ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΑΛΙΕΙΑΣ

1) Μια Σύντομη Εισαγωγή Στα Πληθυσμιακά Μοντέλα

Ας θεωρήσουμε μια συγκεκριμένη κοινότητα ψαριών, για την οποία υποθέτουμε ότι ο ρυθμός αύξησης του πληθυσμού είναι αναλογικός του αρχικού μεγέθους του, δηλαδή:

$$\frac{dx}{dt} = rx \qquad (1.1)$$

όπου το x συμβολίζει το μέγεθος του πληθυσμού, t τον χρόνο και r τον ρυθμό αύξησης του πληθυσμού. Ο τελευταίος ορίζεται ως : $r = b - m$, όπου το b συμβολίζει τον ρυθμό αναπαραγωγής του πληθυσμού (birth rate) και το m συμβολίζει τον ρυθμό θνησιμότητας του πληθυσμού (mortality rate). Η σχέση (1.1) αποτελεί μια απλή γραμμική διαφορική εξίσωση πρώτου βαθμού, η επίλυση της οποίας μας δίνει:[1]

$$x(t) = x(0)e^{rt} \qquad (1.2)$$

Αν $r > 0$ τότε ο πληθυσμός αυξάνει συνεχώς (εκθετικά) και το αντίστροφο εάν $r < 0$. Το μοντέλο της εκθετικής αύξησης του πληθυσμού ανήκει στην κατηγορία των μοντέλων των οποίων ο ρυθμός αύξησης είναι ανεξάρτητος από το μέγεθος του πληθυσμού (Density independent models). Στις περισσότερες των περιπτώσεων αυτή η κατηγορία μοντέλων δεν είναι ιδιαιτέρως αληθοφανή. (γιατί; Φέρουσα ικανότητα).

Περισσότερο αληθοφάνεια, υπάρχει σε μοντέλα των οποίων ο ρυθμός μεταβολής του πληθυσμού είναι συνάρτηση του αρχικού μεγέθους του πληθυσμού. Για παράδειγμα, καθώς το μέγεθος ενός πληθυσμού αυξάνει, οι πεπερασμένες δυνατότητες διατροφής και ο δεδομένος χώρος του ενδιαιτήματος (ιδίως για πληθυσμούς που δεν μετακινούνται) θέτει περιβαλλοντικά περιορισμούς στο ρυθμό αύξησης του πληθυσμού. Αυτή η κατηγορία μοντέλων αναφέρεται ως μοντέλα εξαρτώμενα από το μέγεθος του πληθυσμού (Density dependent Models). Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι το μοντέλο της λογιστικής αύξησης, το οποίο μπορεί να γραφεί ως:

$$\frac{dx}{dt} = r(x)x \qquad (1.3)$$

---

[1] $\frac{dx}{dt} = rx \Rightarrow \int \frac{dx}{dt}\frac{1}{x}dt = \int rdt \Rightarrow \int \frac{dx}{x} = rt \Rightarrow \ln x = rt \Rightarrow e^{\ln x} = e^{rt} \Rightarrow x = e^{rt}$

όπου $r'(x) < 0$ και εκφράζει την ιδιότητα της αντιστάθμισης (compensation), σύμφωνα με την οποία η αύξηση του πληθυσμού μειώνεται καθώς αυξάνει το μέγεθος του πληθυσμού. Το πιο απλό παράδειγμα μοντέλου της κατηγορίας (1.3) είναι το παρακάτω:

$$\frac{dx}{dt} = \gamma\left(1 - \frac{x}{x_{\max}}\right)x = G(x) \qquad (1.4)$$

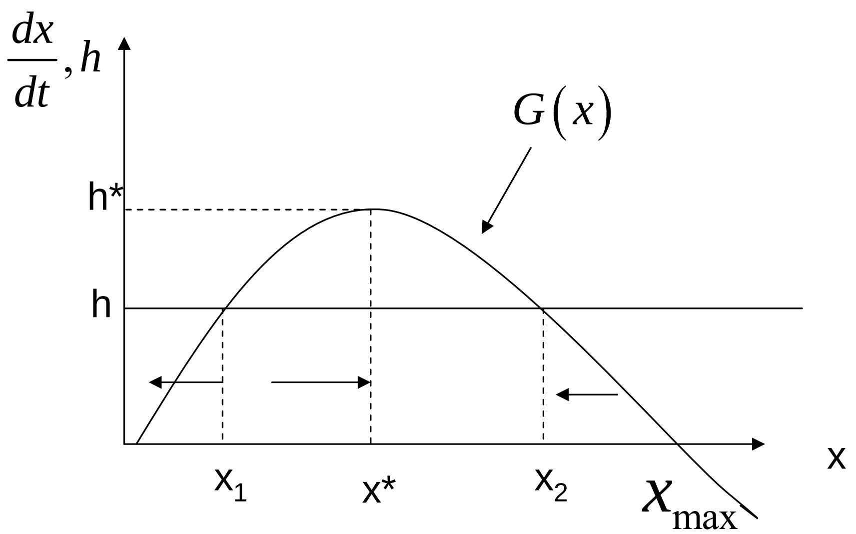
όπου $r(x) = \gamma\left(1 - \frac{x}{x_{\max}}\right)$. Η σταθερά γ, $\gamma > 0$, αναφέρεται ως ενδογενής (intrinsic) ρυθμός αύξησης και το $x_{\max}$ ως η φέρουσα ικανότητα του περιβάλλοντος ή το επίπεδο κορεσμού. Η σχέση (1.4) είναι γνωστή ως η λογιστική εξίσωση.

2) Το Στατικό Μοντέλο Αλιείας

Ας υποθέσουμε ότι κάποιος πληθυσμός ψαριών περιγράφεται από την σχέση (1.4). Το ενδεχόμενο αλιείας μεταβάλλει τον πληθυσμό σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{dx}{dt} = G(x) - h(x) \qquad (1.5)$$

όπου $h(x)$ συμβολίζει τον ρυθμό αλιείας ως συνάρτηση του μεγέθους του πληθυσμού. Αν υποθέσουμε ότι ο ρυθμός αλιείας είναι σταθερός, $h = h(x)$, τότε η διαγραμματική απεικόνιση της (1.5) είναι:



Σχεδιάγραμμα 1: Επίδραση της αλιείας στο μέγεθος του πληθυσμού των ψαριών

Αν $x > x_2$ τότε $G(x) < h$ οπότε ο πληθυσμός μειώνεται μέχρι να φθάσει το σημείο x_2. Αντίθετα, αν $x_1 < x < x_2$ τότε $G(x) > h$ οπότε ο πληθυσμός αυξάνει μέχρι να φθάσει το σημείο x_2. Τέλος, αν $x < x_1$ τότε $G(x) < h$ οπότε ο πληθυσμός μειώνεται συνεχώς. Επομένως, το σημείο x_1 αντιπροσωπεύει ένα σημείο (ημι-)ασταθούς ισορροπίας ενώ το σημείο x_2 αντιπροσωπεύει ένα σημείο ευσταθούς ισορροπίας.

Το σημείο x^* αντιπροσωπεύει το σημείο που αντιστοιχεί στη μέγιστη διατηρήσιμη αλίευση $h^* = x^* = \max G(x)$ (ΜΔΑ). Με τον όρο ΜΔΑ εννοούμε το αυτονόητο ότι κάποιος πληθυσμός μπορεί να αλιευθεί μέχρι του σημείου ώστε να αφαιρείται ποσότητα ΜΔΑ κάθε περίοδο. Αν χρειάζεται ένας χρόνος για αναγεννηθεί ο πληθυσμός τότε μπορεί να αφαιρεθεί ποσότητα ΜΔΑ κάθε χρόνο. Αν αντίθετα χρειάζονται δέκα χρόνια, τότε μπορεί να αφαιρεθεί ποσότητα ΜΔΑ κάθε δέκα χρόνια. Αν για οποιοδήποτε λόγο ο πληθυσμός βρίσκεται κάτω από το x^* τότε η ανάκαμψη του πληθυσμού απαιτεί μειωμένους ρυθμούς αλιείας ή παύση για το διάστημα εκείνο ώστε ο πληθυσμός να επανακάμψει στο $x*$. Στην περίπτωση της λογιστικής εξίσωσης (1.5) ισχύει $x^* = \frac{x_{\max}}{2}$ (γιατί;)[2]

3) Η Έννοια της Αλιευτικής Προσπάθεια (ΑΠ)

Με τον όρο «αλιευτική προσπάθεια» αναφερόμαστε στην ποσότητα του κεφαλαίου, της ενέργειας και της εργασίας τα οποία χρησιμοποιούνται κατά την αλίευση στη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Στην πράξη, απεναντίας, το μέγεθος της αλιευτικής προσπάθειας προσεγγίζεται με τον χρόνο αλιείας (αριθμός ημερών στην διάρκεια ενός έτους) ενός τυπικού καϊκιού (Clark 2006). Οπότε:

$$h = \delta E x \tag{1.6}$$

[2] Εξ ορισμού πρέπει να ισχύει $\left(G(x) - h\right)' = 0$, το οποίο είναι ταυτόσημο με $G'(x) = 0$ εφόσον υποθέσαμε ότι το h είναι ανεξάρτητο του x. Τότε $G'(x) = \gamma\left(1 - \frac{2x}{x_{\max}}\right) = 0$. Δεδομένου ότι $\gamma > 0$ έχουμε συνεπάγεται ότι $G'(x) = 0 \Rightarrow x = \frac{x_{\max}}{2}$.

όπου το E συμβολίζει την αλιευτική προσπάθεια και το δ, $0<\delta\leq 1$, είναι μια σταθερά, η οποία συχνά αναφέρεται ως συντελεστής αλίευσης.

Αντικαθιστώντας την (1.6) στην (1.5) έχουμε:

$$\frac{dx}{dt}=\gamma\left(1-\frac{x}{x_{\max}}\right)x-\delta Ex \qquad (1.7)$$

Το σημείο ισορροπίας χαρακτηρίζεται από την εξίσωση της ποσότητας του αλιεύματος με το ρυθμό αύξησης του πληθυσμού δηλαδή:

$$h=G\left(x\right)\Rightarrow \delta Ex=\gamma\left(1-\frac{x}{x_{\max}}\right)x \qquad (1.8)$$

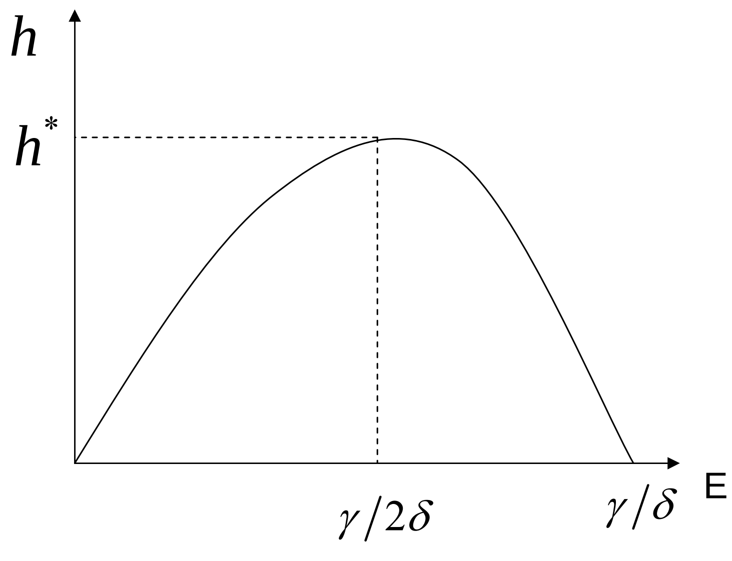
Η επίλυση της σχέσης (1.8) μας δίνει τη σχέση μεγέθους αποθέματος, x, και αλιευτικής προσπάθειας, E,:

$$x=x_{\max}\left(1-\frac{\delta E}{\gamma}\right) \qquad (1.9)$$

Επομένως, αντικαθιστώντας την (1.9) στην (1.6) έχουμε :

$$h=\delta Ex_{\max}\left(1-\frac{\delta E}{\gamma}\right) \qquad (1.10)$$

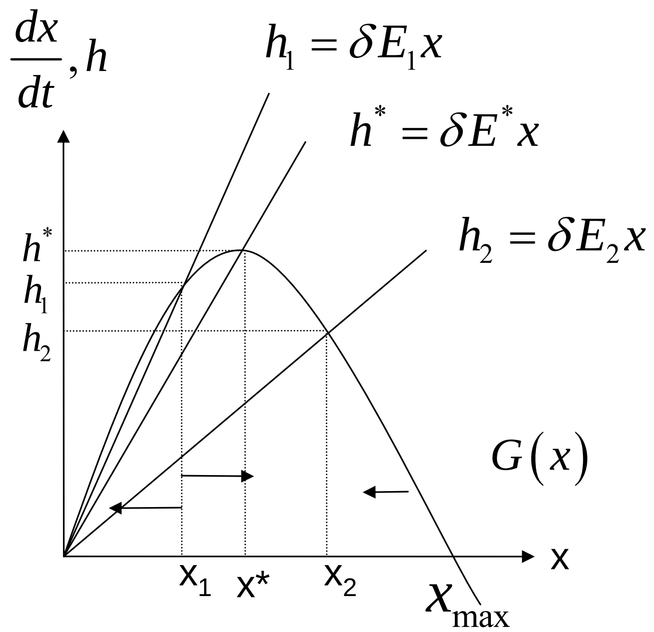
Η διαγραμματική απεικόνιση της (1.10) είναι μια παραβολή και συνήθως αναφέρεται ως η καμπύλη ποσότητας αλιευμάτων και αλιευτικής προσπάθειας:



Σχεδιάγραμμα 2: Καμπύλη ποσότητας αλιευμάτων και αλιευτικής προσπάθειας

Η καμπύλη του σχεδιαγράμματος 2 είναι γνωστή ως μοντέλο Schafer και μας δίνει το μέγιστο ποσό αλιευμάτων που επιτυγχάνεται σε επίπεδο αλιευτικής προσπάθειας στο σημείο $E = \frac{\gamma}{2\delta}$ το οποίο αντιστοιχεί στο $x = \frac{x_{\max}}{2}$, το οποίο φθίνει ομαλά μέχρι να μηδενιστεί στο σημείο $E = \frac{\gamma}{\delta}$ το οποίο αντιστοιχεί στο $x = 0$. (γιατί;)[3]

Αν στο γνωστό λογιστικό μοντέλο εισάγουμε την έννοια της αλιευτικής προσπάθειας, τότε προκύπτει το παρακάτω διάγραμμα.



Σχεδιάγραμμα 3: Ισορροπία μεταξύ αλιευτικής προσπάθειας και αποθέματος

Το σχεδιάγραμμα 3 τρία διαφορετικά επίπεδα ισορροπίας μεταξύ αλιευτικής προσπάθειας και αποθεμάτων $E_1 > E^* > E_2$. Αν η αλιευτική προσπάθεια είναι μεγαλύτερη της E^** (περίπτωση E_2) τότε μειώνεται και η ποσότητα των αλιευμάτων και η ποσότητα του αποθέματος. Αντίθετα αν η αλιευτική προσπάθεια είναι μικρότερη της E^* (περίπτωση E_1) τα αλιεύματα είναι μικρότερα των μέγιστων δυνατών. Το γεγονός ότι η ποσότητα των

[3] $\frac{dh}{dE} = \delta x_{\max}\left(1 - \frac{2\delta E}{\gamma}\right) = 0$ και εφόσον $\delta x_{\max} \neq 0$ έχουμε $\left(1 - \frac{2\delta E}{\gamma}\right) = 0 \Rightarrow E = \frac{\gamma}{2\delta}$. Ομοίως, $h = 0 \Rightarrow \delta E x_{\max}\left(1 - \frac{\delta E}{\gamma}\right) = 0$ και εφόσον $\delta E x_{\max} \neq 0$ έχουμε $E = \frac{\gamma}{\delta}$.

αλιευμάτων μειώνεται με την αύξηση της αλιευτικής προσπάθειας πέραν του $\frac{\gamma}{2\delta}$ (το οποίο αντιστοιχεί επίπεδα αποθέματος x^*) $E > \frac{\gamma}{2\delta}$, δεν σημαίνει ότι η αύξηση της αλιευτικής προσπάθειας θα μειώσει την ποσότητα των αλιευμάτων βραχυχρόνια. Το αντίθετα, μάλλον, περιμένει κανείς. Όμως, σε μακροχρόνιο ορίζοντα το γεγονός ότι $E > \frac{\gamma}{2\delta}$ η δυναμική του πληθυσμού είναι τέτοια ώστε αναμένεται μείωση του αποθέματος και κατά συνέπεια μείωση των αλιευμάτων.

Αντίθετα, η ποσότητα των αλιευμάτων μειώνεται με την μείωση της αλιευτικής προσπάθειας κάτω του $\frac{\gamma}{2\delta}$. Πρέπει να τονιστεί ότι κάτι τέτοιο ισχύει βραχυχρόνια αλλά σε μακροχρόνιο ορίζοντα αναμένεται αύξηση του αποθέματος και κατά συνέπεια και των αλιευμάτων.

4) Το Στατικό Οικονομικό Μοντέλο Αλιείας

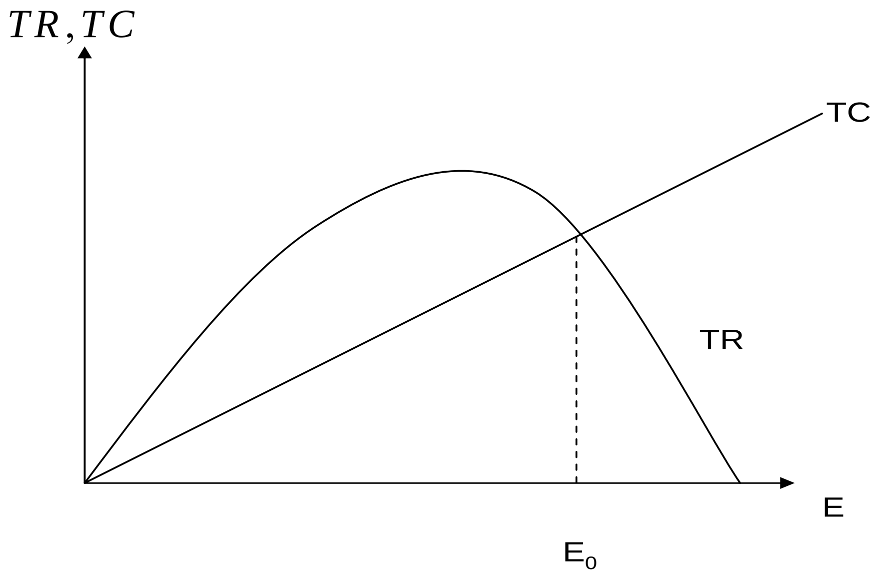
Η οικονομική θεωρία της αλιείας αναπτύχθηκε από τον Gordon (1954) και θεώρησε τα αποθέματα ψαριών ως αγαθά ελεύθερης προσπέλασης (open-access goods or common property resources). Το μοντέλο του Gordon βασίζεται στη σχέση (1.10) και συχνά αναφέρεται ως μοντέλο των Gordon-Schafer. Αν υποθέσουμε ότι η τιμή των αλιευμάτων είναι σταθερή και ίση με P, τότε τα συνολικά έσοδα εκφράζονται ως:

$$TR = Ph(E) \qquad (1.11)$$

όπου $h(E) = \delta E x_{\max}\left(1 - \frac{\delta E}{\gamma}\right)$. Αυτονόητο είναι ότι γραφική παράσταση της (1.11) είναι παραβολή όμοια με την αυτήν του σχεδιαγράμματος 2. Αν ακόμη υποθέσουμε ότι το κόστος ανά μονάδα αλιευτικής προσπάθειας είναι σταθερό και ίσο με c, τότε το συνολικό κόστος της αλιείας είναι:

$$TC = cE \qquad (1.12)$$

Η διαγραμματική απεικόνιση του μοντέλου των Gordon-Schafer δίνεται από το παρακάτω σχήμα.



Σχεδιάγραμμα 4: Το μοντέλο των Gordon-Schafer

Η διαφορά μεταξύ συνολικών εσόδων και συνολικού κόστους μας δίνει το κέρδος (ή πρόσοδο). Το σημείο ισορροπίας στο ,μοντέλο των Gordon-Schafer είναι το σημείο E_0 στο οποίο ισχύει $TR = TC$. Η απόδειξη της προηγούμενης πρότασης γίνεται απορρίπτοντας τα ενδεχόμενα $TR > TC$ και $TR < TC$.

Αν $TR > TC$, το οποίο συμβαίνει σε επίπεδα $E < E_0$, τότε τα κέρδη είναι θετικά. Αυτό το γεγονός προσελκύει επιπλέον επιχειρήσεις (ψαράδες) να δραστηριοποιηθούν στον κλάδο με αποτέλεσμα τελικά τα συνολικά κέρδη να μηδενιστούν. Αντίθετα, αν $TR < TC$, το οποίο συμβαίνει σε επίπεδα $E > E_0$, τότε οι επιχειρήσεις έχουν ζημιά και ως εκ τούτου αυτή η κατάσταση δεν μπορεί να διαιωνιστεί για πολύ.

5) Τι Σημαίνει Υπέρ-αλίευση;

Το σημείο ισορροπίας στο μοντέλο των Gordon-Schafer δίνεται από την επίλυση των παρακάτω εξισώσεων:

$$\frac{dx}{dt} = 0 \Rightarrow \gamma\left(1 - \frac{x}{x_{\max}}\right)x = \delta E x \qquad (1.13)$$

και

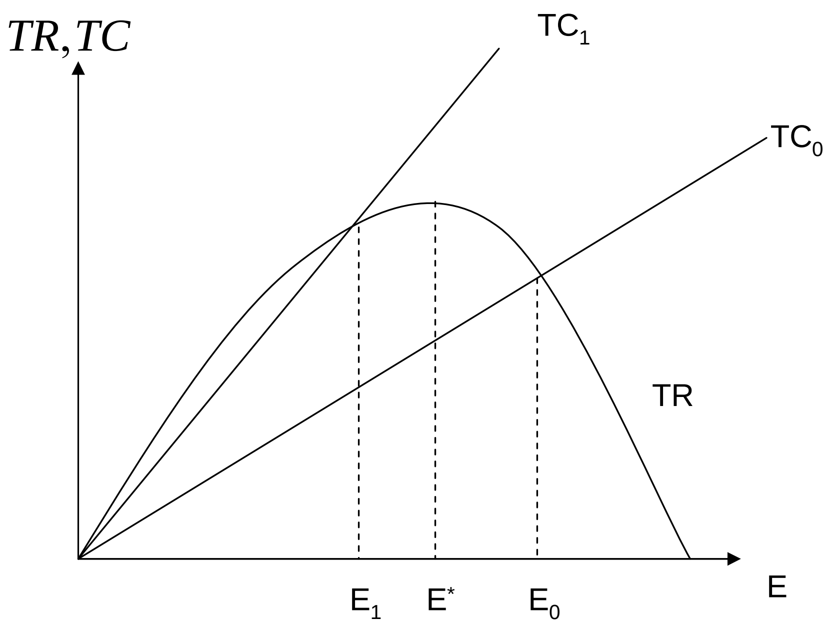
$$TR - TC = 0 \Rightarrow P\delta E x = cE \qquad (1.14)$$

Η επίλυση των (1.13) και (1.14) μας δίνει το E_0 του σχεδιαγράμματος 3:

$$E_0 = \frac{\gamma}{\delta}\left(1 - \frac{x}{P\delta x_{max}}\right) \tag{1.15}$$

Το E_0 ονομάζεται βιο-οικονομικό σημείο ισορροπίας γιατί προσδιορίζεται ταυτόχρονα από βιολογικές και οικονομικές παραμέτρους. Το επίπεδο αποθέματος που αντιστοιχεί σ’ αυτό το σημείο E_0 είναι:

$$x_0 = \frac{c}{P\delta} \tag{1.16}$$



Σχεδιάγραμμα 5: Βιολογική υπέρ-αλίευση

Το ενδεχόμενο της βιολογική υπέρ-αλίευσης απεικονίζεται στο σχεδιάγραμμα 5, στο σημείο E_0, όπου $E_0 > E^*$.

5) Σχετικά με τη Θεμελιώδη Αρχή Διαχείρισης των Ανανεώσιμων Φυσικών Πόρων

Μεγιστοποίηση της συνολικής παρούσας αξίας της αλιευτικής προσόδου (προεξόφληση μελλοντικής προσόδου)

$$\max PV = \max \int_0^{\infty} e^{-rt}\left[TR - TC\right]dt = \int_0^{\infty} e^{-rt}\left[P - c\right]h(x)\,dt \tag{1.17}$$

$$s.t \quad x(t) \geq 0 \quad \& \quad h(t) \geq 0$$

και αντικαθιστώντας $h(x) = G(x) - \frac{dx}{dt}$ έχουμε

$$\max PV = \max \int_0^\infty e^{-rt} [P - c] \left[G(x) - \frac{dx}{dt} \right] dt \tag{1.18}$$

η επίλυση της οποίας μας δίνει (Clark 1990) :

$$G'(x) - \frac{c'(x) G(x)}{P - c(x)} = r \tag{1.19}$$

Η σχέση (1.19) εκφράζει τις προϋποθέσεις μεγιστοποίησης της παρούσας αξίας των κερδών της αλιείας όταν ταυτόχρονα ο ρυθμός αλίευσης ισούται με το ρυθμό αναπαραγωγής των αποθεμάτων.

Η (1.19) γράφεται ως:

$$G'(x)\left(P - c(x)\right) - c'(x) G(x) = r\left(P - c(x)\right) \tag{1.20}$$

ισχύει ότι:

$$\frac{d\left\{G(x)\left(P - c(x)\right)\right\}}{dx} = G'(x)\left(P - c(x)\right) - c'(x) G(x) \tag{1.21}$$

οπότε

$$\frac{d\left\{G(x)\left(P - c(x)\right)\right\}}{dx} = r\left(P - c(x)\right) \tag{1.22}$$

εφόσον ο ρυθμός αλίευσης ισούται με το ρυθμό αναπαραγωγής των αποθεμάτων έχουμε $h(t) = G(x) \equiv \frac{dx}{dt}$ και η παράσταση $h(t)\left(P - c(x)\right) = R(x)$ δηλώνει το κέρδος από την αλιεία ώστε να διατηρηθεί ο πληθυσμός σε επίπεδα x. Έτσι λοιπόν η (1.22) γράφεται ως:

$$\frac{1}{r} \frac{dR(x)}{dx} = \left(P - c(x)\right) \tag{1.23}$$

Αν αυξήσουμε το αλίευμα κατά μια μονάδα το άμεσο κέρδος είναι $P - c(x)$ αλλά ταυτόχρονα θα απολέσουμε την παρούσα αξία της μελλοντικής προσόδου, $\frac{1}{r} \frac{dR(x)}{dx}$ από το αλίευμα που χάνουμε λόγω μειωμένου αποθέματος. Οπότε η θεμελιώδης αρχή της διαχείρισης των ανανεώσιμων φυσικών πόρων είναι:

Θεμελιώδης αρχή διαχείρισης των ανανεώσιμων φυσικών πόρων : Το άμεσο κέρδος από την αύξηση της εκμετάλλευσης μιας επιπλέον μονάδας του φυσικού πόρου πρέπει να ισούται με την παρούσα αξία της μελλοντικής μείωσης της προσόδου που επιφέρει αυτή η αύξηση της εκμετάλλευσης.

6) Μέτρα Πολιτικής για την Μείωση της Αλιευτικής Προσπάθειας

Τρία είναι τα κύρια μέτρα μείωσης της αλιευτικής προσπάθειας. Το πρώτο αφορά σε απαγορεύσεις αλιείας (fishery closures) εφόσον η άριστη ετήσια ποσότητα αλιείας έχει εξαχθεί. Αν η άριστη ποσότητα αλιείας οριστεί στο E* τότε προκύπτει θετική πρόσοδος για τον κλάδο, η οποία εν δυνάμει προσελκύει περισσότερους ψαράδες. Στην προκειμένη περίπτωση για να αποφευχθεί η υπερ-αλίευση δύο ενδεχόμενα υπάρχουν: α) είτε μειώνεται ο επιτρεπόμενος χρόνος αλιείας ή β) είτε θεσπίζονται χωρικοί περιορισμοί, οι οποίοι καθορίζουν δικαιώματα αλιείας.

Η δεύτερη κατηγορία μέτρων μείωσης της αλιευτικής προσπάθειας αφορά την εξαγορά παλαιού αλιευτικού στόλου (buy-back programs). Παρόλο που ενδεχομένως το μέτρο της ανανέωσης του στόλου προσωρινά μπορεί να μειώσει την αλιευτική προσπάθεια είναι ένα εξαιρετικά δαπανηρό μέτρο.

Τέλος, υπάρχει και το μέτρο των ατομικών ποσοστώσεων (Individual Fishing Quotas), το οποίο απαιτεί αυστηρή παρακολούθηση και έλεγχο. Οι ποσοστώσεις μπορεί να είναι περιορισμένου ή απεριόριστου χρόνου.

Clark, C. (1990). Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources. New York, Wiley & Sons.
Clark, C. (2006). "Fisheries bioeconomics: Why is it so widely misunderstood?" Population Ecology **48**: 95-98.
Gordon, H. (1954). "The economic theory of a common property resource: the fishery." Journal of Political Economy (62): 124-142.