

Μοντελοποίηση του ενδιαίτηματος της κουτσομούρας (*Mullus barbatus*) κάνοντας χρήση ακουστικών χαρακτηριστικών του πυθμένα και περιβαλλοντικών παραμέτρων

Μαρία Κοσμαρίκου¹, Ζαχαρίας Καπελώνης², Κωνσταντίνος Τσαγκαράκης², Βασίλης Βαλαβάνης², Κωνσταντίνος Τουλούμης³, Εμμανουήλ Κουτράκης³, Αθανάσιος Μαχίας²

¹ΠΜΣ Αλιευτική Βιολογία και Διαχείριση, ΑΠΘ – maria.kosm@yahoo.gr

²Ελληνικό Κέντρο Θαλασσίων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) - vasilis@hcmr.gr, kontsag@hcmr.gr, amachias@hcmr.gr, zkapelonis@hcmr.gr

³Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας (ΙΝ.ΑΛ.Ε.) - touloumisk@inale.gr, manos@inale.gr

ABSTRACT

Maria Kosmarikou¹, Zacharias Kapelonis², Konstantinos Tsagarakis², Vasilis Valavanis², Konstantinos Touloumis³, Emmanouil Koutrakis³, Athanasios Mahias²

Habitat modeling of *Mullus barbatus* using acoustic bottom descriptors and environmental parameters

Identification of the potential habitat of commercial fish species in relation to environmental conditions and bottom indicators is an interesting subject in both ecological and management points of view. For this purpose, biomass and the presence/absence of *M. barbatus* as estimated by experimental bottom trawl surveys in different parts of Aegean Sea spanning 10 years, were modelled using Generalized Additive Models (GAMs) along with acoustic data, environmental and bathymetry as independent variables. Depth, year and three seabed indicators were included as important factors in the GAMs both concerning presence/absence and biomass. The final models were used to produce the probability of *M. barbatus* presence in the study area as a measure of habitat suitability.

Keywords: *Mullus barbatus*, echosounder, habitat model, GAMs, bottom indicators

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

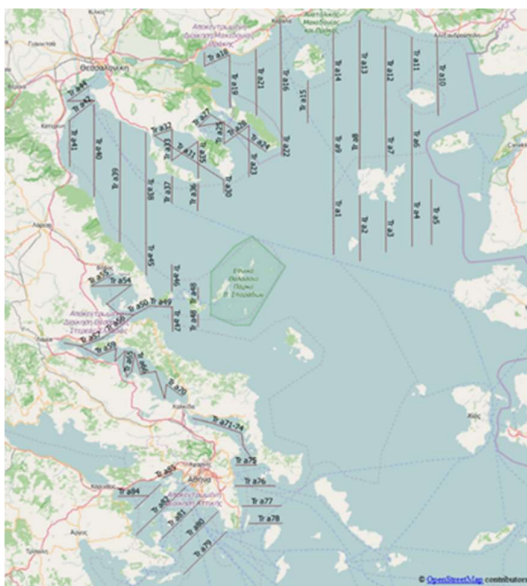
Η κουτσομούρα (*Mullus barbatus*, L. 1758), ανήκει στην οικογένεια Mullidae, είναι ένα βενθοπελαγικό είδος ψαριού και συνήθως συναντάται σε αμμώδεις και λασπώδεις τύπους πυθμένα (Arslan İhsanoğlu & İzmen 2014) με εξάπλωση ανατολικά του Ατλαντικού κατά μήκος των Αφρικανικών και Ευρωπαϊκών ακτών και στη Μεσόγειο θάλασσα (Machias & Labropoulou 2002). Τα βάθη στα οποία συναντάται η κουτσομούρα συνήθως είναι σε ρηχά νερά μέχρι τα 200m (Tserpes, et al. 2002). Είναι ένα είδος με μεγάλη εμπορική αξία που ψαρεύεται με διάφορους τύπους εργαλείων, όπως τράτα βυθού, δίχτυα, απλάδια και βιτζότρατα (Carbonara et al. 2015).

Η ανάλυση της ποιότητας του βυθού γίνεται συνήθως, πραγματοποιώντας ακουστικές δειγματοληψίες, με ηχοβολιστικά πλευρικής σάρωσης (sidescan sonar) που παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την επιστημονική χαρτογράφηση θαλάσσιων οικοτόπων (Anderson et al. 2008). Πληροφορίες σχετικά με τον θαλάσσιο πυθμένα, όπως η τραχύτητα, ο τύπος του θαλάσσιου εδάφους ως βραχώδης ή ιζηματώδης, η πυκνότητα του εδάφους και η κλίση, είναι ενσωματωμένα στην ακουστική ηχώ από τον βυθό. Οι πληροφορίες σχετικά με τη σύνθεση του πυθμένα λαμβάνονται από το σχήμα και την ένταση του σήματος που επιστρέφει (Fauziyah et al. 2019).

Τα μοντέλα ενδιαίτημάτων, είναι μία μέθοδος για την πρόβλεψη της καταλληλότητας μιας τοποθεσίας για ένα είδος ή μία ομάδα ειδών, με βάση την παρατηρούμενη σχέση τους με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Μέσω της επεξεργασίας δεδομένων και του ελέγχου πληροφοριών που αφορούν την παρουσία ειδών, είναι δυνατό να εντοπιστούν οι συνθήκες στις οποίες το είδος ευδοκμεί.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η κατασκευή μοντέλων ενδιαίτηματος και η ανίχνευση των θέσεων που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν την κουτσομούρα (*M. barbatus*) στην ευρύτερη περιοχή του Αιγαίου πελάγους κάνοντας χρήση περιβαλλοντικών δεδομένων και ακουστικών δεικτών που αφορούν τον θαλάσσιο πυθμένα, χρησιμοποιώντας διαθέσιμα δεδομένα βιομάζας στο διάστημα 2004 έως 2020. Οι ακουστικοί δείκτες χρησιμοποιήθηκαν για την χαρτογράφηση της ποιότητας του θαλάσσιου πυθμένα. Μαζί με την βαθυμετρία, η ποιότητα του θαλάσσιου πυθμένα αναμένεται να είναι σημαντικός παράγοντας του ενδιαίτηματος της κουτσομούρας και άλλων οργανισμών. Πέραν της βαθυμετρίας, η γενική αποτύπωσή σε χάρτη δεικτών της ποιότητας του πυθμένα, είναι κάτι που απουσιάζει από την υπάρχουσα βιβλιογραφία για τις ελληνικές θάλασσες. Διερευνήθηκαν λοιπόν δύο μοντέλα, όπου στο ένα ως εξαρτημένη μεταβλητή ήταν η βιομάζα της κουτσομούρας (κιά/ ώρα) ενώ στο άλλο ήταν η παρουσία/ απουσία του είδους.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ



Εικόνα 1. Περιοχή μελέτης με ένδειξη σταθμών λήψης των ακουστικών δεδομένων (MEDIAS).

Figure 1. Study area map with acoustic sampling transects (MEDIAS).

Περιοχή μελέτης

Η περιοχή μελέτης καθορίζεται από την χωρική τομή των ακουστικών δεδομένων (θέση ανεξάρτητων μεταβλητών που αφορούν τον πυθμένα), και των διαθέσιμων δεδομένων για την βιομάζα της κουτσομούρας (εξαρτημένη μεταβλητή). Έτσι, ως περιοχή μελέτης έχουν επιλεγεί περιοχές του κεντρικού αλλά και βόρειου Αιγαίου πελάγους, όπως, ο βόρειος Ευβοϊκός κόλπος, ο Θερμαϊκός κόλπος, ο Τωρωναιός κόλπος, ο Στρυμονικός κόλπος και ο κόλπος Καβάλας.

Πηγές δεδομένων

Οι δύο κύριες πηγές δεδομένων προέρχονται από το Εθνικό Πρόγραμμα Συλλογής Αλιευτικών Δεδομένων (ΕΠΣΑΔ), που υλοποιείται από το Ελληνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών (ΕΛΚΕΘΕ) και το Ινστιτούτο Αλιευτικής Έρευνας της Καβάλας (ΙΝΑΛΕ). Συγκεκριμένα, τα δεδομένα βιομάζας του *M. barbatus* προέρχονται από τη δράση MEDITS (MEDiterranean International Trawl Survey) του ΕΠΣΑΔ το οποίο υλοποιείται από το ΙΝΑΛΕ

(Spedicato et al. 2019). Τα ακουστικά δεδομένα προέρχονται από το ετήσιο πρόγραμμα MEDIAS (MEDiterranean International Acoustic Survey) (Giannoulaki, et al. 2021), που αποτελεί επίσης μία δράση του ΕΠΣΑΔ, και πραγματοποιείται από το ΕΛΚΕΘΕ. Από το πρόγραμμα MEDIAS, έγινε η λήψη των ακουστικών δεδομένων που περιλαμβάνουν δεδομένα από διαφορετικές συχνότητες στη χρονική περίοδο από το 2004 έως το 2020 (2004, 2005, 2006, 2008, 2013, 2014, 2016, 2018, 2019, 2020). Εκτός από τα δεδομένα του MEDIAS, συμπεριλήφθηκαν και δεδομένα που αφορούν τη βαθυμετρία (GEBCO Bathymetric Compilation Group 2021), αλλά και την κλίση του βυθού η οποία υπολογίστηκε μέσω των DEM Surface Tools (Jenness 2013). Τέλος, έγινε και χρήση περιβαλλοντικών παραμέτρων (χλωροφύλλη, αλατότητα, θερμοκρασία του θαλάσσιου πυθμένα, επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας, βάθος). Τα δεδομένα αυτά προήλθαν από πηγές δορυφορικών εικόνων και ωκεανογραφικών προσομοιώσεων.

Ανάλυση ακουστικών δεδομένων

Η ανάλυση των ακουστικών δεδομένων έγινε με το λογισμικό Echoview, όπου πραγματοποιήθηκε η παραγωγή και εξαγωγή των ακουστικών δεικτών που αφορούν τον πυθμένα κατά μήκος των προκαθορισμένων πορειών του MEDIAS (Εικόνα 1) και ευκαιριακών δεδομένων. Τα ακουστικά δεδομένα περιλαμβάνουν τους παρακάτω δείκτες: Bottom Roughness (η τραχύτητα του βυθού), Bottom Hardness (η σκληρότητα του βυθού), First Bottom Length (το μήκος του πρώτου βυθού), Second Bottom Length (το μήκος του δεύτερου βυθού), Bottom Rise Time (ο μέσος όρος του χρόνου ανύψωσης βάθους της πρώτης ανάκλασης), Bottom Line Depth Mean (το μέσο βάθος της θέσης του βυθού), Bottom Max sv (προέρχεται από την ηχώ του πρώτου βυθού), Bottom Kurtosis (ο μέσος όρος κύρτωσης της ανάκλασης του πρώτου πυθμένα) και Bottom Skewness (ο μέσος όρος της ασυμμετρίας της ανάκλασης του πρώτου πυθμένα). Στην συνέχεια έγινε εισαγωγή των δεδομένων σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (QGIS) (Q. D. Team 2022), όπου εφαρμόστηκε η μέθοδος παρεμβολής IDW (Inverse Distance Weighting) για την παραγωγή χωροπληθικών χαρτών.

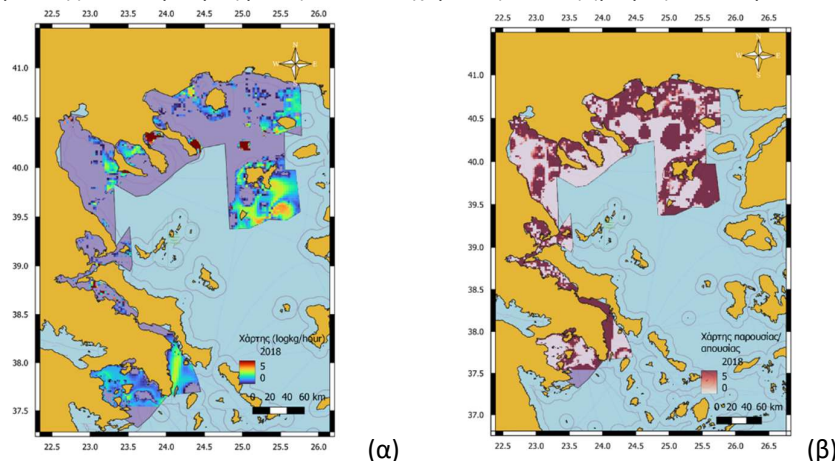
Μοντελοποίηση

Η επιλογή των τελικών μοντέλων στις δύο περιπτώσεις αναλύσεων (βιομάζας και παρουσίας/απουσίας) έγινε μετά από την ανάλυση 457 σταθμών που σχετίζονται με πληροφορίες των βιολογικών, περιβαλλοντικών αλλά και δεδομένων που αφορούν τον θαλάσσιο πυθμένα, με τη χρήση της γλώσσας προγραμματισμού R. Με βάση μια σειρά από κριτήρια όπως το AIC (Akaike Information Criterion) και

GCV (Generalized Cross-Validation), έγινε βαθμιαία η επιλογή των παραμέτρων των τελικών μοντέλων (βιομάζα σε κιλά/ώρα, παρουσία/απουσία). Τέλος, στα πλαίσια της ανάλυσης σφαλμάτων, πραγματοποιήθηκε μία διαδικασία τυχαίας απόκρυψης του 20% των δεδομένων βιομάζας κατά την παραγωγή του μοντέλου, με σκοπό την αξιολόγηση της ικανότητας πρόβλεψης.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όπως φαίνεται και στις εικόνες 2α-2β, τόσο για το μοντέλο βιομάζας, όσο και για το μοντέλο παρουσίας/απουσίας του *M. Barbatius*, τα σημεία στα οποία υπήρχε η μεγαλύτερη βιομάζα της κουτσομούρας, ταυτίζονται και με τις ετήσιες δειγματοληψίες και με τα σημεία όπου όντως βρίσκεται το είδος. Φαίνεται η παρουσία να εντοπίζεται σε μικρά βάθη, το οποίο επιβεβαιώνεται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία (Tserpes, et al. 2002). Παράλληλα, υπάρχει καλή συμφωνία στα σημεία εντοπισμού της κουτσομούρας μεταξύ των δύο χαρτών (Εικόνα) (βιομάζα και παρουσία/απουσία).



Εικόνες 2α-2β. Χάρτης εκτίμησης χωρικής κατανομής για την κουτσομούρα (logkg/hour) τη χρονιά 2018 (α). Κλίμακα χρωμάτων: 5 (κόκκινο, μεγάλη παρουσία), 0 (μπλε, απουσία). Χάρτης εκτίμησης παρουσίας/ απουσίας για την κουτσομούρα τη χρονιά 2018 (β). Κλίμακα χρωμάτων: 5 (κόκκινο σκούρο, παρουσία), 0 (ροζ, απουσία). Η κλίμακα χρωμάτων αφορά την εκτίμηση εντός του πολυγώνου.

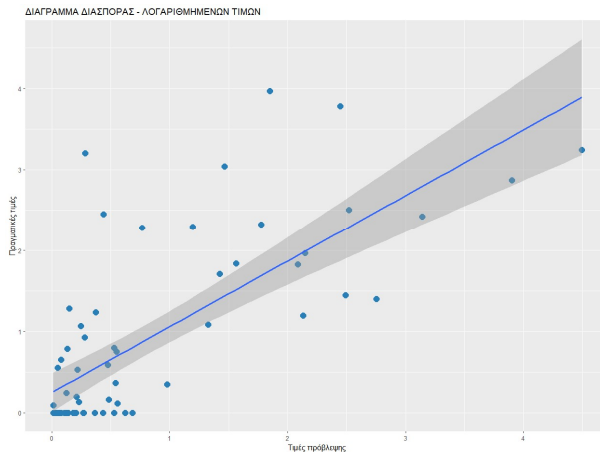
Figure 2a-2b. Spatial distribution estimation map of *Mullus barbatus* (log kg/hour) the year 2018 (a). Color scale: 5 (red, abundance), 0 (blue, absence). Presence/absence of *Mullus barbatus* the year 2018 (b). Color scale: 5 (dark red, appear), 0 (pink, absence). The above color scale concerns the estimation within the polygon.

Τόσο στο τελικό μοντέλο αφθονίας όσο και στο τελικό μοντέλο παρουσίας/απουσίας υπάρχουν οι ίδιες ανεξάρτητες μεταβλητές (Πίνακας 2). Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως μια ένδειξη εξάρτησης της παρουσίας της κουτσομούρας από τους δείκτες που αφορούν τον πυθμένα, εκτός από το βάθος που είναι ήδη γνωστό ότι είναι σημαντική παράμετρος (Machias & Labropoulou 2002). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των συγκεκριμένων μοντέλων, οι περιβαλλοντικές παράμετροι δεν επηρεάζουν σημαντικά την παρουσία της κουτσομούρας στην περιοχή μελέτης. Τα ποσοστά εξήγησης της απόκλισης των μοντέλων είναι 61.50% για το μοντέλο αφθονίας και 65.30% για το μοντέλο παρουσίας/απουσίας. Μία πιθανή εξήγηση για τις αποκλίσεις, είναι η απόσταση μεταξύ των ακουστικών διατομών και της επαγόμενης ανακρίβειας στα δεδομένα παρεμβολής που χρησιμοποιήθηκαν κατά την κατασκευή των μοντέλων.

Πίνακας 2. Τελικά μοντέλα για βιομάζα(kg log) και παρουσία/ απουσία κουτσομούρας (appear).

Table 1. Final models for dependent variables log/hour and appearance/ nonappearance of *Mullus barbatus*.

Family	Link Function	Formula	Adjusted R ²	Deviance Explained
Tweedie	log	kg_log ~ s(FBL38) + s(Bris38) + s(BMsv38) + as.factor(YEAR) + s(DEP)	0.614	61.50%
Binomial	logit	appear ~ s(FBL38) + s(Bris38) + s(BMsv38) + as.factor(YEAR) + s(DEP)	0.658	65.30%



Εικόνα 3. Διάγραμμα διασποράς πραγματικών τιμών σε σχέση με τις τιμές πρόβλεψης λογαριθμημένων τιμών βιομάζας κουτσομούρας ανά ώρα.

Figure 3. Scatter plot of real data compared to predicted data which concern log kg/hour.

Για την ποσοτικοποίηση των σφαλμάτων, έγινε ο υπολογισμός του Root Mean Square Error (RMSE). Στις λογαριθμημένες τιμές αφθονίας τα αποτελέσματα του RMSE είναι 0.75 για την πρόβλεψη στα κρυφά δεδομένα (20%) και 0.56 για την πρόβλεψη στα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή το μοντέλου (80%). Συγκρίνοντας τις τιμές πρόβλεψης με τα κρυφά δεδομένα αφθονίας (Εικόνα 4), φαίνεται αισθητή διασπορά μεταξύ των δύο σετ δεδομένων, ενώ υπάρχει μία τάση υπερεκτίμησης κυρίως σε περιπτώσεις απουσίας του είδους. Το τελευταίο είναι αναμενόμενο, καθώς το μοντέλο προβλέπει το δυνητικό ενδιαίτημα του *M. barbatus* βάσει των παραμέτρων που έχουν ληφθεί υπόψη κατά την παραγωγή του μοντέλου.

Οι μελλοντικές ενέργειες που θα μπορούσαν να βοηθήσουν στη δημιουργία ενός καλύτερου μοντέλου ενδιαίτηματος με μεγαλύτερη αξιοπιστία, ίσως να σχετίζονται με τη χρήση ανεξάρτητων μεταβλητών οι οποίες δεν είχαν ληφθεί υπόψιν αλλά επηρεάζουν την κατανομή του είδους. Η ανάλυση δεδομένων που καλύπτουν μεγαλύτερο εύρος περιοχών, θα μπορούσε επίσης να βοηθήσει στη βελτιστοποίηση του μοντέλου, όπως επίσης και η πραγματοποίηση δειγματοληψιών προσαρμοσμένων στο είδος ενδιαφέροντος αλλά και σε περισσότερους σταθμούς με εποχική και χρονική συχνότητα.

Ευχαριστίες

Οι συγγραφείς θα ήθελαν να ευχαριστήσουν τα προγράμματα ΕΠΣΑΔ και REPHIL, MIS 5002582 (NSRF, ERDF) για την πρόσβαση στα βιολογικά και ακουστικά δεδομένα καθώς επίσης και το πλήρωμα του Ε/Α ΦΙΛΙΑ του ΕΛΚΕΘΕ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Anderson J. T. , Holliday D. Van, Kloser Rudy, Reid Dave G., Simard Yvan (2008). Acoustic seabed classification: current practice and future directions. *ICES Journal of Marine Science*: 1004-1011.
- Arslan İhsanoğlu, Mukadder, Ali İsmen. (2014). "Age, growth, reproduction and feeding of *Mullus barbatus* in Saros Bay (North Aegean Sea)." *J. Black Sea/Mediterranean Environment* 20: 184-199.
- Carbonara P., Intini S., Modugno E., Maradonna F., Spedicato M. T., Lembo G., Zupa W., Carnevali O. (2015). Reproductive biology characteristics of red mullet (*Mullus barbatus* L., 1758) in Southern Adriatic Sea and management implications. *Aquatic Living Resources* 01 01: 21-31.
- Fauziyah, Purwiyanto F. A. I. S., Agustriani F., Putri W. A. E., Liyani M., Aryawati R., Ningsih E. N., Suteja Y (2019). Detection of bottom substrate type using single beam echo sounder backscatter: a case study in the east coastal of Banyuasin. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 19 12.
- Machias, A. & Labropoulou, M., 2002. Intraspecific Variation in Resource Use by Red Mullet, *Mullus barbatus*. *Estuarine Coastal and Shelf Science - ESTUAR COAST SHELF SCI* 01 10: 565-578.
- Giannoulaki M., Zwolinski J., Gucu A. C., Felice A., Somarakis S. (2021). "The "MEDiterranean International Acoustic Survey": An introduction." *Mediterranean Marine Science* 22. doi:10.12681/mms.29068.
- Spedicato MT, Massutí E., Mérigot B., Tserpes G., Jadaud A., Relini G. (2019) The MEDITS trawl survey specifications in an ecosystem approach to fishery management. *Scientia Marina* 83: 9–20.
- Tserpes, G., Fiorentino F., Levi D., Cau A., Murenu M., Zamboni A., Papakontantinou C. (2002). Distribution of *Mullus barbatus* and *M. surmuletus* (Osteichthyes: Perciformes) in the Mediterranean continental shelf: Implications for management. *Scientia Marina* 01 07: 39-54.