

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΙΧΘΥΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Κλιματική αλλαγή και επιπτώσεις στις υδατοκαλλιέργειες»

Δήμητρα Μπόζογλου

ΒΟΛΟΣ 2020

«Κλιματική αλλαγή και επιπτώσεις στις υδατοκαλλιέργειες»

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1. Νικόλαος Νεοφύτου, Αναπληρωτής Καθηγητής (Δρ.), Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Επιβλέπων.***

2. Δημήτριος Κλαουδάτος, Επίκουρος Καθηγητής, Αλιεία, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***

3. Χρήστος Δομενικιώτης, ΠΕ, Ph.D., Τηλεπισκόπηση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, ***Μέλος.***

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Προπτυχιακή Διπλωματική Εργασία. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, κ. Νικόλαο Νεοφύτου για την πολύτιμη βοήθειά του και τη διαρκή υποστήριξή του κατά τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής μου, αποτελούμενη από τους Δημήτριο Κλαουδάτο και Χρήστο Δομενικιώτη. Ιδιαίτερα ευχαριστώ τον κ. Χρήστο Δομενικιώτη, για τις χρήσιμες συμβουλές του και την καθοδήγησή του καθ' όλα τα στάδια διεκπεραίωσης της εργασίας, για την άμεση και ανιδιοτελή βοήθειά του, όσον αφορά την προμήθεια βιβλιογραφικού υλικού, καθώς και για την αμέριστη συμπαράστασή του.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην οικογένειά μου και τον σύντροφό μου για την αμέριστη συμπαράσταση, βοήθεια και προ πάντων κατανόηση και ανοχή καθ' όλο το χρονικό διάστημα των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας Διπλωματικής εργασίας είναι η καταγραφή των παραμέτρων της κλιματικής αλλαγής σε σχέση με τις υδατοκαλλιέργειες, και το πώς οι παράμετροι αυτές μπορούν να επηρεάζουν τον συγκεκριμένο κλάδο της πρωτογενούς παραγωγής. Αρχικά, γίνεται η απόδοση του όρου «υδατοκαλλιέργεια» και της συμβολής της στην ανθρώπινη διατροφή, ακολουθούμενη από τις φυσικοχημικές παραμέτρους που ενδέχεται να επηρεάσουν την ποιότητα νερού μιας εγκατάστασης. Το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής εκφράζεται κυρίως μέσα από την καταγραφή και περιγραφή των τεσσάρων σεναρίων, τα οποία χαρακτηρίζονται ως Αντιπροσωπευτικές Οδοί Συγκέντρωσης, όπως αυτά έχουν οριστεί, μελετηθεί και δημοσιευτεί από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος.

Στη συνέχεια, η εργασία ασχολείται λεπτομερώς με κάθε μία από τις φυσικές παραμέτρους που επηρεάζουν μία υδατοκαλλιέργεια. Συγκεκριμένα, και για κάθε ένα από τα τέσσερα σενάρια, αναφέρονται οι εκτιμήσεις για την εξέλιξη και την πορεία των παραμέτρων στο μέλλον, καθώς και οι επιπτώσεις που θα επιφέρουν στο παγκόσμιο δυναμικό των υδατοκαλλιεργειών.

Τέλος, βασισμένη σε επίσημες εκθέσεις και επιστημονικές μελέτες, η εργασία καταλήγει στο τελικό συμπέρασμα της συμβολής του ανθρώπινου παράγοντα στην υπερθέρμανση του πλανήτη και κατ' επέκταση σε όλες τις μορφές εκτροφής και καλλιέργειας υδρόβιων ζωικών και φυτικών οργανισμών. Καθίσταται σαφής η σημασία της άμεσης λήψης μέτρων, τα οποία σε συνδυασμό με αλλαγή ορισμένων καθημερινών μας συνηθειών, θα συμβάλλουν ώστε το πρόβλημα να μην διογκωθεί περαιτέρω.

Λέξεις κλειδιά: υδατοκαλλιέργεια, κλιματική αλλαγή.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 1 |
| ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ | 2 |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 3 |
| 1.1 Υδατοκαλλιέργειες..... | 3 |
| 1.2 Κλιματική αλλαγή | 5 |
| 1.3 Παράμετροι νερού..... | 6 |
| 1.3.1 Φυσικές παράμετροι | 7 |
| 1.3.2 Χημικές παράμετροι | 8 |
| 1.4 Σκοπός της εργασίας | 11 |
| 2. ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ | 12 |
| 3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ | 16 |
| 3.1. Η αύξηση της θερμοκρασίας | 16 |
| 3.2. Η αύξηση της αλατότητας | 19 |
| 3.3. Η μεταβολή του pH..... | 20 |
| 3.4. Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας | 26 |
| 3.5. Ασθένειες..... | 30 |
| 3.6. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας | 30 |
| 4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ | 32 |
| 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ | 36 |
| ABSTRACT | 40 |

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Υδατοκαλλιέργειες

Οι θαλάσσιοι οργανισμοί (θαλασσινά) καταναλώνονται ευρέως παγκόσμια, ενώ ένα μεγάλο ποσοστό του συνόλου προέρχεται από δραστηριότητες υδατοκαλλιέργειας. Η υδατοκαλλιέργεια, σε παγκόσμια κλίμακα και σε σύγκριση με την κτηνοτροφία, συνέβαλε σημαντικά στη διατροφή του ανθρώπου. Παράλληλα ο συγκεκριμένος κλάδος έχει γνωρίσει σημαντική εξέλιξη τις τελευταίες δεκαετίες με μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης 8,8% από το 1970 (European Commission, 2013). Επιπλέον, ο παγκόσμιος πληθυσμός προβλέπεται να φθάσει τα εννέα δισεκατομμύρια μέχρι το 2050, με αποτέλεσμα την αύξηση των παγκόσμιων αναγκών σε τρόφιμα, κατά το πρώτο μισό του αιώνα (McMichael, 2001).

Η υδατοκαλλιέργεια στην Ευρώπη αντιπροσωπεύει σχεδόν το 1/5 της συνολικής ιχθυοπαραγωγής, ενώ στον τομέα απασχολούνται άμεσα περίπου 85.000 άτομα. Τα παραγόμενα προϊόντα χαρακτηρίζονται από την εξαιρετική τους ποιότητα, με την τήρηση των αυστηρών προτύπων και προδιαγραφών αναφορικά με την υγεία των ζώων, τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος, καθώς και την προστασία των καταναλωτών. Παρόλα αυτά, από το 2000 και έπειτα παρατηρείται στασιμότητα στην ποσότητα των παραγόμενων προϊόντων υδατοκαλλιέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, τη στιγμή που σε άλλες χώρες του κόσμου σημειώνεται έντονη ανάπτυξη της τάξεως του 7% σε ετήσια βάση. Αποτέλεσμα της στασιμότητας αυτής, μπορεί να θεωρηθεί και η συνεχώς αυξανόμενη διαφορά που προκύπτει, και εκτιμάται αυτή τη στιγμή περί τα 8 εκατομμύρια τόνων, μεταξύ του συνολικού όγκου αλιευμάτων και της κατανάλωσης θαλασσινών προϊόντων στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Μέσω της περιβαλλοντικής νομοθεσίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, και κατά κύριο λόγο από την «Οδηγία Πλαίσιο για τα ύδατα (WFD)», την «Οδηγία για τη Θαλάσσια Στρατηγική (ΟΠΘΣ)» και τον

«Κανονισμό για τη χρήση στην υδατοκαλλιέργεια μη ενδημικών ειδών», εξασφαλίζεται ότι τηρούνται οι προϋποθέσεις για τη σωστή υδατοκαλλιέργεια, καθώς απαιτούνται υγιή και κυρίως καθαρά -είτε θαλάσσια είτε γλυκά- ύδατα (European Commission, 2013).

Το προαναφερθέν κενό μεταξύ παραγωγής προϊόντων αλιείας και της κατανάλωσης θαλασσινών προϊόντων από τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, μπορεί να καλυφθεί με τη συμβολή της υδατοκαλλιέργειας με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζεται η βιωσιμότητα από οικονομικής, περιβαλλοντικής και κοινωνικής σκοπιάς. Σε αυτό καλούνται να συμβάλλουν καθένα από τα Κράτη-Μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθιστώντας σαφή, μέσω του πολυετούς σχεδίου δράσης του, τον στόχο για την αύξηση του εθνικού τομέα υδατοκαλλιέργειας για τη συγκεκριμένη περίοδο αναφοράς. Ο στόχος αυτός θα πρέπει να αναφέρεται τόσο στην ποσότητα όσο και στην αξία των παραγόμενων προϊόντων. Η Ευρωπαϊκή Ένωση δίνει προτεραιότητα σε τέσσερις τομείς για την αποδοτικότερη αξιοποίηση του δυναμικού υδατοκαλλιέργειας της (European Commission, 2013). Οι τομείς αυτοί είναι:

- οι διοικητικές διαδικασίες
- ο συντονισμός του χωροταξικού σχεδιασμού
- η ανταγωνιστικότητα
- οι ισότιμοι όροι ανταγωνισμού

και οι τρόποι της αποδοτικότερης αξιοποίησής τους αφορούν:

- τη μείωση των διοικητικών διαδικασιών
- την εξασφάλιση της βιώσιμης ανάπτυξης της υδατοκαλλιέργειας με τη σωστή χωροθέτηση των εγκαταστάσεων και τη διευκόλυνση της πρόσβασης σε αυτές

- την ενίσχυση και προώθηση της υδατοκαλλιέργειας στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης
- την προώθηση ισότιμων όρων ανταγωνισμού, οι οποίοι θα αφορούν τους οικονομικούς παράγοντες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αξιοποιώντας τα ανταγωνιστικά τους πλεονεκτήματα, όπως είναι η υψηλή ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων και τα αυστηρά περιβαλλοντικά και υγειονομικά πρότυπα.

1.2 Κλιματική αλλαγή

Η κλιματική αλλαγή αναφέρεται σε μια αλλαγή στην κατάσταση του κλίματος που μπορεί να προσδιοριστεί (π.χ. χρησιμοποιώντας στατιστικές δοκιμές) με μεταβολές του μέσου όρου και/ή της μεταβλητότητας των ιδιοτήτων του και που παραμένει για παρατεταμένη περίοδο, συνήθως δεκαετίες ή και περισσότερο. Αναφέρεται σε οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα με την πάροδο του χρόνου, είτε λόγω φυσικής μεταβλητότητας είτε ως αποτέλεσμα ανθρώπινης δραστηριότητας (IPCC, 2007).

Οι Handisyde *et al.* (2014) και De Silva και Soto (2009) επεσήμαναν ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υδατοκαλλιέργεια έχουν τόσο άμεσες (π.χ. μέσω φυσικών και φυσιολογικών διεργασιών) όσο και έμμεσες συνέπειες (π.χ. μέσω διαφορών στην προμήθεια ιχθυαλεύρων και εμπορικών ζητημάτων).

Οι φυσικές αλλαγές που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή είναι η θερμοκρασία, η ηλιακή ακτινοβολία, η κυκλοφορία των υδάτων των ωκεανών και η επίδρασή της στα μοτίβα κυκλοφορίας, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας, οι περιπτώσεις αυξημένης ζήτησης νερού και λειψυδρίας, καθώς και η συχνότητα ακραίων συμβάντων, ενώ εκτιμάται ότι θα έχουν φυσιολογικές, οικολογικές και

λειτουργικές επιπτώσεις (επιλογή χώρου, τεχνολογίες περιορισμού κ.λπ.) (Cochrane *et al.*, 2009).

Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή μπορεί να οδηγήσει σε δευτερογενείς αλλαγές στο περιβάλλον της υδατοκαλλιέργειας, οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την ανάπτυξη και την παραγωγή (Cochrane *et al.*, 2009).

1.3 Παράμετροι νερού

Τα κριτήρια που έχουν θεσπιστεί με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία (Svobodová *et al.*, 1993), είναι γενικά κατευθυντήρια και συμβάλλουν ώστε να μπορούν να εντοπιστούν τα υπάρχοντα προβλήματα ή αυτά που ενδεχομένως να προκύψουν στο μέλλον. Συχνά, όμως, τα κριτήρια αυτά οφείλουν να διαμορφώνονται ανάλογα με την εκάστοτε υδάτινη περιοχή, καθώς η κάθε μία περιοχή διαθέτει τα δικά της χαρακτηριστικά, όπως αυτά προκύπτουν από τις ιδιαιτερότητες της τοποθεσίας της. Εξίσου πολύπλοκη είναι και η επίδραση της ποιότητας του νερού στα είδη που εκτρέφονται ή καλλιεργούνται, καθώς υπάρχει πάντα το ενδεχόμενο να δρουν ταυτόχρονα και άλλοι ανταγωνιστικοί ή συνεργικοί μηχανισμοί.

Επίσης, ιδιαίτερα σημαντική είναι η διερεύνηση των παραμέτρων εκείνων του περιβάλλοντος, οι οποίες πιθανόν να διαφοροποιηθούν και από τις οποίες εξαρτώνται άμεσα τόσο η εκτροφή όσο και η βιωσιμότητα των ψαριών. Σε κάθε ιχθυοτροφική αξιοποίηση, εκτός από τα είδη που εκτρέφονται σε αυτήν, την ποιότητα των ειδών αυτών, καθώς και την περίοδο που λαμβάνει χώρα η εκτροφή, είναι εξίσου σημαντικό να εκτιμηθούν ταυτόχρονα και οι διακυμάνσεις που παρατηρούνται στις φυσικοχημικές παραμέτρους σχετικά με την ποιότητα του νερού στο περιβάλλον της εν λόγω περιοχής. Οι παράμετροι αυτοί που επηρεάζουν την ποιότητα του νερού στην υδατοκαλλιέργεια, είναι πολλές και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις φυσικές και τις χημικές. Οι πιο σημαντικές της πρώτης κατηγορίας (φυσικές) είναι η θερμοκρασία και

η αλατότητα, ενώ αντίστοιχα για τη δεύτερη (χημικές) είναι το pH, το διοξείδιο του άνθρακα και η αμμωνία (Ζαρκαδάς και Παπαδάκη, 1999).

1.3.1 Φυσικές παράμετροι

Η **θερμοκρασία** είναι η βασικότερη ίσως φυσική παράμετρος. Αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τα εκτρεφόμενα είδη, ενώ τα όρια της ανθεκτικότητάς τους και τα όρια βέλτιστης ανάπτυξης τους διαφοροποιούνται από την ηλικία, το μέγεθος, την κατάσταση της υγείας και το γενετικό τους υλικό. Έτσι, υπάρχει ένα όριο ανοχής θερμοκρασιών κι ένα εύρος βέλτιστων τιμών ανάπτυξης για κάθε εκτρεφόμενο οργανισμό. Ειδικότερα για το λαβράκι, το οποίο είναι ευρέως εκτρεφόμενο στην Ελλάδα, εξακολουθεί να τρέφεται - χωρίς βέβαια βέλτιστους ρυθμούς ανάπτυξης- ακόμη και στους 7°C - 30°C, ενώ αναπτύσσεται άριστα τους 14 - 28°C. Κάτω από τους 7°C σταματά να τρέφεται και κάτω από τους 2°C πεθαίνει (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997).

Μια άλλη φυσική παράμετρος είναι αυτή της **αλατότητας**. Η υδατοκαλλιέργεια συμβαίνει σε τρία ευρέως διαφορετικά περιβάλλοντα: γλυκό, υφάλμυρο και θαλάσσιο νερό, το καθένα προσαρμοσμένο σε συγκεκριμένες ομάδες υδρόβιων ειδών με ιδιαίτερα φυσιολογικά χαρακτηριστικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ευρύαλου (μεγάλη ανοχή σε μεγάλες διακυμάνσεις της αλατότητας) και ευρέως εκτρεφόμενου ψαριού στην Ελλάδα είναι το λαβράκι (*Dicentrarchus labrax*). Απαντάται σε νερά με αλατότητα από 0,5% έως και 90%. Οι ιδανικές (βέλτιστες) συνθήκες ανάπτυξής του, όσον αφορά την αλατότητα, είναι μεταξύ 20% και 30% (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997).

1.3.2 Χημικές παράμετροι

Κυριότερη χημική παράμετρος ποιότητας του νερού είναι η **τιμή του pH**. Το pH είναι ένα μέτρο της οξύτητας (συγκέντρωση ιόντων υδρογόνου) στο νερό. Γενικά κυμαίνεται από 3 - 11 στα γλυκά νερά, ενώ στο θαλασσίνο νερό από 7,5 έως 8,3. Η σταθερότητα που υπάρχει στο θαλάσσιο περιβάλλον όσον αφορά το pH, βοηθά στην ανάπτυξη της υδρόβιας ζωής και οφείλεται στο ότι τα συστατικά του νερού δρουν ως ρυθμιστικό διάλυμα. Όταν το pH είναι μεταξύ 5 και 6, μειώνεται η τροφοληψία στα περισσότερα θαλασσινά εκτρεφόμενα είδη και προκαλούνται θάνατοι. Πάνω από την τιμή 9 είναι πολύ πιθανό να προκληθούν θάνατοι, ενώ οι τιμές πάνω από 11 - 11,5 είναι θανατηφόρες για όλα τα είδη ψαριών (Poxton & Allouse, 1982). Σύμφωνα με τον Boyd (1981) σε επίπεδα pH μικρότερα του 6 - 6,5 παρατηρούνται χαμηλοί ρυθμοί ανάπτυξης, ενώ η όξινη θανατηφόρα τιμή είναι pH=4.

Το pH και οι διακυμάνσεις του επηρεάζουν άμεσα την επιβίωση και τις λειτουργίες των υδρόβιων οργανισμών. Έχει αποδειχθεί ότι η οξίνιση των ωκεανών μπορεί να επηρεάσει την ανοσολογική απόκριση των μυδιών, ειδικά για το γαλάζιο μύδι (*Mytilus edulis*), ένα δημοφιλές είδος υδατοκαλλιέργειας. Οι επιπτώσεις επιφέρονται μέσω αλλαγών στη φυσιολογική κατάσταση και τη λειτουργικότητα των αιμοκυττάρων, οι οποίες με τη σειρά τους προκαλούνται από τη διάλυση του κελύφους ανθρακικού ασβεστίου.

Όπως στη φύση, έτσι και στο υδάτινο περιβάλλον, ο άνθρακας αποτελεί το βασικότερο και κυρίαρχο στοιχείο. Στο νερό, το **διοξείδιο του άνθρακα** περιέχεται υπό τη μορφή ανθρακικού οξέος (H_2CO_3) και η προέλευσή του είναι τόσο ο ατμοσφαιρικός αέρας όσο και η αναπνοή των ζώων και φυτών που ζουν σε αυτό. Η διαλυτότητά του στο νερό είναι πολύ μεγάλη, άμεσα εξαρτώμενη

από τη θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση, και είναι υπεύθυνη για την υψηλή παρουσία του άνθρακα στα υδάτινα οικοσυστήματα (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997).

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, η ποσότητα του διοξειδίου του άνθρακα στις υδατοκαλλιέργειες μπορεί να κυμανθεί από 0 μέχρι 10 mg/l, χωρίς όμως να παρουσιάζονται προβλήματα στους οργανισμούς που εκτρέφονται σε αυτές. Η ποσότητα αυτή, οφείλεται στα υδρόβια φύκη και φυτά και ταυτόχρονα είναι άμεσα εξαρτώμενη από τη θέση που έχει ο ήλιος (ή και από την ολική απουσία του). Όσο μεγαλύτερη είναι η συγκέντρωσή του στο νερό, τόσο δυσκολότερα αποβάλλεται από τα βράγχια των ψαριών. Η χρησιμοποίηση υπόγειων υδάτων στην υδατοκαλλιέργεια, εξαιτίας της μεγάλης ποσότητας ανθρακικού οξέος που περιέχουν, δυσχεραίνει ακόμα περισσότερο την αποβολή του διοξειδίου του άνθρακα από τα βράγχια των ψαριών, αυξάνοντας έτσι τον κίνδυνο συσσώρευσής του σε αυτά (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997).

Η οξυγόνωση και σταθεροποίηση του pH των νερών μιας υδατοκαλλιέργειας προσθέτοντας ασβέστιο, είναι ο τρόπος αποβολής του διοξειδίου του άνθρακα από αυτά, καθώς υπάρχει αλληλεξάρτηση ανάμεσα στο pH, το ανθρακικό οξύ, το ασβέστιο και την ολική σκληρότητα (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997).

Η περιεκτικότητα του νερού σε **αμμωνία** λογίζεται ως ένα από τα πιο σημαντικά κριτήρια αξιολόγησης θαλάσσιων περιοχών, που προορίζονται να χρησιμοποιηθούν για την καλλιέργεια ή την εκτροφή υδρόβιων οργανισμών. Ο λόγος για αυτό δεν είναι μόνο το γεγονός ότι είναι έντονα τοξική για τους οργανισμούς αυτούς -και ειδικά για τα ψάρια-, αλλά και επειδή στις μέρες μας είναι πολύ εύκολο και συχνό να παρουσιαστεί στις διάφορες υδατοσυλλογές.

Σημαντικότερες πηγές της αποτελούν οι εκβολές από τους υπονόμους κατοικημένων περιοχών, αλλά και τα αστικά λύματα διαφόρων βιομηχανιών. Επίσης, παρόμοιες επιπτώσεις με αυτές της αμμωνίας έχουν και τα αμμωνιακά άλατα, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στη γεωργία ως λιπάσματα (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997).

Η τοξικότητα -ή μη- της αμμωνίας, εξαρτάται από το pH και τη θερμοκρασία του νερού, ενώ τα αλκαλικά ή θερμά νερά «βοηθούν» ώστε να αυξηθεί η τοξικότητά της, έναντι των όξινων και ψυχρών. Πέραν αυτών, οι μειώσεις στην ποσότητα του διαλυμένου οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα που βρίσκεται ελεύθερο, καθώς και η μείωση της σκληρότητας των νερών, επηρεάζουν επίσης την τοξικότητά τους. Στόχος κατά τη φάση λειτουργίας μιας μονάδας υδατοκαλλιέργειας είναι η διατήρηση των τιμών της αμμωνίας όσο πιο κοντά γίνεται στο μηδέν (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997).

Όσον αφορά την τοξική δράση της αμμωνίας στα ψάρια και τους μηχανισμούς με τους οποίους αυτή τα επηρεάζει και τα βλάπτει, δεν έχουν προσδιοριστεί ακόμα και σήμερα με όλη την ακρίβεια που χρειάζεται. Παρόλα αυτά, είναι γνωστό ότι η ευκολία με την οποία μπορεί να διαπεράσει τις κυτταρικές μεμβράνες συντελεί σημαντικά στην τοξικότητά της. Ως αποτέλεσμα αυτής της ικανότητάς της, έχει τις εξής επιδράσεις (Βαΐτσας και Ραβασόπουλος, 1997):

- μειώνει τον ρυθμό ανταλλαγής αερίων
- προκαλεί βλάβη στο επιθήλιο των βραγχίων
- μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο
- μειώνει τα ερυθρά αιμοσφαίρια
- προκαλεί αιμολύσεις.

Σε αυτές τις επιδράσεις μπορούν να προστεθούν επίσης και η αύξηση:

- στον αριθμό των αναπνευστικών κινήσεων
- στους χτύπους της καρδιάς
- στην πίεση του αίματος.

1.4 Σκοπός της εργασίας

Ο στόχος της παρούσας επιστημονικής έρευνας είναι η καταγραφή των παραμέτρων του νερού που επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή σε συνδυασμό με την ανάλυση του τρόπου που οι υδρόβιοι εκτρεφόμενοι οργανισμοί αντιδρούν σε αυτή.

Ειδικότερα θα συζητηθούν οι φυσικές αλλαγές που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή και επηρεάζουν το περιβάλλον των υδατοκαλλιεργειών και γενικότερα των θαλάσσιων συστημάτων. Αυτές αποτελούν:

1. τη θέρμανση των υδάτων, κυρίως στα επιφανειακά στρώματα,
2. τις μεταβολές της αλατότητας,
3. την οξίνιση (δηλαδή μεταβολές στο pH), η οποία οφείλεται κυρίως στην ένταση και την έκταση των βροχοπτώσεων,
4. την αύξηση της παγκόσμιας μέσης στάθμης της θάλασσας, από την οποία προκύπτουν μεγάλες απώλειες γης σε ακτές και σε περιοχές των δέλτα.

Η μελέτη αυτή μπορεί να αποτελέσει τη βάση για εστιασμένη έρευνα πεδίου των παραμέτρων αυτών για τις οποίες υπάρχουν ενδείξεις μεταβολών ως απόρροια της κλιματικής αλλαγής.

2. ΣΕΝΑΡΙΑ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

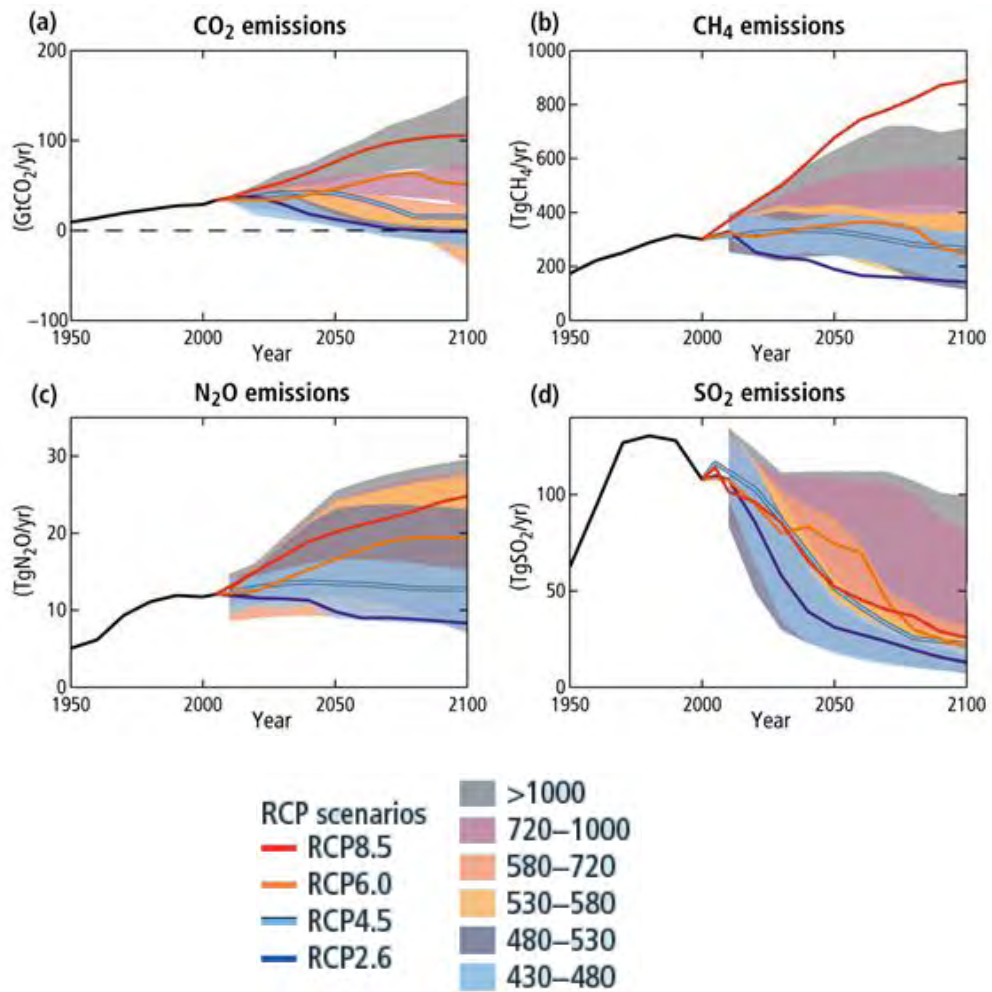
Οι προβλέψεις για την κλιματική αλλαγή στην 1^η Ομάδα Εργασίας της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Αλλαγή του Κλίματος (Intergovernmental Panel on Climate Change -IPCC- Working Group I) (IPCC, 2013), απαιτούν πληροφορίες σχετικά με μελλοντικές εκπομπές ή συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου, αερολυμάτων και άλλων κλιματικών παραγόντων. Οι πληροφορίες αυτές συχνά εκφράζονται ως σενάριο ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Τα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν στην 1^η Ομάδα Εργασίας έχουν επικεντρωθεί στις ανθρωπογενείς εκπομπές και δεν περιλαμβάνουν αλλαγές στους φυσικούς παράγοντες, όπως είναι για παράδειγμα η ηλιακή ή ηφαιστειακή ισχύς ή οι φυσικές εκπομπές, π.χ. το μεθάνιο (CH₄) και το υποξείδιο του αζώτου (N₂O).

Για την 5^η Έκθεση Αξιολόγησης (Fifth Assessment Report, AR5) της IPCC (IPCC, 2014), η επιστημονική κοινότητα έχει ορίσει ένα σύνολο τεσσάρων νέων σεναρίων, που χαρακτηρίζονται ως Αντιπροσωπευτικές Οδοί Συγκέντρωσης (Representative Concentration Pathways, RCPs). Αναγνωρίζονται και ταυτίζονται με την κατά προσέγγιση ολική εκπεμπόμενη ακτινοβολία τους κατά το έτος 2100 συγκριτικά με το 1750: 2.6 W/m² για το RCP2.6, 4.5 W/m² για το RCP4.5, 6.0 W/m² για το RCP6.0 και 8.5 W/m² για το RCP8.5. Όσον αφορά τα αποτελέσματα του μοντέλου CMIPP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5), αυτές οι τιμές θα πρέπει να νοούνται μόνο ως ενδεικτικές, καθώς το κλιματικό φαινόμενο που προκύπτει από όλους τους παράγοντες, ποικίλλει μεταξύ των μοντέλων εξαιτίας των συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που χρησιμοποιεί το κάθε ένα και του τρόπου αντιμετώπισης των βραχυχρόνιων κλιματικών δεδομένων. Αυτά τα τέσσερα RCPs, περιλαμβάνουν ένα σενάριο μείωσης που οδηγεί σε πολύ χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (RCP2.6), δύο σενάρια σταθεροποίησης (RCP4.5 και RCP6.0) και

ένα σενάριο με πολύ υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (RCP8.5). Συνεπώς, αυτά τα τέσσερα RCPs μπορεί να αντιπροσωπεύουν ένα φάσμα κλιματικών πολιτικών του 21^{ου} αιώνα σε σύγκριση με τη μη-κλιματική πολιτική της Ειδικής Έκθεσης για τα Σενάρια Εκπομπών (Special Report on Emissions Scenarios, SRES) που χρησιμοποιήθηκαν στην 3^η και στην 4^η Έκθεση Αξιολόγησης (AR3 και AR4, αντίστοιχα) (IPCC, 2001 και IPCC, 2007). Για τα υψηλής εντάσεως RCPs, η συνολική διάδοση των προβολών είναι στενότερη από ό,τι για τα συγκρίσιμα σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν στην AR4, επειδή σε αντίθεση με τα σενάρια εκπομπών SRES που χρησιμοποιήθηκαν στην AR4, τα RCPs που χρησιμοποιούνται στην AR5 ορίζονται ως μονοπάτια συγκέντρωσης. Συνεπώς, οι αβεβαιότητες του κύκλου του άνθρακα που επηρεάζουν τις συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα δεν εξετάζονται στις προσομοιώσεις με γνώμονα τη συγκέντρωση του CMIP5.

Για τα RCP6.0 και RCP8.5, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία δεν κορυφώνεται μέχρι το 2100, καθώς φτάνει στο “pick” της αργότερα (περίπου τα έτη 2150 και 2250 αντίστοιχα), ενώ αντιθέτως για το RCP2.6 κορυφώνεται λίγο πριν το 2050 και αρχίζει να μειώνεται, ενώ για το RCP4.5 σταθεροποιείται από το 2070 περίπου και μετά, μέχρι το 2100. Κάθε RCP παρέχει χωροταξικά σύνολα δεδομένων σχετικά με την αλλαγή χρήσης γης και τις τομεακές εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και καθορίζει τις ετήσιες συγκεντρώσεις αερίων του θερμοκηπίου και τις ανθρωπογενείς εκπομπές μέχρι το 2100. Τα RCPs βασίζονται σε ένα συνδυασμό ολοκληρωμένων μοντέλων αξιολόγησης, απλών κλιματικών μοντέλων, ατμοσφαιρικής χημείας και παγκόσμιων προτύπων κύκλου άνθρακα. Παρόλο που τα RCPs καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα συνολικών τιμών πίεσης, δεν καλύπτουν το πλήρες φάσμα εκπομπών στη βιβλιογραφία, ιδιαίτερα για τα αερολύματα (aerosols).

Οι περισσότερες προσομοιώσεις από το CMIP5 και το Μοντέλο Συστήματος Γης, διεξήχθησαν με προδιαγεγραμμένες συγκεντρώσεις διοξειδίου του άνθρακα, οι οποίες φτάνουν τα 421 ppm (RCP2.6), τα 538 ppm (RCP4.5), τα 670 ppm (RCP6.0) και τέλος, τα 936 ppm (RCP8.5) μέχρι το έτος 2100. Αν μάλιστα συμπεριλάβουμε και τις προδιαγεγραμμένες συγκεντρώσεις του μεθανίου και των υποξειδίων του αζώτου (CH₄ και N₂O, αντίστοιχα), οι συνδυασμένες συγκεντρώσεις του ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (CO₂-equivalent) φτάνουν αντίστοιχα για τα τέσσερα RCPs τα 475 ppm, 630 ppm, 800 ppm και 1313 ppm. Σε όλα τα RCPs, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι υψηλότερες το 2100 σε σχέση με το σήμερα ως αποτέλεσμα της περαιτέρω αύξησης των σωρευτικών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα. Για το RCP8.5, εκτελέστηκαν επιπλέον προσομοιώσεις με βάση το CMIP5 με τις προδιαγεγραμμένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, όπως προβλέπεται από τα ολοκληρωμένα μοντέλα αξιολόγησης. Για όλα τα RCPs, επιπρόσθετοι υπολογισμοί έγιναν με ενημερωμένα δεδομένα και μοντέλα ατμοσφαιρικής χημείας (συμπεριλαμβανομένης της συνιστώσας Ατμοσφαιρικής Χημείας και Κλίματος του CMIP5), χρησιμοποιώντας τις προδιαγεγραμμένες εκπομπές των χημικά αντιδραστικών αερίων (CH₄, N₂O, HFCs, NO_x, CO, NMVOC). Αυτές οι προσομοιώσεις επιτρέπουν τη διερεύνηση των αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με τις ανατροφοδοτήσεις του κύκλου του άνθρακα και την ατμοσφαιρική χημεία (IPCC, 2013). Στην Εικόνα 2.1 αποτυπώνονται τα σενάρια εκπομπών για κάθε ένα από τα 4 RCPs, καθώς και οι σχετιζόμενες κατηγορίες σεναρίων που χρησιμοποιήθηκαν στο Working Group.



Εικόνα 2.1. Σενάρια εκπομπών για τα τέσσερα RCPs. Στα διαγράμματα a-d φαίνονται οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), του μεθανίου (CH₄), των υποξειδίων του αζώτου (N₂O) και του διοξειδίου του θείου (SO₂), αντίστοιχα (IPCC, 2014).

3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Η συνεχής εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου θα προκαλέσει περαιτέρω θέρμανση και μακροχρόνιες αλλαγές σε όλα τα συστατικά του κλιματικού συστήματος, αυξάνοντας την πιθανότητα σοβαρών, διεισδυτικών και μη αναστρέψιμων επιπτώσεων για τους ανθρώπους και τα οικοσυστήματα. Ο περιορισμός της κλιματικής αλλαγής θα απαιτούσε σημαντικές και συνεχείς μειώσεις των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, οι οποίες, μαζί με προσαρμογή, μπορούν να περιορίσουν τους κινδύνους της κλιματικής αλλαγής. Η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας αναμένεται, σύμφωνα με όλα τα σενάρια εκπομπών, να αυξηθεί κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα. Είναι πολύ πιθανό ότι τα κύματα καύσωνα θα εμφανίζονται συχνότερα και θα διαρκούν περισσότερο, και ότι τα ακραία γεγονότα υετού θα γίνουν πιο έντονα και συχνά σε πολλές περιοχές. Ο ωκεανός θα συνεχίσει να θερμαίνεται και να οξύνεται και η παγκόσμια μέση στάθμη της θάλασσας να αυξάνεται (IPCC, 2014).

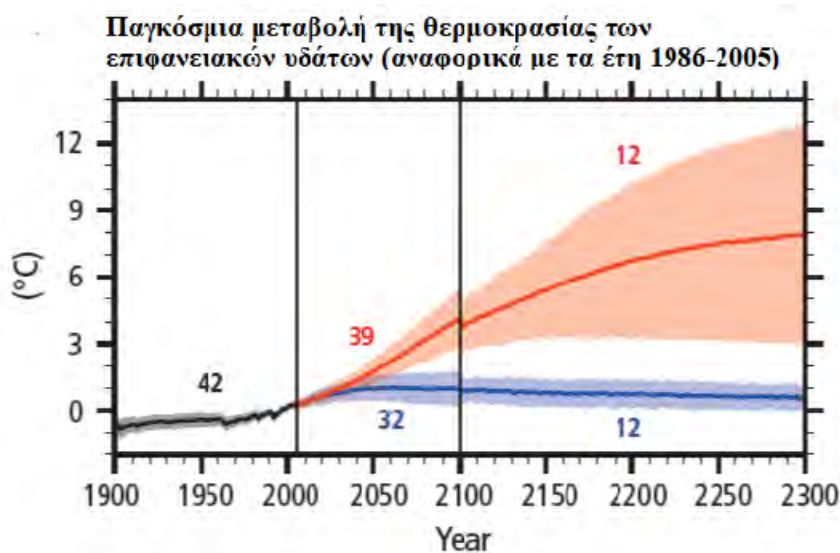
3.1. Η αύξηση της θερμοκρασίας

Το κλίμα στο μέλλον θα εξαρτηθεί από την υπάρχουσα θέρμανση που προκλήθηκε από προηγούμενες, καθώς και από επόμενες ανθρωπογενείς εκπομπές, αλλά και από τη μελλοντική φυσική και κλιματική μεταβλητότητα. Μέχρι τα μέσα του 21^{ου} αιώνα, το μέγεθος της προβλεπόμενης κλιματικής αλλαγής επηρεάζεται ουσιαστικά από την επιλογή των σεναρίων εκπομπών. Η κλιματική αλλαγή συνεχίζει να αποκλίνει μεταξύ των σεναρίων έως το 2100 και έπειτα (Σχήμα 3.1). Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3.1, η παγκόσμια μέση αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων για την περίοδο 2046-2065, αναφορικά με την περίοδο 1986-2005, είναι παρόμοια και για τα 4 RCPs, και πιθανώς θα κυμαίνεται από 0.3-0.7°C. Επίσης, η μεταβολή στη θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων παγκοσμίως για το

τέλος του 21^{ου} αιώνα (2081-2100) αναμένεται πιθανότατα να υπερβεί τους 1.5°C για τα RCP4.5, RCP6.0 και RCP8.5, ενώ για τα δύο τελευταία είναι πολύ πιθανό να υπερβεί ακόμα και τους 2°C. Στον αντίποδα, η αύξηση αυτή εκτιμάται ότι δεν θα παρατηρηθεί για το RCP4.5, και σίγουρα θα είναι μικρότερη των 2°C για το RCP2.6.

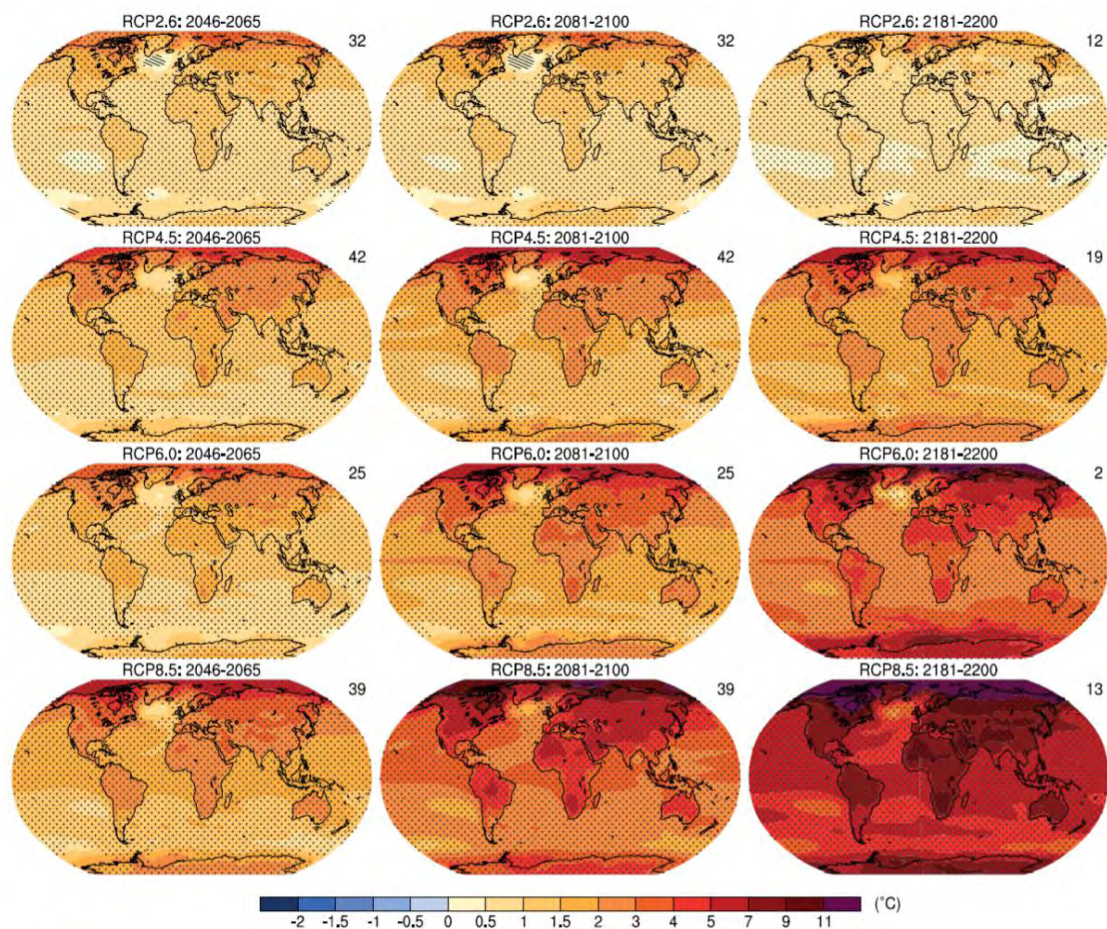
Πίνακας 3.1. Προβλεπόμενη αλλαγή στη μέση θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων για τα μέσα και τα τέλη του 21^{ου} αιώνα, αναφορικά με την περίοδο 1986-2005 (IPCC, 2014).

| | | 2046-2065 | | 2081-2100 | |
|--|---------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| | Σενάριο | Μέση τιμή | Πιθανό εύρος | Μέση τιμή | Πιθανό εύρος |
| Παγκόσμια μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων | RCP2.6 | 1.0 | 0.4-1.6 | 1.0 | 0.3-1.7 |
| | RCP4.5 | 1.4 | 0.9-2.0 | 1.8 | 1.1-2.6 |
| | RCP6.0 | 1.3 | 0.8-1.8 | 2.2 | 1.4-3.1 |
| | RCP8.5 | 2.0 | 1.4-2.6 | 3.7 | 2.6-4.8 |



Σχήμα 3.1. Αναπαράσταση χρονικά της παγκόσμιας μεταβολής της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων από το 1900 μέχρι το 2300, όπως καθορίστηκε από προσομοιώσεις πολλών μοντέλων. Οι συνεχείς γραμμές αποτυπώνουν τις εκτιμήσεις, ενώ οι σκιάσεις το διάστημα εμπιστοσύνης 5-95%. Οι γκρι γραμμές και οι αντίστοιχες σκιάσεις αναπαριστούν τις ιστορικές προσομοιώσεις των CMIP5 μοντέλων. Οι ασυνέχειες που παρατηρούνται στο έτος 2100 οφείλονται στον διαφορετικό αριθμό των μοντέλων που εκτέλεσαν τις προσομοιώσεις μετά τον 21^ο αιώνα και δεν έχουν κανένα φυσικό νόημα. Ο αριθμός των CMIP5 μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν για τους υπολογισμούς υποδεικνύεται (IPCC, 2014).

Τέλος, στο Σχήμα 3.2 αποτυπώνεται ιδιαίτερα αναλυτικά η μέση ετήσια αύξηση της θερμοκρασίας ανά την υφήλιο και για τα 4 σενάρια. Συγκεκριμένα, η περιοχή της Αρκτικής θα συνεχίσει να θερμαίνεται πιο γρήγορα συγκριτικά με τη μέση παγκόσμια αύξηση. Η μέση αύξηση της θερμοκρασίας στην ξηρά θα είναι μεγαλύτερη από ότι στον ωκεανό, αλλά και μεγαλύτερη από τη μέση υπερθέρμανση του πλανήτη. Ο ωκεανός παγκοσμίως θα συνεχίσει να θερμαίνεται κατά τη διάρκεια του 21^{ου} αιώνα, με τη μεγαλύτερη αύξηση να αναμένεται στις τροπικές περιοχές και στις υποτροπικές περιοχές του Βόρειου Ημισφαιρίου. Σε μεγαλύτερα βάθη, η αύξηση της θερμοκρασίας θα είναι πιο έντονη στον Νότιο Ωκεανό.



Σχήμα 3.2. Μέση μεταβολή στη θερμοκρασία των επιφανειακών υδάτων συγκριτικά με την περίοδο 1986-2005, για τις χρονικές περιόδους 2046-2065, 2081-2100, 2181-2200, για τα 4 σενάρια (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 και RCP8.5). Στην πάνω δεξιά γωνία του κάθε σχήματος υποδεικνύεται ο αριθμός των CMIP5 μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν (Collins *et al.*, 2013).

Οι περιοχές εμφάνισης και ανάπτυξης άγριων πληθυσμών ψαριών παρουσιάζουν μία μετατόπιση από τον ισημερινό προς τους πόλους, καθώς οι θερμοκρασίες των υδάτων του περιβάλλοντος αυξάνονται ως αποτέλεσμα της κλιματικής αλλαγής (Cheung *et al.* 2010). Γενικά, καθώς αυξάνονται οι θερμοκρασίες των ωκεανών, τα ισημερινά περιθώρια εμφάνισης ιχθυοπληθυσμών γίνονται θερμότερα με αποτέλεσμα τη μείωση της συνολικής τους βιομάζας, ενώ αντίθετα τα πολικά περιθώρια εμφανίζουν γενικά αυξημένη ανάπτυξη και βιομάζα.

Οι σημερινές και οι μελλοντικές συνθήκες των ωκεανών θα διαδραματίσουν κατά πάσα πιθανότητα έναν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό των τόπων και των ειδών που χρησιμοποιούνται από τον αναπτυσσόμενο κλάδο της θαλάσσιας υδατοκαλλιέργειας, καθώς η θερμοκρασία του υδάτινου περιβάλλοντος είναι πρωταρχικός προσδιοριστής του ρυθμού ανάπτυξης των ποικιλόθερων οργανισμών (ψάρια) και συνεπώς της συνολικής παραγωγικής αποτελεσματικότητας των εκμεταλλεύσεων. Η ανάλυση αυτή δείχνει ότι οι ευκαιρίες για την ανάπτυξη της υδατοκαλλιέργειας στον ανοιχτό ωκεανό είναι ευρέως κατανοημένες και ότι, μολονότι η κλιματική αλλαγή μπορεί να μεταβάλλει το αναπτυξιακό δυναμικό σε πολλούς τομείς, τα μέτρα προσαρμογής, όπως η χρήση επιλεκτικών προγραμμάτων εκτροφής, είναι πιθανώς επαρκή βραχυπρόθεσμα (Klinger *et al.* 2017).

3.2. Η αύξηση της αλατότητας

Η κλιματική αλλαγή είναι πιθανό να επιφέρει σημαντικές αλλαγές, ιδίως όσον αφορά την αλατότητα και τις θερμοκρασίες στους υφάλμυρους υδάτινους βιότοπους και συνεπώς να επηρεάσει την παραγωγή της υδατοκαλλιέργειας σε τέτοια περιβάλλοντα. Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, αναμένεται να επιδεινώσει το πρόβλημα της αύξησης της αλατότητας των

υδάτων. Μεγαλύτερες θερμοκρασίες προδιαθέτουν (σε συνδυασμό με αυξημένα επίπεδα ξηρασίας) και μεγαλύτερα ποσοστά εξάτμισης των υδάτων, αυξάνοντας έτσι τη συγκέντρωση του άλατος σε αυτά. Οι διακυμάνσεις της αλατότητας επηρεάζουν άμεσα τους οργανισμούς όσον αφορά την αύξηση κατανάλωσης ενέργειας για την λειτουργία της ωσμωρύθμισης. Επίσης, η αύξηση της αλατότητας μπορεί να επηρεάσει τη θρέψη στα θαλασσινά εκτρεφόμενα είδη και συνεπώς την ανάπτυξή τους, καθιστώντας τα πιο ευάλωτα και με αυξημένα ποσοστά θνησιμότητας (Barange *et al.*, 2018).

Τέλος, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας κατά τις επόμενες δεκαετίες θα αυξήσει τα επίπεδα αλατότητας ακόμα και πέρα από τα ποτάμια και συνεπώς θα επηρεαστούν και οι υδατοκαλλιέργειες των εσωτερικών νερών. Προσαρμοστικά μέτρα θα συνεπάγονταν τη μετακίνηση των μονάδων υδατοκαλλιέργειας, καθώς και την ανάπτυξη ή τη στροφή σε είδη ψαριών περισσότερο ανθεκτικά στην αλατότητα (ευρύαλα είδη). Στον αντίποδα, όμως, και στη θετική πλευρά για την υδατοκαλλιέργεια, περιοχές που θα χαρακτηριστούν ακατάλληλες για γεωργία λόγω των αυξημένων επιπέδων αλατότητας (όπως είναι για παράδειγμα η παραδοσιακή καλλιέργεια ρυζιού), θα μπορούσαν να προσφέρουν επιπλέον περιοχές για την υδατοκαλλιέργεια και συγκεκριμένα για την εκτροφή π.χ. γαρίδων (Cochrane *et al.*, 2009).

3.3. Η μεταβολή του pH

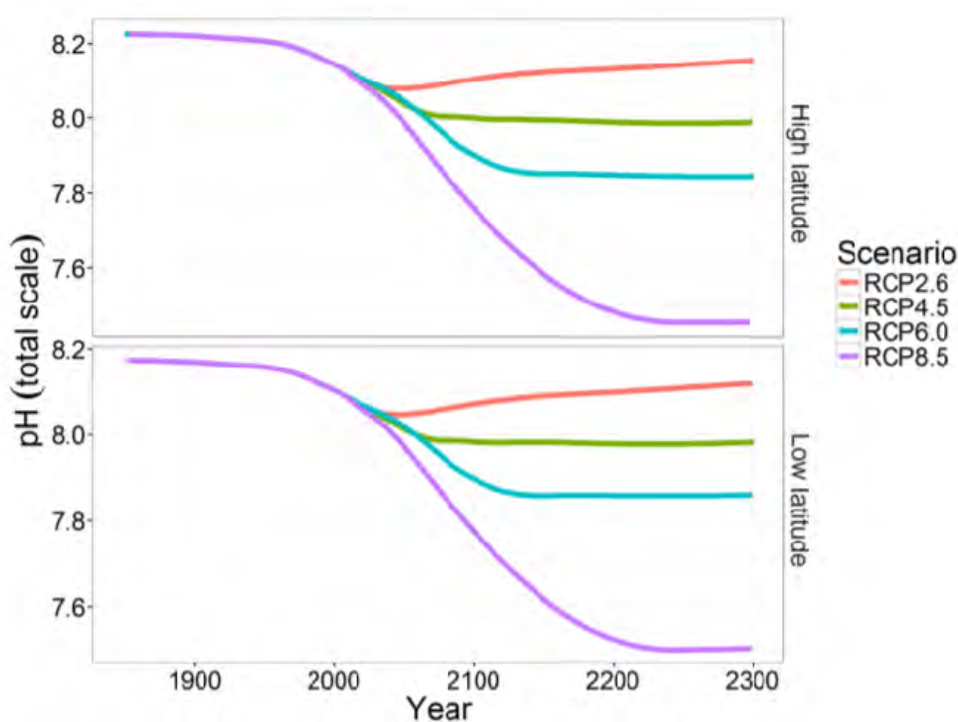
Τα ψάρια εκτελούν όλες τις σωματικές τους λειτουργίες στο νερό. Επειδή τα ψάρια εξαρτώνται απόλυτα από το νερό για να αναπνέουν, να τρέφονται και να μεγαλώνουν, να εκκρίνουν απόβλητα, να διατηρούν ισορροπία αλατιού και να

αναπαράγονται, η κατανόηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του νερού είναι κρίσιμη για την επιτυχή υδατοκαλλιέργεια. Σε μεγάλο βαθμό το νερό καθορίζει την επιτυχία ή αποτυχία της λειτουργίας μιας υδατοκαλλιέργειας (www.yokogawa.com). Τα τυπικά επίπεδα pH ποικίλλουν λόγω των περιβαλλοντικών επιδράσεων, ιδιαίτερα της αλκαλικότητας. Η αλκαλικότητα του νερού ποικίλλει λόγω της παρουσίας διαλυμένων αλάτων και ανθρακικών αλάτων, καθώς και της ορυκτής σύνθεσης του περιβάλλοντος εδάφους. Γενικά, όσο υψηλότερη είναι η αλκαλικότητα, τόσο υψηλότερο είναι και το pH. Το συνιστώμενο εύρος pH για τα περισσότερα ψάρια κυμαίνεται μεταξύ 6 και 9.

Το pH του νερού μπορεί να επηρεαστεί από την οξύτητα του ευρύτερου περιβάλλοντος. Αυτό καθίσταται πιο προφανές κοντά σε περιοχές εξόρυξης, αλλά το αποτέλεσμα μπορεί επίσης να εμφανιστεί και με φυσικό τρόπο. Η απορροή οξέος μειώνει την αλκαλικότητα του νερού και το pH κάτω από τα βέλτιστα επίπεδα. Αυτό μπορεί να είναι ανεκτό για ορισμένα υδρόβια είδη (όπως π.χ. τα βατράχια), αλλά όχι για τα περισσότερα ψάρια. Το θαλασσινό νερό έχει pH περίπου 8.2, αν και αυτό μπορεί να κυμαίνεται από 7.5 έως 8.5 ανάλογα με την τοπική αλατότητά του. Τα επίπεδα του pH αυξάνονται έως ότου το νερό φτάσει στον κορεσμό ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3). Οι ωκεανοί έχουν γενικά υψηλότερη αλκαλικότητα λόγω της περιεκτικότητας σε ανθρακικά άλατα. Στον αντίποδα, οι λίμνες γλυκού νερού και τα ρυάκια έχουν συνήθως pH που κυμαίνεται από 6 έως 8, ανάλογα με το περιβάλλον έδαφος και υπόστρωμα (www.fondriest.com).

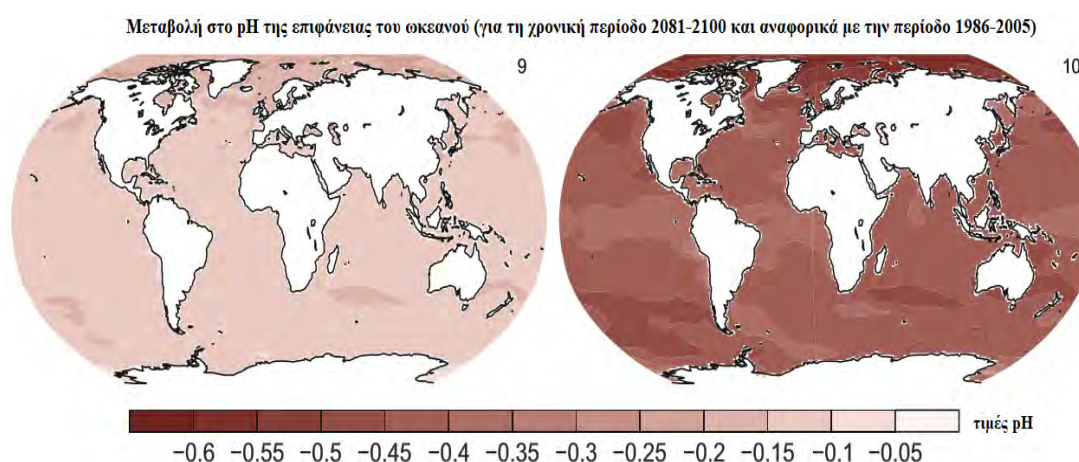
Η πρόσληψη ανθρωπογενούς CO_2 από τους ωκεανούς θα συνεχιστεί σύμφωνα με όλα τα RCPs έως το 2100, με υψηλότερη πρόσληψη για τα RCPs αντίστοιχα υψηλότερων συγκεντρώσεων (IPCC, 2014). Στο Σχήμα 3.3 αποτυπώνονται οι προβολές της εξέλιξης του pH για τα 4 RCPs από το 1850 μέχρι το 2300. Τα τελευταία

20 χρόνια, η τιμή του pH έχει υποχωρήσει απότομα και θα συνεχίσει να μειώνεται σύμφωνα με τα RCP4.5, RCP6.0 και RCP8.5, έξω από τα όρια των προ-βιομηχανικών και σημερινών τιμών του. Τα συγκεκριμένα RCPs αντιπροσωπεύουν ένα εύρος πιθανών μελλοντικών σεναρίων, με το pH του ωκεανού να κυμαίνεται μεταξύ 7,46 και 8,15 για τις περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλο γεωγραφικό πλάτος. Ακόμα και στο πιο ελπιδοφόρο σενάριο, το RCP2.6, το pH του ωκεανού στις περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλό γεωγραφικό πλάτος, θα υποχωρήσει στο 8,07 μέχρι το 2100 και στο 8,12 μέχρι το 2300 (Hartin *et al.*, 2016). Πιο συγκεκριμένα, και αναφορικά με τη χρονική περίοδο 1986-2005, η μείωση του pH των ωκεανών για το RCP2.6 θα κυμανθεί από 0,06 έως 0,07 (15 με 17% αύξηση της οξύτητας), για το RCP4.5 από 0,14 έως 0,15 (28 με 41% αύξηση οξύτητας), για το RCP6.0 από 0,20 έως 0,21 (58 με 62% αύξηση οξύτητας) και τέλος, για το RCP8.5 από 0,30 έως 0,32 (100 με 109% αύξηση οξύτητας).



Σχήμα 3.3. Τιμές pH του ωκεανού για περιοχές που βρίσκονται σε υψηλό (πάνω) και χαμηλό (κάτω) γεωγραφικό πλάτος, για τη χρονική περίοδο 1850-2300 (Hartin *et al.*, 2016).

Τέλος, στο Σχήμα 3.4. αποτυπώνονται δύο χάρτες CMIP5 πολύ-μοντέλων με τις εκτιμώμενες μεταβολές της μέσης τιμής του pH στην επιφάνεια του ωκεανού για τα δύο ακραία σενάρια RCP2.6 και RCP8.5. Όπως φαίνεται και στους χάρτες του σχήματος, στην περίπτωση του RCP8.5, το οποίο αποτελεί το λιγότερο αισιόδοξο από τα 4 σενάρια, η μείωση στη μέση τιμή του pH είναι εμφανώς μεγαλύτερη συγκριτικά με την αντίστοιχη για το RCP2.6, χωρίς φυσικά αυτό να προκαλεί εντύπωση. Η μείωση αυτή, μάλιστα, στην περίπτωση του RCP8.5 παρατηρείται να είναι ιδιαίτερα αυξημένη στην Αρκτική και γενικότερα στην περιοχή των πάγων του βορείου ημισφαιρίου, φτάνοντας ακόμα και σε τιμές που αγγίζουν (και ίσως ξεπερνούν) το 0,6 του pH (IPCC, 2013).



Σχήμα 3.4. Χάρτες CMIP5 πολύ-μοντέλων με τις εκτιμώμενες μεταβολές της μέσης τιμής του pH στην επιφάνεια του ωκεανού για τα 2 ακραία σενάρια RCP2.6 και RCP8.5. Οι τιμές αφορούν το διάστημα 2081-2100 και είναι αναφορικά με την περίοδο 1986-2005. Στην πάνω δεξιά γωνία του κάθε σχήματος υποδεικνύεται ο αριθμός των CMIP5 μοντέλων που χρησιμοποιήθηκαν (IPCC, 2013).

Στον Πίνακα 3.2 φαίνονται οι βασικές επιπτώσεις στα ψάρια ανάλογα με τις τιμές του pH του νερού στο οποίο ζουν. Πολύ υψηλές (>9,5) ή πολύ χαμηλές (< 4,5) τιμές pH είναι ακατάλληλες για τους περισσότερους υδρόβιους οργανισμούς. Τα νεαρά ψάρια και τα υδρόβια έντομα που βρίσκονται στα πρώτα στάδια της ζωής τους είναι

εξαιρετικά ευαίσθητα σε επίπεδα pH κάτω από 5, με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος ακόμα και να πεθάνουν σε αυτές τις χαμηλές τιμές. Τα υψηλά επίπεδα pH (9 έως 14) βλάπτουν τα ψάρια αλλοιώνοντας τη φύση των κυτταρικών τους μεμβρανών. Οι αλλαγές στις τιμές του pH μπορούν επίσης να επηρεάσουν έμμεσα την υδρόβια ζωή, μεταβάλλοντας άλλες χημικές παραμέτρους του νερού. Τα χαμηλά επίπεδα pH επιταχύνουν την απελευθέρωση μετάλλων από πετρώματα ή ιζήματα στα εσωτερικά νερά. Αυτά τα μέταλλα μπορούν να επηρεάσουν το μεταβολισμό ενός ψαριού, αλλά και την ικανότητά του στην πρόσληψη νερού. Το pH είναι σημαντικό στην υδατοκαλλιέργεια ως μέτρο της οξύτητας του νερού ή του εδάφους. Τα ψάρια δεν μπορούν να επιβιώσουν σε νερά με pH μικρότερο του 4 ή μεγαλύτερο του 11 για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Το ιδεατό pH για τα ψάρια είναι μεταξύ 6.5 και 9. Διαφορετικά, σε σταθερά χαμηλότερα ή υψηλότερα επίπεδα pH, η ανάπτυξη των ψαριών θα είναι μειωμένη, ενώ θα επηρεαστεί και η αναπαραγωγή τους (www.yokogawa.com).

Πίνακας 3.2. Επιπτώσεις των επιπέδων pH στα ψάρια (www.yokogawa.com).

| pH | Επιπτώσεις στα ψάρια |
|--------------|---|
| 4 | Όξινο σημείο θανάτου |
| 4-5 | Αδυναμία αναπαραγωγής |
| 5-6.5 | Αργή ανάπτυξη |
| 6.5-9 | Επιθυμητά επίπεδα για τη βέλτιστη ανάπτυξη και αναπαραγωγή των ψαριών |
| 9-10 | Αργή ανάπτυξη |
| ≥ 11 | Αλκαλικό σημείο θανάτου |

Τέλος, επιπτώσεις ανάλογα με τα επίπεδα του pH παρατηρούνται και γενικότερα στην υδρόβια ζωή. Τα υδρόβια οικοσυστήματα γλυκού νερού (λίμνες, ποτάμια) έχουν pH από 6 έως 8. Η οξίνιση των υδάτινων οικοσυστημάτων έχει πολλές επιβλαβείς οικολογικές επιπτώσεις, ιδιαίτερα όταν το pH πέφτει κάτω από 6 και ειδικά για τιμές κάτω του 5. Ορισμένες από αυτές τις επιπτώσεις είναι οι εξής:

- Καθώς το pH πλησιάζει στην τιμή του 5, μη επιθυμητά είδη πλαγκτού και βρύα αρχίζουν να αυξάνονται, ενώ πληθυσμοί συγκεκριμένων ειδών ψαριών εξαφανίζονται.
- Κάτω από την τιμή του 5, οι πληθυσμοί των ψαριών αρχίζουν να εξαφανίζονται, ο πυθμένας καλύπτεται με ακατέργαστο υλικό και τα βρύα μπορεί να κυριαρχούν σε παραθαλάσσιες περιοχές.
- Σε τιμές κάτω του 4,5 σχεδόν κανένα είδος ψαριού δεν μπορεί να επιβιώσει.
- Τα ιόντα αλουμινίου (Al_{3+}), μπορούν να σκοτώσουν πολλά είδη ψαριών διεγείροντας τον υπερβολικό σχηματισμό βλέννας, φράζοντας τα βράγχια και προκαλώντας τελικά ασφυξία. Μπορεί επίσης, να προκαλέσουν χρόνια στρες, το οποίο δεν σκοτώνει άμεσα τα ψάρια, αλλά τα καθιστά μικρότερα σε μέγεθος και πιο αδύναμα, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ανταγωνίζονται για την τροφή τους.
- Η πιο σοβαρή χρόνια επίδραση της αυξημένης οξύτητας στα επιφανειακά νερά φαίνεται να είναι η παρέμβαση στον αναπαραγωγικό κύκλο των ψαριών. Τα επίπεδα ασβεστίου στα θηλυκά ψάρια μπορεί να μειωθούν σε σημείο που δεν θα μπορούν να παράγουν αυγά ή τα αυγά που θα παράγουν δεν θα περάσουν στις ωοθήκες ή εάν τελικά καταφέρουν να γονιμοποιηθούν, παρουσιάζουν ανωμαλίες στην ανάπτυξή τους.

Συνοψίζοντας, ακραία επίπεδα pH μπορούν να βλάψουν τα ενήλικα ψάρια ή να θανατώσουν αυτά που βρίσκονται στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής τους. Όταν το pH του νερού γίνεται αλκαλικό (> 9), οι επιπτώσεις στα ψάρια μπορεί να περιλαμβάνουν: θάνατο ή βλάβη σε εξωτερικά όργανα όπως βράγχια, μάτια και δέρμα (www.lenntech.com). Η κλιματική αλλαγή, μάλιστα, εκτιμάται ότι θα επηρεάσει ακόμα περισσότερο τα ψάρια που εκτρέφονται στις υδατοκαλλιέργειες, καθώς η συγκεκριμένη κατηγορία ψαριών δεν έχει τη δυνατότητα της μετακίνησης, όπως συμβαίνει με τους άγριους πληθυσμούς (π.χ. στη Μεσόγειο έχουν βρεθεί θαλάσσιοι οργανισμοί που μετανάστευσαν από τροπικές περιοχές), ώστε να μπορέσουν να διαφύγουν των κινδύνων που απειλούν τη ζωή τους. Ακόμα, όμως, και στις περιπτώσεις που ορισμένα είδη ψαριών καταφέρουν να προσαρμοστούν στις νέες συνθήκες, δε θα συμβεί το ίδιο για τους υπόλοιπους υδρόβιους οργανισμούς -και ιδιαίτερα τους μικροοργανισμούς που παίζουν τον ρόλο της τροφής για τα ψάρια και τα υπόλοιπα είδη του υδάτινου περιβάλλοντος-, και επομένως η ενδεχόμενη εξαφάνισή τους θα προκαλέσει πολλά προβλήματα στην επιβίωση της υδρόβιας ζωής (www.kathimerini.gr).

3.4. Η αύξηση της στάθμης της θάλασσας

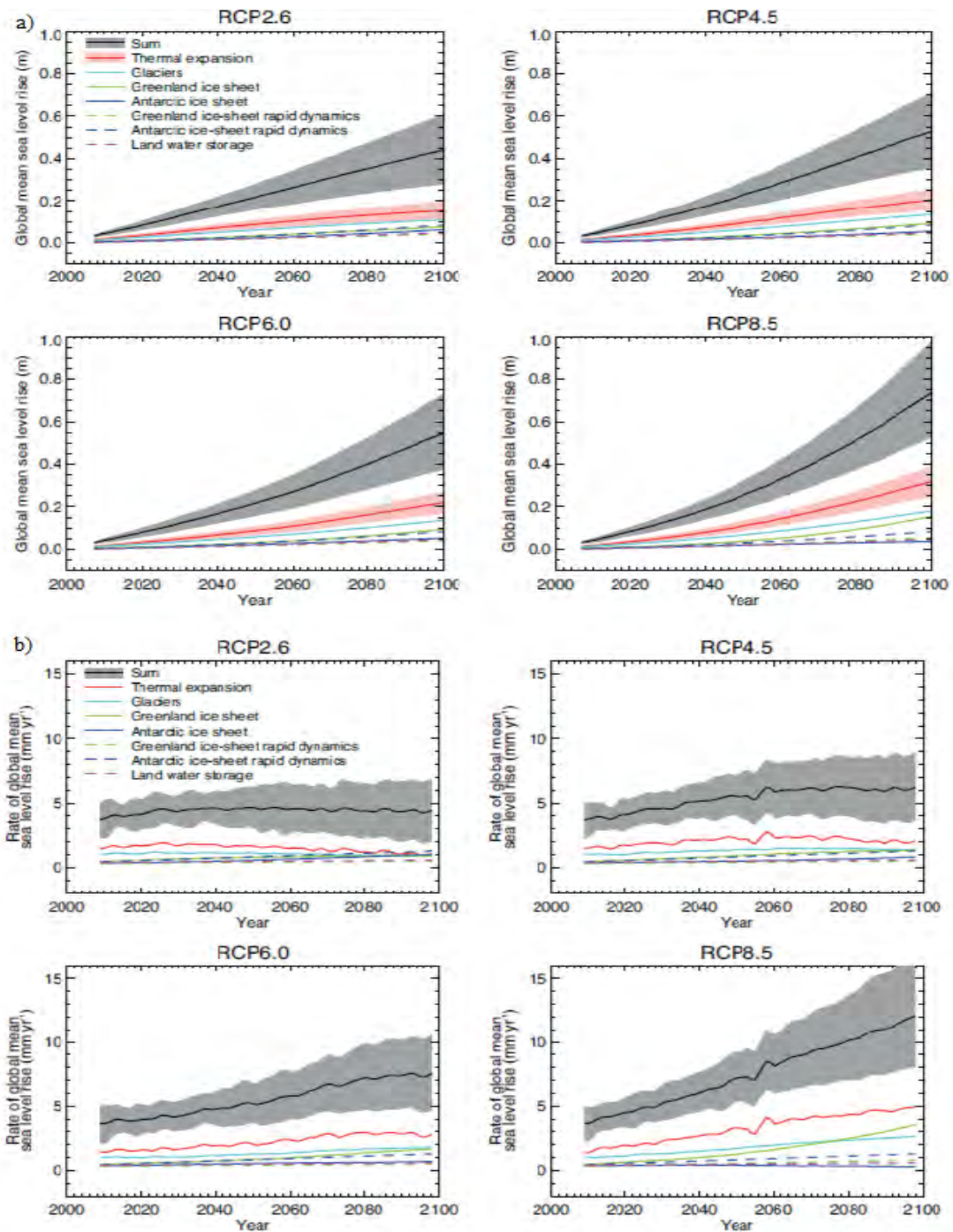
Ως αύξηση της στάθμης της θάλασσας εννοούμε τη μέση αύξηση των επιπέδων των ωκεανών παγκοσμίως. Υπάρχουν δύο τρόποι με τους οποίους η κλιματική αλλαγή προκαλεί την αύξηση της στάθμης της θάλασσας. Πρώτον με τη θερμική διαστολή και δεύτερον με την τήξη των πάγων. Η υπερθέρμανση του πλανήτη, και γενικότερα η αύξηση της θερμοκρασίας (εξαιτίας της αύξησης της συγκέντρωσης αερίων του θερμοκηπίου), θερμαίνει τους ωκεανούς και συνεπώς αυξάνει τον όγκο της θάλασσας, προκαλώντας με τον τρόπο αυτό αύξηση της στάθμης της. Επιπλέον, το θερμότερο

κλίμα διευκολύνει την τήξη των πάγων, προκαλώντας περαιτέρω προσθήκη νερού στους ωκεανούς.

Τα συνεχώς αυξανόμενα επίπεδα της στάθμης της θάλασσας είναι μία από τις πιο καταστροφικές συνέπειες της υπερθέρμανσης του πλανήτη και μείζονος σημασίας απειλή για τους παράκτιους βιότοπους και τις παράκτιες κοινότητες παγκοσμίως. Εκτιμάται ότι θα προκαλέσει έναν αριθμό οικολογικών και κοινωνικοοικονομικών επιπτώσεων, κυρίως στους υδάτινους πόρους, τη γεωργία, την αλιεία και γενικά στις ζωές των ανθρώπων, ειδικά όσων κατοικούν σε παράκτιες περιοχές (Kibria, 2016).

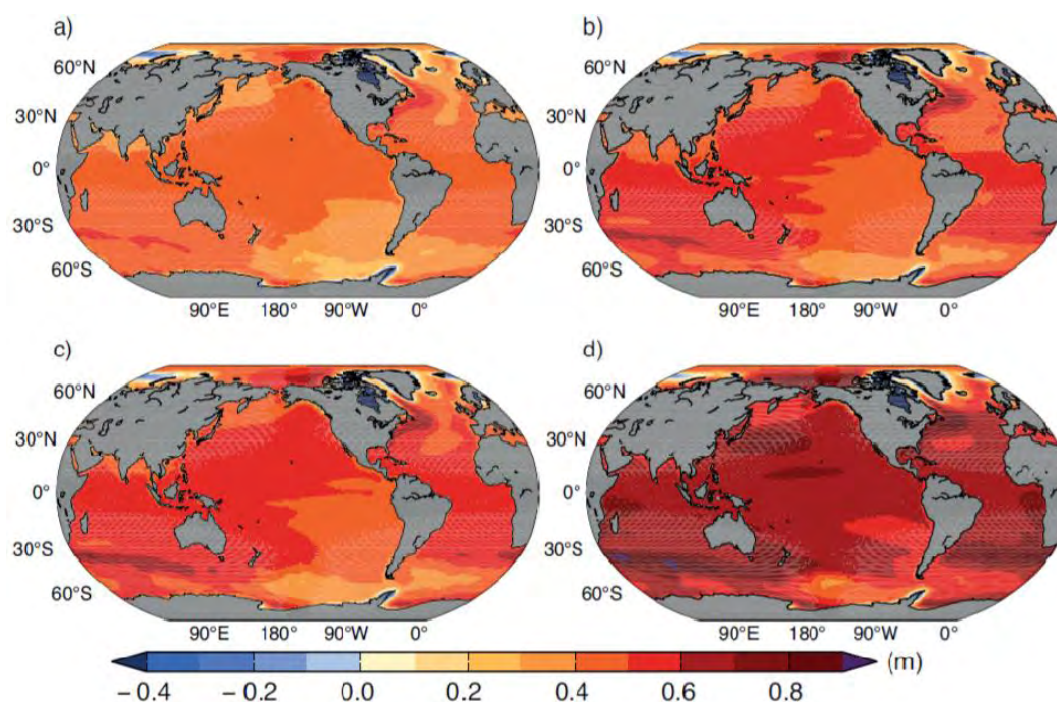
Μέχρι τα τέλη του 21^{ου} αιώνα, και όπως φαίνεται και στο Σχήμα 3.5, σύμφωνα με τις εκτιμήσεις που βασίζονται στο RCP2.6, θα παρατηρηθεί η μικρότερη τιμή αύξησης της στάθμης της θάλασσας που θα είναι κατά μέσο όρο της τάξης των 0.40 m (0,26-0,55), με τις αντίστοιχες για το RCP8.5 να είναι οι μέγιστες και να προβλέπουν αύξηση της τάξης των 0,63 m (0,45-0,82). Οι εκτιμήσεις για τα RCP4.5 και RCP6.0 είναι παρόμοιες μεταξύ τους για το τέλος του αιώνα, με μέση τιμή τα 0,47 m (0,32-0,63) και 0,48 m (0,33-0,63) αντίστοιχα. Στο τέλος του αιώνα, οι τιμές αυτές θα έχουν φτάσει στα 0,44 m (0,28-0,61), 0,74 m (0,52-0,98), 0,53 m (0,36-0,71) και 0,55 m (0,38-0,73) αντίστοιχα. Σε όλα τα σενάρια, η θερμική διαστολή κατέχει το μεγαλύτερο ποσοστό συμμετοχής στις προβλέψεις της τάξης του 30-55%, με τους παγετώνες να ακολουθούν με συμμετοχή της τάξης του 15-35%. Μέχρι το 2100, το 15-55% του σημερινού όγκου των πάγων εκτός Ανταρκτικής, εκτιμάται ότι θα έχουν εξαφανιστεί με βάση το RCP2.5, ποσοστό, το οποίο σύμφωνα με το RCP8.5 αγγίζει το 35-85%. Επίσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5, ο ρυθμός αύξησης της στάθμης της θάλασσας αρχικά αυξάνεται. Για το RCP2.6 γίνεται σχεδόν σταθερός (4,5 mm/year) πριν από τα μέσα του αιώνα και στη συνέχεια αρχίζει να μειώνεται. Ο ρυθμός αύξησης για τα RCP4.5 και RCP6.0 σταθεροποιείται μέχρι το τέλος του αιώνα, σε αντίθεση με αυτό

που συμβαίνει για το RCP8.5, όπου ο ρυθμός ακολουθεί αυξητική τάση καθ' όλη τη διάρκεια του αιώνα, φτάνοντας τα 11 mm/year (8-16) για τη χρονική περίοδο 2081-2100 (Church *et al.*, 2013).



Σχήμα 3.5. Εκτιμήσεις μοντέλων για (a) τη μέση αύξηση της στάθμης της θάλασσας αναφορικά με τη χρονική περίοδο 1986-2005 και (b) το ρυθμό αύξησης της στάθμης της θάλασσας, καθώς και των συνεισφορών σε αυτές, ως συνάρτηση του χρόνου και για τα τέσσερα RCPs. Οι συνεχείς γραμμές αποτυπώνουν τις μέσες τιμές των εκτιμήσεων, ενώ οι σκιαγραφημένες περιοχές αποτελούν το εύρος τιμών (Church *et al.*, 2013).

Τέλος, το Σχήμα 3.6 δείχνει το σύνολο της μέσης τοπικής αλλαγής στη στάθμη της θάλασσας μεταξύ των χρονικών περιόδων 1986-2005 και 2081-2100 για τα RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 και RCP8.5. Είναι πολύ πιθανό ότι σε πάνω από το 95% του παγκόσμιου ωκεανού η σχετική τοπική αύξηση στη στάθμη της θάλασσας θα είναι θετική, ενώ οι περισσότερες περιοχές που θα βιώσουν πτώση στη στάθμη της θάλασσας βρίσκονται κοντά σε τωρινούς ή πρώην παγετώνες και φύλλα πάγου.



Σχήμα 3.6. Σύνολο της μέσης τοπικής αλλαγής στη στάθμη της θάλασσας (σε μέτρα), όπως προέκυψαν έπειτα από αξιολόγηση 21 CMIP5, για τα σενάρια (a) RCP2.6, (b) RCP4.5, (c) RCP6.0 και (d) RCP8.5 μεταξύ των χρονικών περιόδων 1986-2005 και 2081-2100 (Church *et al.*, 2013).

Τέλος, η άνοδος της στάθμης της θάλασσας θα έχει σταδιακές επιπτώσεις και στις υδατοκαλλιέργειες, λόγω της σταδιακής απώλειας γης. Περιοχές όπου είναι εγκαταστημένοι και λειτουργούν ιχθυογεννητικοί σταθμοί μπορεί να χαθούν κάτω από τα συνεχώς αυξανόμενα επίπεδα υδάτων (Handisyde *et al.*, 2014).

3.5. Ασθένειες

Η αλλαγή των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος μπορεί να οδηγήσει στην εξάπλωση των ήδη υπαρχόντων παθογόνων, στην αυξημένη λοιμογόνο δράση τους και στην εμφάνιση νέων παθογόνων μικροοργανισμών, οι οποίοι μπορούν να μειώσουν την ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των υδατοκαλλιιεργειών (De Silva *et al.*, 2009, Weatherdon *et al.*, 2016). Οι ασθένειες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό της αποδοτικότητας των συστημάτων υδατοκαλλιιεργειας και της καταλληλότητας των περιοχών που προορίζονται για αυτή, αλλά όλα αυτά είναι δύσκολο να προβλεφθούν και να ενσωματωθούν σε αναπτυξιακά μοντέλα.

Δεν είναι δύσκολο να προβλεφθούν οι συνέπειες της αύξησης της θερμοκρασίας του νερού στην εξάπλωση ασθενειών, όπως π.χ. οι βακτηριακές ασθένειες στην υδατοκαλλιιεργεια, διότι οι αυξημένες θερμοκρασίες του νερού διευκολύνουν την ανάπτυξη και την μετάδοση ασθενειών (Snieszko, 1974).

Δεδομένου ότι η εξάπλωση των παρασίτων και των ασθενειών θεωρείται ότι αποτελεί σοβαρή απειλή κατά τα σενάρια της κλιματικής αλλαγής, το ζήτημα πρέπει να αποτελέσει προτεραιότητα για την υδατοκαλλιιεργεια.

3.6. Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

Μεγάλος αριθμός ερευνητών έχει ασχοληθεί σε επιστημονικό επίπεδο με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις υδατοκαλλιιεργεις, με αποτέλεσμα να υπάρχει αντίστοιχα πληθώρα επιστημονικών εργασιών, οι οποίες σε συνδυασμό με τις επίσημες εκθέσεις των αρμόδιων οργάνων παγκοσμίως, προσφέρουν μια σαφή εικόνα γύρω από το πρόβλημα. Ορισμένες από τις έρευνες αυτές αναφέρονται παρακάτω. Όπως είναι λογικό, το μεγαλύτερο μέρος αυτών των ερευνών αφορά στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (καταγεγραμμένες ή δυνητικές) στην

αλιεία και στις υδατοκαλλιέργειες, όπως έκαναν για παράδειγμα οι Barange και Perry (2009), επικεντρώνοντας την έρευνά τους στις φυσικές και οικολογικές επιπτώσεις, καθώς και οι Yazdi και Shakouri (2010) ή οι Weatherdone *et al.* (2016), όπου αμφότερες οι ομάδες ερευνητών ασχολήθηκαν με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής όχι μόνο στην αλιεία και την υδατοκαλλιέργεια, αλλά και στον τουρισμό και στην ανθρώπινη υγεία. Επίσης, οι Barange *et al.* λίγα χρόνια αργότερα, το 2018, δημοσίευσαν μια ολοκληρωμένη έκθεση αναφορικά με τη γνώση που έχουμε αποκομίσει μέχρι στιγμής για το πρόβλημα, καθώς και για τις επιλογές για προσαρμογή και μείωσή τους στο μέλλον. Το 2016, η Διεθνής Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), εξέδωσε τη δική της έκθεση αναφορικά με το ρόλο της αλιείας και της υδατοκαλλιέργειας στην προσπάθεια εφαρμογής της συμφωνίας του Παρισιού. Μια ακόμα έρευνα, πιο εξειδικευμένη αυτή τη φορά, είναι και αυτή των Raitsos *et al.* το 2010, οι οποίοι ασχολήθηκαν με την αύξηση της εισόδου τροπικών ειδών στην ανατολική Μεσόγειο Θάλασσα εξαιτίας της κλιματικής αλλαγής, εγείροντας τις ανησυχίες τους για ενδεχόμενες επιπτώσεις στην βιοποικιλότητά της. Τέλος, επίσης με τη Μεσόγειο Θάλασσα, σχετικά με τις επιπτώσεις της οξίνισης των υδάτων στο μεσογειακό μύδι και γενικά με την υπερθέρμανσή της, ασχολήθηκαν οι ερευνητικές ομάδες των Gazeau *et al.* (2014) και των Lacoue-Labarthe *et al.* (2016), αντίστοιχα.

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Σύμφωνα με τις αναφορές της IPCC (IPCC, 2014) είναι πλέον 95% βέβαιοι ότι ο άνθρωπος είναι η κύρια αιτία της σημερινής υπερθέρμανσης του πλανήτη. Επιπλέον, το Synthesis Report (SYR) διαπιστώνει ότι όσο περισσότερο οι ανθρώπινες δραστηριότητες διαταράσσουν το κλίμα, τόσο μεγαλύτεροι είναι οι κίνδυνοι σοβαρών, διαδεδομένων και μη αναστρέψιμων επιπτώσεων για τους ανθρώπους και τα οικοσυστήματα, προκαλώντας μακροχρόνιες αλλαγές σε όλες τις συνιστώσες του κλιματικού συστήματος. Το SYR υπογραμμίζει ότι έχουμε τα μέσα για τον περιορισμό της κλιματικής αλλαγής και των κινδύνων της, με πολλές λύσεις που επιτρέπουν τη συνεχή οικονομική και ανθρώπινη ανάπτυξη. Ωστόσο, η σταθεροποίηση της αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από τους 2°C σε σχέση με τα προβιομηχανικά επίπεδα, απαιτεί μια επείγουσα και θεμελιώδη αποχώρηση από τις συνήθεις εργασίες. Επιπλέον, όσο περισσότερο περιμένουμε να αναλάβουμε δράση, τόσο περισσότερο κοστίζει και τόσο μεγαλύτερες είναι οι τεχνολογικές, οικονομικές, κοινωνικές και θεσμικές προκλήσεις που θα αντιμετωπίσουμε.

Τα επιστημονικά ευρήματα του SYR θα αποτελέσουν τη βάση του κινήτρου έτσι ώστε να βρούμε τον δρόμο για μια παγκόσμια συμφωνία, η οποία θα μπορεί να κρατήσει την κλιματική αλλαγή σε ένα διαχειρίσιμο επίπεδο.

Οι προβλέψεις για τη συνολική απώλεια βιοποικιλότητας που προκαλείται από την κλιματική αλλαγή είναι εντυπωσιακές. Η μελέτη των Thomas *et al.* (2004), για παράδειγμα, δείχνει ότι τουλάχιστον ένα από τα πέντε είδη αυτού του πλανήτη προορίζεται για εξαφάνιση, λόγω των σημερινών επιπέδων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Πρέπει να γίνει αποδεκτό ότι όλες οι μορφές εκτροφής και καλλιέργειας έχουν κάποιο περιβαλλοντικό κόστος (environmental footprint) και από την άποψη αυτή η υδατοκαλλιέργεια δεν αποτελεί εξαίρεση.

Είναι πιθανό ότι η υδατοκαλλιέργεια, θα είναι σε θέση να ανταποκριθεί αποτελεσματικά στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Προκειμένου να γίνει αυτό, πρέπει να υπάρξουν συναφείς πολιτικές, θεσμικές και κοινωνικοοικονομικές αλλαγές, υποστηριζόμενες και συμπληρούμενες από τις σχετικές τεχνικές εξελίξεις. Στον Πίνακα 4.1, παρουσιάζονται ορισμένες από τις επιπτώσεις που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, καθώς και πιθανά μέτρα προσαρμογής στην υδατοκαλλιέργεια.

Δεδομένης της φύσης του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής και της συνεχόμενης αλλαγής στις τιμές των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, οι ενδεχόμενες επιπτώσεις έχουν αντίστοιχα την τάση να μεταβάλλονται αναλόγως. Παρουσιάζεται, επομένως, ως υψίστης σημασίας η ανάγκη για συνεχή και περαιτέρω έρευνα σχετικά με τον τομέα της υδατοκαλλιέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τα νέα δεδομένα, ώστε να προκύψουν όσο το δυνατόν νεότερες, πιο σύγχρονες και πιο ενημερωμένες έρευνες διαθέσιμες στον επιστημονικό κλάδο.

Πίνακας 4.1. Επιπτώσεις σχετιζόμενες με την κλιματική αλλαγή και πιθανά μέτρα προσαρμογής στην υδατοκαλλιέργεια (FAO, 2008).

| Στοιχείο κλιματικής αλλαγής | Επιπτώσεις στην υδατοκαλλιέργεια ή σε σχετικές λειτουργίες | Μέτρα προσαρμογής |
|------------------------------------|---|--|
| Αύξηση της θερμοκρασίας | Αύξηση πάνω από το βέλτιστο εύρος ανοχής των εκτρεφόμενων ειδών. | Χρησιμοποίηση καλύτερων τροφών, περισσότερης φροντίδας στον χειρισμό, επιλεκτική αναπαραγωγή και γενετικές βελτιώσεις για υψηλότερη ανοχή στη θερμοκρασία (και άλλες σχετικές καταστάσεις). |
| | Αύξηση της ανάπτυξης, μεγαλύτερη παραγωγικότητα. | Αύξηση της εισόδου ροής για την τροφοδοσία. Προσαρμογή των προγραμμάτων συγκομιδής και αγοράς. |
| | Αύξηση του ευτροφισμού και της θνησιμότητας των εκτρεφόμενων ειδών. | Βελτίωση του προγραμματισμού και της χωροθέτησης με σκοπό τη συμμόρφωση στις προβλέψεις της κλιματικής αλλαγής. Παρακολούθηση και καταγραφή παραμέτρων του νερού. |
| | Αύξηση της εμφάνισης μολυσματικών ασθενειών. | Διαχειριστικά μέτρα για την ευζωία των εκτρεφόμενων οργανισμών και τη μείωση του στρες. Θέσπιση μέτρων βιοασφάλειας, παρακολούθηση με στόχο τη μείωση των κινδύνων για την υγεία, βελτίωση των θεραπειών και των στρατηγικών διαχείρισης, γενετικές βελτιώσεις για μεγαλύτερη ανοχή. |
| | Περιορισμοί στην προμήθεια ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου. Επίδραση στην τιμή τους. | Εύρεση υποκατάστατων ιχθυάλευρου και ιχθυελαίου. Ανάπτυξη νέων μορφών διαχείρισης ιχθυοτροφών, γενετική βελτίωση για |

| | | |
|--|--|--|
| | | εναλλακτικές ιχθυοτροφές, στροφή σε μη-σαρκοφάγα είδη, καλλιέργεια φυκιών και εκτροφή δίθυρων όποτε είναι δυνατόν. |
| Αύξηση της στάθμης της θάλασσας και άλλες αλλαγές στην κυκλοφορία των υδάτων | Διείσδυση αλμυρού νερού. | Μετατόπιση στενόαλων ειδών προς τα ανάντη. Χρησιμοποίηση ευρύαλων ειδών. |
| | Απώλεια χερσαίων εκτάσεων. | Εναλλακτικές περιοχές εγκατάστασης και λειτουργίας χερσαίων εγκαταστάσεων υδατοκαλλιέργειας. |
| | Αύξηση επιβλαβών φυκών (HABs). | Βελτίωση των συστημάτων παρακολούθησης και έγκαιρης προειδοποίησης. Αλλαγή στα σημεία άντλησης νερού όπου είναι εφικτό. |
| Οξίνιση | Επιπτώσεις στο σχηματισμό και στην εναπόθεση ασβεστολιθικού κελύφους. | Προσαρμογή των τεχνικών παραγωγής και χειρισμού. Μετακίνηση ζωνών παραγωγής. |
| Αυξημένη ζήτηση νερού και συνθήκες λειψυδρίας | Περιορισμοί για την άντληση γλυκού νερού. | Βελτίωση της διαχείρισης του νερού. Ανάπτυξη της θαλάσσιας υδατοκαλλιέργειας. |
| Ακραία καιρικά φαινόμενα | Καταστροφή εγκαταστάσεων. Απώλεια αποθεμάτων. Διαφυγή εκτρεφόμενων οργανισμών με αρνητικές επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα. | Διαχειριστικά μέτρα για την ελαχιστοποίηση των ζημιών, των απωλειών και της μαζικής διαφυγής εκτρεφόμενων οργανισμών. Εκτροφή ενδημικών ειδών για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στην βιοποικιλότητα. |

5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

Βαϊτσας Γ., Ραβασόπουλος Γ. (1997) Υδατοκαλλιέργειες και Περιβάλλον. Διπλωματική Εργασία, ΤΕΙ Μεσολογγίου, p 6-36.

Ζαρκαδάς Σ., Παπαδάκη Ε. (1999) Φυσικοχημικοί παράγοντες που επηρεάζουν την καλλιέργεια των ειδών *sparus auratus* και *disentrarchus labrax* (Τσιπούρα, Λαβράκι). Πτυχιακή Εργασία, Τ.Ε.Ι. Μεσολογγίου, p 12.

Ξένη βιβλιογραφία

Barange M., Bahri T., Beveridge M.C.M., Cochrane K.L., Funge-Smith S., Poulain F., eds. (2018) Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 627. Rome, FAO. 628 pp.

Barange M., Perry R.I. (2009) Physical and ecological impacts of climate change relevant to marine and inland capture fisheries and aquaculture. In Cochrane K., De Young C., Soto D., Bahri T. (eds), Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge, FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, No. 530, Rome, FAO, pp 7–106.

Boyd C.E. (1981) Water quality in warm water fish ponds, Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn, Alabama, U.S.A., 359 p.

Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, Kearney K, Watson REG, Zeller D., Pauly D. (2010) Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change

Church, J.A., P.U. Clark, A. Cazenave, J.M. Gregory, S. Jevrejeva, A. Levermann, M.A. Merrifield, G.A. Milne, R.S. Nerem, P.D. Nunn, A.J. Payne, W.T. Pfeffer, D. Stammer and A.S. Unnikrishnan, (2013): Sea Level Change. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Cochrane, K.; De Young, C.; Soto, D.; Bahri, T. (eds) (2009) Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. No. 530. Rome, FAO. 2009. 212p.

Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichefet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner (2013): Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

De Silva SS, Soto D. (2009) Climate change and aquaculture: potential impacts, adaptation and mitigation. In *Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge* (eds Cochrane K, Young CD, Soto D, Bahri T.), pp. 151–212, Rome, Italy: FAO.

European Commission (2013): COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS, Strategic Guidelines for the sustainable development of the EU aquaculture, Brussels, 29.4.2013, COM(2013) 229 final.

Gazeau F., Alliouane S., Bock C., Bramanti L., Correa M.L., Gentile M., Hirse T, Pörtner H.O., Ziveri P. (2014) Impact of ocean acidification and warming on the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*), *Front. Mar. Sci.*

Handisyde, Neil & Ross, Lindsay & Badjeck, M-C & Allison, Edward. (2014) *The Effects of Climate Change on World Aquaculture: A Global Perspective.*

Hartin, C. A., Bond-Lamberty, B., Patel, P., and Mundra, A. (2016): Ocean acidification over the next three centuries using a simple global climate carbon-cycle model: projections and sensitivities, *Biogeosciences*, 13, pp 4329–4342.

IPCC (2001): *Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp.

IPCC (2007): *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

IPCC (2013): Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M.

Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Kibria, G. (2016) Sea-Level-Rise and its impact on wetlands, water, agriculture, fisheries, aquaculture, migration, public health, infrastructure and adaptation. 6p.

Klinger D.H., Levin S.A., Watson J.R. (2017) The growth of finfish in global open-ocean aquaculture under climate change

Lacoue-Labarthe T., Nunes P.A.L.D., Ziveri P., Cinar M., Gazeau F., Hall-Spencer J.M., Hilmi N., Moschella P., Safa A., Sauzade D., Turley C. (2016) Impacts of ocean acidification in a warming Mediterranean Sea: An overview, Regional Studies in Marine Science, Volume 5, pp 1-11.

McMichael, A . Human culture, ecological change, and infectious disease. *Ecosyst Health*. 2001;7(2):107–115.

Poxton M.G. & Allouse S.B. (1982) Water quality criteria for marine fisheries, *Aquacultural Engineering*, 1, pp 153-191.

Raitsos D.E., Beaugrand G., Georgopoulos D., Zenetos A., Pancucci-Papadopoulou A.M., Theocharis A., Papatthanassiou E. (2010) Global climate change amplifies the entry of tropical species into the eastern Mediterranean Sea, *Limnology and Oceanography*.

Snieszko SF (1974) The effects of environmental stress on outbreaks of infectious diseases of fishes. *J Fish Biol* 6(2):197–208.

Svobodová Z., Lloyd, R., Máchová, J., Vykusová, B. (1993). Water quality and fish health. EIFAC Technical Paper. No. 54. Rome, FAO. 1993. 59 p.

Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., Ferreira de Siqueira, M., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., Van Jaarsveld, A.S., Midgely, G.E., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Peterson, A.T., Phillips, O.L., Williams, S.E., 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427, pp 145–148.

Weatherdon L.V., Magnan A.K., Rogers A.D., Sumaila U.R., Cheung W.W.L. (2016) Observed and projected impacts of climate change on marine fisheries, aquaculture, coastal tourism and human health: an update, *Front. Marc Sci*. 3, 473.

Yazdi S.K., Shakouri B. (2010) The Effects of Climate Change on Aquaculture, International Journal of Environmental Science and Development, Vol.1, No.5, ISSN: 2010-0264.

Διαδίκτυο

- www.kathimerini.gr (τελευταία επίσκεψη 24/04/2020)
- www.fondriest.com (τελευταία επίσκεψη 24/04/2020)
- www.lenntech.com (τελευταία επίσκεψη 24/04/2020)
- www.yokogawa.com (τελευταία επίσκεψη 24/04/2020)

ABSTRACT

The aim of this study is the recording of the parameters of climate change and their effects on aquaculture. Initially, the term “aquaculture” and its contribution to the human diet are described, followed by the physicochemical parameters that may affect the water quality of an installation. The problem of climate change is mainly expressed through the recording and description of the four climate change scenarios, characterized as the Representative Concentration Pathways, RCPs), as defined, studied and published by the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC).

Subsequently, the Thesis deals in detail with each of the physical parameters that may affect an aquaculture installation. In particular, for each of the four scenarios, the estimates for the evolution and course of the parameters in the future are reported, as well as their effects on the global potential of aquaculture, always accompanied by the corresponding graphs.

Finally, based on official reports and scientific studies, the Thesis concludes with the contribution of the human factor to global warming. The importance of taking immediate action becomes clear, which in combination with the alteration of some of our daily habits, will help prevent further global warming aggravation.

Keywords: aquaculture, climate change.