



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΠΜΣ: «ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Α.ΚΑΛΛΙΩΡΑΣ

Διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης υδροπεριβαλλοντικών δεδομένων πληθοπορισμού για την ανάπτυξη συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών στη λεκάνη του π.Κηφισού

Επιμέλεια:
Ελένη Ζαχαροπούλου



Αθήνα, Νοέμβριος 2019

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή – Τοποθέτηση προβλήματος

- Πλημμύρες και συστήματα πρόγνωσης
- Επιστήμη των Πολιτών (Citizen Science)

2. Περιοχή μελέτης

- Γενικά στοιχεία -Πλημμυρικό Ιστορικό
- Παρακολούθηση λεκάνης

3. Δράσεις πληθοπορισμού και αυτοψίες

- Εκστρατείες πολιτών
- Μετρήσεις παροχής

4. Υδραυλική ανάλυση

- Επεξεργασία δεδομένων
- Κατάρτιση καμπυλών στάθμης-παροχής
- Ανάλυση πλημμυρικών επεισοδίων

5. Συμπεράσματα - συζήτηση



Εισαγωγή – Τοποθέτηση προβλήματος

Πλημμύρες και συστήματα πρόγνωσης

Πλημμύρες: επίδραση στην ασφάλεια και ευημερία πολιτών και οικονομίας



Ανάγκη: πρόληψης, περιορισμού και αντιμετώπισης πλημμυρών
(**Risk = Flood Probability × Vulnerability**)



Συστήματα πρόγνωσης πλημμυρών:

- Δίκτυο παρακολούθησης της λεκάνης
- Μετεωρολογικές προγνώσεις μικρής κλίμακας
- Υδρολογικό μοντέλο προσομοίωσης της λεκάνης

Η «τραγωδία» των αριθμών

- Περίοδος 1989 -2009 (Ευρώπη):
- 953 καταστροφικές πλημμύρες
 - 88671 θάνατοι
 - 29 εκ. κάτοικοι επηρεαζόμενος πληθυσμός
 - 269 δισ.\$ οικονομικές απώλειες

UN Office for Disaster & Risk

Προκλήσεις

- 1 Πολύπλοκη φύση υδρολογικών μεταβλητών
- 2 Έλλειψη πρωτογενών δεδομένων (κόστος και χωρική κάλυψη)

Επιστήμη των Πολιτών (Citizen Science)

Βασική ιδέα: Η συμμετοχή των πολιτών (μη επιστημόνων) στην ερευνητική διαδικασία και την δημιουργία νέων γνώσεων. Ο τρόπος και ο βαθμός συνεισφοράς στη συλλογή, ανάλυση και αξιολόγηση δεδομένων, καθορίζεται βάσει των αναγκών του έργου.

Υλοποίηση:

- Αξιοποίηση τεχνολογίας (smart phones, tablets κ.α.) – Wi-Fi
- Ειδικά σχεδιασμένες τεχνολογικές εφαρμογές (π.χ. gaming apps)
- Μετρητές χαμηλού κόστους (π.χ. για μέτρηση υγρασίας)

«Δίκτυο ανθρώπινων μετρητών»

Πεδίο εφαρμογής:

- Αξιοποίηση για καταγραφή βιοποικιλότητας (αρχικά)
- Μελέτη διεπιστημονικών αντικειμένων (π.χ. γεωφυσικές επιστήμες)

↳ **Υδρολογία**

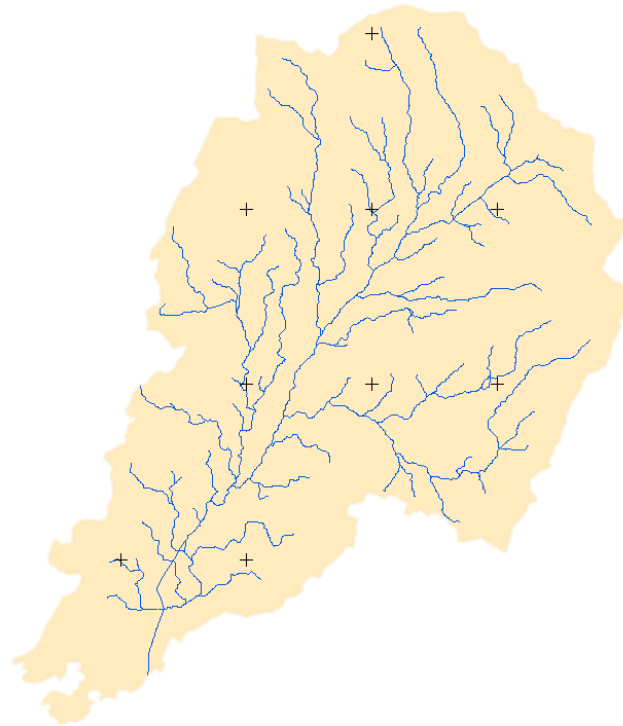
ΟΦΕΛΗ

- 1 Συλλογή δεδομένα ποικίλων παραμέτρων (βροχόπτωση, στάθμη/ταχύτητα ύδατος, κάλυψη/χρήσεις γης, εύρος πλημμύρας)
- 2 Χρονική κάλυψη – άμεση απόκριση πολιτών (nowcast)
- 3 Χωρική κάλυψη μέσω γεωαναφερμένων πληροφοριών (μέσω VGI -Volunteered Geographic Information)

Κατανομή έργων Citizen Science

- ΗΠΑ: ευρεία χρήση
- Ευρώπη: δοκιμαστική χρήση
 - Γερμανία – Ηνωμένο Βασίλειο
 - Γενικότερη προώθηση από δράσεις της Ε.Ε.
- Ελλάδα:
Υδρολογικού
προσανατολισμού

scent



Περιοχή Μελέτης

Γενικά στοιχεία

Λεκάνη απορροής: **Κηφισού**, Αττική (EL06)

Έκταση: ~380 km²

Χρήσεις γης:

- δάση και θάμνοι (ανάντη)
- αστικές περιοχές (κατάντη)

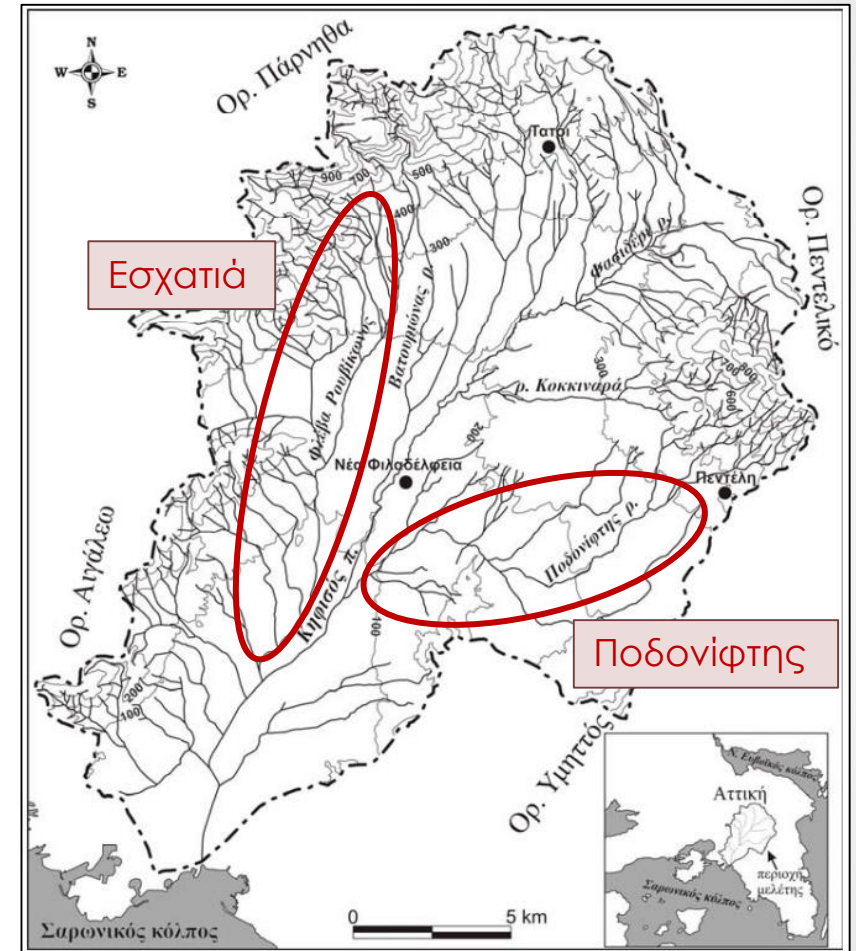
> 70 %
συνόλου

Επηρεαζόμενος πληθυσμός: ~ 3.5 εκ. κάτοικοι

Μήκος υδρ.δικτύου: ~22km (πλήθος συμβαλλόντων ρεμάτων)

Πιέσεις ανθρώπινης παρέμβασης

- Διευθέτηση / υπογειοποίηση (κατάντη Κόκκινου Μύλου)
- Παράνομη διάθεση αποβλήτων
- Αυθαίρετη δόμηση και καταπατήσεις



1994: Θέσπιση ζωνών προστασίας Κηφισού (ΦΕΚ632Δ/27-6-1994)
2002: Ίδρυση Φορέα Διαχείρισης και Ανάπλασης του Ποταμού Κηφισού (ΦΔΑΚ)

Πλημμυρικό ιστορικό περιοχής

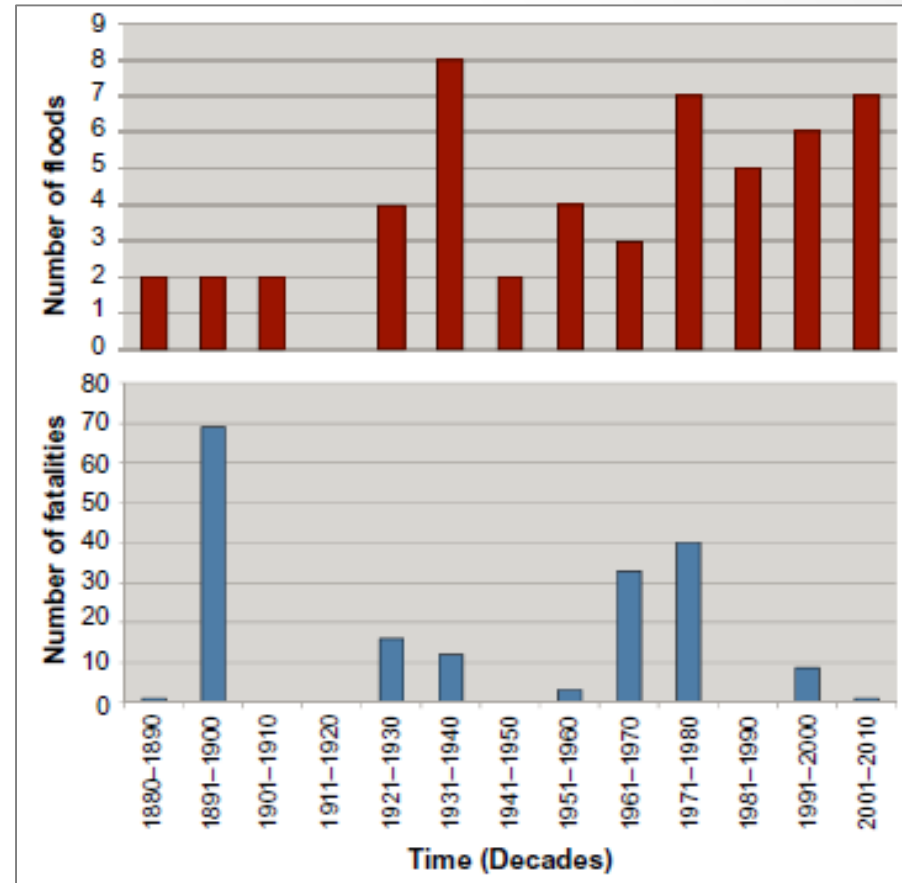
Αίτια εμφάνισης

- Έντονη αστικοποίηση
- Κατάργηση πολλών ρεμάτων της ιστορικής φυσικής λεκάνης
- Διευθέτηση και μείωση των διατομών φυσικών υδατορευμάτων
- Παλαιωμένο δίκτυο ομβρίων- έλλειψη συνολικής στρατηγικής
- Ανεπαρκής προγραμματισμός διαχείρισης περιαστικών υδατορευμάτων

Καταγεγραμμένα επεισόδια: 120

Σημαντικά επεισόδια (ΕΓΥ) : 49

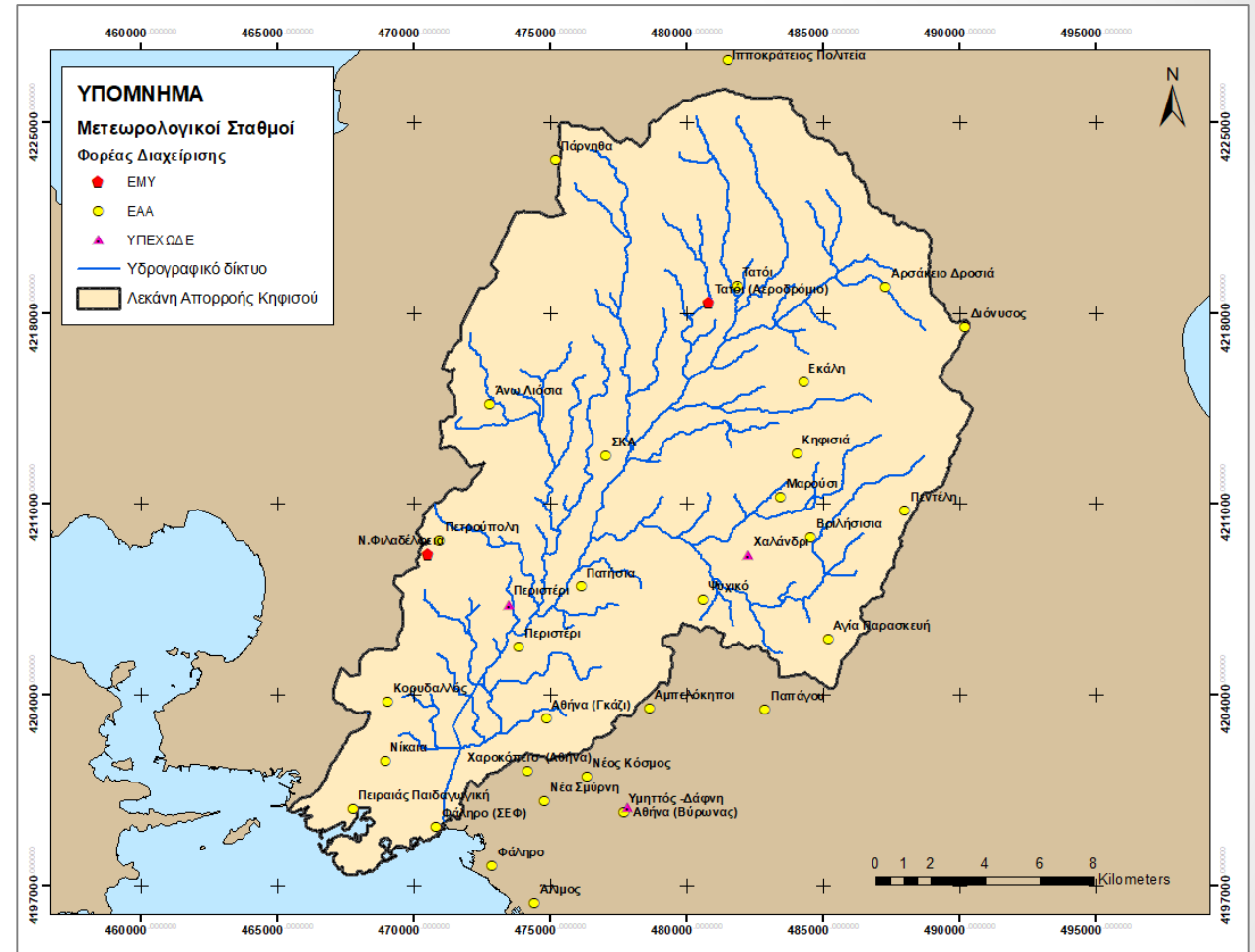
Θύματα : 182 (περίοδος 1880-2010)



Παρακολούθηση περιοχής

Δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών (εντός και πλησίον ΛΑΠ)

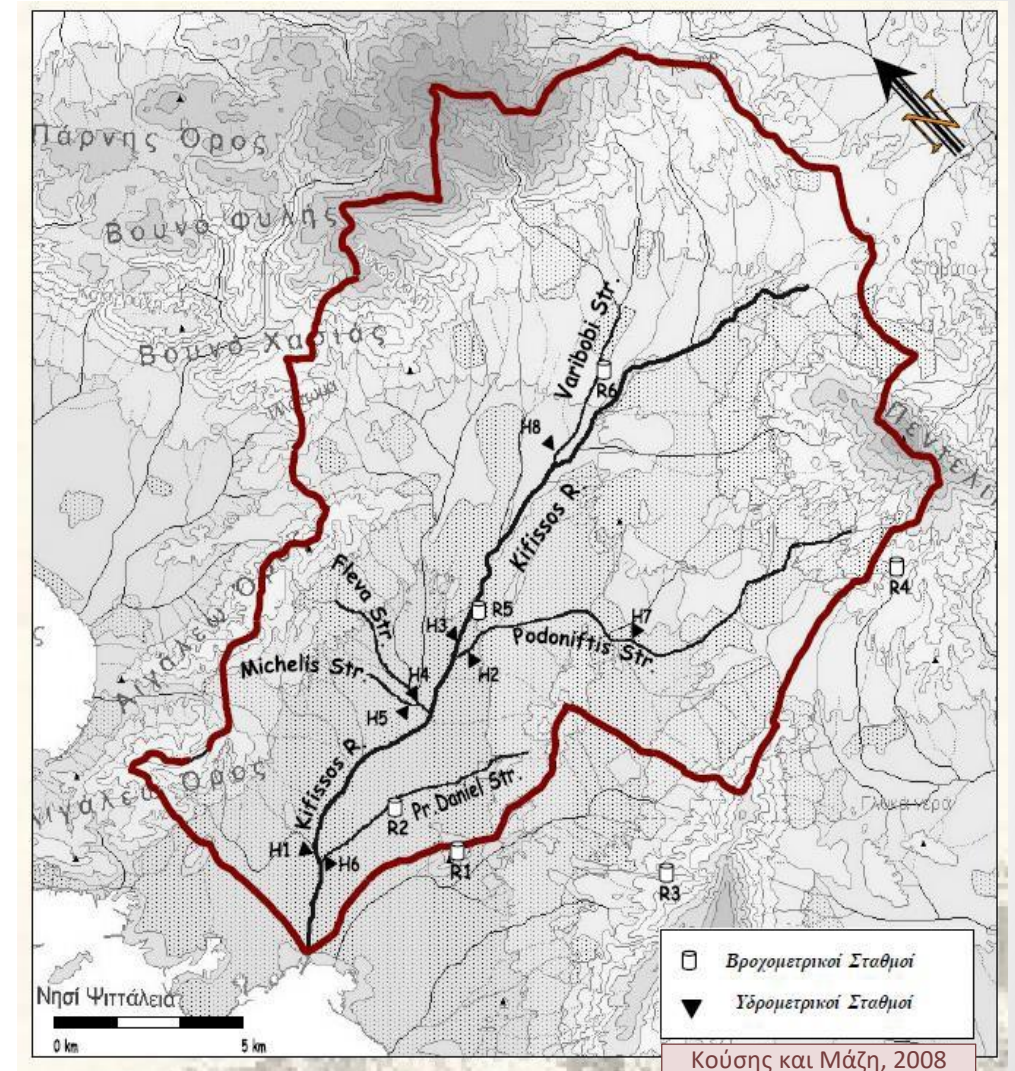
- **ΕΜΥ** : 3 σταθμοί
- **Πρώην ΥΠΕΧΩΔΕ**: 5 σταθμοί
- **ΕΘΙΑΓΕ**: 1 σταθμός
- **ΕΜΠ (ΙΤΙΑ)**: 1 σταθμός
- **ΕΜΠ(ΜΕΤΕΟΝΕΤ)**: 10 σταθμοί
- **ΕΑΑ**: 26 σταθμοί



Παρακολούθηση περιοχής

Δίκτυο υδρομετρικών σταθμών

- **TELEFLEUR** : 8 σταθμοί στον Κηφισό
Περίοδος: 1998-2000
- **ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ**: 1 σταθμός στο ρ. Χαλανδρίου
Περίοδος: 2011-2014
- **ΕΜΠ** : 5 σταθμοί στον Κηφισό
Μέτρηση: Στάθμης
Περίοδος: έναρξη 2017
Χρηματοδότηση: SCENT (Ε.Ε.)
Διαχείριση: Σχολή ΜΜΜ (ΕΜΠ)



Υδρομετρικό Δίκτυο ΕΜΠ

- Βαρυμπόμπη:**
- Μικρό ορθογωνικό κανάλι
 - Πιεζομετρική λειτουργία
- Δεκέλεια:**
- Ορθογωνική διατομή
 - Πιεζομετρική λειτουργία
- Μοναστήρι:**
- Μικτή διατομή (ορθογωνική/τραπεζοειδής)
 - Πιεζομετρική λειτουργία
- Κόκκινος Μύλος:**
- Τραπεζοειδής διατομή
 - Αυτόματος αισθητήρας μέτρησης
- Άγ. Ιωάννης Ρέντης:**
- Ορθογωνική διατομή
 - Αυτόματος αισθητήρας μέτρησης

Χρονικό βήμα μέτρησης: 15 λεπτά

Διαθέσιμα δεδομένα: <https://openhi.net/>





Δράσεις πληθοπορισμού και αυτοψίες

Εκστρατείες πολιτών - Οργάνωση

1 Επιλογή παραμέτρων – τρόπων μέτρησης

- Κάλυψη/ χρήσεις γης
- Στάθμη νερού
- Ταχύτητα νερού
- Εντοπισμός εμποδίων
- Εδαφική υγρασία

Φωτογραφίες / βίντεο σε ειδικά σχεδιασμένη εφαρμογή (ταξινόμηση)

Low-cost αισθητήρες

2 Επιλογή/προετοιμασία σημείων παρατήρησης

- Επιστημονικό ενδιαφέρον
- Ασφαλής προσέγγιση (πολίτες & οχήματα)
- Προετοιμασίας σημείων (π.χ. σταδίες στις παρειές)



3 Καθορισμός Προγράμματος

Ημερομηνία	Κύριος προσανατολισμός
14-17 /9/ 2018	Κάλυψη/ χρήσεις γης
15-18/11/2018	Στάθμη-ταχύτητα ύδατος, υγρασία εδάφους & κάλυψη/χρήσεις γης
16-17/2/2019	Στάθμη ταχύτητα νερού
11-14/4/2019	Στάθμη-ταχύτητα νερού, υγρασία εδάφους & κάλυψη/χρήσεις γης

Υπεύθυνοι Φορείς

- Περιφέρεια Αττικής
- ΕΟΔ Αττικής
- ΕΠΙΣΕΥ



Εκστρατείες πολιτών - Υλοποίηση

Συμμετοχή: 551 άτομα

Συλλογή δεδομένων: 5000 στοιχεία

Αξιολόγηση δράσεων:

- Θετική ανταπόκριση πολιτών
- Ικανοποιητικά δεδομένα φωτογραφιών

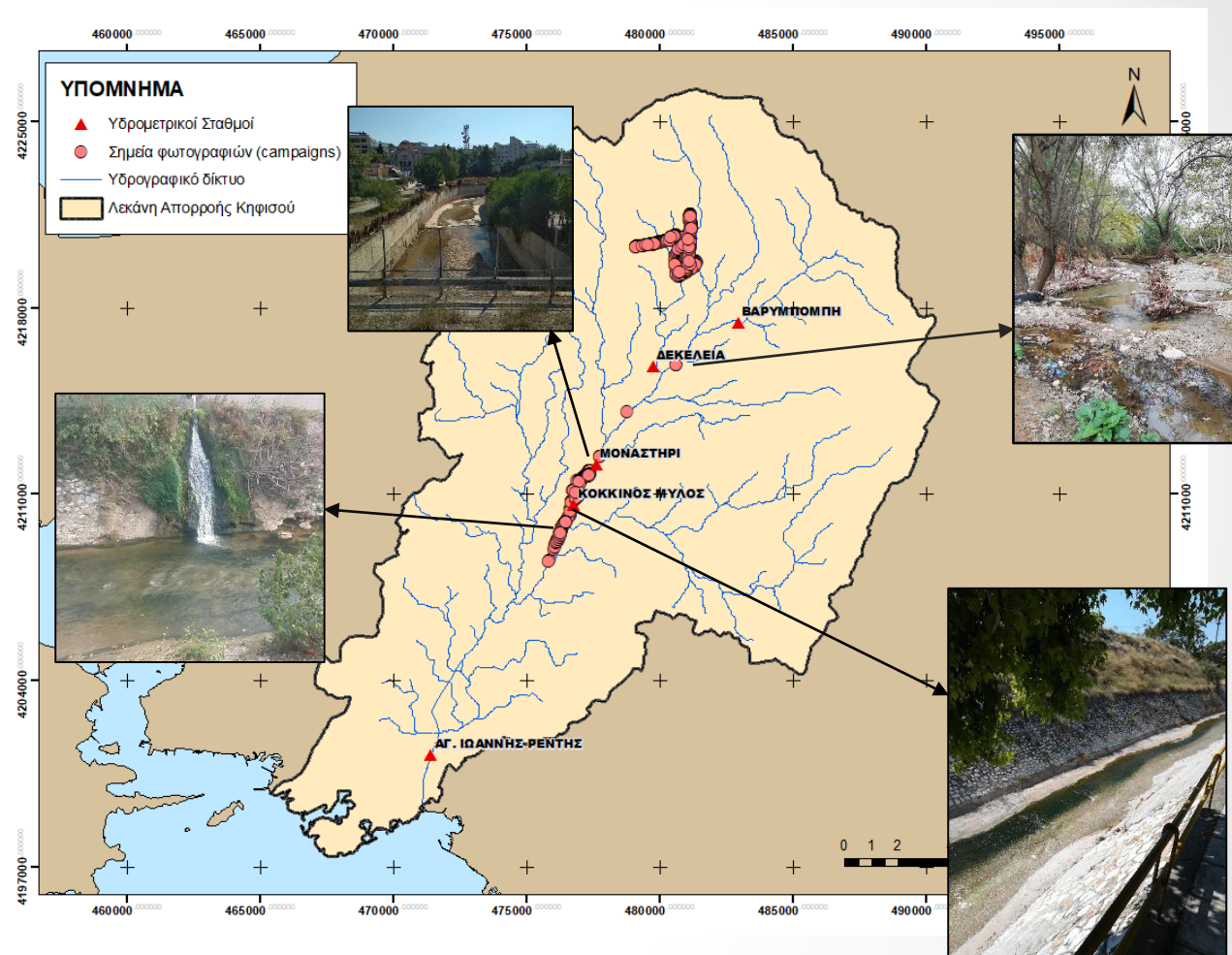
Εντοπισμός

Μεταβολές επένδυσης πρανών

Αγωγών διάθεσης

Κατάσταση κοίτης

- Φτωχά (ποιοτικά/ποσοτικά) δεδομένα ταχύτητας / εδαφικής υγρασίας
- Προβλήματα συνδεσιμότητας στο δίκτυο



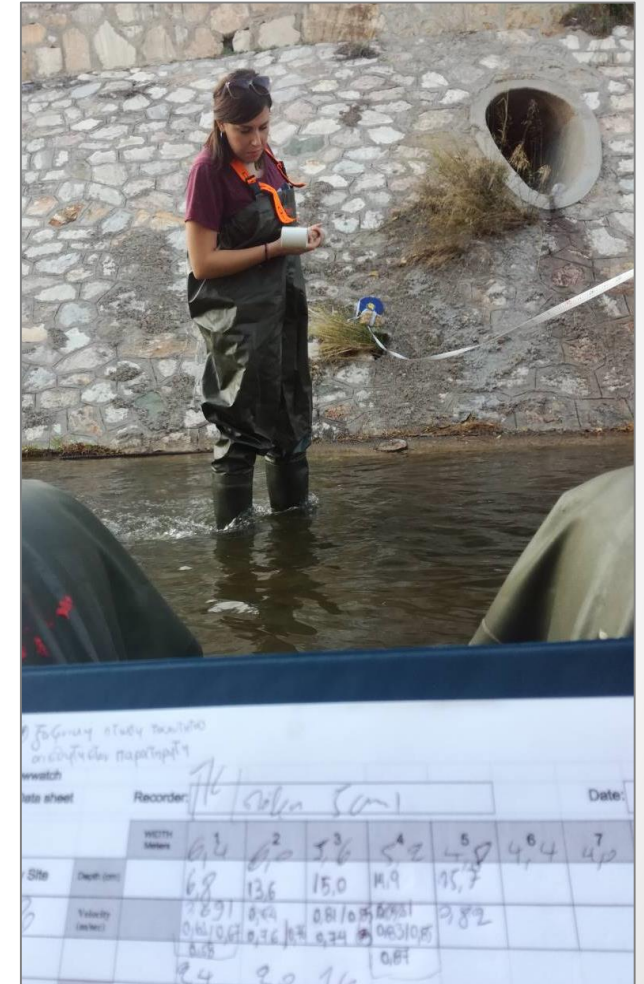
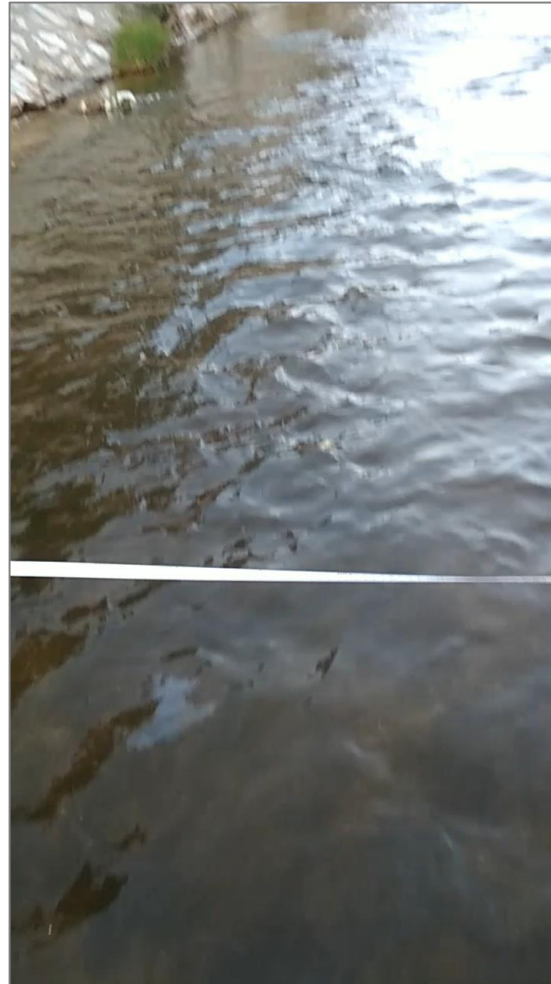
Διαθέσιμα δεδομένα: <https://scent-harm.iccs.gr/>

Μετρήσεις παροχής

Θέσεις: Σταθμός Μοναστήρι
 Σταθμός Κόκκινος Μύλος
 Σταδίες κατάντη Κόκκινου Μύλου

Όργανο: ηλεκτρονικός μυλίσκος

Θέση	Παροχή (m ³ /s) Q = V×E		
	Ιούνιος 2018	Νοέμβριος 2018	Σεπτέμβριος 2019
Σταδία T1 (Κ.Μύλος)	0.227	0.35	0.266
Σταδία T2	0.282	0.494	-
Σταδία T4	0.321	0.28	-
Σταδία TK	0.234	0.547	-
Μοναστήρι	-	0.235	0.208





Υδραυλική ανάλυση

Μεθοδολογία – Επεξεργασία δεδομένων

Στόχος:

Διερεύνηση του πλημμυρικού προφίλ της λεκάνης του Κηφισού

Σταθμοί βάσης:

- Δεκέλεια (90 km²)
- Κόκκινος Μύλος (170 km²)
- Αγ.Ιωάννης Ρέντης(345 km²)

Βαρυμπόμπη: διαστήματα εκτός λειτουργίας
Μοναστήρι: μεικτή διατομή λιμνάζοντα νερά

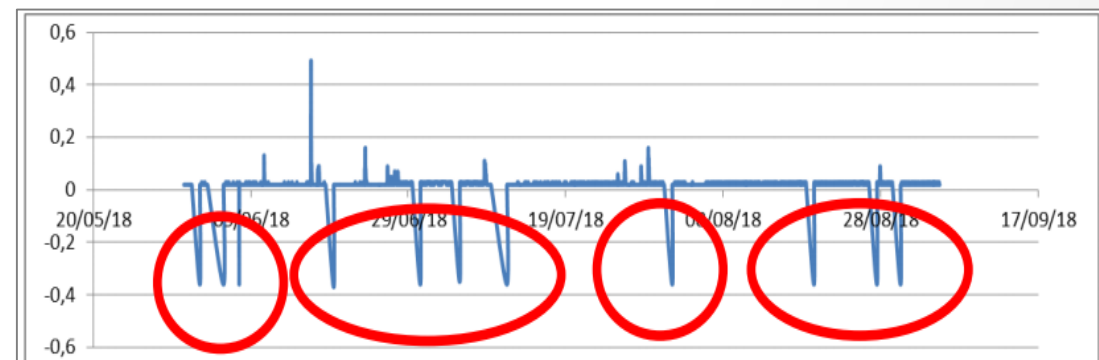
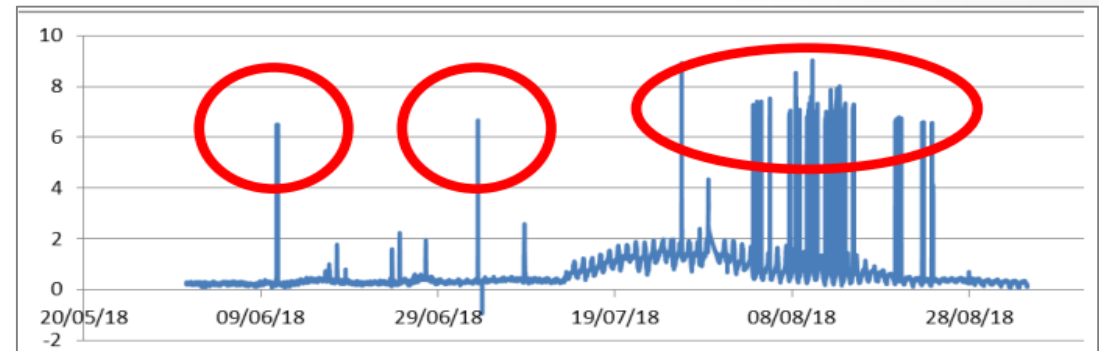
Βήμα 1^ο: Επεξεργασία δεδομένων στάθμης

Διόρθωση χονδροειδών σφαλμάτων από μετρητές:

- Αρνητικές τιμές στάθμης
- Στιγμαιαία μεγάλες τιμές
- Κενές καταγραφές (μερικώς)



«Δευτερογενείς χρονοσειρές»



Επεξεργασία δεδομένων

Βήμα 2^ο: Επιλογή επεισοδίων

- Επιλογή επεισοδίων υψηλής στάθμης (15 συνολικά)
- Στατιστική ανάλυση επεισοδίων

α/α	Ημερομηνία	Μέγιστη στάθμη (m)		
		Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
1	4/1/2019	0.09	0.59	0.78
2	31/12/2018	0.11	1.32	1.59
3	18/12/2018	0.10	1.10	1.77
4	15/12/2018	0.08	0.49	1.20
5	13/12/2018	0.10	0.63	1.12
6	21/11/2018	0.16	0.83	1.61
7	18/11/2018	0.10	0.95	1.25
8	17/11/2018	0.05	0.37	0.56
9	28/2/2018	0.07	0.50	0.79
10	26/2/2018	0.11	0.87	1.20
11	24/2/2018	0.12	0.62	1.90
12	15/2/2018	0.11	0.90	1.22
13	10/2/2018	0.11	0.91	1.12
14	13/1/2018	0.12	0.76	1.55
15	4/1/2018	0.10	0.81	1.00

Καμπύλες στάθμης-παροχής

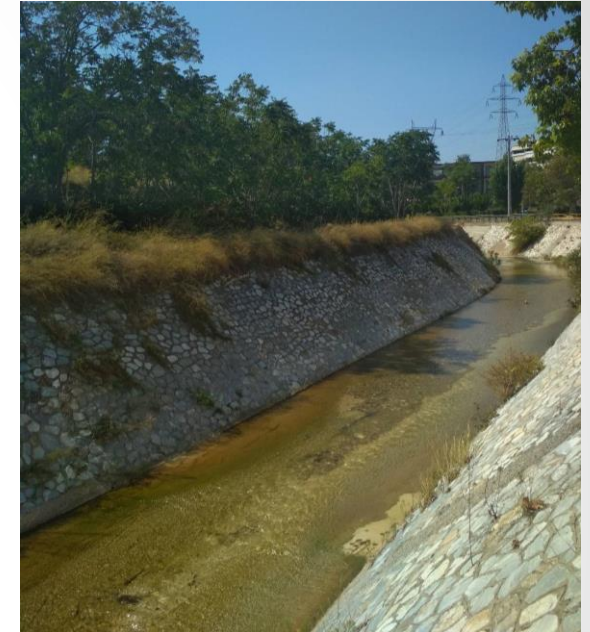
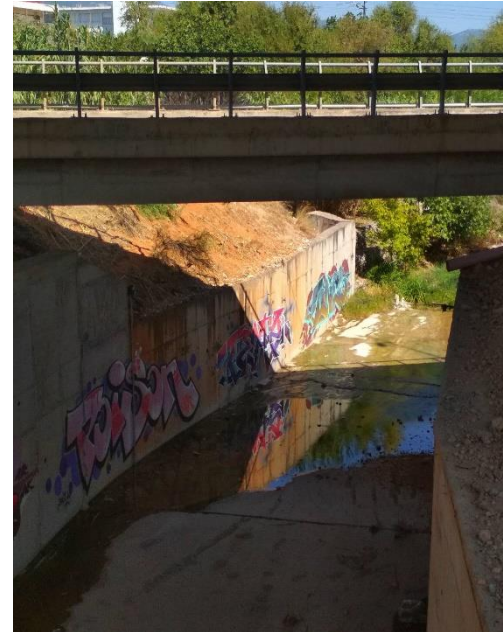
Βήμα 3^ο: Κατάρτιση καμπυλών στάθμης - παροχής

- Υδραυλικός υπολογισμός (**Manning**): $Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2}$
- Εκτίμηση **n**: Αξιοποίηση φωτογραφιών από campaigns
Σκυρόδεμα: $n = 0.015$
Λιθορριπή: $n = 0.018$
- Εκτίμηση **A, R, S₀**: Αξιοποίηση δεδομένων/εκτιμήσεων από αυτοψίες / μετρήσεις

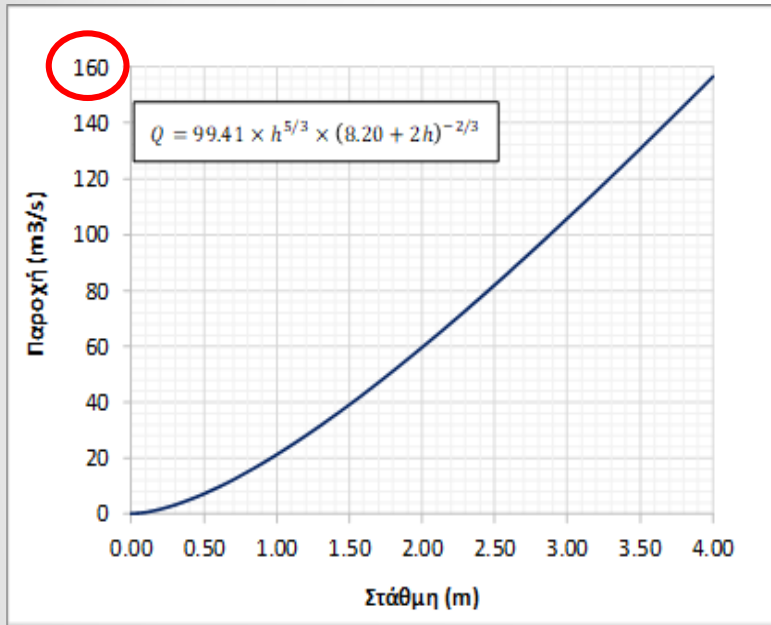
Σταθμός	B (m) x H (m)	S ₀ (%)
Δεκέλεια	8.20x3.90	0.2
Κόκκινος Μύλος	4.15x4.80	0.5
Αγ. Ιωάννης Ρέντης	27.39x14.00	0.1

$$Q_{\text{Τρεις γέφυρες}} = 250 \text{ m}^3/\text{s}$$

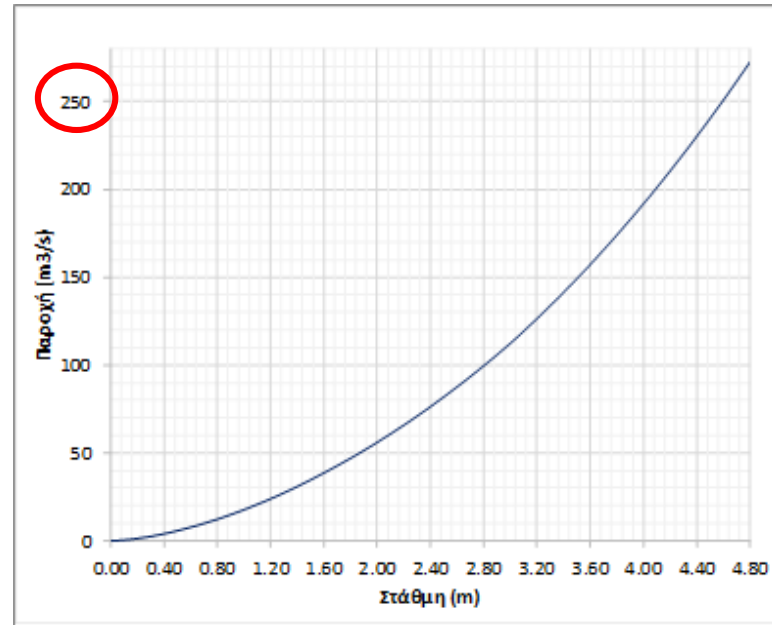
$$Q_{\text{Ρέντης}} = 1400 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ για βάθος } 8\text{m}$$



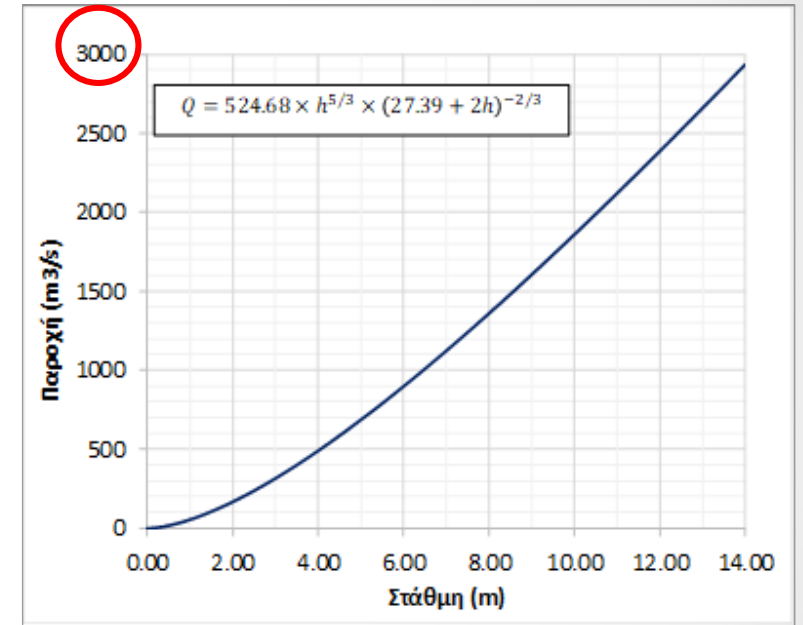
Καμπύλες στάθμης-παροχής



Δεκέλεια



Κόκκινος Μύλος



Αγ. Ιωάννης Ρέντης

Ανάλυση πλημμυρικών επεισοδίων

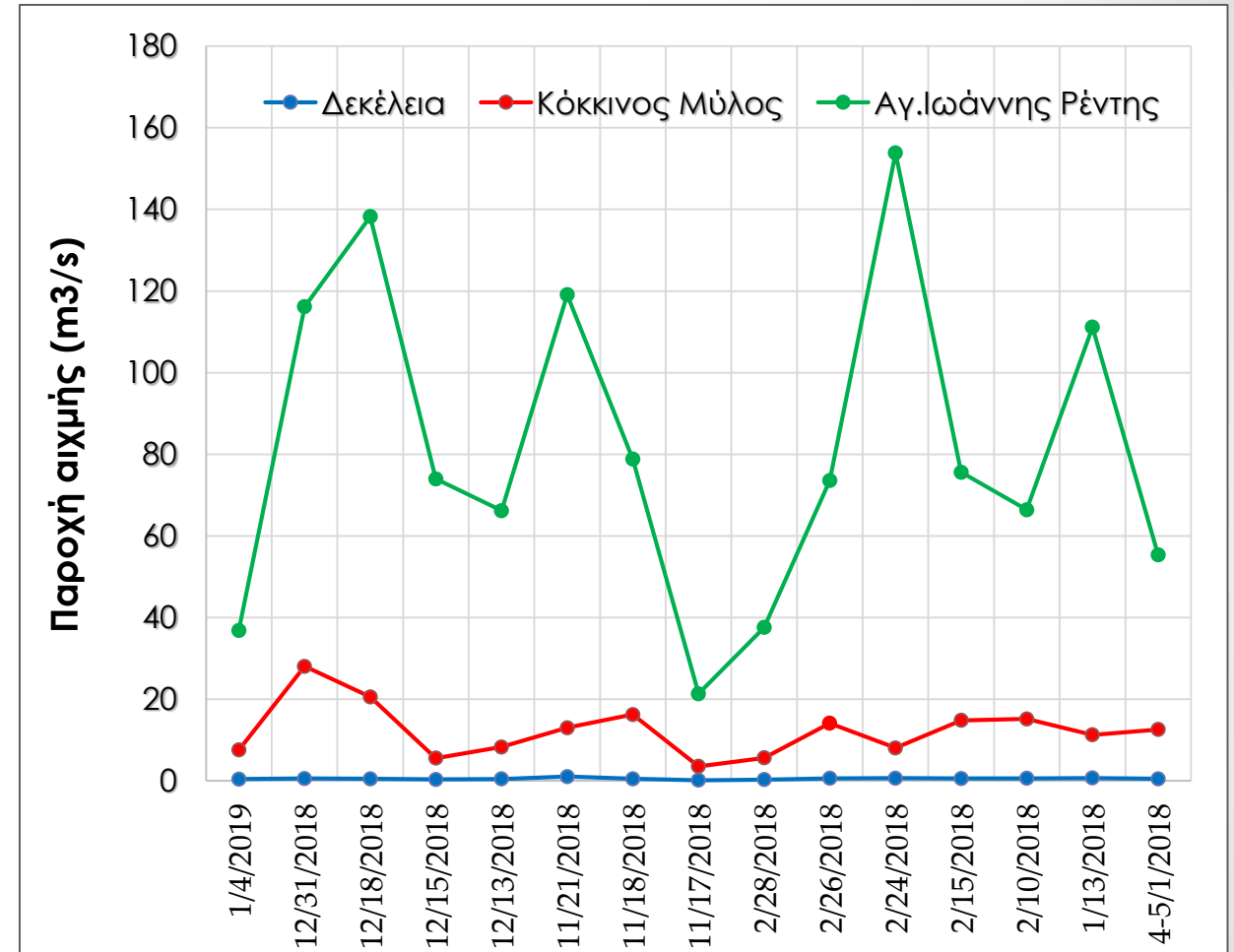
Βήμα 4^ο: Εκτίμηση πλημμυρικών παροχών

Επεισόδια
αυξημένης στάθμης → Επεισόδια
αυξημένης παροχής

Βήμα 5^ο: Στατιστική ανάλυση επεισοδίων

Σταθμός	Μέση στάθμη (m)	Μέση παροχή αιχμής (m ³ /s)
Δεκέλεια	0.04	0.55
Κόκκινος Μύλος	0.35	12.32
Αγ.Ιωάννης Ρέντης	0.44	81.62

Παρατηρούνται, διαφορές μιας τάξης μεγέθους μεταξύ κάθε σταθμού με τον επόμενο του

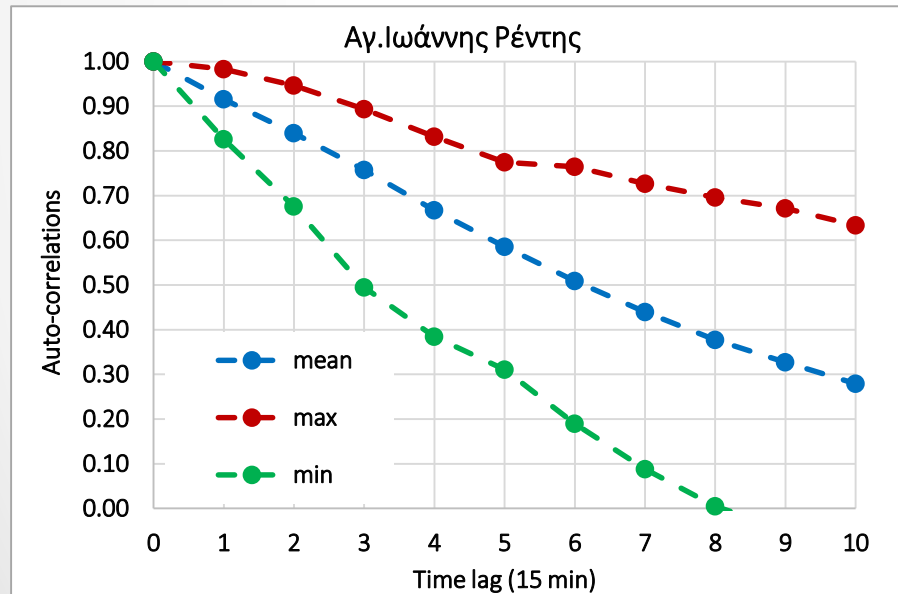


Προβληματισμός για τη διαφορά παροχής μεταξύ Κόκκινου Μύλου – Αγ.Ιωάννη Ρέντη

Ανάλυση πλημμυρικών επεισοδίων

Ανάλυση αυτοσυσχέτισης παροχών:

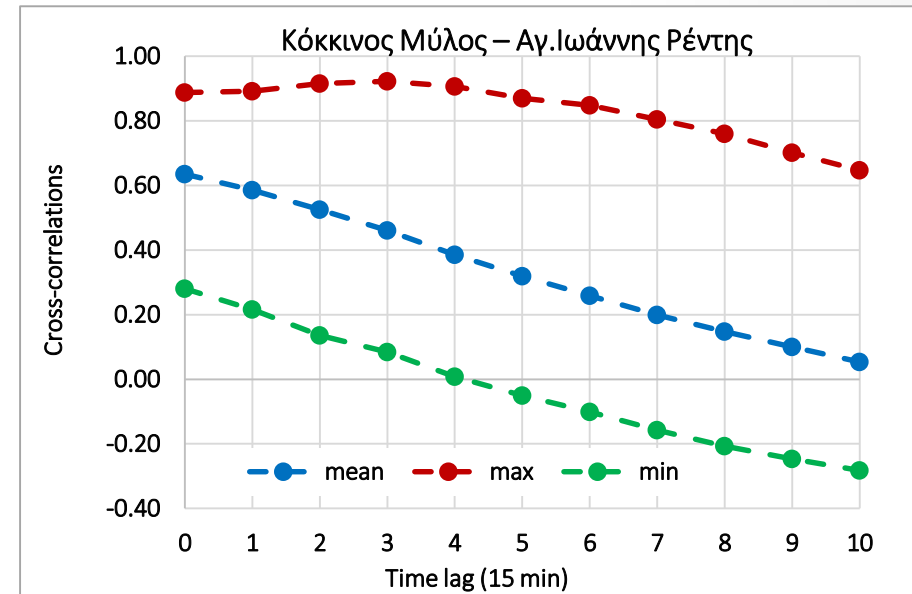
Υψηλή συσχέτιση (>0.7) εκδηλώνεται για μικρή χρονική υστέρηση (~45 λεπτά)



Ανάλυση ετεροσυσχέτισης παροχών:

Διαφοροποιήσεις συμπεριφοράς

- Περιπτώσεις υψηλής συσχέτισης (>0.7) για μικρή βέβαια χρονική υστέρηση (~45 λεπτά)
- Περιπτώσεις μη σημαντικής (<0.6) ετεροσυσχέτισης



Ανάλυση βροχοπτώσεων

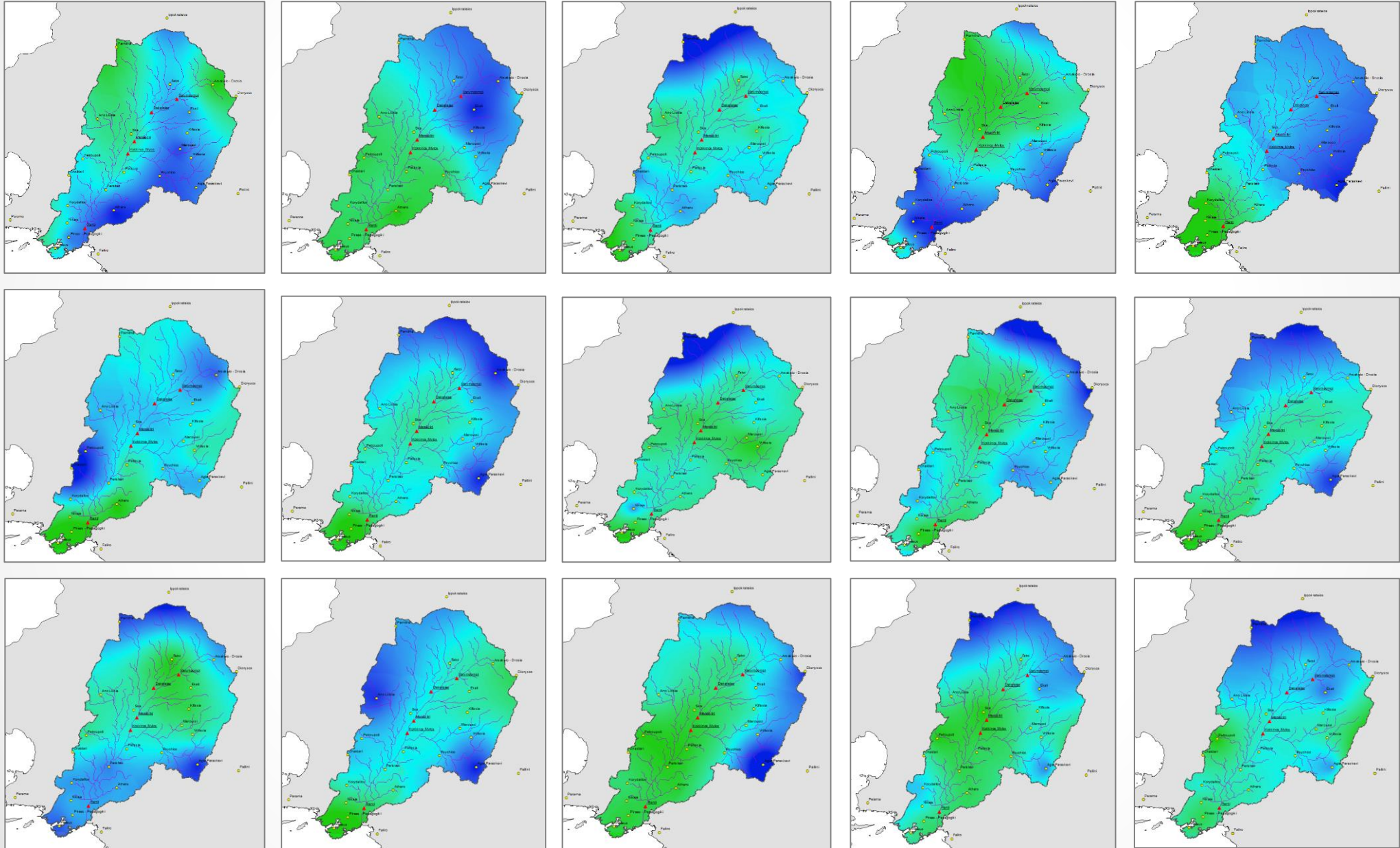
Βήμα 6^ο: Συσχέτιση επεισοδίων με βροχόπτωση

- Αξιοποίηση δικτύου ΕΑΑ (22 σταθμοί)
- Χρήση ημερήσιων δεδομένων βροχόπτωσης για τις ημερομηνίες των επεισοδίων
- Χωρική ολοκλήρωση βροχόπτωσης (μέθοδος πολυγώνων Thiessen)

$$P_s = \sum_{i=1}^k w_i P_i, \text{ όπου } w_i = \frac{A_i}{A}$$



Χάρτες κατανομής βροχόπτωσης

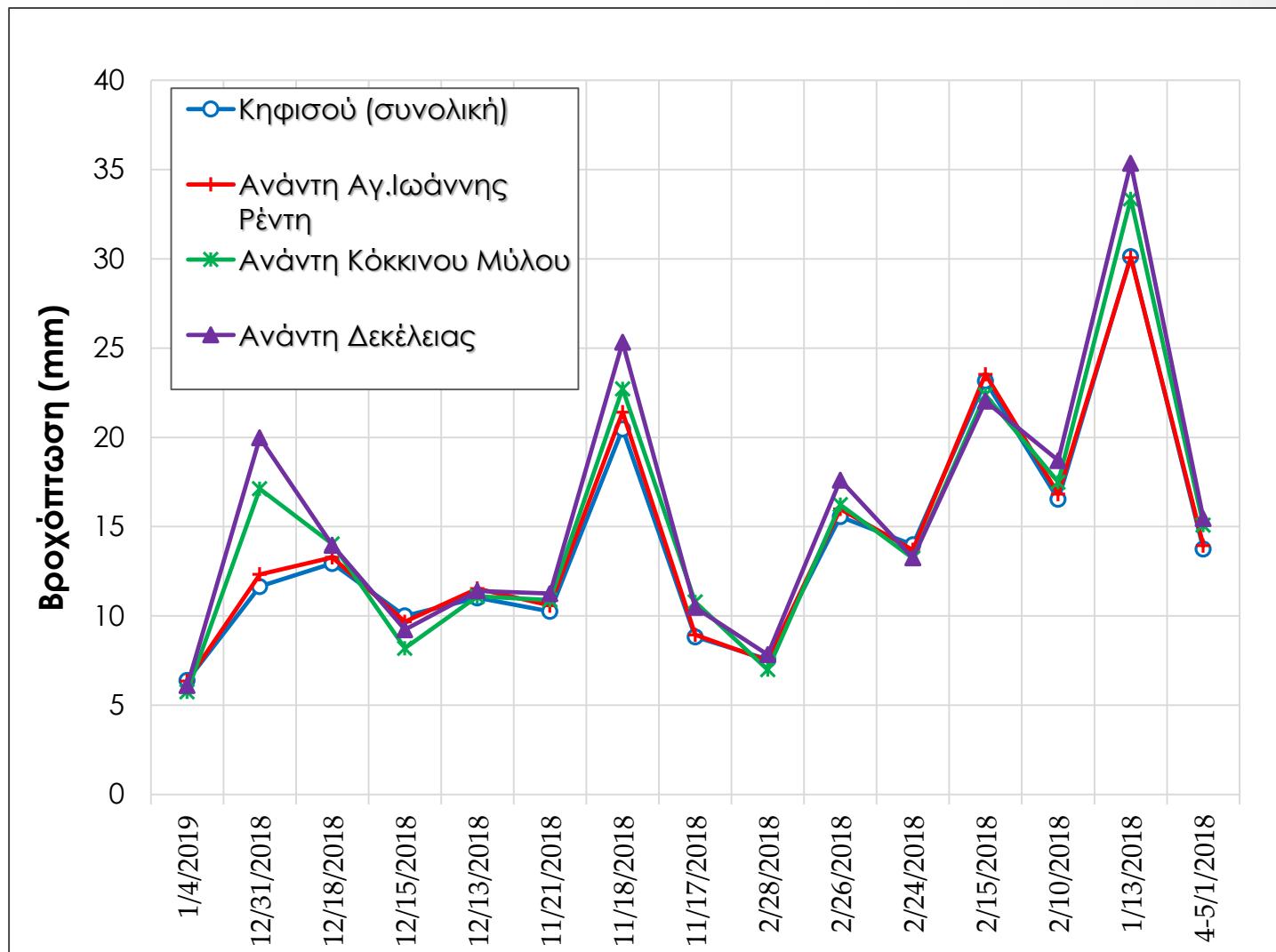


Αποτελέσματα ανάλυσης βροχόπτωσης

Ομοιότητα στην κατακρήμνιση των επιμέρους λεκανών



Συμφωνεί με παλιότερες υδρολογικές μελέτες





Συμπεράσματα - Συζήτηση

Ανακεφαλαίωση

Η αξιοποίηση δεδομένων πληθοπορισμού αναδεικνύεται ως χρήσιμο «εργαλείο» για έρευνες υδρολογικού ενδιαφέροντος, ειδικά στον τομέα των πλημμυρών.

- Παρατηρείται καλύτερη ανταπόκριση των πολιτών στη συλλογή δεδομένων με γνώριμα μέσα (πχ φωτογραφίες), αντί πιο εξειδικευμένων οργάνων.
- Δυνατότητα αξιοποίησης φωτογραφιών για εκτίμηση συντελεστών που εισάγονται σε υδραυλικές σχέσεις (π.χ. συντελεστής τραχύτητας υδατορεύματος)
- Προβλήματα στη συνδεσιμότητα δικτύου Wi-Fi, δυσχεραίνουν την ενεργό συμμετοχή του κοινού.
- Σημαντικότερη έλλειψη δεδομένων υδρολογικού ενδιαφέροντος για τον Κηφισό, παρά την κρισιμότητά του για το Λεκανοπέδιο
- Μεγάλη διαφοροποίηση παροχών μεταξύ των περιοχών άνω ρου και κοντά στις εκβολές του (έως και 2 τάξεις μεγέθους)
- Ομοιόμορφη κατανομή βροχοπτώσεων
- Μικρή «μνήμη» του ποταμού, με τις ευάλωτες περιοχές (κατάντη) να διαρκεί λιγότερο από μια ώρα

Προτάσεις - Συζήτηση

- Περεταίρω προώθηση της Επιστήμης των Πολιτών στην περιοχή του Κηφισού, εστιάζοντας σε νεότερες ηλικίες
- Βελτίωση των έξυπνων εφαρμογών
- Ενίσχυση του υπάρχοντος δικτύου σταθμών μέτρησης με νέες θέσεις/νέες μετρούμενες παραμέτρους
- Κατάρτιση και η τήρηση πρωτοκόλλου συντήρησης των σταθμών
- Ενημέρωση καμπυλών στάθμης-παροχής με ακριβέστερα τοπογραφικά δεδομένα και παροχομετρήσεις
- Ανάπτυξη λογισμικού αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων μέτρησης από τους εγκατεστημένους σταθμούς
- Μελέτη σχέσεων βροχής-απορροής σε λεπτότερη χρονική κλίμακα (πχ δεκαλέπτου), ώστε να προκύψουν ουσιαστικότερα και πιο ακριβή αποτελέσματα.
- Δημιουργία ενιαίου φορέα διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του Κηφισού



If there is magic on this planet, it is contained in water.

Σας ευχαριστώ!

