

# ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΤΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ COPERNICUS

Πατέρα Αναστασία<sup>1\*</sup>, Μπανέλα Μαρίνα<sup>2</sup> και Κίτσιου Δήμητρα<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Μεταδιδακτορική ερευνήτρια, Εργαστήριο Ποιότητας Περιβάλλοντος & Γεωχωρικών Εφαρμογών, Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλασσίων Βιοεπιστημών, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

<sup>2</sup> Υποψήφια Διδάκτωρ, Εργαστήριο Ποιότητας Περιβάλλοντος & Γεωχωρικών Εφαρμογών, Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλασσίων Βιοεπιστημών, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

<sup>3</sup> Αναπληρώτρια Καθηγήτρια, Εργαστήριο Ποιότητας Περιβάλλοντος & Γεωχωρικών Εφαρμογών, Τμήμα Ωκεανογραφίας και Θαλασσίων Βιοεπιστημών, Σχολή Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Μυτιλήνη.

Τηλ: 22510 36826, e-mail : apatera@marine.aegean.gr

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται μία εφαρμογή που συνδυάζει τα Γεωγραφικά Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) και τη Δορυφορική Τηλεπισκόπηση για την αξιολόγηση της κατάστασης του θαλάσσιου ευτροφισμού στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου τα τελευταία δέκα έτη. Λόγω της πολυδιάστατης φύσης του φαινομένου του ευτροφισμού, χρησιμοποιήθηκε ο συνδυασμός τεσσάρων μεταβλητών, χλωροφύλλη α ( $chl\ a$ ,  $\mu g/L$ ), νιτρικά άλατα ( $N-NO_3$ ,  $\mu mol\ N/L$ ), αμμωνιακά άλατα ( $N-NH_4$ ,  $\mu mol\ N/L$ ) και φωσφορικά άλατα ( $P-PO_4$ ,  $\mu mol\ N/L$ ). Ως αποτέλεσμα προέκυψαν (α) οι μηνιαίες χωρικές κατανομές των επιπέδων ευτροφισμού για τα έτη 2012-2021 και (β) οι εποχιακές χωρικές κατανομές οι οποίες περιλαμβάνουν τη θερμή περίοδο (Μάιο-Οκτώβριο) και τη ψυχρή περίοδο του έτους (Νοέμβριο-Απρίλιο) για την ίδια χρονική περίοδο των δέκα ετών.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Θαλάσσιος ευτροφισμός, γεω-επεξεργασία, χωρική ανάλυση, υπέρθεση, ΓΣΠ, Αιγαίο Πέλαγος

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φαινόμενο του θαλάσσιου ευτροφισμού αποτελεί μία φυσική διεργασία κατά την οποία παρατηρείται εμπλουτισμός του θαλασσινού νερού με θρεπτικά στοιχεία. Η διαδικασία αυτή επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως για παράδειγμα η παράκτια ανάδυση βαθιών νερών (coastal upwelling), η επαναιώρηση ιζημάτων και οι ατμοσφαιρικές αποθέσεις των θρεπτικών μέσω κατακρημνίσεων (De Jonge, Elliott and Orive, 2002). Όταν ο εμπλουτισμός των υδάτων με θρεπτικά προέρχεται από ανθρώπινες δραστηριότητες, το φαινόμενο του ευτροφισμού αποτελεί το πιο κοινό περιβαλλοντικό πρόβλημα το οποίο συμβάλει στην υποβάθμιση της ποιότητας των παράκτιων οικοσυστημάτων και του θαλάσσιου περιβάλλοντος αυξάνοντας υπερβολικά το φυτοπλανγκτον και το φυτοβένθος (Karydis and Kitsiou, 2014, 2019; Le Moal *et al.*, 2019). Η διαρκώς αυξανόμενη συγκέντρωση του πληθυσμού στις

παράκτιες περιοχές έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των θρεπτικών εισροών και ως εκ τούτου την άσκηση αυξανόμενης περιβαλλοντικής πίεσης με σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις σε παγκόσμιο επίπεδο (Wurtsbaugh, Paerl and Dodds, 2019). Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη διάφορων μεθοδολογιών (Putri *et al.*, 2021; Xie *et al.*, 2021; Cavalcanti *et al.*, 2022), εργαλείων (Kitsiou *et al.*, 2021) και στρατηγικών για την εκτίμηση των επιπέδων του ευτροφισμού. Η πολυδιάστατη φύση του φαινομένου έχει οδηγήσει στη χρήση συνδυασμού διάφορων μεταβλητών, όπως είναι για παράδειγμα η χλωροφύλλη *a*, το διαλυμένο οξυγόνο, οι συγκεντρώσεις θρεπτικών αλάτων, καθώς επίσης και στην ανάπτυξη κατάλληλων δεικτών για την μελέτη του (Washington, 1984; Karydis, 2009; Primpas and Karydis, 2011; Silva *et al.*, 2012; Fiori *et al.*, 2016; Hershey, Nandan and Vasu, 2020; Antonio-Robles *et al.*, 2021; Cervantes-Duarte *et al.*, 2021; Friedland *et al.*, 2021).

Η τηλεπισκόπηση έχει το πλεονέκτημα της παροχής δεδομένων σε μεγάλες χωρικές κλίμακες με υψηλές χρονικές και χωρικές αναλύσεις. Τα δορυφορικά δεδομένα έχουν χρησιμοποιηθεί κατά το παρελθόν για τη μελέτη του φαινομένου του ευτροφισμού (Alexandridis *et al.*, 2006; Monachou *et al.*, 2014; Moutzouris-Sidiris, Torouzelis and Konstantinidou, 2019)

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η εκτίμηση των επιπέδων ευτροφισμού με αξιοποίηση των δυνατοτήτων που παρέχει η χρήση δορυφορικών δεδομένων και δεδομένων του παγκόσμιου ιστού. Απώτερος στόχος είναι η ανάδειξη της χρησιμότητας αυτών των δεδομένων στην αξιολόγηση της ποιότητας του θαλάσσιου περιβάλλοντος και κατ' επέκταση στην ανάπτυξη στρατηγικών σχετικών με την προστασία του.

## **2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

### **2.1 Δεδομένα**

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η ευρύτερη περιοχή του Βορείου Αιγαίου, όπου εκτιμήθηκαν τα επίπεδα ευτροφισμού (α) ανά μήνα και (β) ανά εποχή για την τελευταία δεκαετία (2012-2021). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων Marine Copernicus για τα έτη 2012-2021 και αποτελούν δεδομένα επιπέδου επεξεργασίας L4 και συγκεκριμένα: δορυφορικές μετρήσεις επιφανειακής χλωροφύλλης *a*, καθώς επίσης και προϊόντα αριθμητικών μοντέλων σχετικών μεταβλητών με τον θαλάσσιο ευτροφισμό (συγκέντρωση αμμωνιακών αλάτων κ.λπ.). Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι μεταβλητές και τα μεταδεδομένα τους.

**Πίνακας 1:** Οι μεταβλητές και τα μεταδεδομένα τους.

Μεταβλητές	Μονάδες	Παρατήρηση/ Μοντέλα	Τύπος προϊόντος	Χρονική Ανάλυση	Χωρική Ανάλυση	Επίπεδο Επεξεργασίας
Επιφανειακή χλωροφύλλη (Chl <i>a</i> )	mg/m <sup>3</sup>	δορυφορική παρατήρηση (πολλαπλοί αισθητήρες)	πολυετή	μέση μηνιαία	1km	Level 4
Νιτρικά άλατα (N-NO <sub>3</sub> )	μmol N/L	αριθμητικά μοντέλα	πολυετή	μέση μηνιαία	4.662 km	Level 4
Αμμωνιακά άλατα (N-NH <sub>4</sub> )	μmol N/L	αριθμητικά μοντέλα	πολυετή	μέση μηνιαία	4.662 km	Level 4
Φωσφορικά άλατα (P-PO <sub>4</sub> )	μmol N/L	αριθμητικά μοντέλα	πολυετή	μέση μηνιαία	4.662 km	Level 4

## 2.2 Μεθοδολογία

Η προεπεξεργασία των δεδομένων είναι απαραίτητη ώστε να είναι εφικτός ο υπολογισμός των μηνιαίων και εποχιακών τιμών ευτροφισμού. Αυτή περιλαμβάνει: α) τη μετατροπή της δομής των δεδομένων από NetCDF (Network Common Data Form) σε ArcGIS Raster, β) τη μετατροπή των δεδομένων σε κοινό σύστημα συντεταγμένων (ΕΓΣΑ'87) και τέλος, γ) τη μετατροπή της χωρικής ανάλυσης των δεδομένων, ώστε να είναι δυνατός ο συνυπολογισμός των μεταβλητών στους τελικούς δείκτες ευτροφισμού. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε μια γεωβάση σε περιβάλλον Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) για τη χρονική περίοδο 2012-2022 που αποτελείται από μέσες μηνιαίες συγκεντρώσεις, χλωροφύλλης *a* (chl *a*, μg/L), νιτρικών αλάτων (N-NO<sub>3</sub>, μmol N/L), αμμωνιακών αλάτων (N-NH<sub>4</sub>, μmol N/L) και φωσφορικών αλάτων (P-PO<sub>4</sub>, μmol N/L). Από τα δεδομένα αυτά υπολογίστηκαν οι μηνιαίες τιμές των μεταβλητών για ολόκληρη τη δεκαετία καθώς επίσης και οι εποχιακές τιμές τους για δύο περιόδους κάθε έτους: (i) τη θερινή περίοδο (Μάιο-Οκτώβριο) και ii) τη χειμερινή περίοδο Νοέμβριο-Απρίλιο. Για να μπορούν να είναι συγκρίσιμες οι μεταβλητές μεταξύ τους χρειάστηκε να γίνει τυποποίηση των τιμών. Για να πραγματοποιηθεί αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι κλίμακες ευτροφισμού των μεταβλητών (Πίνακας 2). Στις τιμές των pixels που αντιστοιχούν στο oligότροφο πεδίο δόθηκε η τιμή 1. Αντίστοιχα, στις τιμές των pixels του ελαφρώς μεσότροφου πεδίου δόθηκε η τιμή 2 κ.ο.κ. Ως αποτέλεσμα όλα τα rasters έχουν τιμές από 1 έως 4.

Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε στις τέσσερις μεταβλητές η μέθοδος της Υπέρθωσης (overlay). Για την ομαδοποίηση των pixels στα τέσσερα επίπεδα ευτροφισμού χρειάστηκε να αναπτυχθεί μία νέα κλίμακα ευτροφισμού. Αυτή προέκυψε με την εξής λογική: όταν η πλειοψηφία των μεταβλητών χαρακτηρίζει ένα pixel σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο ευτροφισμού, τότε το pixel αυτό θα ανήκει στο συγκεκριμένο επίπεδο ευτροφισμού (Πίνακας 3). Στη νέα κλίμακα ευτροφισμού δημιουργήθηκαν και 3 επιπλέον επίπεδα που αντιπροσωπεύουν τις ενδιάμεσες τιμές μεταξύ δύο επιπέδων. Αυτό συνέβη διότι το σύνολο των μεταβλητών που συνδυάστηκαν ήταν ζυγός αριθμός και ως εκ τούτου το άθροισμα των πιθανών τιμών των pixels μπορεί να προκύπτει από ισοβαθμία δύο επιπέδων. Για παράδειγμα, όταν ένα pixel χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς μεσότροφο από τις 2 μεταβλητές, ενώ από τις άλλες δύο

μεταβλητές χαρακτηρίζεται ως ολιγότροφο, τότε το συγκεκριμένο ρixel δεν μπορεί να ανήκει σε κανένα από τα δύο επίπεδα παρά σε ένα ενδιάμεσο. Με τη νέα κλίμακα ευτροφισμού ομαδοποιούνται τα ρixels τόσο των μηνιαίων, όσο και των εποχιακών χωρικών κατανομών.

**Πίνακας 2:** Κλίμακα ευτροφισμού για chl α, N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub> και P-PO<sub>4</sub> (Kitsiou, Coccossis and Karydis, 2002; Simboura, Panayotidis and Parathanassiou, 2005) και η απόδοση κωδικών αριθμών στα επίπεδα ευτροφισμού.

Επίπεδα ευτροφισμού	Chl α (μg/l)	N-NO <sub>3</sub> (μg-at N/L)	N-NH <sub>4</sub> (μg-at N/L)	P-PO <sub>4</sub> (μg-at P/L)	Κωδικός αριθμός
Ολιγότροφο	0 - 0.10	0 - 0.62	0 - 0.55	0 - 0.07	1
Ελαφρώς μεσότροφο	0.10 - 0.60	0.62 - 0.65	0.55 - 1.05	0.07 - 0.14	2
Ισχυρά μεσότροφο	0.60 - 2.21	0.65 - 1.19	1.05 - 2.20	0.14 - 0.68	3
Εύτροφο	2.21<	1.19<	2.20<	0.68<	4

**Πίνακας 3:** Η κλίμακα ευτροφισμού για την κατηγοριοποίηση των τιμών των ρixels των τελικών rasters, η οποία προκύπτει ως αποτέλεσμα του αθροίσματος των τεσσάρων μεταβλητών.

ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΑ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΙΚΑ ΕΠΙΠΕΔΑ

ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ	1				2				3				4				Τιμές ρixels τελικών χαρτών
	ΠΙΘΑΝΕΣ ΤΙΜΕΣ ΤΩΝ ΡΙΧΕΛ																
ΟΛΙΓΟΤΡΟΦΟ ΠΕΔΙΟ	1				1				1				1				4
	1				1				1				2				5
ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΠΕΔΙΟ	1				1				2				2				6
ΕΛΑΦΡΩΣ ΜΕΣΟΤΡΟΦΟ ΠΕΔΙΟ	1				2				2				2				7
	2				2				2				2				8
	2				2				2				3				9
ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΠΕΔΙΟ	2				2				3				3				10
ΙΣΧΥΡΑ ΜΕΣΟΤΡΟΦΟ	2				3				3				3				11
	3				3				3				3				12
	3				3				3				4				13
ΕΝΔΙΑΜΕΣΟ ΠΕΔΙΟ	3				3				4				4				14
ΕΥΤΡΟΦΟ ΠΕΔΙΟ	3				4				4				4				15
	4				4				4				4				16

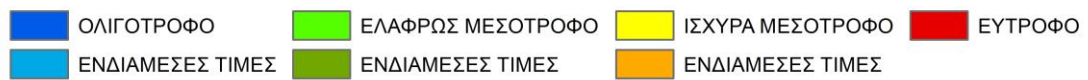
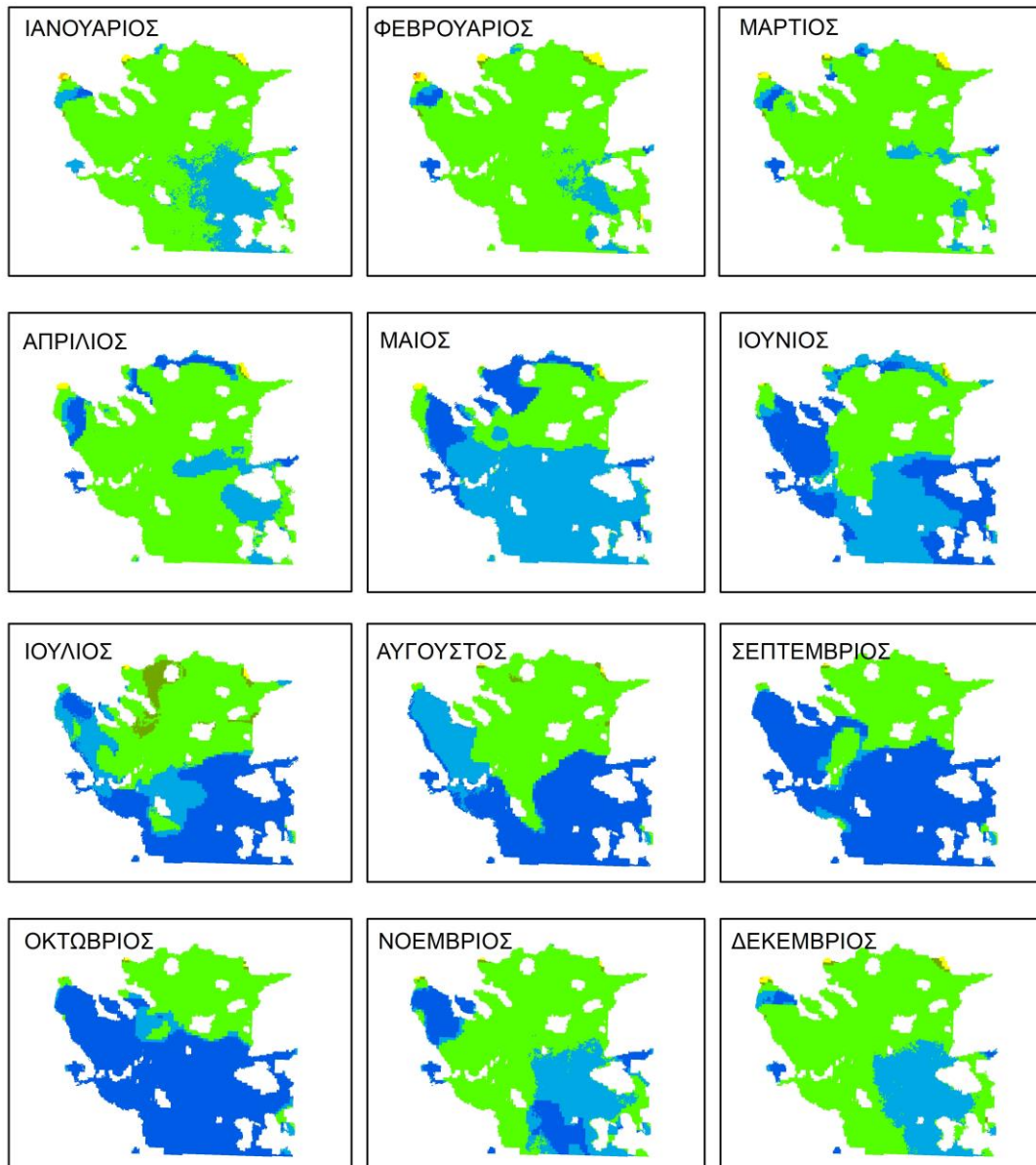
### 3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζονται οι μηνιαίες τιμές των επιπέδων ευτροφισμού στην ευρύτερη περιοχή του Βορείου Αιγαίου για το έτος 2021, όπως προέκυψαν από την προτεινόμενη μεθοδολογία.

Οι μηνιαίες χωρικές κατανομές έδειξαν μία περιοδική εναλλαγή των επιπέδων ευτροφισμού κατά την οποία τους χειμερινούς μήνες (Νοέμβριο – Δεκέμβριο) το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς μεσότροφο, το οποίο αυξάνεται σε έκταση από τον Ιανουάριο έως τον Μάρτιο όπου παρατηρείται και η μέγιστη έκταση του. Κατά τους μήνες Ιανουάριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο παρατηρούνται κάποιες μικρές περιοχές στον Θερμαϊκό Κόλπο, στον Στρυμονικό Κόλπο και στο Δέλτα του Έβρου οι οποίες χαρακτηρίζονται ως ισχυρά μεσότροφες, ενώ δεν παρατηρήθηκαν εύτροφες περιοχές. Τους θερμότερους μήνες του έτους (Μάιο – Οκτώβριο) η ευρύτερη θαλάσσια περιοχή των Σποράδων που βρίσκεται στο κέντρο της περιοχής μελέτης έως και τις νοτιότερες περιοχές της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως ολιγότροφη ενώ η θαλάσσια περιοχή από την ανατολική Χαλκιδική έως τις παράκτιες περιοχές του Έβρου χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς μεσότροφη. Το φαινόμενο της περιοδικότητας παρατηρήθηκε σε όλα τα έτη, ενδεικτικά στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται οι μηνιαίες χωρικές κατανομές του έτους 2021 (Εικόνα 1).

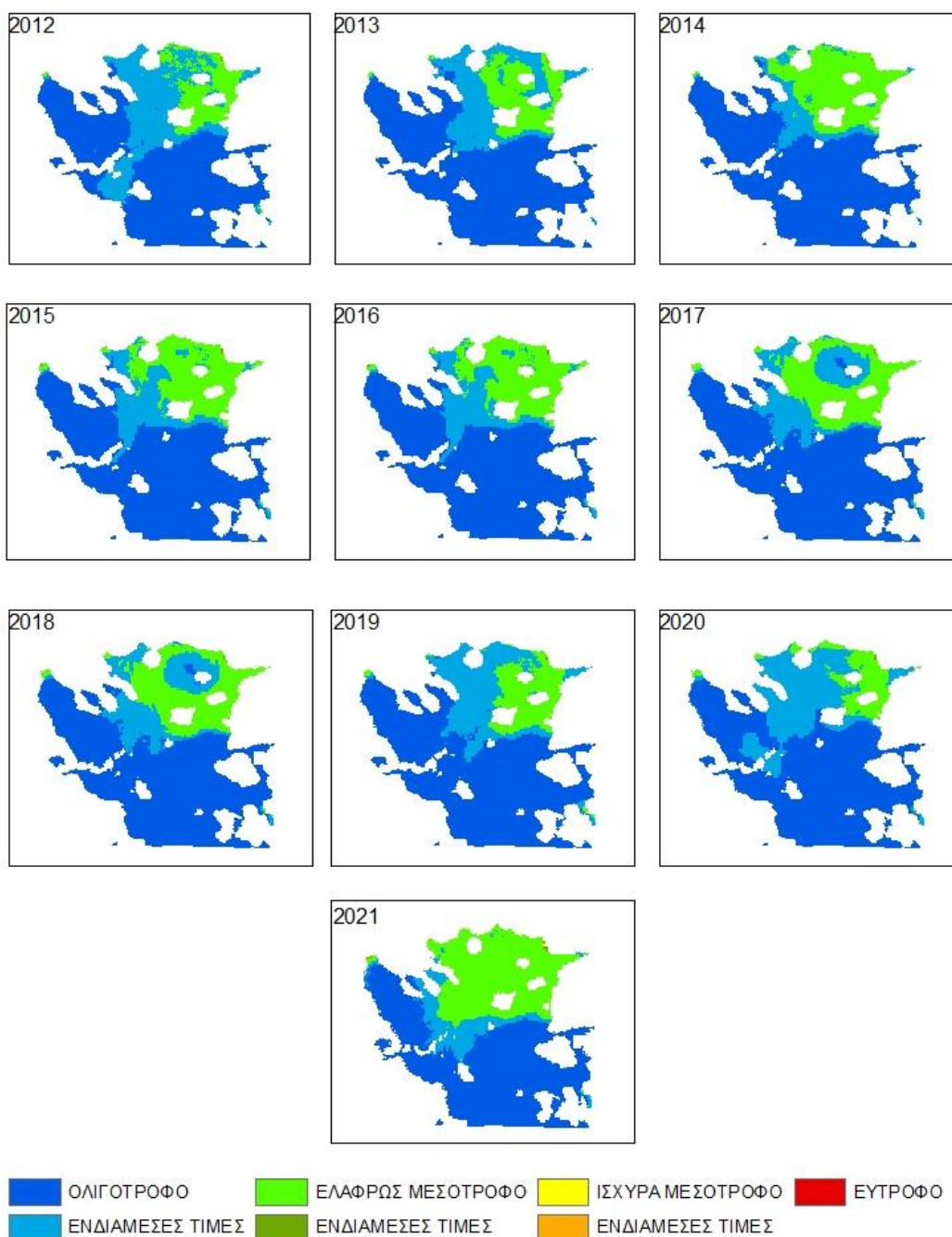
Στις Εικόνες 2 και 3 παρουσιάζονται οι εποχιακές τιμές των επιπέδων ευτροφισμού για τα έτη 2012 – 2020. Οι εποχιακές κατανομές παρουσιάζουν μία διακύμανση της χωρικής κατανομής των επιπέδων ευτροφισμού από έτος σε έτος. Τις θερμές περιόδους το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως ολιγότροφο ενώ βορειο-ανατολικά της περιοχής μελέτης, στη θαλάσσια περιοχή που εκτείνεται από την ανατολική Χαλκιδική έως τις ακτές της Τουρκίας και τον Έβρο, χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς μεσότροφο. Τα έτη 2014, 2015 και 2021 η ελαφρώς μεσότροφη περιοχή καταλαμβάνει τη μεγαλύτερη έκταση ενώ το έτος 2021 καλύπτει σχεδόν τη μισή θαλάσσια περιοχή της περιοχής μελέτης. Τις ψυχρές περιόδους το βόρειο τμήμα του Βορείου Αιγαίου χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς μεσότροφο με εξαίρεση την ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού Κόλπου και δυτικά της Χαλκιδικής που χαρακτηρίζεται ως ολιγότροφο, ενώ οι νότιες περιοχές χαρακτηρίζονται επίσης ως ολιγότροφες. Εξαίρεση αποτελούν οι ψυχρές περίοδοι 2014-2015 και 2018-2019 όπου το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής μελέτης χαρακτηρίζεται ως ελαφρώς μεσότροφο, εκτός από την ευρύτερη περιοχή του Θερμαϊκού κόλπου.

## ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ



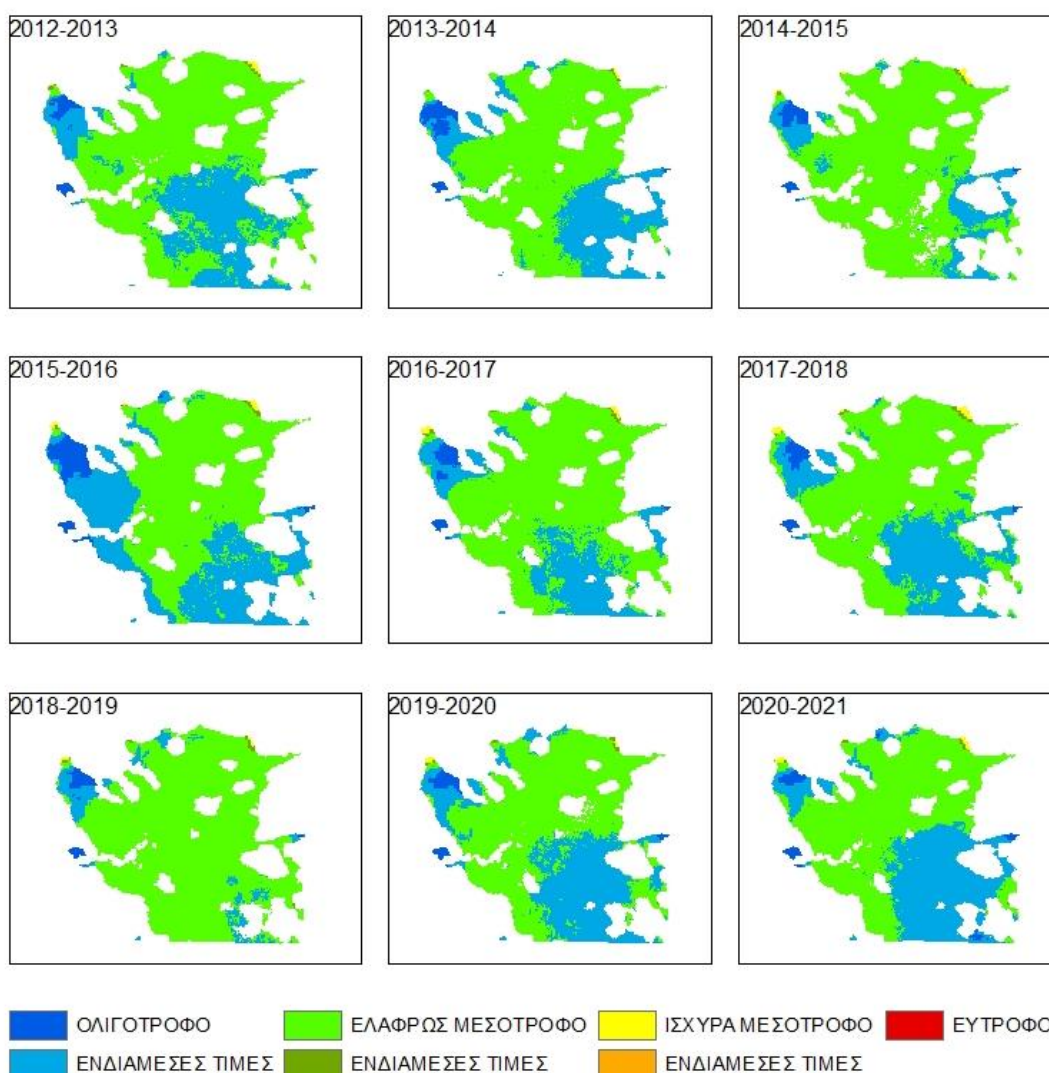
**Εικόνα 1.** Απεικόνιση των επιπέδων ευτροφισμού για τους μήνες Ιανουάριο – Δεκέμβριο του 2021 στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου.

## ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ - ΘΕΡΜΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



**Εικόνα 2.** Απεικόνιση των εποχιακών επιπέδων ευτροφισμού για τη θερμή περίοδο του έτους η οποία περιλαμβάνει τους μήνες Μάιο - Οκτώβριο στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου (2012-2021).

## ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΥΤΡΟΦΙΣΜΟΥ - ΨΥΧΡΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ



**Εικόνα 3.** Απεικόνιση των εποχιακών επιπέδων ευτροφισμού για την ψυχρή περίοδο του έτους η οποία περιλαμβάνει τους μήνες Νοέμβριο - Απρίλιο στην περιοχή του Βορείου Αιγαίου (2012 – 2021).

### 4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αξιολόγηση της ποιότητας του θαλασσινού νερού είναι μείζονος σημασίας και αποτελεί προϋπόθεση για τη λήψη αποφάσεων και τη διαχείριση των θαλάσσιων περιοχών και της παράκτιας ζώνης. Σε αυτό το πλαίσιο, οι θεματικοί χάρτες στους οποίους οπτικοποιούνται οι χωρικές κατανομές των επιπέδων ευτροφισμού, αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμοι καθώς οριοθετούν με σαφήνεια τα διάφορα επίπεδα ευτροφισμού. Η μελέτη της εποχικότητας του φαινομένου του ευτροφισμού θα πρέπει να συνυπολογίζεται στη χάραξη πολιτικών ώστε να επιτυγχάνεται η αιφορική διαχείριση των θαλάσσιων περιοχών.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία είχε σαν αποτέλεσμα τόσο τις μηνιαίες χωρικές κατανομές των επιπέδων ευτροφισμού όσο και των εποχιακών για τα τελευταία 10 έτη. Η εκτίμηση των επιπέδων ευτροφισμού στη θαλάσσια περιοχή, βασίστηκε στα πλεονεκτήματα που παρέχει ο συνδυασμός των Γεωγραφικών Συστημάτων

Πληροφοριών και της τηλεπισκόπησης. Αναδεικνύει τη δυνατότητα συλλογής, αποθήκευσης, επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων μεγάλης χωρικής και χρονικής κλίμακας με σκοπό τη χρήση τους σε θέματα προστασίας του θαλάσσιου περιβάλλοντος. Στην κατεύθυνση αυτή συμβάλει η ραγδαία εξέλιξη της τηλεπισκόπησης καθώς και η δωρεάν διάθεση δορυφορικών δεδομένων και άλλων σχετικών προϊόντων στην επιστημονική κοινότητα. Η μελλοντική έρευνα περιλαμβάνει την ενσωμάτωση της μεθοδολογίας σε περιβάλλον webGIS και την οπτικοποίηση των χωρικών κατανομών των επιπέδων ευτροφισμού σε ένα διαδικτυακό περιβάλλον μέσω φιλικής διεπιφάνειας, ώστε να είναι προσβάσιμα τα αποτελέσματα από μεγάλο αριθμό χρηστών. Ως εκ τούτου μία μεγάλη ομάδα ανθρώπων, επιστήμονες, τοπικές αρχές, υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων και διαχείριση καθώς και άλλες εμπλεκόμενες ομάδες θα μπορούν να έχουν πρόσβαση σε υψηλής ανάλυσης χωρικά δεδομένα, εύκολα κατανοήσιμα ώστε να έχουν τη δυνατότητα να αξιολογούν το φαινόμενο του ευτροφισμού για συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η παρούσα έρευνα χρηματοδοτείται από την Ερευνητική Υποδομή [e- Aegean R&DNetwork], που υλοποιείται στο πλαίσιο της Πράξης «Περιφερειακή Αριστεία» του Προγράμματος «Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα και Καινοτομία». Η Πράξη συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) και το Ελληνικό Κράτος (ΕΣΠΑ 2014-2020).

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

Alexandridis, T. *et al.* 2006. 'Remotely sensed baseline data for monitoring the protected wetland of delta Axios-Loudias-Aliakmonas', in *Fresenius Environmental Bulletin*.

Antonio-Robles, J. *et al.* 2021. 'Environmental assessment of three different sites in shallow environments of La Paz Bay (Gulf of California) using the TRIX index and macroalgae biomass. Part I', *Regional Studies in Marine Science*. doi: 10.1016/j.rsma.2021.102041.

Cavalcanti, L. F. *et al.* 2022. 'Application of multiple indices to the evaluation of trophic and ecological status in a tropical macrotidal estuary (Equatorial Margin, Brazil)', *Chemistry and Ecology*, pp. 1–23. doi: 10.1080/02757540.2021.2023509.

Cervantes-Duarte, R. *et al.* 2021. 'Interannual variability in the trophic status and water quality of Bahía Magdalena, Mexico, during the 2015–2018 period: TRIX', *Regional Studies in Marine Science*. doi: 10.1016/j.rsma.2021.101638.

Fiori, E. *et al.* 2016. 'Observed and simulated trophic index (TRIX) values for the Adriatic Sea basin', *Natural Hazards and Earth System Sciences*. doi: 10.5194/nhess-16-2043-2016.

Friedland, R. *et al.* 2021. 'Effects of Nutrient Management Scenarios on Marine Eutrophication Indicators: A Pan-European, Multi-Model Assessment in Support of the Marine Strategy Framework Directive', *Frontiers in Marine Science*, 8(March), pp. 1–22. doi: 10.3389/fmars.2021.596126.

Hershey, N. R., Nandan, S. B. and Vasu, K. N. 2020. 'Trophic status and nutrient regime of Cochin estuarine system, India', *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*.

De Jonge, V. N., Elliott, M. and Orive, E. 2002. 'Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: Eutrophication', *Hydrobiologia*. doi: 10.1023/A:1020366418295.

Karydis, M. 2009. 'Eutrophication Assessment of Coastal Waters Based on Indicators : a Literature Review', *Global NEST Journal*, 11(4), pp. 373–390.

Karydis, M. and Kitsiou, D. 2014. 'Eutrophication in the european regional seas: A review on impacts, assessment and policy', in *Phytoplankton: Biology, Classification and Environmental Impacts*.

Karydis, M. and Kitsiou, D. 2019. *Marine Eutrophication A Global Perspective, Marine Eutrophication A Global Perspective*. doi: 10.1201/9781351253048.

Kitsiou, D. *et al.* 2021. 'A webgis application to assess seawater quality: A case study in a coastal area in the northern aegean sea', *Journal of Marine Science and Engineering*. doi: 10.3390/jmse9010033.

Kitsiou, D., Coccossis, H. and Karydis, M. 2002. 'Multi-dimensional evaluation and ranking of coastal areas using GIS and multiple criteria choice methods.', *The Science of the total environment*, 284(1–3), pp. 1–17. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11846155>.

Le Moal, M. *et al.* 2019. 'Eutrophication: A new wine in an old bottle?', *Science of the Total Environment*. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.139.

Monachou, S. *et al.* 2014. 'Remotely sensed time series of chlorophyll- $\alpha$ , total suspended matter and sea surface temperature for monitoring water quality of thermaikos gulf (Greece)', *Fresenius Environmental Bulletin*.

Moutzouris-Sidiris, I., Topouzelis, K. and Konstantinidou, E. E. 2019. 'Assessment of chlorophyll-a concentration derived from Sentinel-3 satellite images using open source data', in. doi: 10.1117/12.2535591.

Primpas, I. and Karydis, M. 2011. 'Scaling the trophic index (TRIX) in oligotrophic marine environments', *Environmental Monitoring and Assessment*. doi: 10.1007/s10661-010-1687-x.

Putri, B. *et al.* 2021. 'Nutrients Distribution and Trophic Status Classification in Coastal

Waters of Pulau Pasaran, Lampung', in *Proceedings of the International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019)*. doi: 10.2991/aer.k.210603.019.

Silva, C. *et al.* 2012. 'Assessing a bioremediation strategy in a shallow coastal system affected by a fish farm culture - Application of GIS and shellfish dynamic models in the Rio San Pedro, SW Spain', *Marine Pollution Bulletin*. doi: 10.1016/j.marpolbul.2012.01.019.

Simboura, N., Panayotidis, P. and Papathanassiou, E. 2005. 'A synthesis of the biological quality elements for the implementation of the European Water Framework Directive in the Mediterranean ecoregion: The case of Saronikos Gulf', *Ecological Indicators*, 5(3), pp. 253–266. doi: 10.1016/j.ecolind.2005.03.006.

Washington, H. G. 1984. 'Diversity, biotic and similarity indices', *Water Research*, 18(6), pp. 653–694. doi: 10.1016/0043-1354(84)90164-7.

Wurtsbaugh, W. A., Paerl, H. W. and Dodds, W. K. 2019. 'Nutrients, eutrophication and harmful algal blooms along the freshwater to marine continuum', *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. doi: 10.1002/wat2.1373.

Xie, L. *et al.* 2021. 'Regime shifts in trophic status and regional nutrient criteria for the Bohai Bay, China', *Marine Pollution Bulletin*. doi: 10.1016/j.marpolbul.2021.112674.