



Αλιευτική Βιολογία

Μοντέλα βιομάζας



Βασίλης Τρυγόνης

Μυτιλήνη 2024



Αναφορά δημιουργού – Παρόμοια διανομή (CC BY-SA 4.0)
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>



Εισαγωγή

Ένας από τους κύριους στόχους της αλιευτικής επιστήμης είναι να τροφοδοτεί τους διαχειριστικούς φορείς με την πληροφορία που απαιτείται για την αξιολόγηση της κατάστασης των αποθεμάτων.

Η πληροφορία αυτή μπορεί να αφορά στην αντίδραση του αποθέματος σε διαφορετικά επίπεδα αλιευτικής πίεσης, και τυπικά, περιλαμβάνει μία εκτίμηση της αλιευτικής προσπάθειας που αντιστοιχεί στη μέγιστη βιώσιμη εσοδεία (maximum sustainable yield, **MSY**).

Η διάλεξη θα καλύψει τις ακόλουθες ενότητες:

- 1) Βασικό θεωρητικό υπόβαθρο: Αύξηση πληθυσμού (population growth).
- 2) Μοντέλο βιομάζας **Schaefer–Fox**: εκτίμηση της μέγιστης βιώσιμης εσοδείας από αλιευτικά δεδομένα.



Αύξηση πληθυσμού (population growth)



Αύξηση πληθυσμού στην απουσία περιορισμών

growth without limits

Έστω ότι:

b είναι ο **ρυθμός γεννήσεων** (birth) και

d είναι ο **ρυθμός θνησιμότητας** (death) ενός βιολογικού πληθυσμού.

- Εάν οι διαθέσιμοι πόροι είναι απεριόριστοι, και δεν υπάρχουν απειλές από θηρευτές, τότε οι παράμετροι **b** και **d** θα μπορούσαν να είναι σταθερές. Η αύξηση του πληθυσμού εκφράζεται τότε ως:

$$\frac{dN}{dt} = (b - d) \cdot N = r \cdot N$$

Ενδογενής (intrinsic) ρυθμός αύξησης

η λύση έχει τη μορφή:

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_0^t r dt$$
$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = rt,$$

$$N(t) = N_0 \cdot e^{rt}$$

όπου N_0 είναι το αρχικό μέγεθος του πληθυσμού σε χρόνο $t=0$

- Εν συντομία, η αφθονία $N(t)$ ενός πληθυσμού αυξάνεται εκθετικά, εάν δεν υπάρχουν περιορισμοί.





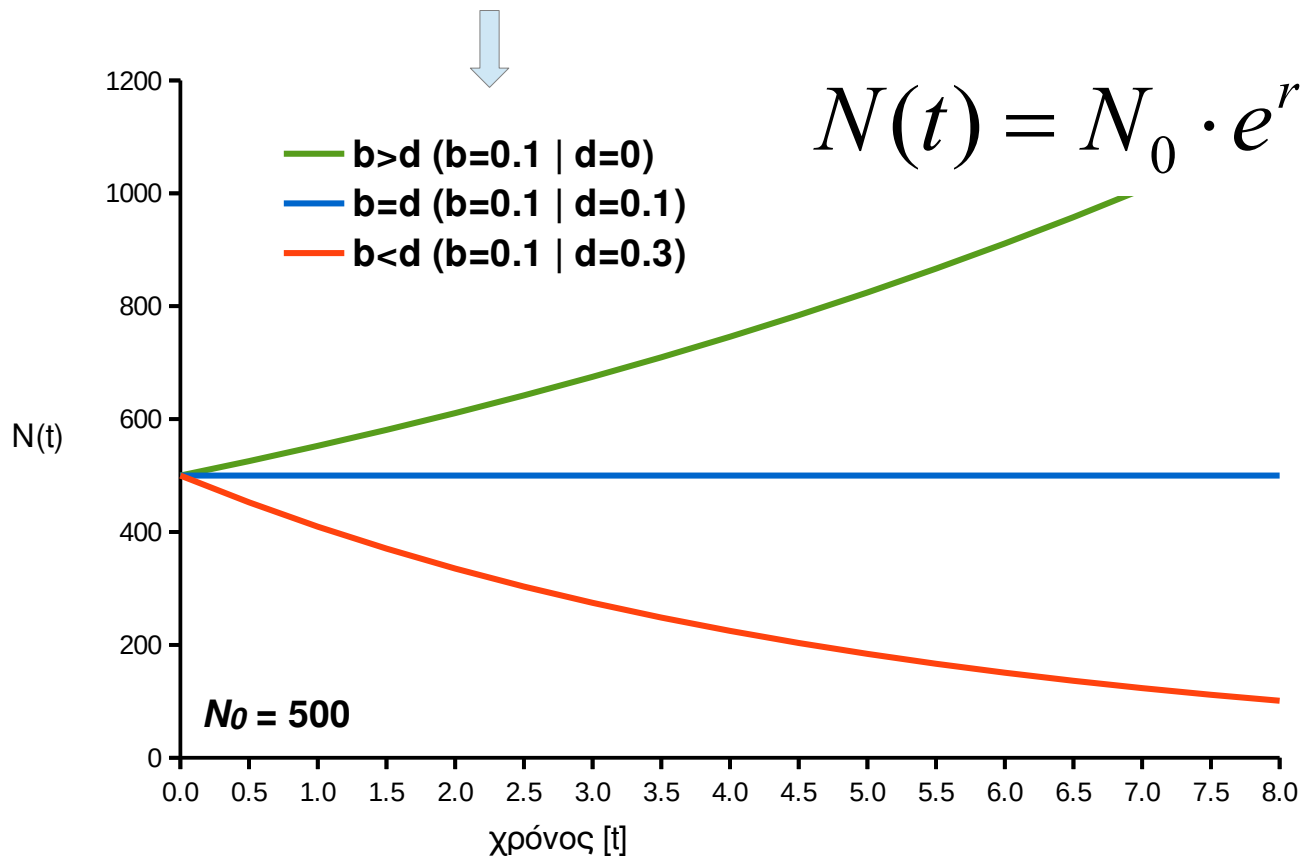
Αύξηση πληθυσμού στην απουσία περιορισμών

growth without limits

Ο ενδογενής ρυθμός r καθορίζει το αν ο βιολογικός πληθυσμός:

- αυξάνεται ($b > d$),
- μειώνεται ($b < d$), ή
- βρίσκεται σε ισορροπία ($b = d$).

Παράδειγμα: σε αριθμό 100 ατόμων υπάρχει θετική αύξηση ίση με 10 νέα άτομα. Συνεπώς, $r = 10/100 = 0.1$ (ή 10%)





Αύξηση πληθυσμού εξαρτώμενη από την αφθονία του density-dependent growth

Στην πράξη βέβαια, η αύξηση (της αφθονίας) ενός πληθυσμού δεν είναι απεριόριστη.

- Τυπικά, ο πληθυσμός συναντά κάποια στιγμή τα όρια των διαθέσιμων πόρων που είναι απαραίτητοι για την επιβίωσή του.

- Πρέπει επομένως να θεωρήσουμε ότι υπάρχει ένας μηχανισμός που ελαχιστοποιεί (ή μηδενίζει) το ρυθμό αύξησης όταν η αφθονία είναι πολύ μεγάλη, δηλαδή όταν η αφθονία πλησιάζει στο όριο της ικανότητας του οικοσυστήματος να υποστηρίξει τον πληθυσμό (~φέρουσα ικανότητα).

$$\frac{dN}{dt} = rN$$

αναφέρεται και ως N_{∞}

- Αυτό, γίνεται εισάγοντας στο μοντέλο μία παράμετρο $1 - N/K$. Αυτή:

- είναι κοντά στη μονάδα (δηλαδή έχει αμελητέα επίδραση) όταν το $N \ll K$,
- και είναι κοντά στο 0 όταν το N είναι πολύ κοντά στο K .

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$

Για λεπτομέρειες στη θεωρητική εξαγωγή της εξίσωσης, δες: Haddon (2011)





Αύξηση πληθυσμού εξαρτώμενη από την αφθονία του

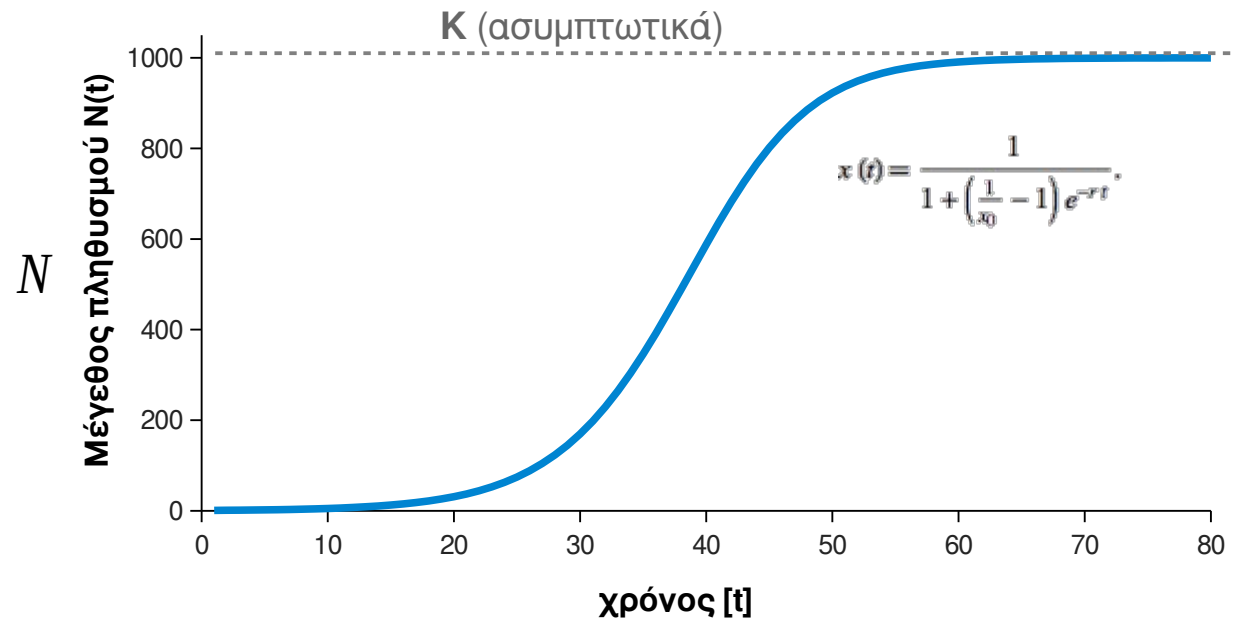
density-dependent growth



Αυτό, είναι και το μοντέλο μεταβολής της αφθονίας του πληθυσμού σύμφωνα με τη **λογιστική καμπύλη** (logistic curve).

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$

όπου r : ο ενδογενής ρυθμός αύξησης,
 K : η φέρουσα ικανότητα (ή N_{∞})



Ενδεικτικό άρθρο:

Vasconcellos & Gasalla (2001). Fisheries catches and the carrying capacity of marine ecosystems in southern Brazil. Fisheries Research 50, 279–295.



Αύξηση πληθυσμού εξαρτώμενη από την αφθονία του

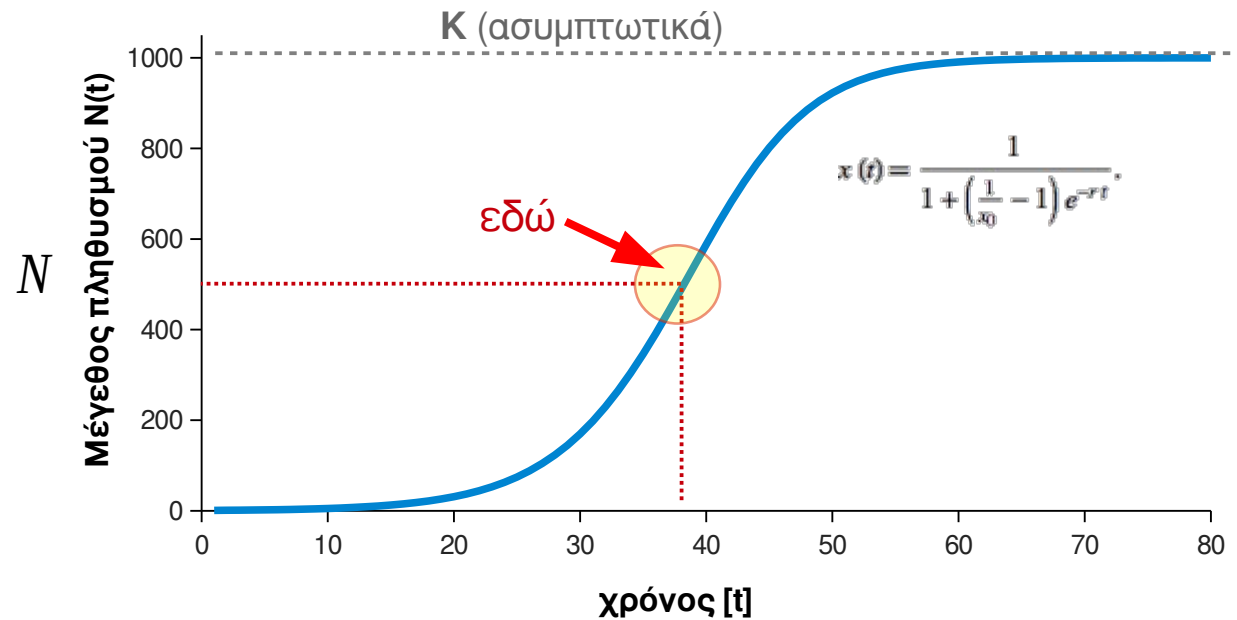
density-dependent growth



Αυτό, είναι και το μοντέλο μεταβολής της αφθονίας του πληθυσμού σύμφωνα με τη **λογιστική καμπύλη** (logistic curve).

$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K} \right)$$

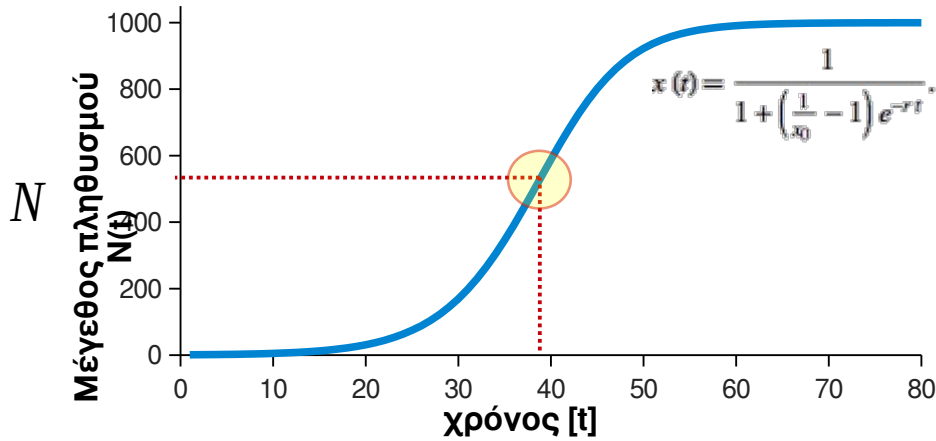
όπου r : ο ενδογενής ρυθμός αύξησης,
 K : η φέρουσα ικανότητα (ή N_{∞})



Σε ποιο σημείο της καμπύλης είναι μεγαλύτερος ο ρυθμός μεταβολής του πληθυσμού;

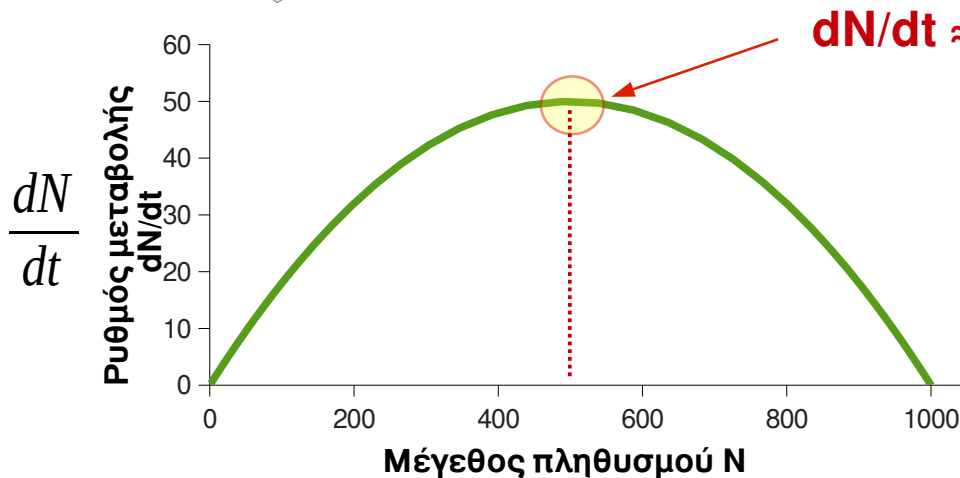


Αύξηση πληθυσμού εξαρτώμενη από την αφθονία του density-dependent growth



$$\frac{dN}{dt} = rN \left(1 - \frac{N}{K}\right)$$

- Αν σχεδιάσουμε το dN/dt (ρυθμός αύξησης της αφθονίας) ως προς το N (αφθονία)...



$dN/dt \approx \max$ (μέγιστος ρυθμός μεταβολής)

Ο μέγιστος ρυθμός μεταβολής της αφθονίας επιτυγχάνεται όταν $N = K/2$ (ή $N_{\infty}/2$)



Αύξηση πληθυσμού εξαρτώμενη από την αφθονία του

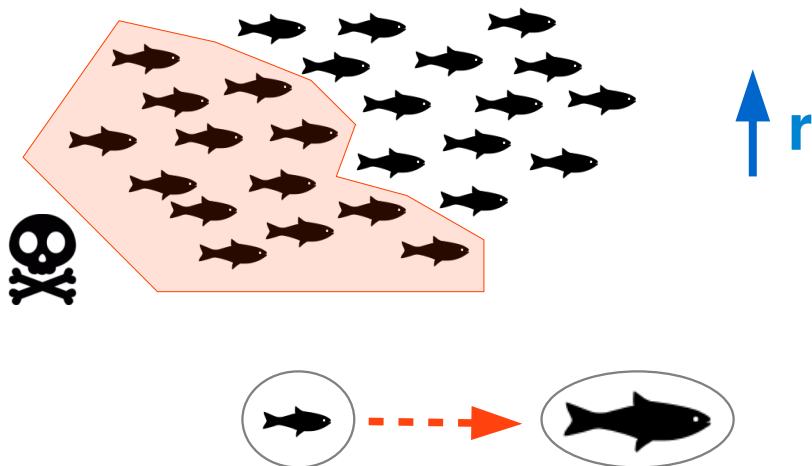
density-dependent growth

Η εξάρτηση ενός πληθυσμού από την αφθονία του (ή αλλιώς από την πυκνότητά του – density) είναι μία θεμελιώδης έννοια στη μελέτη της δυναμικής των ιχθυοπληθυσμών.

Εάν οι διαδικασίες είναι τέτοιες ώστε να μειώνεται ο ρυθμός αύξησης σε υψηλές πυκνότητες, και να αυξάνεται ο ρυθμός αύξησης σε χαμηλές πυκνότητες, τότε θεωρούμε ότι λαμβάνει χώρα η “αντιστάθμιση” (**compensation**):

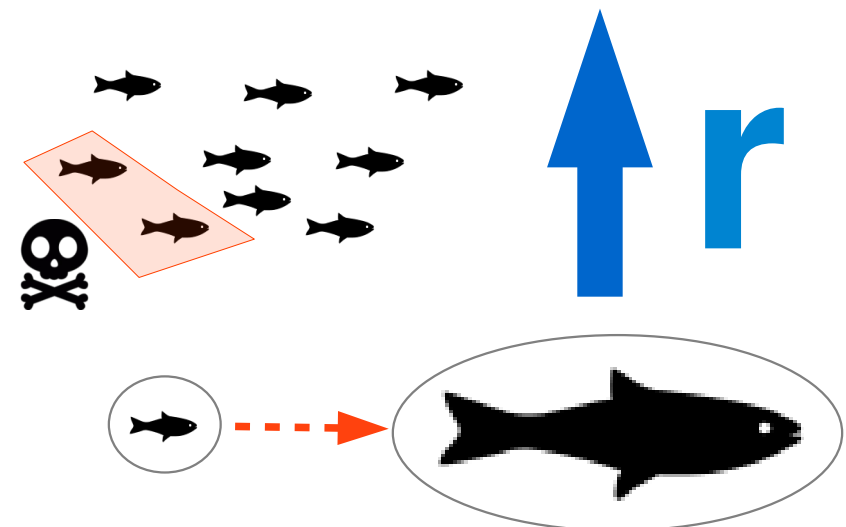
Υψηλή πυκνότητα (≈βιομάζα)

- Μικρός ρυθμός αύξησης πληθυσμού.
- Βραδύτερη ανάπτυξη ατόμων.
- Μεγαλύτερη φυσική θνησιμότητα.



Χαμηλή πυκνότητα (≈βιομάζα)

- Μεγάλος ρυθμός αύξησης πληθυσμού.
- Γρηγορότερη ανάπτυξη ατόμων.
- Μικρότερη φυσική θνησιμότητα.





Αύξηση πληθυσμού εξαρτώμενη από την αφθονία του

density-dependent growth

Αντιστάθμιση (Compensation)

Πώς εξηγείται;

Λόγω ανταγωνισμού.

- Σε υψηλές πυκνότητες θα υπάρχει έλλειψη τροφής και καταφυγίου από θηρευτές (ή ανταγωνισμός για κάποιον άλλο κρίσιμο πόρο),
- Μεγαλύτερη πιθανότητα μετάδοσης ασθενειών,
- Και (σε κάποια είδη) κανιβαλισμός εις βάρος των νεαρών ατόμων ή των αβγών.

- Οι μηχανισμοί είναι ιδιαίτερα σύνθετοι (ειδικά σε πολυ-ειδικές βιοκοινωνίες) και διαφέρουν μεταξύ ειδών (Rose et al. 2002).

Προτεινόμενο paper:

Rose et al (2002). Compensatory density dependence in fish populations: importance, controversy, understanding and prognosis. *Fish and Fisheries* 2, 293–327. doi: [10.1046/j.1467-2960.2001.00056.x](https://doi.org/10.1046/j.1467-2960.2001.00056.x)



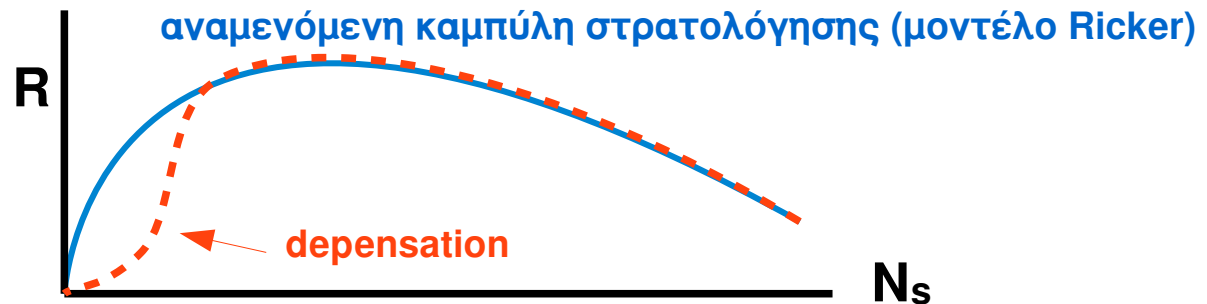
Αύξηση πληθυσμού εξαρτώμενη από την αφθονία του

density-dependent growth

Με ερωτηματικό ο Ελληνικός όρος, η Ελλ. βιβλιογραφία είναι ασαφής ως προς αυτόν

“Υποπλήρωση” (Depensation)

- Λιγότερος κοινός μηχανισμός, αλλά λαμβάνει χώρα.
- Αντίθετα με ό,τι περιμένουμε από την αντιστάθμιση, κάποιες φορές ο ρυθμός αύξησης επιβραδύνεται σε πολύ χαμηλή πυκνότητα του πληθυσμού (δες **Allee effect**).
- **Αιτίες:** αύξηση ρυθμού θήρευσης ανά νεαρό άτομο (π.χ. αν ο θηρευτής είναι πολύ αποδοτικός και τρώει σταθερό αριθμό ατόμων, οπότε ο ρυθμός θνησιμότητας αυξάνει, ή αν ο θηρευτής δεν εξαρτάται από την αφθονία του θηράματος καθώς έχει πολλές άλλες επιλογές), δυσκολία εύρεσης συντρόφου για αναπαραγωγή, απώλεια πλεονεκτημάτων συνάθροισης (group benefits), διαταραχή στην αναλογία φύλων, τυχαία περιβαλλοντικά γεγονότα.
- Η κατάσταση αυτή αυξάνει την πιθανότητα τοπικής ή ολικής βιολογικής εξαφάνισης του πληθυσμού (extinction), λόγω της μικρής στρατολόγησης σε μικρές αφθονίες γεννητόρων.



R : αφθονία νεαρών που στρατολογούνται (number of new recruits)
N_s : αφθονία ενήλικων γεννητόρων (number of spawning fish)

“Depensatory density dependence is especially important for depleted populations and for endangered species because it acts to accelerate further population decline and can delay recovery” (Rose et al., 2002).

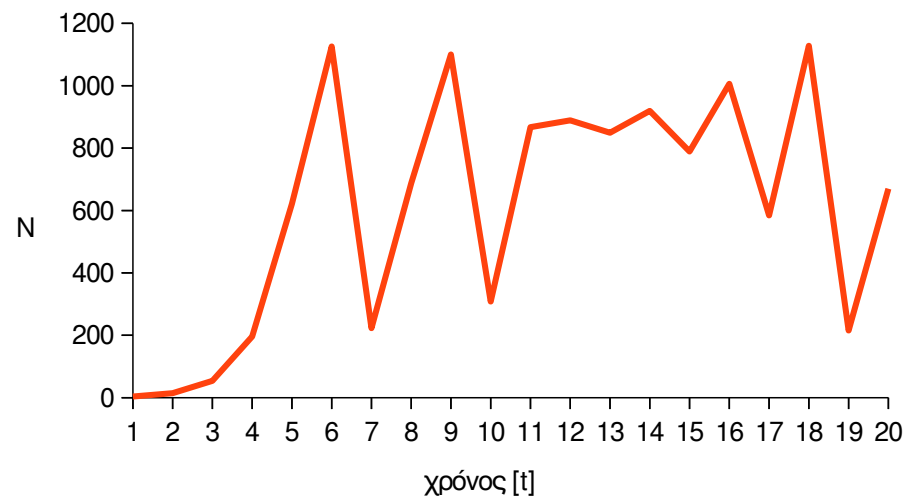
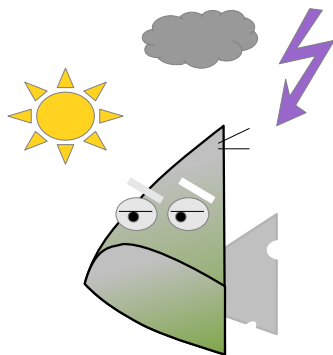
Αύξηση πληθυσμού μη-εξαρτώμενη από την αφθονία του

density-independent growth

Η αφθονία κάποιων πληθυσμών έχει μικρές διακυμάνσεις γύρω από τη φέρουσα ικανότητα του περιβάλλοντος.

Κάποιοι πληθυσμοί όμως παρουσιάζουν ισχυρές διακυμάνσεις ως αποτέλεσμα παραμέτρων που δε σχετίζονται με την πυκνότητα του πληθυσμού.

- Ένα χερσαίο παράδειγμα είναι έντομα που εμφανίζονται σε υγρές και ζεστές συνθήκες, και εξαφανίζονται κατά τις εποχές χαμηλής θερμοκρασίας. Κουνούπια!
- Μαλάκια που διαβιούν σε ρηχά νερά παρουσιάζουν υψηλή θνησιμότητα σε παρατεταμένες περιόδους χαμηλής παλίρροιας και αυξημένης θερμοκρασίας.
- Ψάρια που διαβιούν σε υφάλμυρα οικοσυστήματα δέχονται πίεση σε περιόδους αυξημένης βροχόπτωσης και πλημμυρών.
- ...





r – *K* theory

Κατηγοριοποίηση ειδών με βάση τη συσχέτιση του κύκλου ζωής τους και των βιολογικών και φυσικών χαρακτηριστικών του περιβάλλοντός τους.

Πρότυπα κύκλου ζωής (life history patterns)

	Τύπος <i>r</i>	Τύπος <i>K</i>
	Μεταβαλλόμενο – απρόβλεπτο περιβάλλον	Σταθερό και προβλέψιμο περιβάλλον
Θνησιμότητα	Περιβαλλοντική και ανεξάρτητη από την πυκνότητα	Σταθερή, εξαρτώμενη από την πυκνότητα
Αφθονία	Έντονες μεταβολές	Σχετικά σταθερή αφθονία
Ανάπτυξη	Σύντομη ζωή, μικρό μέγεθος	Αργή ανάπτυξη, μεγάλη διάρκεια ζωής, μεγάλο μέγεθος σώματος
Αναπαραγωγή	Γρήγορη ωριμότητα – μεγάλη αναπαραγωγή, σύντομη μητρική φροντίδα	Βραδεία ωριμότητα – μικρή αναπαραγωγή
Εξελικτική επιλογή	Παραγωγικότητα – υψηλός ρυθμός ανάπτυξης	Αποδοτικότητα – ικανότητα ανταγωνισμού

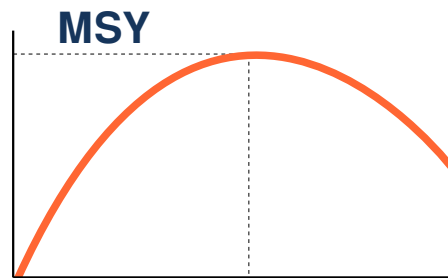


“Live fast, die young”

- Χρήσιμος οδηγός, ωστόσο πολλά είδη βρίσκονται σε διάφορα σημεία μεταξύ των δύο άκρων, ή διαθέτουν διττά χαρακτηριστικά (π.χ. θαλάσσιες χελώνες).



Μοντέλα βιομάζας

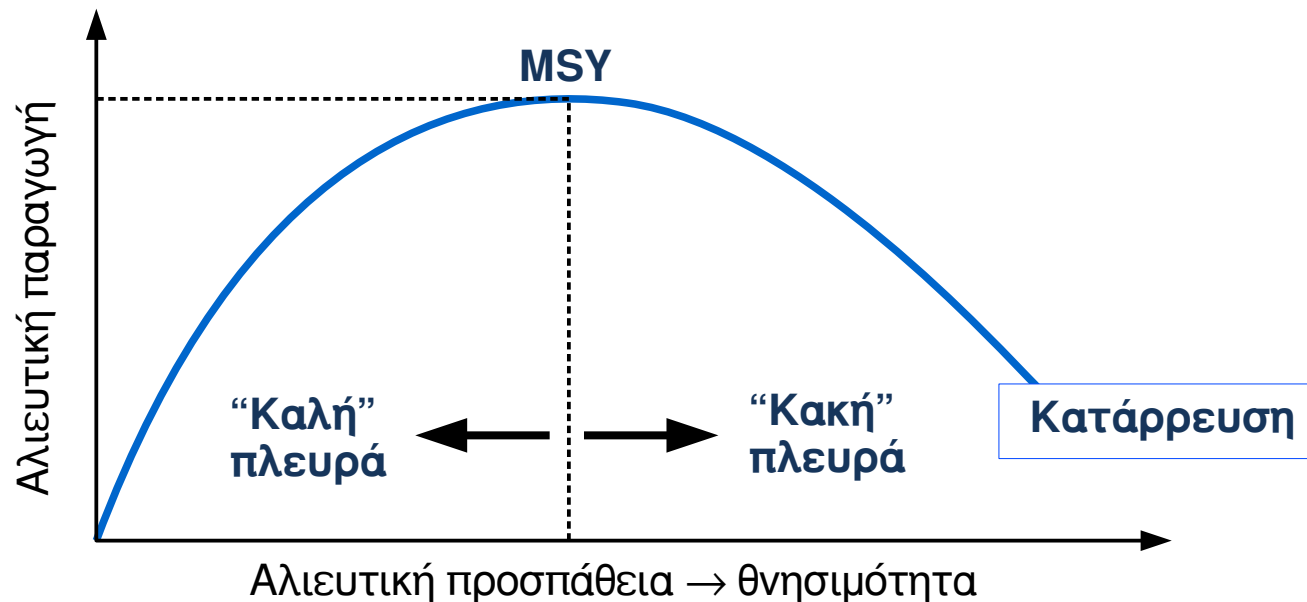




Εισαγωγή MSY

Η **MSY** (Maximum Sustainable Yield – Μέγιστη Βιώσιμη Εσοδεία) είναι μία από τις πλέον σημαντικές έννοιες της αλιευτικής επιστήμης. Οι ρίζες της φτάνουν στο ~1930, και έκτοτε αποτελεί μία βασική παράμετρο εκτίμησης της κατάστασης των αποθεμάτων, στην οποία βασίζονται διαχειριστικές αποφάσεις.

Η **MSY** μπορεί να οριστεί ως η μέγιστη παραγωγή (~βιομάζα) που μπορεί να αφαιρεθεί από το απόθεμα, ώστε αυτό να συνεχίσει να αποδίδει τη μέγιστη ποσότητα αλιεύματος χωρίς να κινδυνεύει με κατάρρευση.



Αλ. Επιστήμη



Αλ. βιομηχανία





Εισαγωγή

υπεραλίευση

Γενικά, υπεραλίευση είναι η μείωση των ιχθυοπληθυσμών σε ανεπιθύμητα επίπεδα, λόγω μεγάλης αλιευτικής πίεσης.

Μπορεί να οριστεί από διαφορετικές σκοπιές, βιολογικές ή οικονομικές:

- **Αυξητική υπεραλίευση (growth overfishing):** Αφαίρεση μικρόσωμων ατόμων από το οικοσύστημα (πριν προλάβουν να μεγαλώσουν). Σχετίζεται κυρίως με μη-επιλεκτικά εργαλεία.

Δεν αποκλείεται τα ψάρια που μένουν στο οικοσύστημα να είναι μεν πολλά, αλλά είναι πολύ μικρά, και ίσως ακόμα μικρότερα από αυτά που πιάνονται στα εργαλεία.

- **Νεοσυλλεκτική υπεραλίευση (recruitment overfishing):** Αφαίρεση μεγαλόσωμων ατόμων από το οικοσύστημα (του αναπαραγωγικού δυναμικού), πιο γρήγορα από όσο μπορούν να αναπαραχθούν.

Δεν αποκλείεται να μείνουν κάποια μεγάλα ψάρια, αλλά αυτά είναι πολύ λίγα.

- **Οικονομική υπεραλίευση (economic overfishing):** **Ορισμός 1:** Η αλιεία δεν είναι πλέον οικονομικά αποδοτική δραστηριότητα. **Ορισμός 2:** Αλιεύονται περισσότερα άτομα από όσα είναι απαραίτητα ώστε η αλιεία να οδηγεί στο μέγιστο κέρδος.

Για τον 1ο ορισμό, απαιτούνται ολοένα και περισσότεροι πόροι (αλιευτική προσπάθεια) για να πιαστεί ολοένα και μικρότερος αριθμός χαμηλής ποιότητας αλιεύματος. Για τον 2ο, αν φαρέψεις πάρα πολλά ψάρια, το κόστος χειρισμού, ξεψαρίσματος, και εμπορικής διάθεσης καταλήγει να είναι πολύ μεγάλο σε σχέση με το αν έπιανες λιγότερα.



Εισαγωγή

Ένα από τα κύρια μοντέλα που σχετίστηκαν με την εκτίμηση του **MSY** από αλιευτικά δεδομένα ήταν το μοντέλο του **Schaefer**.

Αυτό, ανήκει σε μία γενικότερη οικογένεια μοντέλων που ονομάζονται “**μοντέλα πλεονάσματος**” (surplus models) ή “**μοντέλα βιομάζας**” (biomass models).

- Η βασική τους θεώρηση είναι ότι το απόθεμα παράγει μία “πλεονάζουσα” βιομάζα, η οποία μπορεί να αλιευθεί, διατηρώντας το σύστημα σε ισορροπία.

“παίρνουμε μόνο το πλεόνασμα (τόκους) και όχι το κεφάλαιο”

Εισαγωγή

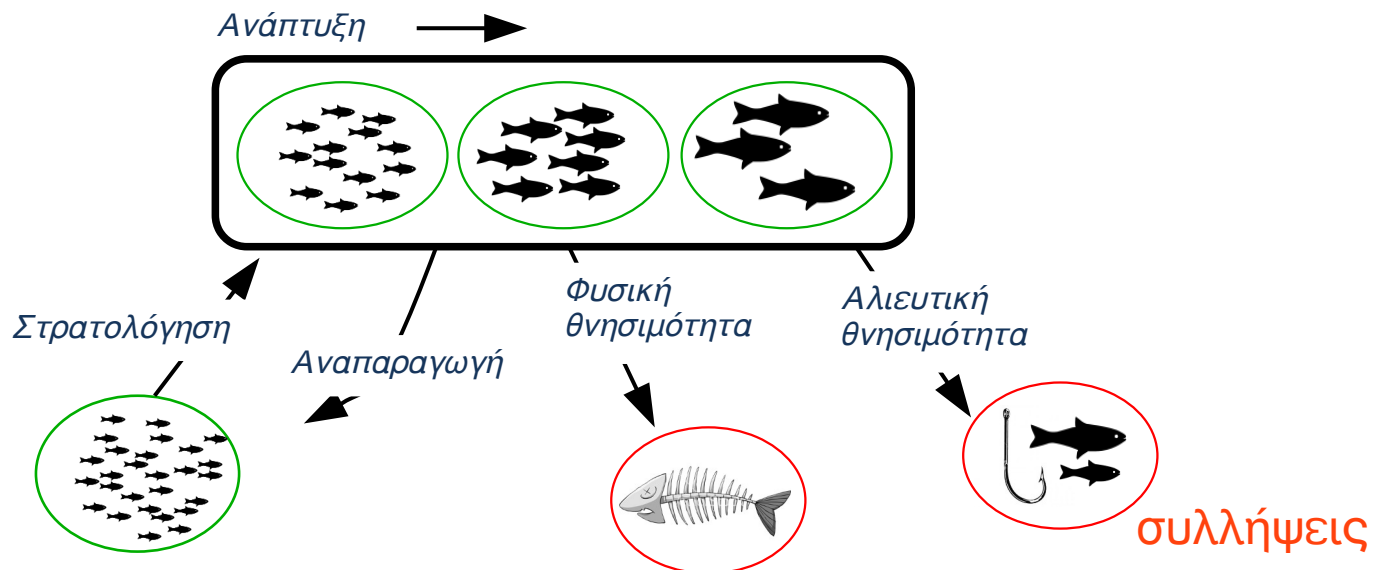
μοντέλα πλεονάσματος

- Η βασική τους θεώρηση είναι ότι το απόθεμα παράγει μία “πλεονάζουσα” βιομάζα η οποία και μπορεί να αλιευθεί. Βασίζονται στην ακόλουθη αρχή:

Επόμενη βιομάζα Προηγούμενη βιομάζα

$$B_{t+1} = B_t + \text{στρατολόγηση} + \text{σωματική αύξηση} - \text{φυσική θνησιμότητα} - \text{συλλήψεις}$$

- Δηλαδή, **αγνοώντας περιβαλλοντικές παραμέτρους**, το σχήμα δείχνει τις βασικές παραμέτρους που καθορίζουν την αφθονία και βιομάζα ενός αποθέματος υπό αλιευτική εκμετάλλευση.





Εισαγωγή

μοντέλα πλεονάσματος

- Η βασική τους θεώρηση είναι ότι το απόθεμα παράγει μία “πλεονάζουσα” βιομάζα η οποία και μπορεί να αλιευθεί. Βασίζονται στην ακόλουθη αρχή:

Επόμενη βιομάζα Προηγούμενη βιομάζα

$$B_{t+1} = B_t + \text{στρατολόγηση} + \text{σωματική αύξηση} - \text{φυσική θνησιμότητα} - \text{συλλήψεις}$$

Χωρίς αλιεία:

$$B_{t+1} = B_t + \boxed{\text{στρατολόγηση} + \text{σωματική αύξηση}} - \text{φυσική θνησιμότητα}$$

↓ Παραγωγή (production)

↓ Πλεόνασμα (surplus)

Δηλαδή, θεωρείται ότι το “πλεόνασμα” = παραγωγή – φυσική θνησιμότητα. Επομένως:

$$B_{t+1} = B_t + \text{πλεόνασμα} - \text{συλλήψεις}$$

Αν το πλεόνασμα είναι μεγαλύτερο από τις συλλήψεις, ο πληθυσμός αυξάνεται. Αν οι δύο ποσότητες είναι ίσες, το μέγεθος του πληθυσμού διατηρείται σταθερό. Αν οι συλλήψεις είναι μεγαλύτερες του πλεονάσματος, ο πληθυσμός μειώνεται.



Αύξηση πληθυσμού εξαρτώμενη από την αφθονία του το μοντέλο βιομάζας του Schaefer

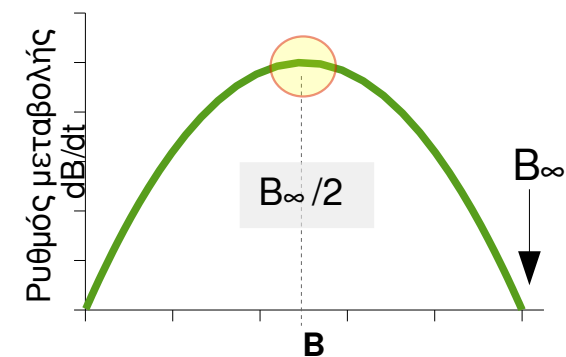
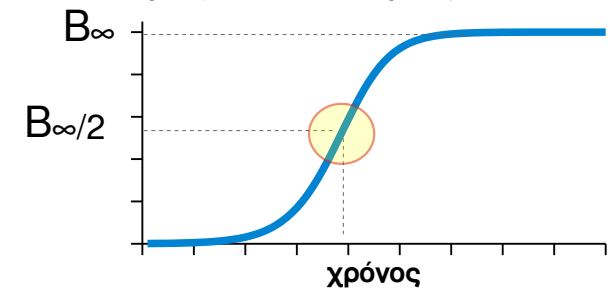
Το μοντέλο του Schaefer υποθέτει ότι η αύξηση της βιομάζας του αποθέματος ακολουθεί τη λογιστική (σιγμοειδή) καμπύλη.

Στο λογιστικό μοντέλο μπορούμε, αντί της αφθονίας N , να χρησιμοποιήσουμε τη βιομάζα του πληθυσμού B :

$$\frac{dB}{dt} = rB \left(1 - \frac{B}{B_{\infty}} \right)$$

- Σε πολύ χαμηλές αφθονίες η εσοδεία θα είναι (σε βάθος χρόνου) χαμηλή, π.χ. λόγω έλλειψης ενηλίκων για να αναπληρώσουν επαρκώς το απόθεμα.
- Σε πολύ υψηλές αφθονίες η εσοδεία θα είναι (σε βάθος χρόνου) περιορισμένη, π.χ. η ανάπτυξη του αποθέματος μειώνεται λόγω φαινομένων αντιστάθμισης.
- Η κεντρική ιδέα του MSY είναι να διατηρηθεί η βιομάζα σε ένα τέτοιο σημείο, όπου ο ρυθμός αύξησής της (dB/dt) είναι μέγιστος. Αυτό, συμβαίνει θεωρητικά στο $B_{\infty}/2$.

Η βιομάζα αυξάνει το γρηγορότερο όταν το απόθεμα είναι στο μισό της μέγιστης βιομάζας B_{∞}





Το μοντέλο βιομάζας του Schaefer

Συνήθως, το λογιστικό μοντέλο χρησιμοποιείται στη διακριτή του μορφή (και όχι σε συνεχή χρόνο), οπότε στην εξίσωση χρησιμοποιούνται οι ετήσιες τιμές του πληθυσμού B_t, B_{t+1}, \dots

$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{B_t}{B_\infty} \right)$$

$$\frac{dB}{dt} = rB \left(1 - \frac{B}{B_\infty} \right)$$

Στην παραπάνω σχέση, εφόσον υπάρχει και αλιευτική παραγωγή, αυτή αφαιρείται από το δεύτερο σκέλος:

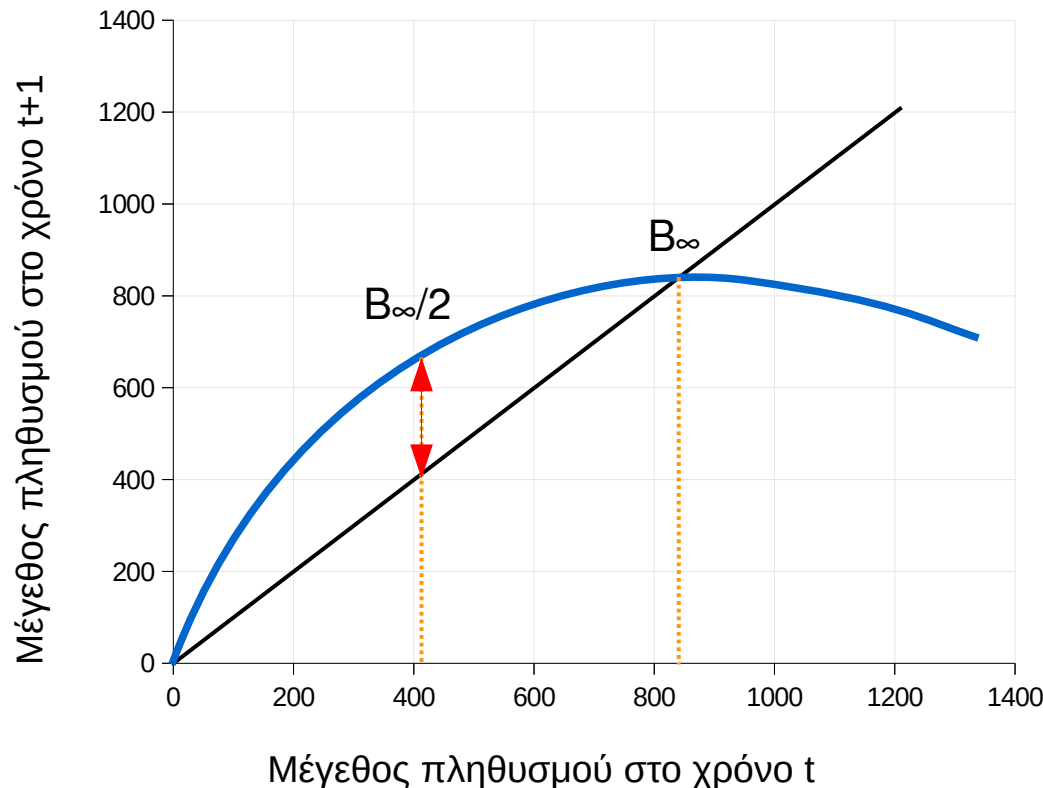
$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{B_t}{B_\infty} \right) - Y_t$$

(Υπενθυμίζεται ότι η ετήσια αλιευτική παραγωγή ονομάζεται *Εσοδεία*, *Yield*)



Αύξηση πληθυσμού εξαρτώμενη από την αφθονία του το μοντέλο βιομάζας του Schaefer


- Η διαφορά μεταξύ της καμπύλης και της γραμμής είναι η ποσότητα που μπορεί να συλληφθεί χωρίς αρνητική επίδραση στο απόθεμα, δηλαδή είναι η “βιώσιμη εσοδεία”.
- Υποθέτοντας ότι η αύξηση του αποθέματος ακολουθεί τη λογιστική (σιγμοειδή) καμπύλη, ρίχνοντας τη βιομάζα –μέσω της αλιείας– στο μισό της B_{∞} οδηγεί το απόθεμα στο μέγιστο ρυθμό ανανέωσης, και άρα στο σημείο μέγιστης εσοδείας (MSY)



- Η διαγώνια γραμμή είναι η $N(t+1) = N(t)$, με την ισορροπία στη φέρουσα ικανότητα K (ή B_{∞}).
- Η καμπύλη είναι το πλεόνασμα (άθροισμα των στρατολογούμενων και της σωματικής αύξησης, μετά από αφαίρεση της φυσικής θνησιμότητας).
- Το μέγιστο σημείο “πλεονασματικής” παραγωγής είναι στο $B_{\infty}/2$



Το μοντέλο βιομάζας του Schaefer


$$B_{t+1} = B_t + rB_t \left(1 - \frac{B_t}{B_\infty}\right) - Y_t$$

Γνωρίζουμε ότι: $Y_t = B_t \cdot q \cdot f_t$

όπου:

q : ο συντελεστής συλληπτικότητας του εργαλείου,
 f : η αλιευτική προσπάθεια.

Αν θεωρήσουμε ότι ο συντελεστής συλληπτικότητας q είναι σταθερός, τότε η ετήσια παραγωγή προς τη μέση ετήσια προσπάθεια (**CPUE**) είναι ένας **δείκτης** της ετήσιας βιομάζας **B**.

$$\frac{Y_t}{f_t} = CPUE_t = B_t \cdot q$$

(Υπενθυμίζεται ότι η ετήσια αλιευτική παραγωγή ονομάζεται *Εσοδεία*, *Yield*)



Το μοντέλο βιομάζας του Schaefer



Ο **Schaefer** παρατήρησε ότι στα αλιευτικά δεδομένα που είχε στη διάθεσή του, αυτός ο δείκτης βιομάζας **CPUE** (catch per unit effort) μειωνόταν συνεχώς, όσο αυξανόταν η αλιευτική προσπάθεια.

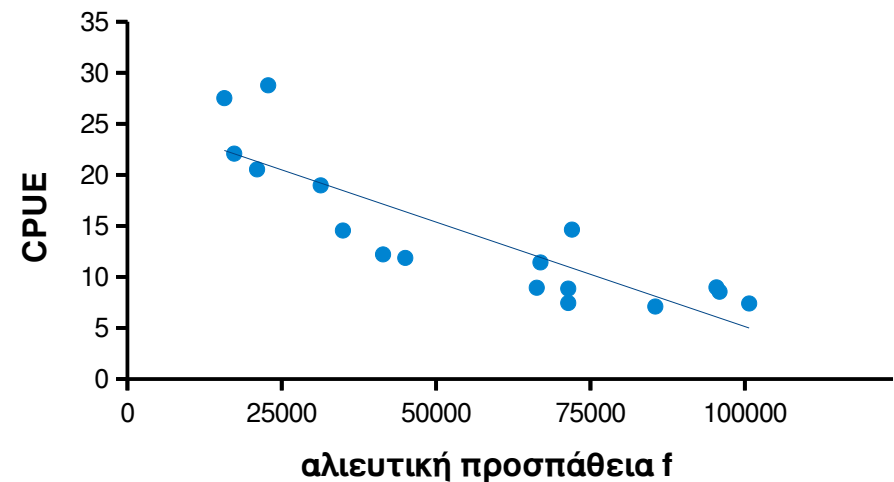
$$\frac{Y_t}{f_t} = CPUE_t = B_t \cdot q$$

Έτσι, θεώρησε ότι μπορούσε να ερμηνεύσει τη μείωση αυτή με ένα γραμμικό μοντέλο.

$$CPUE = a + b \cdot f$$

όπου **f** : προσπάθεια

εξίσωση Schaefer



τα **a** και **b** μπορούν να εκτιμηθούν μέσω γραμμικής παλινδρόμησης





Το μοντέλο βιομάζας του Schaefer

$$\frac{Y_t}{f_t} = CPUE_t$$

$$CPUE = a + b \cdot f$$

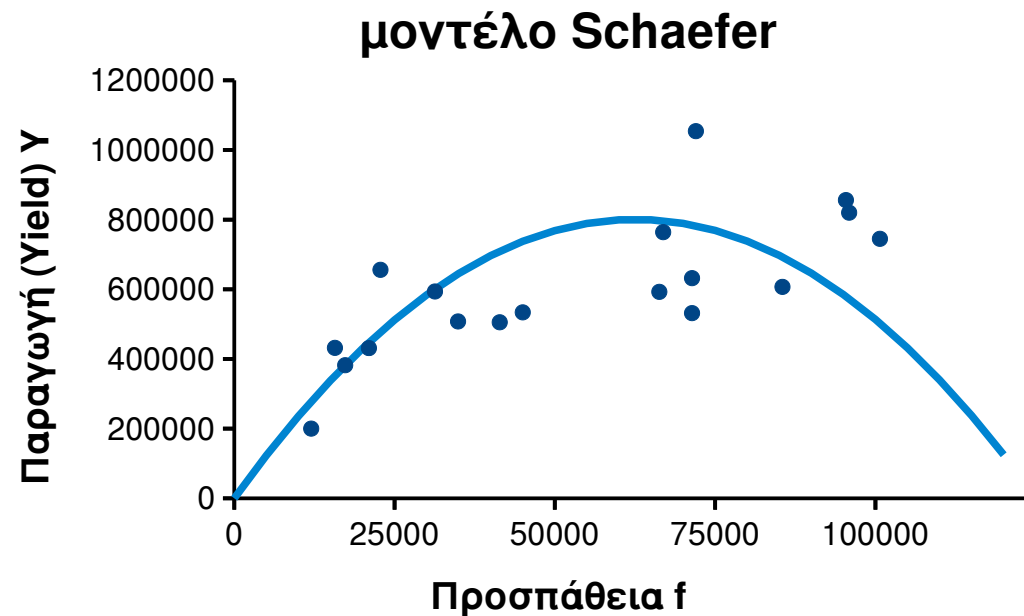
όπου f : προσπάθεια

$$\frac{Y_t}{f_t} = CPUE_t = a + b \cdot f_t$$

πολλαπλασιάζοντας με f

$$Y_t = a \cdot f_t + b \cdot f_t^2$$

εξίσωση παραβολής



Το μοντέλο βιομάζας του Schaefer

(σύνοψη)

Παράμετροι

$$Y_t = a \cdot f_t + b \cdot f_t^2$$

$$B_{MSY} = \frac{B_{\infty}}{2}$$

$$CPUE = a + b \cdot f$$

$$MSY = -\frac{a^2}{4 \cdot b}$$

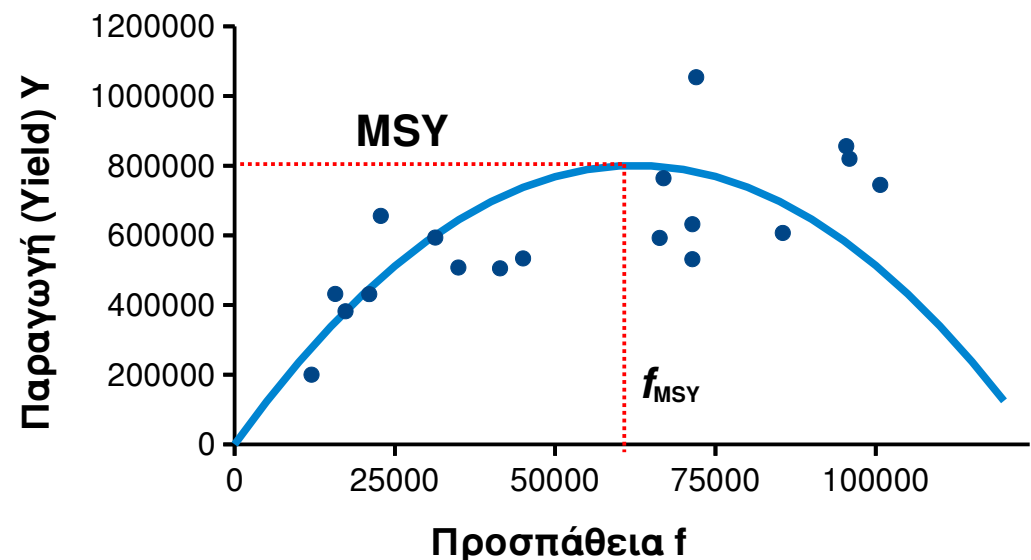
$$f_{MSY} = -\frac{a}{2 \cdot b}$$

Εάν λοιπόν είναι διαθέσιμα αλιευτικά δεδομένα παραγωγής και προσπάθειας:

Έτος t	Αλ. παραγωγή ή εσοδεία Y	Προσπάθεια f
2000
2001
2002



Μπορεί να εκτιμηθεί η **MSY** και η f_{MSY} :

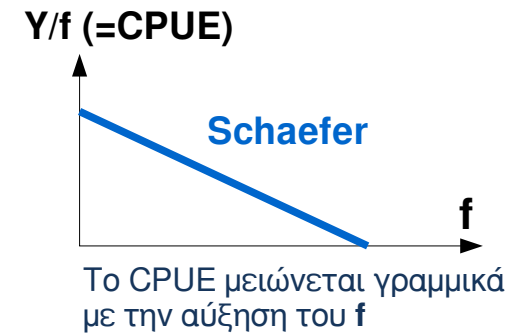




Το μοντέλο βιομάζας του Fox

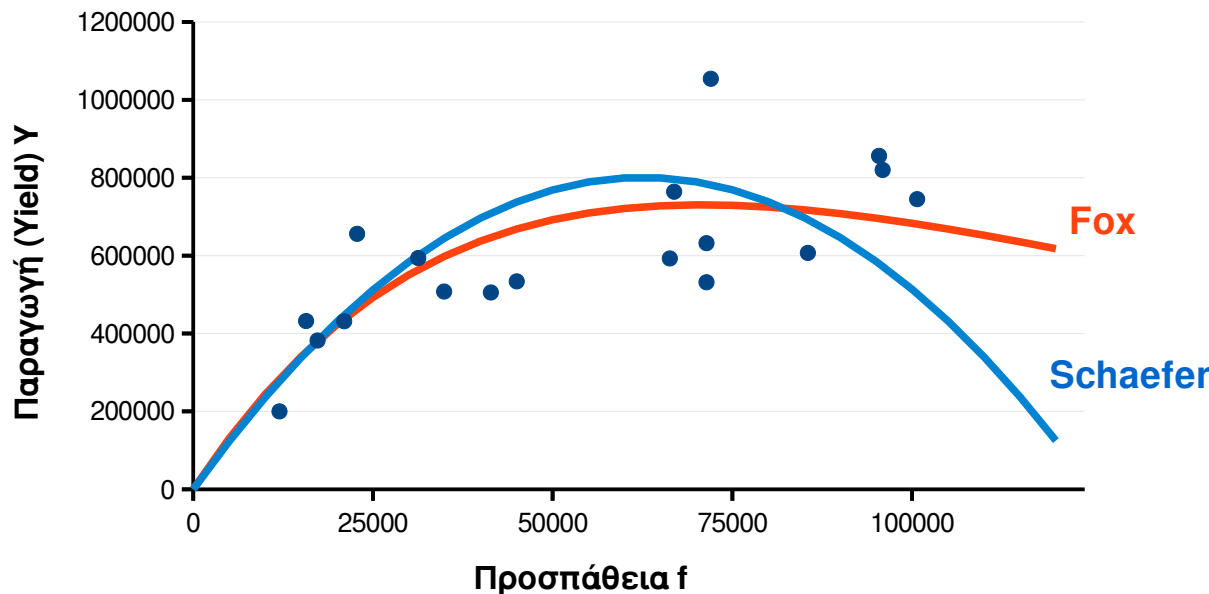
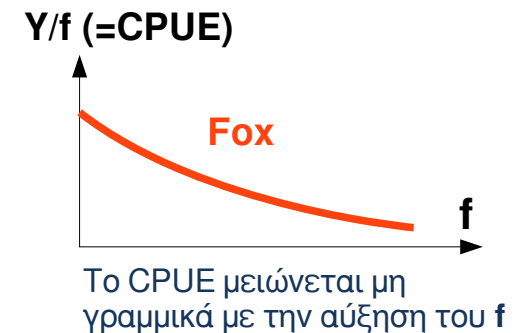
Κατόπιν της έρευνας του **Schaefer**, διερευνήθηκαν διάφορα μοντέλα που τροποποιούν τη σχέση μεταξύ **CPUE** (catch per unit effort) και αλιευτικής προσπάθειας.

Schaefer : $CPUE = a + b \cdot f$



Στο μοντέλο του **Fox** χρησιμοποιείται η σχέση:

Fox : $\ln(CPUE) = a + b \cdot f$





Το μοντέλο βιομάζας του Fox

(σύνοψη)

Παράμετροι

$$Y_t = f_t \cdot e^{(a+b \cdot f_t)}$$

$$B_{MSY} = \frac{B_\infty}{e}$$

$$\ln(CPUE) = a + b \cdot f$$

$$MSY = \left(-\frac{1}{b}\right) \cdot e^{a-1}$$

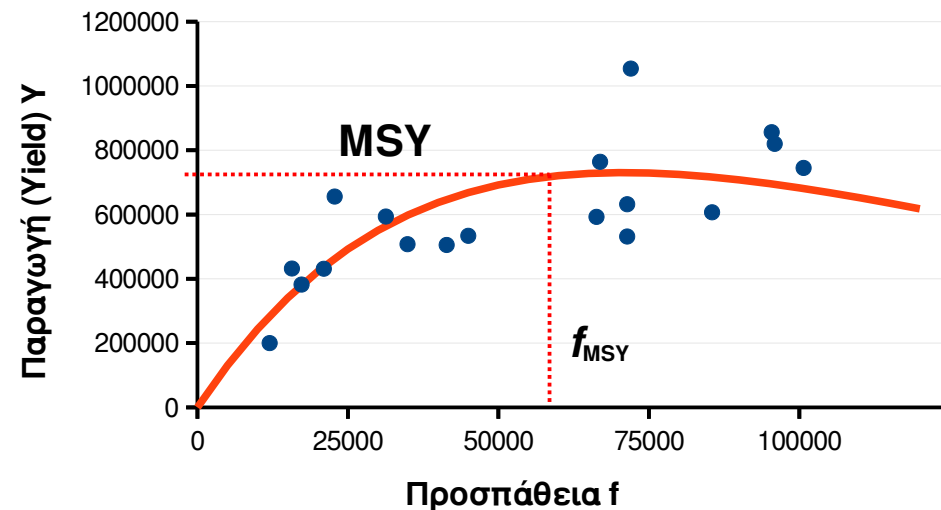
$$f_{MSY} = -\frac{1}{b}$$

Εάν λοιπόν είναι διαθέσιμα αλιευτικά δεδομένα παραγωγής και προσπάθειας:

Έτος t	Αλ. παραγωγή ή εσοδεία Y	Προσπάθεια f
2000
2001
2002



Μπορεί να εκτιμηθεί η **MSY** και η f_{MSY} :





Άσκηση 1: Εκτίμηση MSY και f_{MSY} από αλιευτικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τα μοντέλα Schaefer και Fox

Στόχος

- Χρησιμοποιώντας τα μοντέλα Schaefer και Fox και τα αλιευτικά δεδομένα του πίνακα, να εκτιμηθεί η μέγιστη βιώσιμη εσοδεία **MSY** και η αντίστοιχη αλιευτική προσπάθεια f_{MSY} που την αποδίδει.
- Να σχεδιαστούν τα αντίστοιχα γραφήματα **CPUE~f** και **Y~f**.

Η αλιευτική προσπάθεια δίνεται σε μονάδες 100 m διχτυού ανά ημέρα (**hundred meters of net per day, hmnd**).

EXCEL

Δεδομένα εισόδου

Τα δεδομένα του πίνακα δίνονται στα Έγγραφα του e-class:
[Schaefer_Fox_data.txt](#)

Επίλυση

Επίλυση του μοντέλου δίνεται στα Έγγραφα του e-class:
[Schaefer_Fox_SOLVED.xls](#)

Δεδομένα από King (2007)

Έτος	Παραγωγή (kg)	Προσπάθεια (hmnd)
1988	382000	17300
1989	431300	21000
1990	656000	22800
1991	432000	15700
1993	1054000	72000
1994	820000	95900
1995	745000	100700
1996	531700	71400
1997	764100	66900
1998	856100	95400
1999	607000	85500
2000	632100	71400
2001	592800	66300
2002	533900	45000
2003	505400	41400
2004	507800	34900
2005	593800	31300



Συζήτηση μοντέλων Schaefer και Fox (1)

Παρά τους περιορισμούς τους (δες επόμενη σελίδα), τα μοντέλα αυτά:

- ✓ Αναδεικνύουν τις αρχές της βιώσιμης εκμετάλλευσης ενός αποθέματος και των επιπτώσεων της υπεραλίευσης σε αυτό.
- ✓ Απαιτούν αλιευτικά δεδομένα που είναι γενικώς διαθέσιμα: αλιευτική παραγωγή (συλλήψεις) και αλιευτική προσπάθεια.
Δηλαδή, περιγράφουν την αλιευτική εκμετάλλευση με λίγες παραμέτρους.
- ✓ Μπορούν εύκολα να επεκταθούν στην εξέταση οικονομικών παραμέτρων της αλιείας, αποδίδοντας έτσι πληροφορία για επιπλέον διαχειριστικούς στόχους (δες παρακάτω ενότητα: Βιο-οικονομικό μοντέλο Gordon – Schaefer).



Συζήτηση μοντέλων Schaefer και Fox (2)

Υποθέσεις

- Το CPUΕ είναι ανάλογο της πραγματικής αφθονίας ($CPUE = qN$).
- Το περιβάλλον είναι σταθερό.
- Δεν υπάρχουν δια-ειδικές αλληλεπιδράσεις.
- Οι μεταβολές στην αλιευτική προσπάθεια δρουν άμεσα (χωρίς καθυστέρηση) στο απόθεμα.
- Η αλιευτική θνησιμότητα σχετίζεται γραμμικά με την αλιευτική προσπάθεια, δηλαδή η αλιευτική τεχνολογία δεν μεταβάλλεται.

Πλεονεκτήματα

- ✓ Απαιτούν μόνο δεδομένα αλιευτικής παραγωγής και προσπάθειας.
- ✓ Εκτίμηση MSY και “βέλτιστης” προσπάθειας χωρίς υπολογισμό συλληπτικότητας.
- ✓ Δεν απαιτούν γνώση (= δεδομένα) της ηλικιακής δομής.
- ✓ Χαμηλό κόστος (= δεν απαιτούν εξειδικευμένα δεδομένα/δειγματοληψίες).

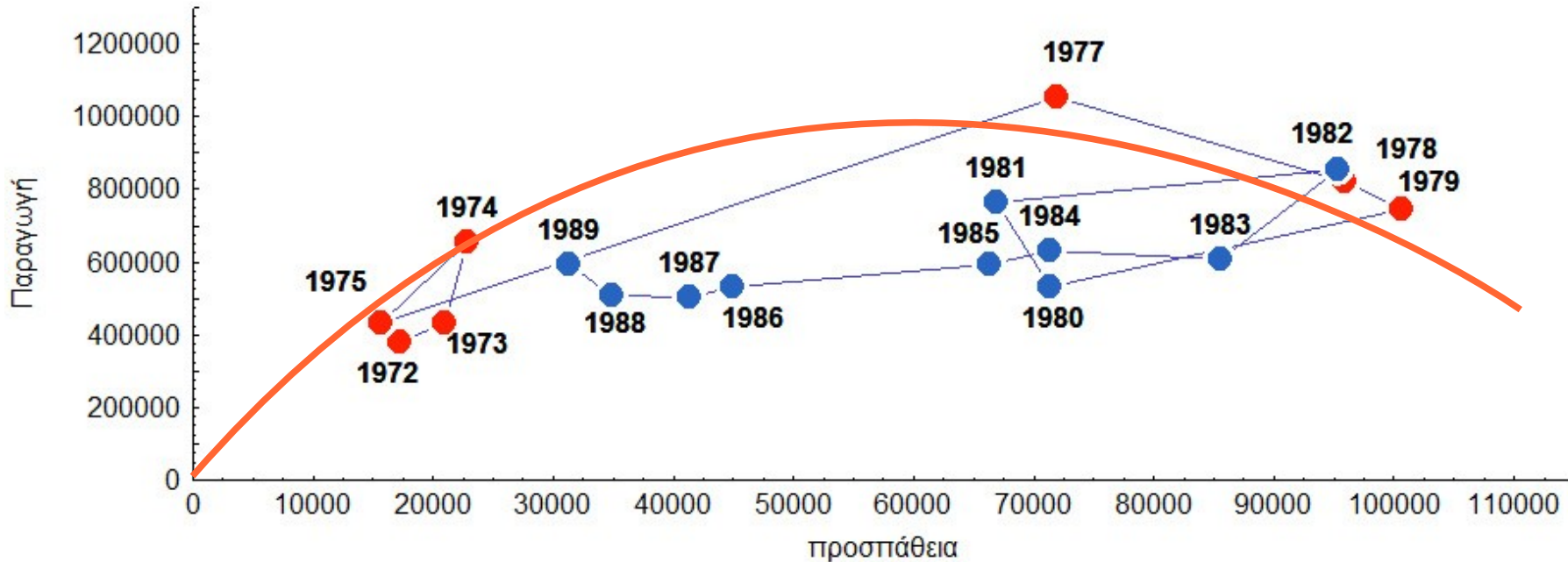
Μειονεκτήματα

- ✗ Δεν περιλαμβάνουν περιβαλλοντικές παραμέτρους.
- ✗ Αγνοούν τροφικές σχέσεις.
- ✗ Η χωρο-χρονική κατανομή των πληθυσμών και του συντελεστή συλληπτικότητας (q) δεν λαμβάνονται υπόψη.
- ✗ Θεωρούν ότι το απόθεμα είναι σε ισορροπία στην τρέχουσα αλιευτική πίεση.
- ✗ Απαιτούν μεγάλο εύρος προσπάθειας (υψηλή και χαμηλή) για τη μοντελοποίηση.

Συζήτηση μοντέλων Schaefer και Fox (3)

ισορροπία σε δεδομένη αλιευτική προσπάθεια ;;;

- ✘ Σε ένα υπεραλιευμένο απόθεμα όπου η αλιευτική πίεση μειώθηκε ξαφνικά, η υπόθεση ισορροπίας δεν είναι αποδεκτή. Η χαμηλή αλιευτική πίεση πρέπει να διατηρηθεί για ικανό χρόνο για να επανέλθει “ισορροπία”.



- Υπεραλίευση μετά το 1977,
- Μείωση της αλιευτικής προσπάθειας μετά το 1980,
- Πάροδος αρκετών ετών έως η παραγωγή να αρχίσει να πλησιάζει την καμπύλη ισορροπίας (Schaefer) από κάτω (μετά το 1986).



Άλλα μοντέλα

- Μοντέλα χωρίς ισορροπία βιομάζας,
- Ηλικιακά μοντέλα,
- Προσθήκη στοχαστικότητας,
- ...

Yield per Recruit model (YpR)

