



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Διεπιστημονικό -Διατμηματικό Πρόγραμμα  
Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων»

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

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



Ζαχαροπούλου Ελένη

Επιβλέπων: Α.Καλλιώρας, Επ. Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2019





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Διεπιστημονικό - Διατμηματικό Πρόγραμμα  
Μεταπτυχιακών Σπουδών  
«Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων»

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

**Μεταπτυχιακή Εργασία**

Ζαχαροπούλου Ελένη, Πολιτικός Μηχανικός

Τριμελής Επιτροπή:

**Α.Καλλιώρας**, Επίκουρος Καθηγητής ΕΜΠ (Υπεύθυνος Καθηγητής)

**Α. Ευστρατιάδης**, ΕΔΙΠ ΕΜΠ

**Α.Νάνου**, Επίκουρη Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Νοέμβριος 2019



Η ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας σηματοδοτεί το τέλος του δεύτερου κύκλου σπουδών μου στο ΕΜΠ. Ενός κύκλου μεταπτυχιακών σπουδών, που παρότι ξεκίνησε με αρκετές αμφιβολίες, σχετικά με το αν κάνω το σωστό, παραμένοντας στην Ελλάδα κι «εμμένοντας» στη δωρεάν και δημόσια εκπαίδευσή της, αντί του εξωτερικού, κατάφερε εν τέλει, όχι μόνο να διευρύνει-εμβαθύνει το γνωστικό μου αντικείμενο, αλλά κυρίως να ωριμάσει περισσότερο μέσα μου το αίσθημα του «μηχανικού». Κι αυτό αρκεί για να είμαι ικανοποιημένη από την επιλογή μου. Βέβαια, η εμπειρία μου δεν θα ήταν η ίδια χωρίς τους ανθρώπους που συμμετείχαν σε αυτή και στους οποίους δικαιωματικά ανήκουν αυτές οι τελευταίες γραμμές της εργασίας.

Αρχικά, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντά μου, κ. Καλλιώρα Ανδρέα, τόσο για το εξαιρετικά ενδιαφέρον θέμα που μου ανέθεσε, όσο και για την όλη συνεργασία μας. Η διαφορετική μας επιστημονική αφετηρία, ήταν μια πρόκληση για μένα, που όμως τελικά στάθηκε η αφορμή για να αρχίζω να αποκτώ μια πιο διαλλακτική «ματιά». Νιώθω τυχερή για την κατανόηση που επέδειξε στο πρόγραμμά μου, την αμεσότητα στην επικοινωνία μας και τη γενικότερη υποστήριξή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου. Τον ευχαριστώ ειλικρινά για την ελευθερία κινήσεων που είχα και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε. Επιπλέον, ευχαριστώ τον Χρήστο Πουλιάρη, για τη βοήθειά του στα πρώτα στάδια της εργασίας, αλλά και για τη συντροφιά του στις μετρήσεις πεδίου και τις καμπάνιες των πολιτών.

Ένα μεγάλο «ευχαριστώ» οφείλω στους κ. Νίκο Μαμάση και κ. Ανδρέα Ευστρατιάδη για την εμπειρική ματιά και τις καίριες συμβουλές-παρατηρήσεις τους, αντίστοιχα, σε ότι αφορά το υδραυλικό μέρος της εργασίας. Πέρα και πάνω από αυτά, τους ευχαριστώ για τη γενικότερη συνεισφορά και καθοδήγησή τους, στα βήματά μου εντός κι εκτός Σχολής. Είναι οι άνθρωποι που με έκαναν να αγαπάω τα νερά και αδιαμφισβήτητα αποτελούν το σημείο αναφοράς μου στο Πολυτεχνείο.

Φυσικά, δεν μπορώ να παραλείψω τους συμφοιτητές μου, με τους οποίους μοιραστήκαμε την καθημερινότητά μας κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους του μεταπτυχιακού. Τους ευχαριστώ για όλες τις στιγμές που περάσαμε και για τις όμορφες αναμνήσεις που δημιουργήσαμε. Ιδιαίτερη αναφορά, όμως, οφείλω και στον κ. Ευάγγελο

Μπαλτά, για την αξιοσέβαστη, ουσιαστική και έμπρακτη υποστήριξη που δείχνει στην Α Κατεύθυνση του ΔΠΜΣ.

Κλείνοντας, ευχαριστώ τις φίλες και τους φίλους μου που αποτελούν την καθημερινή μου συντροφιά και μοιραζόμαστε άγχη και ανησυχίες, αλλά και τον Τάσο για την απεριόριστη υποστήριξη, βοήθεια και πίστη του σε εμένα. Τέλος, το πιο μεγάλο ευχαριστώ αξίζει στην οικογένεια μου, για όλα όσα κάνει για μένα, καθ' όλη την πορεία της ζωής μου, τα οποία δεν περιγράφονται σε λίγες μόνο γραμμές.

*Ελένη Ζαχαροπούλου  
Αθήνα, Νοέμβριος 2019*

Περιεχόμενα .....	iii
Ευρετήριο Πινάκων .....	vi
Ευρετήριο Σχημάτων .....	vii
Ευρετήριο Εικόνων .....	ix
Περίληψη .....	xi
Extended Abstract .....	xii
1. Εισαγωγή .....	1
1.1 Σκοπός .....	1
1.2 Διάρθρωση της εργασίας .....	1
2. Βιβλιογραφική Επισκόπηση .....	3
2.1 Πλημμυρική πρόγνωση .....	3
2.1.1 Γενικά στοιχεία για τις πλημμύρες .....	3
2.1.2 Συστήματα πλημμυρικής πρόγνωσης .....	4
2.1.3 Η αξιοπιστία των συστημάτων πλημμυρικής πρόγνωσης .....	7
2.2 Η Επιστήμη των Πολιτών (Citizen Science) .....	8
2.2.1 Ιστορικό και βασικές έννοιες της Επιστήμης των Πολιτών .....	8
2.2.2 Κατηγοριοποίηση των ερευνητικών προγραμμάτων της Επιστήμης των Πολιτών .....	10
2.2.3 Βασικά «εργαλεία» της Επιστήμης των Πολιτών .....	12
2.2.4 Παραδείγματα εφαρμογής στην Ευρώπη και τον κόσμο .....	13
2.2.5 Προοπτικές μέτρησης υδρολογικού ενδιαφέροντος .....	16
3. Περιοχή Μελέτης .....	19
3.1 Η ευρύτερη περιοχή του π. Κηφισού .....	19

3.2	Κατασκευαστικές παρεμβάσεις .....	23
3.3	Νομικό πλαίσιο .....	26
3.4	Ιστορικό πλημμυρών .....	26
3.5	Παρακολούθηση της λεκάνης του Κηφισού .....	32
3.5.1	Υδρομετεωρολογικοί σταθμοί.....	32
3.5.2	Υδρομετρικοί σταθμοί.....	33
4.	Δράσεις πληθοπορισμού και αυτογίες στον Κηφισό .....	47
4.1	Γενικά .....	47
4.2	Προετοιμασία δράσεων .....	47
4.3	Υλοποίηση δράσεων.....	50
4.4	Αποτελέσματα δράσεων πληθοπορισμού.....	53
4.5	Μετρήσεις στον Κηφισό.....	56
5.	Υδραυλική διερεύνηση του ποταμού Κηφισού .....	59
5.1	Σκοπός .....	59
5.2	Μεθοδολογία .....	59
5.3	Επεξεργασία δεδομένων στάθμης .....	60
5.4	Κατάρτιση καμπυλών στάθμης – παροχής.....	62
5.4.1	Εκτίμηση παραμέτρων και εφαρμογή της εξίσωσης Manning .....	62
5.5	Μελέτη πλημμυρικών επεισοδίων.....	65
5.6	Ανάλυση βροχοπτώσεων των πλημμυρικών επεισοδίων .....	73
5.6.1	Χωρική ολοκλήρωση βροχομετρικών δεδομένων .....	74
5.7	Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	78
6.	Συμπεράσματα και συζήτηση .....	83
6.1	Γενικά .....	83
6.2	Συμπεράσματα για τις εκστρατείες πολιτών στον Κηφισό .....	83
6.3	Συμπεράσματα για την υδραυλική απόκριση του Κηφισού.....	84



7. Βιβλιογραφία.....	87
Παράρτημα Α.....	- 1 -
Παράρτημα Β.....	3

Πίνακας 3.1:Σημαντικά πλημμυρικά γεγονότα στην Λεκάνη Απορροής του Κηφισού	28
Πίνακας 4.1:Πρόγραμμα εκστρατειών πληθοπορισμού στα πλαίσια του Scent.....	50
Πίνακας 4.2:Αποτελέσματα μέτρησης στάθμης στις θέσεις των σταδίων (μέση τιμή).	57
Πίνακας 4.3:Αποτελέσματα μέτρησης ταχύτητας στις θέσεις των σταδίων (μέση τιμή) .....	57
Πίνακας 4.4:Αποτελέσματα παροχομετρήσεων στις θέσεις των σταδίων.....	57
Πίνακας 5.1:Επεισόδια αυξημένης στάθμης και χαρακτηριστικές στάθμες στους σταθμούς βάσης.....	61
Πίνακας 5.2:Στατιστικά χαρακτηριστικά των τριών επιπέδων παροχής (μέγιστη, ελάχιστη & μέση).....	68
Πίνακας 5.3: Δεδομένα επιλεγμένων μετεωρολογικών σταθμών.....	73
Πίνακας 5.4: Έκταση υπό μελέτη λεκανών και υπολεκανών .....	75
Πίνακας 5.5: Ποσοτιαία επιρροή σταθμών σε κάθε λεκάνη.....	77
Πίνακας 5.6: Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακής βροχόπτωσης με Thiessen (mm)...	78
Πίνακας 5.7: Βασικά χαρακτηριστικά επιλεγμένων επεισοδίων σε κάθε θέση ενδιαφέροντος .....	81

Σχήμα 3-1: Δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών εντός και πλησίον της λεκάνης Κηφισού .....	32
Σχήμα 3-2: Δίκτυο υδρομετρικών σταθμών ΕΜΠ στη λεκάνη του Κηφισού .....	44
Σχήμα 4-1: Χάρτης θέσεων λήψης φωτογραφιών από campaign.....	55
Σχήμα 5-1: Καμπύλη στάθμης-παροχής για τη θέση του σταθμού Αγ.Ιωάννης Ρέντης	64
Σχήμα 5-2: Καμπύλη στάθμης-παροχής για τη θέση του σταθμού Κόκκινος Μύλος...	64
Σχήμα 5-3: Καμπύλη στάθμης-παροχής για τη θέση του σταθμού Δεκέλεια.....	65
Σχήμα 5-4: Μέγιστες, μέσες κι ελάχιστες παροχές πλημμυρικών επεισοδίων στη θέση Δεκέλεια .....	66
Σχήμα 5-5: Μέγιστες, μέσες κι ελάχιστες παροχές πλημμυρικών επεισοδίων στη θέση Κόκκινος Μύλος.....	66
Σχήμα 5-6: Μέγιστες, μέσες κι ελάχιστες παροχές πλημμυρικών επεισοδίων στη θέση Αγ.Ιωάννης Ρέντης.....	67
Σχήμα 5-7: Αυτοσυσχετόγραμμα παροχής στη θέση Δεκέλεια .....	69
Σχήμα 5-8: Αυτοσυσχετόγραμμα παροχής στη θέση Κόκκινος Μύλος .....	70
Σχήμα 5-9: Αυτοσυσχετόγραμμα παροχής στη θέση Άγιος Ιωάννης Ρέντης .....	70
Σχήμα 5-10: Ετεροσυσχετόγραμμα παροχών μεταξύ των θέσεων Δεκέλειας-Κόκκινος Μύλος.....	71
Σχήμα 5-11: Ετεροσυσχετόγραμμα παροχών μεταξύ των θέσεων Δεκέλειας-Αγ. Ιωάννης Ρέντης.....	72
Σχήμα 5-12: Ετεροσυσχετόγραμμα παροχών μεταξύ των θέσεων Κόκκινος Μύλος-Αγ. Ιωάννης Ρέντης .....	72
Σχήμα 5-13: Χάρτης πολυγώνων Thiessen στα όρια της λεκάνη απορροής ανάντη Δεκέλειας.....	75
Σχήμα 5-14: Χάρτης πολυγώνων Thiessen στα όρια της λεκάνη απορροής ανάντη Κόκκινου Μύλου.....	76

Σχήμα 5-15: Χάρτης πολυγώνων Thiessen στα όρια της λεκάνη απορροής ανάντη Αγ.Ιωάννη Ρέντη .....	76
Σχήμα 5-16: Χάρτης πολυγώνων Thiessen στα όρια της λεκάνη απορροής Κηφισού..	77
Σχήμα 5-17: Σύγκριση παροχών αιχμής στις θέσεις των υδρομετρικών σταθμών.....	79
Σχήμα 5-18: Σύγκριση επιφανειακής βροχόπτωσης στη λεκάνη και τις υπολεκάνες ανάντη των σταθμών .....	80

Εικόνα 2-1: Τετραβάθμια κλίμακα κατάταξης του Haklay, βάσει συμμετοχής πολιτών στα ερευνητικά έργα.....	11
Εικόνα 2-2: Κατανομή Citizen Science Projects στην Ευρώπη, μέχρι το έτος 2016 ....	14
Εικόνα 2-3: Επεξηγηματικό σχεδιάγραμμα του τρόπου λειτουργίας του SCENT .....	16
Εικόνα 3-1: Η λεκάνη απορροής του Κηφισού – Χάρτης προσανατολισμού περιοχής μελέτης .....	20
Εικόνα 3-2: Χάρτης ρεμάτων ανοικτής και κλειστής διατομής στη λεκάνη του Κηφισου .....	22
Εικόνα 3-3: Η εγκιβωτισμένη κοίτη του Κηφισού στο τμήμα από Αγίας Άννης μέχρι τις εκβολές του .....	25
Εικόνα 3-4: Έργα στην κοίτη του Κηφισού, στο ύψος της οδού Λάμπρου Κατσώνη ...	25
Εικόνα 3-5: Κατανομή πλημμυρικών επεισοδίων στο λεκανοπέδιο της Αττικής (δεξιά) και διαγράμματα χρονικής διακύμανσης πλημμυρικών επεισοδίων και θά θανάτων (αριστερά).....	28
Εικόνα 3-6: Υλικές καταστροφές από την πλημμύρα της 22/2/2013 .....	31
Εικόνα 3-7: Υλικές καταστροφές από την πλημμύρα της 22/10/2015 .....	31
Εικόνα 3-8: Δίκτυο αυτόματων υδρομετρικών και μετεωρολογικών σταθμών TELEFLEUR.....	34
Εικόνα 3-9: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού ρέματος Χαλανδρίου .....	36
Εικόνα 3-10: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού Βαρυμπόμπης .....	37
Εικόνα 3-11: Θέση και διατομή τοποθέτησης τηλεμετρικού σταθμού Βαρυμπόμπης..	37
Εικόνα 3-12: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού Δεκέλειας.....	38
Εικόνα 3-13: Θέση και διατομή τοποθέτησης τηλεμετρικού σταθμού Δεκέλειας .....	39
Εικόνα 3-14: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού Μοναστήρι...	40

Εικόνα 3-15: Θέση και διατομή τοποθέτησης τηλεμετρικού σταθμού Μοναστήρι .....	40
Εικόνα 3-16: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού Κόκκινος Μύλος .....	41
Εικόνα 3-17: Θέση και διατομή τοποθέτησης τηλεμετρικού σταθμού Κόκκινος Μύλος .....	42
Εικόνα 3-18: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού Αγ.Ιωάννης Ρέντης.....	43
Εικόνα 3-19: Θέση τοποθέτησης τηλεμετρικού σταθμού Αγ.Ιωάννης Ρέντης.....	43
Εικόνα 3-20: Αισθητήρες μέτρησης πίεσης ύδατος (αριστερά) και αυτόμετοι αισθητήρες μέτρησης στάθμης (δεξιά).....	45
Εικόνα 4-1: Θέση σταδίων στον Κηφισό .....	49
Εικόνα 4-2: Μέτρηση ταχύτητας σε θέση του άνω ρου του Κηφισού.....	51
Εικόνα 4-3: Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας .....	51
Εικόνα 4-4: Εθελοντές παράπλευρα της εγκιβωτισμένης κοίτης του Κηφισού .....	52
Εικόνα 4-5: Μέτρηση ταχύτητας σε θέση του περιαστικού τμήματος του Κηφισού ....	52
Εικόνα 4-6: Γραφικό περιβάλλον πλατφόρμας Scent-harm .....	53
Εικόνα 4-7: Υδρομέτρηση στη θέση της σταδίας ΤΚ.....	56
Εικόνα 5-1: Χονδροειδή σφάλματα στα πρωτογενή δεδομένα στάθμης (στιγμαίεις ακραία υψηλές τιμές-πάνω, αρνητικές τιμές – κάτω).....	60

Οι πλημμύρες θεωρούνται μια από τις πιο σοβαρές φυσικές καταστροφές, επηρεάζοντας και θέτοντας σε σοβαρό κίνδυνο ανθρώπινες ζωές, περιουσίες και υποδομές. Ωστόσο, η δημιουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών, το μεγάλο στοίχημα των σύγχρονων κοινωνιών, παρουσιάζει αρκετές προκλήσεις καθώς εκτός από τη δεδομένη πολύπλοκη φύση των υδρομετεωρολογικών διεργασιών, χρειάζεται να αντιμετωπίσει το βασικό πρόβλημα της έλλειψης δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, η Επιστήμη των Πολιτών, που αποτελεί την αιχμή του δόρατος στις ερευνητικές πρακτικές, εκτιμάται πως μπορεί να συμβάλει καθοριστικά προς την κατεύθυνση της συλλογής πληροφοριών αξιοποιώντας τη σύγχρονη τεχνολογία. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο δεδομένα πληθοπορισμού μπορούν να ενταχθούν στην υδραυλική ανάλυση. Ειδικότερα, εξετάζεται η δυνατότητα αξιοποίησης δεδομένων που συλλέχθηκαν, στα πλαίσια ερευνητικού προγράμματος, από πιλοτικές εκστρατείες πολιτών στη λεκάνη απορροής του Κηφισού (Αττικής), στη διερεύνηση του ποταμού και της ανάπτυξης συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών, συνδυάζοντας φυσικά καταγραφές εγκατεστημένων σταθμών παρακολούθησης. Αρχικά, αναλύονται και αξιολογούνται οι εν λόγω δράσεις, ενώ στη συνέχεια τα αποτελέσματά τους και τα δεδομένα των αισθητήρων, αφού επεξεργαστούν κατάλληλα, χρησιμοποιούνται προκειμένου να καταρτιστούν οι καμπύλες στάθμης - παροχής σε επιλεγμένες διατομές του ποταμού. Στη συνέχεια, μέσα από την ανάλυση επιλεγμένων πλημμυρικών επεισοδίων και τη συσχέτισή τους με τις καταγραφές κατακρήμνισης, επιδιώκεται να εξαχθούν βασικά συμπεράσματα για τον τρόπο λειτουργίας και απόκρισης της λεκάνης.

Λέξεις Κλειδιά:

Επιστήμη των Πολιτών, Πληθοπορισμός, Πλημμυρική πρόγνωση, Υδραυλική διερεύνηση, Κηφισός ποταμός

Despite the progress of engineering works for flood disaster reduction over the last years, flooding continues to be a major challenge and incidents of floods have been on the rise. These are responsible for more than half of all disaster-related fatalities and a third of the economic loss from all natural catastrophes. Hence, the necessity to understand and predict the behavior of floods has been present in societies around the world.

The most common way used currently to better understand and often predict flood behavior is through modelling. In order to adequately represent floods, most models require large amounts of data, both for model building and model usage. Data scarcity, though, has always been an issue in flood modelling, which has been addressed in the last decades by remote sensing technologies, as they offer spatially distributed information. However, their availability may be limited, not only in terms of space and in terms of time, but also in terms of cost.

In this context, sources of abundant data at low cost are needed, together with modified modelling approaches that can use these data and can adapt to changes as soon as they occur. Therefore, Citizen Science, as the participation of the general public in research design, data collection and interpretation process together with scientists is referred, occurs as a possible solution. Public participation in hydrological research has recently gained popularity and crowdsourced monitoring is a promising cost-effective approach for data collection, especially nowadays via the widespread use of technological instruments and communication systems.

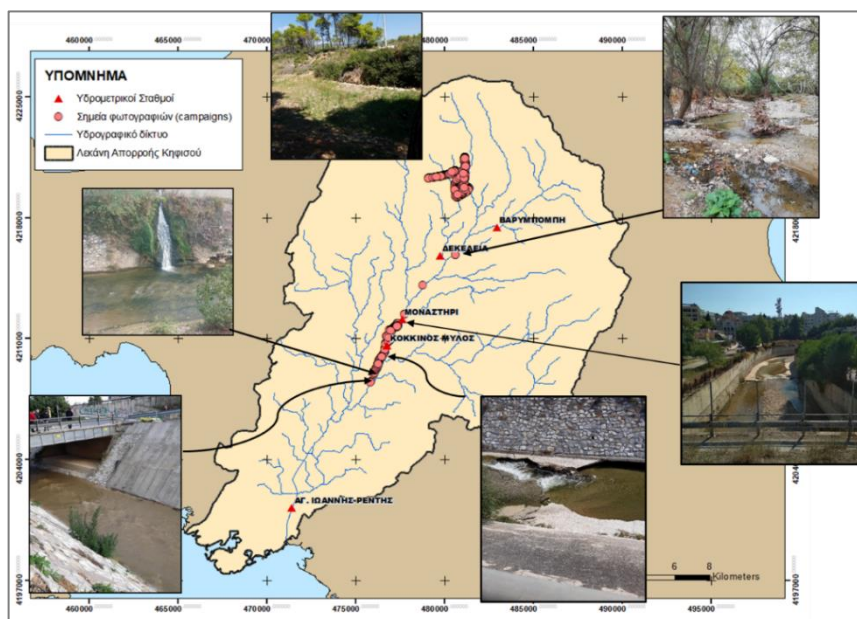
Accordingly, the main field of interest in this Master thesis is the investigation of the possibility to assimilate crowdsourced data in flood forecasting modelling, combined with advanced sensing technologies and in-situ measurements. Our case study area is Kifisos river basin, which is the main river in the metropolitan area of Athens (Greece) and maybe the most significant one due to its severe historical flood events.

The catchment area is roughly 381 km<sup>2</sup>, and almost 60% of its watershed is urbanized, as the city has expanded and the land-cover of the area has transitioned from rural to urban, or industrial in some areas. It is estimated that the population that lives and works in Kifisos's surroundings is about 4 million people, as Athens is the most densely populated area in Greece. The hydrologic network of the basin, which length is about 22km, has



been heavily engineered to support expanding constructions. Nevertheless, in many cases, the hydraulic works were poorly designed and, sometimes there are illegal constructions, even within the main river course. As a result, during periods of heavy and rapid rain events, the river floods due to the insufficiency of drainage networks, causing severe damage to infrastructure around the river.

Taking all these into consideration, Kifisos catchment was one of the case studies of the EU-funded research project SCENT (Smart Toolbox for Engaging Citizens into a People-Centric Observation Web), aiming to encourage citizens to participate in the collection of hydro-environmental data, through a gaming app and geo-tagged photos. Therefore, after planning and identifying appropriate spots in both rural and urban environment in the Kifisos river basin, six citizen science pilot campaigns were held between 2018 and 2019. In these citizen observations about 500 volunteers from the local community took part by collecting more than 5000 pieces of important information about the river. All the data gathered by volunteers is uploaded to Scent's web-site platform<sup>1</sup> and are open and free for everyone to use. More specifically, citizens gathered high quality image data about river parameters, such as water level through photos from installed rods, land use/cover (e.g. forest areas, built areas, changes in embankment coating from concrete, to stone or soil affecting roughness coefficient) and obstacles in the riverbed. However, there were difficulties in measuring soil moisture and water velocity measurements accurately, through low cost sensors and videos respectively.



**Figure 1:**  
Points of citizen  
observations during  
pilot campaigns

<sup>1</sup> <https://scent-harm.iccs.gr/>

Additionally, a hydrometric telemetric network was installed in five different points along the river, in order to enhance the monitoring of Kifisos catchment. The five stations (Varympompi, Dekeleia, Monastiri, Kokkinos Mylos and Agios Ioannis Rentis) started their operation about one year ago, and collect water level data in a 15-minute time lag. The water stage data are uploaded in real time on the web<sup>2</sup>. Meanwhile, our team carried out in-situ discharge measurements, using current meter, in selected spots along the stream, in three periods during 2018-2019.

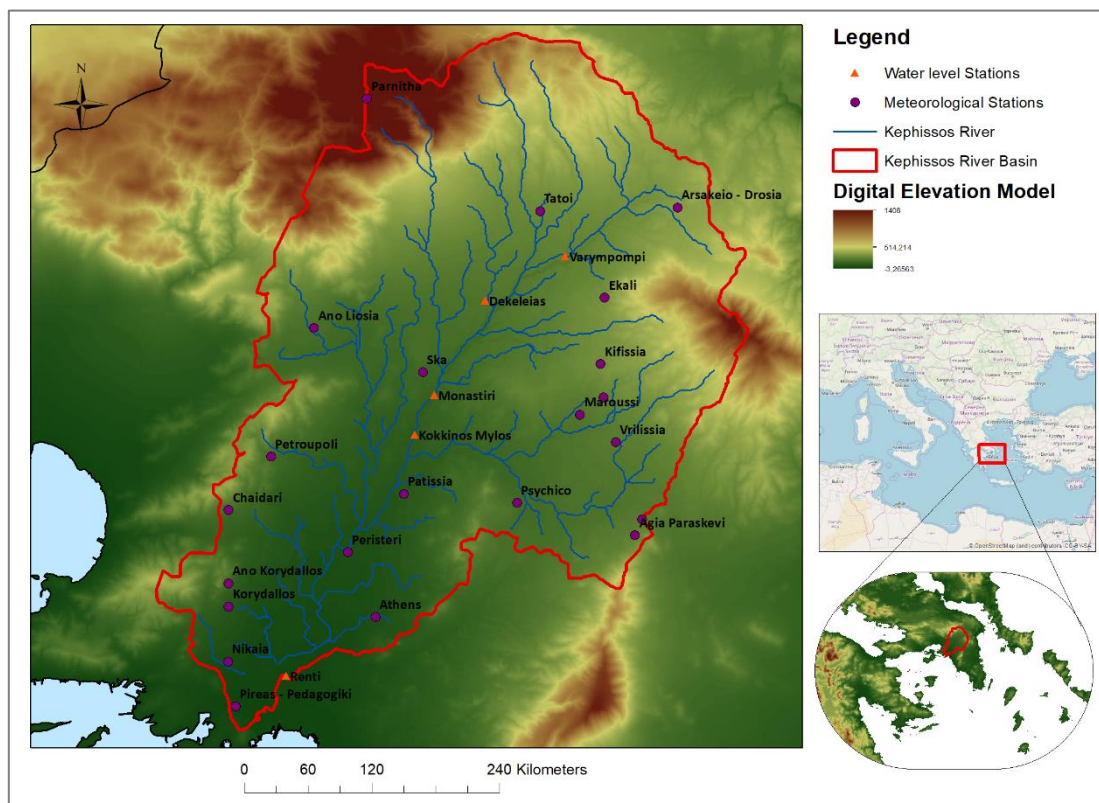


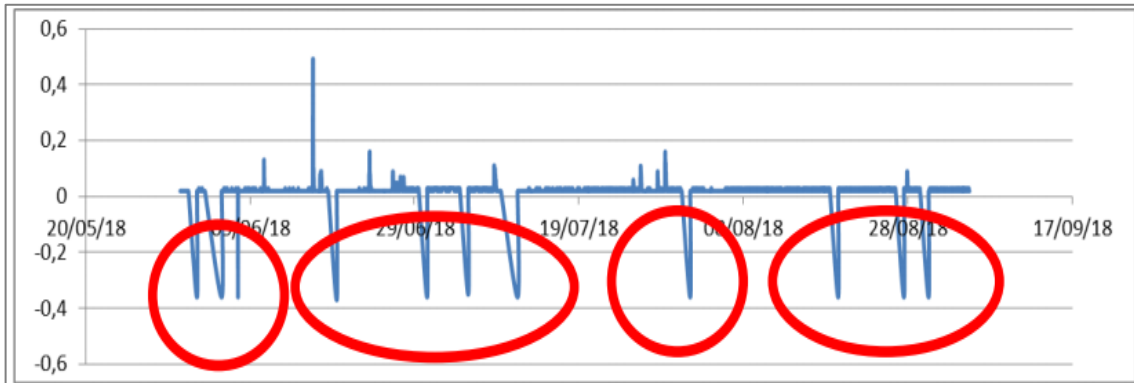
Figure 2: Hydrometric and meteorological stations in Kifisos River Basin

Table 1: In-situ discharge measurements' results

s/n	Location	Riverbank coating	Discharge (m <sup>3</sup> /s)		
			June 2018	November 2018	September 2019
1	Rod T1 (downstream Kokkinos Mylos station)	Concrete/ Gabion	0.227	0.35	0.266
2	Rod T2	Concrete	0.282	0.494	-
3	Rod T4	Concrete	0.321	0.28	-
4	Rod TK	Gabion	0.234	0.547	-
5	Monastiri	Concrete/Soil	-	0.235	0.208

<sup>2</sup> <https://openhi.net/>

Furthermore, all the above data, including data from citizen science campaigns, data from installed sensors and data from in-situ measurements, are combined in order to investigate the behavior of Kifisos river especially during flood events. Initially, it is appropriate to clear away the water level stage timeseries from the usual non-acceptable measurements.



**Figure 3: Example of non-acceptable measurements of water level**

Afterwards, we analyze the corrected water level time-series of the three selected stations accounted, as “base stations” (Dekeleia Station, Kokkinos Mylos Station and Agios Ioannis Rentis Station) in order to detect flood events, according to high measurements of water stage. Eventually, 15 flood events are selected for further analysis, as shown in the next table.

**Table 2: Selected flood events and main water stage’s information**

s/n	Date	Dekeleia Station		Kokkinos Mylos Station		Agios Ioannis Rentis Station	
		Max water level (m)	Mean water level (m)	Max water level (m)	Mean water level (m)	Max water level (m)	Mean water level (m)
1	4/1/2019	0.09	0.03	0.59	0.30	0.78	0.39
2	31/12/2018	0.11	0.08	1.32	0.76	1.59	0.68
3	18/12/2018	0.10	0.03	1.10	0.34	1.77	0.52
4	15/12/2018	0.08	0.03	0.49	0.26	1.20	0.44
5	13/12/2018	0.10	0.03	0.63	0.29	1.12	0.41
6	21/11/2018	0.16	0.03	0.83	0.30	1.61	0.39
7	18/11/2018	0.10	0.04	0.95	0.39	1.25	0.52
8	17/11/2018	0.05	0.03	0.37	0.23	0.56	0.36
9	28/2/2018	0.07	0.03	0.50	0.27	0.79	0.34
10	26/2/2018	0.11	0.04	0.87	0.37	1.20	0.44
11	24/2/2018	0.12	0.03	0.62	0.31	1.90	0.36
12	15/2/2018	0.11	0.05	0.90	0.44	1.22	0.51
13	10/2/2018	0.11	0.03	0.91	0.29	1.12	0.36
14	13/1/2018	0.12	0.04	0.76	0.41	1.55	0.52
15	4/1/2018	0.10	0.03	0.81	0.30	1.00	0.40

The next step is to develop the stage-discharge rating curve for each one of the base stations. For this reason, we use the empirical Manning formula, which equation is:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2}$$

where,

Q: discharge

n: Manning roughness coefficient

A: cross sectional area of flow

R: wetted perimeter

So: slope of the hydraulic grade line (same with as the channel bed slope)

The roughness coefficient was estimated through the land use/cover crowdsourced photos, and bibliography, and finally we selected  $n=0.015$  for concrete coating, and  $n=0.018$  for gabbion coating. Also, as far as the cross sections' dimensions and slope ( $S_0$ ) is concerned, we based on in-situ measurements and past hydraulic studies for Kifisos river. Conclusively the estimated discharge-stage curves are shown in the figures below.

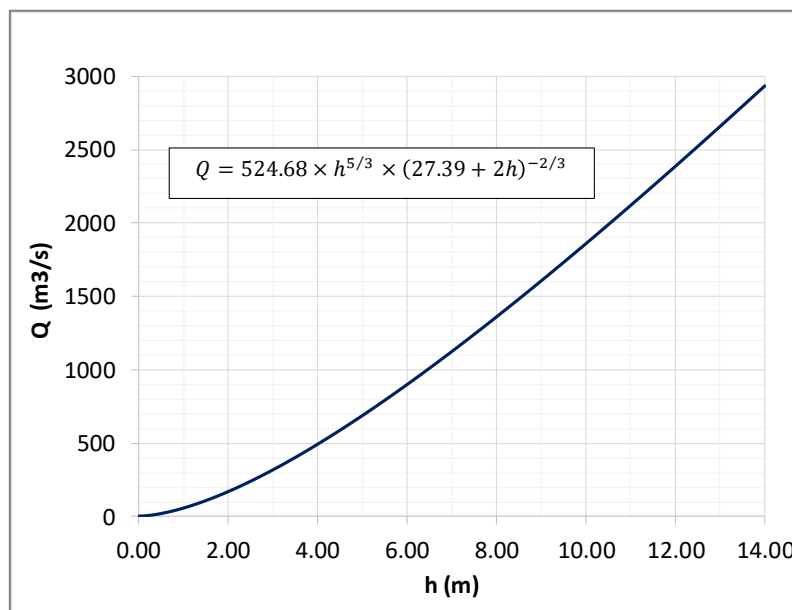
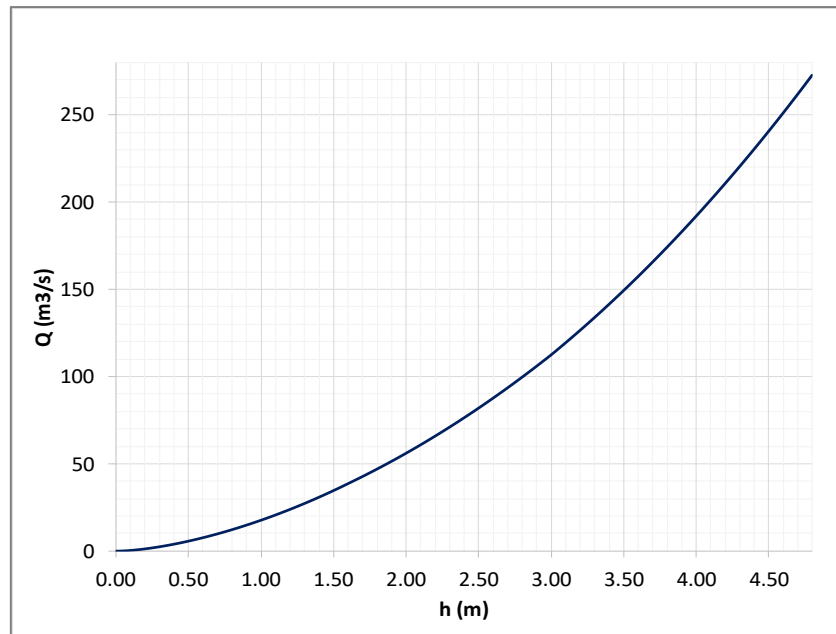
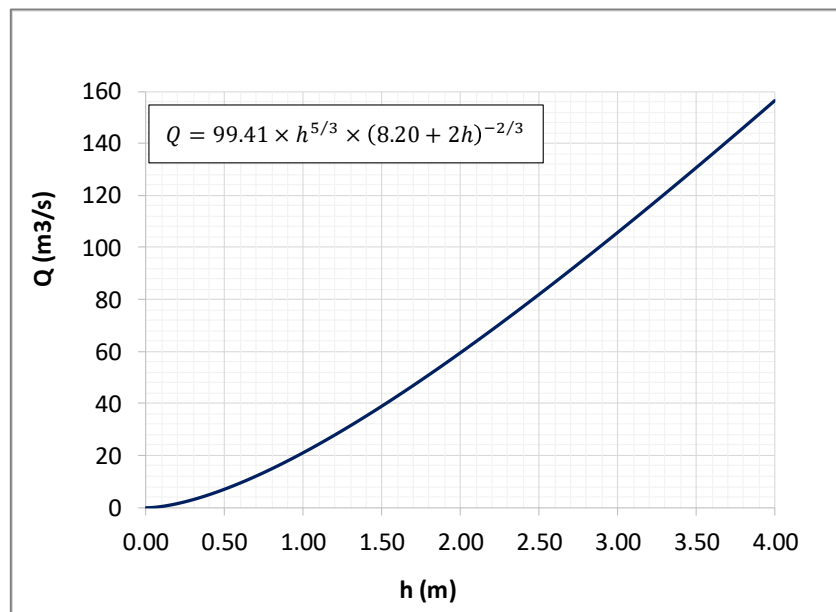


Figure 4: Discharge – Water Stage Curve for Agios Ioannis Rentis Station



**Figure 5: Discharge – Water Stage Curve for Kokkinos Mylos Station**



**Figure 6: Discharge – Water Stage Curve for Dekeleia Station**

Through the above discharge-water level curves, the 15 high level-flood events are transmitted to discharge- flood events. Then, the essential statistical characteristics and the auto/cross-correlations for each of these events are estimated and analyzed.

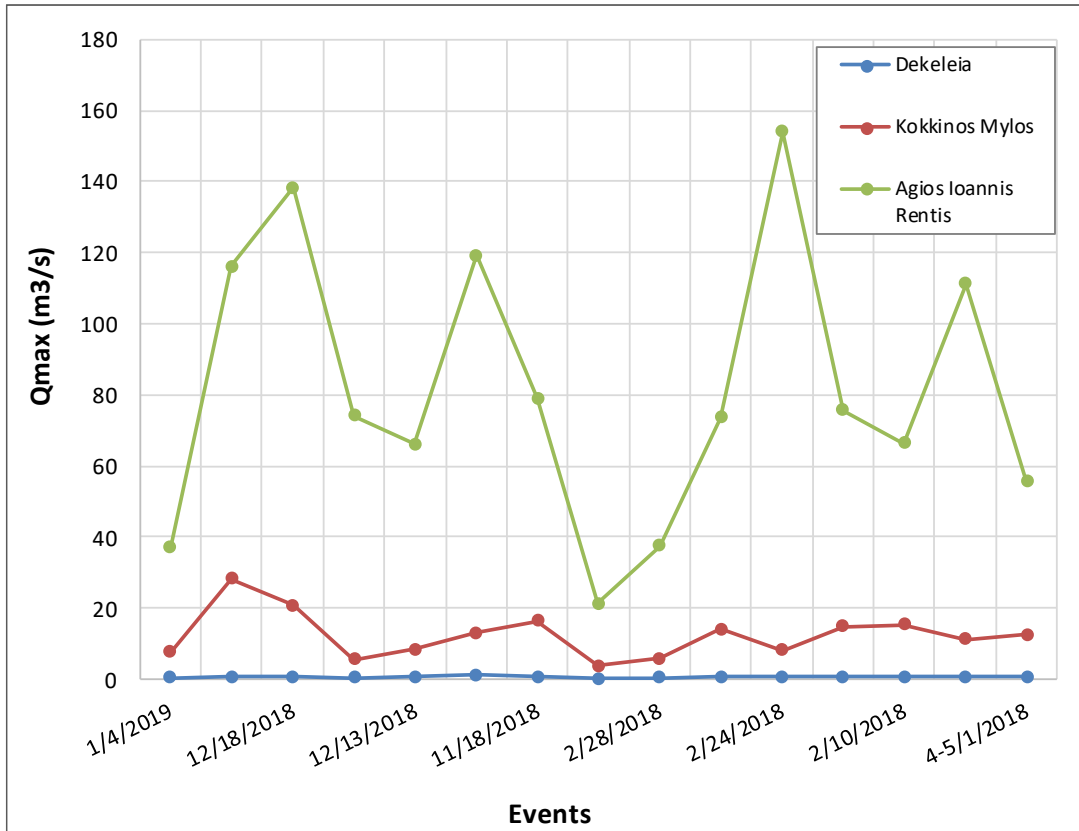


Figure 7: Comparison of max discharge of each event in the three base stations

Finally, in order to better understand the flood events, we check the observed daily precipitation for each event. The analysis is based on rain data from the meteorological stations network of National Observatory Athens<sup>3</sup>, located in Kifisos catchment. The rain gauge observations are computed to the mean areal precipitation through Thiessen polygon method, estimated as:

$$P_s = \sum_{i=1}^k w_i P_i$$

where,

$P_s$ : areal mean precipitation

$P_i$ : rainfall observed at the  $i^{\text{th}}$  station inside or outside the basin

$w$ : in-region portion of the area of the polygon surrounding the  $i^{\text{th}}$  station

$k$ : the number of stations

<sup>3</sup> <https://www.meteo.gr/>



Figure 8: Thiessen polygons for Kifisos River Basin

Table 3: Areal precipitation for each basin and each event

Event	Kifisos (total)	Ag.ioannis Rentis (upstream)	Kokkinos Mylos (upstream)	Dekeleia (upstream)
4/1/2019	6.38	6.36	5.75	6.10
31/12/2018	11.65	12.33	17.12	19.97
18/12/2018	12.94	13.28	14.03	13.96
15/12/2018	10.00	9.67	8.19	9.23
13/12/2018	11.01	11.53	11.09	11.40
21/11/2018	10.26	10.58	10.90	11.25
18/11/2018	20.47	21.42	22.72	25.33
17/11/2018	8.83	8.94	10.78	10.48
28/2/2018	7.55	7.50	6.99	7.84
26/2/2018	15.56	15.99	16.23	17.60
24/2/2018	13.98	13.70	13.23	13.25
15/2/2018	23.16	23.54	22.38	22.03
10/2/2018	16.53	16.83	17.50	18.70
13/1/2018	30.13	30.07	33.35	35.34
4/1/2018	13.75	13.94	15.09	15.46

Conclusively, the presented analysis shows that there is significant difference, up to two orders of magnitude, in the estimated volume of discharge between upstream and downstream areas of the catchment, despite the uniform distribution of observed rainfall. At the same time, auto-cross-correlation analysis proves the rapid basin's response to flood and the short "memory" that lasts less than an hour in the most vulnerable to flood downstream areas. However, this preliminary study triggers further research on flood event analysis in order to finally develop a reliable flood forecasting model in the Kifisos catchment. For this purpose, it is essential not only to improve the density of hydrometric stations and citizen participation in data collecting, but also the stakeholders' and researchers' focus on this purpose, taking into account the significance of this river in people's lives.



# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή

---

### 1.1 Σκοπός

Η πλημμυρική πρόγνωση αποτελεί ένα μεγάλο στοίχημα για τις σύγχρονες κοινωνίες, δεδομένης της τεράστιας οικονομικής καταστροφής και των ανθρώπινων απωλειών που ένα επεισόδιο μπορεί να προκαλέσει. Ωστόσο, στις προσπάθειες δημιουργίας αποτελεσματικών συστημάτων πρόγνωσης ανακύπτουν σημαντικές δυσκολίες, αφού εκτός από τη δεδομένη πολύπλοκη φύση των υδρολογικών διεργασιών, υπάρχει βασικό πρόβλημα έλλειψης δεδομένων. Στο πλαίσιο αυτό, η Επιστήμη των Πολιτών, η αιχμή του δόρατος στις ερευνητικές πρακτικές, αξιοποιώντας τη σύγχρονη τεχνολογία εκτιμάται ότι μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά προς την κατεύθυνση της συλλογής δεδομένων. Αντικείμενο της παρούσας εργασίας αποτελεί η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο δεδομένα πληθοπορισμού, μπορούν να ενταχθούν στην υδραυλική ανάλυση. Περιοχή αναφοράς είναι η λεκάνη απορροής του Κηφισού, στην οποία έχουν υλοποιηθεί εκστρατείες πολιτών, με στόχο την μέτρηση περιβαλλοντικών παραμέτρων.

### 1.2 Διάρθρωση της εργασίας

Η διάρθρωση της διπλωματικής εργασίας, εκτός από το παρόν εισαγωγικό κεφάλαιο, αναπτύσσεται ως εξής:

Στο *Κεφάλαιο 2* αρχικά παρουσιάζεται η διαδικασία ανάπτυξης συστημάτων πλημμυρικής πρόγνωσης, ενώ στη συνέχεια αναλύονται βασικές έννοιες σχετικά με την Επιστήμη των Πολιτών, αναφέροντας παραδείγματα από τη διεθνή εμπειρία και σκιαγραφώντας τις προοπτικές αξιοποίησής της σε εφαρμογές υδρολογικού ενδιαφέροντος.

Στο *Κεφάλαιο 3* δίνονται απαραίτητες πληροφορίες για την περιοχή μελέτης, τη λεκάνη του ποταμού Κηφισού και περιγράφεται το δίκτυο παρακολούθησής της.

Στο *Κεφάλαιο 4* αναλύονται οι δράσεις πληθοπορισμού που οργανώθηκαν στην περιοχή μελέτης, από το στάδιο της προετοιμασίας μέχρι την τελική υλοποίησή τους και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους.

Στο *Κεφάλαιο 5* γίνεται μια υδραυλική διερεύνηση του Κηφισού, μέσω της κατάρτισης καμπυλών στάθμης-παροχής για επιλεγμένες θέσεις και την ανάλυση πλημμυρικών επεισοδίων που εκδηλώθηκαν εντός των τελευταίων δύο ετών.

Στο *Κεφάλαιο 6* περιλαμβάνονται τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας και παρατίθενται προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.

Στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α* δίνονται σκαριφήματα των διατομών για τους επιλεγμένους σταθμούς βάσης κατά μήκος του Κηφισού.

Στο *ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β* παρουσιάζονται αναλυτικά τα πλημμυρικά επεισόδια που μελετήθηκαν και οι αντίστοιχοι χάρτες βροχόπτωσης.

# Κεφάλαιο 2

## Βιβλιογραφική Επισκόπηση

---

### 2.1 Πλημμυρική πρόγνωση

#### 2.1.1 Γενικά στοιχεία για τις πλημμύρες

Παρά την επιστημονική και τεχνολογική πρόοδο που σημειώνεται ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, η ανθρωπότητα δεν έχει ακόμη καταφέρει να ανταπεξέλθει στις προκλήσεις της φύσης. Οι πλημμύρες, που έχουν εξέχουσα θέση μεταξύ των φυσικών φαινομένων, συνεχίζουν να προκαλούν σοβαρές υλικές ζημιές και ανθρώπινες απώλειες, τόσο στις αναπτυσσόμενες χώρες, όσο και στις οικονομικά πιο εύρωστες. Μάλιστα, έρευνες σημειώνουν πως σε ευρωπαϊκό επίπεδο οι πλημμύρες θεωρούνται η δεύτερη πιο συχνή αιτία καταστροφών, μετά τις δασικές πυρκαγιές.

Στην Οδηγία Πλαίσιο για τις Πλημμύρες 2007/60/ΕΚ, που εκδόθηκε από την Ευρωπαϊκή Ένωση για την αξιολόγηση και διαχείριση κινδύνων πλημμύρας, με απώτερο στόχο τη δημιουργία θεσμικού πλαισίου και τη λήψη μέτρων για τη μείωση των δυσμενών συνεπειών τους, δίνονται συνοπτικοί ορισμοί της πλημμύρας και του κινδύνου πλημμύρας, όπως περιγράφονται ακολούθως.

Ως πλημμύρα ορίζεται η προσωρινή κάλυψη από νερό, εδάφους το οποίο υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν καλύπτεται από νερό. Ανάλογα με την προέλευση του νερού οι πλημμύρες κατατάσσονται σε ποτάμιες, παλιρροϊκές (θάλασσα) ή λιμναίες. Ενώ βάσει του χρόνου δημιουργίας και διόδευσης του πλημμυρικού φαινομένου, οι πλημμύρες διακρίνονται σε ποτάμιες (fluvial floods) και ξαφνικές ή άμεσης απόκρισης (flash floods). Ο τελευταίος τύπος πλημμύρας συνηθίζεται να απαντάται σε αστικοποιημένες περιοχές, με μικρή διαπερατότητα εδαφών. Ειδικότερα, με τον όρο πλημμύρα σε μια αστική λεκάνη, περιγράφεται το γεγονός κατά το οποίο η άμεση απορροή είναι τόσο σημαντική, ώστε η χωρητικότητα ενός συστήματος αποχέτευσης (φυσικού ή

ανθρωπογενούς) δεν μπορεί να διοχετεύσει τον όγκο νερού που παράγεται από τη βροχόπτωση.

Ο πλημμυρικός κίνδυνος (flood risk) ορίζεται ως ο συνδυασμός της πιθανότητας εμφάνισης πλημμύρας (probability of flooding) και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών της (impact of flooding). Με την αύξηση αυτών των δύο μεταβλητών, αυξάνεται και ο κίνδυνος πλημμύρας σε μια λεκάνη. Στις αστικές λεκάνες, η έντονη αστικοποίηση, η κατάργηση σημαντικού μέρους του φυσικού υδρογραφικού δικτύου και ο περιορισμός της δυναμικότητας των φυσικών ρευμάτων, μέσω της κάλυψης και του εγκιβωτισμού τους, εντείνουν περισσότερο το πρόβλημα. Στο πλαίσιο αυτό, η προσπάθειες για τη μελέτη και τη λήψη μέτρων αντιπλημμυρικής προστασίας των αστικών κέντρων αποτελεί επιτακτική ανάγκη.

### **2.1.2 Συστήματα πλημμυρικής πρόγνωσης**

Υπό το πρίσμα των ανωτέρω, οι προσπάθειες για τη μελέτη και τη λήψη μέτρων αντιπλημμυρικής προστασίας, ειδικά των αστικών κέντρων, αποτελεί επιτακτική ανάγκη. Από τη στιγμή που τα καιρικά φαινόμενα δεν μπορούν να αποτραπούν, η έγκαιρη πρόγνωση και προειδοποίηση των αρχών και των πολιτών δύναται να μειώσει κατά πολύ τις επιπτώσεις, κάποιες φορές περισσότερο και από οποιοδήποτε αντιπλημμυρικό έργο (Molinari et al., 2015).

Τα συστήματα πλημμυρικής πρόγνωσης αποτελούν ίσως το σημαντικότερο στοιχείο ενός ολοκληρωμένου αντιπλημμυρικού σχεδιασμού και διαχείρισης πλημμυρών (flood management). Πρόκειται ουσιαστικά για μία σύζευξη μετεωρολογικών δεδομένων και προγνώσεων και υδρολογικών μοντέλων σε συνδυασμό με συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για τον πλημμυρικό κίνδυνο. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (WMO, 2011) οι κύριες συνιστώσες ενός επιτυχημένου συστήματος πρόγνωσης και έγκαιρης προειδοποίησης πλημμυρών είναι:

- i. συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο για την πρόβλεψη του χρόνου έναρξης και της σοβαρότητας των πλημμυρών
- ii. κατάλληλη προετοιμασία των πληροφοριών που προκύπτουν από τις προγνώσεις σχετικά με τις επιπτώσεις των πλημμυρών στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον και την αντίστοιχη προετοιμασία μηνυμάτων προειδοποίησης

- iii. διάδοση και ανακοίνωση των εν λόγω μηνυμάτων χωρίς ασάφειες με παράλληλη υπόδειξη των ενδεδειγμένων δράσεων για την αποφυγή των καταστροφών και αναμονή ανταπόκρισης από τις αρμόδιες υπηρεσίες
- iv. επαναξιολόγηση του συστήματος πλημμυρικής πρόγνωσης και προειδοποίησης μετά από πλημμυρικά γεγονότα.

Οι παραπάνω συνιστώσες αναφέρονται στο σχεδιασμό ενός τέτοιου συστήματος σε εθνικό επίπεδο. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο σχεδιασμός ενός συστήματος πλημμυρικής πρόγνωσης γίνεται με την παραδοχή ότι δεν είναι δυνατόν να προβλεφθούν με ακρίβεια όλα τα πλημμυρικά γεγονότα και η έντασή τους, και αυτό γιατί οι πλημμύρες είναι φαινόμενα στα οποία ενυπάρχουν πολλές συνιστώσες που είναι δύσκολο να προβλεφθούν.

Ένα ολοκληρωμένο σύστημα πρόγνωσης πλημμύρας με αναφορά σε μία συγκεκριμένη λεκάνη απορροής περιλαμβάνει:

- i. ένα πυκνό δίκτυο μετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών, εντός ή στην ευρύτερη περιοχή της λεκάνης, σε συνδυασμό με ένα αυτόματο, τηλεμετρικό σύστημα συλλογής δεδομένων για την κατάλληλη επεξεργασία αυτών. Το δίκτυο αυτό μπορεί να υποβοηθείται από μετεωρολογικά ραντάρ ή δορυφόρους και θα λειτουργεί σε πραγματικό χρόνο.
- ii. πρόσβαση στην «έξοδο» των μετεωρολογικών προγνώσεων για την ευρύτερη περιοχή και συγκεκριμένα στις ποσοτικές (ή ποιοτικές αν δεν είναι δυνατή η ποσοτική πρόγνωση) προγνώσεις βροχόπτωσης (ή και θερμοκρασίας για την εκτίμηση της εξατμοδιαπνοής) με όσο το δυνατόν μικρότερη κλίμακα πρόγνωσης.
- iii. ένα βαθμονομημένο υδρολογικό μοντέλο προσομοίωσης της λεκάνης απορροής που έχει ενσωματωμένο και το κατάλληλο μοντέλο διόδευσης, το οποίο θα είναι ικανό να συλλέγει όλα τα απαραίτητα δεδομένα εισόδου και θα εκτιμά την απορροή στην έξοδο της λεκάνης απορροής μαζί με την ενυπάρχουσα σε αυτή αβεβαιότητα.

Επιπλέον, απαραίτητη είναι η γνώση των ιστορικών χρονοσειρών βροχόπτωσης-απορροής για την κατάλληλη βαθμονόμηση των επιλεγμένων παραμέτρων του υδρολογικού μοντέλου. Για το λόγο αυτό απαιτείται η συνεχής πρόσβαση και ανανέωση των χρονοσειρών για τη συνεχή βελτίωση της αποτελεσματικότητας της προσομοίωσης

του μοντέλου. Τέλος, χρειάζεται πρόσβαση στα γεωγραφικά δεδομένα της περιοχής με τη συνεχή παρακολούθηση και αναθεώρησή τους, μέσω Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Από τα παραπάνω προκύπτει ότι είναι απαραίτητη για την ομαλή λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος, η στενή συνεργασία των μετεωρολογικών και υδρολογικών υπηρεσιών, ενώ μπορεί να φανεί χρήσιμη σε αυτή την κατεύθυνση και η ενοποίησή τους.

Παρόλα αυτά, για την ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των πλημμυρών δεν αρκεί μία επαρκής χρονικά (δηλαδή έγκαιρα) και ποσοτικά πρόγνωση της απορροής, αλλά και το πώς τα δεδομένα εξόδου του υδρολογικού μοντέλου θα αξιολογηθούν ώστε να ληφθούν οι απαραίτητες ενέργειες για την πλημμυρική προστασία και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων μιας πλημμύρας. Έτσι, τα συστήματα έγκαιρης πλημμυρικής προειδοποίησης είναι διακριτά από τα συστήματα πρόγνωσης πλημμύρας και έχουν ως σκοπό να αξιολογήσουν τις πλημμυρικές προγνώσεις ώστε ανάλογα με τη σοβαρότητα της κατάστασης (WMO, 2011):

- i. να ειδοποιήσουν τις αρμόδιες αρχές πολιτικής προστασίας να είναι σε ετοιμότητα
- ii. να ενημερώσουν το κοινό για τον τόπο και χρόνο εκδήλωσης πλημμύρας
- iii. να προειδοποιήσουν για τις πιθανές επιπτώσεις στην οδική κυκλοφορία, σε κατοικίες ή σε αντιπλημμυρικά έργα
- iv. να παρέχουν σε άτομα και φορείς τον αναγκαίο χρόνο να προβούν σε κατάλληλες δράσεις
- v. να δώσουν προειδοποίηση, σε ακραίες καταστάσεις, για την προετοιμασία για εκκένωση της περιοχής

Η μορφή της προειδοποίησης ποικίλλει και μπορεί να είναι από ένα απλό ποιοτικό σήμα κινδύνου εντοπισμένο σε μια αύξουσα κλίμακα επικινδυνότητας, μέχρι μια συγκεκριμένη τιμή της πλημμυρικής στάθμης σε μία περιοχή ή η κατασκευή ενός χάρτη επικινδυνότητας πλημμύρας ή πλημμυρικής στάθμης.

Οι ενέργειες σχετικά με την αξιολόγηση των πλημμυρικών προγνώσεων μπορούν να είναι υπό την ευθύνη είτε των υδρολογικών υπηρεσιών, είτε των υπηρεσιών πολιτικής προστασίας που αναπτύσσουν κατάλληλα επιχειρησιακά σχέδια. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητη και η γνώση των ανθρωπογενών δεδομένων της περιοχής, δηλαδή των δημογραφικών δεδομένων, των θέσεων των αντιπλημμυρικών έργων, των

κυκλοφοριακών δεδομένων και των χρήσεων γης και ειδικά των βιομηχανικών χρήσεων, ώστε να μπορούν να λαμβάνονται οι κατάλληλες επιχειρησιακές ενέργειες προστασίας.

Τέλος, η συνεχής αξιολόγηση των συστημάτων πλημμυρικής πρόγνωσης, η ανάλυση και αποθήκευση των αποτελεσμάτων τους, μπορούν να συμβάλλουν καθοριστικά στην βελτίωση του αντιπλημμυρικού σχεδιασμού των περιοχών και άρα στη de facto αντιπλημμυρική προστασία τους.

### **2.1.3 Η αξιοπιστία των συστημάτων πλημμυρικής πρόγνωσης**

Είναι δεδομένο ότι σε ένα τόσο πολύπλοκο και πολυπαραγοντικό τεχνικό σύστημα, όπως ένα σύστημα πλημμυρικής πρόγνωσης, τα σφάλματα που υπεισέρχονται είναι διάφορων πηγών. Συγκεκριμένα, τα σφάλματα μπορεί να προέρχονται από (WMO, 2011):

- (i) το υδρολογικό μοντέλο (μη επαρκής προσομοίωση των φυσικών διεργασιών)
- (ii) την επιλογή και τις τιμές των βαθμονομημένων παραμέτρων
- (iii) την επιλογή των αρχικών συνθηκών
- (iv) τις παρατηρημένες χρονοσειρές που χρησιμοποιούνται για τη βαθμονόμηση των παραμέτρων ή και την πρόγνωση σε πραγματικό χρόνο (λόγω για παράδειγμα σφάλματος στα όργανα μέτρησης ή τη μεθοδολογία αναγωγής τους σε επιφανειακά μεγέθη)
- (v) τα δεδομένα πρόγνωσης που εισάγονται στο μοντέλο

Η ποσοτικοποίηση των παραπάνω σφαλμάτων είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί αφενός, αλλά αφετέρου δεν έχει ιδιαίτερο νόημα. Σε γενικές γραμμές, το σφάλμα που οφείλεται στους τέσσερις πρώτους παράγοντες είναι η διαφορά της παρατηρημένης απορροής από την απορροή που προέκυψε από τη βαθμονόμηση και μπορεί να ονομαστεί σφάλμα από το υδρολογικό μοντέλο, ενώ η διαφορά της τελικής πρόγνωσης απορροής από τη βαθμονόμηση οφείλεται στον πέμπτο παράγοντα και μπορεί να ονομαστεί σφάλμα από την πρόγνωση της βροχόπτωσης. Το άθροισμα των δύο παραπάνω σφαλμάτων είναι το συνολικό σφάλμα της πλημμυρικής πρόγνωσης.

## 2.2 Η Επιστήμη των Πολιτών (Citizen Science)

### 2.2.1 Ιστορικό και βασικές έννοιες της Επιστήμης των Πολιτών

Η ιστορία της επιστήμης ξεκινά ουσιαστικά από τον άνθρωπο, από τις εμπειρικές διερευνήσεις του φυσικού κόσμου και τα ερωτήματα που αυτές του δημιούργησαν. Μέσα στα χρόνια, η επιστήμη εξελίχθηκε και λειτούργησε σαν μια τεράστια βιομηχανία παραγωγής γνώσεων, δίνοντας συχνά λύσεις στα προβλήματα της ανθρωπότητας. Ωστόσο, δεν είναι λίγες οι φορές που η υψηλή εξειδίκευση των επιστημόνων κατηγορήθηκε πως οδηγεί στη δημιουργία ενός «τείχους» απομόνωσής τους από την κοινωνία, στη βάση της λογικής «η επιστήμη για την επιστήμη». Σήμερα, διανύοντας μια περίοδο ταχύτατων αλλαγών και τεχνολογικής προόδου, η ευρεία χρήση των τεχνολογικών μέσων και των επικοινωνιακών συστημάτων δημιουργεί ένα φάσμα νέων ευκαιριών συμμετοχής του ευρέως κοινού στην έρευνα και κατ' επέκταση στη λήψη αποφάσεων.

Η επιστημονική έρευνα που διεξάγεται, εν όλω ή εν μέρει, από ερασιτέχνες (ή μη επαγγελματίες) επιστήμονες αναφέρεται ως Επιστήμη των Πολιτών (Citizen Science) (Buytaert et al., 2014). Πρόκειται ουσιαστικά για την ενεργό συμμετοχή του κοινού στην επιστημονική έρευνα, καθώς οι πολίτες καταγράφουν δεδομένα, διενεργούν αυτοψία ή χρησιμοποιούν εξειδικευμένες εφαρμογές ειδικά σχεδιασμένες για την καταγραφή δεδομένων, συμβάλλοντας ενεργά στην προώθηση της επιστήμης και της γνώσης. Η Επιστήμη των Πολιτών αποτελεί μια δυναμική ερευνητική μέθοδο που έχει μεγάλα οφέλη για την εκπαίδευση, για τη δημόσια κατανόηση της επιστήμης, μπορώντας παράλληλα ακόμα και να ασκήσει επιρροή στη χάραξη στρατηγικής, να γίνει αφορμή για σημαντικές συζητήσεις και τελικά να συμβάλει στην καλλιέργεια μιας πιο στενής σχέσης ανάμεσα στην επιστήμη και την κοινωνία.

Στη διεθνή βιβλιογραφία, η συμμετοχική δράση των πολιτών στην ερευνητική διαδικασία περιγράφεται και με άλλους όρους όπως «Παρατηρητήριο Πολιτών (Citizen Observatory)» (Degrossi et. al, 2014), «Πληθοπορισμός (Crowdsourcing)» (Leibovici et. al, 2016), «Δίκτυο ανθρώπινων αισθητήρων (Human Sensor Network)» (Aulov et. al, 2014), κ.α. Το πρώτο καταγεγραμμένο παράδειγμα χρήσης του όρου Επιστήμη των Πολιτών εντοπίζεται σε ένα άρθρο του R. Kerson τον Ιανουάριο του 1989 στις ΗΠΑ, αναφορικά με μια εκστρατεία ευαισθητοποίησης για την όξινη βροχή με τη συμμετοχή 225 εθελοντών που συνέλεξαν δείγματα βροχής (R. Kerson, 1989). Ωστόσο, η ευρεία



αναγνώριση του όρου γίνεται το 1995 από τον κοινωνικό επιστήμονα Alan Irwin στο Ηνωμένο Βασίλειο (A. Irwin, 1995). Ο Irwin περιέγραψε δύο διαστάσεις της σχέσης μεταξύ πολιτών και επιστήμης, όπου αφενός η επιστήμη πρέπει να ανταποκρίνεται στις ανησυχίες και τις ανάγκες της κοινωνίας, και αφετέρου οι ίδιοι οι πολίτες μπορούν να παράγουν αξιόπιστες επιστημονικές γνώσεις. Την ίδια περίοδο, ο ορνιθολόγος Rick Bonney στις ΗΠΑ, χαρακτήριζε την Επιστήμη του Πολίτη ως μια ερευνητική τεχνική στην οποία οι μη επιστήμονες μπορούν να συνεισφέρουν εθελοντικά πλήθος επιστημονικών δεδομένων σε ένα ερευνητικό έργο (R. Bonney, 1996). Από τότε έως σήμερα, αρκετοί ερευνητές ασχολούνται με τον ορισμό της έννοιας της Επιστήμης των Πολιτών, χωρίς ωστόσο να έχει προκύψει κάποιος διεθνώς αναγνωρισμένος ορισμός. Σε κάθε περίπτωση, αυτός ο «εκδημοκρατισμός της γνώσης» που επιτυγχάνεται μέσω της συμμετοχής των πολιτών στην ερευνητική διαδικασία, αναδεικνύεται ως μέσο για την αντιμετώπιση πολύπλοκων σύγχρονων προβλημάτων.

Η μέθοδος της συμμετοχικής επιστήμης εφαρμόζεται σε ένα ευρύ πεδίο επιστημονικών κλάδων, όπως η αστρονομία και η οικολογία. Τα τελευταία χρόνια δε, σημειώνεται πολύ σημαντική συνεισφορά των πολιτών στον κλάδο των γεωεπιστημών με τη χρήση γεωαναφερεμένων πληροφοριών (Volunteer Geographic Information – VGI), μέσω έξυπνων τηλεφώνων (smart phones) ή tablet και κατάλληλα σχεδιασμένων εφαρμογών.

Σε ότι αφορά το κίνητρο ενός πολίτη να συμμετέχει στην ερευνητική διαδικασία, φαίνεται ότι οι περισσότεροι πολίτες που συμμετέχουν έχουν ως κίνητρο την προσωπική ευχαρίστηση και την κατανόηση του αντικειμένου. Κάτι τέτοιο μπορεί να βοηθήσει όσους σχεδιάζουν προγράμματα για την Επιστήμη των Πολιτών, να προσανατολιστούν στην αύξηση της εμπλοκής των πολιτών, με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι πιο ικανοποιημένοι από την συμμετοχή τους. Η ικανοποίησή τους θα αυξήσει την ενασχόλησή τους με το εκάστοτε ερευνητικό έργο και συνεπώς θα έχει θετική επίδραση στα δεδομένα που συλλέγονται και στα αποτελέσματα της έρευνας.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία ενός προγράμματος που αξιοποιεί τους πολίτες στην ερευνητική διαδικασία είναι η σωστή οργάνωση και ο προγραμματισμός καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Βασικές προκλήσεις είναι:

- Η κατάλληλη προετοιμασία της επιστημονικής κοινότητας και των αρχών που φέρουν την ευθύνη για το ερευνητικό πρόγραμμα. Σε αυτή συμπεριλαμβάνεται,

καταρχήν ο καθορισμός των στόχων του προγράμματος, αλλά και η εξασφάλιση της απαραίτητης χρηματοδότησης και των υλικοτεχνικών υποδομών.

- Ο καθορισμός του τρόπου συμμετοχής των πολιτών στην ερευνητική διαδικασία (μέθοδος, απαιτούμενος χρόνος συμμετοχής, εξοπλισμός, κ.ά.), η προετοιμασία των εθελοντών (χωρισμός σε ομάδες, ενημέρωση, παροχή πληροφοριών, συνεχής υποστήριξη).
- Αξιολόγηση του συνολικού αποτελέσματος, τόσο της ποιότητας των συλλεγόμενων δεδομένων, όσο και της εμπειρία των συμμετεχόντων και της ευρύτερης κοινωνικοπολιτικής επίδρασης του προγράμματος.

Επιπλέον, στις βασικές απαιτήσεις ενός αντίστοιχου προγράμματος συμπεριλαμβάνεται η δημοσιοποίηση των δεδομένων και μεταδεδομένων που συλλέχθηκαν, ενώ συστήνεται και η ανάρτησή τους σε πλατφόρμες ανοικτής πρόσβασης. Ακόμη, οι υπεύθυνοι των προγραμμάτων οφείλουν να τηρούν την απαραίτητη νομοθεσία σε ότι αφορά τα πνευματικά δικαιώματα και τους συμφωνηθέντες όρους συμμετοχής των πολιτών. Τέλος, στα τελικά αποτελέσματα και σε όλες τις πιθανές δημοσιεύσεις του ερευνητικού έργου, οι εθελοντές-επιστήμονες αναφέρονται ως μέλη της ερευνητικής ομάδας.

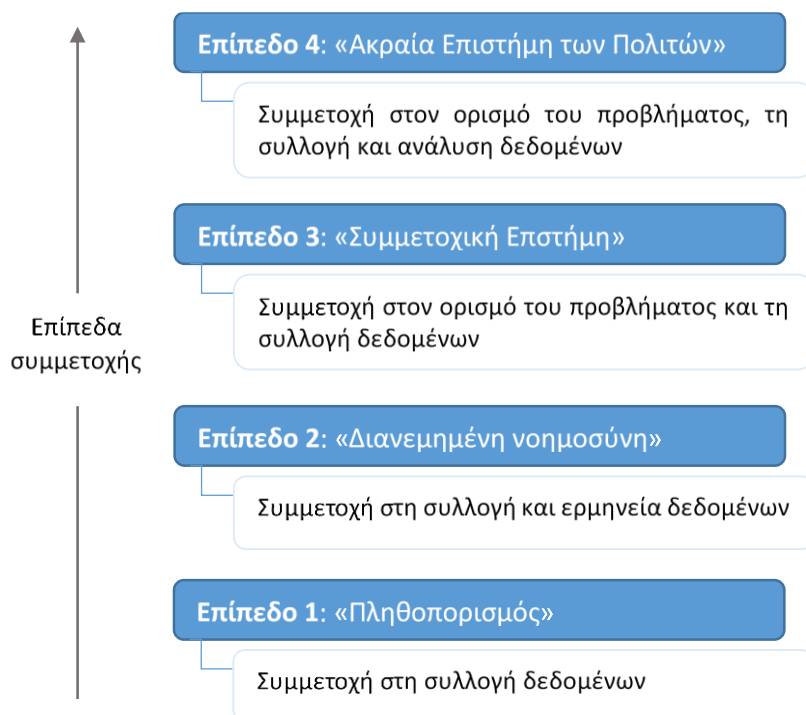
### **2.2.2 Κατηγοριοποίηση των ερευνητικών προγραμμάτων της Επιστήμης των Πολιτών**

Ο τρόπος με τον οποίο κάθε ερευνητικό πρόγραμμα είναι δομημένο και εντάσσει τους πολίτες στην εξέλιξή του ποικίλει ανάλογα τους σκοπούς και το αντικείμενο της μελέτης. Αναλυτικότερα, ο ρόλος των εθελοντών-ερευνητών πολιτών μπορεί να διαφοροποιείται ως προς τον βαθμό της μαζικής ή μη συμμετοχής τους, τον απαιτούμενο χρόνο συμμετοχής ή τα διαθέσιμα μέσα σε κάθε ερευνητικό έργο. Βάσει των επιμέρους χαρακτηριστικών τους, τα προγράμματα κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες.

Μια ευρέως αναγνωρισμένη κατηγοριοποίηση των έργων, που βασίζονται στην εν λόγω ερευνητική τεχνική, είναι η κλίμακα τεσσάρων επιπέδων του Haklay, που αξιολογεί τον βαθμό ενασχόλησης-εμπλοκής των εθελοντών στην ερευνητική διαδικασία. Ειδικότερα, στο πρώτο επίπεδο της κλίμακας εντάσσονται τα ερευνητικά προγράμματα πληθοπορισμού (Crowdsourcing Projects), στα οποία οι πολίτες συμμετέχουν μόνο στη διαδικασία συλλογής δεδομένων. Στο δεύτερο επίπεδο, οι συμμετέχοντες έχουν βασικές ικανότητες ώστε να μπορούν να αξιολογούν και να ερμηνεύουν τις πληροφορίες που συλλέγονται (Distributed Intelligence). Έπειτα, στο τρίτο στάδιο γνωστό και ως

«Συμμετοχική Επιστήμη» (Participatory Science) οι πολίτες αναλαμβάνουν ουσιαστικότερο ρόλο, καθώς πλέον λαμβάνουν μέρος όχι μόνο στη συλλογή των δεδομένων, αλλά και στην καθοδήγηση της έρευνας και τον ορισμό του προβλήματος. Τέλος, στο ανώτερο στάδιο της κλίμακας Haklay, οι πολίτες έχουν πλέον τον πιο καθοριστικό ρόλο, αφού συμμετέχουν σε όλα τα στάδια της ερευνητικής διαδικασίας. Σημειώνεται ότι σε αυτό το στάδιο, αναφερόμενο και ως «Ακραία Επιστήμη του Πολίτη» (Extreme Citizen Science), ο ρόλος των επαγγελματιών επιστημόνων περιορίζεται σημαντικά ή και εκλείπει εντελώς.

Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζεται σχηματικά η κλίμακα τεσσάρων επιπέδων του Haklay.



**Εικόνα 2-1: Τετραβάθμια κλίμακα κατάταξης του Haklay, βάσει συμμετοχής πολιτών στα ερευνητικά έργα, (Πηγή: Thaine H. Assumpção1, 2018 – Ιδία επεξεργασία )**

Επισημαίνεται ότι η πλειονότητα των προσφάτων μελετών που αξιοποιούν τους εθελοντές πολίτες στην ερευνητική διαδικασία περιορίζεται στα δύο χαμηλότερα επίπεδα συμμετοχής.

### 2.2.3 Βασικά «εργαλεία» της Επιστήμης των Πολιτών

Η Επιστήμη των Πολιτών αυτή τη στιγμή αναπτύσσεται παγκοσμίως και κερδίζει συνεχώς έδαφος χάρη στις νέες τεχνολογίες που μπορούν να φέρνουν σε επαφή τους πολίτες με την επιστημονική κοινότητα πιο άμεσα και πιο εύκολα. Οι νέες τεχνολογίες προσφέρουν ένα πολύτιμο εργαλείο στους πολίτες για να παίξουν έναν πιο ενεργό ρόλο στη βιώσιμη ανάπτυξη. Συγκεντρώνοντας πολύτιμη πληροφορία συμβάλουν στην ανάπτυξη στρατηγικών, βελτιώνουν την κατανόηση και απαντούν στις προκλήσεις που αντιμετωπίζει η κοινωνία σήμερα. Ενώ μέχρι τώρα η Επιστήμη των Πολιτών έβρισκε επιτυχή εφαρμογή σε ένα πιο «παραδοσιακό» περιβάλλον (λ.χ. ταχυδρομική αποστολή φωτογραφιών, μεταφορά πληροφοριών μέσω τηλεφωνικής επικοινωνίας), ο πολίτης έχει πλέον στη διάθεσή του όλο και περισσότερες διαθέσιμες τεχνολογίες πληροφορικής, καθιστώντας πιο εύκολη την αλληλεπίδραση με περισσότερους ανθρώπους και κατά συνέπεια την επέκταση του γεωγραφικού εύρους της συλλογής πληροφοριών. Ειδικά, η χρήση του mobile Internet δίνει τη δυνατότητα μαζικής συμμετοχής πολιτών σε ερευνητικά προγράμματα, ενώ ταυτόχρονα σε αρκετές περιπτώσεις προσφέρονται και εργαλεία για την οπτικοποίηση και την ανάλυση των μετρήσεων που δίνουν νέους ρόλους στους πολίτες πέραν από την απλή συλλογή δεδομένων.

Τα παιχνίδια είναι ένα ακόμα ερευνητικό «εργαλείο» που πλέον χρησιμοποιεί η Επιστήμη των Πολιτών. Ειδικότερα, διάφορα είδη παιχνιδιών, όπως οι διαγωνισμοί ή οι βαθμολογίες, μπορούν να αξιοποιηθούν σε ένα site ή σε μια εφαρμογή και να αυξήσουν κατακόρυφα τη διαδραστικότητα και συνεπώς την αφοσίωση των χρηστών. Ωστόσο, χρειάζεται να αναφερθεί ότι μερίδα επιστημόνων υποστηρίζει ότι υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα στην περίπτωση χρήσης παιχνιδιών σε πλατφόρμες επιστήμης των πολιτών, καθώς με αυτόν τον τρόπο προσελκύεται στην αρχή πλήθος συμμετεχόντων – υποψηφίων ερευνητών, που όμως στην πορεία χάνει το ενδιαφέρον του διότι τέτοιες εφαρμογές δεν υποστηρίζουν επαρκώς τα εγγενή κίνητρα των συμμετεχόντων.

Φυσικά, αδιαμφισβήτητη είναι συμβολή κάθε είδους επικοινωνιακών δράσεων σχετικά με το έργο της επιστήμης των πολιτών, όπως είναι για παράδειγμα οι συζητήσεις για την έρευνα σε σχετικά fora, ή σε ομάδες στα μέσα κοινωνικής δικτύωσης. Με αυτόν τον τρόπο, ενθαρρύνεται η συμμετοχή των πολιτών, που συχνά οδηγεί σε νέες επιστημονικές ανακαλύψεις, εκτός της ροής εργασιών που έχει θεσπιστεί για το εκάστοτε έργο. Παρόλα αυτά, και ενώ η επικοινωνία είναι ζωτικής σημασίας για το "χτίσιμο" της ερευνητικής κοινότητας, το δύσκολο είναι να ξεκινήσει κάποιος να συμμετέχει ενεργά σε τέτοιες

ομάδες, καθώς η ανάμειξη σε τέτοιου είδους συζητήσεις προϋποθέτει κάποιο συγκεκριμένο γνωστικό υπόβαθρο.

#### **2.2.4 Παραδείγματα εφαρμογής στην Ευρώπη και τον κόσμο**

Η Επιστήμη των Πολιτών, όπως έχει ήδη αναφερθεί, αποτελεί την αιχμή του δόρατος στην έρευνα, αποκτώντας σταδιακά περισσότερη πρακτική εφαρμογή σε μελέτες που λαμβάνουν χώρα σε αρκετές περιοχές του πλανήτη, σε πιλοτικό ή επιχειρησιακό επίπεδο. Παράλληλα, αντίστοιχες μελέτες εκπονούνται σε διερευνητικό στάδιο από διεθνώς αναγνωρισμένα πανεπιστήμια.

Η γενική εικόνα, βάσει των εφαρμοζόμενων προγραμμάτων, αποδεικνύει πως η συμμετοχή των πολιτών στην ερευνητική διαδικασία, είναι ευρέως διαδεδομένη πρακτική στις Ηνωμένες Πολιτείες. Μάλιστα, οι ΗΠΑ απαριθμούν το μεγαλύτερο ποσοστό μελών στην *Ένωση Εθελοντών Ερευνητών* (Citizen Science Association) και υποστηρίζουν σημαντικά αντίστοιχες δραστηριότητες, κυρίως μέσω του επίσημου κρατικού ιστοτόπου<sup>4</sup>. Ένα από τα πιο επιτυχημένα παραδείγματα ερευνητικού έργου είναι το CoCoRAHS (Collaborative Rain, Hail and Snow), που πρόκειται για ένα δίκτυο 20000 και πλέον εθελοντών-ερευνητών που συμμετείχαν στην συλλογή ημερήσιων δεδομένων κατακρήμνισης στις ΗΠΑ.

Στον ευρωπαϊκό χώρο η Επιστήμη των Πολιτών αντιπροσωπεύεται κυρίως από τις δραστηριότητες του *Ευρωπαϊκού Οργανισμού για την Επιστήμη του Πολίτη* (ECSA - European Citizen Science Association), ενός μη κερδοσκοπικού οργανισμού που στόχο έχει την ενθάρρυνση της ανάπτυξης της εν λόγω ερευνητικής διαδικασίας στην Ευρώπη. Στον ιστότοπό της<sup>5</sup> παρέχονται οι πλέον ακριβείς πληροφορίες και πρόσφατες δημοσιεύσεις για αντίστοιχα ερευνητικά έργα στον ευρωπαϊκό χώρο. Σύμφωνα με έρευνες, η Γερμανία είναι αναμφισβήτητα η πιο προηγμένη στην επιστήμη των πολιτών μελέτες, σε σύγκριση με τα υπόλοιπα κράτη μέλη της Ένωσης και ακολουθεί το Ηνωμένο Βασίλειο. Ωστόσο, αντίστοιχες προσπάθειες έχουν ήδη αρχίσει να γίνονται και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Μάλιστα, δεδομένου ότι η Ευρωπαϊκή Ένωση, στο πλαίσιο της γενικότερης πολιτικής της που προωθεί την Ανοικτή Πληροφόρηση και τη συμμετοχή των πολιτών στην λήψη αποφάσεων, χρηματοδοτεί την έρευνα στο πεδίο της Επιστήμης

---

<sup>4</sup> [citizenscience.gov](http://citizenscience.gov)

<sup>5</sup> <https://ecsa.citizen-science.net/>

των Πολιτών, αναμένεται να υπάρχει μελλοντικά μεγαλύτερο ενδιαφέρον και περισσότερα ερευνητικά προγράμματα προς αυτή την κατεύθυνση.

Στην Εικόνα 2-2 που ακολουθεί παρουσιάζεται η κατανομή των σχετικών έργων Επιστήμης των Πολιτών στην Ευρώπη μέχρι το έτος 2016.



**Εικόνα 2-2: Κατανομή Citizen Science Projects στην Ευρώπη, μέχρι το έτος 2016  
(Πηγή:European Commission Open Science Monitor)**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται παραδείγματα ερευνητικών προγραμμάτων που χρηματοδοτήθηκαν από την Ε.Ε.:

- CITCLOPS (Citizens' Observatory for Coast and Ocean Optical), που αφορά στη συλλογή δεδομένων σχετικά με την ποιότητα του θαλασσινού νερού, μέσω κινητών τηλεφώνων και αισθητήρων. Στο πρόγραμμα συμμετείχαν ακαδημαϊκά και τεχνολογικά ιδρύματα από τη Γερμανία, τη Γαλλία, την Ολλανδία και την Ισπανία.
- CITI-SENSE που αφορά στην ηχορύπανση και στη ρύπανση του αέρα, με στόχο την συμμετοχή των πολιτών στην λήψη αποφάσεων και τον σχεδιασμό μέτρων για την αντιμετώπιση των συγκεκριμένων θεμάτων, μέσω της χρήσης μικροαισθητήρων και συσκευών κινητής τηλεφωνίας.

- WESENSEIT που στόχο είχε τη δημιουργία παρατηρητηρίων πολιτών για το νερό. Τα συλλεγόμενα δεδομένα χρησιμοποιούνταν ως δεδομένα εισόδου σε μοντέλα για τον σχεδιασμό μέτρων αντιμετώπισης πλημμυρών/ ξηρασίας. Περιοχές μελέτης ήταν περιοχές στην Ολλανδία, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Ιταλία.

### **Το ερευνητικό πρόγραμμα SCENT**

Στον παραπάνω κατάλογο προστίθεται το ερευνητικό πρόγραμμα SCENT<sup>6</sup>, ένα από τα πρώτα πρόγραμμα υδρολογικού προσανατολισμού στο οποίο συμμετέχει η Ελλάδα. Το SCENT (Smart Toolbox for Engaging Citizens in a People-Centric Observation Web) είναι χρηματοδοτούμενο από το ευρωπαϊκό πρόγραμμα «HORIZON 2020» και συμμετέχουν συνολικά 10 φορείς από 6 χώρες, ενώ η χρονική του διάρκεια προβλέπεται να είναι τρία έτη (2016-2019).

Το SCENT αφορά στην ευαισθητοποίηση και στην εμπλοκή των πολιτών στην παρακολούθηση και στην διαμόρφωση της περιβαλλοντικής πολιτικής. Συγκεκριμένα, στοχεύει στην αύξηση της ενεργού συμμετοχής των πολιτών και των εμπλεκόμενων φορέων στην αντιπλημμυρική προστασία των υπό μελέτη περιοχών. Μέσα από το πρόγραμμα πρόκειται να αναπτυχθεί μια εργαλειοθήκη («The SCENT Toolbox»), που θα οδηγήσει στη συλλογή δεδομένων περιβαλλοντικού περιεχομένου με τη χρήση καινοτόμων τεχνολογιών. Για τη συλλογή των δεδομένων προβλέπεται να συμμετέχουν τόσο οι πολίτες μέσα από τη χρήση ηλεκτρονικών συσκευών (έξυπνα κινητά, tablets, φορητοί υπολογιστές κ.λπ.), όσο και τα υπάρχοντα συστήματα καταγραφής.

Το SCENT-Toolbox θα δοκιμαστεί σε δύο περιοχές μεγάλης κλίμακας, την αστική περίπτωση του ποταμού Κηφισού στην Αττική, που έχει πολλές φορές δοκιμαστεί από πλημμύρες, και στην αγροτική περίπτωση του Δέλτα του Δούναβη στη Ρουμανία. Τελικός στόχος είναι η διερεύνηση της επιρροής των δεδομένων στην αξιολόγηση των κινδύνων πλημμύρας και των μοντέλων πλημμύρας.

---

<sup>6</sup> <https://scent-project.eu/>



Εικόνα 2-3: Επεξηγηματικό σχεδιάγραμμα του τρόπου λειτουργίας του SCENT (παρουσίαση )

### 2.2.5 Προοπτικές μέτρησης υδρολογικού ενδιαφέροντος

Στο χώρο των γεωπιστημών, και ειδικότερα της υδρολογίας, παρουσιάζονται σημαντικές προκλήσεις σε ότι αφορά την κατανόηση, τη μοντελοποίηση και τη διαχείριση των φυσικών διεργασιών. Δεδομένης της πολυπλοκότητας και χωροχρονικής μεταβλητότητας τους, η σημαντική έλλειψη επαρκών δεδομένων αναδεικνύεται ως βασικό πρόβλημα, το οποίο επιδεινώνεται εξαιτίας της αλλαγής του κλίματος και της αστικοποίησης. Ταυτόχρονα, η εγκατάσταση ενός πυκνού συστήματος μέτρησης όλων των επιμέρους μεταβλητών δεν είναι οικονομικά εφικτή. Στο πλαίσιο αυτό, η Επιστήμη του Πολίτη και η «από τα κάτω» ροή πληροφοριών από μη ειδικούς εκτιμάται ότι θα συντελέσει στην καλύτερη κατανόηση της αλληλεπίδρασης ανθρώπων και περιβάλλοντος- νερού, δημιουργώντας σημαντικές ευκαιρίες για περαιτέρω διερεύνηση και μοντελοποίηση των πολύπλοκων συστημάτων (Montanari et. al, 2013).

Συνεπώς, σε ότι αφορά τις μετρήσεις υδρολογικού ενδιαφέροντος υπάρχει ένα ευρύ φάσμα μεταβλητών που μπορούν να μελετηθούν από τους εθελοντές, λειτουργώντας ως «ανθρώπινοι αισθητήρες» και υποβοηθώντας με αυτόν τον τρόπο το εγκατεστημένο δίκτυο σταθμών παρακολούθησης. Ειδικότερα, σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία δεδομένα πληθοπορισμού μπορούν να συλλεχθούν για τις εξής μεταβλητές:

- Βροχόπτωση

Για τη συλλογή δεδομένων κατακρήμνισης έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι πληθοπορισμού τις τελευταίες δεκαετίες. Ενδεικτικά αναφέρονται η συλλογή δεδομένων από απλούς οικιακούς σταθμούς, από κινούμενα αυτοκίνητα, όπου



γίνεται συσχέτιση της έντασης της βροχόπτωσης και της ταχύτητας των υαλοκαθαριστήρων και από χαμηλούς κόστους ακουστικούς αισθητήρες που μπορούν να τοποθετηθούν σε ομπρέλες για την μέτρηση της έντασης της βροχής. Η εφαρμογή αντίστοιχων μεθόδων ενισχύει την τη χωρική ανάλυση της βροχόπτωσης, με την προϋπόθεση εκτενούς δικτύου εθελοντών.

- Στάθμη νερού

Ο πιο συνηθισμένος και εύκολος τρόπος συλλογής δεδομένων στάθμης από πολίτες είναι η αποστολή φωτογραφιών στάθμης νερού, από σημεία με συγκεκριμένη αναφορά (π.χ. σταδία σε πρηνές ποταμού).

- Ταχύτητα νερού

Η μέτρηση της ταχύτητας από δεδομένα πληθοπορισμού γίνεται από ανάλυση βίντεο που έχουν καταγραφεί από τους πολίτες. Ωστόσο, αυτή είναι μια πιο σύνθετη διαδικασία, με περιορισμένη εφαρμογή, καθώς απαιτούνται πληροφορίες τόσο σε σχέση με την κοίτη, όσο και σε σχέση με την ανάλυση και άλλα χαρακτηριστικά της κάμερας.

- Έκταση πλημμύρας

Η έκταση της πλημμύρας είναι μια μεταβλητή εύκολο να προσδιοριστεί καθώς μπορεί να πάρει μόνο δύο τιμές (πλημμυρισμένη ή μη πλημμυρισμένη περιοχή), ωστόσο απαιτεί μεγάλη χωρική ανάλυση. Οι πολίτες μπορούν να συμβάλλουν στον προσδιορισμό των πλημμυρισμένων με την αποστολή γεωαναφερμένων φωτογραφιών.

- Κάλυψη/ χρήσεις γης

Οι πληροφορίες σχετικά με την κάλυψη και τις χρήσεις γης παίζουν καθοριστικό ρόλο για την εκτίμηση της τραχύτητας και του συντελεστή απορροής των λεκανών. Οι πολίτες μπορούν να συμβάλλουν στον προσδιορισμό της κάλυψης/χρήσης γης με την αποστολή γεωαναφερμένων φωτογραφιών. Επιπλέον, αντίστοιχη ενημέρωση μπορεί να γίνει για εμπόδια σε κοίτες ποταμών.

Η ανωτέρω λίστα, μέσω της συνεχώς αυξανόμενης εμπειρίας, εμπλουτίζεται ολοένα με νέους τρόπους μέτρησης των μεταβλητών που αναφέρθηκαν, ή ακόμη και νέες υδρολογικές παραμέτρους. Τα συλλεγόμενα δεδομένα αξιοποιούνται με ποικίλους τρόπους στην προσομοίωση κατά τη δημιουργία, τη βαθμονόμηση και τον έλεγχο του μοντέλου. Στη βιβλιογραφία των σχετικών μελετών, αναφέρεται επίσης πως τα δεδομένα πληθοπορισμού χρησιμοποιούνται ως βάση για τη δημιουργία συνθετικών χρονοσειρών,

ή ως σετ δεδομένων εκπαίδευσης κατά τη διαδικασία της «εκπαίδευσης» γενετικών αλγορίθμων.

Φυσικά, προκειμένου το σύνολο των συλλεγόμενων δεδομένων να είναι αξιοποιήσιμα και χρήσιμα για την προσομοίωση, οφείλουν να έχουν αποδεκτά επίπεδα αξιοπιστίας. Η αβέβαιη ποιότητα των δεδομένων πληθοπορισμού και κατ' επέκταση η αποδοχή τους, αποτελεί ένα από τα πρωταρχικά ζητήματα που χρειάζεται να ελεγχθούν. Λαμβάνοντας υπόψη τον μεγάλο όγκο δεδομένων πληθοπορισμού, που αναμένεται να αυξηθεί ραγδαία μελλοντικά, είναι σημαντικό να καθοριστούν όλες οι κατάλληλες δικλείδες ασφαλείας, όπως η τήρηση πρωτοκόλλων και η κατάρτιση μεθοδολογιών αξιολόγησης, ώστε να τεκμηριώνεται η ποιότητα των διαθέσιμων στοιχείων και να ελέγχεται η καταλληλότητά τους για χρήση

# Κεφάλαιο 3

## Περιοχή Μελέτης

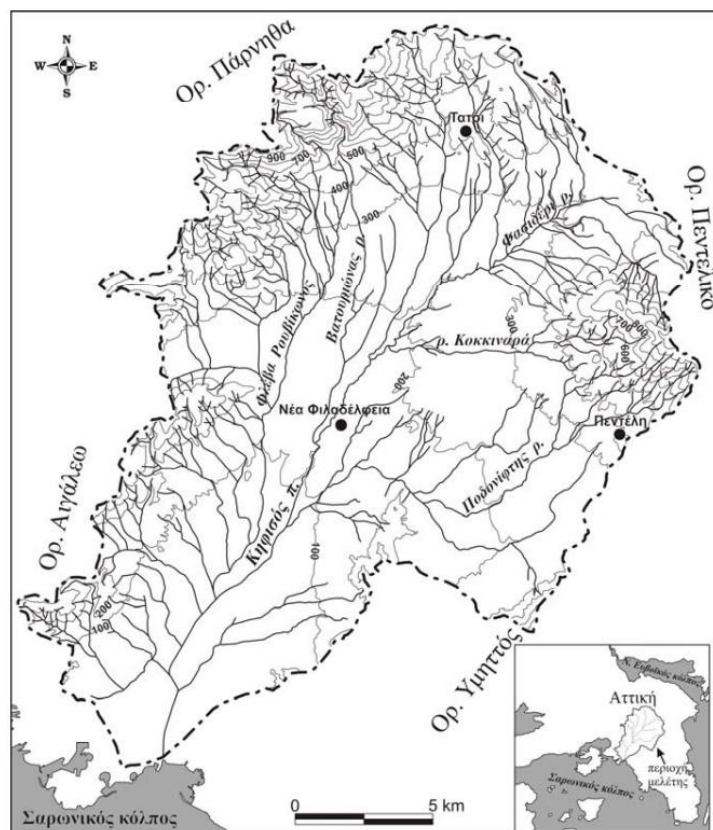
---

### 3.1 Η ευρύτερη περιοχή του π. Κηφισού

Η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η λεκάνη απορροής του Κηφισού ποταμού, που ανήκει στο Υδατικό Διαμέρισμα της Αττικής (EL06) και περιλαμβάνει το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας και του Πειραιά. Η περιοχή οριοθετείται από τον Σαρωνικό κόλπο και τα βουνά του Αιγάλεω, της Πάρνηθας, του Υμηττού και της Πεντέλης που ορίζουν το λεκανοπέδιο της Αττικής έχοντας ανάπτυγμα γενικής διεύθυνσης βορειοανατολικά-νοτιοδυτικά. Ουσιαστικά, ο Κηφισός αποτελεί τον κύριο υδροκρίτη του Λεκανοπεδίου της Αττικής, ακολουθώντας την κορυφογραμμή των περιφερειακών βουνών που προαναφέρθηκαν.

Ο Κηφισός ποταμός πηγάζει από την οροσειρά της Πάρνηθας, τον ορεινό όγκο της οποίας περικλείουν τα όρια του Εθνικού Δρυμού και της περιοχής «Natura 2000», διασχίζει το Λεκανοπέδιο της Πρωτεύουσας και εκβάλλει σε βάθος κοίτης -9,50 m στον Φαληρικό Όρμο, ενώ αποτελεί τον κυριότερο αποδέκτη των ομβρίων υδάτων της Αττικής. Η λεκάνη απορροής του έχει έκταση 381,10 km<sup>2</sup> και μήκος διαδρομής περίπου 22 km, από τα οποία τουλάχιστον 14 km βρίσκονται εντός αστικής περιοχής.

Σε ότι αφορά τα ανθρωπογενή χαρακτηριστικά, ο μόνιμος πληθυσμός του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής με βάση τα πληθυσμιακά μεγέθη της απογραφής του 2011 (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) είναι περίπου στα 4.000.000 κάτοικοι, ενώ εκτιμάται ότι το 75% αυτών κατοικούν εντός της λεκάνης απορροής του Κηφισού. Λαμβάνοντας υπόψη όλους όσους κατοικούν –αλλά όχι μόνιμα-, εργάζονται και δρουν στην περιοχή, είναι προφανές ότι ο πραγματικός πληθυσμός που επηρεάζει και επηρεάζεται από το ποτάμι είναι αρκετά μεγαλύτερος.



**Εικόνα 3-1: Η λεκάνη απορροής του Κηφισού – Χάρτης προσανατολισμού περιοχής μελέτης (Καρούμπαλης, 2010)**

Οι χρήσεις γης παρουσιάζουν σημαντική διαφοροποίηση στα επιμέρους τμήματα της λεκάνης του ποταμού. Ειδικότερα, στις ανάντη ορεινές περιοχές κυριαρχούν τα δάση και οι θαμνώδεις εκτάσεις, ενώ στα κατάντη οι αστικές περιοχές. Επιπλέον, υπάρχουν περιοχές βιομηχανικής χρήσης, αλλά και καλλιεργημένα εδάφη, σε περιορισμένο βαθμό. Γενικά, η δομημένη έκταση στη λεκάνη Κηφισού εκτιμάται ότι έχει ξεπεράσει το 70% της συνολικής έκτασης και το ποσοστό αυξάνεται διαρκώς. Παράλληλα, οι ορεινές και ημιορεινές περιοχές της λεκάνης στην Πάρνηθα και στην Πεντέλη έχουν κατά καιρούς πληγεί από πυρκαγιές, με καταστρεπτικότερη αυτή το καλοκαίρι του 2007.

Η μορφολογία των κατοικημένων περιοχών της λεκάνης Κηφισού χαρακτηρίζεται, στο μεγαλύτερο μέρος της, από ομαλό ανάγλυφο. Στην ορεινή και ημιορεινή λεκάνη (ποσοστό περίπου 18%) συναντώνται κυρίως ασβεστόλιθοι, μάρμαρα, σχιστόλιθοι και προσχώσεις, ενώ οι ελεύθερες πεδινές περιοχές (ποσοστό 82%) έχουν γίνει αδιαπέρατες εξαιτίας της αστικοποίησης (οικοδόμηση και αστικά οδικά δίκτυα).

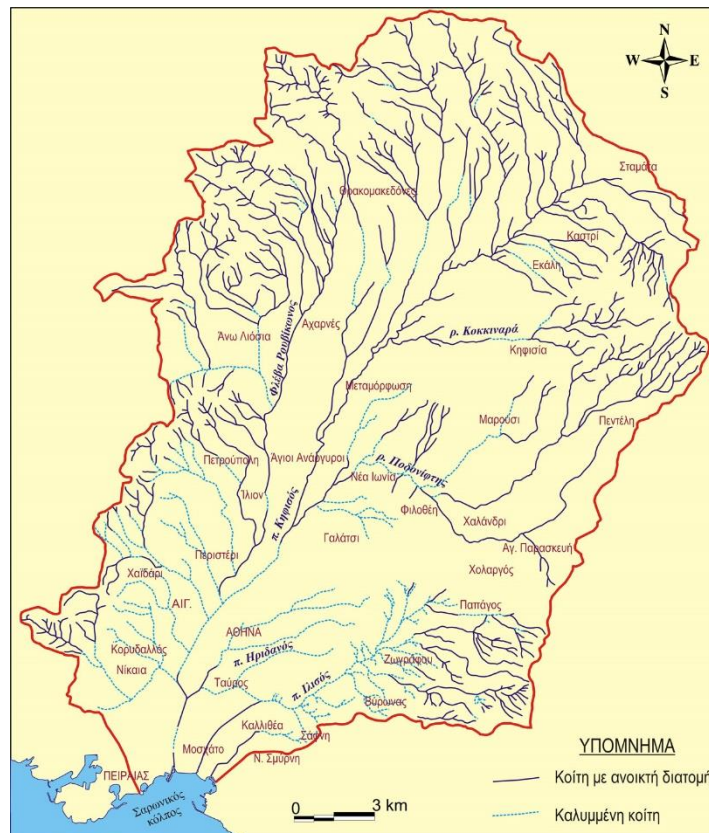
Στον Κηφισό συμβάλλει μεγάλος αριθμός ρεμάτων, τα οποία στις κατοικημένες περιοχές κατά καιρούς έχουν προσχωθεί με ανθρώπινη (συνήθως αυθαίρετη) παρέμβαση. Οι βασικοί κλάδοι τους έχουν διευθετηθεί με κλειστές διατομές, που ωστόσο κρίνονται

ανεπαρκείς για τις σημερινές συνθήκες. Μέρος από τα υπόψη ρέματα, κυρίως στην ανοικτή διαδρομή του ποταμού, ανάντη των Τριών Γεφυρών και κατάντη της Αγίας Άννης μέχρι την εκβολή του, δεν έχουν ακόμη διευθετηθεί. Τέλος, μέρος των λεκανών Ποδονίφτη και Νίκαιας έχουν μερικώς εκτραπεί προς τη λεκάνη ρέματος Ραφήνας και στον όρμο Περάματος, αντίστοιχα.

Αναλυτικότερα, τα ρέματα που συντρέχουν στον Κηφισό, από τα ανάντη προς τα κατάντη είναι τα ακόλουθα:

- α) Χελιδονούς, με αποστράγγιση της περιοχής της Βαρυμπόμπης.
- β) Βαρυμπόμπης (ρέμα Κρύας Βρύσης), με αποστράγγιση μέρους των Αχαρνών και Θρακομακεδόνων. Ενώνεται με το ρέμα της Χελιδονούς και μετά τον Χαμόμυλο και τον Κόκκινο Μύλο τα νερά του πέφτουν στην κυρίως κοίτη του Κηφισού.
- γ) Ρέματα Βατουριώνα και Αγίας Τριάδας, που αποστραγγίζουν περιοχές στους Θρακομακεδόνες και τις Αχαρνές.
- δ) Αγίου Γεωργίου, που αποστραγγίζει το δυτικό τμήμα των Αχαρνών.
- ε) Ρέματα Πικροδαφνέζας και Κατερινέζας, που αποστραγγίζουν τα Άνω Λιόσια.
- στ) Κεφαλάρι, ο Κοκκιναράς, που οι πηγές του ξεκινούν από την περιοχή Κοκκιναρά στην Κηφισιά.
- ζ) Ποδονίφτη, που εισέρχεται στα Βριλήσσια και μαζί με το συμβαλλόμενο ρέμα Χαλανδρίου (στο Χαλάνδρι ονομάζεται και "Ρεματιά") αποστραγγίζει τις περιοχές των Αγ. Αναργύρων, Χαλκηδόνας, Ν. Φιλαδέλφειας, Ν. Ιωνίας, Γαλατσίου, Ψυχικού, Φιλοθέης, Χαλανδρίου, Αγ. Παρασκευής, Μεταμόρφωσης, Ηρακλείου, Πεύκης, Αμαρουσίου, Κηφισιάς, Βριλησίων, Μελισσίων, Νέας και Παλαιάς Πεντέλης. Συναντά τον Κηφισό στην περιοχή Τρεις Γέφυρες.
- η) Υδρογραφικό σύστημα - Ρέμα Εσχατιάς, που αποτελεί την προς νότο προέκταση του ρέματος Πικροδάφνης ή Ευπηρίδων. Προς τη μισγάγγεια του ρέματος απορρέουν τα όμβρια των επί μέρους λεκανών απορροής των περιοχών Φυλής, Ζεφυρίου, Αχαρνών, Καματερού, Αγίων Αναργύρων, Ιλίου, Περιστερίου. Το ρέμα σε όλο το μήκος του από το δυτικό όριο του Ζεφυρίου μέχρι να συναντήσει τον Κηφισό είναι κλειστό και διευθετημένο.
- θ) Ρέμα Αλφειού, που διατρέχει το μεγαλύτερο τμήμα της Πετρούπολης και των Ν. Λιοσίων και είναι σε όλο το μήκος του κλειστό και διευθετημένο. Η συμβολή των δύο ρεμάτων Αλφειού και Εσχατιάς γίνεται στις Τρεις Γέφυρες, όπου και ενώνονται με τον κύριο κλάδο του Κηφισού ποταμού.

- ι) Περιστερίου, όπου συμβάλλουν τα ρέματα των: i) Μόσχα, με αποστράγγιση του Περιστερίου, ii) Μιχελή, με αποστράγγιση των Ν. Λιοσίων και Πετρούπολης, iii) Ροντάκη, με αποστράγγιση Ν. Λιοσίων και Πετρούπολης, iv) Λιοσίων (γνωστό κατά τμήματα και ως ρέμα Φλέβας ή Εσχατιάς), μέσω του οποίου αποστραγγίζονται το Καματερό, το Ζεφύρι, οι Αχαρνές, τα Άνω Λιόσια και οι Θρακομακεδόνες.
- ια) Νέστου, που βρίσκεται στην υπολεκάνη του Χαϊδαρίου νότια του Αιγάλεω, ανατολικά της Αγ.Βαρβάρας και του Κορυδαλλού. Στο μεγαλύτερο τμήμα του είναι κλειστό και διευθετημένο, με εξαίρεση μικρούς τομείς ανάντη, δυτικά της Αγ. Βαρβάρας. Μικρότερα ρέματα στην περιοχή του Αιγάλεω είναι τα ρέματα Εδέσσης, Κατσαρού, Μίνωος.
- ιβ) Αιγάλεω, που συμβάλλει στην αποστράγγιση του Αιγάλεω.
- ιγ) Νίκαιας ή Καναπιτσερή μέσω του οποίου αποστραγγίζονται οι περιοχές Νίκαιας, Κορυδαλλού και Αγ. Βαρβάρας.
- ιδ) Προφήτης Δανιήλ, μέσω του οποίου αποστραγγίζονται οι περιοχές Ταύρου και του κέντρου των Αθηνών



Εικόνα 3-2: Χάρτης ρεμάτων ανοικτής και κλειστής διατομής στη λεκάνη του Κηφισού (Πηγή: [https://perivallongr.blogspot.com/2013/04/blog-post\\_20.html](https://perivallongr.blogspot.com/2013/04/blog-post_20.html))

### 3.2 Κατασκευαστικές παρεμβάσεις

Όπως προαναφέρθηκε, η λεκάνη απορροής του ποταμού Κηφισού έχει υποστεί έντονες πιέσεις από ανθρώπινες δραστηριότητες (οργανωμένη δόμηση και πάσης φύσεως αυθαίρετες παρεμβάσεις). Κατά μήκος του ποταμού έχει πραγματοποιηθεί ένας σημαντικός αριθμός έργων, ενώ προβλέπεται να ολοκληρωθούν και κάποια άλλα στο μέλλον. Από τις Τρεις Γέφυρες (θέση Κόκκινος Μύλος) και ανάντη ο ποταμός είναι και προβλέπεται να παραμείνει με ανοικτή διατομή. Στο τμήμα αυτό συμβάλλουν τα ρέματα Βαρυμπόμπης, Πύρνας (και η εκτροπή του), Χελιδονούς, Φασίδερι, Διονύσου, Αγίας Μαρίας, Κρυονερίου, Εκάλης κ.ά.. Μέχρι σήμερα δεν έχει ολοκληρωθεί η μελέτη έργων διευθέτησης στα συμβάλλοντα ρέματα και τον κύριο κλάδο ή έργα ανάσχεσης πλημμυρών στη λεκάνη ανάντη. Σε αυτό το ανάντη τμήμα υπάρχουν σημαντικά προβλήματα καταπατήσεων, επιχωματώσεων της κοίτης, παράνομης δόμησης και απόρριψης παντός είδους στερεών και υγρών αποβλήτων. Η διευθέτηση του Κηφισού εκτείνεται από τις Τρεις Γέφυρες μέχρι και την εκβολή του στο Φαληρικό Όρμο. Αρχισε από 35ετίας και ολοκληρώθηκε τμηματικά σε συνδυασμό με το οδικό έργο το 2004 στα πλαίσια των Ολυμπιακών Έργων και περιλαμβάνει τρία κύρια τμήματα:

- Από τις Τρεις Γέφυρες μέχρι την οδό Αγίας Άννης ο ποταμός είναι πλήρως καλυμμένος και επ' αυτού έχει δημιουργηθεί η Λεωφόρος Κηφισού.
- Από την οδό Αγ. Άννης μέχρι τη Λεωφόρο Ποσειδώνος είναι εγκιβωτισμένος με ανοικτή διατομή, ενώ η Λεωφόρος Κηφισού είναι αρχικώς (για 1500 m μετά την Αγ. Άννης) παράπλευρα του Κηφισού και στη συνέχεια υπερυψωμένη πάνω από τη διευθετημένη κοίτη του Κηφισού.
- Από τη Λεωφόρο Ποσειδώνος μέχρι την εκβολή του στη θάλασσα είναι εγκιβωτισμένος με ανοικτή διατομή και κεντρικό μεσόβαθρο.

Σε ότι αφορά τα συμβάλλοντα ρέματα, τα κύρια έργα, από την εκβολή του Κηφισού και προς τα ανάντη, είναι τα παρακάτω:

- Ανοικτό τμήμα κατάντη Αγ. Άννης: Υφιστάμενοι Παραλιακοί Συλλεκτήρες Ομβρίων Καλλιθέας Μοσχάτου και Καραϊσκάκη. Οι συλλεκτήρες αυτοί έχουν κατασκευαστεί πριν από δεκαετίες, μετά τις εκτεταμένες επιχωματώσεις των ακτών, και συμβάλλουν στον Κηφισό κατάντη της Λεωφόρου Ποσειδώνος. Στους υπόψη συλλεκτήρες συμβάλλουν τα υφιστάμενα δίκτυα ομβρίων στις περιοχές των Δήμων Καλλιθέας, Μοσχάτου και Ν. Φαλήρου.

- Υφιστάμενος Βασικός Συλλεκτήρας Ομβρίων υψηλών ζωνών Μοσχάτου-Καλλιθέας- Νέας Σμύρνης: Έχει κατασκευαστεί πριν από δεκαετίες αλλά δεν έχει ολοκληρωθεί το τελευταίο τμήμα του και η εκβολή στον Κηφισό.
- Συλλεκτήρας Αγ. Ιωάννη Ρέντη: Έχει ολοκληρωθεί η κατασκευή του από την εκβολή του στον Κηφισό μέχρι τη σιδηροδρομική γραμμή και προβλέπεται να ολοκληρωθεί και το τμήμα του συλλεκτήρα ανάντη της γραμμής.
- Συλλεκτήρας Β. Παύλου: Δεν έχει εκπονηθεί μελέτη. Προβλέπεται να εξυπηρετεί περιοχές της Λαχαναγοράς και θα ανακουφίζει τον υφιστάμενο παλιό συλλεκτήρα στην οδό Πειραιώς.
- Υφιστάμενος παλαιός συλλεκτήρας στην οδό Πειραιώς μέχρι την Πλ. Ομοιοίας.
- Εκτροπή Κυκλοβόρου Προφήτη Δανιήλ και μερική εκτροπή Ιλισού στον Κηφισό: Προβλέπεται να κατασκευαστεί στην οδό Κωνσταντινουπόλεως μεταξύ της Λεωφόρου Αθηνών και του Κηφισού. Το έργο εκβολής στον Κηφισό έχει κατασκευαστεί μερικώς.
- Ρέμα Προφήτη Δανιήλ: Το υπόψη ανοικτό ρέμα διασχίζει τον Ελαιώνα και εκβάλλει στον Κηφισό. Εκεί καταλήγουν και οι παροχές από τις υπερχειλίσεις του παντοροϊκού συστήματος ανάντη της Λεωφόρου Αθηνών και μικρές παροχές από τον Κυκλοβόρο. Το ρέμα Προφήτη Δανιήλ δεν έχει διευθετηθεί και η σημερινή εκβολή του στον Κηφισό είναι προβληματική προκαλώντας συχνές υπερχειλίσεις προς τις κατάντη περιοχές του Μοσχάτου. Για τη βελτίωση της λειτουργίας της εκβολής του έχει μελετηθεί να έχει κοινή εκβολή στον Κηφισό με τον Κυκλοβόρο επί της Κωνσταντινουπόλεως αμέσως κατάντη της σιδηροδρομικής γραμμής.
- Κλειστό τμήμα μεταξύ Αγ. Άννης και Τρεις Γέφυρες: Τα συμβάλλοντα ρέματα στο κλειστό τμήμα του Κηφισού από οδό Αγ. Άννης μέχρι Τρεις Γέφυρες είναι διευθετημένα με κλειστές διατομές..
- Ανοικτό τμήμα μεταξύ Τριών Γεφυρών και Κόκκινου Μύλου: Στο τμήμα αυτό ο Κηφισός έχει διευθετηθεί με τραπεζοειδή διατομή διοχετευτικότητας  $250 \text{ m}^3/\text{s}$  στο οποίο εκβάλλει το ρέμα Αχαρνών.





Εικόνα 3-3: Η εγκιβωτισμένη κοίτη του Κηφισού στο τμήμα από Αγίας Άννης μέχρι τις εκβολές του



Εικόνα 3-4: Έργα στην κοίτη του Κηφισού, στο ύψος της οδού Λάμπρου Κατσώνη  
(Πηγή: <https://politisfx.gr/2017/07/22/i-poreia-ton-ergon-ston-kifiso/>)

### 3.3 Νομικό πλαίσιο

Το θεσμικό πλαίσιο που ίσχυε μέχρι το 1994 δεν παρείχε καμία προστασία στον Κηφισό και στο οικοσύστημα της ευρύτερης περιοχής, αφού αντιμετώπιζε το ποτάμι καθαρά ως υδραυλικό υποδοχέα και αντιπλημμυρικό αγωγό παραβλέποντας τόσο την περιβαλλοντική, όσο και την ιστορική/αρχαιολογική του διάσταση. Η απουσία κατάλληλου νομικού πλαισίου είχε ως συνέπεια τη σφοδρή υποβάθμιση των παρακηφίσιων περιοχών από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Το 1994 θεσπίστηκε ειδικό Προεδρικό Διάταγμα (ΦΕΚ 632Δ / 27-6-1994) για την προστασία του. Σύμφωνα με αυτό ορίστηκε Α΄ Ζώνη Προστασίας με πλάτος 50 μέτρων εκατέρωθεν της μέσης γραμμής, όπου απαγορεύεται κάθε δόμηση και Β΄ Ζώνη Προστασίας που εκτείνεται πέραν της Α΄ Ζώνης, σε διαφορετικό κατά περιοχές πλάτος, όπου επιτρέπεται δόμηση με πολύ μικρό συντελεστή και ήπιες χρήσεις. Το Προεδρικό Διάταγμα έδωσε επίσης δεκαετή προθεσμία για την απομάκρυνση όλων των εγκαταστάσεων που βρίσκονται μέσα στη Ζώνη Προστασίας, σήμερα όμως αυτές εξακολουθούν να παραμένουν ύστερα από παράταση της προθεσμίας. Το σύνολο των εκτάσεων που περιλαμβάνονται στις Ζώνες Προστασίας είναι 12.000 στρέμματα και αυτά αποτελούν, εν δυνάμει, ένα μεγάλο φυσικό πάρκο με ελάχιστη δόμηση που συνδέει το περιαστικό πράσινο με την Πρωτεύουσα. Το 2002 με Προεδρικό Διάταγμα ιδρύθηκε ο «Φορέας Διαχείρισης και Ανάπλασης του ποταμού Κηφισού Αττικής και των παραχειμάρρων» (ΦΔΑΚ) με σκοπό την εφαρμογή του Π.Δ. του 1994 και το συντονισμό όλων των συναρμοδίων Υπηρεσιών για την προστασία και τη διαχείρισή του.

### 3.4 Ιστορικό πλημμυρών

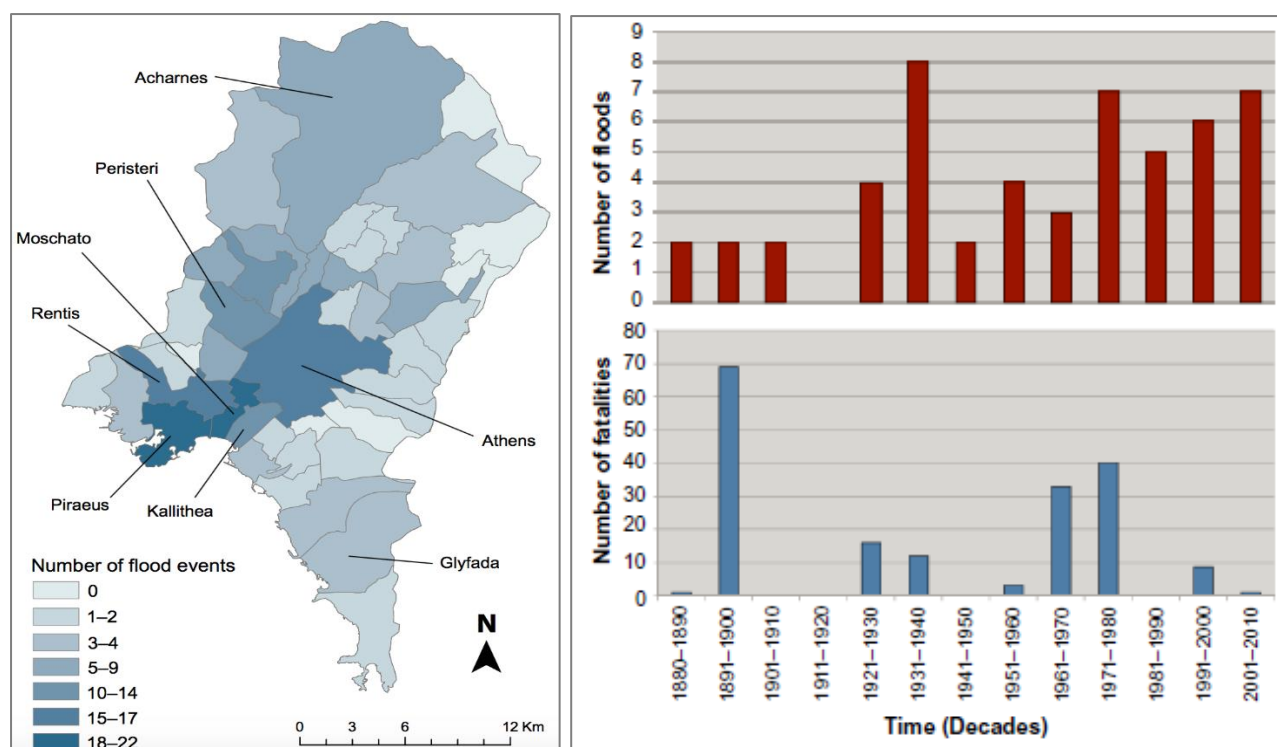
Η περιοχή του Κηφισού έχει δοκιμαστεί πολλές φορές στο παρελθόν από πλημμύρες και αποτελεί τη μεγαλύτερη σε έκταση Ζώνη Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ) του Υδατικού Διαμερίσματος της Αττικής, σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Αττικής (GR06).

Τα αίτια εμφάνισης και οι μηχανισμοί πλημμύρας στην μητροπολιτική περιοχή των Αθηνών σχετίζονται κυρίως με την έντονη αστικοποίηση και την κατάργηση πολλών ρεμάτων του φυσικού υδρογραφικού δικτύου που έχουν δομηθεί, με αποτέλεσμα την έντονη αδυναμία παροχέτευσης των ομβρίων υδάτων. Πιο συγκεκριμένα, επισημαίνονται τα ακόλουθα αίτια (Ξανθόπουλος κ.ά., 1994):

- Έντονη αστικοποίηση (ο χρόνος συρροής σε μια αστική λεκάνη είναι μικρότερος όταν αυτή είναι πυκνά δομημένη)
- Κατάργηση πολλών ρεμάτων της ιστορικής φυσικής λεκάνης και αντικατάσταση τους με οδικούς άξονες και κτίσματα
- Διευθέτηση και μείωση των διατομών φυσικών υδατορευμάτων. Η προκαλούμενη μείωση της παροχευτικότητας και η αύξηση της απορροής ενισχύουν τον κίνδυνο πλημμυρικών φαινομένων.
- Το δίκτυο ομβρίων της Αττικής έχει κατασκευαστεί για να εξυπηρετεί τοπικά τις περιοχές της πρωτεύουσας χωρίς την επιδίωξη μιας συνολικής στρατηγικής. Επιπλέον, η συντήρηση και ο καθαρισμός του υπάρχοντος δικτύου δεν είναι ικανοποιητικά.
- Ανεπαρκής προγραμματισμός για τη διαχείριση των περιστατικών υδατορευμάτων μετά την επέκταση της πόλης στις παρυφές των βουνών που την περιβάλλουν.

Συνολικά έχουν καταγραφεί 120 ιστορικά συμβάντα εντός της λεκάνης απορροής του Κηφισού, εκ των οποίων τα 49 χαρακτηρίστηκαν ως σημαντικά. Επισημαίνεται ότι τα κριτήρια για τον προσδιορισμό των σημαντικών ιστορικών γεγονότων βάση της Προκαταρκτικής Αξιολόγησης Κινδύνων Πλημμύρας (ΥΠΕΚΑ-ΕΓΥ, 2012) είναι:

- η ύπαρξη ανθρώπινων θυμάτων,
- το ύψος της χρηματικής αποζημίωσης (αποζημιώσεις ΕΛΓΑ για ζημιές στη γεωργία και ΥΑΣ για ζημιές σε οικισμούς),
- το μέγεθος της κατακλυζόμενης έκτασης (αφορά σε καλλιεργούμενες εκτάσεις που καταγράφονται από τον ΕΛΓΑ).



Εικόνα 3-5: Κατανομή πλημμυρικών επεισοδίων στο λεκανοπέδιο της Αττικής (δεξιά) και διαγράμματα χρονικής διακύμανσης πλημμυρικών επεισοδίων και θά θανάτων (αριστερά)

(Πηγή: Διακαάκης,2013)

Τα έτη με τα περισσότερα διακριτά επεισόδια ήταν το 1930, 1991 και το 2002 (δύο επεισόδια μέσα στο έτος). Το μέγιστο πλήθος πληγέντων οικισμών παρατηρήθηκε το 1961 (επεισόδιο 6/11/1961) και το 2002 (επεισόδιο 08/07/2002) που έπληξε 13 οικισμούς, το 2014 (επεισόδιο 24/10/2014 που έπληξε 11 οικισμούς), και το 1977 (επεισόδιο 02/11/1977) και 1980 (επεισόδιο 27/10/1980) που έπληξε 8 οικισμούς.

Πίνακας 3.1:Σημαντικά πλημμυρικά γεγονότα στην Λεκάνη Απορροής του Κηφισού

α/α	Τοποθεσία Πλημμύρας	Ονομασία Πλημμύρας	Ημερομηνία
1	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΜΟΣΧΑΤΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 26.11.1896	26/11/1896
2	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΠΕΙΡΑΙΑΣ	ΑΘΗΝΑ 26.11.1896	26/11/1896
3	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ,ΑΓ.ΙΩΑΝΝΗΣ ΡΕΝΤΗΣ	ΑΘΗΝΑ 26.11.1896	26/11/1896
4	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΚΑΜΙΝΙΑ	ΠΕΙΡΑΙΑΣ 23.11.1925	23/11/1925
5	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΚΟΚΚΙΝΙΑ	ΠΕΙΡΑΙΑΣ 23.11.1925	23/11/1925
6	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΑΓ. ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ	ΠΕΙΡΑΙΑΣ 23.11.1925	23/11/1925
7	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΡΕΜΑ ΕΣΧΑΤΙΑΣ	ΚΗΦΙΣΟΣ 21.2.1930	21/2/1930
8	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΚΟΛΩΝΟΣ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 26.10.1930	26/10/1930
9	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΚΥΨΕΛΗ	ΑΘΗΝΑ 26.10.1930	26/10/1930
10	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΣΕΠΟΛΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 26.10.1930	26/10/1930
11	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, Ν. ΙΩΝΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 26.10.1930	26/10/1930
12	Ν.ΑΤΤΙΚΗΣ, Π.ΦΑΛΛΗΡΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 6.11.1961	6/11/1961
13	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΜΟΣΧΑΤΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 6.11.1961	6/11/1961
14	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	ΑΘΗΝΑ 6.11.1961	6/11/1961
15	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΑΓ. ΑΝΑΡΓΥΡΟΙ	ΑΘΗΝΑ 6.11.1961	6/11/1961

<b>α/α</b>	<b>Τοποθεσία Πλημμύρας</b>	<b>Ονομασία Πλημμύρας</b>	<b>Ημερομηνία</b>
16	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΙΛΙΟΝ	ΑΘΗΝΑ 6.11.1961	6/11/1961
17	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, Π. ΦΑΛΗΡΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 2.11.1977	2/11/1977
18	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΜΟΣΧΑΤΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 2.11.1977	2/11/1977
19	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΚΕΡΑΤΣΙΝΙ	ΑΘΗΝΑ 2.11.1977	2/11/1977
20	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΝΙΚΑΙΑ	ΑΘΗΝΑ 2.11.1977	2/11/1977
21	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΚΟΡΥΔΑΛΟΣ	ΑΘΗΝΑ 2.11.1977	2/11/1977
22	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΑΙΓΑΛΕΩ	ΑΘΗΝΑ 2.11.1977	2/11/1977
23	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΧΟΛΑΡΓΟΣ	ΑΘΗΝΑ 27.10.1980	27/10/1980
24	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, Π. ΨΥΧΙΚΟ	ΑΘΗΝΑ 27.10.1980	27/10/1980
25	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΑΘΗΝΑ 27.10.1980	27/10/1980
26	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΦΙΛΟΘΕΗ	ΑΘΗΝΑ 27.10.1980	27/10/1980
27	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΧΑΛΑΝΔΡΙ	ΑΘΗΝΑ 27.10.1980	27/10/1980
28	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΙΛΙΟΝ	ΑΘΗΝΑ 27.10.1980	27/10/1980
29	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, Ν. ΙΩΝΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 27.10.1980	27/10/1980
30	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΚΑΜΑΤΕΡΟ	ΑΘΗΝΑ 27.10.1980	27/10/1980
31	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΧΟΛΑΡΓΟΣ	ΑΘΗΝΑ 5.10.1989	5/10/1989
32	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, Π. ΨΥΧΙΚΟ	ΑΘΗΝΑ 5.10.1989	5/10/1989
33	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΑΓ. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	ΑΘΗΝΑ 5.10.1989	5/10/1989
34	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΦΙΛΟΘΕΗ	ΑΘΗΝΑ 5.10.1989	5/10/1989
35	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΧΑΛΑΝΔΡΙ	ΑΘΗΝΑ 5.10.1989	5/10/1989
36	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΜΑΡΟΥΣΙ	ΑΘΗΝΑ 5.10.1989	5/10/1989
37	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΗΛΙΟΥΠΟΛΗ	ΗΛΙΟΥΠΟΛΗ 15.1.1991	15/1/1991
38	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, Ν. ΧΑΛΚΗΔΟΝΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 21.10.1994	21/10/1994
39	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, Ν. ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 21.10.1994	21/10/1994
40	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, Ν. ΙΩΝΙΑ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΑΘΗΝΑ 21.10.1994	21/10/1994
41	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ	ΑΘΗΝΑ 21.10.1994	21/10/1994
42	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΖΕΦΥΡΙΟΥ	ΖΕΦΥΡΙΟΥ 1998	1998
43	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΑ	ΑΝΩ ΛΙΟΣΙΩΝ 1998	1998
44	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΜΟΣΧΑΤΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΜΟΣΧΑΤΟΥ 08.07.02	8/7/2002
45	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΜΟΣΧΑΤΟ, ΚΗΦΙΣΟΣ	ΚΗΦΙΣΟΣ 8.7.2002	8/7/2002
46	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΑΘΗΝΑΙΩΝ	ΑΘΗΝΑΙΩΝ 08.07.02	8/7/2002
47	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΑΙΓΑΛΕΩ	ΑΙΓΑΛΕΩ 08.07.02	8/7/2002
48	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΓΑΛΑΤΣΙΟΥ	ΓΑΛΑΤΣΙΟΥ 08.07.02	8/7/2002
49	Ν. ΑΤΤΙΚΗΣ, ΑΧΑΡΝΩΝ	ΑΧΑΡΝΩΝ 24.05.07	24/5/2007

Την τελευταία δεκαετία έχουν σημειωθεί τρεις μεγάλες πλημμύρες με σημαντικές καταστροφές, αλλά και θύματα. Ειδικότερα, στις 22/2/2013 σημειώθηκαν ισχυρότατες καταιγίδες στο Λεκανοπέδιο της Αττικής με καταιγίδες μετά κεραυνών, χαλαζοπτώσεις και βροχοπτώσεις ακραίας ραγδαιότητας, αφού στον σταθμό της Αθήνας (Γκάζι) σημειώθηκε ραγδαιότητα 328 mm/h. Εξαιτίας του επεισοδίου σημειώθηκε και ένας θάνατος στην Αμαρουσίου-Χαλανδρίου. Τον επόμενο χρόνο, στις 24/10/2014 έντονη

βροχόπτωση προκάλεσε εκ νέου πλημμυρικό επεισόδιο στις περιοχές της δυτικής Αττικής, με σοβαρότατες υλικές ζημιές. Τέλος, το πιο πρόσφατο συμβάν πλημμύρας σημειώθηκε στις 22/10/2015 με έντονες βροχοπτώσεις, με τον σταθμό της Ν. Φιλαδέλφειας (ΕΜΥ) να δίνει 115mm για το διάστημα 22-24/10/2015, αλλά και με δημιουργία ανεμοστροβίλου στα Τουρκοβούνια. Επίκεντρο της πλημμύρας χαρακτηρίστηκαν οι περιοχές του Καματερού και του Μενιδίου, ενώ στις συνέπειες του επεισοδίου προστίθενται η κατάρρευση ενός κτιρίου, ένας νεκρός και μια τραυματίας.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται χαρακτηριστικές εικόνες από τα συμβάντα που αναλύθηκαν.



**Εικόνα 3-6: Υλικές καταστροφές από την πλημμύρα της 22/2/2013**  
(Πηγή: <http://www.meteoclub.gr/themata/anafores/5044-historystorm2013> )



**Εικόνα 3-7: Υλικές καταστροφές από την πλημμύρα της 22/10/2015**

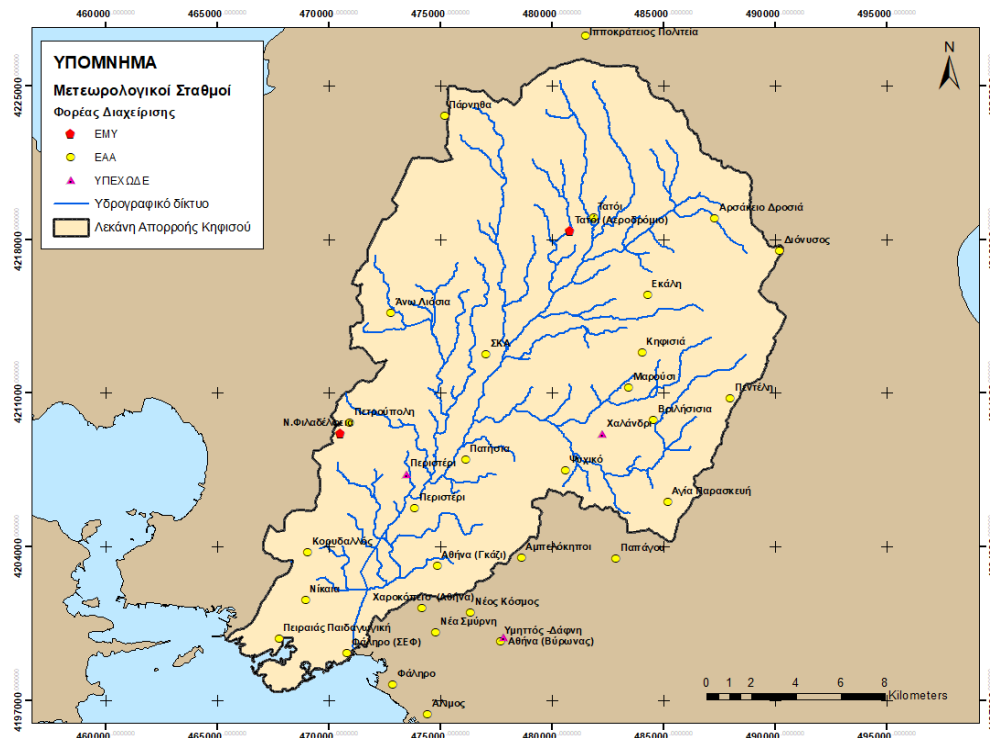
### 3.5 Παρακολούθηση της λεκάνης του Κηφισού

#### 3.5.1 Υδρομετεωρολογικοί σταθμοί

Στη λεκάνη απορροής του Κηφισού και πλησίον αυτής υπάρχουν εγκατεστημένοι αρκετοί σταθμοί, από διάφορες υπηρεσίες και φορείς. Ειδικότερα, η κατανομή τους ανά υπηρεσία είναι η εξής:

- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία: 3 σταθμοί
- Πρώην Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων (π. ΥΠΕΧΩΔΕ): 5 σταθμοί
- Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ): 26 σταθμοί
- Εθνικό Ινστιτούτο Αγροτικής Έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ): 1 σταθμός
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΙΤΙΑ): 1 σταθμός
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΜΕΤΕΟΝΕΤ): 10 σταθμοί

Οι παραπάνω σταθμοί παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές σε ότι αφορά τη διάρκεια λειτουργίας τους, ενώ αρκετοί από αυτούς έχουν σταματήσει να λειτουργούν. Το πλέον πυκνό δίκτυο υδρομετεωρολογικών σταθμών είναι αυτό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, οι σταθμοί του οποίου λειτουργούν στο σύνολό τους.



Σχήμα 3-1: Δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών εντός και πλησίον της λεκάνης Κηφισού



### 3.5.2 Υδρομετρικοί σταθμοί

Ο Κηφισός αποτελεί έναν από τους πλέον κρίσιμους ποταμούς στον ελλαδικό χώρο, δεδομένου του έντονου πλημμυρικού του παρελθόντος και του μεγέθους του πληθυσμού που ζει και δρα εντός της λεκάνης απορροής του, αντιπροσωπεύοντας περίπου τον μισό πληθυσμό της χώρας. Ωστόσο, τόσο στην περιοχή μελέτης, όσο και στο σύνολο του Λεκανοπεδίου Αττικής δεν έχουν αναπτυχθεί αξιόλογοι υδρομετρικοί σταθμοί, μιας και υπήρχαν πολύ περιορισμένες δυνατότητες αξιοποίησης των επιφανειακών υδατικών πόρων. Παρόλα αυτά, τις δύο τελευταίες δεκαετίες έχει υπάρξει έντονο ενδιαφέρον για παρακολούθηση των πλημμυρικών ροών του Κηφισού, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη αυτόματων μετρητικών δικτύων από ερευνητικούς φορείς (ΕΜΠ, ΕΑΑ).

Ειδικότερα, κατά το παρελθόν, στη λεκάνη ενδιαφέροντος είχε λειτουργήσει ένας συμβατικός σταθμός του ΥΠΓΕ. Στις αρχές της δεκαετίας του 2000, το ΕΑΑ ανέπτυξε το επιχειρησιακό σύστημα πρόγνωσης πλημμυρών TELEFLEUR, στο πλαίσιο του οποίου είχε εγκαταστήσει οκτώ αυτόματους σταθμηγράφους στον Κηφισό και τους κύριους παραποτάμους του (Koussis, 2001). Αργότερα, την περίοδο 2012-2014, λειτούργησε αυτόματος υδρομετρικός σταθμός στον άνω ρου του ρέματος Χαλανδρίου, μέχρι που παρασύρθηκε από πλημμύρα (Κούσης κ.ά., 2012). Ενώ από τα τέλη του 2017, λειτουργεί δίκτυο πέντε αυτόματων υδρομετρικών σταθμών κατά μήκος του Κηφισού, υπό την εποπτεία της Σχολής Μεταλλειολόγων του ΕΜΠ. Η ανάπτυξη του δικτύου έγινε στο πλαίσιο του ευρωπαϊκού προγράμματος SCENT.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά οι ανωτέρω σταθμοί.

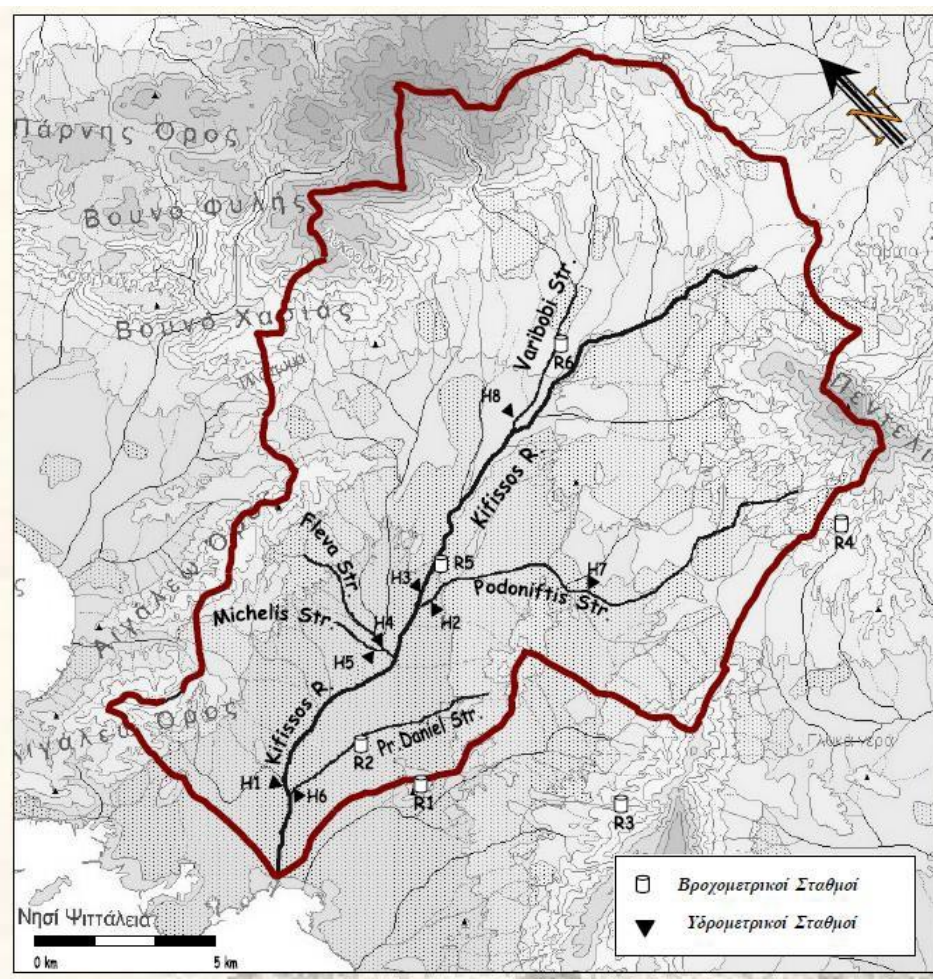
#### Δίκτυο TELEFLEUR

Το πρόγραμμα της ΓΔ IST της ΕΕ με τίτλο *Telematics-Assisted Handling of Flood Emergencies in Urban Areas* (TELEFLEUR 1998-2000), στο οποίο συμμετείχε το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (ΕΑΑ) είχε ως στόχο την ανάπτυξη και λειτουργία ενός ολοκληρωμένου συστήματος πρόγνωσης και αντιμετώπισης πλημμυρών σε αστικές περιοχές. Στο πλαίσιο του έργου αναπτύχθηκε ένα δίκτυο αυτόματων τηλεμετρικών σταθμών στη λεκάνη απορροής του Κηφισού, ήτοι οκτώ υδρομετρικών και έξι μετεωρολογικών.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.6, οι υδρομετρικοί σταθμοί (σταθμηγράφοι) τοποθετήθηκαν στο κύριο κλάδο του Κηφισού και τους κυριότερους παραποτάμους του. Συγκεκριμένα:

- H1: Αγίας Άννης
- H2: Νειγύ
- H3: Αριστοφάνους
- H4: Φλέβα
- H5: Μιχελής
- H6: Προφήτης Δανιήλ
- H7: Σολομού (Χαλάνδρι)
- H8: Βαρυμπόμπη.

Το υδρομετρικό δίκτυο λειτούργησε για περιορισμένο χρονικό διάστημα, καθώς μετά τη λήξη του προγράμματος σταδιακά εγκαταλείφθηκε.



Εικόνα 3-8: Δίκτυο αυτόματων υδρομετρικών και μετεωρολογικών σταθμών TELEFLEUR (Κούσης και Μάζη, 2008)

### **Ρέμα Χαλανδρίου**

Στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος «ΔΕΥΚΑΛΙΩΝ<sup>7</sup> – Εκτίμηση πλημμυρικών ροών στην Ελλάδα σε συνθήκες υδροκλιματικής μεταβλητότητας: Ανάπτυξη φυσικά εδραιωμένου εννοιολογικού-πιθανοτικού πλαισίου και υπολογιστικών εργαλείων», που χρηματοδοτήθηκε από τη ΓΓΓΕΤ (2011-2014), αναπτύχθηκαν μετρητικά δίκτυα για την παρακολούθηση των πλημμυρικών φαινομένων σε τέσσερεις πιλοτικές περιοχές στην Αττική και την Πελοπόννησο (Κούσης κ.ά., 2012 Efstratiadis et al., 2013).

Μία από τις υπόψη πιλοτικές περιοχές ήταν η λεκάνη απορροής του άνω ρου του ρέματος Χαλανδρίου, έκτασης 5.1 km<sup>2</sup>, όπου τοποθετήθηκε αυτόματος μετρητικός σταθμός επί της οδού Ασκληπιού, παράπλευρα της Λεωφ. Πεντέλης (Εικόνα 3.7). Η ανάντη υπολεκάνη είναι σχεδόν σε φυσική κατάσταση, καθώς η δόμηση είναι περιορισμένη, και συγκεντρώνει τμήμα της απορροής των βορειοδυτικών κλιτύων της Πεντέλης (Παλαιά και Νέα Πεντέλη). Ο σταθμός λειτούργησε από τον Δεκέμβριο του 2011, ενώ στις 22/2/2013 η εγκατάσταση παρασύρθηκε από μια εξαιρετικά ισχυρή πλημμύρα. Το όργανο επανατοποθετήθηκε τον Σεπτέμβριο του 2013 και λειτούργησε ως τα τέλη Απριλίου του 2014.

Επεξεργασμένα δεδομένα και αναλύσεις των πλημμυρικών γεγονότων της λεκάνης του ρέματος Χαλανδρίου δημοσιεύονται στην έκθεση των Ευστρατιάδη κ.ά. (2012).

---

<sup>7</sup> <http://deucalionproject.itia.ntua.gr/>

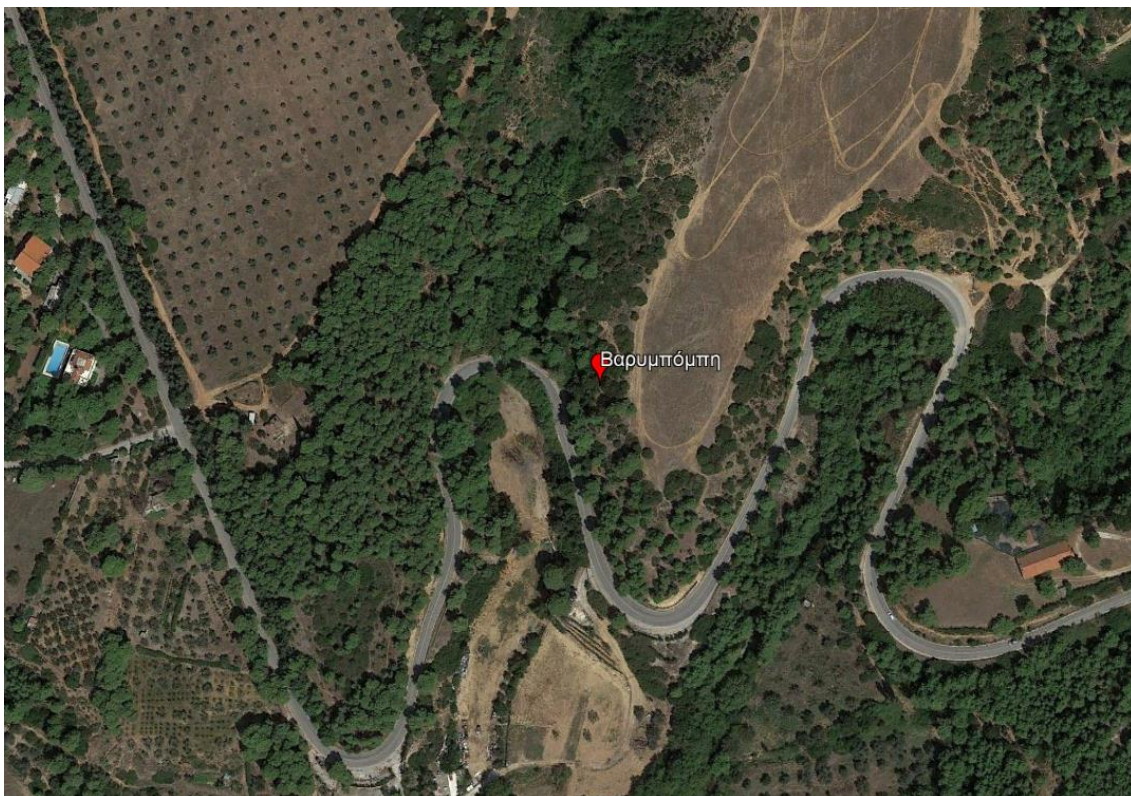


Εικόνα 3-9: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού ρέματος Χαλανδρίου

### Δίκτυο ΕΜΠ

#### *Βαρυμπόμπη*

Ο τηλεμετρικός σταθμός Βαρυμπόμπης εγκαταστάθηκε και ξεκίνησε να λειτουργεί από τον Σεπτέμβριο του 2017. Ο σταθμός βρίσκεται επί της οδού Ερυθραίας και ελέγχει μια μικρή υπολεκάνη του άνω ρου του Κηφισού. Το όργανο μέτρησης εγκαταστάθηκε σε υπάρχον ορθογωνικό κανάλι και λειτουργεί πιεζομετρικά.



Εικόνα 3-10: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού Βαρυμπόμπης

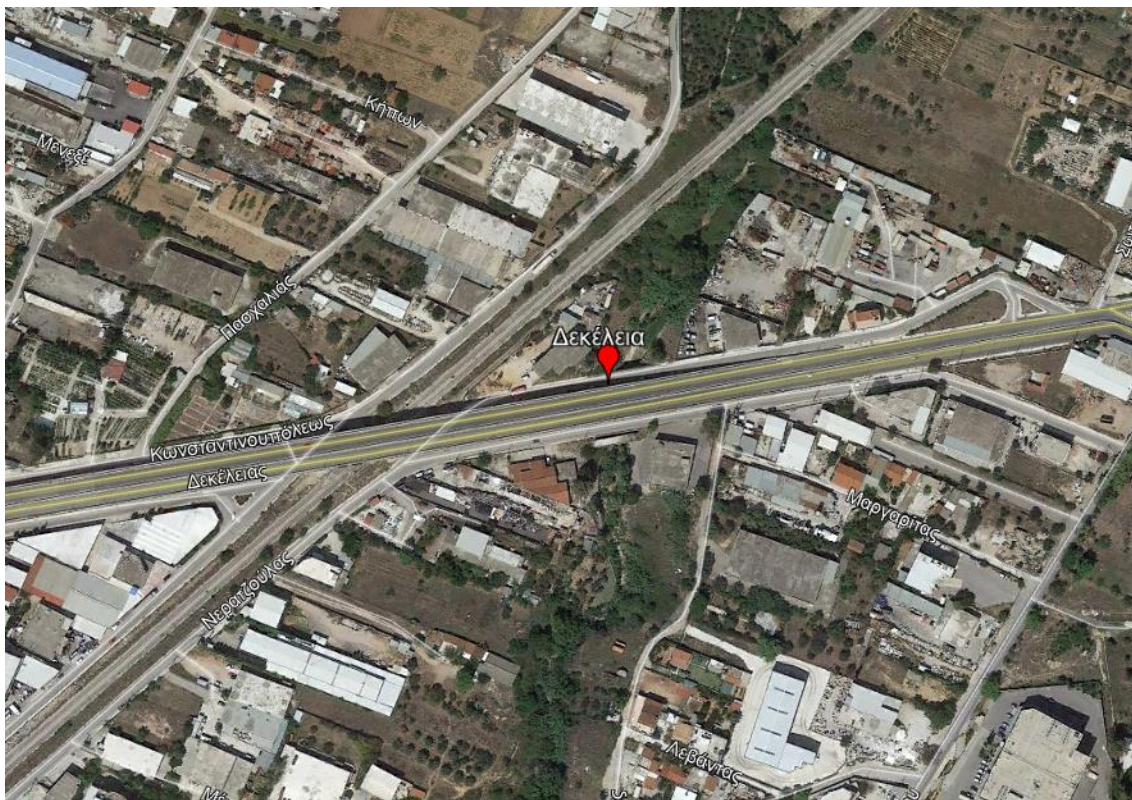


Εικόνα 3-11: Θέση και διατομή τοποθέτησης τηλεμετρικού σταθμού Βαρυμπόμπης

### Δεκέλεια

Ο τηλεμετρικός σταθμός Δεκελείας εγκαταστάθηκε και ξεκίνησε να λειτουργεί από τον Σεπτέμβριο του 2017. Ο σταθμός βρίσκεται κάτω από τη γέφυρα διέλευσης της οδού Δεκελείας, δυτικά των Αχαρνών (οδός Συκιάς), σε εγκιβωτισμένη ορθογωνική διατομή από σκυρόδεμα (Εικόνα 3.10). Το όργανο μέτρησης λειτουργεί πιεζομετρικά.

Συνήθως η ροή είναι ελάχιστη, καθώς ελέγχεται μια μικρή υπολεκάνη του άνω ρου του Κηφισού. Υδραυλικά, η θέση κρίνεται σχετικά ικανοποιητική, αν και η διατομή βρίσκεται σε ελαφριά στροφή. Λόγω του πολύ μικρού βάθους και της αρκετά ευρείας κοίτης, η παρακολούθηση της συνήθους ροής του ρέματος είναι δυσχερής, ωστόσο για την παρακολούθηση πλημμυρικών φαινομένων η θέση αυτή φαίνεται ικανοποιητική.



Εικόνα 3-12: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού Δεκέλειας

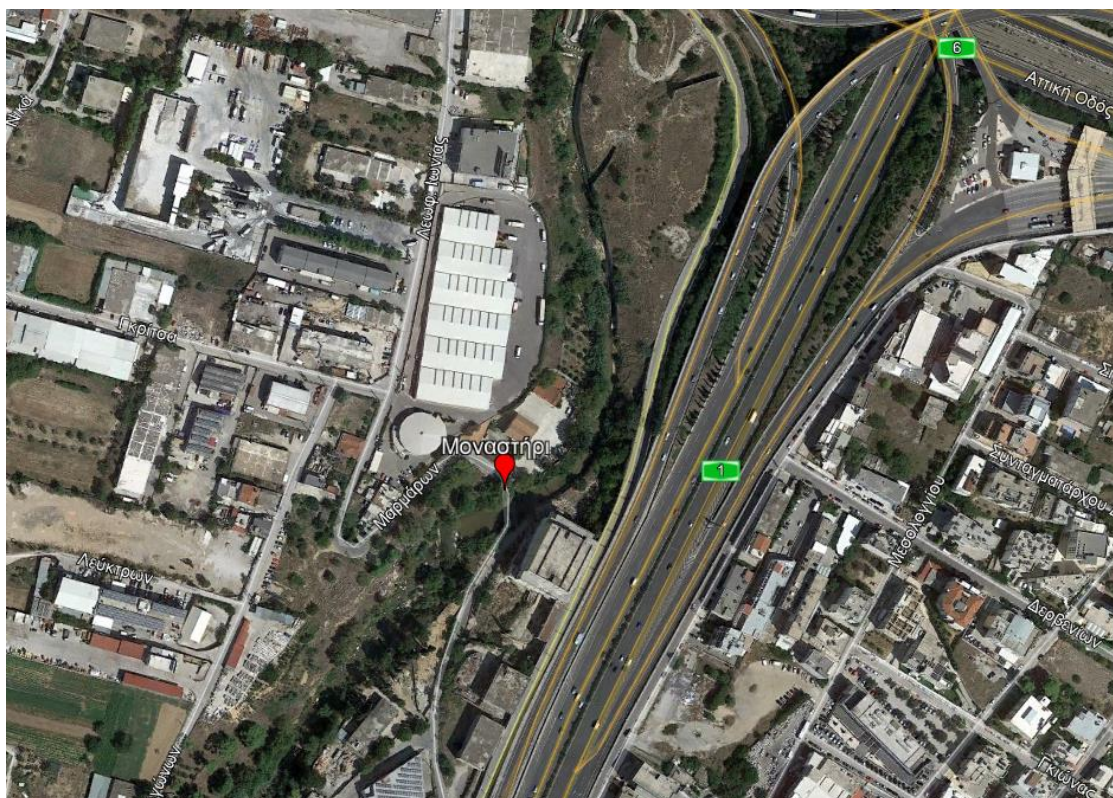


Εικόνα 3-13: Θέση και διατομή τοποθέτησης τηλεμετρικού σταθμού Δεκέλειας

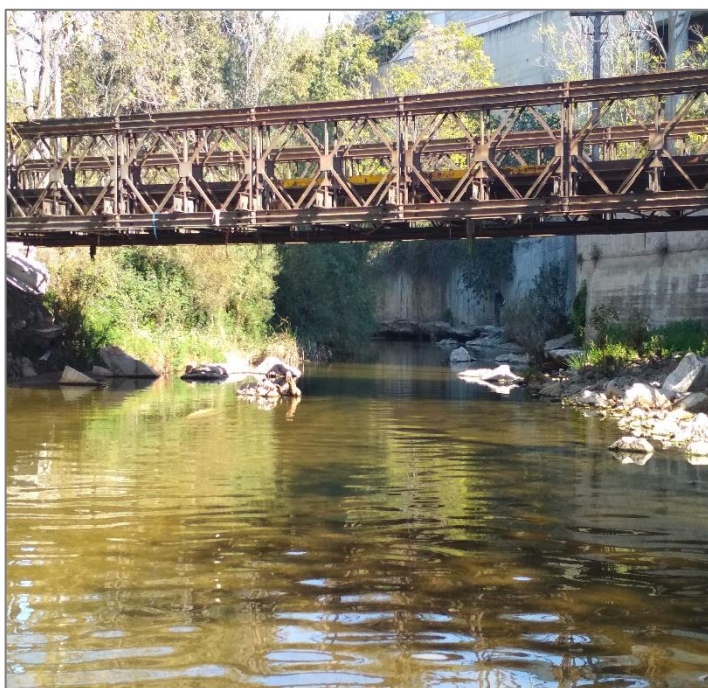
### *Μοναστήρι*

Ο τηλεμετρικός σταθμός Μοναστήρι εγκαταστάθηκε και ξεκίνησε να λειτουργεί απρόσκοπτα από τον Σεπτέμβριο του 2017. Ο σταθμός έχει τοποθετηθεί σε μικρή μεταλλική γέφυρα επί της οδού Μαρμάρων, περίπου 300 m κατάντη της συμβολής του κύριου κλάδου του Κηφισού με την Αττική Οδό και σχεδόν παράλληλα στην Λεωφ. Κηφισού (Εικόνα 3.12). Το όργανο μέτρησης λειτουργεί πιεζομετρικά.

Από υδραυλική σκοπιά, η θέση μέτρησης παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα. Η ανάντη διατομή είναι εν μέρει εγκιβωτισμένη, καθώς κατά μήκος του αριστερού πρανούς υπάρχει κατακόρυφο τοιχείο από σκυρόδεμα. Αντίθετα, κατά μήκος του δεξιού πρανούς η κοίτη είναι φυσική, σχεδόν τραπεζοειδής. Κατάντη, η κοίτη είναι φυσική, ενώ ελάχιστα πιο κάτω παρεμβάλλονται εμπόδια, που προκαλούν ανάσχεση στη ροή, και προφανώς επηρεάζουν τις μετρήσεις του σταθμού. Όσον αφορά την υδρολογική της σκοπιμότητα, η θέση είναι σημαντική, καθώς ελέγχεται όλος ο άνω ρους του Κηφισού. Από την άλλη πλευρά, λίγο κατάντη έχει τοποθετηθεί άλλος σταθμός (Κόκκινος Μύλος), σε θέση με σαφώς καλύτερα υδραυλικά χαρακτηριστικά.



Εικόνα 3-14: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού Μοναστήρι



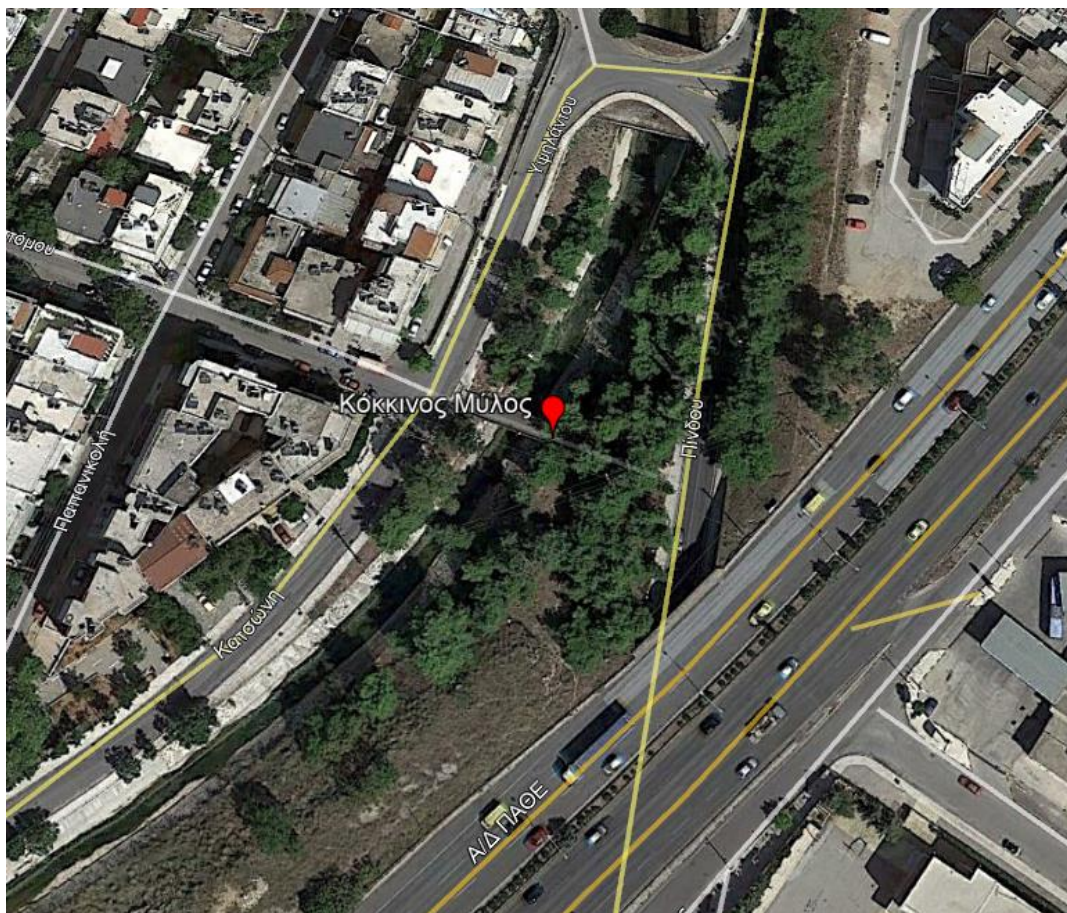
Εικόνα 3-15: Θέση και διατομή τοποθέτησης τηλεμετρικού σταθμού Μοναστήρι



### Κόκκινος Μύλος

Ο τηλεμετρικός σταθμός Κόκκινος Μύλος εγκαταστάθηκε και ξεκίνησε να λειτουργεί απρόσκοπτα από τον Σεπτέμβριο του 2017. Ο σταθμός έχει τοποθετηθεί σε μεταλλική πεζογέφυρα γέφυρα στην διασταύρωση των οδών Λάμπρου Κατσώνη και Χρυσοστόμου Αθηνών, στη Νέα Φιλαδέλφεια (Εικόνα 3.14). Η μέτρηση της στάθμης γίνεται με αισθητήρα αυτόματης μέτρησης.

Από υδραυλική σκοπιά, η θέση μέτρησης είναι εξαιρετική καθώς η κοίτη είναι ευθύγραμμη, διευθετημένη και καθαρή. Ειδικότερα, η διατομή είναι τραπεζοειδής, με πυθμένα από σκυρόδεμα και λιθόστρωτα πρηνή μεγάλης κλίσης. Με βάση τις έως τώρα παρατηρήσεις, διατηρείται μόνιμη ροή ακόμα και τη θερινή περίοδο. Υδρολογικά, η θέση μέτρησης βρίσκεται σε κομβικό σημείο, ήτοι κοντά στο κέντρο βάρους της λεκάνης.



Εικόνα 3-16: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού Κόκκινος Μύλος



Εικόνα 3-17: Θέση και διατομή τοποθέτησης τηλεμετρικού σταθμού Κόκκινος Μύλος

### *Άγιος Ιωάννης Ρέντης*

Ο τηλεμετρικός σταθμός Αγ. Ιωάννη Ρέντη εγκαταστάθηκε και ξεκίνησε να λειτουργεί απρόσκοπτα από τον Σεπτέμβριο του 2017. Ο σταθμός έχει τοποθετηθεί στην πεζογέφυρα που βρίσκεται στο ΝΔ όριο της Λαχαναγοράς, στην προέκταση της οδού Γ. Παπανδρέου (Εικόνα 3.16). Η μέτρηση της στάθμης γίνεται με αισθητήρα αυτόματης μέτρησης.

Από υδραυλική σκοπιά, η θέση μέτρησης είναι εξαιρετική καθώς η κοίτη είναι ευθύγραμμη, διευθετημένη και καθαρή. Ομοίως, από υδρολογική σκοπιά πρόκειται για πολύ σημαντική θέση, καθώς ελέγχεται το σύνολο της απορροής που καταλήγει στο χαμηλό τμήμα του Κηφισού, που είναι και το πλέον ευάλωτο σε πλημμύρες. Προβληματισμό δημιουργεί η περίπτωση επίδρασης του θαλάσσιου νερού, δεδομένου ότι το κατάντη τμήμα του Κηφισού βρίσκεται σε χαμηλότερο υψόμετρο από τη στάθμη της θάλασσας.

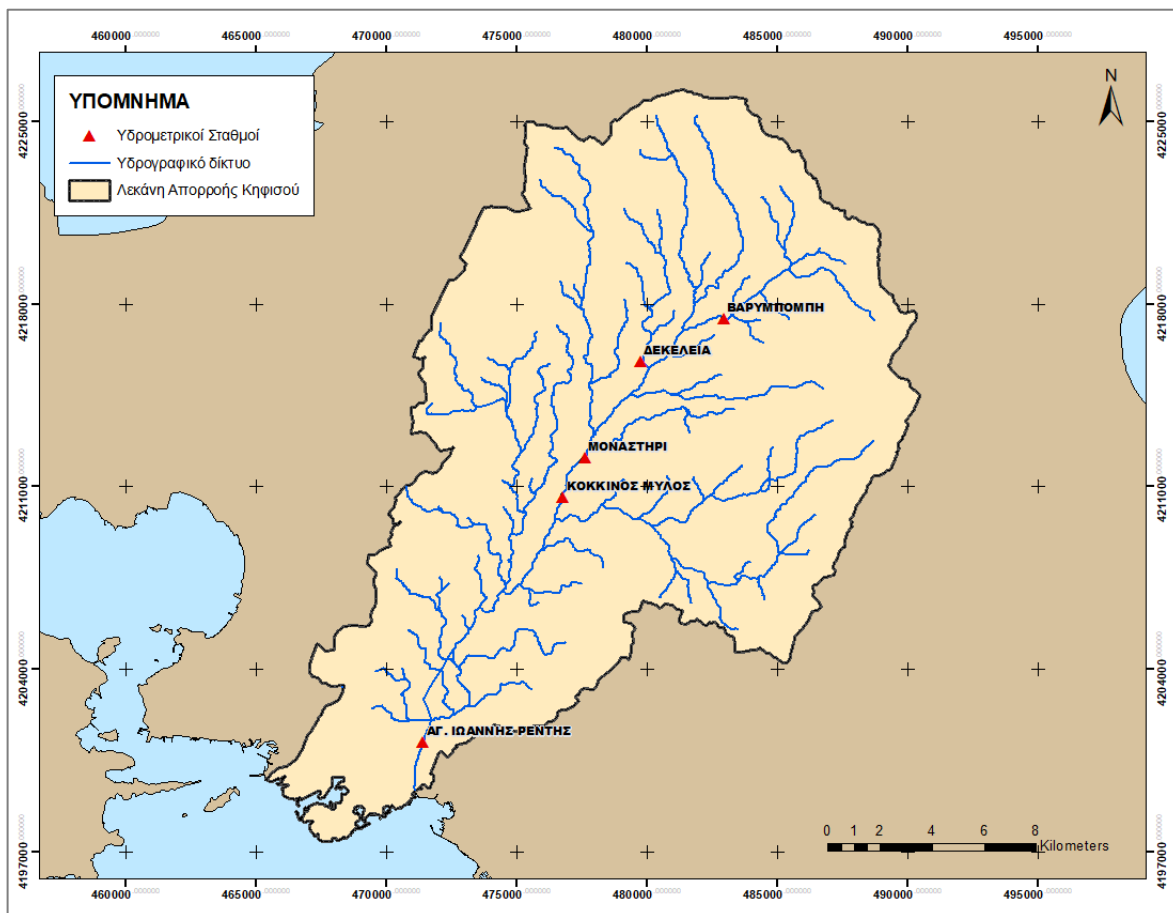


Εικόνα 3-18: Δορυφορική απεικόνιση περιοχής τηλεμετρικού σταθμού Αγ.Ιωάννης Ρέντης



Εικόνα 3-19: Θέση τοποθέτησης τηλεμετρικού σταθμού Αγ.Ιωάννης Ρέντης

Στον ακόλουθο χάρτη, για καλύτερη εποπτεία παρουσιάζεται συγκεντρωτικά το δίκτυο υδρομετρικών σταθμών του ΕΜΠ, που αποτελεί τη βασική πηγή δεδομένων της παρούσας διατριβής.



**Σχήμα 3-2: Δίκτυο υδρομετρικών σταθμών ΕΜΠ στη λεκάνη του Κηφισού**

Στους τηλεμετρικούς σταθμούς του δικτύου SCENT οι αισθητήρες μέτρησης πίεσης, για τους σταθμούς Βαρυμπόμπης, Δεκέλειας και Κόκκινου Μύλου είναι τύπου ADCON LEV1 Level Sensor (pressure transducers), με ακρίβειας μέτρησης 0.1% της απόστασης από τον στόχο. Οι αισθητήρες αυτόματης μέτρησης στάθμης, των σταθμών Κόκκινος Μύλος και Αγ.Ιωάννης Ρέντης είναι τύπου dBi-Intelligent-Transducer-Series-S1015, με ακρίβεια  $\pm 0.6$  .mm. ή 0.25% της απόστασης από τον στόχο. Επιπλέον, η μονάδα λήψης, επεξεργασίας και καταχώρησης δεδομένων (data logger), σε όλες τις θέσεις, είναι τύπου Στυλίτης-20.

Ως χρονικό βήμα μετάδοσης της πληροφορίας στάθμης, έχουν καθοριστεί τα 15 λεπτά για όλους τους σταθμούς του δικτύου.



**Εικόνα 3-20: Αισθητήρες μέτρησης πίεσης ύδατος (αριστερά) και αυτόμετοι αισθητήρες μέτρησης στάθμης (δεξιά)**

Επισημαίνεται ότι τα δεδομένα των σταθμών του δικτύου του προγράμματος SCENT, παρέχονται ελεύθερα μέσω της πλατφόρμας του προγράμματος «Δίκτυο Ανοιχτής Πληροφορίας Υδροσυστημάτων» (Open Hydrosystem Information Network<sup>8</sup>).

Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α στο τέλος του παρόντος τεύχους, παρουσιάζονται σκαριφήματα των διατομών στις θέσεις που έχουν τοποθετηθεί οι υδρομετρικοί σταθμοί του δικτύου ΕΜΠ.

<sup>8</sup> [OpenHi.net](http://OpenHi.net)



# Κεφάλαιο 4

## Δράσεις πληθοπορισμού και αυτοψίες στον Κηφισό

---

### 4.1 Γενικά

Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα SCENT, όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια, είναι το πρώτο πρόγραμμα υδρολογικού προσανατολισμού στο οποίο συμμετέχει η Ελλάδα, στοχεύοντας στην ενεργό συμμετοχή των πολιτών στην ερευνητική διαδικασία. Αρμόδια για την υλοποίηση των εθελοντικών δράσεων είναι η Περιφέρεια Αττικής, σε συνεργασία με το Ερευνητικό Πανεπιστημιακό Ινστιτούτο Συστημάτων Επικοινωνιών και Υπολογιστών (ΕΠΙΣΕΥ) και την Ελληνική Ομάδα Διάσωσης Αττικής, που αποτελούν τους εταίρους του προγράμματος από την ελληνική πλευρά. Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος οργάνωσης των εθελοντικών δράσεων και αξιολογούνται τα αποτελέσματά τους.

### 4.2 Προετοιμασία δράσεων

Πρωταρχικό στάδιο για την επιτυχημένη υλοποίηση των εκστρατειών με τους πολίτες ήταν η επιλογή των παραμέτρων που επρόκειτο να παρατηρηθούν, βάσει του γενικότερου σκοπού του προγράμματος και των μέσων που θα συντελούσαν σε αυτό. Έτσι, στη λεκάνη του Κηφισού επιλέχθηκε οι εκστρατείες να εστιάσουν στην καταγραφή καλύψεων και χρήσεων γης, στη μέτρηση στάθμης, ταχύτητας και εδαφικής υγρασίας, αλλά και γενικότερα στην παρατήρηση των επιμέρους παραμέτρων και της κατάστασης της κοίτης του ποταμού (π.χ. εντοπισμός εμποδίων εντός κοίτης). Οι δράσεις που οργανώθηκαν εστίασαν σε περιαστικό και αστικό περιβάλλον, στον άνω ρου και στα κατάντη, αντίστοιχα.

Αναλυτικότερα, οι εκστρατείες που εστιάζουν στην κάλυψη/ χρήση γης περιλαμβάνουν παρατηρήσεις σε σχέση με το φυσικό (π.χ. δασικές περιοχές, φυτοκάλυψη, γυμνά εδάφη κλπ.) και το ανθρωπογενές (π.χ. δομημένες εκτάσεις, πεζοδρόμια, πάρκα κλπ.)

περιβάλλον στον Κηφισό. Οι πολίτες λαμβάνουν φωτογραφίες της υπόψη περιοχής, τις οποίες ανεβάζουν σε κατάλληλα σχεδιασμένη εφαρμογή, κάνοντας ταυτόχρονα την κατάλληλη ταξινόμησή τους.

Οι κλάσεις της ταξινόμησης των επιφανειών που έχει γίνει στην πλατφόρμα του προγράμματος είναι:

I. Αστική περιοχή:

- Κτήρια
- Πεζοδρόμια
- Πληροφορίες για την κοίτη του ποταμού(φυσική ή τεχνητή, είδος επένδυσης κλπ)
- Δρόμοι
- Πάρκα

II. Περιαστική περιοχή:

- Βοσκότοποι
- Περιοχές με απογυμνωμένα εδάφη
- Καλλιεργούμενες εκτάσεις
- Δασικές περιοχές

Στις εκστρατείες αυτές δίνεται έμφαση στην επένδυση του εγκιβωτισμένου τμήματος του ποταμού (αλλαγές από τσιμέντο σε λιθόενδυση ή φυσικό έδαφος), η οποία επηρεάζει τον συντελεστή τριβής, ενώ το αντίστοιχο είναι εφικτό να γίνει για τον πυθμένα της διατομής στο διευθετημένο τμήμα του ποταμού. Επιπλέον, οι παρατηρήσεις μπορούν να επεκταθούν σε τυφλούς αγωγούς, σε σημεία εκφόρτισης στον κύριο ποταμό, σε φαινόμενα διάβρωσης/ευστάθειας πρηνών κατά μήκος του Κηφισού, καθώς και σε στοιχεία παλαιών πλημμυρικών γεγονότων, όπως, α) γραμμές ξηρής λάσπης σε επιφάνειες, β) φύλλα/πευκοβελόνες σε διάφορες επιφάνειες (π.χ. κλαδιά), γ) γραμμές από σπόρους, δ) υπολείμματα από μπάζα και ε) αποθέσεις κλαδιών

Για την μέτρηση της στάθμης ύδατος χρειάστηκε να επιλεγούν θέσεις που παρέχουν τη δυνατότητα εγκατάστασης σταδίων, ώστε οι φωτογραφίες των πολιτών να μπορούν να «μεταφραστούν» σε στάθμη μετά την κατάλληλη επεξεργασία. Συνολικά έχουν τοποθετηθεί 5 σταδίες στο τμήμα μεταξύ Κόκκινου Μύλου και Αγ. Ιωάννη Ρέντη. Παράδειγμα τοποθέτησης σταδίας απεικονίζεται στην Εικόνα 4.1. Στις εν λόγω θέσεις η κοίτη του ποταμού είναι εγκιβωτισμένη και επομένως διαθέτει σταθερή γεωμετρία, ώστε να είναι δυνατή η εκτίμηση της παροχής χωρίς σημαντικές απλοποιήσεις ή υποθέσεις.



Στις ίδιες θέσεις αποφασίστηκε να γίνουν και οι μετρήσεις ταχύτητας, προκειμένου να αξιοποιηθεί η σταθερή γεωμετρία. Οι συγκεκριμένες μετρήσεις γίνονται με τη λήψη βίντεο, μέσω της σχεδιασμένης εφαρμογής, ενός κινούμενου στόχου. Στις αυτοψίες των πολιτών, ο κινούμενος στόχος αποφασίστηκε να είναι ένα μπαλάκι του τένις, που ρίχνεται στον νερό και καταγράφεται η ταχύτητα κίνησής του.



Εικόνα 4-1: Θέση σταδίων στον Κηφισό

Σε ότι αφορά τις μετρήσεις υγρασίας εδάφους, οι πολίτες χρησιμοποιούν φορητούς αισθητήρες, οι μετρήσεις των οποίων ανεβαίνουν στις αντίστοιχες σχεδιασμένες εφαρμογές, μέσω Bluetooth. Οι πιθανές θέσεις δειγματοληψίας βρίσκονται στο περιαστικό κομμάτι του Κηφισού.

Τέλος, στις εκστρατείες αναγνώρισης εμποδίων στο αστικό τμήμα της λεκάνης, μπορούν να καταγραφούν τα εξής:

- Εκσκαφές ή εργοτάξια, χώροι διάθεσης απορριμμάτων
- Βλάστηση (δέντρα, κλαδιά, καλάμια, άλλα στοιχεία βλάστησης)
- Οχήματα,
- Κάδοι,

- Φρεάτια ομβρίων και η κατάστασή τους (καθαρά, φραγμένα από φύλλα ή άλλα αντικείμενα)
- Ιζήματα ή αντικείμενα, συμπεριλαμβανομένων σκουπιδιών στην ροή του νερού

Επόμενο βήμα αποτελεί η συστηματική διερεύνηση της περιοχής μελέτης, προκειμένου να επιλεγούν κατάλληλες διαδρομές, που εξασφαλίζουν υδρολογικό ενδιαφέρον και ταυτόχρονα διευκολύνουν πρακτικά θέματα, όπως οι χώροι στάθμευσης και η ασφαλής πρόσβαση των πολιτών στα σημεία ενδιαφέροντος. Έτσι, αναγνωρίστηκαν δυο θέσεις για την περιαστική εκστρατεία, γύρω από τις παραποτάμιες περιοχές της Βαρυμπόμπης και της Μεταμόρφωσης, που βρίσκονται στα όρια της Αθήνας και το ποτάμι βρίσκεται ακόμα στη φυσική του κοίτη. Στα σημεία αυτά, ήταν εφικτό να γίνουν μετρήσεις με τη χρήση φορητών μετρητών και παρατηρήσεις για την ταχύτητα ροής του ποταμού. Για το αστικό περιβάλλον επιλέχθηκε η περιοχή γύρω από τον Κόκκινο Μύλο, που προσφέρεται για μετρήσεις στάθμης και ταχύτητας, καθώς και εντοπισμό εμποδίων στο εγκιβωτισμένο τμήμα του ποταμού.

### 4.3 Υλοποίηση δράσεων

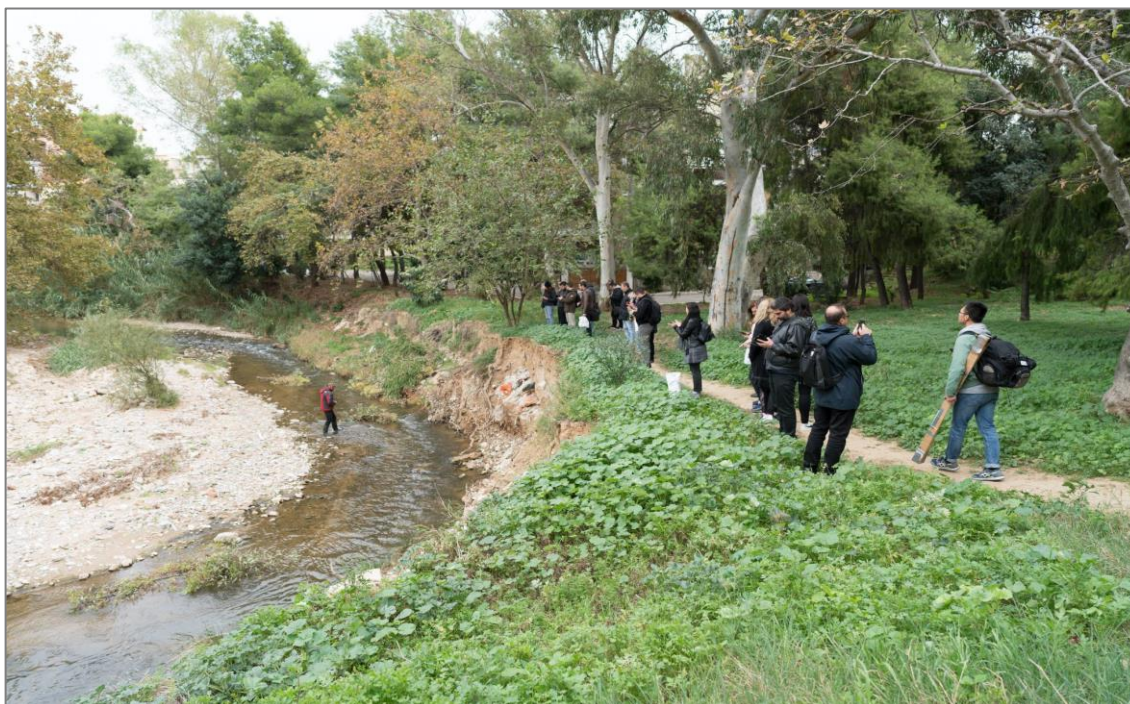
Αποτέλεσμα της παραπάνω προετοιμασίας ήταν η κατάρτιση του προγράμματος των εκστρατειών, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1. Σημειώνεται ότι οι επιτόπιες αυτοψίες των πολιτών επιλέχθηκε να περιλαμβάνουν και Σαββατοκύριακο, ώστε να διευκολύνεται η συμμετοχή των εργαζομένων. Επικοινωνιακά η όλη δράση προωθείται μέσω των μέσων κοινωνικής δικτύωσης και του τύπου, προκειμένου να ενημερώσει και να παρακινήσει τους πολίτες να συμμετέχουν.

**Πίνακας 4.1: Πρόγραμμα εκστρατειών πληθοπορισμού στα πλαίσια του Scent**

α/α	Ημερομηνία	Κύριος προσανατολισμός
1	14-17 /9/ 2018	Κάλυψη/ χρήσεις γης
2	15-18/11/2018	Στάθμη-ταχύτητα ύδατος, υγρασία εδάφους & κάλυψη/χρήσεις γης
3	16-17/2/2019	Στάθμη-ταχύτητα νερού
4	11-14/4/2019	Στάθμη-ταχύτητα ύδατος, υγρασία εδάφους & κάλυψη/χρήσεις γης

Σε κάθε εκστρατεία, στην αρχή της μέρας πραγματοποιείται μια εκπαιδευτική συνεδρία για την ενημέρωση των πολιτών σχετικά με το πρόγραμμα και τους στόχους του, αλλά και την εξοικείωση των συμμετεχόντων με τις εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια της εκδρομής. Επιπλέον, υπάρχει ενημέρωση από εκπροσώπους της Ομάδας Διάσωσης, για την ασφάλεια των εθελοντών στις δράσεις υπαίθρου.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικές φωτογραφίες από τις πιλοτικές εκστρατείες πολιτών στον Κηφισό.



Εικόνα 4-2: Μέτρηση ταχύτητας σε θέση του άνω ρου του Κηφισού



Εικόνα 4-3: Αισθητήρας μέτρησης υγρασίας



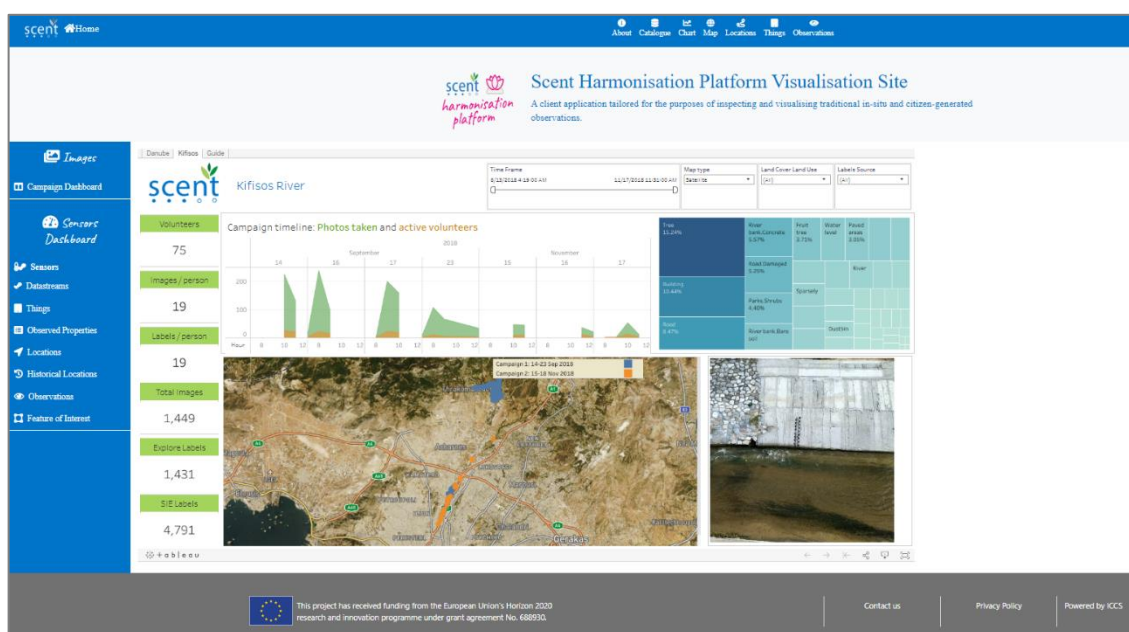
**Εικόνα 4-4: Εθελοντές παράπλευρα της εγκιβωτισμένης κοίτης του Κηφισού**



**Εικόνα 4-5: Μέτρηση ταχύτητας σε θέση του περιαστικού τμήματος του Κηφισού**

#### 4.4 Αποτελέσματα δράσεων πληθοπορισμού

Τα αποτελέσματα όλων των εκστρατειών που πραγματοποιούνται στα πλαίσια του προγράμματος Scent δημοσιεύονται σε κατάλληλα διαμορφωμένη πλατφόρμα<sup>9</sup>. Τόσο οι συλλεγόμενες φωτογραφίες στάθμης ύδατος, κάλυψης-χρήσης γης και οι ταξινομήσεις τους, όσο και τα αποτελέσματα των επιμέρους αισθητήρων διατίθενται ελεύθερα στους ενδιαφερόμενους. Παράλληλα παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την συμμετοχή των πολιτών.



Εικόνα 4-6: Γραφικό περιβάλλον πλατφόρμας Scent-harm

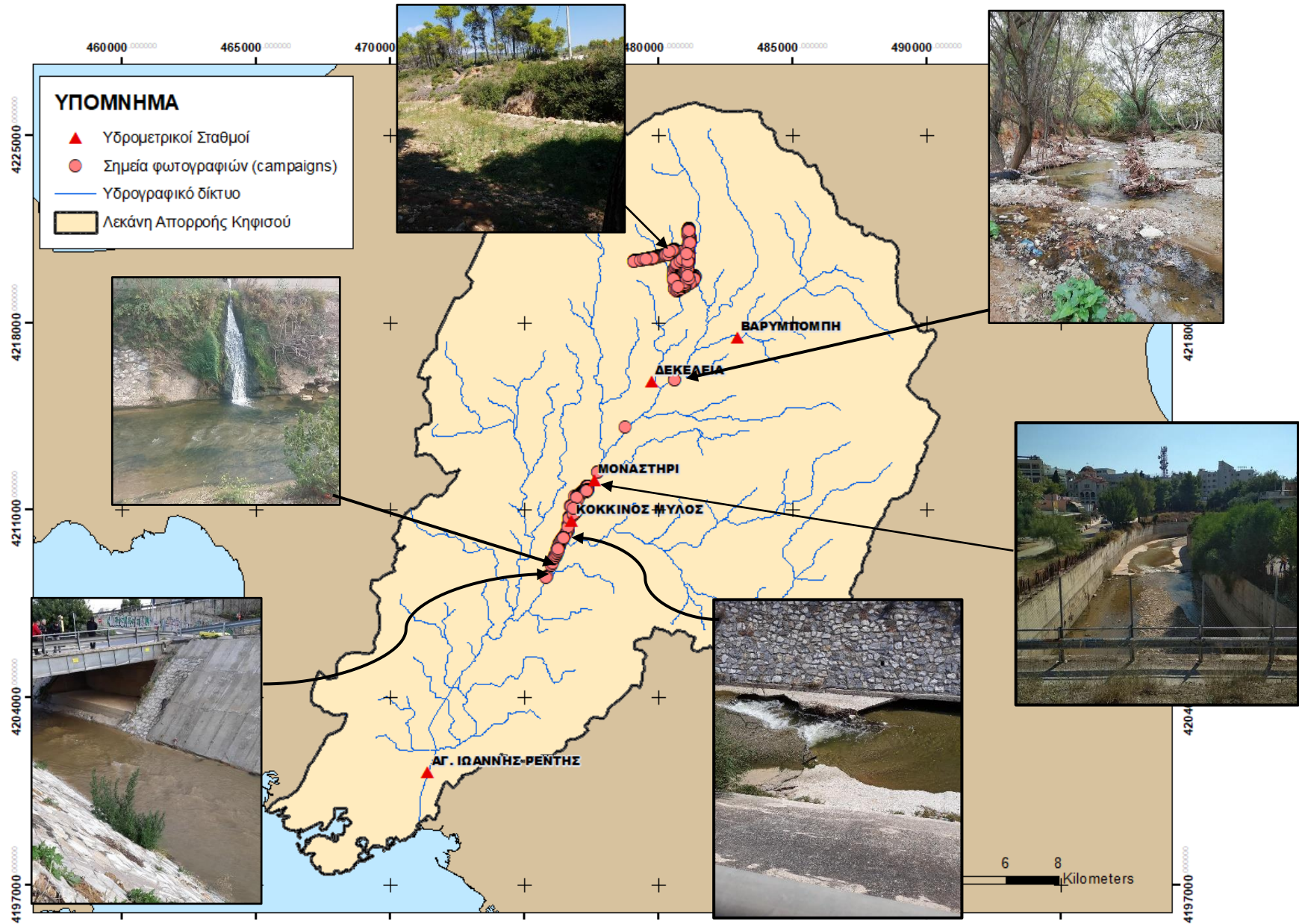
Οι πιλοτικές εκστρατείες πολιτών που έλαβαν χώρα στην Αθήνα υλοποιήθηκαν με επιτυχία σε ότι αφορά το κομμάτι της οργάνωσης και της ασφάλειας των εθελοντών. Η συμμετοχή του κοινού ήταν ικανοποιητική (551 άτομα) σε σύγκριση με αντίστοιχες δράσεις άλλων χωρών, ενώ συλλέχθηκαν περίπου 5000 φωτογραφίες.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για την κάλυψη/χρήση γης, τη στάθμη νερού και τον εντοπισμό εμποδίων, δηλαδή όλα όσα προέκυψαν από λήψη φωτογραφιών μέσω των σχεδιασμένων εφαρμογών, κρίνονται αρκετά ικανοποιητικά. Με τη χρήση ετικετών ταξινόμησης της εφαρμογής παρέχεται πλέον μια καλύτερη εικόνα για την κατάσταση της λεκάνης. Ωστόσο, δεν είναι ίδια η εικόνα σε ότι αφορά τις μετρήσεις εδαφικής υγρασίας και της ταχύτητας, όπου υπάρχουν πολύ πιο φτωχά δεδομένα, τόσο σε

<sup>9</sup> <https://scent-harm.iccs.gr/>

ποσότητα όσο και σε ποιότητα. Η περιορισμένη εξοικείωση των πολιτών με την πλατφόρμα, σε συνδυασμό με τα προβλήματα συνδεσιμότητας στο διαδίκτυο, είχαν ως αποτέλεσμα την συλλογή εσφαλμένων ή μη ορθών γεωαναφερόμενων δεδομένων, στην πλειοψηφία τους. Η διευρυμένη χρήση της πλατφόρμας, πέραν των πιλοτικών εκστρατειών, και η καλύτερη εξοικείωση με τις εφαρμογές αναμένεται να συντελέσει στη σημαντική βελτίωση της ποιότητας της συλλεγόμενης πληροφορίας.

Στη συνέχεια παρουσιάζεται χάρτης των σημείων που ελήφθησαν οι φωτογραφίες, και κάποια ενδεικτικά δείγματα αυτών.



Σχήμα 4-1: Χάρτης θέσεων λήψης φωτογραφιών από campaign

## 4.5 Μετρήσεις στον Κηφισό

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας θεωρήθηκε σκόπιμο να πραγματοποιηθούν επιπλέον αυτοψίες σε όλο μήκος του Κηφισού, εστιάζοντας στις θέσεις των σταθμών παρακολούθησης, για την καλύτερη παρατήρηση των χαρακτηριστικών του. Επίσης, προκειμένου να υπάρχει μια εκτίμηση της παροχής στο ποτάμι, έγιναν υδρομετρήσεις κοντά στις θέσεις των σταθμών, όπου αυτό ήταν πρακτικά εφικτό, και σε επιλεγμένες σταδίες. Οι μετρήσεις έγιναν με ηλεκτρονικό μιλίσκο (Εικόνα 4.8) και επαναλήφθηκαν τρεις φορές στο διάστημα μεταξύ 6/2018 – 9/2019.



Εικόνα 4-7: Υδρομέτρηση στη θέση της σταδίας ΤΚ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παροχών για τις διατομές και τις περιόδους μέτρησης.



**Πίνακας 4.2:Αποτελέσματα μέτρησης στάθμης στις θέσεις των σταδίων (μέση τιμή)**

α/α	Θέση	Διατομή	Στάθμη (m)		
			Ιούνιος 2018	Νοέμβριος 2018	Σεπτέμβριος 2019
1	Σταδία T1 (Κατάντη Κόκκινου Μύλου)	Σκυρόδεμα/ Λιθένδυση	0.123	0.128	0.101
2	ΣτάδιαT2	Σκυρόδεμα	0.119	0.112	-
3	Σταδία T4	Σκυρόδεμα	0.129	0.114	-
4	Σταδία TK (παλιά T3)	Λιθένδυση	0.112	0.133	-
5	Μοναστήρι	Σκυρόδεμα/ Φυσική	-	0.185	0.170

**Πίνακας 4.3:Αποτελέσματα μέτρησης ταχύτητας στις θέσεις των σταδίων (μέση τιμή)**

α/α	Θέση	Διατομή	Ταχύτητα (m <sup>2</sup> /s)		
			Ιούνιος 2018	Νοέμβριος 2018	Σεπτέμβριος 2019
1	Σταδία T1 (Κατάντη Κόκκινου Μύλου)	Σκυρόδεμα/ Λιθένδυση	0.250	0.630	0.37
2	ΣτάδιαT2	Σκυρόδεμα	0.560	0.700	-
3	Σταδία T4	Σκυρόδεμα	0.650	0.720	-
4	Σταδία TK (παλιά T3)	Λιθένδυση	0.315	0.746	-
5	Μοναστήρι	Σκυρόδεμα/ Φυσική	-	0.091	0.07

**Πίνακας 4.4:Αποτελέσματα παροχομετρήσεων στις θέσεις των σταδίων**

α/α	Θέση	Διατομή	Παροχή (m <sup>3</sup> /s)		
			Ιούνιος 2018	Νοέμβριος 2018	Σεπτέμβριος 2019
1	Σταδία T1 (Κατάντη Κόκκινου Μύλου)	Σκυρόδεμα/ Λιθένδυση	0.227	0.35	0.266
2	ΣτάδιαT2	Σκυρόδεμα	0.282	0.494	-
3	Σταδία T4	Σκυρόδεμα	0.321	0.28	-
4	Σταδία TK (παλιά T3)	Λιθένδυση	0.234	0.547	-
5	Μοναστήρι	Σκυρόδεμα/ Φυσική	-	0.235	0.208



# Κεφάλαιο 5

## Υδραυλική διερεύνηση του ποταμού Κηφισού

---

### 5.1 Σκοπός

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως, ο Κηφισός παρά την κρισιμότητά του ως ποταμός δε διαθέτει καθόλου χρονοσειρές μετρήσεων απορροής προκειμένου οι υδραυλικές και υδρολογικές μελέτες να βασίζονται σε παρατηρημένα δεδομένα. Τα τελευταία χρόνια γίνονται θετικά βήματα προς την κατεύθυνση αυτή, ενώ πρόσφατα, μέσω ευρωπαϊκού προγράμματος, εγκαταστάθηκαν σε πέντε σημεία κατά μήκος του τηλεμετρικοί σταθμοί μέτρησης στάθμης. Στόχος του παρόντος κεφαλαίου αποτελεί η προκαταρκτική διερεύνηση της υδραυλικής συμπεριφοράς του Κηφισού ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πλημμύρας, αξιοποιώντας τα ανωτέρω δεδομένα στάθμης και όσα συλλέχθηκαν από τις εκστρατείες πολιτών.

### 5.2 Μεθοδολογία

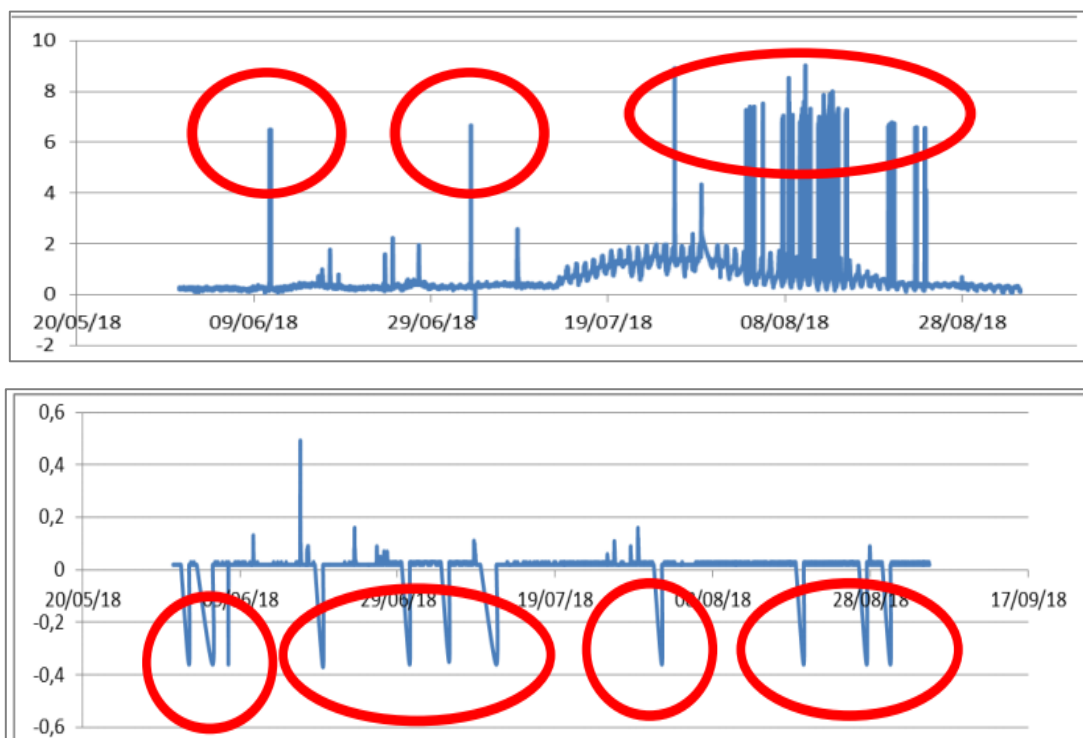
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην παρούσα εργασία σε ότι αφορά την υδραυλική διερεύνηση, είναι η τυπική πορεία διαδικασιών που ακολουθείται σε αντίστοιχες περιπτώσεις. Αρχικά, γίνεται μετατροπή των πρωτογενών δεδομένων που λαμβάνονται από το όργανο μέτρησης σε επεξεργάσιμη μορφή, και ακολουθεί η επεξεργασία τους και η διόρθωση των μη αποδεκτών τιμών. Από τη διορθωμένη πλέον χρονοσειρά, εντοπίζονται περίοδοι αυξημένης στάθμης, που αποτελούν τα επεισόδια αναφοράς της μελέτης. Στη συνέχεια, εκτιμώνται τα υδραυλικά χαρακτηριστικά των διατομών και καταρτίζονται οι καμπύλες στάθμης-παροχής για κάθε θέση, οι οποίες χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της χρονοσειράς στάθμης σε χρονοσειρά απορροής, οπότε προκύπτουν και τα πλυμμηρικά επεισόδια αναφοράς. Τέλος, εξετάζεται η συσχέτιση των επεισοδίων αυτών με τη βροχόπτωση που καταγράφηκε σε μετεωρολογικούς σταθμούς της περιοχής μελέτης.

Ως σταθμοί βάσης, για τους οποίους έγινε η ανωτέρω ανάλυση, επιλέχθηκαν οι σταθμοί της Δεκέλειας, του Κόκκινου Μύλου και του Αγ.Ιωάννη Ρέντη, καθώς θεωρούνται οι πλέον κατάλληλοι, δεδομένου ότι ο σταθμός της Βαρυμπόμπης ήταν εκτός λειτουργίας για μεγάλο χρονικό διάστημα και ο σταθμός Μοναστήρι αποτελεί μεικτή διατομή με σχεδόν λιμνάζοντα νερά, οπότε πιθανόν να οδηγήσει σε εσφαλμένα συμπεράσματα.

Κατά την ανάλυση, οι υπολογισμοί έγιναν σε απλό υπολογιστικό φύλλο (excel), ενώ για τη γεωχωρική επεξεργασία τους χρησιμοποιήθηκε λογισμικό Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) και συγκεκριμένα το ArcGIS.

### 5.3 Επεξεργασία δεδομένων στάθμης

Απαραίτητη βήμα, πριν την οποιαδήποτε χρήση των μετρήσεων στάθμης από τους τηλεμετρικούς σταθμούς, είναι η διαχείριση και αξιολόγηση των δεδομένων. Στα πρωτογενή δεδομένα είναι σύνηθες να εντοπίζονται χονδροειδώς εσφαλμένες καταγραφές, όπως αρνητικές ή πολύ μεγάλες στιγμιαίες τιμές στάθμης, χωρίς κανένα φυσικό νόημα. Στην εικόνα που ακολουθεί, παρουσιάζονται αντίστοιχα προβλήματα σε χρονοσειρές των σταθμών του Κηφισού.



Εικόνα 5-1: Χονδροειδή σφάλματα στα πρωτογενή δεδομένα στάθμης (στιγμιαίες ακραία υψηλές τιμές-πάνω, αρνητικές τιμές – κάτω)

Οι εν λόγω τιμές με σφάλματα, διορθώθηκαν είτε με μηδενικές τιμές, είτε με αντικατάσταση της τιμής με τον μέσο όρο των δύο προηγούμενων και δύο επόμενων καταγραφών, για τις αρνητικές και ακραία υψηλές μετρήσεις αντίστοιχα. Με τον ίδιο τρόπο, αντιμετωπίστηκαν και οι μεμονωμένες κενές καταγραφές όπου παρατηρούνταν. Στις περιπτώσεις που υπήρχαν συνεχόμενες ελλείψεις δεδομένων, τέθηκε ως ανώτατο όριο τα πέντε χρονικά βήματα, προκειμένου να αποφασίζεται αν θα γίνεται συμπλήρωση των κενών, ή όχι, ώστε να αποφευχθεί η αλλοίωση των μετρήσεων. Η συμπλήρωση γινόταν με τον μέσο όρο των δύο προηγούμενων και επόμενων τιμών.

Με την ολοκλήρωση της ανωτέρω διαδικασίας, προέκυψαν οι «δευτερογενείς» χρονοσειρές, απουσία σφαλμάτων. Ακολούθως, μετά από παρατήρηση των δευτερογενών δεδομένων, εντοπίστηκαν 15 επεισόδια αυξημένης στάθμης. Οι ημερομηνίες των επεισοδίων και η ανώτατη στάθμη για κάθε σταθμό βάσης, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 5.1:Επεισόδια αυξημένης στάθμης και χαρακτηριστικές στάθμες στους σταθμούς βάσης**

α/α	Ημερομηνία	Δεκέλεια		Κόκκινος Μύλος		Αγ.Ιωάννης Ρέντης	
		Μέγιστη στάθμη (m)	Μέση στάθμη (m)	Μέγιστη στάθμη (m)	Μέση στάθμη (m)	Μέγιστη στάθμη (m)	Μέση στάθμη (m)
1	4/1/2019	0.09	0.03	0.59	0.30	0.78	0.39
2	31/12/2018	0.11	0.08	1.32	0.76	1.59	0.68
3	18/12/2018	0.10	0.03	1.10	0.34	1.77	0.52
4	15/12/2018	0.08	0.03	0.49	0.26	1.20	0.44
5	13/12/2018	0.10	0.03	0.63	0.29	1.12	0.41
6	21/11/2018	0.16	0.03	0.83	0.30	1.61	0.39
7	18/11/2018	0.10	0.04	0.95	0.39	1.25	0.52
8	17/11/2018	0.05	0.03	0.37	0.23	0.56	0.36
9	28/2/2018	0.07	0.03	0.50	0.27	0.79	0.34
10	26/2/2018	0.11	0.04	0.87	0.37	1.20	0.44
11	24/2/2018	0.12	0.03	0.62	0.31	1.90	0.36
12	15/2/2018	0.11	0.05	0.90	0.44	1.22	0.51
13	10/2/2018	0.11	0.03	0.91	0.29	1.12	0.36
14	13/1/2018	0.12	0.04	0.76	0.41	1.55	0.52
15	4/1/2018	0.10	0.03	0.81	0.30	1.00	0.40

## 5.4 Κατάρτιση καμπυλών στάθμης – παροχής

Η παροχή αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές μεταβλητές τόσο στη διαχείριση των υδατικών πόρων, όσο και στην ανάλυση πλημμυρών. Γενικά υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη μέτρησή της, αλλά στην Ελλάδα επικρατεί η μέθοδος του πεδίου ταχυτήτων με τη χρήση μιλίσκου. Για τον υπολογισμό της μέσης παροχής ενός ποταμού σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα απαιτείται η εκτέλεση υδρομετρήσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. εβδομαδιαία, δεκαπενθήμερο). Σκοπός είναι να προκύψουν ζεύγη στάθμης-παροχής ( $Q, h$ ), ώστε στη συνέχεια είτε γραφικά, είτε με κάποια άλλη μέθοδο βέλτιστης προσαρμογής να προκύψουν οι καμπύλες στάθμης παροχής. Με βάση αυτές τις καμπύλες είναι εφικτή η μετατροπή των συνεχών μετρήσεων στάθμης σε παροχή.

Στην υπόψη περιοχή μελέτης, ελλείπει επαρκών δεδομένων υδρομέτρησης, επιλέχθηκε η κατάρτιση της σχέσης στάθμης-παροχής να γίνει με αξιοποίηση υδραυλικών σχέσεων μέσω της σχέσης του Manning, που αποτελεί μια από τις πιο γνωστές εμπειρικές εξισώσεις για τη μελέτη ροής σε ανοικτούς αγωγούς. Ειδικότερα, η σχέση του Manning περιγράφεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2}$$

Όπου,

Q: παροχή

n: συντελεστής τραχύτητας κατά Manning

A: εμβαδόν βρεχόμενης διατομής

R: υδραυλική ακτίνα

S<sub>0</sub>: κλίση πυθμένα

### 5.4.1 Εκτίμηση παραμέτρων και εφαρμογή της εξίσωσης Manning

Η εφαρμογή της σχέσης του Manning για τον υπολογισμό της παροχής απαιτεί πληροφορίες για τη γεωμετρία της διατομής και την επένδυσή της προκειμένου να γίνει εκτίμηση των επιμέρους παραμέτρων.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε διατομής καταγράφηκαν κατά τις αυτοψίες στον Κηφισό. Αναλυτικά οι διατομές των σταθμών βάσης παρουσιάζονται στο ΠΑΡΑΤΗΜΑ Α στο τέλος του παρόντος τεύχους.

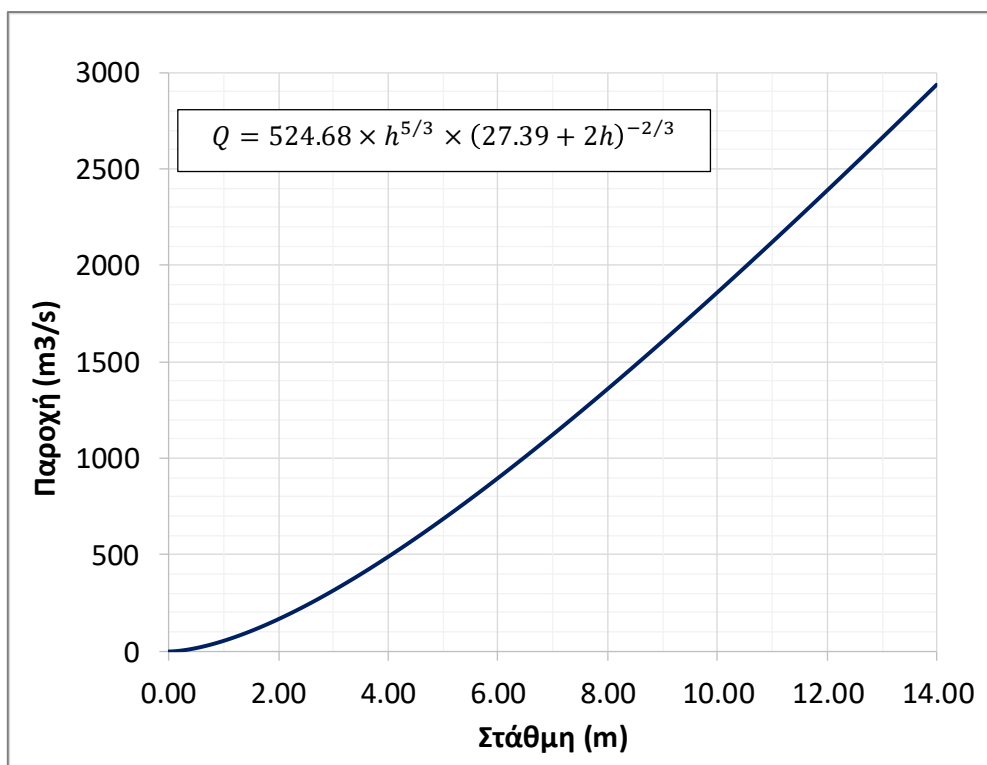
Σε ότι αφορά την κατά μήκος κλίση ( $S_0$ ), για τον σταθμό στη θέση Κόκκινος Μύλος, που η πρόσβαση ήταν εφικτή ελήφθησαν υψόμετρα πυθμένα, οπότε, προέκυψε η τιμή  $S_{0,Κόκκινος\ Μύλος} = 0.5 \%$ . Ωστόσο, για τις υπολειπόμενες δύο διατομές, στις οποίες η πρόσβαση δεν ήταν δυνατή, έγινε εκτίμηση της κατά μήκος κλίσης, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις διαθέσιμες πληροφορίες παλαιότερων μελετών. Συνεπώς, οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν τελικά ήταν  $S_{0,Δεκέλεια} = 0.2 \%$  και  $S_{0,Αγ.Ιωάννης\ Ρέντης} = 0.1 \%$

Εν συνεχεία, ο συντελεστής Manning  $n$ , εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως το υλικό επένδυσης της διατομής, τις κατασκευαστικές ανωμαλίες της επιφάνειας, τα πιθανά εμπόδια στη ροή και την ύπαρξη βλάστησης. Στη βιβλιογραφία υπάρχουν πίνακες με προτεινόμενες τιμές συντελεστή τραχύτητας  $n$ , βάσει της κατάστασης της κοίτης. Σημαντική συμβολή στην επιλογή της κατάλληλης τιμής για τον συντελεστή στις επιμέρους διατομές του Κηφισού ήταν οι φωτογραφίες κάλυψης/χρήσης γης και εμποδίων που συλλέχθηκαν κατά τη διαδικασία των εκστρατειών πληθοπορισμού. Έτσι, για τους σταθμούς στη Δεκέλεια και τον Αγ.Ιωάννη Ρέντη, που είναι επενδεδυμένοι με σκυρόδεμα, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί συντελεστής  $n=0.015$ . Ακόμη, για τον Κόκκινο Μύλο, όπου ο πυθμένας είναι επενδεδυμένος με σκυρόδεμα και τα πρανή λιθένδετα, επιλέχθηκε  $n=0.015$  και  $n=0.018$ , αντίστοιχα. Σε αυτή την περίπτωση, στη σχέση υπολογισμού εισάγεται η αντιπροσωπευτική τιμή τραχύτητας που υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση Horton και Einstein (Chow, 1959) ως εξής:

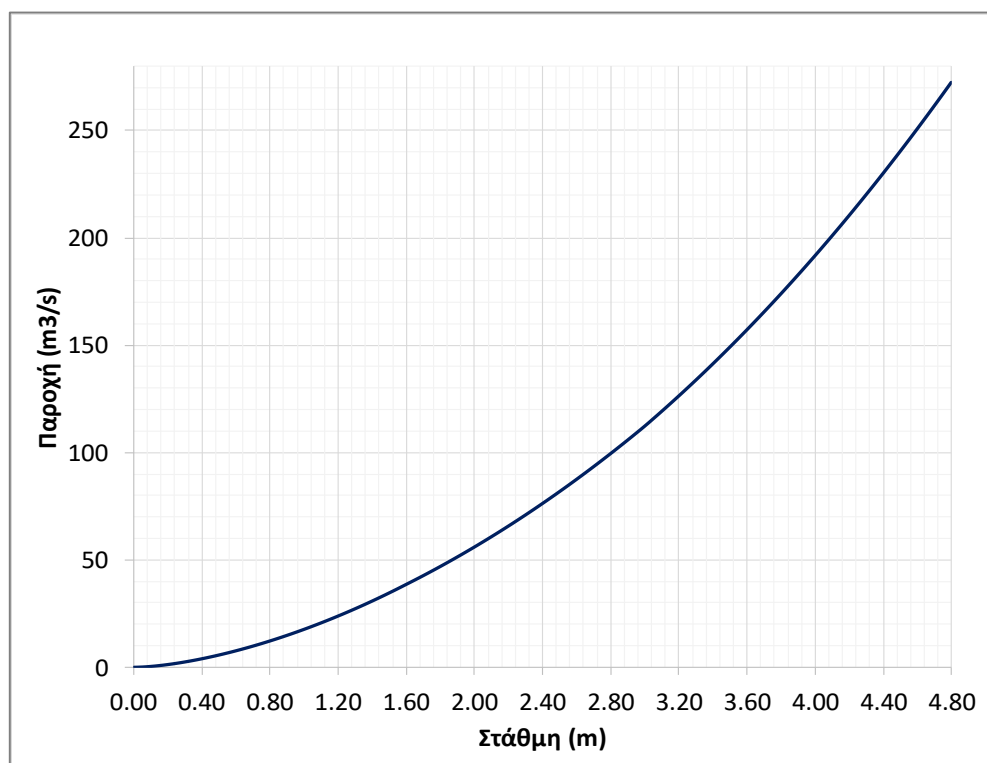
$$\bar{n} = \frac{(p_1 n_1^{1.5} + p_2 n_2^{1.5} + \dots + p_n n_n^{1.5})^{2/3}}{P^{2/3}}$$

Όπου  $n_1, n_2, \dots, n_n$  οι συντελεστές τριβής των επιμέρους τμημάτων,  $p_1, p_2, p_n$  το μήκος των τμημάτων αυτών και  $P$  η συνολική βρεχόμενη περιμετρος.

Εισάγοντας τις τιμές των παραμέτρων στην εξίσωση του Manning, προέκυψαν οι καμπύλες στάθμης-παροχής για κάθε διατομή των σταθμών βάσης. Τα διαγράμματά τους παρουσιάζονται στη συνέχεια.

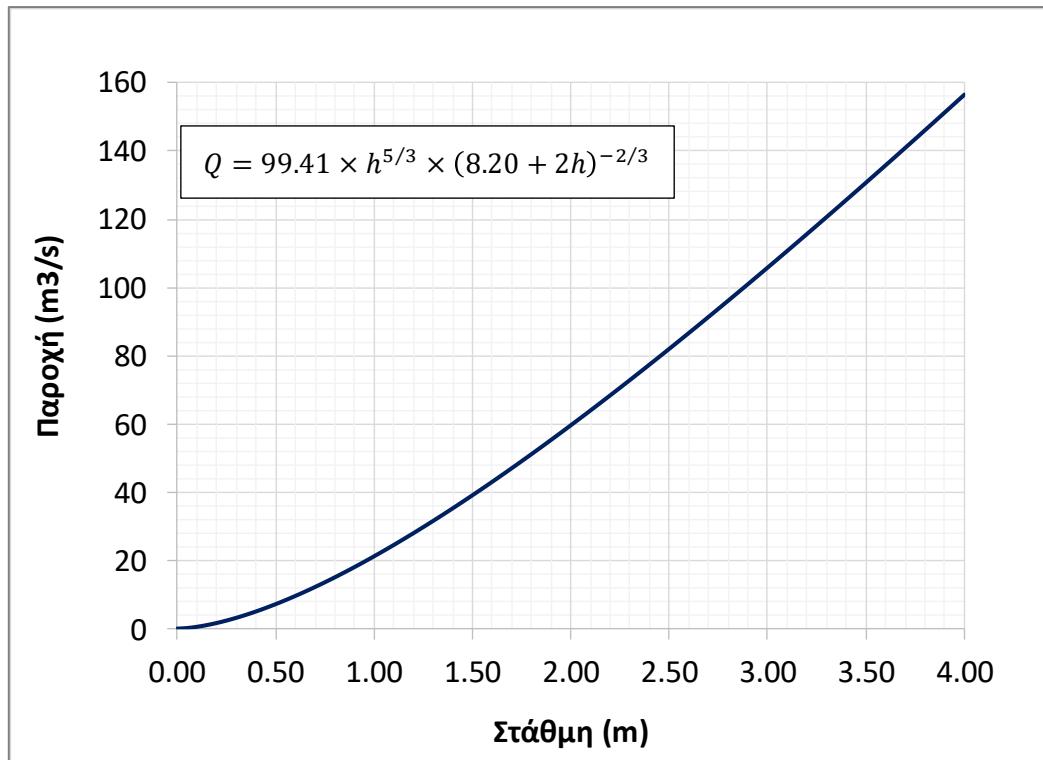


Σχήμα 5-1: Καμπύλη στάθμης-παροχής για τη θέση του σταθμού Αγ.Ιωάννης Ρέντης



Σχήμα 5-2: Καμπύλη στάθμης-παροχής για τη θέση του σταθμού Κόκκινος Μύλος



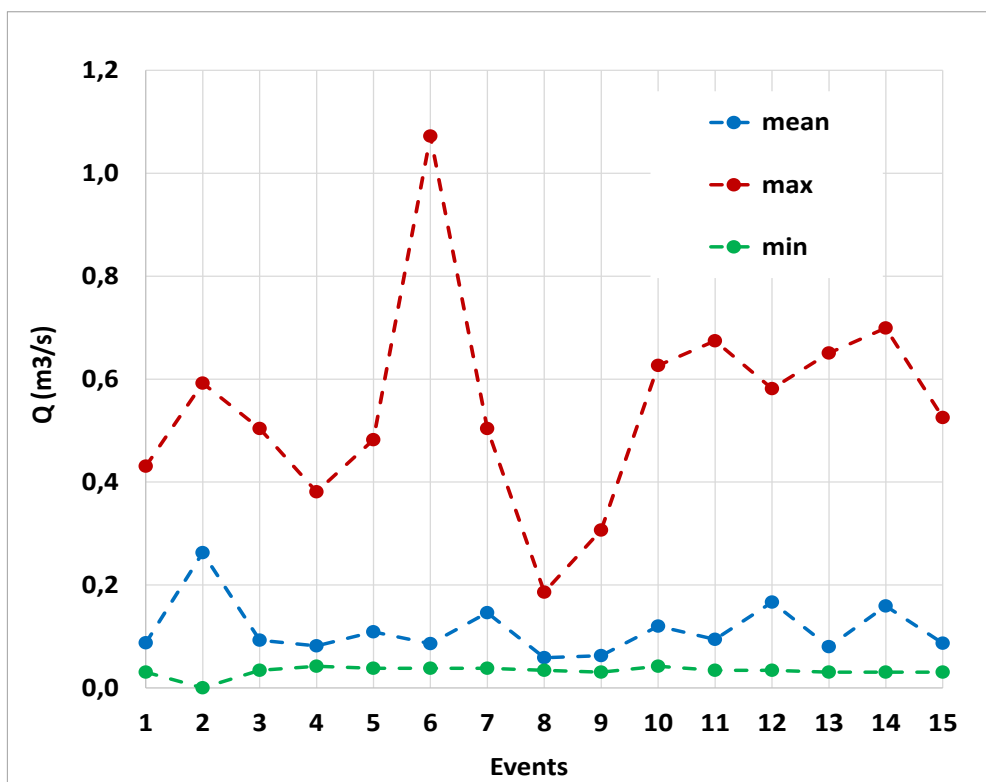


Σχήμα 5-3: Καμπύλη στάθμης-παροχής για τη θέση του σταθμού Δεκέλεια

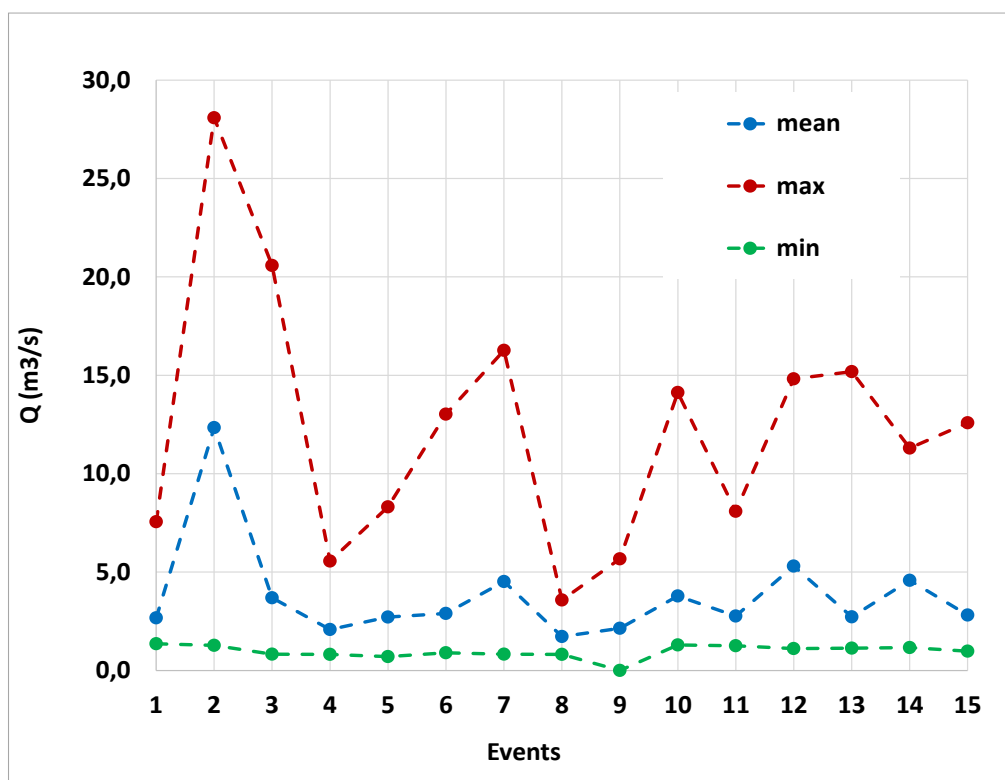
Σημειώνεται πως η καμπύλη στάθμης-παροχής για τη θέση του Κόκκινου Μύλου, για την οποία υπήρχαν μεμονωμένες υδρομετρήσεις, ελέγχθηκε με τα διαθέσιμα δεδομένα δίνοντας πολύ συναφή αποτελέσματα.

## 5.5 Μελέτη πλημμυρικών επεισοδίων

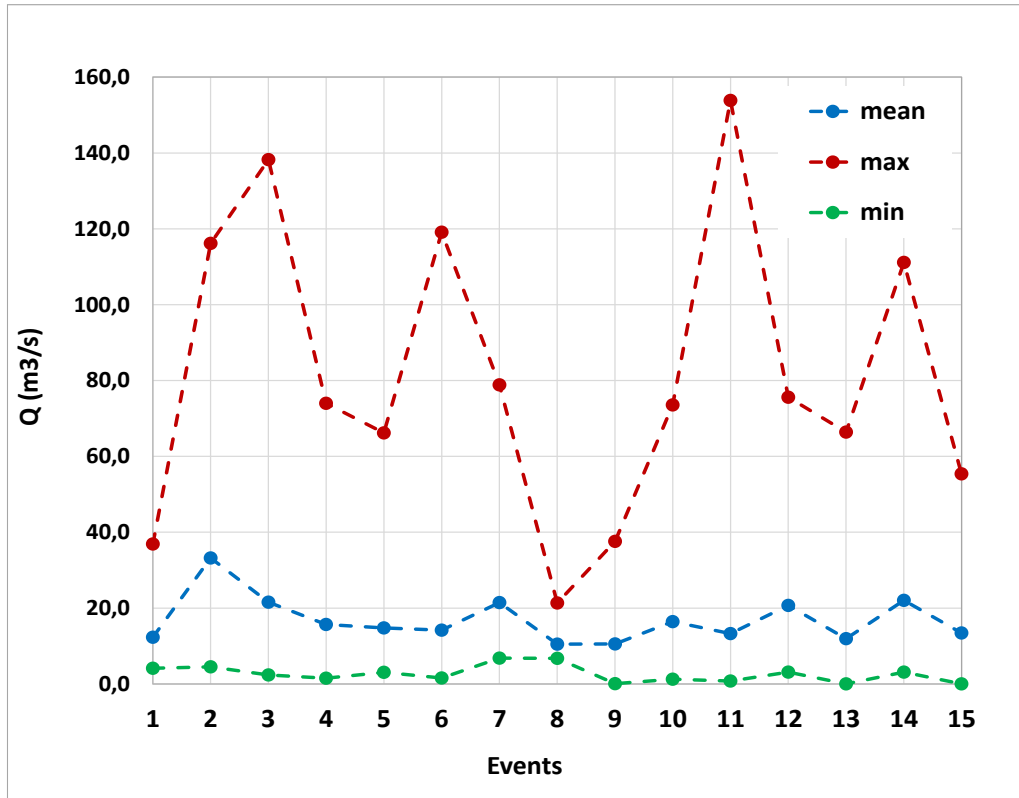
Οι ανωτέρω σχέσεις καμπυλών στάθμης-παροχής που προέκυψαν για τις διατομές των σταθμών βάσης, αξιοποιήθηκαν ώστε οι δευτερογενείς χρονοσειρές στάθμης να «μεταφραστούν» σε χρονοσειρές παροχής. Συνεπώς, για κάθε ένα επεισόδιο αυξημένης στάθμης, προέκυψε ένα πλημμυρικό επεισόδιο. Στη συνέχεια παρουσιάζονται διαγραμματικά οι μέγιστες, μέσες και ελάχιστες τιμές παροχής κάθε επεισοδίου για τους τρεις σταθμούς που μελετήθηκαν. Υπενθυμίζεται ότι η αρίθμηση των επεισοδίων γίνεται βάση του αύξοντα αριθμού που παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.1 .



Σχήμα 5-4: Μέγιστες, μέσες κι ελάχιστες παροχές πλημμυρικών επεισοδίων στη θέση Δεκέλεια



Σχήμα 5-5: Μέγιστες, μέσες κι ελάχιστες παροχές πλημμυρικών επεισοδίων στη θέση Κόκκινος Μύλος



Σχήμα 5-6: Μέγιστες, μέσες κι ελάχιστες παροχές πλημμυρικών επεισοδίων στη θέση Αγ.Ιωάννης Ρέντης

Κάθε πλημμυρικό επεισόδια αναλύθηκε στατιστικά ως προς τα ουσιώδη στατιστικά χαρακτηριστικά του, τα οποία είναι τα κάτωθι:

Μέση τιμή:  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i$

Όπου,

- n το πλήθος των χρονικών βημάτων (15 λεπτά)
- $x_i$  η εκτιμώμενη παροχή ενός χρονικού βήματος

Τυπική απόκλιση:  $\sigma = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \times \sum (x_i - \bar{x})^2}$

Όπου,

- n το πλήθος των χρονικών βημάτων (15 λεπτά)
- $x_i$  η εκτιμώμενη παροχή ενός χρονικού βήματος
- $\bar{x}$  η μέση τιμή των παροχών για κάθε χρονικό βήμα του υπό μελέτη επεισοδίου

Συντελεστής Ασυμμετρίας:  $\gamma = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^3}{\left( \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{x})^2} \right)^3}$

Όπου,

- $n$  το πλήθος των χρονικών βημάτων (15 λεπτά)
- $x_i$  η εκτιμώμενη παροχή ενός χρονικού βήματος
- $\bar{x}$  η μέση τιμή των παροχών για κάθε χρονικό βήμα του υπό μελέτη επεισοδίου

Συντελεστής Μεταβλητότητας:  $C = \frac{\sigma}{\bar{x}}$

Όπου,

- $\sigma$  η τυπική απόκλιση
- $\bar{x}$  η μέση τιμή

Στη συνέχεια παρουσιάζονται πινακοποιημένα τα βασικά στατιστικά χαρακτηριστικά, όπως προέκυψαν από το σύνολο των επεισοδίων, για τα τρία επίπεδα παροχής (μέγιστη, ελάχιστη και μέση τιμή) σε κάθε θέση.

**Πίνακας 5.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά των τριών επιπέδων παροχής (μέγιστη, ελάχιστη & μέση)**

Δεκέλεια	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Συντ. Ασυμμετρίας	Συντ. Μεταβλητότητας
Μέγιστη τιμή	0.19	1.07	0.55	0.20	0.83	0.37
Ελάχιστη Τιμή	0.00	0.04	0.03	0.01	-2.78	0.30
Μέση τιμή	0.06	0.26	0.11	0.05	1.82	0.47

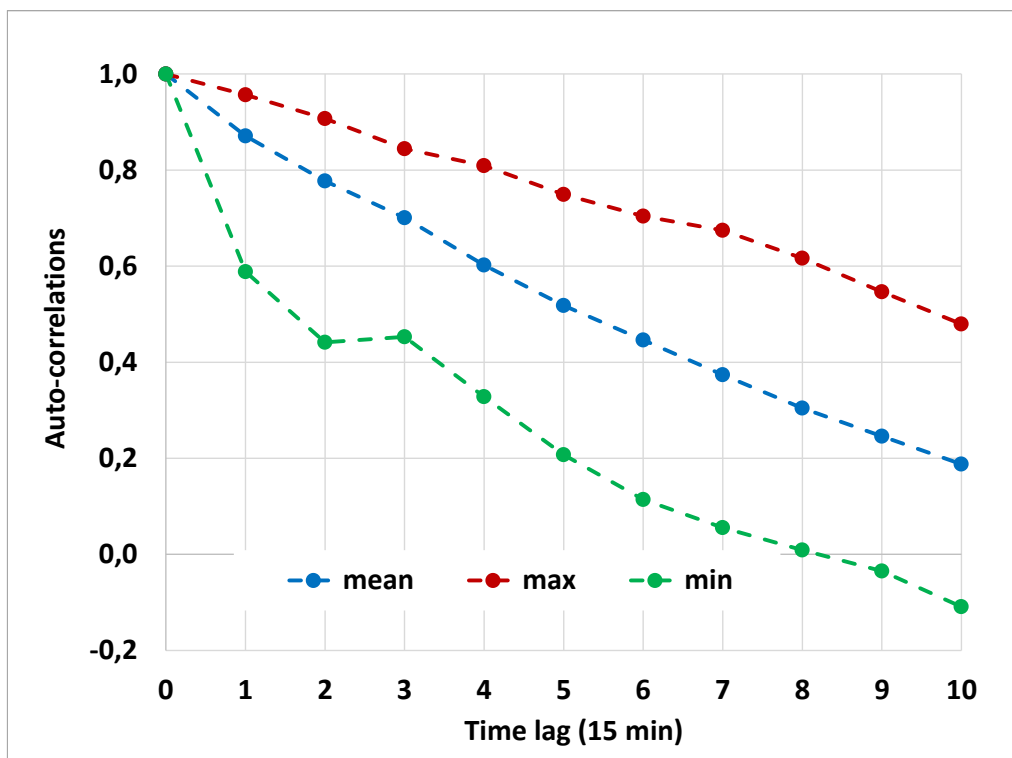
Κόκκινος Μύλος	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Συντ. Ασυμμετρίας	Συντ. Μεταβλητότητας
Μέγιστη τιμή	3.58	28.08	12.32	6.41	0.96	0.52
Ελάχιστη Τιμή	0.00	1.36	0.97	0.34	-1.59	0.35
Μέση τιμή	1.73	12.34	3.78	2.57	2.93	0.68

Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Συντ. Ασυμμετρίας	Συντ. Μεταβλητότητας
Μέγιστη τιμή	21.35	153.84	81.62	38.53	0.37	0.47
Ελάχιστη Τιμή	0.00	6.83	2.61	2.22	0.71	0.85
Μέση τιμή	10.48	33.23	16.80	6.07	1.49	0.36

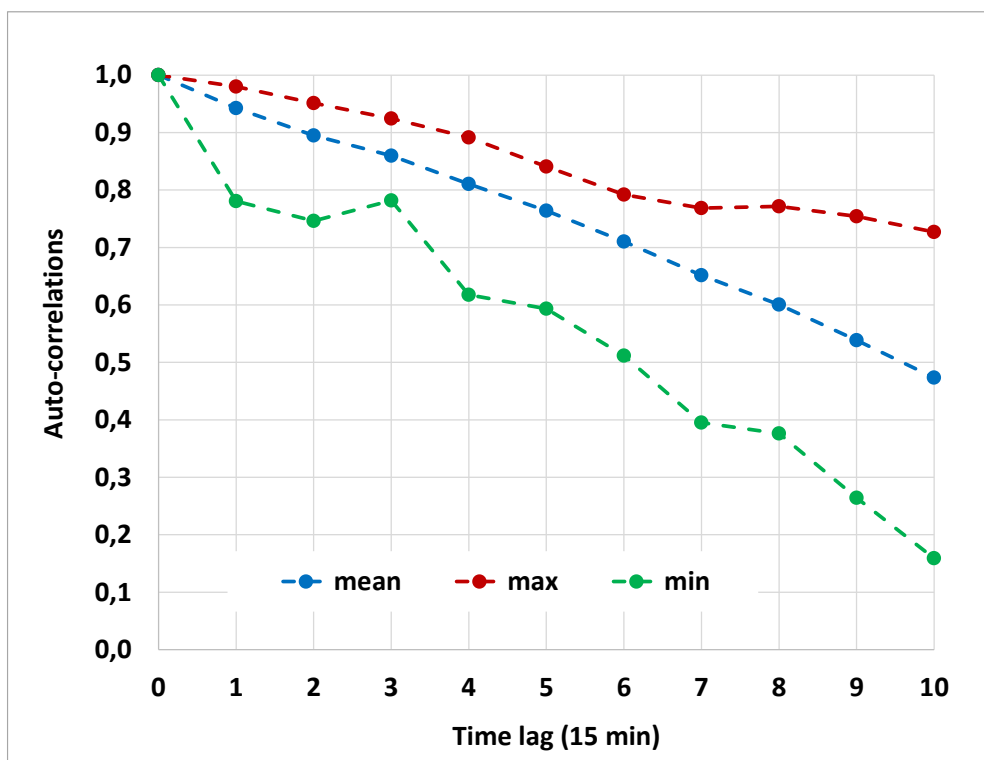
Επιπλέον, υπολογίστηκε η αυτοσυσχέτιση κάθε επεισοδίου, προκειμένου να διερευνηθεί η χρονική διάρκεια της «μνήμης» του πλημμυρικού κύματος. Ο υπολογισμός του συντελεστή αυτοσυσχέτισης τάξης  $r$  (με τιμές  $[-1,1]$ ) γίνεται μέσω της σχέσης:

$$\rho(t; \tau) = \frac{Cov[X(t), X(t + \tau)]}{\sqrt{\sqrt{Var[X(t)] * \sqrt{Var[X(t + \tau)]}}}}$$

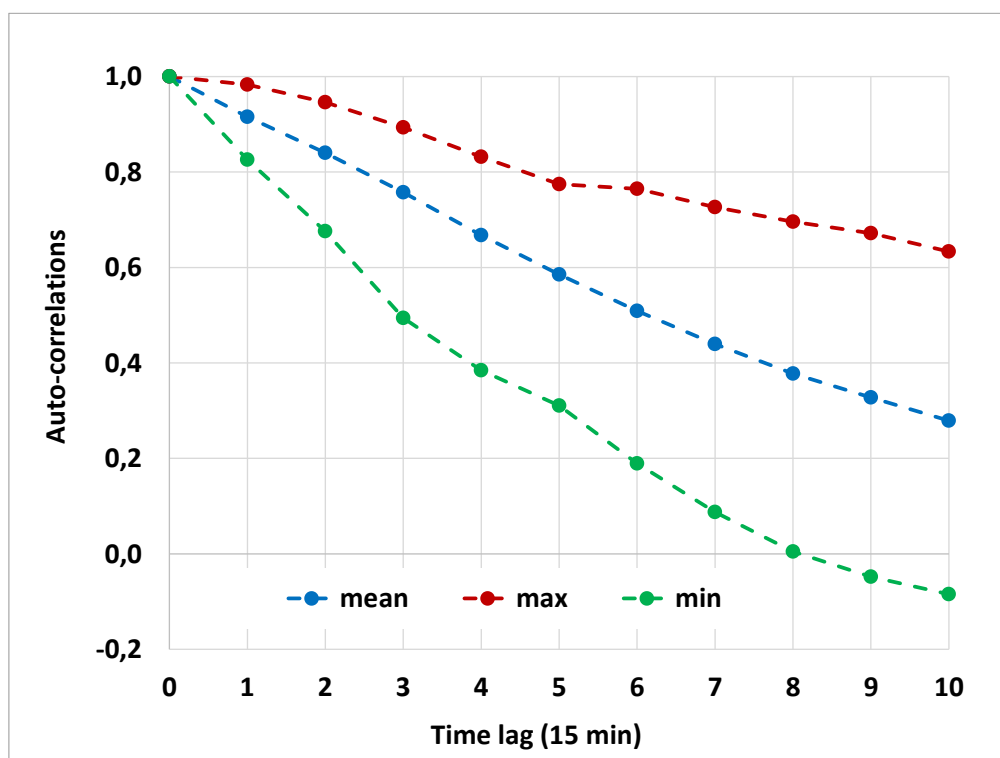
Στα ακόλουθα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέση, η ελάχιστη και μέγιστη τιμή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης, όπως προέκυψε από το σύνολο των επεισοδίων, για κάθε έναν από τους σταθμούς βάσης. Αναφέρεται πως κάθε βήμα χρονικής υστέρησης αντιστοιχεί σε χρόνο 15 λεπτών.



Σχήμα 5-7: Αυτοσυσχετόγραμμα παροχής στη θέση Δεκέλεια



Σχήμα 5-8: Αυτοσυσχετόγραμμα παροχής στη θέση Κόκκινος Μύλος

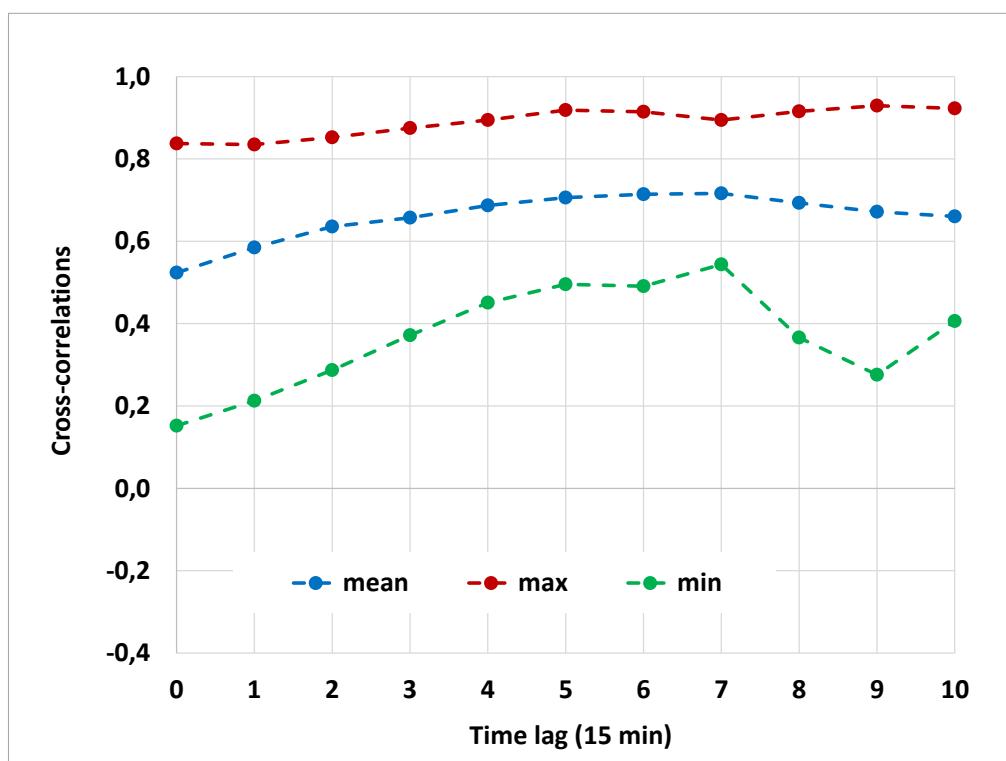


Σχήμα 5-9: Αυτοσυσχετόγραμμα παροχής στη θέση Άγιος Ιωάννης Ρέντης

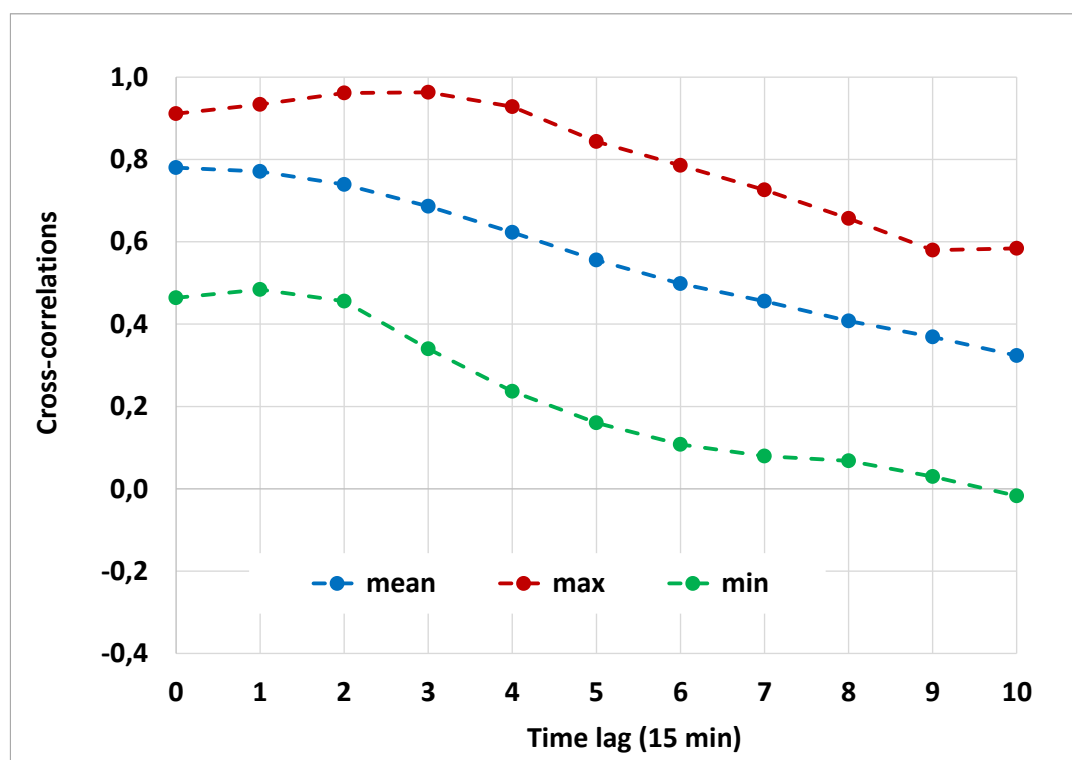
Τέλος υπολογίστηκε ο συντελεστής ετεροσυσχέτισης για κάθε επεισόδιο μεταξύ των επιμέρους θέσεων, ώστε να προκύψουν συμπεράσματα για το χρόνο μετάδοσης του πλημμυρικού κύματος. Ο υπολογισμός του συντελεστή ετεροσυσχέτισης γίνεται μέσω της σχέσης:

$$\rho = \frac{Cov[X, Y]}{\sqrt{Var[X]Var[Y]}} = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y}$$

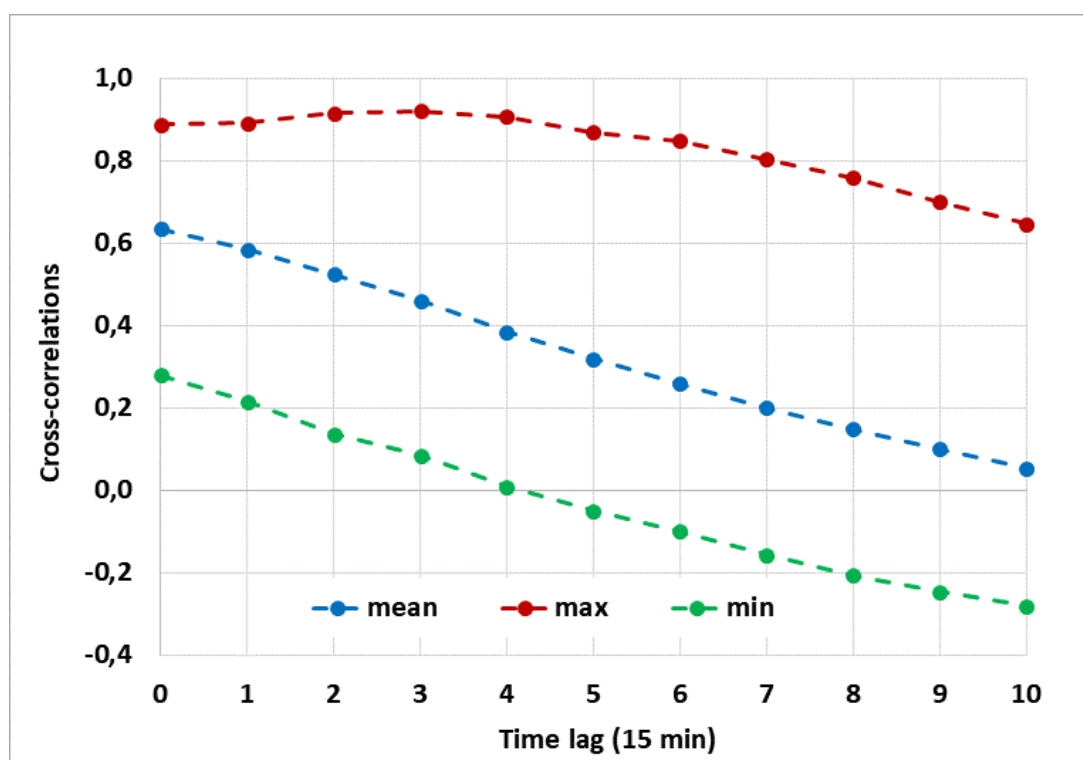
Στα ακόλουθα διαγράμματα παρουσιάζονται η μέση, η ελάχιστη και μέγιστη τιμή της ετεροσυσχέτισης, όπως προέκυψε από το σύνολο των επεισοδίων για κάθε δυνατό ζεύγος σταθμών βάσης. Υπενθυμίζεται πως κάθε βήμα χρονικής υστέρησης αντιστοιχεί σε χρόνο 15 λεπτών.



Σχήμα 5-10: Ετεροσυσχετόγραμμα παροχών μεταξύ των θέσεων Δεκέλειας-Κόκκινος Μύλος



Σχήμα 5-11: Ετεροσυσχετόγραμμα παροχών μεταξύ των θέσεων Δεκέλειας-Αγ. Ιωάννης Ρέντης



Σχήμα 5-12: Ετεροσυσχετόγραμμα παροχών μεταξύ των θέσεων Κόκκινος Μύλος-Αγ. Ιωάννης Ρέντης



## 5.6 Ανάλυση βροχοπτώσεων των πλημμυρικών επεισοδίων

Διαισθητικά και μόνο γίνεται αντιληπτή η άμεση σύνδεση των πλημμυρών με την κατακρήμνιση, και ειδικότερα την βροχόπτωση. Συνεπώς, κρίθηκε απαραίτητο τα πλημμυρικά επεισόδια που παρουσιάστηκαν νωρίτερα να συσχετιστούν με τις παρατηρημένες βροχοπτώσεις των αντίστοιχων ημερών, ώστε να προκύψει η γενικότερη εικόνα για κάθε συμβάν.

Το δίκτυο σταθμών που αξιοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι αυτό του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (Ε.Α.Α), που αποτελεί το πιο ευρύ δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών στην περιοχή της Αττικής, όπως αναφέρεται στην παράγραφο 3.4.2. Αναλυτικότερα, ελήφθησαν δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης για τους σταθμούς που βρίσκονται εντός της λεκάνης του Κηφισού και πλησίον αυτής. Οι σταθμοί που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 5.3: Δεδομένα επιλεγμένων μετεωρολογικών σταθμών**

α/α	Όνομα Σταθμού	Longitude	Latitude
1	Φάληρο	23.69	37.93
2	Πειραιάς	23.63	37.94
3	Παιδαγωγική Πειραιά	23.65	37.95
4	Νίκαια	23.65	37.96
5	Πέραμα	23.57	37.97
6	Αθήνα (Γκάζι)	23.72	37.98
7	Κορυδαλλός	23.65	37.98
8	Παλλήνη	23.89	38.00
9	Περιστέρι	23.70	38.00
10	Αγία Παρασκευή (Ελληνογαλλική Σχολή)	23.83	38.00
11	Ψυχικό	23.78	38.02
12	Χαιδάρι (Δάσος)	23.65	38.02
13	Πατήσια	23.73	38.02
14	Πετρούπολη	23.67	38.04
15	Βριλήσσια	23.83	38.04
16	Μαρούσι	23.81	38.05
17	ΣΚΑ	23.74	38.07
18	Κηφισιά	23.82	38.07
19	Άνω Λιόσια	23.69	38.08
20	Εκάλη	23.82	38.09
21	Διόνυσος	23.89	38.11
22	Αρσάκειο Δροσιά	23.86	38.12
23	Τατόι	23.79	38.12
24	Πάρνηθα	23.72	38.16
25	Ιπποκράτειος Πολιτεία	23.79	38.20

Τα δεδομένα παρέχονται ελεύθερα στην επίσημη ιστοσελίδα του Ε.Α.Α. από την επίσημη ιστοσελίδα του Ε.Α.Α<sup>10</sup>. Σημειώνεται ότι εντός της λεκάνης βρίσκονται επίσης οι σταθμοί Άνω Κορυδαλλός και Ουρσουλίνες, οι οποίοι δεν ελήφθησαν υπόψη καθότι η περίοδος λειτουργίας τους ξεκίνησε μεταγενέστερα από το πρώτο υπό μελέτη πλημμυρικό επεισόδιο (4/ 1/ 2018).

### 5.6.1 Χωρική ολοκλήρωση βροχομετρικών δεδομένων

Η σημειακή μετεωρολογική πληροφορία αποκτά ιδιαίτερη υδρολογική βαρύτητα όταν ολοκληρωθεί στο σύνολο της επιφάνειας  $S$  μιας λεκάνης απορροής. Για τον σκοπό αυτό υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες που μπορεί να ακολουθηθούν. Φυσικά, αξίζει να σημειωθεί πως ανεξαρτήτως μεθόδου, η αξιοπιστία αυτής της διαδικασίας εξαρτάται πρωτίστως από την πυκνότητα του δικτύου των σταθμών.

Στην εν λόγω διατριβή για την επιφανειακή αναγωγή της βροχόπτωσης, χρησιμοποιήθηκαν μέθοδοι άμεσης ολοκλήρωσης, οι οποίες κάνουν άμεση χρήση των σημειακών παρατηρήσεων, από το γραμμικό συνδυασμό των οποίων προκύπτει η επιφανειακή βροχόπτωση της λεκάνης. Έτσι, αν  $P_i$  είναι οι σημειακές παρατηρήσεις σε μια λεκάνη απορροής από ένα πλήθος  $k$  σταθμών, τότε το επιφανειακό μέγεθος υπολογίζεται ως εξής:

$$P_s = \sum_{i=1}^k w_i P_i$$

όπου  $w_i$  ο συντελεστής βάρους για κάθε σταθμό.

Στην προκειμένη περίπτωση ο συντελεστής βάρους της εκάστοτε λεκάνης προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου Thiessen, σύμφωνα με την οποία η συνολική επιφάνεια, χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες επιρροής. Οι ζώνες επιρροής  $A_i$  προσδιορίζονται έτσι ώστε κάθε σημείο της ζώνης του σταθμού  $i$  να απέχει από τη θέση του σταθμού  $i$  λιγότερο από οποιονδήποτε άλλο σταθμό της περιοχής. Έτσι προκύπτουν τα πολύγωνα Thiessen της περιοχής μελέτης. Τελικά, ο συντελεστής βάρους θεωρείται ανάλογος του εμβαδού της ζώνης επιρροής του σταθμού, δηλαδή:

$$w_i = \frac{A_i}{A}$$

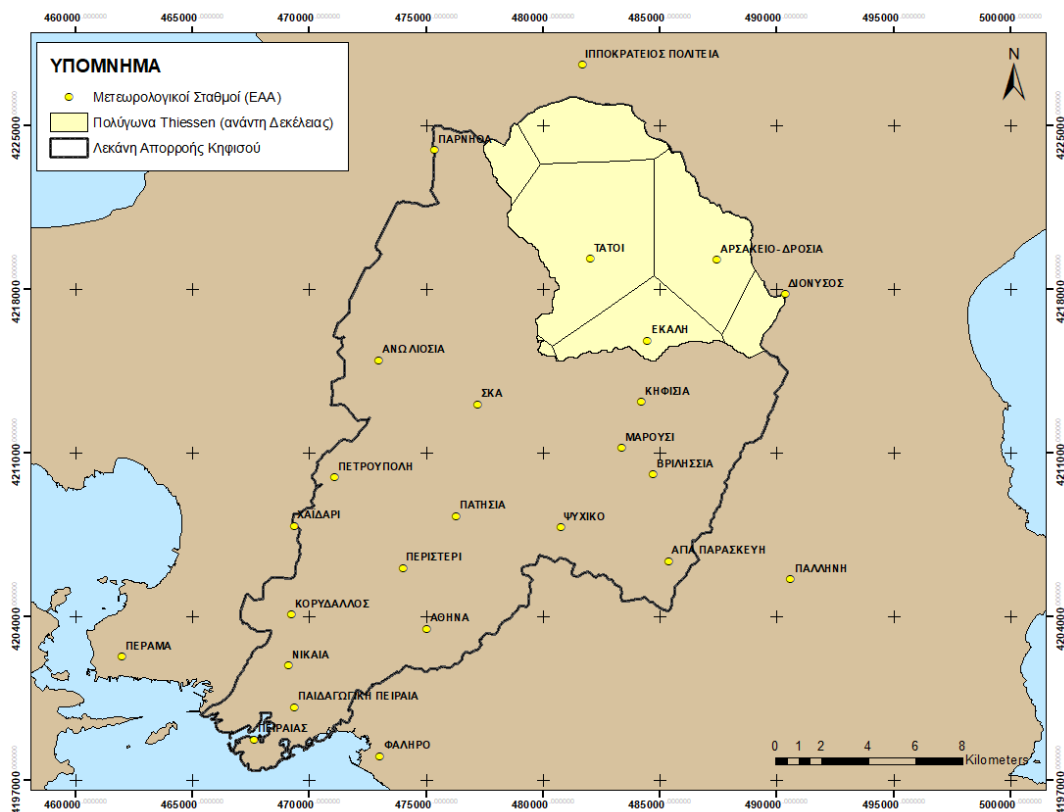
<sup>10</sup> <http://meteosearch.meteo.gr/>

Εδώ, τα πολύγωνα Thiessen δημιουργήθηκαν με τη χρήση Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (λογισμικό ArcGIS) σε δύο επίπεδα χωρικής ανάλυσης, ήτοι για το σύνολο της λεκάνης και για τις επιμέρους λεκάνες ανάντη των τριών υδρομετρικών σταθμών βάσης, η έκταση των οποίων παρουσιάζεται στη συνέχεια.

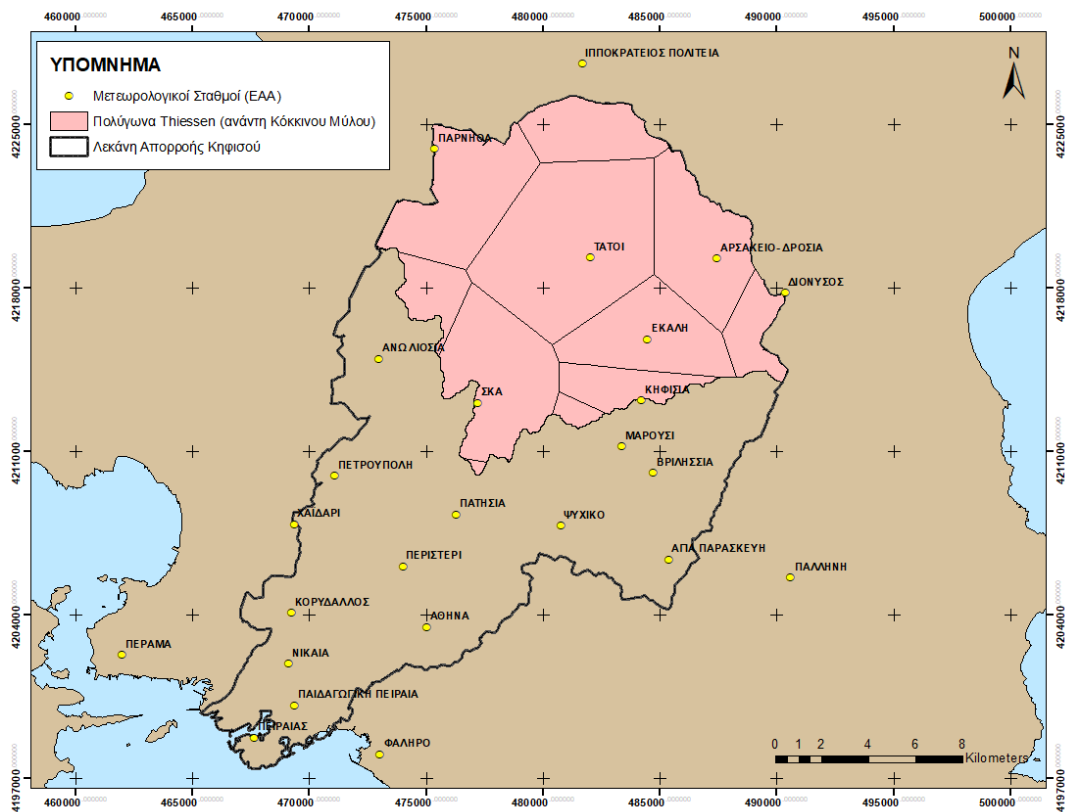
Πίνακας 5.4: Έκταση υπό μελέτη λεκανών και υπολεκανών

Λεκάνη απορροής	Έκταση (km <sup>2</sup> )
Κηφισός	377.54
Αγ.Ιωάννης Ρέντης (ανάντη)	344.68
Κόκκινος Μύλος (ανάντη)	170.29
Δεκέλεια (ανάντη)	90.33

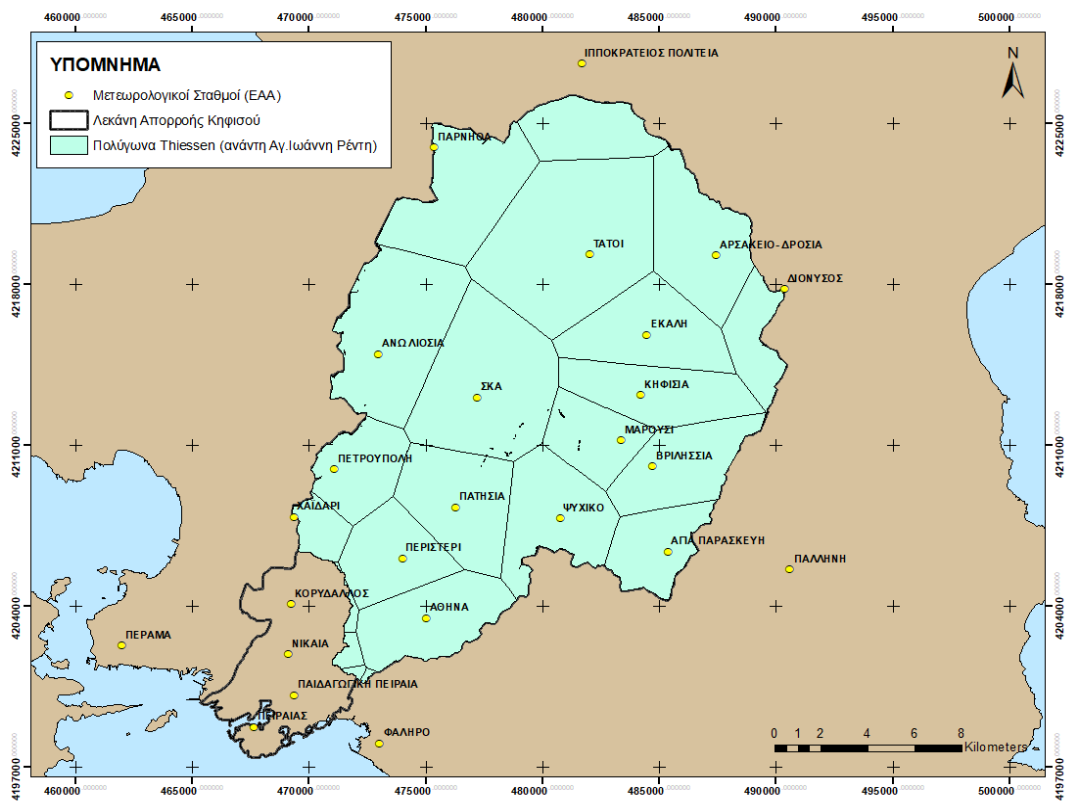
Συνεπώς, στους χάρτες που ακολουθούν φαίνονται τα πολύγωνα Thiessen που χαραχτήκαν για τις επιμέρους λεκάνες.



Σχήμα 5-13: Χάρτης πολυγώνων Thiessen στα όρια της λεκάνη απορροής ανάντη Δεκέλειας



Σχήμα 5-14: Χάρτης πολυγώνων Thiessen στα όρια της λεκάνη απορροής ανάτη Κόκκινου Μύλου



Σχήμα 5-15: Χάρτης πολυγώνων Thiessen στα όρια της λεκάνη απορροής ανάτη Αγ.Ιωάννη Ρέντη



Σχήμα 5-16: Χάρτης πολυγώνων Thiessen στα όρια της λεκάνη απορροής Κηφισού

Εφαρμόζοντας την μεθοδολογία που αναλύθηκε προέκυψαν για κάθε επίπεδο αναφοράς τα βάρη του επόμενου πίνακα.

Πίνακας 5.5: Ποσοτικά επιρροή σταθμών σε κάθε λεκάνη

α/α	Όνομα Σταθμού	Λεκάνη Απορροής			
		Κηφισού (συνολική)	Αγ.Ιωάννης Ρέντης (ανάτη)	Κόκκινος Μύλος (ανάτη)	Δεκέλεια (ανάτη)
1	Φάληρο	0.08%	0.06%	0.00%	0.00%
2	Πειραιάς	1.52%	0.00%	0.00%	0.00%
3	Παιδαγωγική Πειραιά	2.19%	0.10%	0.00%	0.00%
4	Νίκαια	2.41%	0.39%	0.00%	0.00%
5	Πέραμα	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
6	Αθήνα (Γκάζι)	4.79%	5.26%	0.00%	0.00%
7	Κορυδαλλός	3.16%	0.22%	0.00%	0.00%
8	Παλλήνη	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
9	Περιστερί	3.85%	4.22%	0.00%	0.00%
10	Αγία Παρασκευή (Ελληνογαλλική Σχολή)	3.19%	3.49%	0.00%	0.00%
11	Ψυχικό	5.21%	5.71%	0.00%	
12	Χαιδάρι (Δάσος)	1.38%	1.41%	0.00%	0.00%
13	Πατήσια	5.32%	5.83%	0.18%	0.00%
14	Πετρούπολη	3.39%	3.71%	0.00%	0.00%
15	Βριλήσια	4.47%	4.90%	0.00%	0.00%

α/α	Όνομα Σταθμού	Λεκάνη Απορροής			
		Κηφισού (συνολική)	Αγ.Ιωάννης Ρέντης (ανάτη)	Κόκκινος Μύλος (ανάτη)	Δεκέλεια (ανάτη)
16	Μαρούσι	3.13%	3.43%	1.09%	0.00%
17	ΣΚΑ	8.91%	9.76%	14.39%	0.43%
18	Κηφισιά	4.63%	5.07%	4.90%	0.00%
19	Άνω Λιόσια	7.89%	8.66%	4.16%	0.00%
20	Εκάλη	5.24%	5.74%	11.59%	14.24%
21	Διόνυσος	2.40%	2.64%	4.19%	5.55%
22	Αρσάκειο Δροσιά	5.56%	6.10%	12.35%	23.28%
23	Τατόι	11.64%	12.75%	25.80%	37.43%
24	Πάρνηθα	6.21%	6.81%	13.75%	4.75%
25	Ιπποκράτειος Πολιτεία	3.42%	3.75%	7.59%	14.32%

Τέλος, τα ανηγμένα μεγέθη βροχόπτωσης για κάθε επεισόδιο και κάθε επίπεδο ανάλυσης μετά τη διαδικασία της επιφανειακής ολοκλήρωσης, φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 5.6: Επιφανειακή ολοκλήρωση σημειακής βροχόπτωσης με Thiessen (mm)

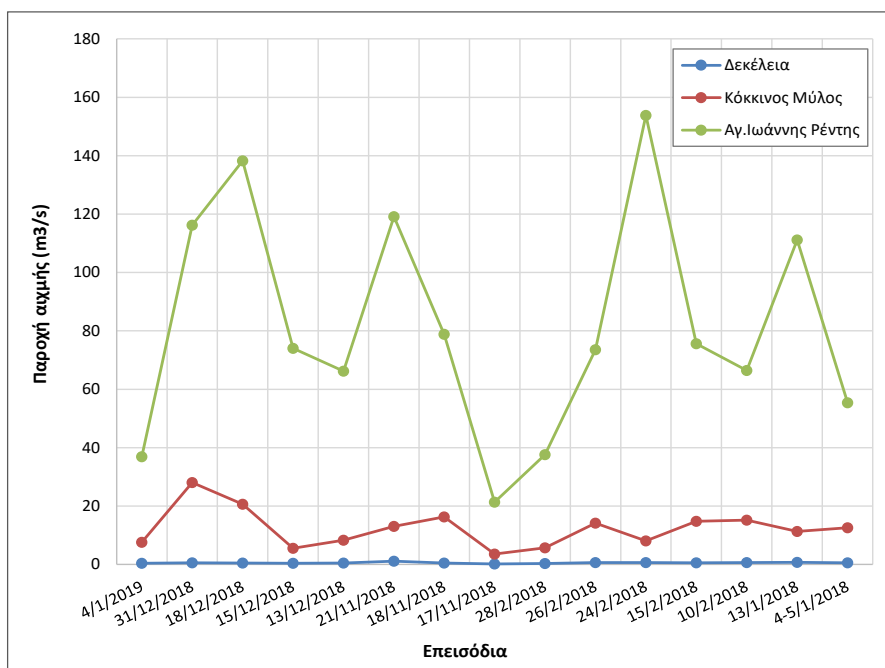
Επεισόδιο	Κηφισού (συνολική)	Ανάτη Αγ.Ιωάννης Ρέντη	Ανάτη Κόκκινου Μύλου	Ανάτη Δεκέλειας
4/1/2019	6.38	6.36	5.75	6.10
31/12/2018	11.65	12.33	17.12	19.97
18/12/2018	12.94	13.28	14.03	13.96
15/12/2018	10.00	9.67	8.19	9.23
13/12/2018	11.01	11.53	11.09	11.40
21/11/2018	10.26	10.58	10.90	11.25
18/11/2018	20.47	21.42	22.72	25.33
17/11/2018	8.83	8.94	10.78	10.48
28/2/2018	7.55	7.50	6.99	7.84
26/2/2018	15.56	15.99	16.23	17.60
24/2/2018	13.98	13.70	13.23	13.25
15/2/2018	23.16	23.54	22.38	22.03
10/2/2018	16.53	16.83	17.50	18.70
13/1/2018	30.13	30.07	33.35	35.34
4/1/2018	13.75	13.94	15.09	15.46

## 5.7 Σύγκριση και σχολιασμός αποτελεσμάτων

Από την ανωτέρω επεξεργασία προκύπτουν ενδιαφέροντα συμπεράσματα που συντελούν στην καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της λεκάνης απορροής του Κηφισού.

Ειδικότερα, παρατηρείται αξιοσημείωτη διαφορά στις στάθμες και κατ'επέκταση στον πλημμυρικό όγκο μεταξύ των τριών υδρομετρικών σταθμών. Ο σταθμός της Δεκέλειας,

που καλύπτει μια μικρής έκτασης λεκάνη ( $\approx 90 \text{ km}^2$ ), δίνει αποτελέσματα μιας τάξης μεγέθους μικρότερα από τον Κόκκινο Μύλο, ο οποίος με τη σειρά του έχει αντίστοιχη διαφορά με τον σταθμό του Αγ.Ιωάννη Ρέντη, μετά και τη συμβολή των δύο μεγάλων κλάδων του Κηφισού (Ποδονίφτης και Εσχατιά). Στο επόμενο διάγραμμα απεικονίζονται οι αιχμές των παροχών κάθε πλημμυρικού επεισοδίου, για τους επιμέρους σταθμούς.



Σχήμα 5-17: Σύγκριση παροχών αιχμής στις θέσεις των υδρομετρικών σταθμών

Ωστόσο, αντίθετη εικόνα παρουσιάζεται για την κατανομή της βροχόπτωσης στη λεκάνη και τις επιμέρους υπολεκάνες, καθώς εμφανίζεται ομοιότητα στην κατακρήμιση, γεγονός που συμφωνεί με τα αποτελέσματα παλαιότερων υδρολογικών μελετών της περιοχής μελέτης (Κουτσογιάννης κ.α., 2010). Στο ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζεται η εν λόγω σύγκλιση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν μετά την επιφανειακή ολοκλήρωση της σημειακής βροχόπτωσης για κάθε λεκάνη και υπολεκάνη.



Σχήμα 5-18: Σύγκριση επιφανειακής βροχόπτωσης στη λεκάνη και τις υπολεκάνες ανάντη των σταθμών

Τέλος, από την μελέτη της αυτοσυσχέτισης των επεισοδίων, προκύπτει ότι υψηλή αυτοσυσχέτιση ( συντελεστής αυτοσυσχέτισης  $> 0.7$ ) εκδηλώνεται για χρονική υστέρηση τριών χρονικών βημάτων, ήτοι 45 λεπτά, στη θέση του υδρομετρικού σταθμού Αγ.Ιωάννη Ρέντη, που κρίνεται πιο ευάλωτη καθότι συγκεντρώνει την παροχή του συνόλου σχεδόν της λεκάνης, ενώ ελαφρώς βελτιωμένη εικόνα, έως έξι χρονικές βαθμίδες (90 λεπτά), παρατηρείται προς τα ανάντη τμήματα της λεκάνης. Με αυτόν τον τρόπο επιβεβαιώνεται η ταχεία απόκριση της λεκάνης του Κηφισού στις πλημμύρες (flash floods). Ωστόσο, η ετεροσυσχέτιση μεταξύ των επιμέρους θέσεων στο αστικό κομμάτι (Κόκκινος Μύλος – Αγ.Ιωάννης Ρέντης), παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις μεταξύ των επεισοδίων, καθώς υπάρχουν μεν περιπτώσεις με σημαντική συσχέτιση (συντελεστής ετεροσυσχέτισης  $> 0.7$ ), που παρατηρείται κυρίως για χρονική υστέρηση έως τρεις χρονικές βαθμίδες (45 λεπτά), όμως για άλλα επεισόδια υπάρχει πολύ μικρή συσχέτιση (συντελεστής ετεροσυσχέτισης  $< 0.6$ ) σε όλες τις χρονικές βαθμίδες, με αποτέλεσμα να μην είναι εφικτή η εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

Ακολούθως, παρατίθεται ένας συγκεντρωτικός πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά (βροχόπτωση, μέγιστη στάθμη, μέση στάθμη, παροχή αιχμής) κάθε επεισοδίου στις επιμέρους θέσεις μελέτης. Στο **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β** στο τέλος του παρόντος τεύχους, παρουσιάζονται αναλυτικά τα επεισόδια που μελετήθηκαν καθώς και οι αντίστοιχοι χάρτες βροχόπτωσης για το κάθε συμβάν.



Πίνακας 5.7: Βασικά χαρακτηριστικά επιλεγμένων επεισοδίων σε κάθε θέση ενδιαφέροντος

	Ημερομηνίες Επεισοδίων														
	4/1/2019	31/12/2018	18/12/2018	15/12/2018	13/12/2018	21/11/2018	18/11/2018	17/11/2018	28/2/2018	26/2/2018	24/2/2018	15/2/2018	10/2/2018	13/1/2018	4/1/2018
<b>Δεκέλεια (90.33 km<sup>2</sup>)</b>															
Ύψος βροχής (mm)	6.10	19.97	13.96	9.23	11.40	11.25	25.33	10.48	7.84	17.60	13.25	22.03	18.70	35.34	15.46
Μέγιστη στάθμη (m)	0.09	0.11	0.10	0.08	0.10	0.16	0.10	0.05	0.07	0.11	0.12	0.11	0.11	0.12	0.10
Μέση στάθμη (m)	0.03	0.08	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.03	0.05	0.03	0.04	0.03
Παροχή αιχμής (m <sup>3</sup> /s)	0.43	0.59	0.50	0.38	0.48	1.07	0.50	0.19	0.31	0.63	0.67	0.58	0.65	0.70	0.53
<b>Κόκκινος Μύλος (170.29 km<sup>2</sup>)</b>															
Ύψος βροχής (mm)	5.75	17.12	14.03	8.19	11.09	10.90	22.72	10.78	6.99	16.23	13.23	22.38	17.50	33.35	15.09
Μέγιστη στάθμη (m)	0.59	1.32	1.10	0.49	0.63	0.83	0.95	0.37	0.50	0.87	0.62	0.90	0.91	0.76	0.81
Μέση στάθμη (m)	0.30	0.76	0.34	0.26	0.29	0.30	0.39	0.23	0.27	0.37	0.31	0.44	0.29	0.41	0.30
Παροχή αιχμής (m <sup>3</sup> /s)	7.56	28.08	20.58	5.56	8.31	13.02	16.26	3.58	5.67	14.13	8.09	14.82	15.19	11.30	12.59
<b>Αγ.Ιωάννης Ρέντης (344.68 km<sup>2</sup>)</b>															
Ύψος βροχής (mm)	6.36	12.33	13.28	9.67	11.53	10.58	21.42	8.94	7.50	15.99	13.70	23.54	16.83	30.07	13.94
Μέγιστη στάθμη (m)	0.78	1.59	1.77	1.20	1.12	1.61	1.25	0.56	0.79	1.20	1.90	1.22	1.12	1.55	1.00
Μέση στάθμη (m)	0.39	0.68	0.52	0.44	0.41	0.39	0.52	0.36	0.34	0.44	0.36	0.51	0.36	0.52	0.40
Παροχή αιχμής (m <sup>3</sup> /s)	36.88	116.17	138.22	74.01	66.20	119.11	78.85	21.35	37.59	73.55	153.84	75.60	66.42	111.13	55.39



# Κεφάλαιο 6

## Συμπεράσματα και συζήτηση

---

### 6.1 Γενικά

Στην παρούσα εργασία εξετάστηκε η δυνατότητα αξιοποίησης δεδομένων πληθοπορισμού, που συλλέχθηκαν από πιλοτικές εκστρατείες πολιτών στη λεκάνη απορροής του Κηφισού (Αττικής), στην υδραυλική διερεύνηση του ποταμού και στην ανάπτυξη συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών, συνδυάζοντας φυσικά καταγραφές εγκατεστημένων σταθμών παρακολούθησης. Σε πρώτη φάση αναλύθηκαν και αξιολογήθηκαν οι εν λόγω δράσεις, ενώ στη συνέχεια τα αποτελέσματά τους και τα δεδομένα των σταθμών παρακολούθησης χρησιμοποιούνται προκειμένου να καταρτιστούν οι καμπύλες στάθμης - παροχής σε επιλεγμένες διατομές του ποταμού. Έπειτα, μέσα από την ανάλυση επιλεγμένων πλημμυρικών επεισοδίων, επιδιώκεται να εξαχθούν βασικά συμπεράσματα για τον τρόπο λειτουργίας και απόκρισης της λεκάνης. Σημειώνεται ότι το σύνολο της διπλωματικής εργασίας βασίστηκε αποκλειστικά σε δεδομένα που διατίθενται ελεύθερα από τους κάτωθι συνδέσμους:

- Δεδομένα πληθοπορισμού (<https://scent-harm.iccs.gr/>)
- Δεδομένα στάθμης (<https://openhi.net/>)
- Βροχομετρικά δεδομένα (<http://meteosearch.meteo.gr/>)

### 6.2 Συμπεράσματα για τις εκστρατείες πολιτών στον Κηφισό

Στη λεκάνη του Κηφισού οργανώθηκαν συνολικά τέσσερις πιλοτικές εκστρατείες πολιτών στο διάστημα μεταξύ Σεπτεμβρίου 2018 και Ιουνίου 2019, οι οποίες πραγματοποιήθηκαν σε επιλεγμένα σημεία τόσο στο περιαστικό (φυσική κοίτη), όσο και στο αστικό (εγκιβωτισμένη κοίτη) τμήμα της. Οι μετρούμενες παράμετροι αφορούσαν την κάλυψη και τις χρήσεις γης, τη στάθμη και ταχύτητα ύδατος, την υγρασία εδάφους και τον εντοπισμό εμποδίων εντός κοίτης, ενώ για την συλλογή των δεδομένων

χρησιμοποιήθηκαν ειδικά σχεδιασμένες εφαρμογές. Η συμμετοχή του κοινού κρίθηκε ικανοποιητική, σύμφωνα με τους στόχους, χωρίς ωστόσο να χαρακτηρίζεται μαζική. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη λήψη φωτογραφιών ήταν καλής ποιότητας και σημαντικής χωρικής κάλυψης, οπότε αξιοποιήθηκαν στην εκτίμηση του συντελεστή τραχύτητας (συντελεστή Manning) κατά μήκος του ποταμού. Αντίθετα, οι μετρήσεις που απαιτούσαν καλύτερο συντονισμό και χρήση πιο εξειδικευμένων οργάνων, κατέληξαν σε ανεπαρκή ποιοτικά και ποσοτικά δεδομένα. Σοβαρό πρόβλημα που εντοπίστηκε ήταν η έλλειψη σταθερού σήματος και συνδεσιμότητας (Wi-Fi), δυσχεραίνοντας τη χρήση των εφαρμογών και το ρόλο των πολιτών.

### **6.3 Συμπεράσματα για την υδραυλική απόκριση του Κηφισού**

Η ανάπτυξη συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών σε μια λεκάνη απορροής προϋποθέτει τη διερεύνηση του υδραυλικού προφίλ της. Η ανάλυση που παρουσιάστηκε εστιάζει στη μελέτη της υδραυλικής συμπεριφοράς του Κηφισού, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πλημμύρας, βασιζόμενη σε δεδομένα στάθμης από μετρητές κατά μήκος του ποταμού, τα οποία επεξεργάστηκαν κατάλληλα, ώστε να προκύψουν επιμέρους επεισόδια αυξημένης στάθμης. Συνολικά αναλύθηκαν 15 επεισόδια, τα οποία αρχικά μετατράπηκαν σε πλημμυρικά (επεισόδια αυξημένης παροχής), μέσω των καμπυλών στάθμης-παροχής που καταρτίστηκαν αξιοποιώντας πληροφορίες από τις εκστρατείες πολιτών και αυτοψίες στην περιοχή, ενώ ακολούθως συσχετίστηκαν με τις ημερήσιες βροχοπτώσεις των αντίστοιχων ημερών. Παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή, έως δύο τάξεις μεγέθους, του πλημμυρικού όγκου μεταξύ των πιο ανάντη περιοχών και των σημείων κοντά στην έξοδο, παρά την ομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων. Παράλληλα, επιβεβαιώθηκε η ταχεία απόκριση της λεκάνης, με την «μνήμη» των επεισοδίων να διαρκεί λιγότερο από μια ώρα στις ευάλωτες περιοχές στο κατάντη τμήμα της.

### **6.4 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Η ανάπτυξη συστήματος πρόγνωσης πλημμυρών αξιοποιώντας δεδομένα πληθοπορισμού αποτελεί μια πλευρά της υδρολογίας με σημαντικές δυνατότητες εξέλιξης. Η αντίστοιχη εφαρμογή στη λεκάνη του Κηφισού, που μελετήθηκε σε προκαταρκτικό στάδιο, χρήζει περαιτέρω διερεύνησης .

Μερικές ενδεικτικές προτάσεις είναι:

- Η περαιτέρω προώθηση της συμμετοχικής δράσης των πολιτών, με βασικό στόχο την παρακίνηση των νεότερων ηλικιών, δεδομένης της μεγαλύτερης ευχέρειάς τους με τις νέες τεχνολογίες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί μέσω της οργάνωσης εκστρατειών ενημέρωσης σε φορείς, σχολεία και πανεπιστημιακά ιδρύματα. Κάθε ενημερωτική εκστρατεία οφείλει να είναι προσαρμοσμένη στα χαρακτηριστικά της ομάδας που απευθύνεται.
- Η βελτίωση των έξυπνων εφαρμογών, προκειμένου να διευκολυνθεί η διαδικασία συλλογής δεδομένων, να επιλυθούν τα προβλήματα συνδεσιμότητας και συμβατότητας που παρατηρήθηκαν κατά την πιλοτική δράση.
- Η ενίσχυση του υπάρχοντος δικτύου σταθμών μέτρησης στάθμης αφενός με νέους σταθμούς που θα τοποθετηθούν σε κατάλληλες θέσεις, προκειμένου να υπάρχει εποπτεία σε κύριους κλάδους της λεκάνης, όπως ο Ποδονίφτης, που στο παρελθόν έχει προκαλέσει φονικές πλημμύρες, και αφετέρου με αισθητήρες μέτρησης παροχής ή επιφανειακής ταχύτητας.
- Η κατάρτιση και η τήρηση πρωτοκόλλου συντήρησης των σταθμών.
- Η τοπογραφική απεικόνιση επιλεγμένων διατομών και η κατάρτιση και εφαρμογή προγράμματος παροχομετρήσεων, προκειμένου να ενημερωθούν οι υπάρχουσες καμπύλες στάθμης-παροχής.
- Ανάπτυξη λογισμικού αυτόματης διόρθωσης σφαλμάτων μέτρησης από τους εγκατεστημένους σταθμούς
- Μελέτη σχέσεων βροχής-απορροής σε λεπτότερη χρονική κλίμακα (π.χ. δεκαλέπτου), ώστε να προκύψουν ουσιαστικότερα και πιο ακριβή αποτελέσματα.

Σε αυτό το πλαίσιο, εκτιμάται ότι ο καλύτερος συντονισμός των επιμέρους δράσεων που συντελούν στην ανάπτυξη ενός συστήματος έγκαιρης πρόγνωσης πλημμυρών, μπορεί να επιτευχθεί υπό την ομπρέλα ενός ενιαίου φορέα διαχείρισης πλημμυρικού κινδύνου στη λεκάνη του Κηφισού. Βασικοί πυλώνες του φορέα είναι:

- Παρακολούθηση πεδίου
- Μελέτη και οργάνωση συμμετοχικής δράση πολιτών
- Επεξεργασία δεδομένων και προσομοίωση

Στον προτεινόμενο φορέα διαχείρισης καλούνται να συμμετέχουν εκπρόσωποι της τοπικής αυτοδιοίκησης (Περιφέρεια και επηρεαζόμενοι Δήμοι), της ακαδημαϊκής κοινότητας και της κοινωνίας των πολιτών προκειμένου να αντιμετωπιστεί ολιστικά το ζήτημα της πλημμύρας.



## Βιβλιογραφία

---

- Assumpção, T.H., Jonoski, A., Theona, I., Tsiakos, C., Krommyda, M., Tamascelli, S., Kallioras, A., Mierla, M., Georgiou, H.V., Miska, M. and Pouliaris, C., 2019. Citizens' Campaigns for Environmental Water Monitoring: Lessons From Field Experiments. *IEEE Access*, 7, pp.134601-134620.
- Assumpção, T.H., Popescu, I., Jonoski, A. and Solomatine, D.P., 2018. Citizen observations contributing to flood modelling: opportunities and challenges. *Hydrology and Earth System Sciences*. 22(2). pp.1473-1489.
- Bonney, R., 1996. Citizen science: A lab tradition. *Living Bird*. 15(4). pp.7-15.
- Buytaert, W., Dewulf, A., De Bièvre, B., Clark, J. and Hannah, D.M., 2016. Citizen science for water resources management: toward polycentric monitoring and governance.
- Citizen Science policies in the European Commission: research agendas towards issues of concern to citizens. October 2017
- D. Koutsoyiannis, Y. Markonis, A. Koukouvinos, S.M. Papalexiou, N. Mamassis, and P. Dimitriadis, Hydrological study of severe rainfall in the Kephisos basin, Greece, Study of the management of Kephisos, Commissioner: General Secretariat of Public Works – Ministry of Environment, Planning and Public Works, Contractors: Exarhou Nikolopoulos Bensasson, Denco, G. Karavokiris, et al., 154 pages, Athens, 2010. (Available at <https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/970/>)
- Degrossi, L.C., de Albuquerque, J.P., Fava, M.C. and Mendiondo, E.M., 2014. July. Flood Citizen Observatory: a crowdsourcing-based approach for flood risk management in Brazil. In SEKE (pp. 570-575).
- Fava, M.C., Abe, N., Restrepo-Estrada, C., Kimura, B.Y. and Mendiondo, E.M., 2018. Flood modelling using synthesised citizen science urban streamflow observations. *Journal of Flood Risk Management*.
- Haklay, M., 2015. Citizen science and policy: A European perspective. *Washington, DC: Woodrow Wilson International Center for Scholars*.
- Irwin, A. (1995). *Citizen Science: A Study of People. Expertise and Sustainable Development*. Routledge. Oxon. UK
- Irwin, A., 2002. *Citizen science: A study of people. Expertise and sustainable development*. Routledge.

- Kerson. R., 1989. Lab for the Environment. TECHNOLOGY REVIEW. 92(1). pp.11-12.
- Le Coz, J., Patalano, A., Collins, D., Guillén, N.F., García, C.M., Smart, G.M., Bind, J., Chiaverini, A., Le Boursicaud, R., Dramais, G. and Braud, I., 2016. Lessons learnt from recent citizen science initiatives to document floods in France, Argentina and New Zealand. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 7, p. 16001). EDP Sciences.
- Leibovici. D., Rosser. J., Hodges. C., Evans. B., Jackson. M. and Higgins. C., 2017. On data quality assurance and conflation entanglement in crowdsourcing for environmental studies. *ISPRS International Journal of Geo-Information*.6(3). p.78.
- Leibovici. D.G. and Rosser. J.F., Multiway sensitivity analysis of the fusion of earth observation. topography and social media data for rapid flood mapping.
- Molinari. D., Mazuran. M., Arias. C., Minucci. G., Atun. F. and Ardagna. D., 2014. Implementing Tools To Meet The Floods Directive Requirements: A “procedure” To Collect. Store And Manage Damage Data In The Aftermath Of Flood Events. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*.184. pp.215-226.
- Montanari. A., Young. G., Savenije. H.H.G., Hughes. D., Wagener. T., Ren. L.L., Koutsoyiannis. D., Cudennec. C., Toth. E., Grimaldi. S. and Blöschl. G., 2013. “Panta Rhei—everything flows”: change in hydrology and society—the IAHS scientific decade 2013–2022. *Hydrological Sciences Journal*.58(6). pp.1256-1275.
- N. Mamassis, A. Koukouvinos, and S. Baki, Final report, Development of a Geographical Information System and an Internet application for the supervision of Kephisos protected areas, Contractor: Department of Water Resources and Environmental Engineering – National Technical University of Athens, Athens, November 2008. (Available at [http://www.itia.ntua.gr/el/project\\_reports/151/](http://www.itia.ntua.gr/el/project_reports/151/))
- Science Europe Briefing Paper on Citizen Science, June 2018
- Wehn, U., Rusca, M., Evers, J. and Lanfranchi, V., 2015. Participation in flood risk management and the potential of citizen observatories: A governance analysis. *Environmental Science & Policy*, 48, pp.225-236.
- Xia, J., Falconer, R.A., Lin, B. and Tan, G., 2011. Modelling flash flood risk in urban areas. *Proc Inst Civil Eng Water Manag*, 164, pp.267-282.
- Zheng, F., Tao, R., Maier, H.R., See, L., Savic, D., Zhang, T., Chen, Q., Assumpção, T.H., Yang, P., Heidari, B. and Rieckermann, J., 2018. Crowdsourcing methods for data collection in geophysics: state of the art, issues, and future directions. *Reviews of Geophysics*, 56(4), pp.698-740.
- Α. Ζαρκαδούλας, Ανάπτυξη μοντέλου υδρομετεωρολογικής πρόγνωσης στη χειμαρρική λεκάνη του Σαρανταπόταμου, Διπλωματική εργασία, 210 pages, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ιούλιος 2014. (Διαθέσιμο στο <https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1484/>)
- Εμ. Γρυλλάκης, "Μελέτη και προσομοίωση της επιφανειακής απορροής της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη, με χρήση δεδομένων πεδίου", Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2006.



- Επιλεγμένα θέματα για το μάθημα Υδρολογία – Διαχείριση Υδατικών πόρων. Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ε. Καρύμπαλης, Αθήνα, 2010.
- Επιχειρησιακή οργάνωση των Δήμων του ΑΣΔΑ για την πολιτική προστασία και την αντιμετώπιση φυσικών και περιβαλλοντικών κινδύνων. Εφαρμοσμένο ερευνητικό πρόγραμμα. Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Ε.Λέκκας, Αθήνα, 2010.
- Θ. Βαχαβιώλος., Μεθοδολογία προσδιορισμού περιοχών ευάλωτων σε πλημμύρες σύμφωνα με την Οδηγία 2007/60, Διπλωματική εργασία, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μάρτιος 2011. (Διαθέσιμο στο <https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1146/>)
- «Κατάρτιση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών των ΥΔ Ηπείρου, Θεσσαλίας και Δυτικής Στερεάς Ελλάδας σύμφωνα με τον Ν.3199/2003 και το ΠΔ51/2007», ΕΓΥ (2013), ΚΕ: Γ. Καραβοκύρης & Συνεργάτες Σύμβουλοι Μηχανικοί Ανώνυμη Εταιρία – Βασίλης Περγλέρος – ENVECO Ανώνυμη Εταιρεία Προστασίας και Διαχείρισης Περιβάλλοντος – Αντζουλάτος Γεράσιμος – ΕΠΕΜ Εταιρία Περιβαλλοντικών Μελετών Α.Ε. – ΟΜΙΚΡΟΝ Οικονομικές & Αναπτυξιακές Μελέτες ΕΠΕ – Κωνσταντινίδης Ηλίας – Τσεκούρας Γεώργιος – Κοτζαγεώργης Γεώργιος – Γκαργκόλας Νικόλαος.
- Κούσης. Α. Δ., και Α. Μάζη. Εργαλεία διαχείρισης του υδροσυστήματος του Κηφισού ποταμού: Υδρομετρικό δίκτυο και δίκτυο παρακολούθησης ποιότητας ύδατος. 1η Επιστημονική Δημερίδα με θέμα τον Κηφισό «Ολοκληρωμένη προσέγγιση στα προβλήματα του Κηφισού». Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Ανατολικής Αττικής. Φορέας Διαχείρισης και Ανάπλασης του ποταμού Κηφισού Αττικής και των Παραχειμάρρων. 2008.
- Κριτική επισκόπηση του υδραυλικού σχεδιασμού του Κηφισού, Σωκράτης Δάλλας, Παρουσίαση στη Δημερίδα Κηφισού, 14 Μαρτίου 2008. (Διαθέσιμο στο <http://www.itia.ntua.gr/archive/kephisos/presentations/text1.pdf>)
- Ν. Μαμάσης, Α. Ευστρατιάδης, Α. Κουκουβίνος, και Δ. Κουτσογιάννης, Τεχνική έκθεση ανάπτυξης εθνικού συστήματος παρακολούθησης επιφανειακών υδατικών πόρων, Δίκτυο Ανοιχτής Πληροφορίας Υδροσυστημάτων (OpenHi.net), Παράρτημα 6, Ανάδοχος: Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος – Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τεύχος 2.1, Ιούνιος 2019. (Διαθέσιμο στο <https://www.itia.ntua.gr/el/docinfo/1977/>)
- Ν. Μαμάσης, Α. Ευστρατιάδης, Δ. Κουτσογιάννης, και Α. Κουκουβίνος, Δίκτυο Ανοιχτής Πληροφορίας Υδροσυστημάτων (OpenHi.net), *Ελληνικό Ολοκληρωμένο Σύστημα Παρακολούθησης, Πρόγνωσης και Τεχνολογίας Θαλασσών και Επιφανειακών Υδάτων (HIMIOFoTS) - Πρώτη συνάντηση φορέων*, Ανάβυσσος, Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, 2018. (Διαθέσιμο στο [https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/1872/1/documents/NTUA\\_pres\\_HCMR\\_Sep2018\\_dnp8Eq.pdf](https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/1872/1/documents/NTUA_pres_HCMR_Sep2018_dnp8Eq.pdf))
- Οδηγία 2007/60/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 23ης Οκτωβρίου 2007 για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, Νοέμβριος 2007.

- Τα έργα αναδιευθέτησης του κάτω ρου του π. Κηφισού, Παρουσίαση στη Δημερίδα Κηφισού, Λ.Λαζαρίδης, Αικ.Δανιήλ, Σ.Μίχας, 14 Μαρτίου 2008.
- Φ. Τιτόνη, Ανάλυση των πλημμυρικών φαινομένων και των ανθρώπινων παρεμβάσεων του ρέματος της Εσχατιάς στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Αθήνας, Μεταπτυχιακή Διατριβή Ειδίκευσης, Ιούνιος 2018.

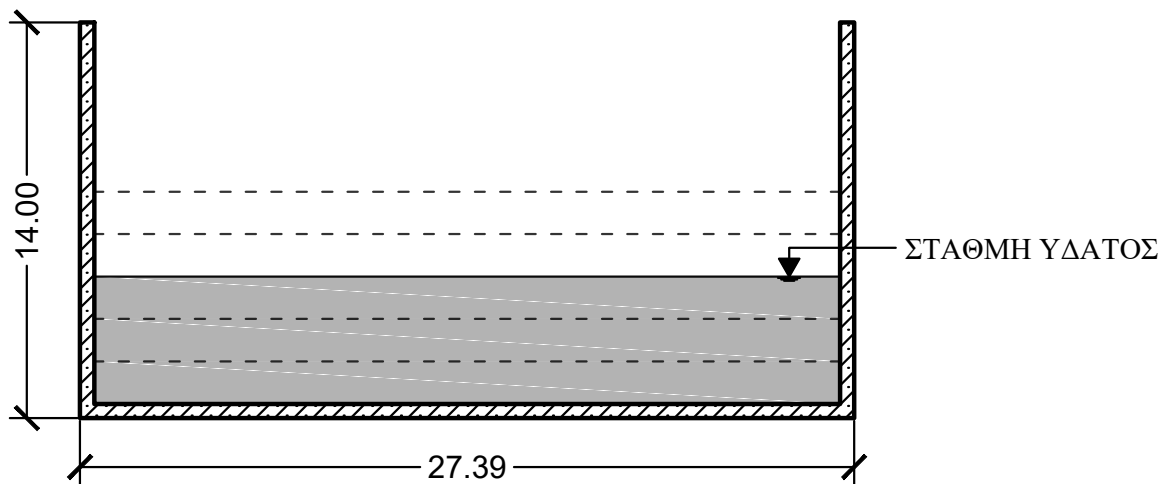
## **Παράρτημα Α**

---

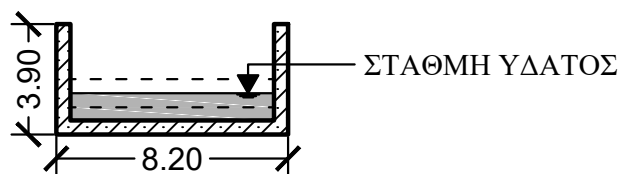
**Σκαριφήματα διατομών στις θέσεις των υδρομετρικών σταθμών  
βάσης του προγράμματος Scent**

# ΣΚΑΡΙΦΗΜΑΤΑ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΚΗΦΙΣΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ

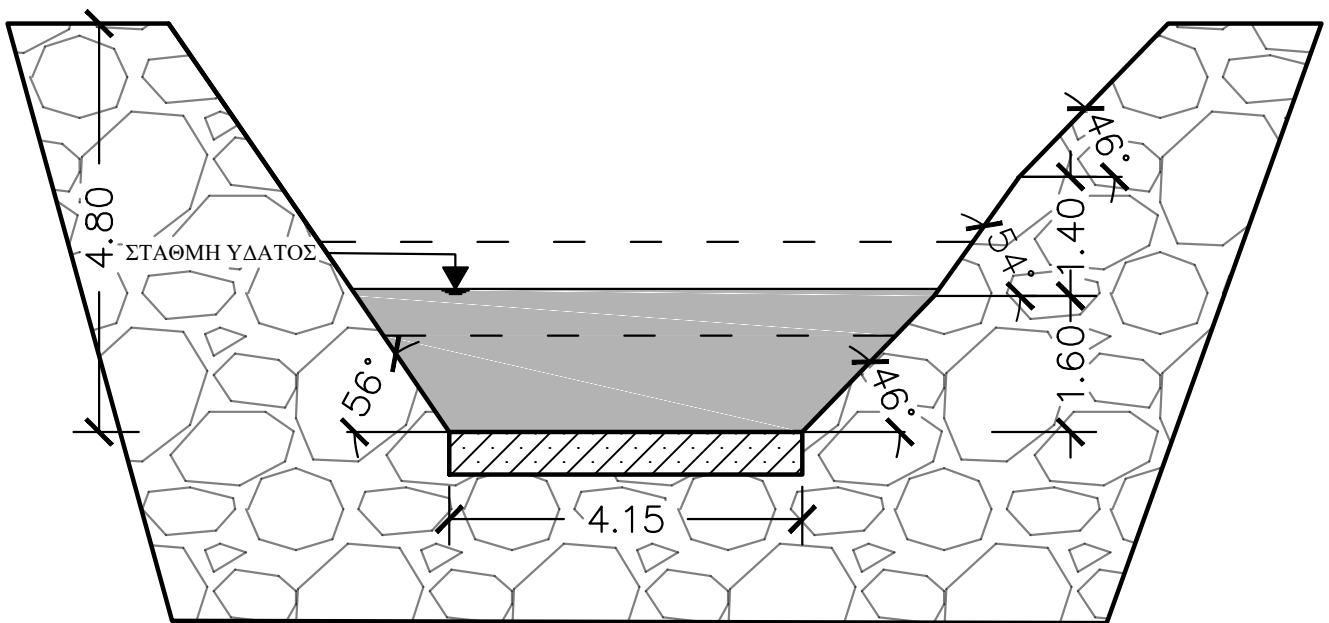
## Άγιος Ιωάννης Ρέντης



## Δεκέλεια



# Κόκκινος Μύλος





## **Παράρτημα Β**

---

### **Πλημμυρικά επεισόδια**





## Επεισόδιο 1 (4/1/2019)

Πίνακας 1.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.09	0.59	0.78
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.21	0.21
Μέση τιμή	0.03	0.30	0.39
Τυπική απόκλιση	0.02	0.10	0.14
Συντ.Ασυμμετρίας	2.05	1.19	1.46
Συντ.Μεταβλητότητας	0.57	0.33	0.36
q1	0.02	0.23	0.28
q2	0.02	0.25	0.34
q3	0.03	0.36	0.43
q4	0.09	0.59	0.78

Πίνακας 1.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης

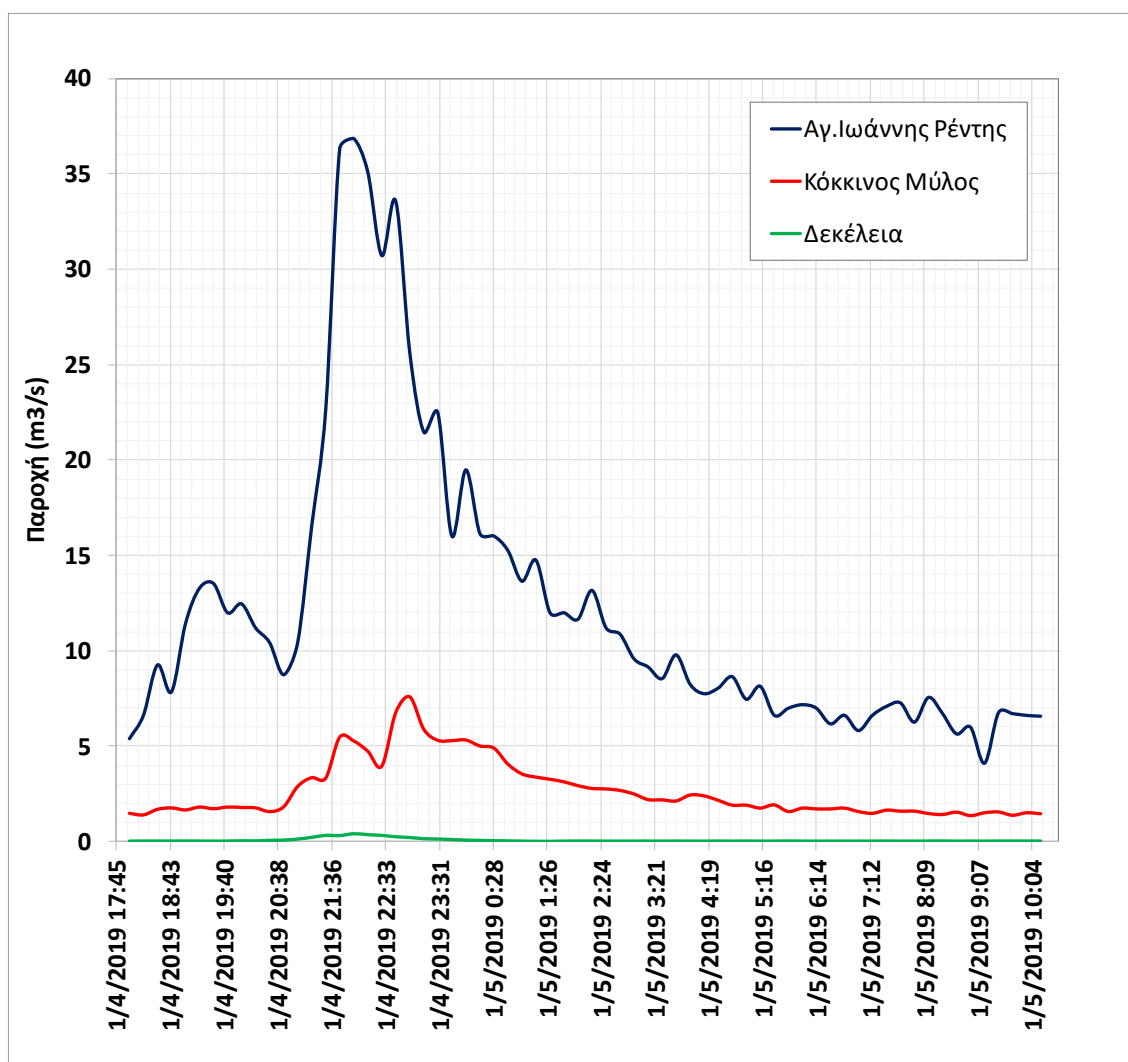
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.43	7.56	36.88
Ελάχιστη τιμή	0.03	1.36	4.13
Μέση τιμή	0.09	2.68	12.32
Τυπική απόκλιση	0.09	1.50	7.90
Συντ.Ασυμμετρίας	2.32	1.44	1.83
Συντ.Μεταβλητότητας	1.08	0.56	0.64
q1	0.04	1.61	7.01
q2	0.05	1.91	9.44
q3	0.06	3.30	13.64
q4	0.43	7.56	36.88

Πίνακας 1.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης

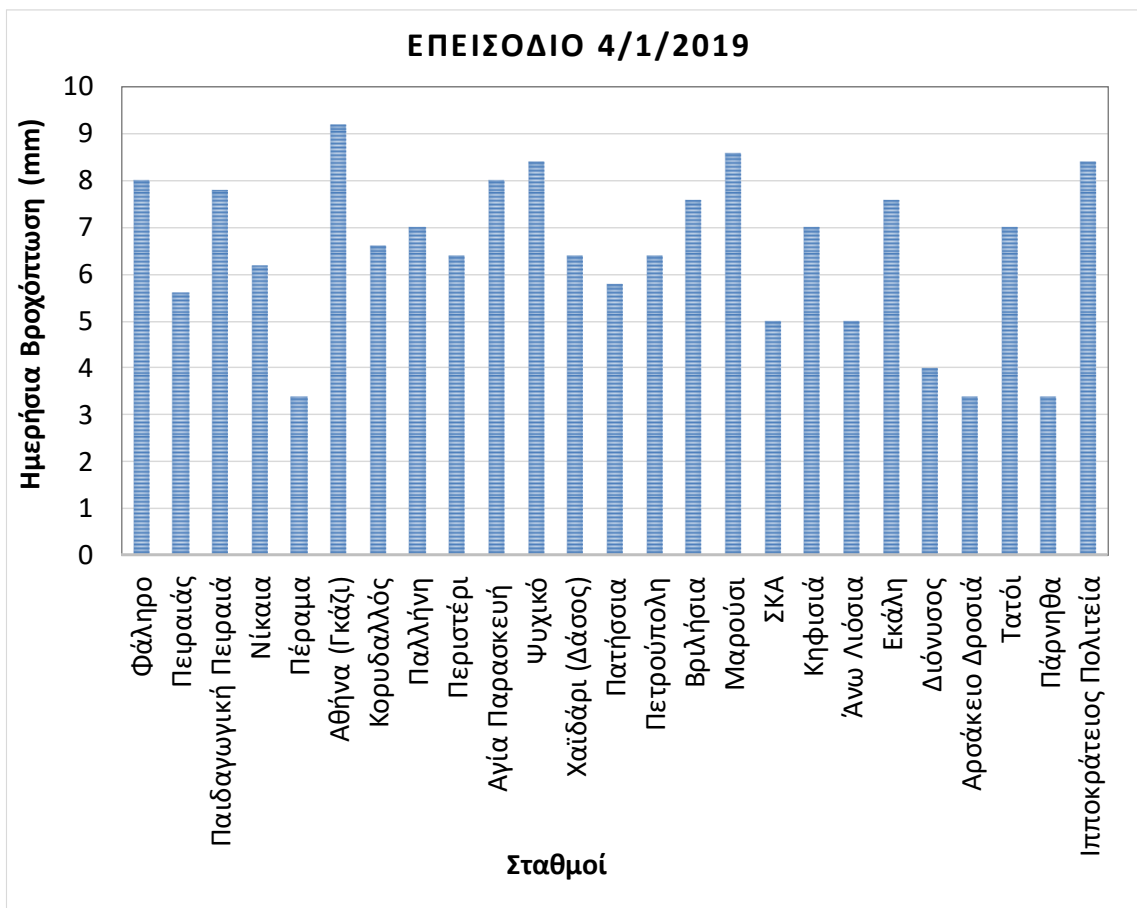
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.96	0.93	0.93
2	0.88	0.85	0.85
3	0.75	0.81	0.73
4	0.60	0.78	0.60
5	0.44	0.69	0.49
6	0.30	0.58	0.40
7	0.16	0.49	0.35
8	0.06	0.38	0.29
9	-0.03	0.26	0.27
10	-0.11	0.17	0.23

**Πίνακας 1.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης**

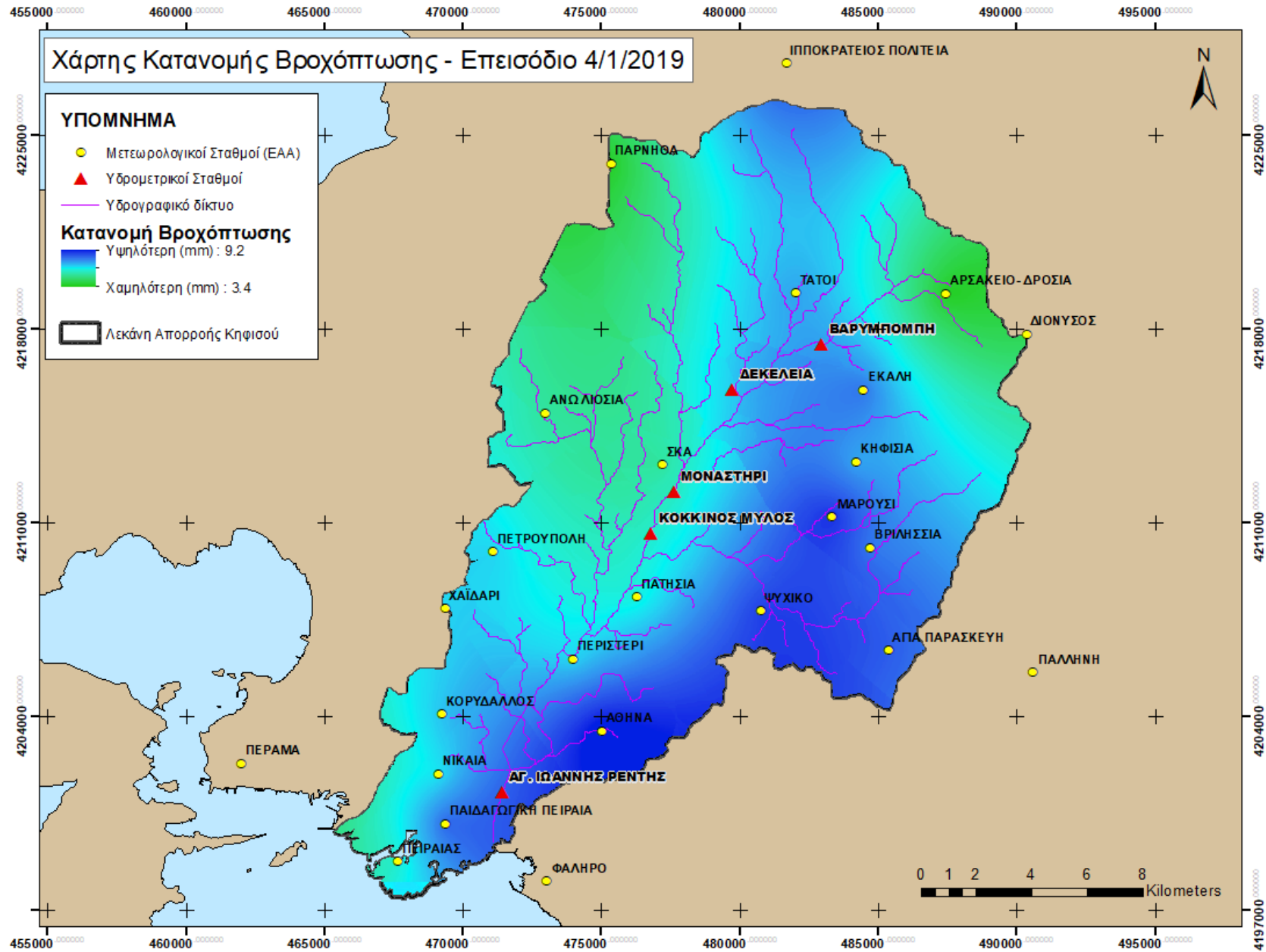
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.66	0.90	0.84
1	0.75	0.93	0.75
2	0.81	0.91	0.67
3	0.86	0.83	0.57
4	0.86	0.72	0.46
5	0.85	0.61	0.34
6	0.82	0.51	0.24
7	0.75	0.40	0.17
8	0.66	0.33	0.08
9	0.57	0.25	0.03
10	0.48	0.19	-0.04



**Σχήμα 1.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης**



Σχήμα 1.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης



## Επεισόδιο 2 (31/12/2018)

Πίνακας 2.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.11	1.32	1.59
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.20	0.22
Μέση τιμή	0.08	0.76	0.68
Τυπική απόκλιση	0.02	0.33	0.35
Συντ.Ασυμμετρίας	-0.94	-0.24	0.36
Συντ.Μεταβλητότητας	0.25	0.44	0.51
q1	0.07	0.48	0.40
q2	0.08	0.86	0.67
q3	0.09	1.00	0.89
q4	0.11	1.32	1.59

Πίνακας 2.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης

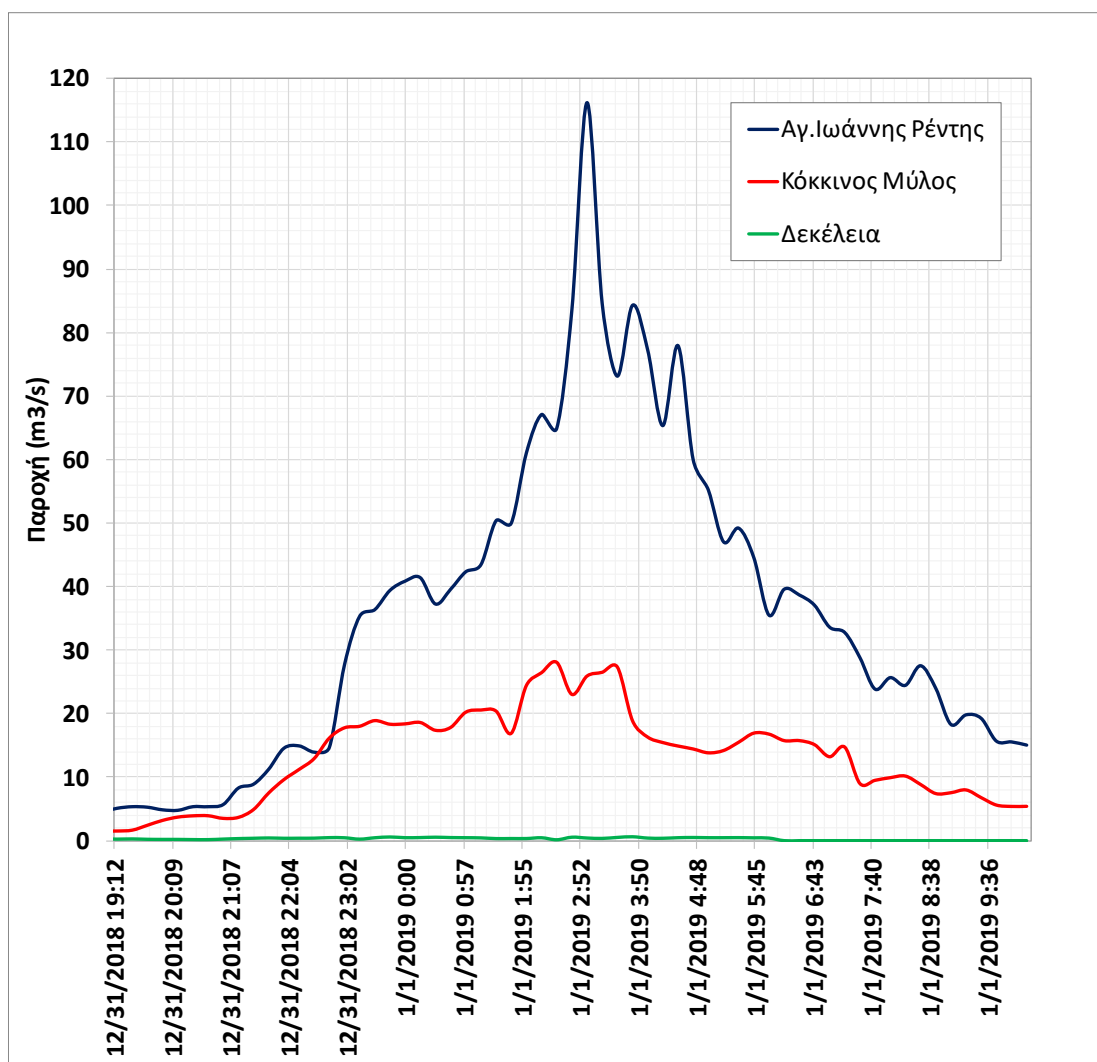
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.59	28.08	116.17
Ελάχιστη τιμή	0.00	1.27	4.52
Μέση τιμή	0.26	12.34	33.23
Τυπική απόκλιση	0.19	7.66	25.57
Συντ.Ασυμμετρίας	-0.23	0.17	0.91
Συντ.Μεταβλητότητας	0.73	0.62	0.77
q1	0.02	5.35	12.57
q2	0.32	13.80	28.79
q3	0.44	17.78	45.79
q4	0.59	28.08	116.17

Πίνακας 2.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης

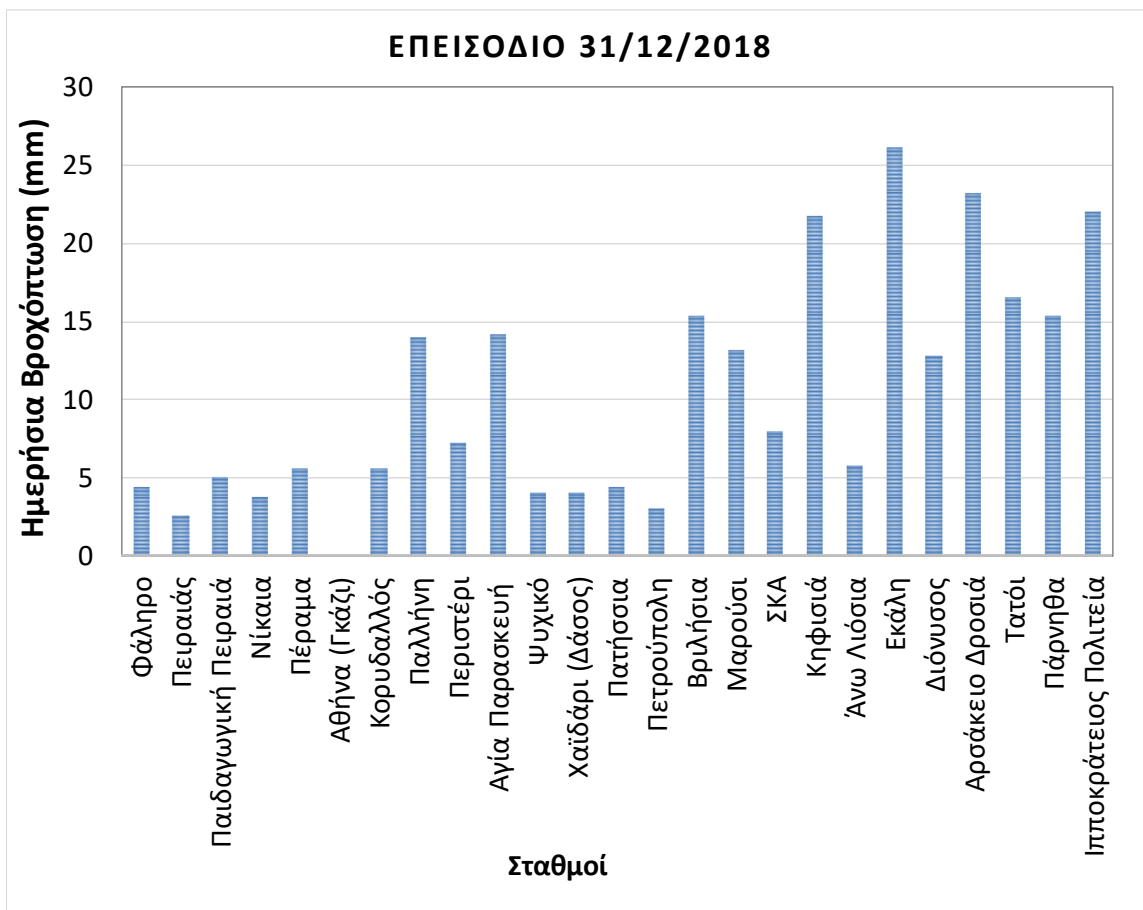
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.85	0.96	0.95
2	0.78	0.92	0.91
3	0.74	0.87	0.89
4	0.67	0.83	0.83
5	0.56	0.76	0.76
6	0.52	0.68	0.71
7	0.46	0.60	0.64
8	0.40	0.54	0.56
9	0.36	0.49	0.48
10	0.28	0.42	0.41

Πίνακας 2.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης

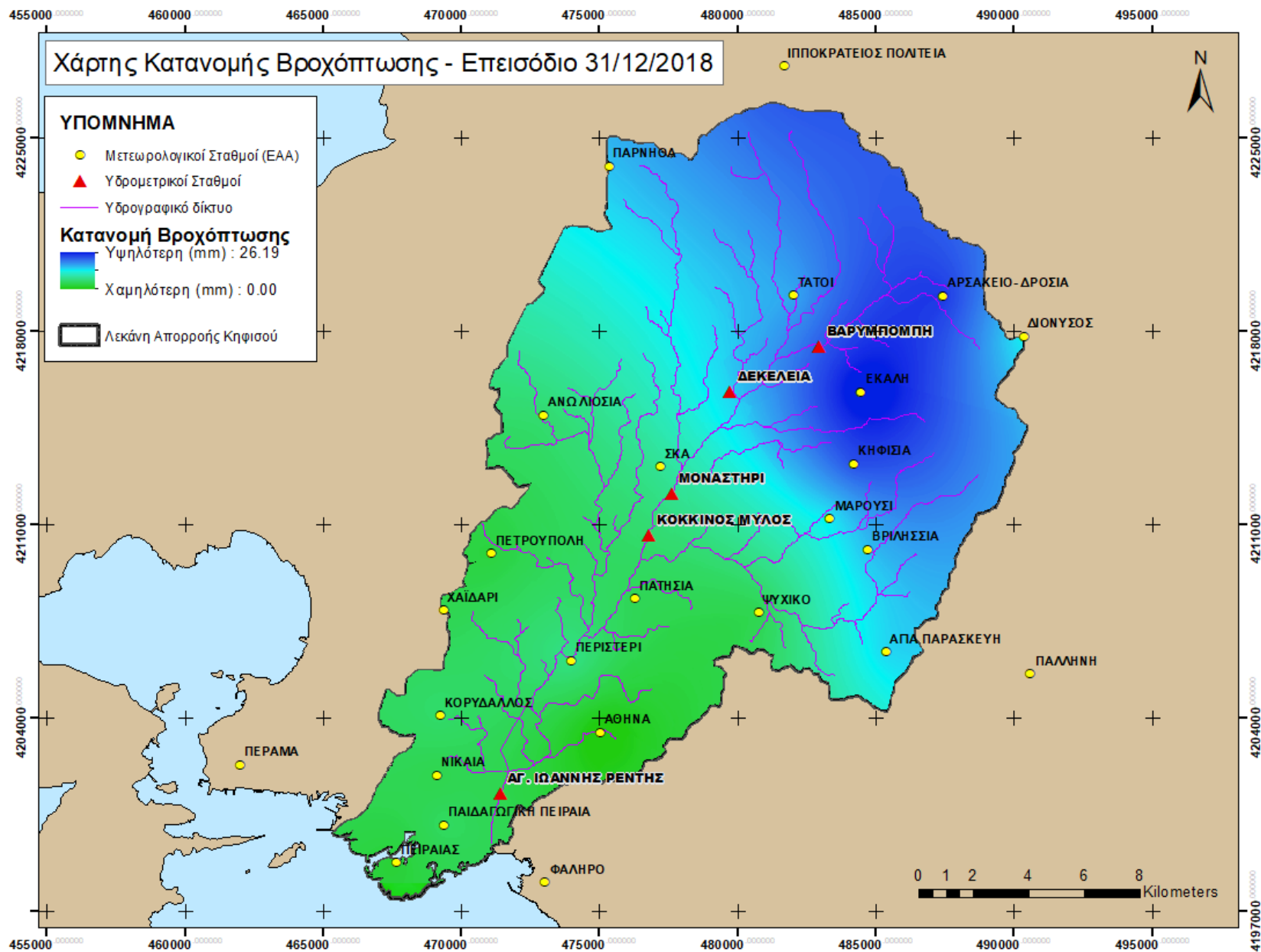
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.50	0.46	0.86
1	0.54	0.48	0.88
2	0.57	0.46	0.92
3	0.60	0.51	0.92
4	0.61	0.52	0.91
5	0.66	0.51	0.87
6	0.66	0.53	0.85
7	0.65	0.57	0.80
8	0.64	0.56	0.76
9	0.65	0.57	0.70
10	0.64	0.58	0.65



Σχήμα 2.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 2.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης





### Επεισόδιο 3 (18/12/2018)

**Πίνακας 3.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης**

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.10	1.10	1.77
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.15	0.15
Μέση τιμή	0.04	0.34	0.52
Τυπική απόκλιση	0.02	0.23	0.29
Συντ.Ασυμμετρίας	1.63	1.62	2.29
Συντ.Μεταβλητότητας	0.56	0.68	0.55
q1	0.02	0.18	0.39
q2	0.02	0.24	0.44
q3	0.04	0.36	0.52
q4	0.10	1.10	1.77

**Πίνακας 3.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης**

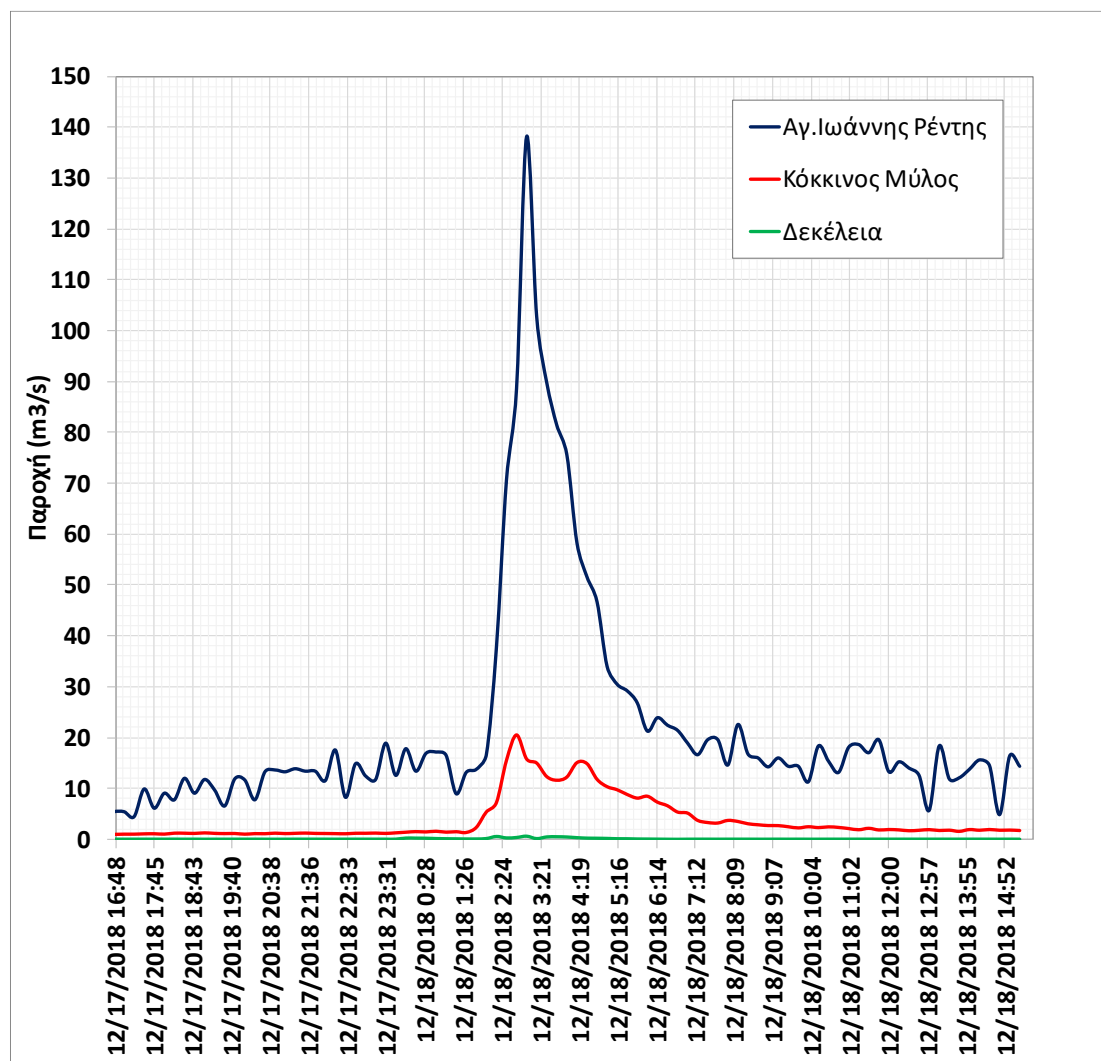
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.50	20.58	138.22
Ελάχιστη τιμή	0.03	0.83	2.35
Μέση τιμή	0.09	3.69	21.54
Τυπική απόκλιση	0.10	4.36	22.87
Συντ.Ασυμμετρίας	2.62	2.00	2.98
Συντ.Μεταβλητότητας	1.06	1.18	1.06
q1	0.05	1.12	11.79
q2	0.05	1.74	14.34
q3	0.08	3.40	18.83
q4	0.50	20.58	138.22

**Πίνακας 3.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης**

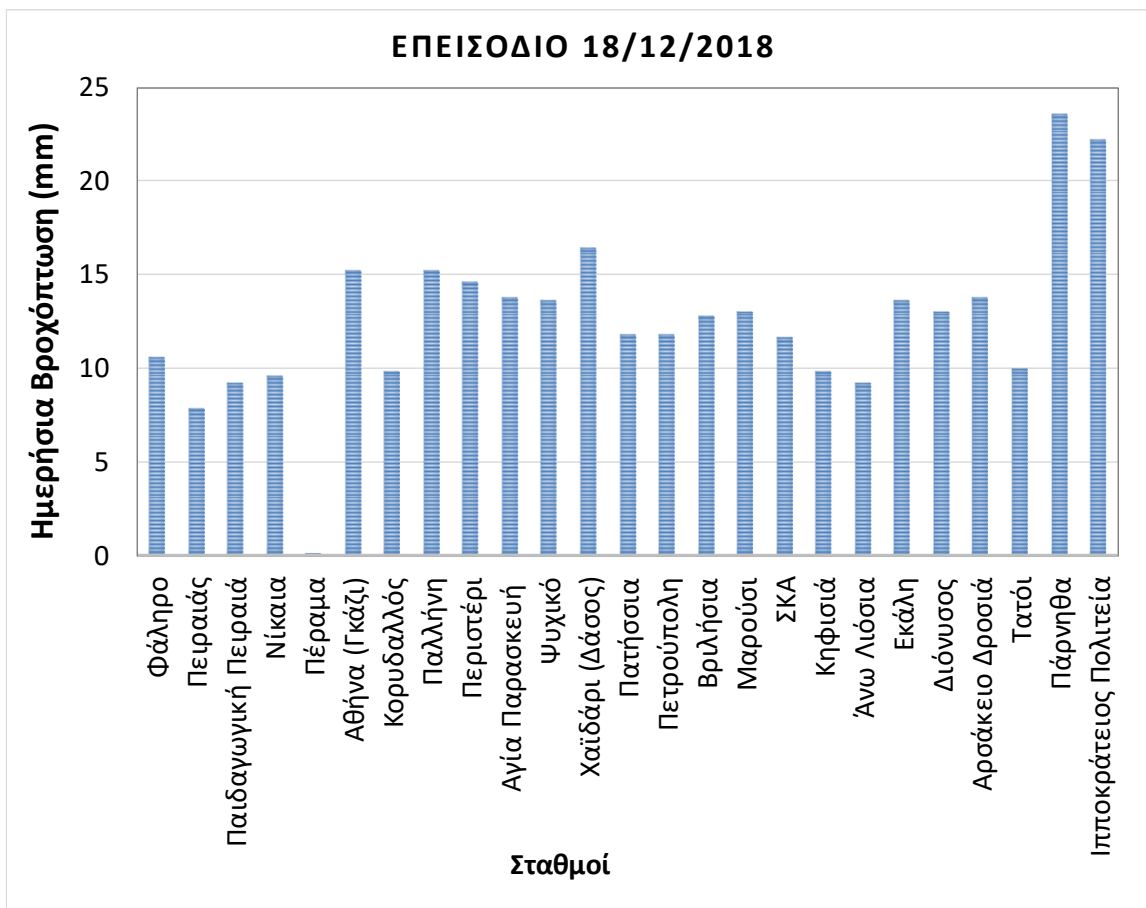
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.75	0.95	0.92
2	0.71	0.87	0.83
3	0.71	0.79	0.69
4	0.53	0.71	0.55
5	0.52	0.65	0.42
6	0.46	0.60	0.32
7	0.40	0.54	0.23
8	0.33	0.46	0.16
9	0.26	0.37	0.11
10	0.18	0.29	0.06

Πίνακας 3.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης

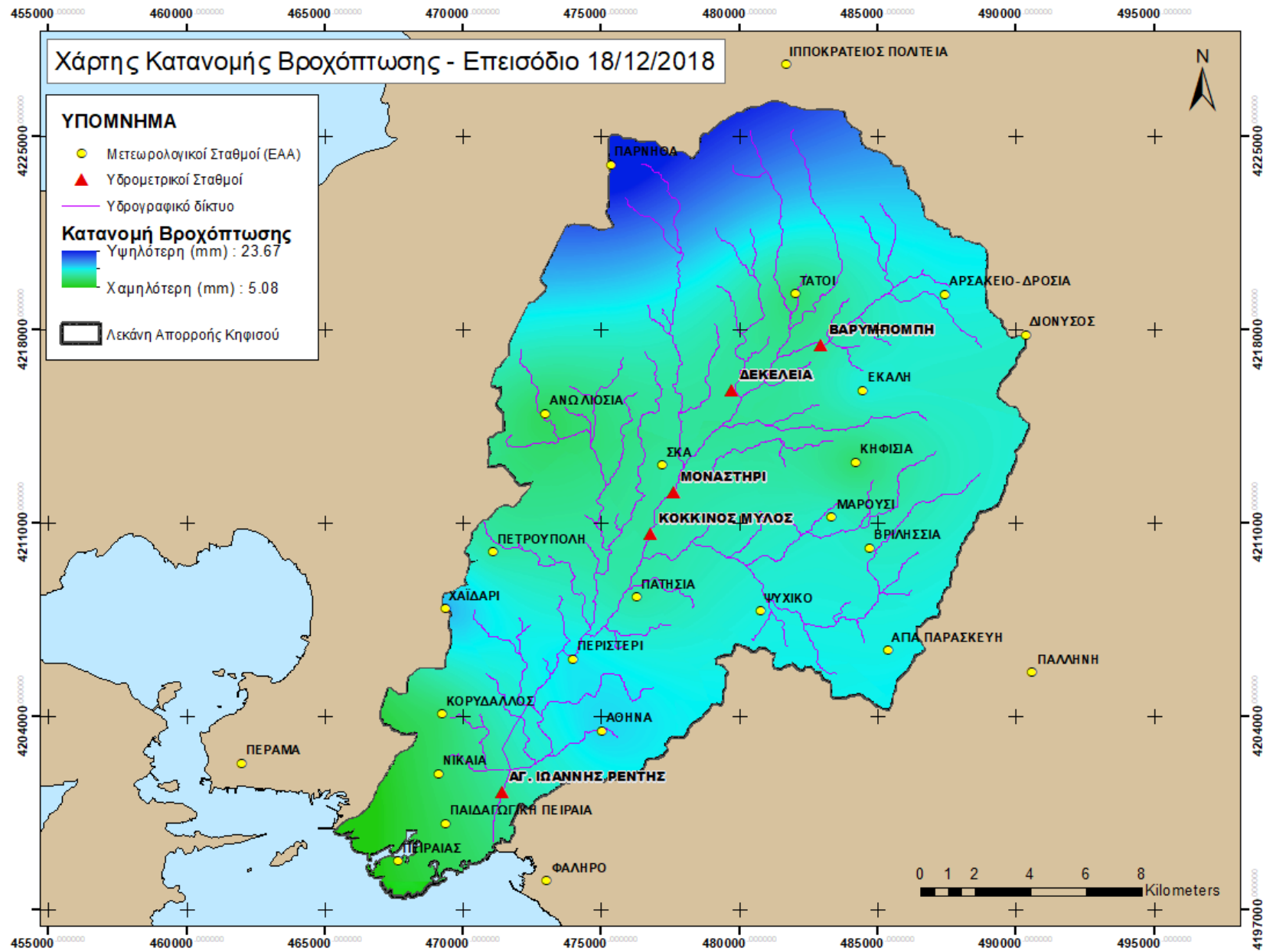
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.73	0.82	0.89
1	0.80	0.81	0.89
2	0.82	0.77	0.81
3	0.75	0.74	0.68
4	0.69	0.61	0.56
5	0.65	0.49	0.44
6	0.65	0.42	0.32
7	0.63	0.38	0.22
8	0.65	0.34	0.14
9	0.63	0.33	0.07
10	0.58	0.34	0.01



Σχήμα 3.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 3.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης



## Επεισόδιο 4 (15/12/2018)

Πίνακας 4.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.08	0.49	1.20
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.15	0.11
Μέση τιμή	0.03	0.26	0.44
Τυπική απόκλιση	0.01	0.10	0.20
Συντ.Ασυμμετρίας	2.03	0.65	1.32
Συντ.Μεταβλητότητας	0.43	0.41	0.46
q1	0.02	0.17	0.17
q2	0.02	0.18	0.18
q3	0.03	0.36	0.36
q4	0.08	0.49	0.49

Πίνακας 4.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης

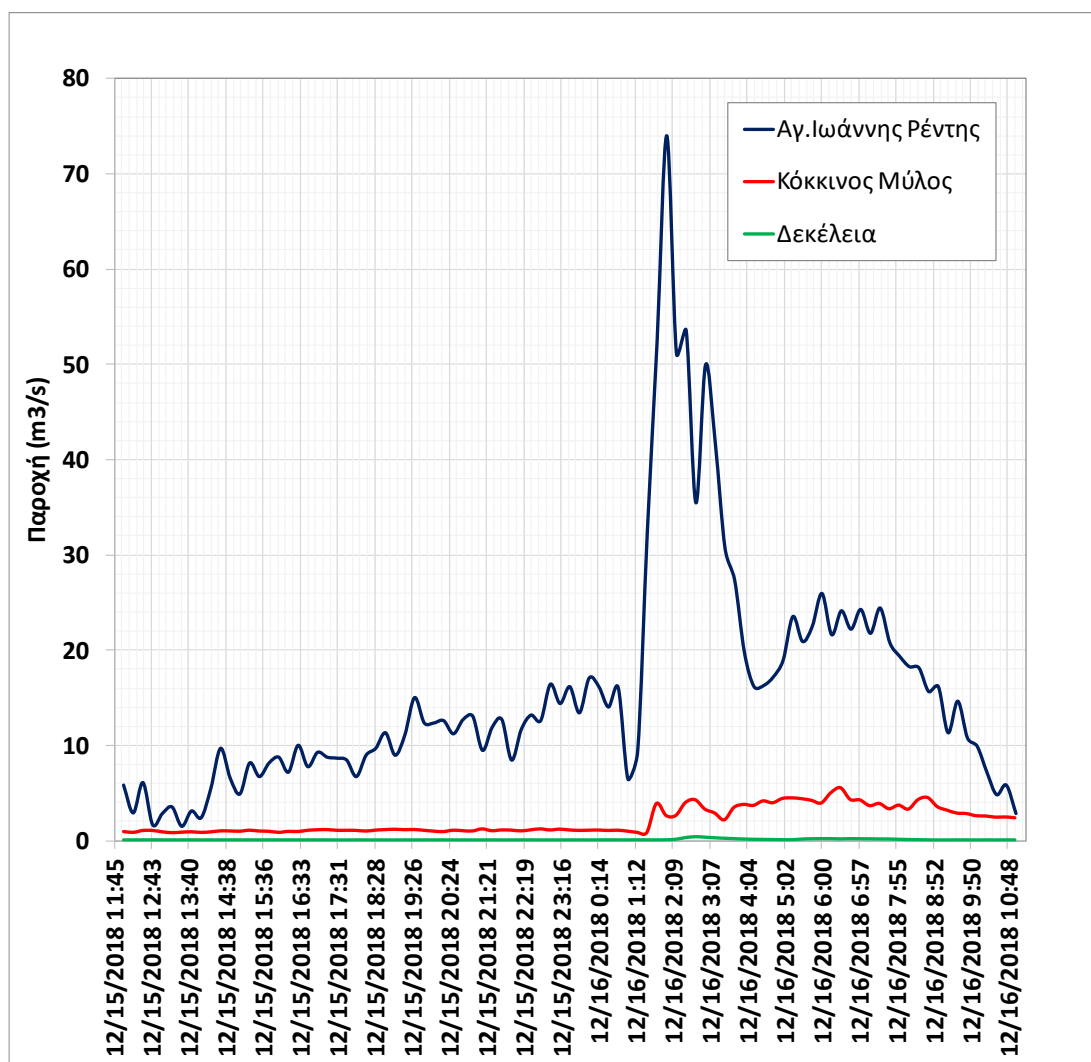
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.38	5.56	74.01
Ελάχιστη τιμή	0.04	0.82	1.51
Μέση τιμή	0.08	2.08	15.69
Τυπική απόκλιση	0.07	1.38	12.53
Συντ.Ασυμμετρίας	2.49	0.77	2.21
Συντ.Μεταβλητότητας	0.82	0.66	0.80
q1	0.05	1.01	8.46
q2	0.05	1.12	12.60
q3	0.07	3.34	18.96
q4	0.38	5.56	74.01

Πίνακας 4.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης

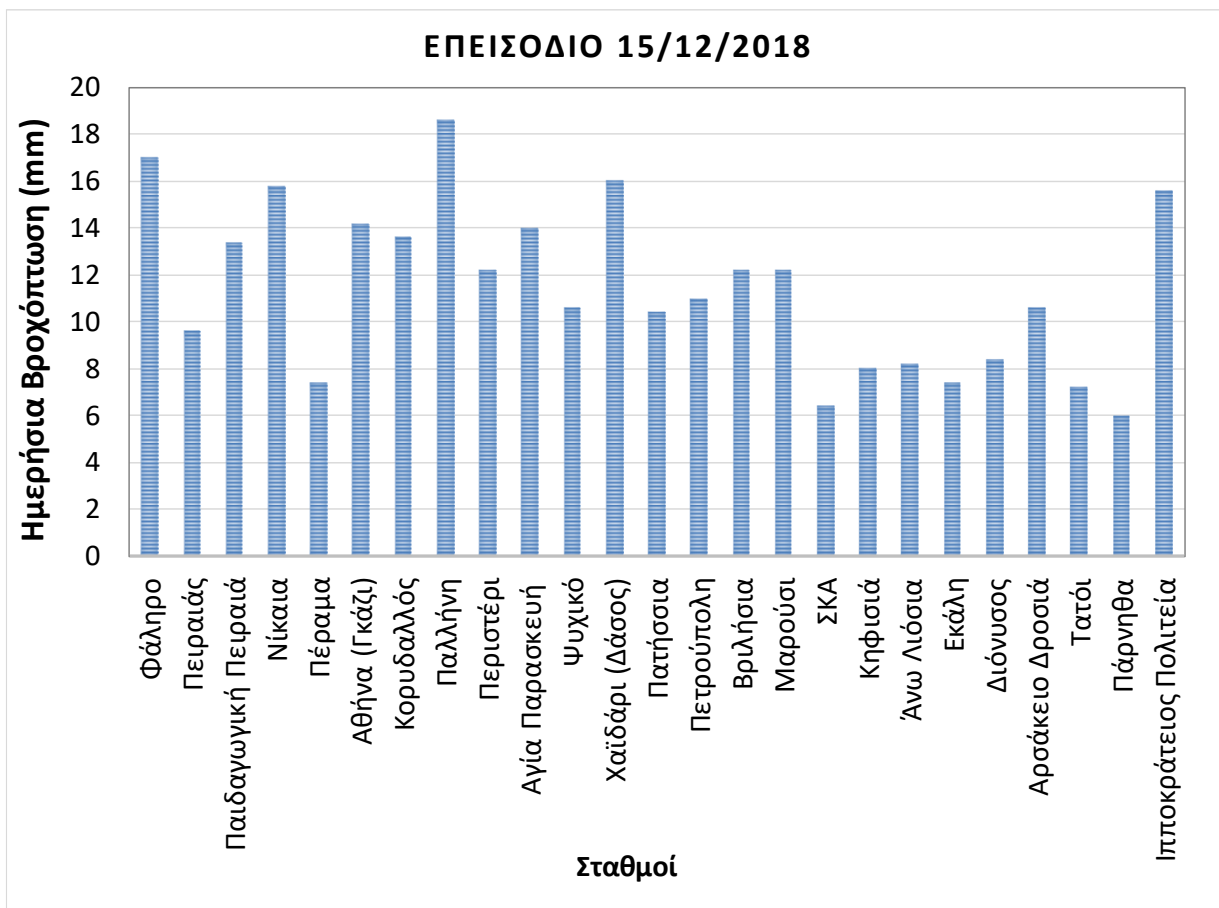
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.92	0.93	0.89
2	0.75	0.89	0.77
3	0.57	0.87	0.62
4	0.42	0.85	0.53
5	0.30	0.82	0.47
6	0.20	0.79	0.38
7	0.14	0.77	0.30
8	0.10	0.77	0.22
9	0.10	0.75	0.19
10	0.12	0.73	0.18

Πίνακας 4.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης

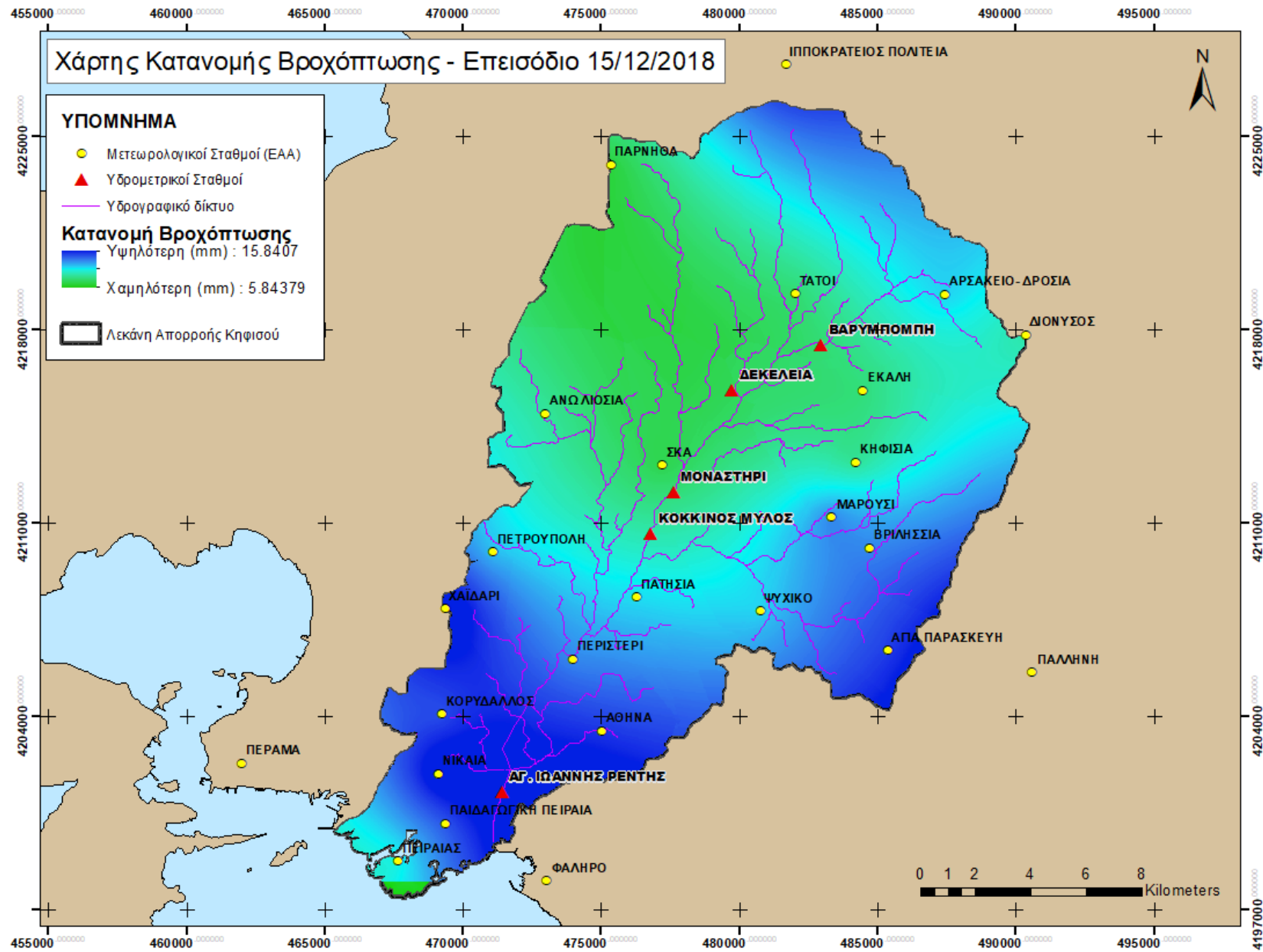
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.61	0.62	0.53
1	0.59	0.54	0.48
2	0.57	0.46	0.39
3	0.57	0.34	0.33
4	0.59	0.24	0.24
5	0.63	0.16	0.21
6	0.64	0.11	0.13
7	0.65	0.08	0.07
8	0.66	0.07	0.04
9	0.66	0.06	0.01
10	0.65	0.05	0.00



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 4.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης





## Επεισόδιο 5 (13/12/2018)

Πίνακας 5.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.10	0.63	1.12
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.14	0.17
Μέση τιμή	0.03	0.29	0.41
Τυπική απόκλιση	0.02	0.16	0.23
Συντ.Ασυμμετρίας	1.78	0.94	1.85
Συντ.Μεταβλητότητας	0.65	0.54	0.57
q1	0.02	0.16	0.16
q2	0.02	0.23	0.23
q3	0.03	0.39	0.39
q4	0.10	0.63	0.63

Πίνακας 5.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης

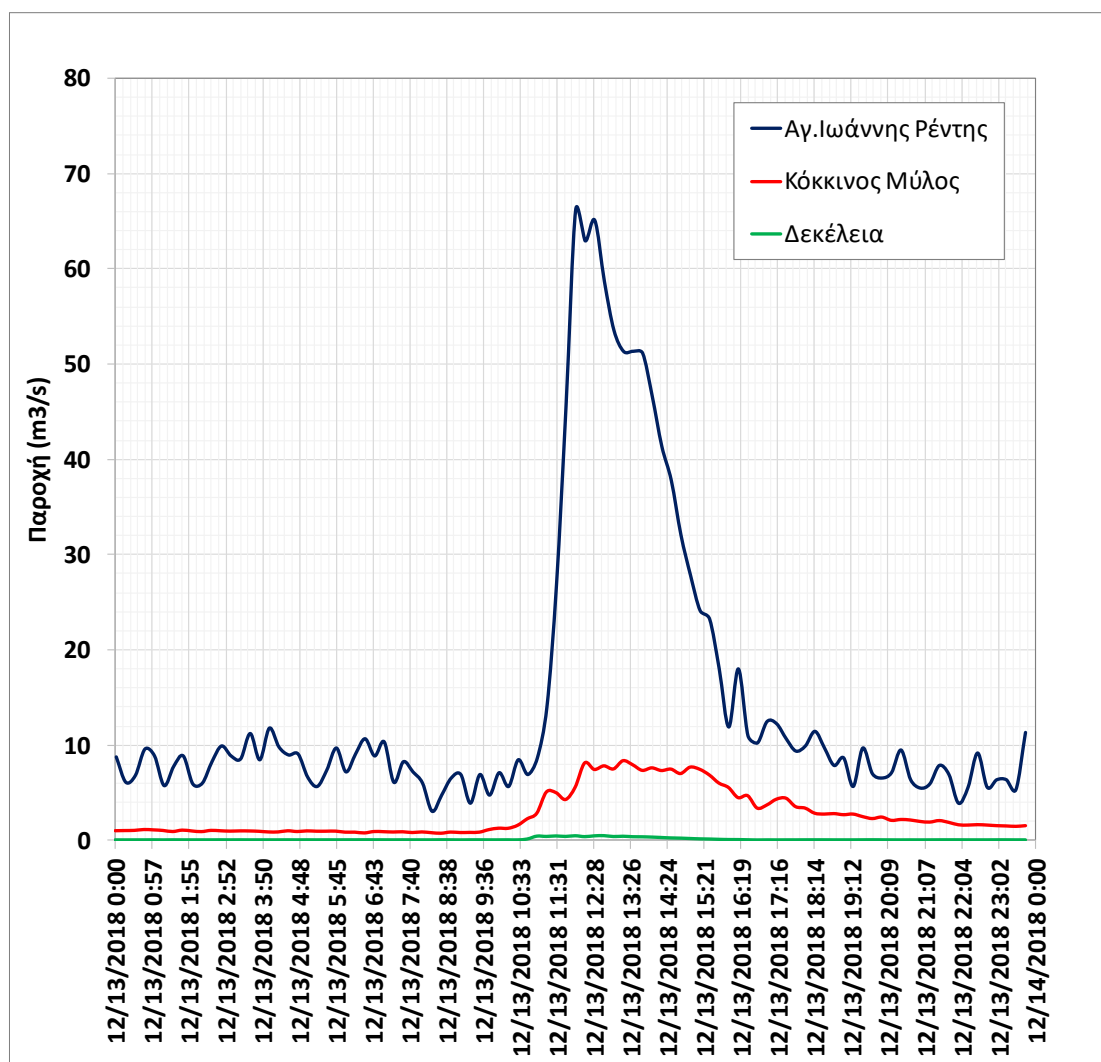
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.48	8.31	66.20
Ελάχιστη τιμή	0.04	0.71	3.06
Μέση τιμή	0.11	2.71	14.79
Τυπική απόκλιση	0.13	2.37	15.50
Συντ.Ασυμμετρίας	1.92	1.18	2.12
Συντ.Μεταβλητότητας	1.18	0.87	1.05
q1	0.05	0.93	6.62
q2	0.05	1.56	8.87
q3	0.05	3.81	11.54
q4	0.48	8.31	66.20

Πίνακας 5.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης

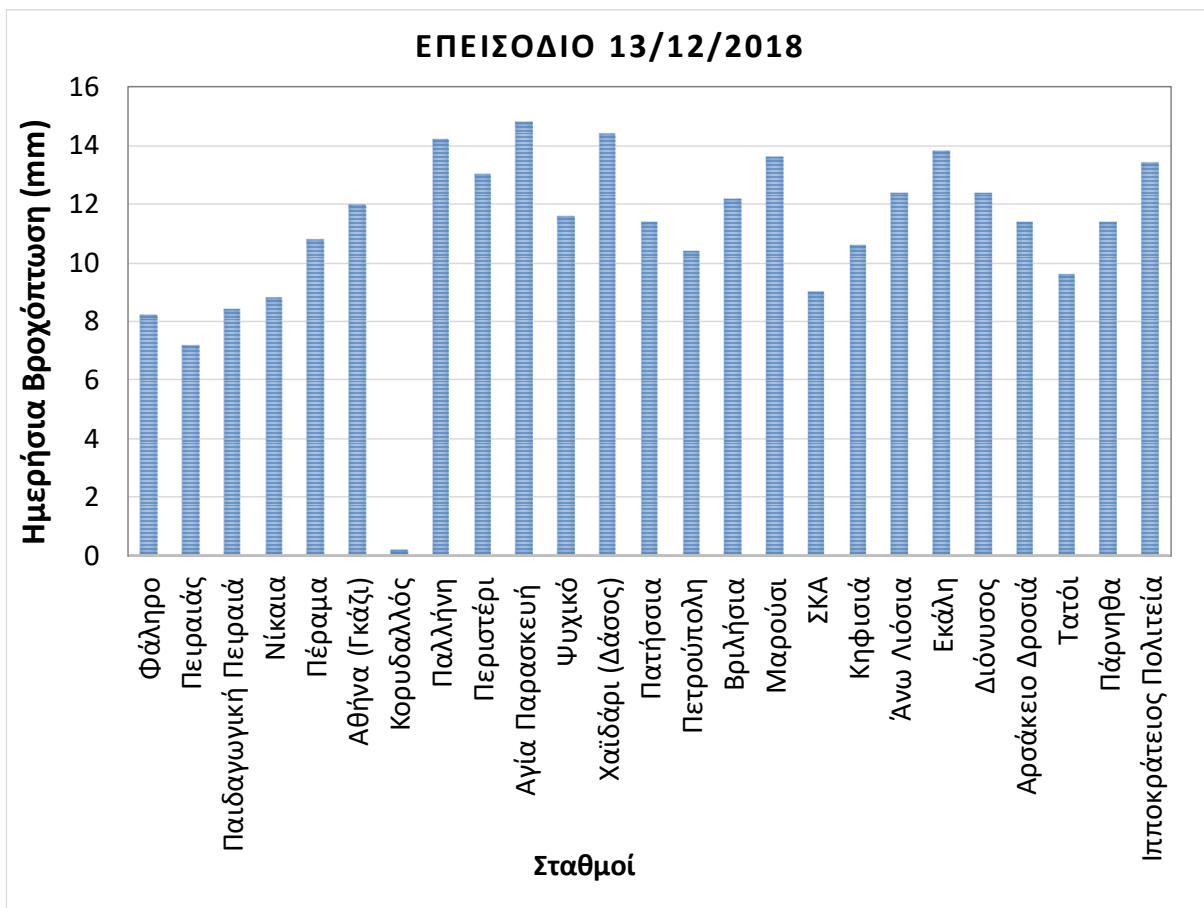
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.95	0.98	0.96
2	0.91	0.95	0.90
3	0.84	0.92	0.82
4	0.77	0.89	0.73
5	0.69	0.84	0.63
6	0.61	0.79	0.54
7	0.53	0.73	0.45
8	0.42	0.67	0.36
9	0.34	0.60	0.26
10	0.25	0.53	0.18

Πίνακας 5.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης

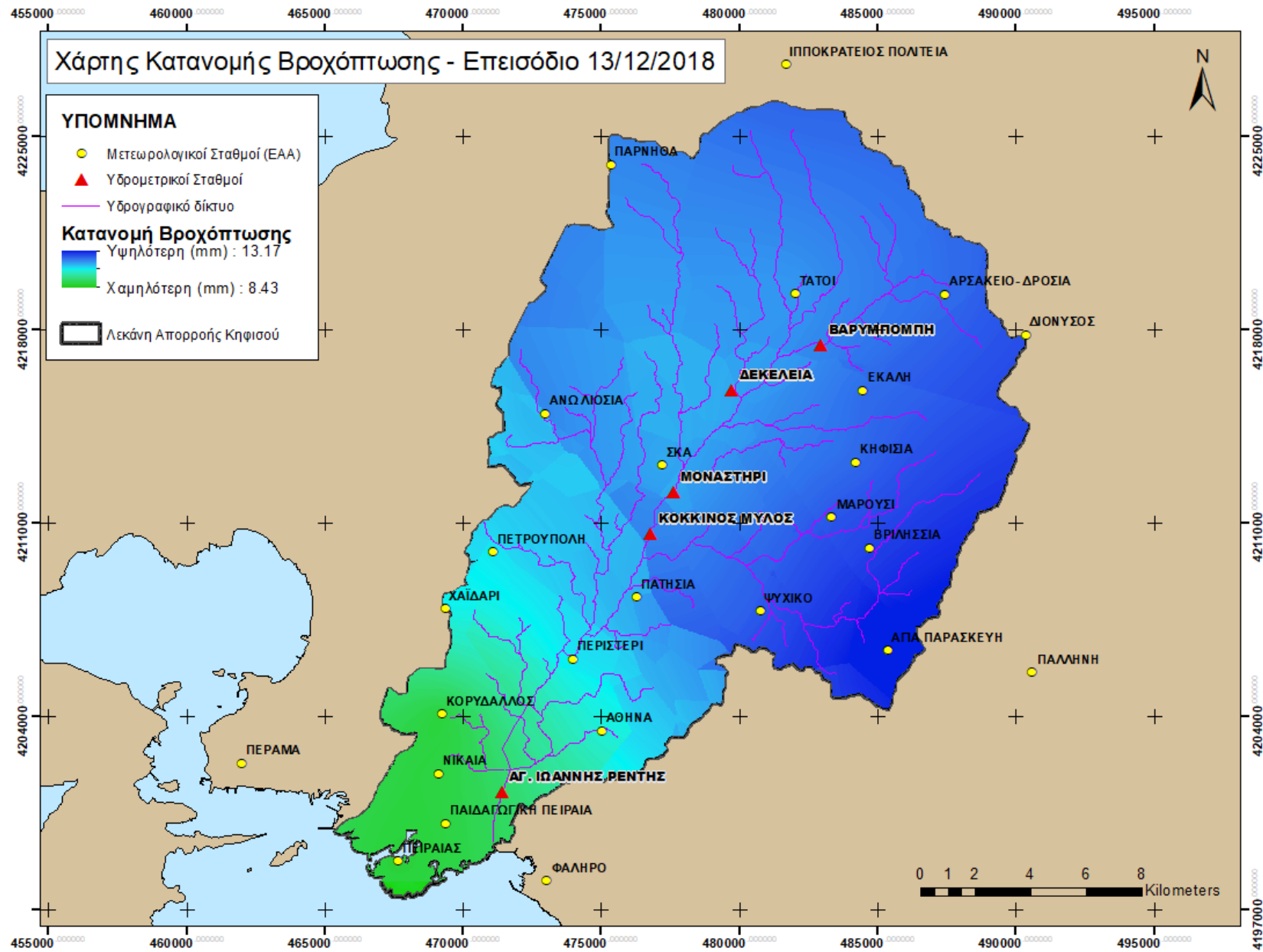
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.77	0.88	0.88
1	0.83	0.93	0.93
2	0.85	0.96	0.96
3	0.87	0.96	0.96
4	0.89	0.93	0.93
5	0.90	0.84	0.84
6	0.87	0.75	0.75
7	0.84	0.65	0.65
8	0.80	0.56	0.56
9	0.76	0.47	0.47
10	0.71	0.39	0.39



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης



## Επεισόδιο 6 (21/11/2018)

Πίνακας 6.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.16	0.83	1.61
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.16	0.12
Μέση τιμή	0.03	0.30	0.39
Τυπική απόκλιση	0.02	0.16	0.27
Συντ.Ασυμμετρίας	4.18	1.74	2.68
Συντ.Μεταβλητότητας	0.64	0.53	0.71
q1	0.02	0.19	0.27
q2	0.02	0.25	0.34
q3	0.03	0.32	0.39
q4	0.16	0.83	1.61

Πίνακας 6.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης

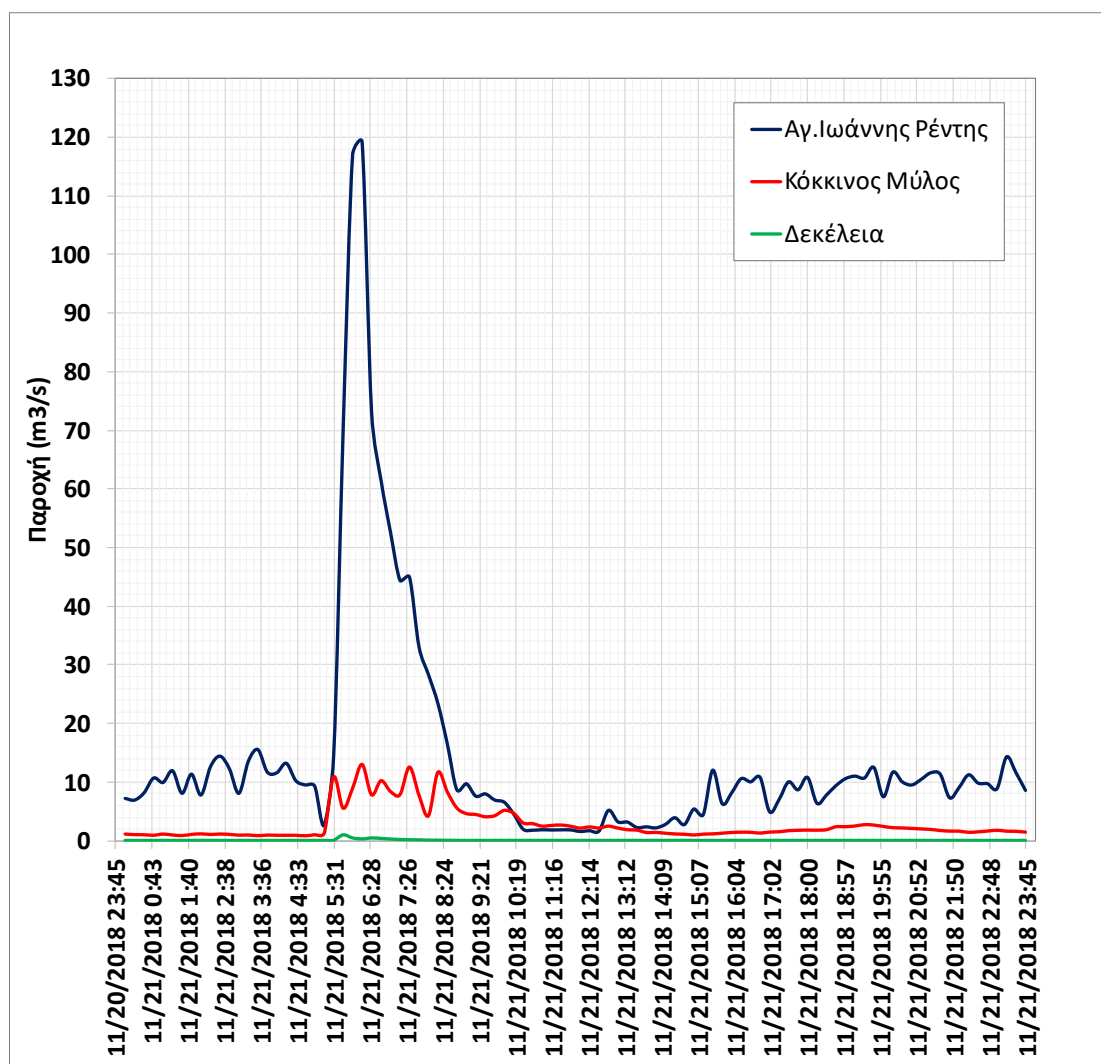
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	1.07	13.02	119.11
Ελάχιστη τιμή	0.04	0.89	1.57
Μέση τιμή	0.09	2.89	14.17
Τυπική απόκλιση	0.13	2.78	20.19
Συντ.Ασυμμετρίας	5.34	2.15	3.67
Συντ.Μεταβλητότητας	1.55	0.96	1.43
q1	0.05	1.21	6.35
q2	0.05	1.83	9.49
q3	0.05	2.71	11.68
q4	1.07	13.02	119.11

Πίνακας 6.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης

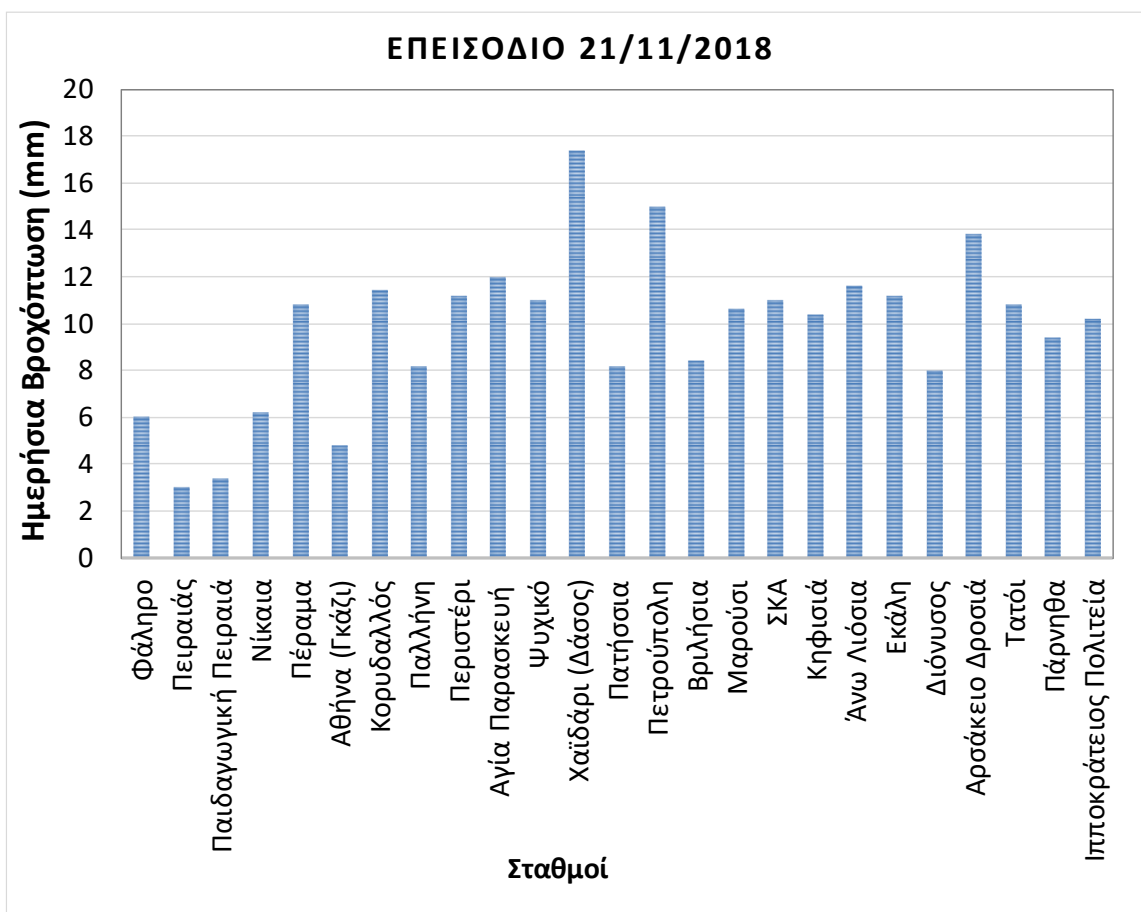
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.59	0.78	0.89
2	0.44	0.75	0.68
3	0.45	0.78	0.49
4	0.33	0.62	0.38
5	0.21	0.59	0.31
6	0.11	0.51	0.24
7	0.06	0.40	0.17
8	0.01	0.40	0.11
9	-0.03	0.27	0.06
10	-0.06	0.16	0.01

Πίνακας 6.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης

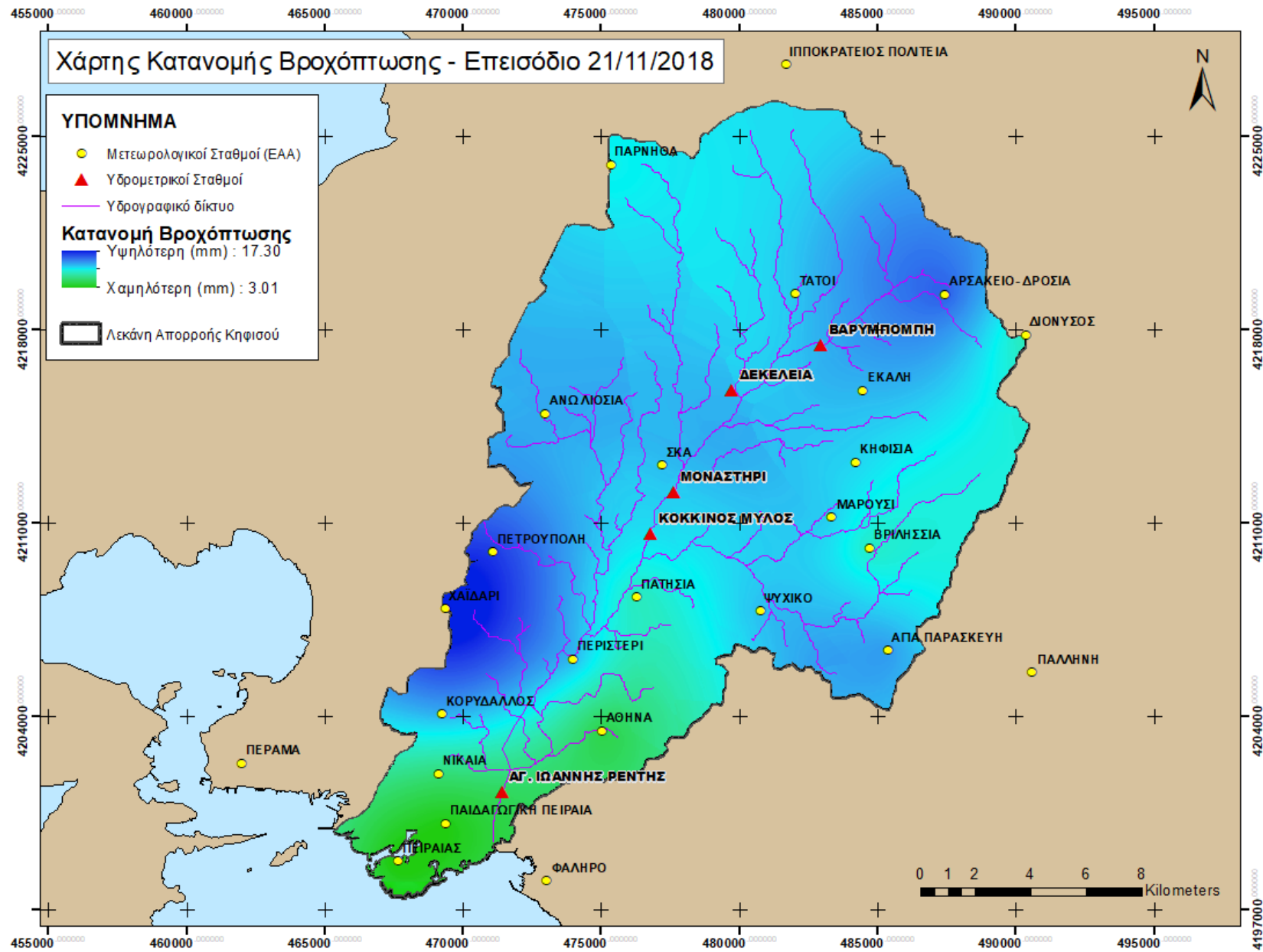
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.52	0.78	0.71
1	0.63	0.88	0.64
2	0.68	0.76	0.56
3	0.56	0.51	0.43
4	0.59	0.40	0.24
5	0.50	0.30	0.13
6	0.49	0.23	0.04
7	0.57	0.18	-0.04
8	0.37	0.09	-0.10
9	0.28	0.03	-0.18
10	0.41	-0.02	-0.22



Σχήμα 6.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 6.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης





## Επεισόδιο 7 (18/11/2018)

Πίνακας 7.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.10	0.95	1.25
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.15	0.28
Μέση τιμή	0.04	0.39	0.52
Τυπική απόκλιση	0.03	0.24	0.28
Συντ.Ασυμμετρίας	0.98	0.96	1.26
Συντ.Μεταβλητότητας	0.61	0.61	0.54
q1	0.02	0.18	0.33
q2	0.02	0.29	0.36
q3	0.06	0.52	0.66
q4	0.10	0.95	1.25

Πίνακας 7.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης

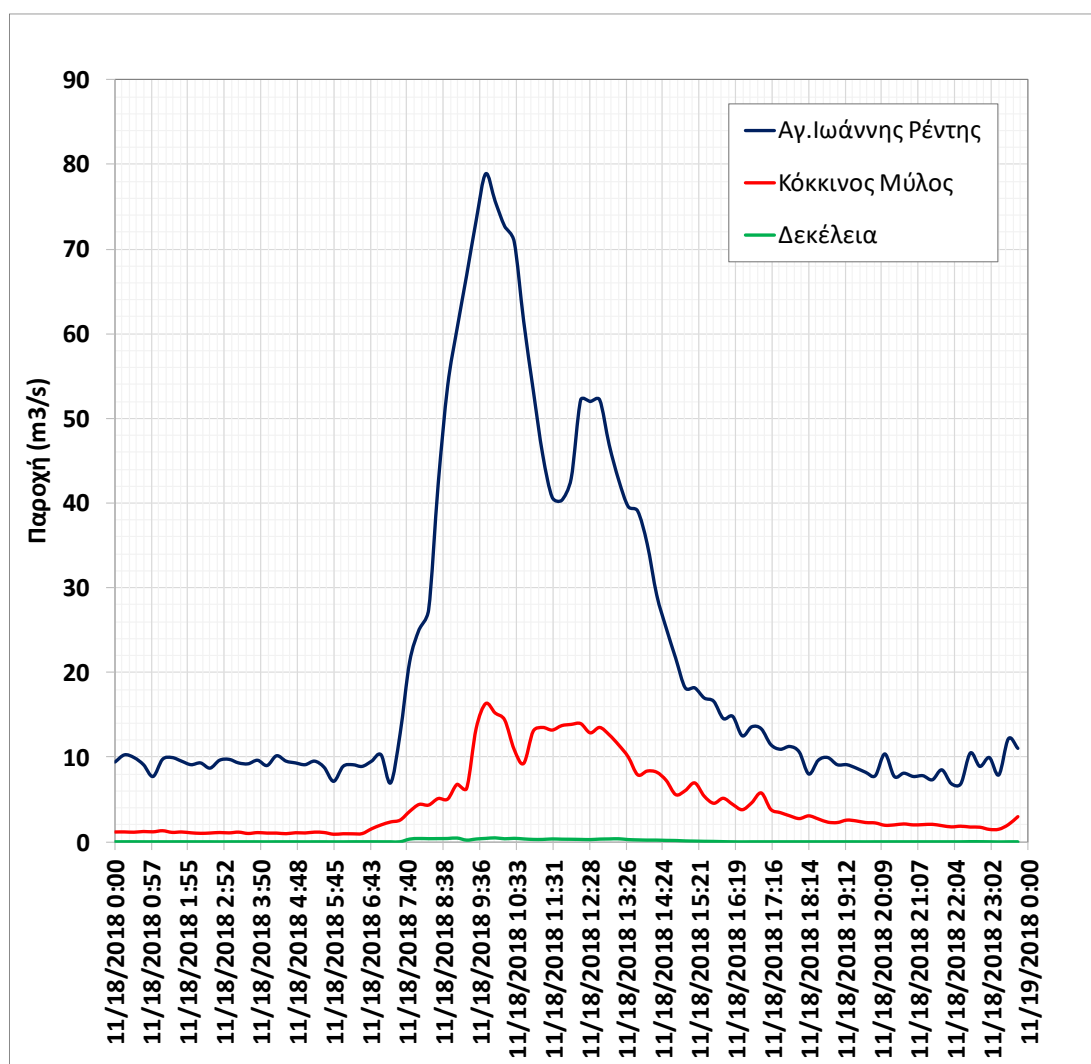
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.50	16.26	78.85
Ελάχιστη τιμή	0.04	0.83	6.83
Μέση τιμή	0.15	4.52	21.46
Τυπική απόκλιση	0.15	4.39	19.85
Συντ.Ασυμμετρίας	1.10	1.27	1.49
Συντ.Μεταβλητότητας	1.00	0.97	0.93
q1	0.05	1.11	9.07
q2	0.05	2.34	10.24
q3	0.25	6.05	27.80
q4	0.50	16.26	78.85

Πίνακας 7.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης

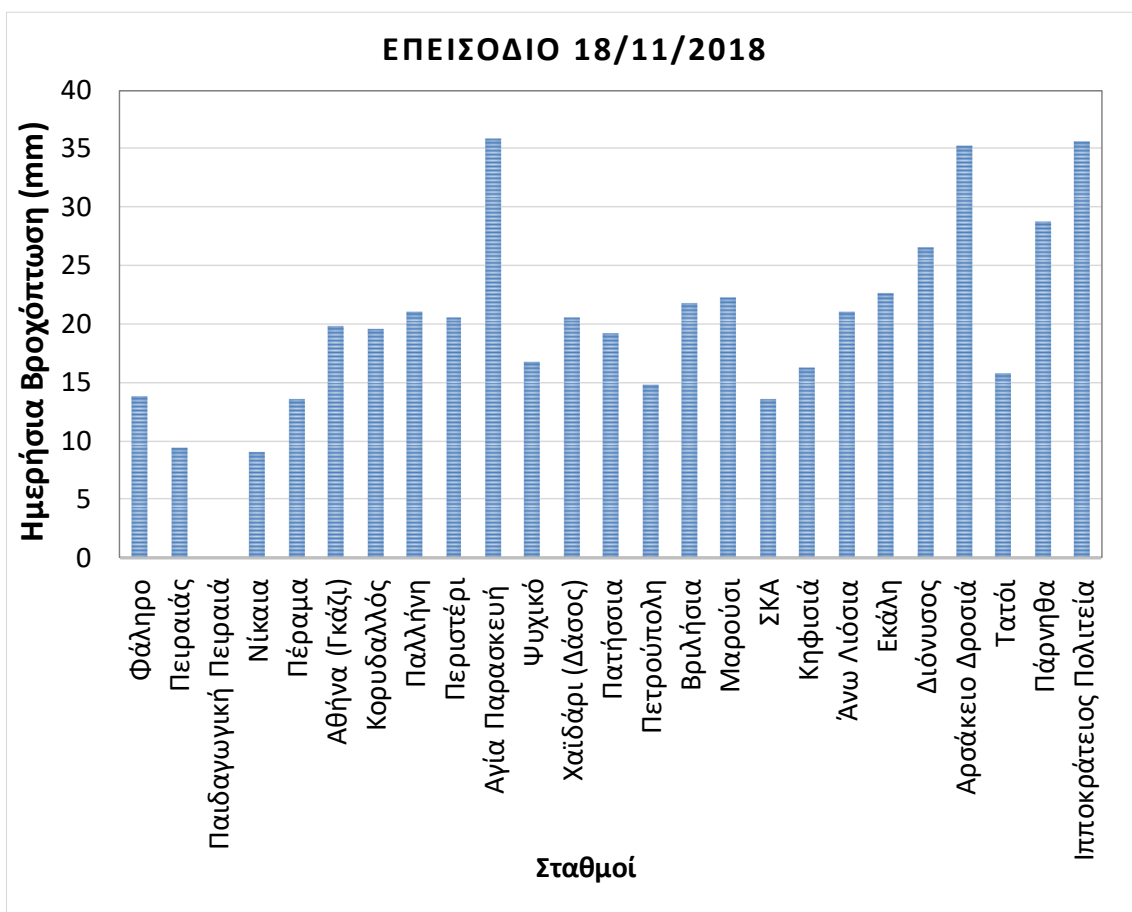
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.94	0.97	0.98
2	0.89	0.92	0.95
3	0.84	0.88	0.89
4	0.81	0.84	0.83
5	0.75	0.81	0.75
6	0.70	0.77	0.68
7	0.67	0.73	0.61
8	0.62	0.67	0.54
9	0.55	0.61	0.47
10	0.48	0.54	0.41

Πίνακας 7.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης

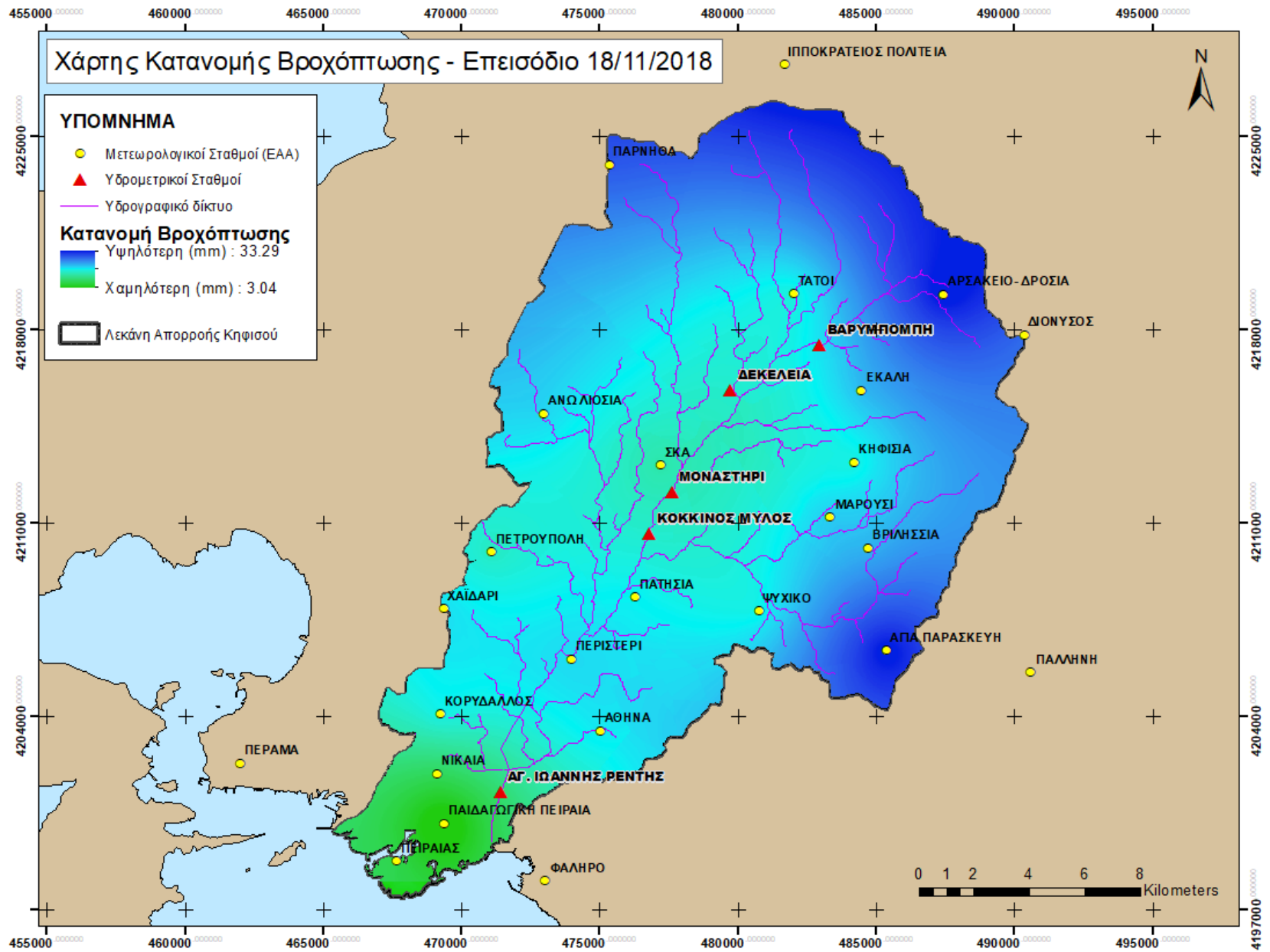
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.84	0.91	0.89
1	0.83	0.92	0.85
2	0.85	0.92	0.80
3	0.87	0.92	0.74
4	0.89	0.89	0.67
5	0.92	0.84	0.59
6	0.91	0.79	0.51
7	0.89	0.73	0.44
8	0.85	0.66	0.38
9	0.79	0.58	0.32
10	0.72	0.50	0.26



Σχήμα 7.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 7.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης



## Επεισόδιο 8 (17/11/2018)

Πίνακας 8.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.05	0.05	0.56
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.02	0.28
Μέση τιμή	0.03	0.03	0.36
Τυπική απόκλιση	0.01	0.01	0.06
Συντ.Ασυμμετρίας	2.84	2.84	1.78
Συντ.Μεταβλητότητας	0.26	0.26	0.15
q1	0.02	0.02	0.18
q2	0.02	0.02	0.22
q3	0.02	0.02	0.29
q4	0.05	0.05	0.37

Πίνακας 8.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης

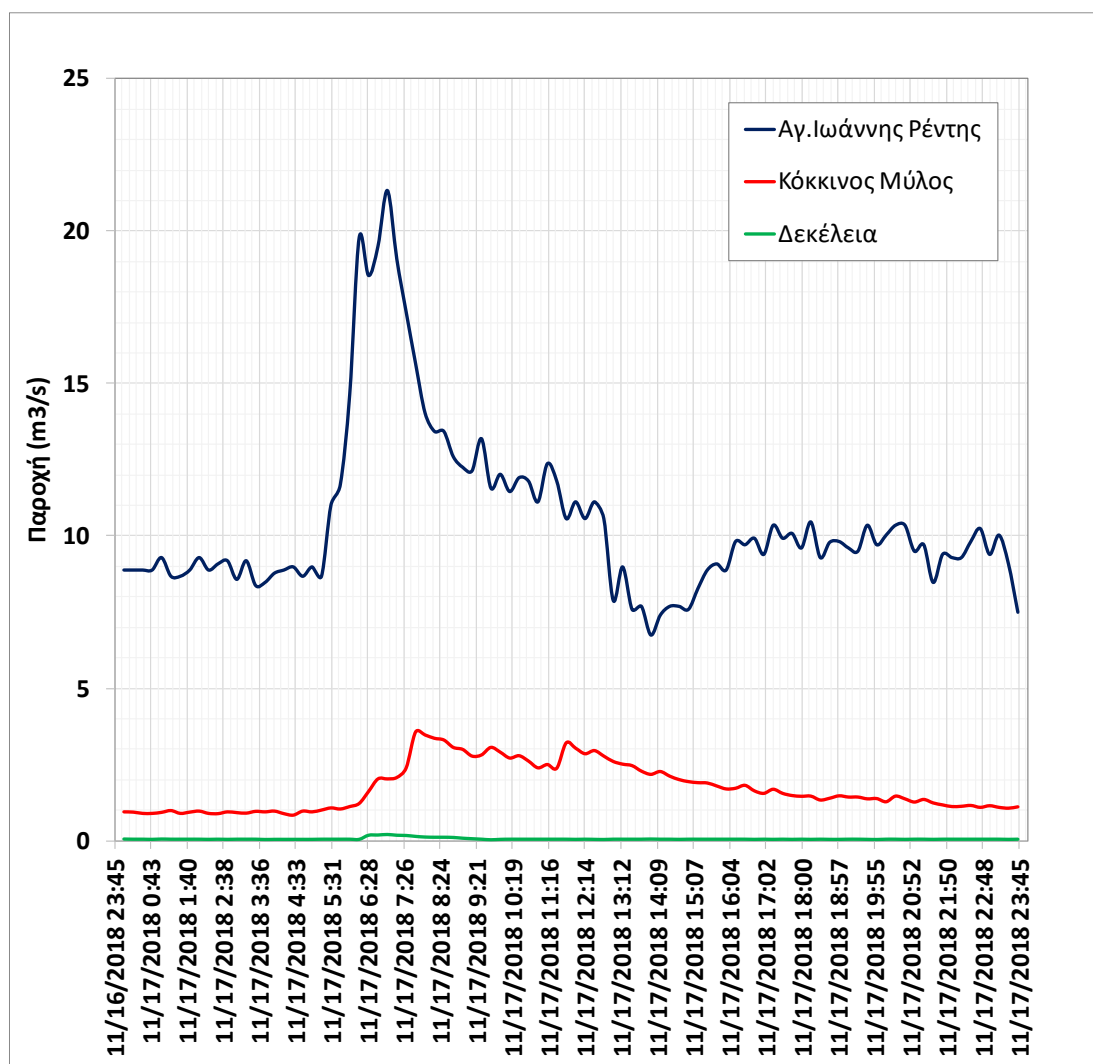
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.19	3.58	21.35
Ελάχιστη τιμή	0.03	0.82	6.73
Μέση τιμή	0.06	1.73	10.48
Τυπική απόκλιση	0.03	0.78	2.82
Συντ.Ασυμμετρίας	3.02	0.71	2.05
Συντ.Μεταβλητότητας	0.51	0.45	0.27
q1	0.05	1.06	8.87
q2	0.05	1.45	9.65
q3	0.05	2.38	11.11
q4	0.19	3.58	21.35

Πίνακας 8.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης

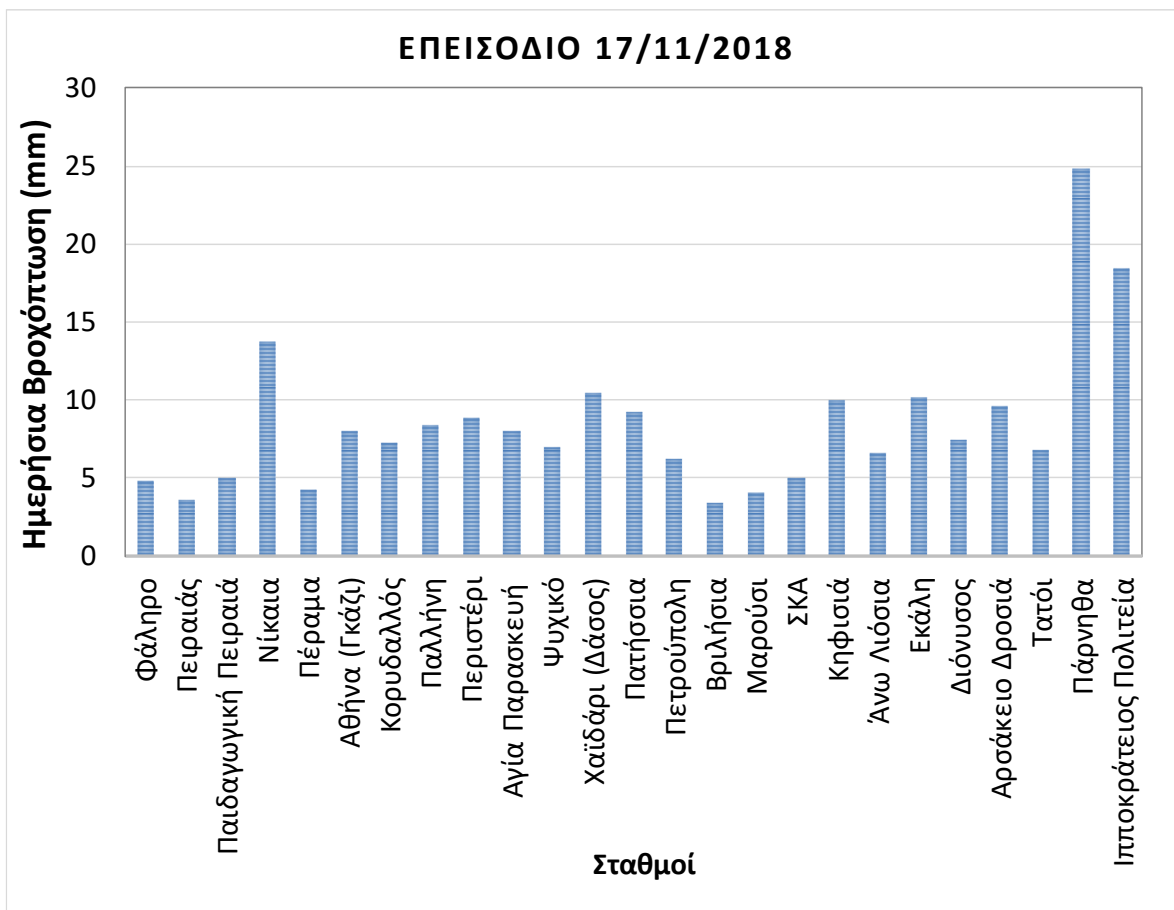
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.89	0.97	0.93
2	0.77	0.93	0.86
3	0.62	0.90	0.77
4	0.49	0.86	0.63
5	0.36	0.81	0.51
6	0.26	0.75	0.40
7	0.18	0.70	0.30
8	0.09	0.65	0.23
9	-0.01	0.58	0.16
10	-0.09	0.52	0.11

Πίνακας 8.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης

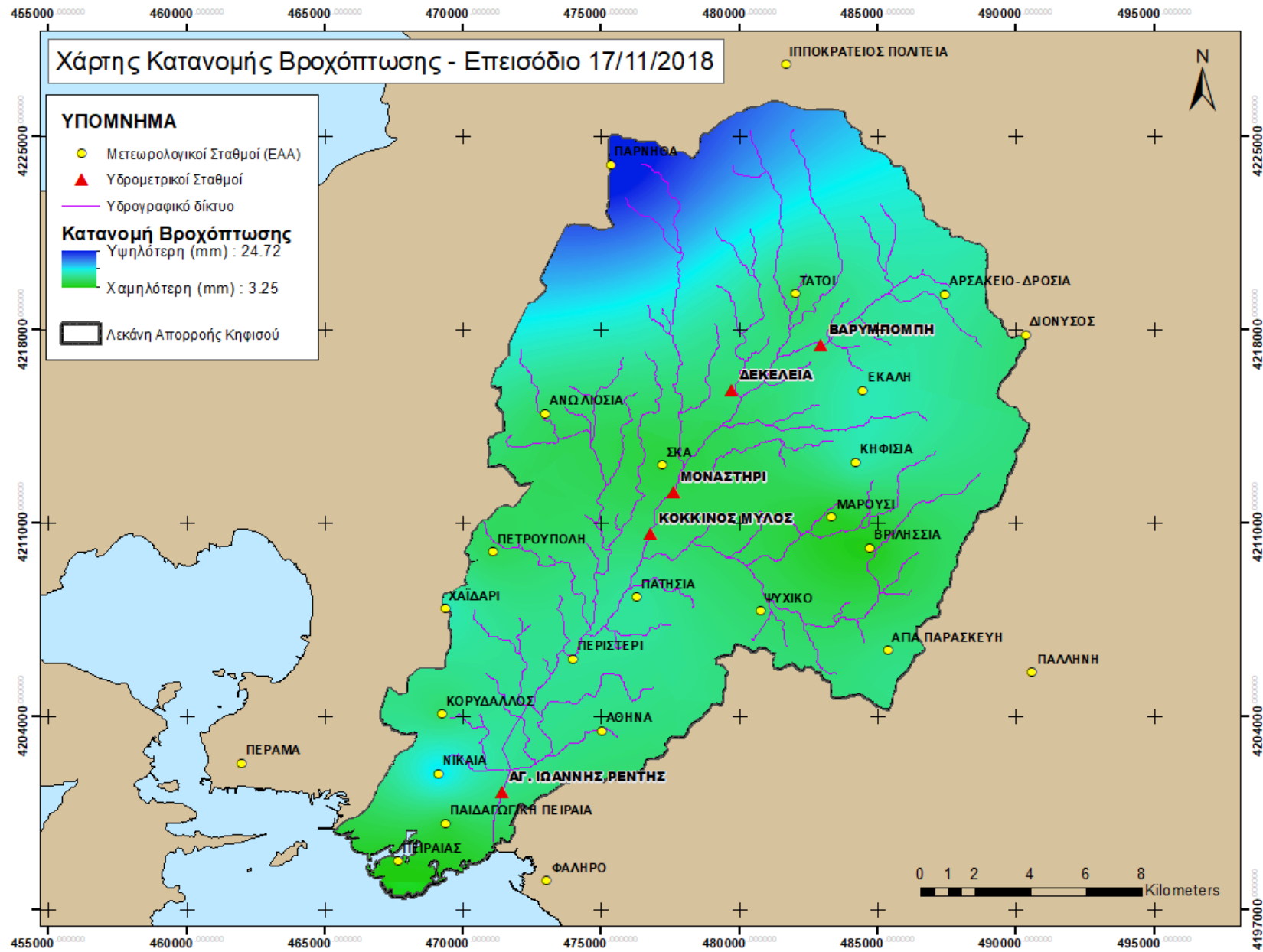
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.33	0.79	0.37
1	0.41	0.73	0.27
2	0.47	0.63	0.18
3	0.54	0.50	0.11
4	0.60	0.40	0.02
5	0.63	0.31	-0.05
6	0.59	0.26	-0.10
7	0.54	0.22	-0.16
8	0.50	0.19	-0.21
9	0.47	0.16	-0.25
10	0.45	0.14	-0.28



Σχήμα 8.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 8.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης





## Επεισόδιο 9 (28/2/2018)

Πίνακας 9.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.07	0.50	0.79
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.17	0.02
Μέση τιμή	0.03	0.27	0.34
Τυπική απόκλιση	0.01	0.08	0.15
Συντ.Ασυμμετρίας	2.91	1.43	0.50
Συντ.Μεταβλητότητας	0.39	0.29	0.44
q1	0.02	0.22	0.25
q2	0.02	0.24	0.33
q3	0.02	0.32	0.43
q4	0.07	0.50	0.79

Πίνακας 9.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης

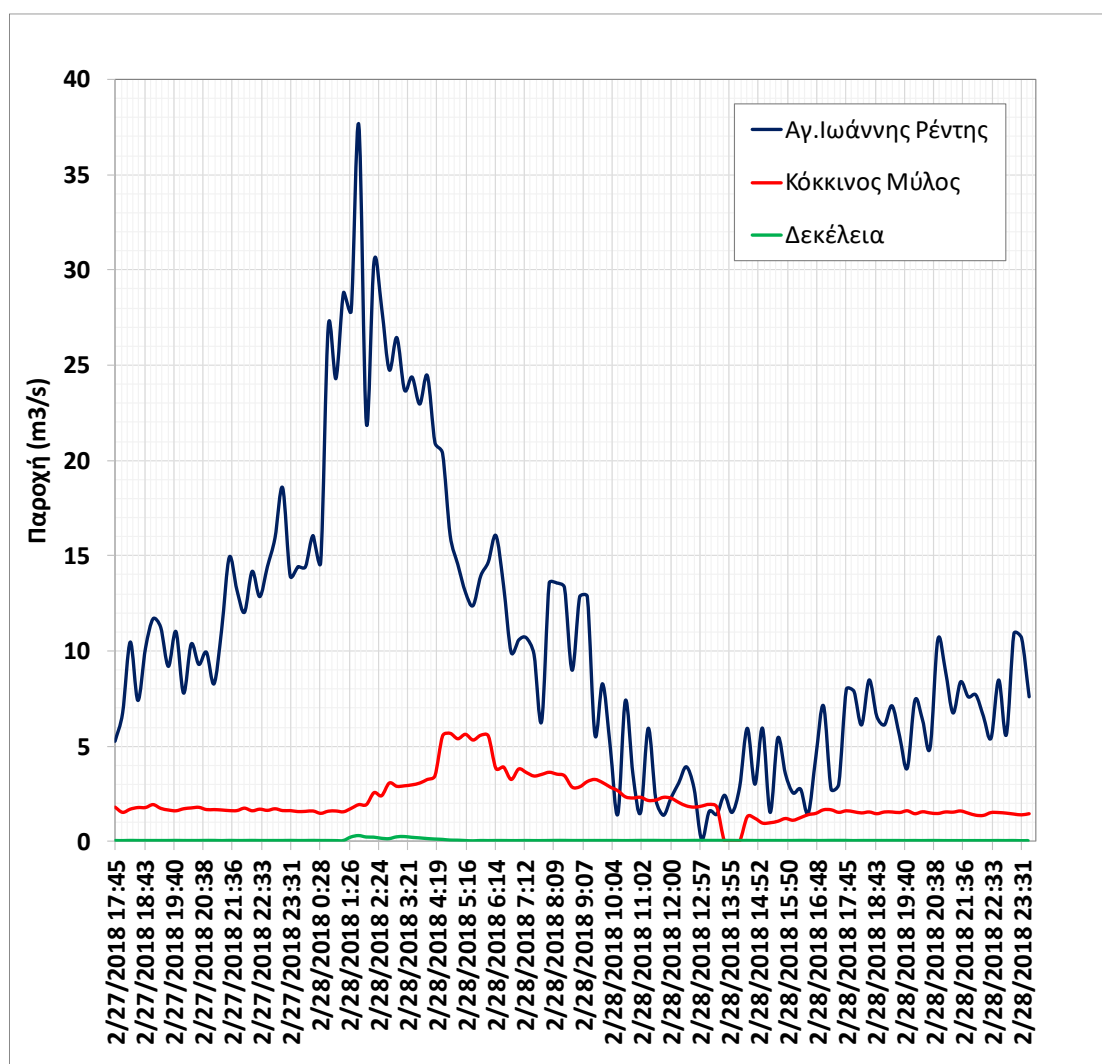
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.31	5.67	37.59
Ελάχιστη τιμή	0.03	0.00	0.09
Μέση τιμή	0.06	2.14	10.54
Τυπική απόκλιση	0.05	1.14	7.44
Συντ.Ασυμμετρίας	3.12	1.50	1.17
Συντ.Μεταβλητότητας	0.81	0.53	0.71
q1	0.05	1.51	5.50
q2	0.05	1.68	8.97
q3	0.05	2.65	13.92
q4	0.31	5.67	37.59

Πίνακας 9.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης

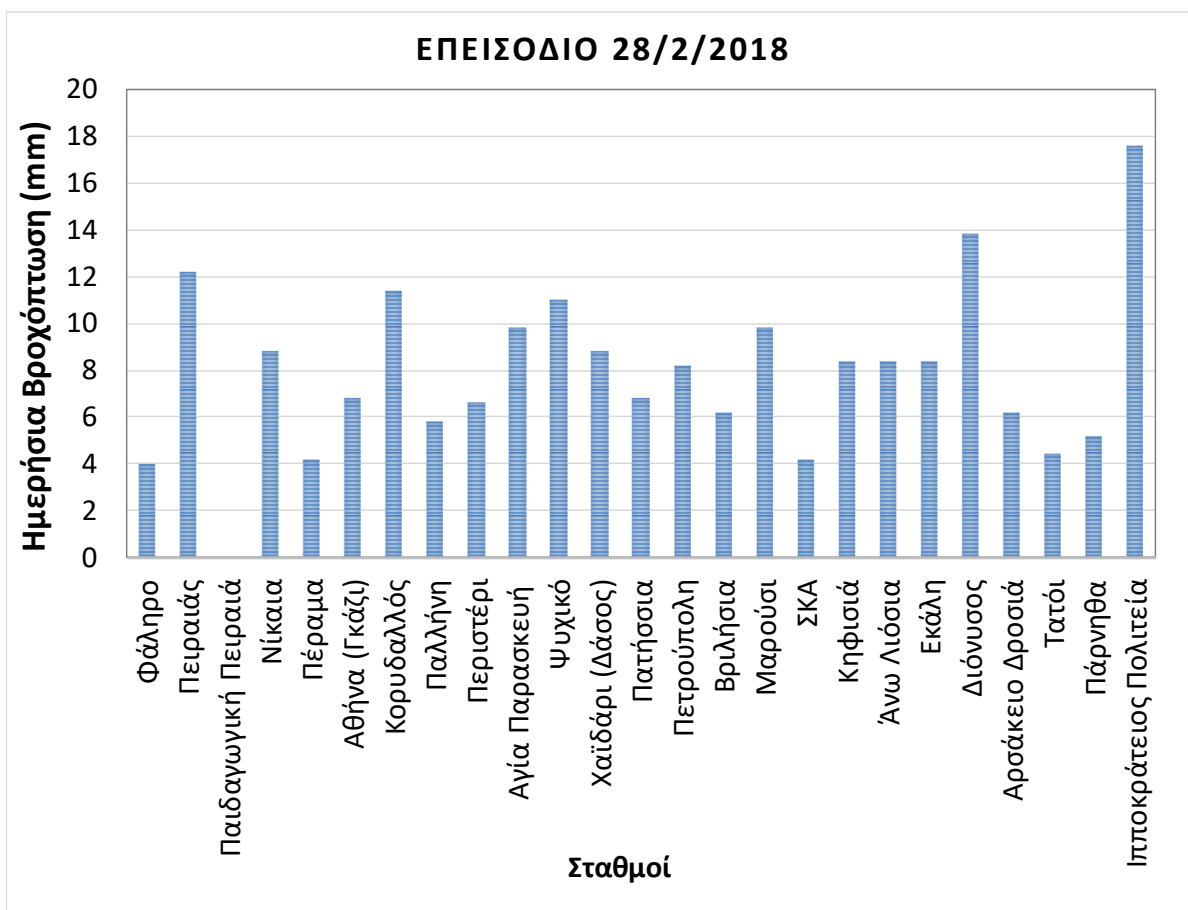
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.89	0.95	0.90
2	0.74	0.90	0.89
3	0.63	0.84	0.87
4	0.55	0.80	0.83
5	0.53	0.76	0.77
6	0.49	0.71	0.76
7	0.37	0.65	0.73
8	0.24	0.61	0.70
9	0.14	0.57	0.67
10	0.05	0.53	0.63

**Πίνακας 9.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης**

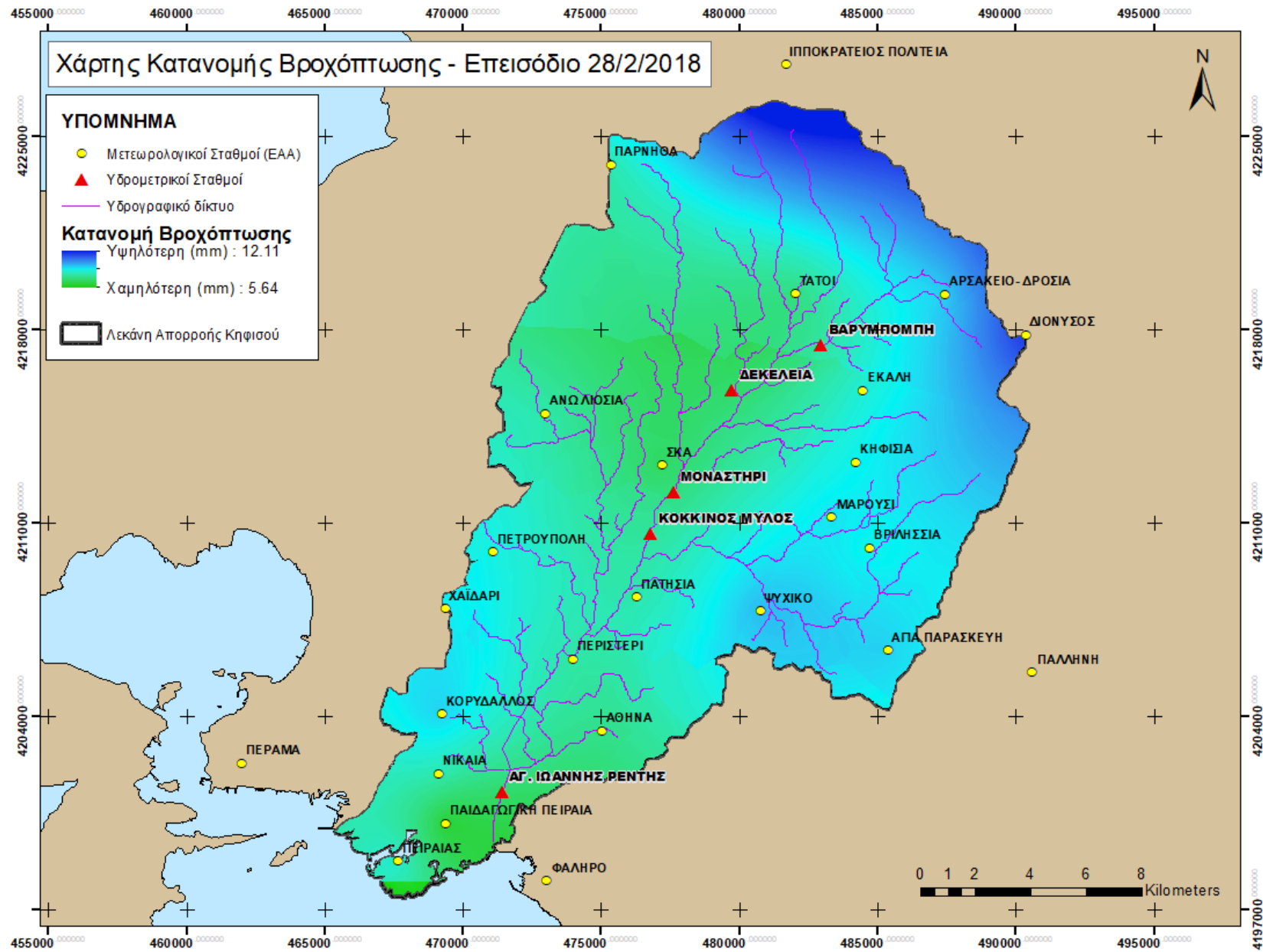
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.15	0.70	0.33
1	0.21	0.65	0.27
2	0.29	0.59	0.22
3	0.37	0.57	0.17
4	0.45	0.50	0.14
5	0.53	0.45	0.10
6	0.59	0.41	0.06
7	0.62	0.36	0.01
8	0.65	0.32	-0.03
9	0.69	0.29	-0.05
10	0.72	0.25	-0.08



**Σχήμα 9.1:** Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 9.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης



## Επεισόδιο 10 (26/2/2018)

**Πίνακας 10.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης**

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.11	0.87	0.87
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.20	0.20
Μέση τιμή	0.04	0.37	0.37
Τυπική απόκλιση	0.03	0.17	0.17
Συντ.Ασυμμετρίας	1.67	1.09	1.09
Συντ.Μεταβλητότητας	0.70	0.46	0.46
q1	0.02	0.24	0.24
q2	0.02	0.30	0.30
q3	0.03	0.50	0.50
q4	0.11	0.87	0.87

**Πίνακας 10.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης**

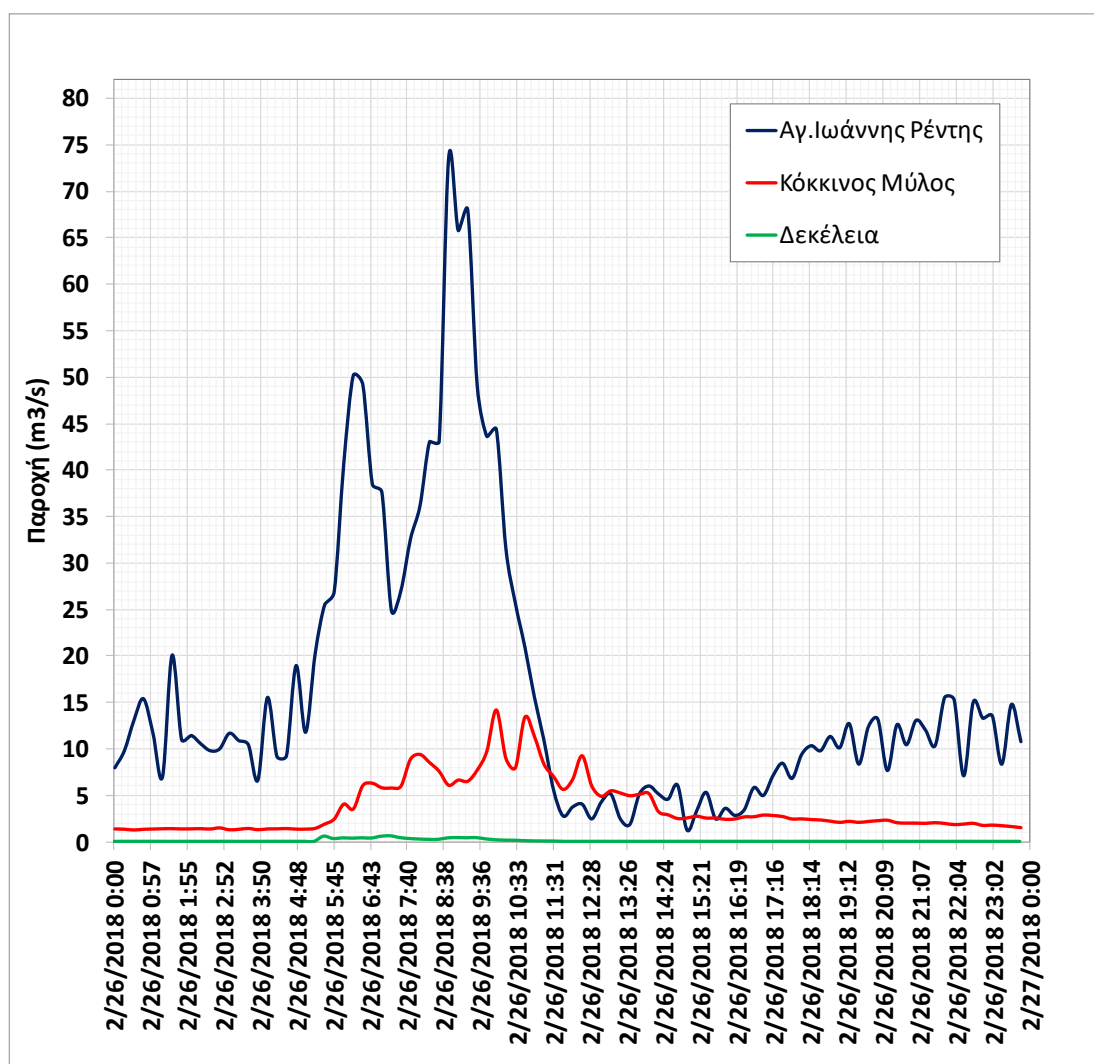
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.63	14.13	73.55
Ελάχιστη τιμή	0.04	1.30	1.27
Μέση τιμή	0.12	3.78	16.45
Τυπική απόκλιση	0.15	2.90	15.48
Συντ.Ασυμμετρίας	1.91	1.48	1.82
Συντ.Μεταβλητότητας	1.24	0.77	0.94
q1	0.05	1.73	6.78
q2	0.05	2.46	10.89
q3	0.08	5.67	19.24
q4	0.63	14.13	73.55

**Πίνακας 10.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης**

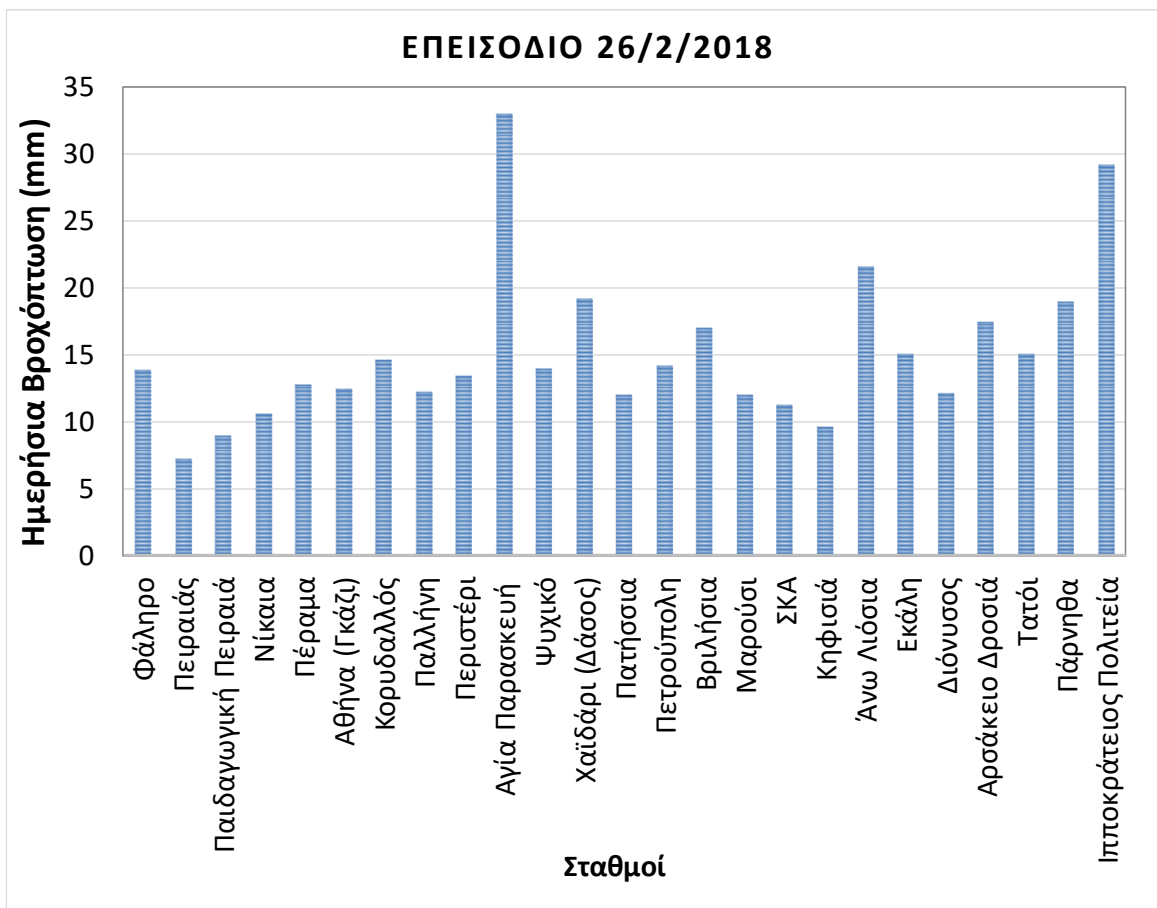
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.88	0.91	0.92
2	0.81	0.83	0.86
3	0.73	0.82	0.77
4	0.67	0.79	0.68
5	0.61	0.75	0.59
6	0.60	0.71	0.50
7	0.55	0.65	0.45
8	0.45	0.60	0.40
9	0.38	0.58	0.36
10	0.31	0.50	0.32

**Πίνακας 10.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης**

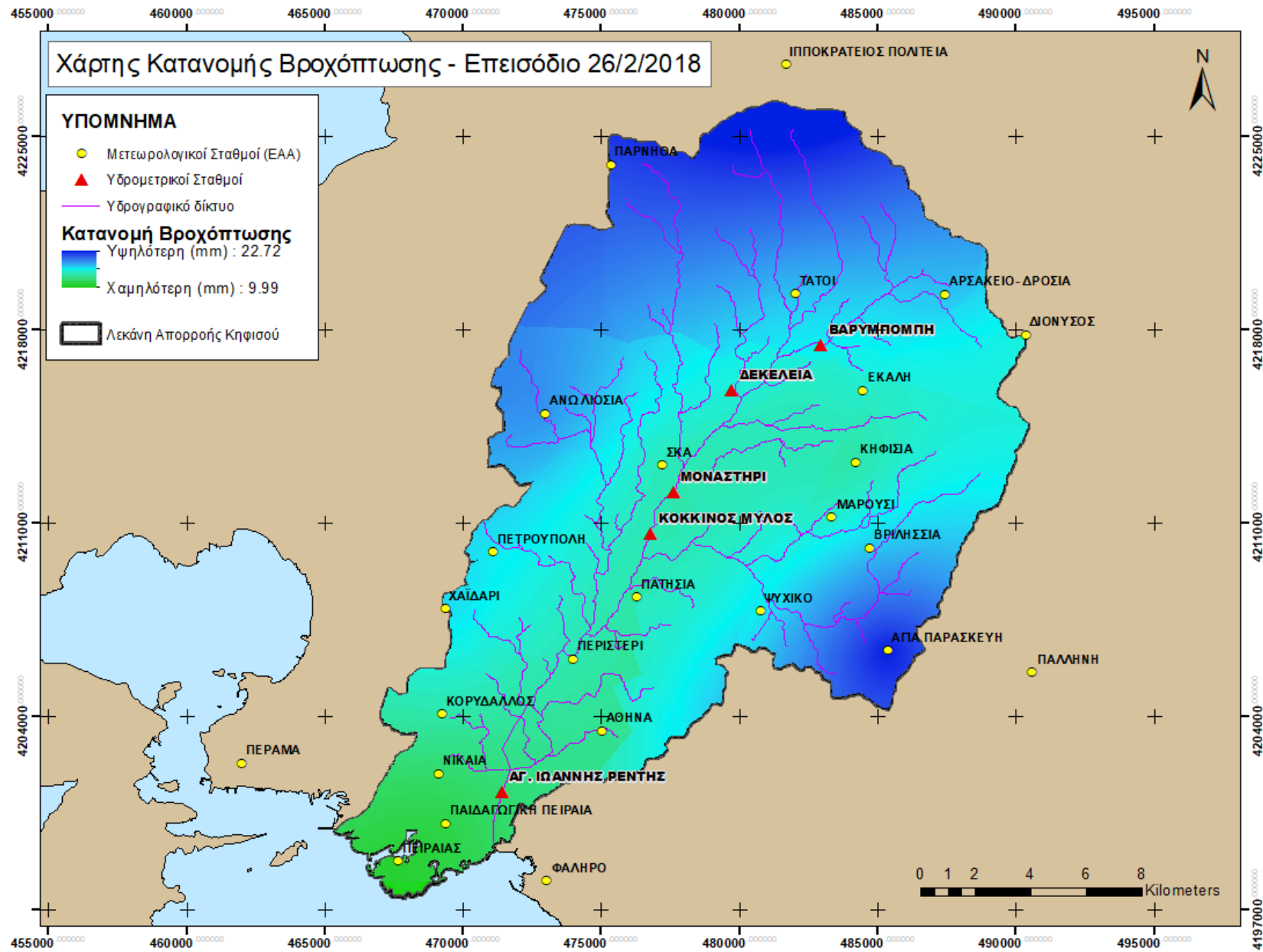
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.45	0.80	0.48
1	0.54	0.78	0.41
2	0.65	0.78	0.34
3	0.70	0.74	0.28
4	0.76	0.70	0.23
5	0.77	0.66	0.16
6	0.74	0.65	0.09
7	0.75	0.62	0.03
8	0.75	0.59	-0.02
9	0.76	0.55	-0.08
10	0.76	0.49	-0.16



**Σχήμα 10.1:** Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 10.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης





## Επεισόδιο 11 (24/2/2018)

**Πίνακας 11.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης**

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.12	0.62	1.90
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.20	0.08
Μέση τιμή	0.03	0.31	0.36
Τυπική απόκλιση	0.02	0.12	0.28
Συντ.Ασυμμετρίας	2.27	1.27	3.08
Συντ.Μεταβλητότητας	0.63	0.38	0.77
q1	0.02	0.22	0.25
q2	0.02	0.24	0.30
q3	0.02	0.33	0.36
q4	0.12	0.62	1.90

**Πίνακας 11.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης**

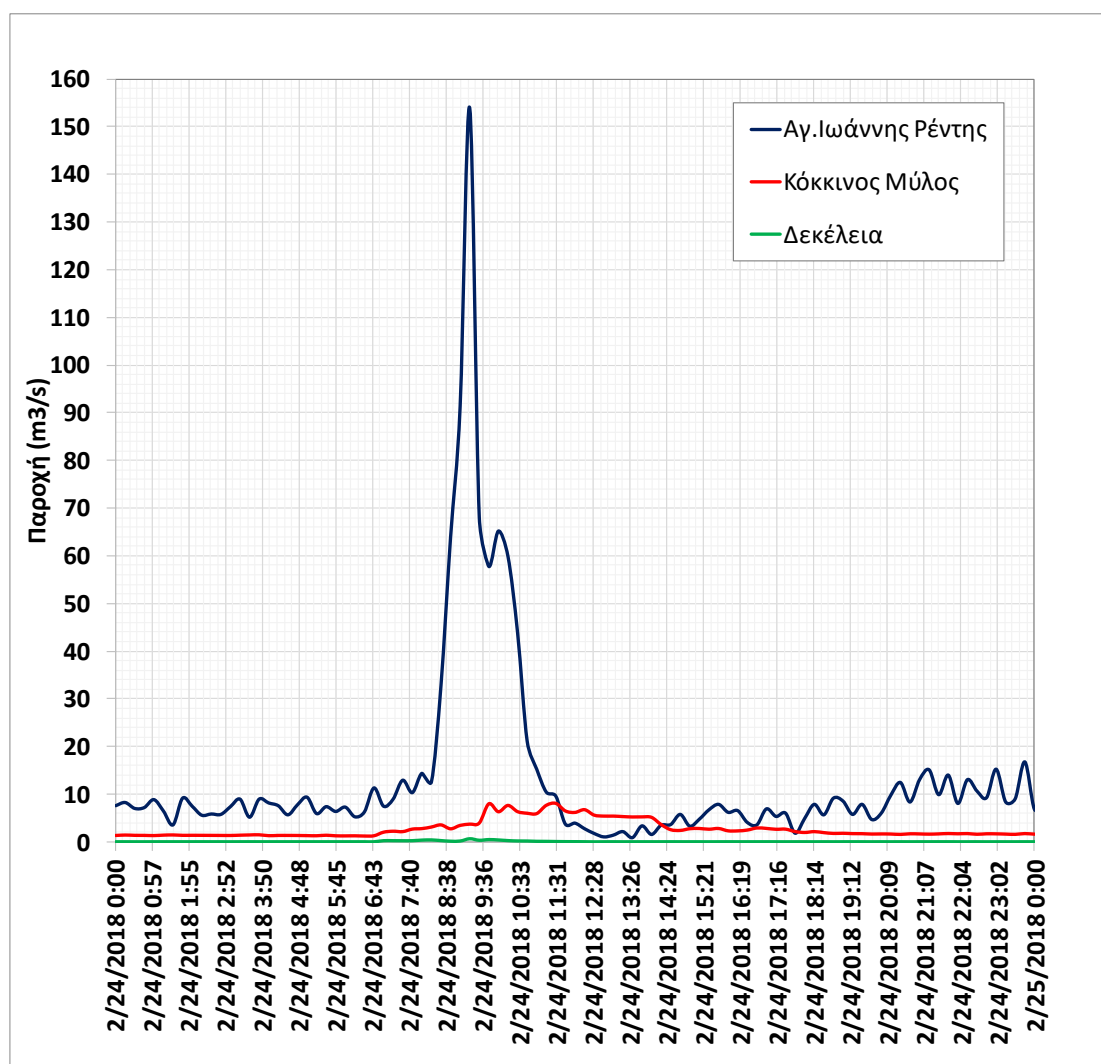
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.67	8.09	153.84
Ελάχιστη τιμή	0.03	1.26	0.79
Μέση τιμή	0.09	2.76	13.26
Τυπική απόκλιση	0.12	1.84	21.24
Συντ.Ασυμμετρίας	2.76	1.49	4.25
Συντ.Μεταβλητότητας	1.23	0.66	1.60
q1	0.05	1.47	5.58
q2	0.05	1.79	7.48
q3	0.05	2.92	10.13
q4	0.67	8.09	153.84

**Πίνακας 11.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης**

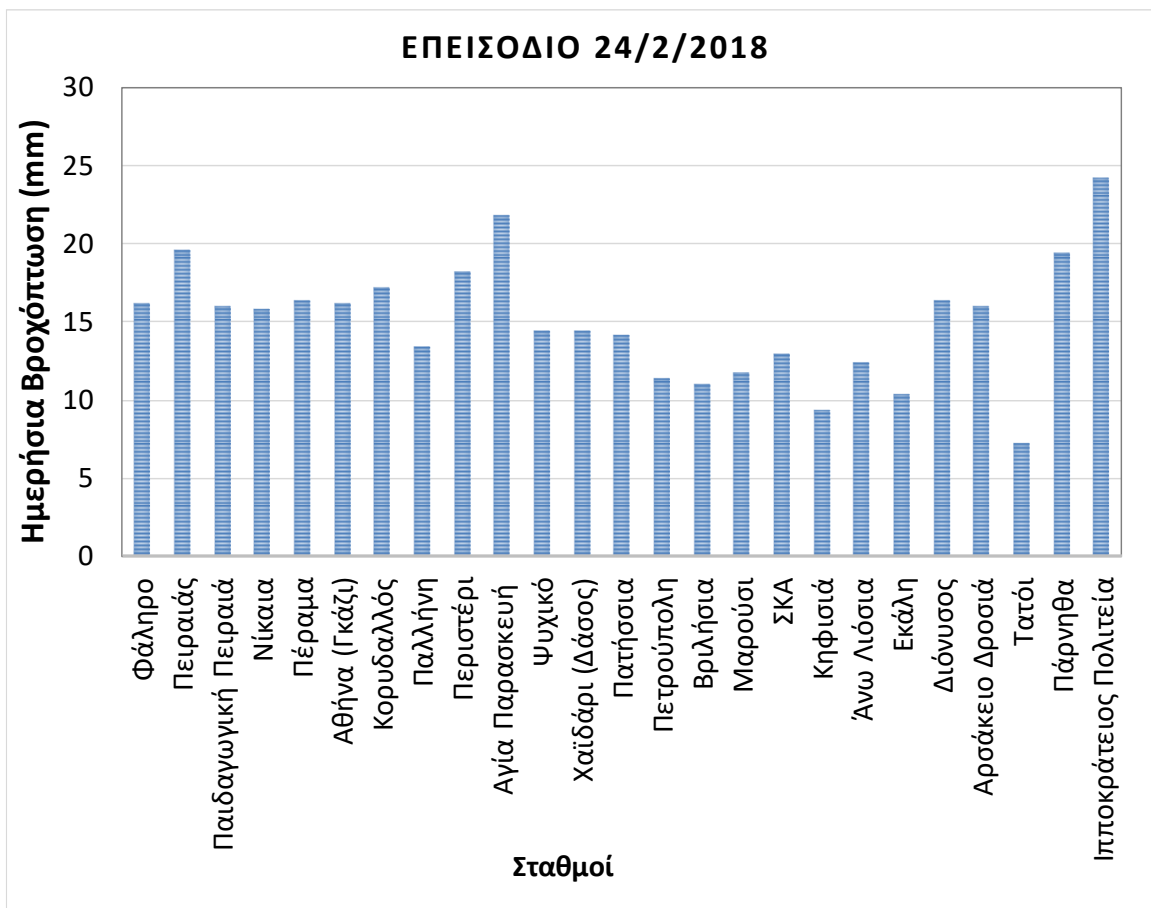
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.82	0.94	0.83
2	0.75	0.91	0.68
3	0.68	0.86	0.55
4	0.64	0.83	0.43
5	0.57	0.80	0.33
6	0.50	0.76	0.19
7	0.43	0.71	0.09
8	0.38	0.63	0.00
9	0.32	0.55	-0.05
10	0.19	0.49	-0.08

**Πίνακας 11.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης**

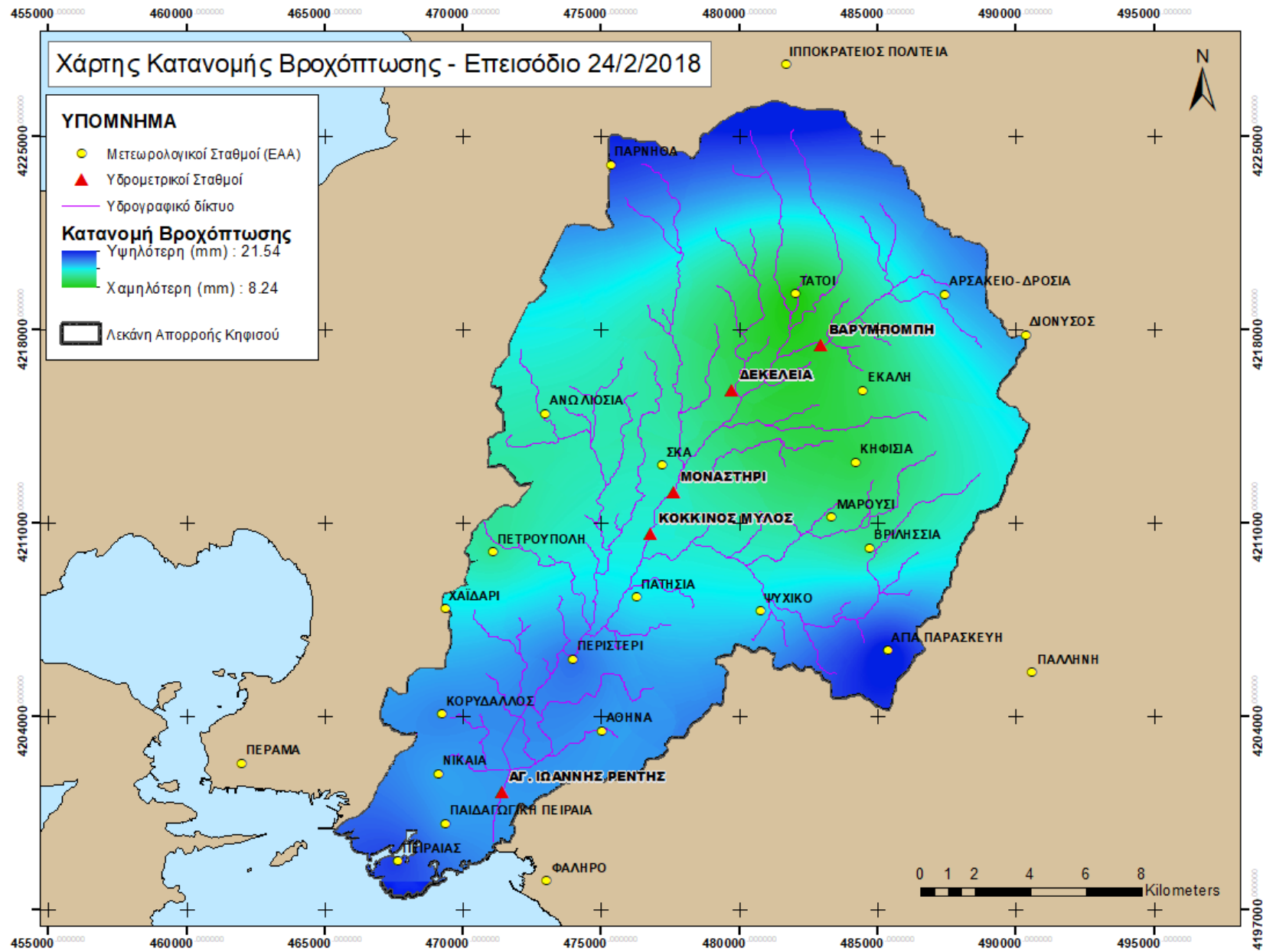
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.41	0.76	0.28
1	0.46	0.61	0.22
2	0.58	0.61	0.14
3	0.57	0.66	0.08
4	0.62	0.67	0.01
5	0.66	0.59	-0.05
6	0.73	0.49	-0.09
7	0.78	0.45	-0.13
8	0.83	0.39	-0.17
9	0.84	0.29	-0.21
10	0.79	0.11	-0.26



**Σχήμα 11.1:** Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 11.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης



## Επεισόδιο 12 (15/2/2018)

**Πίνακας 12.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης**

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.11	0.90	1.22
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.18	0.17
Μέση τιμή	0.05	0.44	0.51
Τυπική απόκλιση	0.03	0.23	0.27
Συντ.Ασυμμετρίας	0.66	0.55	0.83
Συντ.Μεταβλητότητας	0.60	0.53	0.53
q1	0.02	0.20	0.29
q2	0.02	0.42	0.36
q3	0.07	0.62	0.72
q4	0.11	0.90	1.22

**Πίνακας 12.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης**

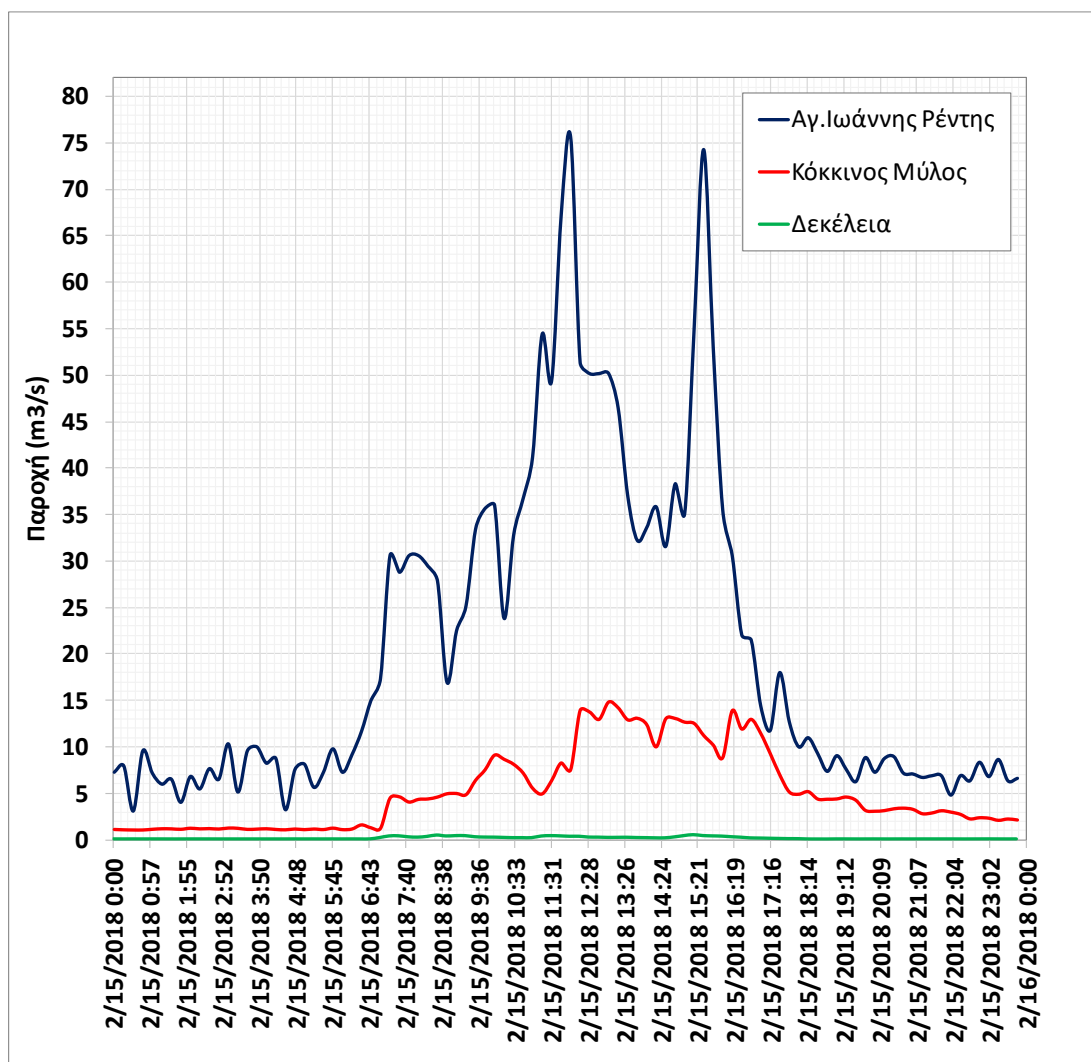
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.58	14.82	75.60
Ελάχιστη τιμή	0.03	1.11	3.13
Μέση τιμή	0.17	5.30	20.69
Τυπική απόκλιση	0.16	4.30	17.58
Συντ.Ασυμμετρίας	0.91	0.85	1.20
Συντ.Μεταβλητότητας	0.94	0.81	0.85
q1	0.04	1.30	7.29
q2	0.05	4.34	10.18
q3	0.27	8.18	32.37
q4	0.58	14.82	75.60

**Πίνακας 12.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης**

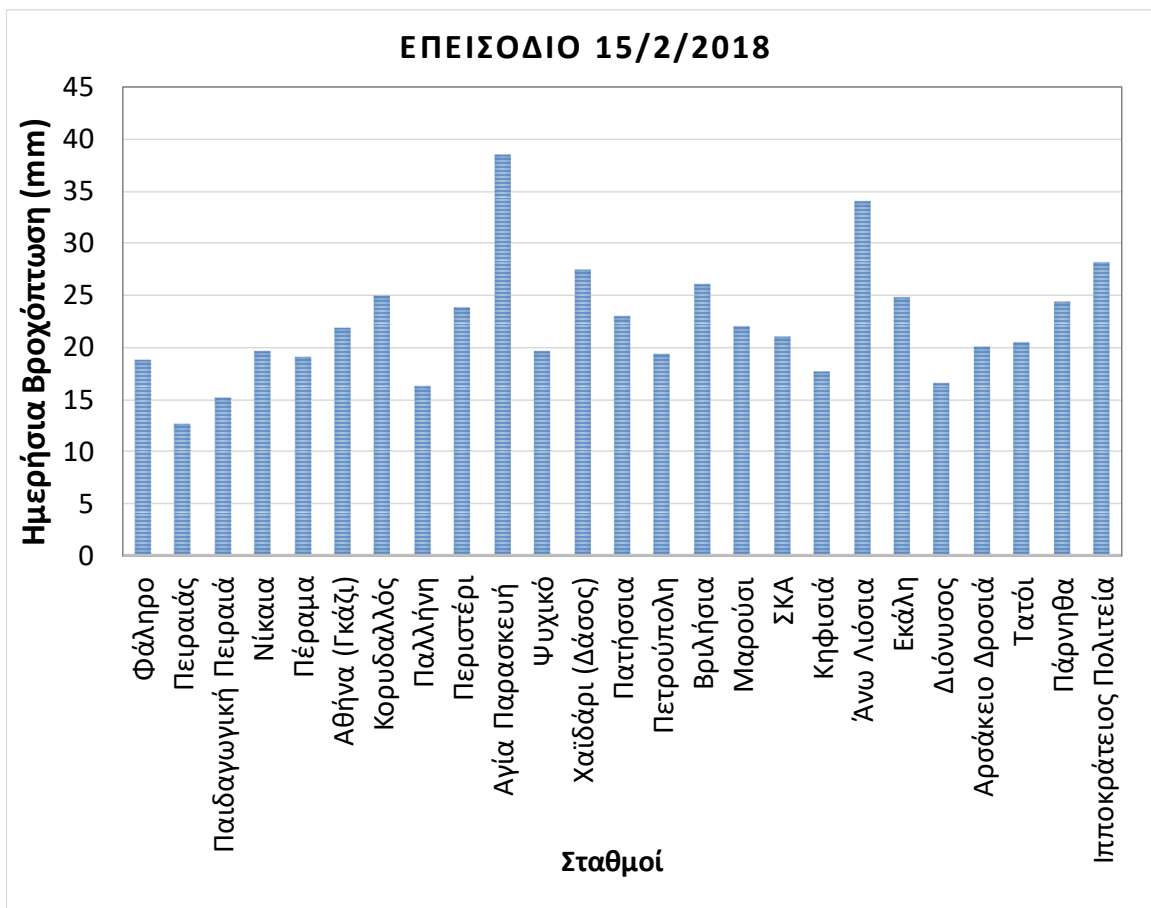
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.93	0.96	0.93
2	0.82	0.92	0.85
3	0.73	0.88	0.80
4	0.65	0.83	0.73
5	0.58	0.79	0.69
6	0.50	0.77	0.63
7	0.44	0.74	0.58
8	0.39	0.71	0.56
9	0.34	0.69	0.54
10	0.31	0.64	0.50

Πίνακας 12.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης

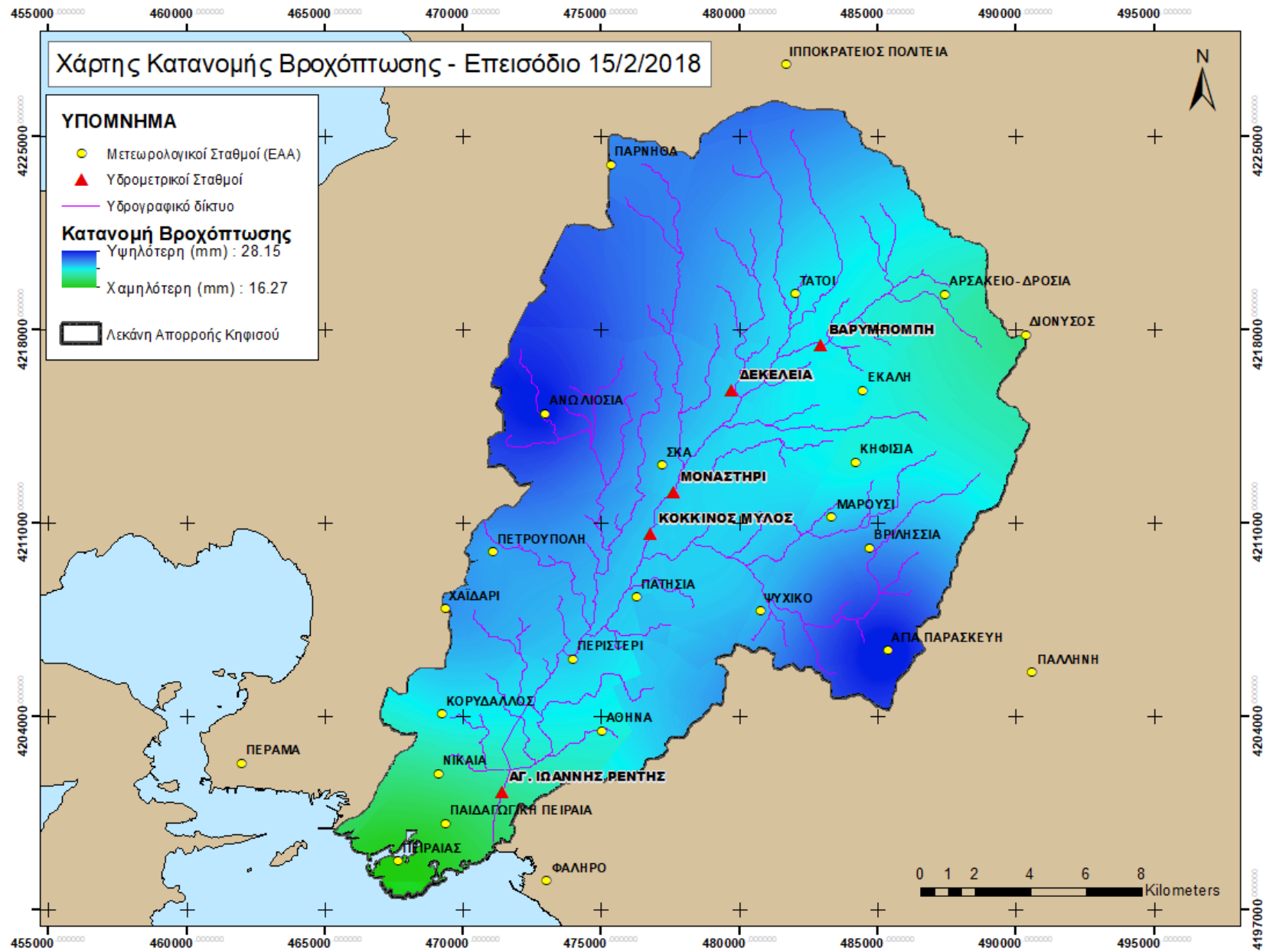
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.62	0.83	0.74
1	0.67	0.83	0.70
2	0.70	0.79	0.65
3	0.74	0.71	0.60
4	0.78	0.62	0.56
5	0.78	0.57	0.51
6	0.76	0.53	0.47
7	0.72	0.51	0.44
8	0.66	0.52	0.40
9	0.63	0.53	0.36
10	0.60	0.54	0.31



Σχήμα 12.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 12.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης





## Επεισόδιο 13 (10/2/2018)

**Πίνακας 13.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης**

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.11	0.91	1.12
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.19	0.01
Μέση τιμή	0.03	0.29	0.36
Τυπική απόκλιση	0.02	0.16	0.22
Συντ.Ασυμμετρίας	2.98	2.19	1.59
Συντ.Μεταβλητότητας	0.59	0.54	0.61
q1	0.02	0.20	0.22
q2	0.02	0.21	0.28
q3	0.02	0.32	0.47
q4	0.11	0.91	1.12

**Πίνακας 13.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης**

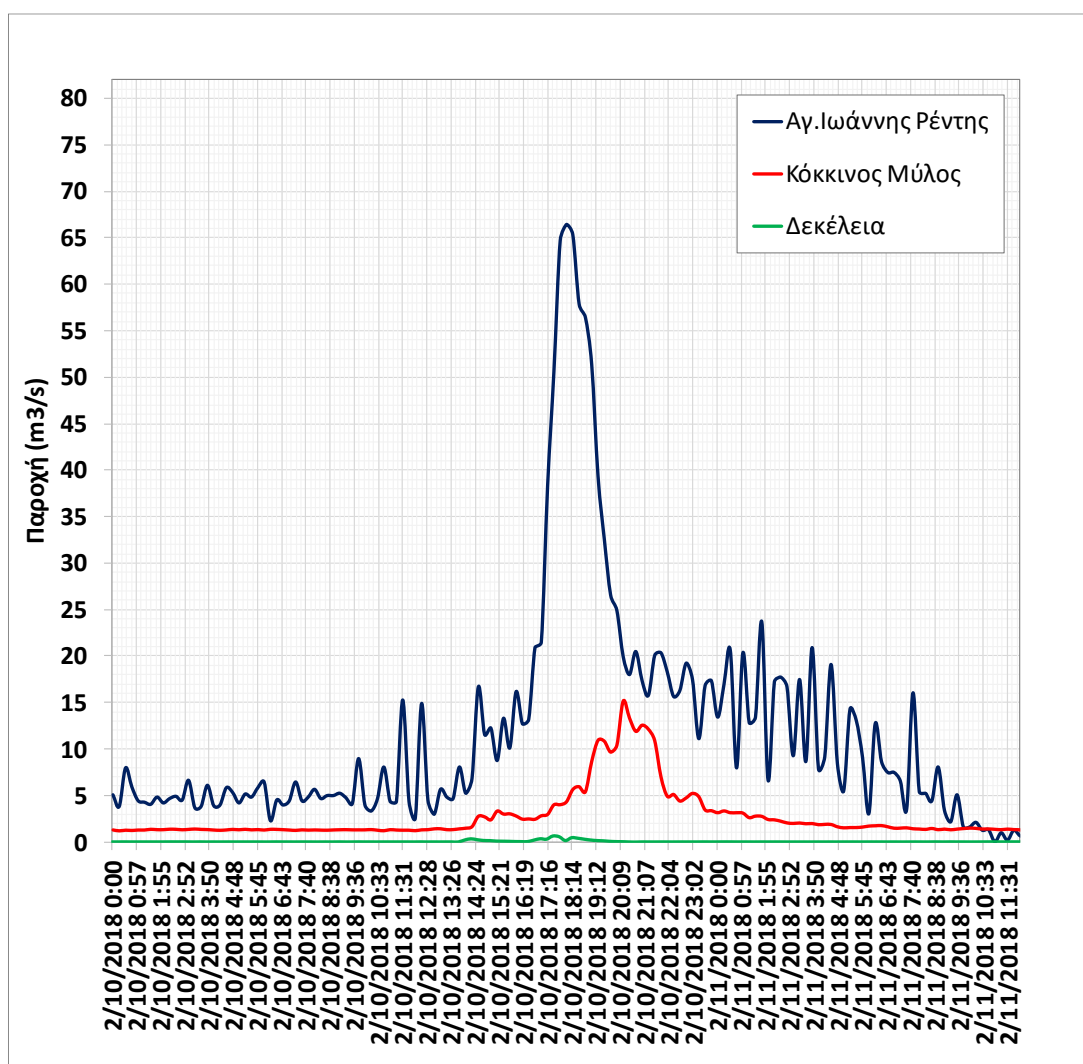
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.65	15.19	66.42
Ελάχιστη τιμή	0.03	1.14	0.03
Μέση τιμή	0.08	2.73	11.95
Τυπική απόκλιση	0.10	2.80	12.94
Συντ.Ασυμμετρίας	3.57	2.65	2.54
Συντ.Μεταβλητότητας	1.25	1.03	1.08
q1	0.05	1.30	4.44
q2	0.05	1.43	6.73
q3	0.05	2.77	16.27
q4	0.65	15.19	66.42

**Πίνακας 13.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης**

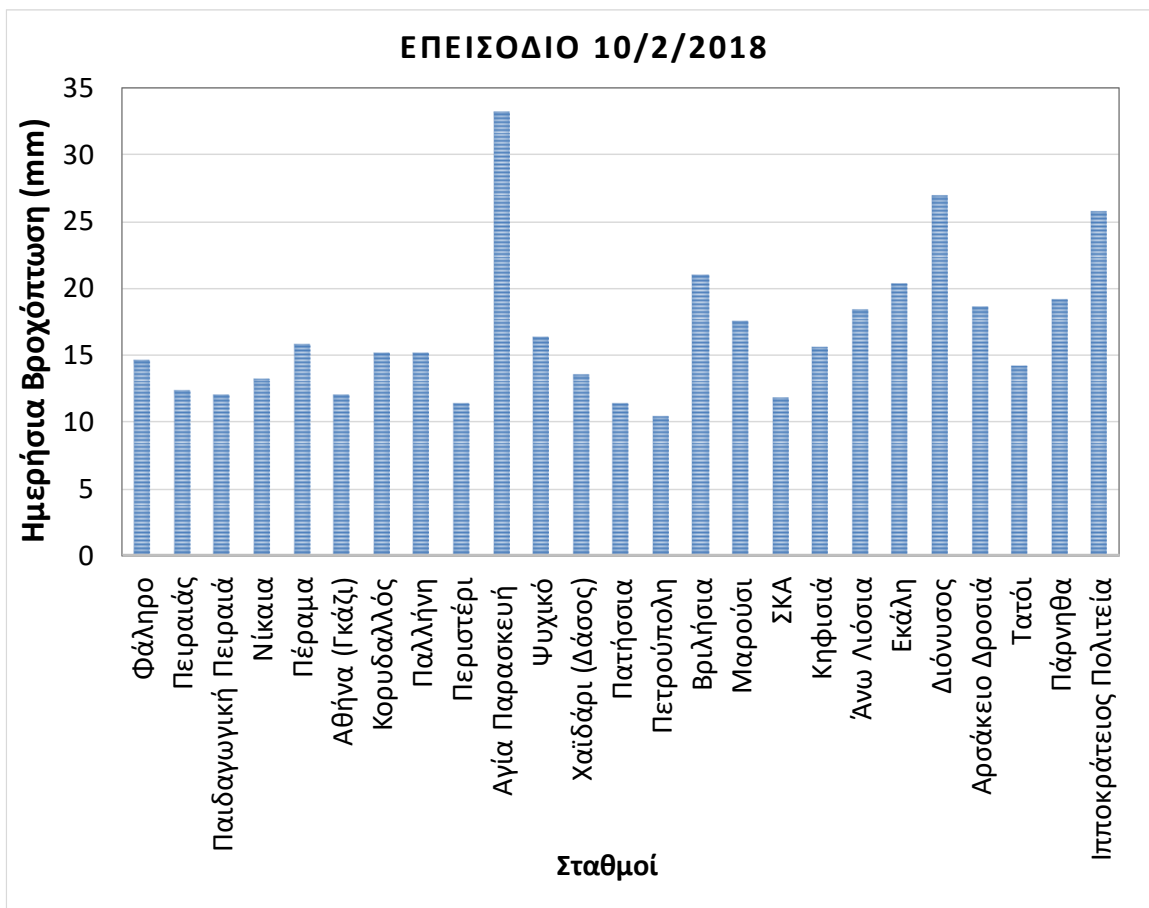
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.83	0.97	0.91
2	0.71	0.92	0.87
3	0.68	0.88	0.82
4	0.53	0.84	0.72
5	0.43	0.77	0.63
6	0.35	0.69	0.55
7	0.27	0.63	0.46
8	0.22	0.58	0.40
9	0.18	0.50	0.35
10	0.20	0.44	0.30

Πίνακας 13.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης

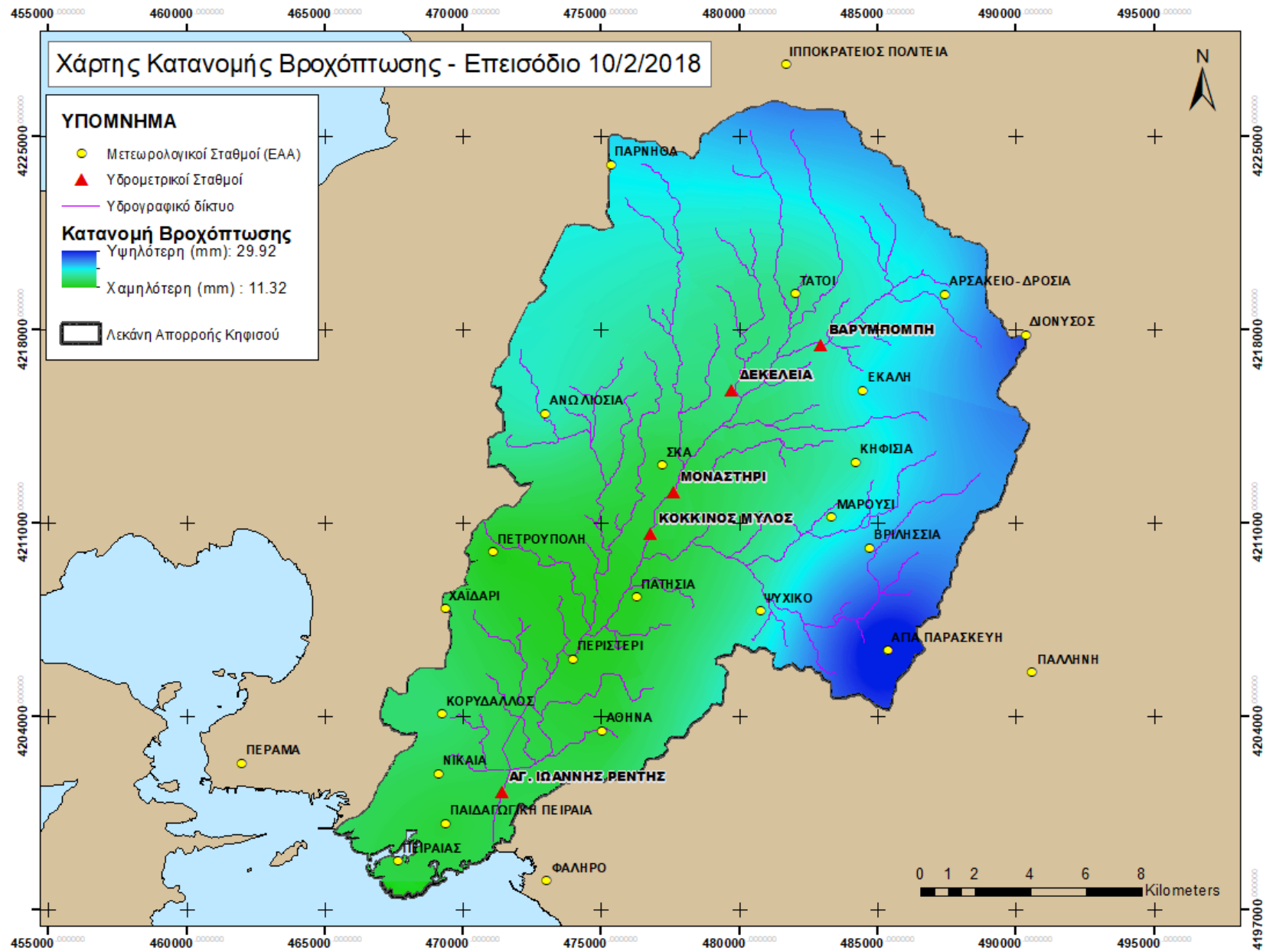
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.21	0.73	0.53
1	0.27	0.79	0.48
2	0.35	0.81	0.43
3	0.44	0.76	0.39
4	0.49	0.70	0.35
5	0.56	0.64	0.33
6	0.65	0.56	0.31
7	0.72	0.48	0.29
8	0.77	0.42	0.27
9	0.76	0.38	0.27
10	0.81	0.37	0.26



Σχήμα 13.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 13.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης



## Επεισόδιο 14 (13/1/2018)

**Πίνακας 14.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης**

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.12	0.76	1.55
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.19	0.17
Μέση τιμή	0.04	0.41	0.52
Τυπική απόκλιση	0.03	0.17	0.32
Συντ.Ασυμμετρίας	1.05	0.67	1.52
Συντ.Μεταβλητότητας	0.62	0.42	0.61
q1	0.02	0.28	0.33
q2	0.03	0.35	0.38
q3	0.06	0.58	0.57
q4	0.12	0.76	1.55

**Πίνακας 14.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης**

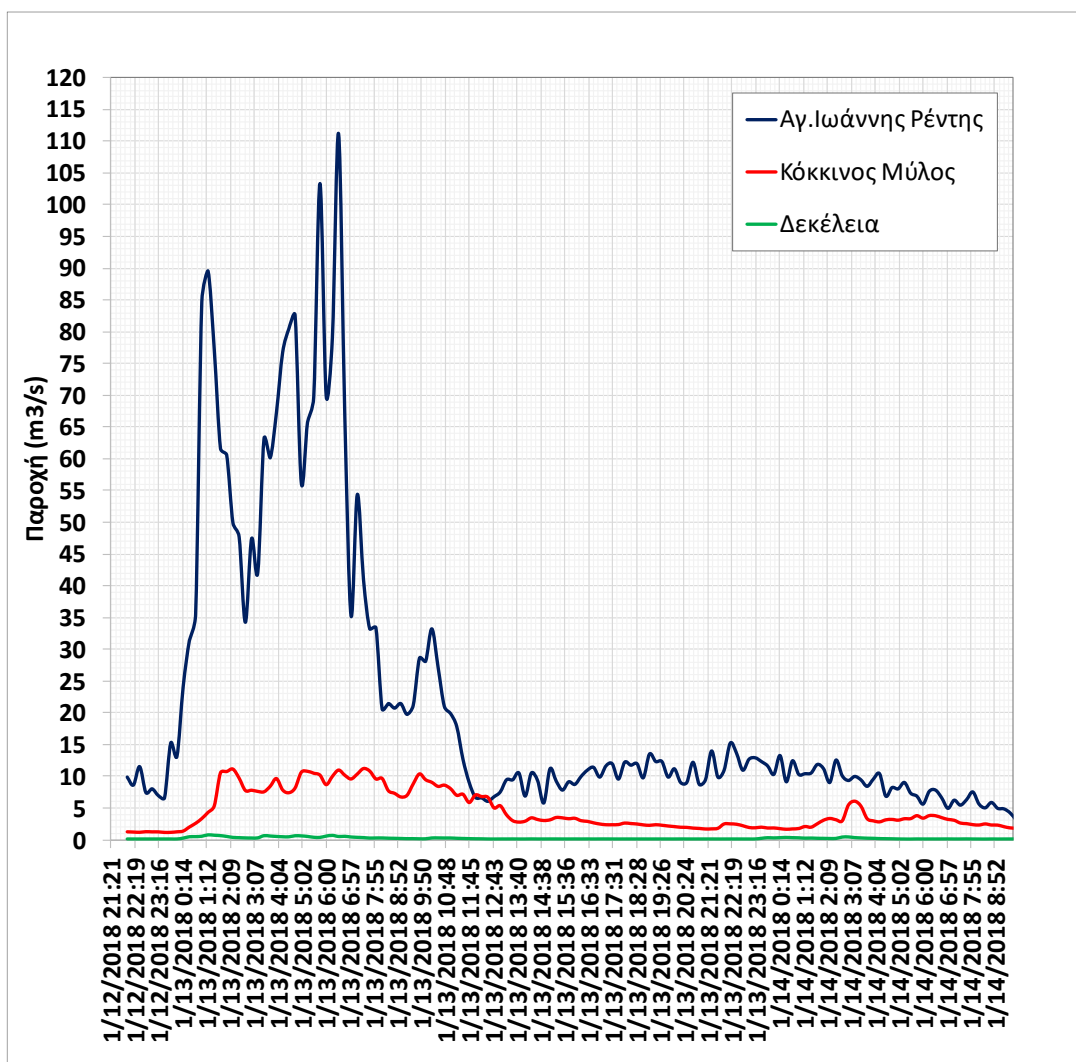
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.70	11.30	111.13
Ελάχιστη τιμή	0.03	1.17	3.13
Μέση τιμή	0.16	4.58	22.03
Τυπική απόκλιση	0.16	3.12	23.46
Συντ.Ασυμμετρίας	1.45	0.86	1.87
Συντ.Μεταβλητότητας	1.02	0.68	1.06
q1	0.05	2.30	8.77
q2	0.05	3.16	11.23
q3	0.22	7.25	22.15
q4	0.70	11.30	111.13

**Πίνακας 14.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης**

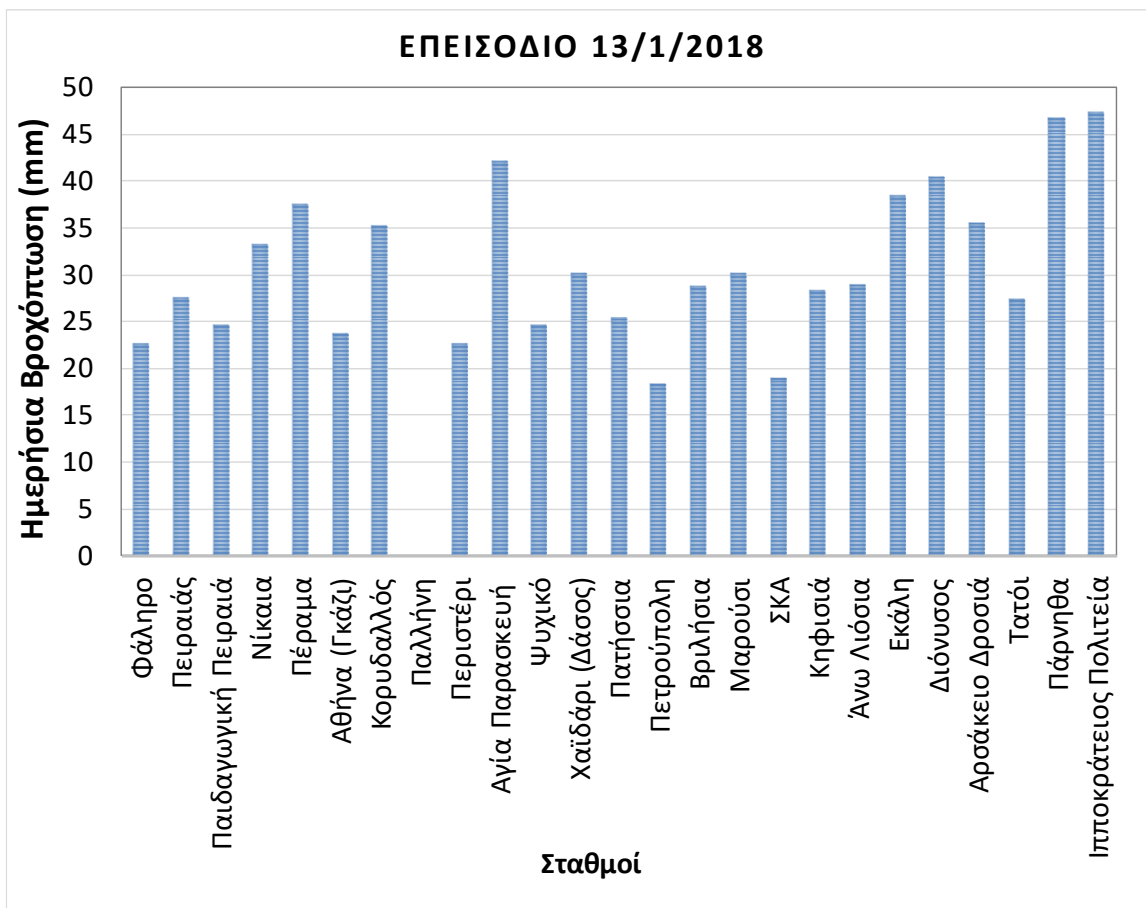
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.92	0.97	0.92
2	0.81	0.92	0.86
3	0.72	0.87	0.83
4	0.64	0.83	0.76
5	0.57	0.80	0.69
6	0.50	0.76	0.65
7	0.45	0.73	0.62
8	0.44	0.70	0.59
9	0.45	0.67	0.57
10	0.44	0.63	0.54

Πίνακας 14.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης

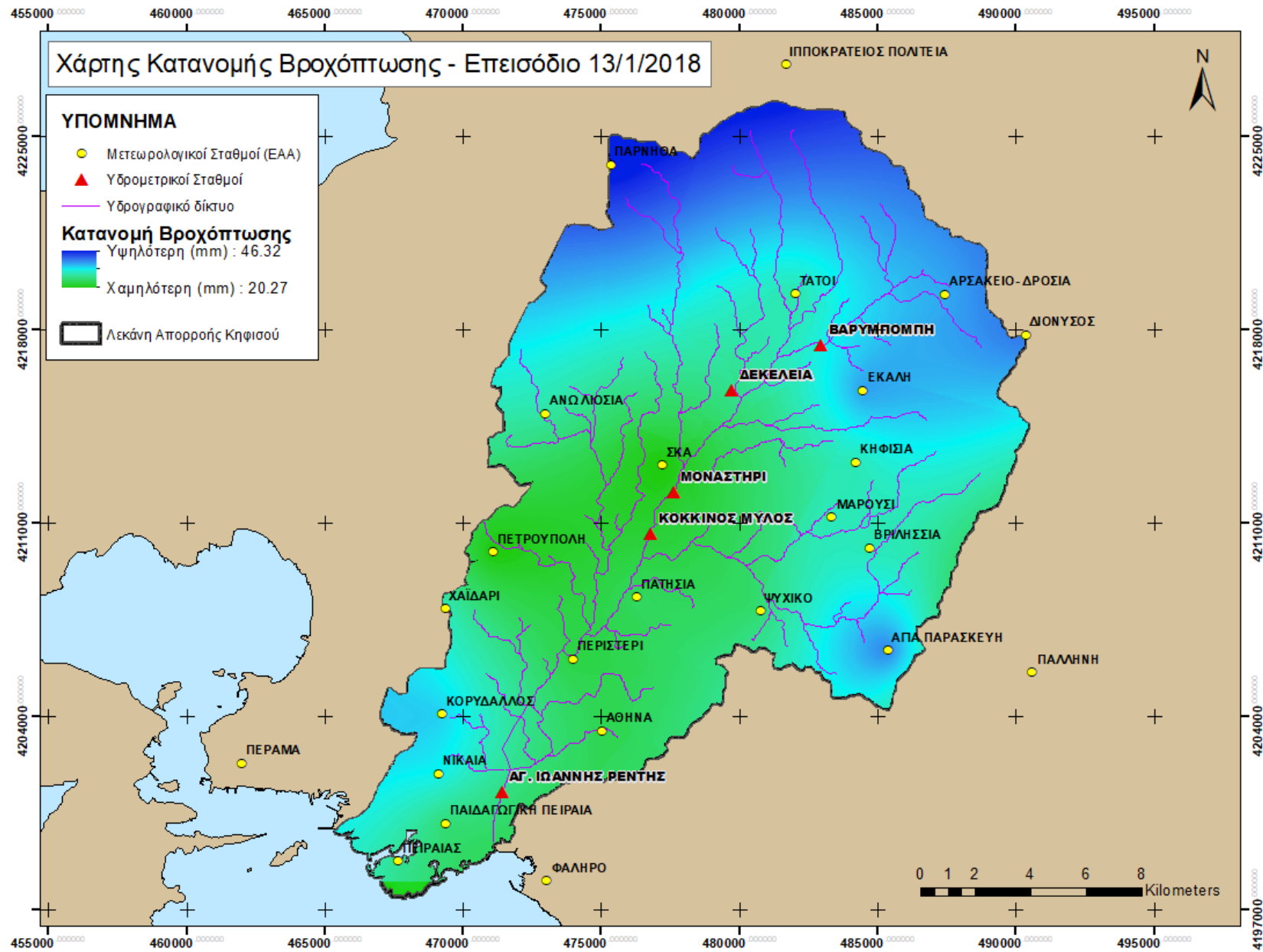
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.59	0.85	0.69
1	0.68	0.83	0.63
2	0.73	0.80	0.58
3	0.74	0.74	0.53
4	0.75	0.67	0.48
5	0.76	0.62	0.44
6	0.76	0.57	0.40
7	0.73	0.55	0.37
8	0.70	0.52	0.33
9	0.68	0.52	0.31
10	0.67	0.50	0.28



Σχήμα 14.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 14.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης





## Επεισόδιο 15 (4/1/2018)

**Πίνακας 15.1: Στατιστικά χαρακτηριστικά στάθμης στους σταθμούς βάσης**

Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.10	0.81	1.00
Ελάχιστη τιμή	0.02	0.17	0.00
Μέση τιμή	0.03	0.30	0.40
Τυπική απόκλιση	0.02	0.16	0.18
Συντ.Ασυμμετρίας	2.39	1.77	0.90
Συντ.Μεταβλητότητας	0.62	0.55	0.45
q1	0.02	0.19	0.31
q2	0.02	0.22	0.38
q3	0.02	0.36	0.44
q4	0.10	0.81	1.00

**Πίνακας 15.2: Στατιστικά χαρακτηριστικά παροχής στους σταθμούς βάσης**

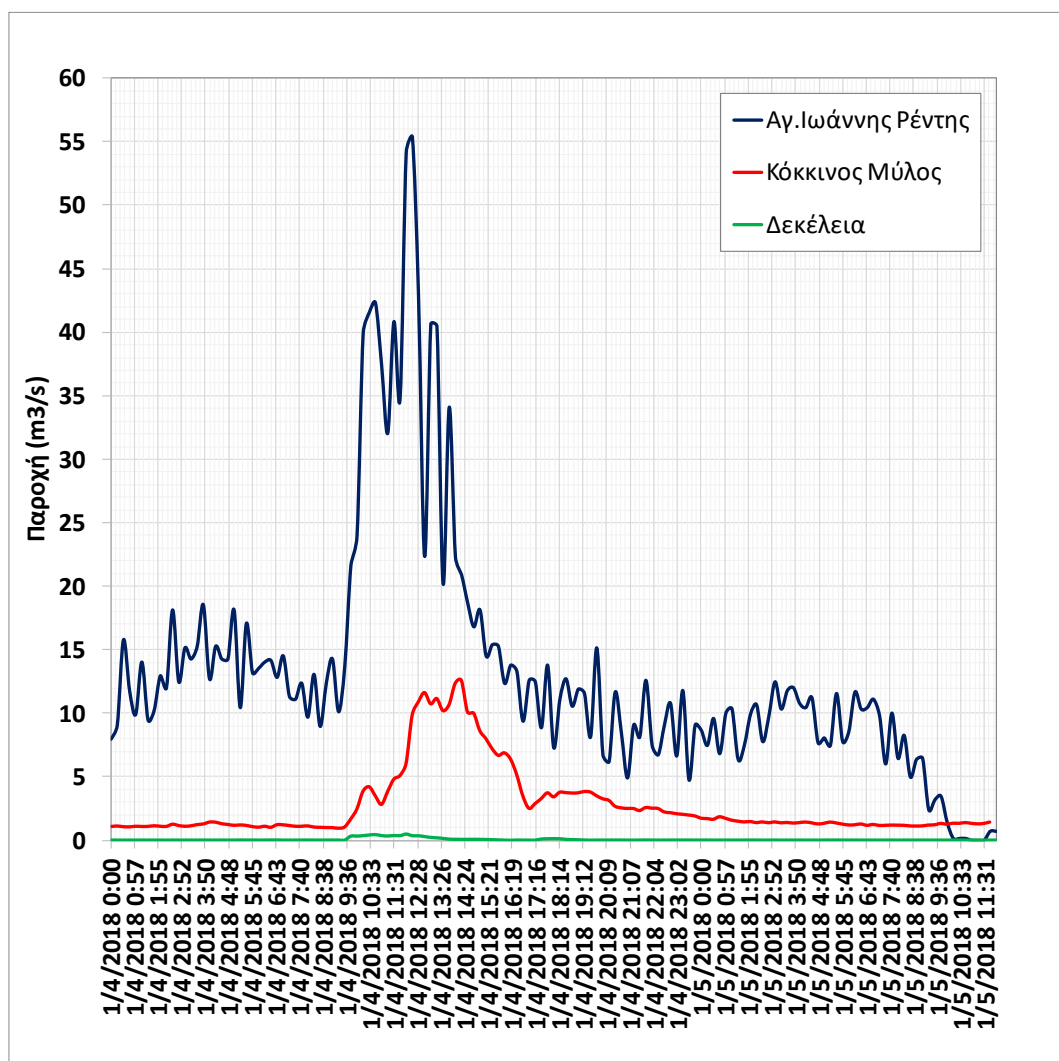
Στατιστικά Χαρακτηριστικά	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
Μέγιστη τιμή	0.53	12.59	55.39
Ελάχιστη τιμή	0.03	0.99	0.00
Μέση τιμή	0.09	2.82	13.41
Τυπική απόκλιση	0.11	2.78	10.12
Συντ.Ασυμμετρίας	2.64	2.12	2.07
Συντ.Μεταβλητότητας	1.23	0.99	0.75
q1	0.04	1.22	8.16
q2	0.05	1.46	11.23
q3	0.05	3.30	14.28
q4	0.53	12.59	55.39

**Πίνακας 15.3: Μεταβολή του συντελεστή αυτοσυσχέτισης των παροχών στους σταθμούς βάσης**

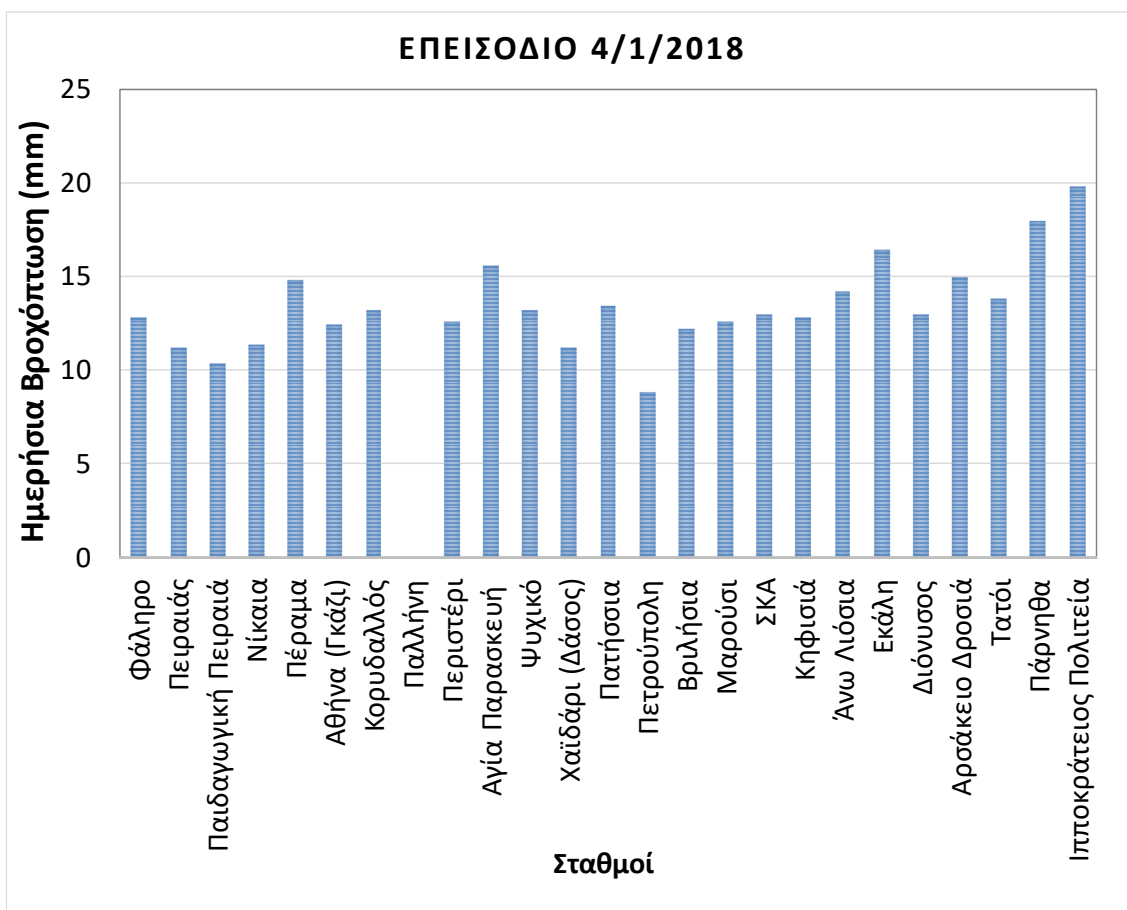
Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια	Κόκκινος Μύλος	Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	1.00	1.00	1.00
1	0.95	0.98	0.87
2	0.89	0.94	0.83
3	0.82	0.90	0.82
4	0.74	0.86	0.76
5	0.66	0.82	0.73
6	0.58	0.77	0.68
7	0.51	0.72	0.63
8	0.43	0.66	0.54
9	0.36	0.58	0.46
10	0.26	0.51	0.39

Πίνακας 15.4: Μεταβολή του συντελεστή ετεροσυσχέτισης των παροχών στα πιθανά ζεύγη των σταθμών βάσης

Χρονική υστέρηση (βήμα 15 λεπτών)	Σταθμοί		
	Δεκέλεια - Κόκκινος Μύλος	Δεκέλεια - Αγ.Ιωάννης Ρέντης	Κόκκινος Μύλος- Αγ.Ιωάννης Ρέντης
0	0.47	0.85	0.58
1	0.55	0.86	0.50
2	0.62	0.86	0.43
3	0.68	0.81	0.37
4	0.72	0.78	0.30
5	0.78	0.74	0.23
6	0.84	0.69	0.20
7	0.89	0.65	0.15
8	0.92	0.56	0.09
9	0.93	0.52	0.04
10	0.92	0.43	0.00



Σχήμα 15.1: Διάγραμμα μεταβολής της παροχής για τους σταθμούς βάσης



Σχήμα 15.2: Διάγραμμα ημερήσιας βροχόπτωσης

