



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου
Σχεδιασμού
ΠΜΣ

Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός
Διπλωματική Εργασία

Περιβαλλοντική Αξιολόγηση του Ποταμού Μεσσαπίου στην Εύβοια
μέσω Δεικτών

Κυπαρισσόπουλος Ιωάννης
Επιβλέπων καθηγητής: Δημήτριος Τσεσμελής

Πάτρα, Ιούλιος 2026

© Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Κυπαρισσόπουλου Ιωάννη που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέως/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέως/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Περιβαλλοντική Αξιολόγηση του Ποταμού Μεσσαπίου στην Εύβοια
μέσω Δεικτών

Κυπαρισσόπουλος Ιωάννης

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:
Δημήτριος Τσεσμελής

Συν-Επιβλέπων Καθηγήτρια:
Αρετή Τσέλιου

Πάτρα, Ιούλιος 2026

«Ευχαριστίες»

Ευχαριστώ πολύ τον επιβλέποντα Καθηγητή κο Δημήτρη Τσεσμελή για την πολύτιμη βοήθειά του και καθοδήγησή του καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας, τη συνεπιβλέπουσα κα Αρετή Τσέλιου και τον υπεύθυνο του προγράμματος κο Ζέρβα Ευθύμιο καθώς και την οικογένεια μου για την υπομονή που επέδειξε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της Διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε από τον φοιτητή Ιωάννη Κυπαρισσόπουλο τον Ιούλιο του 2026, στο πλαίσιο του ΠΜΣ «Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός» του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου (ΕΑΠ), υπό την επίβλεψη του καθηγητή Δημήτριου Τσεσμελή. Αντικείμενο της έρευνας αποτελεί η περιβαλλοντική αξιολόγηση του Μεσσαπίου ποταμού στην κεντρική Εύβοια, με αφορμή τα έντονα πλημμυρικά φαινόμενα που πλήττουν συστηματικά την περιοχή, όπως η καταστροφική πλημμύρα του Αυγούστου του 2020.

Σκοπός της μελέτης είναι να εξετάσει πώς οι ανθρωπογενείς επεμβάσεις (αστικοποίηση, αποψίλωση) και η κλιματική αλλαγή έχουν μεταβάλει τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής του ποταμού. Η περιοχή μελέτης εκτείνεται στα διοικητικά όρια του Δήμου Διρφύων–Μεσσαπίων. Για την υλοποίηση της έρευνας αξιοποιήθηκαν Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), το λογισμικό ArcGIS Pro και η πλατφόρμα Google Earth Engine. Συγκεκριμένα, αναλύθηκαν δορυφορικά δεδομένα του Landsat 7 για μια εκτεταμένη χρονική περίοδο 24 ετών (2000–2023), εστιάζοντας στη θερμή περίοδο (Μάιος–Οκτώβριος) για τη μείωση της εποχικής μεταβλητότητας.

Η μεθοδολογία βασίστηκε στον υπολογισμό και την επεξεργασία έξι φασματικών δεικτών:

- **NDVI** για την πυκνότητα και υγεία της βλάστησης.
- **MNDWI** για τον εντοπισμό υδάτινων επιφανειών.
- **LST-C** για τη θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους.
- **NDMI** για τα επίπεδα υγρασίας στα φυτά και το έδαφος.
- **NDBI** για την καταγραφή των δομημένων επιφανειών.
- **BSI** για τη χαρτογράφηση του γυμνού εδάφους.

Οι δείκτες κανονικοποιήθηκαν σε κλίμακα 0–1 και εναρμονίστηκαν προς την ίδια περιβαλλοντική κατεύθυνση. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε εμπειρική στάθμισή τους με βάση το απόλυτο μέγεθος των συντελεστών συσχέτισης Pearson με τη θερμοκρασία επιφάνειας (LST-C). Από τη διαδικασία αυτή προέκυψε ο τελικός σύνθετος

περιβαλλοντικός δείκτης **ENV_SCORE**.

Το τελικό προϊόν της εργασίας είναι ένας ψηφιακός χάρτης (raster) χωρικής ανάλυσης 30 μέτρων. Ο χάρτης αυτός αποτυπώνει διαχρονικά την περιβαλλοντική υποβάθμιση ή σταθερότητα της περιοχής, χωρισμένη σε πέντε ερμηνευτικές κατηγορίες (από πολύ χαμηλό έως πολύ υψηλό score). Τα αποτελέσματα προσφέρουν ένα πολύτιμο εργαλείο για τον αντιπλημμυρικό σχεδιασμό, την υιοθέτηση λύσεων βασισμένων στη φύση και τη βιώσιμη διαχείριση των υδάτινων πόρων της Εύβοιας.

Λέξεις – Κλειδιά

- Μεσσάπιος ποταμός
- Περιβαλλοντικοί δείκτες
- Τηλεπισκόπηση και GIS
- Πλημμυρικός κίνδυνος
- Δήμος Διρφύων–Μεσσαπίων

Abstract

Environmental Assessment of the Messapios River in Evia through Indicators

This Master's thesis was authored by student Ioannis Kyparissopoulos in July 2026, within the framework of the Postgraduate Program "Environmental Design" at the Hellenic Open University (HOU), under the supervision of Professor Dimitrios Tsemmelis. The subject of the research is the environmental assessment of the Messapios River in central Evia, prompted by the intense flooding phenomena that systematically affect the area, such as the catastrophic flood of August 2020.

The purpose of the study is to examine how anthropogenic interventions (urbanization, deforestation) and climate change have altered the environmental characteristics of the river's catchment area. The study area extends across the administrative boundaries of the Municipality of Dirfys–Messapia. For the implementation of the research, Geographic Information Systems (GIS), ArcGIS Pro software, and the Google Earth Engine platform were utilized. Specifically, satellite data from Landsat 7 were analyzed over an extended 24-year period (2000–2023), focusing on the warm season (May–October) to reduce seasonal variability.

The methodology was based on the calculation and processing of six spectral indicators:

- **NDVI** for vegetation density and health.
- **MNDWI** for identifying surface water bodies.
- **LST-C** for land surface temperature.
- **NDMI** for moisture levels in plants and soil.
- **NDBI** for mapping built-up surfaces.
- **BSI** for mapping bare soil.

The indicators were normalized to a 0–1 scale and harmonized towards the same environmental direction. Subsequently, an empirical weighting was applied based on the absolute magnitude of the Pearson correlation coefficients with the land surface temperature (LST-C). This process resulted in the final composite environmental index, **ENV_SCORE**.

The final output of the thesis is a digital map (raster) with a spatial resolution of 30 meters. This map captures the long-term environmental degradation or stability of the area, divided into five interpretative categories (from very low to very high score). The results offer a valuable tool for flood mitigation planning, the adoption of nature-based solutions, and the sustainable management of water resources in Evia.

Keywords

- Messapios River
- Environmental Indicators
- Remote Sensing and GIS
- Flood Risk
- Dirfys–Messapia Municipality

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ABSTRACT	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ / ΣΧΗΜΑΤΩΝ	12
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	1
Εισαγωγή	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	2
Βασικοί ορισμοί και έννοιες	2
Κύρια αίτια πλημμυρών	2
1. Φυσικά αίτια πλημμυρών	2
2. Ανθρωπογενείς παράγοντες και επεμβάσεις	3
Τύποι πλημμυρών και παραδείγματα, παράγοντες που παίζουν ρόλο	4
Ιστορικές πλημμύρες και συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων	13
Συστήματα παρακολούθησης και προειδοποίησης	19
Θεσμικό πλαίσιο	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	24
Μεθοδολογικά βήματα παραγωγής του τελικού περιβαλλοντικού χάρτη	24
Καθορισμός της περιοχής μελέτης	24
Επιλογή δορυφορικών δεδομένων	24

Χρονική περίοδος ανάλυσης	24
Μάσκα νεφών και προβληματικών εικονοστοιχείων	25
Μετατροπή των οπτικών bands	25
Δείκτης NDVI	25
Δείκτης MNDWI	26
Δείκτης LST-C	27
Δείκτης NDMI	28
Δείκτης NDBI	28
Δείκτης BSI	29
Παραγωγή ετήσιων συνθέσεων	29
Παραγωγή αντιπροσωπευτικής σύνθεσης 2000–2023	30
Κανονικοποίηση των δεικτών	30
Εναρμόνιση της κατεύθυνσης των δεικτών	31
Προσδιορισμός των βαρών	31
Υπολογισμός του τελικού ENV_SCORE	32
Ερμηνευτικές κατηγορίες	33
Έλεγχος του αποτελέσματος	33
Χαρτογραφική απεικόνιση	34
Εξαγωγή του τελικού raster	34
Σημαντικές μεθοδολογικές διευκρινίσεις	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο	36
Περιοχή μελέτης	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο 44

Αποτελέσματα 44

Δείκτης NDVI	44
Δείκτης MNDWI	45
Δείκτης LST-C	46
Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων (2000-2023)	46
Δείκτης NDMI	47
Δείκτης NDBI	49
Δείκτης BSI	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο 54

Συμπεράσματα 54

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ	54
---------------------------	----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 59

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΦΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΕΙΚΤΗ NDVI	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΕΙΚΤΗ MNDWI	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΕΙΚΤΗ LST-C	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΕΙΚΤΗ NDMI	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΕΙΚΤΗ NDBI	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΩΝ ΔΕΙΚΤΗ BSI	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.

Κατάλογος Εικόνων / Σχημάτων

Εικόνα 1 Καταστροφή μικρής γέφυρας από την πλημμύρα του ποταμού στον Έβρο (2021) (Πηγή: newsbreak.gr)	6
Εικόνα 2 Πλημμυρισμένη περιοχή της Μάνδρας έπειτα από την Αιφνίδια πλημμύρα (2017) (Πηγή: ΕΚΠΑ 2017).....	7
Εικόνα 3 Πλημμυρισμένο το κέντρο της Αθήνας έπειτα απο δυνατή καταιγίδα (2014) (Πηγή: Kathimerini.gr).....	8
Εικόνα 4 Η La Faute-sur-Mer κάτω από τα νερά της πλημμύρας από την καταιγίδα Xynthia (Πηγή: rfi.fr)	9
Εικόνα 5 Η πλημμυρισμένη περιοχή Somerset Levels (2013-2014) (Πηγή: bbc.com)	10
Εικόνα 6 Η πλημμυρισμένη πόλη της Ντέρνα , μετα την καταστροφή του φράγματος από τον Μεσογειακό τυφώνα Daniel. (Πηγή: Reuters.com).....	11
Εικόνα 7 Πλημμυρισμένες περιοχές στην Ελβετία (2005) (Πηγή: cbsnews.gr)	12
Εικόνα 8 Η πλημμυρισμένη περιοχή γύρω από την λίμνη Τανγκανίκα (2021) (Πηγή: bloomberg.com)	13
Εικόνα 9 Χωρική κατανομή των πλημμυρών στον Ελλαδικό χώρο (Πηγή: Διακάκης 2012) Χωρική κατανομή των πλημμυρών στον Ελλαδικό χώρο (Πηγή: Διακάκης 2012)	14
Εικόνα 10 Κατανομή πλημμυρών στις Περιφέρειες (Πηγή: Diakakis et al 2012).	15
Εικόνα 11 <i>Κάλυψη γης στο Δήμο Διρφύων-Μεσσαπίων</i>	43
Εικόνα 12 Δείκτης NDVI για το έτος 2001	44
Εικόνα 13 Δείκτης NDVI για το έτος 2009	44
Εικόνα 14 Δείκτης NDVI για το έτος 2015	45

Εικόνα 15 Δείκτης NDVI για το έτος 2022	45
Εικόνα 16 Δείκτης MNDWI για το έτος 2022	46
Εικόνα 17 Δείκτης MNDWI για το έτος 2009	46
Εικόνα 20 Δείκτης LST-C για το έτος 2004	47
Εικόνα 21 Δείκτης LST-C για το έτος 2023	47
Εικόνα 22 Δείκτης NDMI για το έτος 2001	48
Εικόνα 23 Δείκτης NDMI για το έτος 2023	48
Εικόνα 24 Δείκτης NDBI για το έτος 2001	50
Εικόνα 25 Δείκτης NDBI για το έτος 2023	50
Εικόνα 26 Δείκτης BSI για το έτος 2001	52
Εικόνα 27 Δείκτης BSI για το έτος 2023	52
Εικόνα 28 Τελικός συνεχής περιβαλλοντικός δείκτης ENV_SCORE (0–1) για την περίοδο 2000–2023 στον Δήμο Διρφύων–Μεσσαπίων.	58

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 Ενδεικτική ταξινόμηση διαφορετικών τύπων πλημμυρών (Martini and Loat 2007, Smith and Ward 1998) σε σχέση με τα πιο συνήθη αίτια και επιπτώσεις.....	5
Πίνακας 2 Χρονική κατανομή των πλημμυρών και των θανάτων ανά πενταετία στην περίοδο 1880-2010.	17
Πίνακας 3 Διακύμανση του αριθμού των πλημμυρών (πάνω) και των θανάτων (κάτω) ανά έτος (Πηγή: Διακάκης 2013).....	17
Πίνακας 4 Διακύμανση του αριθμού των πλημμυρών ανά έτος με βάση την καταγραφή ιστορικών πλημμυρών στα 14 υδατικά διαμερίσματα (Πηγή: ΥΠΕΝ 2023 -σημειώνεται ότι η ανάπτυξη του διαγράμματος έγινε από τους συγγραφείς του παρόντος τεύχους).	18
Πίνακας 5 Μετεωρολογικά δεδομένα του Δήμου Διρφύων - Μεσσαπίων.....	38
Πίνακας 6 Βροχομετρικά Στοιχεία από Βροχομετρικό Σταθμό Μακρυκάππα	40
Πίνακας 7 Διακύμανση τιμών NDVI ανά έτος (2000-2023)	44
Πίνακας 8 Διακύμανση MNDWI ανά έτος (2000-2023)	45
Πίνακας 9 Διακύμανση LST-C με γραμμή τάσης (2000-2023)	46
Πίνακας 10 Διακύμανση NDMI ανά έτος (2000-2023).....	48
Πίνακας 11 Συγκριτικό Διάγραμμα θερμοκρασίας (LST-C) και Δείκτη Υγρασίας (NDMI)	49
Πίνακας 12 Διακύμανση NDBI ανά έτος (2000-2023)	50
Πίνακας 13 Συγκριτικό Διάγραμμα Θερμοκρασίας (LST-C) και Δείκτης Δομημένων Επιφανειών (NDBI).....	51
Πίνακας 14 Διακύμανση BSI ανά έτος (2000-2023)	52
Πίνακας 15 Συγκριτικό Διάγραμμα Θερμοκρασίας (LST-C) και Δείκτη Γυμνού Εδάφους (BSI)	53

Πίνακας 16 Συγκριτικός Πίνακας των δεικτών NDVI, MNDWI, LST-C, NDMI, NDBI, BSI για τα έτη 2000-2023	54
---	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

Εισαγωγή

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η αξιολόγηση του Μεσσάπριου ποταμού στην κεντρική Εύβοια μέσω περιβαλλοντικών δεικτών, με αφορμή τις πλημμύρες που έπληξαν την περιοχή τον Αύγουστο του 2020.

Ο Μεσσάπριος ποταμός διασχίζει το Δήμο Διρφύων – Μεσσαπίων. Έχει μήκος περίπου 9,00km, (34km περίπου μαζί με τους παραποτάμους του) και η λεκάνη απορροής του είναι περίπου 216km².

Οι κάτοικοι της περιοχής ασχολούνται κυρίως με τον πρωτογενή τομέα (κυρίως γεωργία), οπότε η ορθή διαχείριση των υδάτων του αποτελεί ζωτικής σημασίας στόχο για έναν ολόκληρο Δήμο.

Μόνο τα τελευταία 20 χρόνια έχουν καταγραφεί τρεις μεγάλες πλημμύρες, το 2006, το 2009 και το 2020, η οποία είχε ως αποτέλεσμα το θάνατο 8 ανθρώπων στην ευρύτερη περιοχή της κεντρικής Εύβοιας.

Η καταγραφή, παρακολούθηση και αξιολόγηση, μέσω προγράμματος GIS, των δεικτών NDVI, NDMI, MNDWI, BSI, NDBI και LST-C για τα έτη 2000-2023 θα μας δώσουν χρήσιμα συμπεράσματα κατά πόσο οι ανθρωπογενείς παράγοντες και η κλιματική αλλαγή έχουν αλλάξει τα χαρακτηριστικά του ποταμού και όλης της περιοχής όπου αυτός διέρχεται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

Βασικοί ορισμοί και έννοιες

Ως «**πλημμύρα**» ορίζεται η προσωρινή κάλυψη του εδάφους από νερό, που υπό κανονικές συνθήκες, δεν καλύπτεται από νερό. Αυτό περιλαμβάνει πλημμύρες από ποτάμια, ορεινούς χείμαρρους, εφήμερα ρεύματα και πλημμύρες σε παράκτιες περιοχές, εξαιρώντας κατά περίπτωση πλημμύρες από συστήματα αποχέτευσης. Ακόμη, περιλαμβάνει πλημμύρες από καταστροφές μεγάλων υδραυλικών έργων, όπως θραύσεις αναχωμάτων και φραγμάτων. Επιπλέον ορίζεται ως «**κίνδυνος πλημμύρας**»: ο συνδυασμός της πιθανότητας να λάβει χώρα πλημμύρα και των δυνητικών αρνητικών συνεπειών για την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες, που συνδέονται μ' αυτή την πλημμύρα. (Directive 2007/60/EC, 2007) ή (ΚΥΑ Η.Π. 31822/1542/Ε103, 2010)

Επιπλέον ορίζεται ως «**επικινδυνότητα πλημμύρας**» η «δυνατότητα εμφάνισης πλημμύρας σε συγκεκριμένο χώρο (υπολογίζοντας το βάθος του νερού, την ταχύτητα ροής ή άλλου υδρολογικού ή υδραυλικού μεγέθους) που αντιστοιχεί σε δεδομένη πιθανότητα υπέρβασης». (ΚΥΑ Η.Π. 31822/1542/Ε103, 2010) ή (Ευστρατιάδης & Μαμάσης, 2011)

Κύρια αίτια πλημμυρών

Οι πλημμύρες αποτελούν ένα από τα πιο καταστροφικά και συνάμα συχνά φαινόμενα φυσικών καταστροφών παγκοσμίως, με σοβαρές κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες. Η αιτιολογία τους είναι πολυπαραγοντική και σχετίζεται τόσο με **φυσικούς** όσο και με **ανθρωπογενείς** παράγοντες, οι οποίοι επιδρούν μεμονωμένα ή συνδυαστικά στην εμφάνιση και ένταση του φαινομένου.

1. Φυσικά αίτια πλημμυρών

Τα φυσικά αίτια σχετίζονται με τη μορφολογία του εδάφους, τις κλιματικές συνθήκες και τη γεωλογική δομή μιας περιοχής. (Μιμίκος, 2013) Συγκεκριμένα:

- **Έντονες και παρατεταμένες βροχοπτώσεις:** Αποτελούν τη συνηθέστερη αιτία πλημμυρών, ιδίως όταν το έδαφος είναι ήδη κορεσμένο από προηγούμενες βροχές. Η αδυναμία του εδάφους να απορροφήσει επιπλέον νερό οδηγεί σε επιφανειακή απορροή.
- **Ξαφνικές βροχοπτώσεις (flash floods):** Πρόκειται για καταιγίδες μικρής διάρκειας αλλά μεγάλης έντασης, που προκαλούν αιφνίδιες πλημμύρες, συνήθως σε ορεινές ή αστικές περιοχές.
- **Χιονοπτώσεις και ταχεία χιονολιώση:** Κατά τη μετάβαση από τον χειμώνα στην άνοιξη, η απότομη άνοδος της θερμοκρασίας ή οι βροχές πάνω σε χιονισμένο έδαφος επιταχύνουν την απορροή.
- **Γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά:** Περιοχές με απότομες κλίσεις, στενά φαράγγια ή φυσικά ρέματα είναι περισσότερο επιρρεπείς σε πλημμυρικά φαινόμενα, λόγω της ταχείας συγκέντρωσης νερού. (Diakakis, 2011; Tarolli et al., 2012)
- **Φράγματα φυσικής ή τεχνητής προέλευσης:** Η κατάρρευση φυσικών φραγμάτων (π.χ. από κατολισθήσεις) ή ανθρώπινων κατασκευών μπορεί να προκαλέσει απότομη πλημμυρική ροή.

2. Ανθρωπογενείς παράγοντες και επεμβάσεις

Οι ανθρωπινες δραστηριότητες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ένταση και τη συχνότητα των πλημμυρών. Οι κυριότεροι παράγοντες περιλαμβάνουν:

- **Αστικοποίηση και κάλυψη εδάφους:** Η αύξηση των αδιαπέραστων επιφανειών (τσιμέντο, άσφαλτος) περιορίζει τη φυσική διήθηση του νερού, αυξάνοντας την επιφανειακή απορροή.
- **Άναρχη δόμηση και καταπατήσεις ρεμάτων:** Η δόμηση σε κοίτες ρεμάτων ή η αυθαίρετη επιχωμάτωσή τους μειώνει τη φυσική ικανότητα του συστήματος απορροής να διαχειρίζεται το νερό, ενισχύοντας τον πλημμυρικό κίνδυνο.
- **Έλλειψη αντιπλημμυρικών έργων ή κακή συντήρησή τους:** Σε πολλές περιπτώσεις, η απουσία τεχνικών υποδομών (π.χ. αποστραγγιστικά δίκτυα, φράγματα συγκράτησης) ή η παλαιότητα και δυσλειτουργία των

υπαρχουσών εγκαταστάσεων εντείνουν την τρωτότητα των περιοχών.
(Σκυλοδήμου κ.ά., 2016)

- **Αποψίλωση δασών:** Τα δάση λειτουργούν ως φυσικά "φράγματα", συγκρατώντας νερό και φερτά υλικά. Η αποψίλωσή τους μειώνει τη σταθερότητα του εδάφους και αυξάνει την ταχύτητα απορροής. (Diakakis et al., 2017)
- **Κλιματική αλλαγή:** Η μεταβολή των κλιματικών προτύπων, με αύξηση της συχνότητας και έντασης ακραίων καιρικών φαινομένων, οδηγεί σε μεγαλύτερη μεταβλητότητα και σε πλημμυρικά φαινόμενα σε περιοχές που δεν θεωρούνταν παραδοσιακά υψηλού κινδύνου.

Τύποι πλημμυρών και παραδείγματα, παράγοντες που παίζουν ρόλο

Στη διεθνή βιβλιογραφία απαντώνται ποικίλες ταξινομήσεις και ορισμοί που επιχειρούν να διακρίνουν τους διαφορετικούς τύπους πλημμυρικών φαινομένων. Στον Πίνακα 1 παρατίθεται μια χαρακτηριστική ταξινόμηση. Αξίζει, ωστόσο, να επισημανθεί ότι τέτοιου είδους κατηγοριοποιήσεις δεν είναι απόλυτες, αλλά ενδεικτικές, καθώς η συνύπαρξη μικτών χαρακτηριστικών, η πολυπλοκότητα των αιτιολογικών παραγόντων και η απουσία αντικειμενικών, μετρήσιμων κριτηρίων καθιστούν δυσχερή την αυστηρή και ακριβή οριοθέτηση των πλημμυρών σε σαφώς καθορισμένες κατηγορίες.

Πίνακας 1 Ενδεικτική ταξινόμηση διαφορετικών τύπων πλημμυρών (Martini and Loat 2007, Smith and Ward 1998) σε σχέση με τα πιο συνήθη αίτια και επιπτώσεις.

Τύπος πλημμύρας	Ενδεικτικά αίτια	Ενδεικτικές επιπτώσεις
Ποτάμιες πλημμύρες (Riverine Floods)	Βροχόπτωση μακράς διάρκειας, λιώσιμο χιονιού, αστοχία αντιπλημμυρικών	Πλημμυρικά ύδατα σε πλημμυρικά πεδία (στάσιμα ή ρέοντα)
Αιφνίδιες πλημμύρες (Flash Floods)	Έντονη βροχόπτωση, μικρής διάρκειας	Έντονη διάβρωση, ορμητικά ύδατα, εμπλουτισμός με εδαφικό υλικό, λασπορροές
Αστικές πλημμύρες (Urban Floods)	Αστοχία τεχνικών έργων, έντονη βροχόπτωση	Πλημμυρισμένες κατασκευές
Παράκτιες πλημμύρες (Coastal Floods)	Υψηλές παλίρροιες, έντονη βροχόπτωση	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στην ακτή, υποχώρηση της ακτής, υφαλμύριση της γης & των υδάτων
Πλημμύρες που συνδέονται με το υπεδαφικό νερό (Groundwater floods)	Υψηλή στάθμη υπεδαφικού νερού, κορεσμός υδροφόρου ορίζοντα	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα στο πλημμυρικό πεδίο
Πλημμύρες από αστοχία τεχνικού έργου - (Dam failure floods)	Αστοχία φράγματος, καναλιού κ.α. τεχνικών έργων	Έντονη διάβρωση, λασπορροές, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα
Πλημμύρες ορεινών χειμάρρων (Mountain torrent floods)	Καταγίδες, αστάθεια πρανών	Λασπορροές, έντονη διάβρωση, ορμητικά πλημμυρικά ύδατα και μεταφερόμενο υλικό, δημιουργία αλλουβιακού ριπιδίου
Πλημμύρες λιμνών (Lake Floods / Ponding Floods)	Ταχεία αύξηση των υδατικών αποθεμάτων	Στάσιμα πλημμυρικά ύδατα πέραν της ακτής

Οι ποτάμιες πλημμύρες (Riverine Floods) αποτελούν ένα από τα συχνότερα και πιο καταστροφικά υδρομετεωρολογικά φαινόμενα, τα οποία σχετίζονται άμεσα με την υπερχειλίση των υδάτινων όγκων ποταμών εξαιτίας έντονων και παρατεταμένων βροχοπτώσεων, ταχείας χιονοπλημμύρας, συνδυασμό των παραπάνω παραγόντων ή αστοχία αντιπλημμυριών έργων. Το φαινόμενο εμφανίζεται όταν ο όγκος νερού υπερβαίνει τη χωρητικότητα της κοίτης, προκαλώντας διάχυση του νερού στις παρακείμενες περιοχές, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές επιπτώσεις τόσο στο φυσικό περιβάλλον όσο και στον ανθρωπογενή χώρο. Η συχνότητα και η ένταση των ποτάμιων πλημμυρών επηρεάζονται από πλήθος παραμέτρων, όπως τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της λεκάνης απορροής, η υδρολογική κατάσταση του εδάφους, η κάλυψη της γης, αλλά και η επίδραση της κλιματικής αλλαγής, η οποία εντείνει την ακραία μεταβλητότητα των καιρικών συνθηκών. Παράδειγμα αποτελεί ο ποταμός Έβρος, το 2021, όπου υπερχείλισε λόγω

έντονων βροχοπτώσεων στη λεκάνη απορροής του, σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη υπερχειλίση παραποτάμων από τη Βουλγαρία. Οι πλημμύρες κάλυψαν μεγάλες εκτάσεις στον κάμπο του Έβρου, πλημμυρίζοντας καλλιέργειες, κατοικημένες περιοχές και τμήματα του οδικού δικτύου. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2024)



Εικόνα 1 Καταστροφή μικρής γέφυρας από την πλημμύρα του ποταμού στον Έβρο (2021) (Πηγή: [newsbreak.gr](https://www.newsbreak.gr))

Οι **αιφνίδιες πλημμύρες (Flash Floods)** συνιστούν ακραία υδρολογικά φαινόμενα ταχείας εκδήλωσης, τα οποία χαρακτηρίζονται από την απότομη άνοδο της στάθμης του νερού σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, συνήθως εντός λίγων ωρών ή ακόμα και λεπτών από την έναρξη έντονων βροχοπτώσεων. Το φαινόμενο αυτό συχνά παρατηρείται σε περιοχές με απότομη μορφολογία, αδιαπέραστα εδάφη ή σε αστικές περιοχές με υψηλό βαθμό στεγάνωσης, όπου η απορροή είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Οι αιφνίδιες πλημμύρες ενέχουν υψηλό βαθμό επικινδυνότητας, καθώς εμφανίζονται χωρίς επαρκή χρόνο προειδοποίησης, καθιστώντας δύσκολη τη λήψη άμεσων μέτρων προστασίας. Παράγοντες όπως η ένταση και η διάρκεια της βροχής, η κορεσμένη κατάσταση του εδάφους, οι αλλαγές στη χρήση γης, αλλά και οι

επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, επιδρούν σημαντικά στη συχνότητα και στη σφοδρότητα αυτών των πλημμυρών. Παράδειγμα αποτελεί η πλημμύρα την Μάνδρας το 2017, όπου ακραία έντονες βροχοπτώσεις σε ορεινές λεκάνες απορροής προκάλεσαν απότομη υπερχείλιση των χειμάρρων, με αποτέλεσμα ορμητικοί χείμαρροι να σαρώσουν δρόμους, κτίρια και οχήματα μέσα σε λίγα λεπτά, καθώς και το θάνατο 24 ανθρώπων. (Diakakis et al., 2019, 2020; Lekkas et al., 2017)



Εικόνα 2 Πλημμυρισμένη περιοχή της Μάνδρας έπειτα από την Αιφνίδια πλημμύρα (2017) (Πηγή: ΕΚΠΑ 2017)

Οι **αστικές πλημμύρες (Urban Floods)** αποτελούν έναν ιδιαίτερο τύπο πλημμυρικού φαινομένου, το οποίο εκδηλώνεται κυρίως σε πυκνοδομημένες περιοχές, όταν η απορροή των υδάτων υπερβαίνει τη χωρητικότητα των υφιστάμενων αποστραγγιστικών δικτύων. Η αύξηση των στεγανών επιφανειών (όπως δρόμοι, πεζοδρόμια και κτίρια) σε συνδυασμό με τον περιορισμό των φυσικών αποδεκτών απορροής οδηγεί σε ραγδαία συσσώρευση υδάτων κατά τη διάρκεια έντονων βροχοπτώσεων, προκαλώντας εκτεταμένες πλημμύρες ακόμα και χωρίς την υπερχείλιση ποταμών ή ρεμάτων. Οι αστικές πλημμύρες χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη συχνότητα και σοβαρότητα, επηρεάζοντας

άμεσα την ασφάλεια των πολιτών, τις υποδομές και τη λειτουργικότητα των πόλεων. Παράγοντες όπως η ανεπαρκής συντήρηση των αποχετευτικών συστημάτων, οι αλλαγές στη χρήση γης, η άναρχη δόμηση και η κλιματική μεταβλητότητα επιδεινώνουν την εκδήλωση του φαινομένου. Παράδειγμα αποτελεί η Αθήνα το 2014, όπου πλημμύρες λόγω μιας έντονης καταιγίδας επηρέασαν πολλές περιοχές της πόλης. Η έντονη βροχόπτωση σε σύντομο χρονικό διάστημα υπερχείλισε τα αποχετευτικά συστήματα, με αποτέλεσμα να πλημμυρίσουν κεντρικοί δρόμοι (όπως η Λεωφόρος Κηφισίας και η Λεωφόρος Αθηνών), υπόγεια, καταστήματα και σπίτια. (Bathrellos et al., 2016; Diakakis et al., 2017), (Ασλανίδου, 2020)



Εικόνα 3 Πλημμυρισμένο το κέντρο της Αθήνας έπειτα απο δυνατή καταιγίδα (2014) (Πηγή: Kathimerini.gr)

Οι **παρακτικές πλημμύρες (Coastal Floods)** αποτελούν φαινόμενα υπερχείλισης της θαλάσσιας στάθμης, τα οποία επηρεάζουν παράκτιες περιοχές, προκαλώντας προσωρινή ή και μόνιμη κατάκλυση χερσαίων εκτάσεων. Οι κυριότερες αιτίες των παρακτικών πλημμυρών περιλαμβάνουν την επίδραση καταιγίδων, κυματισμού, παλιρροιακών μεταβολών, καθώς και τη σταδιακή άνοδο της στάθμης της θάλασσας λόγω κλιματικής αλλαγής. Το φαινόμενο επιτείνεται ιδιαίτερα σε περιπτώσεις σύμπτωσης παλίρροιας με ανεμογενείς υπερυψώσεις (storm surges), οδηγώντας σε ραγδαία πλημμυρικά

επεισόδια. Οι παρακτικές πλημμύρες ενέχουν σοβαρούς κινδύνους για τις υποδομές, την ασφάλεια του ανθρώπινου πληθυσμού και τα παράκτια οικοσυστήματα, ενώ η συχνότητά τους αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά στο πλαίσιο της μεταβαλλόμενης κλιματικής συνθήκης. Παράδειγμα αποτελεί η πλημμύρα που προκλήθηκε από την καταιγίδα Xynthia στην Δυτική Ευρώπη το 2010, όπου προκάλεσε εκτεταμένες παρακτικές πλημμύρες στη Γαλλία, ιδιαίτερα στην περιοχή του Vendée.



Εικόνα 4 Η La Faute-sur-Mer κάτω από τα νερά της πλημμύρας από την καταιγίδα Xynthia (Πηγή: rfi.fr)

Οι **πλημμύρες υπόγειων υδάτων (Groundwater Floods)** προκύπτουν όταν η στάθμη του υπόγειου υδροφορέα υπερβαίνει το φυσικό επίπεδο του εδάφους, οδηγώντας σε σταδιακή ή αιφνίδια κατάκλυση επιφανειακών εκτάσεων. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερος συχνό σε περιοχές με αβαθείς υδροφόρους ορίζοντες, σε καρστικά πεδία ή σε λεκάνες με περιορισμένη αποστράγγιση. Οι πλημμύρες αυτού του τύπου συχνά εκδηλώνονται έπειτα από παρατεταμένες περιόδους έντονων βροχοπτώσεων, όταν ο υδροφορέας αδυνατεί να απορροφήσει επιπλέον όγκους νερού. Το φαινόμενο, αν και λιγότερο ορατό από άλλες μορφές πλημμυρών, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιπτώσεις σε γεωργικές εκτάσεις, κτιριακές υποδομές και δίκτυα μεταφορών. Παράδειγμα

αποτελεί η πλημμύρα στη περιοχή Somerset Levels, στο Ηνωμένο Βασίλειο τον χειμώνα 2013-2014, όπου έπειτα από παρατεταμένη βροχόπτωση προκλήθηκε υπερκορεσμός του υδροφόρου με αποτέλεσμα να πλημμυρίσουν αγροτικές εκτάσεις και υποδομές για εβδομάδες. (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2024)



Εικόνα 5 Η πλημμυρισμένη περιοχή Somerset Levels (2013-2014) (Πηγή: [bbc.com](https://www.bbc.com))

Οι **πλημμύρες λόγω αστοχίας τεχνικού έργου (Dam Failure Floods)** είναι σπάνια, αλλά εξαιρετικά επικίνδυνα φαινόμενα, τα οποία προκύπτουν από την αιφνίδια κατάρρευση ή δυσλειτουργία κατασκευών συγκράτησης υδάτων, όπως φράγματα, αναχώματα, ταμιευτήρες ή αντιπλημμυρικά συστήματα. Η ρήξη αυτών των δομών απελευθερώνει απότομα μεγάλους όγκους νερού, προκαλώντας καταστροφικές πλημμύρες κατάντη των εγκαταστάσεων. Οι συνέπειες ενός τέτοιου φαινομένου είναι άμεσα καταστροφικές για τον ανθρώπινο πληθυσμό, τις υποδομές και το φυσικό περιβάλλον, ενώ καθιστούν τον χρόνο αντίδρασης πρακτικά ανύπαρκτο. (Costa, 1985; Παπαδόπουλος & Γεωργίου, 2018) Παράδειγμα αποτελεί η καταστροφή του φράγματος Banqiao στην επαρχία Χενάν της Κίνας το 1975. Το φράγμα κατέρρευσε έπειτα από εξαιρετικά έντονες βροχοπτώσεις, απελευθερώνοντας τεράστιες ποσότητες

νερού και προκαλώντας κατακλυσμιαίες πλημμύρες που εκτιμάται ότι στοίχισαν τη ζωή σε περισσότερους από 170.000 ανθρώπους.



Εικόνα 6 Η πλημμυρισμένη πόλη της Ντέρνα , μετά την καταστροφή του φράγματος από τον Μεσογειακό τυφώνα Daniel. (Πηγή: Reuters.com)

Οι πλημμύρες ορεινών χειμάρρων (Mountain Torrent Floods) συνδέονται με την απότομη συγκέντρωση και απορροή υδάτων σε απόκρημνες ορεινές λεκάνες απορροής, όπου το ανάγλυφο και οι γεωμορφολογικές συνθήκες ενισχύουν τη ροή και τη μεταφορά φερτών υλικών. Το φαινόμενο ενεργοποιείται συνήθως από έντονες, τοπικής κλίμακας βροχοπτώσεις ή απότομο λιώσιμο χιονιού, προκαλώντας καταρρακτώδεις πλημμυρικές ροές υψηλής κινητικής ενέργειας. Οι πλημμύρες αυτού του τύπου συχνά συνοδεύονται από μεταφορά λίθων, ξυλείας και φερτών υλικών, τα οποία ενισχύουν τη δυναμική του φαινομένου και επιτείνουν την καταστροφικότητά του, ιδιαίτερα σε πεδινές εκβολές και οικιστικές περιοχές. Παράδειγμα αποτελεί η εκδήλωση καταστροφικών πλημμυρών χειμάρρων, από τις Άλπεις προς τις κοιλάδες της Τυρόλου και του Σάλτσμπουργκ (Αυστρία, 2005), όπου έπειτα από έντονες και επίμονες βροχοπτώσεις να να φουσκώσουν οι χείμαρροι απότομα, παρασύροντας φερτά υλικά, βράχους, δέντρα.



Εικόνα 7 Πλημμυρισμένες περιοχές στην Ελβετία (2005) (Πηγή: cbsnews.gr)

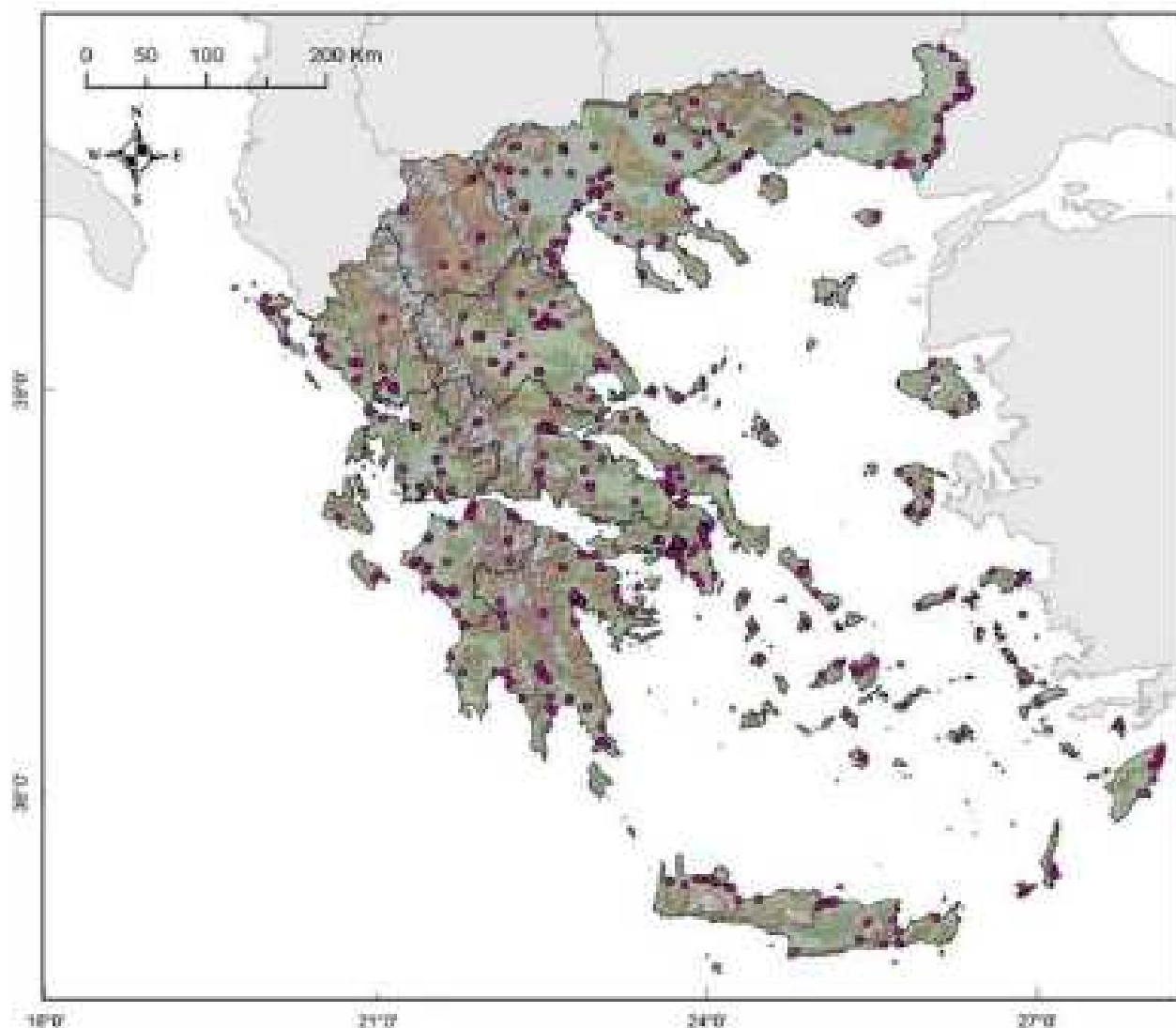
Οι **πλημμύρες λιμνών (Lake Floods)** εκδηλώνονται όταν η στάθμη της λίμνης υπερβαίνει τα φυσικά ή τεχνητά όρια υπερχειλίσης, με αποτέλεσμα τη διάχυση υδάτων στις παραλίμνιες εκτάσεις. Το φαινόμενο μπορεί να προκληθεί από παρατεταμένες βροχοπτώσεις, απότομη τροφοδότηση από παρακείμενα ρέματα και ποταμούς ή την αστοχία υδραυλικών δομών ελέγχου εκροής (Mulligan & Albert, 2026; Θεοδώρου, 2015). Οι λίμνες λειτουργούν ως φυσικοί αποταμιευτήρες νερού, ωστόσο όταν η δυναμικότητα τους εξαντληθεί, οι υπερχειλίσεις είναι αναπόφευκτες και πολλές φορές απρόβλεπτες. Οι πλημμύρες αυτού του τύπου επηρεάζουν τόσο τις παραλίμνιες αγροτικές και οικιστικές περιοχές όσο και τη σταθερότητα των οικοσυστημάτων. Παράδειγμα αποτελεί η λίμνη Tanganyika στο Μπουρουτί, το 2021, όπου υπερχειλίσε έπειτα από ασυνήθιστα έντονες βροχοπτώσεις, οδηγώντας σε πλημμυρικά επεισόδια που επηρέασαν αγροτικές και κατοικημένες περιοχές.



Εικόνα 8 Η πλημμυρισμένη περιοχή γύρω από την λίμνη Τανγκανίκα (2021) (Πηγή: bloomberg.com)

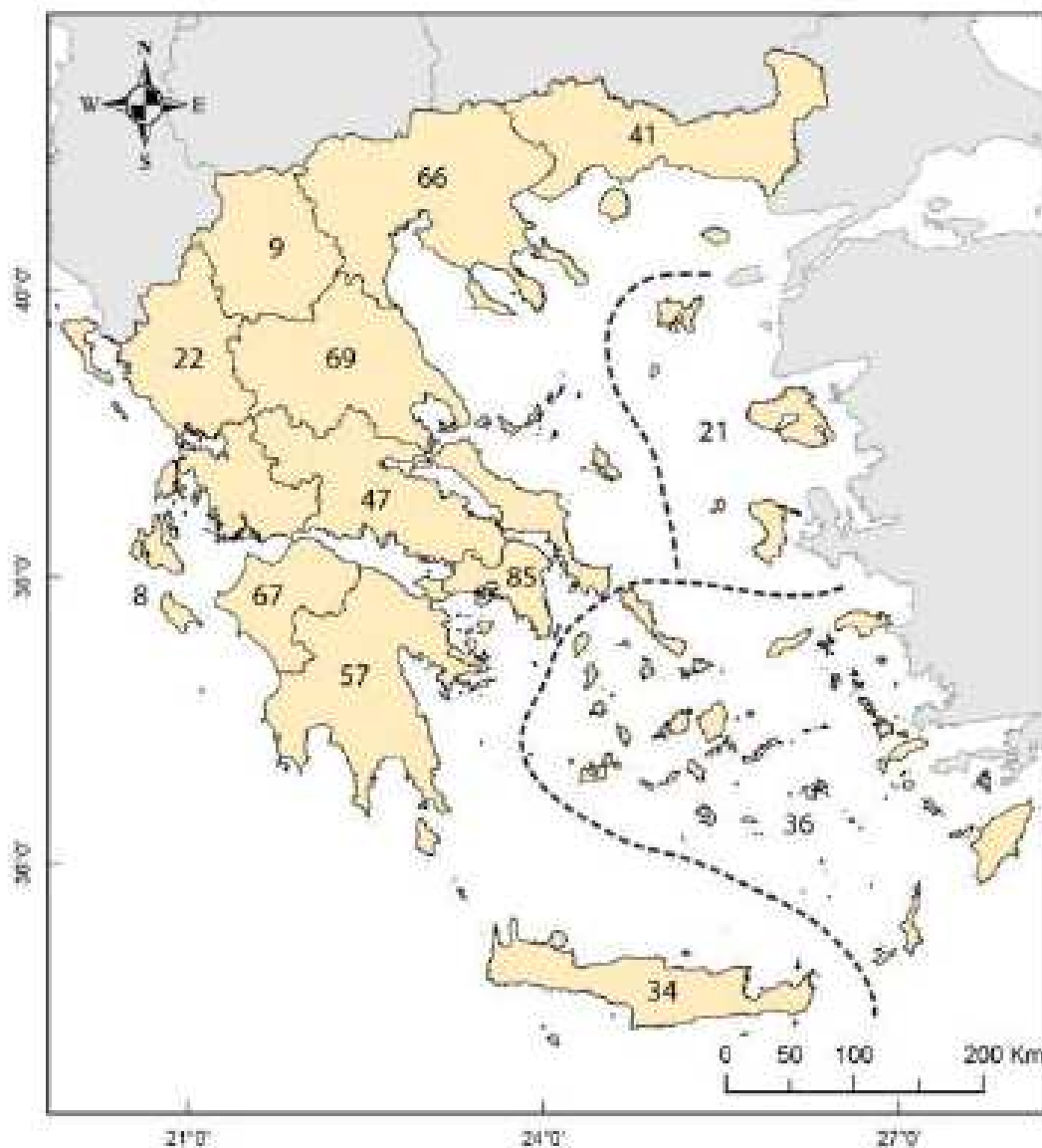
Ιστορικές πλημμύρες και συχνότητα εμφάνισης πλημμυρικών φαινομένων

Με βάση προηγούμενες μελέτες στο πεδίο των ιστορικών πλημμυρών (Διακάκης 2013), πραγματοποιήθηκε σύνθεση των διαθέσιμων ιστορικών δεδομένων, προέκυψε η δημιουργία Καταλόγου Πλημμυρών σε εθνικό επίπεδο, στον οποίο καταγράφηκαν συνολικά 562 πλημμυρικά συμβάντα, για την περίοδο 1880-2010. Επιπροσθέτως, διαπιστώθηκε ότι τα περισσότερα πλημμυρικά επεισόδια εκδηλώνονται σε απόσταση μικρότερη των 5 km από την ακτογραμμή, σε περιοχές με υψόμετρο 0-50 m, καθώς και σε λεκάνες απορροής έκτασης μικρότερης των 100 km². Τέλος, παρατηρήθηκε ότι η πλειονότητα των πλημμυρών εκδηλώνεται σε λεκάνες με μέση κλίση 10-15%. Παρακάτω παρουσιάζεται ο αριθμός τους σε κάθε περιφέρεια.



Εικόνα 9 Χωρική κατανομή των πλημμυρών στον Ελλαδικό χώρο (Πηγή: Διακάκης 2012) Χωρική κατανομή των πλημμυρών στον Ελλαδικό χώρο (Πηγή: Διακάκης 2012)

Έπειτα από έρευνα, για νεότερα πλημμυρικά συμβάντα, στις παρακάτω βάσεις πλημμυρικών δεδομένων, DFO (Dartmouth Flood Observatory), EM-DAT (Emergency Events Database), FFEMDB (Flood Fatalities European Multi-Database), HANZE (Historical Analysis of Natural Hazards in Europe), καταμετρήθηκαν επιπλέον 29 πλημμυρικά γεγονότα την περίοδο 2011 – 2023.

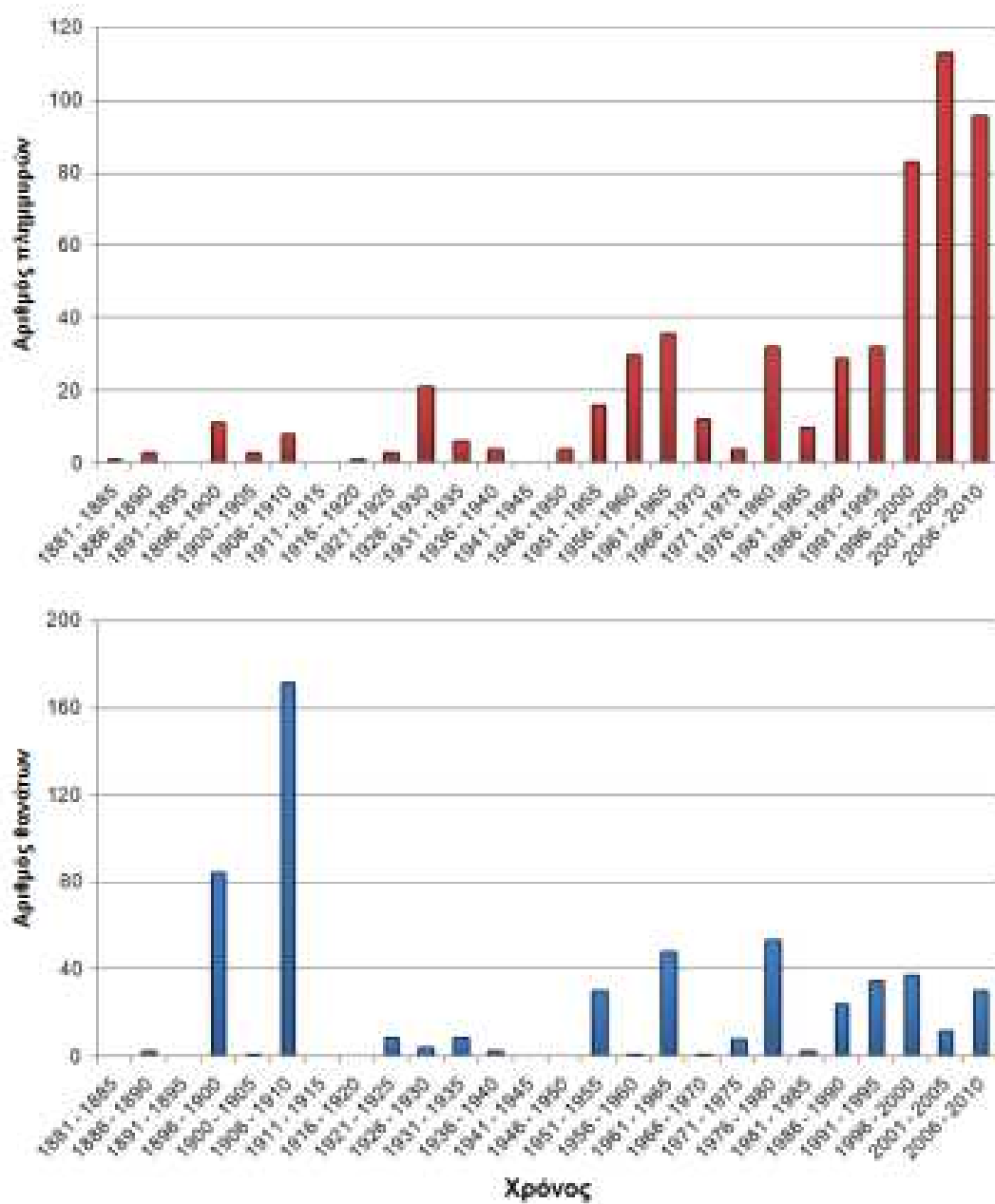


Εικόνα 10 Κατανομή πλημμυρών στις Περιφέρειες (Πηγή: Diakakis et al 2012).

Σε ότι αφορά την εξέλιξη των πλημμυρών στο χρόνο, ο αριθμός πλημμυρικών γεγονότων σε επίπεδο επικράτειας καταγράφει σημαντική αύξηση κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης (1880-2010). Με τα υπάρχοντα στοιχεία η αύξηση αυτή δεν μπορεί να αντιστοιχηθεί σε οποιαδήποτε φυσική τάση (όπως π.χ. η κλιματική αλλαγή). Παρόλα αυτά η συγκεκριμένη αποτύπωση, τεκμηριώνει και ποσοτικοποιεί την έκταση του προβλήματος και δείχνει ότι κατά τις τελευταίες δεκαετίες, οπότε η καταγραφή παρουσιάζει μεγάλο βαθμό

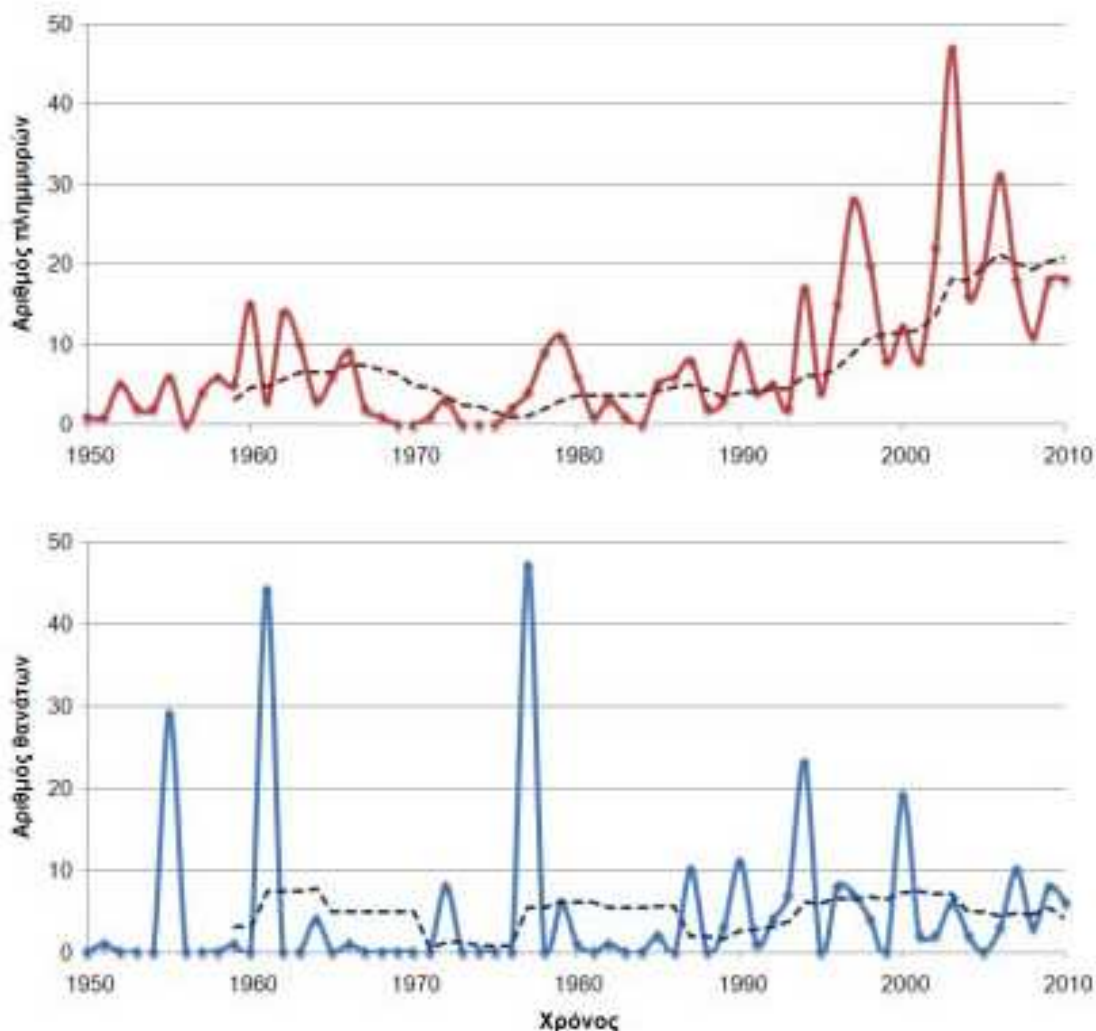
αξιοπιστίας, καταγράφεται σταδιακή αύξηση των πλημμυρικών συμβάντων. Σε ότι αφορά τους θανάτους, στο ίδιο διάστημα, τα θύματα από πλημμύρες δεν παρουσιάζουν αντίστοιχη αύξηση, αλλά μια σταθεροποιητική τάση. Παρόλα αυτά, παρατηρείται σταδιακή μείωση των πολύνεκρων συμβάντων, γεγονός που αποδίδεται στην βελτίωση των κατασκευών και την καλύτερη ενημέρωση του κοινού (Διακάκης 2012).

Πίνακας 2 Χρονική κατανομή των πλημμυρών και των θανάτων ανά πενταετία στην περίοδο 1880-2010.



Πίνακας 3 Διακύμανση του αριθμού των πλημμυρών (πάνω) και των θανάτων (κάτω) ανά έτος (Πηγή:

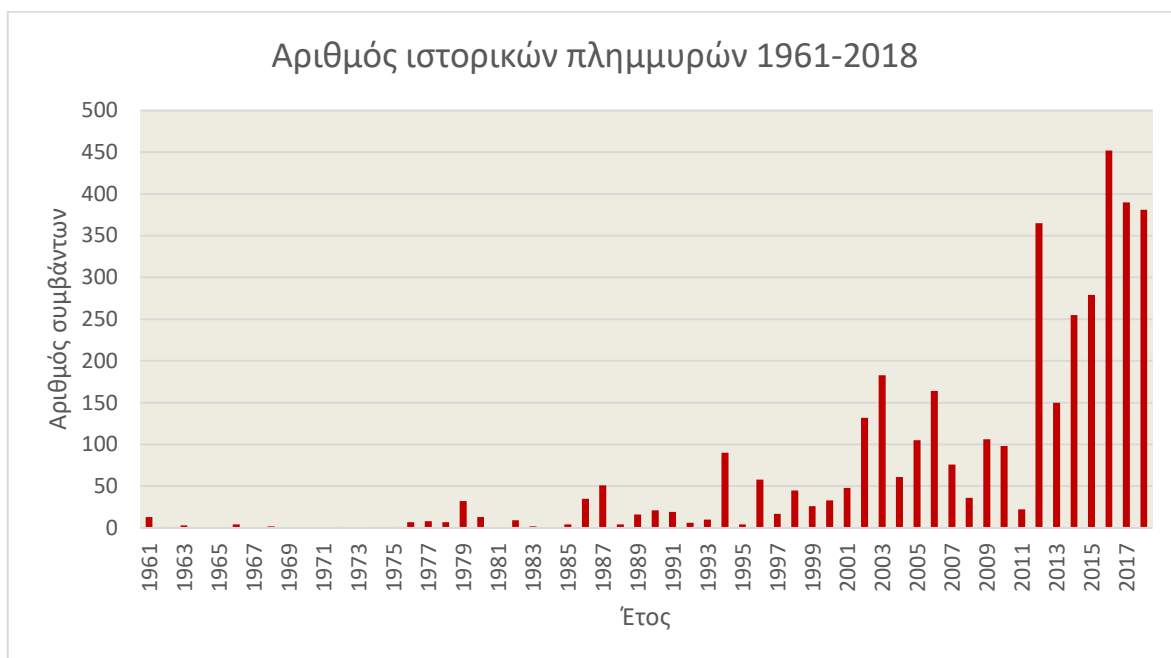
Διακάκης 2013)



Σε πιο πρόσφατες αναλύσεις από στοιχεία ιστορικών πλημμυρών που δημοσιεύονται στο πλαίσιο των Σχεδίων Διαχείρισης Πλημμυρικού Κινδύνου προκύπτει παρόμοια εικόνα για τα έτη μέχρι και το 2018. (Πίνακας 4)

Πίνακας 4 Διακύμανση του αριθμού των πλημμυρών ανά έτος με βάση την καταγραφή ιστορικών πλημμυρών στα 14 υδατικά διαμερίσματα (Πηγή: ΥΠΕΝ 2023 -σημειώνεται ότι η ανάπτυξη του

διαγράμματος έγινε από τους συγγραφείς του παρόντος τεύχους).



Συστήματα παρακολούθησης και προειδοποίησης

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, μέσω της εμπειρίας από σοβαρές καταστροφές και της δοκιμής ποικίλων παρεμβάσεων, η έννοια της ενίσχυσης της ανθεκτικότητας και της βιωσιμότητας κάθε πρωτοβουλίας, λύσης ή παρέμβασης έχει εδραιωθεί σταδιακά στη φιλοσοφία της αντιπλημμυρικής προστασίας στην Ελλάδα. Η επικρατούσα άποψη ενθαρρύνει τις κοινωνίες να παραχωρήσουν περισσότερο χώρο στη φυσική απορροή των υδάτων, απομακρύνοντας υποδομές και δραστηριότητες από τις πλημμυρικά επικίνδυνες ζώνες.

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η στρατηγική αυτή επιλογή δεν είναι καθολικά εφαρμόσιμη. Η συσσώρευση πλήθους κοινωνικοοικονομικών δραστηριοτήτων εντός πλημμυρικών πεδινών, η συγκέντρωση του πληθυσμού σε αστικά κέντρα και παράκτιες περιοχές, καθώς και η αυξανόμενη συχνότητα ακραίων φαινομένων, υπογραμμίζουν την ανάγκη για ουσιαστικές παρεμβάσεις το ταχύτερο δυνατόν.

Στο πλαίσιο αυτό, για δεκαετίες, η ανάπτυξη παραδοσιακών έργων διαχείρισης

ποταμών (τα αποκαλούμενα «γκρίζα» έργα αντιπλημμυρικής προστασίας) αποτέλεσε τη συνηθέστερη μορφή δομικών παρεμβάσεων στη χώρα. Η μορφή αυτή προστασίας επικεντρώνεται κυρίως στη διευθέτηση της κοίτης, την προστασία από διάβρωση και την κατασκευή αγωγών, αναχωμάτων και άλλων υδραυλικών έργων, τα οποία όντως συμβάλλουν στη μείωση του κινδύνου.

Ωστόσο, οι παρεμβάσεις αυτές συνοδεύονται από σημαντικές προκλήσεις. Καταρχάς, τα έργα αυτά έχουν ουσιαστικό αντίκτυπο μόνο όταν εντάσσονται σε ένα ολοκληρωμένο σχέδιο αντιπλημμυρικής προστασίας και όχι ως μεμονωμένα στοιχεία (π.χ. ένα μόνο φράγμα ή ένας μόνο αγωγός όμβριων). Η προϋπόθεση αυτή σπανίως ικανοποιείται λόγω της κατακερματισμένης κατανομής αρμοδιοτήτων και της απουσίας συντονισμού στον τομέα της αντιπλημμυρικής προστασίας. Επιπλέον, η κατασκευή τους συνεπάγεται σημαντικό οικονομικό κόστος και τεχνικές δυσκολίες, ενώ απαιτεί μακρές περιόδους υλοποίησης. Στο παρελθόν, λόγω των παραπάνω δυσχερειών, είχε συχνά δοθεί προτεραιότητα στη χρηματοδότηση άλλων τύπων υποδομών και δημοσίων έργων.

Ακόμη και στις περιπτώσεις όπου τελικά υλοποιήθηκαν έργα αντιπλημμυρικής προστασίας, εγείρονται ανησυχίες για τη σταδιακή γήρανσή τους και τις σχεδιαστικές τους προδιαγραφές, καθώς τα περισσότερα σχεδιάστηκαν για να αντέχουν πλημμύρες επαναφοράς 25, 50 ή 100 ετών, οι οποίες μπορούν εύκολα να ξεπεραστούν ή να καταστούν μη λειτουργικές λόγω φερτών υλών. Μέτρα ελέγχου της πλημμύρας ανάντη και προστατευτικές υποδομές, όπως μικρά φράγματα συγκράτησης (check dams) και άλλα τεχνικά έργα, σε συνδυασμό με λύσεις βασισμένες στη φύση, αποτελούν σημαντικές στρατηγικές. Ωστόσο, η εφαρμογή τους παραμένει μέχρι σήμερα περιορισμένη.

Τα συστήματα παρακολούθησης δεν είναι ευρέως διαδεδομένα στην Ελλάδα. Δεν υφίσταται ένα εθνικό δίκτυο παρακολούθησης που να επικεντρώνεται στην υδρολογία πλημμυρών ή στη μέτρηση της στάθμης υδάτων για σκοπούς έγκαιρης προειδοποίησης. Τα περισσότερα υδρολογικά συστήματα παραμένουν μη οργανωμένα, με περιορισμένες ροές για το μεγαλύτερο μέρος του έτους. Τα τελευταία χρόνια, ορισμένοι σημαντικοί ποταμοί (ιδίως

διασυνοριακοί) όπως ο Έβρος και ο Αξιός έχουν αποκτήσει λειτουργικά δίκτυα μέτρησης στάθμης υδάτων, τα οποία αξιοποιούνται για την υποστήριξη αποφάσεων σχετικά με την αντιπλημμυρική προστασία με ευρωπαϊκή χρηματοδότηση (π.χ. το έργο FLOODGUARD «Ολοκληρωμένες δράσεις για συντονισμό και ανταπόκριση σε πλημμυρικούς κινδύνους στην διασυνοριακή περιοχή», στο πλαίσιο του Interreg V-A «Ελλάδα-Βουλγαρία» και το έργο FLOODSHIELD του Προγράμματος Interreg IPA CBC «Ελλάδα – Δημοκρατία της Βόρειας Μακεδονίας 2014-2020» για την κοινή διακυβέρνηση και διαχείριση πλημμυρικών κινδύνων στη διασυνοριακή περιοχή του Αξιού/Vardar).

Ελλείπει υδρολογικών οργάνων, η Ελλάδα έχει στραφεί κυρίως στην μετεωρολογική πρόγνωση ακραίων καταιγίδων και σε ένα πυκνό δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών που λειτουργούν από διάφορους φορείς (όπως το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών και άλλους), καθώς και σε μετεωρολογικά ραντάρ για την παρακολούθηση και πρόβλεψη καιρικών φαινομένων και ποσοτήτων βροχόπτωσης. Η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) αποτελεί τον κρατικό φορέα αρμόδιο για την έκδοση μετεωρολογικών προγνώσεων και παρατηρήσεων, ωστόσο και άλλοι φορείς συμβάλλουν στην αξιολόγηση των κινδύνων καταιγίδων. Οι προβλέψεις της ΕΜΥ διαβιβάζονται στη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας (του Υπουργείου Κλιματικής Κρίσης και Πολιτικής Προστασίας), η οποία με τη σειρά της εκδίδει προειδοποιήσεις προς τις κεντρικές και τοπικές αρχές και το ευρύ κοινό.

Το σύστημα έκτακτης ανάγκης 112 στην Ελλάδα (όπως και σε όλη την Ευρώπη) αποτελεί κρίσιμο εργαλείο δημόσιας προειδοποίησης, επιτρέποντας στη Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας να αποστέλλει ειδοποιήσεις στα κινητά τηλέφωνα των πολιτών ακόμη και με βάση τη γεωγραφική τους θέση.

Συνολικά, αν και η υποδομή παρακολούθησης πλημμυρών στην Ελλάδα σημειώνει αργά αλλά σταθερά πρόοδο, παραμένουν προκλήσεις όπως η χρηματοδότηση και η κατανομή πόρων για τη συντήρηση και διεύρυνση αυτών των συστημάτων, καθώς και ο κατακερματισμός μεταξύ των εμπλεκόμενων αρχών. Η συνεχής επένδυση και ανάπτυξη τεχνολογιών και υποδομών

παρακολούθησης είναι ζωτικής σημασίας για την άμβλυση των επιπτώσεων μελλοντικών πλημμυρών και την ενίσχυση της δημόσιας ασφάλειας.

Θεσμικό πλαίσιο

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έθεσε σε ισχύ τον Οκτώβριο του 2007 την Οδηγία 2007/60/EK για την αξιολόγηση και διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας με στόχο τη μείωση των αρνητικών συνεπειών στην ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον, την πολιτιστική κληρονομιά και τις οικονομικές δραστηριότητες που συνδέονται με τις πλημμύρες στην Κοινότητα.

Η Οδηγία 2007/60/EK υλοποιείται σε τρία (3) στάδια ήτοι την Προκαταρκτική Αξιολόγηση Κινδύνων Πλημμύρας (**ΠΑΚΠ**) για κάθε Λεκάνη Απορροής Ποταμών και τον προσδιορισμό των Ζωνών Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (**ΖΔΥΚΠ**), την κατάρτιση των Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας (**ΧΕΠ**) και των Χαρτών Κινδύνων Πλημμύρας (**ΧΚΠ**) καθώς και την κατάρτιση των Σχεδίων Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (**ΣΔΚΠ**) Λεκανών Απορροής Ποταμών για τις Ζώνες Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας. (Directive 2007/60/EC, 2007) ή (ΚΥΑ Η.Π. 31822/1542/Ε103, 2010).

Μετά την εναρμόνιση της ελληνικής νομοθεσίας στην κοινοτική Οδηγία 2007/60/EK, συντάχθηκε το Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας (ΣΔΚΠ) του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (ΕΛ07), που καταρτίστηκε και εγκρίθηκε το 2018, και κατατάσσει τον Μεσσάπιο ποταμό (ρέμα) σε περιοχή με **Ζώνη Δυνητικά Υψηλού Κινδύνου Πλημμύρας (ΖΔΥΚΠ)**, προβλέποντας χαρτογράφηση επικινδυνότητας, μελέτες οριοθέτησης και ειδικά αντιπλημμυρικά μέτρα προστασίας. (Εθνική Επιτροπή Υδάτων, 2018).

Η **1η Αναθεώρηση του ΣΔΚΠ (2025)** για την Ανατολική Στερεά Ελλάδα έφερε σημαντικές αλλαγές, καθώς ενσωματώνει τα νέα κλιματικά μοντέλα και τα πρόσφατα έντονα καιρικά φαινόμενα που έπληξαν την Εύβοια.

Συγκεκριμένα με τις αλλαγές της πρόσφατης αναθεώρησης, (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2025, 2026)

- Επανεξετάστηκαν οι όμβριες καμπύλες, αυξάνοντας τις εκτιμώμενες μέγιστες παροχές νερού ανά δευτερόλεπτο για τα ίδια σενάρια συχνότητας (π.χ. πλημμύρα 100ετίας).
- Οι πλημμυρικές ζώνες γύρω από τον Μεσσάπιο επεκτάθηκαν ψηφίτερα, καλύπτοντας περισσότερες αγροτικές και οικιστικές εκτάσεις.
- Δίνεται πλέον προτεραιότητα σε **Λύσεις βασισμένες στη Φύση (Nature-Based Solutions)** και σε έργα ορεινής υδρονομίας (φράγματα βάρους/ανάσχεσης στα ορεινά) αντί για απλή τσιμεντοποίηση των κοιτών.
- Προβλέπεται η εγκατάσταση τηλεμετρικών σταθμών μέτρησης στάθμης και βροχόπτωσης σε πραγματικό χρόνο για την άμεση ενημέρωση της Πολιτικής Προστασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

Μεθοδολογικά βήματα παραγωγής του τελικού περιβαλλοντικού χάρτη

Καθορισμός της περιοχής μελέτης

Ως περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκε το διοικητικό όριο του Δήμου Διρφύων–Μεσσαπίων στην Εύβοια.

Το όριο της περιοχής εισήχθη στο Google Earth Engine ως Feature Collection και χρησιμοποιήθηκε για τη χωρική αναζήτηση των δορυφορικών εικόνων, για την αποκοπή των τελικών raster **και** για τον υπολογισμό των στατιστικών και των εκατοστημορίων.

Επειδή το όριο αντιστοιχεί στο σύνολο του Δήμου, τα αποτελέσματα εκφράζουν την περιβαλλοντική κατάσταση ολόκληρης της περιοχής και όχι αποκλειστικά της κοίτης του ποταμού Μεσσαπίου.

Επιλογή δορυφορικών δεδομένων

Για την επιλογή δορυφορικών δεδομένων Χρησιμοποιήθηκε η συλλογή LANDSAT/LE07/C02/T1_L2, η οποία περιλαμβάνει δεδομένα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+, Collection 2, και Level 2.

Τα προϊόντα Level 2 περιλαμβάνουν :διορθωμένη επιφανειακή ανακλαστικότητα, θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους **και** bands ελέγχου ποιότητας.

Επιλέχθηκαν μόνο εικόνες με PROCESSING_LEVEL = L2SP, ώστε να είναι διαθέσιμα τόσο τα οπτικά bands όσο και το θερμικό band ST_B6.

Χρονική περίοδος ανάλυσης

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για την περίοδο 2000–2023. Για κάθε έτος χρησιμοποιήθηκαν εικόνες από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο.

Η επιλογή σταθερής εποχικής περιόδου εφαρμόστηκε για τη μείωση της εποχικής

μεταβλητότητας, την καλύτερη συγκρισιμότητα μεταξύ των ετών, την αποφυγή σύγκρισης εικόνων διαφορετικών φαινολογικών και θερμοκρασιακών συνθηκών.

Τα αποτελέσματα αντιπροσωπεύουν κυρίως τις συνθήκες της θερμής περιόδου και δεν πρέπει να ερμηνεύονται ως μέσες ετήσιες συνθήκες.

Μάσκα νεφών και προβληματικών εικονοστοιχείων

Για την απομάκρυνση προβληματικών εικονοστοιχείων χρησιμοποιήθηκε το band QA_PIXEL. Με αυτό τον τρόπο απομακρύνθηκαν εικονοστοιχεία που αντιστοιχούσαν σε περιοχές χωρίς δεδομένα, διασταλμένες περιοχές νεφών, νέφη, σκιές νεφών και σε χιονοκαλυμμένες επιφάνειες.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε το band QA_RADSAT για την απομάκρυνση κορεσμένων εικονοστοιχείων και προβληματικών ή dropped pixels.

Τέλος η εφαρμογή των масκών βελτίωσε την αξιοπιστία των φασματικών δεικτών και της θερμοκρασίας επιφάνειας.

Μετατροπή των οπτικών bands

Οι αρχικές ψηφιακές τιμές των οπτικών bands μετατράπηκαν σε επιφανειακή ανακλαστικότητα με την εφαρμογή του συντελεστή κλιμάκωσης και του αντίστοιχου offset:

$$SR = DN \times 0,0000275 - 0,2$$

όπου:

SR είναι η επιφανειακή ανακλαστικότητα,

DN είναι η αρχική ψηφιακή τιμή του εικονοστοιχείου.

Με τη βοήθεια του προγράμματος ArcGIS Pro, υπολογίστηκαν και εξετάστηκαν έξι δορυφορικοί δείκτες που αφορούν τη συγκεκριμένη περιοχή του Δήμου Διρφύων – Μεσσαπίων.

Δείκτης NDVI

Ο NDVI (Normalized Difference Vegetation Index - Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Βλάστησης) είναι ένας δορυφορικός δείκτης που μετρά την υγεία και την πυκνότητα της βλάστησης, σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Tucker (1979)

Υπολογίζεται με τον τύπο:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

όπου μετράται η αντανάκλαση στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) και στο ορατό κόκκινο (Red) φως.

Τιμές: Κυμαίνονται από -1 έως +1.

Κοντά στο 1: Υποδηλώνει πυκνή και υγιή βλάστηση (π.χ. δάση).

Κοντά στο 0: Υποδηλώνει γυμνό έδαφος, άμμο ή πετρώματα.

Κάτω από το 0: Υποδηλώνει νερό, χιόνι ή σύννεφα.

Τα πλήρη αποτελέσματα για τα έτη 2000-2023 φαίνονται στο παράρτημα NDVI.

Δείκτης MNDWI

Το MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index - Τροποποιημένος Κανονικοποιημένος Δείκτης Νερού) είναι ένας φασματικός δείκτης που χρησιμοποιείται στη δορυφορική τηλεπισκόπηση για τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση υδάτινων επιφανειών.

Βασικά Χαρακτηριστικά

Σκοπός: Βελτιώνει τον εντοπισμό ανοιχτών υδάτινων σωμάτων (λίμνες, ποτάμια, θάλασσα) ενώ παράλληλα μειώνει τα «λάθη» (θόρυβο) από αστικές περιοχές, κτίρια και γυμνό έδαφος.

Βασίζεται σε δορυφορικά δεδομένα: Χρησιμοποιεί το Πράσινο (Green) φάσμα και το Βραχέων Κυμάτων Υπέρυθρο (SWIR) φάσμα (Short-Wave Infrared)

Πώς υπολογίζεται

Ο τύπος του δείκτη είναι ο εξής:

$$MNDWI = \frac{Green - SWIR}{Green + SWIR}$$

Πράσινο (Green): Τα νερά αντανακλούν υψηλά αυτό το φάσμα.

SWIR: Τα νερά απορροφούν έντονα το SWIR φάσμα, ενώ τα δομημένα κτίρια το αντανακλούν.

Ερμηνεία Τιμών

Θετικές τιμές (συνήθως από 0.1 έως 0.8): Υποδεικνύουν καθαρό νερό.

Αρνητικές τιμές: Υποδεικνύουν συνήθως βλάστηση, γυμνό έδαφος ή δομημένες περιοχές (κτίρια, ασφαλτο).

Τα πλήρη αποτελέσματα για τα έτη 2000-2023 φαίνονται στο παράρτημα MNDWI.

Δείκτης LST-C

Ο όρος LST_C (ή LST σε βαθμούς Κελσίου) αναφέρεται στη Θερμοκρασία Επιφάνειας Εδάφους (Land Surface Temperature) μετρημένη σε °C.

Σημαντικές λεπτομέρειες για το LST:

Τι είναι ακριβώς: Αντιπροσωπεύει τη θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης (το πάνω μέρος του εδάφους, την κορυφή των δέντρων, την ασφαλτο κ.λπ.) όταν έρχεται σε άμεση επαφή με την ηλιακή ακτινοβολία.

Διαφορά από τη θερμοκρασία αέρα: Η θερμοκρασία αέρα (T) μετριέται από μετεωρολογικούς σταθμούς στα 2 μέτρα ύψος από το έδαφος. Το LST είναι σχεδόν πάντα υψηλότερο από τη θερμοκρασία του αέρα κατά τη διάρκεια της ημέρας.

Χρήση: Αποτελεί σημαντική παράμετρο για την παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής, την αξιολόγηση της εξάτμισης του νερού και τη μελέτη των αστικών νησίδων θερμότητας.

Η θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους υπολογίστηκε από το θερμικό band ST_B6.

Αρχικά εφαρμόστηκαν ο συντελεστής κλιμάκωσης και το offset του προϊόντος.

Η θερμοκρασία μετατράπηκε από Kelvin σε βαθμούς Κελσίου με τη χρήση του τύπου

$$LST_C = DN \times 0,00341802 + 149 - 273,15$$

Το αποτέλεσμα αποθηκεύτηκε ως band LST_C.

Τα πλήρη αποτελέσματα για τα έτη 2000-2023 φαίνονται στο παράρτημα LST_C.

Δείκτης NDMI

Το NDMI (Normalized Difference Moisture Index) είναι ένας φασματικός δείκτης τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό του επιπέδου υγρασίας στα φυτά και στο έδαφος. Βοηθά στον έλεγχο της καταπόνησης της βλάστησης από την έλλειψη νερού, στην παρακολούθηση της ξηρασίας και στην εκτίμηση της υγρασίας για κίνδυνο πυρκαγιάς.

Πώς λειτουργεί:

Εγγύς Υπέρυθρο (NIR): Η υγιής βλάστηση αντανακλά έντονα αυτό το φάσμα.

Βραχεία Υπέρυθρα (SWIR): Το υγρό των φυτών απορροφά αυτό το φάσμα, άρα η υψηλή υγρασία μειώνει την ανάκλαση.

Υπολογισμός:

Ο δείκτης υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

Ερμηνεία τιμών

Υψηλές τιμές (κοντά στο +1): Υποδεικνύουν υψηλή περιεκτικότητα νερού στη βλάστηση και υψηλή υγρασία εδάφους.

Χαμηλές τιμές (κοντά στο -1): Υποδεικνύουν σοβαρό υδατικό στρες (ξηρασία, αφυδατωμένη βλάστηση ή ξηρό έδαφος).

Τα πλήρη αποτελέσματα για τα έτη 2000-2023 φαίνονται στο παράρτημα NDMI.

Δείκτης NDBI

Το NDBI Normalized Difference Built-up Index (Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Δομημένης Περιοχής) είναι ένας δορυφορικός δείκτης που χρησιμοποιείται για την αυτόματη χαρτογράφηση και παρακολούθηση των αστικών και δομημένων περιοχών.

Πώς λειτουργεί: Συγκρίνει τη διαφορά στις ανακλάσεις μεταξύ της Κοντινής Υπέρυθρης (NIR) και της Βραχείας Υπέρυθρης ακτινοβολίας (SWIR).

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

Υψηλότερες τιμές συνδέονται με μεγαλύτερη παρουσία δομημένων ή ξηρών επιφανειών.

Χρήση: Βοηθά τους επιστήμονες να ξεχωρίσουν το τσιμέντο, την ασφαλτο και τα κτίρια από τη φυσική βλάστηση.

Τα πλήρη αποτελέσματα για τα έτη 2000-2023 φαίνονται στο παράρτημα NDBI.

Δείκτης BSI

Το **Bare Soil Index (BSI - Δείκτης Γυμνού Εδάφους)** είναι ένας αριθμητικός δείκτης τηλεπισκόπησης που συνδυάζει πολλαπλά φασματικά κανάλια (όπως το ορατό κόκκινο, το μπλε, το εγγύς υπέρυθρο και το βραχύ υπέρυθρο) για τον εντοπισμό και τη χαρτογράφηση γυμνών εδαφών, βραχωδών εκτάσεων ή περιοχών με περιορισμένη βλάστηση.

Χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ερημοποίησης, της διάβρωσης του εδάφους, των πυρκαγιών και της αστικής επέκτασης.

$$BSI = \frac{(SWIR1 + Red) - (NIR + B;ue)}{(SWIR1 + Red) + (NIR + B;ue)}$$

Υψηλότερες τιμές υποδεικνύουν μεγαλύτερη παρουσία γυμνού, ξηρού ή εκτεθειμένου εδάφους.

Χαμηλότερες τιμές συνδέονται με περισσότερο καλυμμένες ή υγρές επιφάνειες.

Τα πλήρη αποτελέσματα για τα έτη 2000-2023 φαίνονται στο παράρτημα BSI.

Παραγωγή ετήσιων συνθέσεων

Για κάθε έτος της περιόδου 2000–2023 δημιουργήθηκε μία σύνθεση διάμεσης τιμής.

Για κάθε εικονοστοιχείο υπολογίστηκε η διάμεση τιμή όλων των διαθέσιμων εικόνων Μαΐου–Οκτωβρίου του αντίστοιχου έτους.

Η χρήση της διάμεσης τιμής επιλέχθηκε επειδή είναι λιγότερο ευαίσθητη σε ακραίες τιμές, σε υπολειπόμενα νέφη, σε σκιές και σε μεμονωμένες προβληματικές παρατηρήσεις.

Οι πολλαπλές εικόνες κάθε έτους συμβάλλουν επίσης στη μείωση των χωρικών κενών που σχετίζονται με το πρόβλημα SLC-off του Landsat 7.

Παραγωγή αντιπροσωπευτικής σύνθεσης 2000–2023

Μετά την παραγωγή των ετήσιων συνθέσεων υπολογίστηκε η διάμεση τιμή των 24 ετήσιων raster. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για κάθε δείκτη και για τη LST-C. Με τη χρήση των ετήσιων συνθέσεων κάθε έτος συμμετείχε ισότιμα στον τελικό χάρτη, ανεξάρτητα από τον αριθμό των διαθέσιμων εικόνων του.

Το τελικό αποτέλεσμα αποτελεί αντιπροσωπευτική χωρική σύνθεση της περιόδου 2000–2023 και όχι χάρτη μεταβολής μεταξύ του 2000 και του 2023.

Κανονικοποίηση των δεικτών

Οι δείκτες είχαν διαφορετικό εύρος και διαφορετική κατανομή τιμών.

Για τον συνδυασμό τους πραγματοποιήθηκε κανονικοποίηση στο κοινό διάστημα 0–1.

Χρησιμοποιήθηκαν το 2^ο και το 98^ο εκατοστημόριο κάθε δείκτη μέσα στην περιοχή μελέτης: (η χρήση των εκατοστημορίων P2 και P98 επιλέχθηκε για τον περιορισμό του θορύβου των ακραίων τιμών στα δορυφορικά δεδομένα, ακολουθώντας τη διεθνή πρακτική (Sobrino et al., 2004)).

$$S_i = \frac{X_i - P2_i}{P98_i - P2_i}$$

όπου:

X_i είναι η αρχική τιμή του δείκτη,

$P2_i$ είναι το 2ο εκατοστημόριο,

$P98_i$ είναι το 98ο εκατοστημόριο,

S_i είναι η κανονικοποιημένη τιμή.

Οι τελικές τιμές περιορίστηκαν στο διάστημα 0–1.

Η χρήση των P2–P98 μειώνει την επίδραση ακραίων εικονοστοιχείων σε σχέση με τη χρήση του απόλυτου ελάχιστου και μέγιστου.

Εναρμόνιση της κατεύθυνσης των δεικτών

Όλα τα επιμέρους scores μετατράπηκαν στην ίδια περιβαλλοντική κατεύθυνση:

0 = δυσμενέστερη σχετική κατάσταση,

1 = ευνοϊκότερη σχετική κατάσταση.

Για τους MNDWI και NDMI διατηρήθηκε η αρχική κατεύθυνση, επειδή υψηλότερες τιμές νερού και υγρασίας θεωρήθηκαν ευνοϊκές.

Για τους NDBI και BSI αντιστράφηκε η κανονικοποιημένη τιμή:

$$S_i^* = 1 - S_i$$

Η αντιστροφή εφαρμόστηκε επειδή χαμηλότερες τιμές NDBI και BSI αντιστοιχούν σε μικρότερη παρουσία δομημένων ή γυμνών και ξηρών επιφανειών. (η μετατροπή όλων των κριτηρίων προς μια κοινή περιβαλλοντική κατεύθυνση αποτελεί βασικό στάδιο της πολυκριτήριας χωρικής ανάλυσης (Malczewski, 1999))

Προσδιορισμός των βαρών

Η εργασία αναφέρει τις ακόλουθες συσχετίσεις Pearson με τη θερμοκρασία επιφάνειας LST-C:

$$\text{MNDWI: } r = -0,32,$$

$$\text{NDMI: } r = -0,65,$$

$$\text{NDBI: } r = +0,58,$$

$$\text{BSI: } r = +0,78.$$

Για τη στάθμιση χρησιμοποιήθηκε το απόλυτο μέγεθος κάθε συντελεστή συσχέτισης.

Το άθροισμα των απόλυτων τιμών ήταν:

$$0,32 + 0,65 + 0,58 + 0,78 = 2,33$$

Τα κανονικοποιημένα βάρη υπολογίστηκαν ως:

$$w_i = \frac{|r_i|}{\sum |r_i|}$$

Τα τελικά βάρη ήταν:

MNDWI: 0,1373 ή 13,73%,

NDMI: 0,2790 ή 27,90%,

NDBI: 0,2489 ή 24,89%,

BSI: 0,3348 ή 33,48%.

Το άθροισμα των τελικών βαρών ισούται με 1. (η στάθμιση των περιβαλλοντικών παραμέτρων με βάση το απόλυτο μέγεθος της γραμμικής τους συσχέτισης με τη θερμοκρασία επιφάνειας (LST) βασίζεται σε αντίστοιχες μεθοδολογίες ποσοτικοποίησης του περιβαλλοντικού στρες (Estoque & Murayama, 2017; Tsesmelis et al., 2021)).

Υπολογισμός του τελικού ENV_SCORE

Ο τελικός περιβαλλοντικός δείκτης υπολογίστηκε ως σταθμισμένο άθροισμα των τεσσάρων κανονικοποιημένων scores: (η σύνθεση των επιμέρους δεικτών για την παραγωγή του ENV_SCORE βασίστηκε στη μέθοδο της Γραμμικής Στάθμισης (WLC), η οποία αποτελεί την πλέον διαδεδομένη πρακτική σε πολυκριτήριες χωρικές αναλύσεις (Malczewski, 2000)).

$$ENV_SCORE = 0,1373S_{MNDWI} + 0,2790S_{NDMI} + 0,2489S_{NDBI} + 0,3348S_{BSI}$$

Τα S_{NDBI} και S_{BSI} αντιστοιχούν ήδη στις ανεστραμμένες κανονικοποιημένες τιμές.

Το αποτέλεσμα περιορίστηκε στο διάστημα 0–1.

Η τιμή 0 αντιπροσωπεύει τη δυσμενέστερη σχετική περιβαλλοντική κατάσταση.

Η τιμή 1 αντιπροσωπεύει την ευνοϊκότερη σχετική περιβαλλοντική κατάσταση.

Ο NDVI και η LST-C υπολογίστηκαν και διατηρήθηκαν για την ανάλυση και τον έλεγχο των αποτελεσμάτων, αλλά δεν εντάχθηκαν στο σταθμισμένο άθροισμα, επειδή η εργασία δεν προσδιορίζει αντίστοιχα ανεξάρτητα βάρη.

Ερμηνευτικές κατηγορίες

Το ENV_SCORE διατηρήθηκε ως συνεχές raster και δεν μετατράπηκε σε κατηγορικό raster.

Για τη χαρτογραφική παρουσίαση χρησιμοποιήθηκαν πέντε ερμηνευτικά διαστήματα:

0,00—<0,20: πολύ χαμηλό περιβαλλοντικό score,

0,20—<0,40: χαμηλό περιβαλλοντικό score,

0,40—<0,60: μέτριο περιβαλλοντικό score,

0,60—<0,80: υψηλό περιβαλλοντικό score,

0,80—1,00: πολύ υψηλό περιβαλλοντικό score.

Η πρώτη κατηγορία αντιπροσωπεύει περιοχές με τη δυσμενέστερη σχετική σύνθεση των εξεταζόμενων δεικτών.

Η πέμπτη κατηγορία αντιπροσωπεύει περιοχές με τη μεγαλύτερη σχετική παρουσία νερού και υγρασίας και τη μικρότερη παρουσία γυμνού εδάφους και δομημένων ή ξηρών επιφανειών.

Επιλέχθηκαν ίσα διαστήματα των 0,20 επειδή δεν υπάρχουν βιβλιογραφικά ή επιτόπια επικυρωμένα οικολογικά κατώφλια για τον συγκεκριμένο σύνθετο δείκτη.

Οι κατηγορίες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την ερμηνεία και το υπόμνημα του χάρτη.

Στο τελικό GeoTIFF δεν αποθηκεύτηκαν οι κατηγορίες ως δεύτερο band.

Έλεγχος του αποτελέσματος

Πριν από την εξαγωγή υπολογίστηκαν για το ENV_SCORE:

- η ελάχιστη τιμή,

- η μέγιστη τιμή,
- η μέση τιμή,
- η τυπική απόκλιση.

Ελέγχθηκε επίσης ότι το τελικό raster περιλαμβάνει αποκλειστικά το band ENV_SCORE.

Η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή ελέγχθηκαν ώστε να βρίσκονται εντός του διαστήματος 0–1.

Χαρτογραφική απεικόνιση

Για τη χαρτογραφική παρουσίαση χρησιμοποιήθηκε χρωματική διαβάθμιση από κόκκινο προς πράσινο.

Το κόκκινο αντιπροσωπεύει χαμηλές και δυσμενέστερες τιμές του ENV_SCORE.

Το κίτρινο αντιπροσωπεύει ενδιάμεσες τιμές.

Το πράσινο αντιπροσωπεύει υψηλές και ευνοϊκότερες τιμές.

Το υπόμνημα παρουσιάζει τα πέντε ερμηνευτικά διαστήματα χωρίς να μεταβάλλει τις συνεχείς τιμές του raster.

Εξαγωγή του τελικού raster

Το τελικό αποτέλεσμα εξήχθη από το Google Earth Engine σε μορφή GeoTIFF.

Το αρχείο έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- όνομα band: ENV_SCORE,
- αριθμός bands: 1,
- τύπος δεδομένων: Float32,
- εύρος τιμών: 0–1,
- χωρική ανάλυση: 30 m,
- χρονική περίοδος αναφοράς: 2000–2023,

- εποχική περίοδος αναφοράς: Μάιος–Οκτώβριος.

Το raster μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο ArcGIS Pro ή στο QGIS ως συνεχής επιφάνεια περιβαλλοντικού score.

Σημαντικές μεθοδολογικές διευκρινίσεις

Οι συντελεστές Pearson δεν αποτελούν τυπικά βάρη πολυκριτηριακής ανάλυσης, όπως τα βάρη που προκύπτουν από ΑHP.

Στην εργασία πρέπει να αναφέρεται ότι εφαρμόστηκε «εμπειρική στάθμιση βάσει του απόλυτου μεγέθους των συσχετίσεων Pearson με τη LST-C».

Οι συσχετίσεις δεν αποδεικνύουν αιτιώδη σχέση μεταξύ των δεικτών και της θερμοκρασίας.

Με τους συγκεκριμένους φασματικούς ορισμούς ισχύει:

$$NDBI = -NDMI$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

Περιοχή μελέτης

Η θέση του Μεσσαπίου ποταμού βρίσκεται εντός των διοικητικών ορίων της Δ.Ε. Μεσσαπίων του Δήμου Διρφύων-Μεσσαπίων. Διέρχεται εντός των ορίων της Δημοτικής Κοινότητας Ψαχνών και της Τοπικής Κοινότητας Καστέλλας. Βρίσκεται στο βόρειο τμήμα της κεντρικής Εύβοιας και βρέχεται από τον Β. Ευβοϊκό.

Η συνολική έκταση του Δήμου είναι 779,86 τ.χλμ. και ο πληθυσμός του 18.800 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2011, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της απογραφής (Ελληνική Στατιστική Αρχή, 2012).

Προστατευόμενες περιοχές, Δάση-Δασικές εκτάσεις

Στην ευρύτερη περιοχή του έργου αλλά εκτός των ορίων τους υπάρχουν οι παρακάτω προστατευόμενες περιοχές:

Δυτικά σε απόσταση 13,5km από τα Ψαχνά συναντάται η προστατευόμενη περιοχή «Όρος Καντήλι» ενταγμένη στο δίκτυο NATURA με κωδικό: GR 2420010 έκτασης 6.243,38 ha, χαρακτηρισμένη ως ζώνη ειδικής προστασίας. (οι συγκεκριμένες εκτάσεις υπάγονται στο ευρωπαϊκό δίκτυο προστασίας (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2023)).

Ανατολικά σε απόσταση 17km από τα Ψαχνά συναντάται η προστατευόμενη περιοχή «Δίρφη: Δάσος Στενής» ενταγμένη στο δίκτυο NATURA με κωδικό: GR 2420002 έκτασης 1.297,73 ha, χαρακτηρισμένη ως ειδική ζώνη διατήρησης.

Βόρεια σε απόσταση 5km από τα Ψαχνά συναντάται το καταφύγιο άγριας ζωής «Αγριλίτσα-Καταβόθρα-Καλαμάκι (Ψαχνών)» με κωδικό: K349 έκτασης 550 ha (ΦΕΚ 540/Β/28-8-1990).

Νότια σε απόσταση 6,5km από τα Ψαχνά συναντάται το καταφύγιο άγριας ζωής «Γιάμινα» με κωδικό: K631 έκτασης 1.270 ha (ΦΕΚ 1099/Β/8-9-1998).

Βόρεια σε απόσταση 1km από τα Ψαχνά συναντάται η περιοχή «Όρη Δίρφη, Σκοτεινή, Ορτάρι, Ξεροβούνι, Μαυροβούνι και περιοχή Κύμης» με κωδικό: ΑΤ 00010054 έκτασης 63.139,94 ha, χαρακτηρισμένη ως Βιότοπος.

Τέλος νότια και σε απόσταση 1,5 km από την Καστέλλα συναντάται ο υγροβιότοπος «Κολοβρέχτης» όπου χαρακτηρίζεται ως περιοχή προστασίας της φύσης και αποτελεί ένα σύστημα βάλτου-ξηράς που καλύπτεται από ποώδη και δενδρώδη βλάστηση, σύμφωνα με το ΦΕΚ 642/Δ/09-10-1989. (ο υγροβιότοπος προστατεύεται ως περιοχή απόλυτης προστασίας της φύσης (ΦΕΚ 642/Δ/09-10-1989)).

Κλιματολογικά χαρακτηριστικά

Η περιοχή ανήκει στο μεσογειακό βιοκλιματισμό όροφο και σύμφωνα με το κλιματολογικό διάγραμμα Emborg, κατατάσσεται στο υγρό όροφο με ήπιο χειμώνα. (σύμφωνα με τη μεθοδολογία του Emburger (1955) και τη βιοκλιματική κατάταξη του ελληνικού χώρου (Μαλούπας & Ντάφης, 2012)).

Σύμφωνα με τα στοιχεία της ΕΜΥ προκύπτει ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία ανέρχεται στους 16°C. Η μεγαλύτερη μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται τον Ιούλιο (28°C), η μικρότερη μέση ελάχιστη τον Ιανουάριο (5.2°), η απόλυτη μέγιστη τον Αύγουστο (40.1°C) και η απόλυτη ελάχιστη τον Ιανουάριο (-5.6°C).

Η σχετική υγρασία κυμαίνεται από 50 το καλοκαίρι έως 70 το χειμώνα.

Οι επικρατέστεροι άνεμοι είναι βόρειοι και σφοδροί τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο.

Θερμοκρασία

Οι ψυχρότεροι μήνες του χρόνου είναι οι Ιανουάριος και Φεβρουάριος (μέση θερμοκρασία μήνα 9,1°C), ενώ ο θερμότερος είναι ο Ιούλιος (μέση θερμοκρασία μήνα 27,8°C) και ακολουθεί ο Αύγουστος με μέση θερμοκρασία 27,2°C.

Οι απολύτως υψηλότερες τιμές της θερμοκρασίας έχουν παρατηρηθεί τον Ιούλιο (45,0°C). Οι απολύτως χαμηλότερες τιμές της θερμοκρασίας έχουν σημειωθεί τον Φεβρουάριο (-8,40°C).

Η μέση ετήσια τιμή θερμοκρασίας του σταθμού είναι (18,0°C). (όπως προκύπτει από τα επίσημα κλιματικά δεδομένα του πλησιέστερου σταθμού (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία, 2010)).

Σχετική υγρασία - Νέφωση

Η μέση ετήσια σχετική υγρασία του σταθμού είναι 64,8 παρουσιάζει ελάχιστη τιμή 53,1 το μήνα Ιούλιο και μέγιστη τιμή 75,3 το μήνα Δεκέμβριο.

Η μέση μηνιαία νέφωση είναι 3,3. Τις 145,0 ημέρες του έτους παρατηρείται νέφωση <1,5 όγδου, τις 140,3 ημέρες του έτους παρατηρείται νέφωση μεταξύ 1,6 και 6,4 όγδων και τις 79,6 ημέρες του έτους παρατηρείται νέφωση >6,5 όγδων.

Για τους μήνες από Δεκέμβριο έως Φεβρουάριο η νέφωση σε όγδοα ως προς το πλήθος ημερών που κυριαρχεί είναι μεγαλύτερη των 6,5 όγδων, για τους μήνες Μάρτιο έως Μάιο και Οκτώβριο, Νοέμβριο η νέφωση σε όγδοα ως προς το πλήθος ημερών που κυριαρχεί είναι αυτή μεταξύ των 1,6 και 6,4 όγδων ενώ για τους μήνες από Ιούνιο έως και Σεπτέμβριο υπερισχύει νέφωση μικρότερη του 1,5 όγδου.

Κατακρημνίσεις

Στον όρο κατακρημνίσεις περιλαμβάνονται οι βροχοπτώσεις, οι χιονοπτώσεις, ο πάγος, η πάχνη και το χαλάζι. (στον όρο αυτό περιλαμβάνεται κάθε μορφή συμπύκνωσης των υδρατμών που πέφτει στο έδαφος (Μπαλαφούτης & Φλόκας, 2004)).

Πίνακας 5 Μετεωρολογικά δεδομένα του Δήμου Διρφύων - Μεσσαπίων

	Κατακρημνίσεις		Αριθμός ημερών με				
	Ολικές	Μέγιστο 24/ώρου	Κατακρη μνίσματα	Βροχόπτωση	Χιόνι	Καταιγίδα	Χαλάζι
Ιανουάριος	48,7	98,0	9,3	8,8	0,4	0,6	0,0
Φεβρουάριος	45,2	36,0	10,4	9,2	1,2	0,6	0,1
Μάρτιος	50,3	56,4	8,4	7,8	0,5	0,4	0,0
Απρίλιος	30,9	65,4	6,8	6,8	0,0	0,7	0,0
Μάιος	24,0	38,6	5,8	5,8	0,0	1,2	0,0
Ιούνιος	9,4	17,0	2,9	2,9	0,0	0,9	0,0
Ιούλιος	3,9	25,0	1,4	1,4	0,0	0,5	0,0
Αύγουστος	8,9	30,2	1,8	1,8	0,0	0,8	0,0
Σεπτέμβριος	2,4	11,2	1,3	1,3	0,0	0,4	0,0
Οκτώβριος	39,9	85,4	5,7	5,7	0,0	1,3	0,0
Νοέμβριος	66,5	75,0	8,9	8,9	0,0	1,4	0,0

Δεκέμβριος	60,0	47,4	9,3	8,7	0,1	0,8	0,0
------------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----

Τα συνολικά ετήσια κατακρημνίσματα είναι 390,1 mm με μέση μηνιαία τιμή 32,5mm.

Ο μήνας με τη μεγαλύτερη μέση τιμή κατακρημνισμάτων είναι ο Νοέμβριος με 66,5mm ενώ ο μήνας με τη ελάχιστη μέση τιμή κατακρημνισμάτων είναι ο Σεπτέμβριος με 2,4mm.

Στην περιοχή του σταθμού τις 72,0 ημέρες του έτους παρουσιάζονται κατακρημνίσματα. Ο μήνας με τις περισσότερες ημέρες (10,4) με κατακρημνίσματα είναι ο Φεβρουάριος, ενώ ο μήνας με τις ελάχιστες ημέρες με κατακρημνίσματα είναι ο Σεπτέμβριος με 1,3 ημέρες.

Ημέρες με βροχόπτωση στη διάρκεια του έτους είναι 69,1 και το μέγιστο μηνιαίο αυτών παρουσιάζεται το μήνα Φεβρουάριο (9,2 ημέρες).

Η χιονόπτωση είναι ένα σπάνιο φαινόμενο στην περιοχή του σταθμού (2,2 ημέρες το έτος) οι περισσότερες εξ' αυτών είναι μοιρασμένες τις μέρες του χειμώνα και το μήνα Μάρτιο.

Καταιγίδες έχουμε ελάχιστες 9,6 ημέρες το έτος, δεν ξεπερνούν τη 1,4 ημέρα το μήνα (μέγιστο το Νοέμβριο).

Η χαλαζόπτωση είναι ένα πολύ σπάνιο φαινόμενο, δεν παρατηρείται παρά 0,1 ημέρες το έτος στην περιοχή του σταθμού.

Ειδικά μετεωρολογικά γεγονότα

Στην περιοχή του σταθμού χιονοσκεπή εδάφους παρατηρείται αθροιστικά 0,6 ημέρες το έτος.

Ομίχλη παρατηρείται αρκετά σπάνια στην περιοχή 0,3 ημέρες το έτος.

Δρόσος στην περιοχή του σταθμού παρατηρείται αθροιστικά 9,3 ημέρες το έτος, μέγιστο το Μάρτιο 1,8 ημέρες.

Παγωνιά στην περιοχή του σταθμού παρατηρείται αθροιστικά 6,1 ημέρες το έτος, μέγιστο το μήνα Ιανουάριο 2,4 ενώ ακολουθεί ο Φεβρουάριος με 2,1 ημέρες.

Ισχυροί άνεμοι (μεγαλύτεροι των 6B) υφίστανται 4,7 ημέρες του χρόνου.

Παρουσιάζονται λιγότερες από μισή ημέρα το μήνα εκτός του Δεκεμβρίου 1,1 και του Ιανουαρίου 0,6 ημέρες.

Πολύ ισχυροί άνεμοι (μεγαλύτεροι των 8B) εμφανίζονται σπάνια στην περιοχή 1,4 ημέρες το χρόνο.

Η κρατούσα διεύθυνση ανέμου είναι Βόρεια και είναι η αυτή καθ' όλη τη διάρκεια του έτους εκτός των μηνών Φεβρουαρίου έως Απριλίου που είναι Βορειοανατολική.

Στην περιοχή ενδιαφέροντος (Μακρυκάππα, υψόμετρο: 170μ) λειτουργεί βροχομετρικός σταθμός του Υπ. Γεωργίας, οι μετρήσεις αυτού καταγράφονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6 Βροχομετρικά Στοιχεία από Βροχομετρικό Σταθμό Μακρυκάππα

Υδρολογικό έτος	Σεπτ	Οκτ	Νοεμ	Δεκ	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σύνολο
1989 - 1990								22,2	2,8	8,5	3,5	94,9	
1990 - 1991	24,0	32,0	175,0	113,0	375,0	183,0	71,0	78,0	67,0	0,0	1,5	69,0	1188,5
1991- 1992	34,0	295,0	98,0	521,0	47,0	102,5	121,0	14,0	29,0	8,0	5,0	0,0	1274,5
1992- 1993	0,0	20,0	146,0	284,0	112,0	90,0	87,0	23,5	68,5	0,0	000	2,0	851,0
1993- 1994	2,0	1,0	265,0	26,5	200,0	204,2	64,5	15,78	83,3	24,6	6,1	19,0	912,0
1994- 1995	0,0	191,7	108,3	285,9	336,6	27,3	96,3	40,7	4,5	3,3	24,8	1,3	1120,7
1995- 1996	12,9	299,6	116,1	113,4	255,1	131,2	37,9	20,1	114,0	13,0	9,0	16,3	1138,6
1996- 1997	13,7	277,2	16,0	230,7	77,5	67,1	330,8	57,0	51,5	20,7	22,0	25,3	1139,5
1997- 1998	0,0	176,3	54,0	155,2	53,0	45,0	630,7	24,8	107,6	21,5	4,5	0,0	1272,6
1998- 1999	40,9		51,3		190,2		568,0				1,5		
1999- 2000	165,7	75,0	143,8	257,5	62,3	30,1	47,7	15,1	0,2	1,3			

Γεωλογικά χαρακτηριστικά

Η ευρύτερη περιοχή των οικισμών Ψαχνά και Καστέλλα μέχρι την παραλιακή ζώνη στα νοτιοδυτικά συνίσταται από πρόσφατες αλλουβιακές αποθέσεις.(όπως αποτυπώνεται στον επίσημο χάρτη της περιοχής (Κατράκης & Γεωργίου, 1984) και επιβεβαιώνεται από τη διεθνή βιβλιογραφία (Voudouris et al., 2010)). Η κοίτη του ποταμού Μεσσάππου

και οι κοίτες μικρότερων χειμάρρων συνίστανται από υλικά κοίτης με αργίλους, άμμους και κυμαινόμενο ποσοστό χαλικιών. Παρουσιάζουν πολύ μικρή συνεκτικότητα και το πάχος τους είναι μικρό. Οι όχθες των ποταμών συνίστανται από άμμο, ιλυώδη άμμο και σε μικρότερο ποσοστό αργίλους με κυμαινόμενα ποσοστά χαλικιών (υλικά αναβαθμίδων). Σε αυτά τα περιβάλλοντα παρατηρούνται συνήθως πλευρικές και κατακόρυφες εναλλαγές και μεταβάσεις μεταξύ αδρομερέστερων και λεπτομερέστερων οριζόντων και κυριαρχία των μεν ή των δε αναλόγως της απόστασης από τις κλιτύες, τους άξονες της απορροής και άλλες ιδιαίτερες επιδράσεις του περιβάλλοντος απόθεσης.(οι λιθολογικοί αυτοί σχηματισμοί παρουσιάζουν χαμηλή συνεκτικότητα, καθιστώντας τις όχθες ευάλωτες σε διάβρωση (Karymbalis et al., 2025; Λέκκας κ.ά., 2020)). Η ευρύτερη πεδινή περιοχή συνίσταται από άμμους, κροκαλοατύπες και χαλαρά αργιλοαμμώδη υλικά. Τέλος οι λοφώδεις περιοχές περιμετρικά των οικισμών συνίστανται από ασβεστολίθους και οφιολιθικούς σχηματισμούς.(οι λοφώδεις εξάρσεις περιμετρικά των οικισμών δομούνται από ανθεκτικότερους οφιολιθικούς και ανθρακικούς σχηματισμούς (Μουντράκης, 2010)).

Υδρογεωλογία

Τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που πέφτουν στην περιοχή μελέτης είτε ρέουν επιφανειακά προς τα χαμηλότερα σημεία, είτε κατεισδύουν και κινούνται υπόγεια δια μέσου των γεωλογικών σχηματισμών, είτε εξατμίζονται.(τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα ακολουθούν τις βασικές διεργασίες του υδρολογικού κύκλου (Σούλιος, 2014; Todd & Mays, 2005)).

Η κίνηση του υπόγειου νερού ελέγχεται κυρίως από τους πρωτογενείς παράγοντες, δηλαδή τη φύση, τη σύσταση και την εσωτερική διάταξη των πετρωμάτων καθώς επίσης και από δευτερογενείς παράγοντες δηλαδή τις ασυνέχειες, οι οποίες διακόπτουν την συνέχεια των σχηματισμών.(η υδρογεωλογική συμπεριφορά των σχηματισμών καθορίζεται τόσο από τη λιθολογική τους σύσταση όσο και από το βαθμό τεκτονικής κατάτμησης (Κουμαντάκης, 2006; Freeze & Cherry, 1979)).

Φυσικό περιβάλλον

Τεχνικά οικοσυστήματα καλλιεργούμενων εκτάσεων (αγροοικοσυστήματα), τα

οποία καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο τμήμα των εκτός ορίων οικισμών, έχοντας αντικαταστήσει (τεχνητά) τα φυσικά οικοσυστήματα και χαρακτηρίζονται κύρια από μονοκαλλιέργεια (ελαιώνες). Στα όρια μεταξύ των ελαιώνων, ή σε θύλακες μικρής έκτασης εντός αυτών, αναπτύσσεται χαμηλής μορφής αυτοφυής βλάστηση.(η ζώνη αυτή αντιστοιχεί τυπικά στις μεσογειακές διαπλάσεις των αειφύλλων-σκληροφύλλων (Ντάφης, 1986; Στεφανίδης & Σπύρου, 2015)).

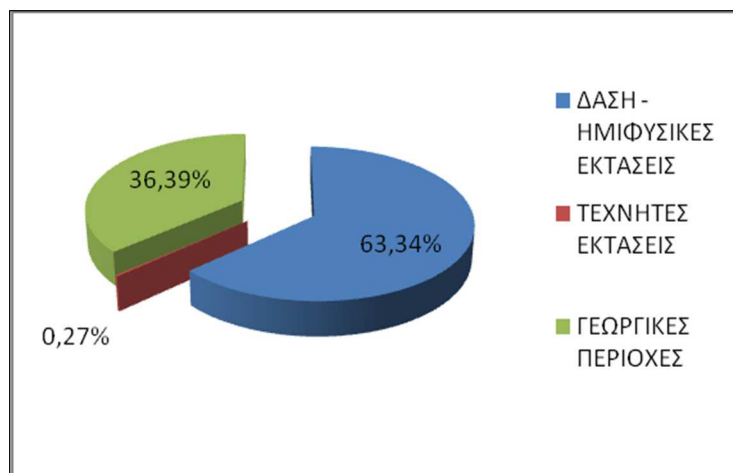
Θαμνώδη οικοσυστήματα που αποτελούνται από τη ζώνη αειφύλλων-σκληροφύλλων και τις φρυγανικές διαπλάσεις σε λοφώδεις εξάρσεις. Κυριαρχούν αείφυλλα-σκληρόφυλλα είδη όπως κουμαριά, μυρτιά, πουρνάρι, κ.α.

Χλωριδικός κατάλογος

Η φυτογεωγραφική διάπλαση των παραποτάμιων ειδών αντιπροσωπεύεται από τις φυτοκοινωνικές ενώσεις του πλατάνου (*Platanus orientalis*) και της Ιτιάς (*Salix SP*), (οι συγκεκριμένες παραποτάμιες φυτοκοινωνίες αποτελούν χαρακτηριστικά στοιχεία των ελληνικών υδροχαρών οικοσυστημάτων (Strid & Tan, 1997)).

Δάση – Δασικές εκτάσεις

Τα δάση και οι ημιφυσικές εκτάσεις καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης του δήμου Διρφύων-Μεσσαπίων. Αναλυτικότερα, τα δάση καταλαμβάνουν το 50,8 % της έκτασης της Δ.Ε. Διρφύων και το 70% της έκτασης της Δ.Ε. Μεσσαπίων.(τα δεδομένα αυτά προκύπτουν από τις επίσημες δασικές απογραφές και τα σχέδια διαχείρισης της περιοχής (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2018)).



Εικόνα 11 Κάλυψη γης στο Δήμο Διρφύων-Μεσσαπίων

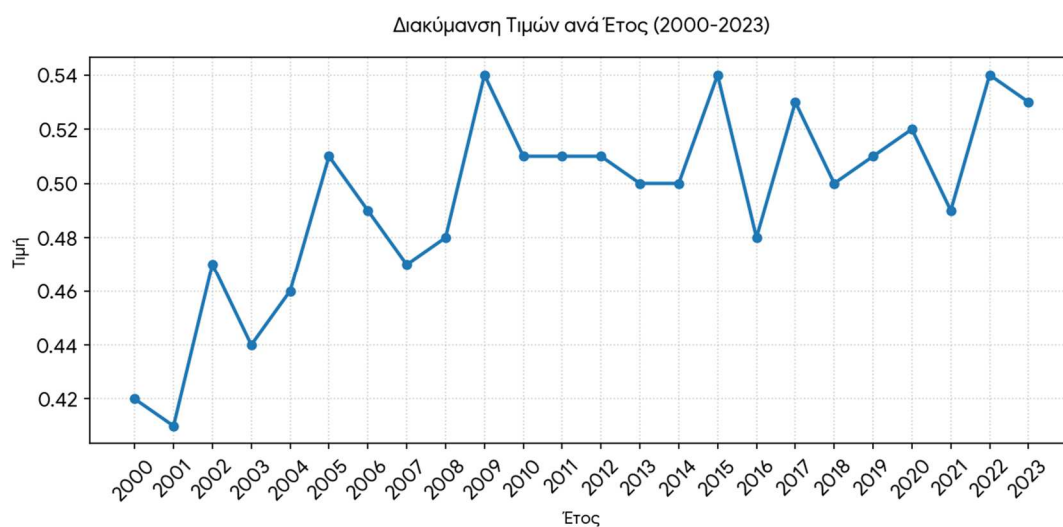
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5°

Αποτελέσματα

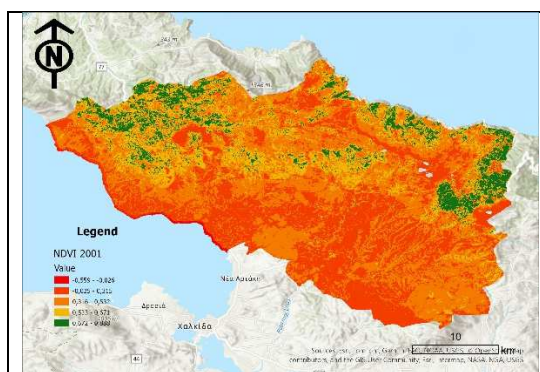
Δείκτης NDVI

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ArcGIS Pro για το Δείκτη NDVI για τα έτη 2000-2023 παίρνουμε την παρακάτω διακύμανση τιμών.

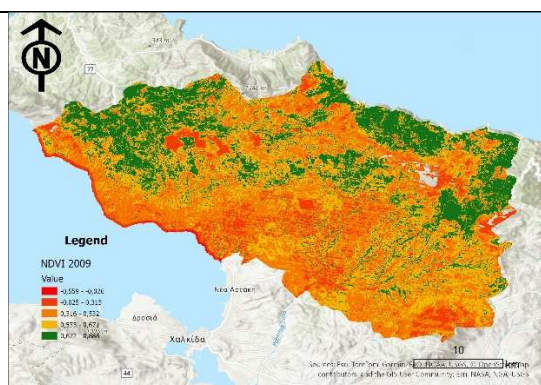
Πίνακας 7 Διακύμανση τιμών NDVI ανά έτος (2000-2023)



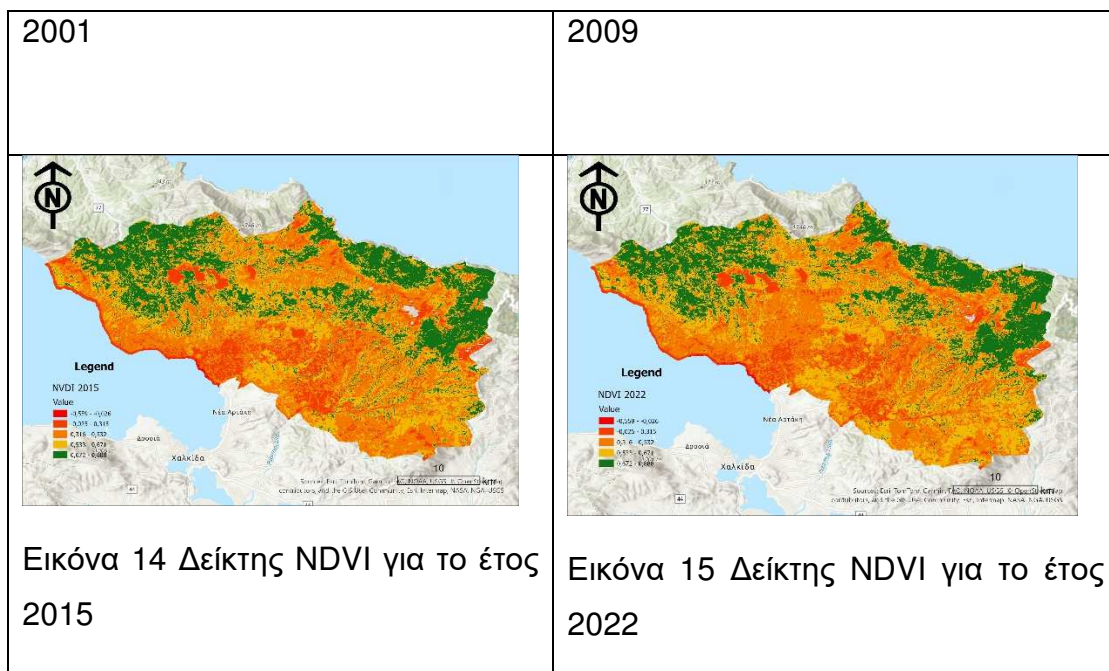
Από την επεξεργασία των δεδομένων ανά έτος φαίνεται ότι οι πιο ακραίες τιμές παρουσιάζονται τα έτη 2001, που ο μέσος όρος ήταν 0,41, και τα έτη 2009, 2015 και 2022 που ο μέσος όρος ήταν 0,54.



Εικόνα 12 Δείκτης NDVI για το έτος



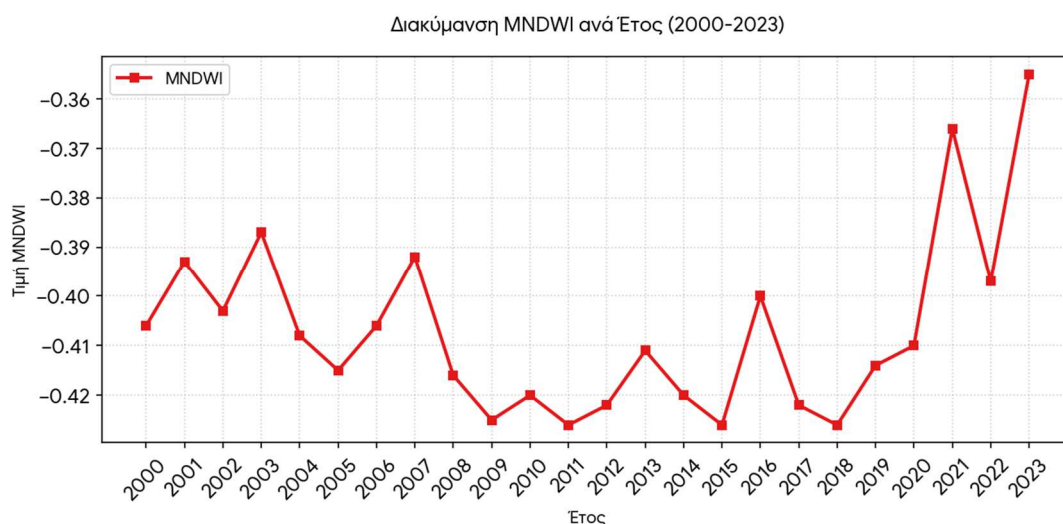
Εικόνα 13 Δείκτης NDVI για το έτος



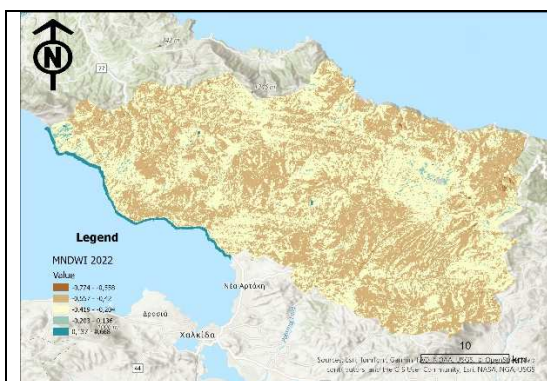
Δείκτης MNDWI

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ArcGIS Pro για το Δείκτη MNDWI για τα έτη 2000-2023 παίρνουμε την παρακάτω διακύμανση τιμών.

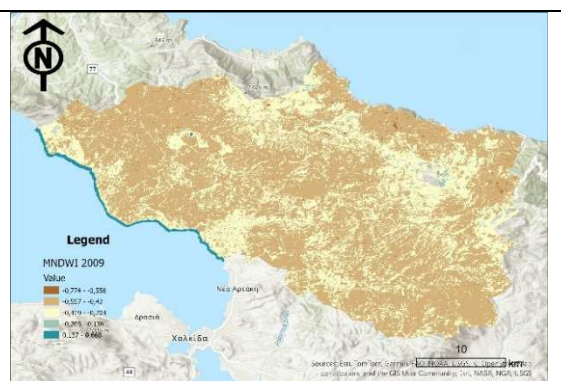
Πίνακας 8 Διακύμανση MNDWI ανά έτος (2000-2023)



Από την επεξεργασία των δεδομένων ανά έτος δε διαφαίνονται μεγάλες διακυμάνσεις και οι πιο ακραίες τιμές παρουσιάζονται τα έτη 2022, που ο μέσος όρος ήταν -0,355, και τα έτη 2009, 2015 και 2018 που ο μέσος όρος ήταν -0,425.



Εικόνα 16 Δείκτης MNDWI για το έτος 2022

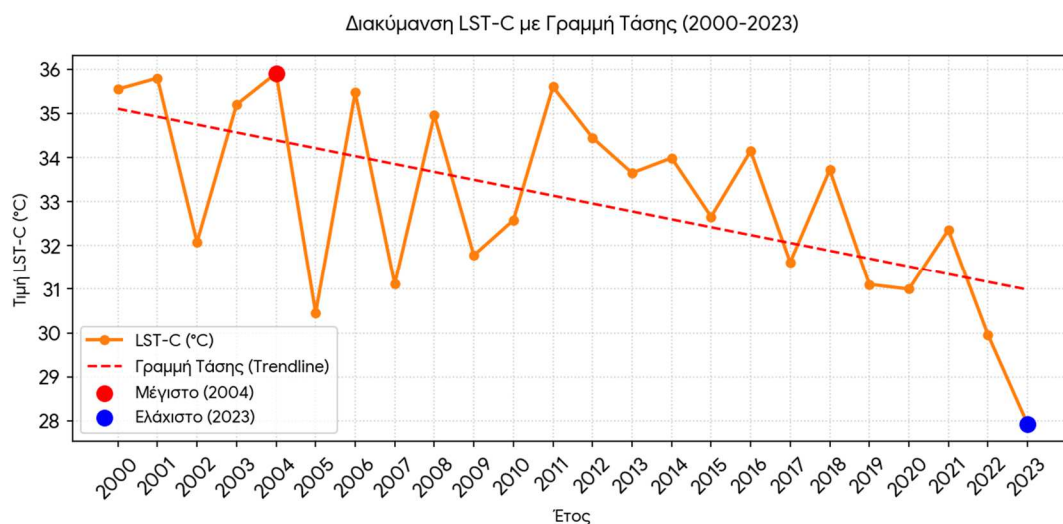


Εικόνα 17 Δείκτης MNDWI για το έτος 2009

Δείκτης LST-C

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ArcGIS Pro για το Δείκτη LST-C για τα έτη 2000-2023 παίρνουμε την παρακάτω διακύμανση τιμών.

Πίνακας 9 Διακύμανση LST-C με γραμμή τάσης (2000-2023)



Στατιστική Ανάλυση Δεδομένων (2000-2023)

Μέγιστη Θερμοκρασία: Καταγράφηκε το έτος 2004 με τιμή 35.91°C.

Ελάχιστη Θερμοκρασία: Καταγράφηκε το έτος 2023 με τιμή 27.93°C.

Μέσος Όρος Περιόδου: Η μέση θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους για όλη την 24ετία

είναι 33.05°C.

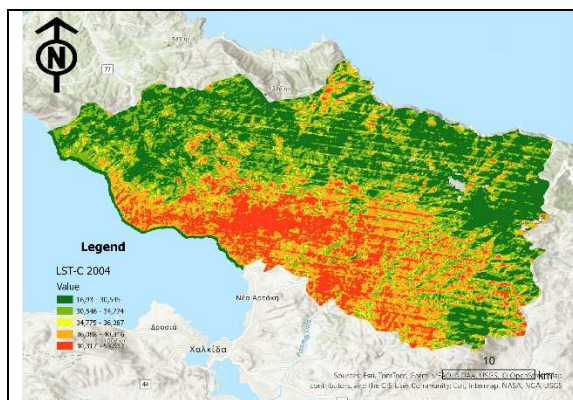
Όπως φαίνεται καθαρά από την πτωτική κλίση της κόκκινης γραμμής τάσης, οι τιμές του LST-C παρουσιάζουν μια σταδιακή μείωση με την πάροδο των ετών, παρουσιάζοντας τη χαμηλότερη τιμή τους στο τέλος της χρονοσειράς.

Ποσοστιαία Μεταβολή LST-C (2000 vs 2023).

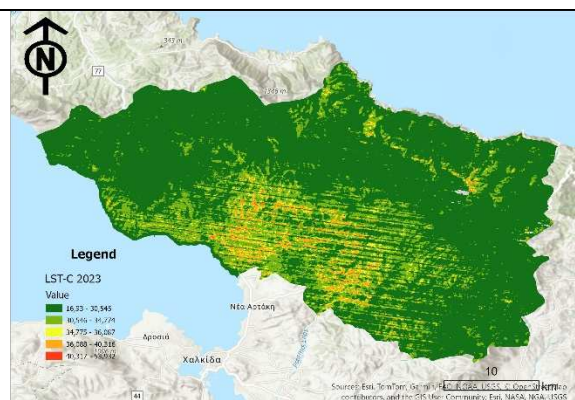
Από 35.55°C το 2000, η θερμοκρασία έπεσε στα 27.93°C το 2023.

Αυτό μεταφράζεται σε μια συνολική μείωση της τάξης του 21.43% στην επιφανειακή θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της 24ετίας.

Χαρακτηριστικές είναι εικόνες τα έτη 2004 και 2023.



Εικόνα 18 Δείκτης LST-C για το έτος 2004

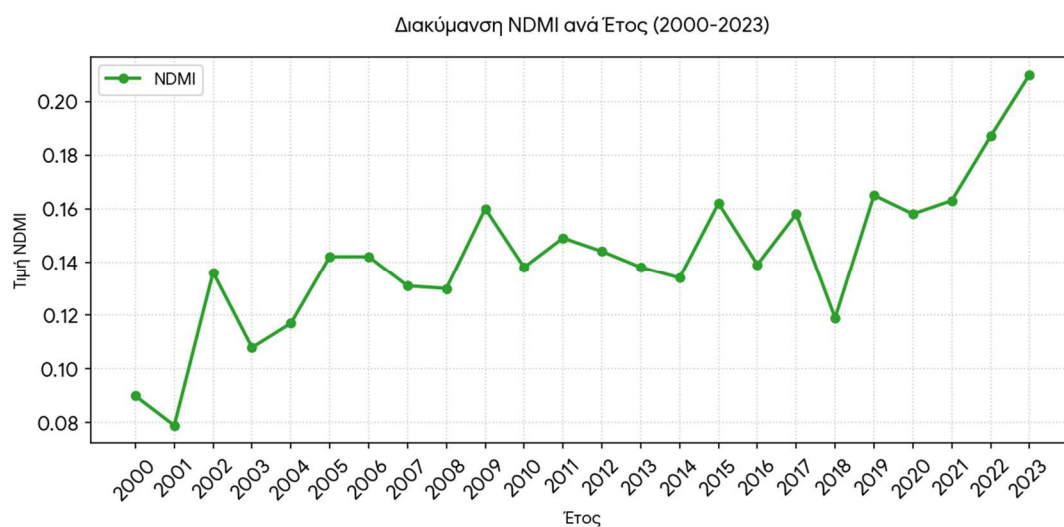


Εικόνα 19 Δείκτης LST-C για το έτος 2023

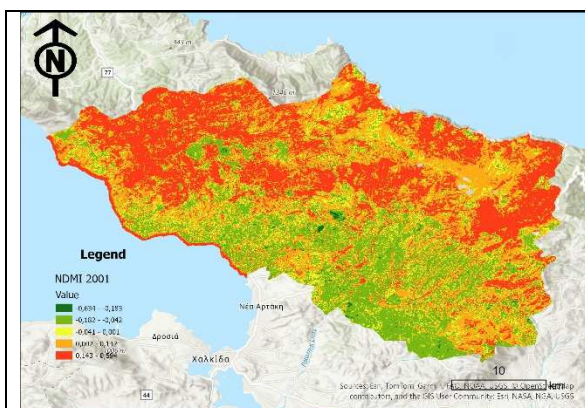
Δείκτης NDMI

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ArcGIS Pro για το Δείκτη NDMI για τα έτη 2000-2023 παίρνουμε την παρακάτω διακύμανση τιμών.

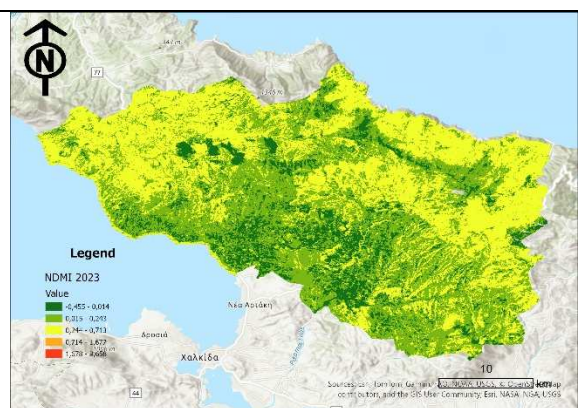
Πίνακας 10 Διακύμανση NDMI ανά έτος (2000-2023)



Παρατηρούμε μια αυξητική τάση στο δείκτη NDMI με ελάχιστη τιμή το 2001 με τιμή 0,079 και μέγιστη το 2023 με τιμή 0,21. Αυτό αποτυπώνεται και στους αντίστοιχους χάρτες.



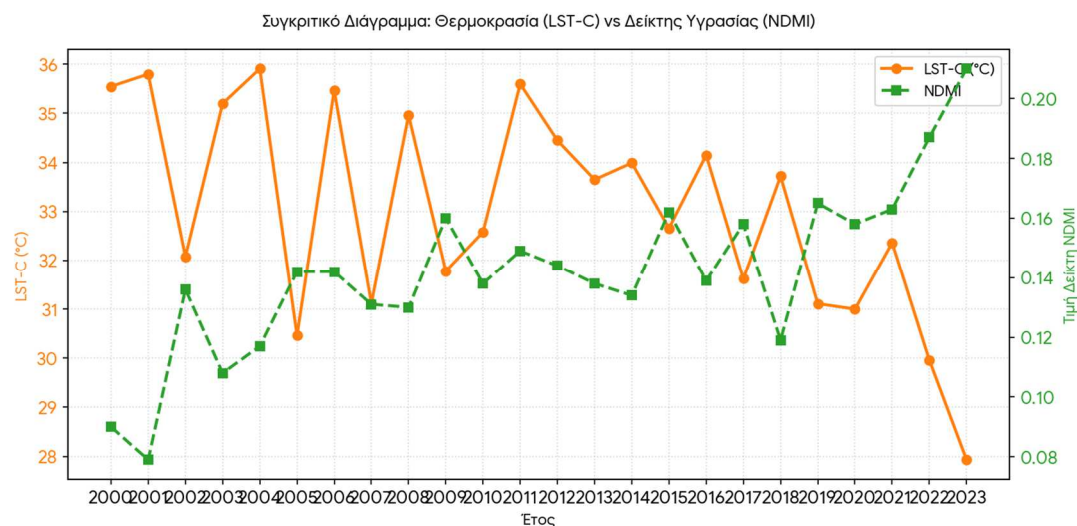
Εικόνα 20 Δείκτης NDMI για το έτος 2001



Εικόνα 21 Δείκτης NDMI για το έτος 2023

Συγκρίνοντας τους δείκτες LTS-C και NDMI παρατηρούμε τα εξής:

Πίνακας 11 Συγκριτικό Διάγραμμα θερμοκρασίας (LST-C) και Δείκτη Υγρασίας (NDMI)



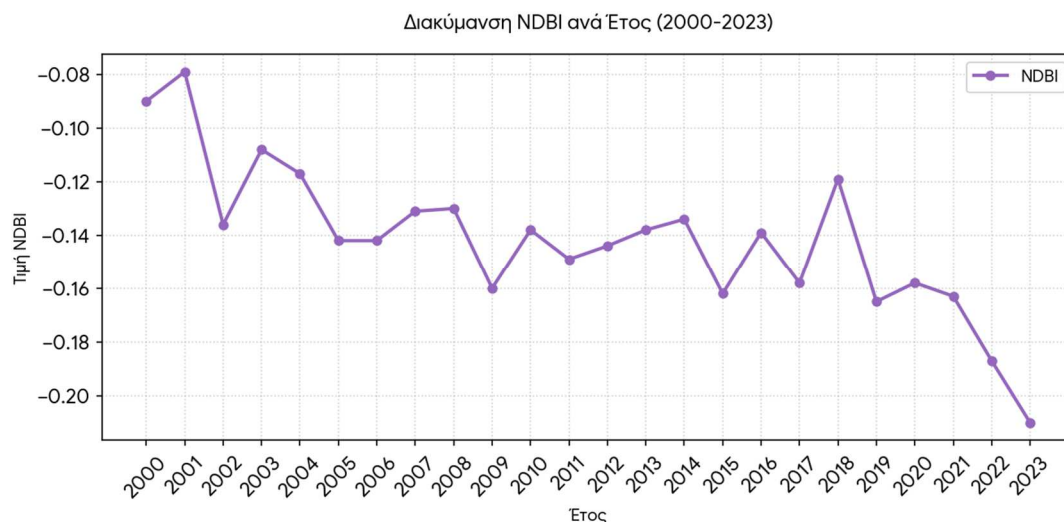
Υπάρχει μια ισχυρή αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Αυτό σημαίνει ότι καθώς ο δείκτης NDMI αυξάνεται (δηλαδή αυξάνεται η υγρασία/περιεκτικότητα σε νερό της βλάστησης), η θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους (LST-C) μειώνεται σημαντικά.

Χαρακτηριστικό Παράδειγμα: Στο τέλος της χρονοσειράς (έτη 2021-2023), ο δείκτης NDMI αγγίζει τις υψηλότερες τιμές του (0.210) και ταυτόχρονα η θερμοκρασία LST-C πέφτει στα χαμηλότερα επίπεδά της (27.93°C).

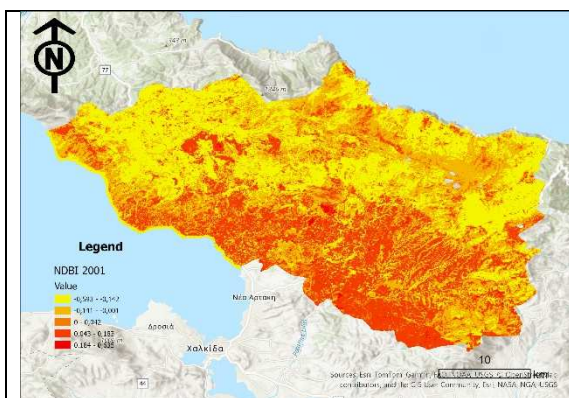
Δείκτης NDBI

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ArcGIS Pro για το Δείκτη NDBI για τα έτη 2000-2023 παίρνουμε την παρακάτω διακύμανση τιμών.

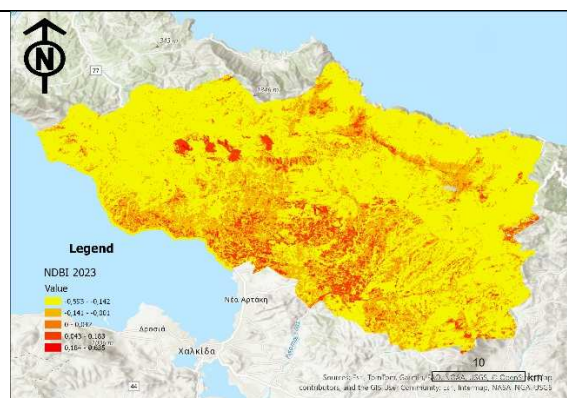
Πίνακας 12 Διακύμανση NDBI ανά έτος (2000-2023)



Παρατηρούμε μια μειωτική τάση στο δείκτη NDBI με μέγιστη τιμή το 2001 με τιμή - 0,079 και ελάχιστη το 2023 με τιμή -0,21. Αυτό αποτυπώνεται και στους αντίστοιχους χάρτες.



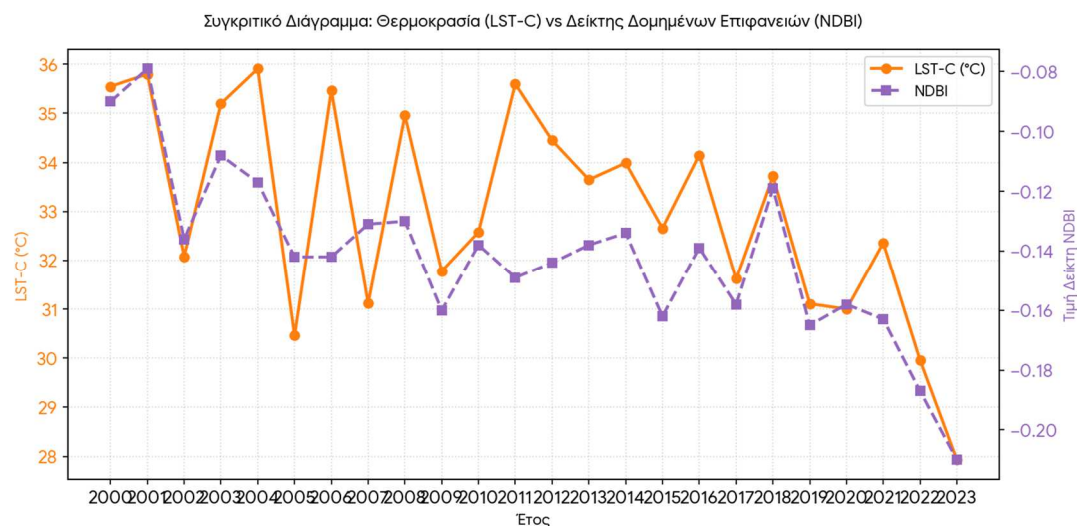
Εικόνα 22 Δείκτης NDBI για το έτος 2001



Εικόνα 23 Δείκτης NDBI για το έτος 2023

Συγκρίνοντας τους δείκτες LTS-C και NDBI παρατηρούμε τα εξής:

Πίνακας 13 Συγκριτικό Διάγραμμα Θερμοκρασίας (LST-C) και Δείκτης Δομημένων Επιφανειών (NDBI)



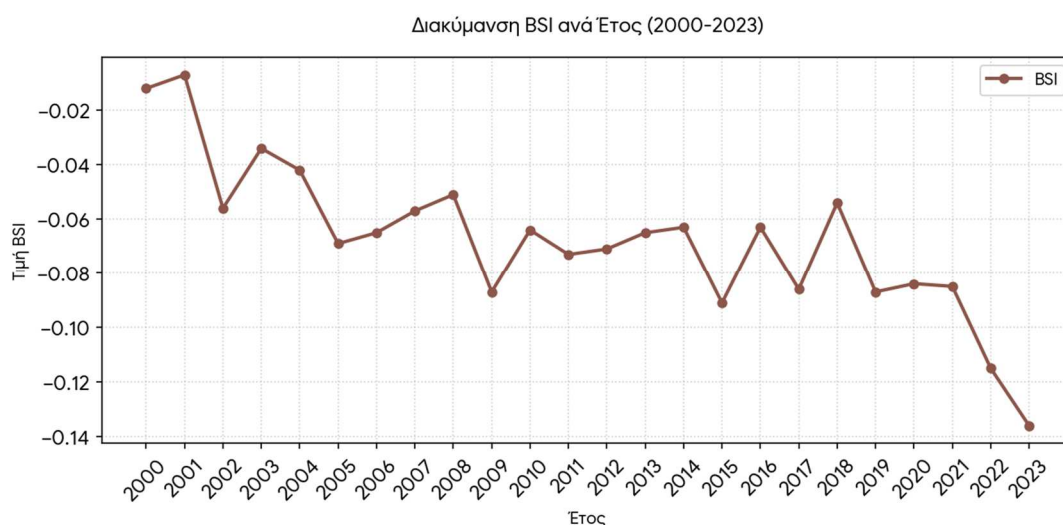
Υπάρχει μια σημαντική θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο δεικτών. Καθώς οι τιμές του NDBI γίνονται πιο αρνητικές (δηλαδή μειώνεται η παρουσία γυμνού εδάφους ή τεχνητών δομών/τσιμέντου), η θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους (LST-C) ακολουθεί την ίδια πτωτική πορεία και μειώνεται.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα: Κατά τα έτη 2022-2023, ο NDBI σημειώνει τις πιο χαμηλές/αρνητικές τιμές του (-0.187 και -0.210 αντίστοιχα) και ταυτόχρονα η θερμοκρασία πέφτει στα ιστορικά χαμηλά της για την περίοδο αυτή (κάτω από τους 30°C).

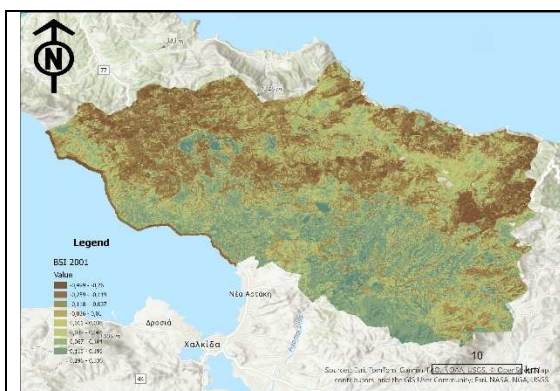
Δείκτης BSI

Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ArcGIS Pro για το Δείκτη BSI για τα έτη 2000-2023 παίρνουμε την παρακάτω διακύμανση τιμών.

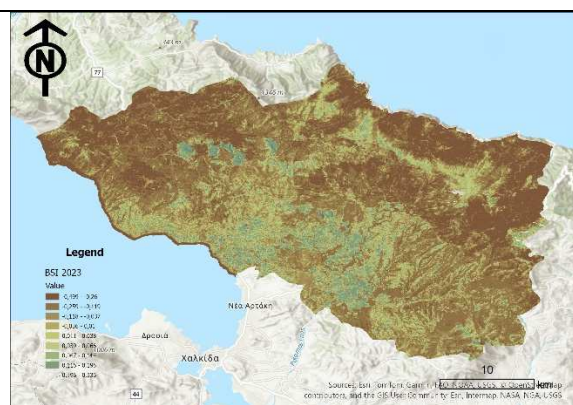
Πίνακας 14 Διακύμανση BSI ανά έτος (2000-2023)



Παρατηρούμε επίσης μια μειωτική τάση στο δείκτη BSI με μέγιστη τιμή το 2001 με τιμή -0,007 και ελάχιστη το 2023 με τιμή -0,136. Αυτό αποτυπώνεται και στους αντίστοιχους χάρτες.



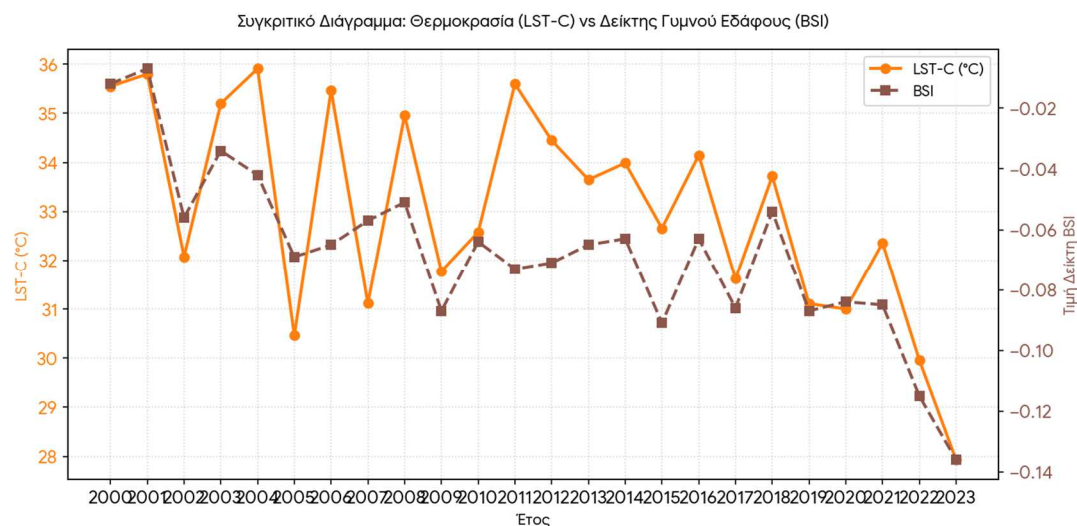
Εικόνα 24 Δείκτης BSI για το έτος 2001



Εικόνα 25 Δείκτης BSI για το έτος 2023

Συγκρίνοντας τους δείκτες LTS-C και BSI παρατηρούμε τα εξής:

Πίνακας 15 Συγκριτικό Διάγραμμα Θερμοκρασίας (LST-C) και Δείκτη Γυμνού Εδάφους (BSI)



Παρατηρείται μια πολύ ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο μεταβλητών. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο καμπύλες κινούνται σχεδόν παράλληλα στον χρόνο. Καθώς οι τιμές του BSI μειώνονται (γίνονται πιο αρνητικές, υποδεικνύοντας λιγότερο γυμνό/εκτεθειμένο έδαφος ή αύξηση της πυκνότητας της βλάστησης), η θερμοκρασία της επιφάνειας (LST-C) ακολουθεί ακριβώς την ίδια έντονα πτωτική πορεία.

Χαρακτηριστικό Παράδειγμα: Στα έτη 2022-2023, ο δείκτης BSI πέφτει στα χαμηλότερα επίπεδά του (-0.115 και -0.136 αντίστοιχα) και ταυτόχρονα η επιφανειακή θερμοκρασία LST-C αγγίζει το ιστορικό της ελάχιστο (27.93°C).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

Συμπεράσματα

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Πίνακας 16 Συγκριτικός Πίνακας των δεικτών NDVI, MNDWI, LST-C, NDMI, NDBI, BSI για τα έτη 2000-2023

ΕΤΟΣ	NDVI	MNDWI	LST-C	NDMI	NDBI	BSI
2000	0.470	-0.406	35.55	0.090	-0.090	-0.012
2001	0.453	-0.393	35.80	0.079	-0.079	-0.007
2002	0.502	-0.403	32.08	0.136	-0.136	-0.056
2003	0.469	-0.387	35.20	0.108	-0.108	-0.034
2004	0.495	-0.408	35.91	0.117	-0.117	-0.042
2005	0.518	-0.415	30.46	0.142	-0.142	-0.069
2006	0.512	-0.406	35.47	0.142	-0.142	-0.065
2007	0.493	-0.392	31.12	0.131	-0.131	-0.057
2008	0.511	-0.416	34.96	0.130	-0.130	-0.051
2009	0.543	-0.425	31.78	0.160	-0.160	-0.087
2010	0.521	-0.420	32.58	0.138	-0.138	-0.064
2011	0.532	-0.426	35.60	0.149	-0.149	-0.073
2012	0.526	-0.422	34.45	0.144	-0.144	-0.071
2013	0.513	-0.411	33.65	0.138	-0.138	-0.065
2014	0.515	-0.420	33.99	0.134	-0.134	-0.063
2015	0.543	-0.426	32.66	0.162	-0.162	-0.091
2016	0.505	-0.400	34.15	0.139	-0.139	-0.063

2017	0.536	-0.422	31.62	0.158	-0.158	-0.086
2018	0.513	-0.426	33.72	0.119	-0.119	-0.054
2019	0.532	-0.414	31.11	0.165	-0.165	-0.087
2020	0.530	-0.410	31.00	0.158	-0.158	-0.084
2021	0.498	-0.366	32.36	0.163	-0.163	-0.085
2022	0.537	-0.397	29.96	0.187	-0.187	-0.115
2023	0.523	-0.355	27.93	0.210	-0.210	-0.136

Η παρούσα χρονοσειρά (2000–2023) εξετάζει τη δυναμική της Θερμοκρασίας Επιφάνειας Εδάφους (LST-C) και τη συσχέτισή της με μια σειρά από δορυφορικούς δείκτες βλάστησης, υγρασίας και εδαφικής κάλυψης (NDVI, MNDWI, NDMI, NDBI, BSI). Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν μια σαφή και περιβαλλοντικά σημαντική μεταβολή στην περιοχή μελέτης κατά την τελευταία 24ετία.

1. Διαχρονικές Τάσεις και Σημείο Καμπής (2023)

Κατά την εξεταζόμενη περίοδο, η θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους (LST-C) παρουσιάζει μια σταθερά πτωτική τάση, σημειώνοντας συνολική μείωση της τάξης του 21,43% (από 35,55°C το 2000 σε 27,93°C το 2023). Η πτώση αυτή δεν είναι τυχαία, αλλά συνδέεται άμεσα με την παράλληλη μεταβολή των περιβαλλοντικών δεικτών.

Το έτος 2023 αποτελεί το σημαντικότερο σημείο καμπής ολόκληρης της χρονοσειράς, καθώς καταγράφει ταυτόχρονα:

Το ιστορικό ελάχιστο της θερμοκρασίας (27,93°C).

Το ιστορικό μέγιστο του δείκτη υγρασίας βλάστησης NDMI (0,210).

Τις χαμηλότερες (πιο αρνητικές) τιμές των δεικτών NDBI (-0,210) και BSI (-0,136).

2. Ερμηνεία των Συσχετίσεων με τη Θερμοκρασία (LST-C)

Η στατιστική ανάλυση μέσω του συντελεστή που οδηγούν στην ψύξη της περιοχής:

Δείκτες Γυμνού Εδάφους και Δομής (BSI & NDBI): Παρατηρείται ιδιαίτερα ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ του LST-C και των δεικτών BSI (+0,78) και NDBI (+0,58). Η προοδευτική μείωση αυτών των δεικτών (κίνηση προς πιο αρνητικές τιμές) υποδηλώνει σημαντική μείωση του εκτεθειμένου/γυμνού εδάφους και των τεχνητών ή ξηρών επιφανειών. Η εξάλειψη αυτών των επιφανειών περιορίζει το φαινόμενο της θερμικής απορρόφησης, συμβάλλοντας καθοριστικά στη μείωση της θερμοκρασίας.

Δείκτης Υγρασίας Βλάστησης (NDMI): Εμφανίζει ισχυρή αρνητική συσχέτιση (-0,65) με το LST-C. Η σταδιακή αύξηση του NDMI με την πάροδο των ετών αποδεικνύει ότι η βλάστηση στην περιοχή έχει γίνει πιο πυκνή και συγκρατεί μεγαλύτερα ποσοστά υγρασίας. Η υγρασία αυτή, μέσω της εξατμισοδιαπνοής, λειτουργεί ως φυσικός ψυκτικός μηχανισμός για το μικροκλίμα της περιοχής.

Υδατικοί Δείκτες (NDWI & MNDWI): Ο τροποποιημένος δείκτης MNDWI (-0,32) επιβεβαιώνει την αρνητική συσχέτιση με τη θερμοκρασία, καθώς ο εντοπισμός επιφανειακών υδατικών στοιχείων και υγρών εδαφών συντελεί στην πτώση του LST-C, σε αντίθεση με τον απλό NDWI (+0,33) ο οποίος σε περιβάλλοντα με μεικτή κάλυψη συχνά επηρεάζεται από την εδαφική ανακλαστικότητα.

3. Τελικό Συμπέρασμα

Τα δεδομένα συγκλίνουν στο συμπέρασμα ότι η περιοχή μελέτης έχει υποστεί μια θετική περιβαλλοντική αποκατάσταση ή αλλαγή χρήσης γης κατά την εικοσαετία. Η σταδιακή μείωση του γυμνού εδάφους (BSI) και η ταυτόχρονη ενίσχυση της υγρασίας της βλάστησης (NDMI) περιόρισαν τη θερμική καταπόνηση της επιφάνειας, οδηγώντας σε ένα σημαντικά πιο δροσερό και περιβαλλοντικά σταθερό μικροκλίμα κατά τα τελευταία έτη.

Οι πλημμύρες που έλαβαν χώρα τα τελευταία χρόνια και η εγκατάλειψη μέρους της αγροτικής καλλιέργειας αύξησαν τη φυτοκάλυψη στη συγκεκριμένη περιοχή. Επομένως, ο NDMI και ο NDBI δεν αποτελούν ανεξάρτητες μεταβλητές και η ταυτόχρονη χρήση τους αυξάνει τη συμμετοχή της κοινής φασματικής πληροφορίας NIR–SWIR.

Η επιλογή διατήρησης και των δύο δεικτών πρέπει να αναγνωριστεί ως περιορισμός της μεθοδολογίας.

Το ENV_SCORE είναι σχετικός δείκτης για την περιοχή και την περίοδο που αναλύθηκαν. (η κατανομή των τιμών του ENV_SCORE αναδεικνύει τις περιοχές με τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική τρωτότητα, ακολουθώντας αντίστοιχες προσεγγίσεις σύνθετων δεικτών (Tsesmelis et al., 2021)).

Προσδιορισμός των βαρών

Έχουν γίνει οι ακόλουθες συσχετίσεις Pearson με τη θερμοκρασία επιφάνειας LST-C:

MNDWI: $r = -0,32$,

NDMI: $r = -0,65$,

NDBI: $r = +0,58$,

BSI: $r = +0,78$.

Για τη στάθμιση χρησιμοποιήθηκε το απόλυτο μέγεθος κάθε συντελεστή συσχέτισης.

Το άθροισμα των απόλυτων τιμών ήταν:

$$0,32 + 0,65 + 0,58 + 0,78 = 2,33$$

Τα κανονικοποιημένα βάρη υπολογίστηκαν ως:

$$w_i = \frac{|r_i|}{\sum |r_i|}$$

Τα τελικά βάρη ήταν: (τα βάρη είναι εμπειρικά βάρη βασισμένα στο απόλυτο μέγεθος των συσχετίσεων κατόπιν συζητήσεων με 5 ειδικούς επιστήμονες)

MNDWI: 0,1373 ή 13,73%,

NDMI: 0,2790 ή 27,90%,

NDBI: 0,2489 ή 24,89%,

BSI: 0,3348 ή 33,48%.

Το άθροισμα των τελικών βαρών ισούται με 1.

Ο τελικός περιβαλλοντικός δείκτης υπολογίστηκε ως σταθμισμένο άθροισμα των τεσσάρων κανονικοποιημένων scores:

$$ENV_SCORE = 0,1373S_{MNDWI} + 0,2790S_{NDMI} + 0,2489S_{NDBI} + 0,3348S_{BSI}$$

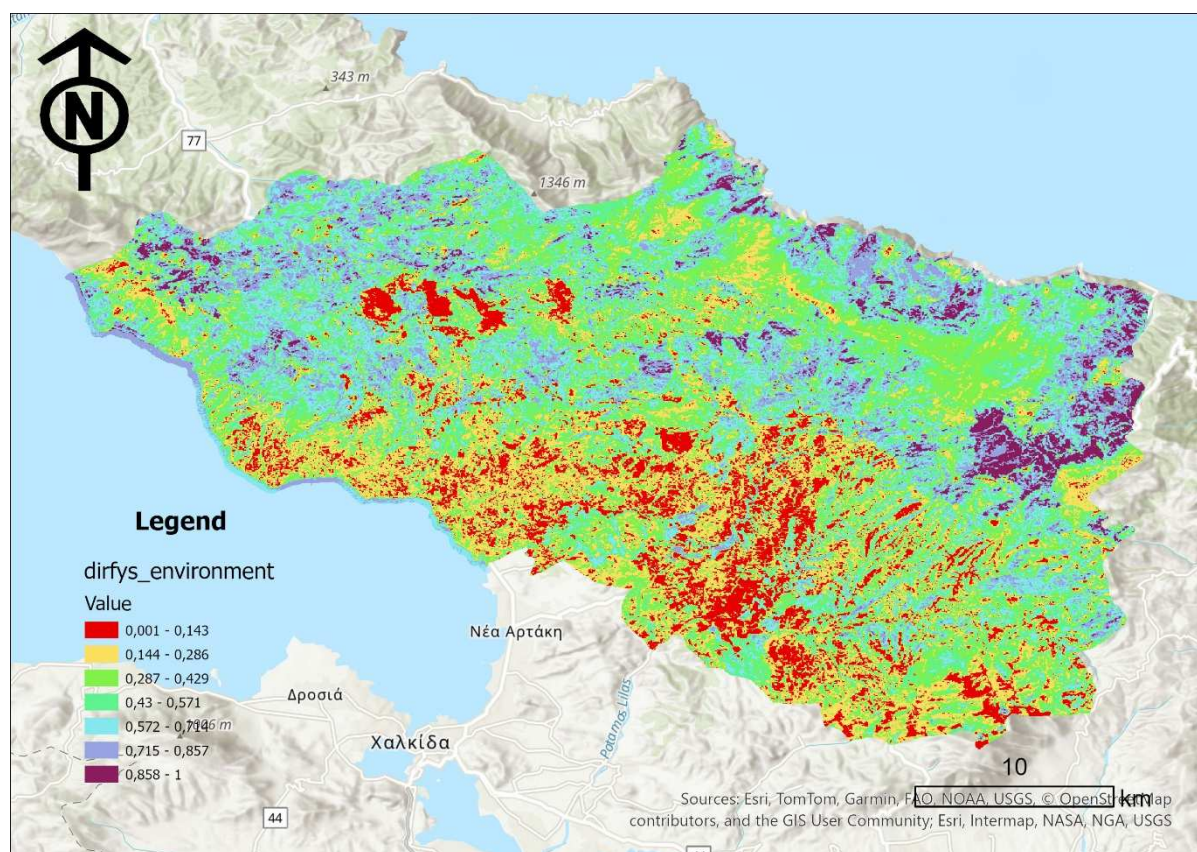
Το αποτέλεσμα περιορίστηκε στο διάστημα 0–1, όπου:

- Η τιμή 0 αντιπροσωπεύει τη δυσμενέστερη σχετική περιβαλλοντική κατάσταση.
- Η τιμή 1 αντιπροσωπεύει την ευνοϊκότερη σχετική περιβαλλοντική κατάσταση.

Οι τιμές του δεν αποτελούν απόλυτη μέτρηση περιβαλλοντικής ποιότητας και δεν μπορούν να μεταφερθούν αυτούσιες σε διαφορετική περιοχή χωρίς νέα κανονικοποίηση.

Ο τελικός χάρτης απεικονίζει την αντιπροσωπευτική κατάσταση της περιόδου 2000–2023 και όχι την κατεύθυνση ή το μέγεθος της διαχρονικής μεταβολής.

Για τη διερεύνηση της μεταβολής απαιτείται χωριστή ανάλυση τάσεων ή σύγκριση διαφορετικών χρονικών υποπεριοδών.



Εικόνα 26 Τελικός συνεχής περιβαλλοντικός δείκτης ENV_SCORE (0–1) για την περίοδο 2000–2023 στον Δήμο Διρφύων–Μεσσαπίων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. (2007). *Official Journal of the European Union*, L 288, 27-34. europa.eu
- Κοινή Υπουργική Απόφαση Η.Π. 31822/1542/E103. (2010). *Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2007/60/ΕΚ*. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 1108/Β/21-07-2010).
- Ευστρατιάδης, Α., & Μαμάσης, Ν. (2011). *Η Οδηγία-Πλαίσιο 2007/60 για την εκτίμηση και τη διαχείριση της πλημμυρικής διακινδύνευσης*. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
<https://www.itia.ntua.gr/el/getfile/763/7/documents/FloodDirective.pdf>
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2017). *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07)*. Ειδική Γραμματεία Υδάτων. https://floods.ypeka.gr/wp-content/uploads/2024/01/II_5_P19_EL07.pdf
- Λέκκας, Ε. (2019). *Φυσικές Καταστροφές*. Εκδόσεις Παπαζήση.
- Diakakis, M. (2011). A flash flood hazard clustering identification method based on geomorphological and hydrological characteristics. *Natural Hazards*, 56(3), 775-791. doi.org
- Μιμίκος, Ν. (2013). *Τεχνική Υδρολογία*. Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Katsetsiadou, K. N., Antoniadis, Z., & Melaki, M. (2017). Effects of forest fires on flash flood generation: A case study in Greece. *Journal of Hydrology*, 544, 356-369. doi.org
- Σκυλοδήμου, Ε. Δ., Μπαθρέλλος, Γ. Δ., & Μαρίνος, Β. (2016). *Ανθρωπογενείς επεμβάσεις στο περιβάλλον και η επίδρασή τους στην εκδήλωση φυσικών καταστροφών*. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Apostolou, M., Evagelopoulou, V., & Voudouris, K. (2021). Hydrological analysis and flood risk assessment in transboundary river basins: The case of Evros River. *Mediterranean Geoscience Reviews*, 3(2), 185-199.
- Karditsa, A., Poulos, S. E., & Ghionis, G. (2022). An insight into the factors controlling delta flood events: The case of the Evros River deltaic plain (NE Aegean Sea). *Water*, 14(3), 497. doi.org
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2024). *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Θράκης (EL12): Χάρτες Επικινδυνότητας και Κινδύνων Πλημμύρας*. Γενική Γραμματεία Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων.
<https://floods.ypeka.gr/>
- Diakakis, M., Andreadakis, E., Nikolopoulos, E. I., Spyrou, N. I., Gogou, M. E., Deligiannakis, G., Katsetsiadou, K. N., Antoniadis, Z., Melaki, M.,

- Georgakopoulos, A., Tsanakas, K., & Lekkas, E. (2019). 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*, 33, 290-309. doi.org
- Diakakis, M., Boufidis, N., Salanova, J. M., Mitsakis, E., Andreadakis, E., & Lekkas, E. (2020). How different surrounding environments influence the characteristics of flash flood-mortality: The case of the 2017 extreme flood in Mandra, Greece. *Journal of Flood Risk Management*, 13(2), e12613. doi.org
 - Lekkas, E., Diakakis, M., Andreadakis, E., Spyrou, N. I., Gogou, M., Katsetsiadou, K. N., Speis, P., Georgakopoulos, A., Nikolopoulos, E., & Deligiannakis, G. (2017). *Flash Flood in West Attica (Mandra, Nea Peramos) November 15, 2017*. Newsletter of Environmental, Disaster, and Crises Management Strategies, 5, ISSN 2653-9454.
https://edcm.edu.gr/images/docs/newsletters/Newsletter201705_Mandra-Floods-eng.pdf
 - Diakakis, M., Deligiannakis, G., & Lekkas, E. (2017). Mapping and classification of direct flood impacts in the complex conditions of an urban environment: The case study of the 2014 flood in Athens, Greece. *Journal of Flood Risk Management*, 10(4), 415-428. doi.org
 - Bathrellos, G. D., Karymbalis, E., Skilodimou, H. D., Gaki-Papanastassiou, K., & Baltas, E. A. (2016). Urban flood hazard assessment in the basin of Athens Metropolitan Area, Greece. *Environmental Earth Sciences*, 75(4), 314-329. doi.org
 - Ασλανίδου, Κ. (2020). *Αστικές πλημμύρες – Ιστορικό και εκτίμηση επικινδυνότητας* (Μεταπτυχιακή Διατριβή, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο). Αποθετήριο Αποθέσις. eap.gr
 - Hinkel, J., Lincke, D., Vafeidis, A. T., Perrette, M., Nicholls, R. J., Tol, R. S., Marzeion, B., Fettweis, X., Ionescu, C., & Levermann, A. (2014). Coastal flood damage and adaptation costs under 21st century sea-level rise. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3292-3297. doi.org
 - Valkanou, K., Karymbalis, E., Tsanakas, K., & Batzakis, D. V. (2024). Coastal flood and erosion risk under climate change: An overview of policies and legislation in Greece and Cyprus. *Marine Policy*, 159, 105942. doi.org
 - Χατζηκωνσταντίνου, Μ., & Τσιμπλής, Μ. (2014). *Παράκτιες πλημμύρες στις ελληνικές ακτές και μετεωρολογική παλίρροια*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Αποθετήριο ΙΚΕΕ. <https://ikee.lib.auth.gr/record/134986>
 - Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2024). *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος (EL06): Τύποι και προέλευση πλημμυρικών υδάτων*. Γενική Γραμματεία Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων. https://floods.ypeka.gr/wp-content/uploads/2024/01/I_1_P03_EL06.pdf

- Alcrudo, F., & Mulet, J. (2007). Description of the Guadiamar river dam-break flood mouth using a two-dimensional finite volume model. *Journal of Hydrology*, 347(1-2), 120-135. doi.org
- Costa, J. E. (1985). *Floods from dam failures* (Open-File Report 85-560). U.S. Geological Survey. usgs.gov
- Παπαδόπουλος, Χ., & Γεωργίου, Π. (2018). Υδραυλική ανάλυση και εκτίμηση κινδύνου από τη θραύση φραγμάτων. Εκδόσεις Κριτική.
- Στάθης, Δ. (2019). *Η πλημμυρογένεση των λεκανών απορροής και η συμβολή των δασοτεχνικών έργων*. Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης. Αποθετήριο ΙΚΕΕ. <https://ikee.lib.auth.gr/record/305780/>
- Mulligan, J., & Albert, S. (2026). Rising lake levels as a distinct flood hazard: Spatial exposure and socioeconomic vulnerability frameworks. *Water*, 18(15), 1887. doi.org
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and river ecosystems* (3rd ed.). Academic Press.
- Θεοδώρου, Α. (2015). *Διαχείριση Λιμναίων και Επιφανειακών Υδάτινων Πόρων*. Εκδόσεις Σταμούλη.
- **DFO (Dartmouth Flood Observatory)**
Brakenridge, G. R. (2026). *Global active flood archive*. Dartmouth Flood Observatory, University of Colorado. <https://floodobservatory.colorado.edu/>
- **EM-DAT (Emergency Events Database)**
Guha-Sapir, D., Below, R., & Hoyois, P. (2026). *EM-DAT: The Emergency Events Database*. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), UCLouvain. <https://www.emdat.be/>
- **FFEM-DB (Database of Flood Fatalities from the Euro-Mediterranean region)**
Petrucchi, O., Diakakis, M., Aceto, L., Inbar, M., Salvati, P., & Zêzere, J. L. (2026). FFEM-DB 2.0: An updated and extended spatio-temporal database of flood fatalities in the Euro-Mediterranean region. *Natural Hazards*, 124(3), 105509. doi.org
- **HANZE (Historical Analysis of Natural Hazards in Europe)**
Paprotny, D., Morales-Nápoles, O., & Jonkman, S. N. (2024). HANZE v2.1: An improved database of flood impacts in Europe, 1870–2020. *Earth System Science Data*, 16(11), 5145-5164. doi.org
- Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. (2007). *Official Journal of the European Union*, L 288, 27-34. europa.eu
- Κοινή Υπουργική Απόφαση Η.Π. 31822/1542/Ε103. (2010). *Καθορισμός μέτρων, όρων και διαδικασιών για την αξιολόγηση και τη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας, σε συμμόρφωση με τις διατάξεις της οδηγίας 2007/60/ΕΚ*. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 1108/Β/21-07-2010).

- Εθνική Επιτροπή Υδάτων. (2018). Έγκριση του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07). Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 2682/Β/06-07-2018). pste.gov.gr
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2025). 1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας Λεκανών Απορροής Ποταμών του ΥΔ Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07): Τεύχος Αναφοράς και Διερεύνηση Κλιματικής Αλλαγής. Γενική Γραμματεία Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων. https://floods.ypeka.gr/wp-content/uploads/2025/05/EL07_SDKP_1st_REV.pdf
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2025). Έγκριση της 1ης Αναθεώρησης του Σχεδίου Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας του ΥΔ Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07). Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 2482/Β/21-05-2025). https://floods.ypeka.gr/wp-content/uploads/2025/05/EL07_FEK_2482_B_2025.pdf
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2026). 1η Αναθεώρηση των Χαρτών Επικινδυνότητας Πλημμύρας και Χαρτών Κινδύνων Πλημμύρας: Ζώνη EL07APSFR005 & EL07APSFR007 (Κάτω και μέσος ρους π. Λήδα, Ψαχνών και Μεσσαπίου Εύβοιας). Διεύθυνση Προστασίας και Διαχείρισης Υδάτινου Περιβάλλοντος. https://floods.ypeka.gr/wp-content/uploads/2026/01/EL07_P23_2025_02_14.pdf
- **NDVI (Δείκτης Βλάστησης)**
Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. doi.org
- **MNDWI (Τροποποιημένος Δείκτης Νερού)**
Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. doi.org
- **LST-C (Θερμοκρασία Επιφάνειας Εδάφους)**
Cook, M., Schott, J. R., Mandel, J., & Raqueno, N. (2014). Development of an operational calibration methodology for the Landsat thermal infrared sensor. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(10), 6141-6155. doi.org
- **NDMI (Δείκτης Υγρασίας Βλάστησης)**
Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266. doi.org (Σημείωση: Στη βιβλιογραφία ο NDMI αναφέρεται συχνά στην αρχική του μορφή ως Gao's NDWI για τα φυτά).
- **NDBI (Δείκτης Δομημένης Επιφάνειας)**
Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 583-594. doi.org

- **BSI (Δείκτης Γυμνού Εδάφους)**
Rikimaru, A., Roy, P. S., & Miyatake, S. (2002). Tropical forest cover density mapping with the Revised Forest Density Monitoring Model. *International Tropical Timber Organization (ITTO) Tropical Forest Update*, 12(4), 8-11.
- Efraimidou, M., Spiliotis, M., & Tsesmelis, D. E. (2024). Assessing watershed vulnerability using composite environmental indices and remote sensing technologies. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(5), 482-498.
- **Μεθοδολογία Σύνθεσης Περιβαλλοντικών Δεικτών με βάση τη Θερμική Απόκριση (LST Correlation):**
Estoque, R. C., & Murayama, Y. (2017). Quantifying the associations between land use/land cover patterns and land surface temperature with a focus on spatial heterogeneity. *Theoretical and Applied Climatology*, 127(3), 623-640. doi.org
- **Εφαρμογή Σύνθετων Περιβαλλοντικών Δεικτών (Composite Environmental Indices) σε GIS:**
Tsesmelis, D. E., Karavitis, C. A., Kalogeropoulos, K., Zervas, G. E., Vasilakou, C. G., Stathopoulos, N., Skondras, N. A., Alexandris, S. G., Chalkias, C., & Kosmas, C. (2021). Development and application of a composite index for environmental vulnerability assessment using remote sensing and GIS. *Sustainability*, 13(16), 9142. doi.org
- Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in GIS: Common ambiguities. *Transactions in GIS*, 4(1), 5-22. doi.org
- Kalogeropoulos, K., Tsatsaris, A., Chalkias, C., & Karavitis, C. A. (2022). Spatial assessment of environmental degradation using composite indices and multi-criteria evaluation techniques. *Environmental Earth Sciences*, 81(14), 365-381.
- Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2012). *Απογραφή Πληθυσμού - Κατοικιών 2011: Μόνιμος Πληθυσμός κατά Περιφερειακή Ενότητα, Δήμο, Δημοτική Ενότητα και Κοινότητα*. ΕΛΣΤΑΤ.
- Ελληνική Στατιστική Αρχή. (2021). *Στατιστική Επετηρίδα της Ελλάδος: Γεωγραφικά και διοικητικά χαρακτηριστικά των Δήμων της Επικράτειας*. ΕΛΣΤΑΤ.
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2023). *Τεχνικό δελτίο δεδομένων (Standard Data Form) για την Ειδική Ζώνη Διατήρησης "Δίρφη: Δάσος Στενής"* (GR2420002). Διεύθυνση Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος και Βιοποικιλότητας. europa.eu
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2023). *Τεχνικό δελτίο δεδομένων (Standard Data Form) για τη Ζώνη Ειδικής Προστασίας "Όρος Καντήλι"* (GR2420010). Διεύθυνση Διαχείρισης Φυσικού Περιβάλλοντος και Βιοποικιλότητας. europa.eu
- Υπουργείο Γεωργίας. (1990). *Ίδρυση καταφυγίου άγριας ζωής στην περιοχή "Αγριλίτσα-Καταβόθρα-Καλαμάκι" του Δήμου Ψαχνών*. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 540/Β/28-08-1990).

- Υπουργείο Γεωργίας. (1998). *Ίδρυση καταφυγίου άγριας ζωής "Γιάμινα" στην περιοχή της Κεντρικής Εύβοιας*. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 1099/Β/08-09-1998).
- Υπουργείο Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων. (1989). *Καθορισμός ζώνης προστασίας και όρων δόμησης στον υδροβιότοπο "Κολοβρέχτης" Εύβοιας*. Εφημερίδα της Κυβερνήσεως (ΦΕΚ 642/Δ/09-10-1989).
- Emberger, L. (1955). Une méthode biogéographique d'action des climats sur la végétation. *Annales Biologiques*, 31(5-6), 249-258. (Η πρωτότυπη μεθοδολογία για το κλιματολογικό διάγραμμα και τον προσδιορισμό του υγρού ορόφου με ήπιο χειμώνα).
- Μαλούπας, Ι., & Ντάφης, Σ. (2012). *Βιοκλιματική χαρτογράφηση και κατάταξη του ελληνικού χώρου*. Εκδόσεις Γαρταγάνης.
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. (2010). *Κλιματικές προδιαγραφές και στατιστικά δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών Στερεάς Ελλάδας και Εύβοιας (Περίοδος αναφοράς 1971–2000)*. Διεύθυνση Κλιματολογίας, ΕΜΥ.
- Μπαλαφούτης, Χ., & Φλόκας, Α. (2004). *Μαθήματα Κλιματολογίας και Μετεωρολογίας*. Εκδόσεις Ζήτη. (Για την τεκμηρίωση των εννοιών της νέφωσης σε όγδοα, της σχετικής υγρασίας και των τύπων κατακρημνίσεων).
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2024). *1η Αναθεώρηση Σχεδίου Διαχείρισης Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07): Τεύχος Κλιματικών και Υδρολογικών Χαρακτηριστικών*. Γενική Γραμματεία Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων.
- Kat things, Ι., & Γεωργίου, Χ. (1984). *Γεωλογικός Χάρτης της Ελλάδος: Φύλλο Ψαχνά (Κλίμακα 1:50.000)*. Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών (ΙΓΜΕ).
- Μουντράκης, Δ. (2010). *Γεωλογία της Ελλάδας* (2η έκδ.). Εκδόσεις University Studio Press. (Για την τεκμηρίωση της δυναμικής των αλλουβιακών αποθέσεων και των οφιολιθικών συμπλεγμάτων στον ελλαδικό χώρο).
- Karymbalis, E., Tsanakas, K., Karalis, S., Greenbaum, N., Mazarakis, V., Batzakis, D. V., & Sorrentino, A. (2025). Geomorphological and lithological controls on flash flood susceptibility: The case of Central Evia watersheds. *Geomorphology*, 472, 109412. doi.org
- Voudouris, K., Panagopoulos, G., & Koumantakis, I. (2010). Hydrogeological characteristics of alluvial aquifers in Central Evia Island, Greece. *Central European Journal of Geosciences*, 2(2), 209-222. doi.org (Ιδανικό για την τεκμηρίωση των άμμων, αργίλων και χαλικιών των αλλουβιακών αποθέσεων της πεδιάδας των Ψαχνών).
- Λέκκας, Ε., Ανδρεαδάκης, Ε., Καπουρνιώτης, Ε., & Σπύρου, Ν. (2020). *Γεωλογικές και μορφοτεκτονικές παρατηρήσεις στη λεκάνη του Μεσσαπίου ποταμού μετά το πλημμυρικό συμβάν «Θάλεια»*. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.

- Κουμαντάκης, Ι. (2006). *Μαθήματα Υδρογεωλογίας: Υπόγεια νερά και γεωλογικοί σχηματισμοί*. Εκδόσεις ΕΜΠ. (Κλασικό σύγγραμμα για την ανάλυση των πρωτογενών και δευτερογενών παραγόντων που ελέγχουν την κίνηση του υπόγειου νερού).
- Μαράτος, Γ. (2012). *Υδρογεωλογία και Υδραυλική Υπογείων Υδάτων*. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Σούλιος, Γ. (2014). *Γενική Υδρογεωλογία* (3η έκδ.). Εκδόσεις University Studio Press. (Ιδανικό για την τεκμηρίωση του υδρολογικού ισοζυγίου: επιφανειακή απορροή, κατείσδυση και εξατμισοδιαπνοή).
- Ντάφης, Σ. (1986). *Δασική Οικολογία*. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη. (Το κλασικό ακαδημαϊκό σύγγραμμα για τη μελέτη των μεσογειακών οικοσυστημάτων, των ζωνών αειφύλλων-σκληροφύλλων και της παραποτάμιας βλάστησης).
- Στεφανίδης, Α., & Σπύρου, Θ. (2015). *Μεσογειακά Θαμνώδη Οικοσυστήματα και Φρύγανα*. Εκδόσεις Κριτική. (Για την τεκμηρίωση της κυριαρχίας των ειδών όπως το πουρνάρι, η κουμαριά και η μυρτιά).
- Strid, A., & Tan, K. (Eds.). (1997). *Flora Hellenica* (Vol. 1). Koeltz Scientific Books. (Η θεμελιώδης διεθνής αναφορά για τον χλωριδικό κατάλογο και τις φυτοκοινωνικές ενώσεις του *Platanus orientalis* και των ειδών *Salix sp.* στην Ελλάδα).
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2018). *Σχέδιο Διαχείρισης Κινδύνων Πλημμύρας των Λεκανών Απορροής Ποταμών του Υδατικού Διαμερίσματος Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας (EL07): Τεύχος Ανάλυσης Χρήσεων Γης CORINE και Δασικών Εκτάσεων*. Γενική Γραμματεία Φυσικού Περιβάλλοντος και Υδάτων. (Ιδανικό για τη στατιστική τεκμηρίωση των ποσοστών δασοκάλυψης 50,8% και 70% στις Δ.Ε. Διρφύων και Μεσσαπίων).
- Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος. (2018). *Δεδομένα Κάλυψης Γης CORINE Land Cover (CLC 2018) για την Περιφερειακή Ενότητα Εύβοιας*. ΕΕΑ.
- Tsesmelis, D. E., Karavitis, C. A., Kalogeropoulos, K., Zervas, G. E., Vasilakou, C. G., Stathopoulos, N., Skondras, N. A., Alexandris, S. G., Chalkias, C., & Kosmas, C. (2021). Development and application of a composite index for environmental vulnerability assessment using remote sensing and GIS. *Sustainability*, 13(16), 9142. doi.org
- Kalogeropoulos, K., Tsatsaris, A., Chalkias, C., & Karavitis, C. A. (2022). Spatial assessment of environmental degradation using composite indices and multi-criteria evaluation techniques. *Environmental Earth Sciences*, 81(14), 365-381.
- Diakakis, M., Deligiannakis, G., Katsetsiadou, K. N., Antoniadis, Z., & Melaki, M. (2017). Effects of forest fires on flash flood generation: A case study in Greece. *Journal of Hydrology*, 544, 356-369. doi.org
- Mazarakis, V., Tsanakas, K., Greenbaum, N., Batzakis, D.-V., Sorrentino, A., Tsodoulos, I., Valkanou, K., & Karymbalis, E. (2025). Flood-hazard

assessment in the Messapios River catchment (Central Evia Island, Greece) by integrating GIS-based multi-criteria decision analysis and analytic hierarchy process. *Land*, 14(3), 658. doi.org

- Lekkas, E. (2020). *The destructive flash flood of August 2020 in Central Evia (Greece): Hydrometeorological analysis, geomorphological effects, and risk management response*. National and Kapodistrian University of Athens.