



Υδρομετεωρολογία – Υδρολογία και Κλιματική Αλλαγή

**Ξαφνικές ή αιφνίδιες πλημμύρες σε
χειμαρρικά υδατορεύματα και
υδρολογικές λεκάνες με ελλιπή
δεδομένα – οριοθέτηση χειμαρρικού
υδατορεύματος**

Συντονιστής: Καθ. Παναγιώτης Αγγελίδης
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, ΔΠΘ

Διδάσκων: Επίκ. Καθηγητής Γεώργιος
Παπαϊωάννου

Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος
και Φυσικών Πόρων, ΔΠΘ

Εισαγωγικές έννοιες

- Πλημμύρα ονομάζεται η κατάσταση κατά την οποία περιοχές, που συνήθως είναι στεγνές, καλύπτονται από ποσότητες νερού για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Οι πλημμυρικοί όγκοι νερού προέρχονται από
 - τη βροχόπτωση ή/και την τήξη του χιονιού,
 - την υπερχείλιση ποταμού,
 - την εισροή της θάλασσας σε παράκτιες περιοχές, και
 - τη θραύση φράγματος.
- Οι πλημμύρες είναι φυσικά φαινόμενα (αφού συνήθως προέρχονται από μετεωρολογικές καταστάσεις), όμως συμβαίνουν όταν η χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης (φυσικού ή ανθρωπογενούς), δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση. Τα φυσικά φαινόμενα που προκαλούν πλημμύρες δεν μπορούν να ελεγχθούν, αλλά οι γεωλογικές, γεωμορφολογικές και εδαφολογικές συνθήκες της λεκάνης απορροής είναι δυνατόν να τροποποιηθούν με την ανθρώπινη επέμβαση.

Εισαγωγικές έννοιες

- Οι πλημμύρες προέρχονται από την αλληλεπίδραση:
 - φυσικών φαινομένων (βροχόπτωση), των συνθηκών της λεκάνης απορροής και τη χωρητικότητα του συστήματος αποστράγγισης (φυσικού ή ανθρωπογενούς)
- 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:
 - a) την παρουσία αντιπλημμυρικών έργων,
 - b) την αλλοίωση του φυσικού περιβάλλοντος που έχει αποτέλεσμα την αύξηση του πλημμυρικού όγκου και τη μείωση του χρόνου συρροής των νερών και
 - c) την ένταση της ανθρώπινης δραστηριότητας σε περιοχές που αποτελούν πεδία πλημμυρών με κάποια πιθανότητα.

Εισαγωγικές έννοιες

Ξαφνηκές ή αιφνίδιες πλημμύρες

- Σύνηθες τύπος πλημμύρας στις περιοχές της Μεσογείου
- Καταστρεπτικές συνέπιες σε υποδομές
- Σχετίζονται με υψηλά ποσοστά θανάτων
- Συνήθως έχουν υψηλά ποσοστά στερεοπαροχής (debris flow)
- Συνήθως συμβαίνουν σε μικρές και μέτριες λεκάνες απορροής που έχουν έντονο ανάγλυφο με απότομες κλίσεις.
- Τις συναντάμε κυρίως σε χειμαρρικά υδατορεύματα.

Κύρια χαρακτηριστικά των αιφνίδιων πλημμυρών είναι:

- Μικρός χρόνος συγκέντρωσης, δηλ. ταχεία συσσώρευση και απελευθέρωση της απορροής (απότομη άνοδο της στάθμης).
- Μεγάλος ύψος βροχόπτωσης σε μικρό χρονικό διάστημα.
- Υψηλή ένταση βροχόπτωσης.

Πέρα από τους παραπάνω παράγοντες, πολύ σημαντικό ρόλο στις δημιουργία αιφνίδιων πλημμυρών παίζει ο ρόλος της ύπαρξης ή όχι της βλάστησης, το γεωλογικό υπόθεμα και η υγρασιακή κατάσταση της λεκάνης απορροής.

Ξαφνικές ή αιφνίδιες πλημμύρες σε χειμαρρικά υδατορεύματα και υδρολογικές λεκάνες με ελλιπή δεδομένα – οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος

- | | |
|--|---|
| <p>■ Τυπικά βήματα για την αναπαραγωγή ή και πρόγνωση πλημμυρικού γεγονότος:</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Ανάλυση ή και εκτίμηση μετεωρολογικών δεδομένων (χρήση δεδομένων μετεωρολογικών σταθμών ή χρήση λογισμικών μετεωρολογικής πρόγνωσης ή επιφανειακών μετρήσεων [radar, κτλ]) ■ Επιφανειακή αναγωγή βροχόπτωσης και χωρική κατανομή της (thiessen, κτλ), εκτίμηση έντασης βροχής για το χρόνο συγκέντρωσης ■ Υπολογισμός υδρολογικών απωλειών (Συντελεστής απορροής, δείκτης ϕ, μέθοδος SCS-CN) ■ Εκτίμηση υδρογραφήματος ή πλημμυρικής αιχμής και όγκου νερού (ΣΜΥΓ, ΜΥΓ-Rational, εμπειρικές σχέσεις, υδρολογική προσομοίωση κτλ). ■ Διόδευση (Υδραυλική προσομοίωση με χρήση 1D, 2D, συζευγμένου 1D/2D, 3D Υδρολογική προσομοίωση) ■ Αναπαράσταση του πλημμυρικού γεγονότος και της ζώνης κατάκλισης | <p>■ Τυπικά βήματα για την οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος (Λουκάς, 2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Επιλογή Περιόδου Επαναφοράς ■ Σχέσεις Έντασης – Διάρκειας – Συχνότητας Βροχών (IDF Analysis) (Όμβριες Καμπύλες – Κατασκευή και χρήση) ■ Επιφανειακή αναγωγή βροχόπτωσης και χωρική κατανομή της (thiessen, κτλ), εκτίμηση έντασης βροχής για το χρόνο συγκέντρωσης ■ Υπολογισμός υδρολογικών απωλειών (Συντελεστής απορροής, δείκτης ϕ, μέθοδος SCS) ■ Εκτίμηση υδρογραφήματος ή πλημμυρικής αιχμής και όγκου νερού (ΣΜΥΓ, ΜΥΓ-Rational, εμπειρικές σχέσεις, υδρολογική προσομοίωση κτλ). ■ Διόδευση (Υδραυλική προσομοίωση με χρήση 1D, 2D, συζευγμένου 1D/2D, 3D, Υδρολογική προσομοίωση) ■ Καθορισμός ζώνης κατάκλισης πλημμύρας-οριοθέτηση υδατορεύματος. |
|--|---|

Αναπαραγωγή ή και πρόγνωση πλημμυρικού γεγονότος

Τυπικά βήματα για την αναπαραγωγή ή και πρόγνωση πλημμυρικού γεγονότος:

- Ανάλυση ή και εκτίμηση μετεωρολογικών δεδομένων (χρήση δεδομένων μετεωρολογικών σταθμών ή χρήση λογισμικών μετεωρολογικής πρόγνωσης ή επιφανειακών μετρήσεων [radar, κτλ])

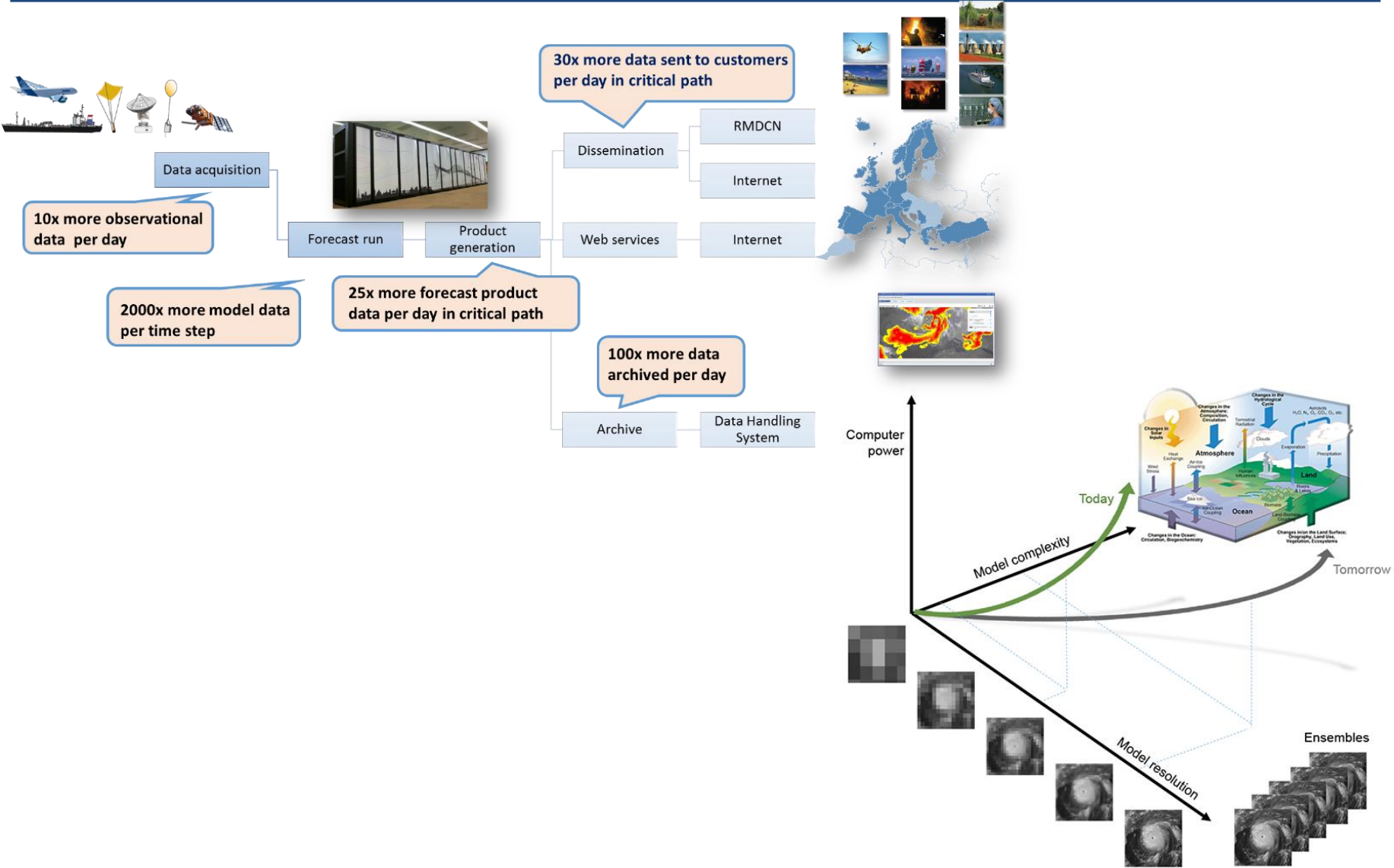
- Διερεύνηση ύπαρξης δεδομένων κατακρημνισμάτων.

Τα δεδομένα μπορεί να είναι από μετεωρολογικούς σταθμούς, από μετεωρολογικά radar ή/και από δορυφορικά δεδομένα. Σε περίπτωση ύπαρξης των παραπάνω δεδομένων γίνεται χρήση τους, μετά από προ-επεξεργασία όπου απαιτείται, στα επόμενα βήματα για την αναπαραγωγή ή και πρόγνωση πλημμυρικού γεγονότος.

- Σε περίπτωση απουσίας δεδομένων βροχόπτωσης μπορεί να γίνει χρήση των:

1. Πλεγματικά δεδομένα από αριθμητικές προσομοιώσεις με αφομοίωση παρατηρήσεων (reanalysis data).
2. Πλεγματικά δεδομένα από προγνωστικές αριθμητικές προσομοιώσεις. Είναι τα δεδομένα που εξάγονται από τις προσομοιώσεις (πχ. Weather Research and Forecasting (WRF) Model).

Τυπικά βήματα για την αναπαραγωγή ή και πρόγνωση πλημμυρικού γεγονότος:



Οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος

Τυπικά βήματα για την οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος :

Επιλογή περιόδου επαναφοράς

Περίοδος επαναφοράς, T μιας δεδομένης τιμής x της τυχαίας μεταβλητής X είναι ο μέσος αριθμός χρονικών διαστημάτων (εν προκειμένω υδρολογικών ετών) που μεσολαβεί μεταξύ 2 διαδοχικών εμφανίσεων της τυχαίας μεταβλητής με μέγεθος μεγαλύτερο ή ίσο της δεδομένης τιμής x .

- Αντιστοιχία περιόδου επαναφοράς πλημμύρας και περιόδου επαναφοράς βροχής σχεδιασμού (NERC, UK) ή $TQ=Tr$

$$T_{\text{πλημμύρας}} \neq T_{\text{βροχόπτωσης}}$$

Αντιστοιχία περιόδου επαναφοράς πλημμύρας και περιόδου επαναφοράς βροχής σχεδιασμού (σε έτη)									
Περίοδος επαναφοράς πλημμύρας						$(T_{\text{πλημμύρας}})$			
2,33	5	10	20	30	50	100	250	500	1000
					↕	↕			
Περίοδος βροχής σχεδιασμού						$(T_{\text{βροχόπτωσης}})$			
2	8	17	35	50	81	140	300	520	1000

- **Σχέσεις Έντασης – Διάρκειας – Συχνότητας Βροχών (IDF Analysis) (Όμβριες Καμπύλες – Κατασκευή και χρήση)**
- Προσαρμόζεται μία στατιστική κατανομή ακραίων τιμών π.χ. EVI (Gumbel), Weibull, Log Pearson III, κτλ. Η κατανομή εφαρμόζεται σε κάθε διάρκεια ξεχωριστά. Εξετάζεται αν η κατανομή προσαρμόζεται επαρκώς στα δεδομένα.
- Κατασκευή διαγράμματος Ύψους – Διάρκειας – Συχνότητας βροχόπτωσης. Για κάθε διάρκεια γίνεται εκτίμηση της βροχόπτωσης για περιόδους επαναφοράς 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 και 1000 χρόνια. Οι τιμές αυτές για όλους τους σταθμούς τοποθετούνται σε ένα διάγραμμα με άξονα τετμημένων τη διάρκεια και τεταγμένων τη βροχόπτωση. Ενώνονται με καμπύλες τα σημεία που αντιστοιχούν στην ίδια περίοδο επαναφοράς.

Τυπικά βήματα για την οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος :

- Σχέσεις Έντασης – Διάρκειας – Συχνότητας Βροχών (IDF Analysis) (Όμβριες Καμπύλες – Κατασκευή και χρήση)
- Οι αναλυτικές σχέσεις μεταξύ της έντασης της βροχόπτωσης και της διάρκειας για δεδομένη περίοδο επαναφοράς T της μορφής :

$$i = \frac{kT^{\alpha}}{(D + b)^m}$$

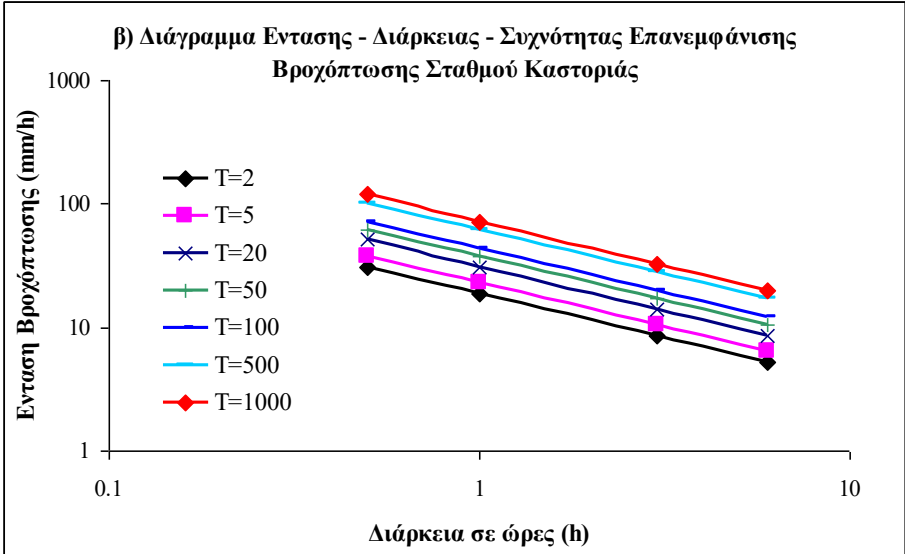
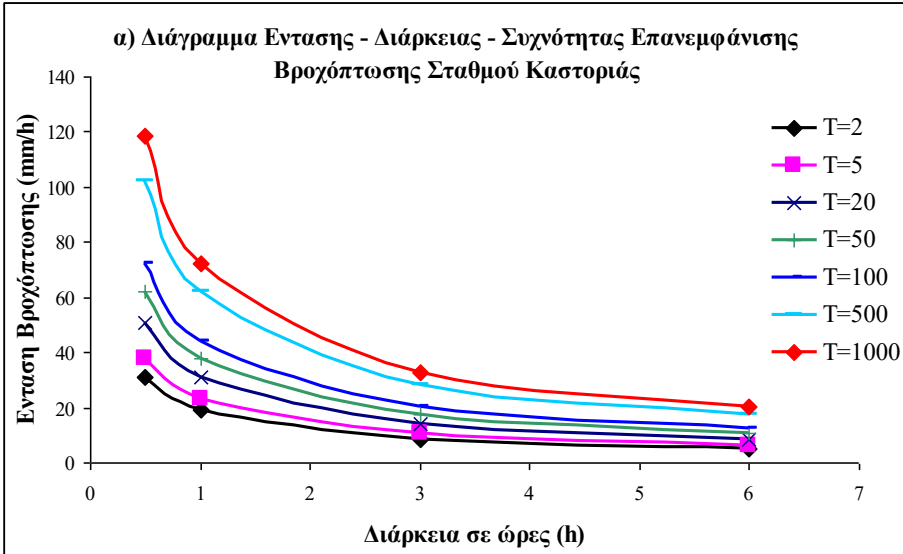
i : ένταση βροχόπτωσης (mm/h), D : διάρκεια της βροχής (h), α, k, b, m : σταθερές.

- Η απόκτηση των σχέσεων για πολλές περιόδους επαναφοράς δίνουν τις όμβριες καμπύλες (i , D , T).
- Οι όμβριες καμπύλες είναι ευθείες σε διπλό λογαριθμικό χαρτί με παράμετρο το T και άξονες i και $(D+b)$.

$$\log i = \log(kT^{\alpha}) - m \log(D + b)$$

Τυπικά βήματα για την οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος :

- Σχέσεις Έντασης – Διάρκειας – Συχνότητας Βροχών (IDF Analysis) (Όμβριες Καμπύλες – Κατασκευή και χρήση)
- Καμπύλες έντασης – διάρκειας – συχνότητας βροχόπτωσης (Intensity-Duration-Frequency, IDF curves)
- Όμβριες καμπύλες διάρκειας – έντασης βροχοπτώσεων, για διάφορες περιόδους επαναφοράς, του σταθμού Καστοριάς: α) κοινό γραμμικό διάγραμμα, και β) λογαριθμικό διάγραμμα.

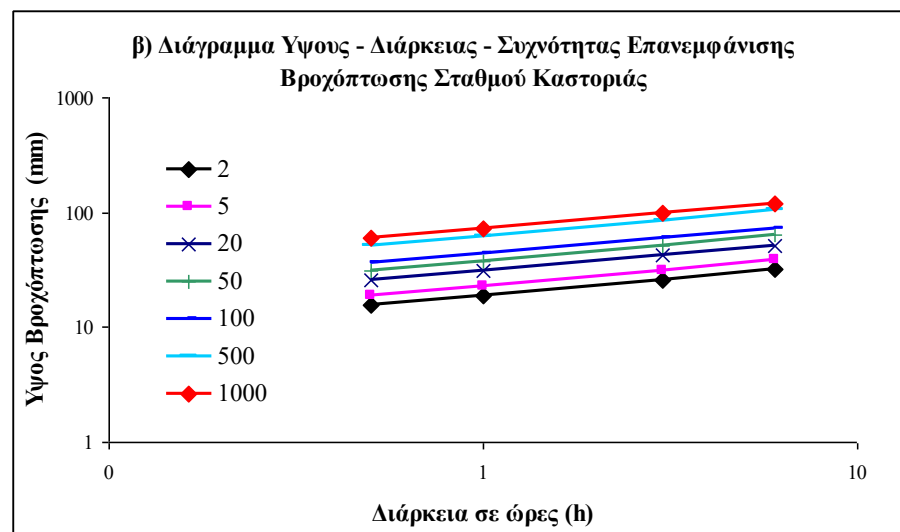
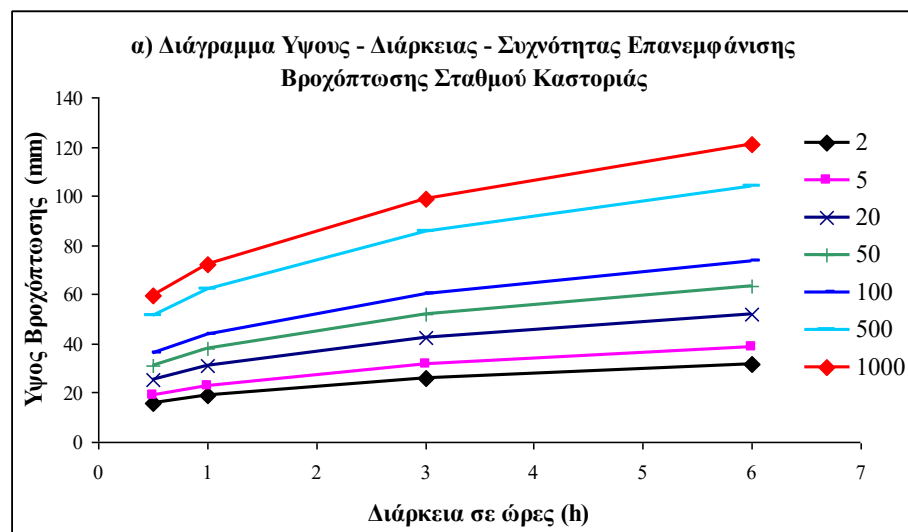


$$i = \frac{kT^\alpha}{(D + b)^m}$$

$$i = \frac{16.31851 * T^{0.2155}}{D^{0.714}}$$

Τυπικά βήματα για την οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος :

- Σχέσεις Έντασης – Διάρκειας – Συχνότητας Βροχών (IDF Analysis) (Όμβριες Καμπύλες – Κατασκευή και χρήση)
- Καμπύλες ύψους – διάρκειας – συχνότητας βροχόπτωσης (Depth-Duration-Frequency, DDF curves)
- Όμβριες καμπύλες διάρκειας – ύψους βροχοπτώσεων, για διάφορες περιόδους επαναφοράς, του σταθμού Καστοριάς: α) κοινό γραμμικό διάγραμμα, και β) λογαριθμικό διάγραμμα.



$$P = kT^{\alpha} (D + b)^{(1-m)}$$

$$P = 16.31851 * T^{0.2155} * D^{0.286}$$

Τυπικά βήματα για την οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος :

■ Επιφανειακή αναγωγή όμβριων καμπυλών (σημειακά δεδομένα)

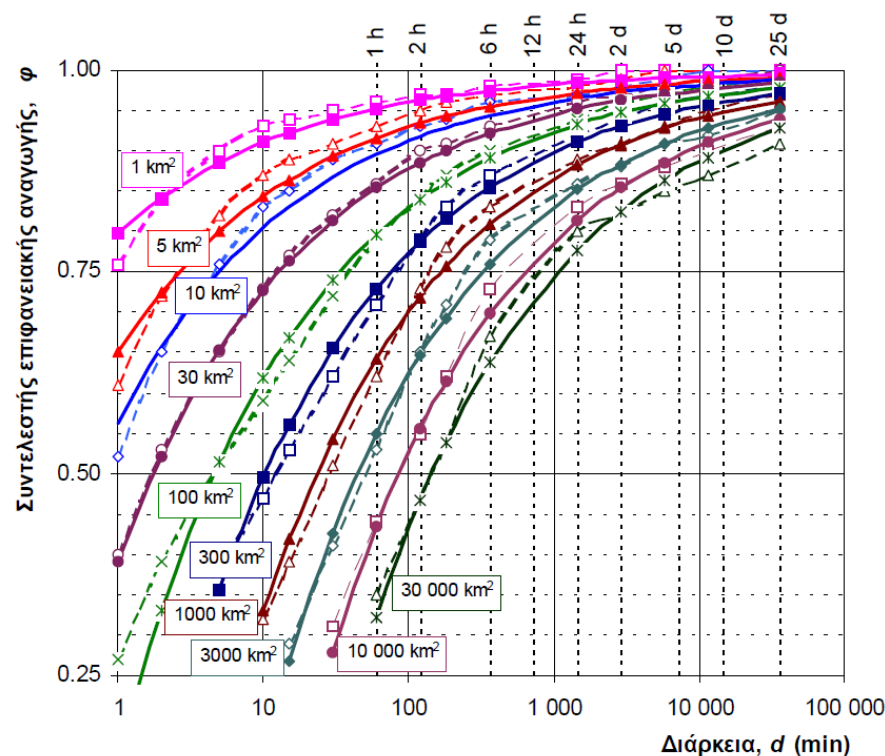
- Για υδρολογικές εφαρμογές, χρειάζονται πάντα οι επιφανειακά μέσες εντάσεις για τη λεκάνη απορροής που μελετάται και όχι οι σημειακές εντάσεις. Κατά συνέπεια είναι απαραίτητη μια μεθοδολογία για την αναγωγή των σημειακών σε επιφανειακές εντάσεις βροχής.

Μεταβολή του συντελεστή επιφανειακής αναγωγής συναρτήσει της έκτασης και της διάρκειας βροχής, σύμφωνα με την αναλυτική έκφραση (συνεχείς γραμμές), σε σύγκριση και με τις πινακοποιημένες τιμές του National Environmental Research Council (1975) (διακεκομμένες γραμμές) (Πηγή: Κουτσογιάννης, 1997)

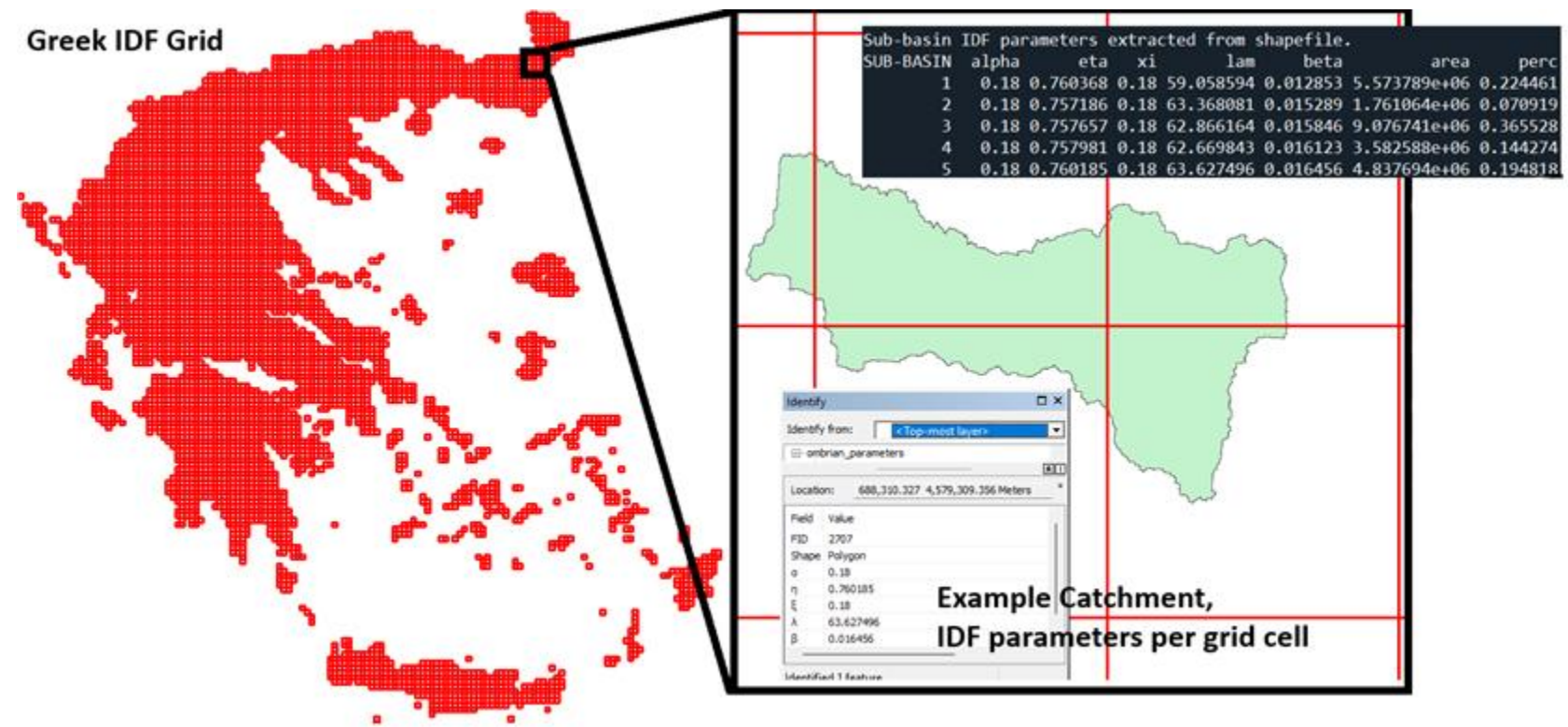
Σύμφωνα με τα πινακοποιημένα αποτελέσματα του National Environmental Research Council (1975), προσαρμόστηκε η ακόλουθη αναλυτική έκφραση (Κουτσογιάννης, 1997) :

$$\phi = 1 - \frac{0.048 A^{0.36 - 0.01 \ln A}}{D^{0.35}} \geq 0.25$$

όπου ϕ ο συντελεστής επιφανειακής αναγωγής (αδιάστατος αριθμός), A η έκταση σε Km^2 , και D η διάρκεια της βροχής σε ώρες (h).



Alamanos, A., Papaioannou, G., (2025). A national-scale IDF-based design storm hyetograph inventory: Applying the Catchment2Storm tool in Greece, The 9th International Electronic Conference on Water Sciences, 11-14 November 2025



τίς ενιαίες παραμέτρους $\alpha = 0.18$ h και $\xi = 0.18$, και τίς γεωγραφικά μεταβαλλόμενες παραμέτρους $\lambda^*, \beta^*, \eta^*$ όπως προέκυψαν από το βήμα 3.

$$x = \lambda^* \frac{(T^\xi - 1)^{\beta^*}}{(1 + k/\alpha)^{\eta^*}}$$

όπου A η έκταση της λέκάνης απορροής σε km2 και k η χρονική κλίμακα σε h.

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

<https://floods.ypeka.gr/sdkp-lap/omvries-2round/>

Τυπικά βήματα για την οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος :

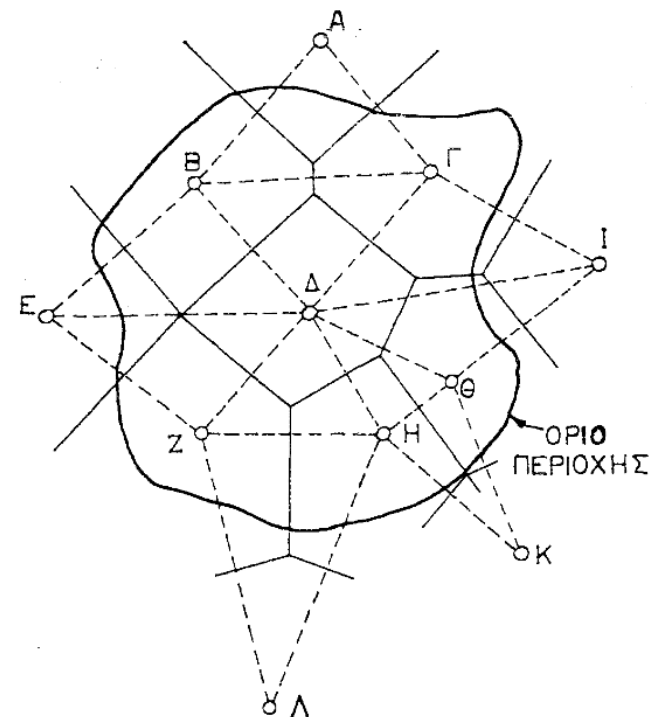
■ Χωρική κατανομή

■ Thiessen

Η μέθοδος χρησιμοποιεί τον παράγοντα βάρους που αντιστοιχεί στα εμβαδά των πολυγώνων επηρεασμού κάθε σταθμού όπως προκύπτει με τη χάραξη των μεσοκαθέτων επί των αποστάσεων των σταθμών μεταξύ τους.

- Βέλτιστης παρεμβολής (kriging)
- Παρεμβολής Spline
- Σταθμισμένων αντίστροφων αποστάσεων (ΣΑΑ)

Το μέσο ύψος της βροχής στην θεωρούμενη περιοχή βρίσκεται με πολλαπλασιασμό του ύψους βροχής κάθε Σταθμού με το αντίστοιχο βάρος και άθροιση των γινομένων. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα.



Πολύγωνα Μεθόδου Thiessen.

Τυπικά βήματα για την οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος :

■ Συνθετική καταιγίδα

■ Μέθοδος των εναλλασσομένων υψών βροχής (Alternating Block Method)

Σύμφωνα με τη μέθοδο των εναλλασσόμενων υψών βροχής (Alternating Block Method), η βροχόπτωση διάρκειας t και περιόδου επαναφοράς T κατανέμεται ως εξής μέσα στη διάρκεια της. Από τη σχέση έντασης-διάρκειας- περιόδου επαναφοράς της μορφής της σχέσης και γνωρίζοντας ότι το ύψος βροχής ισούται με το γινόμενο της έντασης επί τη διάρκεια της, για βροχοπτώσεις της ίδιας περιόδου επαναφοράς T , προκύπτει η σχέση:

$$\frac{h_1}{h_2} = \left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{1-m}$$

όπου:

h_1 = ύψος βροχής διάρκειας t_1 , h_2 = ύψος βροχής διάρκειας t_2 ,

t_1 = διάρκεια βροχής ύψους h_1 , t_2 = διάρκεια βροχής ύψους h_2 και

m = σταθερά, που υπολογίζεται από τη σχέση έντασης - διάρκειας – περιόδου επαναφοράς.

■ Μέθοδος του δυσμενέστερου σχεδιασμού

Η μέθοδος του δυσμενέστερου σχεδιασμού [USBR (1977)] είναι μια παραλλαγή της μεθόδου των εναλλασσομένων υψών βροχής όπου το μεγαλύτερο ύψος βροχής δεν τοποθετείται στο κεντρικό χρονικό διάστημα, αλλά στο χρονικό διάστημα που βρίσκεται απέναντι από τη μέγιστη τεταγμένη του μοναδιαίου υδρογραφήματος.

Αναπαραγωγή ή και πρόγνωση πλημμυρικού γεγονότος και Οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος

Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμύρων - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

- **Χρόνος συγκέντρωσης**
- Χρόνος συγκέντρωσης, t_c , μιας λεκάνης απορροής ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται το νερό να διανύσει την απόσταση από το πιο απομακρυσμένο σημείο της λεκάνης (ακολουθώντας το υδρογραφικό δίκτυο) έως το σημείο εξόδου του κυρίου υδατορρεύματος. Για τον Ελλαδικό χώρο, γίνεται χρήση του τύπου του Giandotti (Π.Δ. 696/74 (αρθ. 187, § 3)[για απλές υδρολογικές λεκάνες με φυσική κοίτη ακανόνιστης διατομής]. Άλλες εμπειρικές σχέσεις είναι του Kirpich, Passini, Soil Conservation Service.

- **Εξίσωση Giandotti:**

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{mref} - H_{ref}}}$$

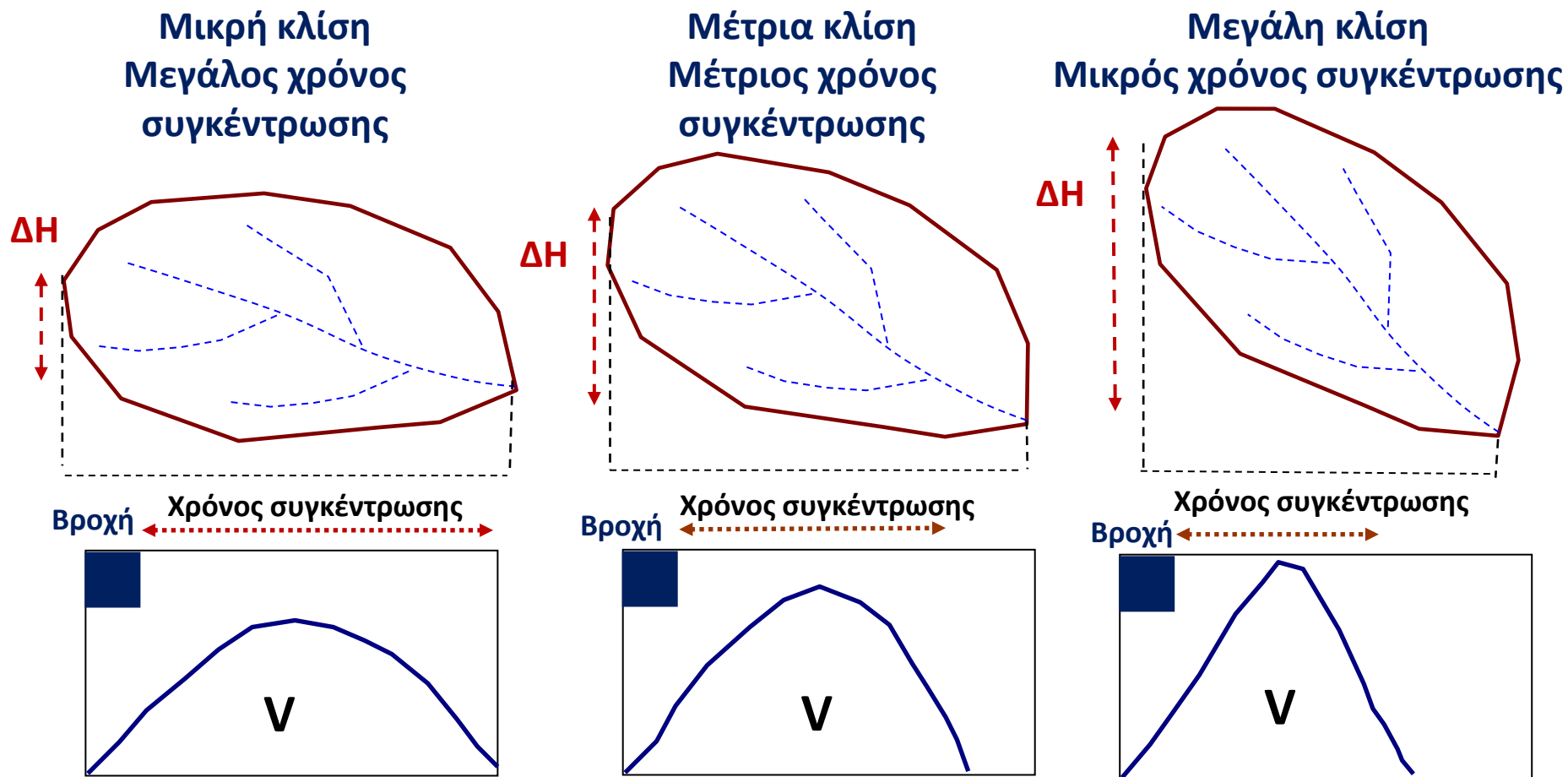
όπου:

- t_c = ο χρόνος συγκέντρωσης της λεκάνης απορροής σε ώρες (h)
- A = η έκταση της λεκάνης σε km^2
- L = το μέγιστο μήκος του υδατορρεύματος της λεκάνης σε km
- H_{mref} = το μέσο υψόμετρο της λεκάνης ανάντη του σημείου αναφοράς σε m
- H_{ref} = το υψόμετρο πυθμένα στην εξεταζόμενη περιοχή σε m

Giandotti, M. 1934. Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua. *Istituto Poligrafico dello Stato*, 8: 107-117.

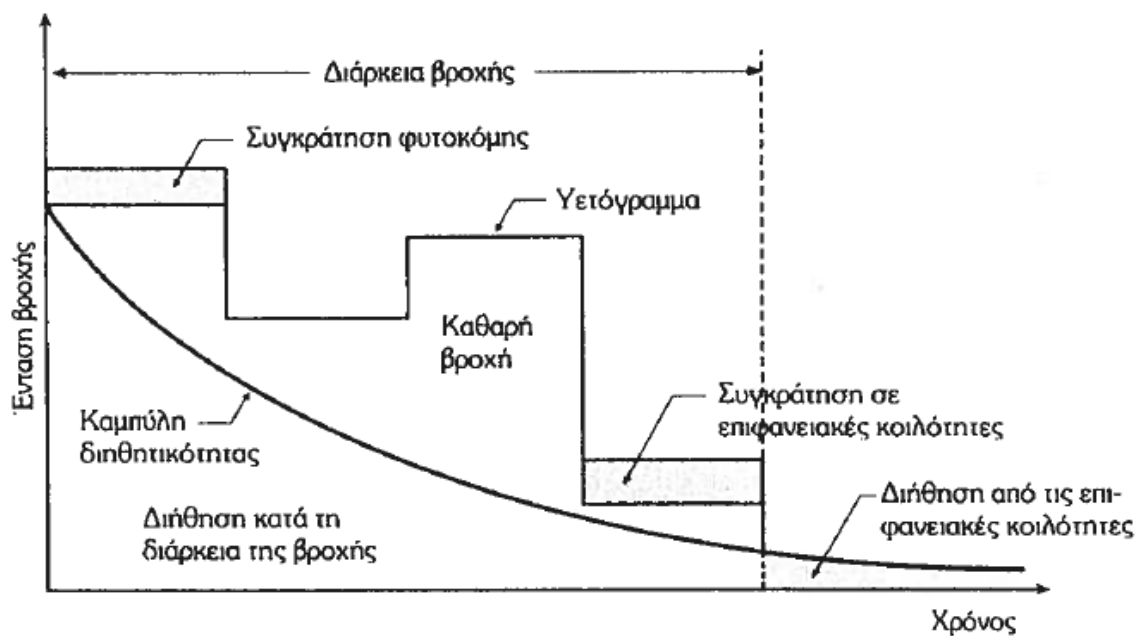
Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμυρών - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

Επίδρασή του χρόνου συγκέντρωσης στα χαρακτηριστικά πλημμύρας



Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμυρών - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

Τυπική κατανομή του νερού της βροχής



(Πηγή: Τσακίρης, 1995)

Τυπικό υετόγραμμα (υετογράφημα) και οι επιμέρους ποσότητες νερού. Όπως φαίνεται στο σχήμα η καθαρή βροχή προκύπτει ως το τμήμα της βροχής μετά την αφαίρεση των διαφόρων απωλειών (Συγκράτηση φυτοκόμης, συγκράτηση σε επιφανειακές κοιλότητες και διήθηση).

Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμύρων - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

- ❑ **Συνολική εκτίμηση ελλειμμάτων**
- ❑ Μέθοδος του Συντελεστή Απορροής C
- Συντελεστής απορροής C είναι ο λόγος του όγκου της άμεσης απορροής προς τον όγκο της βροχόπτωσης. Δηλαδή μπορεί να γραφεί:

$$C = h_R / h_r$$

όπου: h_R είναι ο όγκος της άμεσης απορροής εκφρασμένος σε ισοδύναμο ύψος και h_r είναι ο όγκος βροχόπτωσης εκφρασμένος σε ισοδύναμο ύψος.

- ❑ Ο συντελεστής απορροής C χρησιμοποιείται σε μια εμπειρική μέθοδο εκτίμησης της αιχμής μιας πλημμύρας από βροχομετρικά δεδομένα, τη λεγόμενη "Ορθολογική Μέθοδο".
- ❑ Μέσες τιμές του συντελεστή απορροής ως συνάρτηση του τύπου της επιφάνειας της λεκάνης απορροής μπορούν να αποδοθούν από πίνακες.
- ❑ Ο **συντελεστής απορροής** εκτιμάται σύμφωνα με την ΟΜΟΕ-ΑΣΥΕΟ (2002) από το άθροισμα των επιμέρους συντελεστών **C1, C2, C3, C4** ($C=C1+C2+C3+C4$) οι οποίοι εξαρτώνται αντίστοιχα από: το ανάγλυφο της επιφάνειας της λεκάνης, τη διηθητικότητα του εδάφους, την έκταση και την πυκνότητα της φυτοκάλυψης, την κλίση των πρανών και την αποθηκευτική ικανότητα σε χαμηλά σημεία της επιφάνειας της λεκάνης απορροής.

Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμύρων - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

- **Συνολική εκτίμηση ελλειμμάτων**
- Εκτίμηση του περισσέυματος βροχής με την μέθοδο της SCS.
- Η υπηρεσία Soil Conservation Service των ΗΠΑ παρουσίασε μια μέθοδο υπολογισμού του ύψους περισσέυματος της βροχής από μια δεδομένη βροχή με τη βοήθεια τριών μεταβλητών:
 - του ύψους βροχής,
 - της αρχικής κατάστασης υγρασίας του εδάφους και
 - του υδρολογικού συμπλόκου εδάφους - καλύμματος (SCS, 1972).
- Η μέθοδος της SCS μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του περισσέυματος της βροχής ή την εκτίμηση της συνολικής άμεσης απορροής που προήλθε από βροχή συγκεκριμένης διάρκειας (π.χ. βροχή 24-ώρου).
- Σύμφωνα με τη μέθοδο SCS έγινε η εκτίμηση ότι οι αρχικές απώλειες (συγκράτησης και εξάτμισης) είναι 20% των συνολικών απωλειών, δηλαδή της διαφοράς μεταξύ βροχής (h_r) και περισσέυματος βροχής (h_R). Οι συνολικές απώλειες S εκφράζονται με την χρήση του γνωστού αριθμού καμπύλης CN .

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\sigma\epsilon \text{ mm})$$

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

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

Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμύρων - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

Μοναδιαίο Υδρογράφημα

- Μοναδιαίο υδρογράφημα

Κατά τον Sherman, μοναδιαίο υδρογράφημα είναι το υδρογράφημα που προκαλείται από ενεργό βροχή ύψους ίσου με τη μονάδα (δηλ. 1cm) που είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλη την έκταση της υδρολογικής λεκάνης και έχει ομοιόμορφη ένταση. Δηλαδή το μοναδιαίο υδρογράφημα είναι ένα υδρογράφημα απορροή που προκαλείται από ενεργό βροχή ίση με 10 mm συγκεκριμένης διάρκειας. Η διεξαγωγή του μοναδιαίου υδρογραφήματος απαιτεί την ταυτόχρονη παρατήρηση βροχής και απορροής. Για τις ορεινές λεκάνες απορροής που συνήθως δεν υπάρχουν υδρομετρίσεις γίνεται χρήση των Συνθετικών Μοναδιαίων Υδρογραφημάτων (ΣΜΥΓ).

Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμύρων - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

Συνθετικά Μοναδιαία Υδρογράφηματα

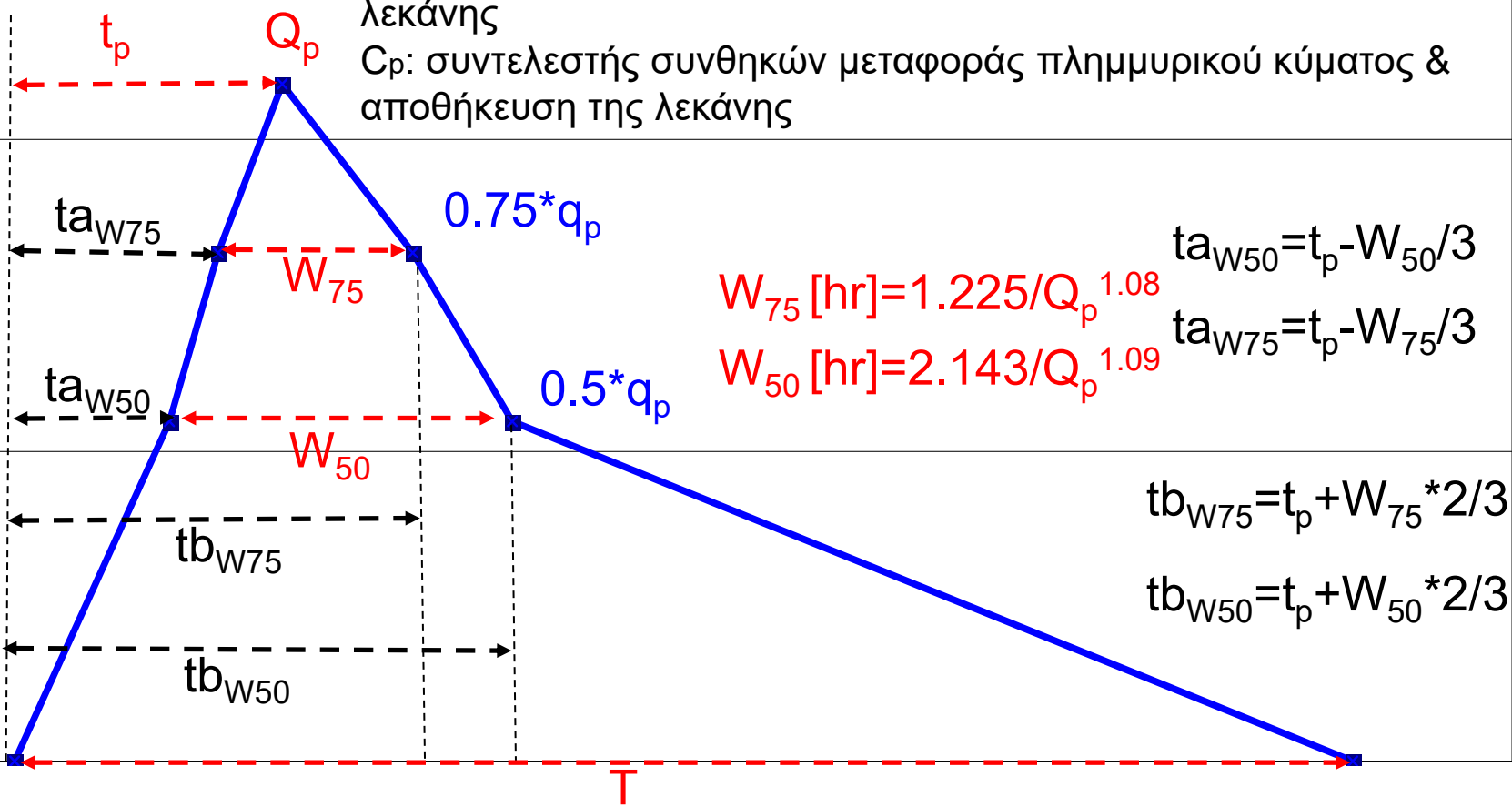
- Χρησιμοποιούνται σε λεκάνες απορροής χωρίς υδρομετρήσεις
- Εμπεικές σχέσεις που συνδέουν την πλημμυρική αιχμή και το χρόνο διάρκειας μεταξύ του κέντρου βάρους της βροχής και της πλημμυρικής αιχμής.
- Συνθετικά μοναδιαία υδρογραφήματα
 - Snyder
 - Clark
 - Βρετανικού Ινστιτούτου Υδρολογίας
 - Soil Conservation Service
 - Sierra Nevada

Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμυρών - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

$Q_p [m^3/s]=2.78 \cdot C_p \cdot A/t_p$ $t_p [hr]=0.752 \cdot C_t \cdot (L \cdot L_c)^{0.3}$ $T [h]= 24+3 \cdot t_p$

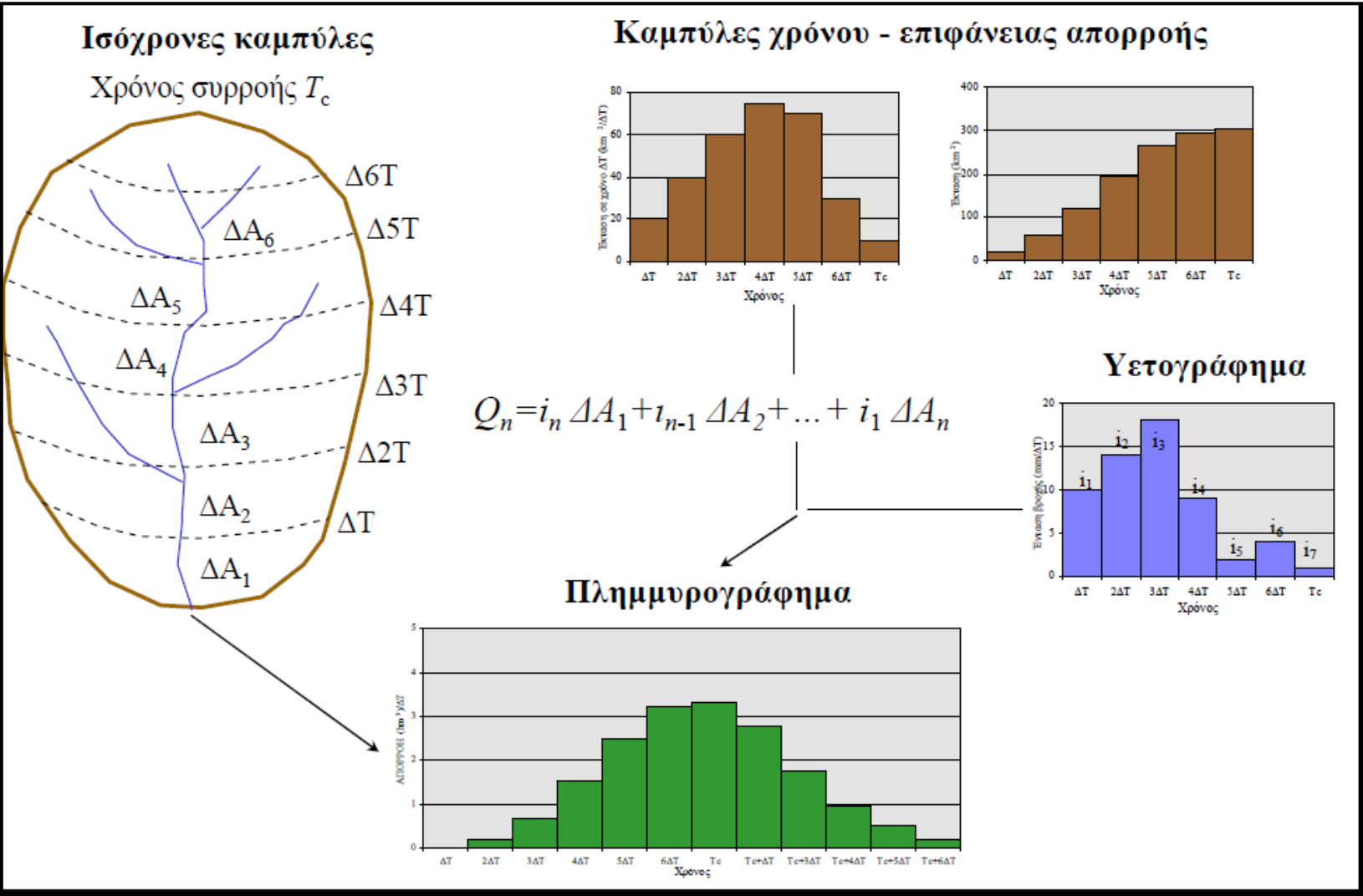
$t_R=t_p/5.5$

L: μήκος κύριας μισγάγγειας (km)
L_c: μήκος κύριας μισγάγγειας από κ.β. λεκάνης έως την έξοδο (km)
C_t: συντελεστής τοπογραφικών & εδαφολογικών χαρακτηριστικών λεκάνης
C_p: συντελεστής συνθηκών μεταφοράς πλημμυρικού κύματος & αποθήκευση της λεκάνης



Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμυρών - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

Στιγμιαίο Μοναδιαίο Υδρογράφημα τύπου Clark



Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμύρων - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

- **Εκτίμηση Πλημμυρικής Αιχμής και Πλημμυρικού Όγκου**
- Η ορθολογική μέθοδος (rational method) χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της αιχμής απορροής μικρών σχετικά υδρολογικών λεκανών (Έκταση λεκάνης απορροής, $A < 25 \text{ km}^2$) (Παπαμιχαήλ, 2001).
- Βασίζεται στην παραδοχή ότι για βροχές με ομοιόμορφη ένταση και κατανομή πάνω στη λεκάνη, η μέγιστη απορροή εμφανίζεται όταν το νερό από όλα τα σημεία της λεκάνης φτάσει στην έξοδο της.
- Η απορροή αυτή αποτελεί ένα συγκεκριμένο ποσοστό της έντασης της βροχής που την προκαλεί.
- Παραδοχές
 - Χρήσιμη για την εκτίμηση αιχμών απορροής μικρών λεκανών (Τσακίρης, 1995).
 - Η ένταση της βροχής σε όλη τη διάρκεια της είναι ομοιόμορφη, με ομοιόμορφη επίσης κατανομή πάνω στην υδρολογική λεκάνη.
 - Η διάρκεια της βροχής πρέπει να είναι ίση με το χρόνο συγκέντρωσης, t_c , της λεκάνης απορροής.

Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμύρων - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

- Εκτίμηση Πλημμυρικής Αιχμής και Πλημμυρικού Όγκου

❖ Τελικά το Q δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{\max} = 0.278 * C * i * A$$

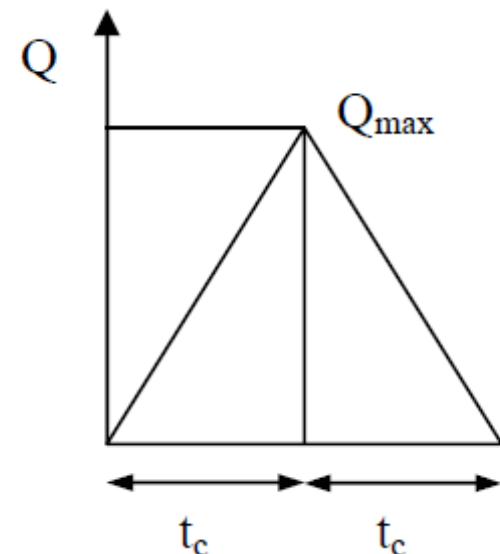
i : Ένταση της βροχόπτωσης (mm/h)

A : Εμβαδό λεκάνης απορροής (km²)

Q : Παροχή αιχμής (m³/s)

❖ Τελικός όγκος βροχόπτωσης:

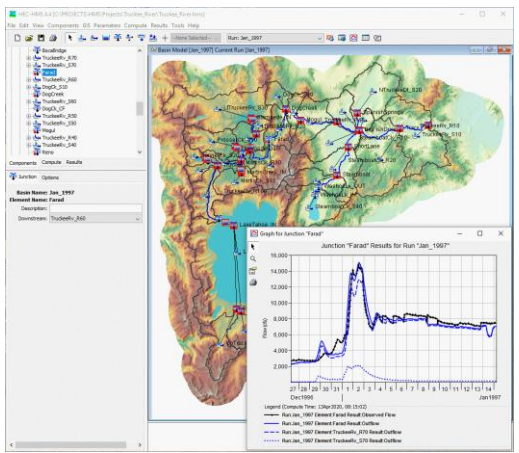
$$V = Q_{\max} * t_c$$



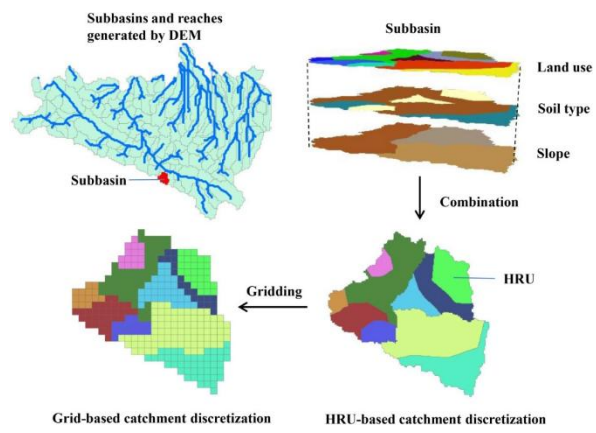
Κοινά τυπικά βήματα - ανάλυση ξαφνικών ή αιφνίδων πλημμυρών - οριοθέτηση χειμαρρικών υδατορευμάτων

- Υδρολογικά λογισμικά

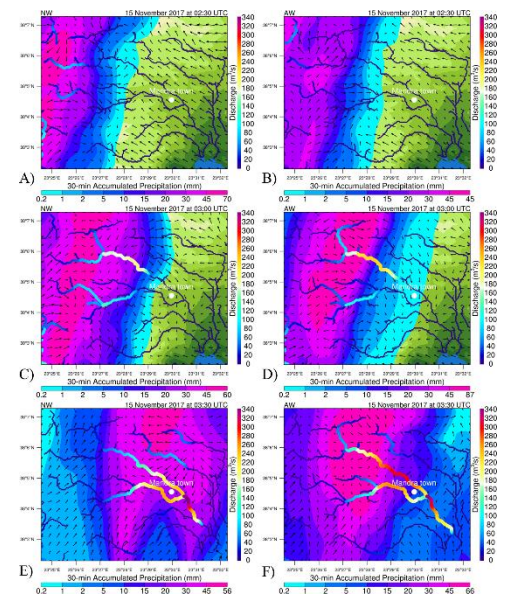
HEC-HMS



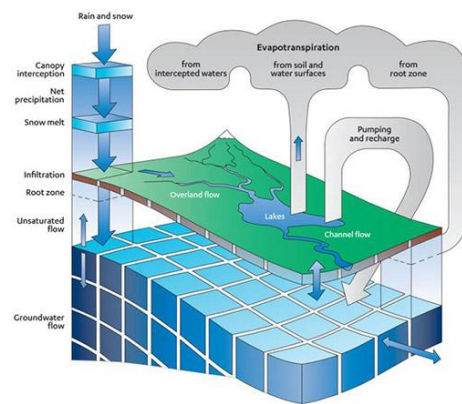
SWAT



WRF-Hydro



MIKE-SHE



Οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος

Ξεχωριστά τυπικά βήματα για την οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος :

■ Εκτίμηση πλημμυρικής αιχμής

■ Εμπειρικές σχέσεις

■ Τύπος των Klement-Wunderlich

Η Q_{max} (σε m^3/s) εκτιμάται από την έκταση της λεκάνης απορροής (F , σε km^2):

$$Q_{max} = 5,5 * F^{5/6}$$

■ Τύπος του Wundt:

Η Q_{max} (σε m^3/s) εκτιμάται από την έκταση της λεκάνης απορροής (F , σε km^2):

$$Q_{max} = 13,8 * F^{0,6}$$

■ Τύπος του Αλεξόπουλου

Η Q_{max} (σε m^3/s) εκτιμάται από την έκταση της λεκάνης απορροής (F , σε km^2):

$$Q_{max} = 14 * \sqrt{F} * \log_{10} F$$

■ Τύπος της εταιρείας Henry Boot

Η εταιρεία Henry Boot χρησιμοποίησε στην Ελλάδα την σχέση:

$$Q_{max} = \alpha * F^{0.75}$$

Για ρεύματα στον Ελλαδικό χώρο το $\alpha = 3,3$ έως $6,7$

Ξεχωριστά τυπικά βήματα για την οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος :

- Εκτίμηση πλημμυρικής αιχμής
- Εμπειρικές σχέσεις

Τύπος του Fuller: (Π.Δ. 696/8-10-1974)

Εκτίμηση μέγιστης ημερήσια πλημμυρική παροχή ενός έτους (σε m³/s)

$$Q_1 = C_F \cdot F^q \Rightarrow Q_1 = 1,80 \cdot F^{0,80}$$

$$\max Q_{p,T} = Q_1 \cdot (1 + \beta \cdot \log T) \cdot \left(1 + \frac{2,66}{F^{0,3}}\right)$$

→ Η μέγιστη ημερήσια πλημμυρική παροχή με περίοδο επαναφοράς T (σε m³/s)

$$\max Q_{p,T} = 1,80 \cdot F^{0,80} \cdot (1 + 0,8 \cdot \log T) \cdot \left(1 + \frac{2,66}{F^{0,3}}\right)$$

→ Η μέγιστη στιγμιαία πλημμυρική παροχή με περίοδο επαναφοράς T (σε m³/s):

Π.Δ. 696/8-10-1974. Περί αμοιβών μηχανικών δια σύνταξιν μελετών, επίβλεψιν, παραλαβή κ.λ.π. Συγκοινωνιακών, Υδραυλικών και Κτιριακών Έργων, ως και Τοπογραφικών, Κτηματογραφικών και Χαρτογραφικών Εργασιών και σχετικών τεχνικών προδιαγραφών μελετών.

Αναπαραγωγή ή και πρόγνωση πλημμυρικού γεγονότος και Οριοθέτηση χειμαρρικού υδατορεύματος

- **Υδραυλικές μέθοδοι**

- Χρησιμοποιούν την εξίσωση συνεχείας και τις δυναμικές εξισώσεις ροής, που απαιτούν καλή γνώση των υδραυλικών χαρακτηριστικών του υδατορρεύματος.

- **Υδρολογικές μέθοδοι**

- Οι υδρολογικές μέθοδοι χρησιμοποιούν την εξίσωση συνεχείας και μια σχέση αποθηκευμένου όγκου-παροχής

Υδραυλικές μέθοδοι διόδευσης

- Στηρίζονται σε αριθμητική επίλυση των εξισώσεων ασταθούς ροής σε ανοικτούς αγωγούς
→ *Saint Venant Equations*
$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = +q_l \quad \text{εξίσωση συνέχειας}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (V^2 A + g h_c A) = g A (S_0 - S_f) + q_l V_l \quad \text{εξίσωση γραμμικής ορμής}$$

Όπου A = εμβαδόν υγρής επιφάνειας διατομής
 Q = παροχή νερού στη διατομή
 ρ = πυκνότητα
 $V = Q/A$ = μέση ταχύτητα στη διατομή
 q_l = πλευρική εισροή ανά μονάδα μήκους του αγωγού
 h_c = απόσταση της επιφάνειας από το κέντρο βάρους της διατομής
 V_l = η συνιστώσα της ταχύτητας πλευρικής εισροής κατά τον κύριο άξονα ροής

Υδραυλικές μέθοδοι διόδευσης

- Η δυναμική εξίσωση γραμμικής ορμής για πρισματικούς αγωγούς και χωρίς πλευρική εισροή γράφεται:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial y}{\partial x} = g(S_0 - S_f)$$

και μπορεί να γραφεί ως:

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$$

εάν $\frac{\partial V}{\partial t} = 0$ τότε η ροή είναι σταθερή (μόνιμη),
διαφορετικά η ροή είναι ασταθής

Υδραυλικές μέθοδοι διόδευσης

- Η ροή μπορεί να θεωρηθεί **μόνιμη** ή **μη μόνιμη** με βάση τη χρονική μεταβολή του βάθους και της μέσης ταχύτητας ροής.
- Η ροή ονομάζεται **μόνιμη** όταν το βάθος, η παροχή Q και η μέση ταχύτητα ροής δεν μεταβάλλονται με τον χρόνο, ενώ όταν οι παραπάνω ποσότητες μεταβάλλονται με τον χρόνο η ροή είναι **μη-μόνιμη**. Επομένως για μόνιμη ροή έχουμε

$$\frac{\partial h}{\partial t} = 0, \frac{\partial U}{\partial t} = 0, \frac{\partial Q}{\partial t} = 0$$

- Η ροή σε ένα υδατόρευμα κατά την διάρκεια μιας **πλημμύρας** αποτελεί κλασσικό παράδειγμα **μη-μόνιμης ροής**.

Υδραυλικές μέθοδοι διόδευσης

- Όταν το βάθος, η παροχή και η μέση ταχύτητα ροής δεν μεταβάλλονται με κατά μήκος του αγωγού η ροή θεωρείται **ομοιόμορφη**, ενώ όταν τα παραπάνω μεγέθη μεταβάλλονται κατά μήκος του αγωγού η ροή είναι **ανομοιόμορφη**. Έτσι για ομοιόμορφη ροή έχουμε

$$\frac{\partial h}{\partial t} = 0, \frac{\partial U}{\partial t} = 0, \frac{\partial Q}{\partial t} = 0$$

- Μερικές φορές η ανομοιόμορφη ροή ονομάζεται και **μεταβαλλόμενη ροή** και μπορεί να χωρισθεί σε **βαθμιαία μεταβαλλόμενη** και σε **απότομα μεταβαλλόμενη** ροή ανάλογα με το πόσο εύκολα μεταβάλλονται οι παραπάνω ποσότητες. Ομοιόμορφες και ανομοιόμορφες ροές μπορεί να είναι μόνιμες ή μη-μόνιμες και επομένως έχουμε τέσσερις διαφορετικές κατηγορίες ροών.

Υδραυλικές μέθοδοι διόδευσης

- Πλήρης δυναμική εξίσωση γραμμικής ορμής:

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t}$$

$$V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} \longrightarrow \text{Δυνάμεις αδράνειας}$$

$$\frac{\partial y}{\partial x} \longrightarrow \text{Δυνάμεις που προκύπτουν λόγω διαφοράς υδροστατικών πιέσεων}$$

Υδραυλικές μέθοδοι διόδευσης

- Πλήρες δυναμικό κύμα (full dynamic wave)**

Δυναμική εξίσωση γραμμικής ορμής και Εξίσωση Συνέχειας

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \quad \text{και} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = +q_l$$

- Κύμα Διαχύσεως (diffusive wave approximation)**

Εξίσωση γραμμικής ορμής με προσέγγιση διαχύσεως και Εξίσωση Συνέχειας

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} \quad \text{και} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = +q_l$$

- Κινηματικό Κύμα (kinematic wave approximation)**

Κινηματική προσέγγιση εξίσωσης γραμμικής ορμής και Εξίσωση Συνέχειας

$$S_f = S_0 \quad \text{και} \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = +q_l$$

Παραδοχές υδραυλικών μεθόδων

- Το νερό είναι ασυμπίεστο και ομογενές.
- Η ταχύτητα σε κάθε σημείο μιας διατομής είναι ίση με την μέση ταχύτητα. Μέση ταχύτητα η ποσότητα Q/A
- Ισχύει υδροστατική κατανομή των πιέσεων (η κλίση του πυθμένα του αγωγού και καμπυλότητα της ελεύθερης επιφάνειας του νερού είναι αρκετά μικρές)
- Δεν υπάρχουν ασυνέχειες ή απότομες μεταβολές της ροής στο χώρο και στον χρόνο του πεδίου ροής.
- Η μόνη απώλεια ενέργειας κατά την κίνηση του νερού οφείλεται στις τριβές στον πυθμένα και στα τοιχώματα του αγωγού. Οι απώλειες υπολογίζονται από ημι-εμπειρικές σχέσεις τύπου Manning (συνθήκες ομοιόμορφης ροής) $\left(\text{Manning: } V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}; \text{Chezy: } V = C \sqrt{RS} \right)$
- Δεν υπάρχουν απώλειες εξάτμισης και οι φυσικές μεταβολές από θερμοδυναμικής απόψεως θεωρούνται ισόθερμες

Υδραυλικές μέθοδοι διόδευσης

- Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου από τις τρεις αυτές μεθόδους διοδεύσεως εξαρτάται από τον τύπο της ροής στο υδατόρρευμα

Μέθοδος

Πλήρης δυναμική εξίσωση

Κύμα διαχύσεως

Κινηματικό κύμα

Τύπος ροής

Μη μόνιμη ανομοιόμορφη

Μόνιμη ανομοιόμορφη*

Μόνιμη ομοιόμορφη*

Όταν η εξέλιξη είναι πολύ αργή τότε τα δυναμικά φαινόμενα θεωρούνται αμελητέα και η ροή θεωρείται κατά προσέγγιση ως μόνιμη

Η **επίλυση** των ανωτέρω εξισώσεων μπορεί να γίνει με διάφορες μεθόδους:

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| α) Υπολογιστικές (βήμα-βήμα), | β) Πεπερασμένες διαφορές, |
| γ) Πεπερασμένα στοιχεία | δ) Μέθοδος των χαρακτηριστικών |

Υδραυλικές μέθοδοι διόδευσης

- Η προσομοίωση της ροής μπορεί να γίνει με:
 - Μονοδιάστατα (1D) υδραυλικά λογισμικά,
 - Δισδιάστατα (2D) υδραυλικά λογισμικά,
 - Συζευγμένα (1D/2D) υδραυλικά λογισμικά,
 - Τρισδιάστατα (3D) υδραυλικά λογισμικά

Η χρήση των μονοδιάστατων υδραυλικών λογισμικών θα πρέπει να γίνεται σε περιοχές όπου η πλημμυρική έκταση δεν είναι μεγάλη και εξαρτάται πάντα και από τις μορφολογικές συνθήκες του εκάστοτε χειμαρρικού περιβάλλοντος. Γενικά η χρήση των 1D λογισμικών προσφέρει γρήγορα αποτελέσματα, καλή αναπαράσταση της ροής εντός της κεντρικής κοίτης, προτείνεται για ορεινά ρέματα με απότομες κλίσεις και προσφέρει καλή αναπαράσταση των υδραυλικών τεχνικών έργων. Από την άλλη μεριά για πιο σύνθετες περιπτώσεις ροής με έντονες αλλαγές στο ανάγλυφο και όταν μας ενδιαφέρει η αναλυτική περιγραφή ταχυτήτων συνιστάται η χρήση των 2D λογισμικών (πχ. Αστικές περιοχές, οικισμούς, δέλτα).

Υδρολογικές μέθοδοι διόδευσης

- Μέθοδος Muskingum
- Παραλλαγές Μεθόδου Muskingum (π.χ. Muskingum-Cunge)
- Μέθοδος Υστέρησης-Διόδευσης (Lag and Route)
- Μέθοδος Συνάρτησης Μεταφοράς (Transfer Function)
- Στηρίζονται στην έννοια της αποθήκευσης
 - Διόδευση μέσω ποταμού (Μέθοδοι Muskingum και Muskingum-Cunge)
 - Διόδευση μέσω ταμιευτήρα
- Η μέθοδος Muskingum
- Στην περίπτωση ενός υδατορρεύματος η χωρητικότητα S δεν μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση μόνο του υδρογραφήματος εκροής O , αλλά είναι αναγκαίο να ληφθεί υπόψη και το υδρογράφημα εισροής I . Αυτό συμβαίνει διότι η ελεύθερη επιφάνεια του υδατορρεύματος μεταβάλλει μορφή ανάλογα με την εξέλιξη της διοδεύσεως.

Άξονες Δράσης Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας

Άξονας - Δράσεις ΔΚΠ	Περιγραφή
Καμία ενέργεια	Κανένα μέτρο για τη μείωση του κινδύνου
Πρόληψη	Πρόληψη ζημιών από πλημμύρες με: • αποφυγή κατασκευής σπιτιών και βιομηχανιών σε ζώνες πλημμύρας • προσαρμογή των αποδεκτών πλημμυρικού κινδύνου και ενσωμάτωση του πλημμυρικού κινδύνου στα μελλοντικά σχέδια ανάπτυξης • προώθηση κατάλληλων χρήσεων γης • ενσωμάτωση Οδηγίας σε άλλες πολιτικές και στρατηγικές του κράτους (κυρίως χωρικής διευθέτησης)
Προστασία	Λήψη Μέτρων, κατασκευαστικών και μη κατασκευαστικών, για τη μείωση της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα σε συγκεκριμένες περιοχές.
Ετοιμότητα	Πληροφόρηση του κοινού για τους κινδύνους και για το πώς πρέπει να αντιδράσουν σε επεισόδια πλημμύρας; σχέδια και Μέτρα έκτακτης ανταπόκρισης σε περίπτωση πλημμύρας.
Αποκατάσταση	Επιστροφή στις κανονικές συνθήκες το ταχύτερο δυνατό και μετριασμός κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων στον πληγέντα πληθυσμό.

Διευθέτηση Χειμαρρικών Ρευμάτων

Αρχή της προστατευτικής διευθέτησης

- Η αρχή της προστατευτικής διευθέτησης στοχεύει στην αποτροπή της παραγωγής, της μεταφοράς και της απόθεσης φερτών υλών, καθώς και στον έλεγχο της ροής των πλημμυρικών νερών με σκοπό την καταπολέμηση της υποβάθμισης του εδάφους και την αντιπλημμυρική προστασία.

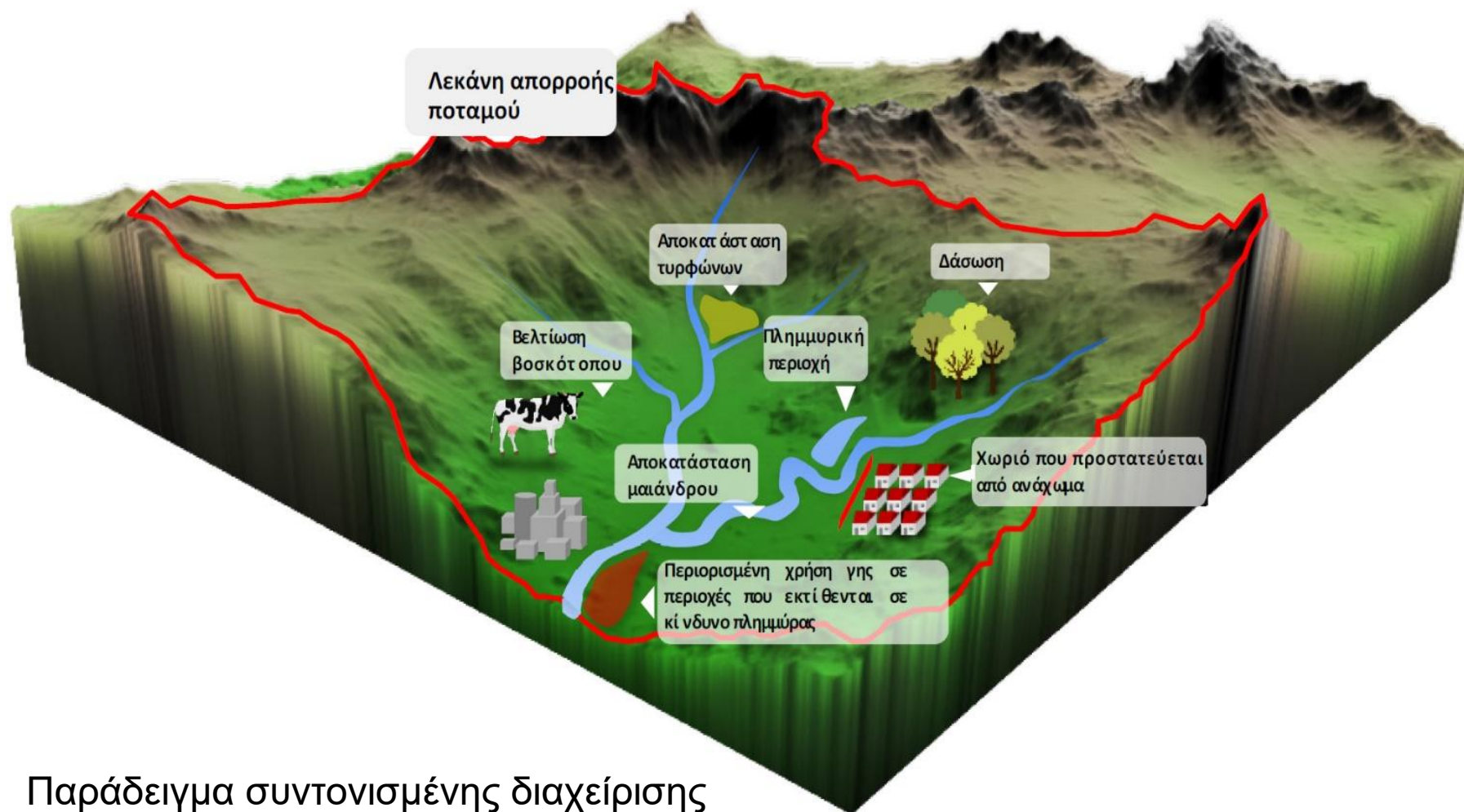
Αρχή της υδρολογικής διευθέτησης

- Η αρχή της **υδρολογικής διευθέτησης** αποσκοπεί στην ρύθμιση της δίαιτας των χειμαρρικών ρευμάτων, δηλαδή στη μείωση των πλημμυρικών απορροών με παράλληλη αύξηση των χαμηλών και των μέσων υδάτων, των διηθούμενων καθώς και των πηγαίων υδάτων, στον εμπλουτισμό των υπόγειων υδροφορέων, καθώς και στην απόληψη, μεταφορά και ταμίευση του χειμαρρικού ύδατος.

Αρχή της οικολογικής αποκατάστασης και ανάδειξης

- Η αρχή της **οικολογικής αποκατάστασης και ανάδειξης** αποσκοπεί στην προστασία, αποκατάσταση και βελτίωση του φυσικού περιβάλλοντος και στην αξιοποίηση των χειμαρρικών υδάτων, που απορρέουν με βλαπτικό τρόπο καθώς και του παρόχθιου και του ευρύτερου χειμαρρικού χώρου για την ικανοποίηση διαφόρων αναγκών, όπως υδρευτικών, αρδευτικών, τουριστικών, αναψυχικών, υγιεινών, αισθητικών κλπ.

Διευθέτηση Χειμαρρικών Ρευμάτων



Παράδειγμα συντονισμένης διαχείρισης
πλημμυρών σε επίπεδο λεκάνης
απορροής ποταμού

Μη κατασκευαστικά μέτρα αντιμετώπισης πλημμύρας

- Διατήρηση, αποτελεσματική προστασία και ανάπλαση βλάστησης (Δασώσεις-αναδασώσεις, Θαμνώσεις-αναθαμνώσεις, Χλοάσεις-αναχλοάσεις) σε δασικές εκτάσεις ορεινών λεκανών απορροής καθώς και στις παραποτάμιες ζώνες (παρόχθια βλάστηση).



- Διατήρηση και επέκταση των δασικών εκτάσεων στις λεκάνες απορροής με χρήση σύγχρονων τεχνικών διαχείρισης δασικών οικοσυστημάτων για πολλαπλούς σκοπούς.

Μη κατασκευαστικά μέτρα αντιμετώπισης πλημμύρας

- Διατήρηση, αποτελεσματική προστασία και όπου είναι δυνατό την αποκατάσταση υποβαθμισμένων υδροτόπων, των πλημμυρικών ζωνών, τους μαιανδρισμούς, τις εγκαταλειμμένες κοίτες και κυρίως την επανασύνδεση των ποτάμιων συστημάτων με τις πλημμυρικές ζώνες. Αποτροπή των ανθρωπίνων επεμβάσεων στις πλημμυρικές ζώνες ώστε οι φυσικές ζώνες πλημμυρών να καθυστερούν τη ροή. Η διατήρηση της βλάστησης στα όρια των υδατορευμάτων είναι απαραίτητη για την προστασία της βιοποικιλότητας και του παρόχθιου οικοσυστήματος και λειτουργεί αποτρεπτικά στον κίνδυνο επέλευσης ζημιών λόγω πλημμύρας.
- Βελτίωση των εγγειοβελτιωτικών έργων συμπεριλαμβάνοντας την αποστράγγιση των εκτάσεων, τη διατήρηση των μαιανδρισμών ή την ανατροπή του ευθειαςμού των υδατορευμάτων και την ενίσχυση των πρανών. Όλα τα έργα που αφορούν στην αποστράγγιση και στην αποξήρανση των βαλτότοπων πρέπει να θεωρούνται ότι είναι αντίθετα στους στόχους για την αποτελεσματική πρόληψη και τον μετριασμό των πλημμυρών.
- Ορθολογική διαχείριση χορτολιβαδικών εκτάσεων - αποτροπή υπερβοσκησης/ερημοποίησης – Αποτροπή συμπίεσης εδάφους.

Κατασκευαστικά μέτρα αντιμετώπισης πλημμύρας

- ❑ Τα τυπικά κατασκευαστικά μέτρα αντιμετώπισης πλημμύρας είναι:
- αντιπλημμυρικοί ταμιευτήρες στα ανάντη της λεκάνης
- αναχώματα και προστατευτικοί τοίχοι
- λεκάνες κατάκλυσης δίπλα στο ποτάμι και στις χαμηλές περιοχές
- δίκτυα ομβρίων
- εκτροπές ποταμών
- παράκτια προστασία
- αύξηση της παροχετευτικότητας των ποταμών με καθαρισμό, εκβάθυνση και διάνοιξη των διατομών
- εισαγωγή πρόσθετων διαδρομών παράλληλα με το ποτάμι
- υπερχειλιστές σε ταμιευτήρες

Σε όλα τα κατασκευαστικά μέτρα αντιμετώπισης πλημμύρας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο παράγοντας του περιβάλλοντος. Κάποια από τα κατασκευαστικά μέτρα δεν θεωρούνται πλέον η βέλτιστη λύση.

Υποβοηθητικά έργα για την αντιμετώπιση πλημμύρας

- Τεχνικά έργα:
 - Τοίχοι
 - A-jack, Λιθεπενδύσεις.
- Αγροτεχνικά Έργα:
 - Έργα κατεργασίας εδάφους,
 - Βαθμίδες,
 - Τάφροι,
 - Έργα στράγγισης ολισθαίνοντων γεωστρωμάτων,
 - Κλαδοκατασκευές (κλαδοδέματα, φακελώματα, κλπ.)
- Φυτοτεχνικά έργα:
 - Διευθέτηση Εστιών-Παραγωγής Φερτών Υλικών
 - Σταθεροποίηση και Ανύψωση Κοίτης

Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας - Μέτρα

Μέτρα Πρόληψης:

- **Αποφυγή:** Μέτρα για την αποφυγή εγκατάστασης νέων ή επιπρόσθετων αποδεκτών πλημμυρικού κινδύνου, όπως
 - Πολιτικές χρήσεων γης,
 - Χωροταξία,
 - Θεσμικό και κανονιστικό πλαίσιο, κ.α.
- **Μετεγκατάσταση:** Μέτρα για την απομάκρυνση αποδεκτών πλημμυρικού κινδύνου από πλημμυρικές ζώνες,
 - Μετεγκατάσταση οικιστικών περιοχών,
 - Μετεγκατάσταση οικονομικών δραστηριοτήτων.

Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας - Μέτρα

Μέτρα Πρόληψης:

- ❑ Μείωση επιπτώσεων (Flood proofing): Μέτρα για την προσαρμογή των αποδεκτών πλημμυρικού κινδύνου ώστε να μειωθούν οι αρνητικές επιπτώσεις από πλημμύρες
 - Κτήρια
 - Δίκτυα κοινής ωφέλειας, κ.α.
- ❑ Άλλα μέτρα πρόληψης: Μέτρα για την αναβάθμιση της πρόληψης πλημμυρικού κινδύνου, όπως:
 - Προσομοίωση και εκτίμηση τρωτότητας στην πλημμύρα,
 - Προγράμματα-πολιτικές συντήρησης αντιπλημμυρικών έργων και υποδομών,
 - Ενσωμάτωση της Οδηγίας σε άλλες πολιτικές και στρατηγικές του κράτους (κυρίως χωρικής διευθέτησης).

Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας - Μέτρα

Μέτρα Προστασίας:

- ❑ **Διαχείριση Πλημμύρας: Μέτρα για τη μείωση της ροής σε φυσικά ή/και τεχνητά συστήματα αποστράγγισης, διατάξεις αποστράγγισης/ανασχεσης, όπως:**
 - Έργα διαμόρφωσης/διαχείρισης κεντρικής και πλημμυρικής κοίτης,
 - Έργα φύτευσης όχθης υδατορρευμάτων,
 - Έργα αποθήκευσης πλημμυρικής αιχμής, κ.α.
- ❑ **Ρύθμιση Ροής: Μέτρα για την ρύθμιση/ανάσχεση ροής, όπως:**
 - Κατασκευή/τροποποίηση/αφαίρεση έργων συγκράτησης νερού,
 - ❑ Φράγματα,
 - ❑ Λεκάνες κατακράτησης/αποθήκευσης,
 - ❑ Ανάπτυξη κανόνων διαχείρισης ροής, κ.α.

Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας - Μέτρα

Μέτρα Προστασίας :

- ❑ **Αντιπλημμυρικά Έργα:** Μέτρα παρεμβάσεων σε κοίτες υδατορευμάτων, ορεινά υδατορεύματα, δέλτα ποταμών, παράκτια ύδατα και πλημμυρικά πεδία, όπως:
 - Κατασκευή/τροποποίηση/αφαίρεση κατασκευών,
 - Διευθέτηση κοίτης υδατορρευμάτων,
 - Αντιπλημμυρικά αναχώματα,
 - Έργα διαχείρισης φερτών υλών, κ.α.
- ❑ **Διαχείριση Όμβριων Υδάτων:** Μέτρα παρεμβάσεων για τον έλεγχο του όγκου αποροής και για τη μείωση της πλημμύρας (κυρίως σε αστικές περιοχές), όπως:
 - Έργα αύξησης διαπερατότητας του εδάφους,
 - Αναβάθμιση τεχνητών συστημάτων αποχέτευσης,
 - Διαχείριση συστημάτων αποχέτευσης ομβρίων.

Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας - Μέτρα

Μέτρα Προστασίας:

- Άλλα Μέτρα Προστασίας: Άλλα μέτρα παρεμβάσεων προστασίας, όπως:
 - Προγράμματα και πολιτικές συντήρησης υποδομών αντιπλημμυρικής προστασίας,
 - Προστασία ιδιωτικών κατασκευών (π.χ. απομόνωση εισόδων ιδιοκτησιών, κ.α.

Μέτρα Ετοιμότητας:

- Πρόγνωση και έγκαιρη προειδοποίηση: Μέτρα για την ανάπτυξη ή αναβάθμιση συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης ή πρόγνωσης πλημμυρών (Σημείωση: Διαφορετικά συστήματα για πλημμύρες μεγάλων ποταμών και χειμαρρικών υδατορευμάτων-αιφνίδιες πλημμύρες).
- Σχέδια Έκτακτης Ανάγκης: Μέτρα για την ανάπτυξη ή την αναβάθμιση του σχεδιασμού έκτακτης ανταπόκρισης σε πλημμυρικά γεγονότα.

Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας - Μέτρα

Μέτρα Ετοιμότητας:

- Ενημέρωση και ετοιμότητα των πολιτών: Μέτρα για την ανάπτυξη ή αναβάθμιση της ενημέρωσης και της ετοιμότητας των πολιτών σε πλημμυρικά γεγονότα, όπως:
 - Ενημέρωση/ευαισθητοποίηση πολιτών μέσω διαφημιστικής καμπάνιας, ημερίδες, κ.α.
 - Υποστήριξη/συνεργασία φορέων από ομάδες εθελοντών εμπλοκής σε συνθήκες πλημμύρας
- Άλλα Μέτρα Ετοιμότητας: Άλλα μέτρα ετοιμότητας σε πλημμυρικά γεγονότα, όπως:
 - Προγραμματισμούς δράσεων,
 - Ασκήσεις ετοιμότητας, κ.α.

Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας - Μέτρα

Μέτρα Αποκατάστασης:

- ❑ **Ατομική και Κοινωνική Αποκατάσταση: Μέτρα για την αποκατάσταση των συνεπειών πλημμυρικών γεγονότων, όπως:**
 - Καθαρισμός και αποκατάστασης κτηρίων, ιδιοκτησιών και υποδομών.
 - Δράσεις υποστήριξης της σωματικής και ψυχικής υγείας πληγέντων πολιτών (και διαχείρισης άγχους-φοβίας),
 - Οικονομική βοήθεια/αποζημιώσεις έναντι φυσικών καταστροφών,
 - Νομική υποστήριξη πληγέντων πολιτών,
 - Επίδομα ανεργίας πληγέντων πολιτών,
 - Προσωρινή ή μόνιμη μετεγκατάσταση πληγέντων πολιτών, κ.α.
- ❑ **Περιβαλλοντική Αποκατάσταση: Μέτρα καθαρισμού και αποκατάστασης κτηρίων και υποδομών, όπως:**
 - Αποκατάσταση ποιότητας υδάτων και πόσιμου νερού,
 - Διασφάλιση επικίνδυνων υλικών, κ.α.
- ❑ **Άλλα Μέτρα Αποκατάστασης: Αποτίμηση εμπειριών από πλημμυρικά γεγονότα, συμβόλαια ασφάλισης, κλπ.**

Αντιπλημμυρικά μέτρα

Τεχνικά έργα

Συνήθεις Φράγματα σε Χείμαρρους



Ζαΐμης, 2014

Αντιπλημμυρικά μέτρα

Δεξαμενή κατακράτησης/



Δεξαμενή συγκράτησης (detention pond)



Τεχνικά έργα

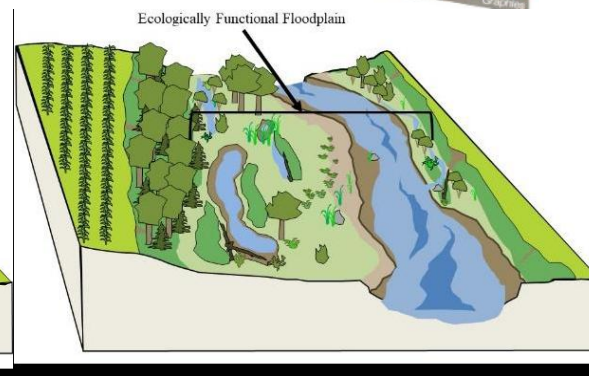
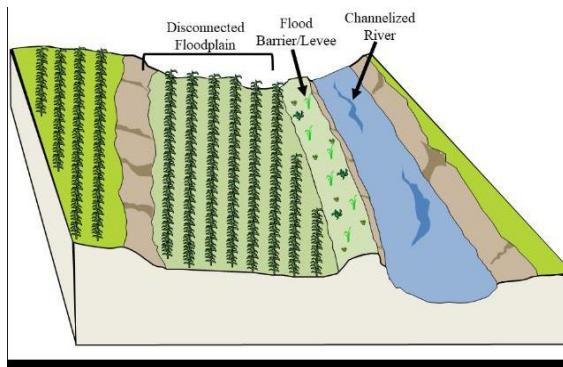
Αρχική κατάσταση:
Πλημμύρα του
χωριού ανάντη



Νέα αναχώματα
που προστατεύουν
το χωριό ανάντη,
αλλά δημιουργούν
πλημμύρα του
χωριού κατόντη

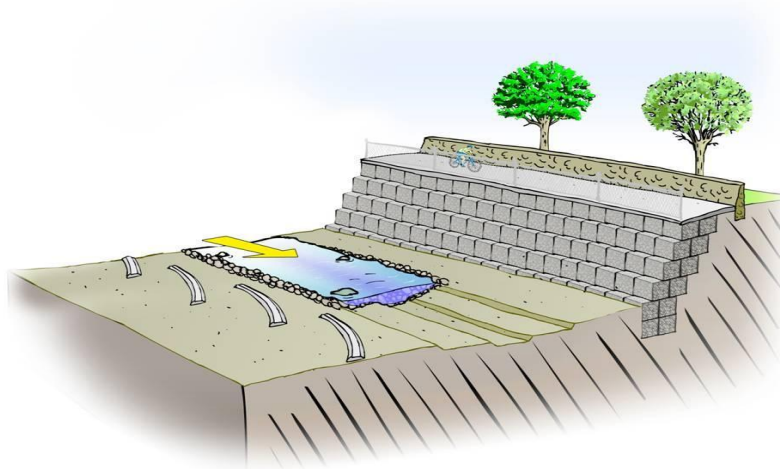


Νέο ανάχωμα που
συμπληρώνεται με
πόλντες, το οποίο
προστατεύει
αμφότερα τα χωριά,
ανάντη και κατόντη

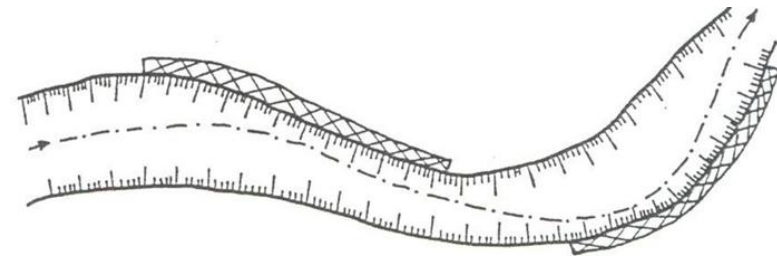


Μέτρα κατά της διάβρωσης – παράσυρσης υλικών – απότομης απορροής

Υποβοηθητικά έργα



Τοίχοι από Λιθοδομή



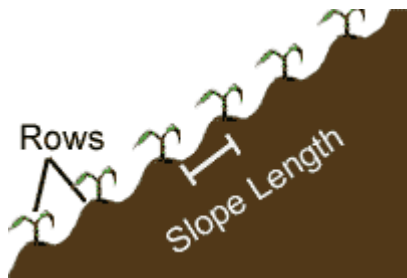
Λιθεπενδύσεις



A-Jack

Μέτρα κατά της διάβρωσης – παράσχυσης υλικών – απότομης απορροής

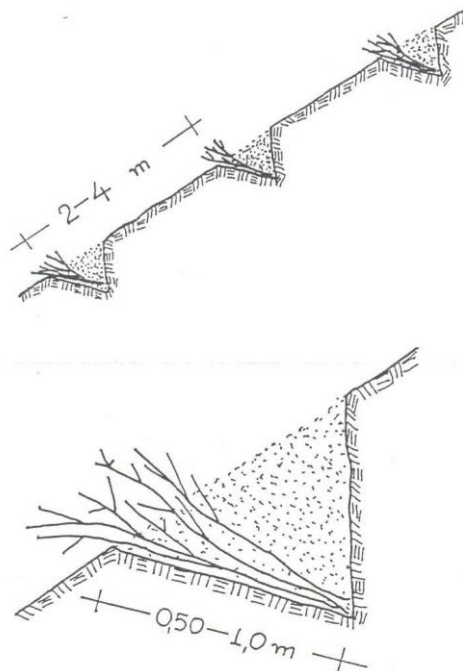
Υποβοηθητικά έργα



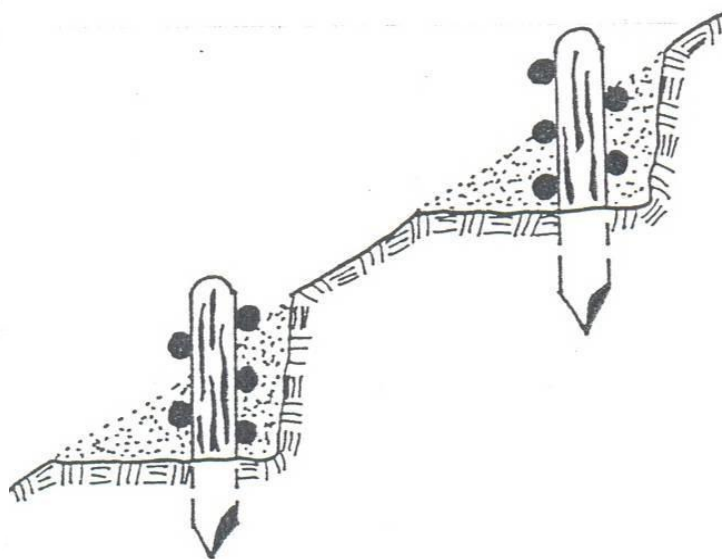
Μέτρα κατά της διάβρωσης – παράσυρσης υλικών – απότομης απορροής

Υποβοηθητικά έργα

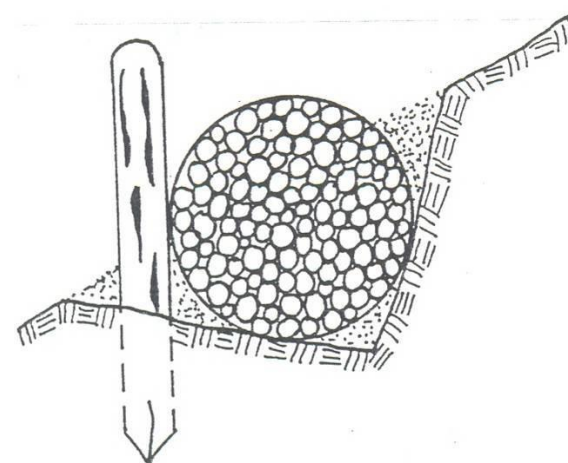
Συμπλεγματοθέματα



Κλαδοπλέγματα



Φακελλώματα



χ. 49: Κατασκευή συμπλεγματοθεμάτων.

Μέτρα κατά της διάβρωσης – παράσυρσης υλικών – απότομης απορροής

Υποβοηθητικά έργα



Coir mat and logs

Coir mat



Σχεδιασμός και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές περιοχές- Παραδείγματα Μέτρων

Κατασκευή προστατευτικών τοιχίων



Σχεδιασμός και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές περιοχές- Παραδείγματα Μέτρων

Κατασκευή αναχωμάτων ποταμού

Τα αναχώματα κατασκευάζονται αφού ληφθεί υπόψη η κατάσταση του υπεδάφους και η ποιότητα του χώματος που χρησιμοποιείται. Ακόμη απαιτείται κατάλληλη συμπύκνωση του υλικού, ενίσχυση των όψεων.

Η αστοχία των αναχωμάτων οφείλεται σε:

- υπερπήδηση
- κακή συντήρηση
- διάβρωση ή υποσκαφή από μεγάλη πλημμύρα



Πηγή: *Early Warning Systems in the Framework of the Cologne Flood Protection Scheme, Stadtentwässerungs-betriebe Köln, AoR*

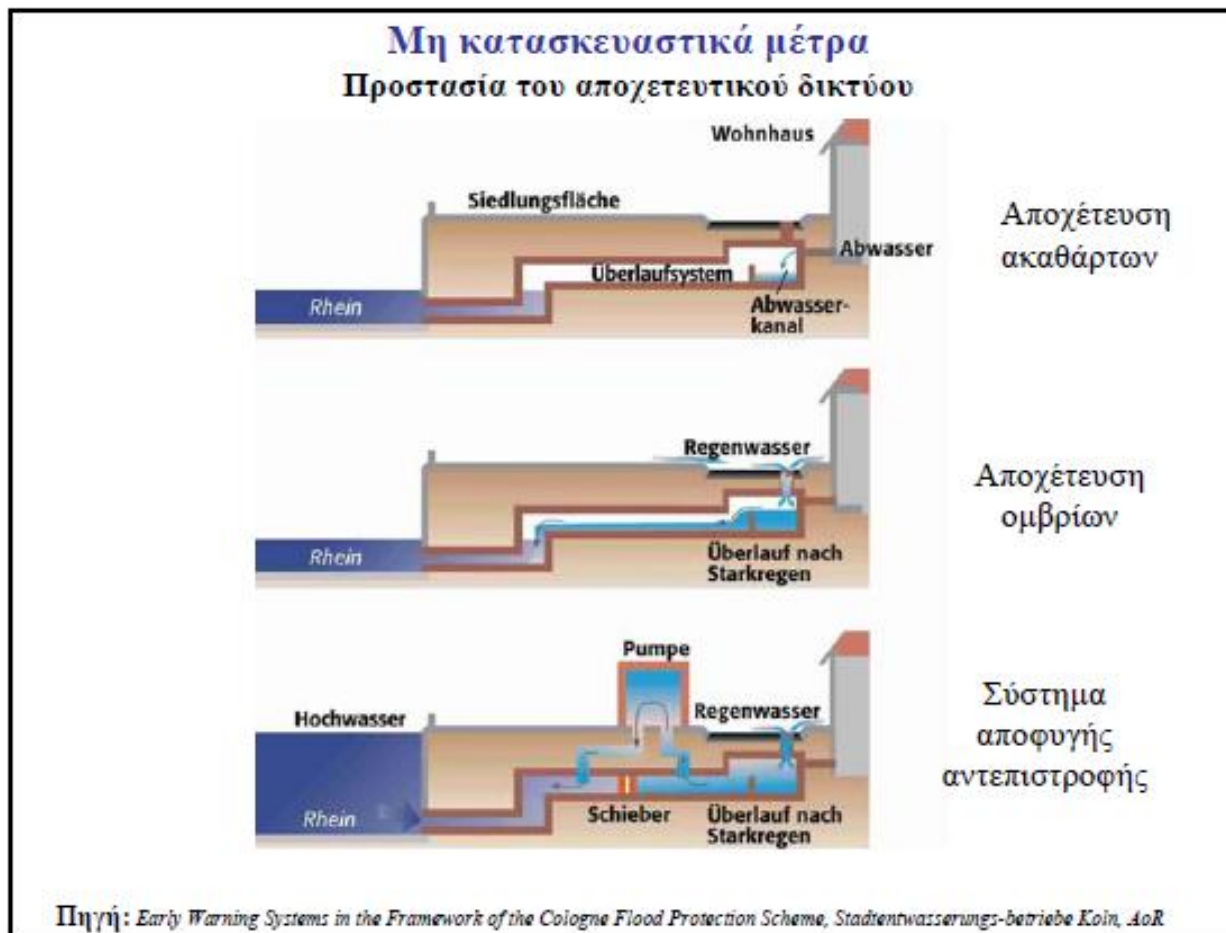
Σχεδιασμός και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές περιοχές- Παραδείγματα Μέτρων

Κατασκευαστικά μέτρα
Θυροφράγματα για πλημμυρικά νερά



Πηγή: *Early Warning Systems in the Framework of the Cologne Flood Protection Scheme, Stadtentwässerungs-betriebe Köln, AoR*

Σχεδιασμός και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές περιοχές- Παραδείγματα Μέτρων



Σχεδιασμός και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές περιοχές- Παραδείγματα Μέτρων

Περατά Πεζοδρόμια (Permeable Pavements)



Σχεδιασμός και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές περιοχές- Παραδείγματα Μέτρων

Ταφροί απορροής (grass swales)



Σχεδιασμός και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές περιοχές- Παραδείγματα Μέτρων



Τεχνητές λεκάνες και
λίμνες συγκράτησης
ομβρίων



Σχεδιασμός και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές περιοχές- Παραδείγματα Μέτρων



Flood Proofing



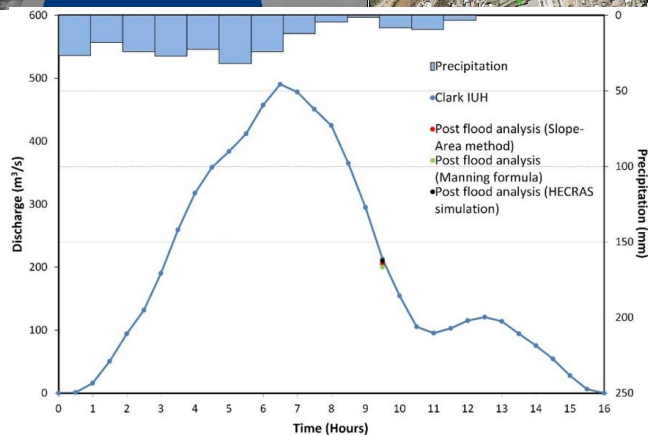
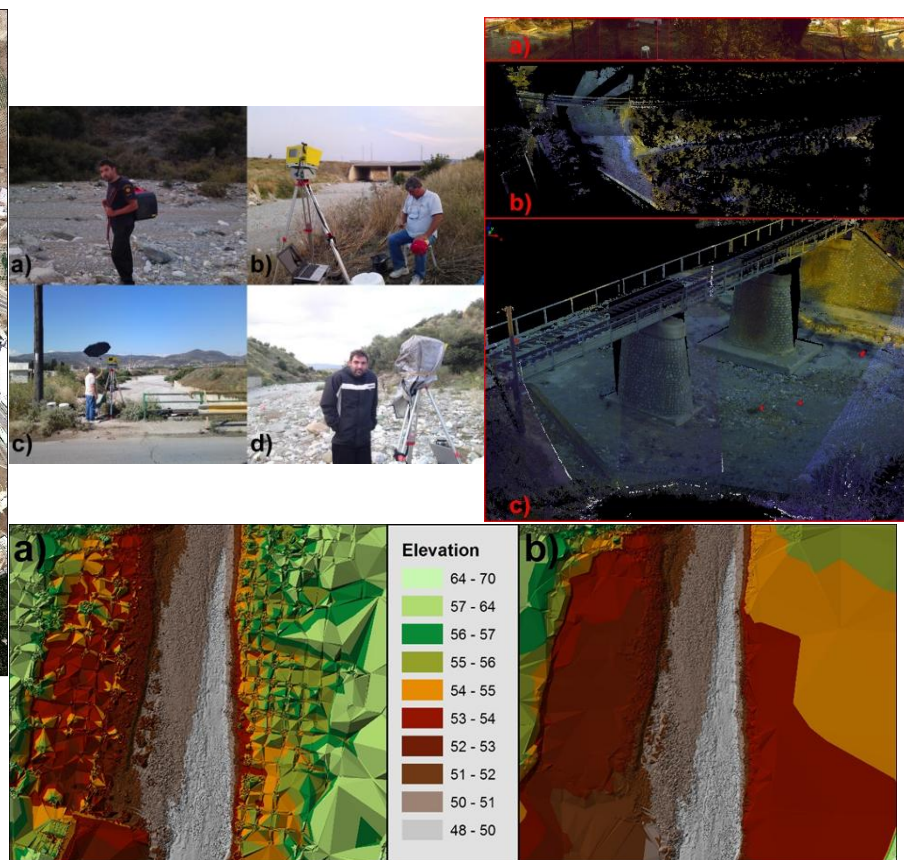
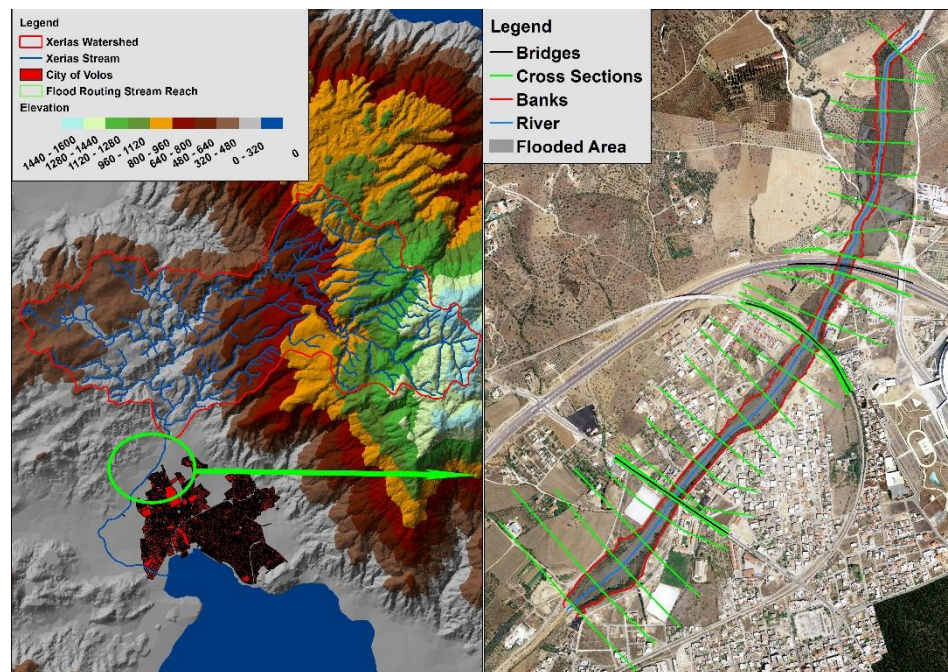
Σχεδιασμός και διαχείριση πλημμυρικού κινδύνου σε αστικές περιοχές- Παραδείγματα Μέτρων

Αστικοί Υγροβιότοποι

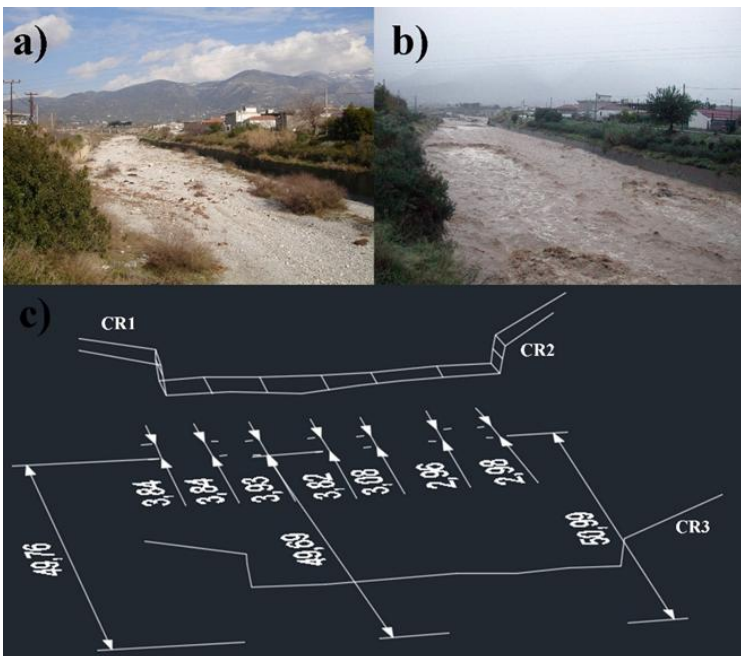


ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Παραδείγματα – Ανάλυση ευαισθησίας για την εκτίμηση και χαρτογράφηση πλημμυράς



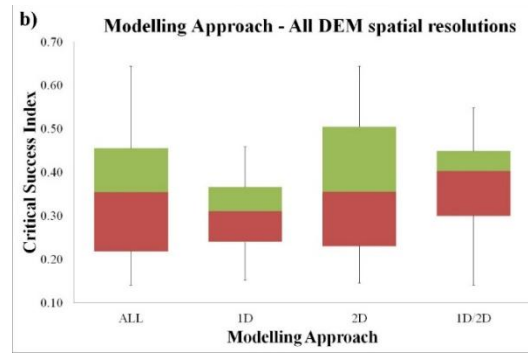
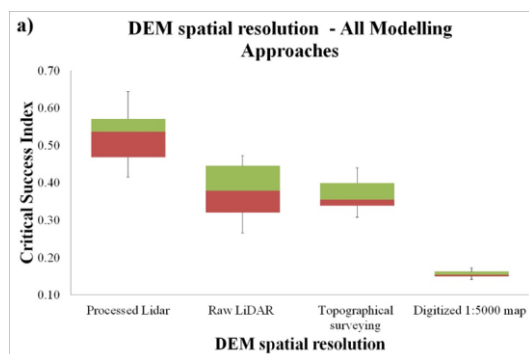
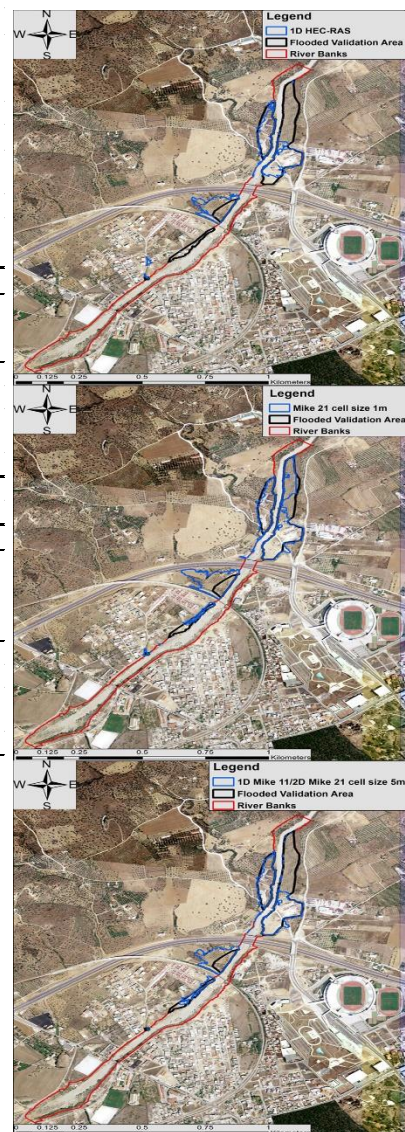
Παραδείγματα – Ανάλυση ευαισθησίας για την εκτίμηση και χαρτογράφηση πλημμυράς



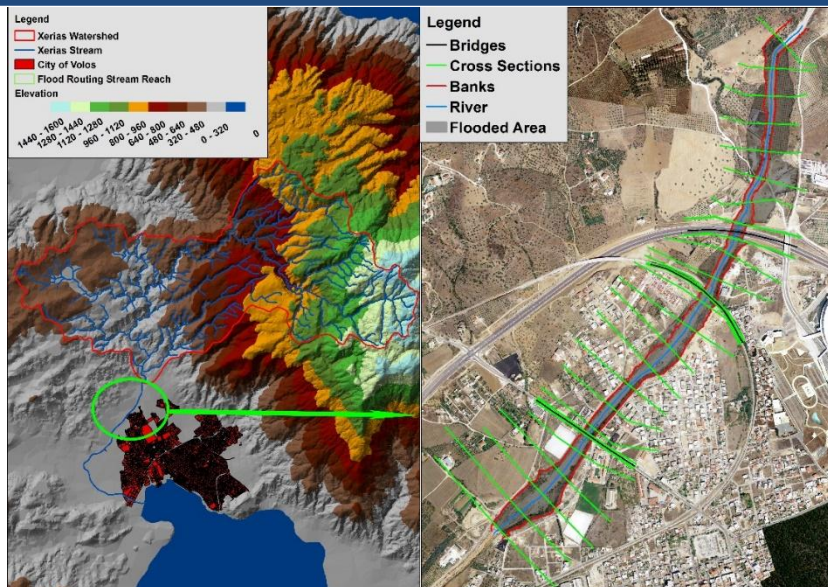
	1D		
	HEC-RAS	MIKE11 Interpolated cross section	MIKE 11 DEM
Processed Lidar	0.46	0.41	0.44
Raw LiDAR	0.31	0.27	0.28
Topographical surveying	0.33	0.31	0.35
Digitized 1:5000 map	0.17	0.16	0.15

	2D			
	MIKE 21 Flow Model 1m cell size	MIKE 21 Flow Model 5m cell size	MIKE 21 Flow Model Flexible mesh 1m ² /1m ²	MIKE 21 Flow Model Flexible mesh 1m ² /10m ²
Processed Lidar	0.64	0.63	0.59	0.54
Raw LiDAR	-	0.45	0.46	0.47
Topographical surveying	0.35	0.36	0.31	0.35
Digitized 1:5000 map	0.15	0.15	0.15	0.15

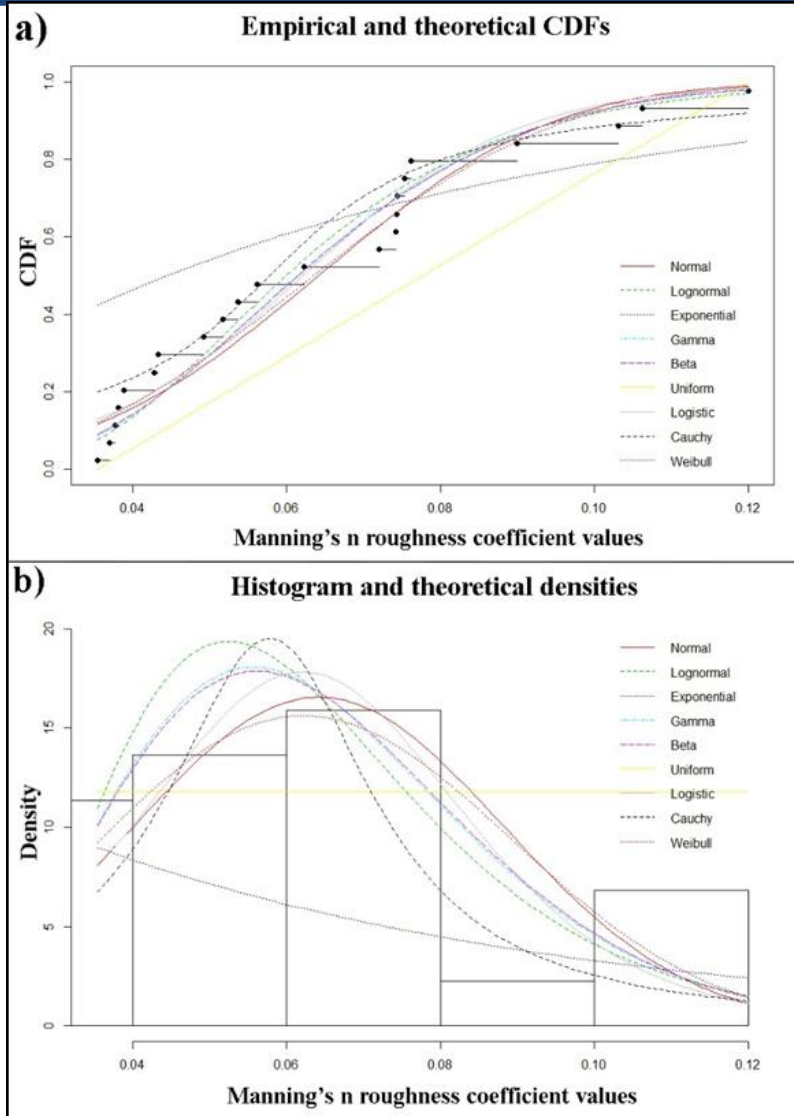
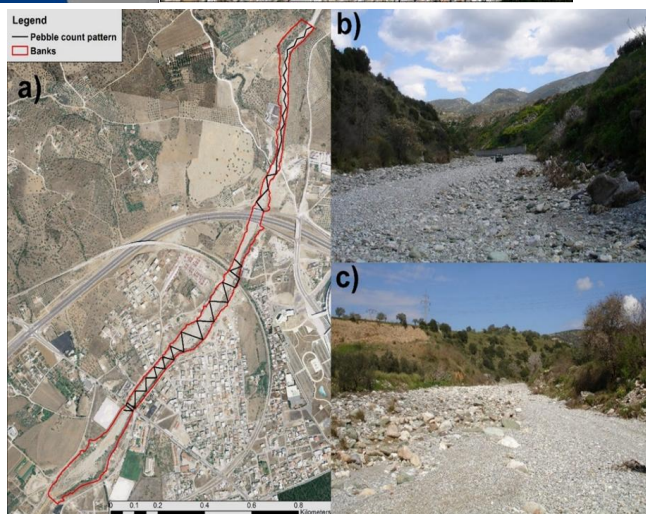
	1D/2D			
	MIKE11 / MIKE 21 Flow Model 1m cell size	MIKE11 / MIKE 21 Flow Model 5m cell size	MIKE11 / MIKE 21 Flow Model Flexible mesh 1m ² /1m ²	MIKE11 / MIKE 21 Flow Model Flexible mesh 1m ² /10m ²
Processed Lidar	0.54	0.55	0.48	0.48
Raw LiDAR	0.41	0.42	0.34	0.35
Topographical surveying	0.44	0.42	0.40	0.40
Digitized 1:5000 map	0.16	0.14	0.17	0.17



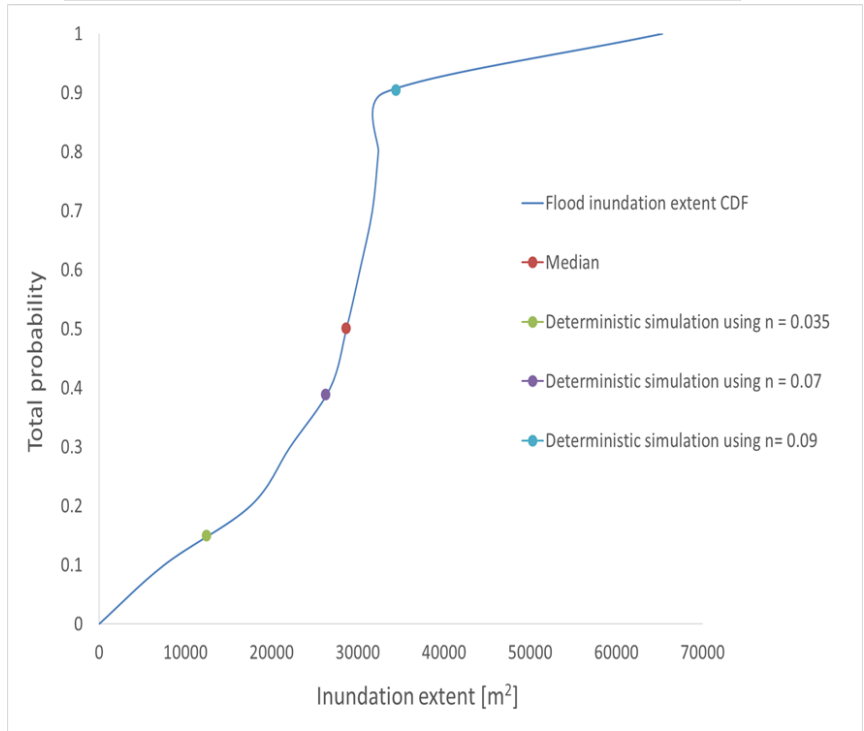
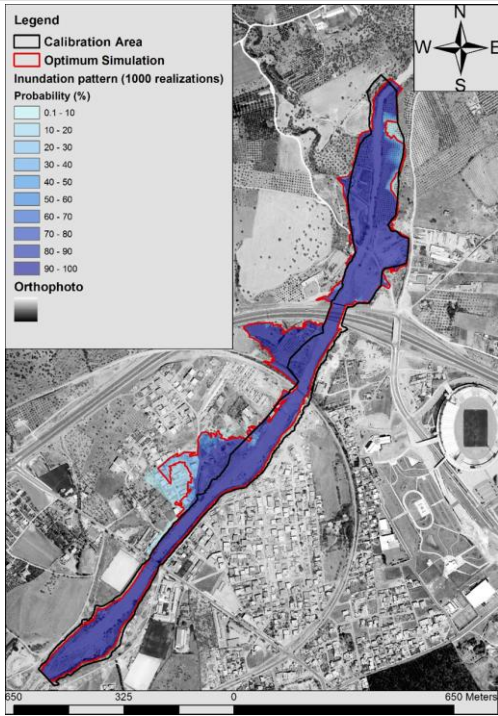
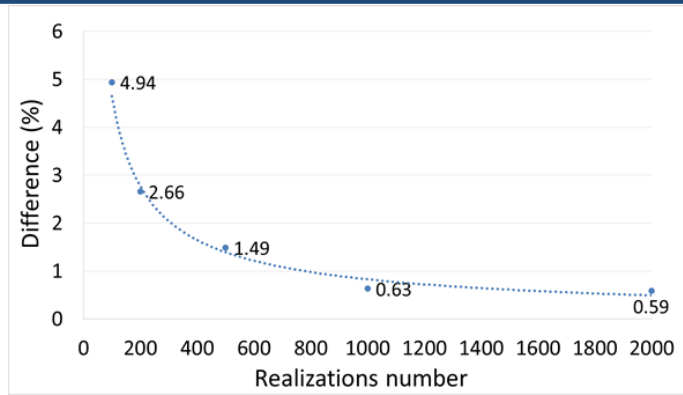
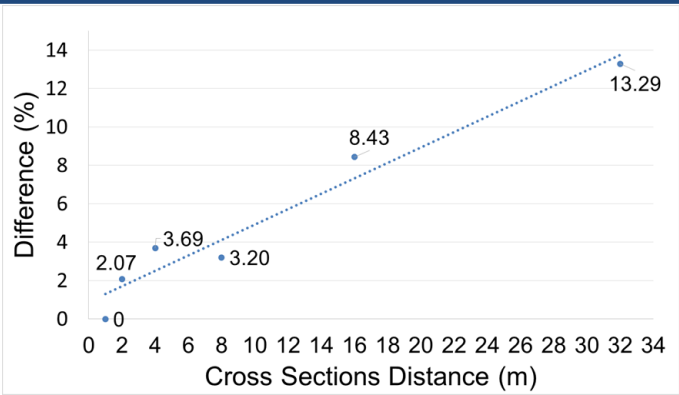
Παραδείγματα – Ανάλυση αβεβαιότητας για την εκτίμηση και χαρτογράφηση πλημμυράς



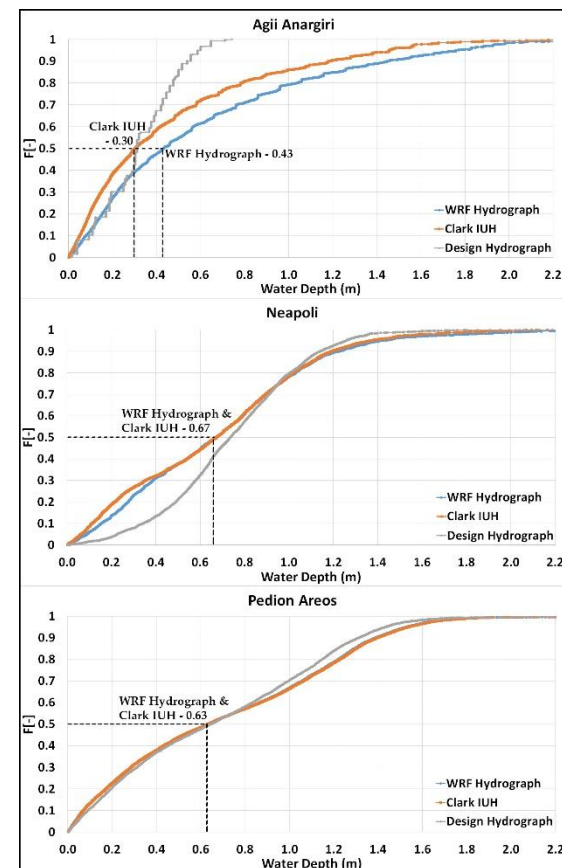
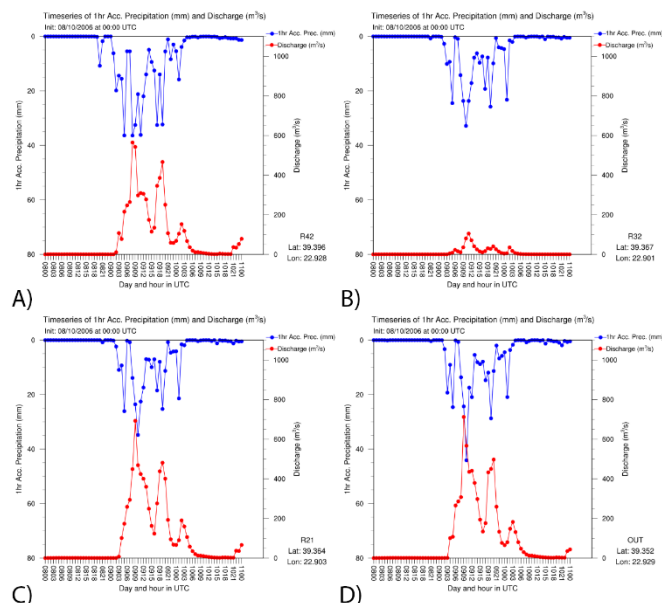
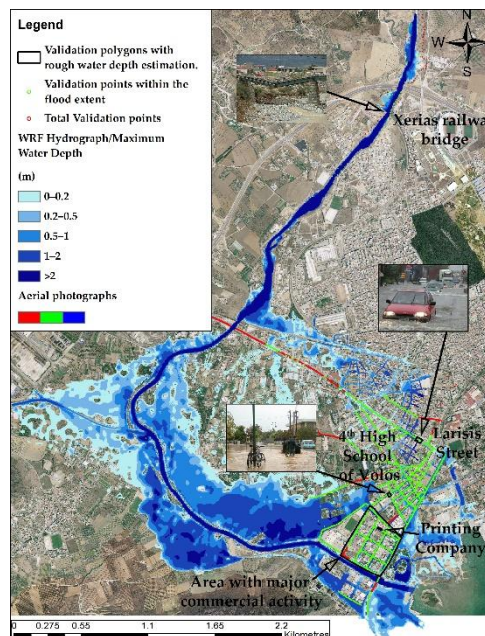
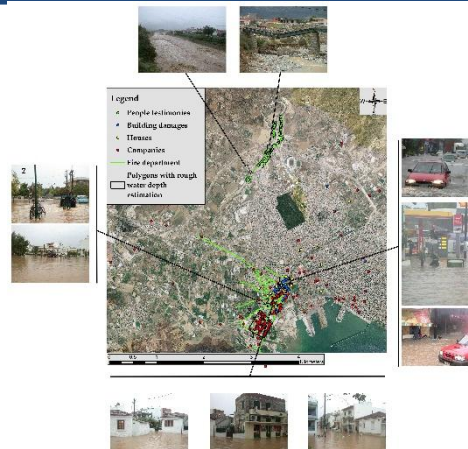
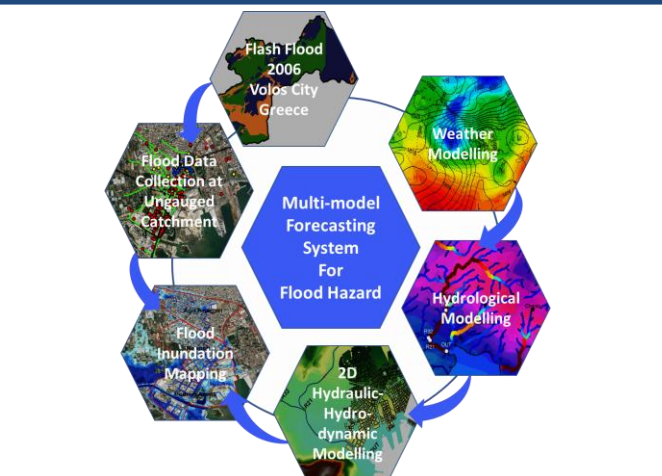
Predefined diameters	d_s (mm)
d_{16}	38.86
d_{35}	62.41
d_{50}	84.83
d_{75}	188.39
d_{84}	285.81
d_{90}	400.13
d_{95}	618.88



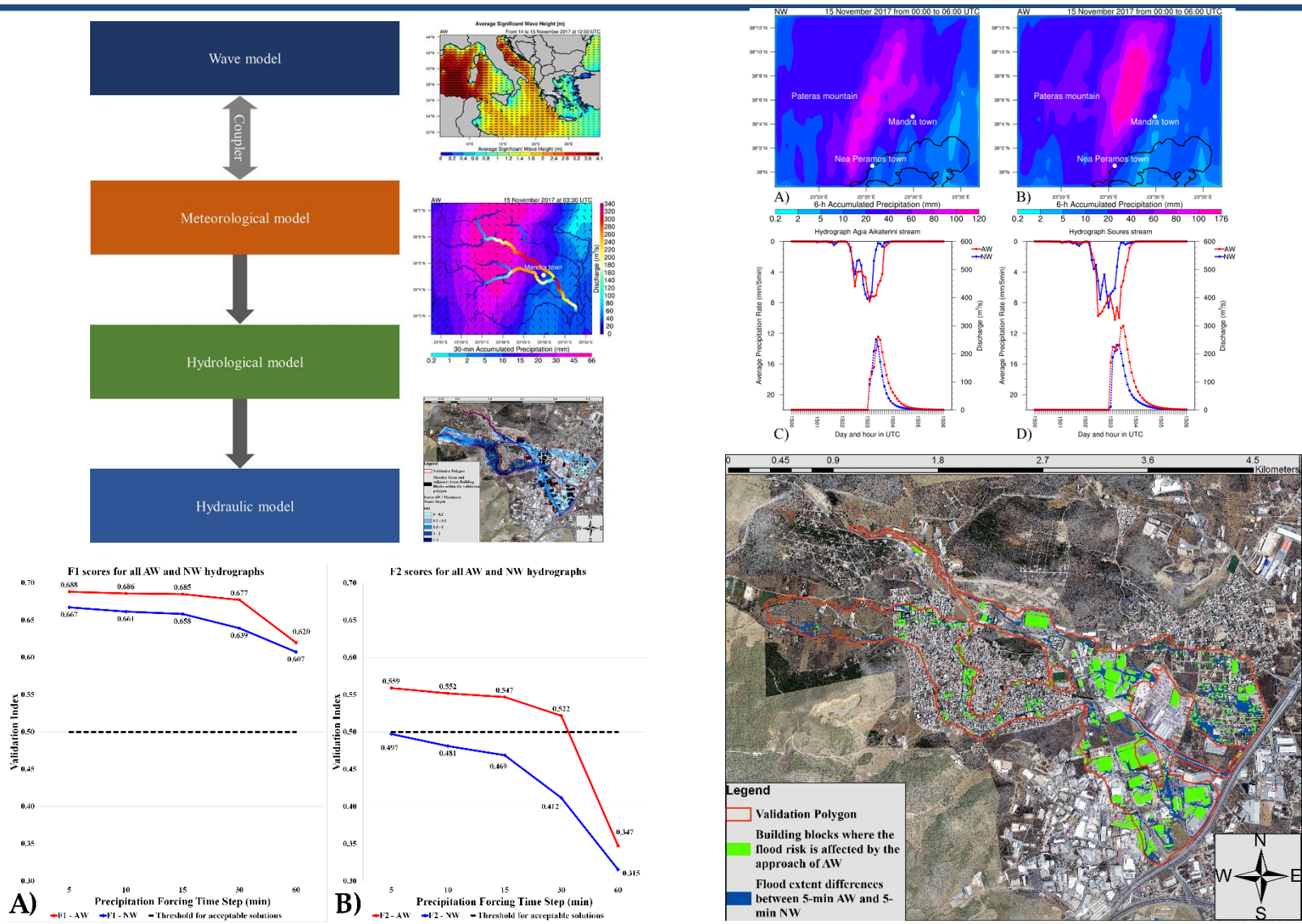
Παραδείγματα – Ανάλυση αβεβαιότητας για την εκτίμηση και χαρτογράφηση πλημμυράς



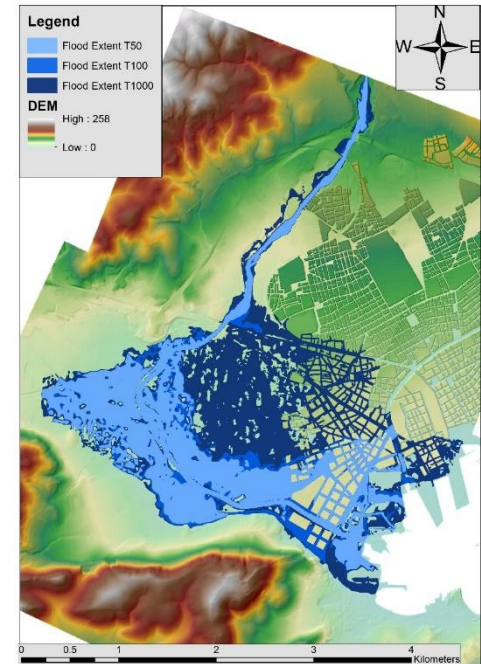
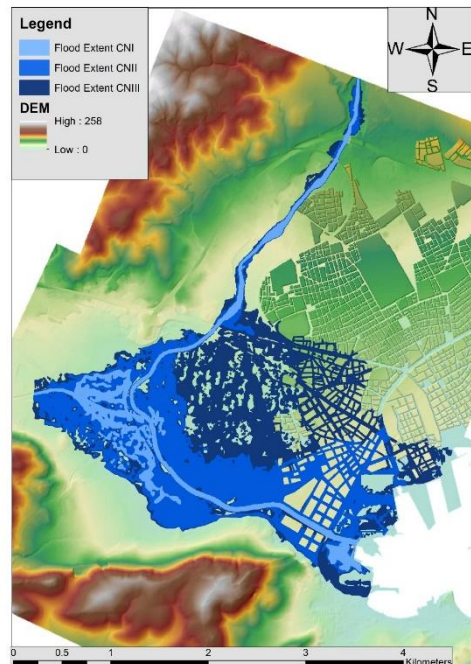
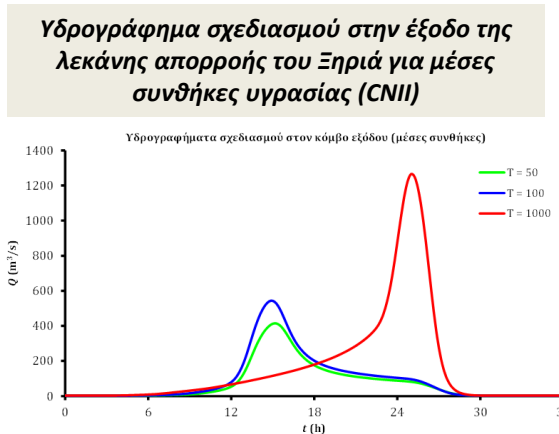
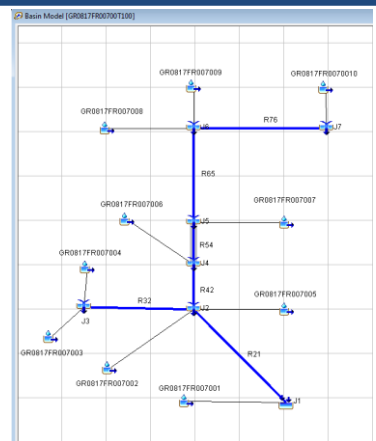
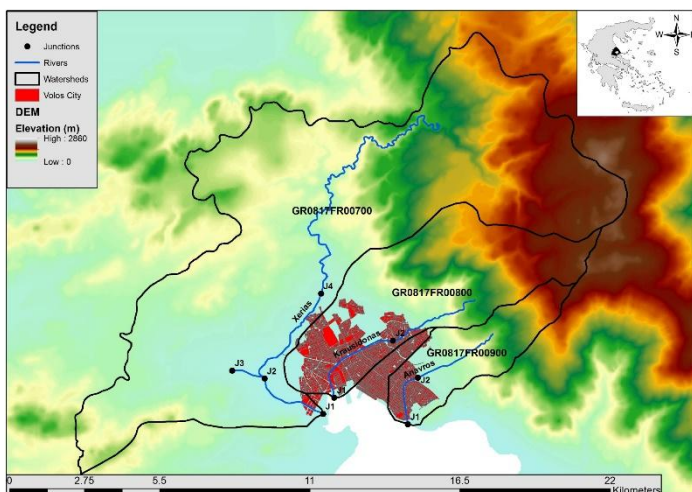
Παραδείγματα – Χαρτογράφηση πλημμύρας με χρήση συζευγμένων υδρομετεωρολογικών-υδραυλικών λογισμικών



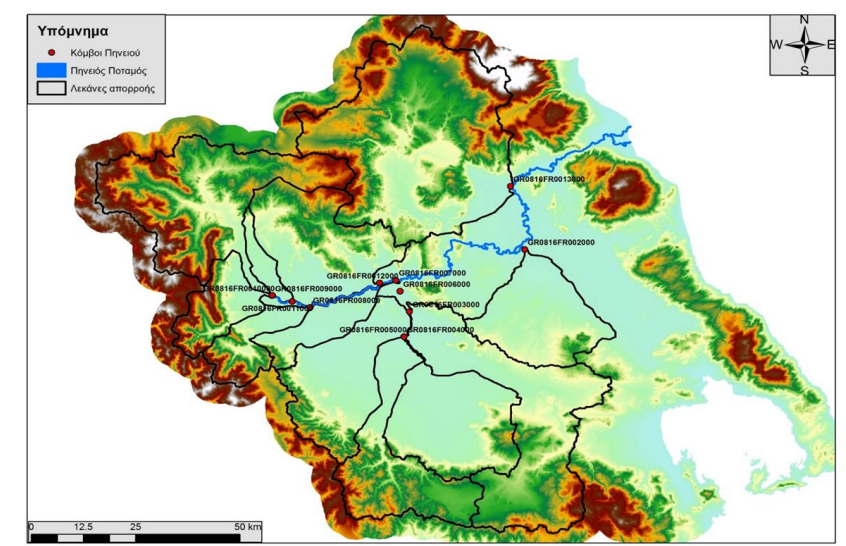
Παραδείγματα – Επιρροής των κυματισμών στην πρόβλεψη πλημμυρογραφίματος και πλημμυρικής έκτασης



Παραδείγματα – Ανάπτυξη μεθοδολογικού πλαισίου για την εφαρμογή της οδηγίας 2007/60/EC σε αστικές περιοχές

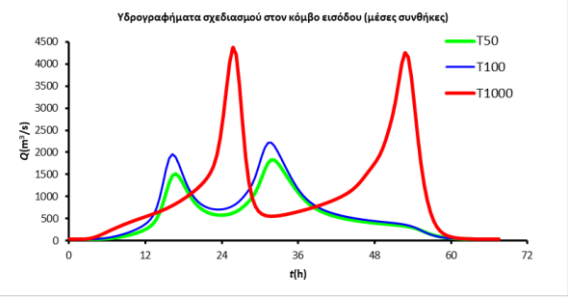


Παραδείγματα –Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας

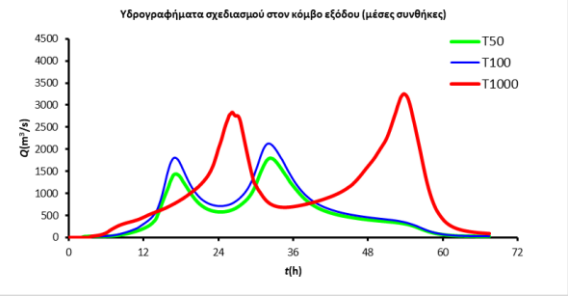


Κωδικός	Ανάντη	Κατάντη	Μήκος (km)	Υδρογραφήματα Εισόδου	Παραγόμενα Υδρογραφήματα Εξόδου
R910_11	J910	J11	7.51	GR0816FR009000+GR0816FR0010000	O11
R11_8	J11	J8	5.91	GR0816FR0011000+O11	O8
R8_12	J8	J12	26.54	GR0816FR008000+O8	O12
R12_7	J12	J7	4.80	GR0816FR0012000+O12	O7_1
R7_67	J7	J67	2.56	GR0816FR007000+O7_1	O67
R45_3	J45	J3	8.07	GR0816FR004000+GR0816FR005000	O3
R3_6	J3	J6	7.53	GR0816FR003000+O3	O6
R6_7	J6	J7	5.18	GR0816FR006000+O6	O7_2
R7_11	J7	J1	32.81	O7_2 + O67	I1
R11_2	J1	J2	32.81	I1	O2
R2_13	J2	J13	27.29	GR0816FR002000+O2	O13
R12_13	J2	I3	11.93	GR0816FR0013000+O13	I3
R14_Pinio	14	JPinio	22.80	I3	O_Pinio

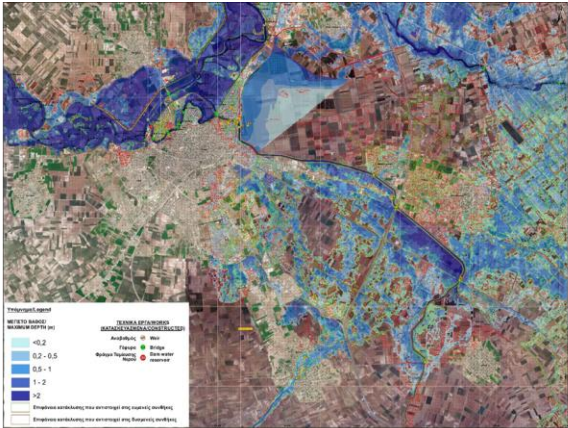
Λουκάς, Α., Βασιλειάδης, Λ., Γκανούλης, Φ., Παπαϊωάννου, Γ., Σιδηρόπουλος, Π., Χρόνης, Ι., Φωτάκης, Δ. [Ομάδα 2, Παραδοτέο 5] (2018). “Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θεσσαλίας”, συμπ. “Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών των Υδατικών Διαμερισμάτων Ηπείρου, Δυτικής Στερεάς Ελλάδας και Θεσσαλίας”, Ειδική Γραμματεία Υδάτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, Συμμετοχή μέσω της Κοινοπραξίας Γ.ΚΑΡΑΒΟΚΥΡΗΣ & ΣΥΝ/ΤΕΣ ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΜΗΧ/ΚΟΙ ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΙΑ, Τεχνική Έκθεση, Επιστημονικός Υπεύθυνος: Καθ. Α. Λουκάς. (ΦΕΚ-2685Β/6.07.2018) (http://thyamis.itia.ntua.gr/egyfloods/sdkp/EL08/ΦΕΚ_2685_06072018.pdf).



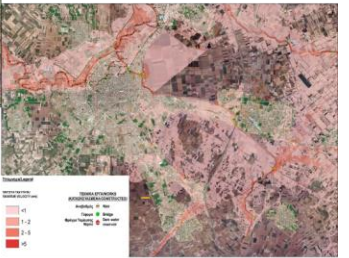
Υδρογράφημα σχεδιασμού στον κόμβο J910 του κλάδου R910_11



Παραγόμενο υδρογράφημα εξόδου O11 στον κόμβο J11 του κλάδου R910_11



Μέγιστη πλημμυρική έκταση και μέγιστο ύψος νερού για περίοδο επαναφοράς T = 100 χρόνια για όλα τα σενάρια βροχόπτωσης, συνθηκών υγρασίας και συντελεστή τραχύτητας (πάνω) και απεικόνιση της μέγιστης ταχύτητας για το βασικό σενάριο (CNI1)



Βιβλιογραφία

- ❑ Λουκάς, Α., και Βασιλειάδης, Λ. 2016. Σημειώσεις μαθήματος «Υδρολογία» (Θεωρεία), Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- ❑ Τσακίρης, Γ. 2013. Υδατικοί Πόροι Ι. Τεχνική Υδρολογία & Εισαγωγή στη διαχείριση υδατικών Πόρων. Εκδόσεις Συμμετρία.
- ❑ Κωτούλας, Δ. 1997. Υδραυλικά Έργα. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων Α.Π.Θ.
- ❑ ΥΠΕΧΩΔΕ, ΓΓΔΕ, 2002. Οδηγίες Μελετών Οδικών Έργων (ΟΜΟΕ). Τεύχος 8: Αποχέτευση - Στράγγιση Υδραυλικά Έργα Οδών (ΟΜΟΕ - ΑΣΥΕΟ).
- ❑ Ζαΐμης, Γ., Σημειώσεις μαθήματος «Έργα Ελέγχου Ορεινών Υδάτων», Τμήμα Δασοπονίας και Φυσικού Περιβάλλοντος – ΑΤΕΙ Καβάλας, 2014.
- ❑ Μάρης Π. Φ. Σημειώσεις μαθήματος «Διαχείριση Ορεινών Υδάτων II», Τμήμα Δασολογίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 2016.
- ❑ Κωτούλας, Δ., «Ορεινή Υδρονομική – Τόμος Πα,β – Τα ρέοντα ύδατα», Εκδόσεις Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 2001.

**ΣΑΣ ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΠΟΛΥ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ!**