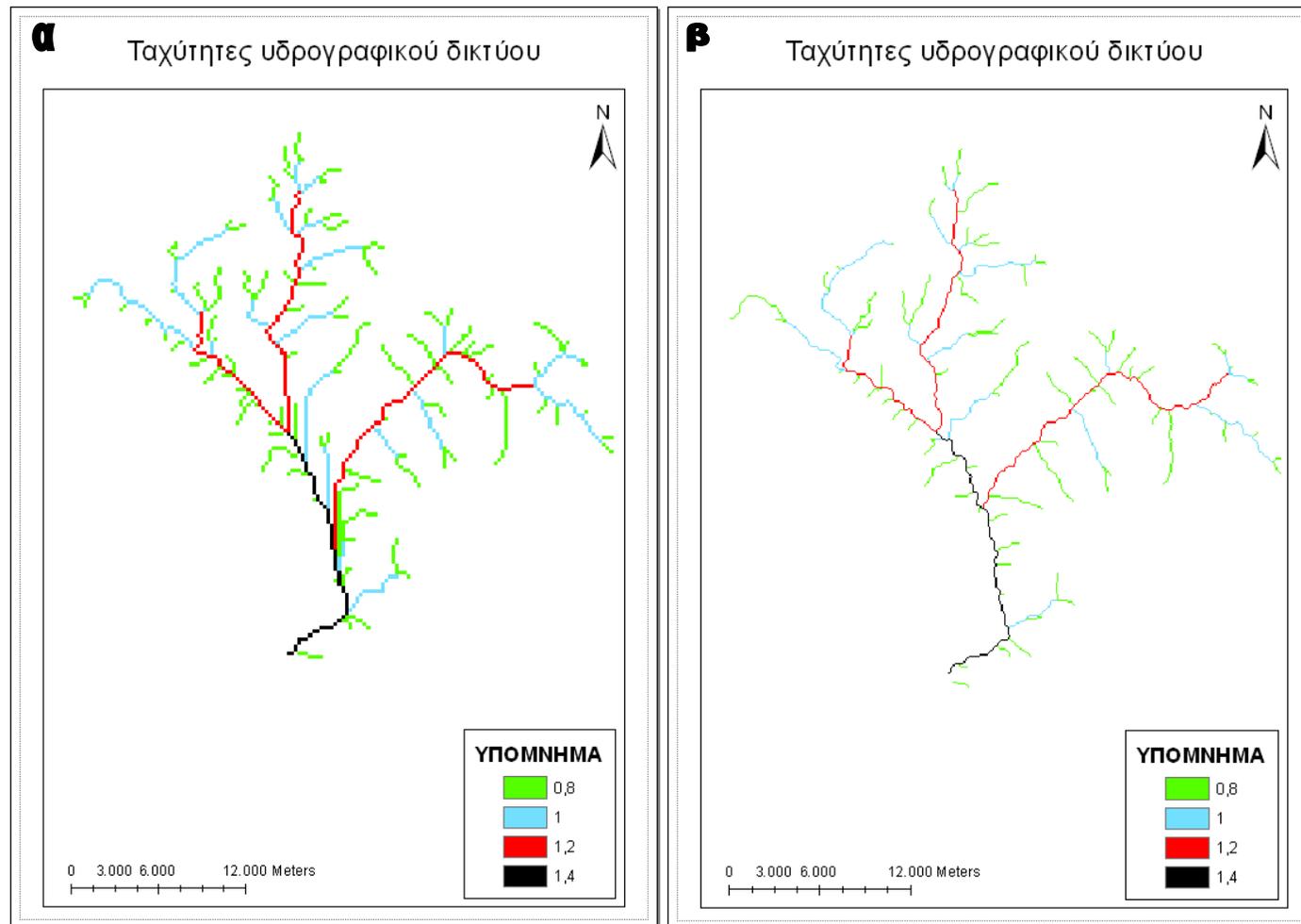


Χάρτης II.6 Ετήσια κατανομή βροχόπτωσης στον Ελλαδικό χώρο.

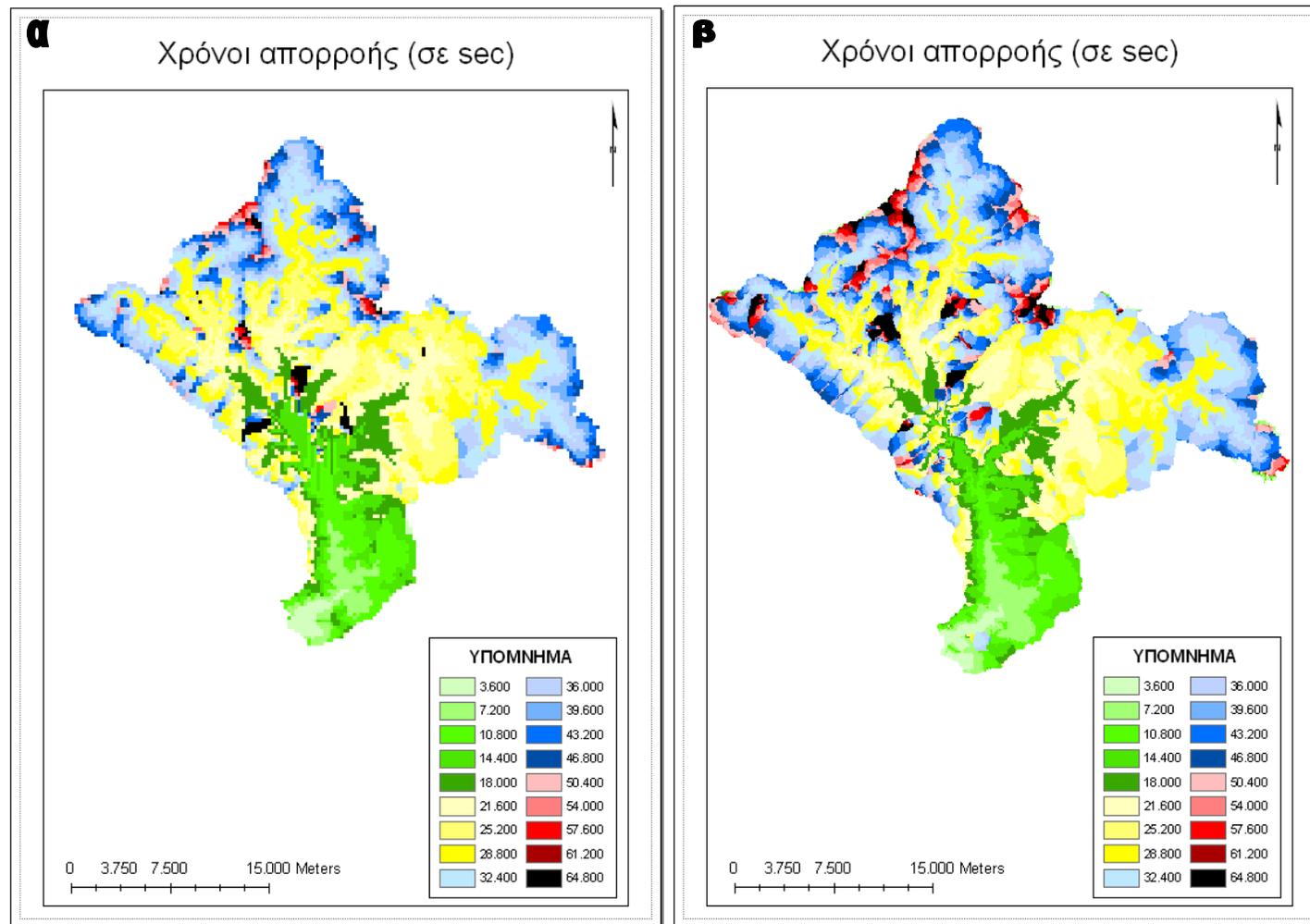
(Πηγή: *ιδία επεξεργασία*)



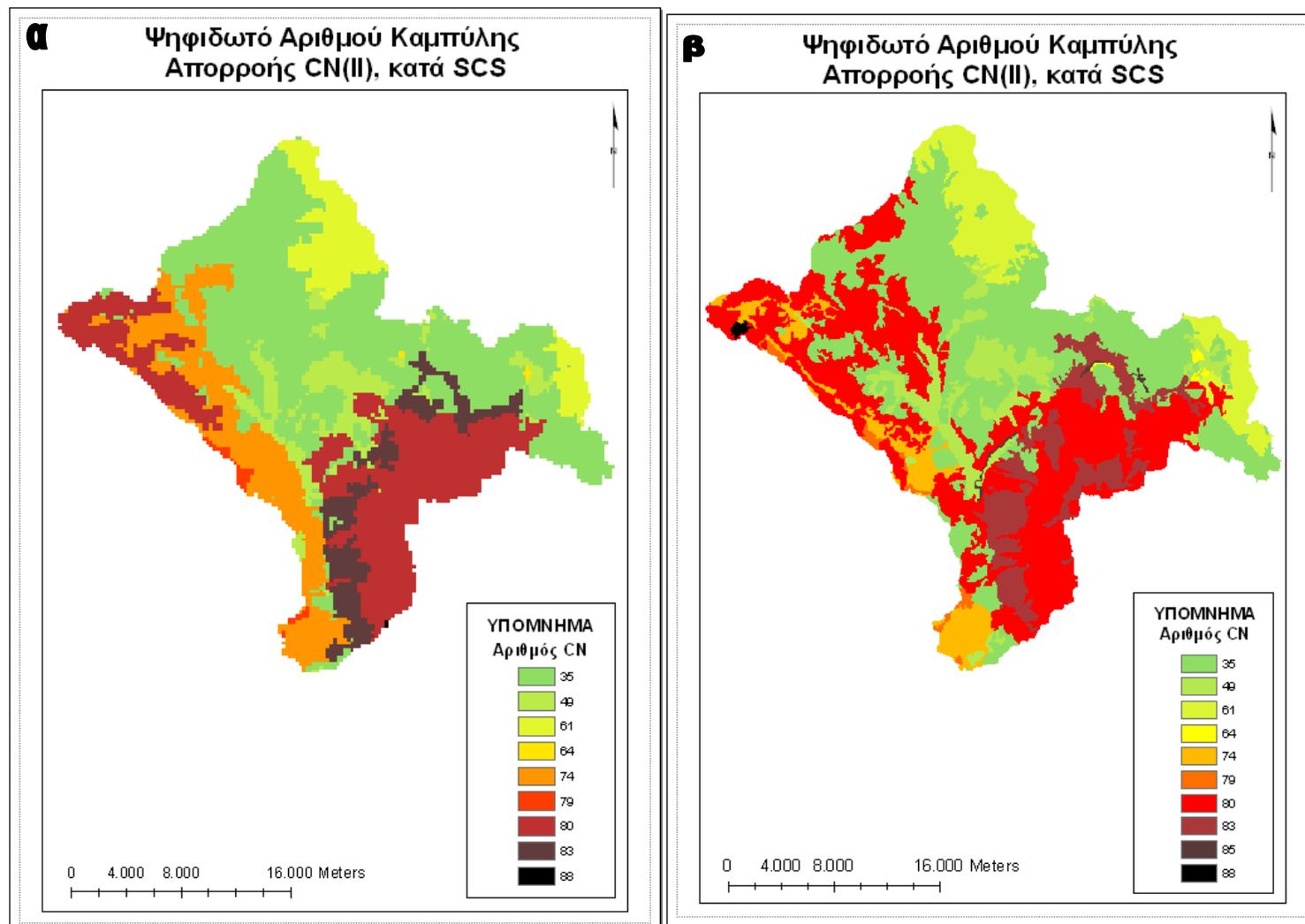
Χάρτης II.7 Ταχύτητες χερσαίας ροής από δεδομένα ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m.



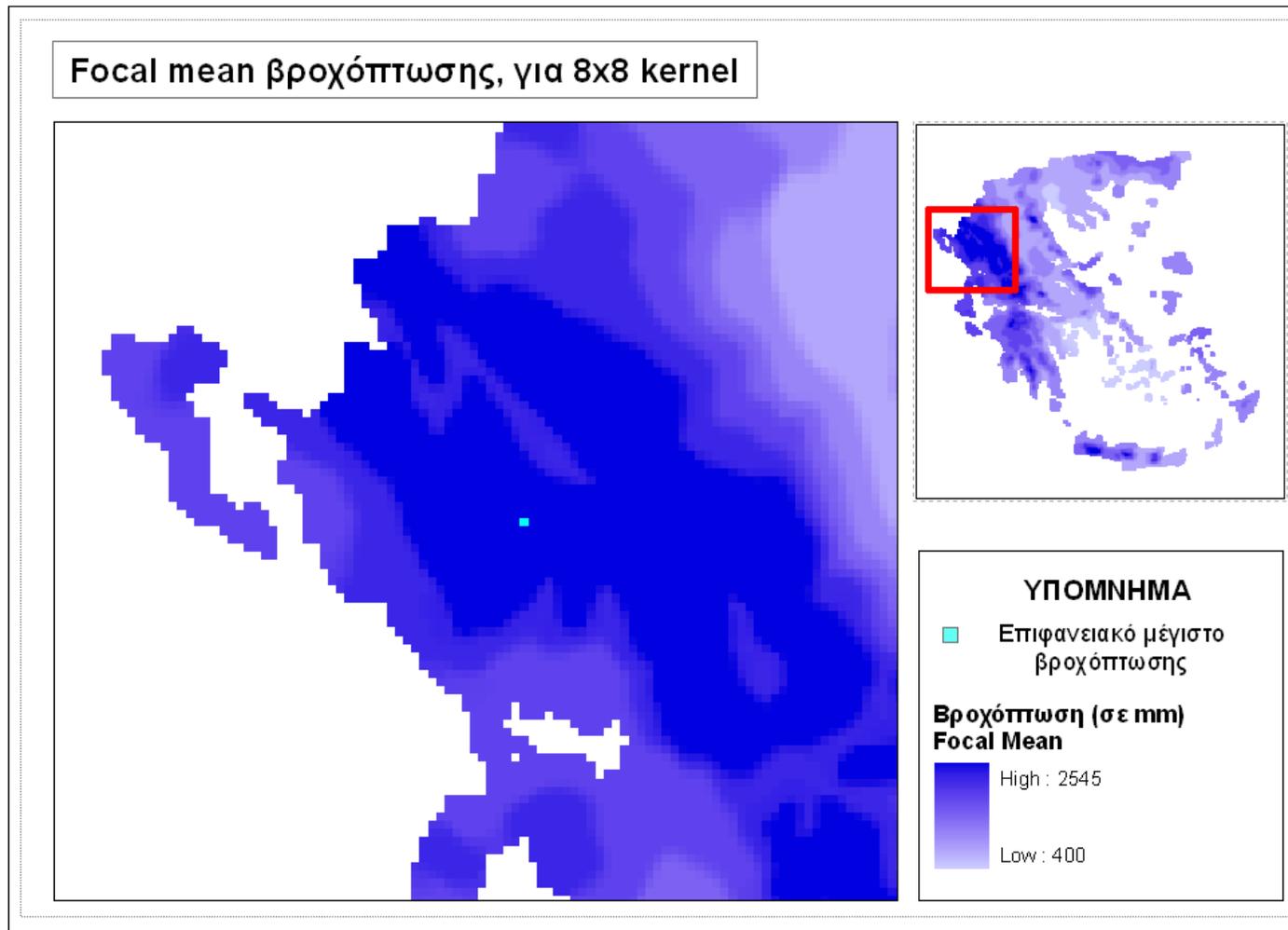
Χάρτης II.8 Ταχύτητες υδρογραφικού δικτύου από δεδομένα ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m και τιμές για κατώφλι ίσο με 30 και 230, αντίστοιχα.



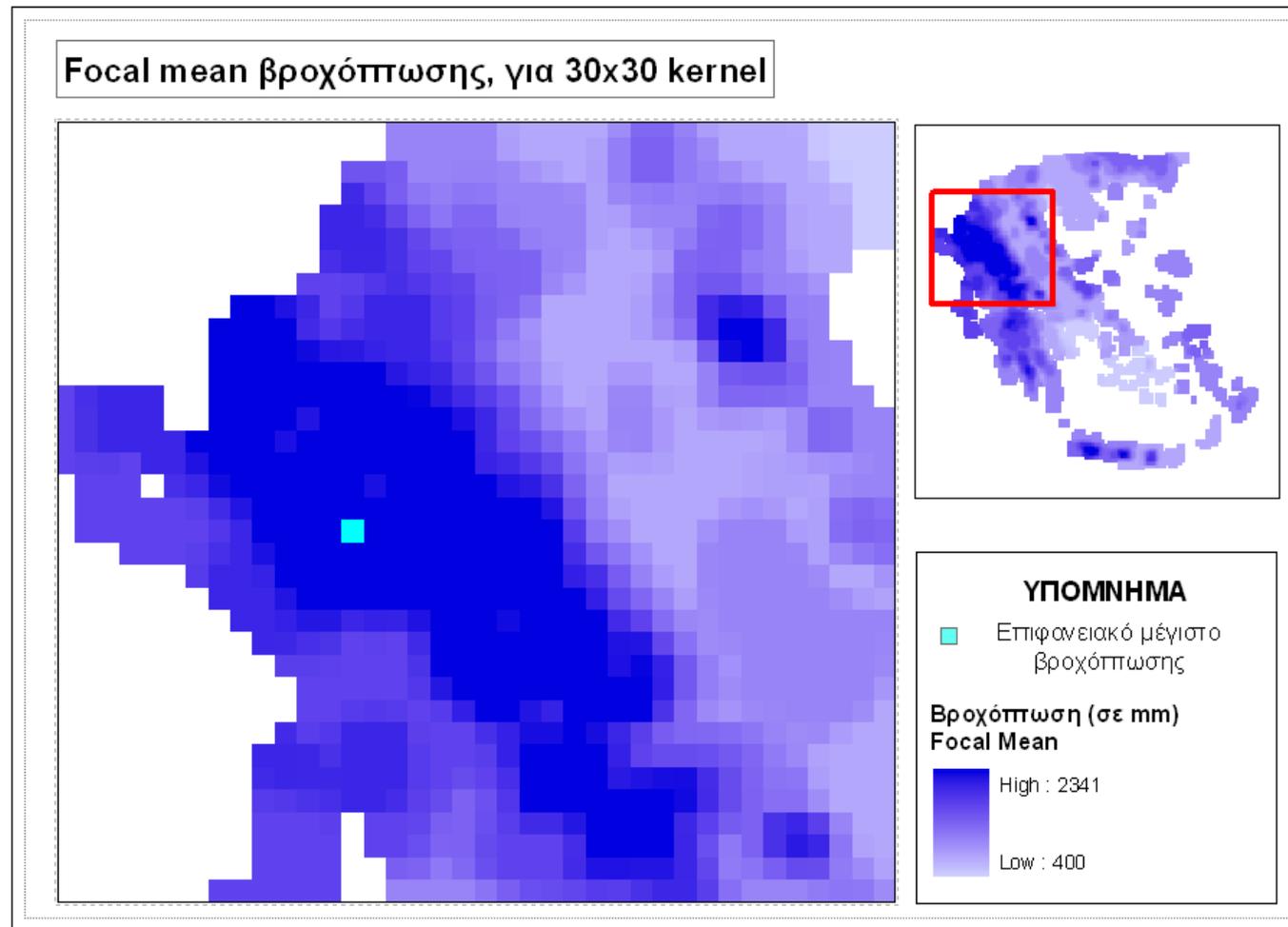
Χάρτης II.9 Χρόνοι απορροής για δεδομένα ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m.



Χάρτης Π.10 Ψηφιδωτά αριθμού καμπύλης απορροής CN ανάλυσης (α) 250x250 m και (β) 100x100 m.



Χάρτης Π.11 Επιφανειακό μέγιστο βροχόπτωσης, για 8x8 kernel, ίσο με 2545 mm, σε έκταση 4 km².



Χάρτης Π.12 Επιφανειακό μέγιστο βροχόπτωσης, για 30x30 kernel, ίσο με 2341 mm, σε έκταση 56.25 km².

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: Μοντέλα

Διάγραμμα ΙΙΙ.1. Μοντέλο Overland Flow: Δημιουργία καννάβου ταχυτήτων χερσαίας ροής.

Διάγραμμα ΙΙΙ.2. Μοντέλο Channel Flow: Δημιουργία καννάβου ταχυτήτων υδρογραφικού δικτύου.

Διάγραμμα ΙΙΙ.3. Μοντέλο Accumulation Time: Δημιουργία καννάβου συνολικών ταχυτήτων ροής.

Διάγραμμα ΙΙΙ.4. Μοντέλο δημιουργίας ιστογράμματος, με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών (Μέθοδος χρόνου – επιφανείας).

Διάγραμμα ΙΙΙ.5. Μοντέλο Slope: Εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσει των κλίσεων.

Διάγραμμα ΙΙΙ.6. Μοντέλο Land Use: Εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσει της φυτοκάλυψης.

Διάγραμμα ΙΙΙ.7. Μοντέλο Geological: Εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσει της διηθητικότητας του εδάφους.

Διάγραμμα ΙΙΙ.8. Μοντέλο River Network: Εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσει της πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου.

Διάγραμμα ΙΙΙ.9. Μοντέλο Ορθολογικής Μεθόδου: Υπολογισμός συντελεστή απορροής C.

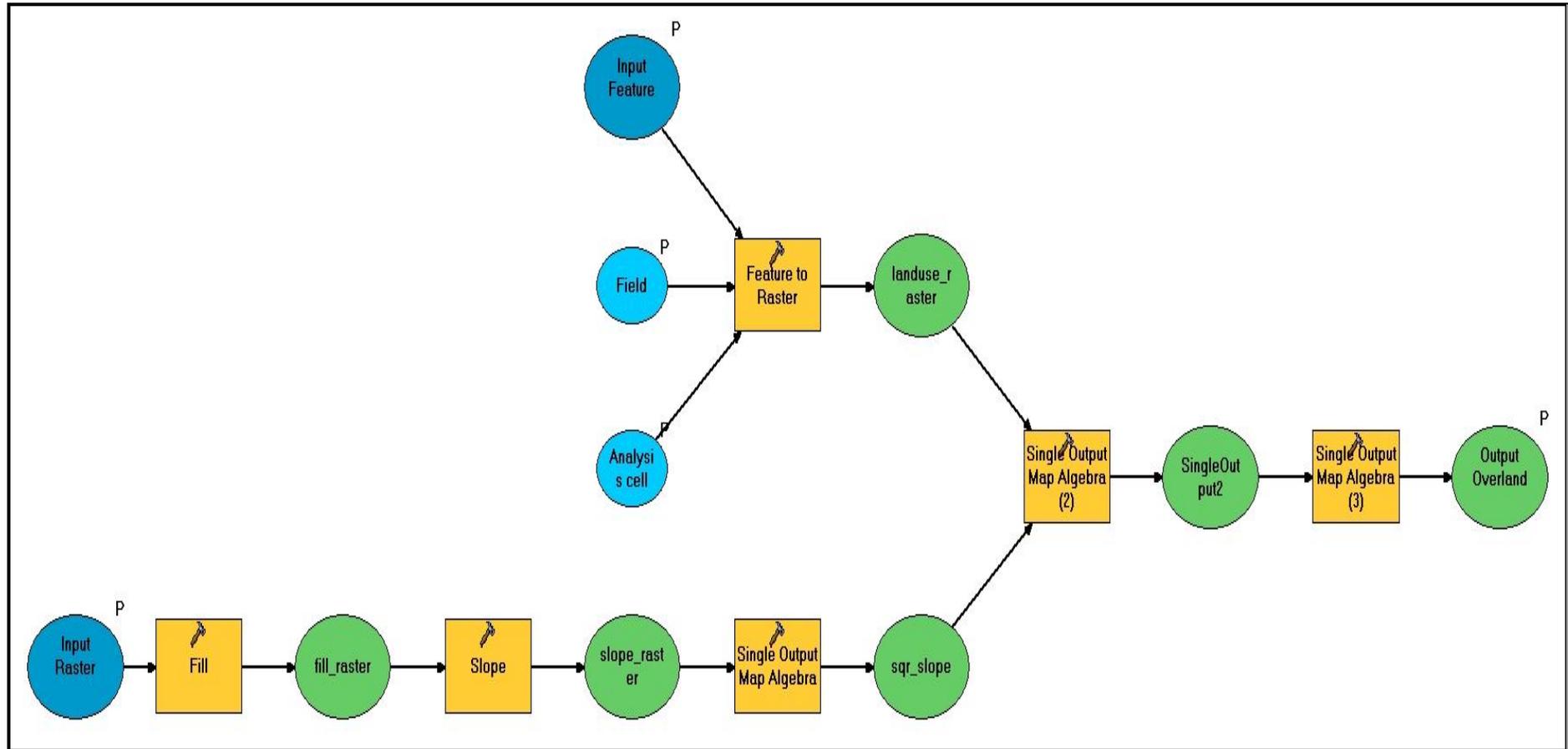
Διάγραμμα ΙΙΙ.10. Μοντέλο SCS: Εκτίμηση του αριθμού καμπύλης απορροής CN, για μέσες συνθήκες υγρασίας (τύπου II), συναρτήσει των χρήσεων γης και της διαπερατότητας του εδάφους.

Διάγραμμα ΙΙΙ.11. Λεπτομέρειες του Μοντέλου SCS.

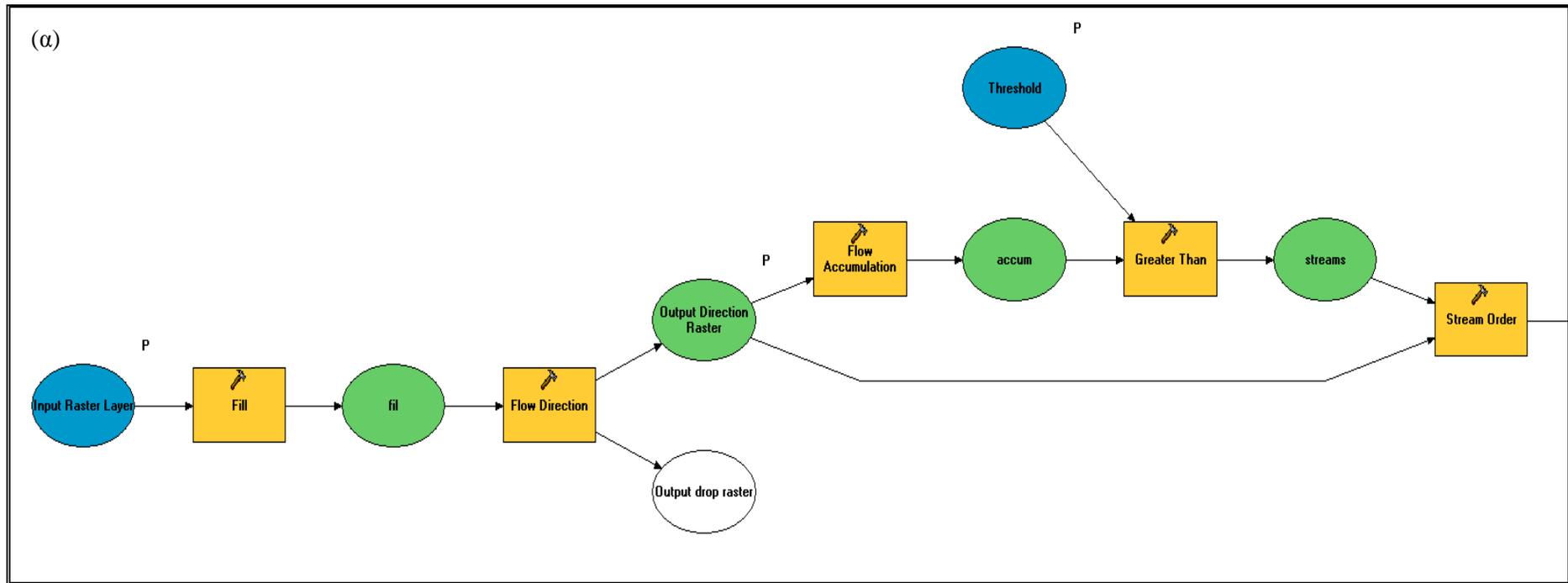
Διάγραμμα ΙΙΙ.12. Μοντέλο εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχόπτωσης, βάσει Focal συναρτήσεων.

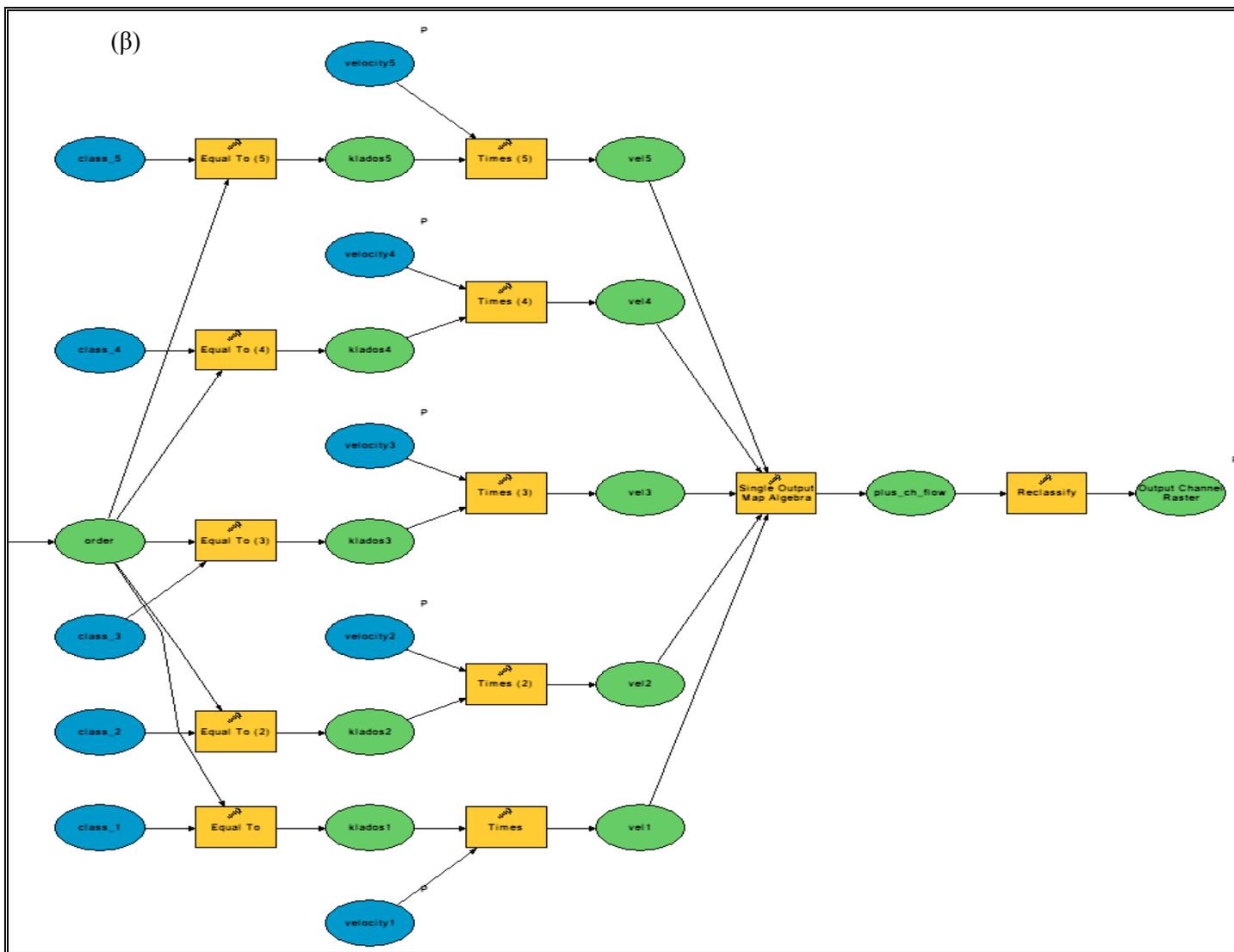
Διάγραμμα ΙΙΙ.13. Λεπτομέρεια του Μοντέλου Εντοπισμού Χωρικών Μεγίστων.

Διάγραμμα III.1 Μοντέλο Overland Flow: Δημιουργία καννάβου ταχυτήτων χερσαίας ροής.

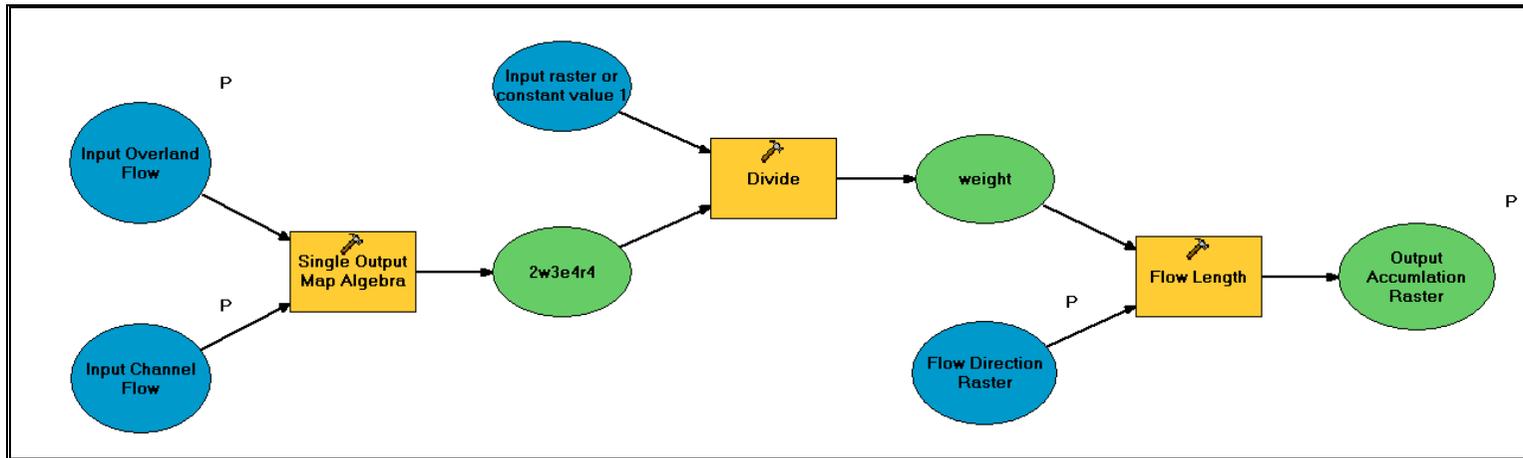


Διάγραμμα III.2 Μοντέλο Channel Flow: Δημιουργία καννάβου ταχυτήτων υδρογραφικού δικτύου.

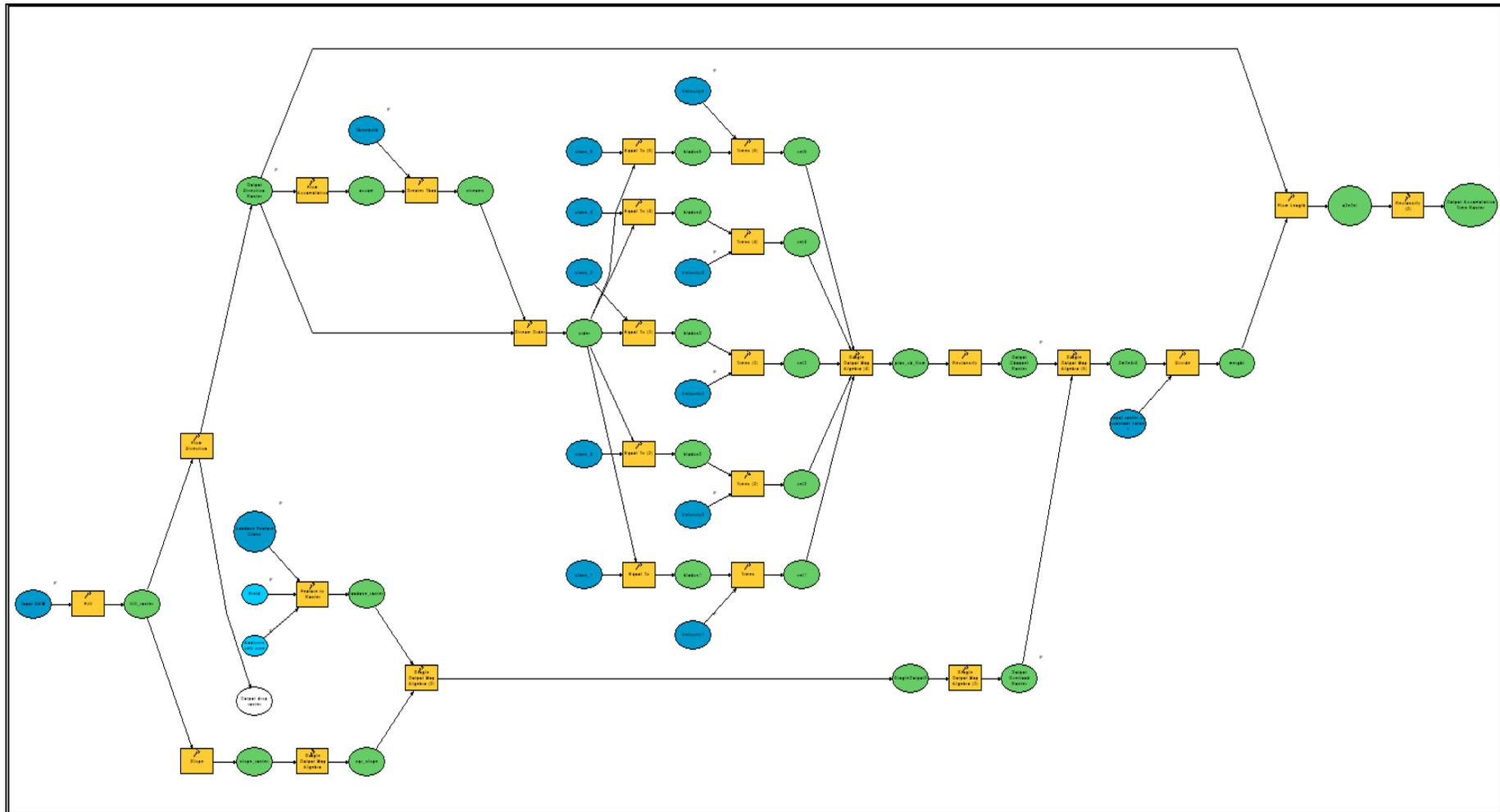




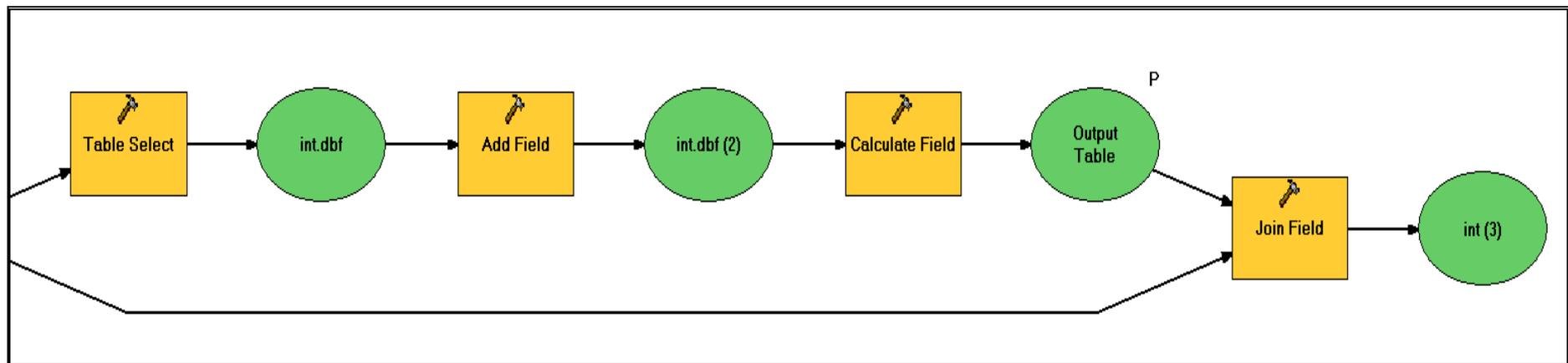
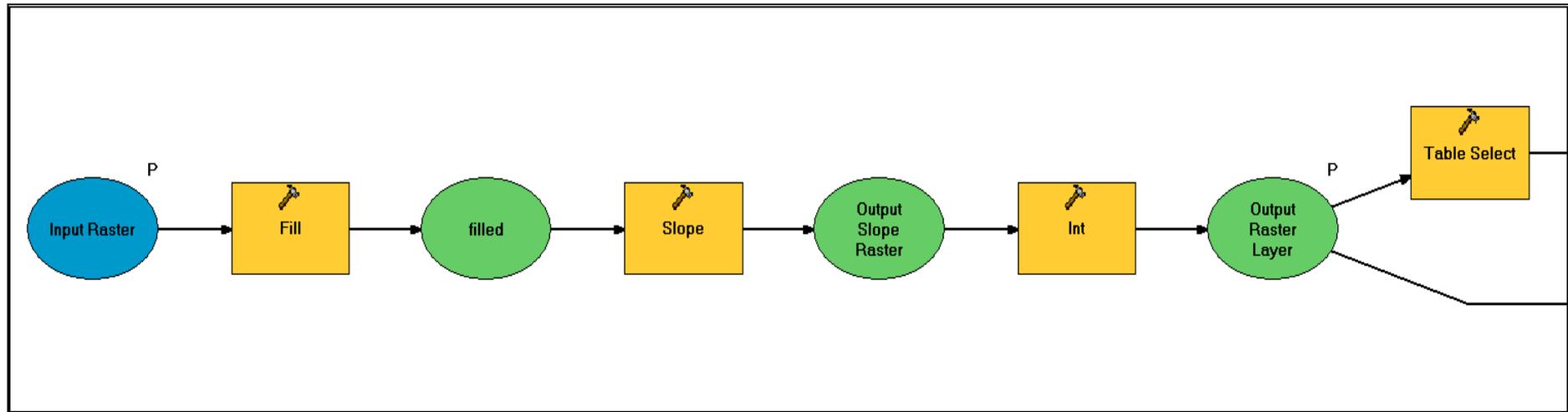
Διάγραμμα III.3 Μοντέλο Accumulation Time: Δημιουργία καννάβου συνολικών ταχυτήτων ροής.



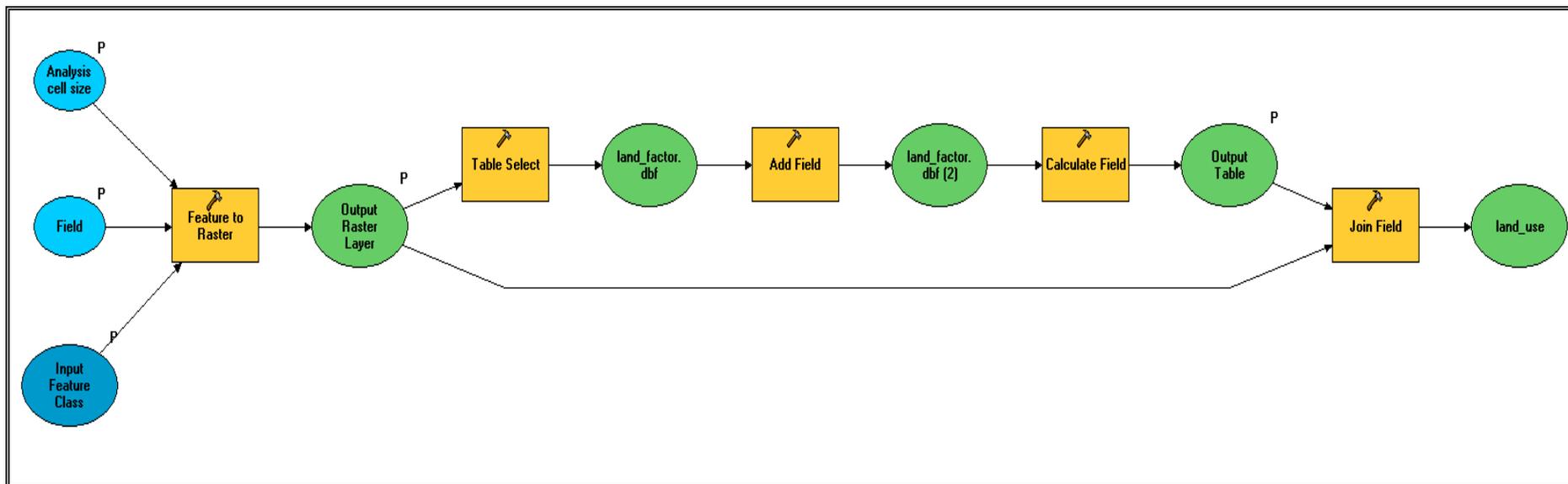
Διάγραμμα ΠΙ.4 Μοντέλο δημιουργίας ιστογράμματος, με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών (Μέθοδος χρόνου – επιφανείας).



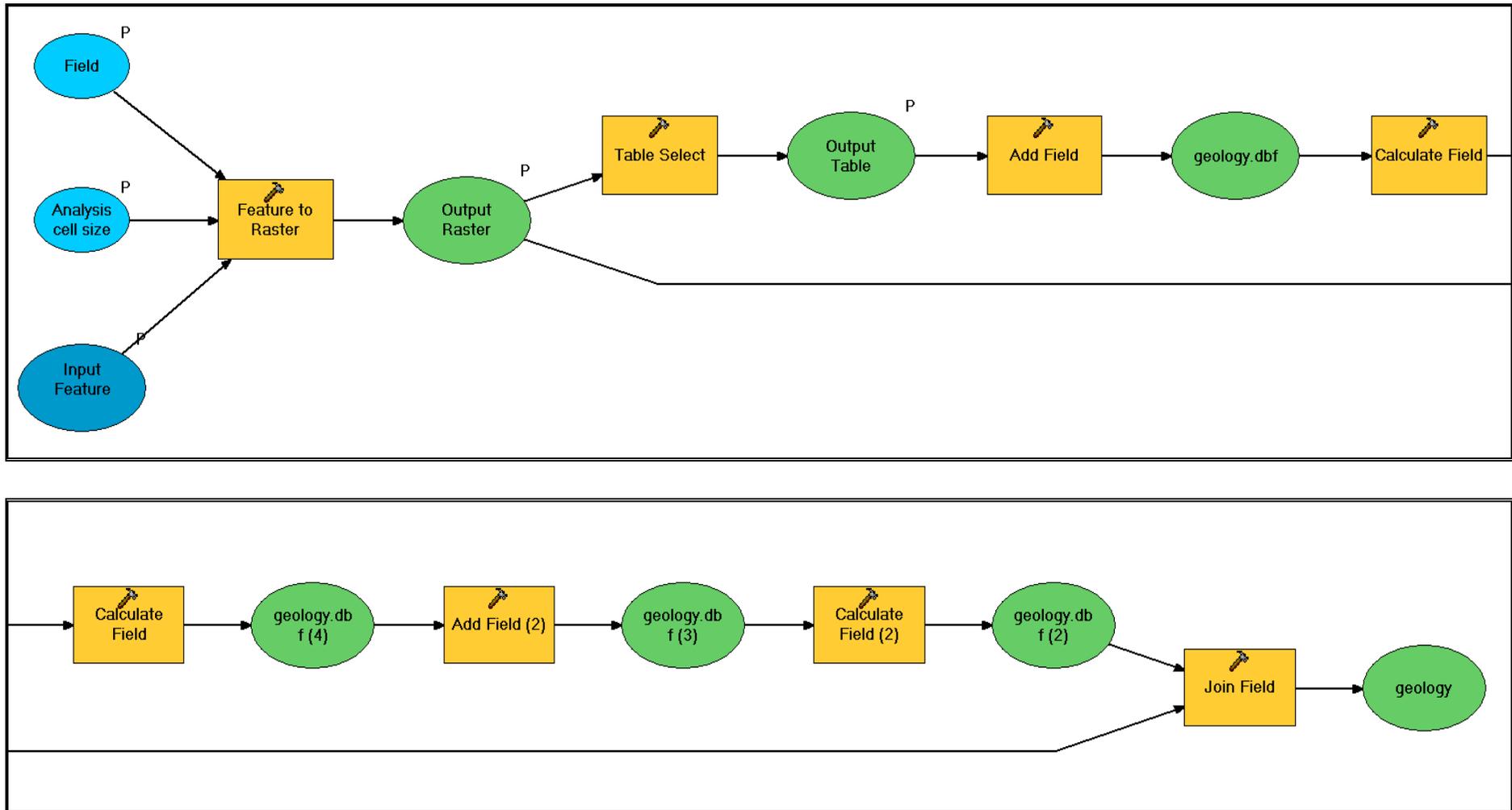
Διάγραμμα III.5 Μοντέλο Slope: Εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσει των κλίσεων.



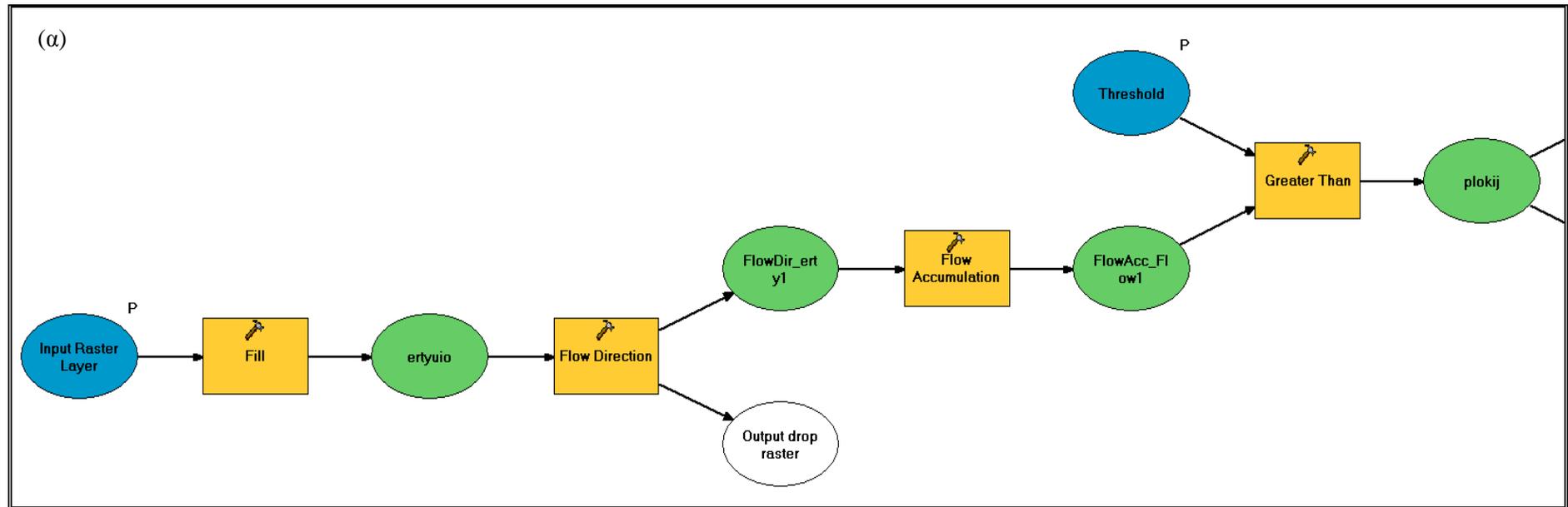
Διάγραμμα III.6 Μοντέλο Land Use: Εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσει της φυτοκάλυψης.

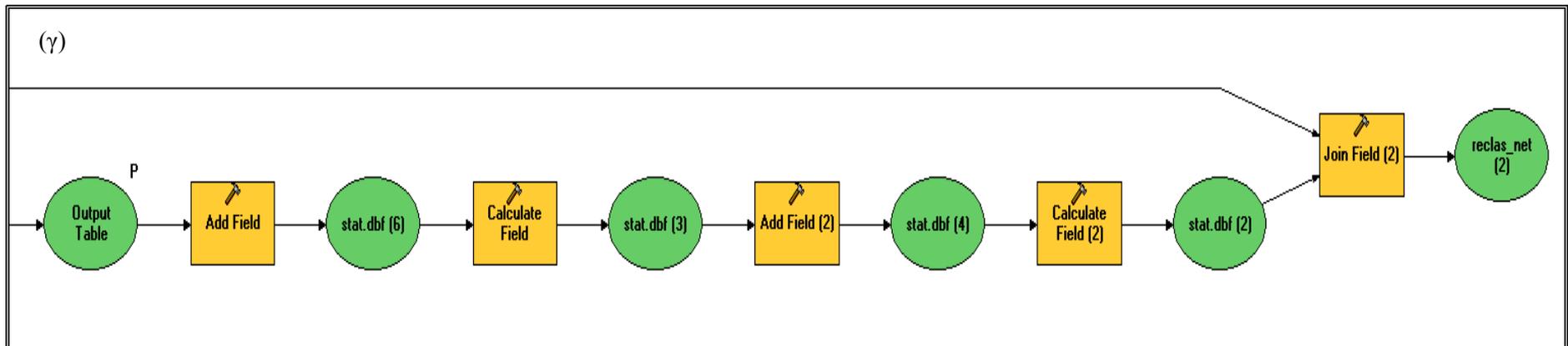
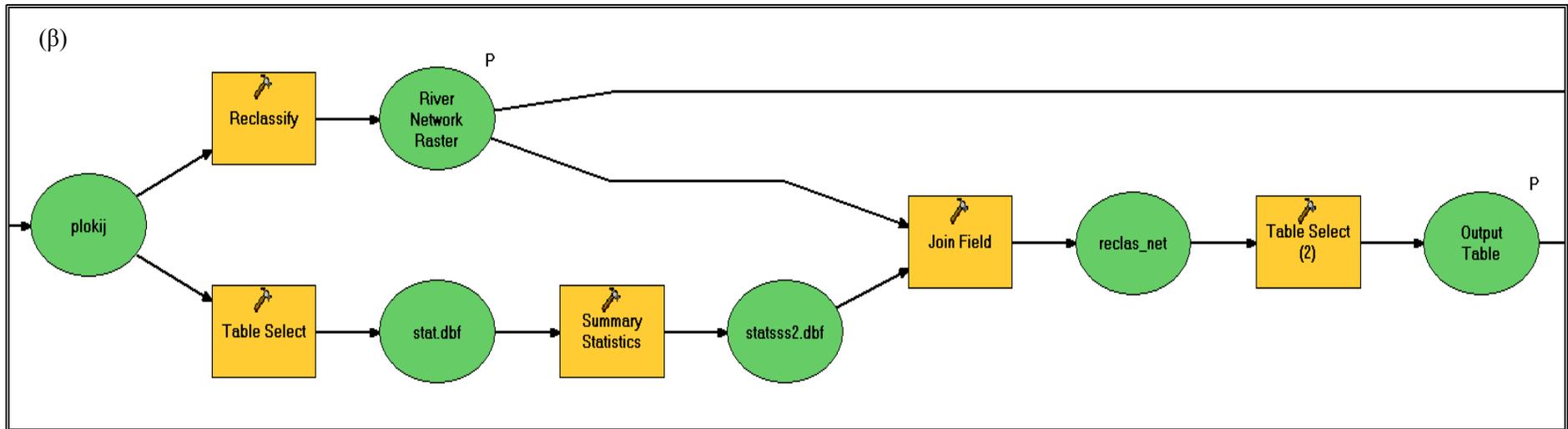


Διάγραμμα III.7 Μοντέλο Geological: Εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσει της διηθητικότητας του εδάφους.

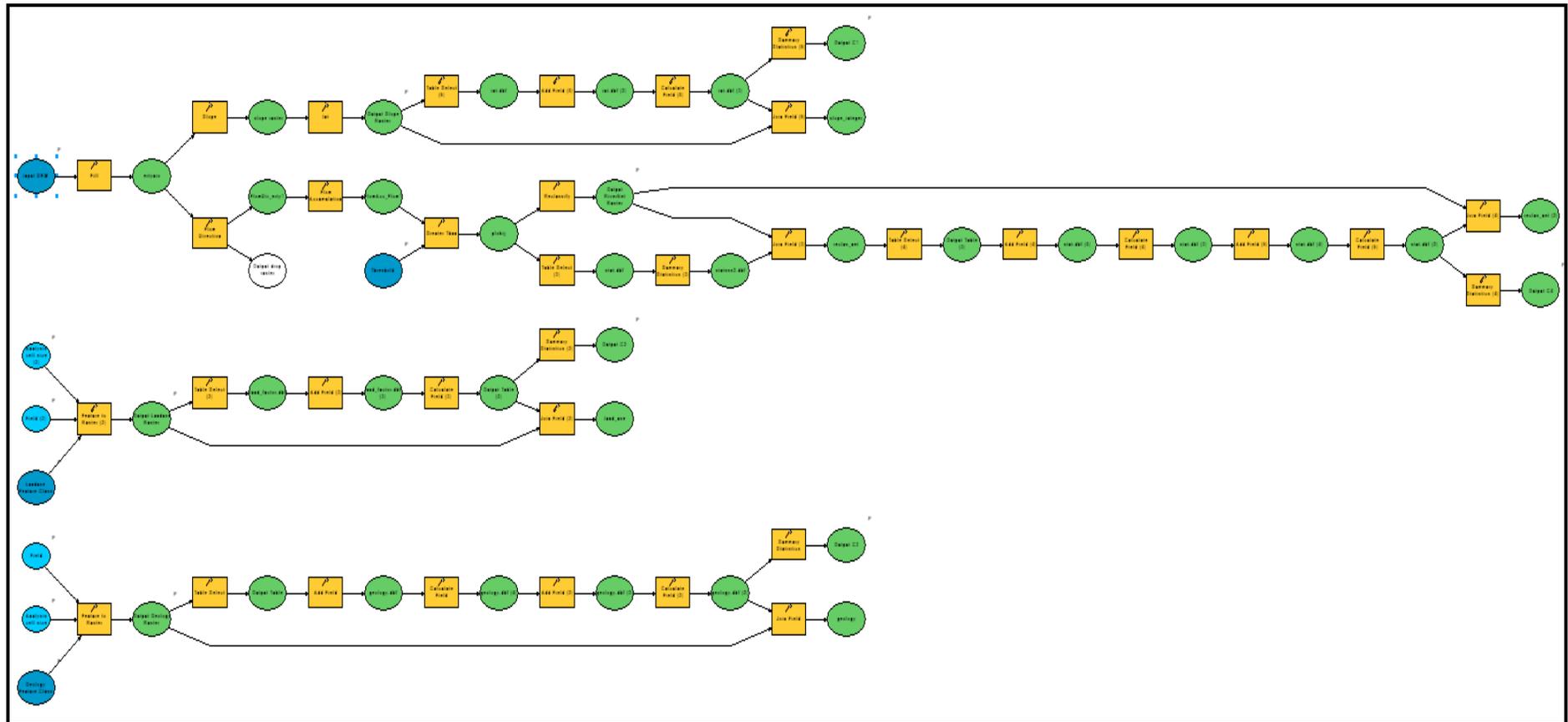


Διάγραμμα III.8 Μοντέλο River Network: Εκτίμηση του συντελεστή απορροής, συναρτήσει της πυκνότητας του υδρογραφικού δικτύου.

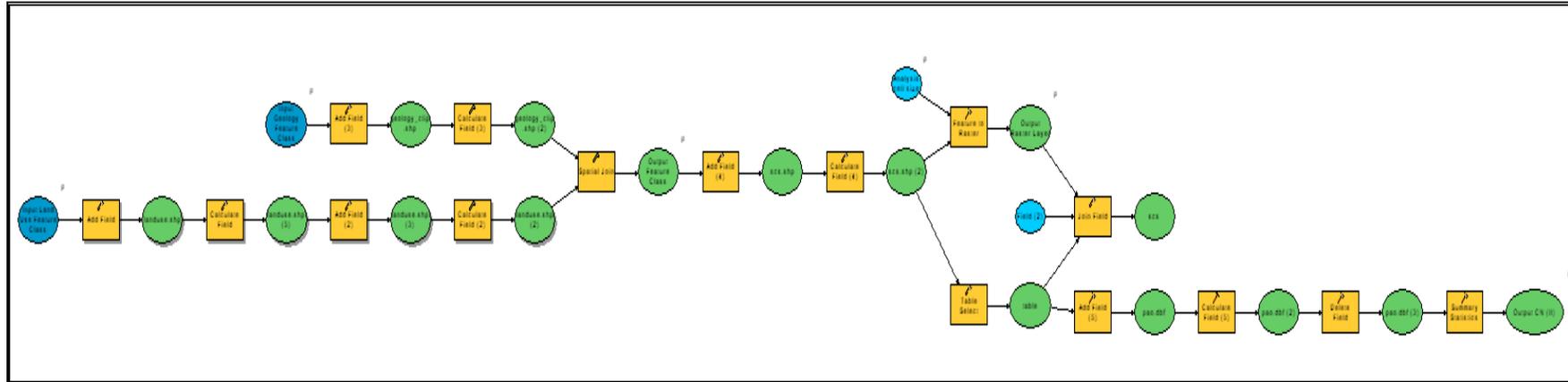




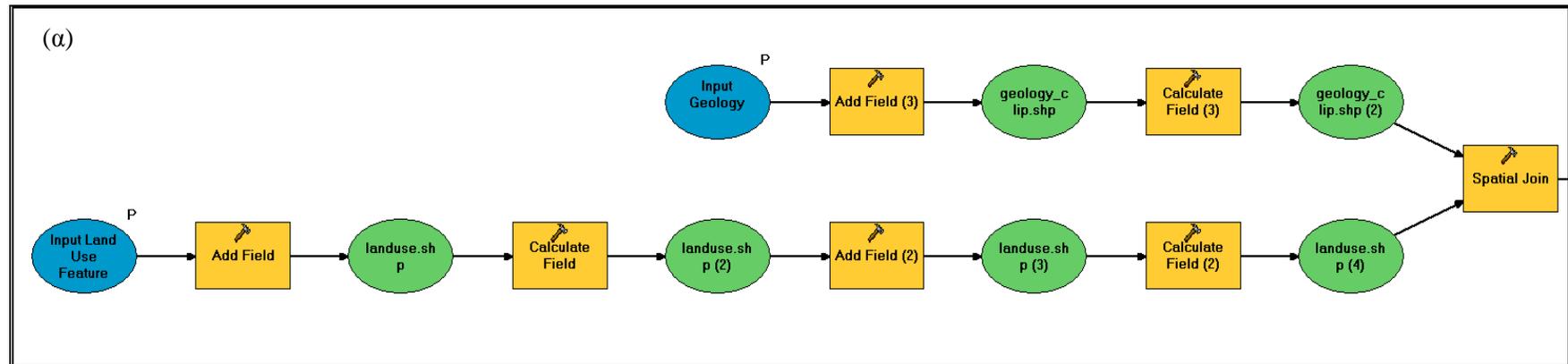
Διάγραμμα III.9 Μοντέλο Ορθολογικής Μεθόδου: Υπολογισμός συντελεστή απορροής C.

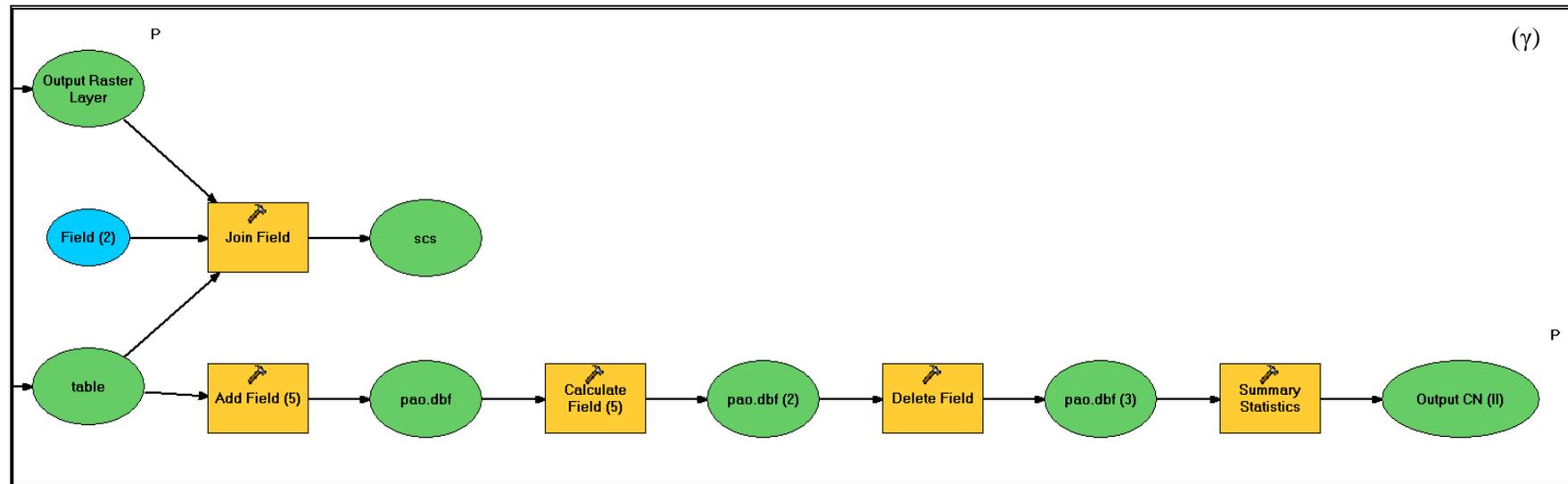
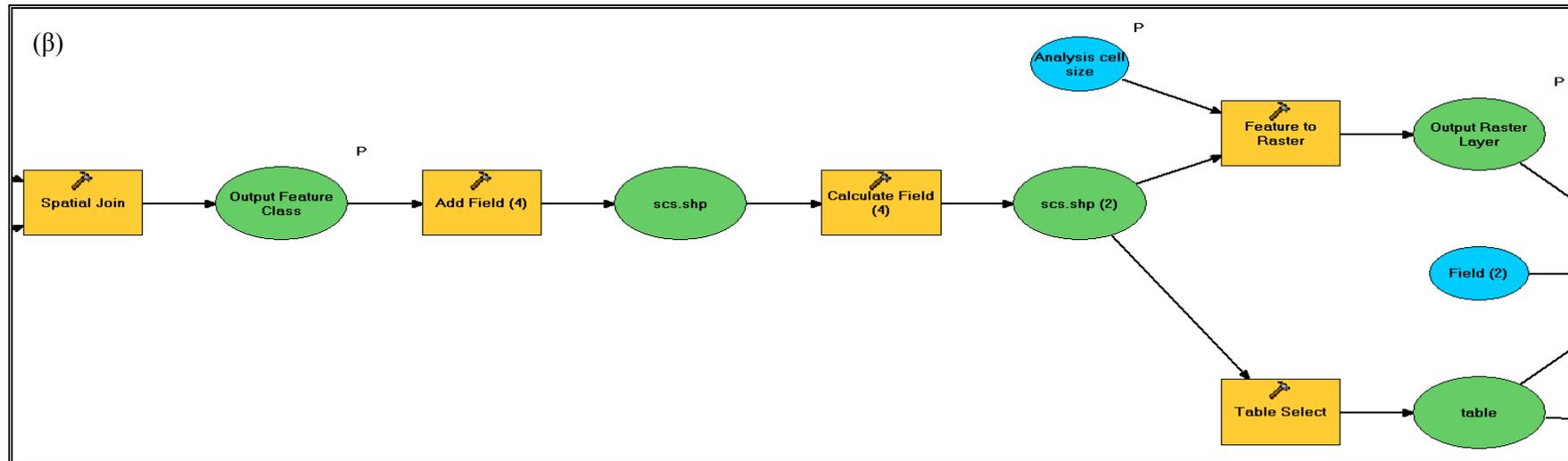


Διάγραμμα III.10 Μοντέλο SCS: Εκτίμηση του αριθμού καμπύλης απορροής CN, για μέσες συνθήκες υγρασίας (τύπου II), συναρτήσει των χρήσεων γης και της διαπερατότητας του εδάφους.

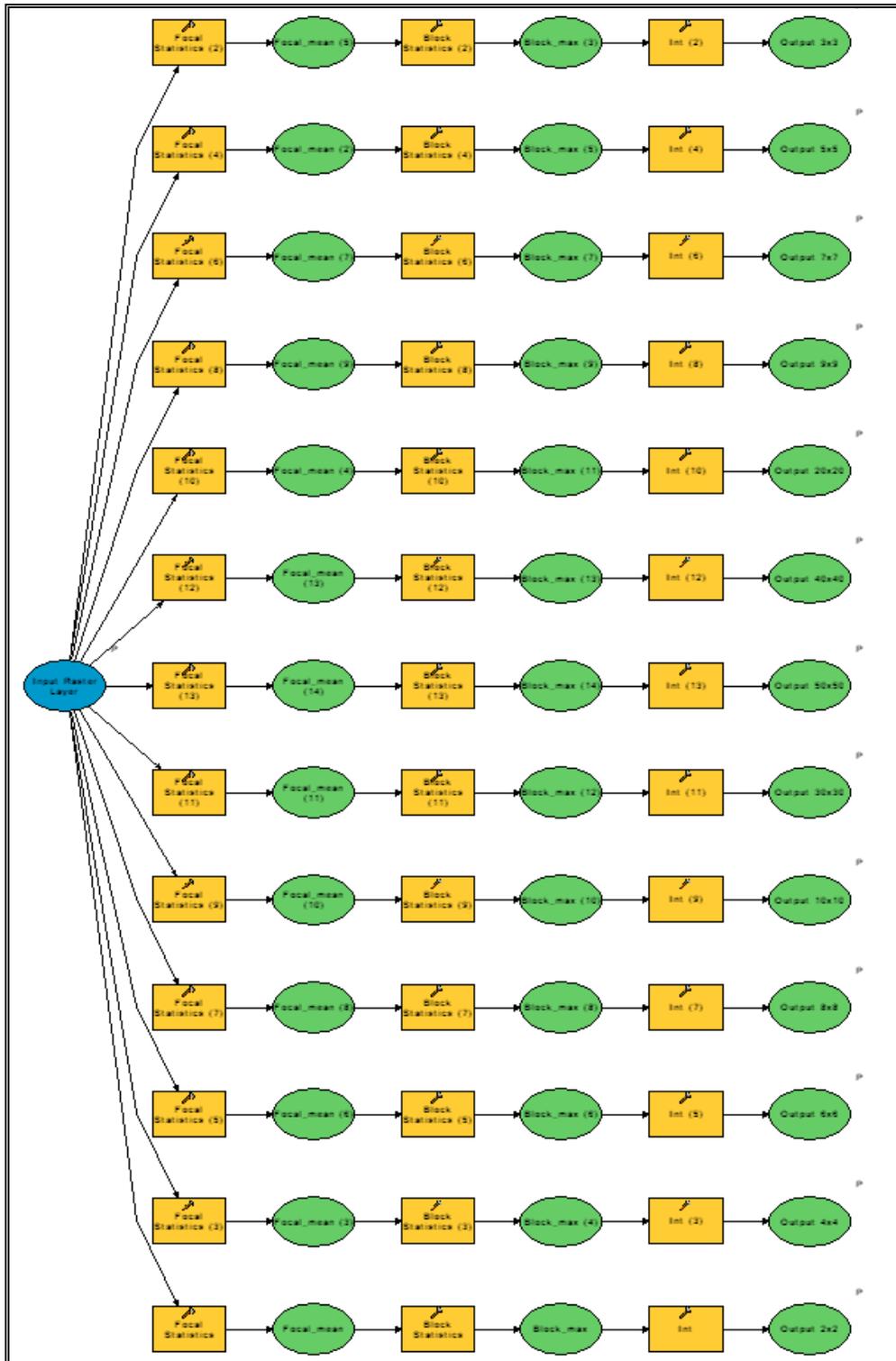


Διάγραμμα III.11 Λεπτομέρειες του Μοντέλου SCS.

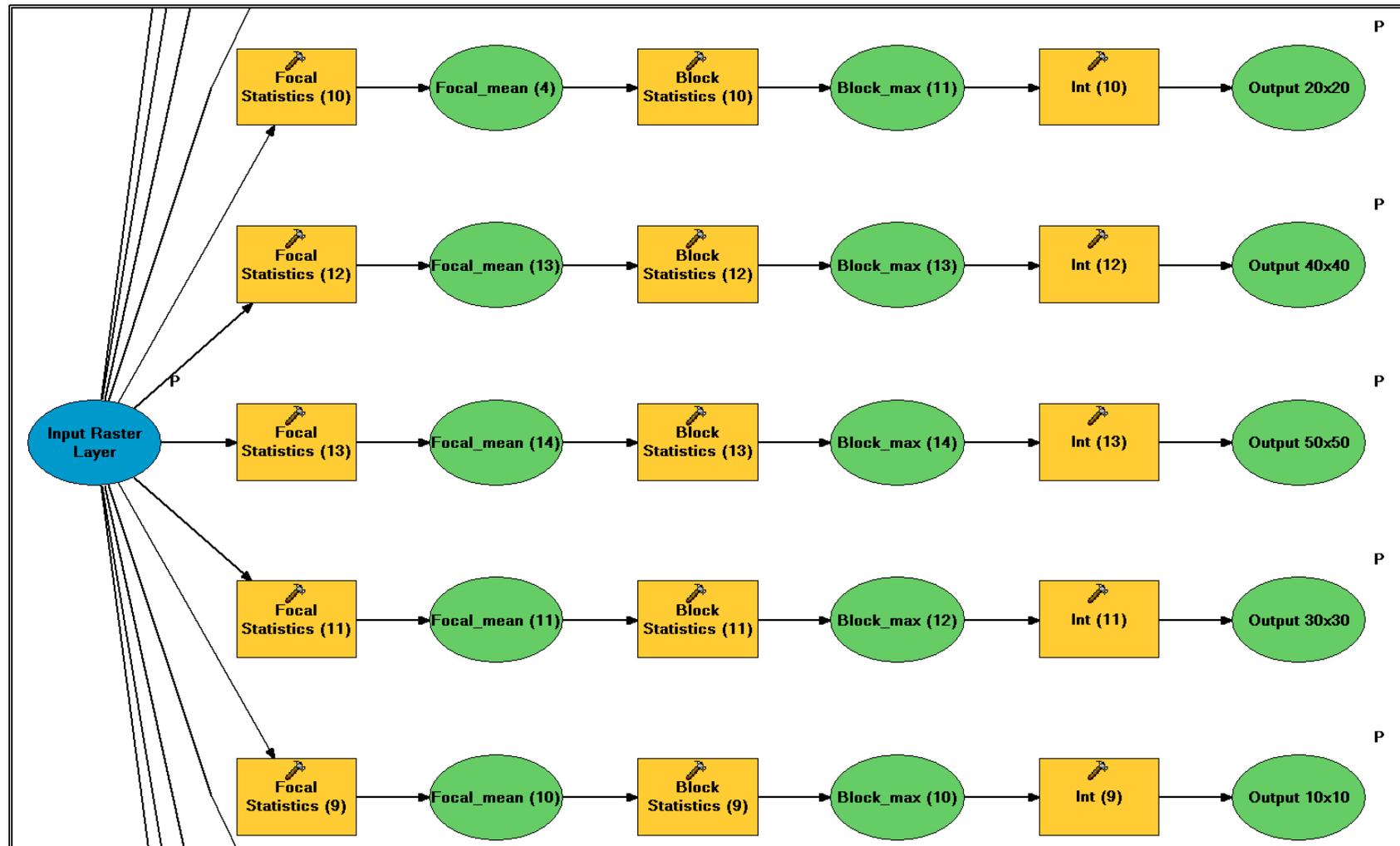




Διάγραμμα III.12 Μοντέλο εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχόπτωσης, βάσει Focal συναρτήσεων.



Διάγραμμα III.13 Λεπτομέρεια του Μοντέλου Εντοπισμού Χωρικών Μεγίστων.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ IV: Δημιουργία μοντέλων ‘βήμα προς βήμα’

Πίνακας IV.1. Μοντέλο δημιουργίας ιστογράμματος, με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών (Μέθοδος χρόνου – επιφανείας).

Πίνακας IV.2. Μοντέλο Ορθολογικής Μεθόδου: Υπολογισμός συντελεστή απορροής C.

Πίνακας IV.3. Μοντέλο SCS: Εκτίμηση του αριθμού καμπύλης απορροής CN, για μέσες συνθήκες υγρασίας (τύπου II), συναρτήσει των χρήσεων γης και της διαπερατότητας του εδάφους.

Πίνακας IV.4. Μοντέλο εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχοπτώσεων, βάσει Focal συναρτήσεων.

Πίνακας IV.1 Μοντέλο δημιουργίας ιστογράμματος, με τη μέθοδο των ισόχρονων καμπυλών (Μέθοδος χρόνου – επιφανείας).

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	ΕΡΓΑΛΕΙΟ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Πλήρωση βυθισμάτων ΨΜΕ	dem	Spatial Analyst Tools → Hydrology → Fill	filled_dem	
Δημιουργία κανάβου κλίσεων	filled_dem	Spatial Analyst Tools → Surface → Slope	slope	Υπολογισμός κλίσεων % <u>Output measurement:</u> PERCENT RISE
Υπολογισμός κανάβου $(slope/100)^{0.5}$	slope	Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Single Output MapAlgebra sqr(slope/100)	sqr_slope	
Δημιουργία κανάβου χρήσεων γης, από πολυγωνικό shapefile, βάσει του συντελεστή τραχύτητας k	landuse.shp	Conversion Tools → To Raster → Feature to Raster	landuse_raster	<u>Field:</u> k <u>Cell size:</u> αρχικό DEM
Υπολογισμός χερσαίας ροής	sqr_slope landuse_raster	Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Single Output MapAlgebra (sqr_slope*landuse_raster)	temp	ΠΡΟΣΟΧΗ: ο κανάβος landuse_raster αντιπροσωπεύει τις τιμές τραχύτητας επί 100 (κ*100)
Δημιουργία κανάβου χερσαίας ροής	temp	Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Single Output MapAlgebra (temp/100)	overland_flow	
Δημιουργία κανάβου διεύθυνσης ροής	filled_dem	Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Direction	flow_dir	
Δημιουργία κανάβου συγκεντρωτικής ροής	flow_dir	Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Accumulation	flow_accum	

Δημιουργία κανάβου υδρογραφικού δικτύου	flow_accum	Spatial Analyst Tools → Math → Logical → Greater Than	streams	<u>Input raster or constant value</u> : η τιμή threshold που επιλέγει ο χρήστης
Δημιουργία κανάβου κατάταξης κλάδων υδρογραφικού δικτύου	streams flow_dir	Spatial Analyst Tools → Hydrology → Stream Order	stream_order	<u>Method of stream ordering</u> : STRAHLER
Δημιουργία κανάβων για κάθε τάξη ξεχωριστά	stream_order	Spatial Analyst Tools → Math → Logical → Equal To	klados1, klados2, ...	equal to: (1, 2, 3, 4, 5,...) ανάλογα με την τάξη του υδρογραφικού δικτύου
Δημιουργία κανάβων ταχύτητας ροής για κάθε τάξη	klados1 klados2 klados3 ...	Spatial Analyst Tools → Math → Times	velocity1 velocity2 velocity3 ...	ΠΡΟΣΟΧΗ : Οι ταχύτητες είναι παραμετροποιημένες και εισάγονται από τον χρήστη, αναλόγως με την περίπτωση.
Πρόσθεση όλων των τάξεων	velocity1 velocity2 velocity3 ...	Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Single Output MapAlgebra (velocity1+velocity2+...)	plus_ch_flow	
Δημιουργία κανάβου ταχύτητας ροής του υδρογραφικού δικτύου	plus_ch_flow	Spatial Analyst Tools → Reclass → Reclassify αντικατάσταση της τιμής “no data” με την τιμή 0	channel_flow	
Δημιουργία κανάβου αθροιστικών ταχυτήτων ροής	overland_flow channel_flow	Spatial Analyst Tools → Map Algebra → Single Output MapAlgebra (overland_flow+channel_flow)	sum	
Δημιουργία κανάβου βαρών (ο αντίστροφος του κανάβου αθροιστικών ταχυτήτων ροής)	sum	Spatial Analyst Tools → Math → Divide (1/sum)	weight	
Δημιουργία κανάβου συγκεντρωτικών χρόνων ροής	weight flow_dir	Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Length	accum	

Δημιουργία κανάβου συγκεντρωτικών χρόνων ροής (σε sec)	accum	Spatial Analyst Tools → Reclass → Reclassify	accum_time	Επιλογή χρονικού βήματος
--	-------	--	------------	-----------------------------

Δημιουργία Ιστογράμματος: Toolbar Main Menu → Tools → Graphs → Create (άξονας x'x: πεδίο VALUE, y'y: πεδίο COUNT)

Πίνακας IV.2 Μοντέλο Ορθολογικής Μεθόδου: Υπολογισμός συντελεστή απορροής C.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	ΕΡΓΑΛΕΙΟ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Πλήρωση βυθισμάτων ΨΜΕ	dem	Spatial Analyst Tools → Hydrology → Fill	filled_dem	
Δημιουργία κανάβου κλίσεων	filled_dem	Spatial Analyst Tools → Surface → Slope	slope	Υπολογισμός κλίσεων % <u>Output measurement:</u> PERCENT RISE
Μετατροπή κανάβου κλίσεων σε integer raster αρχείο	slope	Spatial Analyst Tools → Math → Int	slope_int	Τα integer raster αρχεία συνοδεύονται από έναν περιγραφικό πίνακα, στον οποίο για κάθε κελί αντιστοιχίζεται μια τιμή (σε αυτή την περίπτωση υψομέτρου) και αυτός ο πίνακας μπορεί να επεξεργαστεί περαιτέρω.
Επιλογή περιγραφικού πίνακα	slope_int	Analysis Tools → Extract → Table Select	int.dbf	α) για την επεξεργασία του πίνακα ενός raster αρχείου μέσω Model Builder, αυτός πρέπει να απομονωθεί, και β) <u>Output Table</u> : πρέπει να καθοριστεί η κατάληξη .dbf από τον χρήστη
Προσθήκη πεδίου	int.dbf	Data Management Tools → Fields → Add Field		<u>Field Name:</u> C1 <u>Field Type:</u> FLOAT

Υπολογισμός πεδίου	int.dbf	Data Management Tools → Fields → Calculate Field		<u>Expression</u> : συντάσσεται ο κώδικας (λογική πράξη if), βάσει του οποίου για κάθε μια τιμή υψομέτρου αποδίδεται μια τιμή για τον συντελεστή απορροής C1
Ένωση νέου πεδίου στον πίνακα του slope_int	int.dbf slope_int	Data Management Field → Joins → Join Field		
Υπολογισμός μέσης τιμής του συντελεστή απορροής C1	int.dbf	Analysis Tools → Statistics → Summary Statistics	c1.dbf	<u>Field</u> : C1 <u>Statistic type</u> : MEAN
Δημιουργία κανάβου διεύθυνσης ροής	filled_dem	Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Direction	flow_dir	
Δημιουργία κανάβου συγκεντρωτικής ροής	flow_dir	Spatial Analyst Tools → Hydrology → Flow Accumulation	flow_accum	
Δημιουργία κανάβου υδρογραφικού δικτύου	flow_accum	Spatial Analyst Tools → Math → Logical → Greater Than	net	<u>Input raster or constant value</u> : η τιμή threshold που επιλέγει ο χρήστης
	net	Spatial Analyst Tools → Reclass → Reclassify	river_network	Αντικατάσταση τιμών 0 με “no data” και της τιμής 1 με την τιμή 2
Επιλογή περιγραφικού πίνακα	net	Analysis Tools → Extract → Table Select	stat.dbf	
Υπολογισμός έκτασης υδρογραφικού δικτύου (αριθμός pixels που το απαρτίζουν)	stat.dbf	Analysis Tools → Statistics → Summary Statistics		<u>Field</u> : COUNT <u>Statistic type</u> : SUM
Ένωση πίνακα stat.dbf με τον κανάβο υδρογραφικού δικτύου	stat.dbf river_network	Data Management Field → Joins → Join Field		
Επιλογή περιγραφικού πίνακα	river_network	Analysis Tools → Extract → Table Select	stat.dbf	
Προσθήκη πεδίου	stat.dbf	Data Management Tools → Fields → Add Field		<u>Field Name</u> : RATE_NET <u>Field Type</u> : SHORT

Υπολογισμός πεδίου (ποσοστό έκτασης υδρογραφικού δικτύου επί της συνολικής επιφάνειας της λεκάνης απορροής)	stat.dbf	Data Management Tools → Fields → Calculate Field		<u>Expression:</u> [COUNT] / [SUM_COUNT] * 100
Προσθήκη πεδίου	stat.dbf	Data Management Tools → Fields → Add Field		<u>Field Name:</u> C4 <u>Field Type:</u> DOUBLE
Υπολογισμός πεδίου	stat.dbf	Data Management Tools → Fields → Calculate Field		<u>Expression:</u> συντάσσεται ο κώδικας (λογική πράξη if), όπου βάσει του ποσοστού έκτασης του υδρογραφικού δικτύου αποδίδεται μια τιμή για τον συντελεστή απορροής C4
Ένωση πίνακα stat.dbf με τον κানাβο υδρογραφικού δικτύου	stat.dbf river_network	Data Management Field → Joins → Join Field		
Υπολογισμός μέσης τιμής του συντελεστή απορροής C4	stat.dbf	Analysis Tools → Statistics → Summary Statistics	c4.dbf	<u>Field:</u> C4 <u>Statistic type:</u> MEAN
Δημιουργία κανάβου χρήσεων γης, από πολυγωνικό shapefile, βάσει των κωδικών CORINE	landuse.shp	Conversion Tools → To Raster → Feature to Raster	landuse_raster	<u>Field:</u> CODE_00 <u>Cell size:</u> αρχικό DEM
Επιλογή περιγραφικού πίνακα	landuse_raster	Analysis Tools → Extract → Table Select	land.dbf	
Προσθήκη πεδίου	land.dbf	Data Management Tools → Fields → Add Field		<u>Field Name:</u> C2 <u>Field Type:</u> FLOAT
Υπολογισμός πεδίου	land.dbf	Data Management Tools → Fields → Calculate Field		<u>Expression:</u> συντάσσεται ο κώδικας (λογική πράξη if), βάσει του οποίου για κάθε χρήση γης αποδίδεται μια τιμή για τον συντελεστή απορροής C2
Ένωση πίνακα land.dbf με τον κানাβο χρήσεων γης	land.dbf landuse_raster	Data Management Field → Joins → Join Field		
Υπολογισμός μέσης τιμής του συντελεστή απορροής C2	land.dbf	Analysis Tools → Statistics → Summary Statistics	c2.dbf	<u>Field:</u> C2 <u>Statistic type:</u> MEAN

Δημιουργία κανάβου διαπερατότητας εδαφών, από πολυγωνικό shapefile, βάσει των διαφορετικών τύπων εδάφους	geology.shp	Conversion Tools → To Raster → Feature to Raster	geology	<u>Field:</u> CODE <u>Cell size:</u> αρχικό DEM
Επιλογή περιγραφικού πίνακα	geology	Analysis Tools → Extract → Table Select	geo.dbf	
Προσθήκη πεδίου	geo.dbf	Data Management Tools → Fields → Add Field		<u>Field Name:</u> TYPE <u>Field Type:</u> TEXT
Υπολογισμός πεδίου	geo.dbf	Data Management Tools → Fields → Calculate Field		<u>Expression:</u> συντάσσεται ο κώδικας (λογική πράξη if), βάσει του οποίου για κάθε τύπο εδάφους (βάσει υδρολιθολογικού υποβάθρου) αποδίδεται ένας κωδικός διαπερατότητας
Προσθήκη πεδίου	geo.dbf	Data Management Tools → Fields → Add Field		<u>Field Name:</u> C3 <u>Field Type:</u> FLOAT
Υπολογισμός πεδίου	geo.dbf	Data Management Tools → Fields → Calculate Field		<u>Expression:</u> συντάσσεται ο κώδικας (λογική πράξη if), βάσει του οποίου για κάθε τύπο εδάφους (δηλ. κωδικό διαπερατότητας) αποδίδεται μια τιμή για τον συντελεστή απορροής C3
Ένωση πίνακα land.dbf με τον κানাβο χρήσεων γης	geo.dbf geology	Data Management Field → Joins → Join Field		
Υπολογισμός μέσης τιμής του συντελεστή απορροής C3	geo.dbf	Analysis Tools → Statistics → Summary Statistics	c3.dbf	<u>Field:</u> C3 <u>Statistic type:</u> MEAN

Πίνακας IV.3 Μοντέλο SCS: Εκτίμηση του αριθμού καμπύλης απορροής CN, για μέσες συνθήκες υγρασίας (τύπου II), συναρτήσει των χρήσεων γης και της διαπερατότητας του εδάφους.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	ΕΡΓΑΛΕΙΟ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Προσθήκη πεδίου στο υδρολιθολογικό πολυγωνικό shapefile	geology.shp	Data Management Tools → Fields → Add Field		<u>Field Name:</u> TYPE <u>Field Type:</u> TEXT
Υπολογισμός πεδίου	geology.shp	Data Management Tools → Fields → Calculate Field		<u>Expression:</u> συντάσσεται ο κώδικας (λογική πράξη if), βάσει του οποίου για κάθε τύπο εδάφους αποδίδεται ένας κωδικός διαπερατότητας
Προσθήκη πεδίου στο πολυγωνικό shapefile χρήσεων γης (CORINE)	landuse.shp	Data Management Tools → Fields → Add Field		<u>Field Name:</u> TYPE <u>Field Type:</u> TEXT
Υπολογισμός πεδίου	landuse.shp	Data Management Tools → Fields → Calculate Field		<u>Expression:</u> συντάσσεται ο κώδικας (λογική πράξη if), βάσει του οποίου κάθε χρήση γης CORINE κατατάσσεται σε μια από τις τέσσερις κατηγορίες χρήσεων γης, που προβλέπει η μέθοδος SCS, βάσει του ποσοστού απορροής που αυτές 'επιτρέπουν' να πραγματοποιηθεί
Προσθήκη πεδίου	landuse.shp	Data Management Tools → Fields → Add Field		<u>Field Name:</u> CODE_TYPE <u>Field Type:</u> SHORT

Υπολογισμός πεδίου	landuse.shp	Data Management Tools → Fields → Calculate Field		<u>Expression:</u> σε κάθε μία από τις τέσσερις κατηγορίες χρήσεων γης αποδίδεται ένας κωδικός (Grasslands → 1 Forests → 2 Residential areas → 3 Roads → 4)
Χωρική ένωση (επισύναψη) των χρήσεων γης στο υδρολιθολογικό υπόβαθρο	landuse.shp geology.shp	Analysis Tools → Overlay → Spatial Join	scs.shp	<u>Target features:</u> landuse.shp <u>Join features:</u> geology.shp
Προσθήκη πεδίου	scs.shp	Data Management Tools → Fields → Add Field		<u>Field Name:</u> CN_2 <u>Field Type:</u> TEXT
Υπολογισμός πεδίου	scs.shp	Data Management Tools → Fields → Calculate Field		<u>Expression:</u> συντάσσεται ο κώδικας (λογική πράξη if), βάσει του οποίου, συναρτήσει της διαπερατότητας των εδαφών και των αντίστοιχων χρήσεων γης, αποδίδεται μία τιμή για την παράμετρο CN(II)
Επιλογή περιγραφικού πίνακα	scs.shp	Analysis Tools → Extract → Table Select	scs.dbf	
Μετατροπή πολυγωνικού shapefile scs σε raster αρχείο	scs.shp	Conversion Tools → To Raster → Feature to Raster	scs	<u>Field:</u> CN_2 <u>Cell size:</u> επιλέγεται από τον χρήστη
Ένωση πίνακα scs.dbf με το αρχείο scs	scs.shp scs	Data Management Field → Joins → Join Field		
Προσθήκη πεδίου	scs.dbf	Data Management Tools → Fields → Add Field		<u>Field Name:</u> CN <u>Field Type:</u> FLOAT

Υπολογισμός πεδίου	scs.dbf	Data Management Tools → Fields → Calculate Field		<u>Expression</u> : εισάγονται οι ίδιες τιμές που είχαν δοθεί στο πεδίο CN_1 **η διαδικασία επαναλαμβάνεται γιατί πρέπει να οριστεί ότι το εν λόγω πεδίο είναι FLOAT και όχι TEXT
Διαγραφή πεδίου	scs.dbf	Data Management Tools → Fields → Delete Field		<u>Drop field</u> : CN_1
Υπολογισμός μέσης τιμής της παραμέτρου CN(II)	scs.dbf	Analysis Tools → Statistics → Summary Statistics	cn_factor.dbf	<u>Field</u> : CN <u>Statistic type</u> : MEAN

Πίνακας IV.4 Μοντέλο εντοπισμού χωρικών μεγίστων βροχοπτώσεων, βάσει Focal συναρτήσεων.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	ΑΡΧΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	ΕΡΓΑΛΕΙΟ	ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Υπολογισμός μέσης τιμής γειτονικών κελιών (2x2) για κάθε pixel	rain	Spatial Analyst Tools → Neighborhood → Focal Statistics	focal_mean2	<u>Neighborhood</u> : Rectangle <u>Neighborhood settings</u> : Height = 2, Width = 2 <u>Statistics type</u> : MEAN
Εντοπισμός μέγιστης τιμής, εντός σταθερού μεγέθους, μη επικαλυπτόμενων παραθύρων (blocks), και απόδοση αυτής σε όλα τα pixels που απαρτίζουν το block	focal_mean2	Spatial Analyst Tools → Neighborhood → Block Statistics	block_max2	<u>Neighborhood</u> : Rectangle <u>Neighborhood settings</u> : Height = 2, Width = 2 <u>Statistics type</u> : MAXIMUM
Μετατροπή τελικού κανάβου σε integer raster αρχείο	block_max2	Spatial Analyst Tools → Math → Int	int2	Τα integer raster αρχεία συνοδεύονται από έναν περιγραφικό πίνακα, στον οποίο για κάθε κελί αντιστοιχίζεται μια τιμή (σε αυτή την περίπτωση ύψος βροχόπτωσης) και αυτός ο πίνακας μπορεί να επεξεργαστεί περαιτέρω.
Υπολογισμός μέσης τιμής γειτονικών κελιών (3x3) για κάθε pixel	rain	Spatial Analyst Tools → Neighborhood → Focal Statistics	focal_mean3	<u>Neighborhood</u> : Rectangle <u>Neighborhood settings</u> : Height = 3, Width = 3 <u>Statistics type</u> : MEAN

Εντοπισμός μέγιστης τιμής, εντός σταθερού μεγέθους, μη επικαλυπτόμενων παραθύρων (blocks), και απόδοση αυτής σε όλα τα pixels που απαρτίζουν το block	focal_mean3	Spatial Analyst Tools → Neighborhood → Block Statistics	block_max3	<u>Neighborhood</u> : Rectangle <u>Neighborhood settings</u> : Height = 3, Width = 3 <u>Statistics type</u> : MAXIMUM
Μετατροπή τελικού κανάβου σε integer raster αρχείο	block_max3	Spatial Analyst Tools → Math → Int	Int3	
...	Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για kernel 4x4, 5x5, 6x6, 7x7, 8x8, 9x9, 10x10, 20x20, 30x30, 40x40, 50x50
...	