

Εφαρμογή της Μεθόδου Άμεσης Βροχόπτωσης σε Υδραυλικό Μοντέλο Πρόγνωσης Αιφνίδιων Πλημμυρών

ΚΟΚΚΙΝΟΣ Α.^{1,*}, ΜΑΚΡΗΣ Χ.^{2,*}, ΑΝΔΡΟΥΛΙΑΚΗΣ Γ.³, ΜΑΛΛΙΟΣ Ζ.¹, ΠΥΘΑΡΟΥΛΗΣ Ι.⁴ και ΚΑΡΑΜΠΑΣ Θ.¹

¹Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη

²Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, 67100, Ξάνθη

³Τμήμα Επιστημών της Θάλασσας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 81100, Μυτιλήνη

⁴Τμήμα Γεωλογίας, Τομέας Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 54124, Θεσσαλονίκη

*Υπεύθυνος για την αλληλογραφία συγγραφέας / E-mail: angeloks@civil.auth.gr

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, η συχνότητα των πλημμυρών έχει αυξηθεί λόγω ανθρώπινων παρεμβάσεων στο φυσικό περιβάλλον και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η αστικοποίηση στις πλημμυρικές ζώνες των ποταμών έχει, επίσης, εντείνει την έκθεση των κοινοτήτων στον πλημμυρικό κίνδυνο. Ιδιαίτερα επικίνδυνες, λόγω της ταχείας εκδήλωσής τους, είναι οι αιφνίδιες πλημμύρες (flash floods), που προκαλούνται από έντονες βροχοπτώσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Για την προσομοίωση τέτοιων φαινομένων, η μέθοδος άμεσης βροχόπτωσης (MAB) χρησιμοποιείται όλο και συχνότερα τα τελευταία χρόνια (Godara et al., 2023). Σε αυτήν, η βροχόπτωση εφαρμόζεται απευθείας σε κάθε κελί του δισδιάστατου υδραυλικού μοντέλου, επιτρέποντας την προσομοίωση της επιφανειακής απορροής χωρίς την ανάγκη ενδιάμεσου υδρολογικού μοντέλου για τη μετατροπή των κατακρημνίσεων σε απορροή.

Το κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η δυνατότητα φυσικής προσομοίωσης της υδρολογικής συμπεριφοράς της λεκάνης απορροής (ΛΑ), αντί της εκτίμησης παραμέτρων μέσω κλασικών υδρολογικών μεθόδων. Αυτό είναι σημαντικό στην προσομοίωση αιφνίδιων πλημμυρών από τοπικές καταιγίδες (pluvial floods), όπου η υπερχειλίση χειμάρρων και παραποτάμων καθιστά δύσκολη τη δημιουργία υδρογραφημάτων μέσω υδρολογικών μοντέλων. Από την άλλη, βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι η εμφάνιση ρηχών ροών, οι οποίες απαιτούν προσεκτική βαθμονόμηση των παραμέτρων τραχύτητας, καθώς ενδέχεται να αποκλίνουν από τις τυπικές τιμές που χρησιμοποιούνται στις ποτάμιες πλημμύρες (fluvial floods).

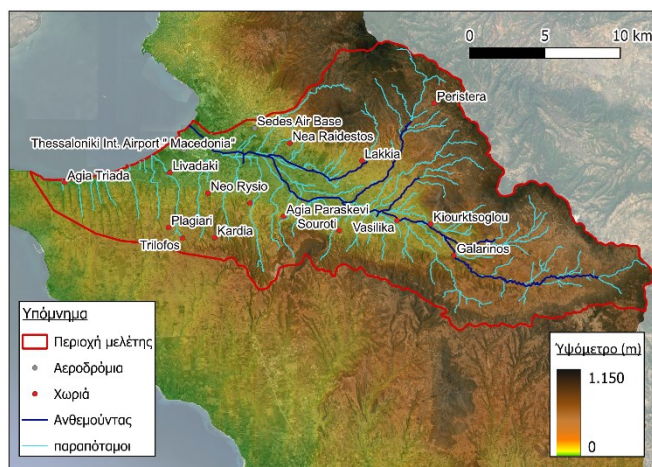
Επίσης, τα MAB είναι μοντέλα προσομοίωσης μεμονωμένων γεγονότων με περιορισμένη ικανότητα να περιγράψουν την υδρολογική συμπεριφορά μιας ΛΑ, απαιτώντας επιπλέον βαθμονόμηση για τον προσδιορισμό της ενεργού βροχόπτωσης. Επιπλέον, οι υπολογιστικές τους απαιτήσεις είναι σημαντικά αυξημένες σε σύγκριση με την κλασική υδραυλική προσομοίωση όπου η απορροή εισέρχεται ως οριακή συνθήκη μέσω υδρογραφημάτων, καθώς τόσο η προσομοίωση ρηχών ροών όσο και η εφαρμογή της βροχόπτωσης ως όρος πηγής απαιτούν λεπτομερέστερο υπολογιστικό πλέγμα (Hall, 2015).

Το αντικείμενο της εργασίας είναι η δημιουργία ενός υδραυλικού μοντέλου με εφαρμογή της MAB με σκοπό την πρόγνωση αιφνίδιων πλημμυρών αξιοποιώντας διαθέσιμα μετεωρολογικά δεδομένα κατακρημνίσης.

ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης (ΠΜ) περιλαμβάνει τη ΛΑ του ποταμού Ανθεμούντα και την παράκτια ζώνη ανατολικά του Θερμαϊκού Κόλπου, που εκτείνεται από το Αεροδρόμιο Μακεδονία έως την κωμόπολη της Αγίας Τριάδας, περιλαμβάνοντας και τον αστικό ιστό της Περαιάς (Σχήμα 1). Η ΠΜ περιλαμβάνεται στη Ζώνη Κινδύνου Πλημμύρας σύμφωνα με το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας του υδατικού διαμερίσματος Κεντρικής Μακεδονίας (ΣΔΚΠ, 2024). Η ΠΜ διαθέτει ένα καλά ανεπτυγμένο υδρογραφικό δίκτυο με κύριο ποταμό τον Ανθεμούντα, με μήκος 38 km. Τα τελευταία χρόνια, λόγω της κλιματικής αλλαγής και της υπερεκμετάλλευσης των υπόγειων υδάτων, ο Ανθεμούντας δε διαθέτει μόνιμη ροή κατά τη διάρκεια του έτους και συμπεριφέρεται ως εφήμερο υδατόρευμα.

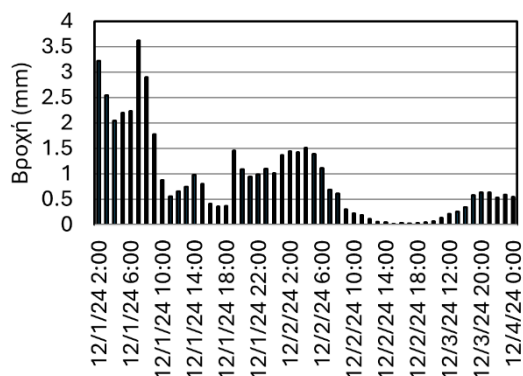


Σχήμα 1. Περιοχή Μελέτης: ΛΑ ποταμού Ανθεμούντα.

Δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη διαμόρφωση του μοντέλου είναι: (α) Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της «Ελληνικό Κτηματολόγιο Α.Ε.», το οποίο έχει χωρική ανάλυση 5×5m. Το μοντέλο ελέγχθηκε και διορθώθηκε, όπου ήταν αναγκαίο, δηλαδή σε περιοχές κοντά σε γέφυρες κατά μήκος του κύριου ρου και των δευτερευόντων παραποτάμων του Ανθεμούντα. (β) Τα δεδομένα χρήσεων γης που συλλέχθηκαν από το σύστημα Corine Land Cover (<https://sdi.eea.europa.eu/catalogue/copernicus/api/record/s/960998c1-1870-4e82-8051-6485205ebbac?language=all>) με ανάλυση 30×30 m². Από εκεί προκύπτει ότι οι μη αρδευόμενες εκτάσεις καλύπτουν τη μεγαλύτερη έκταση (51,5%) της περιοχής, η σκληρόφυλλη βλάστηση και οι θάμνοι αποτελούν, επίσης, σημαντικό μέρος της περιοχής

(25,3%), ενώ το δομημένο περιβάλλον καλύπτει περίπου το 5% της περιοχής. (γ) Ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα βροχόπτωσης σε μορφή καννάβου, τα οποία αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων ERA5 του ECMWF με χωρική ανάλυση $1 \times 1 \text{ km}^2$ (Hersbach et al., 2020). Ενδεικτικά, στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται το υετογράφημα από ένα πρόσφατο γεγονός βροχής (1-4 Δεκεμβρίου 2024) που προσομοιώθηκε.



Σχήμα 2. Υετογράφημα γεγονότος προσομοίωσης (1-4 Δεκεμβρίου 2024) στην περιοχή των Βασιλικών

Αριθμητικό Μοντέλο

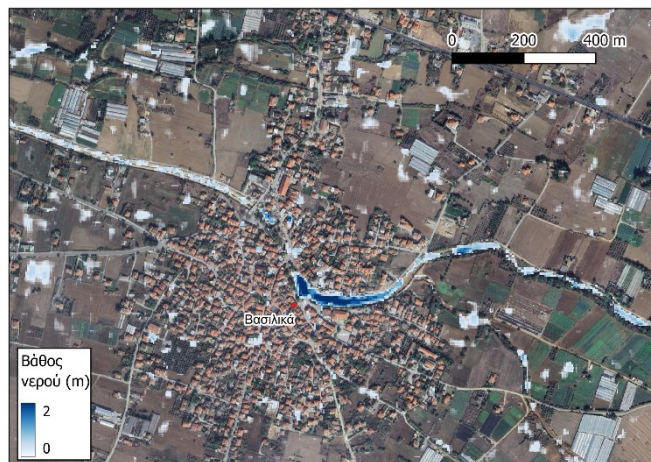
Η υδραυλική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με το μοντέλο HEC-RAS v6.4, επιλύοντας τις δισδιάστατες εξισώσεις διάδοσης κύματος. Η υπολογιστική περιοχή καλύπτει όλη την ΠΜ ώστε να λαμβάνεται υπόψη η βροχόπτωση σε όλη την έκταση.

Οριακές συνθήκες χρησιμοποιήθηκαν μόνο ως συνθήκες εξόδου της απορροής από την ΠΜ. Δεν χρησιμοποιήθηκε οριακή συνθήκη εισόδου για τις εισροές παροχής νερού στα ανάντη, καθώς το μοντέλο τροφοδοτείται με μετεωρολογικά δεδομένα. Για την εκτίμηση της ενεργού από της συνολικής βροχόπτωσης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος CSC-CN, όπου οι τιμές CN επιλέχθηκαν σε επίπεδο υπολεκανών με βάση τις εδαφολογικές συνθήκες της περιοχής στο πλαίσιο της 1^{ης} αναθεώρησης των ΣΔΚΠ (ΣΔΚΠ, 2024). Θεωρήθηκαν συνθήκες ξηρής κοίτης, λόγω της αμελητέας βασικής ροής του Ανθεμούντα. Ως κατάντη οριακή συνθήκη επιλέχθηκε το ομοιόμορφο βάθος σε όλη τη έκταση της παραθαλάσσιας περιοχής της ΠΜ. Η επιλογή της τραχύτητας έγινε με τιμές αναφοράς με βάση τα δεδομένα χρήσεων γης όπως περιγράφεται από τους Makris et al. (2023).

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο Σχήμα 3 εμφανίζεται ο χάρτης του μέγιστου βάθους νερού για μια προσομοίωση με τα δεδομένα βροχής του Σχήματος 2 και ανάλυση υπολογιστικού πλέγματος 25 m, που αφορά την περιοχή των Βασιλικών, τη μεγαλύτερη οικιστική ζώνη της περιοχής μελέτης. Για το συγκεκριμένο γεγονός φαίνεται ότι στην κύρια κοίτη του Ανθεμούντα, που διασχίζει τα Βασιλικά, αναπτύσσονται σημαντική βάθη που κυμαίνονται έως και 2.0 m, χωρίς ωστόσο να εντοπίζεται υπερχειλίση της κοίτης του. Οι μέγιστες ταχύτητες που παρατηρούνται στην κοίτη του ποταμού είναι της τάξης του $\sim 0.3 \text{ (m/s)}$ (δεν παρουσιάζονται για συντομία). Επιπλέον, σε αρκετά σημεία μακριά από την κοίτη του ποταμού παρατηρούνται περιοχές με μέγιστα βάθη ροής μεταξύ 0.1-

0.3 m, στις οποίες οι ταχύτητες είναι πρακτικά μηδενικές. Πρόκειται για περιοχές λιμναζόντων νερών οι οποίες μπορεί να εμφανίζονται λόγω του φαινομένου, αλλά μπορεί και να οφείλονται σε αριθμητικά σφάλματα λόγω της ανεπαρκούς ανάλυσης του υπολογιστικού πλέγματος (David & Schmalz, 2021). Έχουν παραχθεί επίσης αναλυτικά αποτελέσματα σχετικά με την επαλήθευση και τη βαθμονόμηση του μοντέλου καθώς και για διάφορα ιστορικά γεγονότα.



Σχήμα 3. Μέγιστη στάθμη νερού στην περιοχή των Βασιλικών

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα συγχρηματοδοτείται από την Ε.Ε. και Εθνικούς Πόρους στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Interreg Euro-MED (Έργο 0200814 LocAll4Flood: Πρόληψη και αναταξινόμηση έναντι της διακινδύνευσης από αιφνίδιες πλημμύρες στην περιοχή της Μεσογείου, μέσω ενός Ολοκληρωμένου Μοντέλου Πολυσυμμετοχικής Διακυβέρνησης)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ΣΔΚΠ (2024). Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνου Πλημμύρας (1η αναθεώρηση)- Υδατικό Διαμέρισμα Κεντρικής Μακεδονίας (ΥΔ 10).
- David, A., & Schmalz, B. (2021). A systematic analysis of the interaction between rain-on-grid-simulations and spatial resolution in 2d hydrodynamic modeling. *Water (Switzerland)*, vol. 13(17), p. 2346.
- Godara, N., Bruland, O., & Alfredsen, K. (2023). Simulation of flash flood peaks in a small and steep catchment using rain-on-grid technique. *Journal of Flood Risk Management*, vol. 16(3), p. e12898.
- Hall, J. (2015). Direct rainfall flood modelling: The good, the bad and the ugly. *Australian Journal of Water Resources*, vol. 19(1), pp. 74–85.
- Hersbach, H., et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 146(730), pp. 1999–2049.
- Makris, C., Mallios, Z., Androulidakis, Y., & Krestenitis, Y. (2023). CoastFLOOD: A High-Resolution Model for the Simulation of Coastal Inundation Due to Storm Surges. *Hydrology*, vol. 10(5), p. 103.