



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Διεπιστημονικό – Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
«Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων»

Διερεύνηση μεταβλητότητας χρονικής απόκρισης λεκανών απορροής

Εκπόνηση: Σ. Αντωνιάδη, Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός

Επιβλέπων: Α. Ευστρατιάδης, ΕΔΙΠ Ε.Μ.Π

Υπεύθυνος Καθηγητής: Ν. Μαμάσης, Επίκουρος Καθηγητής Ε.Μ.Π

Αθήνα, Ιούλιος 2016

Αντικείμενο της εργασίας

Υδρολογικός σχεδιασμός ————— Παροχή σχεδιασμού

↓

Χρόνος συγκέντρωσης

- Αβεβαιότητα λόγω περιοριστικού πλαισίου μεθόδων προσδιορισμού
 - Μεταβλητότητα λόγω εξάρτησης από ένταση βροχόπτωσης

↓

*Ανάπτυξη μεθοδολογία προσδιορισμού της **χρονικής απόκρισης** της λεκάνης απορροής, ως συνάρτηση του **ύψους απορροής** της βροχόπτωσης*

Βιβλιογραφική επισκόπηση (1)

Ο **χρόνος συγκέντρωσης** t_c ορίζεται ως...

«ο χρόνος που απαιτείται για να φτάσει το νερό, που ρέει επιφανειακά, από το υδραυλικά πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης μέχρι την διατομή εξόδου» (Dingman, 1994, σελ. 397)

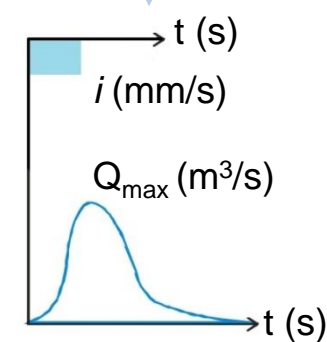
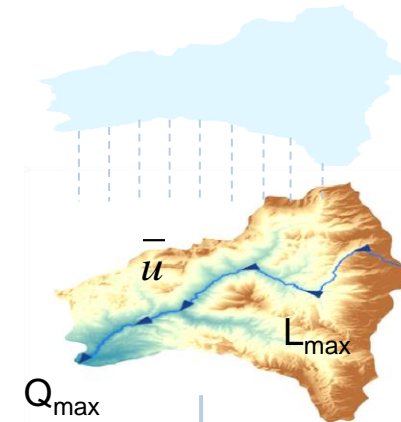
$$t_c = L_{\max} / \bar{u}$$

όπου L_{\max} : μέγιστη διαδρομή ροής

\bar{u} : μέση ταχύτητα ροής

Εξαρτάται από:

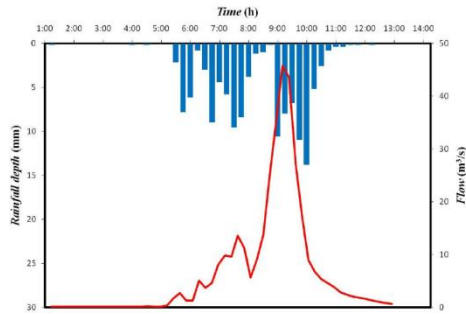
- υδρολογικά μεγέθη (π.χ. ένταση βροχής)
- σχήμα και έκταση λεκάνης
- μήκος και πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου
- κλίση και τραχύτητα εδάφους
- γεωμετρία και υδραυλικά χαρακτηριστικά κοίτης



Βιβλιογραφική επισκόπηση (2)

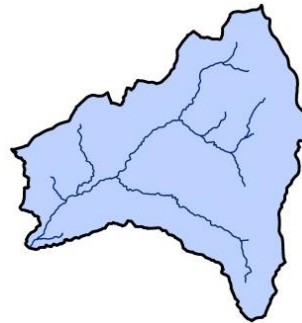
Μέθοδοι εκτίμησης του t_c

Γραφικές



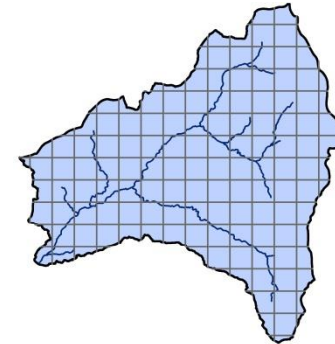
Ερμηνεία δεδομένων
βροχής - απορροής

Εμπειρικές



Συγκεντρωτικό μοντέλο
(π.χ. Σχέση Giandotti, 1934)

Κατανεμημένες ή
Ημι-κατανεμημένες



Υλοποίηση σε περιβάλλον GIS
(π.χ. Velocity Method της Natural
Resources Conservation Service –
NRCS, 1986)

Βιβλιογραφική επισκόπηση (3)

Εμπειρικές μέθοδοι εκτίμησης

Σχέση Giandotti (1934):

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{\Delta H}}$$

Σχέση Kirpich (1940):

$$t_c = 0,0667 \cdot L^{0,77} / S^{0,385}$$

όπου t_c : χρόνος συγκέντρωσης (h)

A : επιφάνεια λεκάνης (km^2)

S : μέση κλίση λεκάνης (m/m)

L : μήκος κύριας μισγάγγειας (m)

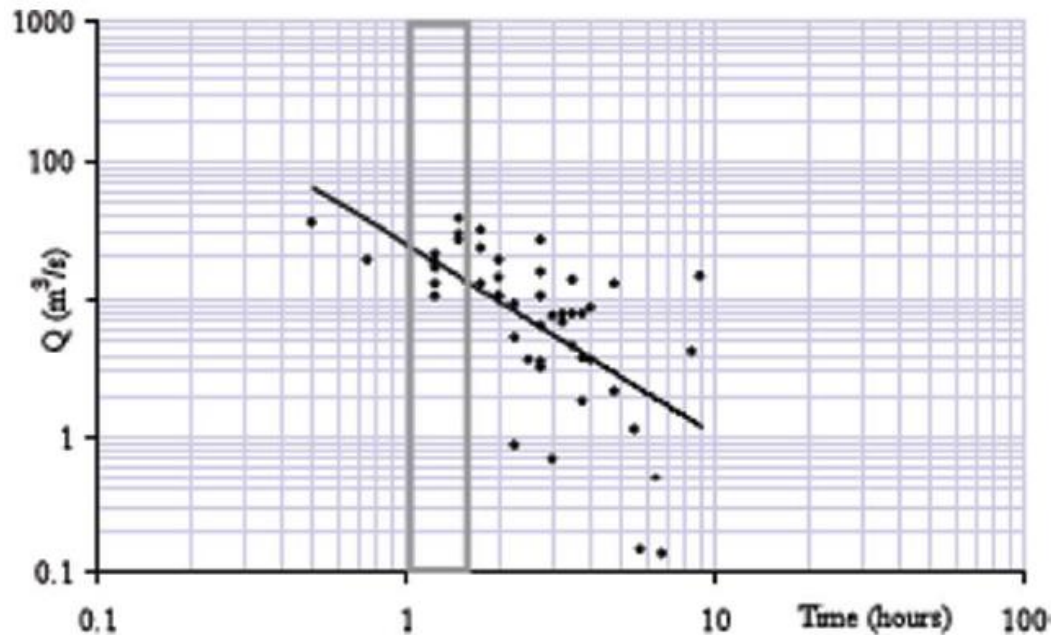
ΔH : διαφορά μέσου υψομέτρου από υψόμετρο εξόδου (m)

Μειονεκτήματα:

- Εγγενείς περιορισμοί (κλιματικές, γεωμορφολογικές συνθήκες)
- Ελλιπής γνώση ακρίβειας
- Ζήτημα της «υδρολογικής ομοιότητας»

Βιβλιογραφική επισκόπηση (4)

Αβεβαιότητες στην εκτίμηση λόγω επίδρασης της έντασης βροχής



Παράδειγμα μεταβολής του χρόνου συγκέντρωσης συναρτήσει της πλημμυρικής παροχής, στη λεκάνη απορροής Cow Bayou (Πηγή: Grimaldi et al., 2012)

Βιβλιογραφική επισκόπηση (5)

Μέθοδος της NRCS (1986) (Technical Release, TR-55)

Υπολογίζει χρόνους ταξιδιού υπό την θεώρηση τριών τύπων ροής:

1. Κατανεμημένη επίγεια ροή ή ροή σε φιλμ (sheet flow)
2. Συγκεντρωμένη επίγεια ροή (shallow concentrated flow)
3. Ροή στο κυρίως υδατόρευμα για παροχή περιόδου επαναφοράς 2 έτη (channel flow)

$$t_c = \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{V_i} = t_{sheet} + t_{shallow} + t_{channel}$$

Μειονεκτήματα:

- Μη εφαρμόσιμη σε λεκάνες με μεγάλη κατακράτηση και έντονη ετερογένεια
- Τάση υποεκτίμησης του χρόνου
- Επιβαρύνεται από πάσης φύσεως αβεβαιότητες (π.χ. γεωμετρικές)

Μεθοδολογική προσέγγιση (1)

- Προσδιορίζει μια χρονική παράμετρο (t_r) της λεκάνης απορροής συναρτήσει του ύψους απορροής (P_r)
- Ακολουθεί το πρότυπο σχεδιασμού αστικών δικτύων όμβριων υδάτων που βασίζεται στην ορθολογική μέθοδο
- Υλοποιείται από απλές σχέσεις υδραυλικής και εμπειρικές προσεγγίσεις σε ημι-κατανεμημένη χωρική κλίμακα

Η χρονική παράμετρος t_r υπολογίζεται ως το **άθροισμα των χρόνων ροής** τμημάτων της **μέγιστης διαδρομής ροής** υπό την θεώρηση δύο τύπων ροής:

$$t_r = t_1 + t_2 + \dots + t_N = \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{V_i}$$

Μεθοδολογική προσέγγιση (2)

Θεώρηση δύο καθεστώτων ροής

1. Επίγεια ροή (NRCS, 1986): $V_{overland} = k \cdot \sqrt{J}$

όπου $V_{overland}$: ταχύτητα επίγεια ροής

k : συντελεστής παρεμπόδισης επίγεια ροής

J : μέση κλίση κοίτης

- Ρηχή κατανεμημένη ροή ($y = 3 - 15 \text{ cm}$)
- Εξ. Manning με $R \approx y$ (ευρεία ορθογωνική διατομή)

2. Ροή στο υδατόρευμα: $V_{channel} = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$

όπου $V_{channel}$: ταχύτητα ροής

n : συντελεστής Manning

R : υδραυλική ακτίνα

J : μέση κλίση κοίτης

- Καθορισμένη γεωμετρία, μονοδιάστατη ροή
- Εξ. Manning (ορθογωνική διατομή)

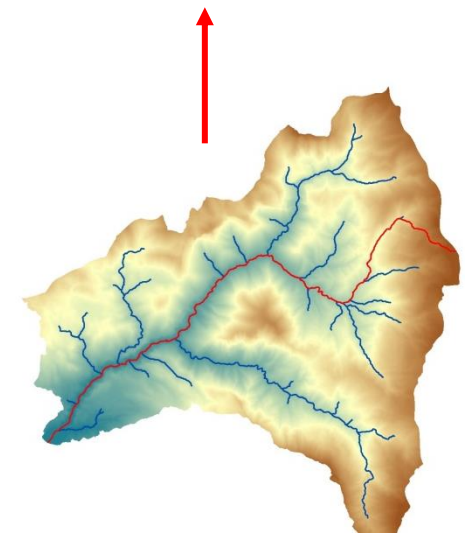
Το πιο απομακρυσμένο υδραυλικό σημείο της λεκάνης (όριο υδροκρίτη)

Επίγεια ροή του νερού στο έδαφος με ταχύτητα $V_{overland}$

Ροή του νερού στο ποτάμι με ταχύτητα $V_{channel}$

Σημείο εισόδου του νερού στο υδρογραφικό δίκτυο

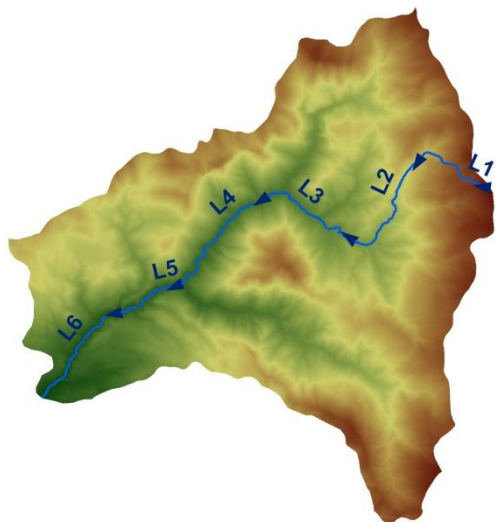
Σημείο εξόδου της λεκάνης



Μεθοδολογική προσέγγιση (3)

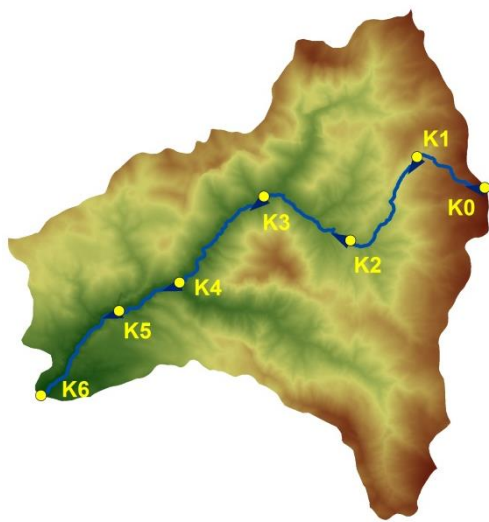
Τοπολογικές σχέσεις σε περιβάλλον GIS

Γραμμικές οντότητες



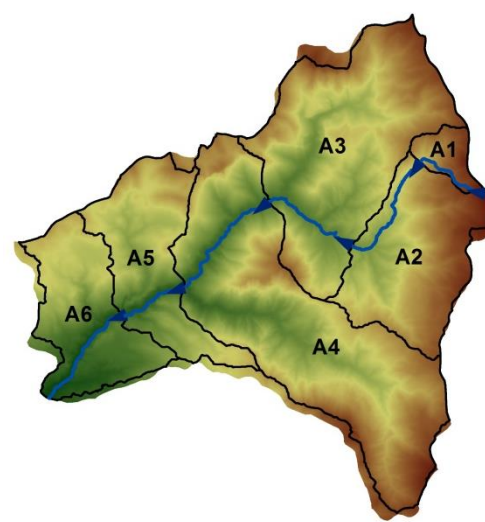
Τμήματα μέγιστης
διαδρομής ροής
 L_i για $i=1,2,\dots,N$

Σημειακές οντότητες



Κόμβοι
 K_i για $i=0,1,2,\dots,N$

Επιφανειακές οντότητες

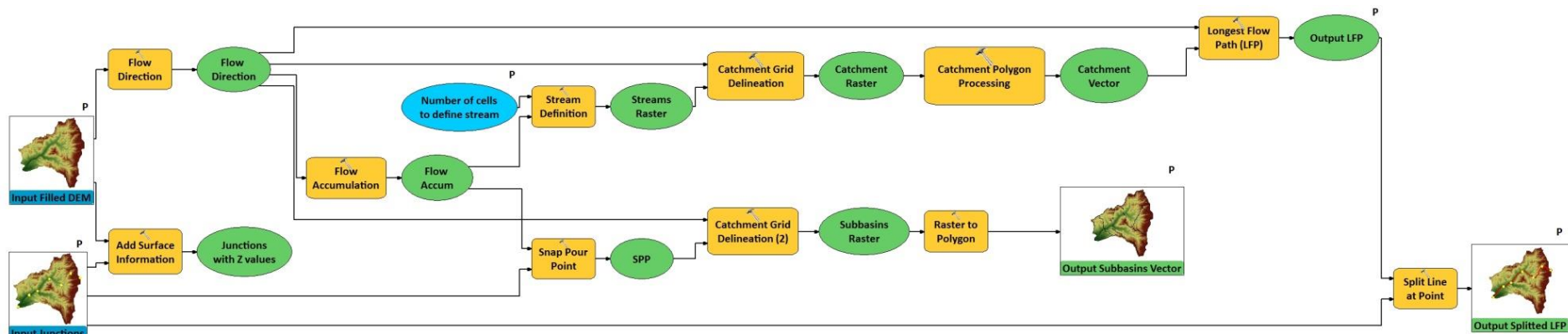


Υπολεκάνες
 A_i για $i=1,2,\dots,N$

Μεθοδολογική προσέγγιση (4)

Αυτοματοποιήσεις στο Model Builder του ArcGIS

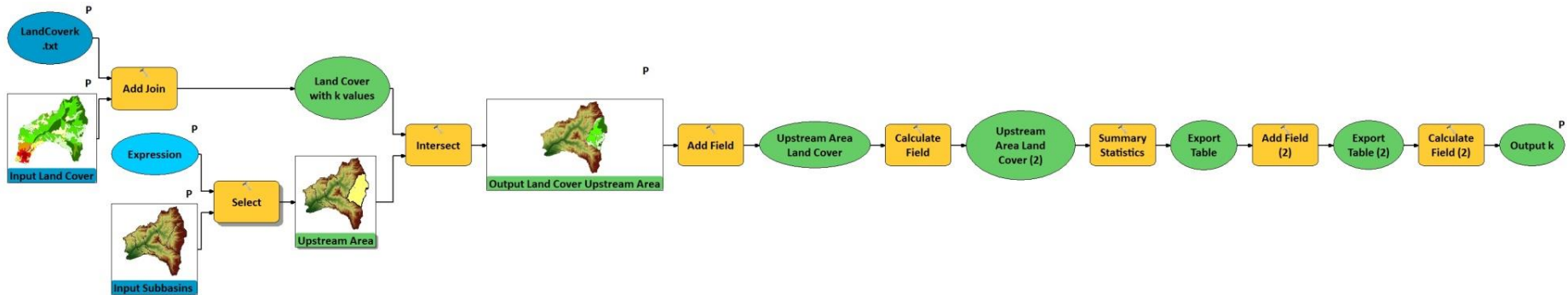
Δημιουργία εργαλείου χωρικής ανάλυσης:
Splitted Longest Flow Path & Subbasins



Μεθοδολογική προσέγγιση (5)

Αυτοματοποιήσεις στο Model Builder του ArcGIS

Δημιουργία εργαλείου χωρικής ανάλυσης: kCoefficient



Υπολογισμός του συντελεστή παρεμπόδισης k για την υπολεκάνη επίγειας ροής:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

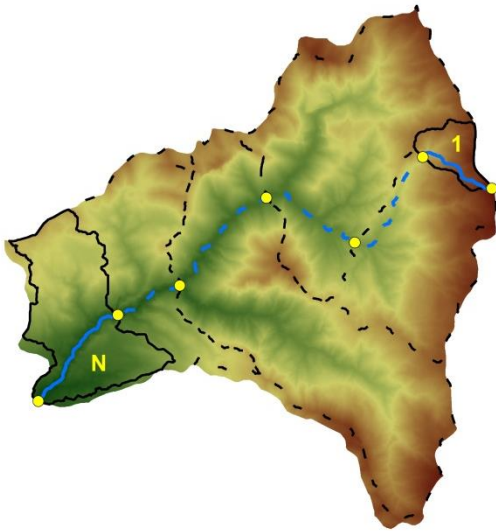
όπου n : πλήθος πολυγώνων διαφορετικών χρήσεων γης

A_i (m^2): εμβαδό πολυγώνου i

k_i (m/s): τιμή του συντελεστή k για το πολύγωνο i

Μεθοδολογική προσέγγιση (6)

Δεδομένα εξόδου από το περιβάλλον του GIS

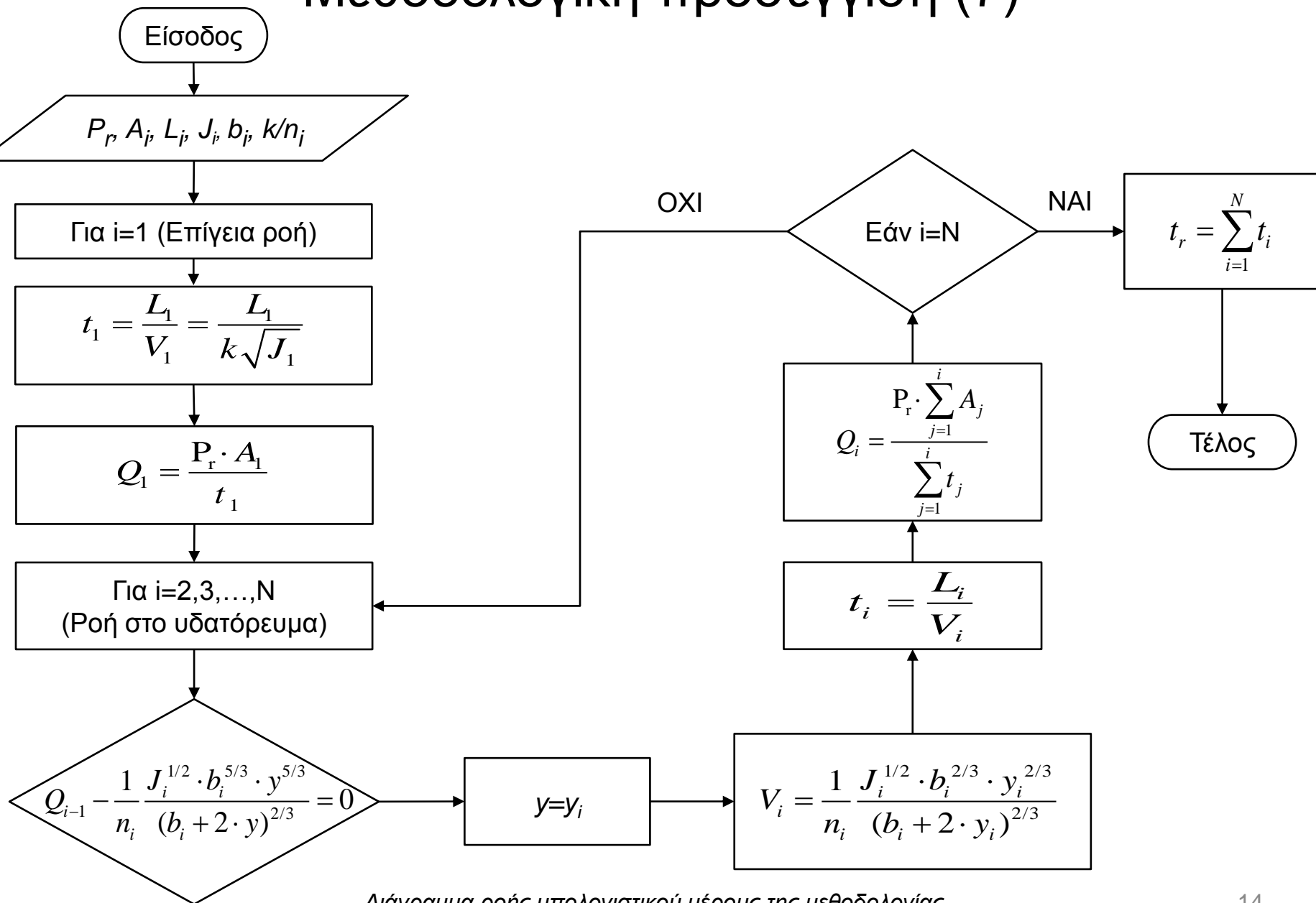


Segment - i	Area	Length	Slope	k / n	Cross section width
1	A_1	L_1	J_1	k	-
2	A_2	L_2	J_2	n_2	b_2
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
·	·	·	·	·	·
N	A_N	L_N	J_N	n_N	b_N



Προστιθέμενα πεδία

Μεθοδολογική προσέγγιση (7)

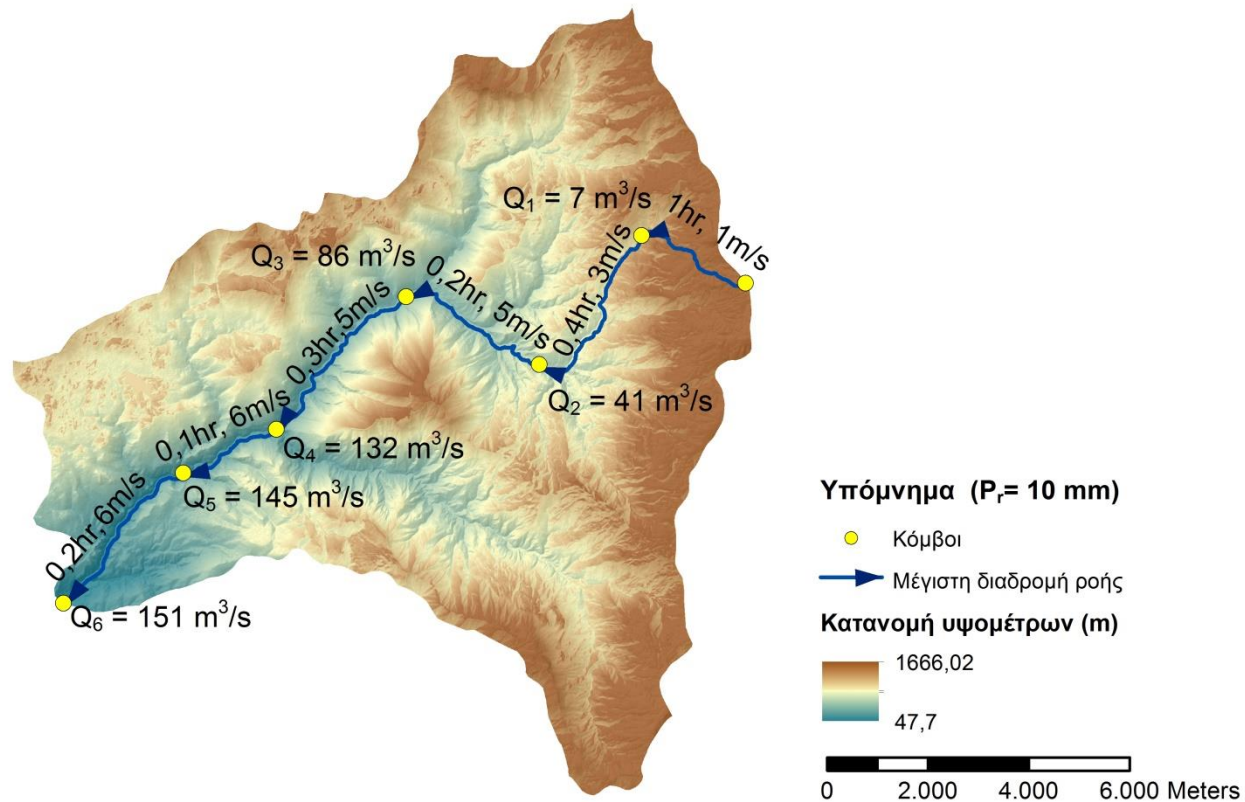


Διάγραμμα ροής υπολογιστικού μέρους της μεθοδολογίας

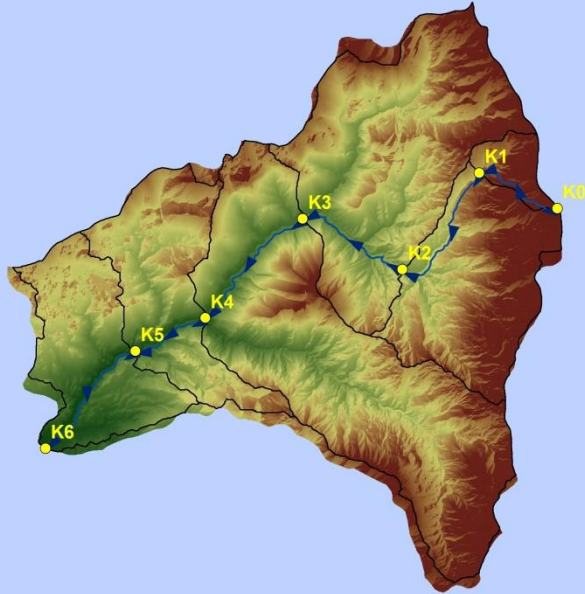
Μεθοδολογική προσέγγιση (8)

Υλοποίηση της μεθοδολογίας

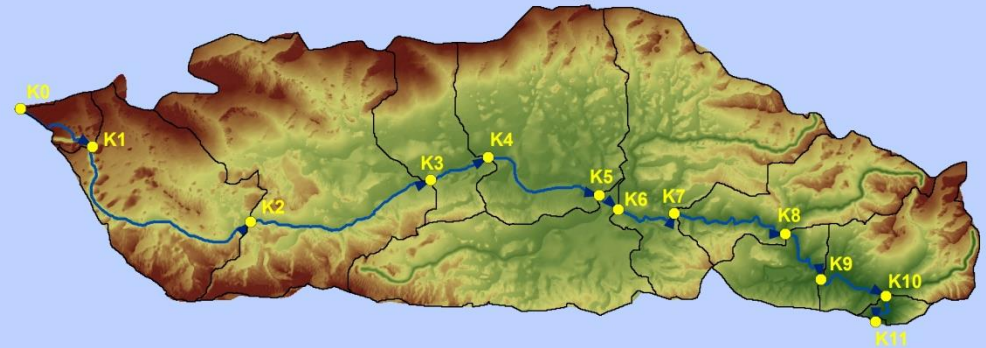
...για ύψη απορροής (P_r): 1 mm, 5 mm, 10 mm, 25 mm, 50 mm, 100 mm



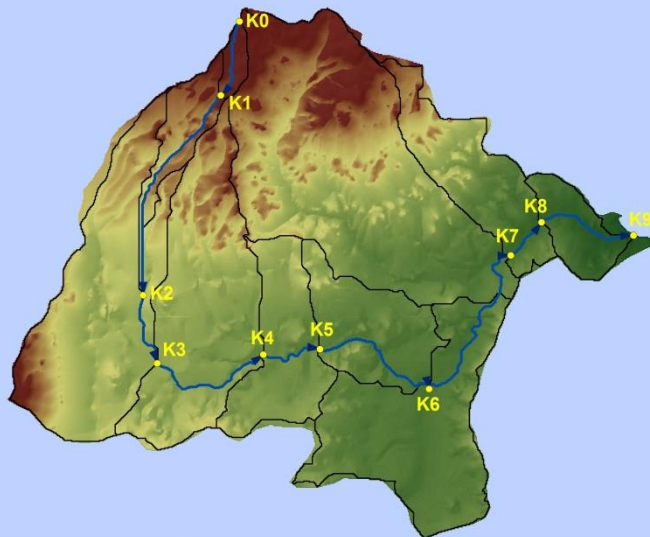
Εφαρμογή της μεθοδολογίας



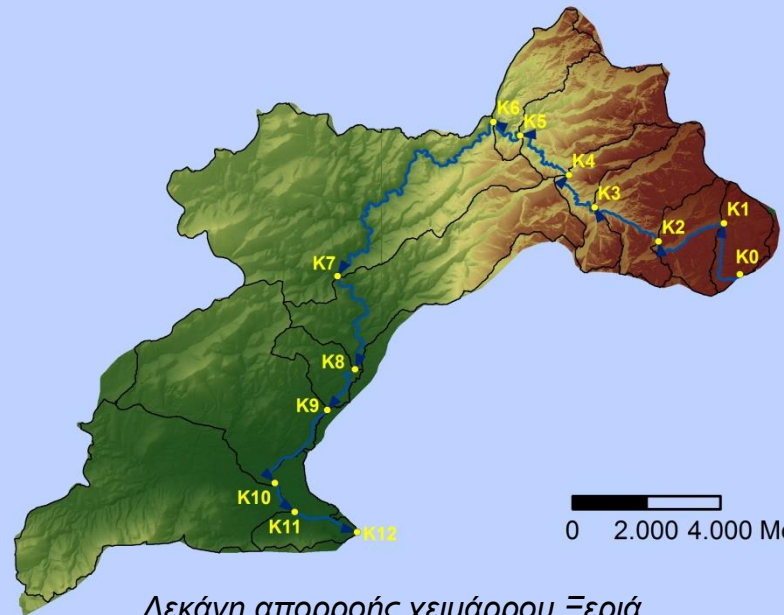
Λεκάνη απορροής Νέδοντα



Λεκάνη απορροής Σαρανταπόταμου



Λεκάνη απορροής ρέματος Ραφήνας



Λεκάνη απορροής χειμάρρου Ξεριά

Λεκάνη απορροής Νέδοντα (1)

Διερεύνηση αλγορίθμων

Διόρθωση βυθισμάτων στο ΨΜΥ

SAGA GIS
(Planchon &
Darboux, 2001)

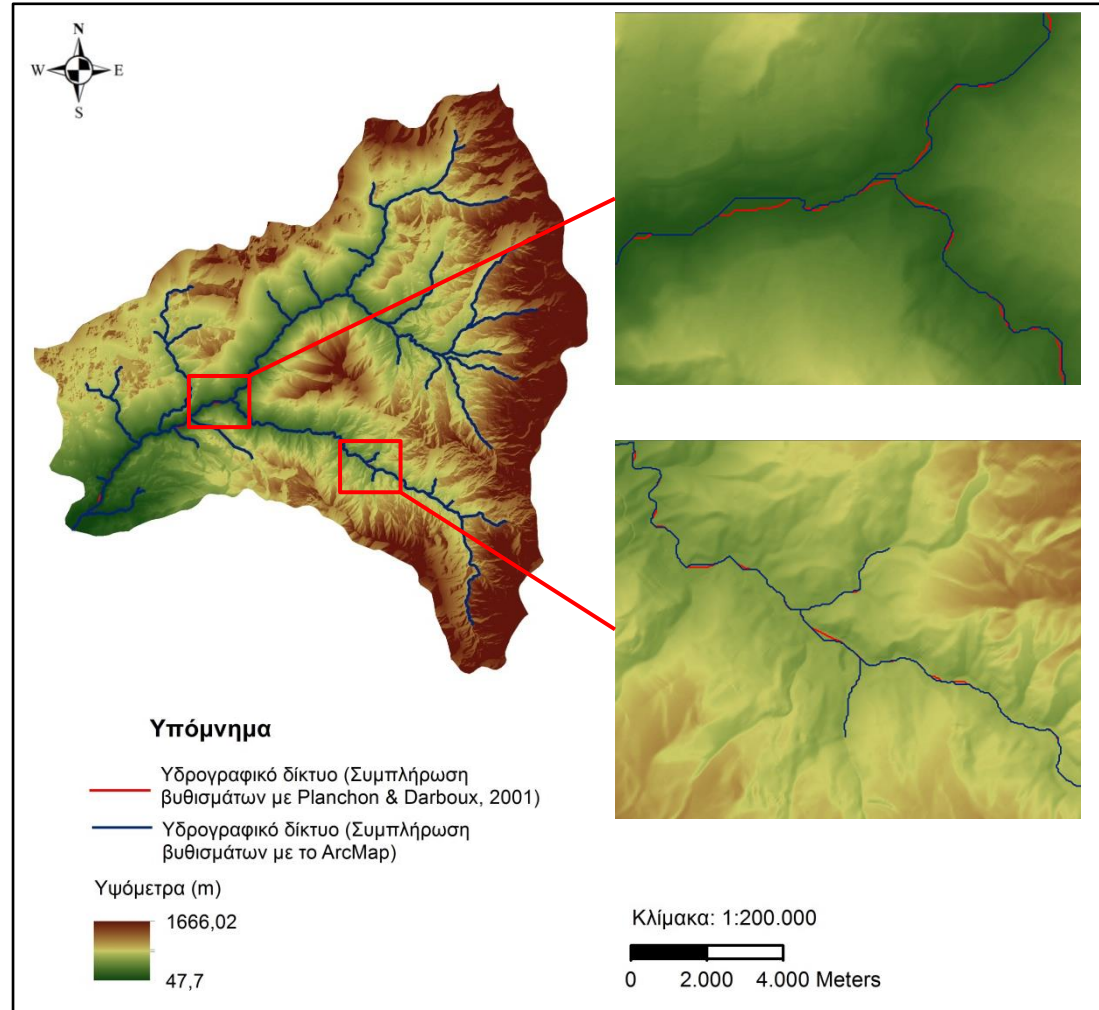
ArcGIS
Tarboton et al.,
1991)

Κατά την σύγκριση:

- Στατιστικά ασήμαντη απόκλιση στα 5 m (Σε μικρότερες αναλύσεις?)
- Διαφορές αναπαράστασης υδρογραφικού δικτύου



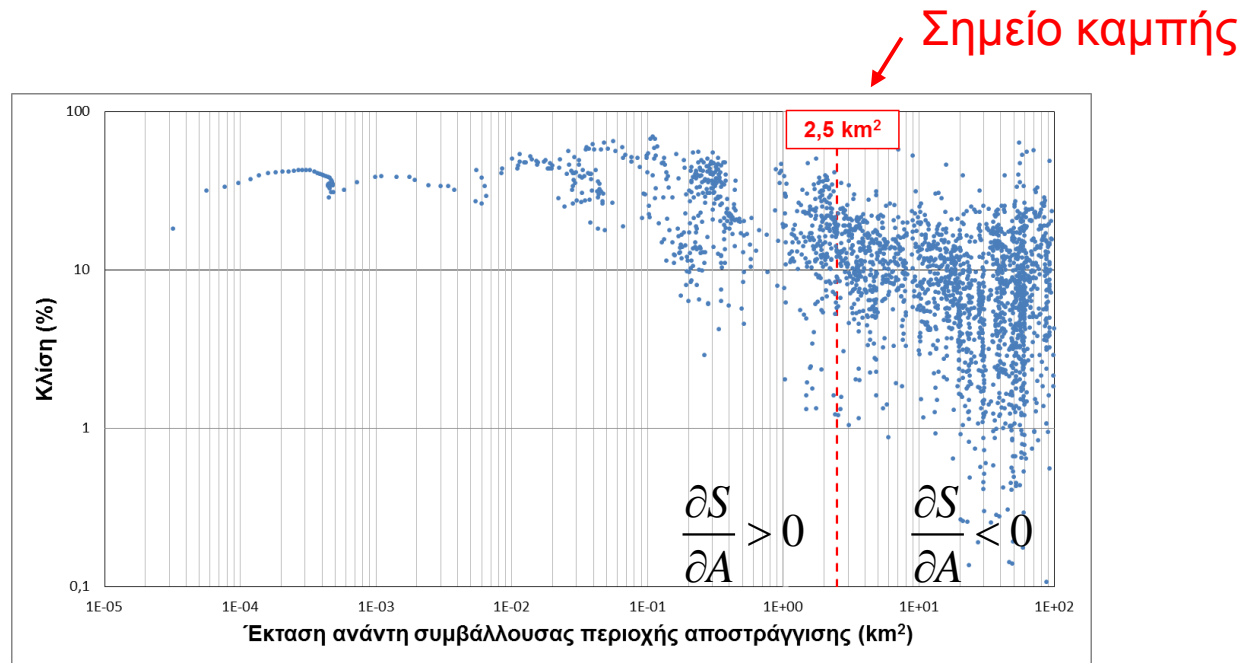
Διόρθωση ΨΜΥ με SAGA GIS



Λεκάνη απορροής Νέδοντα (2)

Έναρξη ροής στο υδατόρευμα

- Επιτόπια έρευνα (υποθέσεις, παραδοχές)
- Τοπογραφικοί χάρτες, τηλεπισκοπικά δεδομένα
- Σταθερή τιμή ανάντη περιοχής αποστράγγισης (threshold) στο ΨΜΥ
- Πληθώρα άλλων ερευνών π.χ. Μέθοδος τοπικών κλίσεων (*McNamara et al., 2006*)

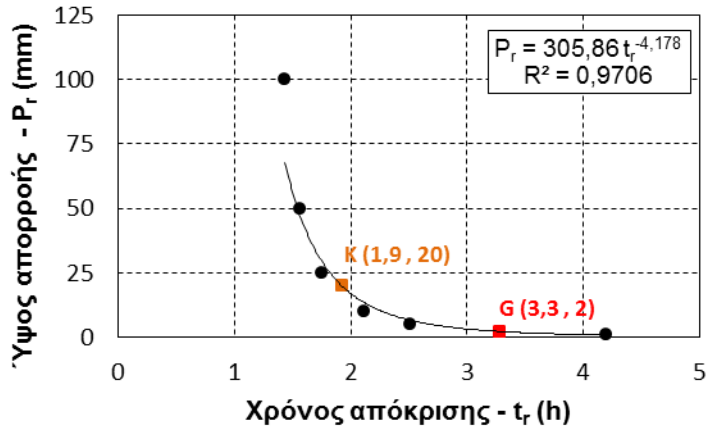


Γράφημα τοπικής κλίσης-έκτασης ανάντη περιοχής αποστράγγισης για την λεκάνη του Νέδοντα

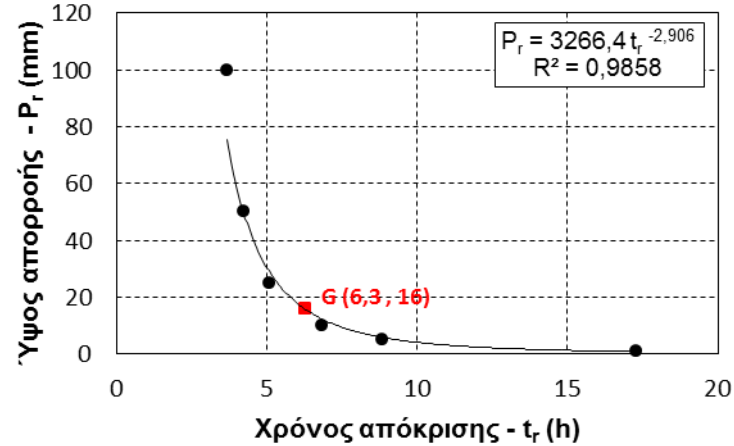
Αποτελέσματα (1)

Συνάρτηση δύναμης της μορφής $P_r = a \cdot t_r^{-b}$, με $a, b > 0$

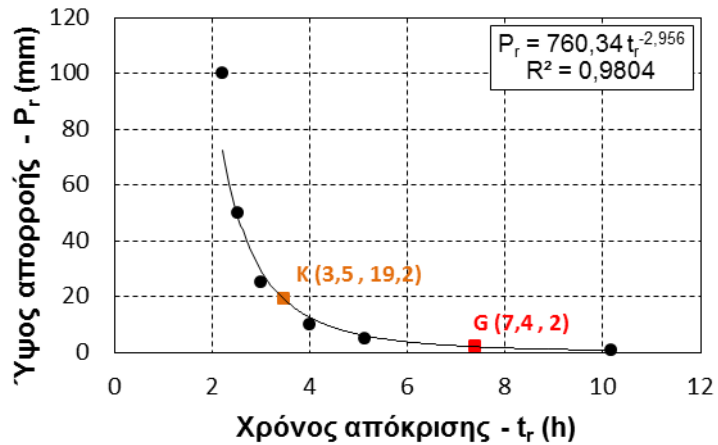
Νέδοντας



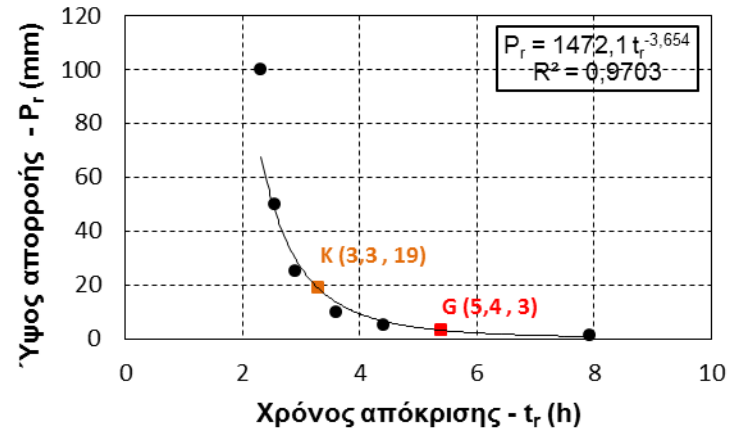
Σαρανταπόταμος



Ρέμα Ραφήνας

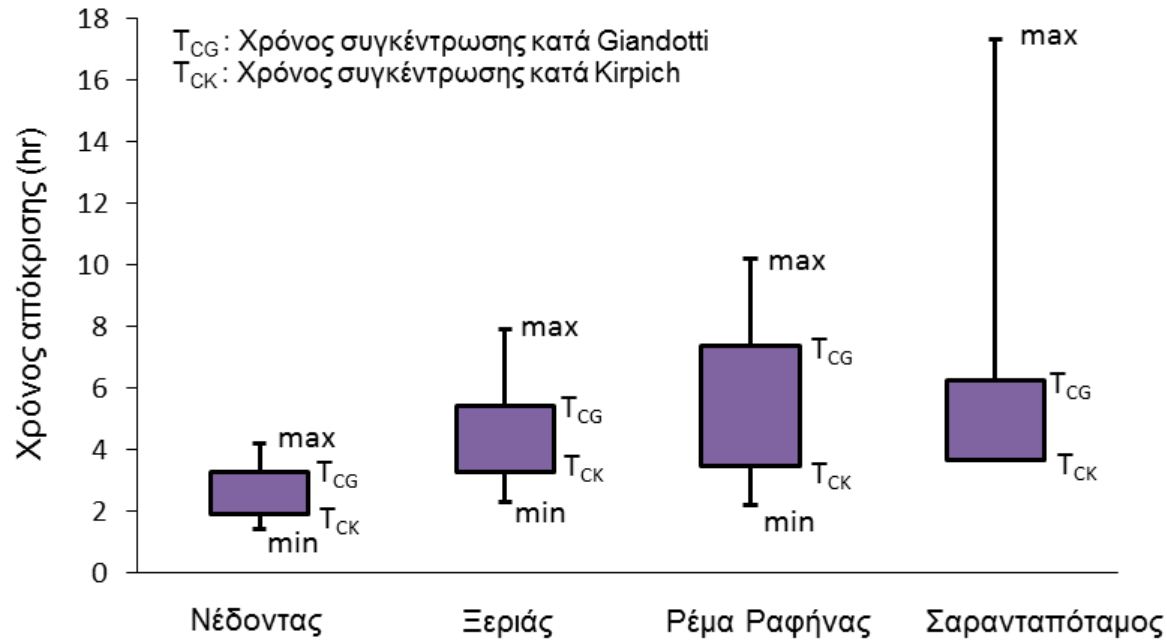


Ξεριάς



- Χρόνος συγκεντρώσης κατά Giandotti
- Χρόνος απόκρισης συναρτήσει του ύψους απορροής
- Χρόνος συγκεντρώσης κατά Kirchich
- Υπερβολική (Χρόνος απόκρισης συναρτήσει του ύψους απορροής)

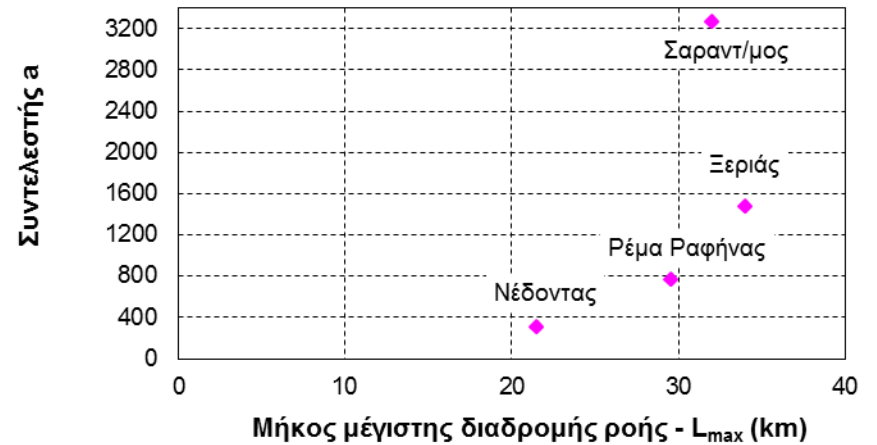
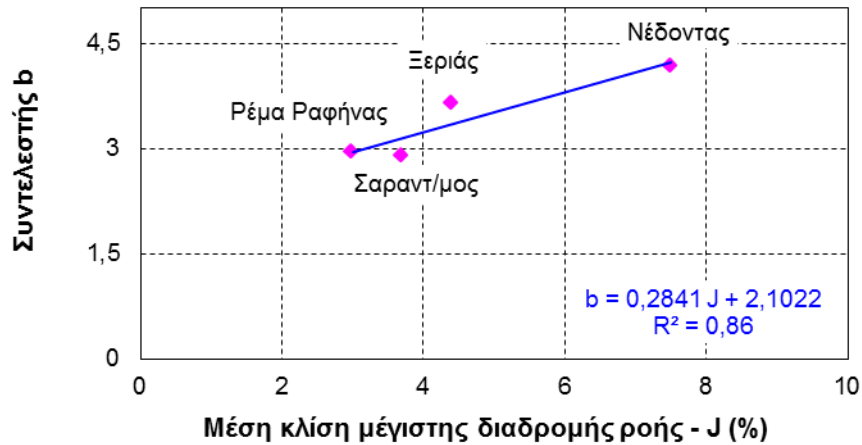
Αποτελέσματα (2)



Box plots με το εκτιμώμενο εύρος τιμών του χρόνου απόκρισης για τις υπό μελέτη λεκάνες απορροής

Αποτελέσματα (3)

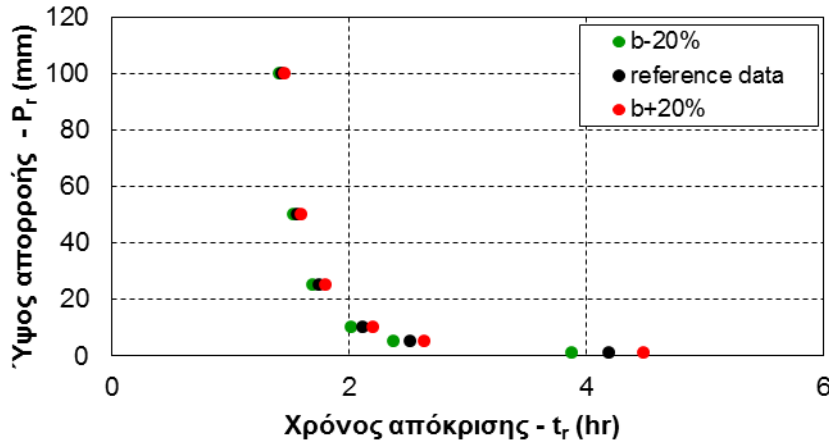
Συνάρτηση δύναμης της μορφής $P_r = a \cdot t_r^{-b}$, με $a, b > 0$



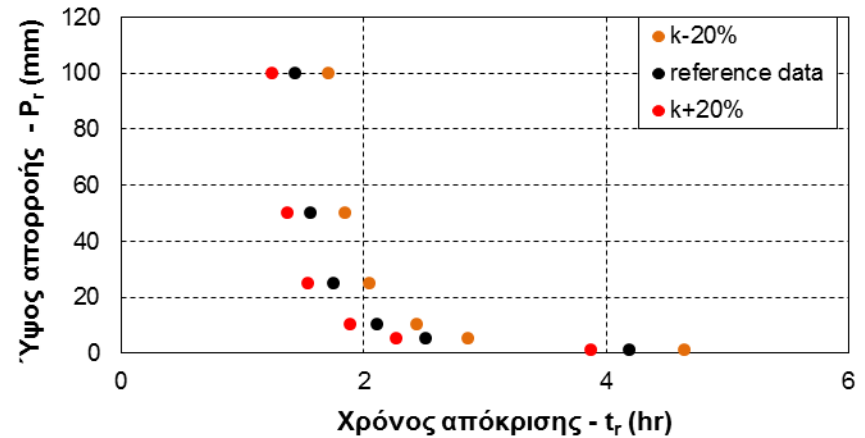
Ανάλυση ευαισθησίας (1)

Μελέτη επίδρασης της αβεβαιότητας παραμέτρων εισόδου

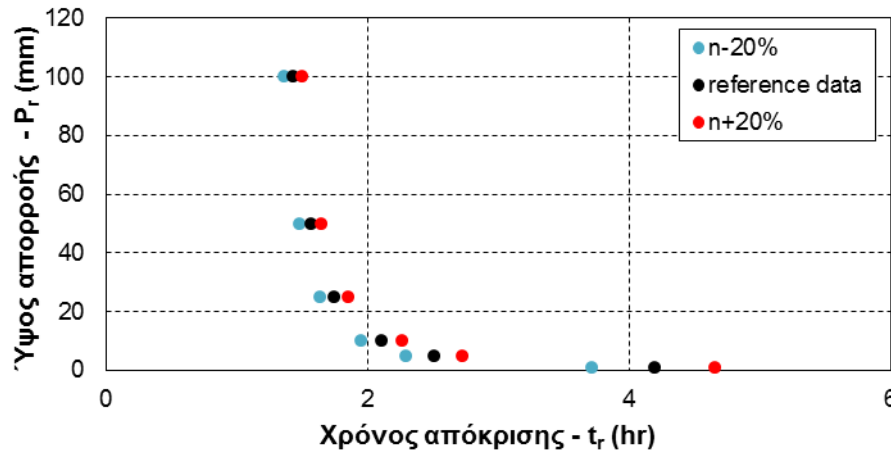
Ανάλυση μεταβολής πλάτους ορθογωνικής διατομής



Ανάλυση μεταβολής συντελεστή παρεμπόδισης



Ανάλυση μεταβολής συντελεστή τραχύτητας κατά Manning



Ανάλυση ευαισθησίας για την λεκάνη απορροής του Νέδοντα

Ανάλυση ευαισθησίας (2)

Διερεύνηση χωρικής ανάλυσης του ΨΜΥ

Λεκάνη Νέδοντα

Μοντέλο αναφοράς

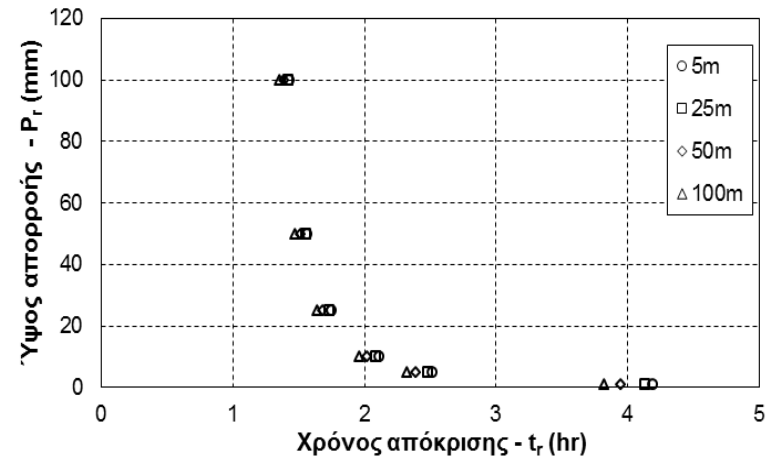
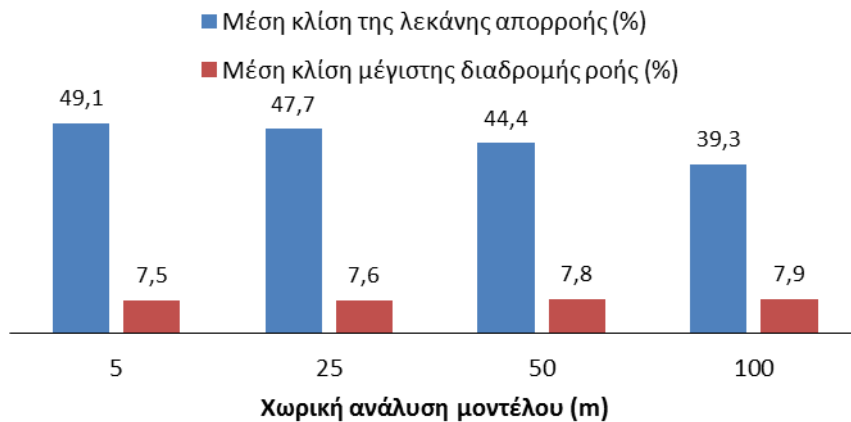
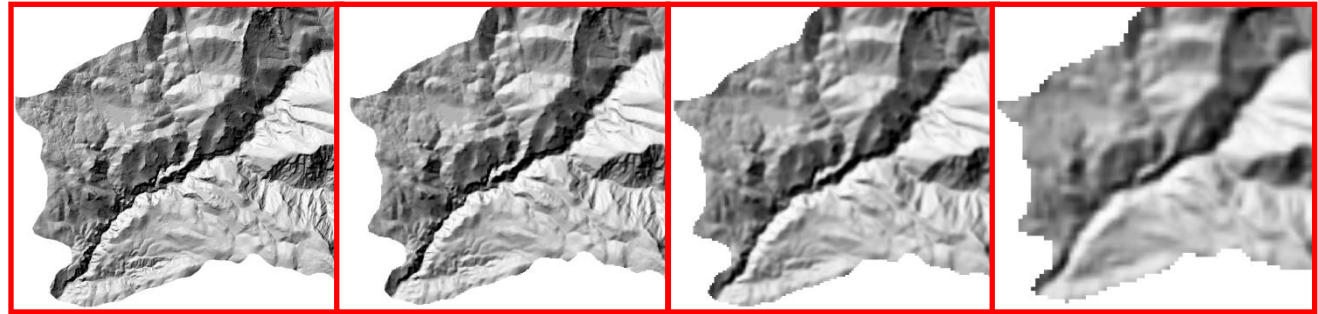
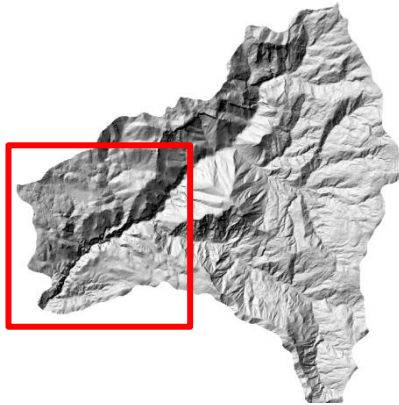
Παράγωγα μοντέλα

5 m

25 m

50 m

100 m



Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα...(1)

- Αναγκαία η εφαρμογή της μεθοδολογίας σε ένα **μεγάλο δείγμα λεκανών** απορροής με ακριβέστερες παραμέτρους εισόδου μέσω στοιχείων πεδίου (π.χ. καθορισμός έναρξης ροής στο υδατόρευμα, γεωμετρία διατομών)
- Εφαρμογή της μεθόδου λαμβάνοντας υπόψη την **δομή του υδρογραφικού δικτύου** και όχι μόνο την μέγιστη διαδρομή ροής, αντιμετωπίζοντας, εν μέρει, τις συνθήκες ετερογένειας
- Χρήση **εξελιγμένων υδραυλικών μοντέλων** ανομοιόμορφης ροής σε λεκάνες με κυριαρχία **ήπιων κλίσεων** κατά τη διεύθυνση της μέγιστης διαδρομής, για αντιμετώπιση **της ανάσχεσης** του πλημμυρικού κύματος και αποφυγή σημαντικής υποεκτίμησης του χρόνου

Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα...(2)

- Γενίκευση της μεθοδολογίας σε επίπεδο φατνίου, με στόχο την κατάρτιση **ισόχρονων καμπυλών** και, άρα, την αυτόματη εξαγωγή του στιγμιαίου μοναδιαίου υδρογραφήματος που θα ενσωματώνει την έννοια της μεταβλητότητας του χρόνου συγκέντρωσης
- **Σύγκριση** των υπολογισμένων χρόνων απόκρισης με παρατηρημένους χρόνους από **πραγματικά πλημμυρικά επεισόδια**, προκειμένου να «βαθμονομηθεί» η μέθοδος από μετρητική πληροφορία
- Ο χειρισμός του χρόνου συγκέντρωσης υπό το πρίσμα της μεταβλητότητας θέτει ένα πλαίσιο **ερευνητικών ζητημάτων** τα οποία όμως θα είχαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον να ελεγχθούν μέσα από την εφαρμογή τους σε εργαλεία του υδρολογικού σχεδιασμού (π.χ. μοντέλα πλημμυρών)

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Dingman, S. L., *Physical Hydrology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1994.
- Giandotti, M., *Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua*, Istituto Poligrafico dello Stato, 8, 107–117, 1934.
- Grimaldi, S., Petroseli, A., Tauro, F., and Porfiri, M., Time of concentration: A paradox in modern hydrology, *Hydrol. Sci. J.*, 57, 217–228, 2012.
- McNamara, J. P., A. D. Ziegler, S. H. Wood, and J. B. Vogler, Channel head locations with respect to geomorphologic thresholds derived from a digital elevation model: A case study in northern Thailand, *Forest Ecology and Management*, 224 (1), 147-156, 2006.
- Kirpich, Z.P., Time of concentration of small agricultural watersheds, *Civil Engineering*, 10 (6), 362, 1940.
- Natural Resources Conservation Service (NRCS), Urban hydrology for small watersheds, *Technical Release 55 (TR-55)*, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C., 1986.
- Planchon, O., and Darboux, F., A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models, *Catena*, 46, 159-176, 2001.
- Tarboton D. G., Bras R. F., and Rodriguez-Iturbe, I., On the extraction of channel networks from digital elevation data, *Hydrological Processes*, 5, 81–100, 1991.

Ευχαριστώ πολύ
για την προσοχή σας

Συμπληρωματικές Διαφάνειες

Διερεύνηση αλγορίθμων

Διόρθωση βυθισμάτων στο ΨΜΥ

Planchon & Darboux, 2001 (SAGA GIS)

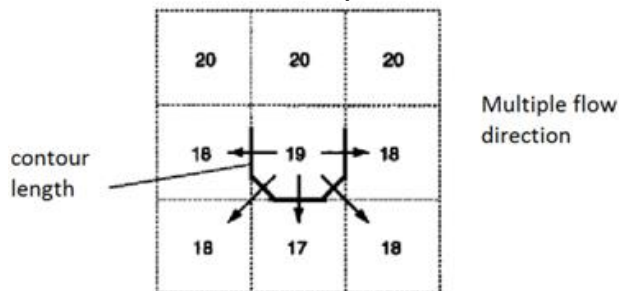
- Διόρθωση στο χαμηλότερο υψόμετρο
- Ήπια κλίση στην επιφάνεια του βυθίσματος
- Σειρά σαρώσεων πολλαπλής κατεύθυνσης

Tarboton et al. 1991 (ArcGIS)

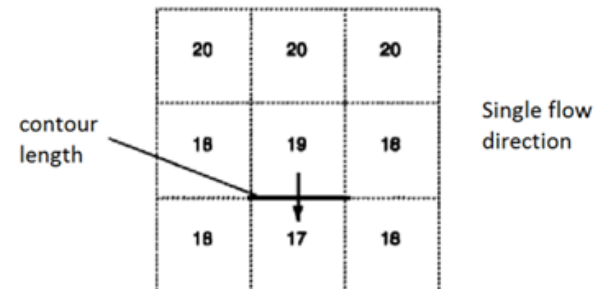
- Πλήρωση εσοχών μέχρι το χαμηλότερο υψόμετρο
- Παράθυρο εφαρμογής 3Χ3

Συγκέντρωση ροής

Πολλαπλής κατ/νσης ροής
(MFD8, DEMON, D^∞)



Μονής κατ/νσης ροής (D8)



Εικόνα 2. Αλγόριθμοι συγκέντρωσης ροής (Wolock & McGabe, 1995)

Μέθοδος TR-55 της NRCS (1986) (Velocity Method)

$$t_c = \sum \frac{L}{V} = t_{sheet} + t_{shallow} + t_{channel}$$

Κατανεμημένη επίγεια ροή ή ροή σε φιλμ (βάθος ροής: 3cm)

$$t_{sheet} = \frac{0.091 \cdot (n \cdot L_{sheet})^{0.8}}{P_2^{0.5} \cdot S^{0.4}}$$

P_2 η βροχόπτωση διάρκειας 24 h και T=2 έτη (mm)

Συγκεντρωμένη επίγεια ροή

$$V_{shallow} = k\sqrt{S} \quad S' = 0,05247 + 0,06363 \cdot S - 0,182 \cdot e^{-62,38 \cdot S}$$

Συγκεντρωμένη επίγεια ροή

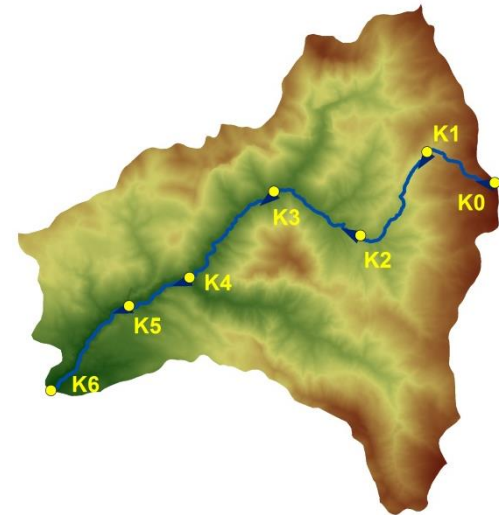
$$V_{channel} = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2}$$

Ο καθορισμός της υδραυλικής ακτίνας R βασίζεται στα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κοίτης, όπως διαμορφώνονται για T=2 έτη

Μεθοδολογική προσέγγιση

Κριτήρια χωροθέτησης των κόμβων

- Καθεστώς ροής
- Σύγκλιση κλάδων του υδρογραφικού δικτύου
- Σημεία ύπαρξης υδρομετρικών σταθμών
- Πλάτος διατομής της κοίτης (b)
 - Δεδομένα πεδίου (τοπογραφικές αποτυπώσεις κοίτης)
 - Ορθοφωτοχάρτες Κτηματολογίου
 - Σχεδιασμός διατομών στο ΨΜΥ (HEC-GeoRAS)
- Τραχύτητα κοίτης – Συντελεστής Manning (n)
 - $n=0,03$ για φυσικό υδατόρευμα
 - $n=0,02$ σε επενδυμένη διατομή



Βιβλιογραφική επισκόπηση

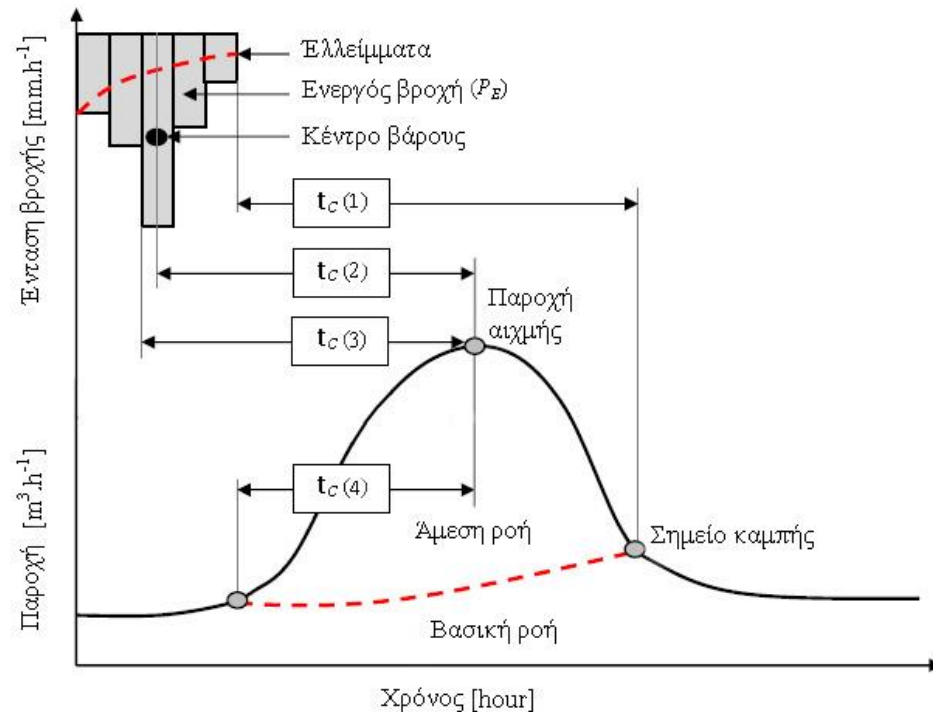
Γραφικές μέθοδοι εκτίμησης

Κατά McCuen, 2009, ο χρόνος συγκέντρωσης t_c σχετίζεται με διάφορα χρονικά μεγέθη:

- t_c (1): Χρόνος συγκέντρωσης
- t_c (2): Κεντρ/κός χρόνος υστέρησης
- t_c (3): Χρόνος υστέρησης
- t_c (4): Χρόνος ανόδου

Μειονεκτήματα:

- Ύπαρξη παρατηρημένων υετογραφημάτων-υδρογραφημάτων
- Γνώση υδρολογικών ελλειμμάτων και άμεσης απορροής



Σκαρίφημα υετογραφήματος-υδρογραφήματος

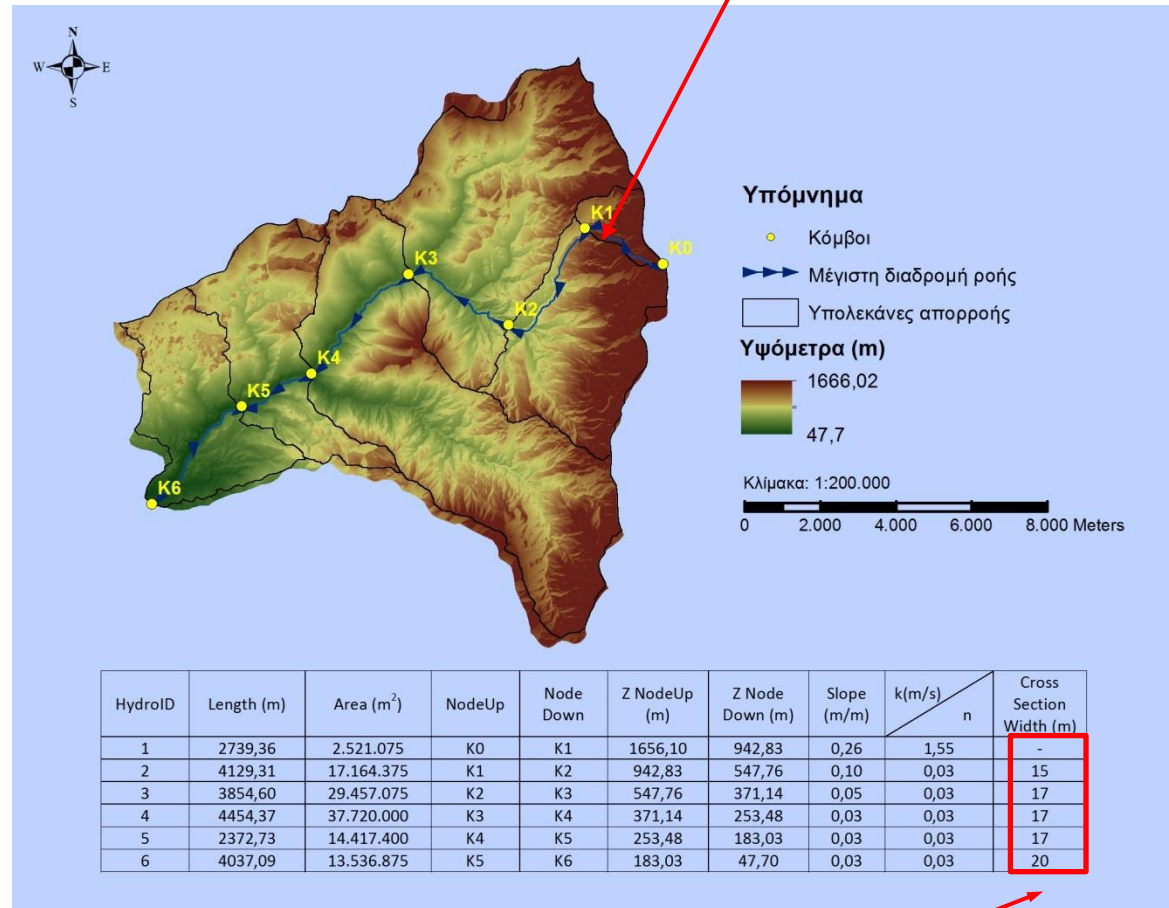
Λεκάνη απορροής Νέδοντα

Υδατικό διαμέρισμα Δ.Πελοποννήσου (GR01)

Μορφομετρικά χαρακτηριστικά:

- A (km²): 116,8
- H_{mean} (m): 866,4
- L_{max} (km): 21,6
- J_{mean} (%): 7,5
- t_c Giandotti (hr): 3,3
- t_c Kirpich (hr): 1,9

Έναρξη ροής στο
υδατόρευμα: 2,5 km²
(προσεγγιστικά)



Τοπογραφικές αποτυπώσεις κοίτης

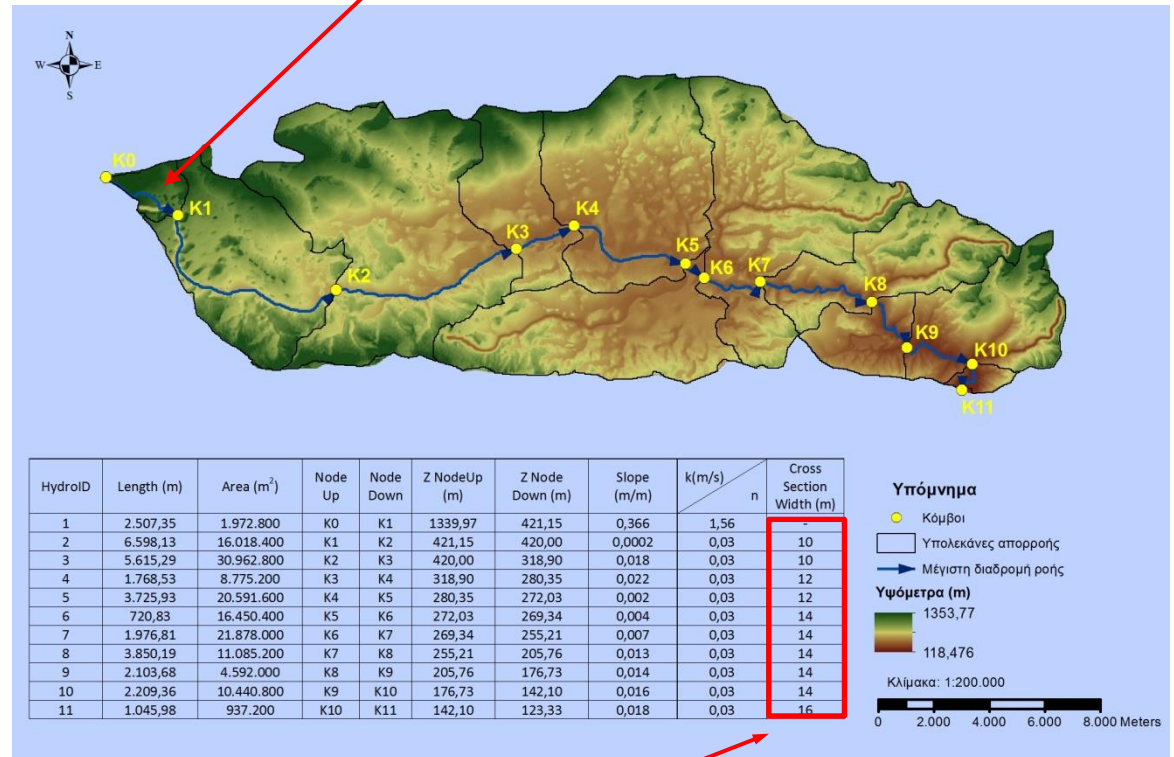
Λεκάνη απορροής Σαρανταπόταμου

Υδατικό διαμέρισμα Αττικής (GR06)

Μορφομετρικά χαρακτηριστικά:

- A (km²): 143,7
- H_{mean} (m): 495,0
- L_{max} (km): 32,1
- J_{mean} (%): 4,0
- t_c Giandotti (hr): 6,3
- t_c Kirpich (hr): 3,4

Έναρξη ροής στο υδατόρευμα: 2 km²



Τοπογραφικές αποτυπώσεις κοίτης

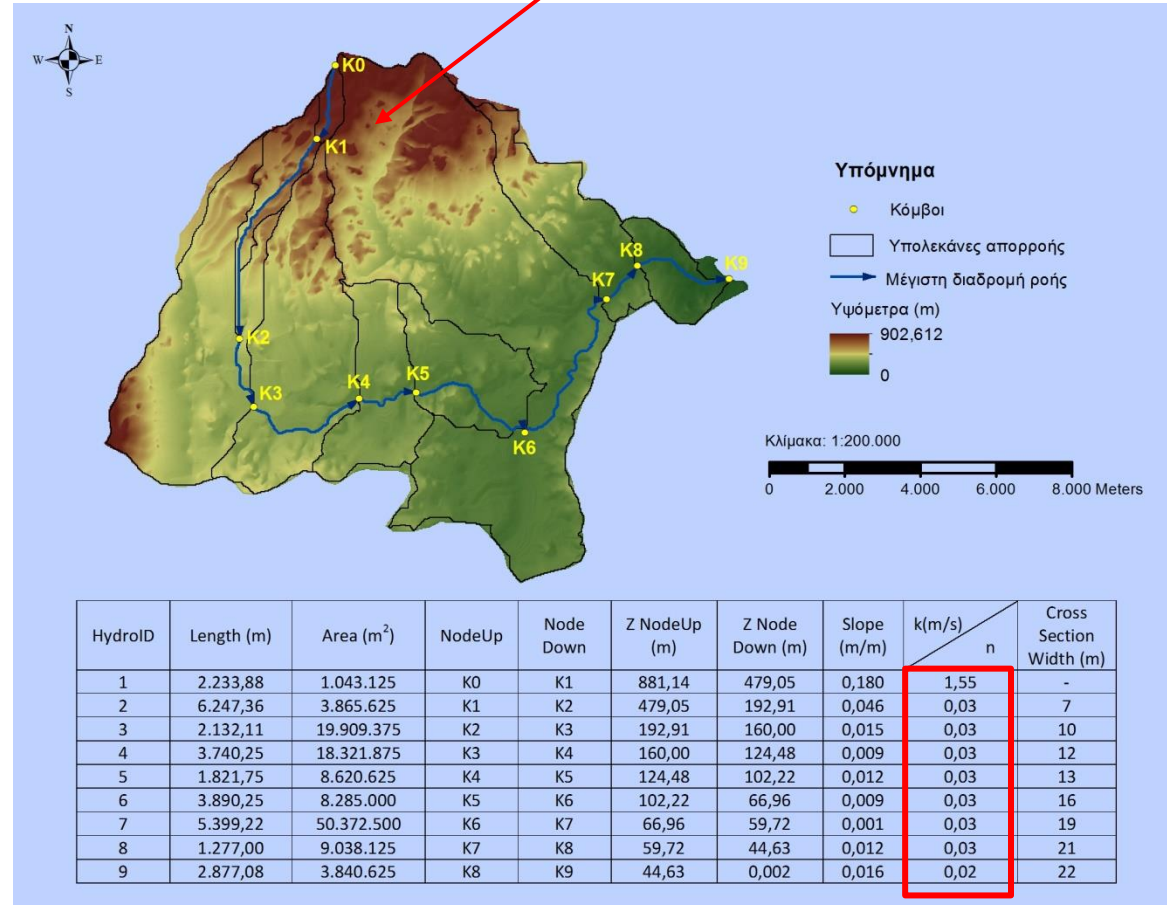
Λεκάνη απορροής ρέματος Ραφήνας

Υδατικό διαμέρισμα Αττικής (GR06)

Έναρξη ροής στο υδατόρευμα: 1 km²

Μορφομετρικά χαρακτηριστικά:

- A (km²): 123,3
- H_{mean} (m): 225,6
- L_{max} (km): 29,6
- J_{mean} (%): 3,0
- t_C Giandotti (hr): 7,4
- t_C Kirpich (hr): 3,5



Διατομές στο Hec-GeoRAS

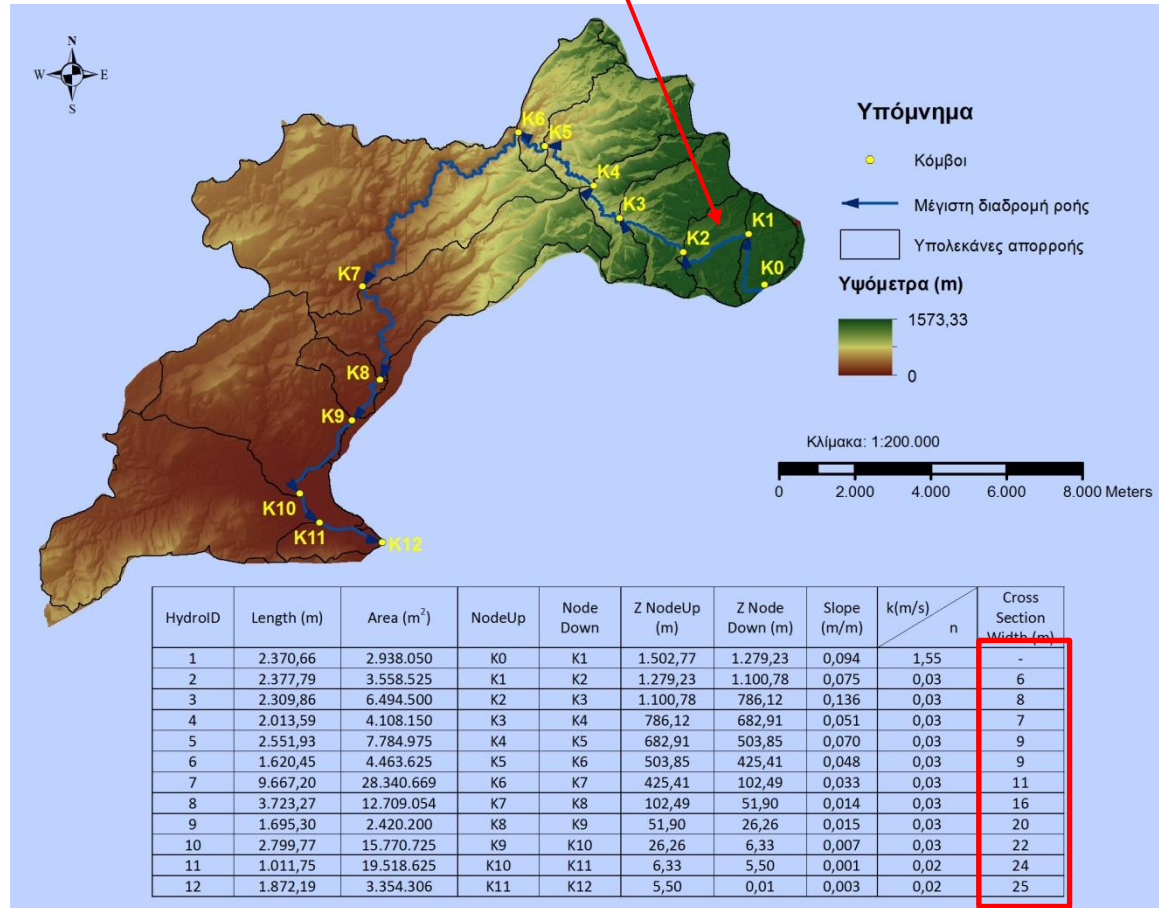
Λεκάνη απορροής χειμάρρου Ξεριά

Υδατικό διαμέρισμα Θεσσαλίας (GR08)

Μορφομετρικά χαρακτηριστικά:

- A (km²): 111,5
- H_{mean} (m): 465,8
- L_{max} (km): 34,0
- J_{mean} (%): 4,4
- t_c Giandotti (hr): 5,4
- t_c Kirpich (hr): 3,3

Έναρξη ροής στο υδατόρευμα: 3 km²



Διατομές στο Hec-GeoRAS

Βιβλιογραφική επισκόπηση

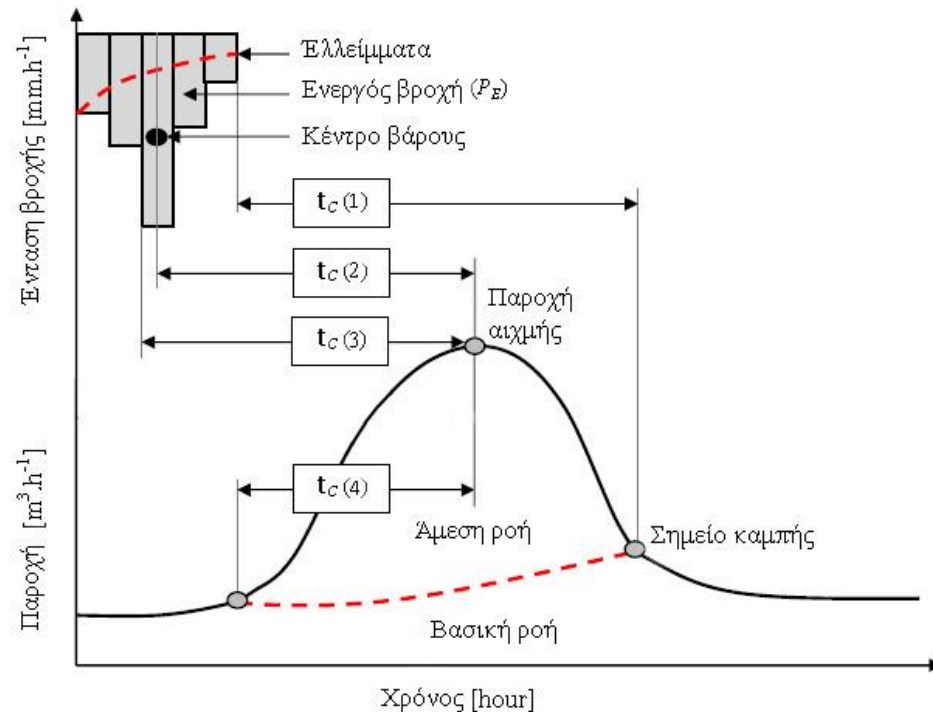
Γραφικές μέθοδοι εκτίμησης

Κατά McCuen, 2009, ο χρόνος συγκέντρωσης t_c σχετίζεται με διάφορα χρονικά μεγέθη:

- t_c (1): Χρόνος συγκέντρωσης
- t_c (2): Κεντρ/κός χρόνος υστέρησης
- t_c (3): Χρόνος υστέρησης
- t_c (4): Χρόνος ανόδου

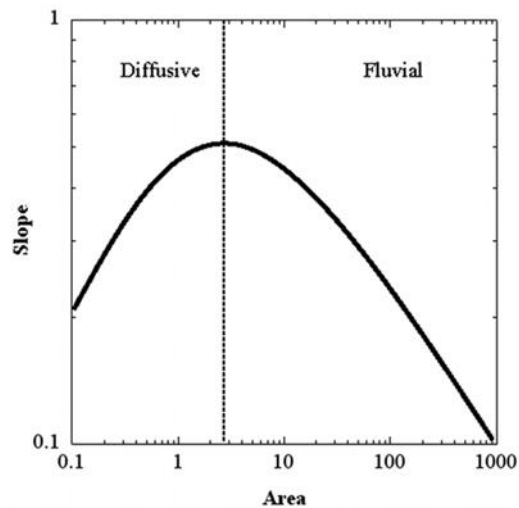
Μειονεκτήματα:

- Ύπαρξη παρατηρημένων υετογραφημάτων-υδρογραφημάτων
- Γνώση υδρολογικών ελλειμμάτων και άμεσης απορροής

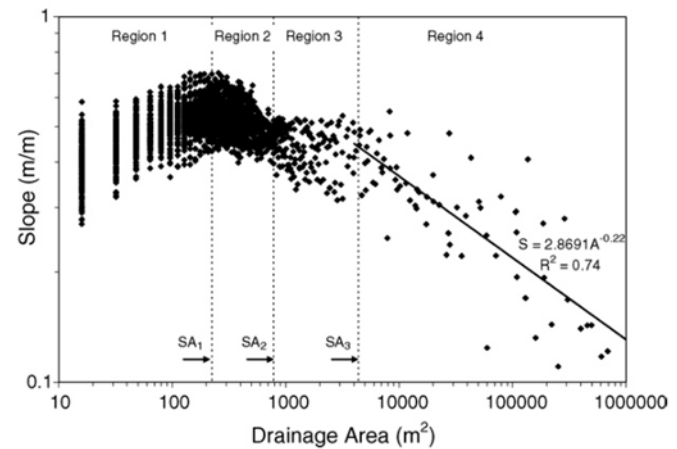


Σκαρίφημα υετογραφήματος-υδρογραφήματος

Καθορισμός σημείου έναρξης υδρογραφικού δικτύου

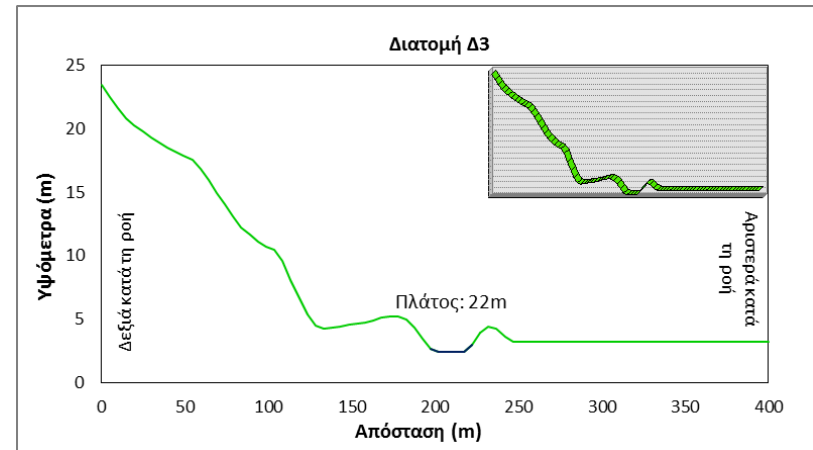
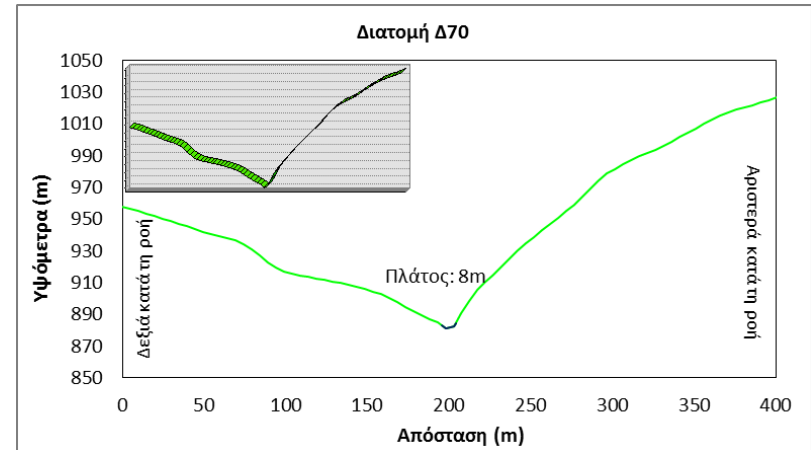
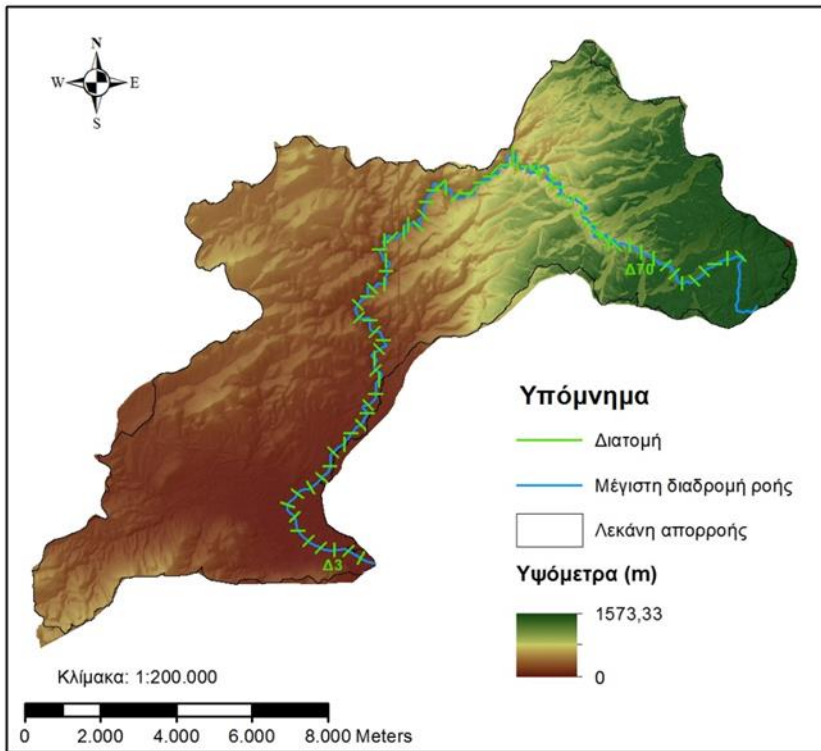


Σχέση της κλίσης-έκτασης ανάντη συμβάλλουσας περιοχής σε λογαριθμική κλίμακα (Πηγή: Cohen et al., 2008).



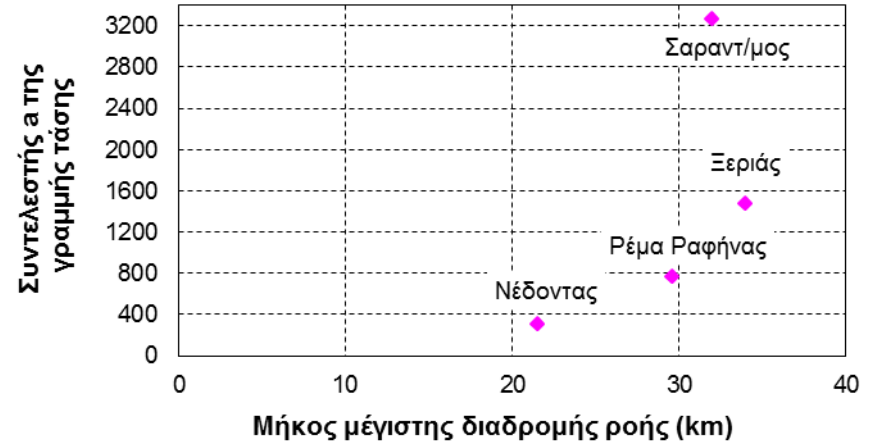
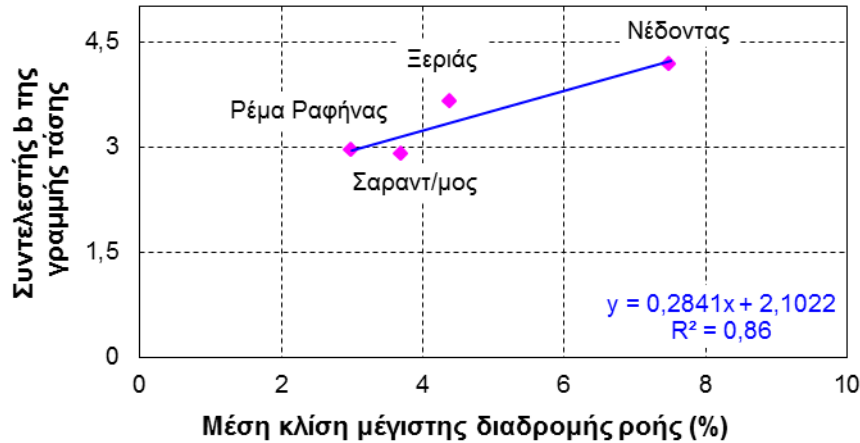
Γράφημα τοπικής κλίσης-έκτασης ανάντη περιοχής αποστράγγισης ΨΜΥ (Πηγή: McNamara et al., 2006).

Διατομές στο Hec-GeoRAS

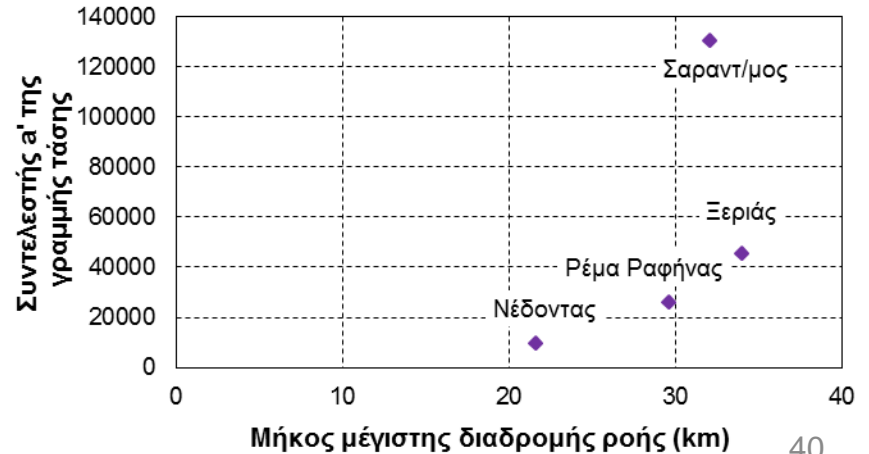
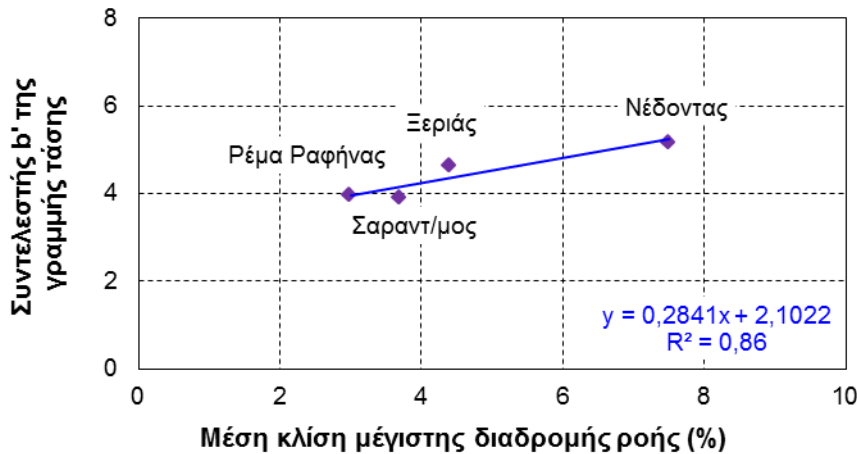


Αποτελέσματα

Συνάρτηση δύναμης της μορφής $P_r = a \cdot t_r^{-b}$, με $a, b > 0$



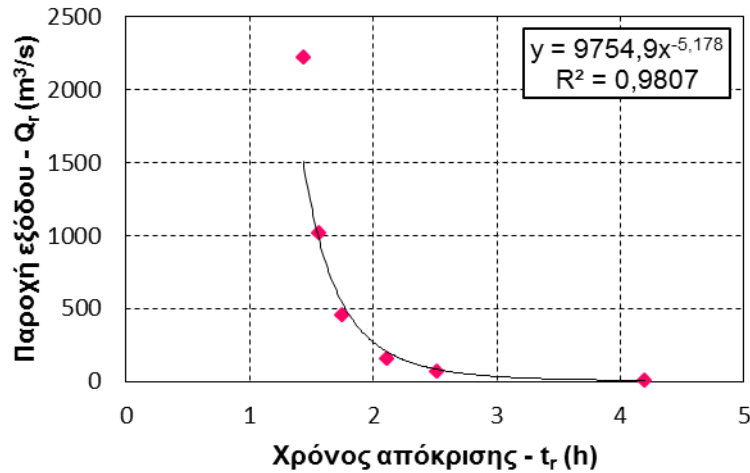
Συνάρτηση δύναμης της μορφής $Q_r = a' \cdot t_r^{-b'}$, με $a, b > 0$



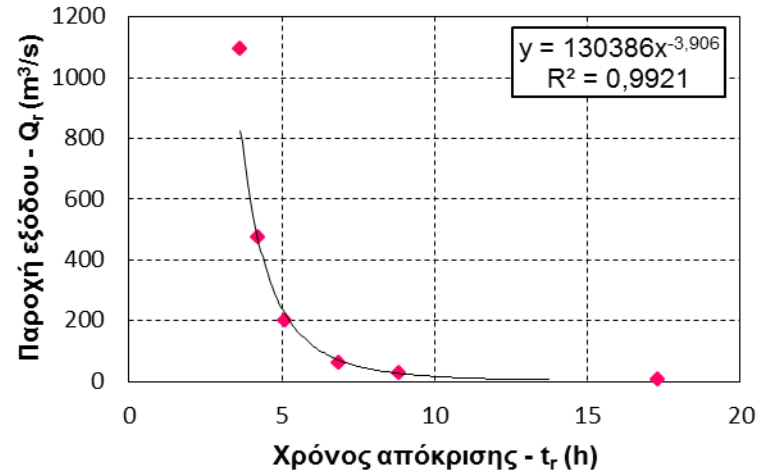
Αποτελέσματα

Συνάρτηση δύναμης της μορφής $Q_r = a \cdot t_r^{-b}$, με $a, b > 0$

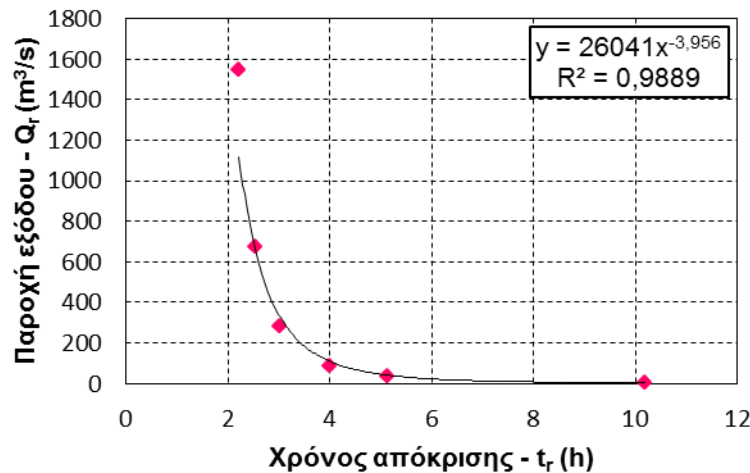
Νέδοντας



Σαρανταπόταμος



Ρέμα Ραφήνας



Ξεριάς

