

Wave4Us: Επιχειρησιακή πλατφόρμα για μετεωρολογικές και θαλάσσιες προγνώσεις στον Θερμαϊκό Κόλπο

Γιάννης Ανδρουλιδάκης^{1,2*}, Χρήστος Μακρής^{1,3}, Βασίλης Κολοβογιάννης², Κατερίνα Κομπιάδου^{1,4}, Γιάννης Κρεστενίτης¹, Στέργιος Κάρτσιος⁵, Ιωάννης Πυθαρούλης⁵, Βασίλης Μπαλτίκας¹, Ζήσης Μάλλιος¹

¹Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

²Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλασσίων Βιοπιστημών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη

³Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη, Ελλάδα

⁴Centre for Marine and Environmental Research (CIMA), Aquatic Research Network (ARNET), Universidade do Algarve, Campus of Gambelas, Faro

⁵Τμήμα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας, Σχολή Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Θεσσαλονίκη

*Υπεύθυνος για την αλληλογραφία συγγραφέας / E-mail: i.androulidakis@aegean.gr

1. Εισαγωγή

Ο Θερμαϊκός Κόλπος είναι μια παράκτια περιοχή που αντιμετωπίζει πολλές ανθρωπογενείς και φυσικές πιέσεις. Με οικολογικά προστατευμένες περιοχές στις δυτικές ακτές του και σημαντικό πληθυσμό κατά μήκος της βόρειας και ανατολικής ακτογραμμής, υπάρχει ανάγκη για αξιόπιστες μετεωρολογικές και θαλάσσιες προγνώσεις σχετικά με τις καιρικές συνθήκες, τη θαλάσσια κυκλοφορία, τη στάθμη της θάλασσας και τους κυματισμούς, καθώς και για εκτίμηση έκτακτων επικινδύνων γεγονότων (θαλάσσια ρύπανση, παράκτια πλημμύρα, εξάπλωση υφάλμυρων πλουμίων πλούσιων σε θρεπτικά συστατικά, και θαλάσσιοι καύσωνες). Η επιχειρησιακή πλατφόρμα Wave4Us ανταποκρίνεται σε αυτή την ανάγκη, παρέχοντας καθημερινά προϊόντα υψηλής ανάλυσης και εξειδικευμένες προγνώσεις, τα οποία είναι ελεύθερα προσβάσιμα στις τοπικές αρχές, την ερευνητική κοινότητα και το κοινό. Στην εργασία παρουσιάζεται η συνολική δομή της πλατφόρμας και τα διάφορα στάδια υλοποίησης των μοντέλων προσομοίωσης του συστήματος, εστιάζοντας στις πιο πρόσφατες παραμετροποιήσεις (παράκτιες πλημμύρες, πετρελαιοκηλίδα και μοντέλο ιχνηθέτη, εκτίμηση παροχών ποταμών κ.λπ.) και στην προγνωστική ικανότητα για διαφορετικά έκτακτα γεγονότα: π.χ. ατύχημα πετρελαιοκηλίδας, έντονη εκροή από τα ποτάμια και αντίστοιχη εξάπλωση υφάλμυρου πλούμιου στο θαλάσσιο περιβάλλον, παράκτιες πλημμύρες εξαιτίας της συνδυαστικής δράσης μετεωρολογικών παλινδρομών και κυματισμών, και εμφάνιση θαλάσσιων καυσώνων.

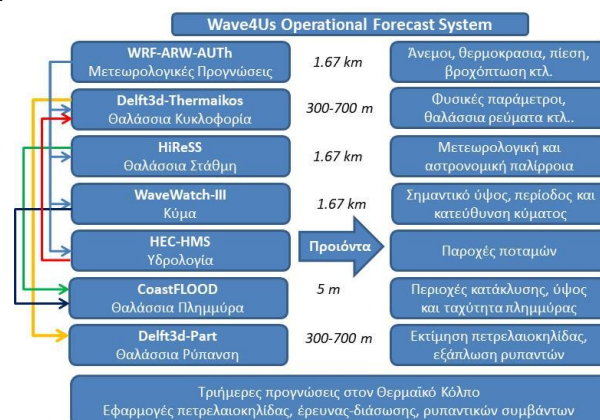
2. Περιγραφή και στόχοι έρευνας

Ο Θερμαϊκός Κόλπος (ΘΚ) είναι ένα ημίκλειστο παράκτιο σύστημα στο βορειοδυτικό Αιγαίο Πέλαγος με δύο στενώσεις στο βόρειο τμήμα του. Επηρεάζεται από διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες και φυσικούς παράγοντες. Οι σημαντικότερες εισροές γλυκού νερού παρέχονται από σύστημα πέντε ποταμών (Αξιός, Αλιάκμονας, Γαλλικός, Λουδίας, και Ανθεμόντας), πολλά υδατορέματα και δίκτυο αποστραγγιστικών καναλιών σε γεωργικές εκτάσεις κυρίως κατά μήκος της δυτικής παράκτιας ζώνης. Η αγροτική και η βιομηχανική δραστηριότητα, το πυκνό αστικό δίκτυο, η ναυσιπλοΐα και οι λιμενικές δραστηριότητες συνιστούν πρόσθετες πιέσεις

στο θαλάσσιο περιβάλλον, ιδιαίτερα στα βόρεια τμήματα του Κόλπου. Η περιβαλλοντική ευπάθεια του ΘΚ συνδέεται με διάφορους παράγοντες (Androulidakis et al., 2024a) όπως συμβάντα ευτροφισμού (π.χ. ερυθρές παλίρροιες), συχνές εκλύσεις υδρογονανθράκων, ρύπανση από πλαστικά, διάβρωση των ακτών, πλημμύρες σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, υπεραλίευση, υπερεκμετάλλευση της αλιείας, επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα και έντονους θαλάσσιους καύσωνες (Marine Heatwaves: MHWs; Androulidakis et al., 2024b). Οι κύριοι στόχοι της μελέτης είναι να παρουσιάσει τη συνολική λειτουργία του συστήματος Wave4Us και να περιγράψει τις πρόσφατες εξελίξεις της πλατφόρμας που μπορεί να είναι χρήσιμες σε τοπικούς φορείς (π.χ. υπηρεσίες άμεσης επέμβασης και αρχές διαχείρισης) για τον μετριασμό μιας σειράς φυσικών κινδύνων (κατάκλυση ακτών και θαλάσσια κύματα καύσωνα) και τις δυσμενείς επιπτώσεις ανθρωπογενών πιέσεων και καταστάσεων έκτακτης ανάγκης (π.χ. ρύπανση, θαλάσσια ατυχήματα, δράσεις έρευνας και διάσωσης).

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Τα βασικά χαρακτηριστικά της πλατφόρμας πρόγνωσης και η μεταξύ τους αλληλεπίδραση παρουσιάζονται στο Σχήμα 1.

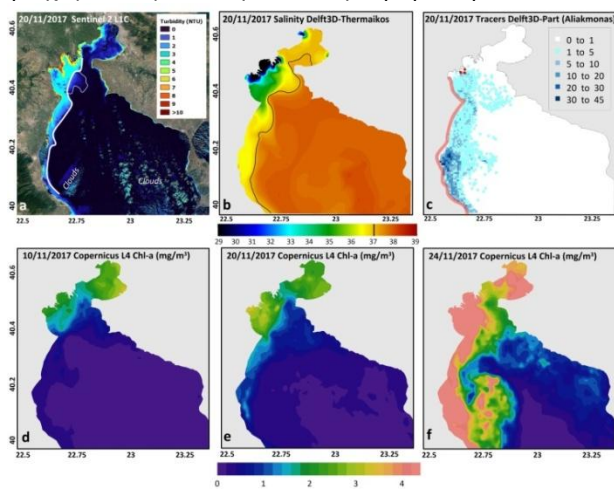


Σχήμα 1. Δομή και χαρακτηριστικά συστήματος Wave4Us

Η πλατφόρμα αποτελείται από ένα εύρος συζευγμένων προγνωστικών μοντέλων, παρέχοντας προβλέψεις μετεωρολογικών συνθηκών, θαλάσσιας κυκλοφορίας, θαλάσσιας στάθμης και κυμάτων, παροχών ποταμών, παράκτιας πλημμύρας, και εξάπλωσης ρυπαντών.

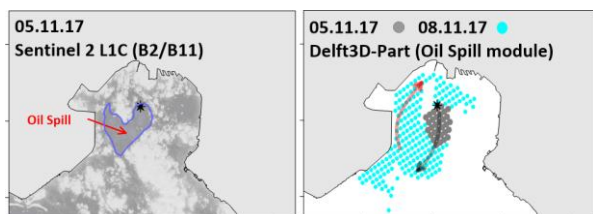
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η αποτελεσματικότητα της πλατφόρμας πρόγνωσης εξετάστηκε κατά τη διάρκεια διάφορων ακραίων γεγονότων (π.χ. ισχυροί ατμοσφαιρικοί κυκλώνες, έντονες ποτάμιες απορροές, μεγάλες ανυψώσεις στάθμης θάλασσας, θαλάσσιοι καύσωνες) και άλλων επικίνδυνων συμβάντων (π.χ. πετρελαιοκηλίδα, παράκτια κατάκλυση) στην περιοχή του ΘΚ. Η πρόγνωση της εξάπλωσης των υφάλμυρων νερών κατά τη διάρκεια της καταιγίδας Numa (18-20/11/2017, Toomey et al., 2022), η οποία προκάλεσε πολύ υψηλές απορροές από τα ποτάμια που εκβάλλουν στον ΘΚ, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2. Κατά το συγκεκριμένο γεγονός παρατηρήθηκε έξαρση της πρωτογενούς παραγωγής σε περιοχές που εξαπλώθηκαν τα υφάλμυρα νερά.



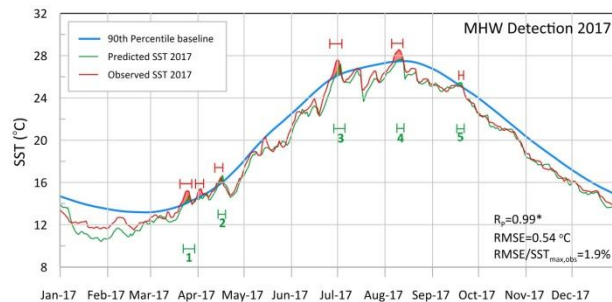
Σχήμα 2 (a) Θολερότητα (Turbidity; Sentinel 2 L1C), (b) προγνωστική αλατότητα (Salinity; Delft3D-Thermaikos) και (c) εξάπλωση παθητικών ιχνηθετών (Delft3D-Part) στις 20/11/2017. (d, e, f) Συγκεντρώσεις χλωροφύλλης Chl-a από δορυφορικά δεδομένα (Copernicus).

Το προγνωστικό σύστημα προσομοίωσε επιτυχώς μια πετρελαιοκηλίδα περίπου 5.000 m² που ανιχνεύθηκε στο βόρειο τμήμα του Κόλπου Θεσσαλονίκης λόγω διαρροής πετρελαίου στη θέση πρόσδεσης του μόνιμου αγωγού τροφοδοσίας διυλιστηρίου, έξω από το λιμάνι της Θεσσαλονίκης στις 4/11/2017 (Σχήμα 3).



Σχήμα 3 Εξάπλωση πετρελαιοκηλίδας από Sentinel-2 L1C (παρατήρηση) στις 5/11 και από το Delft3D-Part (πρόγνωση) στις 5/11 (γκρι) και 8/11 (μπλε) στον εσωτερικό ΘΚ.

Η παρατηρούμενη και η προβλεπόμενη μεταβλητότητα της επιφανειακής θερμοκρασίας (Sea Surface Temperature: SST) παρουσιάζουν πολύ καλή συμφωνία καθόλη τη διάρκεια του έτους και ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όταν συνήθως εμφανίζονται οι MHWs (Σχήμα 4). Πέντε MHWs προέκυψαν από τις προσομοιωμένες τιμές, παρουσιάζοντας παρόμοια χαρακτηριστικά με τα παρατηρούμενα γεγονότα.



Σχήμα 4 Δορυφορικές μετρήσεις (Copernicus) και προγνώσεις (Delft3D-Thermaikos) θερμοκρασίας επιφανείας (SST) και εντοπισμός θαλάσσιων καυσώνων (Hobday et al., 2016) για το 2017 στον ΘΚ.

Κατά την διάρκεια του ατμοσφαιρικού κυκλώνα Foivos τον Ιανουάριο 2019 σημειώθηκε σημαντική ανύψωση της στάθμης θάλασσας και έντονοι κυματισμοί τα οποία προσομοιώθηκαν από το σύστημα Wave4Us. Η εξέλιξη της πλημμύρας στην παράκτια ζώνη του ΘΚ υπολογίστηκε με τη χρήση του μοντέλου CoastFLOOD (Σχήμα 5).



Σχήμα 5 Πρόγνωση πλημμυρισμένων περιοχών και στάθμη υδάτων (CoastFLOOD) στις 24/01/2019 και 25/01/2019 (αριστερά). Λεπτομέρειες για την περιοχή του Αεροδρομίου Μακεδονία (δεξιά).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η έρευνα εν μέρει υποστηρίχθηκε από το έργο Interreg Euro-MED: Πρόληψη και ανθεκτικότητα στον κίνδυνο ξαφνικών πλημμυρών στη Μεσογειακή περιοχή μέσω ενός Ολοκληρωμένου Πολυμερούς Μοντέλου Διακυβέρνησης, που συγκεντρώνει λύσεις πρόληψης, προσαρμογής και μετριασμού (LocAll4Flood, Euro-MED0200814).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Androulidakis, Y., et al. (2024a). Oceanographic Research in Thermaikos Gulf: A Review over Five Decades. J Mar Sci Eng, 12(5):795.
- Androulidakis, Y., et al. (2024b). Evidence of 2024 Summer as the Warmest During the Last Four Decades in the Aegean, Ionian, and Cretan Seas. J Mar Sci Eng, 12(11), 2020.
- Hobday, A.J., et al. (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. Prog Oceanog, 141, pp.227-238.
- Toomey, T., et al. (2022). Coastal hazards of tropical-like cyclones over the Mediterranean Sea. J Geophys Res Oceans, 127(2), p.e2021JC017964.