

**Επίδραση περιβαλλοντικών, χωρο-χρονικών, και επιχειρησιακών παραμέτρων στις συλλήψεις ερυθρού τόννου, *Thunnus thynnus* L., με ξιφοπαράγαδο στην Ανατολική Μεσόγειο**

**Δημήτριος Δαμαλάς, Περσεφόνη Μεγαλοφώνου**

Τμήμας Βιολογίας, Τομέας Ζωολογίας-Θαλάσσιας Βιολογίας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Πανεπιστημιούπολη, Ιλίσσια, 15784, e-mail: [P.megalo@biol.uoa.gr](mailto:P.megalo@biol.uoa.gr)

**ABSTRACT**

**D. Damalas & P. Megalofonou: Environmental, spatio-temporal, and operational effects on bluefin tuna catches in the Eastern Mediterranean swordfish long-line fishery**

Generalized additive models (GAMs) were applied to examine the relative influence of environmental, spatio-temporal, and operational factors on bluefin tuna catches in the Eastern Mediterranean swordfish long-line fishery during the period 1998-2004. GAM analysis was conducted assuming a Delta-lognormal distribution, separately modelling: (a) the probability of a non-zero catch and (b) catch rates (No fish/1000 hooks) of positive catch sets only. Stepwise GAM building revealed the relative importance of 8 variables affecting the probability of a non-zero catch (encountering a school), ranked by decreasing magnitude: month, longitude, distance from land, sea surface temperature (SST), fishing gear type, bottom depth, year and lunar index. Probability peaked in mid-summer, easterly areas, the deep open sea, from 16° to 20°C SST and around the full moon. Positive catch rates were influenced by 5 significant factors: fishing gear type, longitude, month, year and SST. A catch was more likely to be larger east of the 30<sup>th</sup> meridian, during summer, and at SSTs around 16° C. For both sub-models, long-lines equipped with illuminated fish attractants and thicker-more resilient branch lines were more successive. This study indicates a decline in bluefin tuna abundance through the 6 year period studied.

Keywords: bluefin tuna, generalized additive models, Delta models, long-line, CPUE, environmental effects, SST, lunar index

**ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ο ερυθρός τόννος, *Thunnus thynnus* L., θεωρείται ένα από τα σημαντικότερα εμπορικά θαλάσσια είδη στην παγκόσμια αγορά. Στην Ελλάδα η μέση ετήσια παραγωγή του την τελευταία δεκαετία ανέρχεται στους 600 MT (ICCAT, 2005). Αλιεύεται με πλήθος αλιευτικών εργαλείων είτε σαν είδος στόχος, είτε σαν συνοδό αλιεύμα. Ειδικότερα, αποτελεί σημαντικό ποσοστό (13,3%) των συλλήψεων του ελληνικού αλιευτικού στόλου που στοχεύει τον ξιφία, *Xiphias gladius*, L., στην Ανατολική Μεσόγειο (Megalofonou *et al.* 2000). Σε αυτή την εργασία, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μίας προκαταρκτικής μελέτης για το μέγεθος της επίδρασης των περιβαλλοντικών, χωρο-χρονικών και επιχειρησιακών παραμέτρων στις συλλήψεις του ερυθρού τόννου στην αλιεία του ξιφοπαράγαδου στην Ανατολική Μεσόγειο.

**ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ**

Στη διάρκεια αυτής της έρευνας (1998-2001 και 2003-2004) συλλέχθηκαν στοιχεία για τις συλλήψεις, την αλιευτική προσπάθεια και τα επιχειρησιακά δεδομένα (τύπος αλιευτικού εργαλείου-*Fishing gear type*, ημερομηνία-*Month & Year*, γεωγραφικό μήκος-*Longitude* και πλάτος-*Latitude* αλιείας) από ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα του ελληνικού αλιευτικού στόλου που στοχεύει ξιφία. Μία περιληπτική περιγραφή παρατίθεται στον πίνακα 1. Τα παραπάνω στοιχεία συνδυάστηκαν με μία σειρά περιβαλλοντικών παραμέτρων όπως: ημερήσιες δορυφορικές εκτιμήσεις επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας (*SST*) (πηγή: *NASA POET*, διακριτότητα: 4km), ο σεληνιακός δείκτης-*Lunar index* (εκφρασμένος σε % του ορατού

σεληνιακού δίσκου), η βαθυμετρία-*Bottom depth* και η απόσταση από την πλησιέστερη ακτή-*Distance from land*.

**Πίνακας 1.** Μηνιαία κατανομή ημερών αλιείας (ανά αλιευτικό εργαλείο), εμπλεκόμενων σκαφών και λιμανιών δειγματοληψίας

	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	ΣΥΝΟΛΟ
Ξιφοπαράγαδο παραδοσιακό	11	6	40	31	41	47	56	232
Ξιφοπαράγαδο Αμερικάνικο	52	40	124	132	172	105	146	771
Αριθμός Σκαφών	11	13	20	17	17	17	15	35
Αριθμός λιμανιών	4	6	10	9	9	9	9	18

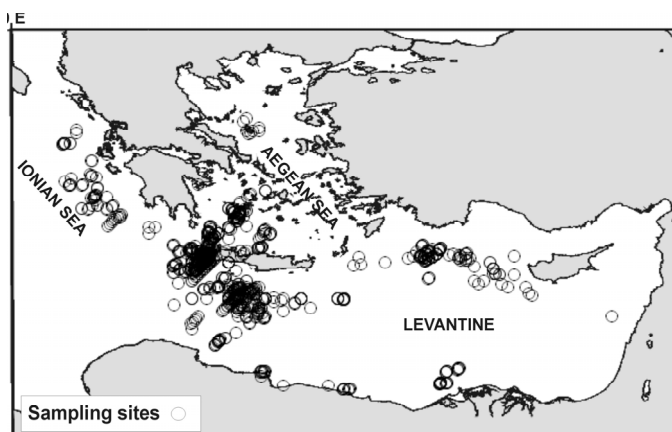
Η συμμετοχή της κάθε παραμέτρου στην επίδραση που ασκεί το περιβάλλον στον δείκτη αφθονίας και την κατανομή του ερυθρού τόνου εξετάστηκε με εφαρμογή γενικευμένων αθροιστικών μοντέλων (Generalized Additive Model-GAMs, Hastie & Tibshirani, 1990) σε δύο στάδια (Delta models): (α) μοντελοποιήθηκε η πιθανότητα ύπαρξης ερυθρού τόνου ανά ημέρα αλιείας και (β) μόνο για τις ημέρες αλιείας που υπήρξαν συλλήψεις ερυθρού τόνου, μοντελοποιήθηκε ο δείκτης αφθονίας του συναρτήσει των παραμέτρων που προαναφέρθηκαν. Εκφράσαμε ως δείκτη αφθονίας (CPUE-Catch Per Unit of Effort), το λόγο των συλλήψεων (σε αριθμό ατόμων) προς την αλιευτική προσπάθεια (σε αριθμό αγκιστριών). Στα αρχικά μοντέλα περιλήφθηκαν 9 ανεξάρτητες μεταβλητές:

Presence (1 or 0) =  $c + f_1(\text{Longitude}) + f_2(\text{SST}) + f_3(\text{Latitude}) + f_4(\text{Bottom depth}) + f_5(\text{Distance from land}) + f_6(\text{Lunar index}) + \text{Fishing gear type} + \text{Month} + \text{Year} + e$ ,

$\log_e(\text{CPUE} + 10\% \text{ mean CPUE}) = c + f_1(\text{Longitude}) + f_2(\text{SST}) + f_3(\text{Latitude}) + f_4(\text{Bottom depth}) + f_5(\text{Distance from land}) + f_6(\text{Lunar index}) + \text{Fishing gear type} + \text{Month} + \text{Year} + e$ ,

όπου: Presence μία μεταβλητή που υποδηλώνει την ύπαρξη (1) ή μη (0) ερυθρού τόνου ανά ημέρα αλιείας,  $c$  είναι μία σταθερά,  $f_i(\text{μεταβλητή})$  είναι μία συνάρτηση εξομάλυνσης για την κάθε μεταβλητή,  $e$  το τυχαίο σφάλμα και  $\log_e$  ο φυσικός λογάριθμος της CPUE. Στην πρώτη περίπτωση υιοθετήθηκε η διωνυμική κατανομή ως αυτή που προσεγγίζει την κατανομή της μεταβλητής Presence, ενώ στην δεύτερη η κανονική κατανομή για τις λογαριθμισμένες τιμές της CPUE στις οποίες προστέθηκε το 10% της μέσης CPUE (η μεθοδολογία αναπτύσσεται στους Ortiz & Arocha (2004), με εφαρμογή για μεγάλα πελαγικά είδη στον Ατλαντικό Ωκεανό).

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΖΗΤΗΣΗ



**Εικόνα 1.** Χάρτης σταθμών δειγματοληψίας στην αλιεία του ξιφοπαράγαδου στην Ανατολική Μεσόγειο (1998-2004).

**Figure 1.** Sampling sites map for the swordfish long-line fishery in the Eastern Mediterranean (1998-2004)

μεγαλύτερη επίδραση ερμηνεύοντας περισσότερο από 30% της συνολικής μεταβλητότητας (deviance) στις τιμές της πιθανότητας. Ο μήνας του έτους (24.5%) και η επιφανειακή θερμοκρασία της θάλασσας (10.2%) αποτέλεσαν τις επόμενες σημαντικές ερμηνευτικές

Στις συνολικά 1003 ημέρες αλιείας που καταγράφηκαν και σκεδάστηκαν σε μία περιοχή που περικλείεται από τον 19<sup>ο</sup> έως τον 35<sup>ο</sup> μεσημβρινό και τον 32<sup>ο</sup> έως τον 40<sup>ο</sup> παράλληλο (Εικ. 1) αλιεύθηκαν 445 άτομα ερυθρού τόνου με ένα συνολικό βάρος 30801 kg και μέσο βάρος 69.2 kg.

Το πρώτο μοντέλο υπέδειξε 8 σημαντικές παραμέτρους που επηρεάζουν την πιθανότητα να υπάρχει ερυθρός τόνος ανά ημέρα αλιείας, με το γεωγραφικό μήκος να εμφανίζει την

μεταβλητές. Οι υπόλοιπες παράμετροι αποτέλεσαν ήσσονος σημασίας προγνωστικούς παράγοντες, αν και στατιστικά σημαντικούς, όπως: ο σεληνιακός δείκτης (9.4%), η απόσταση από την ακτή (8.7%), το έτος (6.3%), ο τύπος του αλιευτικού εργαλείου (5.3%) και το βάθος του πυθμένα (5.1%). Επισημαίνεται ότι η παράμετρος «γεωγραφικό πλάτος», αποκλείστηκε με βάση το πληροφοριακό κριτήριο απόκλισης AIC ως μη στατιστικά σημαντική στην σύγκλιση του μοντέλου. Στο σύνολό του το μοντέλο με τις 8 μεταβλητές ερμήνευσε περισσότερο από 33% της μεταβλητότητας στην πιθανότητα να συλληφθεί ερυθρός τόννος.

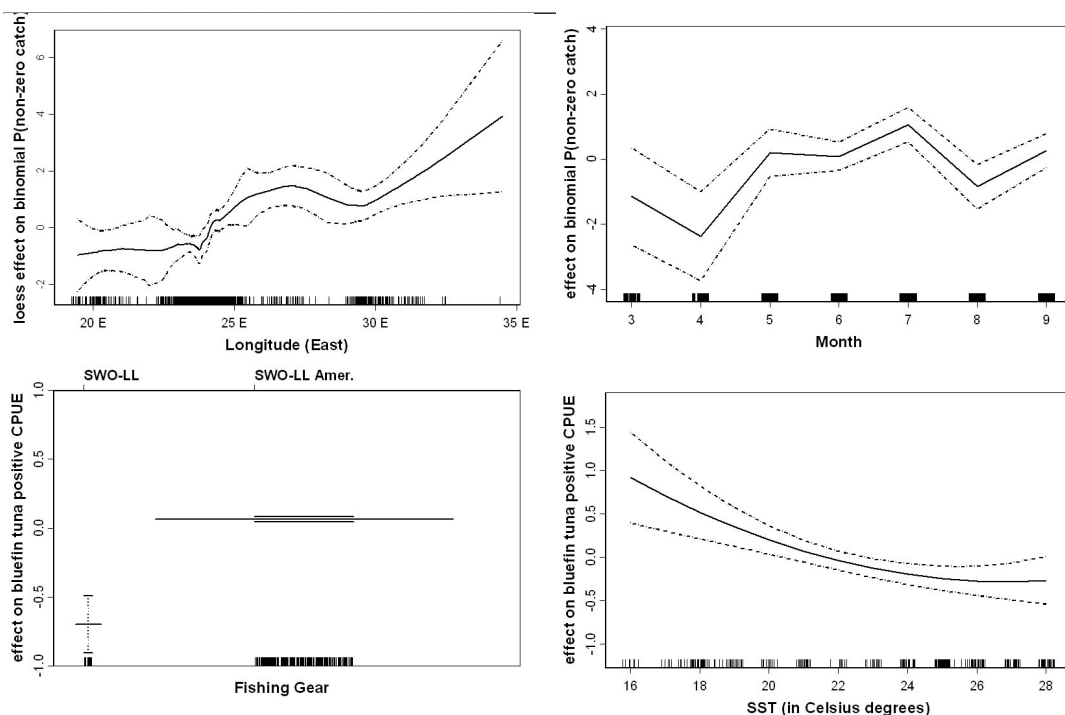
Το δεύτερο μοντέλο κατέληξε σε 5 παράγοντες που επιδρούν στον δείκτη αφθονίας του ερυθρού τόννου: Γεωγραφικό μήκος (39.8%), τύπος αλιευτικού εργαλείου (37.6%), μήνας του έτους (13.6%) έτος (5.0%) και επιφανειακή θερμοκρασία θάλασσας (4.0%). Συνολικά το μοντέλο ερμήνευσε περισσότερο από 40% της μεταβλητότητας στις τιμές των θετικών CPUE.

Η περιοχή όπου τόσο η πιθανότητα να αλιευθεί ερυθρός τόννος όσο και ο δείκτης αφθονίας (CPUE) λαμβάνουν τις μέγιστες τιμές τους αντιστοιχεί στις ανατολικότερες περιοχές του χώρου έρευνας, τη Λεβαντίνη (Εικ. 1 και 2). Η περιοχή αυτή δεν αποτελούσε μέχρι πρόσφατα σημαντικό αλιευτικό πεδίο του ελληνικού στόλου. Η αλιευτική πίεση που έχει δεχτεί είναι συγκριτικά πολύ μικρότερη με αυτή του Αιγαίου και του Ιονίου και σε αυτό πιθανά θα πρέπει να αποδοθούν οι αυξημένες συλλήψεις. Ένα άλλο γεγονός που ενισχύει αυτή την άποψη είναι και το μεγαλύτερο μέσο βάρος (74 kg) των ατόμων συγκρινόμενο με αυτό του Ιονίου και του Αιγαίου (66 kg).

Η «προτίμηση» που έδειξε ο ερυθρός τόννος στις θερμοκρασίες από 16° έως 20° C (Εικ. 2) συμφωνεί με τις παρατηρήσεις άλλων ερευνητών που έχουν μελετήσει την βιολογία και οικολογία του είδους. Χαρακτηριστικά, οι Humston *et al* (2000) αναφέρονται σε τιμές 18-20° C, οι Itoh *et al* (2003) στους 14-20° C ενώ οι Schick *et al.* (2004) σε μέση SST 18.1° C. Η πιθανότητα αλίευσης ατόμων ερυθρού τόννου, παρουσίασε περιοδικότητα ανάλογη με αυτή του σεληνιακού κύκλου και η μεγαλύτερη τιμή συμπίπτει με το τελευταίο σεληνιακό τέταρτο, (*lunar index* 75-100%). Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνει τα ευρήματα ανάλογων μελετών στο παρελθόν (Rivas, 1978; Marsac *et al.*, 1996).

Η σημαντική επίδραση του τύπου του αλιευτικού εργαλείου ήταν ένα αναμενόμενο αποτέλεσμα. Η παράμετρος αυτή αποδείχτηκε ότι επηρεάζει κυρίως τον δείκτη αφθονίας και λιγότερο την πιθανότητα να συλληφθεί ερυθρός τόννος, με την έννοια ότι από την στιγμή που το σκάφος θα συναντήσει ένα κοπάδι τότε πλέον ο αριθμός των ψαριών που θα συλληφθούν εξαρτάται από τον τύπο του εργαλείου. Η διαφοροποίηση του παραδοσιακού ξιφοπαράγαδου (*SWO-LL*) που καλείται «Αμερικάνικου τύπου» (*SWO-LL Amer.*), αποδείχτηκε περισσότερο αποδοτική στην αλιεία του ερυθρού τόννου (Εικ. 2). Αιτίες αποτελούν η χρήση χημικά φωσφορίζοντων στοιχείων που προσελκύουν τα ψάρια, η μεγαλύτερης διαμέτρου-και επομένως ανθεκτικότερη πετονιά- και το μεγαλύτερο εύρος της στήλης του νερού που αλιεύει. Η πιθανότητα σύλληψης και ο δείκτης αφθονίας αποδείχτηκαν μεγέθη μεταβαλλόμενα θετικά ανάλογα με το βάθος και την απόσταση από την ακτή λαμβάνοντας τις μέγιστες τιμές στις πιο απομακρυσμένες περιοχές και σε μεγάλα βάθη.

Η μηνιαία κατανομή των συλλήψεων φανέρωσε ότι τόσο η πιθανότητα σύλληψης όσο και ο δείκτης αφθονίας αυξάνεται σχεδόν σταθερά από τον Φεβρουάριο έως τον Σεπτέμβριο (Εικ. 2). Περαιτέρω μελέτη των μεταναστεύσεων του ερυθρού τόννου στην Ανατολική Μεσόγειο θα μπορούσε να ερμηνεύσει αυτή την εποχικότητα στην αφθονία. Ωστόσο, αν και τα αποτελέσματα είναι προκαταρκτικά, διαπιστώνεται ότι τόσο οι περιβαλλοντικές παράμετροι, όπως η θερμοκρασία και οι φάσεις της σελήνης, όσο και οι χωρο-χρονικές, όπως η περιοχή αλιείας και η εποχή του έτους, επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη κατανομή και τον δείκτη αφθονίας του ερυθρού τόννου στην Ανατολική Μεσόγειο. Επίσης, παρόλο που το χρονικό διάστημα της έρευνας είναι μικρό για να εξαχθούν τελικά συμπεράσματα, τα αποτελέσματα της ανάλυσης δηλώνουν μία προφανή συνεχή και σταδιακή μείωση των συλλήψεων από το 1998 έως το 2004. Το γεγονός αυτό συνδυαζόμενο με την ανάλογη μείωση στο μέσο βάρος των ατόμων αποτελεί μια προειδοποιητική ένδειξη, ότι ο πληθυσμός του ερυθρού τόννου στη Μεσόγειο εξακολουθεί να απειλείται από την εντατική αλιεία.



**Εικόνα 2.** Αποτελέσματα των μοντέλων για την επίδραση του γεωγραφικού μήκους και του μήνα στην πιθανότητα σύλληψης (πάνω), καθώς και του αλιευτικού εργαλείου και της επιφανειακής θερμοκρασίας θάλασσας (SST) στο δείκτη αφθονίας του ερυθρού τόνου (κάτω). Οι διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν 95% ζώνες εμπιστοσύνης.

**Figure 2.** GAM derived effects of *Longitude* and *Month* on the probability of catching a bluefin tuna (upper panel), and of *fishing gear type* and *SST* on bluefin tuna CPUE deviance (lower). Dashed lines indicate 95% confidence bands.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Hastie, T.J., & R.J. Tibshirani, 1990. *Generalized Additive Models*. London: Chapman and Hall, 335 pp.
- Humston, R., J.S. Ault, M. Lutcavage & D. B. Olson, 2000. Schooling and migration of large pelagic fishes relative to environmental cues. *Fish. Oceanogr.* 9:2, 136-146.
- ICCAT, 2005. *Report for Biennial Period, 2004-05, Part I*, 188pp.;
- Itoh, T., S. Tsuji, and A. Nitta, 2003. Swimming depth, ambient water temperature preference, and feeding frequency of young Pacific bluefin tuna (*Thunnus orientalis*) determined with archival tags. *Fish. Bull.* 101:535–544.
- Marsac, F, P. Cayre, & F. Conand, 1996. Analysis of small scale movements of yellowfin tuna around fish aggregating devices (FADs) using sonic tagging. In: *Proceedings of Expert Consultation on Indian Ocean Tunas*. 6th Session, Colombo, Sri Lanka, 25-29 Sept. 1995 (eds Anganuzzi, A.A., Stobberup, K.A., Webb, N.J.) IPTP Coll., 9, 151-9.
- Megalofonou P., D. Damalas, C. Yannopoulos, G. De Metrio, M. Deflorio, J.M. de la Serna, & D. Macias, 2000. 'By-catches and discards of sharks in the large pelagic fisheries in the Mediterranean Sea'. EU Project 97/50 DG XIV/C1.
- Ortiz, M., Arocha, F., 2004. Alternative error distribution models for standardization of catch rates of non-target species from a pelagic longline fishery: billfish species in the Venezuelan tuna longline fishery. *Fish. Research* 70:275-297.
- Rivas, L.R., 1978. Aerial surveys leading to 1974-1976 estimates of the numbers of spawning giant bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) migrating past the western Bahamas. *Col. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, 7(2), 301-312, (1978) ICCAT SCRS/77/48
- Schick, R.S., J. Goldstein & M.E. Lutcavage, 2004. Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) distribution in relation to sea surface temperature fronts in the Gulf of Maine (1994–96) *Fish. Oceanogr.* 13:4, 225–238.