

## Εκτενής περίληψη (Extended abstract in Greek)

Την 14<sup>η</sup> και 15<sup>η</sup> Νοεμβρίου 2017, μία βροχόπτωση με σημαντική ένταση εκδηλώθηκε στη Δυτική Αττική, με αποτέλεσμα την εμφάνιση αιφνίδιας πλημμύρας στην περιοχή, τις πρωινές ώρες της 15<sup>ης</sup> Νοεμβρίου. Ο απολογισμός της πλημμύρας ήταν σημαντικές υλικές ζημιές, κυρίως στους αστικούς ιστούς της Μάνδρας, της Νέας Περάμου, της Μαγούλας και της Ελευσίνας. Πέραν αυτών, το πλημμυρικό αυτό συμβάν προκάλεσε το θάνατο 24 ανθρώπων, με αποτέλεσμα να χαρακτηριστεί ως η τρίτη φονικότερη πλημμύρα στην Δυτική Αττική. Αμέσως μετά την πλημμύρα, ξεκίνησε μία αντιπαράθεση ως προς το κατά πόσο τα καταστροφικά αποτελέσματα οφείλονταν στην ακραία φύση της καταιγίδας ή στην ελλιπή αντιπλημμυρική προστασία. Στην παρούσα εργασία, αναλύθηκαν όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες από διάφορες πηγές, σε μια προσπάθεια να αναπαραχθεί το επεισόδιο της καταιγίδας και να εκτιμηθούν το μέγεθός του, η χρονική του εξέλιξη, καθώς και η περίοδος επαναφοράς του.

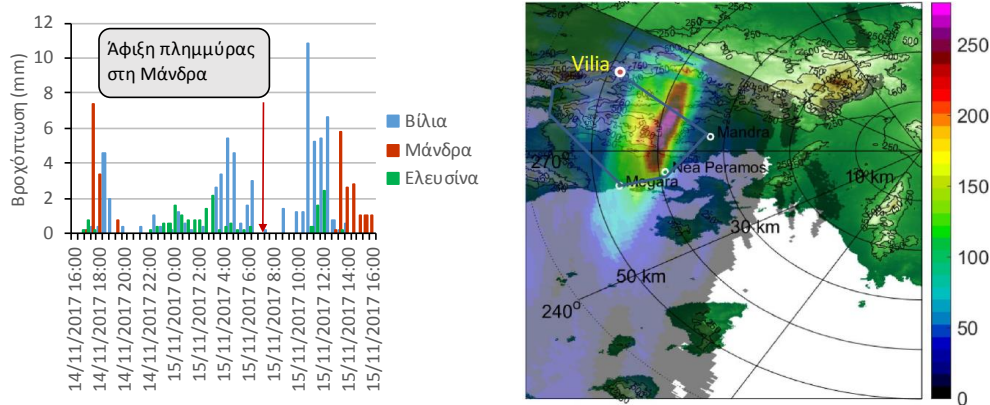
Οι βροχοπτώσεις ξεκίνησαν τις βραδινές ώρες της 14<sup>ης</sup> Νοεμβρίου και είχαν ως αποτέλεσμα την ταχύτατη μείωση της διηθητικής ικανότητας του εδάφους, την έναρξη της εδαφικής διάβρωσης και κατ' επέκταση τη συσσώρευση φερτών υλών στα υδάτινα σώματα. Μία απότομη αλλαγή στην ένταση της βροχόπτωσης τις πρωινές ώρες της 15<sup>ης</sup> Νοεμβρίου συνέβαλλε στην σημαντική αύξηση της εδαφικής διάβρωσης, οδηγώντας έτσι στην σημαντική ένταση του φαινομένου της στερεοαπορροής. Άμεση απόρροια των παραπάνω, ήταν η εμφάνιση του πλημμυρικού κύματος στην πόλη της Μάνδρας περίπου στις 7:00 π.μ. την 15<sup>η</sup> Νοεμβρίου, την υπερχειλίση των έργων διόδευσης στο ύψος του αυτοκινητοδρόμου Ε94 (Αττική Οδός) και τη διόδευση που πλημμυρικού όγκου μέσω του δρόμου Μάνδρας-Ελευσίνας.



Εικόνα 1. Οδός Μάνδρας-Ελευσίνας (αριστερά) και ΒΙ.ΠΕ. Μάνδρας (δεξιά) την 15/11/2017

Η κύρια πηγή πληροφοριών ήταν οι σημειακές μετρήσεις βροχόπτωσης στους μετεωρολογικούς σταθμούς των Βιλίων, της Μάνδρας και της Ελευσίνας. Το πρώτο συμπέρασμα που εξήχθη από τις καταγραφές αυτές, ήταν πως το παρατηρημένο ύψος βροχόπτωσης δεν μπορούσε να δικαιολογήσει την έκταση της πλημμύρας. Η παρατήρηση αυτή ενισχύθηκε περισσότερο από τις ενδεικτικές εκτιμήσεις βροχόπτωσης ενός μετεωρολογικού ραντάρ, οι οποίες δείχνουν ένα ασυνήθιστο σχήμα καταιγίδας, με πολύ

ισχυρό και τοπικό πυρήνα, το οποίο πέρασε ανάμεσα από την περιοχή που καλύπτεται από τους σταθμούς. Παρ' όλα αυτά, ούτε οι σημειακές μετρήσεις, ούτε οι εξαιρετικά αβέβαιες πληροφορίες του ραντάρ μπόρεσαν να παρέχουν επαρκείς εκτιμήσεις για το επεισόδιο βροχόπτωσης.



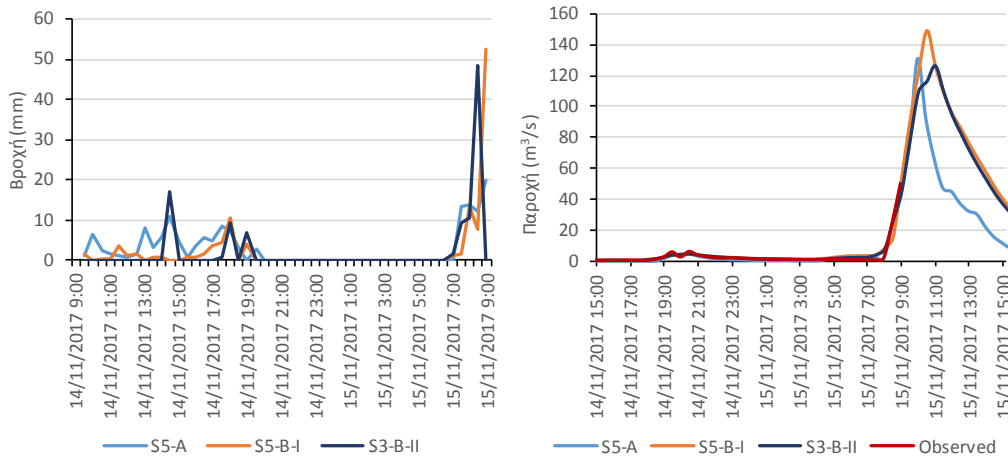
Σχήμα 1. Παρατηρήσεις βροχόπτωσης (αριστερά) και εκτιμήσεις μετεωρολογικού ραντάρ (δεξιά)

Η λύση στο πρόβλημα αυτό προήλθε από την γειτονική λεκάνη απορροής του Σαρανταπόταμου, καθώς στη λεκάνη αυτή λειτουργεί ένας αυτόματος μετρητής στάθμης του υδατορέματος. Ο μετρητής αυτός βρίσκεται στη θέση Γύρα Στεφάνης και η έκταση της λεκάνης ανάντη του μετρητή ανέρχεται στα 144.6 km<sup>2</sup>. Οι μετρήσεις που μας παρείχε ήταν σε δεκαπεντάλεπτο βήμα και κάλυπταν μέρος του ανοδικού κλάδου του υδρογραφήματος στη Γύρα Στεφάνης, αμέσως πριν το όργανο καταστραφεί από το πλημμυρικό κύμα. Εντός της λεκάνης βρίσκεται ακόμα ο μετεωρολογικός σταθμός των Βιλίων, ο οποίος παρείχε σημειακές καταγραφές βροχόπτωσης. Σημαντικό ρόλο στην ανάλυση έπαιξε και η εμπειρία που συλλέχτηκε για την υδρολογική συμπεριφορά της λεκάνης, κατά τη διετία 2012-2014, όταν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Δευκαλίων» πραγματοποιήθηκαν μελέτες στην περιοχή. Τέλος, αξιοποιήθηκε και το οπτικοακουστικό υλικό που συλλέχτηκε από την περιοχή του σταθμού κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.

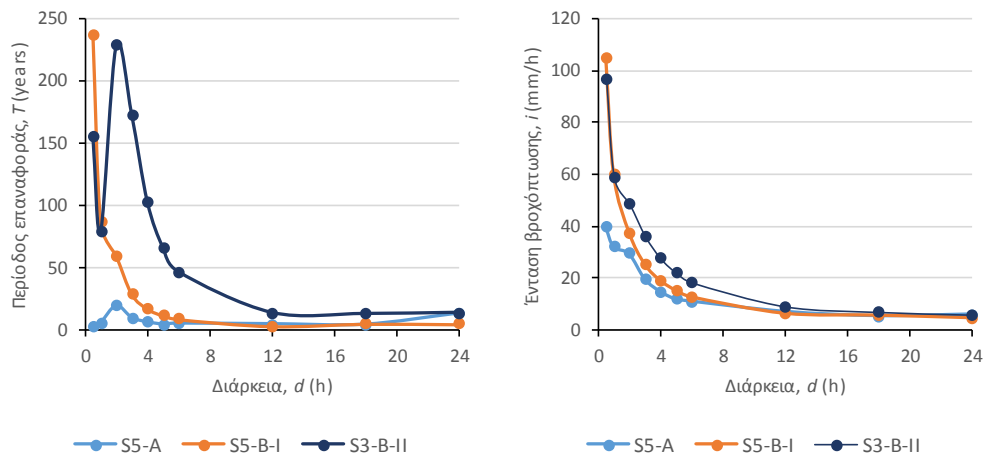
Οι παραπάνω πληροφορίες, ποιοτικές και ποσοτικές, χρησιμοποιήθηκαν σε μία προσπάθεια να εκτιμηθεί η βροχόπτωση στη λεκάνη του Σαρανταπόταμου μέσω μιας διαδικασίας αντίστροφης ανάλυσης βροχής-απορροής. Για τον λόγο αυτό, αναπτύχθηκαν διάφορες εκδοχές μοντέλων ανάλυσης του γεγονότος, οι εισοδοί των οποίων βαθμονομήθηκαν σύμφωνα με τις παρατηρημένες παροχές στη θέση Γύρα Στεφάνης. Ως είσοδος, εισάγεται η επιφανειακή βροχόπτωση στη λεκάνη, συμπεριλαμβάνοντας τις καταγραφές βροχής στα Βίλια και ένα άγνωστο υετογράφημα σε έναν υποθετικό σταθμό. Τα προτεινόμενα μοντέλα χρησιμοποιούν τη μέθοδο SCS-CN για την εκτίμηση της ενεργού βροχόπτωσης καθώς και δύο διαφορετικές προσεγγίσεις για την διόδευση της πλημμύρας. Αυτές είναι η θεώρηση πως η λεκάνη συμπεριφέρεται ως γραμμικός ταμιευτήρας, καθώς και η διόδευση με τη χρήση του

παραμετρικού συνθετικού μοναδιαίου υδρογραφήματος. Όλα τα μοντέλα περιέχουν μία ελεύθερη παράμετρο, δηλαδή το ποσοστό αρχικών απωλειών, καθώς και μία άγνωστη αρχική συνθήκη, εκφρασμένη μέσω ενός αδιάστατου συντελεστή που εκφράζει τις συνθήκες υγρασίας της μεθόδου SCS-CN με συνεχή αντί για διακριτή κατηγοριοποίηση.

Αρχικά, εξετάστηκαν διάφορα υδρολογικά σενάρια, επιλέγοντας αυθαίρετες αρχικές παραμέτρους, τα οποία αποκάλυψαν την τεράστια αβεβαιότητα που οφείλεται στα ελλιπή δεδομένα, καθώς και την ευαισθησία των αποτελεσμάτων στην αυθαίρετη ανάθεση των αρχικών τιμών. Στη συνέχεια, με χρήση της μεθόδου των όμβριων καμπυλών επιχειρείται μία εκτίμηση του ρίσκου, μέσω της εκτίμησης των μέγιστων εντάσεων βροχόπτωσης και των αντίστοιχων περιόδων επαναφοράς, για διάφορες χρονικές κλίμακες. Η εκτίμηση όμως του ρίσκου ακολουθεί την ίδια αβέβαιη συμπεριφορά.

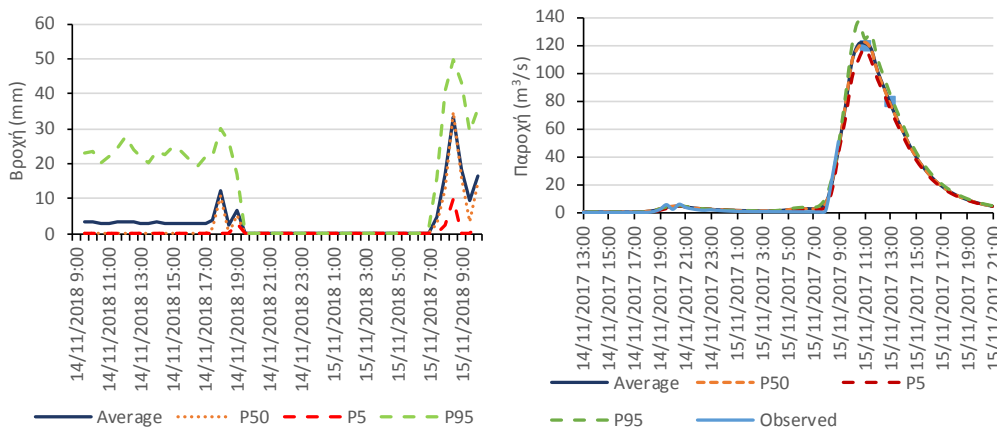


Σχήμα 2. Εκτιμήσεις παροχής (αριστερά) και βροχόπτωσης (δεξιά) από υδρολογικά σενάρια

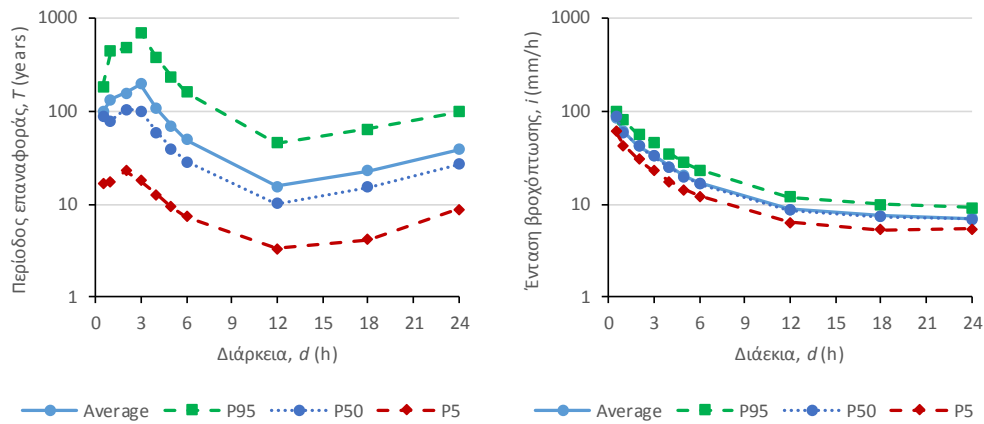


Σχήμα 3. Εκτιμήσεις περιόδου επαναφοράς (αριστερά) και μέγιστης έντασης βροχοπτώσης (δεξιά) σε διάφορες χρονικές κλίμακες από υδρολογικά σενάρια

Προκειμένου να εκτιμηθεί καλύτερα η αβεβαιότητα αυτή, εφαρμόζεται η στοχαστική προσέγγιση των αναλύσεων Monte Carlo. Πραγματοποιούνται διαφορετικές αναλύσεις, κάθε μία εκ των οποίων περιέχει διαφορετική πληροφορία, σε μία προσπάθεια να ποσοτικοποιηθεί η αβεβαιότητα και να ληφθεί υπόψη η αναμενόμενη στατιστική συμπεριφορά των μοντέλων. Οι αναλύσεις αυτές έγιναν για 1000 ζεύγη τιμών των αρχικών παραμέτρων, πραγματοποιώντας τη δειγματοληψία από κατάλληλες κατανομές και λύνοντας το πρόβλημα της βαθμονόμησης. Για την επιλογή των κατάλληλων κατανομών αυτών, καθώς επίσης και για τη βαθμονόμηση, χρησιμοποιήθηκαν όλες οι διαθέσιμες πληροφορίες για το υδρολογικό καθεστώς της λεκάνης, τις συνθήκες του εδάφους τις προηγούμενες μέρες, καθώς και την χρονική εξέλιξη της πλημμύρας μετά την καταστροφή του οργάνου.



Σχήμα 4. Εκτιμήσεις βροχόπτωσης (αριστερά) και παροχής (δεξιά) με τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης για ανάλυση Monte Carlo



Σχήμα 5. Εκτιμήσεις περιόδου επαναφοράς (αριστερά) και μέγιστων εντάσεων βροχόπτωσης (δεξιά) με τα αντίστοιχα διαστήματα εμπιστοσύνης σε διάφορες χρονικές κλίμακες από ανάλυση Monte Carlo

Βασιζόμενοι στα αποτελέσματα των αναλύσεων Monte Carlo, παρέχουμε πιθανοτικές εκτιμήσεις της συνολικής βροχόπτωσης στην περιοχή μελέτης, της χρονικής της εξέλιξης, καθώς επίσης και της παροχής αιχμής του Σαρανταπόταμου στη θέση του υδρομετρικού σταθμού. Επίσης γίνεται και μία εκτίμηση των μέγιστων εντάσεων βροχόπτωσης και των αντίστοιχων περιόδων επαναφοράς, για διάφορες χρονικές κλίμακες. Τα αποτελέσματα αυτά τέλος συγκρίνονται και με άλλες πηγές πληροφοριών, σε μία προσπάθεια να εκτιμηθεί κατά πόσο τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής κρίνονται αξιόπιστα.

