



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

**Εκτίμηση της διακύμανσης της παροχής αιχμής σε λεκάνες
της Πελοποννήσου με συγκριτική αξιολόγηση δύο
διαδεδομένων μεθόδων της υδρολογίας πλημμυρών**

Χρήστος Αργυράκης

Επιβλέπων: Δ. Κουτσογιάννης, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Οκτώβριος 2015

Σκοπός

- Εκτίμηση της αβεβαιότητας στον υπολογισμό της παροχής αιχμής με συγκριτική αξιολόγηση δύο μεθόδων της υδρολογίας πλημμυρών που χρησιμοποιούνται ευρέως για τον υπολογισμό της.
- Ορθολογική μέθοδος.
- Συνδυαστική μέθοδος του αριθμού καμπύλης απορροής (SCS-CN) και του συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος.

Αντικείμενο

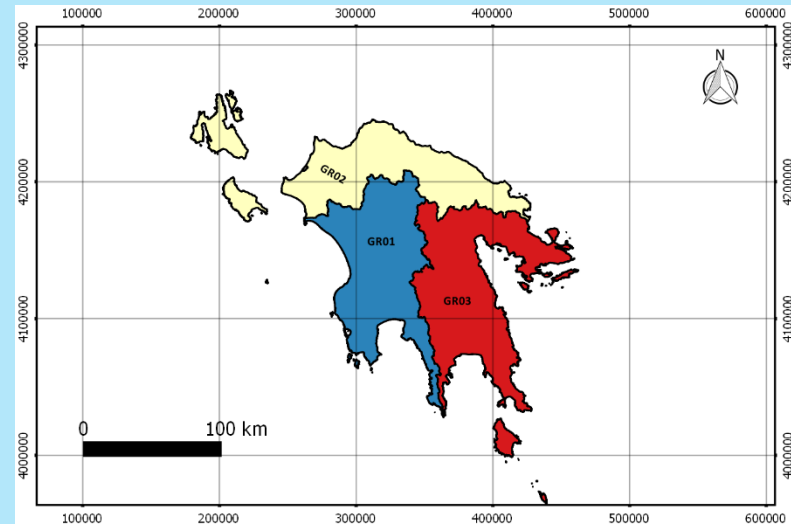
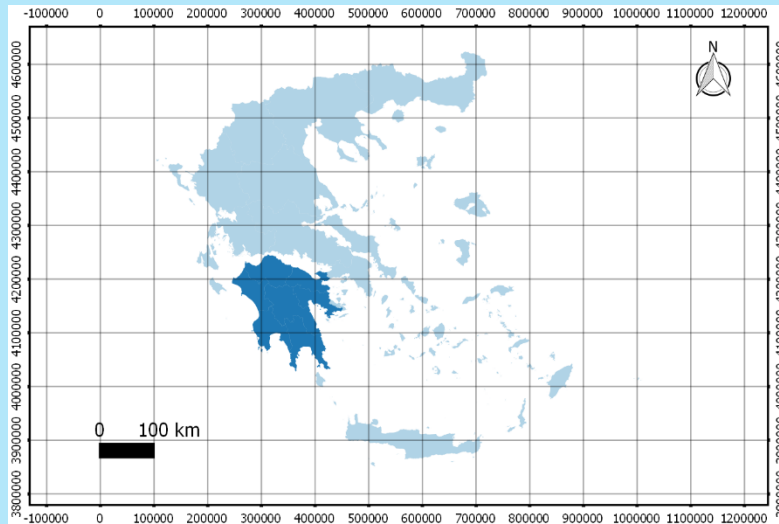
- Εκτίμηση της διακύμανσης της παροχής αιχμής σε 79 λεκάνες απορροής της Πελοποννήσου (με έκταση $\geq 100 \text{ km}^2$) με την ορθολογική μέθοδο.
- Εκτίμηση της διακύμανσης της παροχής αιχμής στις 9 λεκάνες απορροής που προκύπτουν από ενοποίηση των 79 λεκανών και με τις δύο μεθόδους και συγκριτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους.

Η έννοια της παροχής αιχμής (ή παροχής σχεδιασμού)

- Η μέγιστη στιγμιαία τιμή της διερχόμενης παροχής μέσω ενός φυσικού ή τεχνητού αγωγού.
- Στατιστική ερμηνεία μεγίστου
 - Η τιμή της μεταβλητής που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη πιθανότητα υπέρβασης (ή περίοδο επαναφοράς).
 - Ο καθορισμός της παροχής αιχμής προϋποθέτει την επιλογή μιας αποδεκτής πιθανότητας υπέρβασης, ή της αντίστοιχης περιόδου επαναφοράς (T), ανάλογα με τη σημασία του έργου και τις δυνητικές επιπτώσεις μιας ενδεχόμενης υδρολογικής αστοχίας του.
- Στην παρούσα εργασία οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν για τρεις περιόδους επαναφοράς ($T = 20, 50$ και 100 έτη).

Περιοχή μελέτης

- Το γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου.
- 3 Υδατικά Διαμερίσματα (Δυτικής ΥΔ01, Βόρειας ΥΔ02 και Ανατολικής ΥΔ03 Πελοποννήσου).
- 8 Λεκάνες Απορροής Ποταμών (ΛΑΠ).



Φυσιογραφικά χαρακτηριστικά λεκάνης απορροής

- Μορφολογικά χαρακτηριστικά
 - Γεωμετρία (εμβαδόν).
 - Ανάγλυφο (μέγιστο, ελάχιστο και μέσο υψόμετρο, μέση κλίση).
 - Υδρογραφικό δίκτυο (μήκος κύριου υδατορεύματος, τάξη υδατορευμάτων, πυκνότητα υδρογραφικού δικτύου).
- Εδαφολογικά χαρακτηριστικά
 - Μηχανικές ιδιότητες (υδατοπερατότητα).
- Χρήσεις γης και φυτοκάλυψη
 - Μηχανισμός παρεμπόδισης από τη χλωρίδα.

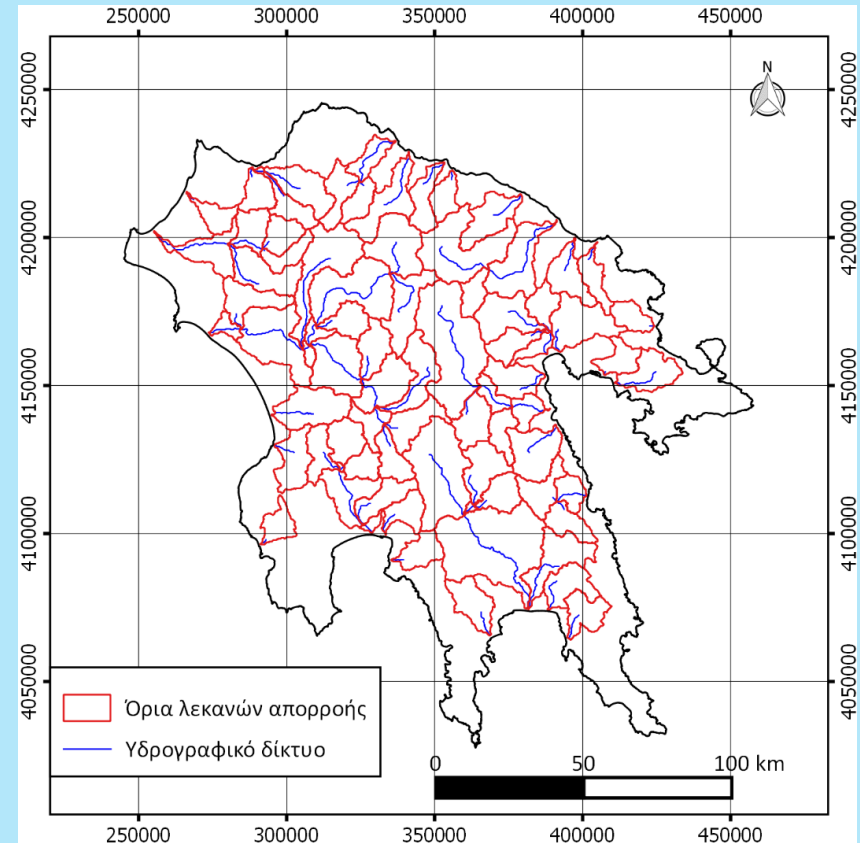
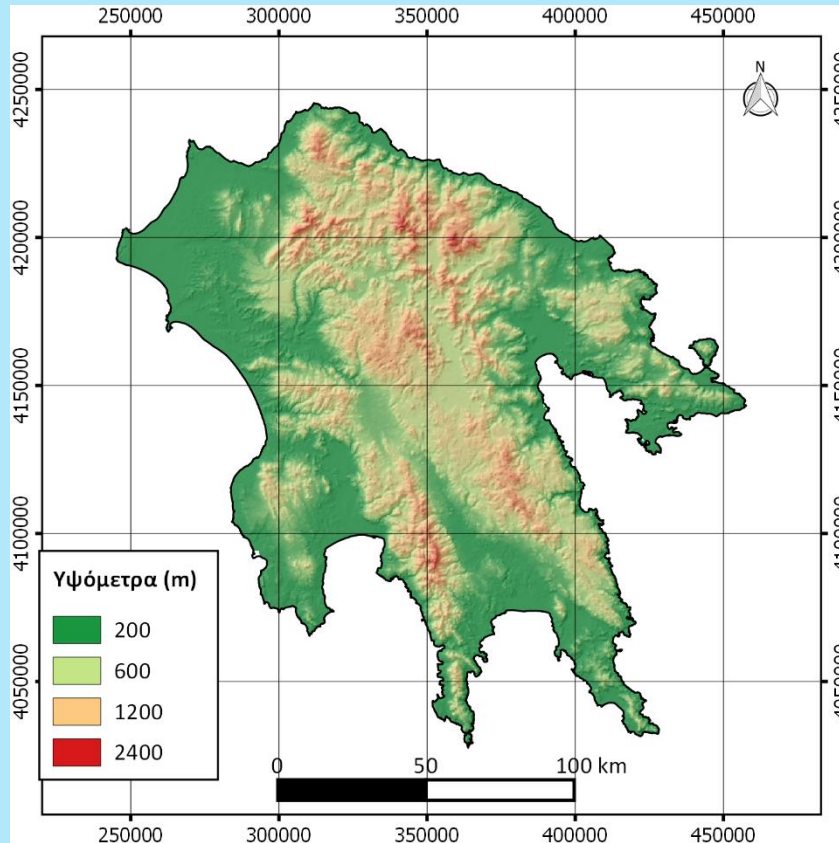
Εφαρμογή των Συστημάτων Γεωγραφικής Πληροφορίας στην υδρολογία πλημμυρών

- Υπολογισμός των μορφολογικών χαρακτηριστικών μεγεθών μιας λεκάνης απορροής με βασικό δεδομένο εισόδου ένα Ψηφιακό Μοντέλο Υψομέτρων.
- Υπολογισμός του αριθμού καμπύλης απορροής με βασικά δεδομένα εισόδου τα επίπεδα χρήσεων γης και περατότητας.
- Χρήση δύο λογισμικών ΣΓΠ ανοιχτού κώδικα.
- MapWindow GIS (<http://www.mapwindow.org/>)
 - Χάραξη λεκανών και υδρογραφικού δικτύου.
- QGIS Desktop (<http://www.qgis.org/en/site/>)
 - Χωρικές επεξεργασίες, παραγωγή αποτελεσμάτων και χαρτών.

Μορφολογικά χαρακτηριστικά λεκανών απορροής Πελοποννήσου

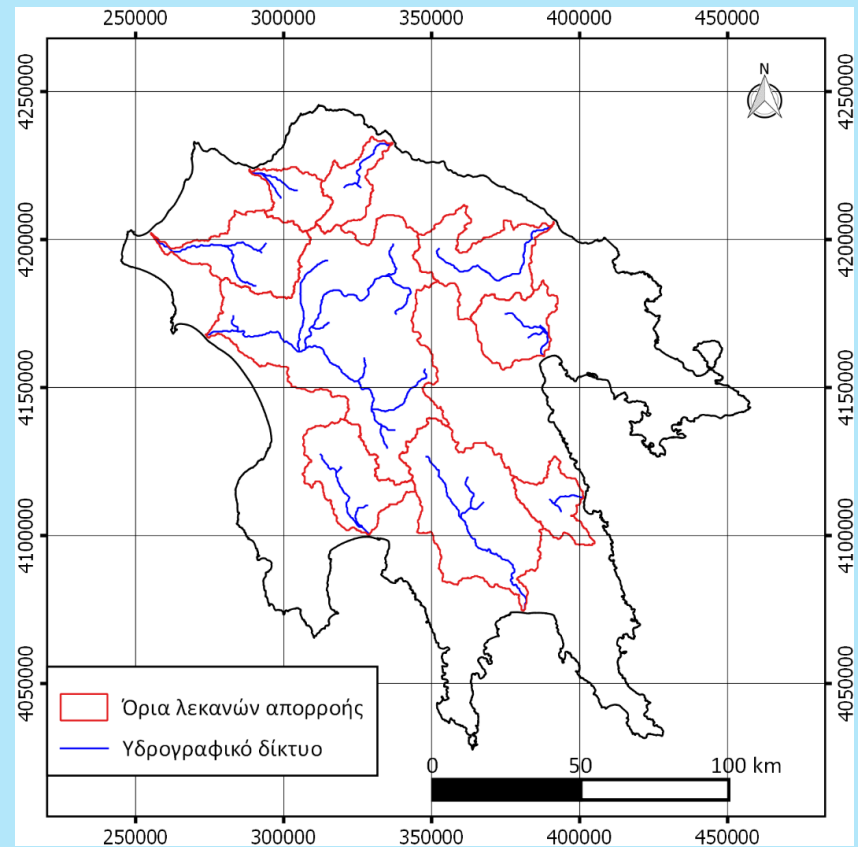
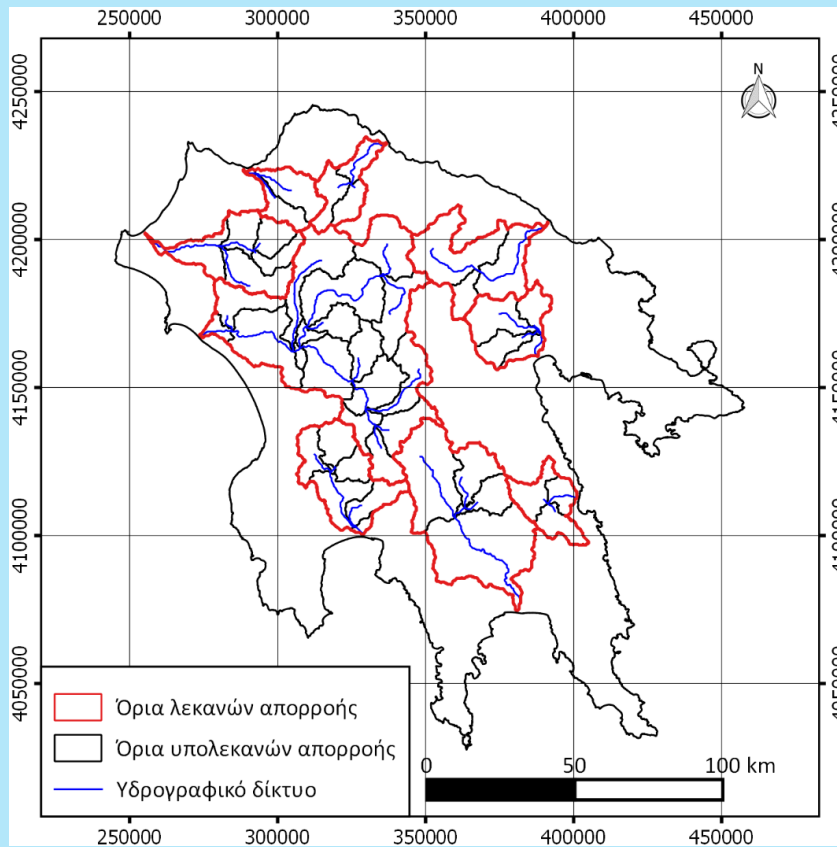
- Δεδομένα
 - ΨΜΥ ανάλυσης 250 × 250 m.
- Επεξεργασίες
 - Προσδιορισμός ορίων λεκανών απορροής και υδρογραφικού δικτύου με ελάχιστη ανάντη έκταση απορροής ίση με 100 km².
- Αποτελέσματα στις 79 λεκάνες
 - Έκταση
 - Μήκος κύριου υδατορεύματος
 - Μέσο υψόμετρο
 - Υψόμετρο εξόδου

Ψηφιακό μοντέλο υψομέτρων και όρια των 79 λεκανών απορροής Πελοποννήσου

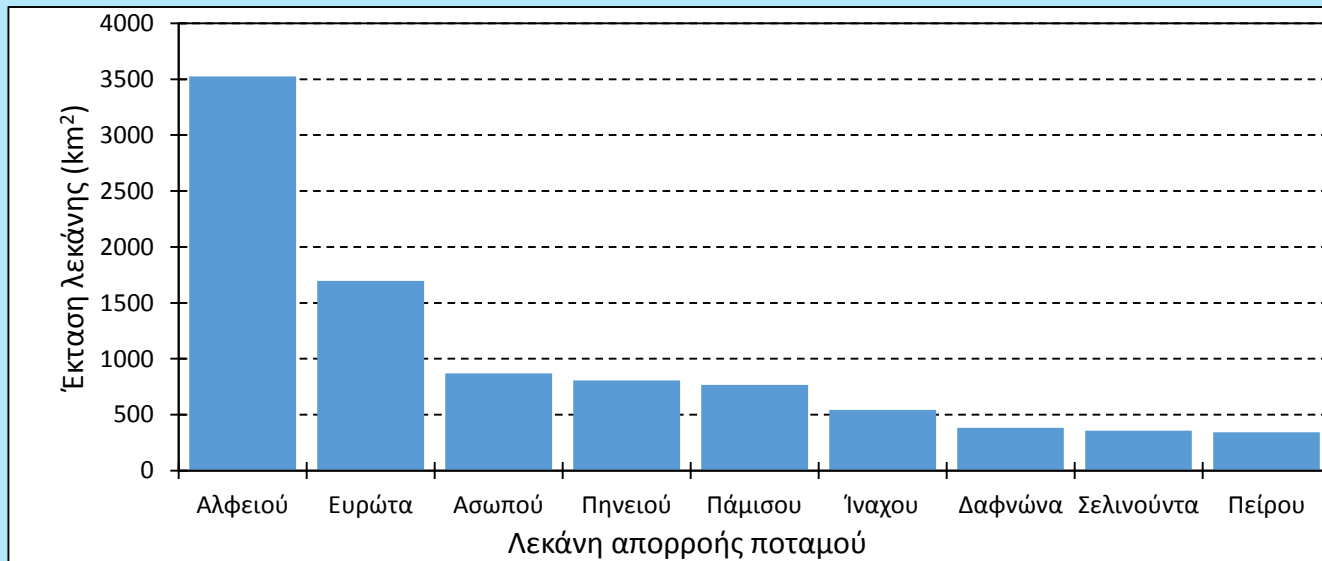
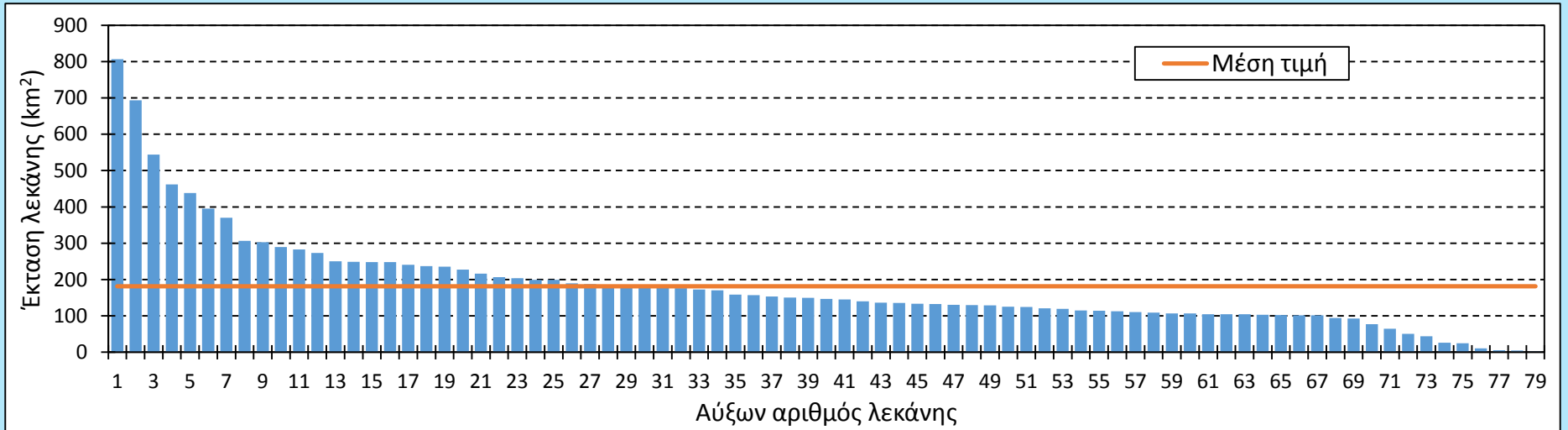


Ενοποίηση λεκανών

Από τις 79 λεκάνες προκύπτουν, με ενοποίηση, 9 μεγάλες λεκάνες.



Εκτάσεις λεκανών απορροής



Ορθολογική μέθοδος

- Αποτελεί το πλέον διαδεδομένο εργαλείο εκτίμησης της παροχής σχεδιασμού μικρής και μεσαίας κλίμακας αντιπλημμυρικών έργων.
- Εκφράζεται από τη σχέση:

$$Q_p = C i A / 3.6$$

- ✓ Q_p παροχή αιχμής της πλημμύρας σε m^3/s
 - ✓ C ο αδιάστατος συντελεστής απορροής
 - ✓ i η μέση (χρονικά και χωρικά) ένταση βροχής σε mm/h
 - ✓ A η έκταση της λεκάνης απορροής σε km^2
- Η περίοδος επαναφοράς της παροχής είναι ίση με την περίοδο επαναφοράς της βροχής.
 - Η ένταση βροχής i υπολογίζεται για διάρκεια ίση με το χρόνο συγκέντρωσης της λεκάνης.

Εκτίμηση συντελεστή απορροής κατά ΟΜΟΕ (2002)

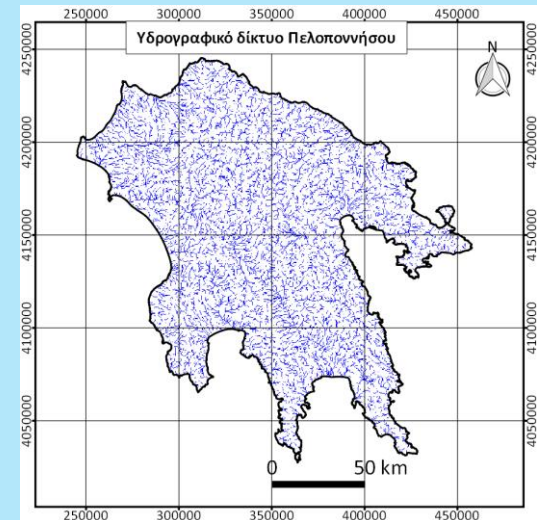
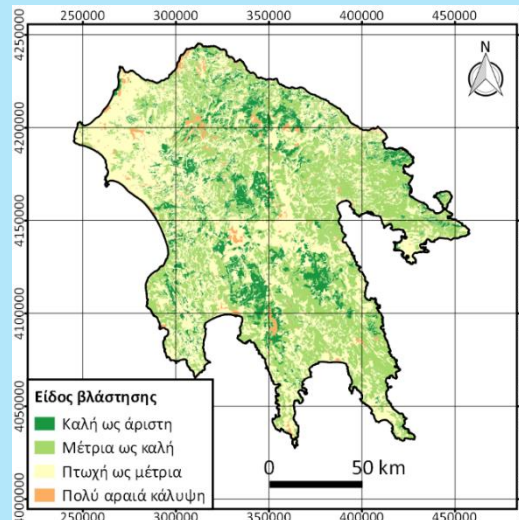
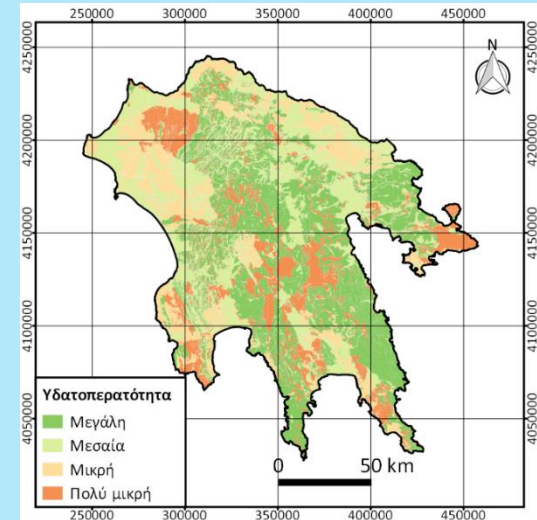
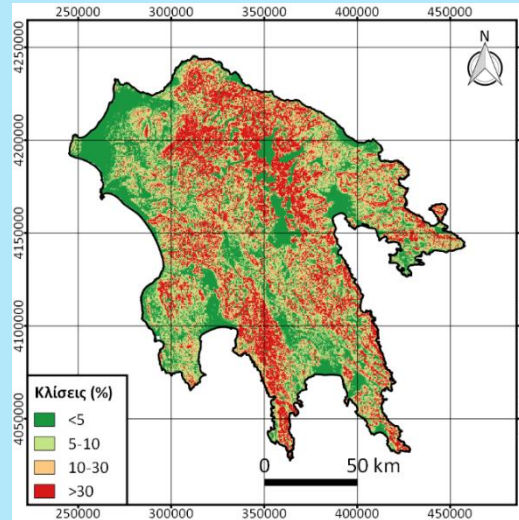
- Υπολογίζεται ως άθροισμα τεσσάρων συνιστωσών.
 - ✓ C_1 (Ανάγλυφο)
 - ✓ C_2 (Διηθητικότητα)
 - ✓ C_3 (Είδος βλάστησης)
 - ✓ C_4 (Αποστραγγιστική ικανότητα εδάφους)

Εκτίμηση επιμέρους συντελεστών απορροής κατά ΟΜΟΕ (2002) για $T = 5-10$ έτη.				
C_1	0.28-0.35: Επικλινές ανάγλυφο, ανώμαλες επιφάνειες μέσες κλίσεις > 30%	0.20-0.28: Λοφώδες ανάγλυφο, μέσες κλίσεις 10-30%	0.14-0.20: Κυματώδες ανάγλυφο, μέσες κλίσεις 5-10%	0.08-0.14: Σχετικά επίπεδο ανάγλυφο, μέσες κλίσεις 0-5%
C_2	0.12-0.16: Μη επηρεαζόμενο κάλυμμα εδάφους, είτε βραχώδες είτε μανδύας λεπτόκοκκου εδάφους αμελητέας διηθητικότητας	0.08-0.12: Βραδεία διηθητικότητα, άργιλοι ή αβαθή παχιά εδάφη χαμηλής διηθητικότητας, ατελώς ή πολύ μικρής αποστραγγιστικότητας	0.06-0.08: Κανονική διηθητικότητα, καλά αποστραγγιζόμενα μικρής ή μεσαίας μακροϋφής εδάφη, αμμώδη παχιά εδάφη, ίλυες και ιλυώδη εδάφη	0.04-0.06: Υψηλή διηθητικότητα, βαθιά άμμος ή άλλο έδαφος που απορροφά νερό, πολύ ελαφριά καλά αποστραγγιζόμενα εδάφη
C_3	0.12-0.16: Βλάστηση που δεν επηρεάζει την απορροή, γυμνό έδαφος ή πολύ αραιά κάλυψη	0.08-0.12: Πτωχή ως μέτρια βλάστηση, καθαρές καλλιέργειες ή πτωχής φυσικής κάλυψης, < 20% επιφάνειας με καλή κάλυψη	0.06-0.08: Μέτρια ως καλή βλάστηση, ≈50% επιφάνειας είναι καλή φυτική γη ή δασώδες, < 50% επιφάνειας είναι καλλιέργειες	0.04-0.06: Καλή ως άριστη βλάστηση, ≈90% της επιφάνειας είναι καλή φυτική γη, δασώδες ή ισοδύναμης κάλυψης
C_4	0.10-0.12: Αμελητέες ταπεινώσεις εδάφους και αβαθείς, μικροί διάδρομοι αποστράγγισης, καθόλου τέλματα	0.08-0.10: Χαμηλή αποθηκευτικότητα, καλά οριζόμενο σύστημα διαδρόμων αποστράγγισης, όχι λιμνάζοντα νερά ή τέλματα	0.06-0.08: Κανονική αποθηκευτικότητα, σημαντικές επιφανειακές ταπεινώσεις, λιμνάζοντα νερά και τέλματα	0.04-0.06: Υψηλή αποθηκευτικότητα, σύστημα αποστράγγισης όχι καλά οριζόμενο, μεγάλος αριθμός πλημμυριζόμενων επιφανειών ή τελμάτων

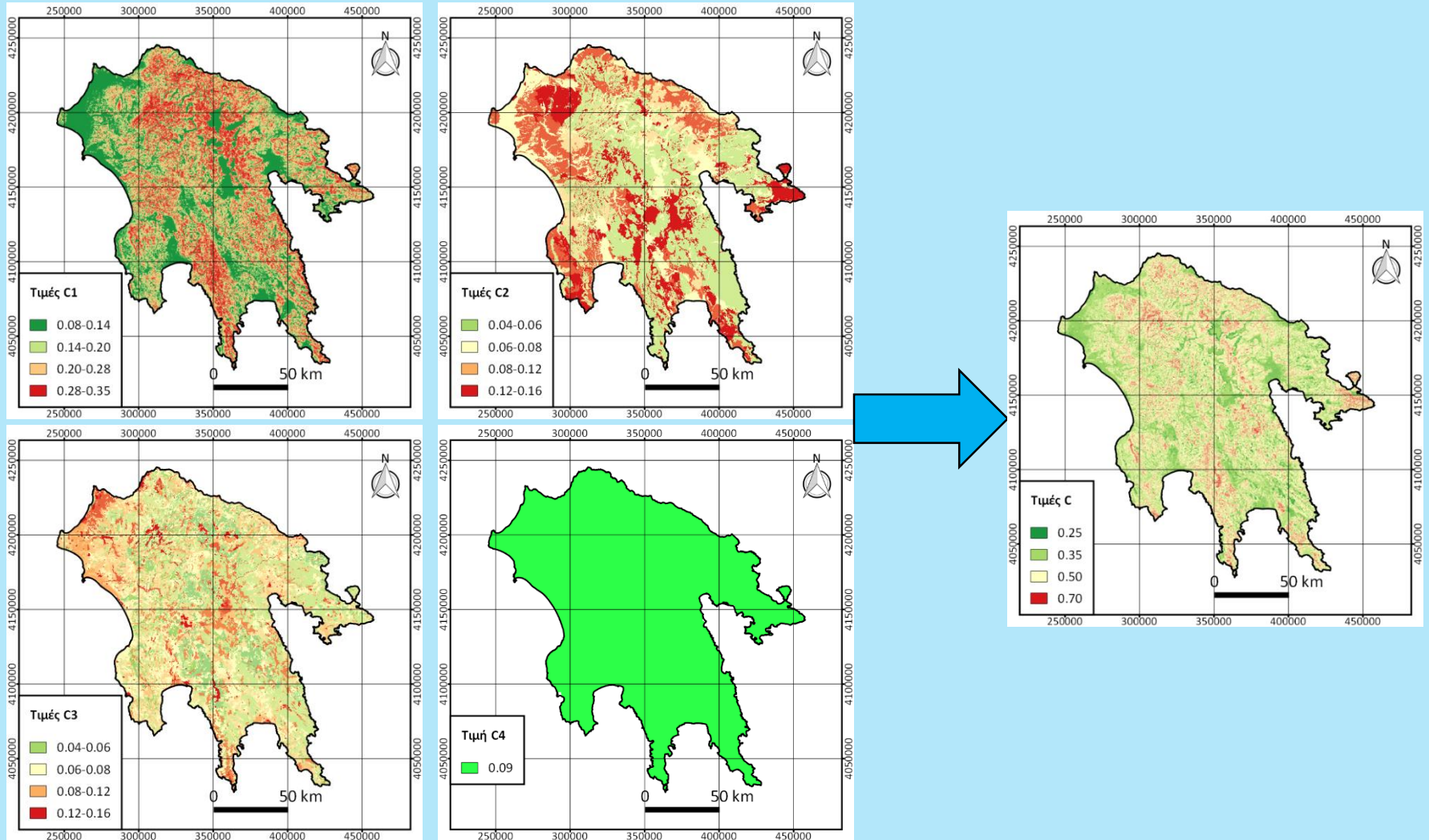
Εκτίμηση συντελεστή απορροής κατά ΟΜΟΕ (2002)

Τέσσερα επίπεδα
γεωγραφικής
πληροφορίας

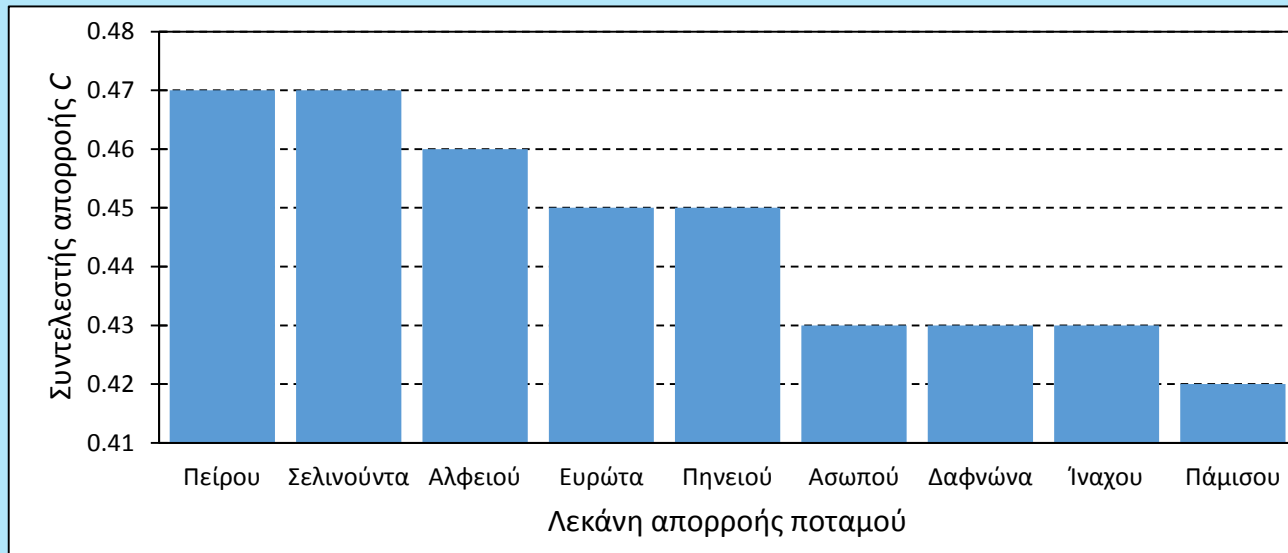
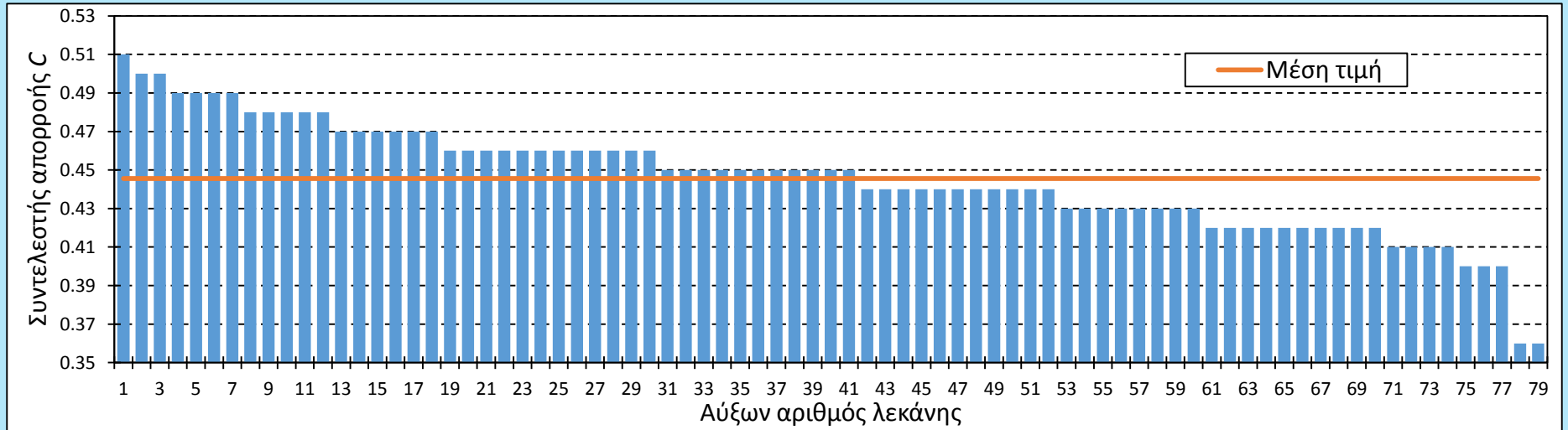
- ✓ Κλίσεις
- ✓ Υδατοπερατότητα
- ✓ Είδος βλάστησης
- ✓ Υδρογραφικό δίκτυο



Εκτίμηση συντελεστή απορροής κατά ΟΜΟΕ (2002)



Συντελεστές απορροής λεκανών



Εκτίμηση χρόνου συγκέντρωσης (ή χρόνου συρροής)

- Χρησιμοποιείται η εμπειρική σχέση του Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\Delta z}}$$

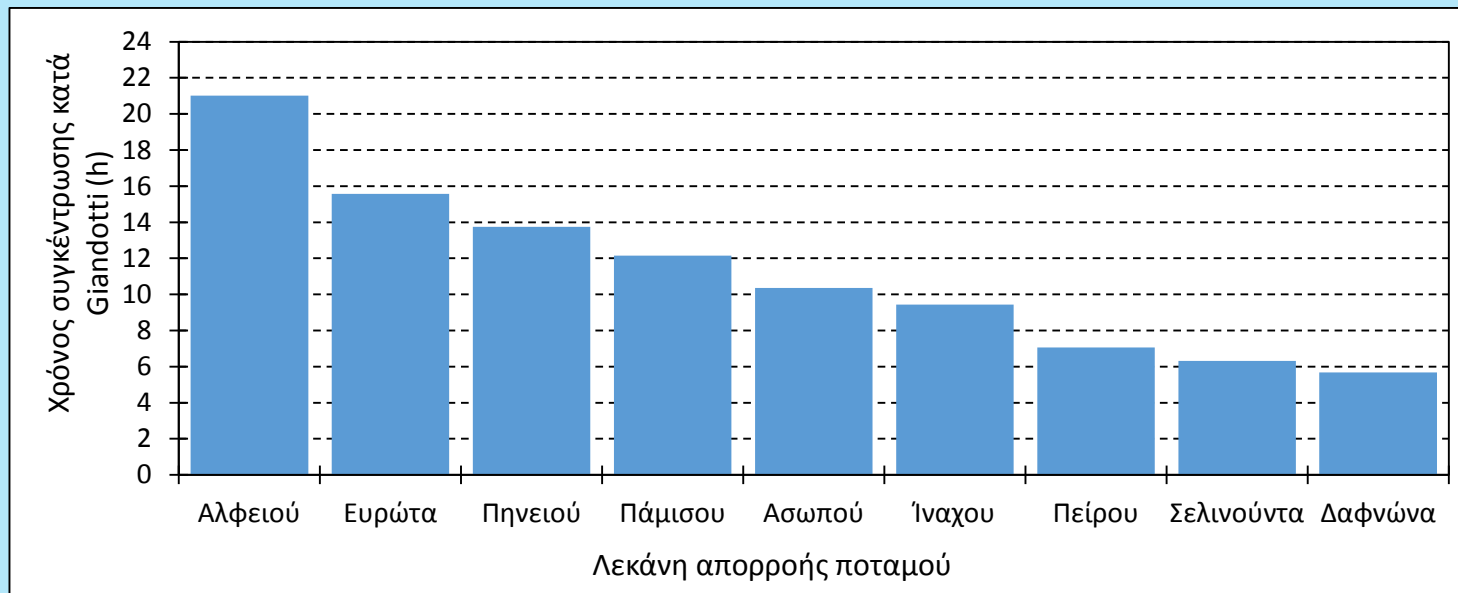
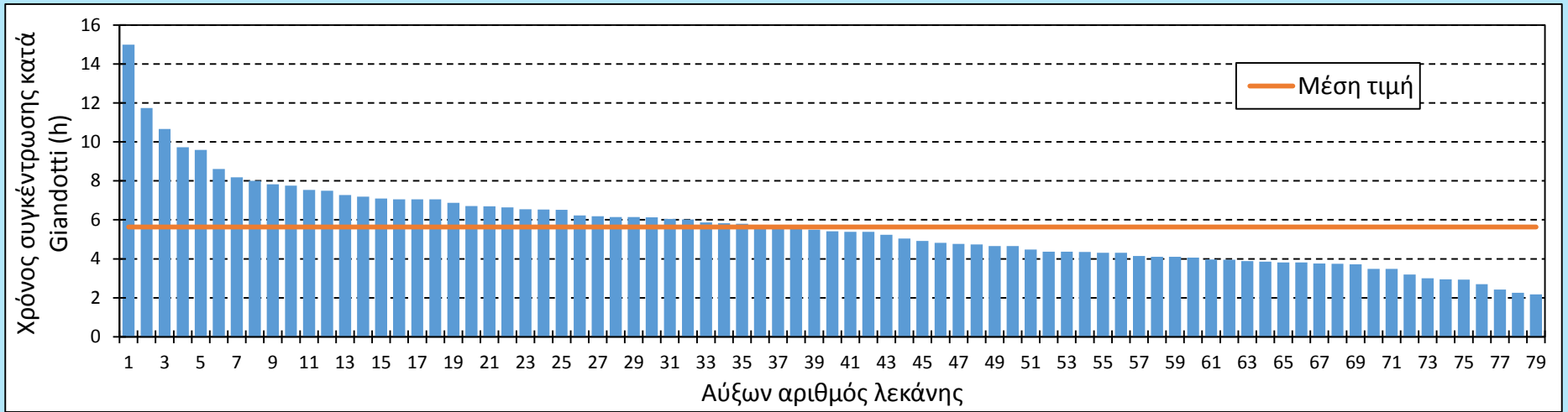
όπου t_c ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης (h), A η επιφάνεια της λεκάνης (km^2), L το μήκος της κύριας μισγάγγειας (km) και Δz η υψομετρική διαφορά του μέσου υψομέτρου της λεκάνης από το υψόμετρο της εξόδου της (m).

- Συσχέτιση του χρόνου συγκέντρωσης με την περίοδο επαναφοράς:

$$t'_c(T) = t_c \sqrt{i(5)/i(T)}$$

όπου $i(5)$ η κρίσιμη ένταση βροχής που αντιστοιχεί σε περίοδο επαναφοράς $T = 5$ έτη και $i(T)$ η ένταση βροχής που αντιστοιχεί στην επιλεγμένη περίοδο επαναφοράς.

Χρόνοι συγκέντρωσης λεκανών



Υπολογισμός κρίσιμης έντασης βροχής

- Χρησιμοποιείται η εξίσωση όμβριων καμπυλών:

$$i(d, T) = \frac{\lambda'(T^\kappa - \psi')}{(1 + d/\theta)^\eta} \quad (\kappa \neq 0)$$

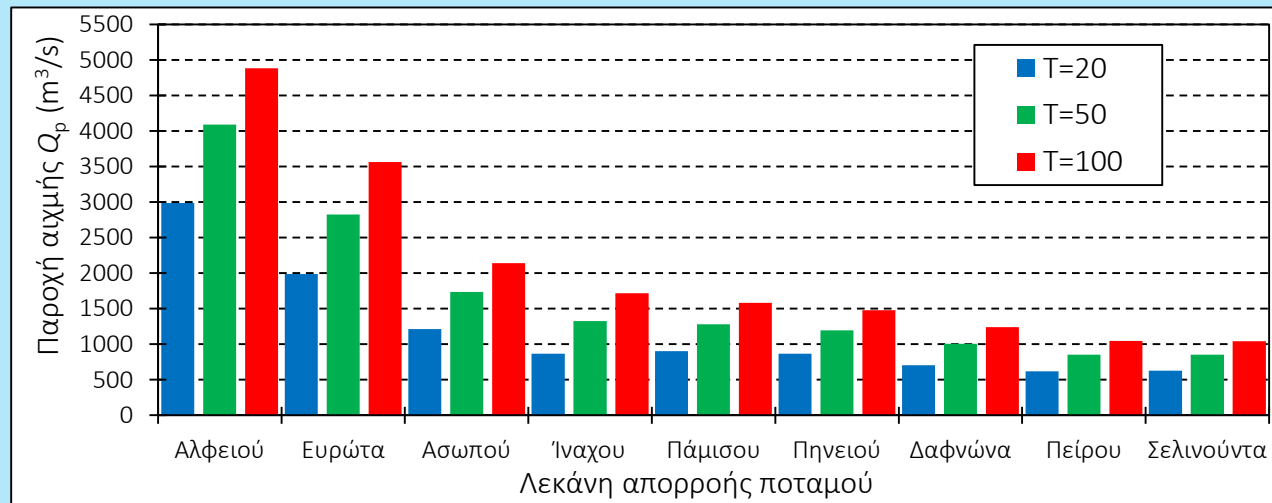
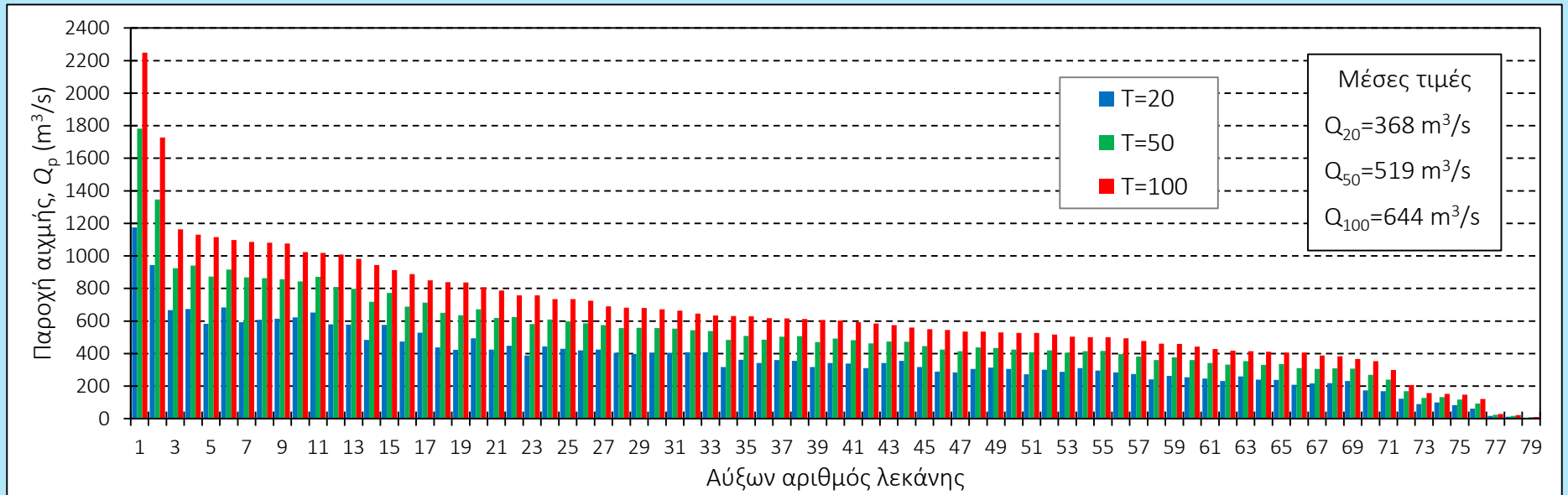
όπου T η περίοδος επαναφοράς σε έτη, d η διάρκεια βροχής σε h και $\kappa, \lambda', \psi', \theta$ και η παράμετροι.

- Επιφανειακή αναγωγή των σημειακών όμβριων καμπυλών:

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

όπου φ ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής (αδιάστατος αριθμός), A η έκταση της λεκάνης σε km² και d η διάρκεια βροχής σε h.

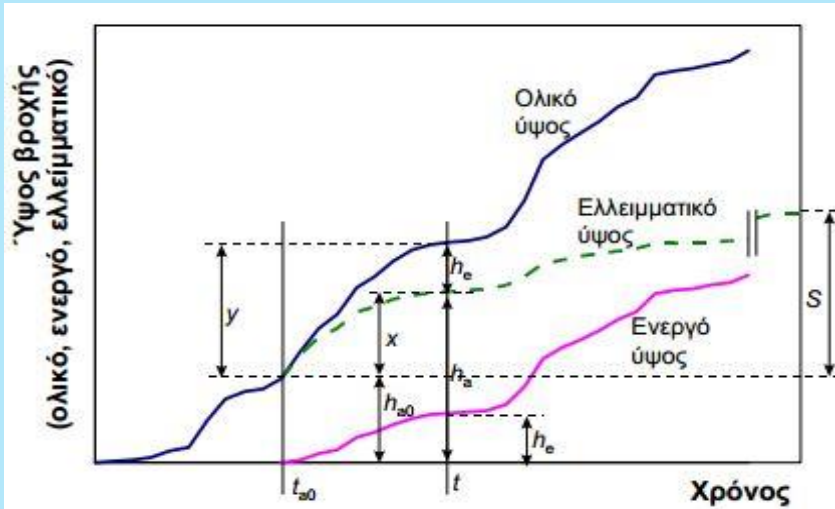
Παροχές αιχμής λεκανών



Συνδυαστική μέθοδος SCS-CN και ΣΜΥ

- Η μέθοδος SCS-CN χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ενεργού βροχόπτωσης, δηλαδή για τον διαχωρισμό των υδρολογικών ελλειμμάτων από το συνολικό υετογράφημα.
- Η μέθοδος του ΣΜΥ μετασχηματίζει (χωρικά και χρονικά) την επιφανειακή ενεργό βροχόπτωση σε πλημμυρογράφημα στην έξοδο της λεκάνης.
- Εφαρμογή στις εννέα μεγάλες λεκάνες της Πελοποννήσου και σε υπολεκάνες των ποταμών Ευρώτα και Πείρου.

Μέθοδος SCS-CN



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

h_e : ενεργός βροχόπτωση (mm)

h : ολική βροχόπτωση (mm)

h_{a0} : αρχικές απώλειες (mm)

S : μέγιστη δυνητική κατακράτηση (mm)

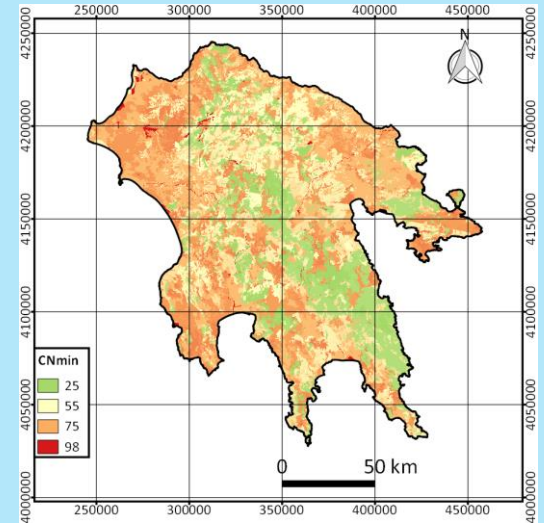
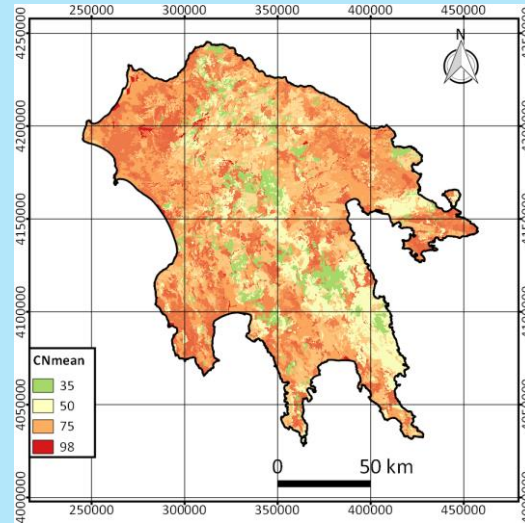
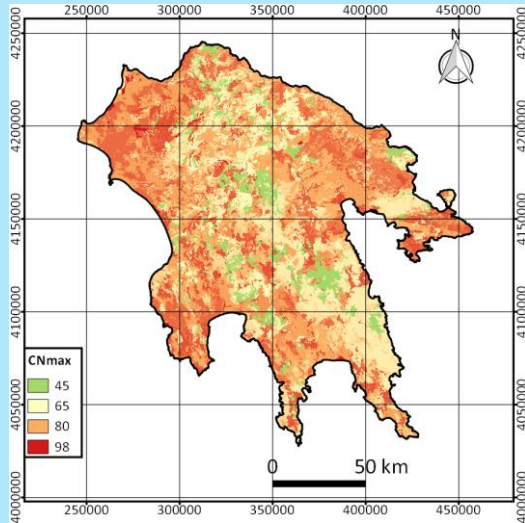
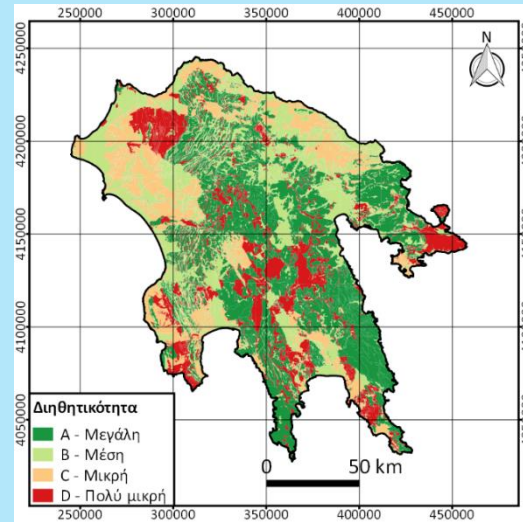
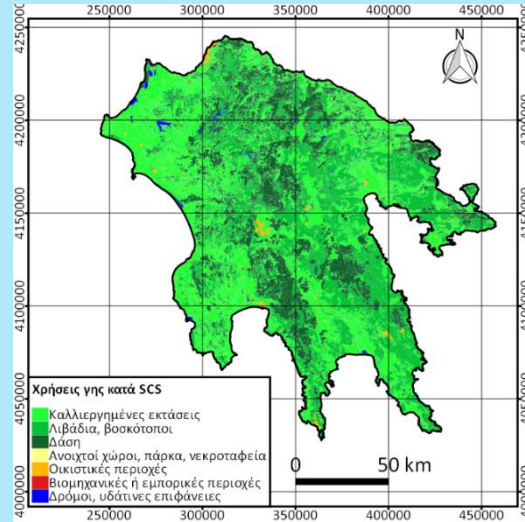
- Επιλέγεται $h_{a0} = 0.20 S \rightarrow S$ μοναδική παράμετρος της μεθόδου.
- Σύνδεση της παραμέτρου S με τον αριθμό καμπύλης απορροής CN:

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

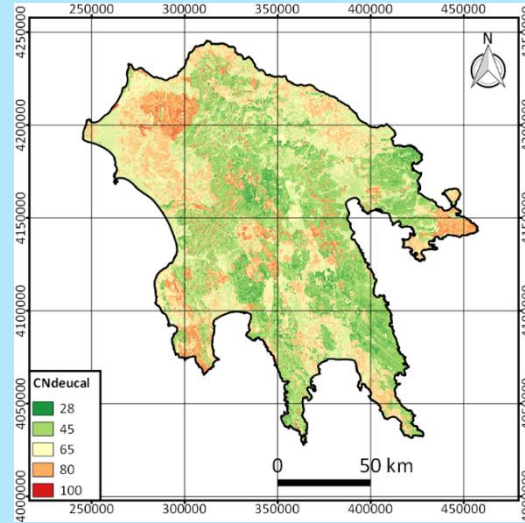
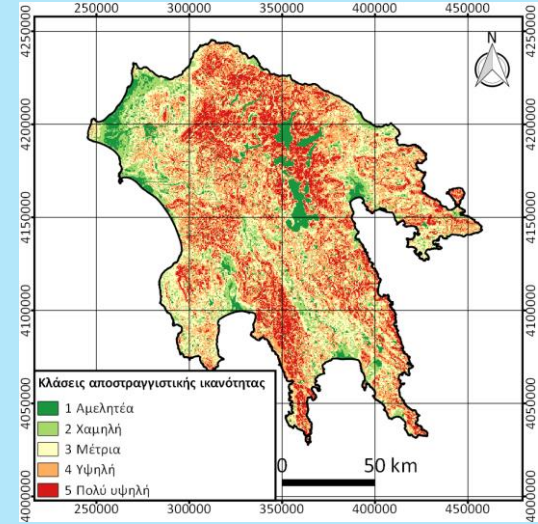
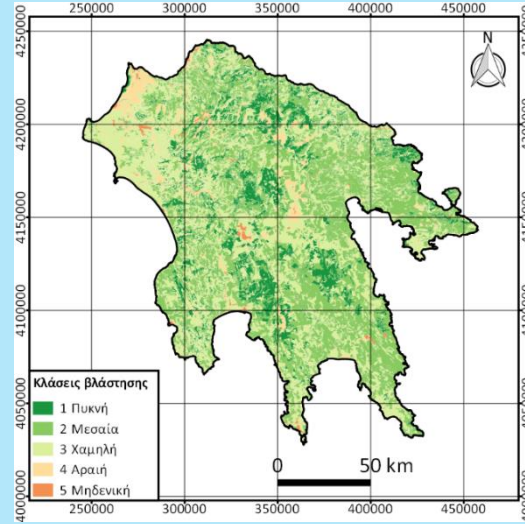
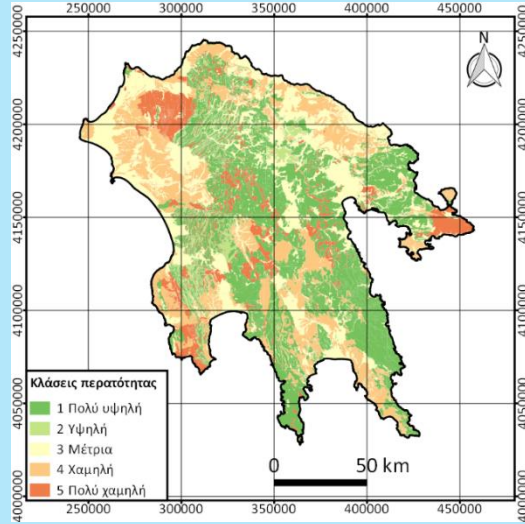
Αριθμός καμπύλης απορροής CN

- Παίρνει τιμές από 0 (στην πραγματικότητα από 25-28 και πάνω) μέχρι 100 (στα υδάτινα σώματα).
- Είναι συνάρτηση τριών στοιχείων.
 - Συνθήκες εδάφους (τέσσερις ομάδες διαπερατότητας).
 - Χρήσεις γης.
 - Προηγούμενες συνθήκες εδαφικής υγρασίας (ξηρές, μέσες, υγρές).
- Υπολογίστηκαν τέσσερις τιμές του CN για μέσες συνθήκες υγρασίας.
 - CN_{max} , CN_{mean} , CN_{min} σύμφωνα με τους πίνακες της SCS.
 - CN_{deucal} σύμφωνα με το ερευνητικό έργο ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ.

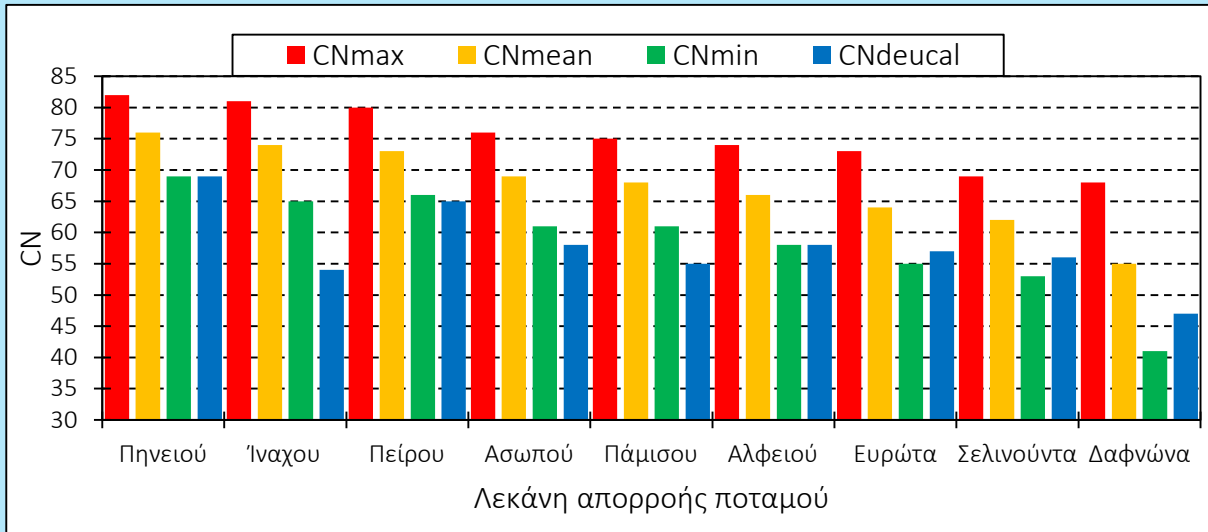
Υπολογισμός CN σύμφωνα με πίνακες της SCS



Υπολογισμός CN σύμφωνα με το έργο ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ

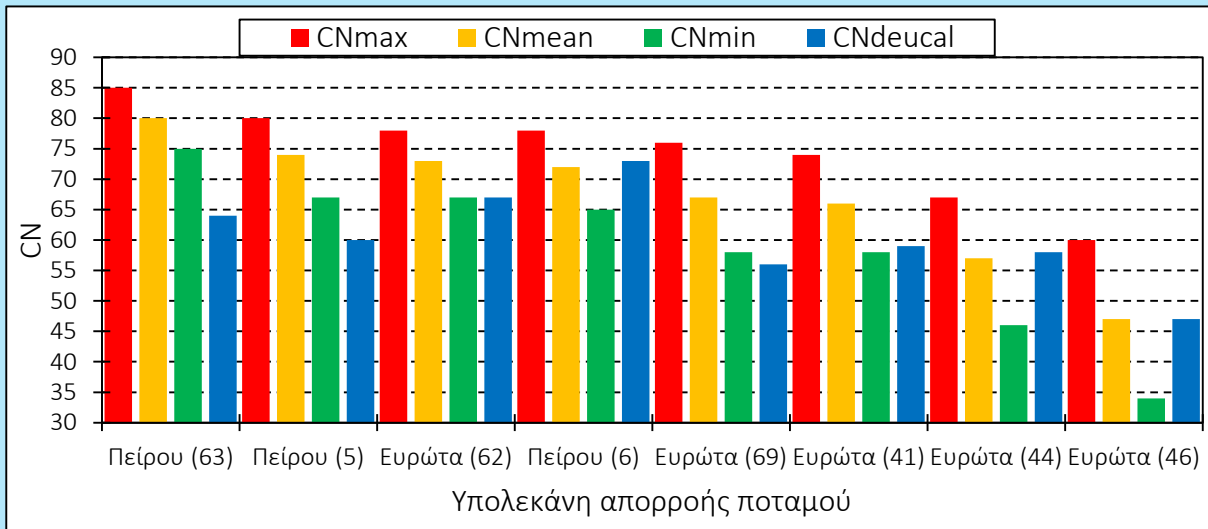


Αριθμοί καμπύλης απορροής λεκανών



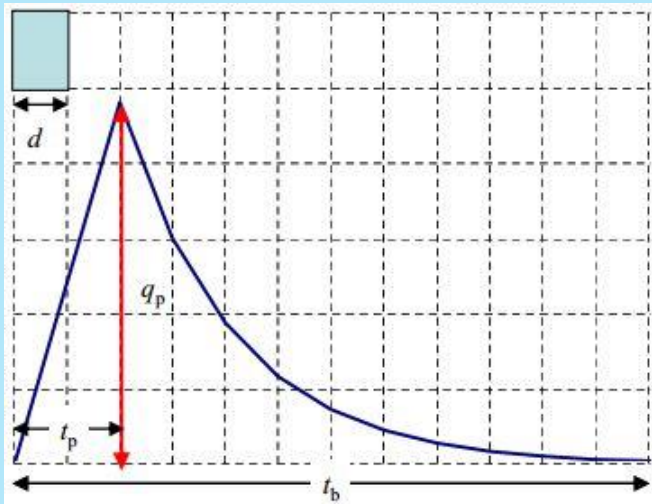
Για κάθε λεκάνη προκύπτει:

- Η μεγαλύτερη τιμή του CN αντιστοιχεί στην τιμή CN_{max} και η μικρότερη στην τιμή CN_{min} ή CN_{deucal} .
- Οι διαφορές του CN κυμαίνονται από 11 έως 27 μονάδες.



Παραμετρικό ΣΜΥ

- Εφαρμόζεται ένα παραμετρικό ΣΜΥ διάρκειας βροχής $d = 1$ h, το οποίο περιλαμβάνει ένα γραμμικό ανοδικό κλάδο και έναν αρνητικά εκθετικό καθοδικό κλάδο.



Χρόνος ανόδου: $t_p = d/2 + \beta t_c$

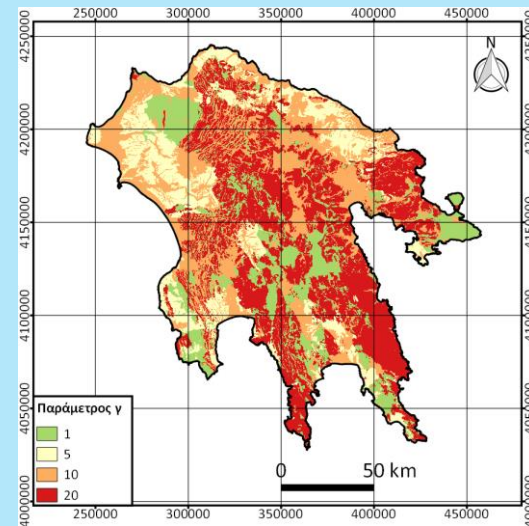
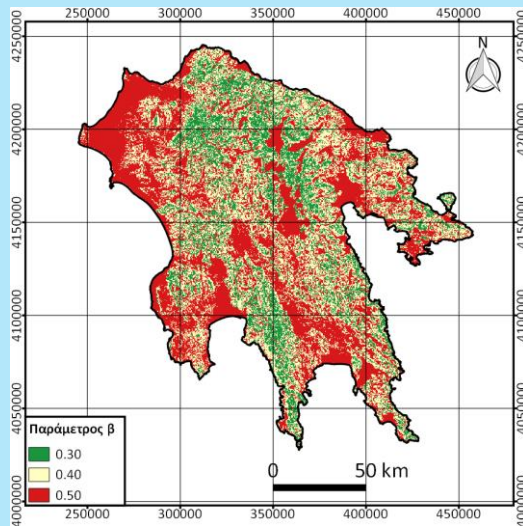
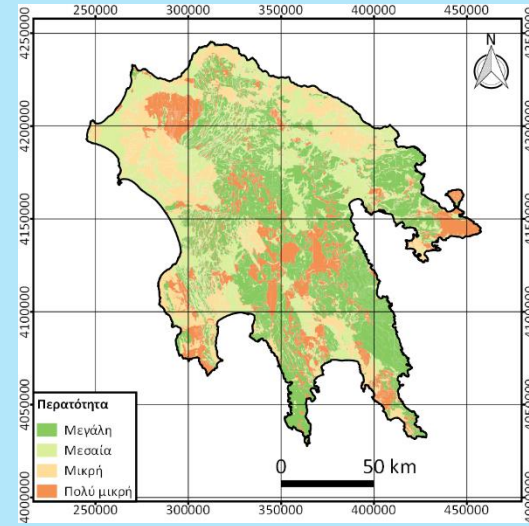
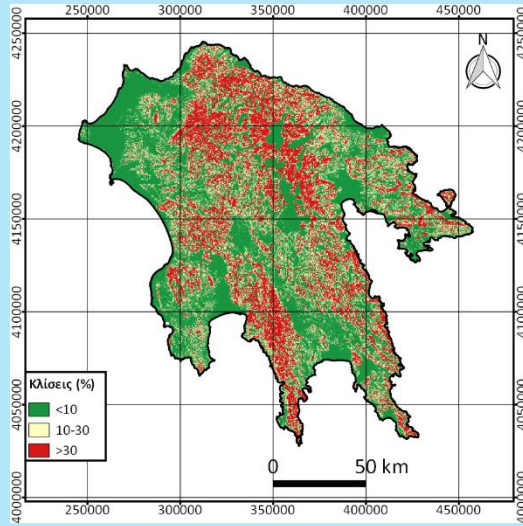
Χρόνος βάσης: $t_b = d + \gamma t_c$

όπου t_c ο χρόνος συγκέντρωσης
κατά Giandotti

και β, γ παράμετροι με $0 < \beta < 1$
και $\gamma \geq 1$.

- Η παράμετρος β προσδιορίζεται με βάση την κλίση.
- Η παράμετρος γ προσδιορίζεται με βάση την περατότητα.

Παράμετροι β , γ του ΣΜΥ

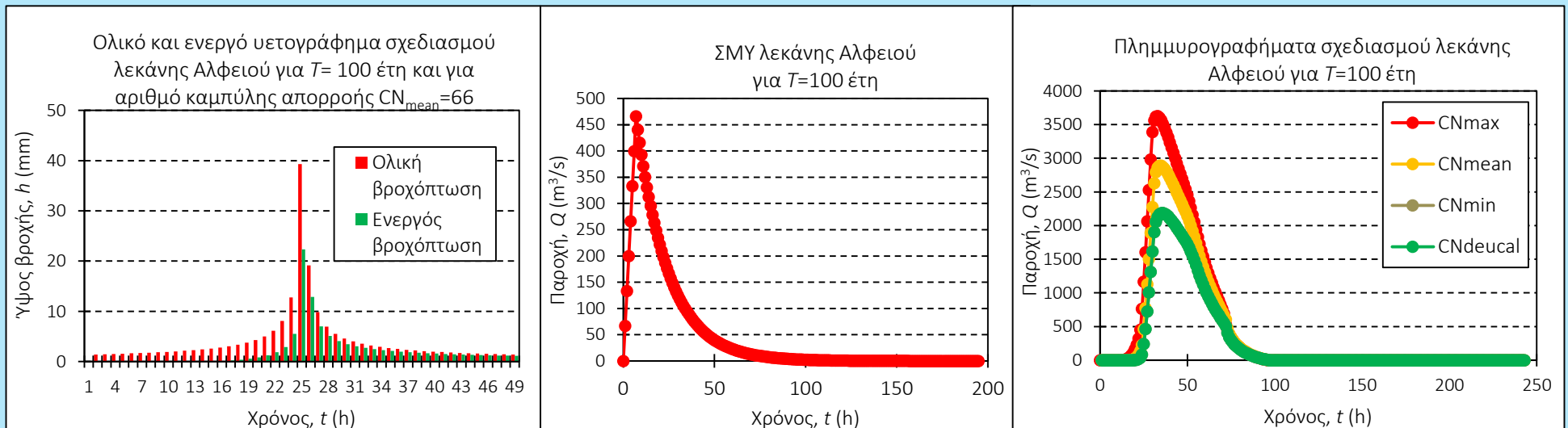


Υετογραφήματα σχεδιασμού

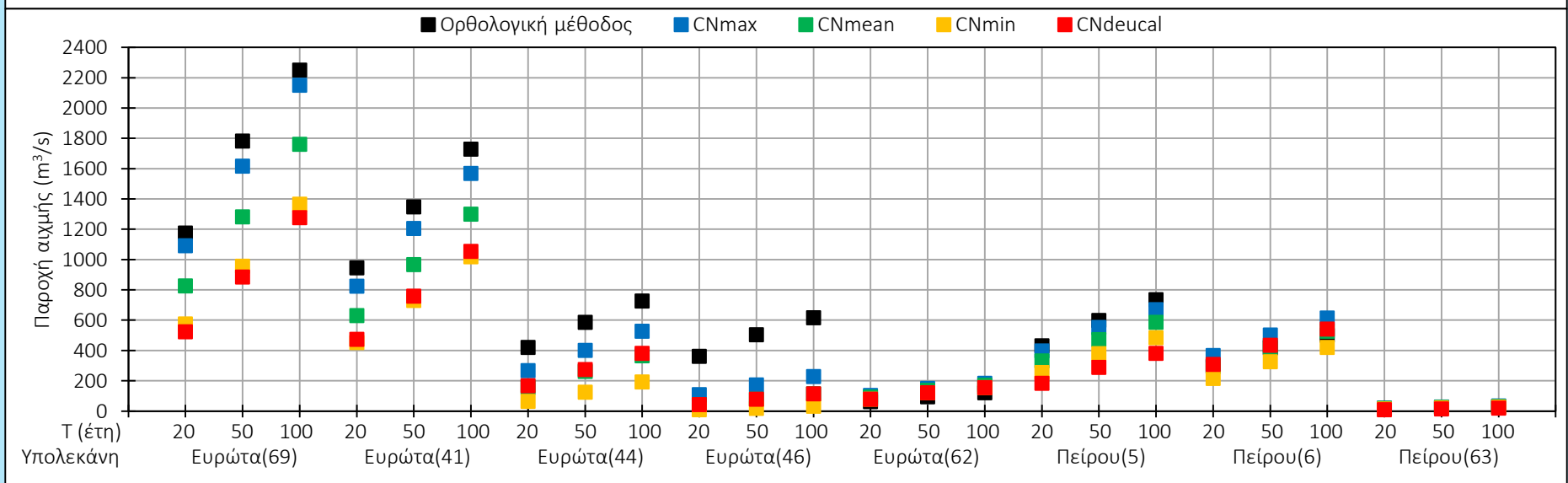
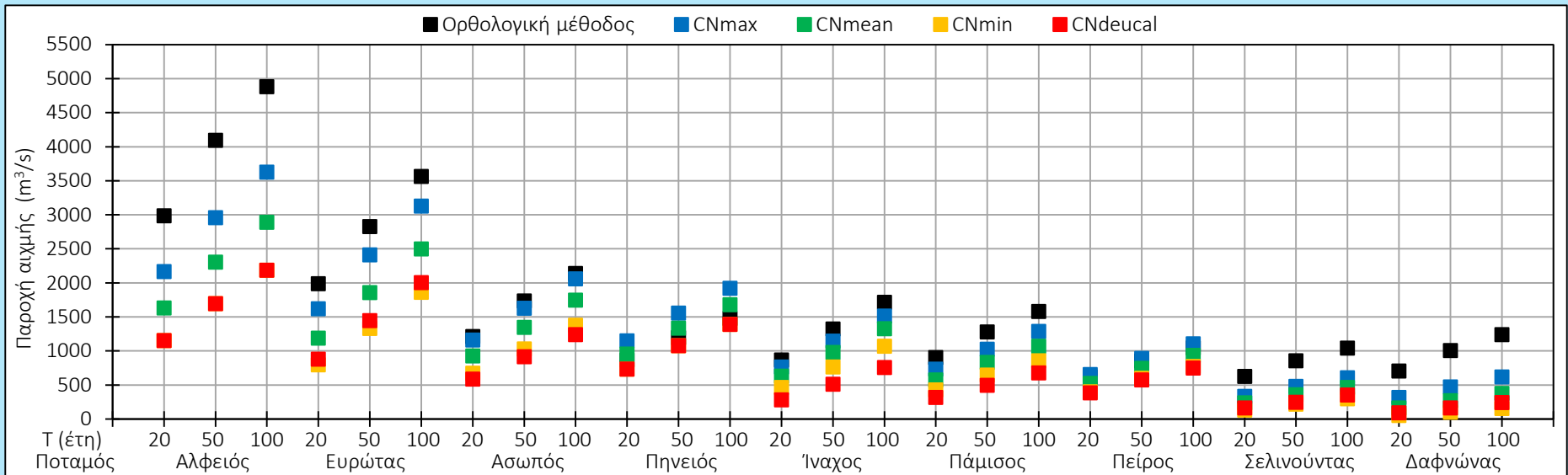
- Η διάρκεια των υετογραφημάτων επιλέχθηκε ίση με $D = 48$ h.
- Η χρονική διακριτότητα της βροχόπτωσης ορίστηκε ίση με $\Delta t = 1$ h.
- Για τη χρονική κατανομή του συνολικού ύψους βροχής χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των εναλλασσόμενων μπλοκ.

Πλημμυρογραφήματα σχεδιασμού

Παραγωγή πλημμυρογραφημάτων σχεδιασμού των λεκανών.



Παροχές αιχμής των λεκανών



Συμπεράσματα

- Οι παροχές αιχμής παρουσιάζουν πολύ μεγάλο εύρος διακύμανσης τόσο στις εννέα λεκάνες της περιοχής μελέτης, όσο και στις υπολεκάνες των ποταμών Ευρώτα και Πείρου.
- Γενικά, για κάθε λεκάνη και για κάθε περίοδο επαναφοράς, η παροχή αιχμής παρουσιάζει ένα εύρος διακύμανσης με τη μεγαλύτερη τιμή να αντιστοιχεί στην ορθολογική μέθοδο και τη μικρότερη στη συνδυαστική εφαρμογή της μεθόδου CN-ΣΜΥ, για αριθμό καμπύλης απορροής CN_{min} ή CN_{deucal} .
- Σε ορισμένες λεκάνες και υπολεκάνες η μεγαλύτερη τιμή της παροχής αιχμής προέκυψε από τη μέθοδο SCS-CN και ΣΜΥ για αριθμό καμπύλης απορροής CN_{max} . Αυτό αποδίδεται στις μικρές τιμές της παραμέτρου γ του ΣΜΥ και τις υψηλές τιμές του CN που δόθηκαν σε αυτές τις περιπτώσεις.

Συμπεράσματα (συνέχεια)

- Ο λόγος της μεγαλύτερης προς τη μικρότερη τιμή του εύρους διακύμανσης για κάθε μέθοδο και περίοδο επαναφοράς κυμαίνεται από 1.4 έως 4.7 στις εννέα λεκάνες, και από 1.5 έως 6.5 στις υπολεκάνες των ποταμών Ευρώτα και Πείρου.
- Όσο μεγαλώνει η περίοδος επαναφοράς τόσο μικραίνει το εύρος διακύμανσης του λόγου της μεγαλύτερης προς τη μικρότερη τιμή της παροχής αιχμής, αφού οι τιμές της μεθόδου CN-ΣΜΥ πλησιάζουν τις τιμές της ορθολογικής.
- Το βασικό συμπέρασμα είναι ότι η εκτίμηση των πλημμυρικών παροχών ενέχει μεγάλη αβεβαιότητα, η οποία οφείλεται στη μεγάλη μεταβλητότητα των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται στις διάφορες μεθόδους.

**Ευχαριστώ πολύ για την
προσοχή σας**