



CLIMPACT

ΕΘΝΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

NEWSLETTER #7

Το **Εθνικό Δίκτυο για την Κλιματική Αλλαγή - CLIMPACT**

είναι μια εμβληματική πρωτοβουλία της Γενικής Γραμματείας Έρευνας και Τεχνολογίας του Υπουργείου Ανάπτυξης και Επενδύσεων.

Το CLIMPACT αποτελείται από 11 φορείς και συγκεκριμένα την Ακαδημία Αθηνών, το Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, το Εθνικό Κέντρο Έρευνας Φυσικών Επιστημών «Δημόκριτος», το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, το Πανεπιστήμιο Κρήτης, το Πολυτεχνείο Κρήτης, το Ερευνητικό Κέντρο ΑΘΗΝΑ και το Εθνικό Κέντρο Κοινωνικών Ερευνών, με συντονιστή φορέα το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών. Πρόσφατα, στο δίκτυο έχουν γίνει δεκτά μετά από αίτημά τους και συμμετέχουν ως διασυνδεδεμένα μέλη το Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας και ο ΕΛΓΟ Δήμητρα.

Κύριος στόχος του Δικτύου CLIMPACT είναι να αποτελέσει πόλο έγκυρης εμπειρογνωμοσύνης, πάροχο εξειδικευμένων επιστημονικών υπηρεσιών που άπτονται του μετριάσμου και της προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή και συμβουλευτικό όργανο της Πολιτείας και της Κοινωνίας σε θέματα μελέτης και αντιμετώπισης της Κλιματικής Αλλαγής.

Το παρόν 7ο Newsletter του CLIMPACT έχει ως κεντρικό θέμα το μετριάσμο και την προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή στον τομέα των Πλημμυρών, στο πλαίσιο του 3ου Φόρουμ Διαλόγου του Δικτύου με τίτλο: «Διαχείριση Πλημμυρικού Κινδύνου σε Συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής» που διοργανώνεται από το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ), με την υποστήριξη της Διοικούσας Επιτροπής του CLIMPACT και του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών που συντονίζει τη δράση.

Στο τέλος του Newsletter μπορείτε να δείτε το ωρολόγιο πρόγραμμα του Φόρουμ.

Καθ. Αναστάσιος Ι. Στάμου
Επιστημονικός Υπεύθυνος CLIMPACT στο ΕΜΠ

Καθ. Νίκος Μιχαλόπουλος
Διευθυντής ΙΕΠΒΑ, Επιστημονικός Υπεύθυνος CLIMPACT

Καθ. Μανώλης Πλειώνης
Συντονιστής Δικτύου CLIMPACT

Περιεχόμενα

6

Αναστάσιος Ι. Στάμου

Μεθοδολογία υποδειγματικού σχεδιασμού ενός ολοκληρωμένου Συστήματος Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμυρών σε συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής;

21

Χάρης Κοντοές, Αλεξία Τσούνη, Θέμος Χαιρεκάκης, Σταυρούλα Σιγούρου, Βάσω Παγανά

FloodHUB: Επιχειρησιακό σύστημα πολλαπλών δεδομένων για την έγκαιρη και έγκυρη παρακολούθηση της πλημμύρας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο

28

Χριστίνα Παπαδασκαλοπούλου, Γιάννης Λεμέσιος, Χρήστος Γιαννακόπουλος, Μαρία Λοϊζίδου

Αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε αστικούς δήμους με το εργαλείο UrbanProof – η περίπτωση των πλημμυρών

34

Γιάννης Ν. Κρεστενίτης, Χρήστος Μακρής, Γιάννης Ανδρουλιδάκης, Βασίλης Μπαλτίκας, Κατερίνα Κομπιάδου

Κλιματική αλλαγή: Μεταβολές στάθμης θάλασσας και παράκτιες πλημμύρες

42

Β. Κ. Τσουκαλά, Δρ. Μ. Χονδρός, Δρ. Αν. Μεταλληνός, Δρ. Δ. Μαλλιούρη, Δρ. Ν. Μαρτζίκος, Α. Παπαδημητρίου, Β. Χαλαστάνη, Χ. Τσάιμου, Β. Αφεντούλης, ομ. Καθ. Κ. Μέμος

Κλιματική αλλαγή: Μεθοδολογία έγκαιρης πρόβλεψης και προειδοποίησης παράκτιων πλημμυρών

52

Καθ. Γεώργιος Καρατζάς

Κλιματική αλλαγή και πλημμύρες

59

Δρ. Αριστείδης Κουτρούλης

Ιχνηλατώντας για τις πλημμύρες

Αναστάσιος Ι. Στάμου
Καθηγητής και Διευθυντής
του Εργαστηρίου
Εφαρμοσμένης Υδραυλικής
του ΕΜΠ

Πίνακας 1.
Συμμετέχουσες
ομάδες ερευνητών
στο Π11

Μεθοδολογία υποδειγματικού σχεδια- σμού ενός ολοκληρωμένου Συστήματος Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμυρών σε συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής

Εφαρμογή στην πόλη της Μάνδρας

Σύμφωνα με τη διεθνή εμπειρία, σημαντικό ρόλο στον περιορισμό του κινδύνου των πλημμυρών και των επιπτώσεών τους έχουν τα Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμυρών (ΣΕΠΠ). Στο παρόν άρθρο παρου-
σιάζουμε συνοπτικά την ανάπτυξη ενός εργαλείου-μεθοδολογίας για τον υποδειγματικό σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου ΣΕΠΠ σε συνθήκες Κλι-
ματικής Αλλαγής (ΚΑ) και την εφαρμόζουμε στην πόλη της Μάνδρας. Η
μεθοδολογία αυτή αποτελεί το κύριο αντικείμενο του Πακέτου Εργασίας
ΠΕ11 του CLIMPACT, το οποίο συντονίζει το ΕΜΠ και στο οποίο συμμετέ-
χουν 28 ερευνητές από 11 ερευνητικές ομάδες: 8 του ΕΜΠ, 2 του ΕΚΠΑ και
1 του ΕΑΑ, όπως φαίνεται στον Πίνακα 1.

Ομάδα	Ερευνητές
Ομάδα υδρολογικού μοντέλου	Καθ. Ευάγγελος Μπαλτάς Δρ. Ελισάβετ Φελώνη Σοφία Σκρουφούτα Απόλλων Μπουρνάς
Ομάδα υδραυλικού μοντέλου	Καθ. Αναστάσιος Στάμου Αικατερίνη Νάνου-Γιάνναρου Δρ. Αριστείδης Μπλούτσος Γεώργιος Μητσόπουλος Ελπίδα Παναγιωτάτου Γεώργιος Τζάνες
Ομάδα γεωλογικών-γεωτεχνικών θεμάτων	Ομοτ. Καθ. Γεώργιος Τσιαμπάος Δρ. Χαράλαμπος Σαρόγλου
Ομάδα περιβαλλοντικού σχεδιασμού	Καθ. Μαρία Παπαδοπούλου Δρ. Ακριβή Λέκκα Δέσποινα Χαρχούση
Ομάδα κυκλοφορίας και μεταφορών	Καθ. Ιωάννης Γκόλιας Καθ. Ελένη Βλαχογιάννη Δρ. Χάρης Χαλκιαδάκης
Ομάδα συστήματος παρακολούθησης	Καθ. Ευστάθιος Συκάς Δρ. Δημήτριος Καλογεράς
Ομάδα Web-GIS	Καθ. Βασίλειος Βεσκούκης
Ομάδα οικονομικών επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής	Καθ. Κωνσταντίνος Αραβώσης Χρήστος Νικολούδης

ΕΚΠΑ-1	Καθ. Κωνσταντίνος Καρτάλης Θάλεια Μαυράκου
ΕΚΠΑ-2	Καθ. Ευθύμιος Λέκκας Δρ. Μιχάλης Διακάκης
ΕΑΑ-ΙΑΑΔΕΤ	Δρ. Χαράλαμπος Κοντοές

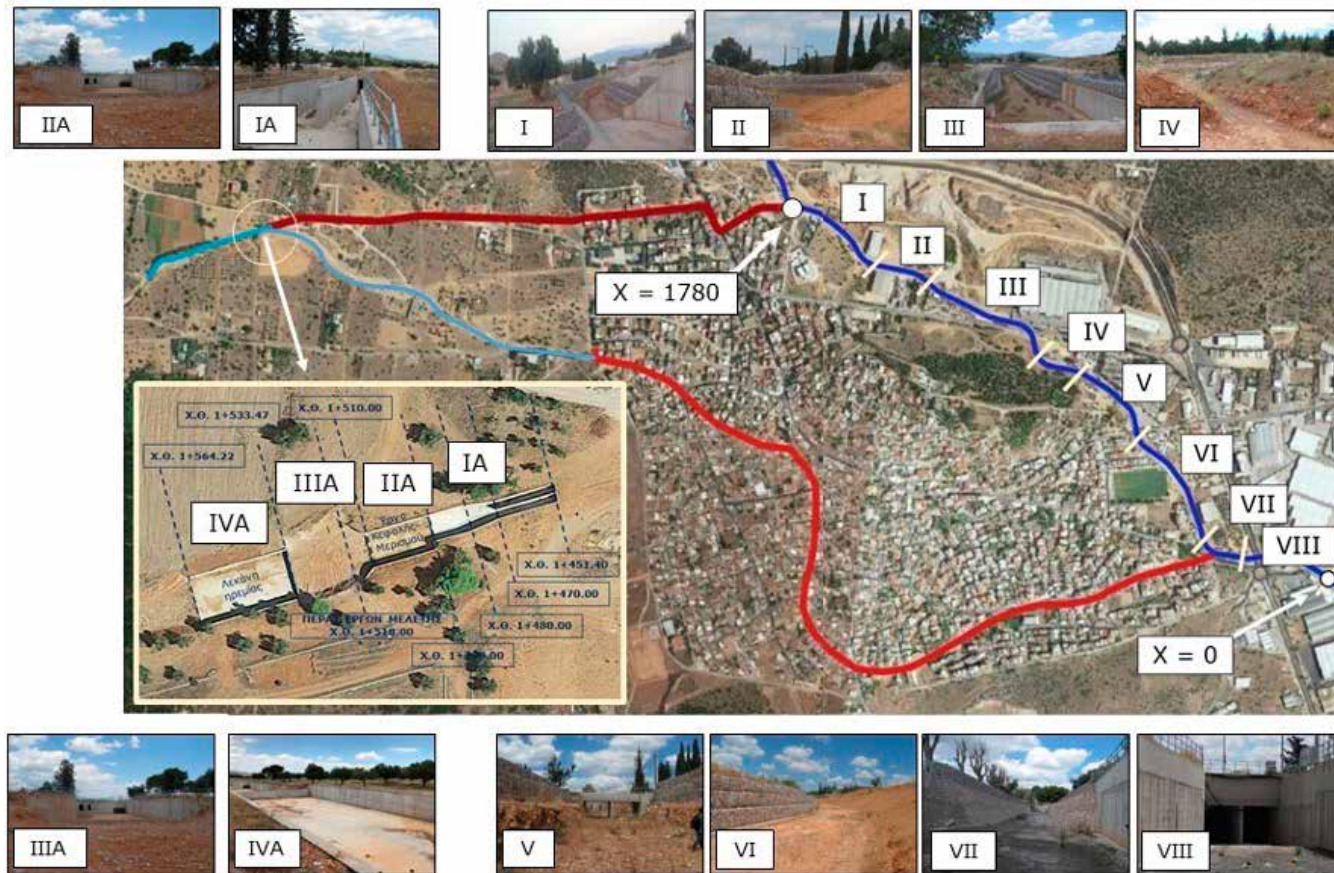
Επιλέξαμε ως περίπτωση εφαρμογής την πόλη της Μάνδρας εξαιτίας του υψηλού πλημμυρικού κινδύνου στην περιοχή της, της ύπαρξης ικανών δια-
θέσιμων στοιχείων από την καταστροφική πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017
και της δυνατότητας διερεύνησης της επίδρασης των αντιπλημμυρικών
έργων που ολοκληρώθηκαν πρόσφατα.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία αποτελείται από 8 βήματα (Β1 μέχρι Β8), τα
οποία περιγράφονται στη συνέχεια. Τα πρώτα 5 βήματα (Β1-Β5) έχουν ολο-
κληρωθεί και τα υπόλοιπα (Β5-Β8) βρίσκονται σε εξέλιξη. Μέχρι τον Ιούνιο
του 2022, η μεθοδολογία θα έχει διαμορφωθεί στην εύχρηστη μορφή ενός
εγχειριδίου (manual) ώστε να μπορεί να αποτελέσει εύχρηστο εργαλείο
σχεδιασμού ΣΕΠΠ και για άλλες περιοχές της Περιφέρειας Αττικής και της
χώρας.

Βήμα 1. Συλλογή και επεξεργασία των χαρακτηριστικών της περιοχής εφαρμογής

Συλλέγουμε και επεξεργαζόμαστε τα ακόλουθα χαρακτηριστικά της περι-
οχής:

- B1-X1.** Τοπογραφικά χαρακτηριστικά, όπως ψηφιακό μοντέλο εδάφους και τοπογραφικές αποτυπώσεις.
- B1-X2.** Περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά και περιβαλλοντική κατάσταση ρε-
μάτων.
- B1-X3.** Υδρομετεωρολογικά χαρακτηριστικά.
- B1-X4.** Υφιστάμενες και προβλεπόμενες χρήσεις γης.
- B1-X5.** Γεωτεχνικές συνθήκες και εδαφική διάβρωση ρεμάτων.
- B1-X6.** Υφιστάμενα και προγραμματιζόμενα τεχνικά έργα, κυρίως αντι-
πλημμυρικής προστασίας, τα οποία περιλαμβάνουν τις τιμές των
παραμέτρων σχεδιασμού, όπως π.χ. την περίοδο επαναφοράς (Τ)
και την παροχή σχεδιασμού (Q_d) με βάση τις σχετικές μελέτες.
- B1-X7.** Χαρακτηριστικά του συγκοινωνιακού συστήματος, όπως κρίσιμοι παρά-
γοντες διαχείρισής του, εντοπισμός του κρίσιμου οδικού δικτύου κ.ά.
- B1-X8.** Δίκτυα μετάδοσης δεδομένων.
- B1-X9.** Συμβάντα πλημμυρών και χαρακτηριστικά πλημμυρικής τρωτότη-
τας. Στα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνονται μετρήσεις/εκτιμή-
σεις χαρακτηριστικών της ροής από συμβάντα πλημμυρών στην
περιοχή εφαρμογής, όπως της έκτασης των περιοχών κατάκλυσης
(π.χ. με δορυφορικές μεθόδους), των μέγιστων βαθών ροής και των
χρόνων άφιξης της πλημμύρας.



Εικόνα 1. Τα δυο ρέματα της πόλης της Μάνδρας και τα 9 τμήματα των έργων αντιπλημμυρικής προστασίας (I μέχρι VIII)

Στην περιοχή της Μάνδρας, τα παραπάνω στοιχεία συγκεντρώθηκαν, αναλύθηκαν και επεξεργάστηκαν για να εισαχθούν σε βάση δεδομένων με γεω-αναφορά. Στην Εικόνα 1 φαίνεται η πόλη της Μάνδρας με τα 2 κύρια ρέματα που διέρχονται από αυτή, το ρέμα (ρ.) Σούρες με λεκάνη απορροής περίπου 23 km² και το ρ. Αγ. Αικατερίνης με λεκάνη απορροής περίπου 22 km², και τα κατασκευασμένα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας με τα 9 τμήματά τους. Οι επιπτώσεις της πλημμύρας του 2017 θα ήταν περιορισμένες εάν είχαν ληφθεί τα απαιτούμενα μέτρα (1) πρόληψης, όπως π.χ. οι κοίτες των ρεμάτων να ήταν «καθαρές», (2) προστασίας, όπως π.χ. να υπήρχαν αντιπλημμυρικά έργα (τα οποία πλέον υπάρχουν), και ετοιμότητας, όπως π.χ. να υπήρχε ΣΕΠΠ (Stamou 2018, Στάμου 2018)

Βήμα 2. Σχεδιασμός του Δικτύου Παρακολούθησης (ΔΠ) των υδρομετεωρολογικών παραμέτρων

Ένα ΔΠ υδρομετεωρολογικών παραμέτρων αποτελείται από τα ακόλουθα επιμέρους δίκτυα: (1) Δίκτυα μετρητών βροχόπτωσης και ροής, που είναι κυρίως οι βροχογράφοι και οι μετρητές ταχύτητας και βάθους ροής, (2) δίκτυα ραντάρ βροχόπτωσης, και (3) δίκτυα μετεωρολογικών δορυφόρων. Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δίκτυα και τα (μαθηματικά) μοντέλα (μετεωρολογικής πρόγνωσης) καιρού μπορούμε να προγνώσουμε την έλευση μιας πλημμύρας. Με τα μοντέλα καιρού μπορούμε να εκτιμήσουμε την επικίνδυνη βροχόπτωση που μπορεί να προκαλέσει μια πλημμύρα σε μια περιοχή αρκετές ημέρες πριν συμβεί αυτή η βροχόπτωση, την οποία μπορούμε να ανιχνεύσουμε αργότερα με τα δίκτυα ραντάρ και τα δίκτυα δορυφόρων. Όταν ξεκινήσει η βροχόπτωση, μπορούμε να τη μετρήσουμε στους βροχογράφους και στη συνέχεια να μετρήσουμε τα χαρακτηριστικά της ροής στα ρέματα με τους αντίστοιχους μετρητές. Επειδή, όταν ξεκινήσει η «επικίνδυνη βροχόπτωση» (κυρίως σε ξαφνικές πλημμύρες) ενδεχομένως να είναι αργά για την αποτελεσματική εφαρμογή ενός ΣΕΠΠ χρησιμοποιούμε ολοκληρωμένα μαθηματικά μοντέλα πρόγνωσης πλημμυρών (ΟΜΠΠ), βλ. Βήμα 3.

Χρησιμοποιούμε τα δεδομένα (μετρήσεις) των μετρητών βροχόπτωσης και ροής για: (1) να βαθμονομήσουμε τα ραντάρ, (2) να διορθώσουμε τις εκτιμήσεις βροχόπτωσης των δορυφόρων, (3) να βαθμονομήσουμε τα ΟΜΠΠ (βλ. Βήμα 3) και (4) να εφαρμόσουμε τα ΟΜΠΠ για να εκτιμήσουμε τον πλημμυρικό κίνδυνο και τα χαρακτηριστικά προειδοποίησης (βλ. Βήμα 5). Σε κάθε περίπτωση, ο κύριος στόχος του ΔΠ είναι η εκτίμηση των γεγονότων βροχόπτωσης που υπερβαίνουν συγκεκριμένες μέγιστες τιμές έγκαιρα, δηλ. έχοντας σημαντικό διαθέσιμο χρόνο που μας επιτρέπει να ελαχιστοποιήσουμε τις επιπτώσεις της πλημμύρας.

Για να σχεδιάσουμε ένα ΔΠ πραγματοποιούμε τα ακόλουθα:

- B2-A1.** Προσδιορισμός των δυνατοτήτων πρόγνωσης της βροχόπτωσης στην περιοχή με μοντέλα καιρού και δίκτυα ραντάρ ή/και δορυφόρων.
- B2-A2.** Εντοπισμός των υφιστάμενων δικτύων μετρητών βροχόπτωσης και ροής και αξιοποίησή τους.
- B2-A3.** Καθορισμός των απαιτούμενων μετρητών βροχόπτωσης και ροής και βέλτιστη χωροθέτησή τους.
- B2-A4.** Καθορισμός των χαρακτηριστικών των μετρητών και των απαιτήσεων συλλογής και επικοινωνίας-μετάδοσης των μετρήσεων. Το κύριο χαρακτηριστικό των μετρητών που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και το ΣΕΠΠ είναι το αν είναι αυτόματοι ή όχι (χειροκίνητοι). Πολλά ΣΕΠΠ που λειτουργούν σήμερα σε τοπικό επίπεδο είναι μη-αυτόματα και αποτελούνται από (1) το μη-αυτόματο ΔΠ που το διαχειρίζεται μια τοπική ομάδα (π.χ. εθελοντές) και συλλέγει τις μετρήσεις χειροκίνητα, (2) τον Συντονιστή πλημμυρών της τοπικής κοινότητας.

τητας, (3) τη (συνήθως απλή στη χρήση) διαδικασία πρόγνωσης πλημμύρας, (4) το δίκτυο επικοινωνίας για τη μετάδοση των προειδοποιήσεων και (5) το σχέδιο απόκρισης. Η πρόγνωση της πλημμύρας γίνεται (α) με τη χρήση πινάκων ή/και γραφημάτων και (β) την εκάστοτε τιμή της πρόγνωσης βροχόπτωσης, με βάση τα οποία υπολογίζεται η μέγιστη τιμή ενός δείκτη πλημμύρας, με την οποία εκτιμάται (α) αν θα συμβεί ή όχι η πλημμύρα και (β) πότε θα συμβεί αυτή. Οι πίνακες/γραφήματα και η πρόγνωση της βροχόπτωσης παρέχονται στο Συντονιστή από την αρμόδια κρατική μετεωρολογική υπηρεσία (π.χ. την ΕΜΥ). Τα μη-αυτόματα ΣΕΠΠ είναι απλά και οικονομικά στη λειτουργία, αλλά είναι δύσκολο να εφαρμοστούν σε απομακρυσμένες περιοχές. Τα αυτόματα ΔΠ και τα αντίστοιχα ΣΕΠΠ σχεδιάζονται, αναπτύσσονται και εφαρμόζονται συνήθως από κρατικούς φορείς (π.χ. ΕΜΥ), Δήμους ή και εξειδικευμένους ιδιωτικούς φορείς. Οι αυτόματοι μετρητές παρακολουθούν σε πρακτικά συνεχή βάση τη βροχόπτωση και τα χαρακτηριστικά ροής και ειδοποιούν όταν οι τιμές των παραπάνω μεγεθών ή όταν ο ρυθμός μεταβολής τους υπερβεί μια μέγιστη τιμή. Ένα αυτόματο ΣΕΠΠ αποτελείται από (1) το σύστημα αυτόματης λήψης των μετρήσεων, (2) το σύστημα επικοινωνίας-μετάδοσης των μετρήσεων, (3) το σύστημα αυτόματης συλλογής και επεξεργασίας των μετρήσεων, (4) τον μικροεπεξεργαστή και το λογισμικό ανάλυσης και πρόγνωσης πλημμυρών (βλ. ΟΜΠΠ, Βήμα 3).

Για την υποστήριξη των παραπάνω, διερευνούμε τη δυνατότητα αξιοποίησης δορυφορικών δεδομένων για τον εντοπισμό και την παρακολούθηση καταιγιδοφόρων πυρήνων, ενώ επιχειρείται η εκτίμηση του ύψους βροχόπτωσης με τη χρήση νευρωνικών δικτύων (Foskinis et al. 2018). Έχουμε εντοπίσει τους κύριους μετεωρολογικούς σταθμούς στην ευρύτερη περιοχή, οι οποίοι με βάση την εμπειρία της πλημμύρας του Νοεμβρίου 2017 δεν φαίνεται ότι μπορεί να αποτελέσουν τμήμα του ΔΠ στη Μάνδρα, εξαιτίας τόσο της γεωγραφικής τους θέσης όσο και της πυκνότητάς τους, χαρακτηριστικά που διαμορφώνουν ένα δίκτυο αντιπροσωπευτικό για την παρακολούθηση της βροχόπτωσης σε μια περιοχή, και που για την εν λόγω περίπτωση υπάρχει απαίτηση για ένα ολοκληρωμένο δίκτυο ανάντη του οικισμού (Theochari et al, 2021). Μπορεί, όμως να αξιοποιηθούν οι μετρήσεις του ΔΠ του FLOODHUB του ΕΑΑ, όταν αυτές θα είναι διαθέσιμες. Προσδιορίσαμε τις θέσεις των απαιτούμενων 6 μετρητών, 3 βροχογράφων και 3 μετρητών ροής με την εφαρμογή της μεθόδου Πολυκριτήριας Ανάλυσης Λήψης Απόφασης σε περιβάλλον GIS, λαμβάνοντας υπόψη (α) πρακτικές απαιτήσεις (π.χ. δυνατότητα εύκολης πρόσβασης, και (β) τα αποτελέσματα των προκαταρκτικών υπολογισμών του υδραυλικού μοντέλου (βλ. βήμα 3) για τους μετρητές ροής. Οι μετρητές θα είναι αυτόματοι για τη γρήγορη λήψη (σε πραγματικό χρόνο) των μετρήσεων και τη μετάδοσή τους στο Κέντρο Διαχείρισης και Ανάλυσης Δεδομένων (ΚΠΠ). Οι απαιτήσεις για τη συλλογή και τη επικοινωνία-μετάδοση των μετρήσεων είναι οι ακόλουθες:

(1) Απάλειψη Μοναδικών Στοιχείων Αστοχίας) σε όλα τα στοιχεία της επικοινωνίας-μετάδοσης και αποθήκευσης, (2) χρήση χαμηλής ισχύος κινητής τηλεφωνίας (NB-IOT) για την μετάδοση δεδομένων, και (3) χρήση συμπληρωματικής (τεχνολογίας) χαμηλής κατανάλωσης (Low Power WAN) διασύνδεσης των σταθμών (πέραν της κινητής τηλεφωνίας για να διαφυλαχτεί η συνεχής δυνατότητα διασύνδεσης. Συμπληρωματικά, προτείνεται η αύξηση των σημείων μέτρησης κατά τουλάχιστον 1/3 του αριθμού των κόμβων μια περιοχής για να καλυφθούν οι περιπτώσεις βλάβης οι οποίες δεν είναι εξόφθαλμα λανθασμένες και εύκολα ανιχνεύσιμες.

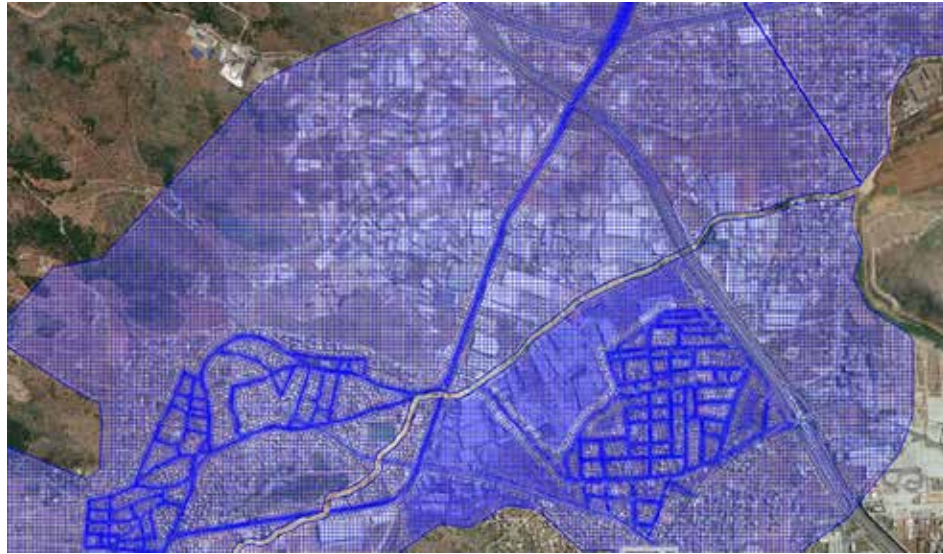
Σημειώνεται ότι στις θέσεις των μετρήσεων χαρακτηριστικών της ροής πραγματοποιείται ο προσδιορισμός των καμπυλών στάθμης-παροχής με την εφαρμογή του βαθμονομημένου υδραυλικού μοντέλου (βλ. Βήμα 5).

Βήμα 3. Δόμηση και Βαθμονόμηση του Ολοκληρωμένου Μοντέλου Πρόγνωσης Πλημμύρων (ΟΜΠΠ)

Ένα ΟΜΠΠ αποτελείται συνήθως από (1) το υδρολογικό μοντέλο και (2) το υδροδυναμικό μοντέλο. Για τη δόμηση και βαθμονόμηση του ΟΜΠΠ πραγματοποιούμε τα ακόλουθα:

- B3-B1.** Αξιολόγηση των διαθέσιμων δεδομένων και μετρήσεων/εκτιμήσεων (του βήματος 1) για την επιλογή της περίπτωσης βαθμονόμησης.
- B3-B2.** Καθορισμός των ορίων της περιοχής εφαρμογής του ΟΜΠΠ και δόμηση του τρισδιάστατου μοντέλου εδάφους της περιοχής αξιοποιώντας τα διαθέσιμα δεδομένα δίνοντας ιδιαίτερη προσοχή στις κύριες οδούς των κατοικημένων περιοχών που (ενδέχεται να) πλημμυρίζουν.
- B3-B3.** Δόμηση του υδρολογικού μοντέλου, αφού το επιλέξουμε από τα διαθέσιμα μοντέλα, και προσδιορισμός των πλημμυρογραφημάτων εκροής, τα οποία αποτελούν τα δεδομένα εισόδου στο υδραυλικό μοντέλο. Ιδιαίτερα σημασία δίνεται στην επίδραση της υγρασίας του εδάφους.
- B3-B4.** Δόμηση του υδραυλικού μοντέλου, αφού το επιλέξουμε από τα διαθέσιμα μοντέλα. Σε αρκετές περιπτώσεις, το μοντέλο που επιλέγουμε θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα διερεύνησης της επίδρασης του υπόγειου ορίζοντα και της στερεομεταφοράς (Sant et al. 2021). Πριν τη βαθμονόμηση του μοντέλου (1) επιλέγουμε τις αρχικές τιμές των συντελεστών τραχύτητας με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία και (2) πραγματοποιούμε υπολογισμούς ανεξαρτησίας του υπολογιστικού πλέγματος και οριστικοποιούμε το υπολογιστικό πλέγμα.
- B3-B5.** Πραγματοποίηση των υπολογισμών βαθμονόμησης με τους οποίους προσδιορίζουμε τις τιμές τραχύτητας για τις οποίες επιτυγχάνεται ικανοποιητική συμφωνία των υπολογισμών του μοντέλου με τις διαθέσιμες μετρήσεις.

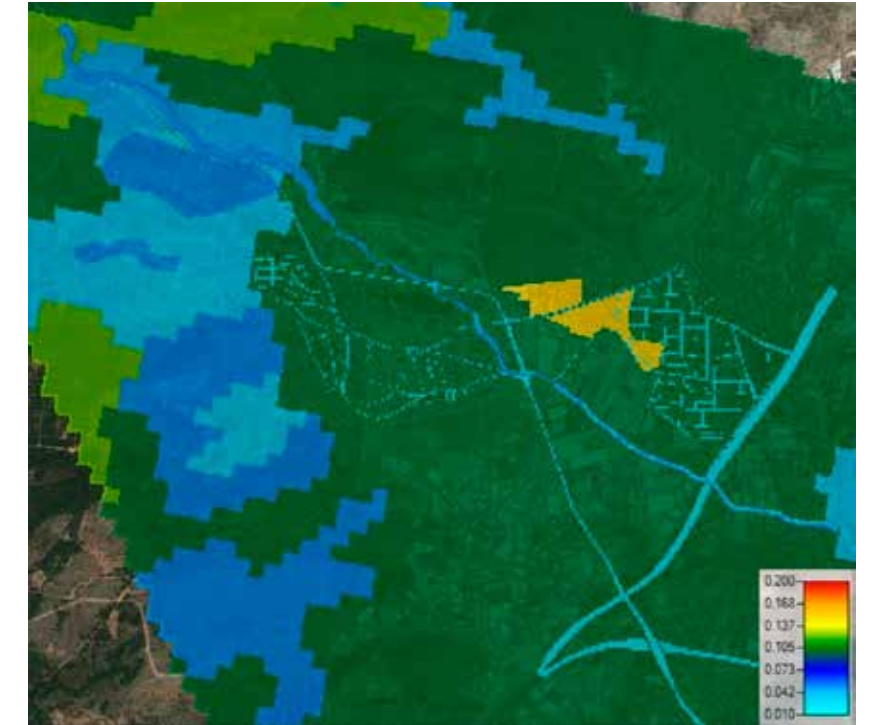
Εικόνα 2.
Τμήμα του υπολογιστικού
πλέγματος στην πόλη
της Μάνδρας



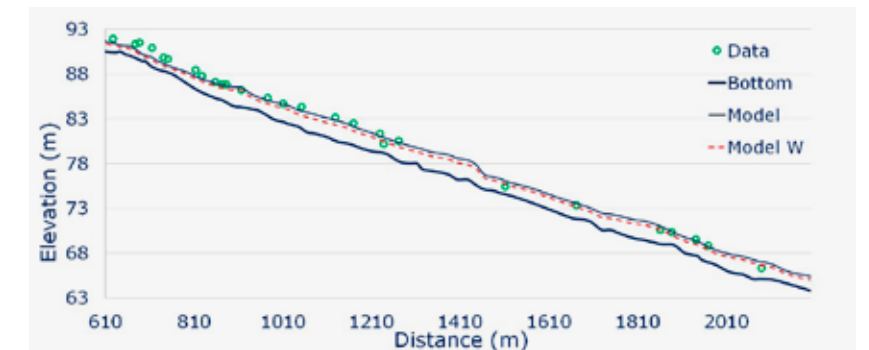
Στην περιοχή της Μάνδρας, επιλέξαμε την καταστροφική πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017 ως περίπτωση βαθμονόμησης. Προσδιορίσαμε τα όρια της περιοχής εφαρμογής και δομήσαμε το τρισδιάστατο μοντέλο εδάφους για τις συνθήκες του Νοεμβρίου 2017 συνδυάζοντας το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (DEM) και αξιοποιώντας τοπογραφικά δεδομένα, τα οποία περιλαμβάνονται στην οριστική μελέτη των αντιπλημμυρικών έργων της περιοχής Μάνδρας. Για τις δύο υπολεκάνες αναπτύξαμε το κατάλληλο υδρολογικό μοντέλο (Feloni et al., 2021), λαμβάνοντας υπόψη τα γεωμορφολογικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά τους και προσδιορίσαμε τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά τους και προσδιορίσαμε τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά τους και προσδιορίσαμε τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά τους. Από τα διαθέσιμα υδραυλικά μοντέλα, δοκιμάσαμε κατ' αρχήν τα μοντέλα TELEMAC-2D και HEC-RAS 1D/2D με τα οποία πραγματοποιήσαμε αρχικούς υπολογισμούς, οι οποίοι ήταν ικανοποιητικοί και για τα δυο μοντέλα (Μαρκόπουλος κ.α. 2019, Papadonikolaki et al. 2020, Tsokanis et al. 2021, Mitsopoulos et al. 2021a, b). Με βάση την ταχύτητα υπολογισμών, η οποία έχει μεγάλη σημασία ιδίως αν στο ΣΕΠΠ χρησιμοποιηθεί το ίδιο το μοντέλο και όχι τα αποτελέσματά του, επιλέξαμε το μοντέλο HEC-RAS 1D/2D. Πραγματοποιήσαμε υπολογισμούς ανεξαρτησίας πλέγματος και προσδιορίσαμε το βέλτιστο πλέγμα που αποτελείται γενικά από κελιά διαστάσεων 10 m x 10 m και 20 m x 20 m που οι διαστάσεις τους μειώνονται σε 5 m x 5 m στο οδικό δίκτυο της Μάνδρας και της Μαγούλας. Τμήμα του πλέγματος στην κατοικημένη περιοχή της Μάνδρας φαίνεται στην Εικόνα 2.

Οι υπολογισμοί βαθμονόμησης με τους οποίους προσδιορίσαμε τους συντελεστές τραχύτητας όπως φαίνονται στην Εικόνα 3 έδειξαν μια πολύ ικανοποιητική συμφωνία με τις διαθέσιμες μετρήσεις. Χαρακτηριστικά φαίνονται στις Εικόνες 4 και 5 η σύγκριση (α) των υπολογισμένων βαθμών ροής με τις μετρήσεις στην οδό Κοροπούλη και (β) η έκταση της περιοχής κατάληψης της πλημμύρας με τις διαθέσιμες παρατηρήσεις (Diakakis et al. 2018, Mitsopoulos et al. 2021a, b). Με βάση τα παραπάνω, διαπιστώθηκε ότι το ΟΜΠΠ είναι βαθμονομημένο και αξιόπιστο για την εφαρμογή του στο ΣΕΠΠ.

Εικόνα 3.
Κατανομή των τιμών
των συντελεστών
τραχύτητας



Εικόνα 4.
Σύγκριση των υπολογισμένων
βαθών ροής με τις μετρήσεις
στην Οδό Κοροπούλη
(Model: υπολογισμοί για
το 2017 και Model W:
υπολογισμοί για το 2021
με τα έργα)



Εικόνα 5.
Σύγκριση της υπολογισμένης
περιοχής κατάληψης με την
παρατηρηθείσα



Βήμα 4. Προσδιορισμός της παροχευτικότητας των έργων σε συνθήκες κλιματικής αλλαγής

Πραγματοποιούμε το βήμα 4 όταν προγραμματίζονται ή κατασκευάζονται έργα στην περιοχή εφαρμογής, τα οποία επηρεάζουν το σχεδιασμό του ΣΕΠΠ, όπως είναι κυρίως τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας στην περιοχή στο στάδιο της μελέτης ή της κατασκευής. Για τον προσδιορισμό της παροχευτικότητας αυτών των έργων, πραγματοποιούμε τα ακόλουθα:

- B4-Π1.** Προσδιορισμός της παροχής σχεδιασμού λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις της ΚΑ.
- B4-Π2.** Τροποποίηση του τρισδιάστατου μοντέλου εδάφους της περιοχής (βλ. B3-B2), λαμβάνοντας υπόψη τα έργα.
- B4-Π3.** Καθορισμός των σεναρίων υδραυλικών υπολογισμών.
- B4-Π4.** Πραγματοποίηση υδραυλικών υπολογισμών για τον προσδιορισμό της παροχευτικότητας των έργων (για όλα τα σενάρια, βλ. B4-Π3).
- B4-Π5.** Σχολιασμός αποτελεσμάτων και εντοπισμός θέσεων ενδεχόμενων υπερχειλίσεων των έργων.

Στην περιοχή της Μάνδρας, τροποποιήσαμε το μοντέλο εδάφους της περιοχής (α) χρησιμοποιώντας τα κατασκευαστικά σχέδια των έργων, και (β) τοπογραφική αποτύπωση που πραγματοποιήθηκε από ερευνητές του ΕΜΠ, κυρίως στις περιοχές που υπήρχαν αξιολογες αποκλίσεις από τα υφιστάμενα δεδομένα. Για μια ευκολότερη αξιολόγηση διακρίναμε 9 τμήματα έργων με σχεδόν παρόμοια χαρακτηριστικά το καθένα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 2. Στη συνέχεια, καθορίσαμε τα σενάρια υπολογισμών, πραγματοποιήσαμε υπολογισμούς μόνιμης 1D ροής και συγκρίναμε τα αποτελέσματά τους με τις τιμές της μελέτης για ποσοστό πλήρωσης των αγωγών 70% και 100%. Για λόγους ελέγχου, πραγματοποιήσαμε 2D υδραυλικούς υπολογισμούς της παροχευτικότητας των έργων, τα αποτελέσματα των οποίων δεν παρουσίασαν σημαντικές διαφορές από αυτές των 1D υπολογισμών. Παρά τις μη-αμελητέες διαφορές των έργων που κατασκευάστηκαν από αυτά που περιγράφονται στη μελέτη, διαπιστώθηκε ότι τα κατασκευασμένα έργα θεωρώντας πλήρωση 100% είναι ικανά να παροχετεύσουν τις παροχές της μελέτης χωρίς υπερχειλίση (Mitsopoulos et al., 2021b).

Ρέμα	Τμήμα	Μελέτη (70%)	Μοντέλο(70%)	Μοντέλο (100%)
Σούρες	I	91	50	93
Σούρες	II	91	50	107
Σούρες	III	91	75	109
Σούρες	IV	91	240	350
Σούρες	V	91	109	200
Σούρες	VI	91	50	103
Σούρες	VII	91	109	170
Σούρες	VIII	125	150	196
Αγία Αικατερίνη	Αγωγός εκτροπής	47	47	62

Πίνακας 2.
Σύγκριση των υπολογισθέντων παροχών (m3/s) στα 9 τμήματα των έργων (βλ. Εικόνα 1) με τις τιμές της οριστικής μελέτης για πλήρωση 70 % και 100 %

Βήμα 5. Εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου και των χαρακτηριστικών προειδοποίησης

Για την εκτίμηση του πλημμυρικού κινδύνου (Tsokanis et al. 2021, Mitsopoulos et al. 2021c) και τα χαρακτηριστικά προειδοποίησης στην περιοχή εφαρμογής πραγματοποιούμε τα ακόλουθα:

- B5-K1.** Καθορισμός σεναρίων υπολογισμών του ΟΜΠΠ, για καθένα από τα οποία πραγματοποιούμε τις παρακάτω ενέργειες.
- B5-K2.** Πραγματοποίηση υπολογισμών του υδρολογικού μοντέλου για τον προσδιορισμό των υδρογραφημάτων εισροής.
- B5-K3.** Πραγματοποίηση υπολογισμών του 1D/2D υδραυλικού μοντέλου για τον προσδιορισμό (α) των ταχυτήτων και βαθών ροής στην περιοχή εφαρμογής και των (β) περιοχών κατάληψης από την πλημμύρα.
- B5-K4.** Εκτίμηση της χωρικής κατανομής της επικινδυνότητας (hazard).
- B5-K5.** Εκτίμηση της χωρικής κατανομής της τρωτότητας (vulnerability).
- B5-K6.** Εκτίμηση της χωρικής κατανομής του πλημμυρικού κινδύνου (risk).
- B5-K7.** Εκτίμηση των περιοχών κατάκλυσης και υψηλού κινδύνου.
- B5-K8.** Εκτίμηση των χρόνων άφιξης της πλημμύρας και των διαθέσιμων χρόνων προειδοποίησης, κυρίως στις περιοχές υψηλού κινδύνου.
- B5-K9.** Προσδιορισμός των καμπυλών στάθμης παροχής στις θέσεις μέτρησης βαθών και ταχυτήτων ροής.
- B5-K10.** Σχολιασμός των αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων, τα οποία περιλαμβάνουν τη σύγκριση του υπολογιζόμενου πλημμυρικού κινδύνου με αυτόν που παρατίθεται στα Σχέδια Διαχείρισης Πλημμυρών, προτάσεις μέτρων προστασίας, διερεύνηση της επίδρασης των έργων κ.α.

Στην περιοχή της Μάνδρας, καθορίσαμε τα χαρακτηριστικά 17 σεναρίων που περιλαμβάνουν την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017 και τις πλημμύρες για διάφορους συνδυασμούς τιμών περιόδων επαναφοράς (T=10, 20, 50 και 100 έτη) και διάρκειας βροχής. Μέχρι σήμερα, έχουμε πραγματοποιήσει και επεξεργαστεί τους υπολογισμούς και εκτιμήσεις των B5-K2 μέχρι B5-K10 για την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017, ενώ βρίσκονται σε εξέλιξη οι υπολογισμοί για τα υπόλοιπα σενάρια. Δυο σημαντικά συμπεράσματα για την πλημμύρα του Νοεμβρίου 2017 είναι ότι η κατασκευή των έργων (α) δεν επηρεάζει σημαντικά την έκταση της περιοχής κατάληψης από την πλημμύρα (βλ. Εικόνα 6), (β) μειώνει τα βάθη και τις ταχύτητες ροής που παρατηρούνται στους κύριους δρόμους της Μάνδρας (βλ. Εικόνα 4), και (γ) αυξάνει σημαντικά τους χρόνους άφιξης του πλημμυρικού κύματος (που δημιουργεί ροή στους δρόμους με βάθος νερού ίσο με 30 cm), βελτιώνοντας σημαντικά την ικανότητα πρόγνωσης του ΣΕΠΠ (Mitsopoulos et al. 2021b). Επίσης, πραγματοποιήθηκε εκτίμηση της χωρικής κατανομής του πλημμυρικού κινδύνου (Bloutsos et al. 2021, Mitsopoulos et al. 2021c).



Εικόνα 6. Σύγκριση των περιοχών κατάληψης το 2017 (πάνω) και σήμερα (κάτω)

Βήμα 6. Σχεδιασμός του Κέντρου Διαχείρισης και Ανάλυσης Δεδομένων και Πρόγνωσης Πλημμύρων (ΚΠΠ)

Στο ΚΠΠ πραγματοποιούμε την επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων του ΔΠ (βλ. Βήμα 3) για (α) να εντοπίσουμε την ενδεχόμενη εμφάνιση μιας πλημμύρας και (β) να εκτιμήσουμε τις επιπτώσεις της.

Για να σχεδιάσουμε ένα ΚΠΠ πραγματοποιούμε τους ακόλουθους επιμέρους σχεδιασμούς:

- B6-E1.** Σχεδιασμός των λειτουργικών συστημάτων και του υλισμικού (σταθμοί εργασίας), όπως π.χ. PCs με Windows ή Mac OS X και UNIX-based σταθμοί εργασίας.
- B6-E2.** Σχεδιασμός των προγραμμάτων Η/Υ που απαιτούνται για τη συλλογή, ανάλυση, ολοκλήρωση και εμφάνιση/παρουσίαση των δεδομένων και τη διάδοση προϊόντων σε ένα κέντρο.
- B6-E3.** Σχεδιασμός των προγραμμάτων ασφαλείας και εφεδρείας του εξοπλισμού.
- B6-E4.** Σχεδιασμός των προγραμμάτων συντήρησης του λογισμικού και υλισμικού.

Ο σχεδιασμός του ΚΠΠ στην περιοχή της Μάνδρας βρίσκεται σε εξέλιξη. Εξετάζονται δυο δυνατότητες στη διαμόρφωση του λογισμικού πρόγνωσης πλημμύρας: (1) εισαγωγή του ΟΜΠΠ στο λογισμικό για την πραγματοποίηση υπολογισμών με στοιχεία εισόδου τα εκάστοτε πλημμυρογράφηματα και (2) προσδιορισμός των τιμών υπέρβασης στους μετρητές του ΔΠ και εφαρμογή τους στο λογισμικό.

Τα βήματα 7 και 8 περιγράφονται συνήθως στο εθνικό σχέδιο αντιμετώπισης των κινδύνων πλημμύρας και πραγματοποιούνται από την αρμόδια κρατική υπηρεσία και τις διαδικασίες που ορίζει η σχετική νομοθεσία. Οι πληροφορίες που περιγράφονται στη συνέχεια έχουν ως στόχο τη διευκόλυνση του έργου της υπηρεσίας και την πληρότητα της μεθοδολογίας του ΣΕΠΠ.

Βήμα 7. Σύνταξη του Σχεδίου Μετάδοσης και Επικοινωνίας των Προειδοποιήσεων

Στο βήμα 7 πραγματοποιούμε τα ακόλουθα:

- B7-Π1.** Καθορισμός του αρμοδίου που στέλνει τις προειδοποιήσεις. Σημειώνεται ότι συνήθως οι κάτοικοι να δείχνουν μεγαλύτερη εμπιστοσύνη σε πληροφορίες που λαμβάνουν από κάποιον που έχει γνώση της περιοχής, σε σχέση με κάποιον από ένα μακρινό γραφείο που μπορεί να μην είναι τόσο ευαισθητοποιημένος στις τοπικές ανάγκες.
- B7-Π2.** Καθορισμός των απαιτούμενων χαρακτηριστικών των προειδοποιήσεων. Για να είναι αποτελεσματικές οι προειδοποιήσεις, θα πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: (1) Να κοινοποιούνται

(στέλνονται) έγκαιρα στους ανθρώπους που κινδυνεύουν και να γίνονται αποδεκτές και κατανοητές από αυτούς. (2) Το περιεχόμενό τους θα πρέπει να είναι σύντομο, συνοπτικό, κατανοητό και να απαντά στις ερωτήσεις «τι;», «πού;», «πότε;», «γιατί;» και «πώς να αντιδράσω;». Να περιλαμβάνουν λεπτομερείς πληροφορίες για τους κινδύνους χρησιμοποιώντας τοπικές γεωγραφικές αναφορές. Ο όρος «τρόπος» αναφέρεται στη «διαδρομή» της επικοινωνίας που περιλαμβάνει τη μορφή του μηνύματος προειδοποίησης (κείμενο, γραφικά ή ήχο) και τα μέσα ενημέρωσης που χρησιμοποιούνται (ραδιόφωνο, τηλέφωνο, internet, σειρήνες, οπτικές προειδοποιήσεις, ακόμη και αγγελιοφόροι που χρησιμοποιούνται για ορισμένες απομακρυσμένες τοποθεσίες), το συντονισμό και την ανταλλαγή πληροφοριών. Συνιστάται να χρησιμοποιούνται πολλαπλοί δίαυλοι επικοινωνίας για να εξασφαλίζεται η ελάχιστη καθυστέρηση στην παράδοση του μηνύματος στους τελικούς χρήστες και η μετάδοση πρέπει να γίνεται από πολλαπλές αξιόπιστες πηγές.

Βήμα 8. Σύνταξη του προγράμματος προετοιμασίας/ετοιμότητας και αντίδρασης/αντιμετώπισης της πλημμύρας

Στο βήμα 8 πραγματοποιούμε τα ακόλουθα:

B8-A1. Προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της τοπικής κοινωνίας που καθορίζουν τη συμπεριφορά τους σε περίπτωση πλημμύρας. Είναι απαραίτητο τα άτομα που διατρέχουν κίνδυνο να λαμβάνουν και να ερμηνεύουν σωστά τις προειδοποιήσεις που εκδίδονται, π.χ. από την τοπική αστυνομία, ώστε να μπορούν να εξάγουν τα σωστά συμπεράσματα για τις ενέργειες που πρέπει να κάνουν. Όταν αυτά ενεργούν λανθασμένα μπορεί να προκληθούν θάνατοι. Πολλοί θάνατοι έχουν καταγραφεί σε παγκόσμιο επίπεδο, καθώς άτομα προσπαθούσαν να οδηγήσουν ή να περπατήσουν στα ρέματα χωρίς να γνωρίζουν ή να εκτιμούν σωστά τον κίνδυνο. Κατά συνέπεια, οι προειδοποιήσεις δεν πρέπει μόνο να γίνονται έγκαιρα, αλλά να είναι συμβατές με την αντίληψη της τοπικής κοινότητας σχετικά με τις πλημμύρες και τους παράγοντες που επηρεάζουν τις αντιδράσεις των μελών της που λαμβάνουν την προειδοποίηση.

B8-A2. Προσδιορισμός των δραστηριοτήτων για την αποτελεσματική προετοιμασία της τοπικής κοινωνίας να αντιμετωπίσει μια πλημμύρα, όπως εκπαιδευτικά προγράμματα σε τοπικό επίπεδο - επίσης και σε σχολεία - δημοσιεύσεις και βίντεο, μηνύματα στο ραδιόφωνο και την τηλεόραση, π.χ. σχετικά με τις ενέργειες που πρέπει να λάβει κάποιος σε περίπτωση προειδοποίησης για πλημμύρες, για τη βελτιστοποίηση της επικοινωνίας των προειδοποιήσεων και των δράσεων ετοιμότητας (Diakakis et al, 2020a, Diakakis et al, 2020b).

Στην Ελλάδα δεν έχουν πραγματοποιηθεί μελέτες σχετικά με τις αντιλήψεις και τα χαρακτηριστικά του τοπικού πληθυσμού σε περίπτωση πλημμυρών, τα οποία προσδιορίζονται συνήθως μέσω έρευνας με τη χρήση ερωτηματολογίων. Τον Οκτώβριο και Νοέμβριο του 2018 πραγματοποιήσαμε έρευνα στην πόλη της Μάνδρας σε προκαταρκτικό επίπεδο (Καραμούστου και Στάμου 2019) με χρήση ερωτηματολογίου που συμπληρωνόταν με συνέντευξη, το οποίο διαμορφώθηκε με βάση τη διεθνή εμπειρία, ώστε να είναι κατανοητό, ενδιαφέρον και να πείθει τους ερωτώμενους να το συμπληρώσουν. Δυο ενδεικτικά συμπεράσματα της έρευνας ήταν τα ακόλουθα: (1) Στην ερώτηση εάν γνωρίζουν οι κάτοικοι της Μάνδρας τι να κάνουν για να αντιμετωπίσουν μια πλημμύρα στη περιοχή, 60% των ερωτώμενων απάντησε αρνητικά, 21% θετικά και 19% απάντησε «δεν ξέρω». Επιπλέον, 9 στους 10 κατοίκους θεωρούν ότι τα υφιστάμενα αντιπλημμυρικά έργα στη Μάνδρα είναι ανεπαρκή και 7 στους 10 ότι δεν υπάρχει οργανωμένο σχέδιο αντιμετώπισης για πλημμύρες (2 στους 10 απάντησαν ότι υπάρχει). (2) Μόνο 3 στους 10 κατοίκους της Μάνδρας νιώθουν σήμερα ότι είναι «άριστα» ή «πολύ» έτοιμοι να αντιμετωπίσουν μια πλημμύρα και μόνο 2 θεωρούν ότι είναι το ίδιο έτοιμος ο γείτονάς τους. Η διαπίστωση αυτή καθιστά επιτακτική την ανάγκη ενημέρωσης των κατοίκων από τη μεριά της Πολιτείας για να αυξήσει την αίσθηση της ετοιμότητας και της ασφάλειας τους. Αυτό μπορεί να γίνει με ασκήσεις ετοιμότητας αντιμετώπισης πλημμύρας, τις οποίες το 94 % των κατοίκων της Μάνδρας θεωρεί «πολύ χρήσιμες» (72 %) μέχρι «χρήσιμες» (21 %), ενώ το 2 % των ερωτώμενων κρίνει ότι δεν χρειάζονται. Τα αποτελέσματα της έρευνας μπορούν να αξιοποιηθούν στη δόμηση του ΣΕΠΠ με τη σχετική επιφύλαξη που επιβάλλει ο προκαταρκτικός χαρακτήρας της.

Δημοσιεύσεις

1. Bloutsos, A., Mitsopoulos, G., Tsokanis, K., Diakakis, M., Lekkas, E. and Stamou, A. (2021). Estimating Flood Risk using combined 1D/2D modeling: the case of the 2017 flash flood in Mandra, Greece. *CEST Athens 1- 4/9/2021*.

2. Diakakis, M., Andreadakis, E., Nikolopoulos, E.I., Spyrou, N.I., Gogou, M.E., Deligiannakis, G., Katsetsiadou, N.K., Antoniadis, Z., Melaki, M., Georgakopoulos, A. Tsaprouni, K., Kalogiros, J. and Lekkas, E. (2018). An integrated approach of ground and aerial observations in flash flood disaster investigations. The case of the 2017 Mandra flash flood in Greece. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.10.015>

3. Diakakis, M., Deligiannakis, G., Andreadakis, E., Katsetsiadou, K. N., Spyrou, N. I. and Gogou, M. E. (2020a). How different surrounding environments influence the characteristics of flash flood - mortality:

ty: The case of the 2017 extreme flood in Mandra, Greece. *Journal of Flood Risk Management*, 13 (3), e12613. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12613>.

4. Diakakis, M., Boufidis, N., Grau, J. M. S., Andreadakis E. and Stamos I. (2020b). A systematic assessment of the effects of extreme flash floods on transportation infrastructure and circulation: the example of the 2017 Mandra flood. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 47, 101542.

5. Feloni, E., Theochari, A.-P., Skroufouta, S., Stamou, A. and Baltas, E. (2021). Analysis of the hydrologic conditions during the flood event occurred in Mandra, Greece, on November 2017. *CEST Athens 1-4/9 2021*.

6. Foskinis, R., Cartalis, C., Karatasou, S. and Mavrakou, Th. (2018). Analysis of cloud structures and cloud controlling processes for the estimation of precipitation

18

NEWSLETTER #7

19

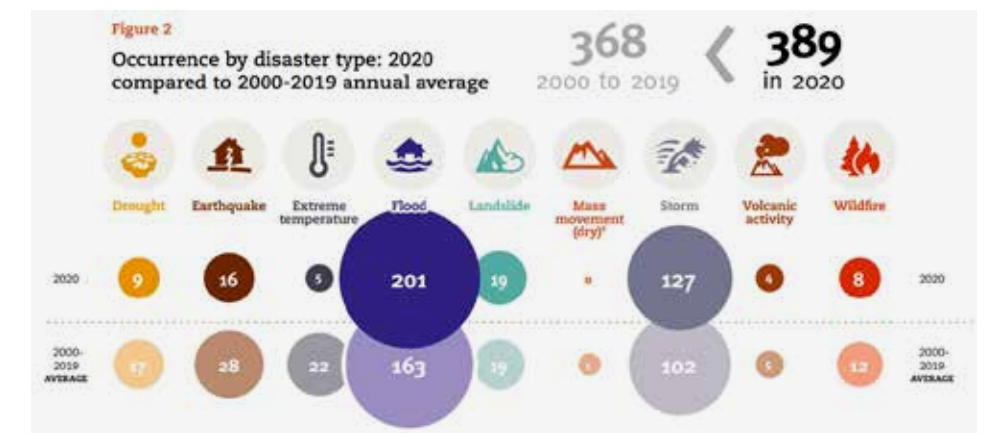
- from mesoscale convective with the use of satellite data and neural networks. *11th HyMeX Workshop*, Mykonos, Greece.
7. Mitsopoulos, G., Bloutsos, A., Diakakis, M., Lekkas, E., Panagiotatou, E., Baltas, E. and Stamou, A. (2021a). Comparison of 2D with combined 1D/2D modeling: the case of the 2017 flash flood in Mandra, Greece. *CEST Athens 1-4/9/2021*.
8. Mitsopoulos, G., Diakakis, M., Panagiotatou, E., Sant, V., Lekkas, E., Baltas, E. and Stamou, A. (2021b). The Effect of Flood Protection Works on Flood Behaviour: The Case of The Disastrous Flash Flood of November 2017 In Mandra, Attica, Greece. *Urban Water Journal* (submitted).
9. Mitsopoulos, G., Diakakis, M., Panagiotatou, E., Sant, V., Lekkas, E., Baltas, E. and Stamou, A. (2021c). The Effect of Flood Protection Works on Flood Risk: The Case of the Disastrous Flash Flood of November 2017 on Mandra, Attica, Greece. *Urban Water Journal* (submitted).
10. Papadonikolaki, G., Mitsopoulos, G., Mavrogeorgos, C., Bloutsos, A. and Stamou, A. (2020). Modelling the disastrous Flash Flood of November 2017 in Mandra (Attica, Greece). *6th IAHR Europe Congress, June 30th – July 2nd, 2020, Warsaw, Poland*.
11. Sant, V., Mitsopoulos, G., Bloutsos, A., Stamou, A. (2021). Modelling Sediment Transport in the disastrous Flash Flood of November 2017 in Mandra (Attica, Greece). *EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-10561*. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-10561>, 2021.
12. Stamou, A. (2018). The Disastrous Flash Flood of Mandra in Attica-Greece and Now What?. *Civil Engineering Research Journal*, 6 (1): 555677. <https://doi.org/10.19080/CERJ.2018.05.555677>.
13. Tsokanis, K., Mitsopoulos, G., Bloutsos, A. and Stamou, A. (2021). Modelling the disastrous Flash Flood of November 2017 in Mandra (Attica, Greece). *EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-15041*. <https://doi.org/10.5194/EYE, 2021>.
14. Καραμούστου, Π. και Στάμου, Α. (2019). Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης Ξαφνικών Πλημμυρών και η Τοπική Κοινότητα – Η Περίπτωση της Μάνδρας Αττικής. *Πρακτικά 14ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης*, Βόλος, Ελλάδα, 16-17 Μαΐου 2019.
15. Μαρκόπουλος-Σαρίκας, Γ., Ζέρβα, Ι., Μαυρογεώργος Κ. και Στάμου Α. (2019). Προσομοίωση της ξαφνικής πλημμύρας στη Μάνδρα Αττικής το 2017 με το διδιάστατο μοντέλο TELEMACH-2D. *Πρακτικά 14ου Πανελληνίου Συνεδρίου Ελληνικής Υδροτεχνικής Ένωσης*, Βόλος, Ελλάδα, 16-17 Μαΐου 2019.
16. Στάμου, Α. (2018). Η καταστροφική πλημμύρα της Μάνδρας. Ενέργειες για την αποφυγή παρόμοιας καταστροφής στο μέλλον. *Προμηθέας*, 9: 6-7, Μάιος – Ιούνιος 2018.

Χάρης Κοντοές
Αλεξία Τσούνη
Θέμος Χαιρεκάκης
Σταυρούλα Σιγούρου
Βάσω Παγανά

Κέντρο Επιστημών Παρατήρησης της Γης και Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης BEYOND - Ινστιτούτο Αστρονομίας, Αστροφυσικής, Διαστημικών Εφαρμογών & Τηλεπισκόπησης - Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

FloodHUB: Επιχειρησιακό σύστημα πολλαπλών δεδομένων για την έγκαιρη και έγκυρη παρακολούθηση της πλημμύρας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο

Σύμφωνα με τα πρόσφατα στοιχεία (2021) που δημοσίευσε το Κέντρο Έρευνας για την Επιδημιολογία των Καταστροφών και το Γραφείο των Ηνωμένων Εθνών για τη Μείωση του Κινδύνου των Καταστροφών, η πλημμύρα ήταν ο πιο συχνός τύπος καταστροφής το 2020. Και επιπλέον η συχνότητα των πλημμυρών αυξήθηκε σημαντικά το 2020, σε σύγκριση με τον ετήσιο μέσο όρο της προηγούμενης δεκαετίας 2000-2019.



Συχνότητα ανά τύπο καταστροφής: 2020 σε σύγκριση με τον ετήσιο μέσο όρο 2000-2019. Πηγή: Κέντρο Έρευνας για την Επιδημιολογία των Καταστροφών & Γραφείο των Ηνωμένων Εθνών για τη Μείωση του Κινδύνου των Καταστροφών, 2021

Το Κέντρο Επιστημών Παρατήρησης της Γης και Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης BEYOND του Ινστιτούτου Αστρονομίας, Αστροφυσικής, Διαστημικών Εφαρμογών & Τηλεπισκόπησης του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών έχει αναπτύξει το επιχειρησιακό σύστημα FloodHUB για την έγκαιρη προειδοποίηση και παρακολούθηση της πλημμύρας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο. Στην σημερινή του επιχειρησιακή μορφή το σύστημα FloodHUB δομήθηκε στο πλαίσιο των Πακέτου Εργασίας ΠΕ9: Επικινδυνότητα από ακραία καιρικά φαινόμενα του CLIMPACT και του αντίστοιχου παραδοτέου Π9.2: Προηγμένο σύστημα παρατήρησης της Γης πολλαπλών δεδομένων για την έγκαιρη και έγκυρη παρακολούθηση της έκτασης της πλημμύρας σε πραγματικό χρόνο.

Η πρώτη πιλοτική εφαρμογή του υλοποιείται στην λεκάνη απορροής της Μάνδρας, στην Αττική, η οποία είχε πληγεί από την μεγάλη φονική πλημμύρα τον Νοέμβριο του 2017 με τραγικό απολογισμό 24 νεκρούς και τεράστιες υλικές καταστροφές.

Το επιχειρησιακό σύστημα FloodHUB στην σημερινή του έκδοση εξυπηρετεί επιχειρησιακά τους Δήμους Μάνδρας-Ειδυλλίας και Ελευσίνας, την Περιφέρεια Αττικής και τις τεχνικές Υπηρεσίες της Περιφέρειας Δυτικής Αττικής, το Πυροσβεστικό Σώμα, την Πολιτική Προστασία, καθώς και τους Συλλόγους Εθελοντών Πολιτικής Προστασίας της ευρύτερης περιοχής του Θριασίου πεδίου, ως πρωτοποριακό σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης και παρακολούθησης της εξέλιξης της πλημμύρας σε σχεδόν πραγματικό χρόνο για την διαχείριση της κρίσης.

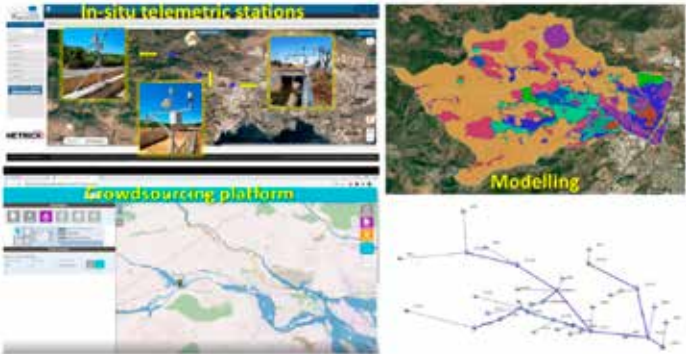
Το FloodHUB, το οποίο διακρίνεται για την πρωτοτυπία του, έχει επιδειχθεί-παρουσιαστεί στα ακόλουθα διεθνή φόρα σε μια σειρά εκδηλώσεων που πραγματοποιήθηκαν τα τελευταία δύο χρόνια από τους ακόλουθους οργανισμούς: CEOS Disasters WG σε συντονισμό της NASA, EUROGEO Flagship Initiative - Action Group for Disasters Resilience σε συντονισμό της ΕΕ, UN-SPIDER for Disasters Risk Reduction του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών, και των δράσεων GEO-CRADLE Initiative και SMURBS/ERAPLANET που παρουσίασαν το σύστημα σε αριθμό χωρών της Β. Αφρικής, Μέσης Ανατολής, Βαλκανίων και Μαύρης Θάλασσας.

Το FloodHUB στην αρχιτεκτονική του αποτελεί ένα σύστημα ανοιχτό και γενικής εφαρμογής, και μεταφέρει γεωγραφικά μιας και αξιοποιεί ανοιχτές τεχνολογίες και ελεύθερα δεδομένα και generic τεχνολογίες βασισμένες σε ICT, AI/ML, Remote Sensing, Crowd, Space, Big Data Analytics. Είναι ένα σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης με αποστολή SMS και e-mails στα αρμόδια στελέχη, καθώς και μια πρότυπη πληροφοριακή mobile & web GIS πλατφόρμα με καινοτόμες δυνατότητες, όπου εξασφαλίζει την αξιόπιστη προσομοίωση και παρέχει, για πρώτη φορά στην Ελλάδα, επιχειρησιακές εικόνες εκτίμησης στάθμης και έκτασης της πλημμύρας κάθε 5 λεπτά της ώρας, εφαρμόζοντας εξελιγμένους αλγόριθμους και συνδυάζοντας πολλαπλές πηγές δεδομένων: δορυφορικά δεδομένα, επίγειες υδρομετεωρολογικές μετρήσεις, υδρολογικά και υδραυλικά μοντέλα, καθώς και δεδομένα πληθοπορισμού. Συγκεκριμένα το FloodHUB χρησιμοποιεί:

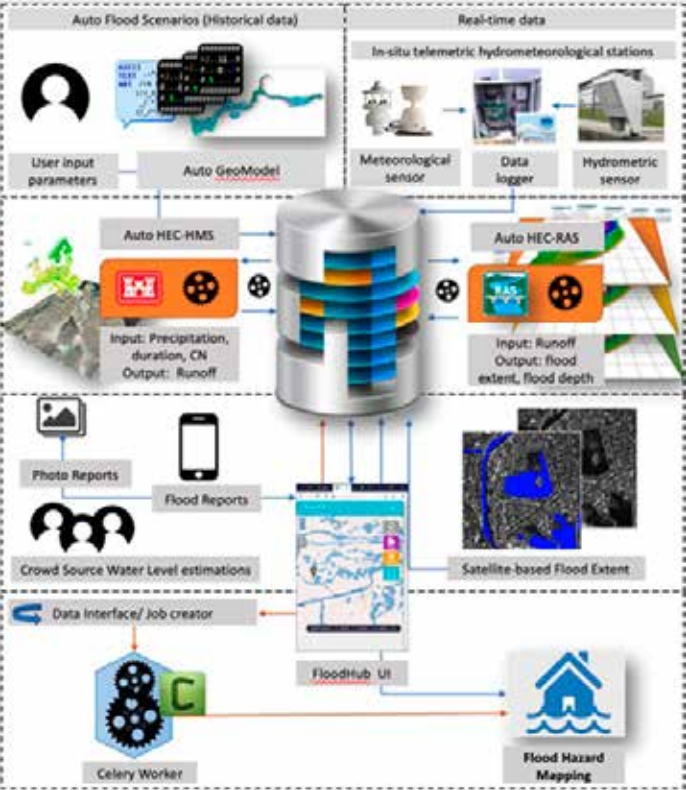
- Δορυφορικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης 10 m οι οποίες λαμβάνονται από τους δορυφόρους Sentinel του Ευρωπαϊκού Προγράμματος Copernicus που συλλέγονται το Ελληνικό Mirror Site του BEYOND/EAA.
- Επίγειες υδρομετεωρολογικές μετρήσεις οι οποίες λαμβάνονται τηλεμετρικά κάθε 5-15 λεπτά από 3 σύγχρονους σταθμούς που εγκαταστάθηκαν στην περιοχή της Μάνδρας με συγχρηματοδότηση από την Ελληνικά Πετρέλαιο Α.Ε. και το ευρωπαϊκό πρόγραμμα SMURBS/ERA-PLANET, σε συνεργασία με την Περιφέρεια Αττικής.
- Ψηφιακό μοντέλο εδάφους υψηλής χωρικής ανάλυσης 2 m, ενώ η υδρολογική και υδραυλική προσομοίωση γίνεται με τα ελεύθερα λογισμικά

HEC-HMS και HEC-RAS αντίστοιχα, το οποίο έχει διορθωθεί μέσα από εντατικές επίγειες αυτοψίες που διενεργούνται συστηματικά. Από επίγειες επίσης και αναλυτικές τοπογραφικές εργασίες έγινε και η ενημέρωση του μοντέλου εδάφους και το δικτύου απορροής λαμβάνοντας υπ όψη και ολοκληρώνοντας στα μοντέλα απορροής τις λεπτομέρειες των εν εξελίξει αντιπλημμυρικών έργων και νέων αγωγών που φτιάχτηκαν την τελευταία διετία στην περιοχή της Μάνδρας.

- Δεδομένα πληθοπορισμού τα οποία συλλέγονται από τους πιστοποιημένους χρήστες και εθελοντές σε μια δυναμική πλατφόρμα πληθοπορισμού (crowdsourcing), η οποία είναι προσβάσιμη τόσο από υπολογιστή και tablet όσο και από έξυπνο κινητό τηλέφωνο.



Αξιοποίηση πολλαπλών πηγών δεδομένων από το FloodHUB



Αρχιτεκτονική συστήματος FloodHUB



Παρουσιάσεις και εκπαιδεύσεις των αρμόδιων υπηρεσιών στο επιχειρησιακό σύστημα FloodHUB στις εγκαταστάσεις του Δήμου Μάνδρας-Ειδυλλίας



Οι πέντε κύριες λεκάνες απορροής και οι γειτνιάζουσες δευτερεύουσες (με γαλάζιο περίγραμμα) εντός της Περιφέρειας Αττικής, οι οποίες επλήγησαν περισσότερο από τις δασικές πυρκαγιές του 2021 (με κόκκινο) που προτεραιοποιήθηκαν για επείγουσα εκτίμηση των κινδύνων πλημμύρας-διάβρωσης-κατολίσθησης

Το στελεχιακό επιστημονικό δυναμικό του Κέντρου BEYOND του Ι.Α.Α.Δ.Ε.Τ./Ε.Α.Α. παρέχει πρόσβαση και πραγματοποιεί εκπαιδεύσεις των αρμόδιων στελεχών όλων των επιχειρησιακά εμπλεκόμενων φορέων στο επιχειρησιακό σύστημα FloodHUB.

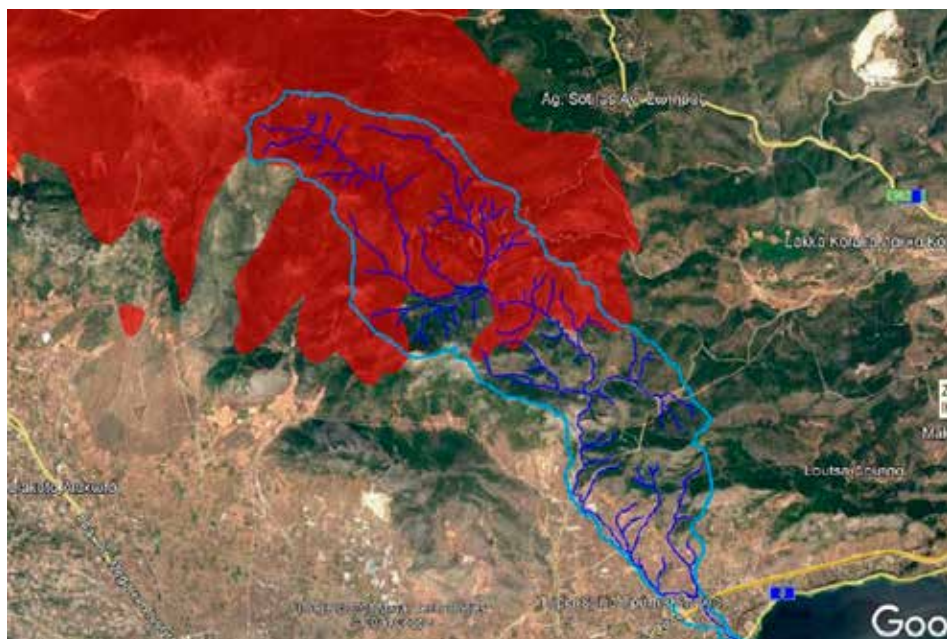
Επιπλέον των ανωτέρω, εκτάκτως, και εξαιτίας των μεγάλων δασικών πυρκαγιών του καλοκαιριού του 2021, κρίθηκε αναγκαία η επείγουσα εκτίμηση των κινδύνων πλημμύρας-διάβρωσης-κατολίσθησης στις λεκάνες απορροής της Περιφέρειας Αττικής που επλήγησαν περισσότερο από τις δασικές πυρκαγιές του 2021, με στόχο την προτεραιοποίηση των απαιτούμενων επεμβάσεων. Στην Περιφέρεια Αττικής οι καμένες εκτάσεις του 2021 ως και τον Σεπτέμβριο, όπως χαρτογραφήθηκαν από την υπηρεσία FireHub του Κέντρου BEYOND του Ι.Α.Α.Δ.Ε.Τ./Ε.Α.Α. με δορυφορικά δεδομένα Sentinel-2 υψηλής ανάλυσης (10 μ.) φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΠΛΗΓΕΙ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΟ ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΤΟΥ 2021					
A/A	ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΕΚΤΑΣΗ ΛΕΚΑΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΗΣ (στρέμματα)	ΚΑΜΕΝΗ ΕΚΤΑΣΗ (στρέμματα)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΚΑΜΕΝΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ (στρέμματα)	ΔΑΣΙΚΗ ΠΥΡΚΑΓΙΑ
1	ΑΙΓΕΙΡΟΥΣΣΕΣ - ΣΠΑΡΤΑ	48540	39980	82%	ΣΧΟΙΝΟΣ 61.650 στρέμματα 19/05/2021
2	ΝΕΡΑΚΙ ΝΕΑΣ ΠΕΡΑΜΟΥ (ΡΕΜΑ ΠΙΩΡΓΗ)	26260	12270	47%	ΒΙΛΙΑ 83.720 στρέμματα 16/08/2021
3	ΕΛΕΥΣΙΝΑ - ΜΑΝΔΡΑ - ΜΑΓΟΥΛΑ - ΟΙΝΟΗ - ΒΙΛΙΑ (ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΤΑΜΟΣ ΜΕ ΡΕΜΑΤΑ ΣΟΥΡΕΣ ΚΑΙ ΑΓ. ΑΙΚΑΤΕΡΙΝΗ)	329040	71350	22%	
4	ΑΓ. ΠΑΝΤΕΛΗΜΩΝ - ΜΑΡΑΘΩΝΑΣ - ΑΦΙΔΝΕΣ - ΙΠΠΟΚΡΑΤΕΙΟΣ ΠΟΛΙΤΕΙΑ - ΔΡΟΣΟΠΗΓΗ - ΠΕΥΚΟΦΥΤΟ	232670	37540	16%	ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗ 67.460 στρέμματα 03/08/2021
5	ΘΡΑΚΟΜΑΚΕΔΟΝΕΣ - ΒΑΡΥΜΠΟΜΠΗ - ΚΡΥΟΝΕΡΙ - ΑΧΑΡΝΕΣ (ΚΗΦΙΣΟΣ ΠΟΤΑΜΟΣ)	419950	43150	10%	

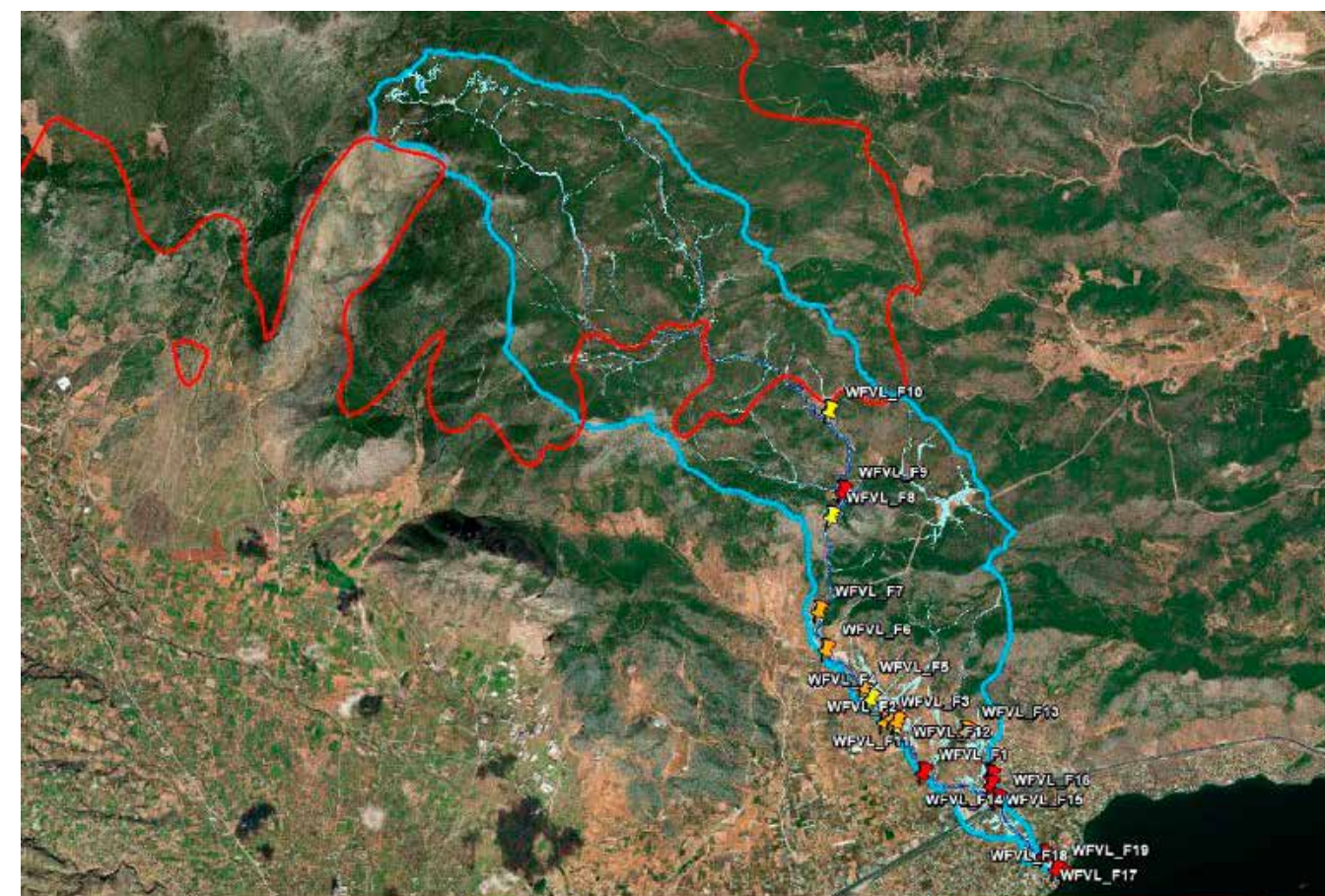
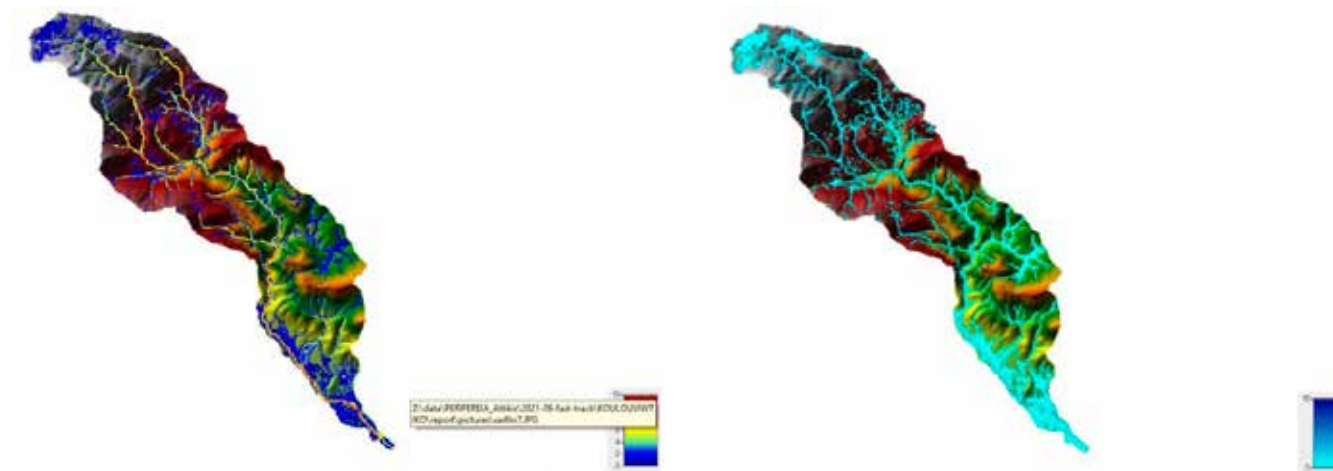
Όπως φαίνεται στο παραπάνω πίνακα με τις πληγείσες εκτάσεις σε επίπεδο υδρολογικής λεκάνης, η καταστροφή στην ευρύτερη περιοχή των Βιλίων, από την πυρκαγιά στις 16/08/2021, έπληξε και τμήμα της λεκάνης απορροής της Μάνδρας-Ειδυλλίας. Η καμένη έκταση χαρτογραφήθηκε από την υπηρεσία FireHUB του Κέντρου BEYOND του Ι.Α.Α.Δ.Ε.Τ./Ε.Α.Α. με δορυφορικά δεδομένα Sentinel-2 υψηλής ανάλυσης (10 μ.) και εκτιμήθηκε στα 83.720 στρέμματα. Εντός της λεκάνης απορροής της Μάνδρας κάηκαν 5.470 στρέμματα. Με βάση αυτή τη χαρτογράφηση, η υπηρεσία FloodHUB του Κέντρου BEYOND επικαιροποίησε την κάλυψη γης, η οποία αποτελεί δεδομένο εισόδου τόσο για την υδρολογική προσομοίωση στο HEC-HMS (μέσω της εκτίμησης του αριθμού καμπύλης απορροής CN), όσο και για την υδραυλική προσομοίωση στο HEC-RAS (μέσω της εκτίμησης του συντελεστή τραχύτητας Manning n) και την ενημέρωση των βασικών υποβάθρων του εγκατεστημένου συστήματος ώστε να δίνεται αξιόπιστη εκτίμηση του κινδύνου συνυπολογίζοντας την νέα απορροή μετά την αλλαγή του τοπίου και των χρήσεων γης.



Η λεκάνη απορροής της Μάνδρας (με γαλάζιο χρώμα) και η καμένη έκταση από την δασική πυρκαγιά στα Βίλια στις 16/08/2021 (με κόκκινο χρώμα)



Η λεκάνη απορροής (με γαλάζιο περίγραμμα) του ρέματος Γιώργη, το υδρογραφικό δίκτυο (με μπλε) και οι καμένες εκτάσεις (με κόκκινο) από την πυρκαγιά των Βιλίων.



Κρίσιμα σημεία για πλημμύρα και διαβάθμιση βαθμού επικινδυνότητας στη λεκάνη απορροής του ρέματος Γιώργη στον Δήμο Μάνδρας-Ειδυλλίας. Διαβάθμιση ταχύτητας ροής στη λεκάνη απορροής του ρέματος Γιώργη (πάνω αριστερά) και βάθους ροής στη λεκάνη απορροής του ρέματος Γιώργη (κάτω αριστερά)

Αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε αστικούς δήμους με το εργαλείο UrbanProof – η περίπτωση των πλημμυρών

Χριστίνα
Παπαδασκαλοπούλου,
PhD

Σχολή Χημικών Μηχανικών,
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Γιάννης Λεμέσιος,
Υποψ. διδάκτορας

Ινστιτούτο Ερευνών
Περιβάλλοντος και
Βιώσιμης Ανάπτυξης, Εθνικό
Αστεροσκοπείο Αθηνών

Χρήστος
Γιαννακόπουλος,
Διευθυντής Ερευνών

Ινστιτούτο Ερευνών
Περιβάλλοντος και
Βιώσιμης Ανάπτυξης, Εθνικό
Αστεροσκοπείο Αθηνών

Μαρία Λοϊζίδου,
Καθηγήτρια

Σχολή Χημικών Μηχανικών,
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Στο πλαίσιο του έργου LIFE UrbanProof, αναπτύχθηκε μια μεθοδολογία για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο αστικό περιβάλλον. Η μεθοδολογία εκτίμησης των επιπτώσεων βασίζεται στο σχετικό εννοιολογικό πλαίσιο που παρουσιάζεται στην 5η έκθεση αξιολόγησης (AR5) της IPCC (2014)¹. Σύμφωνα με τη μεθοδολογία αυτή, οι επιπτώσεις (I) υπολογίζονται ως συνάρτηση των κινδύνων της κλιματικής αλλαγής (hazard, H) και της τρωτότητας του εκτεθειμένου πληθυσμού (vulnerability, V). Ειδικότερα, η τρωτότητα θεωρείται ότι ορίζεται από τη φυσική έκθεση του πληθυσμού ή/και των υποδομών (exposure, E) και την κοινωνική τρωτότητα του πληθυσμού (social vulnerability, Sv).

$$I = f(H;V) \text{ [1]}$$

$$\text{όπου } V = f(E, S_v) \text{ [2]}$$

Η προσαρμογή θεωρείται ότι μειώνει την ένταση των επιπτώσεων και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί η ακόλουθη ποιοτική εξίσωση:

$$I_a = I_{na} - A \text{ [3]}$$

Όπου I_a η επίπτωση μετά την προσαρμογή, I_{na} η επίπτωση χωρίς προσαρμογή και A η επίδραση ενός μέτρου προσαρμογής.

Κάθε μεταβλητή των εξισώσεων 1 και 2 είναι ένας σύνθετος δείκτης που αποτελείται από έναν ή περισσότερους επιμέρους δείκτες. Οι δείκτες κινδύνου χρησιμοποιούνται για να αντικατοπτρίζουν τις πληροφορίες που εξαρτώνται από το κλίμα και υπολογίστηκαν με τη χρήση κλιματικών πληροφοριών για την περίοδο αναφοράς και τις προβλέψεις για το μέλλον. Η έκθεση εκτιμάται με τη χρήση χωρικών δεδομένων σχετικά με τον πληθυσμό (πυκνότητα πληθυσμού) και τις κρίσιμες υποδομές (όπου είναι σχετικό). Επίσης, αναπτύχθηκε ένας σύνθετος δείκτης κοινωνικής τρωτότητας ο οποίος αποτελείται από επιμέρους σχετικούς δείκτες. Οι δείκτες αυτοί αντικατοπτρίζουν τις ομάδες πληθυσμού οι οποίες θεωρούνται ευαίσθητες στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, καθώς και την ικανότητα προ-

1. IPCC 2014: Summary for policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32

σαρμογής του συστήματος υγειονομικής περίθαλψης και της οικονομίας. Οι δείκτες αυτοί είναι οι εξής: Ποσοστού πολύ νέου και γηραιού πληθυσμού, επίπεδο αναλφαριθμητισμού, ποσοστό πληθυσμού με χρόνιες παθήσεις, διαθεσιμότητα νοσοκομειακών κλινών, ποσοστό πληθυσμού σε κίνδυνο φτώχειας, ακαθάριστο εθνικό προϊόν ανά κάτοικο.

Για την αξιολόγηση των συνολικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, επιλέχθηκε η προσέγγιση του Σύνθετου δείκτη, καθώς οι σύνθετοι δείκτες αποτυπώνουν ταυτόχρονα την πολυδιάστατη επίδραση των επιπτώσεων σε κατανοητή μορφή και συνεπώς μπορούν να υποστηρίξουν πρακτικές διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Η αξιολόγηση γίνεται σε χωρικό επίπεδο με τη χρήση χαρτών, προκειμένου να παρέχονται στους ενδιαφερόμενους φορείς πληροφορίες σχετικά με το πού αναμένονται οι υψηλότερες επιπτώσεις και να καθοδηγήσουν την κατανομή των πόρων για την υλοποίηση μέτρων προσαρμογής.

Η μεθοδολογία για τη διαμόρφωση σύνθετων δεικτών περιλαμβάνει τα στάδια της κανονικοποίησης, της στάθμισης και της άθροισης. Η κλίμακα κανονικοποίησης ορίζεται εντός του εύρους 0-5 με τις διαφορετικές τιμές να εκφράζουν πέντε διαφορετικά επίπεδα επίπτωσης, από το χαμηλό έως το υψηλό.

Σημειώνεται ότι τα αποτελέσματα της εκτίμησης των επιπτώσεων μπορούν να δώσουν μια ένδειξη της έντασης των αναμενόμενων επιπτώσεων και των περιοχών που θα πληγούν κυρίως, ωστόσο, απαιτείται λεπτομερέστερη έρευνα πεδίου και διαβούλευση με τα ενδιαφερόμενα μέρη προκειμένου να καθοριστεί τι χρειάζεται για τον προγραμματισμό προσαρμογής και πώς να αναπτυχθεί η τοπική ανθεκτικότητα.

Οι επιπτώσεις που μελετήθηκαν στο πλαίσιο του έργου LIFE UrbanProof απεικονίζονται στη συνέχεια.

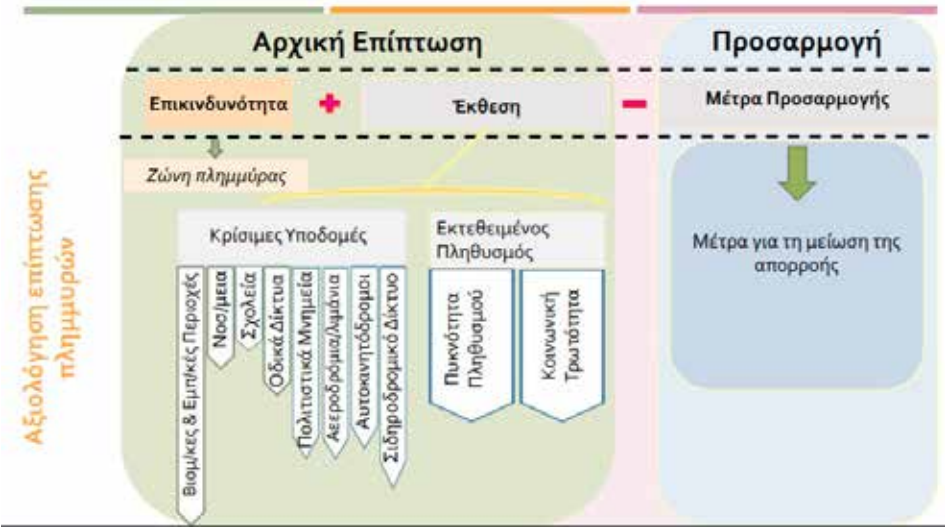


Η αξιολόγηση των επιπτώσεων έγινε για όλους τους αστικούς δήμους της Κύπρου, Ελλάδας και Ιταλίας, ενώ για τους εταίρους- δήμους του έργου LIFE UrbanProof (Δήμοι Στροβόλου και Λακατάμιας – Κύπρος, Δήμος Περιστερίου – Ελλάδα, Δήμος Ρέτζιο Εμίλια – Ιταλία) παρέχονται πληροφορικά δεδομένα υψηλότερης ανάλυσης.

Στη συνέχεια δίνονται περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την αξιολόγηση της επίπτωσης των πλημμυρών.

Για την επίπτωση των πλημμυρών, εξετάστηκαν οι τάσεις των σχετικών κλιματικών δεικτών, όπως ο προβλεπόμενος αριθμός ημερών με έντονη και πολύ έντονη βροχόπτωση με βάση τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν οι χάρτες κινδύνου πλημμύρας που αναπτύχθηκαν από τις αρμόδιες εθνικές αρχές σύμφωνα με την οδηγία 2007/60/EK για τις πλημμύρες, για τον προσδιορισμό της θέσης και της έκτασης της περιοχής που ενδέχεται να πληγεί από πλημμύρες (ζώνη κινδύνου πλημμύρας). Η έκθεση εκτιμάται επίσης σε σχέση με τις κρίσιμες υποδομές που εκτίθενται σε πλημμύρες, όπως νοσοκομεία, σχολεία, εμπορικές και βιομηχανικές περιοχές, δημόσιες εγκαταστάσεις, πολιτιστικές μονάδες και υποδομές μεταφορών.

Η επίδραση των διαπερατών επιφανειών στη μείωση των επιπτώσεων των πλημμυρών εκτιμάται με τη χρήση της Εξίσωσης 3, όπου η προσαρμογή ποσοτικοποιείται μέσω των συντελεστών απορροής. Οι τιμές των συντελεστών απορροής κυμαίνονται από 0 έως 1, όπου οι χαμηλότερες τιμές υποδηλώνουν υψηλή διήθηση του νερού και χαμηλή απορροή, ενώ οι υψηλότερες τιμές υποδηλώνουν υψηλή απορροή.

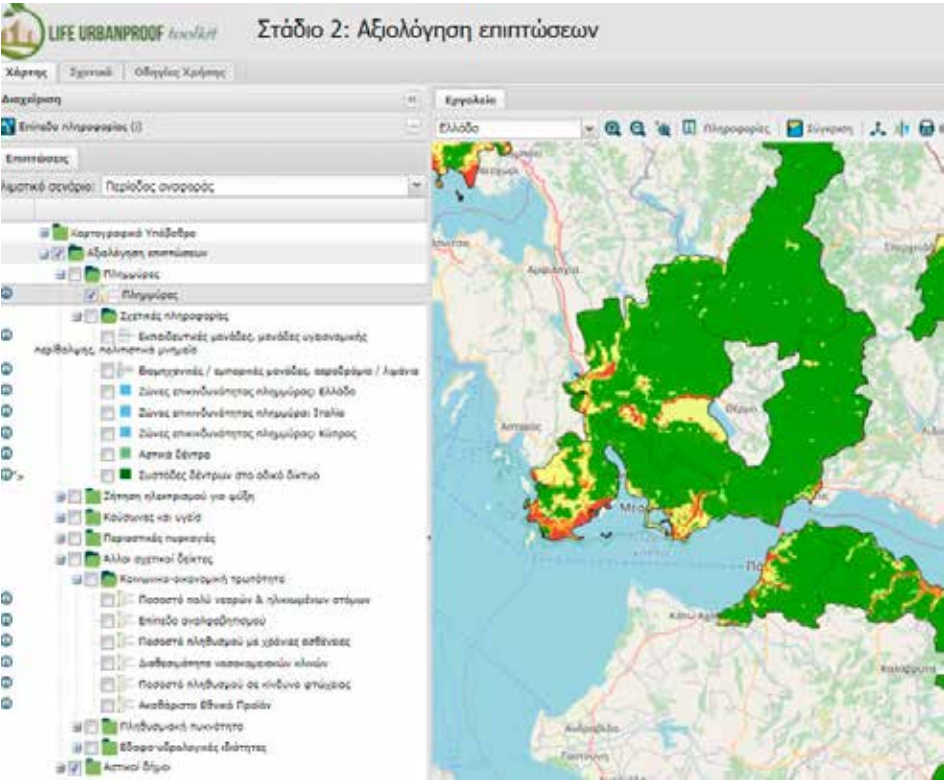


Μεθοδολογία αξιολόγησης επίπτωσης πλημμυρών, LIFE UrbanProof

Χρήση εργαλείου UrbanProof – περίπτωση πλημμυρών

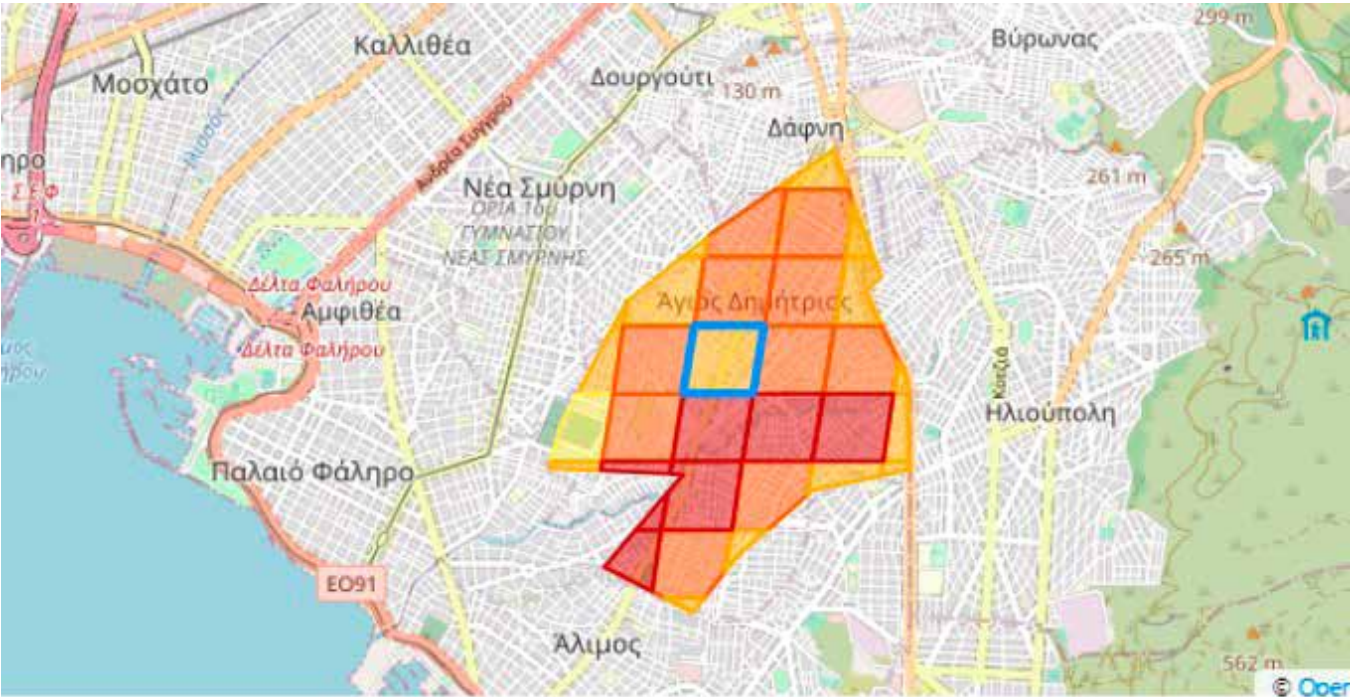
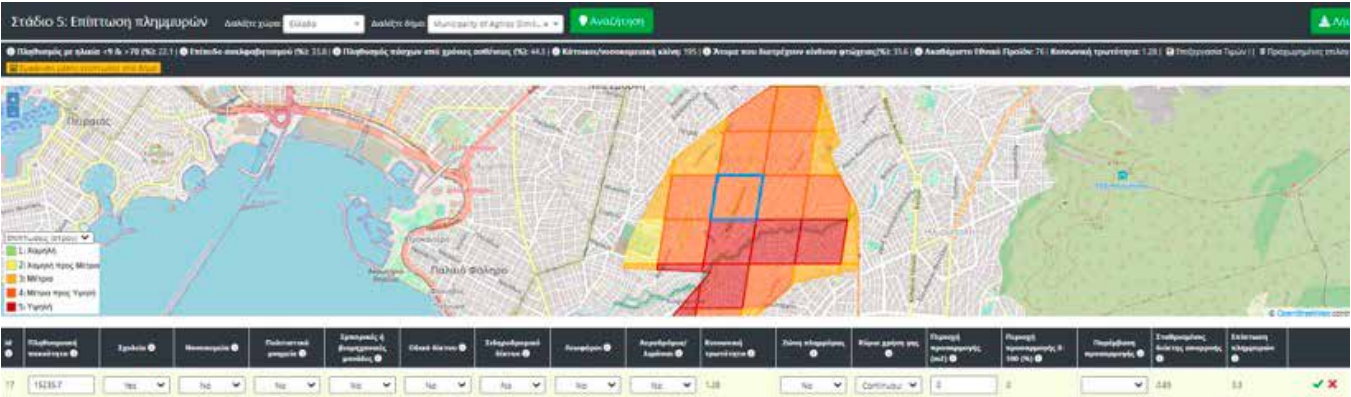
Με τη χρήση του εργαλείου UrbanProof (<https://tool.urbanproof.eu/>) μπορεί κάποιος να αντλήσει περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην πρόκληση πλημμυρικών φαινομένων σε αστικούς δήμους της Ελλάδας, Κύπρου και Ιταλίας όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Ειδικότερα στο Στάδιο 2 του εργαλείου, μπορεί κάποιος να εξερευνήσει μέσω ενός GIS περιβάλλοντος, τις διαθέσιμες πληροφορίες για τους επιμέρους δείκτες (κινδύνου, έκθεσης, τρωτότητας) οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των σύνθετων δεικτών για τη μελέτη των επιπτώσεων των πλημμυρών.



Στάδιο 2 εργαλείου UrbanProof

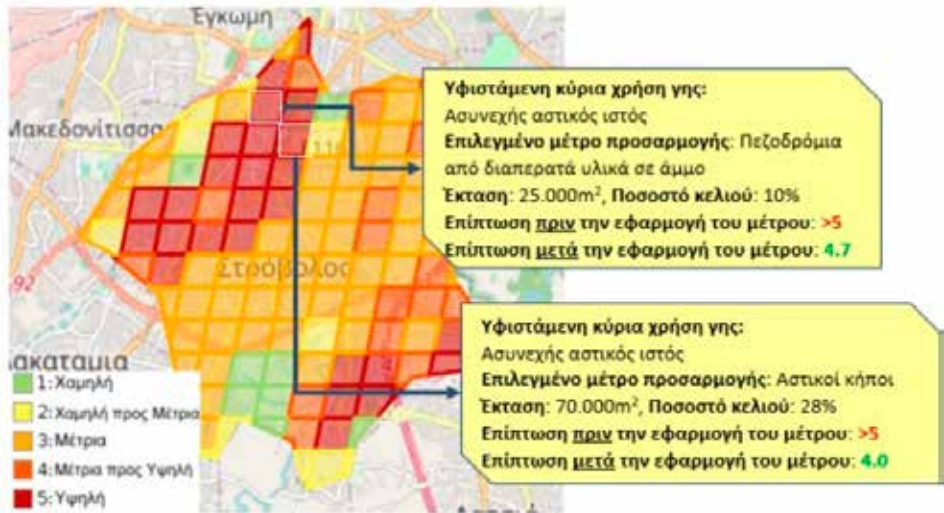
Στο Στάδιο 5 του εργαλείου, μπορεί κάποιος να διερευνήσει την επίδραση της υλοποίησης των μέτρων προσαρμογής στην αύξηση της ανθεκτικότητας ενός δήμου έναντι στις πλημμύρες. Αυτό που χρειάζεται ως είσοδος στο εργαλείο είναι πληροφορίες για το μέτρο προσαρμογής που εξετάζεται να υλοποιηθεί σε ένα δήμο (π.χ. τύπος μέτρου προσαρμογής, έκταση, τοποθεσία) και το εργαλείο υπολογίζει την επίπτωση πριν και μετά την παρέμβαση προσαρμογής.



Κύρια χρήση γης ①	Περιοχή προσαρμογής (m2) ①	Περιοχή προσαρμογής 0-100 (%) ①	Παρέμβαση προσαρμογής ①	Σταθμισμένος δείκτης απορροής ①	Επίπτωση πλημμυρών ①
Continuou: ▾	50500	20.23	Tree plants ▾	0.74	2.82

Στάδιο 5 εργαλείου UrbanProof, επίπτωση πλημμυρών

Ένα παράδειγμα χρήσης του εργαλείου παρουσιάζεται παρακάτω, στον Δήμο Στροβόλου στην Κύπρο, όπου φαίνεται πως μέσω της εισόδου στο εργαλείο πληροφοριών για τα προτεινόμενα μέτρα προσαρμογής μπορεί να υπολογιστεί η θετική επίδραση των μέτρων στην πρόκληση πλημμυρών σε συγκεκριμένο γεωγραφικό χώρο εντός του Δήμου.



Αποτελέσματα από την εφαρμογή του σταδίου 5 του εργαλείου για το Δήμο Στροβόλου, Κύπρος

Το εργαλείο UrbanProof θα μπορούσε να αποτελέσει ένα βοηθητικό εργαλείο στην αξιολόγηση των μέτρων προσαρμογής για τις πλημμύρες κατά τη δημιουργία του Σχεδίου Προσαρμογής που προβλέπεται να υλοποιηθεί στο πλαίσιο του έργου CLIMPACT – Εθνικό Δίκτυο για την Κλιματική Αλλαγή.

Κλιματική αλλαγή: Μεταβολές στάθμης θάλασσας και παράκτιες πλημμύρες

Γιάννης Ν. Κρεστενίτης
Χρήστος Μακρής
Γιάννης Ανδρουλιδάκης
Βασίλης Μπαλτίκας
Κατερίνα Κομπιάδου

Ομάδα Ωκεανογραφίας &
Παράκτιας Μηχανικής, Τμήμα
Πολιτικών Μηχανικών, ΑΠΘ

Η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας, η οποία προκαλείται από την εμφάνιση χαρακτηριστικών ατμοσφαιρικών συνθηκών και συγκεκριμένα, εξαιτίας της δράσης της ατμοσφαιρικής πίεσης και των ανέμων, που εμφανίζονται πάνω από μια θαλάσσια περιοχή κατά τη διάρκεια ανάπτυξης χαμηλών βαρομετρικών συστημάτων στην ατμόσφαιρα, αναφέρεται ως **μετεωρολογική παλίρροια** (storm surge). Λόγω του φαινομένου της μετεωρολογικής παλίρροιας, η στάθμη της θάλασσας στην παράκτια ζώνη μπορεί να ανυψωθεί από αρκετά εκατοστά έως και λίγα μέτρα από τη στάθμη ηρεμίας (ΣΗ) μέσα σε λίγες ώρες. Ο συνδυασμός δε της μετεωρολογικής παλίρροιας με την αστρονομική παλίρροια, στη φάση της πλημμυρίδας, και την κυματογενή ανύψωση της στάθμης της θάλασσας στα ρηχά, αυξάνει την πιθανότητα εμφάνισης **παράκτιων πλημμυρών** (coastal floods) και **κατάκλυσης των παράκτιων περιοχών** (coastal inundation). Οι συνθήκες που επηρεάζουν την εμφάνιση και σοβαρότητα/επικινδυνότητα μια παράκτιας πλημμύρας είναι το μέγεθος του βαρομετρικού χαμηλού, η ένταση και η ταχύτητα προώθησης του ατμοσφαιρικού συστήματος, ο προσανατολισμός των ανέμων σε σχέση με την ακτή, η βαθυμετρία της παράκτιας ζώνης και η μορφολογία της ακτής. Στο παρελθόν, παρόμοια γεγονότα έχουν προκαλέσει εκτεταμένη κατάκλυση με αποτέλεσμα ενίοτε ανθρώπινες και συχνά υλικές απώλειες, καταστροφές σε λιμενικά έργα, θαλάσσιες και παράκτιες κατασκευές και υποδομές, καθώς και περιβαλλοντικές επιπτώσεις (διάβρωση ακτών, ρήξη φυσικών αναχωμάτων και καταστροφή αμμολόφων, υφαλμύριση παράκτιων επιφανειακών και υπόγειων υδάτων, υποχώρηση εδαφών και καταστροφή χλωρίδας) σε οικολογικά ευαίσθητες περιοχές της παράκτιας ζώνης.

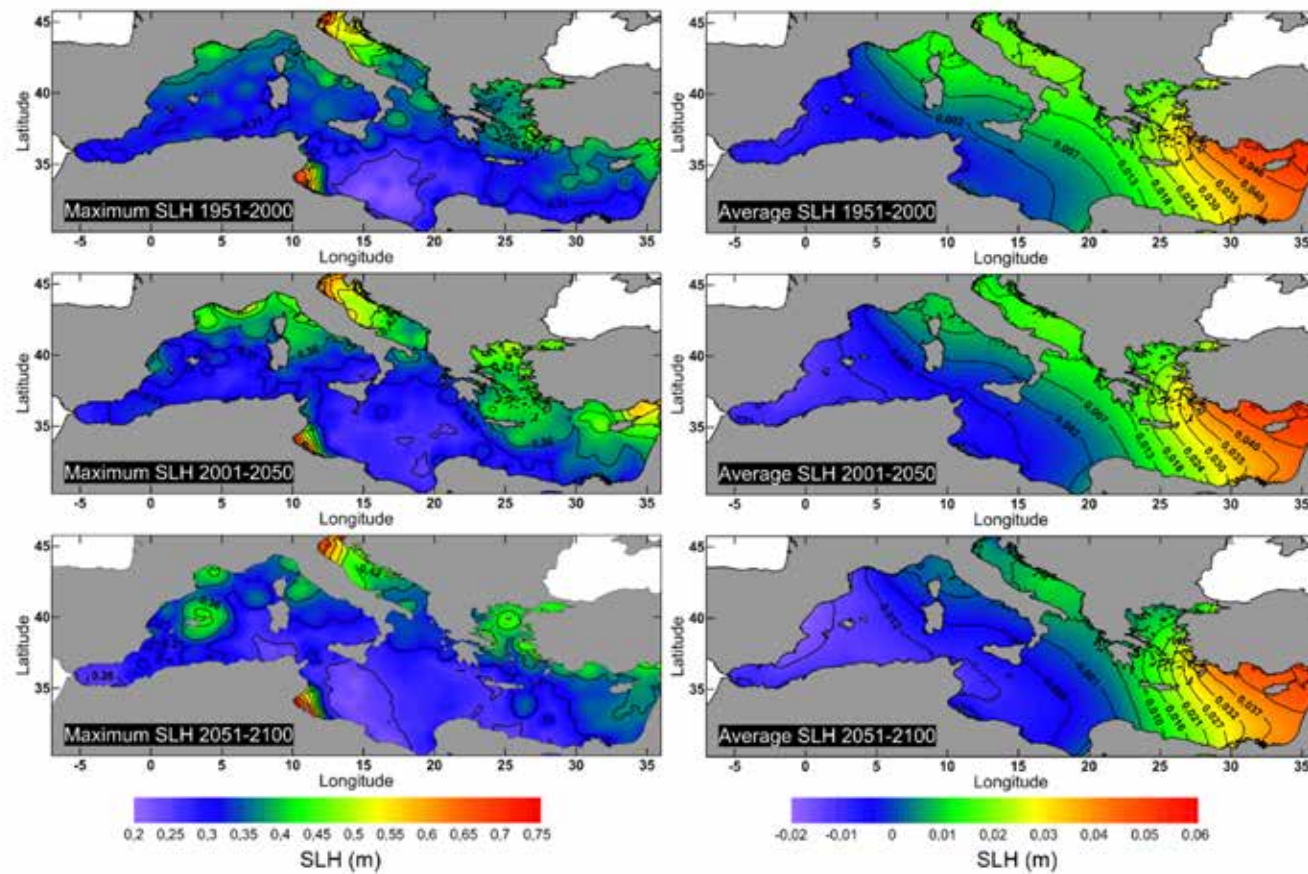
Η **Κλιματική Αλλαγή** επηρεάζει τη συχνότητα εμφάνισης, τις τροχιές και την ένταση των ατμοσφαιρικών συστημάτων που δημιουργούν χαμηλές ατμοσφαιρικές πιέσεις και δυνατούς ανέμους (τυφώνες, καταιγίδες κ.λπ.). Επομένως, εκτός από την απευθείας αύξηση της θερμοκρασίας και της μέσης στάθμης της θάλασσας, επηρεάζει και τη συχνότητα και σφοδρότητα των παράκτιων πλημμυρών που προκαλούνται από την επεισοδιακή υπερύψωση της θαλάσσιας στάθμης.

Στην παρούσα σύντομη παρουσίαση συνοψίζονται αποτελέσματα διερευνήσεων με υπολογιστικές προσομοιώσεις αναφορικά με την επίδραση της Κλιματικής Αλλαγής στην εξέλιξη της θαλάσσιας στάθμης λόγω των μετεωρολογικών παλίρροιών και επομένως και των δυνητικών παράκτιων πλημμυρών, στη Μεσόγειο και πιο ειδικά στο Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος και την ευρύτερη ελληνική παράκτια ζώνη.

Η ανάλυση καλύπτει μια ευρύτερη περίοδο 150 ετών (1951 – 2100), χωρισμένη σε 50ετίες ή 35ετίες ανάλογα με τα διαθέσιμα σύνολα δεδομένων ανά κλιματικό σενάριο, και βασίζεται σε αριθμητικές προσομοιώσεις με την ανάπτυξη και χρήση μοντέλου θαλάσσιας υδροδυναμικής κυκλοφορίας και μεταβολής θαλάσσιας στάθμης, σε υπολογιστικά πεδία υψηλής χωρικής ανάλυσης που καλύπτουν τη λεκάνη της Μεσογείου (με χωρική διακριτοποίηση 1/10° - 10Km) και το Αιγαίο και Ιόνιο Πέλαγος (με χωρική διακριτοποίηση 1/20° - 5Km). Τα διαθέσιμα ατμοσφαιρικά δεδομένα, που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στο υδροδυναμικό μοντέλο, προέρχονται από προσομοιώσεις με κλιματικά περιοχικά μοντέλα, όπως: α) το Regional Climate Model, RegCM3 και RegCM4 (Tolika et al., 2016) και β) τα CMCC-CCLM4 (μη-υδροστατικό μοντέλο), CNRM-ALADIN52 (περιορισμένης έκτασης διφασματικό κλιματικό μοντέλο), CCLM-NEMO (συζευγμένο ατμοσφαιρικό-ωκεανογραφικό μοντέλο με πεπερασμένες διαφορές, υδροστατικό μοντέλο για τη γενική ωκεάνια κυκλοφορία) που παρέχουν τα MED-44 και MED-10 πεδία για την περιοχή της Μεσογείου, με ανάλυση 0.44° και 0.1° αντίστοιχα, μέσω της πλατφόρμας MED-CORDEX (www.medcordex.eu, Ruti et al., 2016).

Στις προσομοιώσεις που υλοποιήθηκαν, η αρχική περίοδος, 1951-2000 και τα ατμοσφαιρικά της δεδομένα με ιστορικά καταγεγραμμένα τα στοιχεία εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, χρησιμοποιήθηκε ως περίοδος αναφοράς για την αξιολόγηση του θαλάσσιου υδροδυναμικού μοντέλου και την εκτίμηση της παρελθοντικής κλιματικής κατάστασης της θάλασσας. Ενώ για την επόμενη χρονική περίοδο, 2001-2100, υλοποιήθηκαν διαφορετικές προσομοιώσεις, έχοντας ως στοιχεία εισόδου στο θαλάσσιο υδροδυναμικό μοντέλο, διαφορετικά κλιματικά σενάρια, με βάση την κατηγοριοποίηση της IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) στις διάφορες διαθέσιμες εκθέσεις (Assessment Reports AR4 και AR5, του 2007 και 2014), όπως το παλαιότερο A1B (μετριοπαθές σενάριο εκτιμήσεων για τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου), και τα πιο πρόσφατα RCP4.5 (πιθανό μελλοντικό κλίμα με “μετριοπαθείς” εκτιμήσεις για τις συγκεντρώσεις αερίων θερμοκηπίου) και RCP8.5 (“απαισιόδοξο” σενάριο).

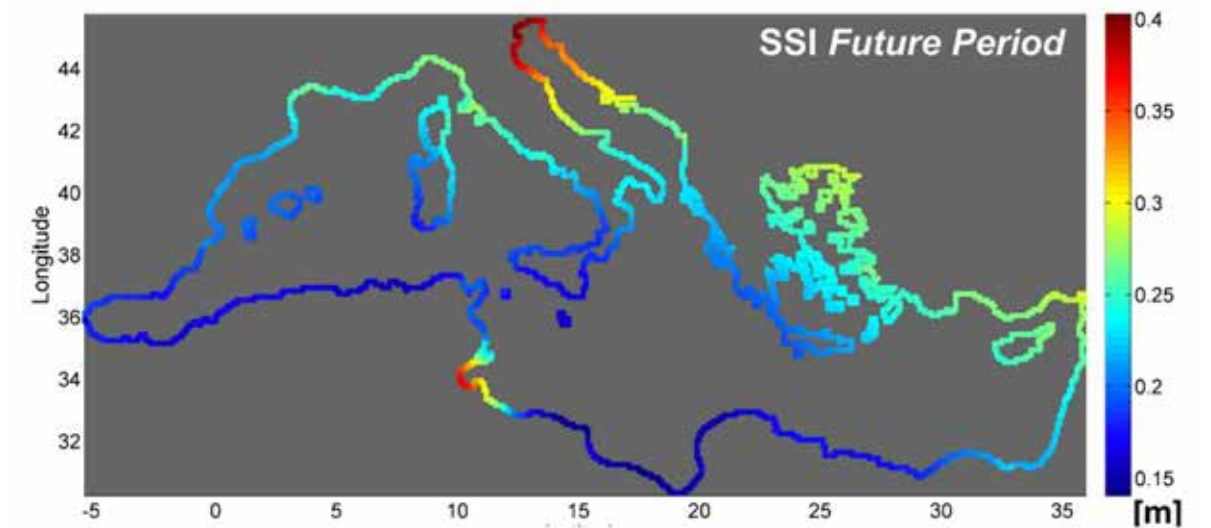
Τα αποτελέσματα του θαλάσσιου υδροδυναμικού μοντέλου, ενδεικτικά βάσει του μετριοπαθούς σεναρίου A1B, αναφέρονται σε χρονοσειρές μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης στη Μεσόγειο και από αυτές προέκυψαν τα γραφήματα του Σχήματος 1. Σε αυτά παρουσιάζεται η χωρική κατανομή αφενός της μέγιστης τιμής (αριστερή στήλη) της θαλάσσιας στάθμης (SLH: Sea Level Height) και αφετέρου της μέσης τιμής της, για την περίοδο αναφοράς (1951-2000) και τις δύο μελλοντικές περιόδους (2001-2050) και (2051-2100).



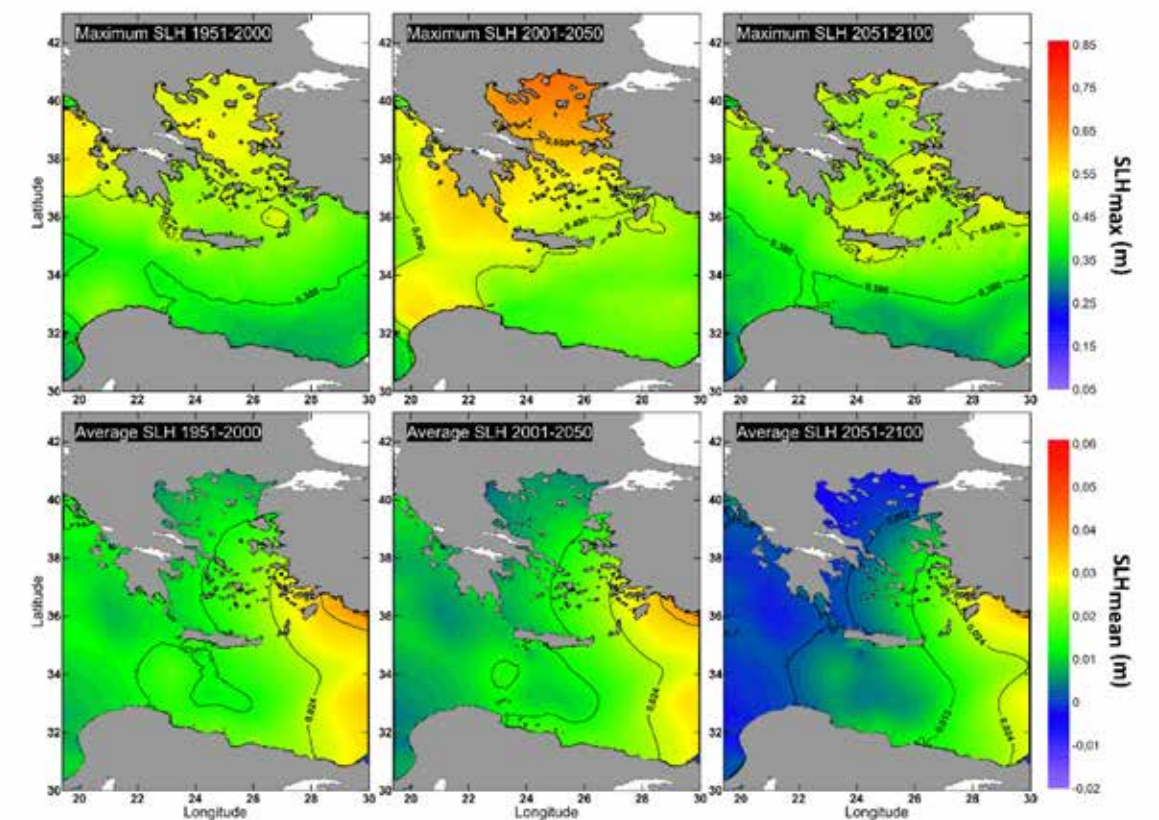
Σχήμα 1. Χωρική κατανομή της μέγιστης (SLHmax - αριστερά) και μέσης (SLHmean - δεξιά) 50ετούς θαλάσσιας στάθμης (m). Τα γραφήματα από πάνω προς τα κάτω αντιστοιχούν στις περιόδους 1951-2000, 2001-2050, και 2051-2100.

Σε όλα τα διαγράμματα του Σχ. 1, παρατηρούμε αυξανόμενες τιμές της SLH από δυτικά προς ανατολικά, τόσο αναφορικά με τις μέγιστες τιμές (SLHmax) και κυρίως με τις μέσες τιμές (SLHmean) της θαλάσσιας στάθμης. Αλλά, ενώ ως προς τις μέσες τιμές της θαλάσσιας στάθμης (δεξιά στήλη) δεν παρατηρούνται ουσιώδεις μεταβολές ανάμεσα στην 50ετία αναφοράς και τις μελλοντικές 50ετίες, υπολογίζεται μια σημαντική αύξηση των SLHmax στο 1ο μισό του 21ου αιώνα, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς και τη μελλοντική 50ετία (2051-2100). Προς το πέρας του 21ου αιώνα οι μέγιστες μετεωρολογικές παλίρροιες εκτιμάται ότι θα μειωθούν σημαντικά στις διάφορες περιοχές της Μεσογείου, σε σύγκριση με τα αντίστοιχα μεγέθη της 1ης 50ετίας και αναφερόμενοι στα κλιματικά δεδομένα του ίδιου σεναρίου. Οι πιο έντονα πληττόμενες περιοχές είναι η Βόρεια Αδριατική Θάλασσα και ο Κόλπος Γκαμπές στην κεντρική Βόρεια Αφρική.

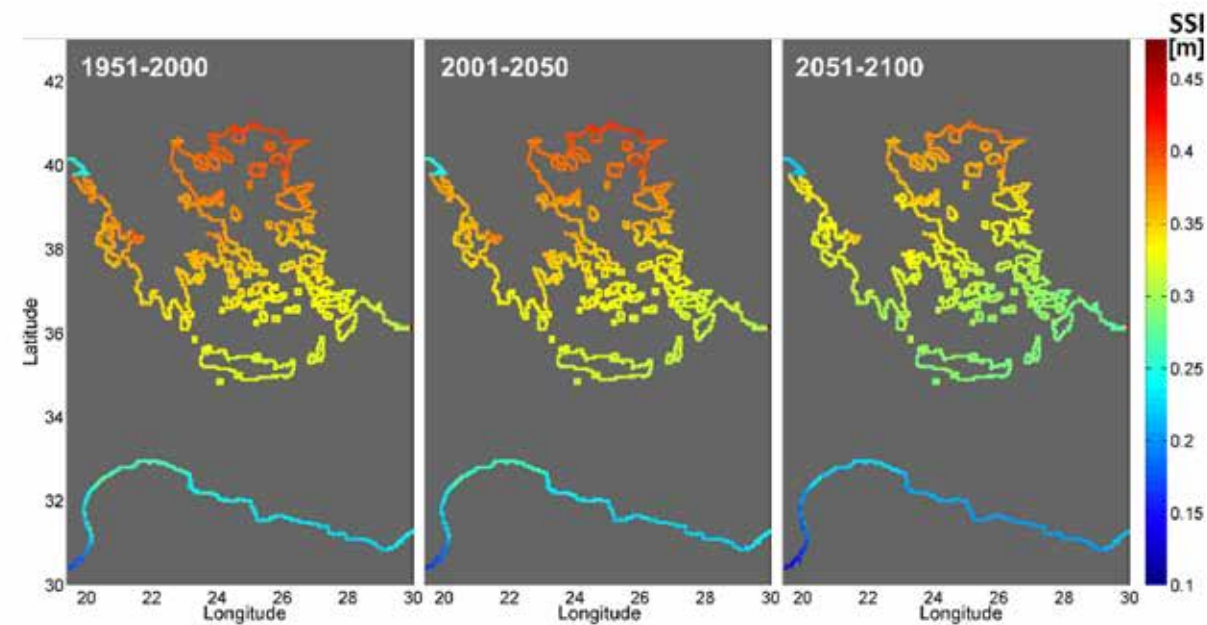
Για την αποτίμηση της «σφοδρότητας» της ανύψωσης της στάθμης που οφείλεται σε επεισόδια μετεωρολογικών παλίρροιών, χρησιμοποιείται ο **δείκτης μετεωρολογικής παλίρροιας** (Storm Surge Index, SSI). Ο δείκτης SSI (m) ορίζεται ως η μέση τιμή των τριών ανεξάρτητων μέγιστων καταγραφών της στάθμης θάλασσας SLH ανά έτος. Δύο γεγονότα ακραίων τιμών SLH, χαρακτηρίζονται ως ανεξάρτητα αν απέχουν χρονικά μεταξύ τους, τουλάχιστον 120 ώρες.



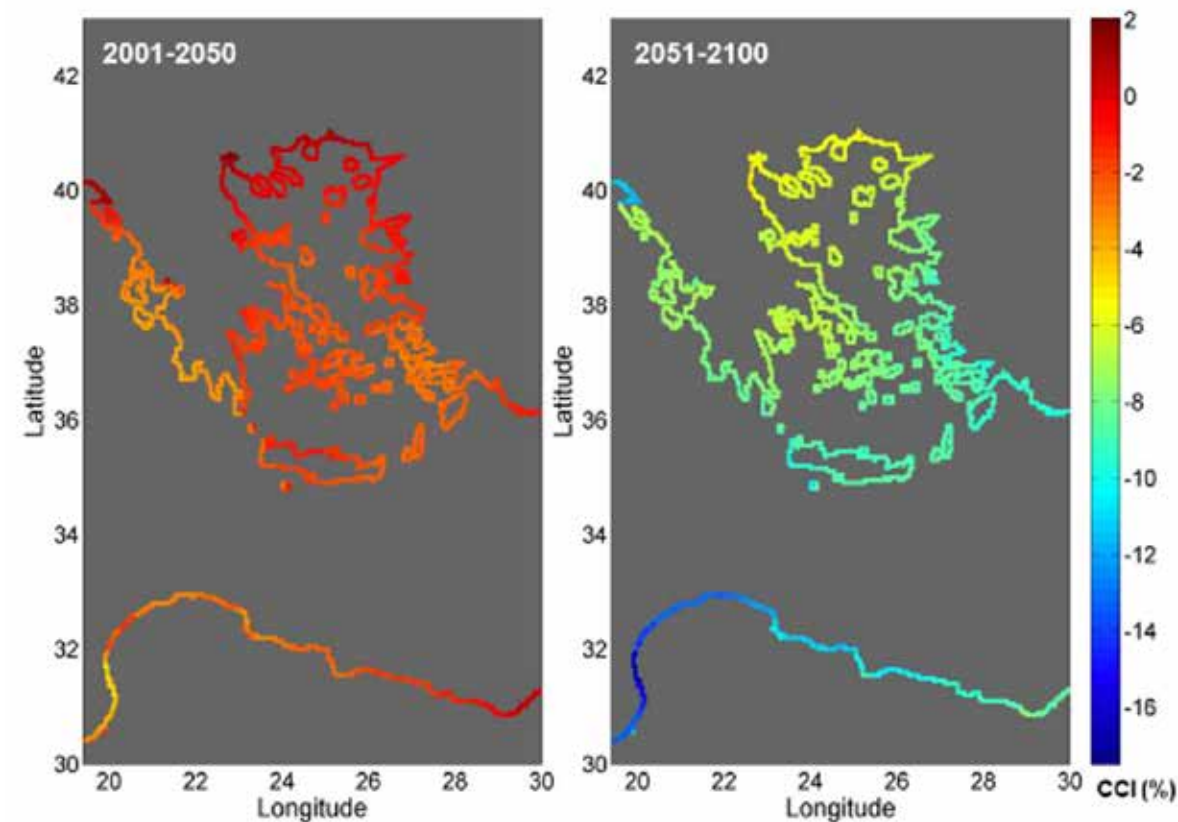
Σχήμα 2. Χωρική κατανομή του δείκτη SSI (m) κατά μήκος της Μεσογειακής παράκτιας ζώνης.



Σχήμα 3: Χωρική κατανομή της μέγιστης (SLHmax - επάνω) και μέσης (SLHmean - κάτω) 50ετούς θαλάσσιας στάθμης (m). Τα γραφήματα από αριστερά προς τα δεξιά αντιστοιχούν στις περιόδους 1951-2000, 2001-2050, και 2051-2100.



Σχήμα 4: Οριζόντια κατανομή του μέσου 50ετούς δείκτη SSI (m) κατά μήκος της Ελληνικής ακτογραμμής, για τις περιόδους (από αριστερά στα δεξιά) 1951-2000, 2001-2050, και 2051-2100.



Σχήμα 5. Χωρική κατανομή του Δείκτη Κλιματικής Αλλαγής ως προς το δείκτη μετεωρολογικής παλίρροιας.

Ο δείκτης SSI υπολογίστηκε για το σύνολο της παράκτιας ζώνης της Μεσογείου και για τη μελλοντική περίοδο (2051-2100) παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Η απεικόνιση αυτή αποτελεί και μια επισημάνση των παράκτιων περιοχών, ειδικά αυτών χαμηλού υψομέτρου, όπου είναι πιθανόν να εμφανιστούν παράκτιες πλημμύρες και κατακλύσεις περιοχών με θαλασσινά ύδατα.

Από την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων των προσομοιώσεων στο υψηλότερης ανάλυσης θαλάσσιο χωρικό πεδίο, του Αιγαίου και Ιονίου, προκύπτουν τα διαγράμματα των σχημάτων 3 και 4 όπου, για την 50ετία αναφοράς και τις 2 μελλοντικές 50ετίες του 21ου παρουσιάζονται αντίστοιχα οι χωρικές κατανομές της θαλάσσιας στάθμης (SLH) και του δείκτη μετεωρολογικής παλίρροιας (SSI).

Γενικά εκτιμάται μια σημαντική αύξηση των SLH_{max} στο 1ο μισό του 21ου αιώνα, σε σχέση με την περίοδο αναφοράς και τη μελλοντική 50ετία σε συμφωνία με τα αποτελέσματα σε άλλες υπο-λεκάνες της Μεσογείου (Σχ. 1). Τα μεγέθη κυμαίνονται από 0.60 έως 0.85 m στο Β. Αιγαίο, με τις υψηλότερες τιμές κατά μήκος της βόρειας ακτογραμμής. Οι αντίστοιχες τιμές της περιόδου αναφοράς είναι της τάξης των 0.50–0.55 m. Στο Ν. Αιγαίο, η SLH_{max} εκτιμάται μεταξύ 0.50 και 0.60 m την περίοδο 2001–2050, ενώ για την περίοδο αναφοράς είναι μέχρι και 10 cm (16-20%) μικρότερες. Προς το πέρας του 21ου αιώνα οι μέγιστες μετεωρολογικές παλίρροιες εκτιμάται ότι θα μειωθούν στα περισσότερα τμήματα του Αιγαίου και Ιονίου, κυμαινόμενες από 0.50 έως 0.60 m στο Β. Αιγαίο και από 0.40 έως 0.50 m στο Ιόνιο. Συνολικά η αποδυνάμωση του θυελλώδους και των σχετικών μεγίστων μετεωρολογικών παλirroιών αφορά την 50ετία 2051–2100, ενώ στην πρώτη περίοδο (τρέχουσα 50ετία) τα μεγέθη των μεμονωμένων απόλυτων ακραίων τιμών εκτιμάται ότι θα αυξηθούν και η αύξηση αυτή για το Β. Αιγαίο (που είναι η δυσμενέστερη περιοχή) θα είναι της τάξης του 30-40% σε σχέση με την περίοδο αναφοράς.

Η χρονική εξέλιξη της μετεωρολογικής παλίρροιας και των συνακόλουθων υπερυψώσεων της θαλάσσιας στάθμης στην παράκτια ζώνη, προκύπτουν και από τη χωρική κατανομή του δείκτη μετεωρολογικής παλίρροιας (SSI) κατά μήκος των ελληνικών ακτών, που παρουσιάζεται στο σχήμα 4. Η επικινδυνότητα είναι υψηλότερη κατά μήκος της βόρειας ακτογραμμής του Αιγαίου και των νησιών του Β. Αιγαίου και για τις τρεις περιόδους με τη μεγαλύτερη διακινδύνευση εμφάνισης παράκτιων πλημμυρών κατά την τρέχουσα 50ετία.

Για τη μελέτη της τάσης που μπορεί να εμφανιστεί στην ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης, λόγω μετεωρολογικής παλίρροιας, σε συσχέτιση με την κλιματική αλλαγή, χρησιμοποιείται ο **Δείκτης Κλιματικής Αλλαγής** (Climate Change Index, CCI). Αυτός υπολογίζεται με βάση τις μέσες τιμές του δείκτη μετεωρολογικής παλίρροιας (SSI) μιας μελλοντικής περιόδου (10ετίας, 20ετίας, κλπ.) σε σχέση με το αντίστοιχο διάστημα αναφοράς (πχ. τρέχουσα 10ετία, 20ετία κλπ.), για κάθε υπό διερεύνηση θέση. Στο σχήμα 5 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του δείκτη κλιματικής αλλαγής κατα

μήκος της ελληνικής παράκτιας ζώνης, υπολογίζοντας το μέγεθός του, για την τρέχουσα 50ετία (2001-2050) και τη μελλοντική 50ετία (2051-2100), σε σχέση με την 50ετία αναφοράς (1950-2000): $CCI(\%) = (SSI_{future} - SSI_{past}) / SSI_{past}$

Από το σχήμα 5 προκύπτει ότι ο δείκτης κλιματικής αλλαγής (CCI), ως προς τον δείκτη μετεωρολογικής παλίνρροιας, για την περίοδο 2001-2050 κυμαίνεται μεταξύ +2 και -4% (μέση τιμή -1.5%), ενώ για την μελλοντική 50ετία (2051-2100) οι τιμές του βρίσκονται μεταξύ -5 και -12% (μέση τιμή -7.5%), γεγονός που υποδηλώνει την επιδείνωση των φαινομένων ανύψωσης της θαλάσσιας στάθμης λόγω μετεωρολογικών επεισοδίων (και άρα αύξηση του κινδύνου εμφάνισης παράκτιων πλημμυρών) κατά την τρέχουσα 50ετία και μείωση την μελλοντική 50ετία (2051-2100).

Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα από τις προηγούμενες ενότητες, αλλά και την έως τώρα ενασχόληση της ομάδας μας με το αντικείμενο (στις αναφορές που ακολουθούν παρουσιάζονται περισσότερα στοιχεία και αναλύσεις), μπορεί να επισημανθούν τα παρακάτω:

Οι ακραίες τιμές της θαλάσσιας στάθμης στο Β. Αιγαίο είναι μεγαλύτερες από αυτές του κεντρικού και του νοτίου Αιγαίου, λόγω διαφορών στους μηχανισμούς ατμοσφαιρικής διέγερσης (π.χ. αιολικά πεδία ή πρότυπα δράσης ανέμων) και στην τοπογραφία της περιοχής. Οι εκτιμήσεις των ακραίων τιμών με βάση τη μέγιστη ετήσια ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης, λόγω μετεωρολογικών συνθηκών, προβλέπεται ότι θα αυξηθεί κατά τον τρέχοντα αιώνα. Η κλιματική αλλαγή (με βάση τα κλιματικά σενάρια που μελετήθηκαν) συνεπάγεται βραχυπρόθεσμη αύξηση των ετήσιων μέγιστων τιμών του δείκτη SSI (π.χ. για την 11ετία 2020-2030), και μακροπρόθεσμη πτώση του δείκτη SSI μετά το 2050, με πιθανή εκ νέου άνοδό του κατά τόπους ως το 2100, (αποτελέσματα από αναλύσεις που δεν παρουσιάζονται ως άνω, για λόγους συντομίας).

Τα τρέχοντα και μελλοντικά βήματα της έρευνας εστιάζονται στις επιδράσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην τρωτότητα της ελληνικής παράκτιας ζώνης και των έργων σε αυτήν, παίρνοντας υπόψη τη συνδυασμένη δράση ακραίων κυμάτων, έντονων μετεωρολογικών και αστρονομικών παλινροιών, και την προβλεπόμενη άνοδο της μέσης στάθμης της θάλασσας. Αυτού του είδους η εκτίμηση είναι ζωτικής σημασίας για τη διαμόρφωση ολοκληρωμένης πολιτικής διαχείρισης της ελληνικής παράκτιας ζώνης στον 21ο αιώνα, ειδικά σε σχέση με τα μεγέθη σχεδιασμού των μέτρων προστασίας.

Συναφείς εργασίες της ομάδας

Galiatsatou, P., Makris, C., Krestenitis, Y., and Prinos, P. (2021). Nonstationary Extreme Value Analysis of Nearshore Sea-State Parameters under the Effects of Climate Change: Application to the Greek Coastal Zone and Port Structures. *Journal of Marine Science and Engineering*, MDPI, 9(8), 817.

Skoulikaris Ch., Makris Ch., Katirtzidou M., Baltikas V., and Krestenitis Y. (2021). Assessing the vulnerability of a deltaic environment due to climate change impact on surface and coastal waters: the case of Nestos River (Greece). *Environmental Modeling & Assessment*, Springer, Vol. 26, pp. 459-486, doi:10.1007/s10666-020-09746-2

Makris C., Androulidakis Y., Karambas T., Papadimitriou A., Metallinos A., Kontos Y., Baltikas V., Chondros M., Krestenitis Y., Tsoukala V. and Memos C. (2020). Integrated modelling of sea-state forecasts for safe navigation and operational management in ports. *Applied Mathematical Modelling*, Elsevier.

Krestenitis, Y., Pytharoulis, I., Karacostas, T., Androulidakis, Y., Makris, C., Kombiadou, K., Tegoulis, I., Baltikas, V., Kotsopoulos, S. and Kartsios, S. (2017). Severe weather events and sea level variability over the Mediterranean Sea: The WaveForUs operational platform. In: *Perspectives of Atmospheric Sciences* (Eds: Karacostas, T., Bais, A., Nastos, P.T.), Springer Atmospheric Sciences, Pt.1: Meteorology, pp. 63-68. doi:10.1007/978-3-319-35095-0_9.

Makris, C., Galiatsatou, P., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Kombiadou, K., Prinos, P., Velikou, K., Kapelonis, Z., Tragou, E., Androulidakis, Y., Athanassoulis, G., Vagenas,

C., Tegoulis, I., Baltikas, V., Krestenitis, Y., Gerostathis, T., Belibassakis, K. and Rusu, E. (2016). Climate Change Effects on the Marine Characteristics of the Aegean and the Ionian Seas. *Ocean Dynamics*, 66(12), 1603–1635.

Androulidakis, Y.S., Kombiadou, K.D., Makris, C.V., Baltikas, V.N. & Krestenitis, Y.N. (2015), Storm surges in the Mediterranean Sea: variability and trends under future climatic conditions, *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 71, 56-82.

Krestenitis, Y.N., Androulidakis, Y.S., Kontos, Y.N., & Georgakopoulos, G. (2011), Coastal inundation in the north-eastern Mediterranean coastal zone due to storm surge events. *Journal of Coastal Conservation*, 15(3), 353-368.

Tolika, K., Anagnostopoulou, C., Velikou, K. & Vagenas, C. (2016). A comparison of the updated very high-resolution model RegCM3_10km with the previous version RegCM3_25km over the complex terrain of Greece: present and future projections. *Theoretical and Applied Climatology*, 126(3), pp.715-726.

Tolika K., Makris Ch., Baltikas V., Velikou K., and Krestenitis Y. (2021). On the assessment of RCMs in simulating deep cyclones over the Mediterranean region: Impacts on the storm surges of coastal areas. *15th International Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics (COMECAP)*, 26-29 September 2021, Ioannina, Greece.

Ruti, P.M. et al. (2016) MED-CORDEX initiative for Mediterranean climate studies. *Bulletin of American Meteorological Society*, 97(7):1187-1208.

Κλιματική αλλαγή: Μεθοδολογία έγκαιρης πρόβλεψης και προειδοποίησης παράκτιων πλημμυρών

Β. Κ. Τσουκαλά

Καθηγήτρια και Διευθύντρια του
Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων
(ΕΛΕ) ΕΜΠ

Ερευνητική Ομάδα ΕΛΕ:

Δρ. Μ. Χονδρός

Δρ. Αν. Μεταλληνός

Δρ. Δ. Μαλλιούρη

Δρ. Ν. Μαρτζίκος

Α. Παπαδημητρίου

Β. Χαλασπάνη

Χ. Τσαίμου

Β. Αφεντούλης

ομ. Καθ. Κ. Μέμος

Εργαστήριο Λιμενικών Έργων
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ
lhw@mail.ntua.gr

Οι **παράκτιες πλημμύρες** θεωρούνται από τις πιο επικίνδυνες και επιβλαβείς φυσικές καταστροφές που πλήττουν τις παράκτιες κοινότητες. Η ταχεία αστικοποίηση των παράκτιων περιοχών, οι συχνά ανεπαρκείς υποδομές προστασίας, αλλά και η ενίοτε κακή διαχείριση τέτοιων κινδύνων, οδηγούν σε δυσμενείς επιπτώσεις για τους κατοίκους των παράκτιων ζωνών. Η **κλιματική αλλαγή** επηρεάζει τη **συχνότητα εμφάνισης** και την **ένταση** της παράκτιας πλημμύρας, αυξάνοντας τη μέση στάθμη θάλασσας, τη συχνότητα εμφάνισης και την ένταση, των μετεωρολογικών παλινδρομιών και των κυματικών χαρακτηριστικών. Οι **προσπίπτοντες κυματισμοί** μέσω των φαινομένων της αναρρίχησης και της υπερπήδησης, σε συνδυασμό με τη **γεωμορφολογία της παράκτιας περιοχής** και την **ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης**, κατακλύζουν όλο και συχνότερα και βιαιότερα τις παράκτιες περιοχές, οι οποίες γίνονται ακόμη πιο ευάλωτες εξαιτίας της *παράκτιας διάβρωσης*. Σύμφωνα με την πρόσφατη έκθεση του IPCC (2019), ακόμα και με την υιοθέτηση των πιο αισιόδοξων σεναρίων, η θάλασσα στάθμη τις επόμενες δεκαετίες θα συνεχίσει να ανεβαίνει αυξάνοντας τους κινδύνους στη Μεσόγειο. Υπολογίζεται ότι οι ετήσιες ζημιές από τις παράκτιες πλημμύρες μπορεί να αυξηθούν κατά 30 φορές έως το 2050 και κατά 700 φορές έως το 2100, ενώ, ο αριθμός των Ευρωπαίων που κάθε χρόνο θα είναι εκτεθειμένοι σε καταστροφικές παράκτιες πλημμύρες θα αυξηθεί από περίπου 102.000 σήμερα, σε 530.000 έως 740.000 το 2050 και σε 1.52 έως 3.64 εκατομμύρια το 2100 (Vousdoukas et al., 2018).

Την τελευταία 5-ετία, ένα μεγάλο μέρος των ερευνητικών προσπαθειών του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων (ΕΛΕ) του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) έχει επικεντρωθεί: (α) στον προσδιορισμό, στην ανάλυση και στην κατηγοριοποίηση των *παράκτιων καταγίδων στη Μεσόγειο*, (Martzikos et al., 2021a, 2021b), (β) στην ανάπτυξη εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων για το σχεδιασμό *λιμενικών και παράκτιων έργων προστασίας, ανθεκτικών στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής* (Tsaimou et al., 2021; Skourti et al., 2019; Malliouri et al., 2017), (γ) στην εφαρμογή σύγχρονων μεθοδολογικών προσεγγίσεων, με βάση τα μελλοντικά σενάρια εκδήλωσης παράκτιων πλημμυρών, για την ανάπτυξη και διαχείριση της παράκτιας ζώνης στο πλαίσιο της Ολοκληρωμένης Διαχείρισης Παράκτιας Ζώνης (ΟΔΠΖ) και του Θαλάσσιου Χωροταξικού Σχεδιασμού (ΘΧΣ), για τη *μείωση της παράκτιας τρωτότητας και του κινδύνου για τις παράκτιες υποδομές και τα παράκτια οικοσυστήματα* (Chalastani et al., 2020), (δ) στην κατανόηση των φαινομένων που συντελούν στην εκδήλωση της παράκτιας πλημμύρας (Chondros et al., 2021a;

Tsoukala et al. 2016; Makropoulos et al., 2014, 2015) καθώς και (ε) στην *ανάπτυξη μεθοδολογιών για την έγκαιρη πρόβλεψη της παράκτιας πλημμύρας* (Chondros et al., 2021b).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο σύστημα για τη γρήγορη και ακριβή πρόβλεψη και προειδοποίηση των παράκτιων πλημμυρών (Chondros et al., 2021b) το οποίο συνδυάζει και αξιοποιεί: α) προβλέψεις θαλάσσιας κατάστασης από ανοικτές βάσεις δεδομένων, β) μαθηματικές προσομοιώσεις της παράκτιας κατάκλυσης και γ) μεθόδους Μηχανικής Μάθησης και συγκεκριμένα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (ΤΝΔ). Το σύστημα αυτό εφαρμόστηκε πιλοτικά στην παράκτια ζώνη του Ρεθύμνου.

Μέχρι σήμερα η πλειοψηφία σχετικών ερευνών επικεντρώνεται κατά κύριο λόγο στη μακροχρόνια πρόγνωση της παράκτιας πλημμύρας κυρίως λόγω της ανόδου της θαλάσσιας στάθμης, ενώ συχνά, δεν συνυπολογίζεται η επιδείνωση του προβλήματος από την κυματική δράση. Όσον αφορά στη βραχυχρόνια πρόγνωση, προκύπτει ότι δεν υπάρχει ένα ολοκληρωμένο σύστημα, ή μια ενδεδειγμένη μεθοδολογία, για τη γρήγορη και ακριβή πρόγνωση και την έγκαιρη ενημέρωση των αρχών διοίκησης και των κατοίκων, στα οποία λαμβάνονται υπόψη όλοι οι παράγοντες που προκαλούν τέτοια φαινόμενα. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι για να προσομοιωθούν όλες οι φυσικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα ταυτόχρονα στην παράκτια ζώνη, απαιτείται η χρονοβόρα εφαρμογή κυματικών και υδροδυναμικών μοντέλων. Παρά το γεγονός ότι τα κυματικά μοντέλα (όπως π.χ. τα μοντέλα ήπιας κλίσης ή τα φασματικά μοντέλα) έχουν βελτιωθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια για να προσφέρουν ακριβή αποτελέσματα σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα προσομοίωσης, τα υδροδυναμικά μοντέλα απαιτούν αφενός πολύωρες αριθμητικές προσομοιώσεις και αφετέρου οδηγούν πολλές φορές σε αστάθειες του σχήματος επίλυσης απαιτώντας την κρίση του Μηχανικού για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων και πιθανώς την επανάληψη της προσομοίωσης. Το κενό αυτό έρχεται να καλύψει το *LHW_CoastFLOOD* (Chondros et al.2021b), ένα σύστημα που έχει αναπτυχθεί στο ΕΛΕ, για την έγκαιρη προειδοποίηση παράκτιων πλημμυρών και το οποίο περιλαμβάνει τρία διακριτά συνδεδεμένα μεταξύ τους πλαίσια: α) το πλαίσιο *Προσομοίωσης Ιστορικών Πλημμυρικών Γεγονότων* [Hindcast Framework (HF)], β) το πλαίσιο *Πρόβλεψης Διακριτών Πλημμυρικών Γεγονότων* [Forecast Framework (FF)] και γ) το πλαίσιο *Έγκαιρης Προειδοποίησης* [Early Warning Systems, (EWS)].

Κατά την εφαρμογή του πρώτου πλαισίου HF αξιοποιούνται εξελιγμένα αριθμητικά μοντέλα με στόχο τη βαθμονόμησή τους σε σχέση με γεγονότα παράκτιας πλημμύρας που συνέβησαν στο παρελθόν. Στη συνέχεια και για την εφαρμογή του δεύτερου πλαισίου FF τα βαθμονομημένα μοντέλα από το HF αξιοποιούνται για την προσομοίωση διακριτών θαλάσσιων καταστάσεων και καταγίδων (Martzikos et al., 2021) οι οποίες είναι πιθανό να εμφανιστούν στο μέλλον. Τα αποτελέσματα αυτού του πλαισίου χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την εκπαίδευση ενός ΤΝΔ, το οποίο μπορεί να προβλέπει με ακρίβεια τον επικείμενο κίνδυνο παράκτιας πλημμύρας με

μοναδικά δεδομένα εισόδου τα χαρακτηριστικά της θαλάσσιας κατάστασης (κυματικά χαρακτηριστικά και στάθμη της θάλασσας) στα ανοιχτά της περιοχής ενδιαφέροντος.

Πιο συγκεκριμένα, όπως παρουσιάζεται και στο Σχήμα 1, τα πέντε επιμέρους μεθοδολογικά βήματα στα οποία βασίζεται το HF είναι:

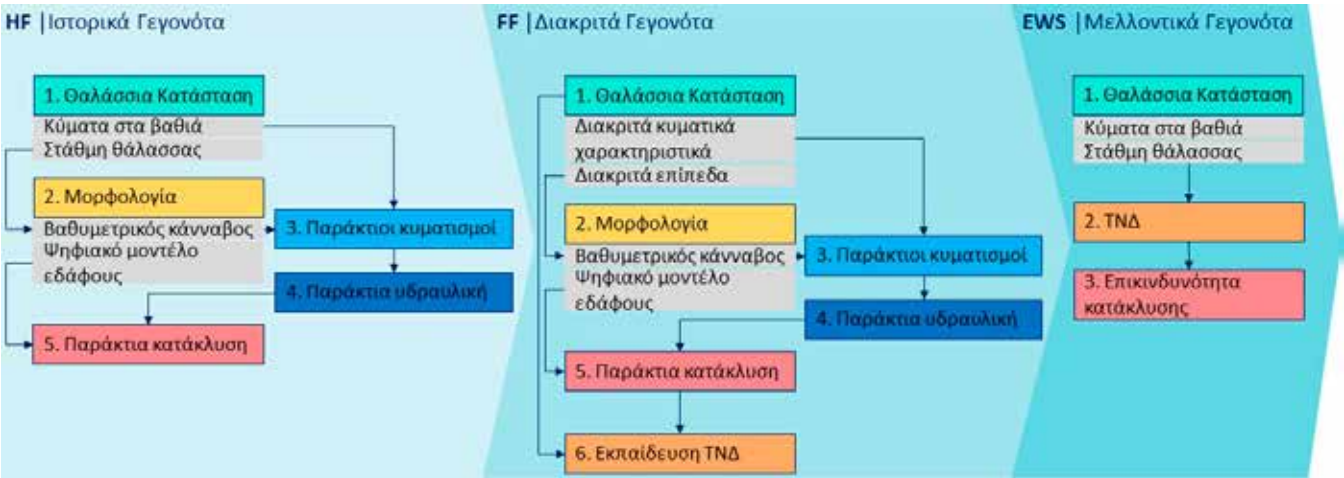
- HF-1: η αναζήτηση και ανάλυση δεδομένων θαλάσσιας κατάστασης από ανοιχτές βάσεις κατά τη διάρκεια ιστορικών γεγονότων παράκτιας πλημμύρας,
HF-2: η κατασκευή ενός καννάβου βαθυμετρίας και ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους,
HF-3: η προσομοίωση του παράκτιου κυματικού πεδίου,
HF-4: η εκτίμηση της κυματικής αναρρίχησης και παροχής υπερπήδησης σε επιλεγμένες διατομές κατά μήκος του ευάλωτου παράκτιου μετώπου και τέλος,
HF-5: η προσομοίωση της παράκτιας κατάκλυσης του αστικού ιστού.

- Αντίστοιχα, τα έξι μεθοδολογικά βήματα στα οποία βασίζεται το FF είναι:
FF-1: ο προσδιορισμός διακριτών γεγονότων θαλάσσιας κατάστασης (κυματικά χαρακτηριστικά και στάθμη της θάλασσας) αντιπροσωπευτικών για την περιοχή μελέτης, όπου λαμβάνεται υπόψη και η επίδραση της κλιματικής αλλαγής,
FF-2: η κατασκευή νέων βαθυμετρικών καννάβων για τις διαφορετικές θαλάσσιες στάθμες που προσδιορίστηκαν στο βήμα FF-1,
FF-3: η προσομοίωση του παράκτιου κυματικού πεδίου,
FF-4: η εκτίμηση της κυματικής αναρρίχησης και παροχής υπερπήδησης σε επιλεγμένες διατομές κατά μήκος του ευάλωτου παράκτιου μετώπου,
FF-5: η προσομοίωση της παράκτιας κατάκλυσης του αστικού ιστού και η εύρεση του μέγιστου βάθους ροής και τέλος,
FF-6: η εκπαίδευση ενός ΤΝΔ με δεδομένα εισόδου τα διακριτά γεγονότα θαλάσσιας κατάστασης (κυματικά χαρακτηριστικά και θαλάσσια στάθμη) στα ανοιχτά της περιοχής μελέτης, όπως προσδιορίστηκαν στο βήμα FF-1, και δεδομένα στόχους τα αντίστοιχα μέγιστα βάθη ροής κατάκλυσης, όπως προσδιορίστηκαν στο βήμα FF-5.

Τέλος, το EWS αξιοποιεί το εκπαιδευμένο ΤΝΔ του FF και κατατάσσει τις προβλέψεις των βαθών ροής της επερχόμενης πλημμύρας σε τρείς κατηγορίες κινδύνου:

- χαμηλός κίνδυνος (με βάθη ροής μικρότερα από 0.15 m)
- μέτριος κίνδυνος (με βάθη ροής από 0.15 m έως 0.35 m) και
- υψηλός κίνδυνος (με βάθη ροής μεγαλύτερα από 0.35 m)

ώστε να είναι δυνατή στη συνέχεια η ενημέρωση, προειδοποίηση ή/και η λήψη κατάλληλων μέτρων για την αντιμετώπιση της επερχόμενης παράκτιας πλημμύρας.



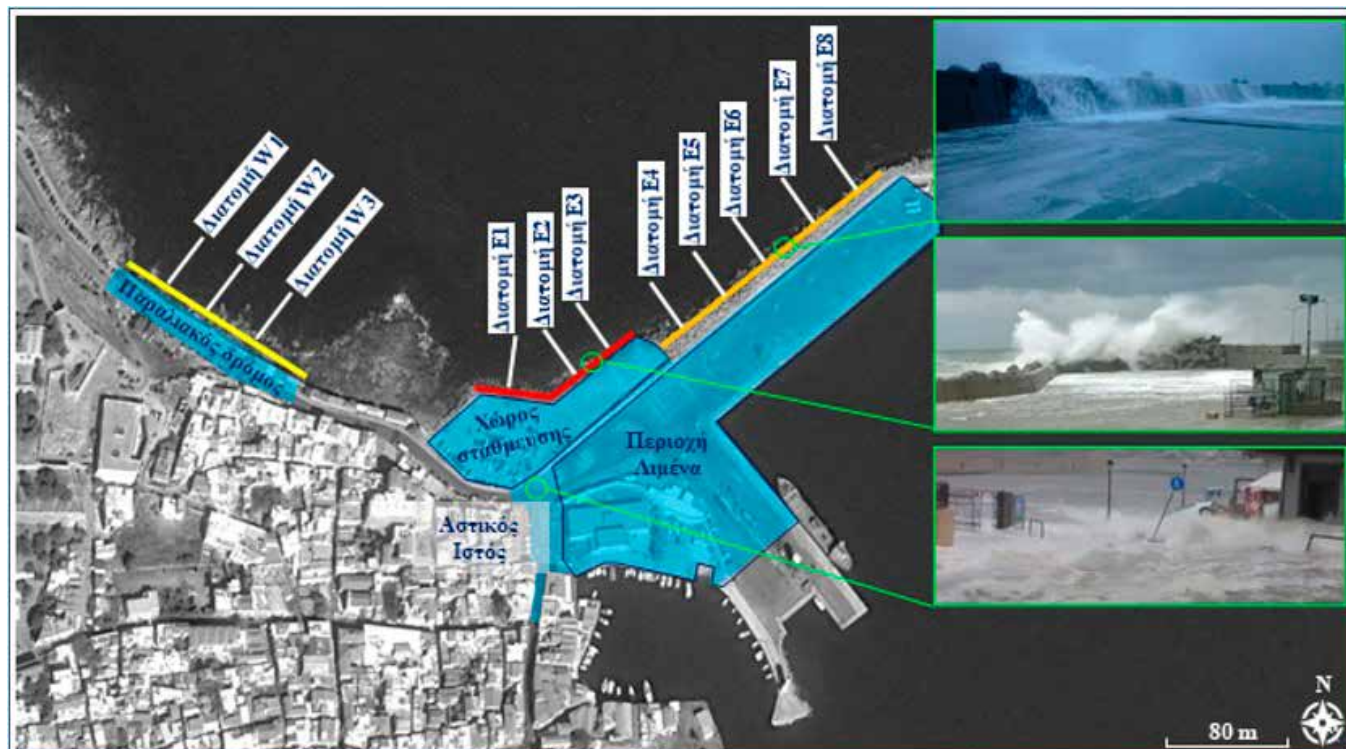
Παράκτιο Πλημμυρικό Συμβάν:		S1	S2	S3	S4
Ημερομηνία Συμβάντος:		11/12/2010	28/02/2012	01/01/2015	13/01/2015
Κυματικά χαρακτηριστικά «ανοιχτά» της περιοχής	H_s (m)	5.24	5.19	4.98	5.79
	T_p (s)	9.23	9.23	9.23	10.15
	MWD	338.52°	356.90°	346.09°	358.77°
Άνοδος από τη ΜΣΘ	Μετ. Παλιν. (m)	+0.15	+0.30	+0.26	+0.23
	Αστρ. Παλιν. (m)	+0.03	+0.02	+0.02	+0.01
	Συνολικά (m)	+0.18	+0.32	+0.28	+0.24

Σχήμα 1. Διάγραμμα ροής της προτεινόμενης μεθοδολογικής προσέγγισης για την ανάπτυξη ενός συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης παράκτιων πλημμυρών.

Πίνακας 1. Πλημμυρικά γεγονότα του παρελθόντος και αντίστοιχα δεδομένα θαλάσσιας κατάστασης στα ανοιχτά του Ρεθύμνου, με τα οποία βαθμονομήθηκε η αλληλουχία μοντέλων του HF.

Ενδεικτικά αποτελέσματα του *LHW_CoastFLOOD*, δίνονται στη συνέχεια για την παράκτια ζώνη του Ρεθύμνου Κρήτης, μιας ιδιαίτερα ευάλωτης περιοχής, η οποία πλήττεται σφοδρά και συχνά από παράκτιες πλημμύρες, ενώ ταυτόχρονα, εξαιτίας της έντονης τουριστικής, οικιστικής και εμπορικής δραστηριότητας που έχει αναπτυχθεί κοντά στην ακτογραμμή τίθενται συχνά σε κίνδυνο η ασφάλεια των κατοίκων κα των τουριστών, καθώς και, οι παράκτιες δημόσιες και ιδιωτικές υποδομές (λιμένες, παράκτιοι δρόμοι, υπαίθριος χώρος στάθμευσης αυτοκινήτων, χώροι εστίασης και αναψυχής, Ι.Χ., κ.ά.).

Στην περιοχή του Ρεθύμνου έχει καταγραφεί πληθώρα πλημμυρικών φαινομένων, εκ των οποίων τα μεγαλύτερα αφορούν στην περίοδο από το 2006 έως το 2020. Κατά τη διάρκεια αυτών των συμβάντων, η ανύψωση της στάθμης της θάλασσας λόγω της μετεωρολογικής παλίνρροιας και η κυματική υπερπήδηση οδήγησαν στην εμφάνιση ισχυρών παράκτιων πλημμυρών, με σοβαρές συνέπειες στην παράκτια ζώνη. Ανάμεσα, στα πλημμυρικά γεγονότα του παρελθόντος τα οποία έλαβαν χώρα στις παράκτιες περιοχές του Ρεθύμνου, επιλέχθηκαν τέσσερα (4) για την εφαρμογή της μεθοδολογίας του *LHW_CoastFLOOD* (Πίνακας 1).



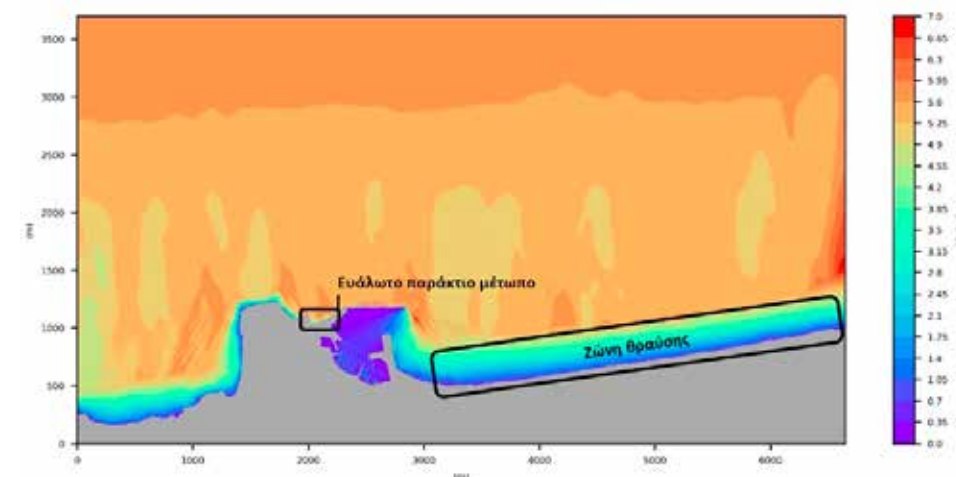
Σχήμα 2. Ευάλωτη παράκτια ζώνη Ρεθύμνου και φωτογραφίες από καταγεγραμμένα πλημμυρικά συμβάντα.

Τα γεγονότα αυτά επιλέχθηκαν βάσει της επάρκειας των διαθέσιμων στοιχείων και καταγραφών (βίντεο και εικόνες). Από τα στοιχεία του Πίνακα 1 προκύπτει ότι η αστρονομική παλίρροια έχει μικρό εύρος και, συνεπώς, έχει και μικρή συμβολή ως αίτιο πρόκλησης παράκτιας πλημμύρας, ενώ, αντίθετα, η μετεωρολογική παλίρροια έχει την κυρίαρχη επίδραση στην ανύψωση της θαλάσσιας στάθμης.

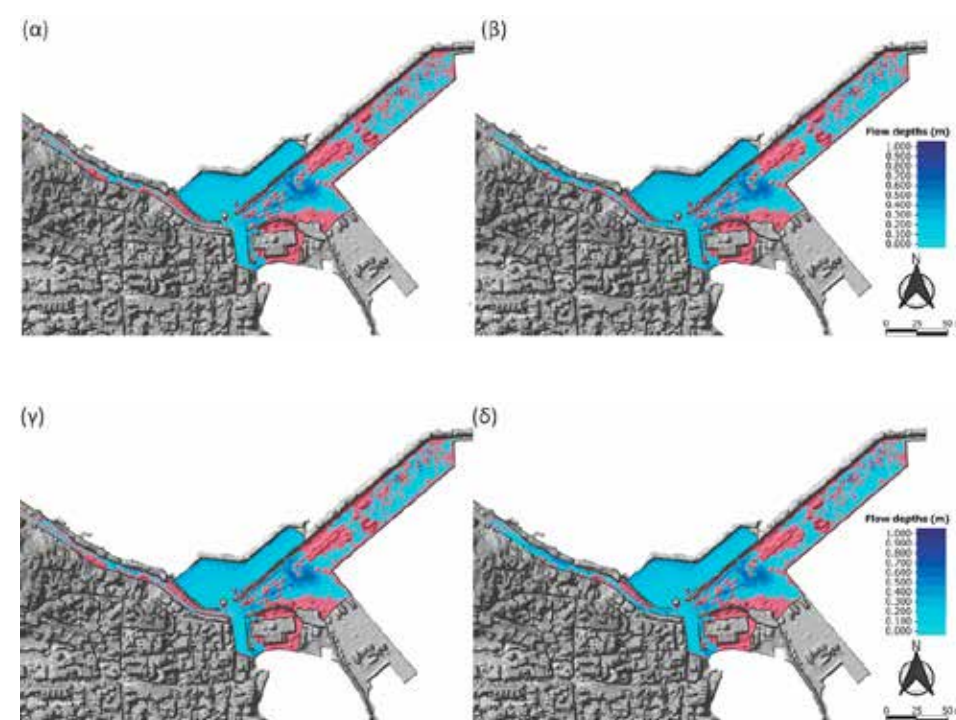
Στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η πλέον ευάλωτη σε πλημμύρες παράκτια ζώνη του Ρεθύμνου. Με γαλάζιο χρώμα σημειώνονται οι τέσσερις (4) υποπεριοχές διερεύνησης (1: Παράκτιος δρόμος, 2: Χώρος στάθμευσης, 3: Αστική περιοχή και 4: Λιμενική ζώνη) που κατακλύονται κατά την εκδήλωση μιας παράκτιας πλημμύρας. Τα μέτωπα από τα οποία κατακλύουν τα θαλάσσια ύδατα την ξηρά μέσω κυματικής υπερπήδησης, σημειώνονται στο Σχήμα 2 με κίτρινο, κόκκινο και πορτοκαλί χρώμα. Στο ίδιο σχήμα (Σχήμα 2) διακρίνονται επίσης οι έντεκα διατομές (W1-W3, E1-E8), οι οποίες επιλέχθηκαν για τον υπολογισμό της παροχής κυματικής υπερπήδησης κατά τη διάρκεια του κάθε πλημμυρικού συμβάντος. Οι φωτογραφίες στο Σχήμα 2 αποδεικνύουν τη σφοδρότητα της υπερπήδησης, αλλά και την κατάκλυση της αστικής υποπεριοχής όπως προκύπτει από ιστορικές καταιγίδες.

Από την εφαρμογή του HF-1, προκύπτει ότι η παράκτια περιοχή του Ρεθύμνου είναι εκτεθειμένη σε κυματισμούς που προσπίπτουν από ΔΒΔ, ΒΒΔ, Β και ΒΒΑ, με επικρατέστερη τη Β διεύθυνση, η οποία δημιουργεί και τα υψηλότερα ύψη κύματος. Επίσης, μετά την εφαρμογή βημάτων HF-2 και HF-3 προκύπτει ότι οι κυματισμοί διατηρούν το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που έχουν στα βαθιά νερά, όταν προσεγγίζουν το ευάλωτο σε

Σχήμα 3. Αποτελέσματα προσομοίωσης ύψους κυματισμού στην παράκτια ζώνη Ρεθύμνου για το πλημμυρικό συμβάν S4 του Πίνακα 1



Σχήμα 4. Περιοχές κατάκλυσης σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων (με παλέτα διαβάθμισης μπλε χρώματος ανάλογα με το βάθος ροής) σε σύγκριση με την περιοχή που κατακλύστηκε στην πραγματικότητα κατ' εκτίμηση από καταγραφές βίντεο και μαρτυρίες κατοίκων (επισημασμένες με κόκκινο χρώμα) για τα τέσσερα συμβάντα: (α) S1, (β) S2, (γ) S3 και (δ) S4.



πλημμύρα παράκτιο μέτωπο (Σχήμα 3), σε αντίθεση με τις παρακείμενες ακτές όπου εμφανίζεται μια ευρεία ζώνη θραύσης και τα κύματα φτάνουν στην ακτογραμμή με σημαντική απώλεια της ενέργειάς τους (Σχήμα 3), γεγονός που οφείλεται στην ύπαρξη απότομων κλίσεων πυθμένα στην περιοχή του λιμένα, σε αντίθεση με τις παρακείμενες ακτές που εμφανίζουν ηπιότερη κλίση.

Στο Σχήμα 4 δίνονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης της παράκτιας κατάκλυσης όπως προέκυψαν μετά την εφαρμογή του HF για τα τέσσερα ιστορικά πλημμυρικά συμβάντα S1÷S4 του Πίνακα 1.

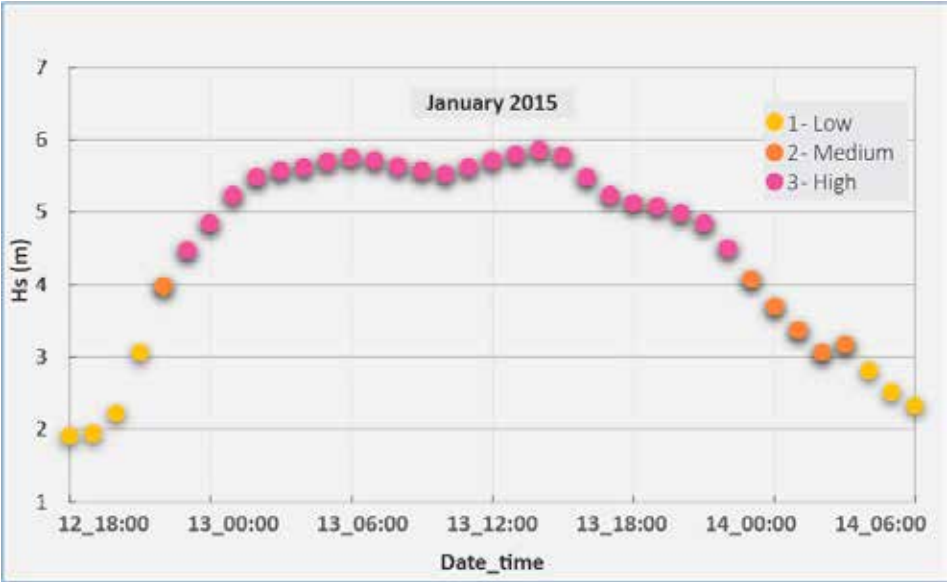
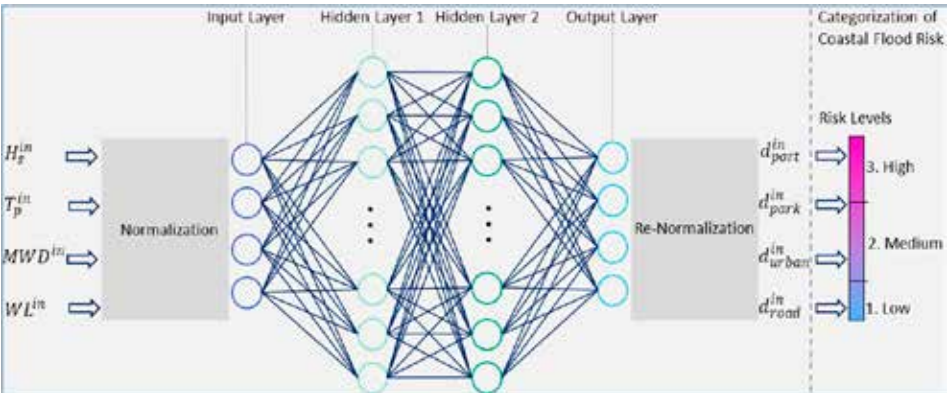
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, προκύπτει ότι οι όγκοι νερού που υπερπηδούν το μέτωπο του παραλιακού δρόμου, ακολουθούν κατηφορική ροή προς την είσοδο του χώρου στάθμευσης, καθώς ο δρόμος έχει κλίση προς εκείνη την περιοχή, αυξάνοντας περαιτέρω τα βάθη ροής στον αστικό ιστό. Επίσης, η περιοχή του χώρου στάθμευσης κατακλύεται ολόκληρη και το νερό της παράκτιας πλημμύρας διοδεύεται προς τον αστικό ιστό και τη νοτιοδυτική περιοχή του λιμένα από την περιοχή εισόδου/εξόδου του χώρου στάθμευσης, ενώ μέρος αυτής, καταλήγει και πάλι στη θάλασσα και συγκεκριμένα στις λιμενολεκάνες του ενετικού και εμπορικού λιμένα Ρεθύμνου.

Μετά την ολοκλήρωση της βαθμονόμησης των μοντέλων και της μεταξί τους αλληλουχίας με βάση τα δεδομένα από τις ιστορικά καταγεγραμμένες πλημμύρες, εφαρμόζεται το FF, για την εκπαίδευση ενός ΤΝΔ με στόχο την ακριβή και γρήγορη πρόβλεψη του βάθους ροής από διακριτά γεγονότα θαλάσσιας κατάστασης (κυματικά χαρακτηριστικά και θαλάσσια στάθμη), συμπεριλαμβάνοντας την αύξηση αυτών των μεγεθών από την επίδραση της κλιματικής αλλαγής. Αφού προσδιοριστεί το εύρος της κατανομής των κυματικών χαρακτηριστικών (ύψος και περίοδος κύματος) επιλέγονται, με βήμα 1 m για τα ύψη και 1 s για τις περιόδους, συγκεκριμένα διακριτά ζεύγη ύψους-περιόδου κυματισμών για τρεις διαφορετικές στάθμες θάλασσας, [α] -0.50 m ΜΣΘ (LWL), β) ΜΣΘ (MWL) και γ) +0.50 m ΜΣΘ (HWL)] ώστε να προκύψουν τελικά ,συνολικά 303 διαφορετικά κυματικά σενάρια για την περιοχή του Ρεθύμνου. Τα αποτελέσματα από τα σενάρια αυτά (FF-3), καθώς και τα αποτελέσματα από τις υδροδυναμικές προσομοιώσεις (FF-4) για το μέγιστο βάθος κατάκλυσης, χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του ΤΝΔ, και την κατηγοριοποίηση του πλημμυρικού κινδύνου.

Πιο συγκεκριμένα, για την περιοχή του Ρεθύμνου εκπαιδεύθηκε ένα ΤΝΔ (Multilayer feed-forward) με δεδομένα εισόδου το ύψος, την περίοδο, τη διεύθυνση κύματος στα ανοιχτά, καθώς και τη στάθμη θάλασσας, και στόχους εξόδου, το βάθος ροής στις τέσσερις υποπεριοχές διερεύνησης. Για την επιλογή της αρχιτεκτονικής του ΤΝΔ έγινε διερεύνηση με δοκιμές που περιλάμβαναν την περίπτωση μονού ή διπλού στρώματος, για διάφορα πλήθη αριθμού νευρώνων, ώστε να επιλεγεί η βέλτιστη τελικά αρχιτεκτονική, η οποία όπως φαίνεται στο Σχήμα 5 είναι με διπλό στρώμα δώδεκα κρυφών νευρώνων {4-12-12-4}, συντελεστή συσχέτισης $R = 0.995$ και μέσο τετραγωνικό σφάλμα $MSE = 0.0003$.

Στο τελευταίο βήμα του *LHW_CoastFLOOD* το ΤΝΔ που καταστρώθηκε καλείται να προβλέψει την κατηγορία πλημμυρικού κινδύνου για το ιστορικό συμβάν S4. Σύμφωνα με τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τις βάσεις δεδομένων, κατά τη διάρκεια αυτού του συμβάντος, τα ύψη κύματος στα ανοιχτά κυμαίνοντουσαν από 2.0 m έως 5.8 m, οι περίοδοι κορυφής από 6 s έως 10 s, η μέση διεύθυνση διάδοσης από WNW (300°) έως NNE (30°) και η θαλάσσια στάθμη από +0.10 m έως +0.25 m από τη ΜΣΘ. Οι κατηγορίες κινδύνου για την πιο ευάλωτη περιοχή του χώρου στάθμευσης απεικονίζονται στο Σχήμα 6.

Σχήμα 5. Αρχιτεκτονική ΤΝΔ για την πρόβλεψη του παράκτιου πλημμυρικού κινδύνου (Chondros et al., 2021b).



Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ωριαίων διαδοχικών επιπέδων κινδύνου κατά τη διάρκεια προηγούμενων πλημμυρικών γεγονότων, προκύπτει ότι το *LHW_CoastFLOOD*, θα μπορούσε να είχε προειδοποιήσει έγκαιρα τους κατοίκους του Ρεθύμνου για τους επικείμενους κινδύνους πλημμύρας, εάν ήταν διαθέσιμο εκείνη την περίοδο, και κατά επέκταση να αποτελέσει άμεσα ένα πολύτιμο εργαλείο προειδοποίησης και προστασίας από τις παράκτιες πλημμύρες, στο οποίο μπορούν να συμπεριληφθούν και σενάρια των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας την προηγηθείσα παρουσίαση, της έρευνας που αφορά στην πρόβλεψη και προειδοποίηση παράκτιων πλημμυρών, αλλά και την έως τώρα ενασχόληση του Εργαστηρίου μας με το σχετικό αντικείμενο, επισημαίνονται τα ακόλουθα:

Οι **παράκτιες πλημμύρες** αποτελούν **επικίνδυνες φυσικές καταστροφές** που πλήττουν τις παράκτιες κοινότητες. Οι μηχανισμοί που οδηγούν στην εμφάνιση επικίνδυνων πλημμυρικών γεγονότων είναι η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, λόγω της αστρονομικής και μετεωρολογικής παλίρροιας, καθώς και η κυματική δράση στην οποία συμπεριλαμβάνονται η κυματική αναρρίχηση και υπερπήδηση. Ο τρόπος με τον οποίο συνδυάζονται τα φαινόμενα αυτά, καθορίζει και το μέγεθος των επιπτώσεων της δημιουργούμενης πλημμύρας. Η **κλιματική αλλαγή συμβάλει στη συχνότερη και πιο καταστροφική εκδήλωση παράκτιων πλημμυρών** μέσω της αύξησης της μέσης στάθμης της θάλασσας, της αλλαγής στη συχνότητα εμφάνισης και στην ένταση της μετεωρολογικής παλίρροιας, που οδηγούν στην περαιτέρω αύξηση της θαλάσσιας στάθμης, καθώς και στην αλλαγή των κυματικών χαρακτηριστικών που προσπίπτουν στην παράκτια ζώνη. Οι φορείς διοίκησης, πολιτικής προστασίας και διαμόρφωσης της εθνικής και περιφερειακής στρατηγικής για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, έχουν άμεση ανάγκη εργαλείων υποστήριξης αποφάσεων. Για τον βραχυπρόθεσμο σχεδιασμό **τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης παράκτιων πλημμυρών**, αποτελούν απαραίτητο εργαλείο για την ενημέρωση, τον σχεδιασμό και τη λήψη μέτρων, για την προστασία των παράκτιων δημόσιων και ιδιωτικών υποδομών και την προστασία και την ασφάλεια της ανθρώπινης ζωής. Το Εργαστήριο Λιμενικών Έργων, έχει αναπτύξει το *LHW_CoastFLOOD*, ένα εύχρηστο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε παράκτια ζώνη, προσφέροντας γρήγορα αξιόπιστες προβλέψεις του πλημμυρικού κινδύνου από παράκτια καταιγίδα.

Τα τρέχοντα και μελλοντικά ερευνητικά βήματα του ΕΛΕ εστιάζονται στην περαιτέρω ανάπτυξη του *LHW_CoastFLOOD*, προκειμένου να διερευνηθούν περιοχές όπου η επεισοδιακή διάβρωση κατά τη διάρκεια της παράκτιας πλημμύρας μπορεί να αλλοιώσει τη μορφολογία του παράκτιου μετώπου, καθώς επίσης και στην ανάπτυξη ενός ενιαίου δείκτη επικινδυνότητας, ο οποίος πέραν των βαθών ροής, θα λαμβάνει υπόψη τις ταχύτητες ροής, αλλά και την τρωτότητα της παράκτιας ζώνης και των παράκτιων υποδομών σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες.

Συναφείς εργασίες της ερευνητικής ομάδας του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων και Βιβλιογραφικές αναφορές

Chalastani, V.I., Manetos, P., Al-Suwailem, A.M., Hale, J.A., Vijayan, A.P., Pagano, J., Williamson, I., Henshaw, S.D., Albaseet, R., Butt, F., Brainard, R.E, Coccossi, s H., Tsoukala, V.K., Duarte, C.M (2020). Reconciling Tourism Development and Conservation Outcomes Through Marine Spatial Planning for a Saudi Giga-Project in the Red Sea (The Red Sea Project, Vision 2030), *Frontiers in Marine Science*, 7, 168. doi: 10.3389/fmars.2020.00168.

Chondros, M., Metallinos, A., Papadimitriou, A., Kalpyri, M., Memos, C., Tsoukala, V. (2021a). Coastal Inundation Integrated Modelling. 17th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2021), Athens, Greece, 1 - 4 September 2021.

Chondros, M., Metallinos, A., Papadimitriou, A., Memos, C., Tsoukala, V. (2021b). A coastal flood early-warning system based on offshore sea state forecasts and artificial neural networks. *Journal of Marine Science and Engineering*, Special Issue Coastal Flooding and Protection, (accepted for publication).

IPCC. (2019). Summary for Policy Makers. In IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate; Pörtner, H.O., Roberts, D.C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., Mintenbeck, K., Alegria, A., Nicolai, M., Okem, A, Petzold, J., Rama, B., Weyer, N.M., Eds., 2019.

Malliouri, D., Afentoulis, V., Memos, C., Tsoukala, V. (2017). Integrated Design of Coastal Structures and Adaptation to Climate Change Hazards. 15th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2017), Rhodes, Greece, 31 August - 2 September 2017.

Martzikos, N.T., Prinos, P.E., Memos, C.D., Tsoukala, V.K. (2021a). Statistical analysis of Mediterranean coastal storms. *Oceanologia*, 63 (1), 133-148, doi: 10.1016/J.OCEANO.2020.11.001.

Martzikos, N.T., Prinos, P.E., Memos, C.D., Tsoukala, V.K. (2021b). Key research issues of coastal storm analysis. *Ocean and Coastal Management*, 199, 105389, doi: 10.1016/J.OCECOAMAN.2020.105389.

Makropoulos, C., Tsoukala, V., Belibassakis, K., Lykoy, A., Chondros, M., and Gougoura, P. (2015). Managing flood risk in coast cities through an integrated modelling framework supporting stakeholders' involvement: The Case study of Rethymno. 36th IAHR World Congress, 28 June - 3 July 2015, The Hague, the Netherlands.

Makropoulos, Ch., Tsoukala, V., Lykou, A., Chondros, M., Manojlovic, N., and Vojinovic, Z. (2014). Improving Resilience against Extreme and Rare Events in Coastal Regions: An initial methodological proposal – the case study of the city of Rethymno. International Conference ADAPT to CLIMATE, 27-28 March 2014, Nicosia, Cyprus.

Skourti, O., Papadakis, M., Martzikos, N., Chondros, M. and Tsoukala, V. (2019). Adapting ports to climate change – the case of Evdilos port, Ikaria Island, Greece. 2nd International Conference ADAPTtoCLIMATE, 24-25 June 2019, Crete, Greece.

Tsaimou, C., Chalastani, V., Sartampakos, P., Tsoukala, V. (2021) Integrating Seaport Infrastructure Monitoring Approaches to Improve Smartness and Climate Adaptive Capacity. 17th International Conference on Environmental Science and Technology (CEST2021), Athens, Greece, 1 - 4 September 2021.

Tsoukala, V.K., Chondros, M., Kapelonis, Z.G., Martzikos, N., Lykou, A., Belibasakis, K., Makropoulos, C. (2016). An integrated wave modelling framework for extreme and rare events for climate change in coastal areas – the case of Rethymno, Crete. *Oceanologia*, 58, 71–89, doi:10.1016/J.OCEANO.2016.01.002.

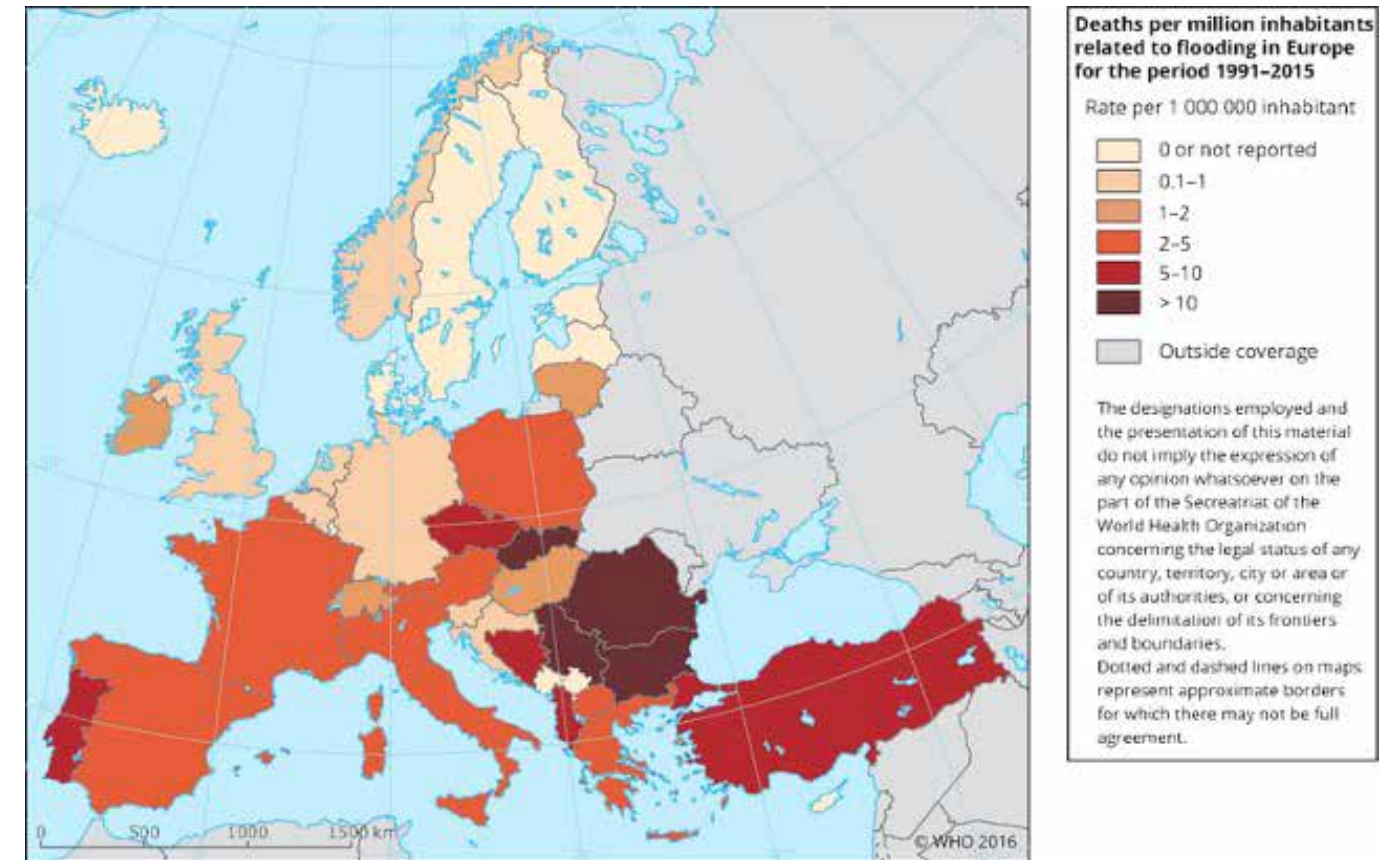
Vousdoukas, M.I., Mentaschi, L., Voukouvelas, E., Feyen, L. (2018). Climatic and socioeconomic controls on coastal flooding impacts in Europe. *Nature Climate Change* 8, pages 776–780.

Κλιματική αλλαγή και πλημμύρες

Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν παρατηρηθεί έντονες κλιματικές μεταβολές παγκοσμίως με ρυθμούς ταχύτερους από εκείνους του παρελθόντος, οι οποίες οφείλονται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ειδικά μετά τη Βιομηχανική Επανάσταση, η συμβολή του ανθρώπινου παράγοντα στις κλιματικές αλλαγές τόσο σε εθνικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο υπήρξε άμεση και καταλυτική.

Για παροχή σχεδίου ενεργειών με τακτικές επιστημονικές αξιολογήσεις σχετικά με την κλιματική αλλαγή, τις επιπτώσεις της και τους πιθανούς μελλοντικού κινδύνου καθώς και για την πρόταση μέτρων προσαρμογής και μετριασμού, έχει συσταθεί από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) η επιστημονική Διακυβερνητική Ομάδα για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) η οποία δημοσιεύει τα πορίσματα της σε εκθέσεις. Πιο συγκεκριμένα η 5η Έκθεση Αξιολόγησης (AR5) της Διακυβερνητικής Ομάδας για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC) χρησιμοποιεί ένα πρότυπο σύνολο προγνωστικών σεναρίων για το μελλοντικό κλίμα, τις αντιπροσωπευτικές οδούς συγκέντρωσης (RCPs) δηλαδή την προβλεπόμενη τροχιά της ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης διαφορετικών αερίων που συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα RCP περιγράφουν τέσσερις διαφορετικές περιπτώσεις για τον 21ο αιώνα όσον αφορά τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) και τις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις τους, τις εκπομπές άλλων αερίων ρύπων και τη χρήση της γης τα οποία θεωρούνται πιθανά ανάλογα με τον όγκο των αερίων του θερμοκηπίου που δύνανται να εκλυθούν τα επόμενα χρόνια. Περιλαμβάνουν ένα αυστηρό σενάριο μετριασμού (RCP2.6), δύο ενδιάμεσα σενάρια (RCP4.5 και RCP6.0) και ένα πολύ υψηλό σενάριο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου (RCP8.5). Με βάση το σενάριο RCP6.0, το πιθανό εύρος αύξησης της μέσης θερμοκρασίας της επιφάνειας κυμαίνεται μεταξύ 0,9 και 2 ° C για τις επόμενες δεκαετίες. Ιδιαίτερα στην περιοχή της Μεσογείου όπου αναμένονται μεγαλύτερες αλλαγές σε σύγκριση με τα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και γενικά τις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής έχει επιλεγεί αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2° C. Όσον αφορά τις βροχοπτώσεις, στη Μεσόγειο, αναμένεται να παρουσιάσουν μμεγάλη βαθμίδα ελάττωσης από τα δυτικά προς τα ανατολικά και από βορρά προς νότο αλλά και μμεγάλη διαφοροποίηση από περιοχή σε περιοχή, καθώς και έντονη μμεταβλητότητα από έτος σε έτος, εξαρτώμενη από την τοπογραφία και τις τροχιές των υφέσεων που διέρχονται από την Αν. Μεσόγειο. (Τράπεζα της Ελλάδος, 2011).

Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας οδηγεί σε ακραία καιρικά φαινόμενα οι επιπτώσεις των οποίων αντανakλώνονται τόσο σε οικονομικό (ζημιές) όσο και ανθρώπινο επίπεδο (θάνατοι). Στην Ευρώπη, κατά την περίοδο 1980-2016, οι συνολικές οικονομικές απώλειες που προκλήθηκαν από ακραίες καιρικές και κλιματικές συνθήκες ανήλθαν σε πάνω από 450 δισ. ευρώ.



Εικόνα 1. Αριθμός θανάτων ανά εκατομμύριο κατοίκων στην Ευρώπη για την περίοδο 1991-2015 (European Environmental Agency, 2020)

Παρατηρήθηκε ότι το μεγαλύτερο μερίδιο των οικονομικών επιπτώσεων κατέχουν οι πλημμύρες (περίπου 40%) (Ologunorisa and Abawua, 2005; Munich Re, 2016), ακολουθούμενες από τις καταιγίδες (25%), τις ξηρασίες (περίπου 10%) και τα κύματα καύσωνα (περίπου 5%). Αντίστοιχα από την Εικόνα 1, όπου εμφανίζεται ο αριθμός θανάτων ανά εκατομμύριο κατοίκων στην Ευρώπη για την περίοδο 1991-2015 (European Environmental Agency, 2020) παρατηρούμε ότι ανά περιοχές είναι δυνατό να υπερβληθούν δέκα (10) θάνατοι ανά εκατομμύριο. Από τα δεδομένα αυτά διακρίνουμε ότι υπό το πρίσμα της κλιματικής αλλαγής είναι επιτακτικής σημασίας να εστιάσουμε στο κομμάτι της αξιολόγησης και της διαχείρισης της επικινδυνότητας των πλημμυρικών φαινομένων καθώς αντιπλημμυρική προστασία 100% δεν είναι εφικτή.

Για την κατανόηση του φαινομένου των πλημμυρών περιγράφονται παρακάτω: (1) οι αιτίες που προκαλούν πλημμύρες, (2) τα είδη των πλημμυρών, (3) οι επιπτώσεις τους, και (4) τα εφικτά μέτρα προστασίας.

Αιτίες πλημμύρων

1. Κλιματολογικές αλλαγές
2. Αλλαγές χρήσης γης
3. Άλλες ανθρωπογενείς παρεμβάσεις με σημαντικότερες τις εξής:
 - Η αστική ανάπτυξη και η στεγανοποίηση της επιφάνειας του εδάφους
 - Η μερική ή ολική κάλυψη των κοιτών των χειμάρρων
 - Οι διαστάσεις και το μικρό ύψος των γεφυρών
 - Η αποψίλωση των δασών από πυρκαγιές ή άλλα αίτια και η επακόλουθη διάβρωση
 - Η κατασκευή μεγάλων έργων, κυρίως οδικών, εγκάρσια προς την κοίτη
 - Οι καθιζήσεις σε πεδινές περιοχές, λόγω ανθρωπογενών παρεμβάσεων
 - Αλλαγή ή εκτροπή κοίτης

Είδη πλημμύρων

Απότομες ή στιγμιαίες πλημμύρες. Αυτό το είδος συμβαίνει μέσα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα (2-6 ώρες, και μερικές φορές μέσα σε λίγα λεπτά) και είναι συνήθως αποτέλεσμα έντονης βροχόπτωσης, διάρρηξης φράγματος ή της τήξης του χιονιού. Οι απότομες πλημμύρες είναι οι πιο καταστροφικές και μπορεί να είναι θανατηφόρες, καθώς οι άνθρωποι συνήθως δεν είναι προετοιμασμένοι για το τι πρόκειται να συμβεί (Εικόνα 2).



Αργές πλημμύρες. Αυτό το είδος είναι συνήθως αποτέλεσμα υπερχειλίσας των ποταμών. Τείνουν να αναπτύσσονται αργά και μπορούν να διαρκέσουν για ημέρες και εβδομάδες. Διαχέονται συνήθως σε πολλά χιλιόμετρα και εμφανίζονται περισσότερο στις πλημμυρικές πεδιάδες.



Εικόνα 3. Πλημμύρα εντός αστικής περιοχής

Επιπτώσεις πλημμύρων

Οι πλημμύρες έχουν καταστροφικές συνέπειες για:

1. Οικονομία (Καταστροφή σπιτιών, δρόμων, αυτοκινήτων, έξοδα σε πυροσβεστική)
2. Περιβάλλον (Διαρροή χημικών, μόλυνση υδάτων) με ακραίο παράδειγμα στη Φουκουσίμα το 2011 υπήρχε διαρροή ραδιενέργειας από πλημμύρα λόγω τσουνάμι!
3. Ανθρώπους και ζώα (Τραυματισμός, θάνατος, μετάδοση ασθενειών)

Μέτρα αυτοπροστασίας

Τα μέτρα αυτοπροστασίας από πλημμύρες είναι ατομικές δράσεις που στόχο έχουν να μετριάσουν τον κίνδυνο απώλειας ανθρώπινης ζωής διακρίνονται σύμφωνα με τον χρόνο εξέλιξης του φαινομένου ήτοι (α) πριν, (β) κατά τη διάρκεια, (γ) μετά.

(α) Πριν.

1. Ενημερωνόμαστε για τις τοπικές οδούς εκκένωσης.
2. Αποθηκεύουμε τηλέφωνα έκτακτης ανάγκης και φροντίζουμε να έχουμε κουτί πρώτων βοηθειών, κονσέρβες, νερό και φακό.
3. Τοποθετούμε αντικείμενα στα υψηλότερα σημεία του σπιτιού και ασφαλίζουμε αντικείμενα αξίας.
4. Η φύτευση δέντρων και φυτών γύρω από το σπίτι βοηθούν στην μείωση της ταχύτητας του νερού.

(β) Κατά τη διάρκεια

- 1. Κλείνουμε όλες τις ηλεκτρικές συσκευές.
- 2. Απομακρυνόμαστε από την περιοχή έγκαιρα.
- 3. Μένουμε μακριά από κομμένα ηλεκτρικά καλώδια.
- 4. Μένουμε μακριά από το νερό της πλημμύρας καθώς μπορεί να περιέχει χημικά ή άλλα βλαβερά υλικά.

(γ) Μετά

- 1. Δεν επιστρέφουμε στο σπίτι παρά μόνο αν έχουμε άδεια από τον ειδικό ασφαλείας.
- 2. Δεν ανοίγουμε καμία ηλεκτρική συσκευή μέχρι το σπίτι να καθαριστεί κατάλληλα.
- 3. Καθαρίζουμε το σπίτι και όλα τα αντικείμενα πολύ καλά πριν την χρήση τους γιατί μπορεί να έχουν μολυνθεί.
- 4. Κατά τη διάρκεια του καθαρίσματος φοράμε προστατευτικά γάντια και μάσκα.

Τοπική Αυτοδιοίκηση (ΤΑ) και πλημμύρες

Εφόσον η πιθανότητα εμφάνισης πλημμύρας διαφέρει κατά τόπους κρίνεται απαραίτητη η συμβολή της εκάστοτε τοπικής αυτοδιοίκησης στη διαχείριση του φαινομένου με στοχευμένες ενέργειες για την εκτόνωση των πλημμυρικών απορροών. Ταυτόχρονα απαραίτητη κρίνεται η ενημέρωση/προετοιμασία των πολιτών και των υπηρεσιών διάσωσης για να έχουν γνώση ως προς το πώς πρέπει να λειτουργούν σε συνθήκες πλημμύρας.

Μελετώντας τη διεθνή εμπειρία των ΤΑ παρατηρούνται τα εξής όσον αφορά στους πολίτες αλλά και στην τοπική αυτοδιοίκηση:

- 1. Το κοινό δεν αντιμετωπίζει την πιθανότητα πλημμύρας με ιδιαίτερη προσοχή θεωρώντας ότι η περιοχή του δεν απειλείται από ένα τέτοιο φαινόμενο.
- 2. Το πολιτικό όφελος για την αντιμετώπιση μιας πιθανής πλημμύρας είναι συχνά πολύ μικρό. Είναι πολύ δύσκολο να δεσμεύσει κανείς χρηματικούς πόρους για την πρόληψη μια πλημμύρας. Στην περίπτωση όμως που αυτή συμβεί και τα προληπτικά μέτρα έχουν λειτουργήσει, και τα πολιτικά οφέλη αυξάνονται .

Τα παραπάνω μπορούν να επιλυθούν εάν οι ΤΑ:

- 1. Δώσουν έμφαση στη δημόσια ασφάλεια, που θα επιτευχθεί μόνο μέσω της λήψης μέτρων για τον περιορισμό των πλημμυρών.
- 2. Ενισχύσουν τη σωστή και αποτελεσματική χρήση των περιοχών που είναι επιρρεπείς στις πλημμύρες.

Ένα σημείο εκκίνησης για τους φορείς ΤΑ είναι κατόπιν δικής τους πρωτοβουλίας να εξετάσουν εάν έχουν πραγματοποιηθεί και με ποια αποτελέσματα τα παρακάτω μέτρα:

- 1. Ρυθμίσεις που έχουν υιοθετηθεί από το δημοτικό συμβούλιο και αφορούν τις περιοχές με υψηλό κίνδυνο πλημμύρας.
- 2. Σχεδιασμός, ανάπτυξη και διαχείριση πάρκων, χώρων αναψυχής και άλλων ανοιχτών χώρων σε περιοχές επιρρεπείς στις πλημμύρες.
- 3. Ενημέρωση της κοινής γνώμης για τους κινδύνους των πλημμυρών, καθώς και για τα προστατευτικά μέτρα που μπορεί να λάβει ο κάθε πολίτης.
- 4. Ενέργειες για την αντιμετώπιση των πλημμυρών, στο μέλλον.
- 5. Λήψη μέτρων έκτακτης ανάγκης, έλεγχος για τη διάβρωση του εδάφους, επισκευές, διαχείριση υδάτινων πόρων.

Κατ’ αντιστοιχία για τη διασφάλιση της δικής τους ασφάλειας οι πολίτες θα πρέπει:

- 1. Να αναγνωρίζουν και να συμμορφώνονται με τα προειδοποιητικά σήματα.
- 2. Να ακολουθούν τα διαμορφωμένα σχέδια εκκένωσης.
- 3. Να μένουν μακριά από περιοχές επιρρεπείς στις κατολισθήσεις.
- 4. Να γνωρίζουν αν η περιουσία τους βρίσκεται σε περιοχή υψηλού κινδύνου, καθώς και τα προληπτικά μέτρα τα οποία πρέπει να λάβουν σε τέτοια περίπτωση.

Και τέλος οι υπηρεσίες διάσωσης για να μπορούν να ανταποκρίνονται σε μια ενδεχόμενη πλημμύρα θα πρέπει:

- 1. Να διαθέτουν εξοπλισμό και εκπαίδευση.
- 2. Να έχουν στη διάθεση τους τοπικούς χάρτες στους οποίους να σημειώνονται οι περιοχές υψηλού κινδύνου.
- 3. Να παρακολουθούν τις αλλαγές στη γεωμορφολογία των ποταμιών, αλλά και τα μετεωρολογικά σήματα.
- 4. Να αξιολογούν τις άμεσες ανάγκες σε περίπτωση εκκένωσης, καταφυγίου, ιατρικής περίθαλψης.
- 5. Να έχουν ανοιχτούς δίαυλους επικοινωνίας με τους πολίτες την ώρα της κρίσης.

Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμύρων (ΣΕΠΠ)

Σημαντικό ρόλο στον μετριασμό του κινδύνου πλημμυρών και των επιπτώσεών τους έχουν τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης πλημμυρών (ΣΕΠΠ). Ένα ΣΕΠΠ είναι απαραίτητο σε κάθε λεκάνη απορροής με ιστορικό πλημμυρικών φαινομένων και πρέπει να περιλαμβάνει:

- Εγκατάσταση τηλεμετρικών μετεωρολογικών και υδρομετρικών σταθμών.
- Δημιουργία ενός αποτελεσματικού συστήματος προειδοποίησης το οποίο προϋποθέτει την υπάρξη δεδομένων: Μετεωρολογικών και Επιπέδου στάθμης ποταμού σε πραγματικό χρόνο.
- Βάση αυτών είναι δυνατό η εισαγωγή τους στα κατάλληλα υδρολογικά και υδραυλικά μαθηματικά μοντέλα προκειμένου να προβλεφθούν οι περιοχές όπου υπάρχει αυξημένη πιθανότητα ύπαρξης πλημμυρικού γεγονότος.

Βιβλιογραφία

1. European Environmental Agency, 2020. <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/people-per-million-population-affected-4>
2. Munich Re, 2016. Natural catastrophes 2015. Annual figures. Munich Re NatCat Service. http://www.munichre.com/site/corporate/get/params_E1254966961_Dattachment/1130647/Munich-Re-Overview-Naturalcatastrophes-2015.pdf.
3. Ologunorisa, T.E., Abawua, M.J., 2005. Flood risk assessment: a review. J. Appl. Sci. Environ. Manag. 9 (1), 57–63.
4. Τράπεζα της Ελλάδος, 2011, «Οι περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα», Επιτροπή Μελέτης Επιπτώσεων Κλιματικής Αλλαγής, σελ. 546.

Δρ. Αριστείδης Κουτρούλης

Πολυτεχνείο Κρήτης, Σχολή Χημικών Μηχανικών και Μηχανικών Περιβάλλοντος

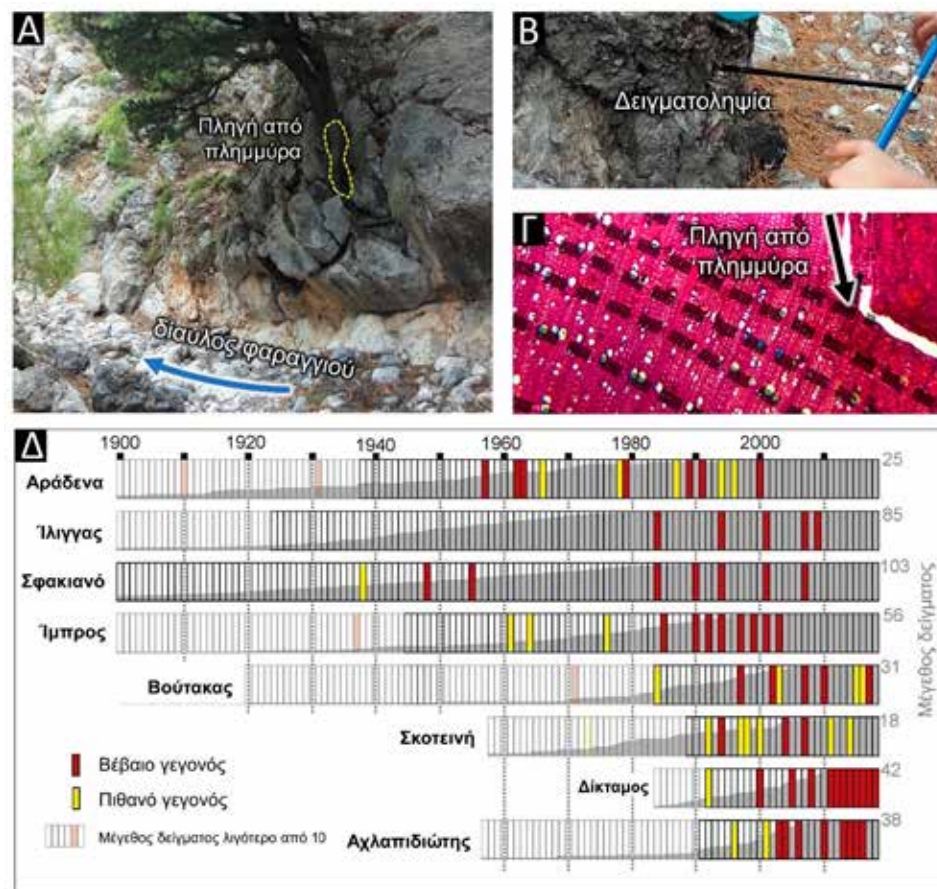
Ιχνηλατώντας για τις πλημμύρες

Τις τελευταίες δεκαετίες έχει τεκμηριωθεί ένα ετερογενές σήμα τόσο αύξησης όσο και μείωσης στην τάση εμφάνισης των πλημμυρών από ένα μεγάλο αριθμό μελετών τοπικής αλλά και παγκόσμιας κλίμακας. Ως εκ τούτου, ο αυθόρμητος καταλογισμός του τύπου «φταίει η κλιματική αλλαγή» όταν πρόκειται για πλημμυρικά γεγονότα είναι αβάσιμος. Μάλιστα η πρόσφατη έκθεση της διακυβερνητικής επιτροπής για το κλίμα (IPCC, 2021a) επισημαίνει ότι «ο καταλογισμός των αλλαγών της έντονης βροχόπτωσης σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες (περίπου 7% ανά 1°C υπερθέρμανσης - IPCC, 2021b) δεν μπορεί εύκολα να μεταφραστεί ως καταλογισμός αλλαγών των πλημμυρικών φαινομένων σε ανθρώπινες δραστηριότητες, για το λόγο ότι η βροχόπτωση είναι ένας από τους πολλούς παράγοντες, που επηρεάζουν τις πλημμύρες, αν και σημαντικός».

Παρόμοιες αντιφατικές τάσεις έχουν ανιχνευθεί σε ολόκληρη την Ευρώπη από πλήθος εργασιών (Hall et al., 2014). Αυτές οι αντιφάσεις οφείλονται στις συνδυαστικές επιπτώσεις στην κατά τόπους διακύμανση των χαρακτηριστικών της ακραίας βροχόπτωσης και στην αυξημένη έκθεση και ευπάθεια. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στις άμεσες ανθρωπογενείς ενέργειες, όπως αλλαγές στις χρήσεις γης και τις υποδομές των υδραυλικών έργων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα οι καταστροφικές πλημμύρες στην περιοχή των Χανίων τον Φεβρουάριο του 2019 (Lagouvardos et al, 2020) κατά τις οποίες τα ύψη της 2ήμερης συνολικής βροχόπτωσης ξεπέρασαν τα 600 χιλιοστά κατά τόπους. Τα ερωτήματα που προκύπτουν σε κάθε ανάλογη περίπτωση είναι εύλογα. Κατά πόσο οι επιπτώσεις καταλογίζονται στην κλιματική αλλαγή (έμμεσες ανθρωπογενείς επιπτώσεις) ή στις άμεσες παρεμβάσεις στο φυσικό και δομημένο περιβάλλον (αλλοίωση φυσικών διαύλων απορροής); Η ένταση και η συχνότητα αυτών των φαινομένων έχει αυξηθεί στο πρόσφατο παρελθόν ή βρίσκεται μέσα στα όρια της φυσικής διακύμανσης;

Στην απάντηση αυτών των ερωτημάτων εστιάζει η πρόσφατη επιστήμη «ανίχνευσης και καταλογισμού» (detection and attribution) όπου εξετάζει τον καταλογισμό των μακροπρόθεσμων κλιματικών μεταβολών ή των αλλαγών των ακραίων τιμών και ακραίων γεγονότων. Αυτό γίνεται με τον συνδυασμό ντετερμινιστικής - στοχαστικής ανάλυσης και παρατηρήσεων. Δευτερογενείς παρατηρήσεις (proxies) είναι επίσης χρήσιμες για τις μελέτες ανίχνευσης και καταλογισμού ακραίων γεγονότων επειδή προσφέρουν μια πιο μακροπρόθεσμη προοπτική για τη διακύμανση των φαινομένων και την σύγκρισή τους με το πρόσφατο παρελθόν. Μελέτες αυτού του τύπου μπορεί επίσης να εστιάζουν σε περιοχές όσο το δυνατόν ανεπηρέαστες από άμεσες παρεμβάσεις όπως για παράδειγμα μια πρόσφατη εργασία που εστιάζει σε οκτώ λεκάνες απορροής (φαράγγια) της περιοχής των Χανίων για την ανίχνευση γεγονότων αιφνίδιων πλημμυρών με στόχο τη

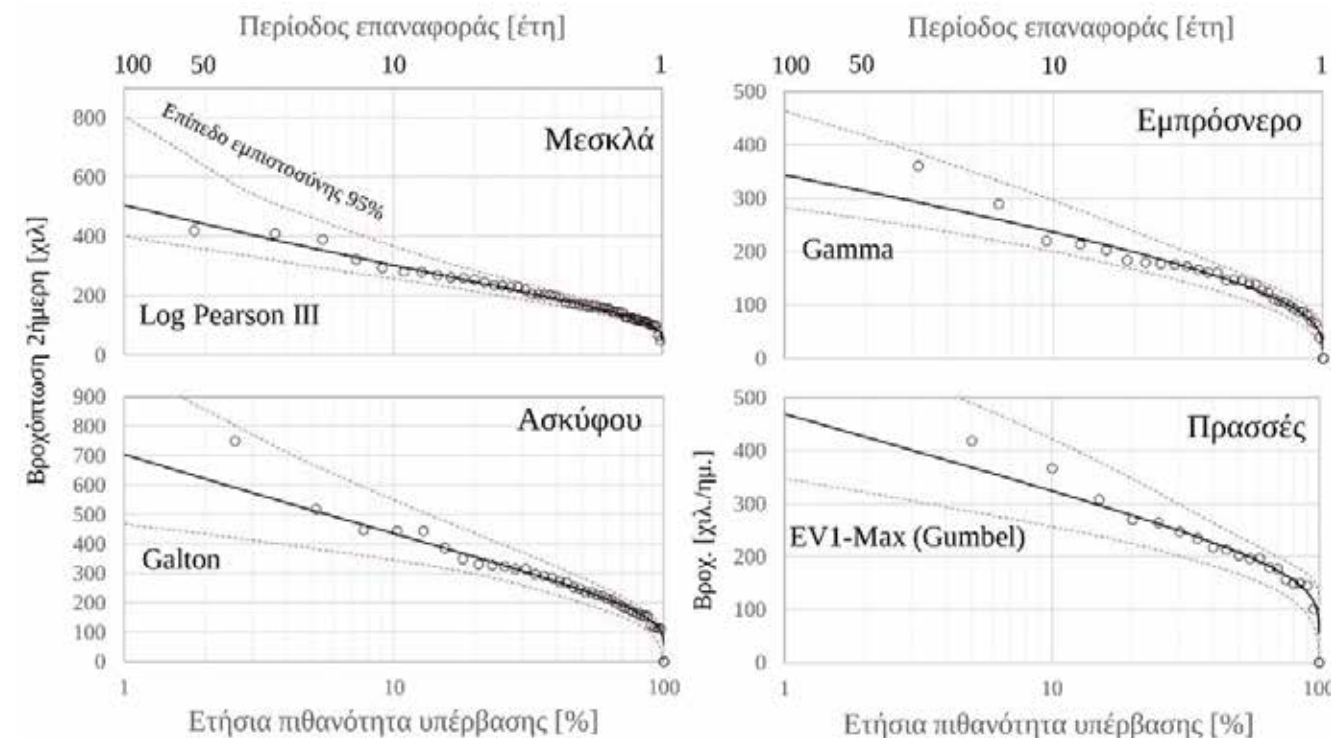
Εικόνα 1: Δενδρογεωμορφική δειγματοληψία (B) σε πληγή κορμού παρόχθιου δέντρου (A) στο διάυλο του φαραγγιού, δενδροχρονολόγηση δειγμάτων (Γ) και ανασύσταση ιστορικού αιφνίδιων πλημμυρών για οκτώ υδρολογικές λεκάνες (Δ).



δημιουργία ενός ιστορικού πλημμυρικών γεγονότων και τον χαρακτηρισμό τους σε σχέση με τα υδρομετεωρολογικά τους χαρακτηριστικά (Tichavský et al., 2020).

Έγινε δειγματοληψία από 398 παρόχθια δέντρα σε σημεία εμφανών πληγών (Εικόνα 1) οι οποίες μπορεί να προξενήθηκαν από την πρόσκρουση φερτών κατά τη διάρκεια έντονων πλημμυρών. Τα δείγματα επεξεργάστηκαν και η διαδικασία της δενδροχρονολόγησης επέτρεψε την ανίχνευση 76 αιφνίδιων πλημμυρών σε 43 διαφορετικά έτη. Η διάρκεια των χρονολογιών που ανασυστάθηκαν κυμαινόταν από 27 έως 125 χρόνια και τα πιο ευδιάκριτα γεγονότα καταγράφηκαν την περίοδο 1993–94, 2000–01 και 2006–07. Η πλειονότητα των πρόσφατων γεγονότων διασταυρώθηκαν με καταγραφές που συλλέχθηκαν από ένα πλήθος πηγών όπως από εθνικές και διεθνείς βάσεις καταγραφής φυσικών καταστροφών, από επιστημονικές μελέτες και από τον τύπο και το διαδίκτυο. Τα αποτελέσματα της χρονολόγησης (Εικόνα 1Δ) καταδεικνύουν μια αύξηση στη συχνότητα των γεγονότων στο πρόσφατο παρελθόν για ορισμένες από τις λεκάνες απορροής που εξετάστηκαν.

Η ανάλυση ακραίων τιμών 2ήμερης αθροιστικής βροχόπτωσης (Εικόνα 2) για χαρακτηριστικούς βροχομετρικούς σταθμούς πλησίον των περιοχών μελέτης καταδεικνύουν ότι οι ποσότητες που καταγράφηκαν (>500 χιλιο-



Εικόνα 2: Καμπύλες περιόδου επαναφοράς (βέλτιστες θεωρητικές κατανομές και διαστήματα εμπιστοσύνης 95%) 2ήμερης αθροιστικής βροχόπτωσης για χαρακτηριστικούς σταθμούς βροχόπτωσης.

στά) κατά τη διάρκεια των καταστροφικών πλημμυρών του 2019, για ορισμένους σταθμούς βρίσκονται εντός των ορίων της φυσικής διακύμανσης όπως αυτό ορίζεται από το διάστημα εμπιστοσύνης 95% και για άλλους όχι. Μία σύντομη ανάλυση συνοπτικής κλίμακας δείχνει ότι τα εντονότερα γεγονότα συνδέονται με βαθώς βαρομετρικά χαμηλά που ξεκινούν νότια και δυτικά της Κρήτης και παρουσιάζουν μια εμμονή στην περιοχή για μεγάλο διάστημα. Σε επόμενο στάδιο η υδραυλική ανάλυση των γεγονότων αυτών θα μπορούσε να δώσει ενδείξεις για τα υδρομετεωρολογικά χαρακτηριστικά που μπορεί να προξένησαν αυτές τις επιπτώσεις και τέλος να εξετασθεί εάν αυτά τα χαρακτηριστικά συνδέονται με τα μοτίβα της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής, ή όχι.

Η έκθεση της διακυβερνητικής επιτροπής για το κλίμα (IPCC, 2021b) δηλώνει ότι κατά ένα μέσο με υψηλό ποσοστό βεβαιότητας οι φυσικές καταστροφές που συνδέονται με τις πλημμύρες αναμένεται να αυξηθούν σε ένα κλίμα κατά 2°C θερμότερο σχετικά με 1.5°C πάνω από τη μέση παγκόσμια θερμοκρασία της προβιομηχανικής περιόδου. Ένα θερμότερο κλίμα αυξάνει την ποσότητα και την ένταση των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια «υγρών» γεγονότων, και αυτό αναμένεται να ενισχύσει τη σφοδρότητα των πλημμυρών (Seneviratne et al., 2021). Ωστόσο, η σχέση μεταξύ βροχόπτωσης και πλημμυρών είναι περίπλοκη, επομένως, ενώ οι πλημμύρες αναμένεται να επιδεινωθούν, ταυτόχρονα θα μπορούσαν να γίνουν πιο σπάνιες σε ορισμένες περιοχές, αλλά ακόμη και αν ληφθούν υπόψη όλοι οι παράγοντες που τις προκαλούν, όταν πρόκειται για καιρι-

κά μοτίβα σε ένα θερμότερο μέλλον, αυτά θα προκαλούν σφοδρότερα γεγονότα.

Προκειμένου όμως να προβλέψουμε στο μέλλον πρέπει να κατανοήσουμε το παρόν και το παρελθόν. Σε γενικές γραμμές η διερεύνηση της έντασης και της συχνότητας των ακραίων γεγονότων βασίζεται σε μεγάλο βαθμό σε χρονοσειρές παρατήρησης. Η στοχαστική ανάλυση των υδρολογικών ακραίων βρίσκει εμπόδια στην περιορισμένη διάρκεια των διαθέσιμων παρατηρήσεων, ειδικά στην ανάλυση περιόδου επαναφοράς των υπό διερεύνηση ακραίων.

Η δενδρογεωμορφική έρευνα, παρά τους περιορισμούς της, μπορεί να συνεισφέρει με ισχυρές ενδείξεις για την εκδήλωση και την έκταση των ακραίων γεγονότων σε ιστορικούς χρονικούς ορίζοντες που προηγούνται των συστηματικών καταγραφών από όργανα. Αυτά τα στοιχεία είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την κατανόηση της εξέλιξης των υδρολογικών ακραίων στο πλαίσιο ενός μεταβαλλόμενου κλίματος, ειδικά στις πιο ευάλωτες περιοχές, όπως η Ανατολική Μεσόγειος.

Βιβλιογραφία

IPCC, 2021a: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

IPCC, 2021b: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MassonDelmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Hall, J., Arheimer, B., Borga, M., Brázdil, R., Claps, P., Kiss, A., Kjeldsen, T. R., Kriausėnienė J., Kundzewicz, Z. W., Lang, M., Llasat, M. C., Macdonald, N., McIntyre, N., Mediero, L., Merz, B., Merz, R., Molnar, P., Montanari, A., Neuhold, C., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Plavcová, L., Rogger, M., Salinas, J. L., Sauquet, E., Schär, C., Szolgay, J., Viglione, A., and Blöschl, G.: Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment, Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 2735–2772, <https://doi.org/10.5194/hess-18-2735-2014>, 2014.

Lagouvardos K, Dafis S, Giannaros C, Karagiannidis A, Kotroni V. Investigating the role of extreme synoptic patterns and complex topography during two heavy rainfall events in Crete in February 2019. Climate. 2020 Jul;8(7):87.

Tichavský R, Koutroulis A, Chalupová O, Chalupa V, Šilhán K. Flash flood reconstruction in the Eastern Mediterranean: Regional tree ring-based chronology and assessment of climate triggers on the island of Crete. Journal of Arid Environments. 2020 Jun 1;177:104135.

Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Derczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou, 2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [MassonDelmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

Διαχείριση Πλημμυρικού Κινδύνου σε συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής

Τρίτο Φόρουμ του Εθνικού Δικτύου για την Κλιματική Αλλαγή Climract

19 Νοεμβρίου 2021, 9:00-16:30

Διοργανωτής: Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Συντονιστής: Καθηγητής Αναστάσιος Ι. Στάμου
Με την υποστήριξη της Διοικούσας Επιτροπής του CLIMPACT
Χώρος διεξαγωγής: Αμφιθέατρο Συνεδριακού Κέντρου του ΕΚΕΦΕ «ΔΗΜΟΚΡΙΤΟΣ»

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

09:00 - 09:15 Προσέλευση

09:15 - 10:00 Χαιρετισμοί πολιτικής ηγεσίας και διοργανωτών

Χρήστος Στυλιανίδης
Υπουργός Κλιματικής Κρίσης και Πολιτικής Προστασίας

Μιχάλης Δρίτσας
Διευθυντής Γραφείου του Υφυπουργού Ανάπτυξης και Επενδύσεων Δρ. Χρίστου Δήμα

Καθ. Αθανάσιος Κυριαζής
Γενικός Γραμματέας Έρευνας και Καινοτομίας του Υπουργείου Ανάπτυξης και Επενδύσεων

Καθ. Κωνσταντίνος Αραβώσης
Γενικός Γραμματέας Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας

Μαρία Έλλη Γεράρδη
Γενική Γραμματέας Υποδομών του Υπουργείου Μεταφορών και Υποδομών

Γεώργιος Πατούλης
Περιφερειάρχης Αττικής

Χρήστος Τεντόμας
Αντιδήμαρχος Κλιματικής Αλλαγής και Πρασίνου, Εκπρόσωπος Δημάρχου Αθηναίων

Καθ. Ανδρέας Μπουντουβής
Πρύτανης του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ)

Καθ. Μανώλης Πλειώνης
Πρόεδρος του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ), Συντονιστής CLIMPACT

10:00 - 12:00 Εισηγήσεις μελών του CLIMPACT

Το Εθνικό Δίκτυο για την Κλιματική Αλλαγή CLIMPACT
Καθ. Νίκος Μιχαλόπουλος, Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών

Υποδειγματικός σχεδιασμός Συστήματος Έγκαιρης Προειδοποίησης Πλημμυρών σε συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής. Εφαρμογή στη Μάνδρα Αττικής.
Καθ. Αναστάσιος Στάμου, ΕΜΠ

Τοπικά σχέδια προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή. Εφαρμογή στη Μάνδρα Αττικής.
Καθ. Μαρία Παπαδοπούλου, ΕΜΠ

Σύστημα έγκαιρης ανίχνευσης ακραίας βροχόπτωσης σε συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής.
Καθ. Κωνσταντίνος Καρτάλης, ΕΚΠΑ

Η τρωτότητα του αστικού περιβάλλοντος σε ακραίες πλημμύρες. Εφαρμογή στη Μάνδρα Αττικής.
Καθ. Ευθύμιος Λέκκας και Δρ. Μιχαήλ Διακάκης, ΕΚΠΑ

12:00 - 12:30 Διάλειμμα καφέ

12:30 - 16:30
Συζήτηση σε στρογγυλό τραπέζι με τη συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών

12:30 - 13:30 Θεματική ενότητα 1
Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης πλημμύρων σε συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής

Συντονιστής:
Καθ. Ευάγγελος Μπαλτάς, ΕΜΠ

Συμμετέχοντες:
Καθ. Ελένη Βλαχογιάννη, ΕΜΠ
Δρ. Δημήτριος Καλογεράς, *Ερευν. στο ΕΠΙΣΕΥ ΕΜΠ*
Δρ. Βασιλική Κοτρώνη, *Διευθύντρια Ερευνών ΕΑΑ*
Καθ. Ε. Λέκκας, *Διευθυντής Εργαστηρίου Διαχείρισης Καταστροφών, ΕΚΠΑ*
Φοίβος Θεοδώρου, *Γενικός Διευθυντής Συντονισμού της Γενικής Γραμματείας Πολιτικής Προστασίας.*

Ερώτημα 1.1.
Μπορούμε με τα διαθέσιμα μέσα παρακολούθησης (δορυφόροι, ραντάρ καιρού, μετεωρολογικά μοντέλα κλπ.) να κάνουμε πρόγνωση με ικανοποιητική ακρίβεια ενός επεισοδίου βροχής που μπορεί να προκαλέσει πλημμύρα σε μια περιοχή της Ελλάδας; Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τα μέσα αυτά σε ένα ΣΕΠΠ; Τί προτείνετε σχετικά;

Ερώτημα 1.2.
Υπάρχουν δίκτυα μέτρησης βροχής και χαρακτηριστικών ροής σε ποταμούς/ρέματα/χειμάρρους σε περιοχές που συχνά πλημμυρίζουν στην Ελλάδα; Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ΣΕΠΠ; Ποια προβλήματα συναντώνται με τους αισθητήρες μέτρησης αυτών και τη μετάδοση των δεδομένων; Τί προτείνετε σχετικά;

Ερώτημα 1.3.
Πως μπορούμε να βελτιώσουμε την ενημέρωση, εκπαίδευση και αντίδραση των κατοίκων σε περίπτωση πλημμύρας; Ποιος ό ρόλος των υποδομών (οδικό δίκτυο διαφυγής, δίκτυο τηλεπικοινωνίας κλπ.); Ποια προβλήματα συνήθως συναντώνται; Τί προτείνετε σχετικά;

13:30 - 14:30 Ελαφρύ γεύμα

14:30 - 15:30 Θεματική ενότητα 2
Αντιπλημμυρική προστασία σε συνθήκες Κλιματικής Αλλαγής – Δυνατότητες εφαρμογής πράσινων έργων/επεμβάσεων και ΣΕΠΠ

Συντονιστής:
Ομ. Καθ. Γεώργιος Τσακίρης, ΕΜΠ

Συμμετέχοντες:
Δημήτριος Βακάλης, *Γενικός Διευθυντής Υδάτων, Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας*
Δρ. Αντώνιος Γυπάκης, *Προϊστάμενος Τμ. Α΄ Σχεδιασμού και Προγραμματισμού της ΓΓΕΚ, Υπουργείο Ανάπτυξης και Επενδύσεων*
Χρήστος Δαμβέργης, *Πρόεδρος Συνδέσμου Μελετητών Υδραυλικών Έργων*
Αντώνιος Κοτσώνης, *Γενικός Διευθυντής Υδραυλικών, Λιμενικών και Κτιριακών Υποδομών, Υπουργείο Μεταφορών και Υποδομών*
Αναστάσιος Στάμου, *Καθ. & Διευθυντής Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Υδραυλικής, ΕΜΠ*

Ερώτημα 2.1.
Ποια είναι τα σημαντικότερα προβλήματα που αντιμετωπίζει σήμερα η αντιπλημμυρική προστασία στη χώρα μας; Ποια είναι η εμπειρία που έχει αποκτηθεί από τα Σχέδια Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας; Τι προτείνετε σχετικά;

Ερώτημα 2.2.
Σχεδιάζουμε τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής; Συνοδεύονται τα έργα αντιπλημμυρικής προστασίας από πράσινα έργα ή/και πράσινες επεμβάσεις και ΣΕΠΠ; Υπάρχουν σχετικές Τεχνικές Προδιαγραφές; Τι προτείνετε σχετικά;

Ερώτημα 2.3.
Πως μπορούμε να βελτιώσουμε την αντιπλημμυρική προστασία στην ευρύτερη περιοχή του Λεκανοπεδίου Αττικής; Είναι αναγκαία τα ΣΕΠΠ; Μπορεί τα ΣΕΠΠ να συνδυαστούν με πράσινα έργα/πράσινες επεμβάσεις;

15:30 - 16:30 Θεματική ενότητα 3

Κλιματική Αλλαγή και επιπτώσεις στην παράκτια ζώνη

Συντονιστής:

Βασίλειος Καψιμάλης, Διευθυντής Ερευνών, ΕΛΚΕΘΕ

Συμμετέχοντες:

Δρ. Αντώνιος Γυπάκης, Προϊστάμενος Τμ. Α΄ Σχεδιασμού
και Προγραμματισμού της ΓΓΕΚ, Υπουργείο Ανάπτυξης και Επενδύσεων
Ιωάννης Κρεστενίτης, Ομότ. Καθ. ΑΠΘ
Αντώνιος Μπουτάτης, Διευθύνων Σύμβουλος Ρογκάν και Συνεργάτες
Παναγιώτης Πρίνος, Καθ. ΑΠΘ
Βασιλική Τσουκαλά, Καθ. & Διευθύντρια
του Εργαστηρίου Λιμενικών Έργων, ΕΜΠ

Ερώτημα 3.1.

Πόσο σημαντικές εκτιμάτε ότι θα είναι οι μεταβολές της στάθμης
επιφάνειας της θάλασσας και των παράκτιων πλημμυρών
στην Ελλάδα εξαιτίας της ΚΑ; Πως επηρεάζουν αυτές τα παράκτια
έργα και τις λιμενικές μας υποδομές, τον Τουρισμό και
την Οικονομία της χώρας; Τι προτείνετε για την αντιμετώπισή τους
και την προστασία των περιοχών που κινδυνεύουν;

Ερώτημα 3.2.

Σχεδιάζουμε τα παράκτια έργα και τις λιμενικές υποδομές
στην Ελλάδα ώστε να είναι προσαρμοσμένα και ανθεκτικά
στις επιπτώσεις της ΚΑ; Υπάρχουν σχετικές Τεχνικές Προδιαγραφές
για τη μελέτη και την κατασκευή τους; Τι προτείνετε σχετικά
(π.χ. έξυπνα εργαλεία);

Πληροφορίες:

Αθηνά Δήμου, ΕΑΑ, Υπεύθυνη διάχυσης-δικτύωσης CLIMPACT
Τηλ. +30 210 3490107.

Για να δηλώσετε συμμετοχή:

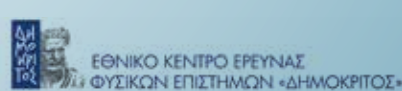
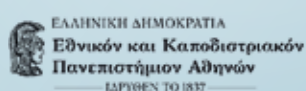
<https://forms.gle/W55gghxzgud68VHv9>

Μπορείτε να παρακολουθήσετε τις εργασίες του φόρουμ
από το κανάλι YouTube του ΕΑΑ:

https://www.youtube.com/channel/UCoJhWyGmrTii_I8LlwhbO9A



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



Επικοινωνήστε με το Δίκτυο

Climpact@noa.gr

Τηλ. 210 3490107

Επιμέλεια έκδοσης

Αθηνά Δήμου

Υπεύθυνη διάχυσης – δικτύωσης CLIMPACT