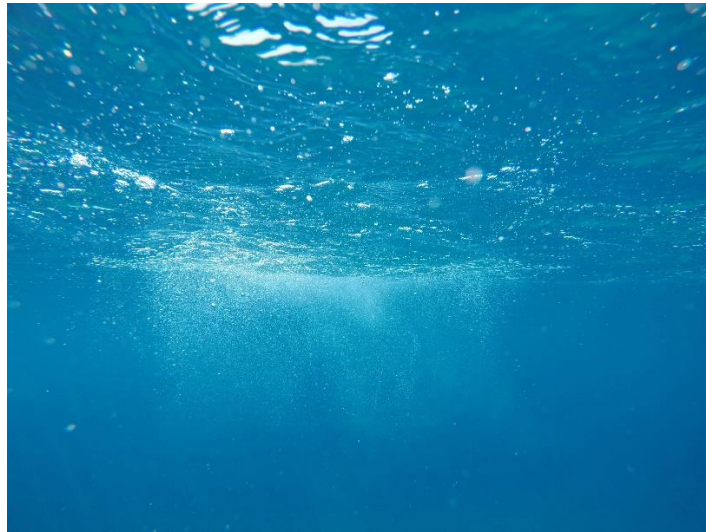


**Συσχέτιση φαινολογίας φυτοπλαγκτού με την ποσότητα  
αλίευσης μικρών πελαγικών ιχθύων (γαύρου και σαρδέλας)  
στη Μεσόγειο Θάλασσα με έμφαση τα ελληνικά ύδατα**



**Σχολή Θετικών Επιστημών**

**Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος**

**ΕΚΠΑ**

**ΔΠΜΣ Ωκεανογραφίας και Διαχείρισης Θαλάσσιου  
Περιβάλλοντος**

**Κατεύθυνση: Βιολογική Ωκεανογραφία**

**Πανταζή Βυρωνία**

**ΑΜ: 21801**

**Τριμελής επιτροπή**

**Διονύσιος Ε. Ραΐτσος, (Αναπληρωτής Καθηγητής Θαλάσσιας  
Βιολογίας-ΕΚΠΑ), Επιβλέπων**

**Ευάγγελος Τζανάτος, (Επίκουρος Καθηγητής Βιολογίας Ζώων -  
Πανεπιστήμιο Πατρών)**

**Περσεφόνη Μεγαλοφώνου, (Καθηγήτρια Ιχθυολογίας-ΕΚΠΑ)**

**ΑΘΗΝΑ, 2024**

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Μετά από τρία χρόνια προσπάθειας ολοκληρώνεται η εργασία που είχα αναλάβει για τις ανάγκες περάτωσης του ΔΠΜΣ Ωκεανογραφίας και θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους καθηγητές μου που ήταν υπεύθυνοι και με βοήθησαν με τις συμβουλές, την καθοδήγηση και τις προτροπές τους, καθώς επίσης και την οικογένεια μου και τους φίλους μου για τη στήριξη και την πίστη τους σε έμένα.

## ACKNOWLEDGEMENTS

After three years of effort, my thesis for Master Degree in Oceanography is accomplished, so I would like to express my gratitude to my tutors for their support, guidance and useful advice. Moreover, I would like to thank my family and friends for their understanding and belief in my work.



## Περιεχόμενα

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....              | 6  |
| ABSTRACT .....              | 8  |
| 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....            | 9  |
| 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ ..... | 13 |
| 3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....         | 17 |
| 4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ .....            | 30 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....          | 39 |
| ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ.....   | 50 |



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι γνωστό ότι σε ολιγοτροφικά οικοσυστήματα όπως αυτά της Μεσογείου Θάλασσας η διαθεσιμότητα των θρεπτικών ουσιών είναι περιορισμένη και εμφανίζει τοπικές και χρονικές εξάρσεις. Κάτι τέτοιο αποτελεί το βασικό παράγοντα διαμόρφωσης των τροφικών σχέσεων και επηρεάζει την ανάπτυξη των ειδών στα ανώτερα τροφικά επίπεδα. Ειδικότερα, οι πληθυσμοί των μικρών πελαγικών ιχθύων φαίνεται να κυριαρχούν αριθμητικά και να αποτελούν πολύ διαδεδομένες ομάδες, επειδή τρέφονται με πλαγκτόν και εξαρτώνται πιο άμεσα από την πρωτογενή παραγωγικότητα. Με κεντρικό άξονα όλα τα παραπάνω σε αυτή την εργασία διερευνάται η σχέση ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης *a* και τη βιομάζα των μικρών πελαγικών ιχθύων *Engraulis encrasicolus* (γαύρος) και *Sardina pilchardus* (σαρδέλα) στα ελληνικά ύδατα. Με γνώμονα να αποδειχθεί εάν η αφθονία του φυτοπλαγκτού μπορεί να επηρεάσει άμεσα τους πληθυσμούς του γαύρου και της σαρδέλας, αρχικά μελετώνται περιβαλλοντικοί παράγοντες που διαμορφώνουν τη συγκέντρωση χλωροφύλλης *a* και πιο συγκεκριμένα η επιφανειακή θερμοκρασία των υδάτων, ο ρυθμός βροχόπτωσης και η ταχύτητα του ανέμου. Από τα αποτελέσματα που υποδεικνύουν ότι υπάρχει θετική συσχέτιση της χλωροφύλλης *a* με τη βροχόπτωση και την ταχύτητα ανέμου και αρνητική με τη θερμοκρασία, δίνεται έμφαση στις σχέσεις μεταξύ της συγκέντρωσής της και της βιομάζας των ιχθύων. Με στόχο να διερευνηθεί η σχέση ανάμεσα τους έγιναν πολλές αναλύσεις ώστε να δειχθεί αν υπάρχει κάποια άμεση συσχέτιση που να συνδέει τις δύο αυτές μεταβλητές. Από το σύνολο των αναλύσεων έγινε εμφανές ότι τα δεδομένα που ήταν διαθέσιμα δεν ήταν ικανά να οδηγήσουν σε ένα καθοριστικό συμπέρασμα για το αν επηρεάζει η χλωροφύλλη *a* τα δύο είδη ξεχωριστά στη διαμόρφωση της αφθονίας και της δυναμικής των πληθυσμών τους. Ωστόσο, οι συσχετίσεις έδειξαν πως η αναλογία γαύρου/σαρδέλας βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση από τη χλωροφύλλη *a*, άρα και την ποσότητα τροφής. Ειδικότερα, στο Αιγαίο Πέλαγος όπου η αλιεία αυτών των ειδών είναι πολύ διαδεδομένη φαίνεται πως η ταυτόχρονη παρουσία τους είναι ένα γεγονός που μπορεί να ακολουθεί τη διακύμανση της χλωροφύλλης *a* παρόλο που οι περίοδοι αναπαραγωγής τους δε συγχρονίζονται. Συνακόλουθα, ο δείκτης αυτός ενδείκνυται να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω για να παρουσιασθούν οι τροφικές σχέσεις που διαμορφώνονται μεταξύ φυτοπλαγκτού και μικρών πελαγικών ιχθύων, να προβλεφθεί η αφθονία του ιχθυοαποθέματος, να δείξει τη μεταβολή που μπορεί να προκληθεί μέσα από την

κλιματική αλλαγή και τις συνέπειες που αυτή είναι πιθανό να επιφέρει στη ροή της ενέργειας μέσα στις τροφικές αλυσίδες.

Λέξεις κλειδιά: συγκέντρωση χλωροφύλλης α, αναλογία ιχθύων, επιφανειακή θερμοκρασία, βροχόπτωση, ταχύτητα ανέμου.

## ABSTRACT

In oligotrophic systems, nutrients abundance can be an important factor shaping trophic chains and determining species presence, because it is temporally and spatially limited. Especially in the Mediterranean Sea, small pelagic fish are dominant species due to their trophic habits which are based on plankton. So, they are directly affected by primary production as they prey on planktonic populations. The aim of this work is to attempt to estimate a possible relationship between chlorophyll a concentration and fish biomass of the small pelagic species *Engraulis encrasicolus* (European anchovy) and *Sardina pilchardus* (European pilchard) in Greek waters. Specifically, it is examined whether phytoplankton abundance affects directly anchovy and sardine populations. Firstly, environmental factors that influence chlorophyll a concentration, such as sea surface temperature, precipitation rate and wind speed, are studied. The results have shown a positive correlation of chlorophyll a with precipitation rate and wind speed, but there is a negative one with temperature. From the examination of chlorophyll a and fish abundance correlations, it appears that available data are not sufficient to make definitive conclusions, as most correlation values were not statistically significant. However, the variance of chlorophyll a concentration was found to be related to the anchovy/sardine abundance ratio, especially in the Aegean Sea. This is expected, since these populations are clearly interacting and their abundance is determined both by environmental and economic factors. The outcome of this study calls for further research of the relationship between chlorophyll a and fish abundance ratio in order to comprehend fish stock fluctuations and the influence of climate change on the abundance of marine populations.

Keywords: chlorophyll a concentration, fish ratio, sea surface temperature, precipitation rate, wind speed.



## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φυτοπλαγκτόν αποτελεί τη βάση της τροφικής πυραμίδας στα υδάτινα οικοσυστήματα και παράλληλα ευθύνεται για περισσότερο από το 50% της πρωτογενούς παραγωγικότητας του πλανήτη (Field *et al.*, 1998). Οι μακροπρόθεσμες μεταβολές της πρωτογενούς παραγωγικότητας στον ωκεανό είναι ικανές να επηρεάσουν τη δομή στις τροφικές αλυσίδες και τη ροή στον κύκλο του άνθρακα (Gregg *et al.*, 2003). Σε δεύτερο επίπεδο, το φυτοπλαγκτόν είναι ικανό να επηρεάζει την αφθονία στους πληθυσμούς των ιχθύων και μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στην πρόβλεψη των αποθεμάτων τους (Pauly & Christensen, 1995). Αναλυτικότερα, η αφθονία του φυτοπλαγκτού είναι ένας από του κύριους παράγοντες που θα διαμορφώσει την ποσότητα της τροφής που είναι διαθέσιμη για τα ανώτερα τροφικά επίπεδα. Άρα, όσο αυξάνεται η ποσότητά του, μπορεί να αυξηθεί και η βιομάζα των καταναλωτών του και ακολουθώντας τη ροή των τροφικών αλυσίδων, αυτό να αντικατοπτριστεί και στους πληθυσμούς των ιχθύων.

Για να μετρηθεί με κάποιο τρόπο η ποσότητα του φυτοπλαγκτού και κατά επέκταση η πρωτογενής παραγωγικότητα, ο κυριότερος δείκτης που χρησιμοποιείται ως ένδειξη της αφθονίας του φυτοπλαγκτού και τον προσδιορισμό του «χρώματος του ωκεανού» (ocean color), είναι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α. Η χλωροφύλλη α αποτελεί την χρωστική ουσία που εμπλέκεται στη φωτοσύνθεση, και άρα σχετίζεται άμεσα τόσο με τους υδρόβιους φυτικούς οργανισμούς, όσο και με την πρωτογενή παραγωγικότητα. Αυτός ο δείκτης ανήκει σε μία ομάδα βιογεωχημικών μεταβλητών που καλούνται «Θεμελιώδεις Κλιματικές Μεταβλητές» (Essential Climate Variables) και χρησιμοποιούνται για την έρευνα και παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής σε χερσαία και υδάτινα περιβάλλοντα από τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό (Bojinski *et al.*, 2014).

Επομένως, η διαμόρφωση των ιχθυοπληθυσμών δυνητικά θα επηρεαστεί από την ποσότητα του φυτοπλαγκτού και τη ροή ενέργειας κατά μήκος των τροφικών αλυσίδων. Παράδειγμα αποτελούν τα μικρά πελαγικά είδη, όπως ο γαύρος (*Engraulis encrasicolus*) και η σαρδέλα (*Sardina pilchardus*), τα οποία βρίσκονται σε χαμηλότερα επίπεδα της τροφικής πυραμίδας και έτσι η εξάρτησή τους από το φυτοπλαγκτόν είναι πιο άμεση. Πιο συγκεκριμένα, τα είδη αυτής της κατηγορίας αποτελούν τον ενδιάμεσο κρίκο των τροφικών αλυσίδων, αφού είναι οι θηρευτές του ζωοπλαγκτού και τρέφονται

και με φυτοπλαγκτό, ενώ αποτελούν λεία οργανισμών των ανώτερων τροφικών επιπέδων (Rice 1995, Bakun 1996). Αυτό υποθέτει την ύπαρξη μίας σχέσης ελέγχου που ασκούν τα μικρά πελαγικά είδη και προς τις δύο κατευθύνσεις της τροφικής πυραμίδας και αποδεικνύει τη σημασία τους στην είσοδο της ενέργειας στα ανώτερα τροφικά επίπεδα (Garrido & Van der Lingen, 2014). Η αφθονία των πληθυσμών τους, ωστόσο, επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό και από άλλους ωκεανογραφικούς παράγοντες πέρα από τη συγκέντρωση χλωροφύλλης α, όπως η θερμοκρασία και η αλατότητα, και για αυτό το λόγο οι διακυμάνσεις τους αποτελούν χρήσιμους βιοδείκτες για τις κλιματικές μεταβολές (Fernandez *et al.*, 2021).

Ειδικότερα, τα δύο αυτά είδη παρουσιάζουν μεγάλη αφθονία στα πελαγικά οικοσυστήματα και έχουν ιδιαίτερη εμπορική αξία σε περιοχές όπως η Μεσόγειος Θάλασσα. Η παρουσία τους αποτελεί βασικό αντικείμενο μελέτης και κατά κύριο λόγο γίνεται προσπάθεια να προσδιοριστεί ένα μοτίβο που να εξηγεί τις εναλλαγές εμφάνισής τους ή και το συγχρονισμό τους. Η κυριαρχία του ενός είδους στο άλλο εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, γεγονός που καθιστά δύσκολο το σχεδιασμό προγνωστικών μοντέλων για την εμφάνισή τους. Ωστόσο, η παρουσία τους συγχρονίζεται σε περιόδους που συντελούνται μεγάλης κλίμακας περιβαλλοντικά φαινόμενα τα οποία μπορεί να εξασφαλίζουν υψηλή διαθεσιμότητα τροφής (Schwing *et al.*, 2010).

Στη Μεσόγειο, παρόλο που τα δύο αυτά είδη αλιεύονται επί σειρά ετών, η διακύμανση των πληθυσμών τους φαίνεται να είναι πολλές φορές δύσκολο να προβλεφθεί σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα. Κάτι τέτοιο ίσως συμβαίνει επειδή επηρεάζονται άμεσα από απότομες μεταβολές σε περιβαλλοντικούς, αλλά και ανθρωπογενείς παράγοντες. Ωστόσο, σε γενικές γραμμές ισχύει ότι η επιτυχία στρατολόγησης των νεαρών ατόμων διαμορφώνεται από ανοδικά ρεύματα (upwellings). Ταυτόχρονα, φαινόμενα μεταβολών μεσαίας κλίμακας καθορίζουν τη μεταφορά των αυγών και των ιχθυδίων μακριά από τις ακτές (Santos *et al.*, 2004, Lafuente *et al.*, 2005). Επίσης, οι παράκτιες περιοχές χαρακτηρίζονται από εισροή γλυκών υδάτων με υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών, αυξημένη σταθερότητα στα ανώτερα στρώματα του νερού και ρυθμό ανάμειξης των υδάτων πάντα υψηλότερο από την τιμή αναφοράς της κάθε περιοχής. Αυτό οδηγεί στον εμπλουτισμό των υδάτων με θρεπτικά που διατηρούνται σε υψηλές συγκεντρώσεις και είναι ικανά να εξασφαλίσουν την ανάπτυξη των οργανισμών (Agostini & Bakun, 2002).

Όλες αυτές οι παράμετροι φαίνεται να συντελούν στη συνύπαρξη των δύο ειδών δημιουργώντας μεταξύ τους σχέσεις τόσο ανταγωνισμού όσο και εξάρτησης. Ουσιαστικά, τα δύο αυτά είδη είναι κυρίαρχα, άρα η ταυτόχρονη εμφάνισή τους αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για την ανάπτυξη των πληθυσμών τους και για αυτό παρουσιάζεται η περιοδική διακύμανσή τους. Επιπλέον, και η αλιεία τους φανερώνει αρνητική συσχέτιση μεταξύ τους, χωρίς όμως αυτό να υποδεικνύει ότι εξαρτάται μόνο από βιολογικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες, αλλά πιθανώς και από οικονομικούς (Stergiou, 1991).

Είτε, λοιπόν, εστιάζοντας στους πληθυσμούς των ιχθύων, είτε στοχεύοντας στην παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής, η μέτρηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α ως βιοδείκτη αποτελεί βασικό ζητούμενο για τη διεξαγωγή οποιασδήποτε έρευνας στα θαλάσσια οικοσυστήματα. Κάτι τέτοιο καθιστά απαραίτητη τη δημιουργία σειρών δεδομένων που μπορούν να εξασφαλίσουν τόσο την απεικόνιση της παρούσας κατάστασης και της διακύμανσής της σε σχέση με το παρελθόν, όσο και την συνεισφορά στην ανάπτυξη μοντέλων πρόβλεψης για το μέλλον. Παρόλο που διεξάγεται *in situ* συλλογή μετρήσεων, τα δεδομένα που συγκεντρώνονται μέσα στο χρόνο δεν είναι αντιπροσωπευτικά όλων των υφιστάμενων οικοσυστημάτων λόγω των δυσκολιών που υπάρχουν στη διεξαγωγή των διαδικασιών (Raitsos *et al.*, 2008).

Επομένως, το κυριότερο μέρος των μετρήσεων έχει αλλάξει σημαντικά μέσω της δορυφορικής ωκεανογραφίας. Μετά την εκτόξευση των πρώτων δορυφόρων άρχισαν να συγκεντρώνονται μετρήσεις από όλους τους ωκεανούς και να καλύπτονται περιοχές που δεν υπήρχε δυνατότητα να γίνουν επιτόπιες καταγραφές. Επίσης, οι μετρήσεις άρχισαν να αποδίδονται περιοδικά και να είναι συνεχείς, άρα ήταν δυνατό να δημιουργηθούν οι χρονοσειρές δεδομένων που είναι σημαντικές στη μελέτη των ωκεανών. Για να καθιερωθούν οι καταγραφές του «χρώματος του ωκεανού» μέσω των δορυφόρων, πρώτα ελέγχθηκε η απόδοσή τους και η εγκυρότητα των μετρήσεών τους. Έχει σημειωθεί πως αρχικά παραπάνω από τα 2/3 του ποσοστού των δορυφορικών μετρήσεων δε συμφωνούσαν με τις *in situ* λόγω σφαλμάτων στις καταγραφές εξαιτίας των σύννεφων (Sathyendranath *et al.*, 2004, Raitsos *et al.*, 2005). Για να αποφευχθούν τα σφάλματα στις μετρήσεις, επομένως έγιναν συγκρίσεις ανάμεσα στα δορυφορικά και τα *in situ* δεδομένα από τις ίδιες περιοχές. Για μία τέτοια έρευνα φαίνεται να έχει μελετηθεί εκτενώς ο Βόρειος Ατλαντικός Ωκεανός επειδή αρχικά υπήρχε ικανοποιητική χρονοσειρά *in situ* δεδομένων για το φυτοπλαγκτόν τις τελευταίες

δεκαετίες (Brewin *et al.*, 2017) και επίσης η περιοχή παρουσίαζε μία από τις σημαντικότερες εαρινές ανθίσεις σε παγκόσμια κλίμακα (Ducklow & Harris, 1993). Πιο συγκεκριμένα, για την περιοχή του Βορειοδυτικού Ατλαντικού Ωκεανού τα αποτελέσματα έδειξαν πως υπήρχαν κάποια σφάλματα στους αλγορίθμους που έπρεπε να βελτιωθούν ώστε οι μετρήσεις να είναι πιο ακριβείς (Fuentes-Yaco *et al.*, 2005). Ακόμα, στην περιοχή του Βορειοανατολικού Ατλαντικού Ωκεανού διαπιστώθηκε ότι υπήρχε ικανοποιητική ακρίβεια στις δορυφορικές μετρήσεις και τις ανέδειξε ικανές προς χρήση τους στην έρευνα παράλληλα με τις *in situ* και αυτές των μοντέλων (Raitsos *et al.*, 2008). Σήμερα, διεξάγονται συνεχείς διορθώσεις με στόχο την βελτιωμένη απόδοση των μετρήσεων και την προσαρμογή τους στις συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες και αυτό τις καθιστά περισσότερο αξιόπιστες και ευρέως διαδεδομένες.

Με βάση τα παραπάνω, στόχος της παρούσας εργασίας είναι να εξετάσει αν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης *a* και της αφθονίας των δύο κυρίαρχων μικρών πελαγικών ειδών γαύρου και σαρδέλας χρησιμοποιώντας ως περιοχή μελέτης τα ελληνικά ύδατα. Ακόμα, θέλει να εξετάσει τη συσχέτιση που υπάρχει ανάμεσα σε ωκεανογραφικές παραμέτρους όπως η επιφανειακή θερμοκρασία, η βροχόπτωση και η ταχύτητα του ανέμου και τη συγκέντρωση χλωροφύλλης *a*. Με αυτό τον τρόπο γίνεται προσπάθεια να αποδειχτεί σε ποιο βαθμό μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αφθονία του φυτοπλαγκτού ως δείκτης πρόβλεψης των ιχθυοπληθυσμών και αν είναι εφικτή η αποτύπωση των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής στις τροφικές αλυσίδες των θαλάσσιων οικοσυστημάτων.

## 2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΑΝΑΛΥΣΗ

Ως περιοχή μελέτης στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν αρχικά τα χωρικά ύδατα της Ελλάδας και στη συνέχεια διαχωρίστηκαν σε δύο επιμέρους περιοχές: το Αιγαίο Πέλαγος μαζί με την Κρήτη και το Ιόνιο πέλαγος (Εικόνα 1). Για κάθε μία από τις ομάδες περιοχών μελέτης έγιναν αναλύσεις σε δεδομένα βιοφυσικών δεικτών, δορυφορικά και από μοντέλα, καθώς και σε αλιευτικά δεδομένα, όπως περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.



Εικόνα 1: Χάρτης της περιοχής μελέτης που παρουσιάζει τα ελληνικά χωρικά ύδατα και διαχωρίζεται (μαύρη διακεκομμένη γραμμή) στο Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος. Πηγή: Flanders Marine Institute (2019).

### 2.1 Βιοφυσικά Δεδομένα

#### 2.1.1 Δορυφορικά δεδομένα

Όλα τα δεδομένα συγκέντρωσης χλωροφύλλης  $a$  που αναλύθηκαν αντλήθηκαν από δορυφορικές μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τα προϊόντα OC-CCI στις εκδόσεις 4.2 (Sathyendranath *et al.*, 2020) και 5 (Sathyendranath *et al.*, 2021) με χωρική ανάλυση 4 km τα οποία ήταν διαθέσιμα μέσω του συνδέσμου <https://www.oceancolour.org/portal/>, παίρνοντας μηνιαίες τιμές συγκέντρωσης ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) από το μήνα Ιούλιο του έτους 1997 έως το μήνα Νοέμβριο του έτους 2019, για την Ελλάδα και στη συνέχεια ξεχωριστά για το Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος.

Για τις τιμές της επιφανειακής θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα για την περιοχή μελέτης στο σύνολο της και για τις υποπεριοχές που χωρίστηκε. Τα δεδομένα λήφθηκαν από το προϊόν Aqua MODIS της NASA PODAAC έκδοσης R2019.0 με χωρική ανάλυση 4 km σε μηνιαίες τιμές (°C) από το μήνα Ιούλιο του έτους 2002 έως το μήνα Νοέμβριο του έτους 2019 (Aqua MODIS, 2019). Για την εργασία χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές νυκτός για να μην εμφανίζεται αύξηση στις τιμές θερμοκρασίας λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας (Raitzos *et al.*, 2006).

### 2.1.2 Δεδομένα μοντέλων

Όλα τα δεδομένα μοντέλων αντλήθηκαν από το προϊόν MERRA της NASA GMAO της νεότερης έκδοσης 2, με χωρική ανάλυση  $0.5 \times 0.625^\circ$ , από το μήνα Ιανουάριο του έτους 1998 έως το μήνα Νοέμβριο του έτους 2019 (GMAO, 2015). Πιο αναλυτικά, από το συγκεκριμένο μοντέλο λήφθηκαν οι μηνιαίες τιμές της βροχόπτωσης (mm/day) και της ταχύτητας του ανέμου (m/s) για την περιοχή της Ελλάδας και τις δύο υποπεριοχές της.

## 2.2 Αλιευτικά Δεδομένα

### 2.2.1 Εκφορτώσεις

Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τα δύο εμπορικά μικρά πελαγικά είδη των ελληνικών υδάτων, του γαύρου *E. encrasicolus* και της σαρδέλας *S. pilchardus* από τις καταγραφές των εκφορτώσεων τους σε τόνους ανά έτος. Οι πρώτες τιμές λήφθηκαν για την περιοχή της Ελλάδας (συμπεριλαμβανομένης και της Κρήτης) μόνο για καταγεγραμμένα δεδομένα (reported data) από το έτος 1998 έως το έτος 2016 από το Sea Around Us Project τον Αύγουστο τους έτους 2020 (<https://www.seaaroundus.org/data/#/eez>) (Moutopoulos *et al.*, 2015, Moutopoulos, 2020). Έπειτα, για τις περιοχές του Αιγαίου και του Ιονίου χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές αλιευτικής παραγωγής (capture production) από τον Οργανισμό για τα Τρόφιμα και τη Γεωργία των Ηνωμένων Εθνών (Food Agricultural Organization- FAO), στον οποίο παρέχονται από τη Γενική Επιτροπή Αλιείας της Μεσογείου - General Fisheries Commission for the Mediterranean (GFCM) - για την περιοχή της Μεσογείου και της Μαύρης Θάλασσας από το έτος 1998 έως το έτος 2019 το Δεκέμβριο του έτους 2021 μέσω του συνδέσμου <https://www.fao.org/gfcm/data/capture-production> (FAO, 2022).

Για τα ελληνικά ύδατα στο σύνολο τους έγιναν συσχετίσεις από τα δύο σετ δεδομένων ξεχωριστά, αρχικά ενώνοντας τα δεδομένα της ηπειρωτικής Ελλάδας και αυτά της Κρήτης από το Sea Around Us Project και στη συνέχεια ενώνοντας τα δεδομένα του FAO για το Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος, δημιουργώντας μία σειρά τιμών εκφορτώσεων για το σύνολο των ελληνικών υδάτων. Ωστόσο, τα δεδομένα από τις πηγές αυτές δεν συσχετίστηκαν μεταξύ τους και διατηρήθηκαν μεμονωμένα σε όλη της διάρκεια της παρούσας εργασίας. Αυτή η επιλογή έγινε επειδή οι τιμές παρόλο που έχουν προέλθει από την Ελληνική Στατιστική Υπηρεσία (ΕΛΣΤΑΤ) και στις δύο περιπτώσεις, από τη μία πλευρά στο Sea Around Us Project διαχωρίζονται οι τιμές ανάλογα με το αν είναι καταγεγραμμένες ή όχι, με τον τρόπο αλίευσης (π.χ. κυκλικά δίχτυα- γρι γρι, παραγάδια, τράτα βυθού ή πελαγική, κλπ.), με το αν πρόκειται για απορριφθέντα είδη ή όχι και άλλα (Moutopoulos *et al.*, 2015, Moutopoulos, 2020). Αντίθετα, οι τιμές του FAO παρουσιάζονται ως συνολικές εκφορτώσεις και έχουν επεξεργαστεί κατάλληλα εκτιμώντας αυτές που λείπουν, ώστε να τηρούνται τα ισχύοντα πρότυπα του International Standard Statistical Classification of Aquatic Animals and Plants (ISSCAAP, 2000).

### 2.2.2 Βιομάζα αποθεμάτων

Τέλος, αντλήθηκαν δεδομένα μόνο για την περιοχή του Αιγαίου για την εκτιμώμενη βιομάζα (biomass) των ιχθύων των δύο εξεταζόμενων ειδών σε τόνους, καθώς επίσης και τον αριθμό των νέων στρατολογημένων (recruitment) ιχθύων του πληθυσμού σε χιλιάδες άτομα από το έτος 2000 έως το έτος 2016 από την αναφορά της Επιστημονικής, Τεχνικής και Οικονομικής Επιτροπής Αλιείας (Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries – STECF) για τη Μεσόγειο Θάλασσα (STECF-Report, 2017).

## 2.3 Ανάλυση

Για το σύνολο των βιοφυσικών δεδομένων υπολογίσθηκαν οι μέσες μηνιαίες τιμές από το σύνολο των ετών που εξετάσθηκαν, ενώ για τη συγκέντρωση χλωροφύλλης α υπολογίσθηκε επίσης και η μέση ετήσια τιμή όλων των μηνών του έτους, του Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου και στις τρεις περιοχές, του Φεβρουαρίου και του Μαρτίου στις περιοχές της Ελλάδας και του Αιγαίου και του Ιανουαρίου και Φεβρουαρίου μόνο στην περιοχή του Ιονίου.

Από τα όλα τα αλιευτικά δεδομένα αρχικά συσχετίστηκε η ετήσια τιμή της αφθονίας για κάθε είδος ξεχωριστά με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης  $a$  και έπειτα εκτιμήθηκε η αναλογία των δύο εξεταζόμενων ειδών Γαύρου/Σαρδέλας σε ετήσια βάση και συσχετίστηκε με τις αντίστοιχες τιμές συγκεντρώσεων χλωροφύλλης  $a$ . Οι τιμές των συσχετίσεων  $R$  προέκυψαν από το συντελεστή γραμμικής συσχέτισης Pearson και ελέγχθηκαν για τη στατιστική τους σημαντικότητα σε επίπεδο  $\alpha=0,05$ . Όταν η τιμή  $R$  είναι θετική υποδεικνύει θετική συσχέτιση, ενώ όταν είναι αρνητική υποδεικνύει αρνητική συσχέτιση. Τέλος, μία τιμή  $R$  κοντά στο 0 υποδεικνύει απουσία κάποιας συσχέτισης.



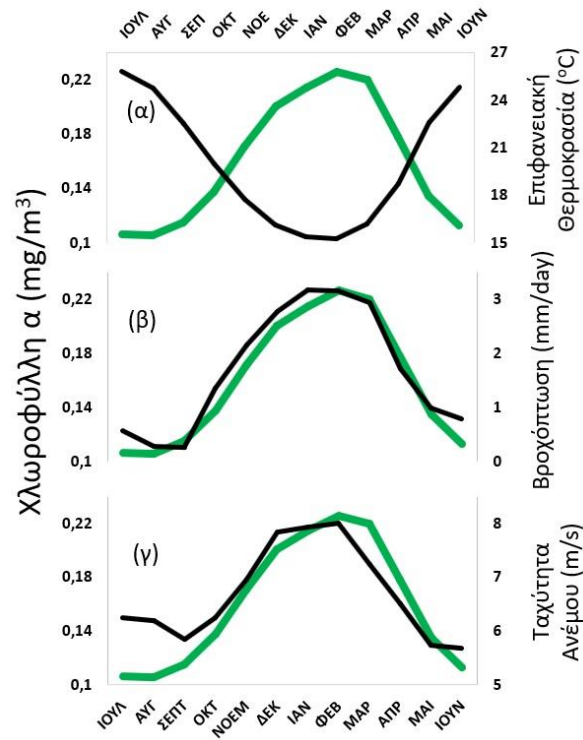
### 3.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη ενότητα η περιοχή μελέτης εξετάστηκε στο σύνολο της, αλλά και στις δύο βασικές επιμέρους περιοχές που χωρίστηκε, το Αιγαίο και το Ιόνιο Πέλαγος. Έτσι, τα αποτελέσματα θα παρουσιασθούν σύμφωνα με αυτή τη χωρική κατηγοριοποίηση. Αρχικά, σε κάθε περιοχή θα αποδοθούν τα διαγράμματα των περιβαλλοντικών δεδομένων, δηλαδή των σχέσεων της συγκέντρωσης χλωροφύλλης  $a$  με την επιφανειακή θερμοκρασία, την ημερήσια βροχόπτωση και την ταχύτητα ανέμου. Στη συνέχεια, θα δοθούν συγκεντρωτικά σε έναν πίνακα οι τιμές των συσχετίσεων  $R$  για όλες τις σχέσεις που εξετάστηκαν στα πλαίσια της εργασίας ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης  $a$  και την ποσότητα των ιχθύων και θα δοθεί έμφαση στις στατιστικά σημαντικές σχέσεις, ενώ θα αποδοθούν γραφικά και η σχέση μεταξύ της χλωροφύλλης  $a$  και της αναλογίας γαύρου/σαρδέλας. Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται τόσο η διακύμανση της χλωροφύλλης  $a$  σε ετήσια βάση, αλλά και αποκλειστικά από τις περιόδους της φθινοπωρινής (Νοέμβριος-Δεκέμβριος) και της εαρινής (Ιανουάριος-Φεβρουάριος-Μάρτιος) άνθισης του φυτοπλαγκτού με σκοπό να αναδειχθούν πιθανές σχέσεις που διαμορφώνουν τους πληθυσμούς, όταν η ποσότητα της τροφής βρίσκεται σε υψηλότερα επίπεδα.

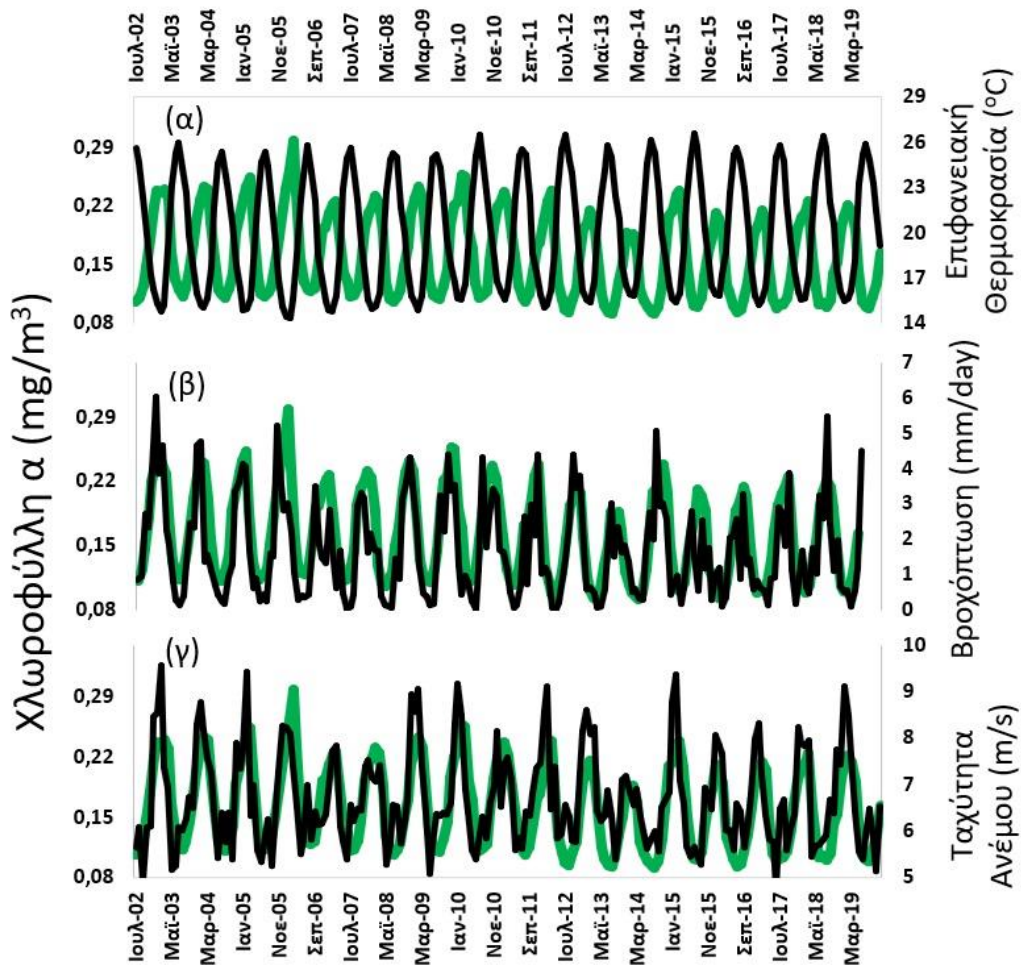
#### 3.1 Ελλάδα

Στις Εικόνες 2 και 3 απεικονίζονται οι σχέσεις ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης  $a$  από το σύνολο των ελληνικών υδάτων και την επιφανειακή θερμοκρασία, τη βροχόπτωση και την ταχύτητα του ανέμου. Στην Εικόνα 2 απεικονίζεται η εποχικότητα της χλωροφύλλης  $a$  και στη Εικόνα 3 η συσχέτιση από τις μηνιαίες τιμές κατά τη διάρκεια όλων των ετών μελέτης. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται πως η χλωροφύλλη  $a$  παρουσίαζε τις μέγιστες τιμές της κατά τους εαρινούς μήνες, Φεβρουάριο και Μάρτιο, ενώ στον αντίποδα βρισκόταν η επιφανειακή θερμοκρασία όπου μεγιστοποιείται τους θερινούς μήνες, Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο. Ταυτόχρονα, η χλωροφύλλη  $a$  παρουσίαζε παρόμοια διακύμανση της εποχικότητάς της με τη βροχόπτωση και στα δύο διαγράμματα αλλά με ένα μήνα χρονοκαθυστέρηση, ενώ και με την ταχύτητα του ανέμου φαίνεται να ακολουθούσε την ίδια διακύμανση χωρίς κάποια καθυστέρηση και με εξαίρεση το μήνα Αύγουστο που παρουσίαζε μία μικρή αύξηση η ταχύτητα. Επομένως, οι σχέσεις ανάμεσα στη χλωροφύλλη  $a$  και την

επιφανειακή θερμοκρασία ήταν αρνητικές, ενώ με τις δύο άλλες μεταβλητές η συσχέτιση ήταν θετική.



Εικόνα2: Η εποχικότητα της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α (—) των ελληνικών υδάτων από το 2002 έως το 2019 σε σχέση: (α) με την επιφανειακή θερμοκρασία υδάτων (—), (β) το ρυθμό βροχόπτωσης με ένα μήνα χρονοκαθυστέρησης (—) και (γ) την ταχύτητα του ανέμου (—).



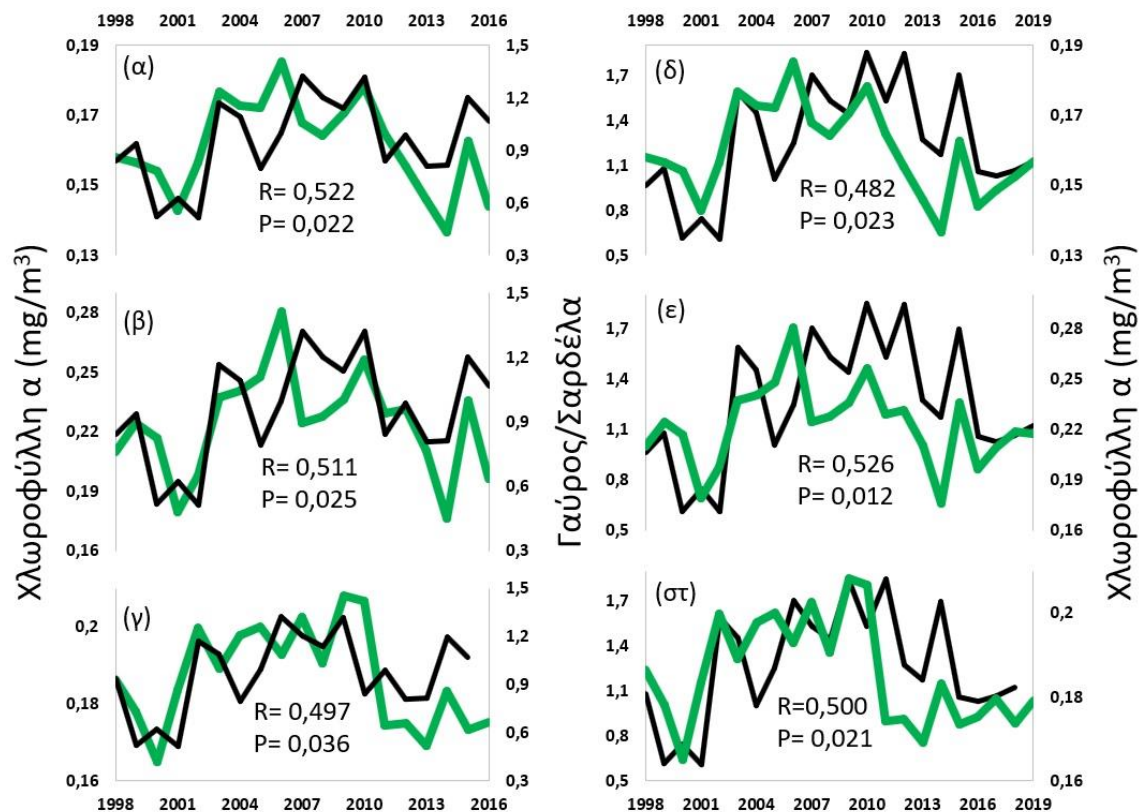
Εικόνα 3: Η μηνιαία διακύμανση μέσα σε κάθε έτος από το Ιούλιο του 2002 έως το Νοέμβριο του 2019 της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α (—) των ελληνικών υδάτων σε σχέση: (α) την επιφανειακή θερμοκρασία των υδάτων (—), (β) το ρυθμό βροχόπτωσης με ένα μήνα χρονοκαθυστέρησης (—) και (γ) την ταχύτητα του ανέμου (—).

Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει όλες τις τιμές των συσχετίσεων που πραγματοποιήθηκαν ανάμεσα στη χλωροφύλλη α και την ποσότητα εκφορτώσεων των ιχθύων, γαύρου, σαρδέλας, ή της αναλογίας τους. Πέρα από τις στατιστικά σημαντικές σχέσεις που εμφανίζονται στα διαγράμματα παρακάτω, βρέθηκε μία επιπλέον στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στη χλωροφύλλη α και τις εκφορτώσεις του γαύρου (δεδομένα από το Sea Around Us Project) με ένα έτος χρονοκαθυστέρησης, η οποία δείχνει ότι η ποσότητα του είδους επηρεάστηκε θετικά από τις διακυμάνσεις της χλωροφύλλης α.

Πίνακας 1: Οι τιμές R των συσχετίσεων ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α και τις εκφορτώσεις των ιχθύων στα ελληνικά ύδατα. Στις στήλες με \* οι τιμές έχουν υπολογισθεί με ένα έτος χρονοκαθυστέρησης. Με έντονα γράμματα παρουσιάζονται οι τιμές με στατιστική σημαντικότητα στο επίπεδο  $\alpha=0,05$ .

|                              | ΕΛΛΑΔΑ  | Χλωρ α       | Χλωρ α *     | Χλωρ α<br>Φεβ/ Μαρτ | Χλωρ α *<br>Φεβ/ Μαρτ | Χλωρ α<br>Νοεμ/ Δεκ | Χλωρ α *<br>Νοεμ/ Δεκ |
|------------------------------|---------|--------------|--------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| Εκφορτώσεις<br>Sea Around Us | Γαύρος  | 0.435        | <b>0.514</b> | 0.310               | 0.078                 | 0.411               | 0.412                 |
|                              | Σαρδέλα | -0.163       | -0.304       | -0.293              | -0.333                | -0.007              | -0.234                |
|                              | Γ/Σ     | <b>0.522</b> | 0.398        | <b>0.511</b>        | 0.269                 | 0.386               | <b>0.497</b>          |
| Εκφορτώσεις<br>FAO           | Γαύρος  | 0.374        | 0.155        | 0.286               | 0.039                 | 0.331               | 0.280                 |
|                              | Σαρδέλα | -0.226       | -0.358       | -0.328              | -0.341                | -0.044              | -0.335                |
|                              | Γ/Σ     | <b>0.482</b> | 0.424        | <b>0.526</b>        | 0.313                 | 0.237               | <b>0.500</b>          |

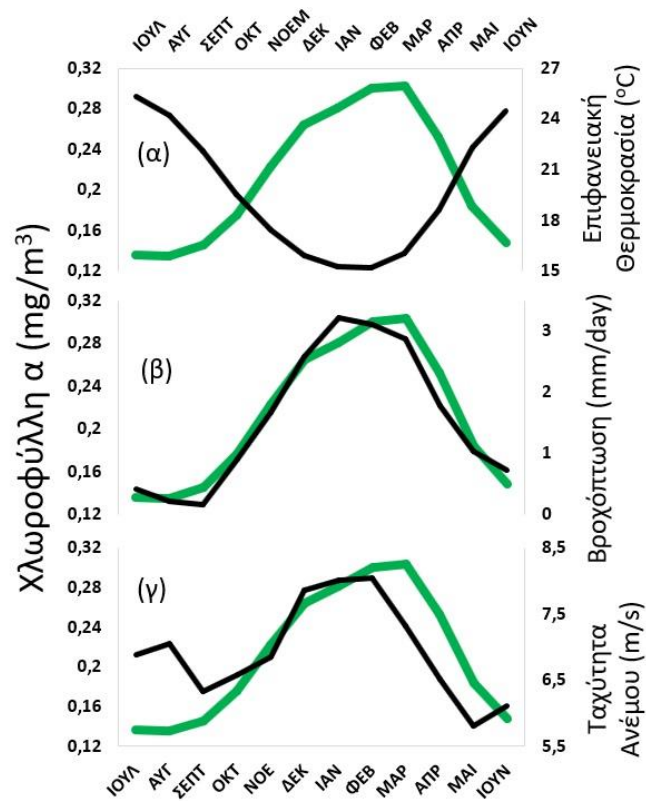
Από όλα τα αποτελέσματα διαγραμματικά απεικονίζονται οι συσχετίσεις ανάμεσα στη χλωροφύλλη α και την αναλογία των δύο ειδών. Στην Εικόνα 4, τα διαγράμματα (α) και (δ) απεικονίζουν τις τιμές της χλωροφύλλης α από όλους τους μήνες του έτους, τα (β) και (ε) εστιάζουν στους μήνες Φεβρουαρίου και Μαρτίου, ενώ τα (γ) και (στ) στους μήνες Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου με ένα έτος χρονοκαθυστέρησης. Από όλες τις διαγραμματικές απεικονίσεις γίνεται αντιληπτή η θετική συσχέτιση που βρέθηκε ανάμεσα στην αναλογία των δύο μελετώμενων ειδών και τη χλωροφύλλη α τόσο σε ετήσια βάση, όσο και στις δύο εποχικές ανθίσεις της.



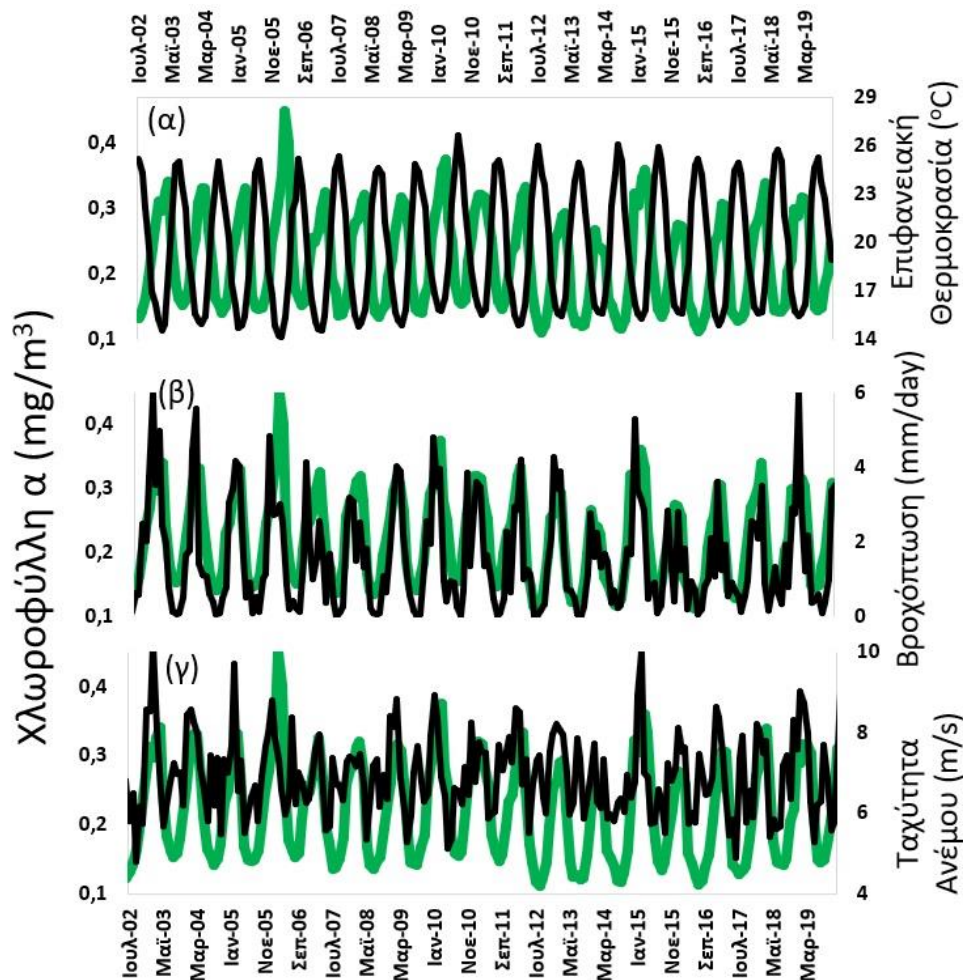
Εικόνα 4: Η συσχέτιση της διακύμανσης ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α (—) και την αναλογία Γαύρου/Σαρδέλας (—) από δεδομένα εκφορτώσεων του Sea Around Us Project (α, β, γ) από το 1998 έως το 2016 και του FAO (δ, ε, στ) από το 1998 έως το 2019 για τα ελληνικά ύδατα. Στα διαγράμματα (α) και (δ) απεικονίζεται η συσχέτιση με την ετήσια τιμή της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α, στα (β) και (ε) με την ετήσια τιμή των μηνών Φεβρουαρίου και Μαρτίου της εαρινής άνθισης και στα (γ) και (στ) με την ετήσια τιμή των μηνών Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου της φθινοπωρινής άνθισης με ένα έτος χρονοκαθυστέρησης.

### 3.2 Αιγαίο Πέλαγος

Στις Εικόνες 5 και 6 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις των συγκεντρώσεων της χλωροφύλλης α με τα ωκεανογραφικά δεδομένα στο Αιγαίο Πέλαγος. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και πάλι διακρίνεται η αρνητική σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και τη χλωροφύλλη α, αφού παρουσίασαν τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους τις αντίθετες εποχές, ενώ κάτι τέτοιο δεν παρατηρείται με τη βροχόπτωση, της οποίας τις τιμές ακολουθούσε η χλωροφύλλη α μετά από ένα μήνα χρονοκαθυστέρηση. Τέλος, στη σχέση με την ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζεται παρόμοια διακύμανση των τιμών, με εξαίρεση στη θερινή περίοδο το μήνα Αύγουστο, όπου σημειώθηκε τοπική αύξηση της ταχύτητας του ανέμου και δε συμβαδίζε με τις ελαττωμένες τιμές συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α.



Εικόνα 5: Η εποχικότητα της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α (—) (2002-2019) του Αιγαίου Πελάγους σε σχέση: (α) με την επιφανειακή θερμοκρασία υδάτων (—), (β) το ρυθμό βροχόπτωσης με ένα μήνα χρονοκαθυστέρησης (—) και (γ) την ταχύτητα του ανέμου (—).



Εικόνα 6: Η μηνιαία διακύμανση μέσα σε κάθε έτος από τον Ιούλιο του 2002 έως το Νοέμβριο του 2019 της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α (—) στο Αιγαίο Πέλαγος σε σχέση: (α) την επιφανειακή θερμοκρασία των υδάτων (—), (β) το ρυθμό βροχόπτωσης με ένα μήνα χρονοκαθυστερήσης (—) και (γ) την ταχύτητα του ανέμου (—).

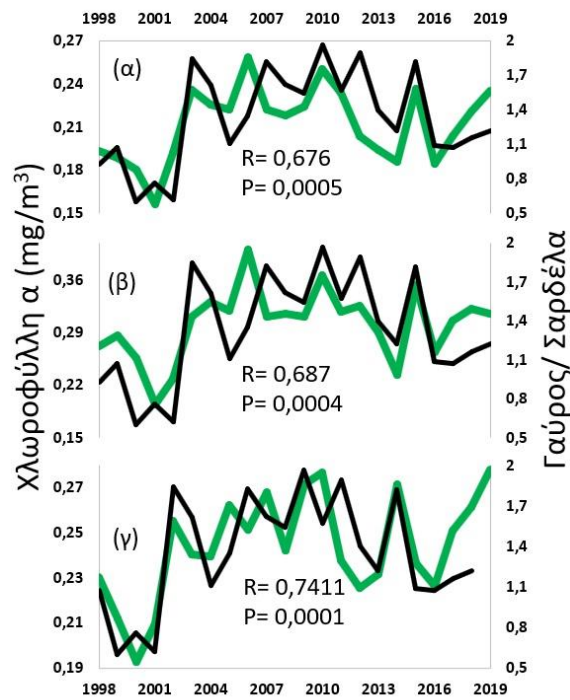
Στη συνέχεια, ο Πίνακας 2 δείχνοντας αναλυτικά όλες τις τιμές των συσχετίσεων ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α και τα αλιευτικά δεδομένα, παρουσιάζει τις στατιστικά σημαντικές σχέσεις από το σύνολο αυτών που μελετήθηκαν. Αρχικά, η σχέση μεταξύ χλωροφύλλης α και εκφορτώσεων σαρδέλας ήταν σημαντικά αρνητική στην περιοχή και το είδος παρουσίασε αντίστροφη πορεία διακυμάνσεων από αυτή της χλωροφύλλης α κατά τη διάρκεια των δεδομένων ετών (Συμπλ. Εικόνα 1). Επίσης, βρέθηκε στατιστικά σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στη χλωροφύλλη α τόσο σε ετήσια βάση όσο και τους μήνες Φεβρουαρίου και Μαρτίου, που εντοπίζεται η εαρινή άνθιση του φυτοπλαγκτού, με τον αριθμό των στρατολογημένων ατόμων γαύρου με ένα έτος χρονοκαθυστερήση (Συμπλ. Εικόνα 2).

Πίνακας 2: Οι τιμές R των συσχετίσεων ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α και τις εκφορτώσεις, τα στρατολογημένα άτομα και τη βιομάζα των ιχθύων στο Αιγαίο Πέλαγος. Στις στήλες με \* οι τιμές έχουν υπολογισθεί με ένα έτος χρονοκαθυστέρησης. **Με έντονα γράμματα παρουσιάζονται οι τιμές με στατιστική σημαντικότητα στο επίπεδο  $\alpha=0,05$ .**

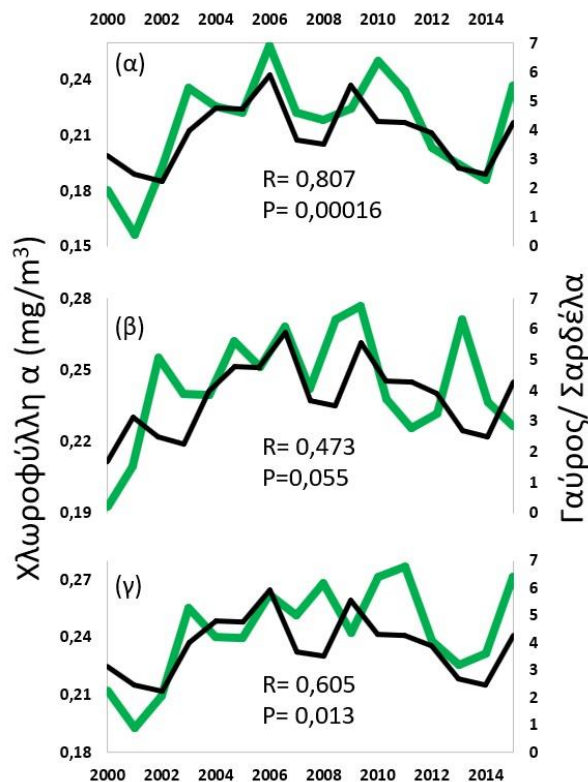
|                                  | ΑΙΓΑΙΟ<br>ΠΕΛΑΓΟΣ | Χλωρ α        | Χλωρ α *      | Χλωρ α<br>Φεβ/<br>Μαρτ | Χλωρ α *<br>Φεβ/<br>Μαρτ | Χλωρ α<br>Νοεμ/<br>Δεκ | Χλωρ α *<br>Νοεμ/<br>Δεκ |
|----------------------------------|-------------------|---------------|---------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------------|
| Εκφορτώσεις<br>FAO               | Γαύρος            | 0.376         | 0.189         | 0.365                  | 0.092                    | 0.283                  | 0.283                    |
|                                  | Σαρδέλα           | <b>-0.482</b> | <b>-0.546</b> | <b>-0.497</b>          | -0.394                   | -0.283                 | <b>-0.586</b>            |
|                                  | Γ/Σ               | <b>0.676</b>  | <b>0.567</b>  | <b>0.687</b>           | 0.328                    | 0.352                  | <b>0.741</b>             |
| Στρατολογημένα<br>άτομα<br>STECF | Γαύρος            | 0.298         | <b>0.527</b>  | 0.402                  | <b>0.562</b>             | 0.366                  | 0.307                    |
|                                  | Σαρδέλα           | -0.091        | -0.313        | -0.145                 | -0.135                   | -0.088                 | -0.190                   |
|                                  | Γ/Σ               | 0.430         | <b>0.807</b>  | 0.473                  | 0.317                    | 0.417                  | <b>0.605</b>             |
| Βιομάζα<br>STECF                 | Γαύρος            | 0.299         | 0.407         | 0.279                  | 0.300                    | 0.421                  | 0.385                    |
|                                  | Σαρδέλα           | -0.010        | -0.173        | -0.057                 | -0.110                   | -0.182                 | -0.014                   |
|                                  | Γ/Σ               | 0.234         | 0.382         | 0.152                  | 0.227                    | 0.217                  | 0.128                    |

Συνεχίζοντας, αποδίδονται γραφικά οι σχέσεις ανάμεσα στη χλωροφύλλη α και την αναλογία εκφορτώσεων των δύο ιχθύων στην Εικόνα 7. Ειδικότερα, φαίνεται πως στην περιοχή υπήρχε μία αρκετά ισχυρά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της χλωροφύλλης α και της αναλογίας των δύο ειδών και κυρίως μεταξύ της χλωροφύλλης α των μηνών της φθινοπωρινής άνθισης Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου με ένα έτος χρονοκαθυστέρηση (Εικόνα 7γ). Ακόμα, αποτυπώνεται στην Εικόνα 8α μία αρκετά υψηλή τιμή συσχέτισης ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α και την αναλογία των στρατολογημένων ατόμων των δύο ειδών με ένα έτος χρονοκαθυστέρηση για κάθε περίπτωση διακύμανσης της χλωροφύλλης α ανάλογα με τις ανθίσεις του φυτοπλαγκτού.





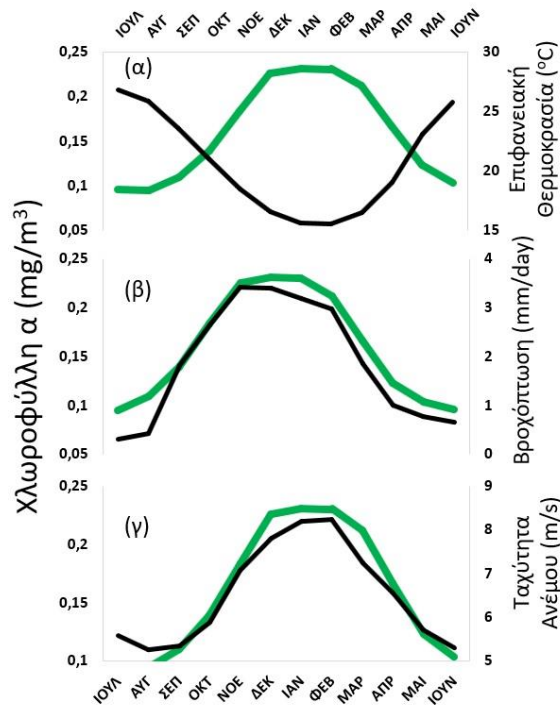
Εικόνα 7: Η συσχέτιση της διακύμανσης ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α (—) και την αναλογία Γάυρου/Σαρδέλας (—) από δεδομένα εκφορτώσεων του FAO (α, β, γ) από το 1998 έως το 2019 στο Αιγαίο Πέλαγος. Στα διάγραμμα (α) απεικονίζεται η συσχέτιση με την ετήσια τιμή της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α, στο (β) με την ετήσια τιμή των μηνών Φεβρουαρίου και Μαρτίου της εαρινής άνθισης του φυτοπλαγκτού και στο (γ) με την ετήσια τιμή των μηνών Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου της φθινοπωρινής άνθισης του φυτοπλαγκτού με ένα έτος χρονοκαθυστέρησης.



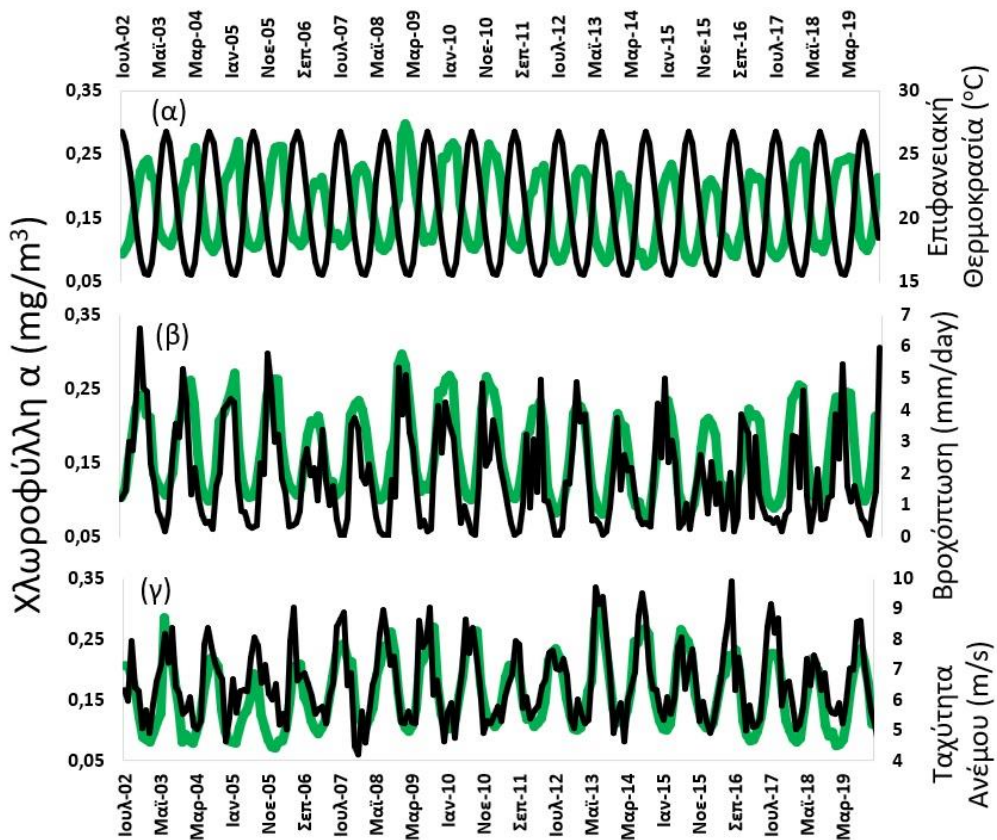
Εικόνα 8: Η συσχέτιση της διακύμανσης ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α (—) και την αναλογία Γαύρου/Σαρδέλας (—) από δεδομένα στρατολόγησης νεαρών ατόμων (recruitment) του STECF (α, β, γ) από το 2000 έως το 2016 στο Αιγαίο Πέλαγος. Στα διάγραμμα (α) απεικονίζεται η συσχέτιση με την ετήσια τιμή της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α, στο (β) με την ετήσια τιμή των μηνών της εαρινής άνθισης Φεβρουαρίου και Μαρτίου και στο (γ) με την ετήσια τιμή των μηνών της φθινοπωρινής άνθισης Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου με ένα έτος χρονοκαθυστέρησης σε καθένα από αυτά.

### 3.3 Ιόνιο Πέλαγος

Για την τρίτη περιοχή μελέτης στις Εικόνες 9 και 10 φαίνεται η επίδραση των περιβαλλοντικών παραγόντων στη διαμόρφωση της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α. Και σε αυτή την περιοχή όπως και στις δύο προηγούμενες η σχέση ανάμεσα στη θερμοκρασία και τη χλωροφύλλη α ήταν αρνητική, ενώ σε σχέση με τη βροχόπτωση με ένα μήνα χρονοκαθυστέρηση και με την ταχύτητα του ανέμου οι συσχετίσεις ήταν θετικές και έτσι οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές εμφανίστηκαν κατά τις ίδιες περιόδους.



Εικ. 9: Η εποχικότητα της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α (—) (2002-2019) του Ιόνιου Πελάγους σε σχέση: (α) με την επιφανειακή θερμοκρασία υδάτων (—), (β) το ρυθμό βροχόπτωσης με ένα μήνα χρονοκαθυστέρησης (—) και (γ) την ταχύτητα του ανέμου (—).

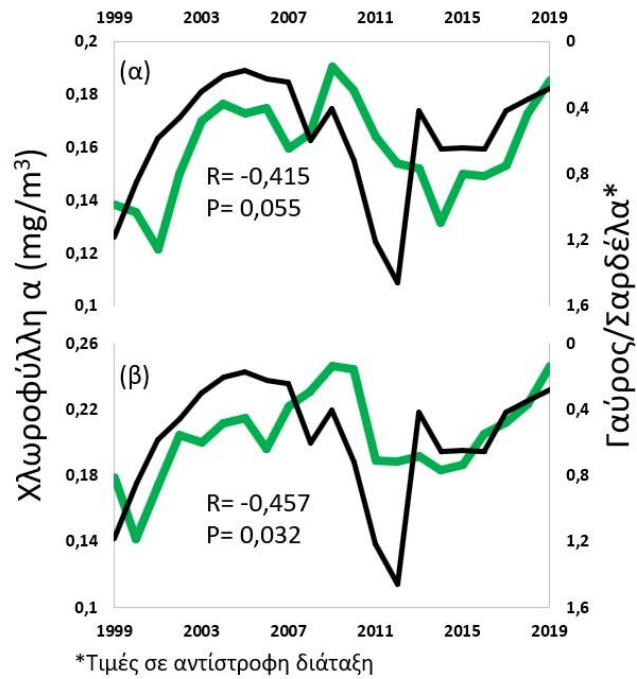


Εικ. 10: Η μηνιαία διακύμανση μέσα σε κάθε έτος από τον Ιούλιο του 2002 έως το Νοέμβριο του 2019 της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α (—) στο Ιόνιο Πέλαγος σε σχέση: (α) την επιφανειακή θερμοκρασία των υδάτων (—), (β) το ρυθμό βροχόπτωσης με ένα μήνα χρονοκαθυστέρησης (—) και (γ) την ταχύτητα του ανέμου (—).

Ο Πίνακας 3 των αντίστοιχων συσχετίσεων των ιχθύων με τη χλωροφύλλη α υποδεικνύει μία ισχυρά αρνητική σχέση ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α και την ποσότητα του γαύρου, κάτι αντίστροφο από τις δύο άλλες περιοχές (Συμπλ. Εικόνα 3). Παράλληλα, διαγραμματικά απεικονίζεται στην Εικόνα 11 η σχέση μεταξύ της χλωροφύλλης α και της αναλογίας των εκφορτώσεων των δύο ιχθύων που ακολουθώντας το παράδειγμα του γαύρου ήταν αρνητική και αυτή σε αντίθεση με τις υπόλοιπες περιοχές που εξετάστηκαν δίνοντας έμφαση στις τιμές από όλους τους μήνες του έτους (11α) και της φθινοπωρινής άνθισης του φυτοπλαγκτού κατά τους μήνες Νοέμβριο και Δεκέμβριο (11β), ενώ δεν απεικονίζεται η διακύμανση σε σχέση με τις τιμές της εαρινής άνθισης των μηνών Ιανουαρίου Φεβρουαρίου λόγω χαμηλής στατιστικής σημαντικότητας.

Πίνακας 3: Οι τιμές R των συσχετίσεων ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α και τις εκφορτώσεις των ιχθύων στο Ιόνιο Πέλαγος. Στις στήλες με \* οι τιμές έχουν υπολογισθεί με ένα έτος χρονοκαθυστέρησης. **Με έντονα γράμματα παρουσιάζονται οι τιμές με στατιστική σημαντικότητα στο επίπεδο  $\alpha=0,05$ .**

|                    | ΙΟΝΙΟ<br>ΠΕΛΑΓΟΣ | Χλωρ α        | Χλωρ<br>α * | Χλωρ α<br>Ιαν/ Φεβ | Χλωρ α *<br>Ιαν/ Φεβ | Χλωρ α<br>Νοεμ/ Δεκ | Χλωρ α *<br>Νοεμ/ Δεκ |
|--------------------|------------------|---------------|-------------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|
| Εκφορτώσεις<br>FAO | Γαύρος           | <b>-0.538</b> | -0.351      | -0.276             | -0.114               | <b>-0.568</b>       | -0.224                |
|                    | Σαρδέλα          | 0.172         | 0.245       | 0.014              | 0.058                | 0.172               | 0.117                 |
|                    | Γ/Σ              | -0.415        | -0.014      | -0.179             | -0.225               | <b>-0.457</b>       | -0.010                |



Εικόνα 11: Η συσχέτιση της διακύμανσης ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α (—) και την αναλογία Γάυρου/Σαρδέλας (—) από δεδομένα εκφορτώσεων του FAO (α, β) από το 1998 έως το 2019 στην περιοχή του Ιονίου Πελάγους. Στα διάγραμμα (α) απεικονίζεται η συσχέτιση με την ετήσια τιμή της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α, στο (β) με την ετήσια τιμή των μηνών Δεκέμβριο και Νοέμβριο κατά τη φθινοπωρινή άνθιση του φυτοπλαγκτού.

## 4.ΣΥΖΗΤΗΣΗ

### 4.1 Συγκέντρωση χλωροφύλλης α και περιβαλλοντικοί παράγοντες

Έχοντας αναφέρει όλα τα κύρια σημεία της μελέτης των ελληνικών υδάτων σε σχέση με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης α και τον τρόπο που αυτή επηρεάζεται από ορισμένους περιβαλλοντικούς παράγοντες, είναι αναγκαίο να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα που μπορούν να προσδιορίσουν πως διαμορφώνονται οι πληθυσμοί του φυτοπλαγκτού. Σε όλη την περιοχή μελέτης και όπως αυτή μελετήθηκε μεμονωμένα (ελληνικά ύδατα, Αιγαίο Πέλαγος και Ιόνιο Πέλαγος) υπήρχαν κάποια κοινά αποτελέσματα που φαίνεται να καθορίζουν την συγκέντρωση της χλωροφύλλης α. Αρχικά, τα ελληνικά ύδατα χαρακτηρίζονται ως oligotroφικά με εξαίρεση κάποια σημεία που σημειώνεται υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών, όπως η περιοχή του Βορείου Αιγαίου λόγω εισροής θρεπτικών από τη Μαύρη Θάλασσα (Lykousis *et al.*, 2002, Zervoudaki *et al.*, 2011, Lagaria *et al.*, 2013, Frangoulis *et al.*, 2017). Για αυτό το λόγο το Αιγαίο Πέλαγος εμφανίζει περισσότερο ενδιαφέρον και έχει μελετηθεί εκτενέστερα ως προς τους παράγοντες που διαμορφώνουν την πρωτογενή παραγωγικότητά του. Σε διάφορες εργασίες όπως και σε αυτή, έχει σημειωθεί ότι η συγκέντρωση της χλωροφύλλης α είναι χαμηλή και εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές της κατά τους φθινοπωρινούς μήνες, κυρίως το Νοέμβριο και τους εαρινούς το Φεβρουάριο και το Μάρτιο, ενώ οι χαμηλότερες καταγράφονται τους θερινούς μήνες Ιούλιο και Αύγουστο ((D'Ortenzio & Ribera d'Alcala, 2009, Skliris *et al.*, 2010, Tsiaras *et al.*, 2012). Αυτή η διακύμανση διαμορφώνεται με βάση τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών, αλλά όπως αναφέρθηκε ήδη και από την επιφανειακή θερμοκρασία, την ταχύτητα του ανέμου, τη βροχόπτωση καθώς και άλλες παραμέτρους.

Σχετικά με τη θερμοκρασία, οι υψηλότερες τιμές της παρατηρούνται τη θερινή περίοδο και οι χαμηλότερες την εαρινή, κάτι που καθιστά αρνητική τη σχέση της με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης α και έτσι οι ανθίσεις του φυτοπλαγκτού συμβαίνουν σε περιόδους με χαμηλές θερμοκρασίες. Αυτή η αρνητική συσχέτιση δεν παρουσιάζει κάποια άμεση εξάρτηση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α από τη θερμοκρασία, αλλά φαίνεται η θερμοκρασία να διαμορφώνει τέτοιες συνθήκες που να μην ευνοούν την ανάπτυξη του φυτοπλαγκτού (Skliris *et al.*, 2010, Tsiaras *et al.*, 2012). Ειδικότερα, οι υψηλές θερμοκρασίες φαίνεται να ευνοούν την ισχυρή στρωματοποίηση της υδάτινης στήλης και να περιορίζουν την κάθετη ανάμιξή της, οδηγώντας σε μειωμένη ποσότητα

θρεπτικών ουσιών στην επιφάνεια των υδάτων και έτσι σε χαμηλές συγκεντρώσεις χλωροφύλλης *a* (Volpe *et al.*, 2012). Παρόλο που η μελέτη μίας περιοχής επηρεάζεται από τις συνθήκες και τα φαινόμενα μικρής κλίμακας που συμβαίνουν σε αυτή, παρατηρείται τόσο σε παγκόσμιο επίπεδο (Boyce *et al.*, 2010, Raitsos *et al.*, 2015; Gittings *et al.*, 2017), στη Μεσόγειο Θάλασσα (Katara *et al.*, 2008) αλλά και σε πιο τοπική κλίμακα όπως το Αιγαίο Πέλαγος (Skirris *et al.*, 2010, Chaniotaki *et al.*, 2021), να ακολουθείται το ίδιο μοτίβο αρνητικής σχέσης μεταξύ επιφανειακής θερμοκρασίας και συγκέντρωσης χλωροφύλλης *a*. Αυτό παρατηρείται και στην παρούσα μελέτη επιβεβαιώνοντας όσα αναφέρονται παραπάνω και αποδεικνύοντας πως η θερμοκρασία αποτελεί ανασταλτικό παράγοντα για την άνθιση του φυτοπλαγκτού.

Σε αντίθεση με τη θερμοκρασία η συσχέτιση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης *a* με την ταχύτητα του ανέμου χαρακτηρίζεται ως θετική εν γένει, κάτι που αποδεικνύεται σε αυτή και σε άλλες εργασίες για την περιοχή (Varkitzi *et al.*, 2020), αλλά και για τον παγκόσμιο ωκεανό (Kahru *et al.*, 2010). Ειδικότερα, ο άνεμος ευνοεί την ανάμιξη των στρωμάτων του νερού, αυξάνοντας το βάθος της ζώνης ανάμιξης και έτσι μεταφέρονται θρεπτικά συστατικά από τα κατώτερα στρώματα προς τα ανώτερα. Έτσι, ευνοείται η άνθιση του φυτοπλαγκτού τις περιόδους όπου η ταχύτητα του ανέμου σημειώνει υψηλότερες τιμές, όπως την περίοδο του χειμώνα και τις αρχές της άνοιξης (Katara *et al.*, 2008), αν και η ανάμιξη της στήλης των υδάτων φαίνεται να διαμορφώνεται και από τοπικά κυκλωνικά φαινόμενα που μπορεί να μεταβάλλουν την κυκλοφορία του ανέμου σε μία περιοχή (Pinnardi & Navara, 1993). Αναφορικά με την περιοχή του Αιγαίου φαίνεται να υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση θρεπτικών στο ανατολικό του τμήμα από το φθινόπωρο μέχρι τις αρχές της άνοιξης με αποκορύφωμα το μήνα Μάρτιο λόγω των ανέμων που πνέουν στην περιοχή από τον κυκλώνα της Ρόδου και για αυτό το λόγο η συγκέντρωση χλωροφύλλης *a* εμφανίζει υψηλότερες τιμές (Siokou-Frangou *et al.*, 2010, Velaoras *et al.*, 2018, Protopapa *et al.*, 2019). Στην ίδια περιοχή παρατηρείται κατά τους θερινούς μήνες και κυρίως το μήνα Αύγουστο μία μετριασμένη έξαρση της ταχύτητας εξαιτίας ισχυρών βόρειων ανέμων (μελτέμια) που πνέουν τοπικά σε ετήσια βάση, αλλά αυτό δε φαίνεται να είναι ικανό να επηρεάσει τις τιμές της χλωροφύλλης *a*, οι οποίες παραμένουν κανονικά στα χαμηλά τους επίπεδα, αφού οι άνεμοι δεν δημιουργούν φαινόμενα ανάμιξης σε μεγάλο βάθος, αλλά κυρίως επιφανειακών υδάτων, οπότε δε μεταβάλλεται η ποσότητα των θρεπτικών (Androulakis *et al.*, 2017). Συμπερασματικά, τα αποτελέσματα αυτής της εργασίας

μέσα από τη θετική συσχέτιση επιβεβαιώνουν το γεγονός πως το φυτοπλαγκτόν ευνοείται από την ταχύτητα του ανέμου, αφού αυτή προσφέρει καλύτερη κατανομή των θρεπτικών στα ύδατα και εξασφαλίζει τις κατάλληλες συνθήκες για την άνθισή του.

Το παράδειγμα της ταχύτητας του ανέμου φαίνεται να ακολουθεί και ο ρυθμός βροχόπτωσης στη σχέση του με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης *a* εμφανίζοντας θετική τιμή συσχέτισης, κάτι που ισχύει για όλη τη Μεσόγειο Θάλασσα (Katara *et al.*, 2008). Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της βροχόπτωσης σχετίζεται με την ενίσχυση των υδάτων σε θρεπτικά συστατικά, τόσο από την ίδια τη βροχόπτωση όσο και από την εισροή γλυκού νερού από τα ποτάμια. Αυτό εκδηλώνεται κυρίως μετά το μήνα Νοέμβριο, αφού έχει προηγηθεί μια περίοδος βροχοπτώσεων και έχει οδηγήσει στην αύξηση συγκέντρωσης θρεπτικών, όπως τα νιτρικά (Katsoulis & Rovoli, 2019). Στη συνέχεια η δεύτερη περίοδος έντονης παραγωγικότητας ακολουθεί μετά το μήνα Φεβρουάριο, που λαμβάνει χώρα το δεύτερο κύμα βροχοπτώσεων και οδηγεί εκ νέου στην αύξηση των θρεπτικών (Katsoulis & Rovoli, 2019). Όπως φαίνεται οι βροχές χρονικά επηρεάζουν τις δύο περιόδους άνθισης του φυτοπλαγκτού και μάλιστα σύμφωνα με τις παρατηρήσεις που έχουν γίνει προηγούνται οι βροχοπτώσεις και έπειτα προκαλείται η αύξηση του πλαγκτού, άρα η εξάρτηση δεν είναι συγχρονισμένη, αλλά χρειάζεται να μεσολαβήσει ένα διάστημα. Αξίζει να σημειωθεί ότι και στην παρούσα εργασία τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται ανάμεσα στη βροχόπτωση και τη χλωροφύλλη *a* είναι για όλες τις περιοχές με ένα μήνα χρονοκαθυστέρηση, επειδή η συσχέτιση είναι μεγαλύτερη. Αυτό συνάδει με όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και αποδεικνύει πως η βροχή είναι ικανή να προκαλέσει αλλαγές στα θαλάσσια οικοσυστήματα αφού επέλθει ένα χρονικό διάστημα που μπορεί να κυμαίνεται από μερικές εβδομάδες μέχρι και ένα μήνα ή και παραπάνω. Χρησιμοποιώντας, λοιπόν, αυτή την παράμετρο και στην μελέτη αυτή μπορεί να εξαχθεί η θετική συσχέτιση που εμφανίζεται ανάμεσα στις δύο μεταβλητές.

## 4.2 Συγκέντρωση χλωροφύλλης και αφθονία ιχθύων

### 4.2.1 Μικρά πελαγικά είδη και αλιεία

Είναι γνωστό ότι στα ελληνικά νερά τα δύο κυρίαρχα είδη μικρών πελαγικών ιχθύων που αλιεύονται περισσότερο είναι ο γαύρος *E. encrasicolus* και η σαρδέλα *S. pilchardus*, με το ποσοστό τους να έχει σημειωθεί πως ξεπερνά το 30% της συνολικής



αλιείας της χώρας (Somarakis *et al.*, 2006). Η αλίευση αυτών των ειδών γίνεται κυρίως με κυκλικά δίχτυα (γρι-γρι), τα οποία συλλέγουν συγκεντρώσεις ιχθύων που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του νερού. Στην Ελλάδα, ο συγκεκριμένος τρόπος αλιείας δεν επιτρέπεται κατά την περίοδο Δεκεμβρίου – Φεβρουαρίου και 5 ημέρες κατά τη διάρκεια της πανσελήνου. Η αφθονία των αλιευμάτων υπερισχύει στην περιοχή του Αιγαίου σε σχέση με το Ιόνιο που οι εκφορτώσεις είναι κατά πολύ χαμηλότερες (δεδομένα από FAO), ενώ είναι αξιοσημείωτο ότι ως κύρια περιοχή αλιείας και των δύο ειδών παρουσιάζεται το Βόρειο Αιγαίο (Stergiou *et al.*, 1997). Όπως έχει ήδη αναφερθεί κάτι τέτοιο δικαιολογείται επειδή η περιοχή αυτή αποτελεί παράδειγμα της έντονης εισροής θρεπτικών από τις εκβολές των πολυάριθμων ποταμών, αλλά και τη Μαύρη Θάλασσα (Somarakis *et al.*, 2000, Ramfos *et al.*, 2000). Σχετικά με την περιοχή του Ιονίου, τόσο η αλιεία όσο και η εμφάνιση των ειδών αυτών φαίνεται να είναι αρκετά περιορισμένη και οι ιχθυοπληθυσμοί είναι πολύ μικρότεροι από τους αντίστοιχούς του Αιγαίου, ενώ είναι πιθανό να διαφέρουν και γενετικά (Somarakis *et al.*, 2006).

#### 4.2.2 Περίοδοι αναπαραγωγής ιχθύων και ανθίσεις φυτοπλαγκτού

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει στην περιοχή της Μεσογείου γενικά, αλλά του Αιγαίου και Ιονίου Πελάγους ειδικότερα, οι αναπαραγωγικές περίοδοι διαφέρουν ανά είδος και περιοχή. Συγκεκριμένα στο Αιγαίο και το Ιόνιο η εποχή αναπαραγωγής για το γάυρο ξεκινάει το Μάιο και ολοκληρώνεται το Σεπτέμβριο (Machias *et al.*, 2000, Tsianis *et al.*, 2003), ενώ φαίνεται να υπάρχουν και καταγραφές μέχρι και το μήνα Δεκέμβριο στην περιοχή του κεντρικού Αιγαίου κατά εξαίρεση, με την κορύφωση της περιόδου να εκδηλώνεται στις περισσότερες περιπτώσεις το μήνα Ιούνιο και προοδευτικά να φθίνει φτάνοντας έως το μήνα Οκτώβριο (Gkanasos *et al.*, 2021). Παράλληλα, για τη σαρδέλα η περίοδος αναπαραγωγής στο Αιγαίο ξεκινάει τον Αύγουστο και ολοκληρώνεται το Φεβρουάριο, ενώ στο Ιόνιο ξεκινάει τον Οκτώβριο και ολοκληρώνεται τον Ιανουάριο (Ganias *et al.*, 2007). Στο Αιγαίο φαίνεται πως η κορύφωση της περιόδου έρχεται νωρίτερα κατά τους μήνες μεταξύ Νοεμβρίου και Ιανουαρίου, ενώ στο Ιόνιο μετά τον Ιανουάριο, παράλληλα έχει σημειωθεί η πιθανότητα στο Αιγαίο να εμφανίζονται δύο περίοδοι υψηλότερης έντασης της αναπαραγωγής, η πρώτη στο τέλος του φθινοπώρου κατά το Νοέμβριο και η δεύτερη κατά το Φεβρουάριο (Somarakis *et al.*, 2006). Σύμφωνα, λοιπόν, με όλα όσα αναφέρθηκαν αξίζει να σημειωθεί ότι τα προνυμφικά στάδια της σαρδέλας

αναπτύσσονται σε περίοδο όπου τα ύδατα βρίσκονται σε χαμηλές θερμοκρασίες, το ζωοπλαγκτόν είναι άφθονο και οι μεταβολικές απαιτήσεις μειωμένες, ενώ τα αντίστοιχα στάδια του γαύρου εμφανίζονται τα τέλη της άνοιξης και το καλοκαίρι, όπου η διαθεσιμότητα της τροφής είναι μειωμένη και αυτό τα καθιστά ευάλωτα σε περιβαλλοντικούς παράγοντες (Schismenou *et al.*, 2016). Αυτή η άποψη ενισχύεται και από άλλες έρευνες που υποδεικνύουν ότι ο γαύρος αποτελεί ένα είδος που δε συγκεντρώνει μεγάλα ενεργειακά αποθέματα πριν την αναπαραγωγική περίοδο, αλλά περιμένει να τραφεί για να τα αποκτήσει κατά τη διάρκειά της, οπότε και βρίσκεται σε άμεση εξάρτηση από τη διαθεσιμότητα της τροφής στο περιβάλλον του (Somarakis, 2005, Somarakis *et al.*, 2019).

Συγκρίνοντας τις αναπαραγωγικές περιόδους κάθε είδους με τους μήνες άνθισης του φυτοπλαγκτού μπορεί να σημειωθεί ότι η αναπαραγωγική περίοδος για το γαύρο ξεκινάει μετά από τη εαρινή άνθιση των μηνών Φεβρουαρίου, Μαρτίου και τα νέα άτομα του πληθυσμού φαίνεται να επωφελούνται από αυτή, αλλά και από τη φθινοπωρινή άνθιση των μηνών Νοεμβρίου, Δεκεμβρίου του ίδιου έτους όντας νεαρά πριν συμπληρώσουν τον πρώτο χρόνο ζωής τους και εισαχθούν στο αλιευτικό απόθεμα την επόμενη ημερολογιακή χρονιά. Ωστόσο, οι θερμοκρασίες αυτής της περιόδου είναι πολύ υψηλές κάτι που δεν ευνοεί τη διαθεσιμότητα της τροφής και αποτελεί περιοριστικό παράγοντα. Σε αντίθεση, για τη σαρδέλα η αναπαραγωγική περίοδος ξεκινάει πολύ αργότερα από την άνθιση του χειμώνα και πιο συγκεκριμένα πριν την άνθιση του φθινοπώρου. Αυτό σημαίνει πως το είδος θα μπορούσε να επωφελείται κυρίως από την άνθιση των φθινοπωρινών μηνών για την ανάπτυξή του, αλλά και από τις χαμηλές θερμοκρασίες που επικρατούν τους επόμενους μήνες στην περιοχή και ενισχύουν την ανάμιξη των υδάτων και τον εμπλουτισμό τους με θρεπτικά. Κάτι που επίσης φαίνεται να συντελεί στην διαμόρφωση της αναπαραγωγικής περιόδου του είδους είναι το γεγονός ότι η σαρδέλα προτιμά να συγκεντρώνει ικανή ποσότητα θρεπτικών, ώστε να δημιουργεί αποθέματα τροφής που θα είναι ικανά να εξασφαλίσουν τις ενεργειακές της απαιτήσεις κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, χωρίς να κινδυνεύει σε περίπτωση που περιοριστεί η τροφή στο περιβάλλον της (Ganias *et al.*, 2007, Somarakis *et al.*, 2019).

#### 4.2.3 Αναλογία γαύρου/σαρδέλας και συγκέντρωση χλωροφύλλης α

Λαμβάνοντας υπόψη όσα αναφέρθηκαν παραπάνω και τα αποτελέσματα της εργασίας, χρειάζεται να επισημανθεί πως δε βρέθηκε κάποια στατιστικά σημαντική σχέση που να είναι ικανή να συνδέσει άμεσα τη συγκέντρωση χλωροφύλλης α με την ποσότητα των ιχθύων σε κάποιο από τα δύο είδη, αλλά μόνο με την αναλογία τους. Κάτι τέτοιο έχει παρατηρηθεί και σε άλλες έρευνες, όπου η συσχέτιση μεταξύ συγκέντρωσης χλωροφύλλης α και αφθονίας αυτών των ειδών είναι αρκετά χαμηλή και αυτό υποδεικνύει πως η χλωροφύλλη α δεν επιδρά άμεσα στη διαμόρφωση του αποθέματός τους, αλλά έμμεσα μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξή τους όταν βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα (Basilone *et al.*, 2006, Bellido *et al.*, 2008, Ganias, 2009). Παράλληλα, άλλες εργασίες μεταγενέστερα έχουν δείξει ότι οι πληθυσμοί των νεαρών ατόμων σαρδέλας φαίνεται να προτιμούν περιβάλλοντα με μέτριες τιμές συγκέντρωσης χλωροφύλλης α (Giannoulaki *et al.*, 2011), ενώ η σχέση μεταξύ αυτής και του γαύρου διαμορφώνεται ως αρνητική τόσο σε νεαρά, όσο και σε ενήλικα άτομα (Patti *et al.*, 2020, Pennino *et al.*, 2020). Αυτά τα αποτελέσματα μπορούν να αιτιολογηθούν εάν δοθεί έμφαση στην ικανότητα των μικρών πελαγικών ειδών να προσαρμόζουν τη διατροφή τους ανάλογα με τη διαθεσιμότητα στον περιβάλλον τους επιλέγοντας να στοχεύσουν σε συγκεκριμένη λεία, ή να τραφούν γενικευμένα (Ganias, 2009, Costalago *et al.*, 2015).

Επομένως, μελετώντας την αναλογία γαύρου/σαρδέλας βρέθηκαν κάποιες στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις με τη συγκέντρωση χλωροφύλλης α χρησιμοποιώντας κυρίως ένα χρόνο χρονοκαθυστέρηση. Αυτή η καθυστέρηση συμπεριλαμβάνεται και σε άλλες μελέτες και κυρίως χρησιμοποιείται όταν η αφθονία των ιχθύων μετρείται μέσω των εκφορτώσεων, επειδή τα άτομα που αλιεύονται είναι ενός έτους και άνω σε αυτά τα είδη (Borja *et al.*, 1998, Katara *et al.*, 2011), καθώς επίσης και η φθινοπωρινή άνθιση του φυτοπλαγκτού είναι λογικό να αποτυπώνεται στις τιμές των ιχθύων του επόμενου έτους, αφού λαμβάνει χώρα Νοέμβριο και Δεκέμβριο. Ειδικότερα, η θετική συσχέτιση που διαμορφώνεται μεταξύ της χλωροφύλλης α και της αναλογίας των δύο εξεταζόμενων ειδών στο σύνολο των ελληνικών υδάτων, αλλά και στο Αιγαίο, του οποίου οι πληθυσμοί επικρατούν αριθμητικά έναντι του Ιονίου, είναι κάτι που υποδεικνύει ότι η σχέση μεταξύ των δύο ειδών είναι ισχυρότερη συγκρινόμενη με την εμφάνισή τους ως μεμονωμένα είδη. Παρά τις διαφορές που αναφέρθηκαν ως προς τις αναπαραγωγικές περιόδους και τη στρατηγική που επιλέγουν να διαμορφώσουν τις αποθήκες ενέργειάς τους, οι πληθυσμοί τους ανταγωνίζονται ως προς την τροφή και το ενδιαίτημά τους, τα οποία διαμορφώνονται άμεσα από πολλούς και διαφορετικούς

περιβαλλοντικούς παράγοντες (Katara *et al.*, 2011). Αυτό το γεγονός καθιστά τη σχέση τους ισχυρότερη και διαμορφώνει το αλιευτικό απόθεμα δείχνοντας πως η αναλογία τους κυμαίνεται συγχρονισμένα με τη χλωροφύλλη *a*, άρα και επηρεάζεται έντονα από αυτή, κάτι που οι σχέσεις κατά είδος το απορρίπτουν. Αυτό αποδεικνύεται και από άλλες έρευνες σχετικά με τη διακύμανση της βιομάζας τους για την περιοχή του Βορείου Αιγαίου (Gkanasos *et al.*, 2021), η οποία όταν εξετάζεται ανά είδος δεν εμφανίζει ιδιαίτερες διαφορές και θα μπορούσε να χαρακτηριστεί παρόμοια, ενώ όταν εκτιμάται και για τα δύο είδη μαζί διαφέρει υποδεικνύοντας πως όταν κυριαρχεί ο γαύρος, η διαθεσιμότητα της τροφής περιορίζεται για τη σαρδέλα, οπότε μειώνεται και το απόθεμά της. Επομένως, υπάρχει ανταγωνισμός μεταξύ των ειδών και η αναλογία τους καθορίζεται όχι μόνο προς την ποσότητα, αλλά και το χρόνο εμφάνισης του κάθε είδους (Gkanasos *et al.*, 2021). Επιπλέον, ο ανταγωνισμός μεταξύ τους είναι εμφανής και από το γεγονός ότι όταν αλιεύονται υπερβολικά και τα δύο είδη, αυτόματα αυξάνεται η ποσότητα του πλαγκτού από τη στιγμή που οι κυριότεροι θηρευτές του έχει περιοριστεί ποσοτικά (Gkanasos *et al.*, 2019). Για αυτούς τους λόγους και η σχέση της αναλογίας τους ισχυροποιείται και επιλέγεται να μελετάται περισσότερο από το κάθε είδος ξεχωριστά.

Σε σχέση με το Ιόνιο, όπου οι συσχετίσεις είναι αρνητικές φαίνεται να διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο η διαφορά που υπάρχει στους πληθυσμούς μεταξύ των δύο περιοχών σε γενετικό επίπεδο (Somarakis *et al.*, 2006, Kristoffersen and Magoulas, 2008), αλλά και αναφορικά με την αφθονία, αφού η παρουσία τους είναι πολύ περιορισμένη και οι περιβαλλοντικές συνθήκες που την καθορίζουν διαφέρουν. Η μελέτη του Ιονίου βοήθησε να ισχυροποιηθεί η θετική συσχέτιση της αναλογίας γαύρου/σαρδέλας με τη χλωροφύλλη *a* κυρίως της περιοχής του Αιγαίου, γιατί απομονώνοντας τη παρουσιάσθηκε η αιτία που αποδυναμώνει τη στατιστική σημαντικότητα στο σύνολο των ελληνικών υδάτων.

Τέλος, επιβάλλεται πως για να εξασφαλισθεί ότι η σημαντικότητα των συσχετίσεων δε βασίζεται σε τυχαία γεγονότα, δεδομένου ότι γίνονται ταυτόχρονα πολλαπλές συσχετίσεις στο ίδιο δείγμα, θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί κάποια παράμετρος διόρθωσης όπως του Bonferroni (Haynes, 2013), για παράδειγμα. Χρησιμοποιώντας τη διόρθωση αυτή και λαμβάνοντας υπόψιν ότι κάθε δείγμα εξετάστηκε για 6 διαφορετικές υποθέσεις, το επίπεδο σημαντικότητας μειώθηκε σε  $\alpha' = 0.0083$ . Ωστόσο, επιλέχθηκε να αποδοθούν γραφικά οι συσχετίσεις για το αρχικό επίπεδο

σημαντικότητας  $\alpha=0.05$ , ώστε να δοθεί μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τη σχέση της συγκέντρωσης χλωροφύλλης  $a$  και της αναλογίας Γαύρου/Σαρδέλας.

### 4.3 Μελλοντική έρευνα

Ολοκληρώνοντας την εργασία αυτή πρέπει να γίνει αναφορά στις πολλαπλές σχέσεις που εξετάστηκαν όχι μόνο ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης  $a$  και στην βιομάζα των ιχθύων, αλλά και μεταξύ αυτών και των περιβαλλοντικών παραγόντων. Η απουσία ενός ικανοποιητικού βαθμού συσχέτισης και στατιστικής σημαντικότητας ήταν οι καθοριστικοί παράγοντες που τα αποτελέσματα αυτά αποκλείστηκαν από την παρουσίασή τους. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στην περιορισμένη χρονοσειρά δεδομένων που αποτέλεσε τροχοπέδη για τη δημιουργία πιο ισχυρών σχέσεων και τη διαμόρφωση πιο βέβαιων συμπερασμάτων.

Παρόλα αυτά, οι αναλύσεις που παρουσιάστηκαν και έδειξαν κάποιες ενδιαφέρουσες σχέσεις μπορούν να είναι η αρχή για περαιτέρω έρευνα πάνω στο συγκεκριμένο πεδίο. Γενικά, η Μεσόγειος Θάλασσα φαίνεται να επηρεάζεται από τις μακροχρόνιες μεταβολές των περιβαλλοντικών της παραγόντων, οι οποίες σταδιακά οδηγούν σε αλλαγές στα οικοσυστήματα και τα αποθέματα των ιχθύων (Tzanatos *et al.*, 2013). Ειδικότερα, η συγκέντρωση χλωροφύλλης  $a$  συνιστά το δεύτερο σημαντικότερο παράγοντα που φαίνεται να επηρεάζει τη διαμόρφωση των ιχθυοπληθυσμών μετά την επιφανειακή θερμοκρασία των υδάτων (Katara *et al.*, 2011; Basilone *et al.*, 2017). Εστιάζοντας χωρικά η περιοχή του Αιγαίου είναι από τις πιο μελετημένες στη Μεσόγειο Θάλασσα λόγω των ιδιαίτερων περιβαλλοντικών συνθηκών που έχει και της εξασφαλίζουν τις τοπικά και χρονικά καθορισμένες εξάρσεις σε θρεπτικά συστατικά παρά τον ολιγοτροφικό της χαρακτήρα. Οπότε η αναλογία των δύο κυρίαρχων πελαγικών ειδών αξίζει να ερευνηθεί περισσότερο και να χρησιμοποιηθούν πιο εξειδικευμένες αναλύσεις σε σχέση με τη χλωροφύλλη  $a$ , οι οποίες θα είναι ικανές να ισχυροποιήσουν τα παρόντα αποτελέσματα.

Παράλληλα, είναι ενδιαφέρον να αξιοποιηθούν και δεδομένα φαινολογίας για το φυτοπλαγκτόν, τα οποία θα περιγράφουν πως διαμορφώνεται η σύσταση του σε είδη, ποια από αυτά κυριαρχούν και πως αυτά επηρεάζουν την πρωτογενή παραγωγικότητα. Στη συνέχεια τα συμπεράσματα που θα εξαχθούν θα συνδυαστούν με τον κατάλληλο τρόπο με τις αφθονίες και τις βιομάζες των ιχθύων για να διερευνηθεί περαιτέρω η σχέση που φαίνεται να έχει αναπτυχθεί ως προς την αναλογία των δύο πελαγικών

ιχθύων που μελετήθηκαν (Gittings *et al.*, 2021). Σε δεύτερο επίπεδο, θα πρέπει να συσχετιστεί η αναλογία των ιχθύων και με άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες πέρα από τη χλωροφύλλη *a* με κυριότερο την επιφανειακή θερμοκρασία, με την οποία τα δύο είδη φαίνεται να έχουν αντίθετες συσχετίσεις (Tzanatos *et al.*, 2013). Αυτό θα μπορέσει να περιγράψει καλύτερα τη σχέση μεταξύ των δύο ειδών και δώσει μεγαλύτερα βαρύτητα στις σχέσεις με τη συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a*. Έτσι, θα είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν μελέτες και με γνώμονα τη διερεύνηση της κλιματικής αλλαγής και τον τρόπο που αυτή αποτυπώνεται μέσω των τροφικών σχέσεων στα θαλάσσια οικοσυστήματα.

Σε ένα γενικότερο πλαίσιο ξεκινώντας από μία τοπική μελέτη θα ήταν επιθυμητό να επεκταθεί η ανάλυση σε μεγαλύτερης κλίμακας περιοχές, προσπαθώντας να αποτυπώσει δυνητικά μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τον παγκόσμιο ωκεανό. Από την ολιστική μελέτη θα μπορέσουν να εξαχθούν σημαντικά συμπεράσματα που δε θα περιορίζονται τοπικά και θα απεικονίζουν την ταχεία εξέλιξη σοβαρών ζητημάτων που απασχολούν τον πλανήτη όπως η κλιματική αλλαγή που αναφέρθηκε παραπάνω και αποτελεί ένα από τα κυριότερα θέματα περιβαλλοντικής μελέτης σήμερα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Agostini, V., Bakun, A., (2002). “Ocean triads” in the Mediterranean Sea: physical mechanisms potentially structuring reproductive habitat suitability (with example application to European anchovy, *Engraulis encrasicolus*). *Fisheries Oceanography*, 11, 129–142.

Androulidakis, Y., S., Krestenitis, Y., N., Psarra, S., (2017) Coastal upwelling over the North Aegean Sea: 611 Observations and simulations. *Continental Shelf Research*, 149, 32–51.

Aqua MODIS, (2019). Μέσω πρόσβασης στον υπερσύνδεσμο: <https://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/directaccess/MODIS-Aqua/L3SMI/>

Bakun, A., (1996). Patterns in the Ocean: Ocean Processes and Marine Population Dynamics. California Sea Grant College System, La Jolla.

Basilone, G., Guisande, C., Patti, B., Mazzola, S., Cuttitta, A., Bonanno, A., *et al.*, 2006. Effect of habitat conditions on reproduction of the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Strait of Sicily. *Fisheries Oceanography*, 15, 271–280. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2419.2005.00391.x>

Basilone, G., Mangano, S., Pulizzi, M., Fontana, I., Giacalone, G., Ferreri, R., *et al.*, (2017). European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) age structure and growth rate in two contrasted areas of the Mediterranean Sea: the paradox of faster growth in oligotrophic seas. *Mediterranean Marine Science*, 15, 739–752. <http://dx.doi.org/10.12681/mms.2059>

Bellido, J., M., Brown, A., M., Valavanis, V., D., Giráldez, A., Pierce, G., J., Iglesias, M., *et al.*, (2008). Identifying essential fish habitat for small pelagic species in Spanish Mediterranean waters. *Hydrobiologia*, 612, 171–184. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-008-9481-2>

Bojinski, S., Verstraete, M., Peterson, C., T., Richter, C., Simmons, A., Zemp, M., (2014). The concept of essential climate variables in support of climate research, applications, and policy. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(9), 1431–1443.

Borja, A., Uriarte, A., Egan˜a, J., Motos L. Valencia, V., (1998). Relationships between anchovy (*Engraulis encrasicolus*) recruitment and environment in the Bay of Biscay (1967–1996). *Fisheries Oceanography*, 7, 375–380.

Boyce, D., Lewis, M., Worm, B., (2010) Global phytoplankton decline over the past century. *Nature*, 466, 591–596. <https://doi.org/10.1038/nature09268>

Brewin, R., J., Ciavatta, S., Sathyendranath, S., Jackson, T., Tilstone, G., Curran, K., Airs, R., L., Cummings, D., Brotas, V., Organelli, E., Dall'Olmo, G., (2017). Uncertainty in ocean-color estimates of chlorophyll for phytoplankton groups. *Frontiers in Marine Science*, 4, 104.

Chaniotaki, M., Kolovoyiannis, V., Tragou, E., Herold, L. A., Batjakas, I., E., Zervakis, V., (2021). Investigation of the response of the Aegean Sea to the Etesian wind forcing. *Continental Shelf Research*, 225, 104485. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2021.104485>

Costalago, D., Garrido, S., Palomera, I., (2015). Comparison of the feeding apparatus and diet of European sardines *Sardina pilchardus* of Atlantic and Mediterranean waters: Ecological implications. *Journal of Fish Biology*, 86, 1348–1362. <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12645>.

Ducklow, H., W., Harris, R., P., (1993). Introduction to the JGOFS North Atlantic bloom experiment. *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography*. 40, 1–8. doi: 10.1016/0967-0645(93)90003-6

Fernández-Corredor, E., Albo-Puigserver, M., Grazia Pennino, M., Bellido, J., M., Coll, M., (2021). Influence of environmental factors on different life stages of European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and European sardine (*Sardina pilchardus*) from the Mediterranean Sea: A literature review, *Regional Studies in Marine Science*, 41, 101606. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101606>

Field, C., B., Behrenfeld, M., J., Randerson, J., T., Falkowski, P., G., (1998). Primary production of the biosphere: Integrating terrestrial and oceanic components. *Science* (80), 281, 237–240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>

Flanders Marine Institute, (2019). Maritime Boundaries Geodatabase: Maritime Boundaries and Exclusive Economic Zones (200NM), version 11. Available online at <http://www.marineregions.org/>. <https://doi.org/10.14284/386> (look up in [IMIS](#))



Food Agricultural Organization (FAO), (2022). GFCM capture production (1970-2019). Μέσω πρόσβασης στον υπερσύνδεσμο: <https://www.fao.org/gfcm/data/capture-production>

Frangoulis, C., Grigoratou, M., Zoulias, T., Hannides, C., C., Pantazi, M., Psarra, S., Siokou, I., (2017). Expanding zooplankton standing stock estimation from meso-to metazooplankton: A case study in the N. Aegean Sea (Mediterranean Sea). *Continental Shelf Research*, 149, 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.csr.2016.10.004>

Fuentes-Yaco, C., Devred, E., Sathyendranath, S., Platt, T., Payzant, L., Caverhill, C., Porter, C., Maass, H. and White III, G.N., (2005). Comparison of *in situ* and remotely-sensed (SeaWiFS) chlorophyll-a in the Northwest Atlantic. *Indian Journal of Marine Science*, 34(4), 342-355.

Ganias, K., 2009. Linking sardine spawning dynamics to environmental variability. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 84, 402–408. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2009.07.004>

Ganias, K., Somarakis, S., Koutsikopoulos, C., Machias, A., (2007). Factors affecting the spawning period of sardine in two highly oligotrophic Seas. *Marine Biology*, 151, 1559–1569.

Garrido, S., Van der Lingen, C., D., (2014). Feeding biology and ecology. In *Biology and Ecology of Sardines and Anchovies* (eds. Ganias, K., CRC Press, Boca Raton, FL), 122–189.

Giannoulaki, M., Pyrounaki, M., M., Liorzou, B., Leonori, I., Valavanis, V., D., Tsagarakis, K., *et al.*, (2011). Habitat suitability modelling for sardine juveniles (*Sardina pilchardus*) in the Mediterranean Sea. *Fisheries Oceanography*, 20, 367–382. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2419.2011.00590.x>

Gittings, J., A., Raitsos, D., E., Racault, M., F., Brewin, R., J., Pradhan, Y., Sathyendranath, S., Platt, T., (2017). Seasonal phytoplankton blooms in the Gulf of Aden revealed by remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 189, 56-66.

Gittings, J., A., Raitsos, D., E., Brewin, R., J., W., Hoteit, I., (2021). Links between Phenology of Large Phytoplankton and Fisheries in the Northern and Central Red Sea. *Remote Sensing*, 13, 231. <https://doi.org/10.3390/rs13020231>

Gkanasos, A., Somarakis, S., Tsiaras, K., Kleftogiannis, D., Giannoulaki, M., Schismenou, E., Sofianos, S., Triantafyllou, G., (2019). Development, application and evaluation of a 1-D full life cycle anchovy and sardine model for the North Aegean Sea (Eastern Mediterranean). *Plos one*, 14(8), p.e0219671. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219671>

Gkanasos, A., Schismenou, E., Tsiaras, K., Somarakis, S., Giannoulaki, M., Sofianos, S., Triantafyllou, G., (2021). A three dimensional, full life cycle, anchovy and sardine model for the North Aegean Sea (Eastern Mediterranean): Validation, sensitivity and climatic scenario simulations. *Mediterranean Marine Science*, 22(3), 653–668. <https://doi.org/10.12681/mms.27407>

Global Modeling and Assimilation Office (GMAO), (2015): MERRA-2 tagM\_2d\_flux\_Nx: 2d, Monthly mean, Time-Averaged, Single-Level, Assimilation, Surface Flux Diagnostics V5.12.4, Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [02/05/2022], [10.5067/0JRLVL8YV2Y4](https://doi.org/10.5067/0JRLVL8YV2Y4)

Gregg, W., W., Conkright, M., E., Ginoux, P., O'Reilly, J., E., Casey, N., W., (2003). Ocean primary production and climate: Global decadal changes. *Geophysical Research Letters*, 30 (15), 1809. doi: <https://doi.org/10.1029/2003GL016889>.

Haynes, W., (2013). Bonferroni Correction. In: Dubitzky, W., Wolkenhauer, O., Cho, K., H., Yokota, H., (eds) Encyclopedia of Systems Biology. *Springer*, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7\\_1213](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9863-7_1213)

International Standard Statistical Classification of Aquatic Animals and Plants - ISSCAAP-,(2000). <https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/cwp/handbook/annex/AnnexS2listISCAAP2000.pdf>

Kahru, M., Gille, S., T., Murtugudde, R., Strutton, P., G., Manzano-Sarabia, M., Wang, H., Mitchell, B., G., (2010). Global correlations between winds and ocean chlorophyll. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(C12).

Katara, I., Illian, J., Pierce, G., J., Beth Scott, B., Wang, J., (2008) Atmospheric forcing on chlorophyll concentration in the Mediterranean. *Hydrobiologia*, 612, 33–48.

- Katara, I., Pierce, G., J., Illian, J., Scott, B., E., (2011). Environmental drivers of the anchovy/sardine complex in the Eastern Mediterranean. *Hydrobiologia*, 670(1), 49–65. doi:10.1007/s10750-011-0693-5
- Katsoulis, K., Rovoli, M., (2019). Potential Impacts of Mediterranean *Mytilus Galloprovincialis* Mussel Farming in a Specific Area of Aegean Sea”. *Journal of Veterinary Science and Medicine*, 7(1), 10.
- Kristoffersen, J., B., Magoulas, A., (2008). Population structure of anchovy *Engraulis encrasicolus* L. in the Mediterranean Sea inferred from multiple methods. *Fisheries Research*, 91, 187–195.
- Lafuente, J. G., Vargas, J., M., Criado, F., Garcia, A., Delgado J., Mazzola, S., (2005). Assessing the variability of hydrographic processes influencing the life cycle of the Sicilian Channel anchovy, *Engraulis encrasicolus*, by satellite imagery. *Fisheries Oceanography*, 14, 32–46.
- Lagaria, A., Psarra, S., Gogou, A., Tuğrul, S., Christaki, U., (2013). Particulate and dissolved primary production along a pronounced hydrographic and trophic gradient (Turkish Straits System–NE Aegean Sea). *Journal of Marine Systems*, 119, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2013.02.009>
- Lykousis, V., Chronis, G., Tselepidis, A., Price, N., B., Theocharis, A., Siokou-Frangou, I., Van Wambeke, F., Danovaro, R., Stavrakakis, S., Duineveld, G., Georgopoulos, D., Ignatiades, L., Souvermezoglou, A., Voutsinou-Taliadouri, F., (2002). Major outputs of the recent multidisciplinary biogeochemical researches undertaken in the Aegean Sea. *Journal of Marine Systems*, 33–34, 313–334.
- Machias, A., Somarakis, S., Drakopoulos, P., Magoulas, A., Koutsikopoulos, C., (2000). Evaluation of the Southern Greek Anchovy Stocks. Institute of Marine Biology, Crete. Project 97-0048, Final Report.
- Moutopoulos, D., K., Tsikliras, A., T., Stergiou, K., I., (2015). Reconstruction of Greek fishery catches by fishing gear and area (1950-2010). *Fisheries Centre Working Paper #2015-11*, University of British Columbia, Vancouver. Με πρόσβαση στη σελίδα EEZ για την Ελλάδα (Μεσόγειος) στο: [seararoundus.org](http://seararoundus.org)

Moutopoulos, D., K., (2020). Greece (including Crete): Updated catch reconstruction to 2018, p. 179-187. In: B. Derrick, M. Khalfallah, V. Relano, D. Zeller and D. Pauly (eds). Updating to 2018 the 1950-2010 Marine Catch Reconstructions of the Sea Around Us: Part I – Africa, Antarctica, Europe and the North Atlantic. *Fisheries Centre Research Report*, 28(5).

D' Ortensio, F., Ribera d' Alcalà, M., (2009). On the trophic regimes of the Mediterranean Sea: a satellite analysis. *Biogeosciences*, 6(2), 139-148. <https://doi.org/10.5194/bg-6-139-2009>

Patti, B., Torri, M., Cuttitta, A., (2020). General surface circulation controls the interannual fluctuations of anchovy stock biomass in the Central Mediterranean Sea. *Scientific Reports*, 10, 0–14. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-58028-0>

Pauly, D., Christensen, V., (1995). Primary production required to sustain global fisheries. *Nature* 374: 255–257.

Pennino, M., G., Coll, M., Albo-Puigserver, M., Fernández-Corredor, E., Steenbeek, J., Giráldez, A., *et al.*, (2020). Current and future influence of environmental factors on small pelagic fish distributions in the northwestern Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 7, 1–20. <http://dx.doi.org/10.3389/fmars.2020.00622>.

Pinardi, N., Navarra, A., (1993). Baroclinic wind adjustment processes in the Mediterranean Sea, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 40 (6), 1299-1326. [https://doi.org/10.1016/0967-0645\(93\)90071-T](https://doi.org/10.1016/0967-0645(93)90071-T)

Protopapa, M., Zervoudaki, S., Tsangaris, C., Velaoras, D., Koppelman, R., Psarra, S., Möllmann, C., (2019). Zooplankton distribution, growth and respiration in the Cretan Passage, Eastern Mediterranean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 164, 156-169.

Raitsos, D., E., Reid, P., C., Lavender, S., J., Edwards, M., Richardson, A., J. (2005). Extending the SeaWiFS chlorophyll data set back 50 years in the northeast Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 32(6).

Raitsos, D., E., Lavender, S., J., Pradhan, Y., Tyrrell, T., Reid, P., C., Edwards, M., (2006). Coccolithophore Bloom Size Variation in Response to the Regional

Environment of the Subarctic North Atlantic. *Limnology and Oceanography*, 51, 2122–2130.

Raitsos, D., E., Lavender, S., J., Maravelias, C., D., Haralabous, J., Richardson, A., J., Reid, P., C., (2008), Identifying four phytoplankton functional types from space: An ecological approach, *Limnology and Oceanography*, 53, doi: 10.4319/lo.2008.53.2.0605.

Ramfos, A., Koutsikopoulos, C., Fragopoulou, N., Machias, A., Somarakis, S., Pyronovaki, E., Lykakis, I., 2000. Hydrology and biological features in the coastal areas of Central Greece during the anchovy spawning period. In: Proc. 6<sup>th</sup> PanHellenic Symp. Oceanogr. Fish. 6(2), 88-93.

Rice, J., (1995). Food web theory, marine food webs, and what climate change may do to northern marine fish populations. In R.J. Beamish [ed.] Climate change and northern fish populations. Canada, *Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*, 121, 561-568.

Santos, A., M., P., Peliz, A., Dubert, J., Oliveira, P., B., Ange'lic, M., M., Re', P., (2004). Impact of a winter upwelling event on the distribution and transport of sardine (*Sardina pilchardus*) eggs and larvae off western Iberia: a retention mechanism. *Continental Shelf Research*, 24, 149–165.

Sathyendranath, S.; Jackson, T.; Brockmann, C.; Brotas, V.; Calton, B.; Chuprin, A.; Clements, O.; Cipollini, P.; Danne, O.; Dingle, J.; Donlon, C.; Grant, M.; Groom, S.; Krasemann, H.; Lavender, S.; Mazeran, C.; Mélin, F.; Moore, T.S.; Müller, D.; Regner, P.; Steinmetz, F.; Steele, C.; Swinton, J.; Valente, A.; Zühlke, M.; Feldman, G.; Franz, B.; Frouin, R.; Werdell, J.; Platt, T., (2020). ESA Ocean Colour Climate Change Initiative (Ocean\_Colour\_cci): Global chlorophyll-a data products gridded on a sinusoidal projection, Version 4.2. *Centre for Environmental Data Analysis*, 29/05/2022. <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/99348189bd33459cbd597a58c30d8d10>

Sathyendranath, S.; Jackson, T.; Brockmann, C.; Brotas, V.; Calton, B.; Chuprin, A.; Clements, O.; Cipollini, P.; Danne, O.; Dingle, J.; Donlon, C.; Grant, M.; Groom, S.; Krasemann, H.; Lavender, S.; Mazeran, C.; Mélin, F.; Müller, D.; Steinmetz, F.; Valente, A.; Zühlke, M.; Feldman, G.; Franz, B.; Frouin, R.; Werdell, J.; Platt, T., (2021). ESA Ocean Colour Climate Change Initiative (Ocean\_Colour\_cci): Version 5.0

Data. NERC EDS Centre for Environmental Data Analysis, 19 May 2021.  
doi:10.5285/1dbe7a109c0244aaad713e078fd3059a.

<http://dx.doi.org/10.5285/1dbe7a109c0244aaad713e078fd3059a>

Sathyendranath, S., Watts, L., Devred, E., Platt, T., Caverhill, C., Maass, H., (2004). Discrimination of diatoms from other phytoplankton using ocean-colour data. *Marine ecology progress series*, 272, 59-68.

Schismenou, E., Palmer, M., Triantafyllou, G., Tsiaras, K., Somarakis, S., Alvarez, I., *et al.*, (2016). Seasonal changes in otolith increment width trajectories and the effect of temperature on the daily growth rate of young sardines. *Fisheries Oceanography*, 25, 362–372. <http://dx.doi.org/10.1111/fog.12158>

Schwing, F. B., Mendelsohn, R., Bograd, S., J., Overland, J., E., Wang, M., Ito, S., (2010). Climate change, teleconnection patterns, and regional processes forcing marine populations in the Pacific. *Journal of Marine Systems*, 79, 245–257.

Scientific, Technical and Economic Committee for Fisheries (STECF), (2017). Mediterranean Stock Assessments 2017 part I (STECF-17-15). Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-67487-7, doi:10.2760/897559, JRC109350

Siokou-Frangou, I., Christaki, U., Mazzocchi, M., G., Montresor, M., d'Alcalá, M., R., Vaqué, D., Zingone, A., (2010). Plankton in the open Mediterranean Sea: a review. *Biogeosciences*, 7, 1583-1586.

Skliris, N., Mantziafou, A., Sofianos, S., Gkanasos, A., (2010). Satellite-derived variability of the Aegean Sea ecohydrodynamics, *Continental Shelf Research*, 30, 5, 403-418, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.12.012>.

Somarakis, S., Machias, A., Koutsikopoulos, C., Maraveya, E., Giannoulaki, M., Tsimenides, N., (2000). Distribution of anchovy and its spawning grounds off the central Aegean and Ionian Seas. In: Proc. 6th Panhellenic Symp. Oceanogr. Fish. 6(2), 94-98.

Somarakis S., (2005). Marked inter-annual differences in reproductive parameters and daily egg production of anchovy in the northern Aegean Sea. *Belgium Journal of Zoology*, 135, 247–252.

- Somarakis, S., Tsianis, D., E., Stergiou, K., Machias, A., (2006). An overview of biological data related to anchovy and sardine stocks in Greek waters. *Fisheries Centre Research Reports*, 14, 56-64.
- Somarakis, S., Tsoukali, S., Giannoulaki, M., Schismenou, E., Nikolioudakis, N., (2019). Spawning stock, egg production and larval survival in relation to small pelagic fish recruitment. *Marine Ecology Progress Series*, 617–618, 113–136.
- Stergiou, K., I., (1991). Describing and forecasting the sardine-anchovy complex in the eastern Mediterranean using vector autoregressions. *Fisheries Research*, 11, 127–141.
- Stergiou, K., I., Christou, E., D., Georgopoulos, D., Zenetos, A., Souvermezoglou, C. (1997). The Hellenic Seas: physics, chemistry, biology and fisheries. *Oceanography and Marine Biology*, 35, 415-538.
- Tsianis, D., E., Moutopoulos, D., K., Stergiou, K., I., (2003). Elements of biology and reproduction of *Engraulis encrasicolus* (Linnaeus, 1758) in NW Aegean. In: Proceedings of the 1st PanHellenic Conference of Ecologists, Thessaloniki.
- Tsiaras, K., P., Kourafalou, V., H., Raitsos, D., E., Triantafyllou, G., Petihakis, G., Korres G., (2012). Inter-annual productivity variability in the North Aegean Sea: Influence of thermohaline circulation during the Eastern Mediterranean Transient. *Journal of Marine Systems*, 96–97, 72–81.
- Tzanatos, E., Raitsos, D., Triantafyllou, G., Somarakis, S., Tsonis, A., (2013). Indications of a climate effect on Mediterranean fisheries. *Climatic Change*, 122 (1-2), 41-54.
- Varkitzi, I., Psarra, S., Assimakopoulou, G., Pavlidou, A., Krasakopoulou, E., Velaoras, D., Papathanassiou, E., Pagou, K., (2020). Phytoplankton dynamics and bloom formation in the oligotrophic Eastern Mediterranean: Field studies in the Aegean, Levantine and Ionian seas. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 171. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2019.104662>.
- Velaoras, D., Papadopoulos, V., P., Kontoyiannis, H., Cardin, V., Civitarese, G., (2019). Water masses and hydrography during April and June 2016 in the cretan sea and cretan passage (Eastern Mediterranean Sea). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 164, 25-40. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2018.09.005>

Volpe, G., Nardelli, B., B., Cipollini, P., Santoleri, R., Robinson, I., S., (2012). Seasonal to interannual phytoplankton response to physical processes in the Mediterranean Sea from satellite observations. *Remote Sensing of Environment*, 117, 223–235.

Zervoudaki, S., Christou, E., D., Assimakopoulou, G., Örek, H., Gucu, A., C., Giannakourou, A., Pitta, P., Terbiyik, T., Yücel, N., Moutsopoulos, T., Pagou, K., (2011). Copepod communities, production and grazing in the Turkish Straits System and the adjacent northern Aegean Sea during spring. *Journal of Marine Systems*, 86, 45-56. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2011.02.002>

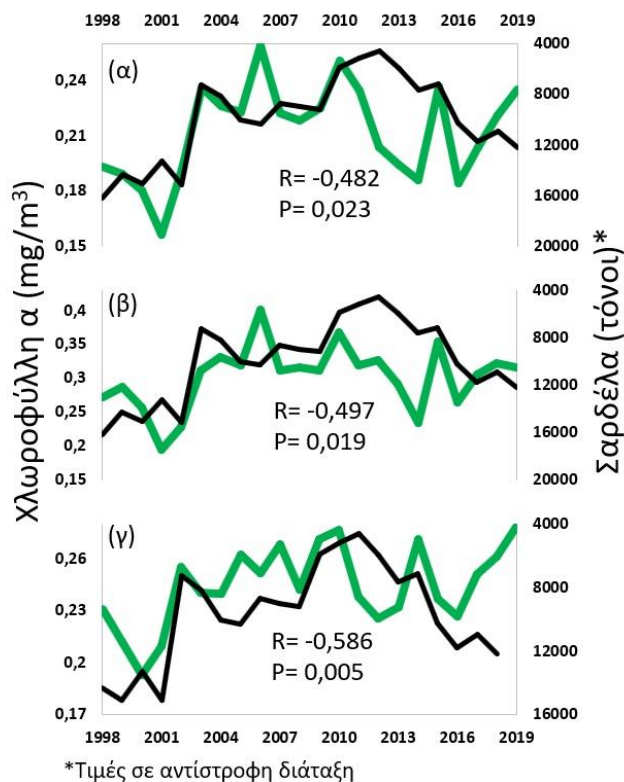
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ ΕΞΩΦΥΛΛΟΥ

[https://unsplash.com/photos/underwater-photo-k7rZ8wTfABA?utm\\_content=creditShareLink&utm\\_medium=referral&utm\\_source=unsplash](https://unsplash.com/photos/underwater-photo-k7rZ8wTfABA?utm_content=creditShareLink&utm_medium=referral&utm_source=unsplash)

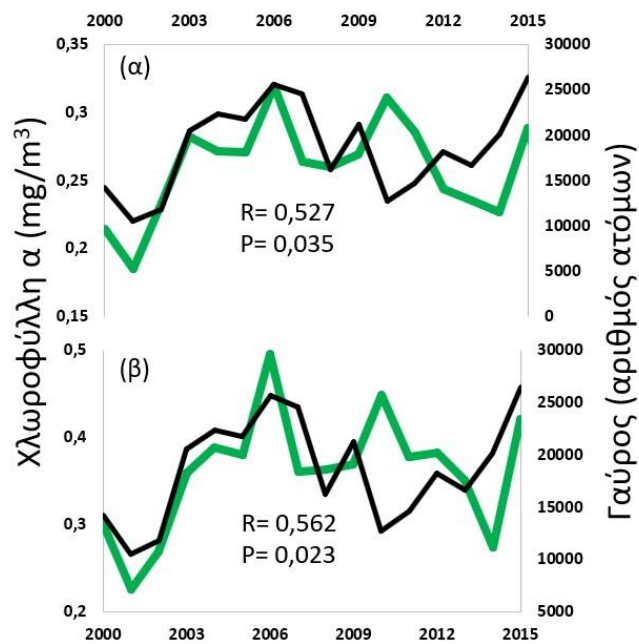




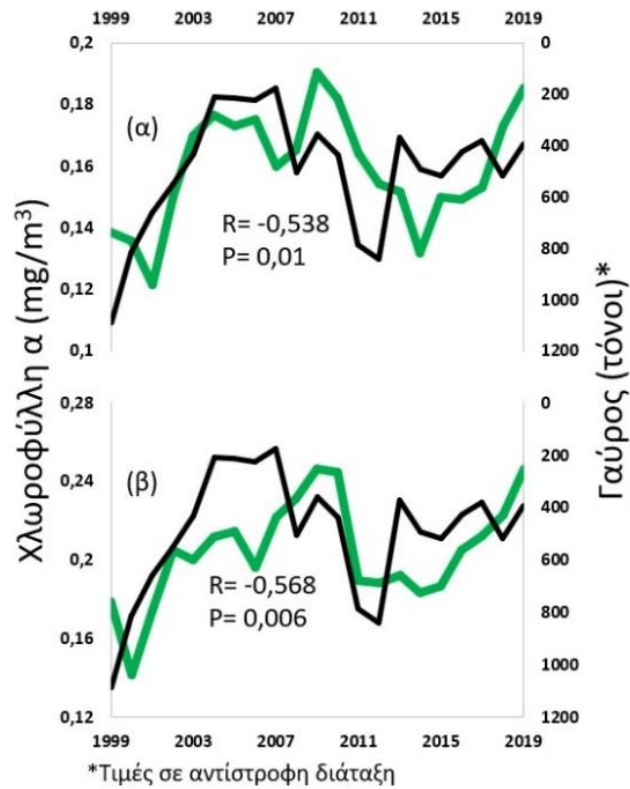
## ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ



Συμπληρωματική Εικόνα 1: Η συσχέτιση της διακύμανσης ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α (—) και τη βιομάζα Σαρδέλας (—) από δεδομένα εκφορτώσεων του FAO (α, β, γ) από το 1998 έως το 2019 στην περιοχή του Αιγαίου Πελάγους. Στα διάγραμμα (α) απεικονίζεται η συσχέτιση με την ετήσια τιμή της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α, στο (β) με την ετήσια τιμή της εαρινής άνθισης των μηνών Φεβρουαρίου και Μαρτίου και στο (γ) με την ετήσια τιμή της φθινοπωρινής άνθισης των μηνών Νοεμβρίου και Δεκεμβρίου με ένα έτος χρονοκαθυστερήσης. **Σημειώνεται πως οι τιμές της αφθονίας της Σαρδέλας βρίσκονται σε αντίστροφη διάταξη.**



Συμπληρωματική Εικόνα 2: Η συσχέτιση της διακύμανσης ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α (—) και τον αριθμό ατόμων Γαύρου (—) από δεδομένα στρατολόγησης νεαρών ατόμων (recruitment) του STECF (α, β) από το 2000 έως το 2016 για το Αιγαίο Πέλαγος. Στα διάγραμμα (α) απεικονίζεται η συσχέτιση με την ετήσια τιμή της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α, στο (β) με την ετήσια τιμή της εαρινής άνθισης των μηνών Φεβρουαρίου και Μαρτίου με ένα έτος χρονοκαθυστέρησης σε καθένα από αυτά.



Συμπληρωματική Εικόνα 3: Η συσχέτιση της διακύμανσης ανάμεσα στη συγκέντρωση χλωροφύλλης α (—) και τη βιομάζα Γαύρου (—) από δεδομένα εκφορτώσεων του FAO (α, β) από το 1998 έως το 2019 στο Ιόνιο Πέλαγος. Στα διάγραμμα (α) απεικονίζεται η συσχέτιση με την ετήσια τιμή της συγκέντρωσης χλωροφύλλης α, στο (β) με την ετήσια τιμή της φθινοπωρινής άνθισης των μηνών Δεκεμβρίου και Νοεμβρίου. Σημειώνεται πως οι τιμές της βιομάζας του Γαύρου βρίσκονται σε αντίστροφη διάταξη.