



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΙΕΙΝΗ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Ανάλυση εκτιμώμενης αύξησης παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον και στα τρόφιμα ως απόρροια της κλιματικής κρίσης»

Τσεκούρας Βασίλειος

Λάρισα, 2024



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ
ΠΜΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ
ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΥΓΙΕΙΝΗ**



**"Analysis of projected increase of pathogenic microorganisms in
the environment and in food as a result of the climate crisis"**

Tsekouras Vasilios

Larissa, 2024

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

- 1) **Φωτεινή Φ. Παρλαπάνη**, Επίκουρος Καθηγήτρια, Μοριακή Μικροβιολογία και Ποιότητα Αλιευτικών Προϊόντων – Τροφίμων, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Επιβλέπουσα*.
- 2) **Ιωάννης Σ. Μποζιάρης**, Καθηγητής, Υγιεινή και Συντήρηση Ιχθυηρών, Τμήμα Γεωπονίας Ιχθυολογίας και Υδάτινου Περιβάλλοντος, Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.
- 3) **Νικόλαος Σολωμάκος**, Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Κτηνιατρικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, *Μέλος*.

Στην οικογένειά μου

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της μεταπτυχιακής διπλωματικής μου εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλλαν στην εκπόνησή της.

Ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, κυρία Παρλαπάνη Φωτεινή, για την καθοδήγηση, τις υποδείξεις της, τη συνεχή υποστήριξη και το αμείωτο ενδιαφέρον που έδειξε από την αρχή μέχρι το τέλος. Επίσης, ευχαριστώ τους καθηγητές κυρίους Μποζιάρη Ιωάννη και Σολωμάκο Νικόλαο, για τις υποδείξεις τους και την πολύτιμη συμβολή τους στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, ως μέλη της τριμελούς επιτροπής.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου για όλη τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την κατανόησή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περίληψη

Ο αντίκτυπος της κλιματικής κρίσης στον πολλαπλασιασμό των παθογόνων μικροοργανισμών τόσο στο περιβάλλον όσο και στις πηγές τροφίμων είναι ένας πολύπλευρος και κρίσιμος τομέας μελέτης. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να αποσαφηνίσει τις πιθανές οδούς μέσω των οποίων η κλιματική αλλαγή μπορεί να συμβάλει στην αυξημένη επικράτηση παθογόνων μικροοργανισμών. Το πεδίο εφαρμογής περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών παραγόντων και παραγόντων που σχετίζονται με τα τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένων των μεταβολών της θερμοκρασίας, των βροχοπτώσεων, των ακραίων καιρικών φαινομένων και των αλλαγών στα οικοσυστήματα. Τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής ανασκόπησης υπέδειξαν πως η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει τα υδάτινα οικοσυστήματα, τη γεωργία, την κτηνοτροφία και την ατμόσφαιρα. Αυτά επηρεάζουν την ασφάλεια των τροφίμων μέσω πολλών διαφορετικών οδών. Η αλλαγή των οικοσυστημάτων μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο ασθενειών, όπου τα παθογόνα μεταφέρονται μέσω πολλών οδών στον άνθρωπο. Η αλλαγή των αβιοτικών συνθηκών θα επηρεάσει τη βιολογία των παθογόνων μικροοργανισμών, το μικροκλίμα που περιβάλλει τα φυτά και την ευαισθησία των φυτών στη μόλυνση. Επειδή τόσο τα παθογόνα όσο και τα φυτά ξενιστές θα επηρεαστούν από το μεταβαλλόμενο κλίμα, αναμένονται ασθένειες. Η αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων συνδέθηκε με την αύξηση παθογόνων βακτηρίων του γένους *Vibrios* και την αύξηση λοιμώξεων. Η κατανόηση και η ανάλυση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την προστασία των οικοσυστημάτων.

Λέξεις κλειδιά: κλιματική αλλαγή, παθογόνοι μικροοργανισμοί, τρόφιμα, περιβάλλον, ασθένειες

Abstract

Investigating the influence of the climate crisis on the development of disease-causing agents and their spread through the environment and food is a valuable but challenging endeavor. Our main aim was to assess the potential pathways through which climate change might facilitate the emergence of pathogenic microorganisms. This study involves diverse environmental and food variables that may interact with each other, such as temperature variations, precipitation deviations, catastrophic events due to weather, and ecosystem modifications. It took a comprehensive review of existing literature for us to determine that climate change could have implications on aquatic ecosystems, agriculture, and livestock production systems, as well as atmospheric conditions. These changes can be disastrous for food safety, as there are multiple ways through which pathogens can reach humans. The change in ecosystems may increase the risk of diseases, as some types of diseases might find their way to humans via different routes. Furthermore, alterations in abiotic conditions will affect the biology of the pathogens, the microclimate around the plants, and the vulnerability of plants to infections. As a result of the impact of climate change on both pathogens and host plants, it is expected that disease occurrence will rise. Temperature rise in the water, followed by a corresponding increase in the number of vibrios, was associated with the spread of diseases caused by them and epidemics. It is necessary to know and determine the effects of climate change to use appropriate methods for minimizing them and preserving the balance of ecosystems.

Key words: *climate change, pathogenic microorganisms, food, environment, diseases*

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη	6
Abstract.....	7
Περιεχόμενα.....	8
Κατάλογος Πινάκων	9
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Εισαγωγή.....	10
1.1. Γενικά στοιχεία για την κλιματική κρίση	10
1.2. Κλιματική κρίση και αύξηση παθογόνων μικροοργανισμών	13
1.3. Κλιματική κρίση και επιπτώσεις στο περιβάλλον	16
1.4. Επιπτώσεις στα τρόφιμα	21
1.5. Κλιματική κρίση και επιπτώσεις στην υγεία	23
1.6. Σκοπός.....	26
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Μεθοδολογία.....	28
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Αποτελέσματα.....	29
3.1. Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο υδάτινο περιβάλλον.....	29
3.2. Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα εδάφη/γεωργία	38
3.3. Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ατμόσφαιρα	51
3.4. Απόκριση μετάδοσης παθογόνων σε κλιματικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες.....	59
4. Συζήτηση - Συμπεράσματα	63
4.1. Συζήτηση.....	63
4.2. Περιορισμοί – Προτάσεις	81
4.3. Σύνοψη συμπερασμάτων	83
Βιβλιογραφία	84

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1. Διερεύνηση μεταβολών σε μικροοργανισμούς στο υδάτινο περιβάλλον/θαλάσσια οικοσυστήματα λόγω κλιματικής αλλαγής	35
Πίνακας 2. Διερεύνηση μεταβολών σε μικροοργανισμούς στα τρόφιμα (γεωργία/κτηνοτροφία) λόγω κλιματικής αλλαγής	47
Πίνακας 3. Διερεύνηση μεταβολών σε μικροοργανισμούς στην ατμόσφαιρα λόγω κλιματικής αλλαγής.....	56
Πίνακας 4. Απόκριση μετάδοσης παθογόνων σε κλιματικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες	62

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Εισαγωγή

1.1. Γενικά στοιχεία για την κλιματική κρίση

Η κλιματική κρίση, γνωστή και ως υπερθέρμανση του πλανήτη ή κλιματική αλλαγή, αναφέρεται στις μακροπρόθεσμες και σημαντικές αλλαγές στα κλιματικά πρότυπα της Γης. Χαρακτηρίζεται από την αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας και τη διαταραχή των φυσικών κλιματικών συστημάτων. Παράγοντες που επηρεάζουν την κλιματική αλλαγή περιλαμβάνουν φυσικές διαδικασίες, όπως 1) αλλαγές στην ηλιακή ακτινοβολία: Η αλλαγή στην ένταση ή το μοτίβο της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να επηρεάσει το κλίμα της Γης, 2) ηφαιστειακή δραστηριότητα: Οι ιξώδεις αέρες και τα σωματίδια που εκπέμπονται κατά την έκρηξη ενός ηφαιστείου μπορούν να επηρεάσουν την ατμόσφαιρα και να έχουν κλιματικές επιπτώσεις, 3) αλλαγές στην τροπόσφαιρα: Αλλαγές στη σύνθεση της τροπόσφαιρας, όπως η αύξηση του όζοντος στο κάτω στρώμα ή η διάσπαση του όζοντος στην ατμόσφαιρα, μπορούν να επηρεάσουν τη θερμοκρασία της ατμόσφαιρας και 4) Φυσικές διακυμάνσεις: Φυσικές διακυμάνσεις όπως οι κυκλώνες, η θερμοκρασία των ωκεανών και άλλες φυσικές διεργασίες μπορούν να έχουν μακροπρόθεσμες επιπτώσεις στο κλίμα (Nguyen, et al., 2013; Kovats et al., 2005). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι πολλαπλές και σοβαρές και περιλαμβάνουν την αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης, την αύξηση της συχνότητας και έντασης των καιρικών φαινομένων και την αύξηση της στάθμης των θαλασσών λόγω της τήξης των πάγων (Ziska et al., 2019). Μεταξύ άλλων παραγόντων η κλιματική κρίση φαίνεται να οφείλεται και στις ανθρώπινες δραστηριότητες οι οποίες απελευθερώνουν αέρια του θερμοκηπίου, όπως το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), στην ατμόσφαιρα, οδηγώντας σε ενισχυμένο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) για παραγωγή ενέργειας, μεταφορά και βιομηχανικές διεργασίες είναι η κύρια πηγή ανθρωπογενών

εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Η αποψίλωση των δασών και οι αλλαγές στη χρήση γης συμβάλλουν επίσης σε αυξημένα επίπεδα CO₂ μειώνοντας την ικανότητα της Γης να απορροφά CO₂ μέσω της φωτοσύνθεσης. Η ταχεία εκβιομηχάνιση και η οικονομική ανάπτυξη έχουν οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές άνθρακα. Η επέκταση των βιομηχανιών, η αστικοποίηση και η χρήση τεχνολογιών έντασης ενέργειας συνέβαλαν στην απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Οι γεωργικές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένης της κτηνοτροφίας και της καλλιέργειας ρυζιού, δημιουργούν σημαντικές εκπομπές μεθανίου (CH₄). Επιπλέον, η χρήση συνθετικών λιπασμάτων στη γεωργία απελευθερώνει υποξείδιο του αζώτου (N₂O), ένα άλλο ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου το οποίο εκτιμάται ότι είναι 270 φορές πιο αποτελεσματικό στην παγίδευση θερμότητας σε σχέση με το διοξείδιο του άνθρακα (Kirchman, 2018; Pierrehumbert, 2019).

Η κλιματική κρίση οδηγεί σε σταδιακή αύξηση των παγκόσμιων θερμοκρασιών, με αποτέλεσμα τους καύσωνες, την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και το λιώσιμο των πολικών πάγων και των παγετώνων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια οικοτόπων, μετατόπιση κοινοτήτων και αυξημένη συχνότητα και ένταση ακραίων καιρικών φαινομένων. Η κλιματική αλλαγή διαταράσσει επίσης τα πρότυπα βροχοπτώσεων, οδηγώντας σε συχνότερες και έντονες ξηρασίες, καθώς και έντονες βροχοπτώσεις και πλημμύρες σε ορισμένες περιοχές. Αυτές οι αλλαγές επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα νερού, τη γεωργική παραγωγικότητα και μπορεί να οδηγήσουν σε λειψυδρία και τροφή. Η κλιματική κρίση απειλεί την επιβίωση πολλών φυτικών και ζωικών ειδών, οδηγώντας σε απώλεια βιοποικιλότητας. Οι αλλαγές στη θερμοκρασία, η απώλεια οικοτόπων και τα αλλοιωμένα οικοσυστήματα μπορούν να διαταράξουν τις οικολογικές αλληλεπιδράσεις, να μειώσουν την ποικιλότητα των ειδών και να προκαλέσουν ανισορροπίες στα οικοσυστήματα. Μπορεί επίσης δυνητικά να συμβάλει στον πολλαπλασιασμό και την εξάπλωση παθογόνων

μικροοργανισμών. Οι αλλαγές στη θερμοκρασία και τα πρότυπα βροχόπτωσης μπορούν να δημιουργήσουν πιο ευνοϊκές συνθήκες για την αύξηση και τη μετάδοση ορισμένων παθογόνων. Για παράδειγμα, οι αυξημένες θερμοκρασίες μπορούν να διευκολύνουν την επιβίωση και τη μετάδοση μεταδιδόμενων ασθενειών (Frumkin, 2022).

Οι αλλαγές στις κλιματικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν την επιβίωση και την επιμονή των παθογόνων στο περιβάλλον. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες και η αυξημένη υγρασία μπορούν να ενισχύσουν τη βιωσιμότητα και τη δυνατότητα μετάδοσης ορισμένων μικροοργανισμών. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει την κατανομή και την αφθονία των φορέων που μεταφέρουν ασθένειες, όπως τα κουνούπια και τα τσιμπούρια. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες και τα αλλαγμένα πρότυπα βροχοπτώσεων μπορούν να επεκτείνουν το γεωγραφικό εύρος αυτών των φορέων, οδηγώντας σε αυξημένο κίνδυνο ασθενειών που μεταδίδονται από φορείς όπως η ελονοσία, ο δάγκειος πυρετός και οι λοιμοί. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να διαταράξει τα γεωργικά συστήματα, οδηγώντας σε μειωμένες αποδόσεις των καλλιεργειών, αλλαγές στα πρότυπα των καλλιεργειών και μειωμένη παραγωγή τροφίμων. Οι αλλαγές στη θερμοκρασία και τα πρότυπα βροχοπτώσεων μπορούν επίσης να επηρεάσουν την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων, αυξάνοντας ενδεχομένως τον κίνδυνο τροφιμογενών ασθενειών. Η κλιματική κρίση εγκυμονεί σημαντικούς κινδύνους για τη δημόσια υγεία. Η αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων μπορεί να οδηγήσει σε τραυματισμούς, εκτοπισμό και εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών. Οι αλλαγές στη διαθεσιμότητα και την ποιότητα του νερού μπορεί να οδηγήσουν σε υδατογενείς ασθένειες, ενώ οι καύσωνες και η επιδείνωση της ποιότητας του αέρα μπορεί να επιδεινώσουν τις αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης στους παθογόνους μικροοργανισμούς είναι πολύπλοκες και μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με περιφερειακούς και τοπικούς παράγοντες. Απαιτείται περαιτέρω έρευνα και παρακολούθηση για την καλύτερη κατανόηση και

αντιμετώπιση αυτών των ειδικών επιπτώσεων και για την ανάπτυξη κατάλληλων στρατηγικών μετριασμού και προσαρμογής (Archer & Rahmstorf, 2010).

1.2. Κλιματική κρίση και αύξηση παθογόνων μικροοργανισμών

Ένα πιεστικό ζήτημα που προκύπτει από την κλιματική έκτακτη ανάγκη είναι η ταχεία εξάπλωση επιβλαβών μικροοργανισμών, οι οποίοι παρουσιάζουν τρομερούς κινδύνους για την ανθρώπινη ευημερία. Ένα συχνά αγνοούμενο αποτέλεσμα αυτής της έκτακτης ανάγκης είναι ο ανεξέλεγκτος πολλαπλασιασμός των οργανισμών που προκαλούν ασθένειες. Αυτοί οι παράγοντες που προκαλούν ασθένειες έχουν ουσιαστικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη ευημερία μέσω της ανάπτυξης διαφόρων παθήσεων και λοιμώξεων. Η σοβαρότητα των συμπτωμάτων που προκαλούνται από αυτούς τους μικροοργανισμούς είναι γνωστή ως λοιμογόνος δράση. Μέσα από την εξέταση των οικολογικών συνθηκών που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή που προάγουν την ανάπτυξη επιβλαβών μικροοργανισμών, οι πιο σημαντικοί παθογόνοι μικροοργανισμοί είναι οι μύκητες, τα παράσιτα, τα βακτήρια και οι ιοί οι οποίοι μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία προκαλώντας ασθένειες και λοιμώξεις. Η σοβαρότητα των συμπτωμάτων της νόσου εξαρτάται από το επίπεδο μολυσματικότητας κάθε συγκεκριμένου παθογόνου. Αυτοί οι οργανισμοί μπορούν να εισέλθουν στο σώμα μέσω άμεσης επαφής με το δέρμα, εισπνοής ή κατάποσης. Διεισδύοντας στο σώμα, οι παθογόνοι μικροοργανισμοί προκαλούν βλάβες σε κύτταρα και ιστούς, με αποτέλεσμα να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία. Αυτή η διαταραχή των φυσιολογικών σωματικών λειτουργιών επιτρέπει σε αυτούς τους επιβλαβείς παράγοντες να ξεφύγουν από το ανοσοποιητικό σύστημα, με αποτέλεσμα τελικά υψηλότερα ποσοστά ασθενειών και θανάτου (Balloux & vanDorp, 2017). Η ανάπτυξη και η αναπαραγωγή των μικροοργανισμών, οι οποίοι είναι οι πιο άφθονοι οργανισμοί στη Γη, επηρεάζονται σημαντικά από την κλιματική αλλαγή. Όλες οι μορφές ζωής,

συμπεριλαμβανομένων των μικροοργανισμών, επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τις πολυάριθμες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, οι έντονες βροχοπτώσεις και η ρύπανση. Κατά συνέπεια, οι αλλαγές στο περιβάλλον επηρεάζουν άμεσα τη βιωσιμότητα και την εξέλιξη αυτών των μικροοργανισμών. Οι διακυμάνσεις της βροχόπτωσης που επηρεάζουν τον επιπολασμό και τη συγκέντρωση των υδατογενών παθογόνων μπορεί να οδηγήσουν σε επιδείνωση της μετάδοσης της νόσου. Επιπλέον, η ικανότητα ορισμένων βακτηρίων και μυκήτων να ευδοκιμούν σε υψηλές θερμοκρασίες αυξάνει περαιτέρω αυτόν τον κίνδυνο.

Η μόλυνση των υδάτινων πηγών και η εξάπλωση των υδατογενών παθογόνων είναι πιθανή λόγω της μεταφοράς αποβλήτων κοπράνων και ρύπων ως αποτέλεσμα των αλλοιώσεων των βροχοπτώσεων και της αυξημένης απορροής. Ένας άλλος παράγοντας που συμβάλλει είναι η επέκταση των οικοτόπων-φορέων. Η κλιματική αλλαγή έχει ποικίλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις, μία από τις οποίες είναι η διακοπή του υδρολογικού κύκλου, προκαλώντας αλλαγές στην κατανομή των βροχοπτώσεων. Η κλιματική αλλαγή έχει αντίκτυπο στην εξάπλωση και την αφθονία των κουνουπιών και των κροτώνων, αυξάνοντας τελικά την πιθανότητα μετάδοσης ασθενειών όπως η ελονοσία και ο δάγκειος πυρετός. Η καύση ορυκτών καυσίμων και οι αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από την αποψίλωση των δασών οδηγούν στην εμφάνιση νέων ασθενειών. Η κλιματική κρίση και η ταχεία αύξηση του πληθυσμού επιδεινώνουν αυτό το πρόβλημα, δημιουργώντας ιδανικές συνθήκες για την εξάπλωση επιβλαβών μικροοργανισμών. Επιπλέον, η αποψίλωση των δασών διαταράσσει την οικολογική ισορροπία και καταστρέφει τους οικοτόπους, συμβάλλοντας περαιτέρω στην ανάπτυξη παθογόνων παραγόντων. Η πίεση από την επέκταση των πληθυσμών και την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων ενισχύει επίσης τα επίπεδα ρύπανσης και την απελευθέρωση τοξικών ουσιών στο περιβάλλον. Για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης και τον περιορισμό του πολλαπλασιασμού των

επιβλαβών μικροοργανισμών, είναι σημαντικό να τεθεί σε εφαρμογή ένας συνδυασμός στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού. Ο στόχος των προσπαθειών μετριασμού είναι να μειωθεί η έκλυση αερίων του θερμοκηπίου που δεσμεύουν τη θερμότητα στην ατμόσφαιρα, εμποδίζοντας έτσι την πρόοδο της κλιματικής αλλαγής (Tiedje et al. 2022). Αυτό μπορεί να επιτευχθεί αγκαλιάζοντας τις καθαρές πηγές ενέργειας, προωθώντας πρακτικές εξοικονόμησης ενέργειας και υποστηρίζοντας την υπεύθυνη διαχείριση της γης. Αντίθετα, οι προσεγγίσεις προσαρμογής επικεντρώνονται στην προσαρμογή στην παρούσα και στις επικείμενες συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Για την αποτελεσματική καταπολέμηση της κλιματικής κρίσης και την ανάσχεση της εξάπλωσης των παθογόνων παραγόντων, είναι απαραίτητο να εφαρμοστούν στρατηγικές προσαρμογής και μετριασμού. Η ανάπτυξη μιας υποδομής υγειονομικής περίθαλψης ανθεκτικής στο κλίμα συνεπάγεται τη δημιουργία συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για εστίες ασθενειών. Επιπλέον, οι προσπάθειες για την ελαχιστοποίηση της ευαισθησίας σε κινδύνους για την υγεία που σχετίζονται με το κλίμα θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν τη βελτίωση των συστημάτων ύδρευσης και αποχέτευσης (LeChevallier & Au, 2004).

Οι στρατηγικές μετριασμού και προσαρμογής είναι επιτακτικές για την αντιμετώπιση των σημαντικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία που προκαλούνται από την κλιματική κρίση και την εμφάνιση παθογόνων μικροοργανισμών. Η ανάπτυξη και η εξάπλωση αυτών των μικροοργανισμών, που έχει σοβαρές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία, επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες κλιματικής αλλαγής. Παράγοντες όπως η θερμοκρασία, οι βροχοπτώσεις και η ρύπανση συμβάλλουν στην αυξημένη ανάπτυξη αυτών των μικροοργανισμών. Επιπλέον, οι ανθρώπινες δραστηριότητες όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και η αποψίλωση των δασών συμβάλλουν περαιτέρω στην κλιματική κρίση και κατά συνέπεια προάγουν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Η αναγνώριση της σημασίας αυτού του ζητήματος είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική

καταπολέμησή του. Για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, εφαρμόζονται στρατηγικές προσαρμογής για την προετοιμασία και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, τόσο σήμερα όσο και στο μέλλον (Campbell-Lendrum et al., 2015).

1.3. Κλιματική κρίση και επιπτώσεις στο περιβάλλον

Το περιβάλλον και η ανθρώπινη υγεία βρίσκονται σε μεγάλο κίνδυνο λόγω της κλιματικής αλλαγής, ένα επείγον πρόβλημα που δεν μπορεί να αγνοηθεί. Η αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας, γνωστή ως κλιματική κρίση, προκαλείται κυρίως από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό το φαινόμενο συμβαίνει όταν η θερμότητα παγιδεύεται κοντά στην επιφάνεια της Γης από αέρια του θερμοκηπίου. Έχει ευρεία επίδραση σε διάφορες πτυχές της κοινωνίας, όπως οι υδάτινοι πόροι, η γεωργία, η βιοποικιλότητα και η επισιτιστική ασφάλεια. Είναι λοιπόν σημαντικό να διερευνηθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στη βιοποικιλότητα, τους υδάτινους πόρους, τη γεωργία και την επισιτιστική ασφάλεια. Η κατανόηση της επείγουσας ανάγκης για δράση για την αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης μπορεί να βελτιωθεί ωστόσο. Η κλιματική κρίση έχει ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται μεταξύ τους. Ένα παράδειγμα είναι πώς η ξηρασία μπορεί να βλάψει την παραγωγή τροφίμων και την ανθρώπινη ευημερία, με αποτέλεσμα την έλλειψη τροφίμων και τον υποσιτισμό. Επίσης, η αυξημένη βροχόπτωση μπορεί να προκαλέσει πλημμύρες που καταστρέφουν σπίτια, υποδομές και προκαλούν απώλειες ζωών. Μπορούμε να δούμε τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στο λιώσιμο των πολικών πάγων λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη (McNutt, 2013). Οι πάγοι της Αρκτικής εξαφανίζονται ραγδαία τα τελευταία 30 χρόνια, με σχεδόν το 13% να χάνεται ανά δεκαετία. Λόγω της κλιματικής αλλαγής που προκαλείται από τον άνθρωπο, τα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως οι τυφώνες, τα κύματα καύσωνα και οι πυρκαγιές αυξάνονται σε σοβαρότητα και συχνότητα. Το 71%

των ακραίων καιρικών φαινομένων που αναλύθηκαν έχουν συνδεθεί με την κλιματική αλλαγή. Αυτές οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις υπογραμμίζουν την άμεση ανάγκη αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής προκειμένου να προστατευθούν τόσο η φύση όσο και οι ανθρώπινοι πληθυσμοί.

Η κλιματική κρίση έχει επιφέρει σημαντικές συνέπειες, συμπεριλαμβανομένης της απώλειας της βιοποικιλότητας. Η μεγαλύτερη απειλή για τα είδη είναι η απώλεια οικοτόπων, που προκαλείται από την αποψίλωση των δασών και την αλλαγή χρήσης γης. Εγκυμονεί κίνδυνο εξαφάνισης για πολλά φυτά, ζώα και οργανισμούς, με αποτέλεσμα διαταραχές στα οικοσυστήματα και την οικολογική ισορροπία. Επιπλέον, η απώλεια της βιοποικιλότητας έχει εκτεταμένες οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις. Οι άνθρωποι εξαρτώνται από μια ποικιλία ειδών για βασικούς πόρους όπως τρόφιμα, φάρμακα και λειτουργίες του οικοσυστήματος όπως η επικονίαση και ο καθαρισμός του νερού. Η προστασία της βιοποικιλότητας είναι απαραίτητη για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του πλανήτη μας και την ευημερία των μελλοντικών γενεών, καθώς η κλιματική αλλαγή συνεχίζει να επιδεινώνει τις δυσκολίες των ειδών και των οικοσυστημάτων, θέτοντας τη βιοποικιλότητα σε ακόμη μεγαλύτερο κίνδυνο. Η κλιματική κρίση έχει επίσης σημαντικό αντίκτυπο στους υδάτινους πόρους. Η διαθεσιμότητα νερού, τόσο σε ποσότητα όσο και σε ποιότητα, επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης. Οι ξηρασίες, ιδίως, μπορούν να προκαλέσουν αύξηση της αλατότητας των παράκτιων υδάτινων πόρων λόγω της μείωσης της παροχής γλυκού νερού από τα ποτάμια. Επιπλέον, η μόλυνση του νερού και η εξάπλωση υδατογενών ασθενειών μπορεί να προκύψουν ως αποτέλεσμα ακραίων καιρικών φαινομένων όπως οι έντονες βροχοπτώσεις. Για τη βιωσιμότητα και την προσβασιμότητα των υδάτινων πόρων, είναι ζωτικής σημασίας η αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης, καθώς επηρεάζει άμεσα την ανθρώπινη υγεία, τη γεωργία και τη λειτουργία του οικοσυστήματος (Foden et al., 2019).

Η γεωργία και η επισιτιστική ασφάλεια επηρεάζονται σημαντικά από τις αλλαγές του κλίματος. Οι αυξήσεις της θερμοκρασίας και οι αλλαγές στα πρότυπα βροχόπτωσης έχουν τη δυνατότητα να διαταράξουν τη διαθεσιμότητα τροφής, να εμποδίσουν την πρόσβαση σε τρόφιμα και να επηρεάσουν την ποιότητα των τροφίμων. Ένα σημαντικό εμπόδιο στη γεωργική παραγωγικότητα είναι η λειψυδρία, η οποία επιδεινώνεται από τις κλιματικές διακυμάνσεις. Όταν η άρδευση στερείται ουσιαστικού νερού, οι καλλιέργειες αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην ευημερία και την παραγωγή, με αποτέλεσμα τελικά την έλλειψη τροφής και την αύξηση των τιμών. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή έχει επίσης συνέπειες για παράσιτα και ασθένειες, δημιουργώντας πρόσθετους κινδύνους για τα γεωργικά συστήματα και την επισιτιστική ασφάλεια. Ενόψει των μεταβαλλόμενων κλιματικών συνθηκών, η αποτελεσματικότητα των φυτοφαρμάκων στην προστασία των καλλιεργειών μπορεί να τεθεί σε κίνδυνο. Για να διασφαλιστεί η επισιτιστική ασφάλεια, είναι ζωτικής σημασίας να υιοθετήσουμε ανθεκτικά γεωργικά συστήματα, βιώσιμες γεωργικές πρακτικές και να έχουμε πρόσβαση στην τεχνολογία και τους πόρους. Η ανθρώπινη υγεία επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την κλιματική κρίση, καθώς όχι μόνο απειλεί το περιβάλλον αλλά έχει επίσης βαθιές επιπτώσεις στην ευημερία μας. Πολυάριθμες επιβλαβείς συνέπειες προκύπτουν από την άνοδο της θερμοκρασίας και τα ακραία καιρικά φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων των αυξημένων ασθενειών και των θανάτων (Levy et al. 2018). Για παράδειγμα, οι καύσωνες μπορεί να οδηγήσουν σε θερμοπληξία, αφυδάτωση και διάφορα καρδιαγγειακά και αναπνευστικά προβλήματα. Ακόμη και μικρές αποκλίσεις από τις τυπικές εποχιακές θερμοκρασίες μπορεί να έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει την εξάπλωση ασθενειών που μεταφέρονται από φορείς όπως ο δάγκειος πυρετός. Με τις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες και τις θερμοκρασίες, τα ενδιαιτήματα των κουνουπιών που μεταφέρουν ασθένειες επεκτείνονται, οδηγώντας σε αυξημένους κινδύνους μετάδοσης (Branca et al., 2013).

Ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής στην ψυχική ευεξία είναι επίσης ουσιαστικός. Οι διαταραχές ψυχικής υγείας μπορεί να προκύψουν από περιστατικά που σχετίζονται με το κλίμα, όπως φυσικές καταστροφές ή εκτοπισμός. Η κλιματική αλλαγή έχει συνδεθεί με το άγχος, την κατάθλιψη και τη διαταραχή μετατραυματικού στρες. Επιπλέον, η αβεβαιότητα και η ανησυχία για μελλοντικά φαινόμενα που σχετίζονται με το κλίμα μπορεί να συμβάλλουν σε αυξημένο άγχος και ψυχολογική πίεση. Οι δυσανάλογες κλιματικές συνέπειες υφίστανται στους ευάλωτους πληθυσμούς, υπογραμμίζοντας την άνιση κατανομή της κλιματικής κρίσης. Πιο σοβαρά επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή οι φυλετικές και εθνοτικές μειονότητες. Οι κοινότητες αυτές, που συχνά υπόκεινται σε περιβαλλοντικές αδικίες, κατοικούν σε περιοχές που δεν διαθέτουν αξιοπρεπείς υποδομές και υποφέρουν από κακή ποιότητα αέρα, συμβάλλοντας στην αυξημένη ευπάθεια στην κλιματική αλλαγή. Επιπρόσθετα, οι οικονομικοί και κοινωνικοί παράγοντες, που περιλαμβάνουν την περιορισμένη πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη και τους πόρους, καθώς και την εισοδηματική ανισότητα, ενισχύουν την ευαλωτότητα τους (EPA, 2017). Η αναγνώριση και η αντιμετώπιση των κοινωνικών καθοριστικών παραγόντων της ευαλωτότητας είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις αυτόχθονες κοινότητες, στα νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος και στις περιθωριοποιημένες ομάδες. Προκειμένου να προωθηθεί η ανθεκτικότητα και να προωθηθεί η κλιματική δικαιοσύνη, είναι σημαντικό να διασφαλιστεί η δίκαιη πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη, την εκπαίδευση και τους πόρους για αυτούς τους πληθυσμούς. Επιπλέον, η συμμετοχή αυτών των κοινοτήτων στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων είναι καίριας σημασίας.

Η στροφή σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και η προώθηση βιώσιμων μεταφορών είναι όλα σημαντικά μέτρα για τον μετριασμό της κλιματικής κρίσης και την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεών της στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία. Μειώνοντας το αποτύπωμα άνθρακα, μπορούμε να βοηθήσουμε στην

επιβράδυνση του ρυθμού της κλιματικής αλλαγής και των συνεπειών της. Μια άλλη κρίσιμη πτυχή περιλαμβάνει την προσαρμογή στις αλλαγές που ήδη συμβαίνουν και την οικοδόμηση ανθεκτικότητας για να αντέχει ο άνθρωπος στις μελλοντικές προκλήσεις. Η εφαρμογή μέτρων για την προστασία των ευάλωτων κοινοτήτων, των υποδομών και των οικοσυστημάτων από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ένα κρίσιμο καθήκον. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, πρέπει να εφαρμοστούν στρατηγικές προσαρμογής. Αυτές οι στρατηγικές κυμαίνονται από την ενίσχυση των πρακτικών διαχείρισης των υδάτων και την ενίσχυση της προστασίας των ακτών έως τη δημιουργία συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για ακραία καιρικά φαινόμενα. Ωστόσο, η επιτυχία αυτών των προσπαθειών μετριασμού και προσαρμογής εξαρτάται από την παρουσία αποτελεσματικών θεσμών, τη χρηστή διακυβέρνηση και τις επαρκείς επενδύσεις. Για την αποτελεσματική καταπολέμηση της κλιματικής κρίσης και τη διασφάλιση της ευημερίας των σημερινών και των μελλοντικών γενεών, είναι ζωτικής σημασίας να δοθεί προτεραιότητα στη θέσπιση και εκτέλεση μέτρων που ενθαρρύνουν βιώσιμες πρακτικές, ενισχύουν τις κοινότητες σε κίνδυνο και εγγυώνται τη διαρκή ισχύ των οικοσυστημάτων. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, οργανισμών και ατόμων (Cianconi et al., 2020).

Οι υδάτινοι πόροι, η γεωργία και η επισιτιστική ασφάλεια επηρεάζονται όλα από τις περιβαλλοντικές συνέπειες της κλιματικής αλλαγής. Η απώλεια της βιοποικιλότητας, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και οι αλλαγές στα πρότυπα βροχοπτώσεων είναι μεταξύ των επιπτώσεων. Επιπλέον, η κλιματική κρίση αποτελεί απειλή και για την ανθρώπινη υγεία. Ασθένειες που σχετίζονται με τη ζέστη, η εξάπλωση ασθενειών που μεταφέρονται από φορείς και οι επιπτώσεις στην ψυχική υγεία είναι μερικά παραδείγματα. Συνολικά, η κλιματική κρίση παρουσιάζει σημαντικές απειλές τόσο για το φυσικό περιβάλλον όσο και για την ανθρώπινη ευημερία. Η αντιμετώπιση της κλιματικής κρίσης και η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεών της απαιτούν την εφαρμογή στρατηγικών μετριασμού και προσαρμογής.

Δίνοντας προτεραιότητα στην ευημερία του πλανήτη και των κατοίκων του και αναλαμβάνοντας άμεση δράση, μπορούμε να εργαστούμε για ένα πιο βιώσιμο και ανθεκτικό μέλλον. Αυτό περιλαμβάνει τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την εφαρμογή μέτρων για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας (Jeong & Ko, 2021).

1.4. Επιπτώσεις στα τρόφιμα

Η κλιματική κρίση, που οφείλεται στην υπερθέρμανση του πλανήτη αποτελεί σημαντική απειλή για τα οικοσυστήματα και τους φυσικούς πόρους του πλανήτη. Μία από τις βαθύτερες συνέπειες αυτής της κρίσης είναι ο αντίκτυπός της στην παραγωγή τροφίμων και τη συνολική τροφική αλυσίδα. Επηρεάζει τις αποδόσεις των καλλιεργειών και την παραγωγικότητα των ζώων αλλά και την αλεία και την επισιτιστική ασφάλεια. Η κατανόηση αυτών των αλληλένδετων προκλήσεων είναι ζωτικής σημασίας για τη χάραξη βιώσιμων στρατηγικών για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην παραγωγή τροφίμων. Η άνοδος της θερμοκρασίας, η αλλαγή των προτύπων βροχοπτώσεων και η αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων επηρεάζουν αρνητικά τις αποδόσεις των καλλιεργειών και την αγροτική παραγωγικότητα. Οι καύσωνες, οι ξηρασίες, οι πλημμύρες και οι καταιγίδες μπορούν να βλάψουν τις καλλιέργειες, να μειώσουν τη συγκομιδή και να μειώσουν τη συνολική παραγωγή τροφίμων (Tirado et al., 2010).

Επιπλέον, οι μεταβαλλόμενες κλιματολογικές συνθήκες δημιουργούν προκλήσεις για τους αγρότες, καθώς αγωνίζονται να προσαρμοστούν σε νέα πρότυπα παρασίτων και ασθενειών, αλλαγμένες εποχές καλλιέργειας και αυξημένη λειψυδρία. Αυτοί οι παράγοντες όχι μόνο απειλούν τη διαθεσιμότητα τροφίμων αλλά συμβάλλουν επίσης σε υψηλότερες τιμές των τροφίμων και πιθανές ελλείψεις τροφίμων. Η κλιματική κρίση επηρεάζει επίσης την κτηνοτροφική παραγωγή, η οποία διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στα παγκόσμια συστήματα τροφίμων. Το ακραίο θερμικό στρες μπορεί να μειώσει την παραγωγικότητα των ζώων, να

μειώσει τα ποσοστά αναπαραγωγής και να οδηγήσει σε υψηλότερα ποσοστά θνησιμότητας μεταξύ των ζώων. Επιπλέον, η αλλαγή των κλιματικών προτύπων μπορεί να διαταράξει τη διαθεσιμότητα των κατάλληλων βοσκοτόπων και πηγών ζωοτροφών, οδηγώντας σε μειωμένες αποδόσεις των ζώων. Οι αλλαγές στη θερμοκρασία και τις βροχοπτώσεις μπορούν επίσης να αυξήσουν την εξάπλωση ασθενειών μεταξύ των ζώων, επηρεάζοντας περαιτέρω την υγεία των ζώων και την αξιοπιστία των προϊόντων διατροφής (Lurgi et al., 2012) με βάση τα ζώα. Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τους ωκεανούς του κόσμου και τα πολύπλοκα θαλάσσια οικοσυστήματα. Η άνοδος της θερμοκρασίας του νερού και η οξίνιση των ωκεανών έχουν βαθιές συνέπειες για τους πληθυσμούς των ψαριών, επηρεάζοντας την αναπαραγωγή τους, τους ρυθμούς ανάπτυξης και τα πρότυπα μετανάστευσης. Αυτό, με τη σειρά του, διαταράσσει τις αλιευτικές βιομηχανίες, ιδιαίτερα αυτές που εξαρτώνται από συγκεκριμένα είδη ή περιοχές. Οι ψαράδες μικρής κλίμακας και οι παράκτιες κοινότητες, ειδικότερα, αντιμετωπίζουν προκλήσεις καθώς τα ψάρια μετακινούνται σε διαφορετικές περιοχές, συχνά πέρα από τις δυνατότητές τους.

Η απώλεια των κοραλλιογενών υφάλων, ενός ουσιαστικού ενδιαιτήματος για τη θαλάσσια βιοποικιλότητα, υπονομεύει περαιτέρω την ανθεκτικότητα των πληθυσμών των ψαριών και τη σταθερότητα ολόκληρης της τροφικής αλυσίδας. Η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει την επισιτιστική ανασφάλεια, ιδιαίτερα σε ευάλωτες κοινότητες και περιοχές με περιορισμένη προσαρμοστική ικανότητα. Οι διαταραχές στην παραγωγή τροφίμων και η αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων επηρεάζουν δυσανάλογα τις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η γεωργία συχνά αποτελεί τη ραχοκοκαλιά των οικονομιών τους. Η περιορισμένη πρόσβαση σε πόρους, υποδομές και τεχνολογία παρεμποδίζει περαιτέρω την ικανότητα αυτών των κοινοτήτων να προσαρμοστούν στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Alava et al., 2017).

Κατά συνέπεια, τα ποσοστά υποσιτισμού, πείνας και φτώχειας αυξάνονται, οδηγώντας σε κοινωνική αστάθεια και πιθανές συγκρούσεις για τη μείωση των πόρων. Η κλιματική κρίση θέτει σημαντικές προκλήσεις για την παραγωγή τροφίμων και τη συνολική τροφική αλυσίδα. Η μείωση των αποδόσεων των καλλιεργειών, η διαταραχή της κτηνοτροφικής παραγωγής, τα αλλοιωμένα πρότυπα αλιείας και οι ανησυχίες για την επισιτιστική ασφάλεια καταδεικνύουν την επείγουσα ανάγκη για παγκόσμια συνεργασία και βιώσιμες πρακτικές. Οι προσπάθειες μετριασμού, οι στρατηγικές προσαρμογής και οι επενδύσεις σε ανθεκτικά συστήματα τροφίμων είναι απαραίτητες για τη διασφάλιση ενός ασφαλούς και βιώσιμου εφοδιασμού τροφίμων για τις μελλοντικές γενιές (Tirado et al., 2010).

1.5. Κλιματική κρίση και επιπτώσεις στην υγεία

Η κλιματική κρίση, που χαρακτηρίζεται από αύξηση της θερμοκρασίας, ακραία καιρικά φαινόμενα και περιβαλλοντική υποβάθμιση, είναι μια από τις πιο πιεστικές προκλήσεις της εποχής μας. Ενώ οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι εκτεταμένες, μία από τις πιο σημαντικές και άμεσες ανησυχίες είναι οι επιζήμιες επιπτώσεις της στην ανθρώπινη υγεία. Από τα αυξημένα ποσοστά νοσηρότητας και θνησιμότητας έως την εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών, η κλιματική κρίση εγκυμονεί σοβαρούς κινδύνους για την ευημερία των ατόμων και των κοινοτήτων παγκοσμίως. Μία από τις πιο εμφανείς επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης στην υγεία είναι η αύξηση των ασθενειών και των θανάτων που σχετίζονται με τη ζέστη. Καθώς οι παγκόσμιες θερμοκρασίες συνεχίζουν να ανεβαίνουν, οι καύσωνες γίνονται πιο συχνοί και έντονοι. Η παρατεταμένη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να οδηγήσει σε θερμική εξάντληση και θερμοπληξία, που μπορεί να είναι θανατηφόρα, ιδιαίτερα για ευάλωτους πληθυσμούς όπως οι ηλικιωμένοι και εκείνοι με προϋπάρχουσες παθήσεις υγείας. Επιπλέον, η αυξημένη συχνότητα των κυμάτων καύσωνα επιδεινώνει τις

αναπνευστικές και καρδιαγγειακές παθήσεις, επιβαρύνοντας επιπλέον τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης (Frumkin, 2022).

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων των τυφώνων, των πλημμυρών και των πυρκαγιών, γίνονται όλο και πιο συχνά και σοβαρά λόγω της κλιματικής αλλαγής. Αυτά τα συμβάντα όχι μόνο προκαλούν άμεσους τραυματισμούς και θανάτους, αλλά έχουν και μακροχρόνιες συνέπειες για την υγεία. Οι πλημμύρες, για παράδειγμα, οδηγούν στην εξάπλωση υδατογενών ασθενειών, όπως η χολέρα και η δυσεντερία, καθώς και η μετατόπιση των κοινοτήτων, που μπορεί να οδηγήσει σε κακές συνθήκες διαβίωσης και υψηλότερο κίνδυνο μολυσματικών ασθενειών. Ομοίως, οι πυρκαγιές απελευθερώνουν επιβλαβείς ρύπους στον αέρα, οδηγώντας σε αναπνευστικά προβλήματα και επιδεινώνοντας τις υπάρχουσες αναπνευστικές παθήσεις όπως το άσθμα. Οι ασθένειες που μεταδίδονται με φορείς, όπως η ελονοσία, ο δάγκειος πυρετός και ο λοιμός, είναι επίσης σε άνοδο λόγω του μεταβαλλόμενου κλίματος. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες και τα αλλοιωμένα πρότυπα βροχοπτώσεων δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για τον πολλαπλασιασμό των εντόμων και των τρωκτικών που μεταφέρουν ασθένειες. Αυτές οι ασθένειες όχι μόνο προκαλούν σημαντική νοσηρότητα και θνησιμότητα, αλλά και επιβαρύνουν τα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης και εμποδίζουν την οικονομική ανάπτυξη, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου στο παρελθόν ήταν ασυνήθιστες. Επιπλέον, η κλιματική κρίση επιδεινώνει την επισιτιστική και υδάτινη ανασφάλεια, οδηγώντας σε υποσιτισμό και υψηλότερο κίνδυνο μολυσματικών ασθενειών. Οι αλλαγές στα μοτίβα βροχοπτώσεων μπορεί να οδηγήσουν σε ξηρασίες ή έντονες βροχοπτώσεις, τα οποία διαταράσσουν τη γεωργία και θέτουν σε κίνδυνο την παραγωγή τροφίμων. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε ελλείψεις τροφίμων, ανεπαρκή πρόσληψη θρεπτικών συστατικών και αυξημένη ευαισθησία σε λοιμώξεις. Επιπλέον, τα τροποποιημένα πρότυπα βροχοπτώσεων μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα του νερού, οδηγώντας σε ασθένειες που μεταδίδονται στο νερό και προκλήσεις υγιεινής

(Maibach et al., 2021). Δεν πρέπει να παραβλεφθούν και οι επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης στην ψυχική υγεία. Οι καταστροφές και οι περιβαλλοντικές αλλαγές μπορούν να προκαλέσουν ψυχολογική δυσφορία, άγχος και κατάθλιψη, ιδιαίτερα σε κοινότητες που επηρεάζονται άμεσα από αυτά τα γεγονότα. Η απώλεια σπιτιών, μέσων διαβίωσης και αγαπημένων προσώπων μπορεί να οδηγήσει σε θλίψη και διαταραχή μετατραυματικού στρες. Επιπλέον, η αβεβαιότητα και ο φόβος που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή μπορούν να συμβάλουν στο οικολογικό άγχος, μια χρόνια κατάσταση αγωνίας σχετικά με το μέλλον του πλανήτη (Patz, 2016).

Η αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής κρίσης στην υγεία απαιτεί επείγουσα δράση σε πολλαπλά μέτωπα. Οι προσπάθειες μετριασμού για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για τον περιορισμό της έκτασης της κλιματικής αλλαγής και των σχετικών κινδύνων για την υγεία. Οι στρατηγικές προσαρμογής, όπως η βελτίωση των υποδομών υγειονομικής περίθαλψης, η ενίσχυση των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης και η εφαρμογή σχεδίων ετοιμότητας έναντι του καύσωνα, είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την προστασία των ευάλωτων πληθυσμών. Επιπλέον, η επένδυση στην έρευνα και την επιτήρηση για την κατανόηση και την παρακολούθηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υγεία είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική πρόληψη και αντιμετώπιση.

Συνολικά, η κλιματική κρίση συνιστά σημαντικές απειλές για την ανθρώπινη υγεία. Από τις ασθένειες και τους τραυματισμούς που σχετίζονται με τη ζέστη που προκαλούνται από ακραία καιρικά φαινόμενα έως την εξάπλωση μολυσματικών ασθενειών και τις προκλήσεις ψυχικής υγείας, οι καταστροφικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται ήδη αισθητές παγκοσμίως. Απαιτείται επείγουσα και συντονισμένη δράση για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, την προσαρμογή στις συνέπειές της και τη διασφάλιση της υγείας και της ευημερίας των σημερινών και των μελλοντικών γενεών (Kadandale et al., 2020).

1.6. Σκοπός

Ο αντίκτυπος της κλιματικής κρίσης στον πολλαπλασιασμό των παθογόνων μικροοργανισμών τόσο στο περιβάλλον όσο και στις πηγές τροφίμων είναι ένας πολύπλευρος και κρίσιμος τομέας μελέτης. Η παρούσα ανασκόπηση είχε ως στόχο την ανάλυση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας και τα ευρήματα της έρευνας για να αποσαφηνίσει τις πιθανές οδούς μέσω των οποίων η κλιματική αλλαγή μπορεί να συμβάλει στην αυξημένη επικράτηση παθογόνων μικροοργανισμών. Το πεδίο εφαρμογής περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών παραγόντων και παραγόντων που σχετίζονται με τα τρόφιμα, συμπεριλαμβανομένων των μεταβολών της θερμοκρασίας, των βροχοπτώσεων, των ακραίων καιρικών φαινομένων και των αλλαγών στα οικοσυστήματα (EPA, 2017; Levy et al., 2018). Με τη διερεύνηση αυτών των αλληλένδετων παραγόντων, η παρούσα ανασκόπηση επιδιώκει να παρέχει μια λεπτομερή κατανόηση της πολύπλοκης δυναμικής μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης των παθογόνων μικροοργανισμών, συμβάλλοντας στην επιστημονική κατανόηση της περίπλοκης σχέσης μεταξύ της κλιματικής κρίσης και της κλιμάκωσης των παθογόνων μικροοργανισμών, τόσο σε περιβαλλοντικά όσο και σε διατροφικά πλαίσια.

Με τη σύνθεση και την ανάλυση ενός ποικίλου φάσματος μελετών, η ανασκόπηση παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση της τρέχουσας κατάστασης της γνώσης, εντοπίζοντας κενά, πρότυπα και τάσεις στην υπάρχουσα έρευνα. Αυτή η ολιστική κατανόηση είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη ενημερωμένων στρατηγικών για τον μετριασμό των κινδύνων για την υγεία που συνδέονται με το μεταβαλλόμενο κλίμα. Οι πληροφορίες από αυτήν την ανασκόπηση ενδέχεται να παρέχουν πληροφορίες για την ανάπτυξη προσαρμοστικών μέτρων, εκστρατειών ευαισθητοποίησης του κοινού και στοχευμένων παρεμβάσεων για την προστασία των ευάλωτων πληθυσμών από την πιθανή αύξηση των ασθενειών και των περιβαλλοντικών απειλών για την υγεία που επιδεινώνονται από την

κλιματική αλλαγή. Επιπλέον, η παρούσα ανασκόπηση επιδιώκει να προωθήσει τον διεπιστημονικό διάλογο ενσωματώνοντας γνώσεις από την περιβαλλοντική επιστήμη, τη δημόσια υγεία, τη μικροβιολογία και την επιστήμη του κλίματος. Η διασυνδεδεμένη φύση της κλιματικής αλλαγής και των παθογόνων μικροοργανισμών απαιτεί μια συλλογική προσέγγιση για την αντιμετώπιση των πολύπλευρων προκλήσεων που θέτουν αυτά τα φαινόμενα. Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας αναμένεται να χρησιμεύσουν στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής, τους ερευνητές και τα ενδιαφερόμενα μέρη που συμμετέχουν ενεργά στις προσπάθειες για την άμβλυνση των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής κρίσης στη δημόσια υγεία.

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Μεθοδολογία

Για το σκοπό της παρούσας εργασίας πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση των κυριότερων ερευνών που σχετίζονται με το εξεταζόμενο θέμα. Η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας διευκολύνει την ανάπτυξη θεωρητικών πλαισίων, εννοιολογικών μοντέλων και ερευνητικών ερωτημάτων, θέτοντας έτσι μια γερή βάση για νέες έρευνες. Χρησιμοποιώντας αυστηρές στρατηγικές αναζήτησης, σχολαστική ανάλυση και συστηματική σύνθεση, η βιβλιογραφική ανασκόπηση αποτελεί μια απαραίτητη μεθοδολογία, επιτρέποντας στους ερευνητές να αξιοποιήσουν την υπάρχουσα γνώση και να συμβάλουν στην πρόοδο των αντίστοιχων πεδίων τους (Papaioannou et al., 2016; Thomas et al., 2020).

Η αναζήτηση έλαβε χώρα στις ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων PubMed, Scopus και Scholar.

Η στρατηγική αναζήτησης ενσωμάτωσε έναν συνδυασμό λέξεων-κλειδιών κλειδιά όπως: *Climate change, Pathogenic microorganisms, Foodborne diseases, Environmental health, Temperature variations, Precipitation patterns, Extreme weather events, Ecosystem shifts, Contamination pathways* και *Public health risks*.

Άρθρα και πρωτογενείς έρευνες που έχουν δημοσιευτεί τις τελευταίες δύο δεκαετίες συμπεριλήφθησαν στην παρούσα ανασκόπηση. Επίσης συμπεριλήφθησαν μελέτες που επικεντρώνονται σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές και οικοσυστήματα για την καταγραφή ποικίλων επιπτώσεων που σχετίζονται με το κλίμα. Άρθρα που δεν έχουν αξιολογηθεί από ομοτίμους και μελέτες που δεν είναι διαθέσιμες στα αγγλικά καθώς και όσες δεν σχετίζονται με τη συγκεκριμένη σχέση της κλιματικής αλλαγής και των παθογόνων μικροοργανισμών εξαιρέθηκαν. Οι επιλεγμένες μελέτες αναλύθηκαν για την εξαγωγή βασικών ευρημάτων και τον εντοπισμό προτύπων και τάσεων. Η σύνθεση των πληροφοριών οργανώθηκε θεματικά, επιτρέποντας μια συνεκτική παρουσίαση των σχέσεων μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και του πολλαπλασιασμού των παθογόνων μικροοργανισμών, τόσο στο περιβάλλον (ατμόσφαιρα, ύδατα, γεωργία) όσο και στα τρόφιμα.

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: Αποτελέσματα

3.1. Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στο υδάτινο περιβάλλον

Πολλοί επιστήμονες ανά τον κόσμο ασχολούνται με τη μελέτη της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στα φυσικά υδάτινα οικοσυστήματα. Οι Baker-Austin et al. (2017) διερεύνησαν ένα εξαιρετικά ασυνήθιστο περιστατικό μεγάλου αριθμού λοιμώξεων από *Vibrio* που αναφέρθηκαν σε παράκτιες κομητείες μεγάλου γεωγραφικού πλάτους στη Βόρεια Ευρώπη το καλοκαίρι του 2014. Για να αξιολογήσουν τον πιθανό ρόλο των ακραίων καιρικών φαινομένων στην εμφάνιση και τη δυναμική της νόσου *Vibrio* στη Φινλανδία και τη Σουηδία, ανέλυσαν τα επιδημιολογικά δεδομένα παράλληλα με τις μακροχρόνιες καταγραφές θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας. Χρησιμοποίησαν επίσης δεδομένα που προέρχονται από δορυφόρους για να ελέγξουν εξονυχιστικά τις συνθήκες θερμοκρασίας και τις αλλαγές στην περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας. Εξέτασαν επίσης ημερήσια δεδομένα από 6 σταθερές θέσεις στην περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας, οι οποίες περιελάμβαναν τα μεταβατικά ύδατα μεταξύ της νότιας Σουηδίας και της Δανίας, των νοτιοανατολικών και μεσοανατολικών ακτών της Βαλτικής της Σουηδίας και του κόλπου της Βοθνίας (βόρεια Βαλτική) και της νότιας ακτή της Φινλανδίας. Για να αξιολογήσουν τη σημασία των κλιματολογικών δεδομένων από το καλοκαίρι του 2014, χρησιμοποίησαν επίσης μακροπρόθεσμα ωκεανογραφικά σύνολα δεδομένων, σε συνδυασμό με *in situ* μετρήσεις, από το Φινλανδικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο. Χρησιμοποίησαν επίσης μετρήσεις σε παράκτιες περιοχές στην περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας. Οι συγγραφείς κατέληξαν πως το ακραίο κύμα καύσωνα στη βόρεια Σκανδιναβία το καλοκαίρι του 2014 οδήγησε σε άνευ προηγουμένου υψηλές θερμοκρασίες στην επιφάνεια της θάλασσας, οι οποίες φαίνεται να ευθύνονται για την εμφάνιση των βακτηρίων *Vibrio* σε αυτά τα γεωγραφικά πλάτη και των αντίστοιχων εξαιρετικά ασυνήθιστων περιστατικών μεγάλου αριθμού λοιμώξεων.

Σε μία άλλη μελέτη, οι Kireziena et al. (2015) σκιαγραφούν τα ευρήματα από μια μελέτη των Delphi με στόχο τη δημιουργία γνώσεων από μια προοπτική συστημάτων σχετικά με την ανταπόκριση στην κλιματική αλλαγή όσον αφορά την ασφάλεια των τροφίμων των φρέσκων προϊόντων. Η μελέτη εντόπισε πιέσεις στην ασφάλεια των τροφίμων των νωπών προϊόντων στην πρωτογενή παραγωγή που σχετίζονται με τη μόλυνση των πηγών νερού και του περιβάλλοντος παραγωγής με μικροοργανισμούς, υπολείμματα φυτοφαρμάκων, μυκοτοξίνες και βαρέα μέταλλα λόγω έντονων βροχοπτώσεων και πλημμυρών, ξηρασιών, αυξημένης θερμοκρασίας και αλλαγής της εποχικότητας. Η πρώτη απάντηση σε αυτές τις πιέσεις πραγματοποιείται από τις βασικές δραστηριότητες ελέγχου που εφαρμόζονται στο αγρόκτημα και εξαρτάται από την τρέχουσα εφαρμογή και την πραγματική λειτουργία τους. Οι εμπειρογνώμονες τόνισαν την ανάγκη ενίσχυσης δραστηριοτήτων, όπως ο έλεγχος του νερού (συμπεριλαμβανομένης της επεξεργασίας του νερού και η παρακολούθηση της ποιότητας), η μέθοδος άρδευσης, η διαχείριση φυτοφαρμάκων (και τα διαστήματα πριν από τη συγκομιδή), οι απαιτήσεις προσωπικής υγιεινής και ο έλεγχος (ψυχρή) αποθήκευσης. Τονίστηκε η επικύρωση της αποτελεσματικότητας των δραστηριοτήτων ελέγχου για τις μεταβαλλόμενες συνθήκες, η καθοδήγηση και η εκπαίδευση των αγροτών. Επιπλέον, προτάθηκαν στρατηγικές απόκρισης για τις εκμεταλλεύσεις για να αντιμετωπίσουν τις πιέσεις αμέσως μετά την εμφάνιση τους και να προσαρμοστούν μακροπρόθεσμα με υποστήριξη σε κοινοτικό επίπεδο. Οι εμπειρογνώμονες που συμμετείχαν αντιπροσώπευαν χώρες από τον βορρά με βιομηχανικά συστήματα τροφίμων και από τον νότο, με δομημένα και παραδοσιακά συστήματα τροφίμων. Εκτίμησαν την πιθανότητα των περισσότερων πιέσεων ως υψηλότερες για τις χώρες από τον νότο, κάτι που εξηγήθηκε από τις υπάρχουσες στρατηγικές αντίδρασης στον βορρά. Προτάθηκε ότι οι ικανότητες προσαρμογής και αντιμετώπισης των εταιρειών, περιοχών και τομέων καθορίζονται από τις τρέχουσες διαθέσιμες στρατηγικές προσαρμογής

και αντιμετώπισης. Οι πιέσεις για την ασφάλεια των τροφίμων μπορεί να διαφέρουν ανά εταιρεία, αλυσίδα εφοδιασμού, περιοχή και τομέα λόγω της μεταβλητότητας των τρωτών κλιματικών προβλημάτων, των δραστηριοτήτων ελέγχου και της ικανότητας προσαρμογής. Οι ίδιοι συγγραφείς υποστηρίζουν ότι οι μελλοντικές δράσεις προσαρμογής θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη το πλαίσιο χωρών, τομέων και εταιρειών, επομένως, να επικεντρώνονται στη βελτίωση της προσαρμοστικής ικανότητας από την άποψη των συστημάτων.

Μία μετα-ανάλυση των επιπτώσεων της θερμοκρασίας και της αλατότητας του νερού στην αύξηση του *Vibrio parahaemolyticus* σε ακατέργαστα στρείδια και νερά συγκομιδής έλαβε χώρα από τους Young et al. (2015). Οι συγγραφείς έψαξαν σε τέσσερις βιβλιογραφικές βάσεις δεδομένων και στη συνέχεια, δύο ανεξάρτητοι κριτές εξέτασαν 953 αναφορές ως προς τη συνάφεια και εξήγαγαν δεδομένα από 120 σχετικά άρθρα. Σε 19 άρθρα δόθηκαν επαρκή δεδομένα για μετα-ανάλυση. Η μετα-ανάλυση τυχαίων επιδράσεων, η αξιολόγηση της ποιότητας των αποδεικτικών στοιχείων και η μετα-παλινδρομη (όπου ισχύει) διεξήχθησαν σε μοναδικά υποσύνολα δεδομένων που αναφέρουν συντελεστές συσχέτισης για τις σχέσεις ενδιαφέροντος. Εντοπίστηκε θετική συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας του νερού και του *V. parahaemolyticus* στα στρείδια ($r = 0,58$, 95% CI: 0,47 έως 0,68) και του νερού ($r = 0,60$, 95% CI: 0,47 έως 0,70). Ωστόσο, και οι δύο αναλύσεις ήταν σημαντικά ετερογενείς ($I^2 = 74\%$ και $I^2 = 75\%$, αντίστοιχα), κάτι που δεν εξηγήθηκε από τις μεταβλητές που αξιολογήθηκαν. Δεν εντοπίστηκε σταθερή σχέση για την αλατότητα του νερού. Εντοπίστηκε χαμηλή και πολύ χαμηλή ποιότητα για τις σχέσεις θερμοκρασίας νερού και αλατότητας, ανεξάρτητα από τα μέσα δειγματοληψίας. Λόγω ανεπαρκούς αναφοράς και διαθεσιμότητας, οι συγγραφείς δεν μπόρεσαν να πραγματοποιήσουν μετα-ανάλυση των συντελεστών παλινδρόμησης για άμεση συμπερίληψη στο μοντέλο αξιολόγησης κινδύνου. Ωστόσο, η διαδικασία σύνθεσης παρείχε μια δομημένη και διαφανή αξιολόγηση των αποδεικτικών στοιχείων για να επιβεβαιωθούν οι συσχετίσεις μεταξύ της θερμοκρασίας του

νερού και του *V. parahaemolyticus* και να υποδειχθεί ότι δεν υπάρχει συνεπής συσχέτιση μεταξύ της αλατότητας και της αύξησης του *V. parahaemolyticus*.

Η αυξανόμενη ανησυχία σχετικά με τον ρόλο του κλίματος στην πρόκληση βακτηριακών υδατογενών μολυσματικών ασθενειών, οδήγησε τους Baker-Austin et al. (2013) σε συσχετισμούς μεταξύ περιβαλλοντικών αλλαγών που παρατηρούνται στην περιοχή της Βαλτικής και της εμφάνισης μολύνσεων από *Vibrio*. Οι ίδιοι συγγραφείς επίσης προέβλεψαν μελλοντικά σενάρια κινδύνου μολύνσεων σε αντιστοιχία με τις προβλεπόμενες τάσεις της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων (πολυδεκαετία μακροπρόθεσμα σύνολα δεδομένων θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας). Διαπιστώθηκε ότι η Βαλτική Θάλασσα θερμαίνεται με πρωτοφανή ρυθμό. Οι τάσεις της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (1982–2010) υποδεικνύουν ένα μοτίβο θέρμανσης $0,063\text{--}0,078\text{ }^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ ($6,3\text{--}7,8^{\circ}\text{C}$ ανά αιώνα). Αυτά τα μοτίβα θέρμανσης συνέπεσαν με την απροσδόκητη εμφάνιση λοιμώξεων του *Vibrio* στη βόρεια Ευρώπη, πολλές συγκεντρωμένες γύρω από την περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας. Ο αριθμός και η κατανομή των κρουσμάτων αντιστοιχεί στενά με τις χρονικές και χωρικές κορυφές στις θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας. Αυτή είναι μια από τις πρώτες εμπειρικές ενδείξεις ότι η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή οδηγεί την εμφάνιση της νόσου του *Vibrio* σε εύκρατες περιοχές μέσω των επιπτώσεών της στις μόνιμες βακτηριακές κοινότητες, υπονοώντας ότι αυτή η διαδικασία αναδιαμορφώνει την κατανομή των μολυσματικών ασθενειών σε παγκόσμια κλίμακα.

Χρησιμοποιώντας ένα σύνολο νέων μοριακών μεθόδων, οι Vezzulli et al. (2012), εξέτασαν σύνολα δεδομένων πλαγκτού από τον καταγραφέα πλαγκτού (Continuous Plankton Recorder - CPR) από τη δεκαετία του 1960 και μετά. Οι συγγραφείς εντόπισαν μια σημαντική αύξηση της αφθονίας *Vibrio* στη Βόρεια Θάλασσα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 και μετά, η οποία αντιστοιχούσε τόσο χρονικά όσο και χωρικά με μια αύξηση στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας στην περιοχή. Μεταξύ των

περιβαλλοντικών μεταβλητών, η αυξημένη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας εξήγησε το 45% της διακύμανσης στα δεδομένα του *Vibrio*, υποστηρίζοντας την άποψη ότι η υπερθέρμανση των ωκεανών ευνοεί την εξάπλωση τους και μπορεί να είναι η αιτία της παγκόσμιας αυξανόμενης τάσης των σχετικών ασθενειών που προκαλούν. Αυτή η μελέτη είναι μοναδική στο ότι παρέχει μακροπρόθεσμα μοριακά μικροβιολογικά δεδομένα σχετικά με αυτά τα παθογόνα, αλλά στο πλαίσιο ενός μεταβαλλόμενου κλιματικού συστήματος.

Το *Vibrio parahaemolyticus* αποτελεί την κύρια αιτία γαστρεντερίτιδας στις Η.Π.Α. λόγω κατανάλωσης ωμών στρειδιών που συλλέγονται από εκβολές με ζεστά νερά. Οι McLaughlin et al. (2012) εξέτασαν μια αναγνωρισμένη εστία μόλυνσης από *V. parahaemolyticus* που σχετίζεται με την κατανάλωση θαλασσινών από την Αλάσκα. Οι συμμετέχοντες στην έρευνα ήταν 132. Το 17% πληρούσε τον ορισμό της περίπτωσης για γαστρεντερίτιδα. Η ενεργός επιτήρηση εντόπισε συνολικά 62 ασθενείς με γαστρεντερίτιδα. Ο O6:K18 του *V. parahaemolyticus* απομονώθηκε από την πλειονότητα των ασθενών που εξετάστηκαν και από περιβαλλοντικά δείγματα στρειδιών. Όλα τα στρείδια που σχετίζονται με το ξέσπασμα συγκομίστηκαν όταν οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες του νερού ξεπέρασαν τους 15,0°C (το θεωρητικό όριο για τον κίνδυνο της ασθένειας *V. parahaemolyticus* από την κατανάλωση ωμών στρειδιών). Από το 1997, οι μέσες θερμοκρασίες του νερού τον Ιούλιο και τον Αύγουστο στο εμπλεκόμενο οικοσύστημα στρειδιών αυξήθηκαν κατά 0,21°C ετησίως ($P < 0,001$ με γραμμική παλινδρόμηση). Το 2004 ήταν το μόνο έτος κατά το οποίο οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες τον Ιούλιο και τον Αύγουστο στο οστρακοτροφείο δεν έπεσαν κάτω από τους 15,0°C. Η έρευνά του επεκτείνει κατά 1000 km, στη βορειότερη τεκμηριωμένη πηγή στρειδιών που προκάλεσε ασθένειες λόγω του *V. parahaemolyticus*. Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού των ωκεανών φαίνεται ότι συνέβαλε σε ένα από τα μεγαλύτερα γνωστά κρούσματα του *V. parahaemolyticus* στις Ηνωμένες Πολιτείες. Το στρες που παράγεται στους θαλάσσιους

οργανισμούς από τις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής αντανακλάται σε μοριακό επίπεδο κυττάρων, επηρεάζοντας τη συγκέντρωση του μεταβολίτη, την έκφραση των πρωτεϊνών και τις τροποποιήσεις τους (Piñeiro, Cañas & Carrera, 2010). Η μελέτη της κλιματικής αλλαγής μπορεί να εκμεταλλευτεί αυτές τις μοριακές αλλαγές, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως πηγή πιθανών βιοδεικτών της εξέλιξής της. Είναι δυνατό να θεωρηθεί η πρωτεομική (η πρωτεομική (Proteomics) αναφέρεται στην ανάλυση του συνόλου των πρωτεϊνών εντός ενός βιολογικού δείγματος). ως ένα απαραίτητο επιστημονικό σύνολο μεθοδολογιών με τεράστιες δυνατότητες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην παραγωγή τροφίμων και πιο συγκεκριμένα στην παραγωγή θαλασσινών (Piñeiro, Cañas & Carrera, 2010).

Μέσα από μια μεγάλη βάση δεδομένων, οι Miraglia et al. (2009) διερεύνησαν ζητήματα ασφάλειας των τροφίμων που επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη. Μεταξύ των προβλημάτων που εντοπίστηκαν είναι και οι θαλάσσιες βιοτοξίνες στα θαλασσινά μετά την παραγωγή φυκοτοξινών από επιβλαβή φύκη. Οι Paz et al. (2007) διερεύνησαν μια πιθανή σχέση μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της εμφάνισης ασθενειών, στηριζόμενοι σε ένα σημαντικό ανεξήγητο ξέσπασμα συστηματικής λοίμωξης *Vibrio vulnificus* που ξέσπασε μεταξύ των εργαζομένων στην ιχθυαγορά του Ισραήλ, το 1996. Αναλύθηκαν τα δεδομένα της μετεωρολογικής υπηρεσίας από το 1981, η παλαιότερη ανίχνευση και αναφορά του *V. vulnificus* για την εποχή στο Ισραήλ, έως το 1998 για δύο σταθμούς που βρίσκονται εντός της κύριας βιομηχανίας ιχθυοτροφείων της ενδοχώρας. Τα καλοκαίρια 1996-1998 αναγνωρίστηκαν ως τα θερμότερα που έχουν καταγραφεί ποτέ στο Ισραήλ τα τελευταία χρόνια. Χρονικές σειρές μηνιαίων ελάχιστων, μέγιστες και μέσες θερμοκρασίες παρουσίασαν σημαντική αύξηση στις καλοκαιρινές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια 18 ετών. Η υψηλότερη τιμή ελάχιστης θερμοκρασίας καταγράφηκε το καλοκαίρι του 1996. Η ανάλυση αποκάλυψε σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών θερμοκρασίας

και των ημερομηνιών εισαγωγής στο νοσοκομείο. Το ξέσπασμα της νόσου εμφανίστηκε 25-30 ημέρες μετά τις ακραίες συνθήκες ζέστης το καλοκαίρι του 1996, με καθυστέρηση 3 εβδομάδων το καλοκαίρι του 1997, ενώ τα αποτελέσματα για το 1998 ήταν σε καθυστέρηση μικρότερη από μία εβδομάδα. Υψηλότερα αποτελέσματα εντοπίστηκαν για τις ημερήσιες ελάχιστες θερμοκρασίες το καλοκαίρι του 1996 συμβατές με την έκρηξη της νόσου. Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι η υψηλή θερμοκρασία του νερού μπορεί να έχει επηρεάσει την οικολογία της περιοχής μελέτης και να έχει προκαλέσει την εμφάνιση της νόσου, ως αποτέλεσμα της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής.

Πίνακας 1. Διερεύνηση μεταβολών σε μικροοργανισμούς στο υδάτινο περιβάλλον/θαλάσσια οικοσυστήματα λόγω κλιματικής αλλαγής

Συγγραφείς	Σκοπός	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα
Baker-Austin et al. (2017)	Διερεύνηση ενός ασυνήθιστου περιστατικού μεγάλου αριθμού λοιμώξεων από <i>Vibrio</i> που αναφέρθηκαν σε παράκτιες περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους στη Βόρεια Ευρώπη το καλοκαίρι του 2014	1) Ανάλυση επιδημιολογικών δεδομένων παράλληλα με τις μακροχρόνιες καταγραφές θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας. 2) Δεδομένα που προέρχονται από δορυφόρους για έλεγχο συνθηκών θερμοκρασίας και τις αλλαγές στην περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας. 3) Ημερήσια δεδομένα από 6 σταθερές θέσεις στην περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας, οι οποίες περιελάμβαναν τα μεταβατικά ύδατα μεταξύ της νότιας Σουηδίας και της Δανίας, των νοτιοανατολικών και μεσοανατολικών ακτών της Βαλτικής της Σουηδίας και του κόλπου της Βοθνίας (βόρεια Βαλτική) και της νότιας ακτή της Φινλανδίας. 4) Μακροπρόθεσμα ωκεανογραφικά σύνολα δεδομένων, σε συνδυασμό με in situ μετρήσεις, από το Φινλανδικό Μετεωρολογικό Ινστιτούτο. 5) Μετρήσεις σε παράκτιες	Το ακραίο κύμα καύσωνα στη βόρεια Σκανδιναβία το καλοκαίρι του 2014 οδήγησε σε άνευ προηγουμένου υψηλές θερμοκρασίες στην επιφάνεια της θάλασσας, οι οποίες φαίνεται να ευθύνονται για την εμφάνιση των βακτηρίων <i>Vibrio</i> σε αυτά τα γεωγραφικά πλάτη και των αντίστοιχων περιστατικών μεγάλου αριθμού λοιμώξεων.

		περιοχές στην περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας	
Kirezieva et al. (2015)	Διερεύνηση των πιέσεων στην ασφάλεια των νωπών προϊόντων λόγω της κλιματικής αλλαγής	Κρίση εμπειρογνομόνων-Δημιουργία πληροφοριών/δεδομένων από μια προοπτική συστημάτων σχετικά με το αν τα γεγονότα που προκαλούνται από το κλίμα μπορούν να ασκήσουν πίεση στην ασφάλεια των φρέσκων προϊόντων και ποιες στρατηγικές απόκρισης μπορούν να εφαρμοστούν στην πρωτογενή παραγωγή. Ερευνητικά ερωτήματα: 1) Ποιες αλλαγές στο κλίμα αναμένεται να ασκήσουν πίεση στην ασφάλεια των τροφίμων των νωπών προϊόντων στο εγγύς μέλλον; 2) Ποιες είναι οι πιο σημαντικές και εφικτές στρατηγικές που μπορούν να εφαρμοστούν για να ανταποκριθούν στις πιέσεις; 3) Ποιες στρατηγικές απόκρισης μπορούν να εφαρμοστούν σε επίπεδο εταιρείας και κοινότητας; 4) Ποιες στρατηγικές απόκρισης καθορίζουν την προσαρμοστική ικανότητα των εταιρειών και των περιφερειών και διαφέρουν παγκοσμίως;	Αύξηση της μικροβιακής και χημικής μόλυνσης μέσω του νερού και του περιβάλλοντος ανάπτυξης. Απαιτούνται προσαρμογές στην κλιματική αλλαγή όχι μόνο για τον μετριασμό των φυσικών ζημιών που οδηγούν σε χαμηλότερες αποδόσεις των εμπορευμάτων, αλλά και για τη διασφάλιση της ασφάλειας των τροφίμων. Ένα από τα προϊόντα που είναι ευάλωτα στις κλιματικές αλλαγές είναι τα φρέσκα προϊόντα, επειδή μπορεί να εκτεθούν άμεσα ή έμμεσα σε διαφορετικά κλιματικά γεγονότα που προκαλούν πιέσεις στην ασφάλεια των τροφίμων.
Young et al. (2015)	Διερεύνηση χρησιμότητας μεθόδων μετα-ανάλυσης για τη σύνθεση δεδομένων για ένα σενάριο μελέτης περίπτωσης πιθανών επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων και ενημέρωση ενός συμπληρωματικού μοντέλου αξιολόγησης κινδύνου.	Μετα-ανάλυση, σύνθεση δεδομένων για ένα σενάριο μελέτης περίπτωσης πιθανών επιπτώσεων της αλλαγής του κλίματος σχετικά με την ασφάλεια των τροφίμων	Εντοπίστηκε θετική συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας του νερού και του <i>V. parahaemolyticus</i> στα στρείδια ($r = 0,58$, 95% CI: 0,47 έως 0,68) και του νερού ($r = 0,60$, 95% CI: 0,47 έως 0,70). Δεν εντοπίστηκε σταθερή σχέση για την αλατότητα του νερού. Εντοπίστηκε χαμηλή και πολύ χαμηλή ποιότητα για τις σχέσεις θερμοκρασίας νερού και αλατότητας, ανεξάρτητα από τα μέσα δειγματοληψίας. Λόγω ανεπαρκούς αναφοράς και διαθεσιμότητας, δεν κατέστη δυνατή η μετα-ανάλυση των συντελεστών παλινδρόμησης για άμεση συμπερίληψη στο μοντέλο αξιολόγησης κινδύνου.
Baker-Austin et al. (2013)	Διερεύνηση του ρόλου του	Συσχετισμοί μεταξύ περιβαλλοντικών αλλαγών που	1) Διαπιστώθηκε ότι η Βαλτική Θάλασσα θερμαίνεται με πρωτοφανή ρυθμό. Οι

	κλίματος στην πρόκληση βακτηριακών υδατογενών μολυσματικών ασθενειών.	παρατηρούνται στην περιοχή της Βαλτικής και της εμφάνισης μολύνσεων από <i>Vibrio</i> και επίσης προβλέπουμε μελλοντικά σενάρια κινδύνου μολύνσεων σε αντιστοιχία με τις προβλεπόμενες τάσεις θέρμανσης. Χρησιμοποιώντας πολυδεκαετία μακροπρόθεσμα σύνολα δεδομένων θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας	τάσεις της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας (1982–2010) υποδεικνύουν ένα μοτίβο θέρμανσης $0,063-0,078\text{ }^{\circ}\text{C yr}^{-1}$ ($6,3-7,8^{\circ}\text{C}$ ανά αιώνα) 2) Αυτά τα μοτίβα θέρμανσης συνέπεσαν με την απροσδόκητη εμφάνιση λοιμώξεων από <i>Vibrio</i> στη βόρεια Ευρώπη, πολλές συγκεντρωμένες γύρω από την περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας. 3) Ο αριθμός και η κατανομή των κρουσμάτων αντιστοιχεί στενά με τις χρονικές και χωρικές κορυφές στις θερμοκρασίες της επιφάνειας της θάλασσας 4) Εμπειρική ένδειξη ότι η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή οδηγεί την εμφάνιση της νόσου από <i>Vibrio</i> σε εύκρατες περιοχές μέσω των επιπτώσεων της στις μόνιμες βακτηριακές κοινότητες, υπονοώντας ότι αυτή η διαδικασία αναδιαμορφώνει την κατανομή των μολυσματικών ασθενειών σε παγκόσμια κλίμακα.
McLaughlin et al. (2012)	Διερεύνηση αιτιών γαστρεντερίτιδας σε επιβάτες κρουαζιερόπλοιου	Μελέτη κοόρτης μεταξύ των επιβατών, καθώς και ενεργή επιτήρηση σε όλη την Αλάσκα για τον εντοπισμό πρόσθετων κρουσμάτων και μια περιβαλλοντική μελέτη για τον εντοπισμό των πηγών του <i>V. parahaemolyticus</i> και των συμμετεχόντων στο ξέσπασμα.	1) Σχεδόν οι μισοί από τους συμμετέχοντες εμφάνισαν συμπτώματα γαστρεντερίτιδας 2) Στην ανάλυση πολλαπλής λογιστικής παλινδρόμησης, η κατανάλωση ωμών στρειδιών ήταν ο μόνος σημαντικός προγνωστικός παράγοντας ασθένειας. 3) Από το 1997, οι μέσες θερμοκρασίες του νερού τον Ιούλιο και τον Αύγουστο στο εμπλεκόμενο οικοσύστημα στρειδιών αυξήθηκαν κατά $0,21^{\circ}\text{C}$ ετησίως 4) Η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού των ωκεανών φαίνεται ότι συνέβαλε σε ένα από τα μεγαλύτερα γνωστά κρούσματα του <i>V. parahaemolyticus</i> στις Ηνωμένες Πολιτείες.
Vezzulli et al. (2012)	Διερεύνηση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων της θέρμανσης των ωκεανών στα βακτήρια του γένους <i>vibro</i>	Μοριακή ανάλυση στη βακτηριακή κοινότητα σε δείγματα σταθεροποιημένα με φορμαλίνη από το ιστορικό αρχείο Continuous Plankton Recorder, το οποίο είναι μια από τις μεγαλύτερες και πιο εκτεταμένες γεωγραφικά συλλογές θαλάσσιων βιολογικών δειγμάτων στον κόσμο.	1) Από το 1980 και έπειτα, τα θαλάσσια βακτήρια του γένους <i>Vibrio</i> , συμπεριλαμβανομένου του <i>Vibrio cholerae</i> , αυξήθηκαν σε κυριαρχία στη βακτηριακή κοινότητα της Βόρειας Θάλασσας που σχετίζεται με το πλαγκτόν, όπου αναφέρθηκε μια άνευ προηγουμένου αύξηση των λοιμώξεων κολύμβησης που σχετίζονται με αυτά τα βακτήρια. 2) Μεταξύ των περιβαλλοντικών μεταβλητών, η αυξημένη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας εξήγησε το 45% της διακύμανσης στα δεδομένα του <i>Vibrio</i> , υποστηρίζοντας την άποψη ότι η υπερθέρμανση των ωκεανών ευνοεί την εξάπλωση τους και μπορεί να είναι η αιτία της παγκόσμιας αυξανόμενης τάσης των σχετικών ασθενειών που προκαλούν.

Piñeiro, Cañas & Carrera (2010)	Διερεύνηση μεθόδων διαχείρισης της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στα θαλασσινά	Κρίση εμπειρογνομόνων / ερευνητών	Είναι δυνατό να θεωρηθεί η πρωτοομική ως ένα απαραίτητο επιστημονικό σύνολο μεθοδολογιών με τεράστιες δυνατότητες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην παραγωγή τροφίμων και πιο συγκεκριμένα στην παραγωγή θαλασσινών.
Miraglia et al. (2009)	Διερεύνηση ζητημάτων ασφάλειας των τροφίμων που επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη	Κρίση εμπειρογνομόνων / ερευνητών	Παρουσιάστηκαν θαλάσσιες βιοτοξίνες στα θαλασσινά.
Paz et al. (2007)	Διερεύνηση μιας πιθανής σχέσης μεταξύ της κλιματικής αλλαγής και της εμφάνισης ασθενειών, στηριζόμενοι σε ένα σημαντικό ανεξήγητο ξέσπασμα συστηματικής λοίμωξης <i>Vibrio vulnificus</i> που ξέσπασε μεταξύ των εργαζομένων στην ιχθυαγορά του Ισραήλ, το 1996.	Ανάλυση των δεδομένων της μετεωρολογικής υπηρεσίας από το 1981, η παλαιότερη ανίχνευση και αναφορά του <i>V. vulnificus</i> για την εποχή στο Ισραήλ, έως το 1998 για δύο σταθμούς που βρίσκονται εντός της κύριας βιομηχανίας ιχθυοτροφείων της ενδοχώρας.	1) Τα καλοκαίρια 1996-1998 αναγνωρίστηκαν ως τα θερμότερα που έχουν καταγραφεί ποτέ στο Ισραήλ τα τελευταία χρόνια. 2) Χρονικές σειρές μηνιαίων ελάχιστων, μέγιστες και μέσες θερμοκρασίες παρουσίασαν σημαντική αύξηση στις καλοκαιρινές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια 18 ετών. Η υψηλότερη τιμή ελάχιστης θερμοκρασίας καταγράφηκε το καλοκαίρι του 1996. 3) Η ανάλυση αποκάλυψε σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των τιμών θερμοκρασίας και των ημερομηνιών εισαγωγής στο νοσοκομείο. 4) Το ξέσπασμα της νόσου εμφανίστηκε 25-30 ημέρες μετά τις ακραίες συνθήκες ζέστης το καλοκαίρι του 1996, με καθυστέρηση 3 εβδομάδων το καλοκαίρι του 1997, ενώ τα αποτελέσματα για το 1998 ήταν σε καθυστέρηση μικρότερη από μία εβδομάδα. 5) Η υψηλή θερμοκρασία του νερού μπορεί να έχει επηρεάσει την οικολογία της περιοχής μελέτης και να έχει προκαλέσει την εμφάνιση της νόσου, ως αποτέλεσμα της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής.

3.2. Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στα εδάφη/γεωργία

Οι αλλαγές στο κλίμα θα επηρεάσουν τους οργανισμούς του εδάφους τόσο άμεσα (θέρμανση) όσο και έμμεσα (θέρμανση και αυξημένο CO₂) μέσω αλλαγών στην ποσότητα και την ποιότητα των εισροών C του εδάφους που προέρχονται από φυτά (Pritchard, 2011).

Το αυξημένο ατμοσφαιρικό CO₂ συνήθως διεγείρει τη ροή του οργανικού C στο εδαφικό σύστημα, αυξάνει την παραγωγή ριζών, αλλά μειώνει την ποιότητα των απορριμμάτων. Υπάρχουν λίγες ενδείξεις ότι ο εμπλουτισμός του ατμοσφαιρικού CO₂ θα αυξήσει τη συνολική περιεκτικότητα σε οργανική ύλη του εδάφους, επειδή η μεγαλύτερη ροή C στο έδαφος διεγείρει τον τροφικό ιστό του εδάφους, οδηγώντας συχνά σε ισοδύναμες αυξήσεις στην εκροή CO₂ του εδάφους. Οι επιπτώσεις της θέρμανσης στην κατανομή του C στο έδαφος, από την άλλη πλευρά, θα εξαρτηθούν σε μεγάλο βαθμό από τη βέλτιστη θερμοκρασία διαφορετικών ειδών φυτών. Η θέρμανση είναι πιθανό να αυξήσει τον ρυθμό αποσύνθεσης της οργανικής ύλης του εδάφους διεγείροντας την ετερότροφη αναπνοή του εδάφους. Τα δεδομένα υποδηλώνουν ότι η ροή ενέργειας μέσω των μυκητιακών οδών μπορεί να ενισχυθεί σε σχέση με τα βακτηριακά μονοπάτια τόσο με τη θέρμανση όσο και με τον εμπλουτισμό του ατμοσφαιρικού CO₂. Το αν η στροφή προς την κυριαρχία των μυκήτων στα εδάφη θα αυξήσει την εμφάνιση μυκητιασικών ασθενειών στο έδαφος παραμένει ένα ανοιχτό ερώτημα. Η αντοχή των φυτών στη θερμότητα και την ξηρασία, μαζί με την αντίσταση στα παθογόνα σε θερμότερα και υγρότερα εδάφη, μπορεί να επιτευχθεί, σε κάποιο άγνωστο βαθμό, με την εκμετάλλευση και τη διαχείριση ωφέλιμων οργανισμών του εδάφους. Απαιτείται περαιτέρω μελέτη για να αναπτυχθεί μια πιο ολιστική κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις υπόγειες διαδικασίες.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα φυτά και οι ασθένειες που προκαλούν έχουν εξεταστεί σε ορισμένα συστήματα. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει ακόμα περισσότερο την ανάπτυξη των παθογόνων και τα ποσοστά επιβίωσης και να τροποποιήσουν την ευαισθησία του ξενιστή, με αποτέλεσμα αλλαγές στον αντίκτυπο των ασθενειών στις καλλιέργειες (Paterson & Lima, 2010). Οι επιπτώσεις αυτών των κλιματικών αλλαγών θα διαφέρουν ανά σύστημα και γεωγραφική περιοχή. Αυτές οι αλλαγές μπορεί να επηρεάσουν όχι μόνο τις βέλτιστες συνθήκες για μόλυνση αλλά και την ειδικότητα του

ξενιστή και τους μηχανισμούς μόλυνσης των φυτών. Οι συγγραφείς κατέγραψαν με βάση τα στοιχεία και την έρευνά τους, τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (στη θερμοκρασία, τις συγκεντρώσεις CO₂ και όζοντος, τη βροχόπτωση και την ξηρασία) στη βιολογία των παθογόνων και την ικανότητά τους να μολύνουν τα φυτά και να επιβιώνουν σε φυσικά και γεωργικά περιβάλλοντα. Η αλλαγή των αβιοτικών συνθηκών θα επηρεάσει επίσης το μικροκλίμα που περιβάλλει τα φυτά και την ευαισθησία των φυτών στη μόλυνση. Αυτές οι μεταβαλλόμενες συνθήκες αναμένεται να επηρεάσουν τις μικροβιακές κοινότητες στα συστήματα του εδάφους, αλλάζοντας πιθανώς τα ευεργετικά αποτελέσματα αυτών των κοινοτήτων που παρατηρούνται σήμερα. Επειδή τόσο τα παθογόνα όσο και τα φυτά ξενιστές θα επηρεαστούν από το μεταβαλλόμενο κλίμα, τις δραματικές αλλαγές στο μέγεθος της έκφρασης της νόσου σε ένα δεδομένο σύστημα και τη γεωγραφική κατανομή συγκεκριμένων φυτικών ασθενειών, αναμένονται ασθένειες από κάθε καλλιέργεια. Αυτές οι αλλαγές θα επηρεάσουν τα μέτρα που χρησιμοποιούν οι αγρότες για την αποτελεσματική διαχείριση ασθενειών, καθώς και τη σκοπιμότητα συγκεκριμένων συστημάτων καλλιέργειας σε συγκεκριμένες περιοχές (Paterson & Lima, 2010).

Η παγκόσμια κλιματική αλλαγή είχε, και θα συνεχίσει να έχει, πολλές σημαντικές επιπτώσεις στα βιολογικά και ανθρώπινα συστήματα. Υπάρχουν τώρα πολλές μελέτες για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα αεροαλλεργιογόνα, ιδιαίτερα στη γύρη, συμπεριλαμβανομένης μιας μελέτης που καταδεικνύει σημαντικές αυξήσεις στο κύριο περιεχόμενο αλλεργιογόνων της γύρης αμβροσίας ως συνάρτηση της αυξανόμενης συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα (CO₂). Πρόσφατη έρευνα έχει επίσης δείξει περισσότερο αλλεργιογόνο δηλητηριώδη κισσό ως απάντηση στο αυξημένο (CO₂). Οι Beggs & Walczyk (2008) πρότειναν τη δυνατότητα της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, και, ειδικότερα, του αυξημένου CO₂ και της θερμοκρασίας, να έχει αντίκτυπο στην αλλεργιογένεση των αλλεργιογόνων φυτικών τροφίμων, όπως τα φιστίκια. Τέτοιες

επιπτώσεις θα μπορούσαν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε σχετιζόμενες αλλεργικές ασθένειες και να αποτελούν μια μη αναγνωρισμένη προηγουμένως απειλή για την ανθρώπινη υγεία. Υπάρχει επείγουσα ανάγκη για έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα αλλεργιογόνα των φυτικών τροφίμων.

Σύμφωνα με τη γενική συναίνεση, το παγκόσμιο κλίμα αλλάζει, γεγονός που μπορεί επίσης να επηρεάσει τη γεωργική και κτηνοτροφική παραγωγή. Οι Miraglia et al. (2009) διερεύνησαν ζητήματα ασφάλειας των τροφίμων που επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη, μέσα από μια μεγάλη βάση δεδομένων. Μεταξύ των προβλημάτων που εντοπίστηκαν είναι οι μυκοτοξίνες που σχηματίζονται σε φυτικά προϊόντα στο χωράφι ή κατά την αποθήκευση, υπολείμματα φυτοφαρμάκων σε φυτικά προϊόντα που επηρεάζονται από αλλαγές στην πίεση των παρασίτων· ιχνοστοιχεία ή/και βαρέα μέταλλα σε φυτικά προϊόντα ανάλογα με τις αλλαγές στην αφθονία και τη διαθεσιμότητά τους στο έδαφος, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες σε τρόφιμα μετά από αλλαγές στην ατμοσφαιρική μεταφορά μεγάλης εμβέλειας και εναπόθεση στο περιβάλλον και την παρουσία παθογόνων βακτηρίων στα τρόφιμα μετά από συχνότερες ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως πλημμύρες και κύματα καύσωνα. Είναι ευρέως γνωστό ότι οι ωφέλιμοι μικροοργανισμοί που σχετίζονται με τα φυτά μπορεί να διεγείρουν την ανάπτυξη των φυτών και να ενισχύσουν την αντοχή σε ασθένειες και το αβιοτικό στρες. Οι επιπτώσεις των παραγόντων της κλιματικής αλλαγής όπως το αυξημένο CO₂, η ξηρασία και η θέρμανση στις ευεργετικές και μη αλληλεπιδράσεις φυτών-μικροοργανισμών διερευνώνται όλο και περισσότερο. Αυτό καθιστά πλέον δυνατό να ελεγχθεί εάν εμφανίζονται ορισμένα γενικά πρότυπα και εάν διαφορετικές ομάδες μικροοργανισμών που σχετίζονται με φυτά ανταποκρίνονται διαφορετικά ή με τον ίδιο τρόπο στην κλιματική αλλαγή. Οι Compant, Van Der Heijden & Sessitsch (2010) εξέτασαν τα αποτελέσματα 135 μελετών που διερευνούν τις επιπτώσεις των παραγόντων της κλιματικής αλλαγής σε μικροοργανισμούς και την

αλληλεπίδρασή τους με τα φυτά ξενιστές. Η πλειονότητα των μελετών έδειξε ότι το αυξημένο CO₂ είχε θετική επίδραση στην αφθονία των θυροειδών και εκτομοκορριζικών μυκήτων, ενώ οι επιδράσεις στα βακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών και στους ενδοφυτικούς μύκητες ήταν πιο μεταβλητές. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι μικροοργανισμοί που σχετίζονται με τα φυτά είχαν ευεργετική επίδραση στα φυτά με αυξημένο CO₂. Οι επιδράσεις της αυξημένης θερμοκρασίας σε μικροοργανισμούς που σχετίζονται με τα φυτά ήταν πιο μεταβλητές, θετικές και ουδέτερες και οι αρνητικές επιδράσεις ήταν εξίσου κοινές και διέφεραν σημαντικά με το σύστημα μελέτης και το εύρος θερμοκρασίας που ερευνήθηκε. Επιπλέον, πολυάριθμες μελέτες έδειξαν ότι οι μικροοργανισμοί που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών (τόσο τα βακτήρια όσο και οι μύκητες) επηρέασαν θετικά τα φυτά που υπόκεινται σε στρες ξηρασίας (Van Der Heijden & Sessitsch, 2010).

Η πιθανότητα μόλυνσης από πράσινα φυλλώδη λαχανικά (LGV) και η σχετική ανάπτυξη και επιβίωση των παθογόνων σχετίζονται έντονα με τις κλιματικές συνθήκες. Ιδιαίτερα η αύξηση της θερμοκρασίας και οι αλλαγές στο πρότυπο της βροχόπτωσης έχουν στενή σχέση όχι μόνο με την τύχη και τη μεταφορά των εντερικών βακτηρίων, αλλά και με την ανάπτυξη και την επιβίωσή τους. Χρησιμοποιώντας όλη τη σχετική βιβλιογραφία, οι Liu, Hofstra & Franz, (2013) συνέθεσαν τις σημαντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (αυξήσεις θερμοκρασίας και αλλαγές στο πρότυπο βροχοπτώσεων) σε πηγές μόλυνσης (κοπριά, έδαφος, επιφανειακά ύδατα, λύματα και άγρια ζωή) και οδούς τροφιμογενών παθογόνων (εστιάζοντας στο *E. coli* O157 και *Salmonella* spp.) σε προ-συλλεγμένα πράσινα φυλλώδη λαχανικά. Πηγές μόλυνσης (π.χ. χώμα, κοπριά, νερό κ.λπ.) και μονοπάτια (άρδευση, πιτσίλισμα, επαφή με κόπρανα κ.λπ.) του *E. coli* O157 και του *Salmonella* spp. σε LGV εντοπίστηκαν. Στη συνέχεια αναλύθηκαν οι θετικές και αρνητικές επιπτώσεις των αυξήσεων της θερμοκρασίας και οι αλλαγές στο πρότυπο βροχόπτωσης στον επιπολασμό

των παθογόνων σε κάθε πηγή και μονοπάτι μόλυνσης. Η θερμοκρασία πιθανότατα αυξάνεται παντού, αλλά τα μοτίβα βροχοπτώσεων διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ανά περιοχή. Οι ήδη άνυδρες περιοχές αναμένεται να γίνουν πιο ξηρές, ενώ οι υγρές περιοχές αναμένεται να γίνουν πιο υγρές και τα ακραία φαινόμενα βροχοπτώσεων αναμένεται να συμβαίνουν συχνότερα σε όλο τον κόσμο. Αυτές οι αλλαγές έχουν θετικές και αρνητικές επιπτώσεις στις πηγές και τις οδούς μόλυνσης που επηρεάζουν την επιβίωση *E. coli O157* και *Salmonella spp.* σε κοπριά, έδαφος και νερό. Το εάν η κλιματική αλλαγή αυξάνει τον επιπολασμό τους εξαρτάται όχι μόνο από το προκύπτον τοπικό ισοζύγιο των θετικών και αρνητικών επιπτώσεων, αλλά και από τα επιλεγμένα περιφερειακά σενάρια κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, οι κίνδυνοι μόλυνσης είναι πιθανό να αυξηθούν. Οι συγγραφείς υπέδειξαν την ανάγκη για ποσοτικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης με αναλύσεις σεναρίων και πρόσθετα εργαστηριακά πειράματα και πως η κλιματική αλλαγή δεν πρέπει να αγνοηθεί στη διαχείριση και την έρευνα για την ασφάλεια των τροφίμων (Liu, Hofstra & Franz, 2013).

Οι Marvin et al. (2013), παρουσίασαν πιθανές άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις των ακραίων κλιματικών συνθηκών καθώς και άλλων σοβαρών καιρικών και υδρο-μετεωρολογικών γεγονότων στην εμφάνιση κινδύνων στα τρόφιμα που παράγονται από διάφορα γεωργικά συστήματα. Επιπλέον, εξέτασαν τη δυνατότητα εφαρμογής των συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για την ασφάλεια των τροφίμων που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές, με ακραία συμβάντα που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή. Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι, με την καλύτερη χρήση των διαθέσιμων πληροφοριών (συστήματα εστιασμένα σε φυτά, ζώα, ανθρώπινες ασθένειες, που παρακολουθούν τις καιρικές συνθήκες και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες ή/και συστήματα που συλλέγουν δημοσιεύσεις στο διαδίκτυο), ο αρνητικός αντίκτυπος των σοβαρών φυσικών γεγονότων στα τρόφιμα η ασφάλεια μπορεί να ελαχιστοποιηθεί.

Επίσης έχει τονιστεί πως οι κλιματικές παράμετροι, συμπεριλαμβανομένων του ατμοσφαιρικού CO₂, της θερμοκρασίας και της ξηρασίας επηρεάζουν την αλληλεπίδραση φυτού-ιχνοστοιχείων σε μολυσμένα εδάφη. Οι συγγραφείς έδειξαν ότι η πρόβλεψη του τρόπου με τον οποίο η αλληλεπίδραση φυτών-ιχνοστοιχείων ανταποκρίνεται στην αλλαγή της κλιματικής αλλαγής είναι κρίσιμη για την επιλογή κατάλληλων φυτών που θα είναι σε θέση να παράγουν περισσότερο και να ανέχονται συνθήκες πολλαπλών στρες χωρίς συσσώρευση τοξικών βαρέων μετάλλων για μελλοντική ασφάλεια τροφίμων (Rajkumar et al., 2013). Οι Van der Spiegel et al. (2012) ανέλυσαν την επίδραση της κλιματικής αλλαγής στους αναδυόμενους κινδύνους για την ασφάλεια των τροφίμων στην αλυσίδα παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε μια ολιστική προσέγγιση για την επιλογή κρίσιμων παραγόντων εντός και εκτός της παραγωγικής αλυσίδας που επηρεάζονται από κλιματικούς παράγοντες. Διεξήχθη μια μελέτη κρίσης εμπειρογνομόνων για τον εντοπισμό και την ταξινόμηση των πιο σημαντικών κρίσιμων παραγόντων σε σχέση με τους αναδυόμενους κινδύνους για την ασφάλεια των τροφίμων στην ολλανδική αλυσίδα παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων. Τα αποτελέσματα περιελάμβαναν σημαντικούς κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση κινδύνων για την ασφάλεια των τροφίμων όταν το κλίμα θα αλλάξει σε μεταβλητές και ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως αύξηση της θερμοκρασίας και υπερβολικές βροχοπτώσεις. Οι ειδικοί ανέφεραν θέματα που σχετίζονται με τις ζωοτροφές (πρώτες ύλες, βοσκότοπους, ενσίρωση, αποθήκευση και παραγωγή σύνθετων ζωοτροφών) και την υγεία των ζώων ως τους σημαντικότερους κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση κινδύνων για την ασφάλεια των τροφίμων λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η παραγωγή ζωοτροφών και η υγεία των ζώων πρέπει να παρακολουθούνται στενά προκειμένου να προβλεφθούν οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Van der Spiegel et al., 2012).

Η μελέτη των Zhang et al. (2015) συγκέντρωσε 465 εργασίες σχετικά με τα ποσοστά ρύπανσης από βαρέα μέταλλα (η αναλογία των δειγμάτων που υπερβαίνουν τα όρια Βαθμού II για τα κινεζικά εδάφη, το Πρότυπο Εδαφικής Περιβαλλοντικής Ποιότητας-1995) σε καλλιεργήσιμο εδάφους σε όλη την Κίνα. Τα αποτελέσματα της κρίσης των ερευνητών έδειξαν ότι το Cd είχε το υψηλότερο ποσοστό ρύπανσης 7,75%, ακολουθούμενο από το Hg, Cu, Ni και Zn. Το Pb και το Cr είχαν τα χαμηλότερα ποσοστά ρύπανσης κάτω από 1%. Το συνολικό ποσοστό ρύπανσης στο έδαφος της κινεζικής γεωργικής γης ήταν 10,18%, κυρίως από Cd, Hg, Cu και Ni. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες της εξόρυξης, της βιομηχανίας, της άρδευσης με λύματα, της αστικής ανάπτυξης και της εφαρμογής λιπασμάτων απελευθέρωσαν ορισμένες ποσότητες βαρέων μετάλλων στο έδαφος, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα τη μόλυνση του εδάφους των καλλιεργειών. Οι συγγραφείς λαμβάνοντας υπόψη τις χωρικές διακυμάνσεις της παραγωγής σιτηρών, περίπου το 13,86% της παραγωγής σιτηρών επηρεάστηκε λόγω της ρύπανσης στο γεωργικό έδαφος (Zhang et al., 2015).

Παγκοσμίως, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει ήδη τη βιολογία και την οικολογία ορισμένων οργανισμών λόγω των μεταβαλλόμενων προτύπων στη φυτική παραγωγή και την εντατικοποίηση της κτηνοτροφίας, καθώς και της αλλαγής των οδών μεταφοράς των χημικών ρύπων. Κατά συνέπεια, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιδεινώσει τα προβλήματα ασφάλειας των ζωοτροφών και των τροφίμων σε όλες τις φάσεις παραγωγής και προμήθειας τροφίμων. Οι αυξήσεις της θερμοκρασίας και οι αλλαγές στα πρότυπα βροχοπτώσεων θα έχουν αντίκτυπο στα πρότυπα εμφάνισης βακτηρίων, ιών, παρασίτων, μυκήτων και επιβλαβών φυκών και τα πρότυπα των αντίστοιχων τροφιμογενών ασθενειών τους και τον κίνδυνο τοξικής μόλυνσης. Τα χημικά υπολείμματα φυτοφαρμάκων και κτηνιατρικών φαρμάκων σε φυτικά και ζωικά προϊόντα θα επηρεαστούν από αλλαγές στην πίεση των παρασίτων. Οι κίνδυνοι για τα τρόφιμα από βαρέα μέταλλα και οργανικούς ρύπους (δηλαδή διοξίνες, πολυχλωριωμένα διφαινύλια) θα μπορούσαν να αυξηθούν μετά

από αλλαγές στο έδαφος και ατμοσφαιρικές μεταφορές μεγάλης εμβέλειας, αν και οι ποσοτικές εκτιμήσεις είναι σπάνιες (Herrera et al., 2016).

Όπως καθορίστηκε από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή, η θέρμανση του κλιματικού συστήματος είναι ξεκάθαρη και έχει συνδεθεί με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας, τη μειωμένη ποσότητα πάγου και χιονιού και την αύξηση της θερμοκρασίας των ωκεανών και της ατμόσφαιρας. Τέτοιες κλιματικές αλλαγές έχουν σημαντικό αντίκτυπο στα στάδια και τους ρυθμούς ανάπτυξης τοξικών μυκήτων και μπορούν να τροποποιήσουν τις αλληλεπιδράσεις της αντίστασης ξενιστή και του παθογόνου ξενιστή, επηρεάζοντας επίσης βαθιά τις συνθήκες παραγωγής μυκοτοξίνης που ποικίλλουν για κάθε μεμονωμένο παθογόνο. Επιπλέον, οι νέοι συνδυασμοί μυκοτοξινών/φυτών ξενιστών/γεωγραφικών περιοχών στρέφονται στην προσοχή της επιστημονικής κοινότητας και απαιτούν νέα διαγνωστικά εργαλεία και βαθύτερη γνώση τόσο της βιολογίας όσο και της γενετικής των τοξικογόνων μυκήτων. Οι Moretti, Pascale & Logrieco (2019) υπογραμμίζουν ότι η επέκταση του κινδύνου μόλυνσης από αφλατοξίνες στον αραβόσιτο στη Νότια και την Κεντρική Ευρώπη είναι πολύ πιθανή τα επόμενα 30 χρόνια, λόγω των ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών για την ανάπτυξη του *Aspergillus flavus*. Επιπλέον, το προφίλ του μυκοτοξογόνου είδους *Fusarium* στο σιτάρι στην Ευρώπη βρίσκεται σε συνεχή αλλαγή στη Βόρεια, Κεντρική και Νότια Ευρώπη με μια ανησυχητική αυξανόμενη μόλυνση του *F. graminearum* στην Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη (Moretti, Pascale & Logrieco, 2019).

Έχει επίσης εντοπιστεί μια συσχέτιση μεταξύ παθογόνων μικροοργανισμών και κλιματικής αλλαγής στην ασφάλεια των τροφίμων (Grace et al., 2019). Τα νεκροτροφικά και βιοτροφικά παθογόνα παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά όσον αφορά τη διατροφή τους. Τα πρώτα λαμβάνουν θρεπτικά συστατικά από νεκρούς ιστούς, ενώ τα δεύτερα αντλούν θρεπτικά συστατικά από ζωντανά κύτταρα και διατηρούν μια παρατεταμένη και βαθιά αλληλεπίδραση με τον ξενιστή τους. Επομένως, όλοι οι κλιματικοί παράγοντες που

προκαλούν ή επιταχύνουν τον θάνατο των ιστών, τις υψηλές θερμοκρασίες ή τα επίπεδα O_3 , θα μπορούσαν να ευνοήσουν τα νεκροτροφικά παθογόνα. Επιπλέον, κλιματικοί παράγοντες που διεγείρουν την ανάπτυξη των φυτών, όπως τα αυξημένα επίπεδα CO_2 ή η αυξημένη θερμοκρασία, θα μπορούσαν πιθανότατα να αλλάξουν τη φυσιολογία του φυτού, αλλάζοντας τον αποικισμό του ξενιστή από βιοτροφικά παθογόνα. Η αποσύνθεση των απορριμμάτων υψηλής περιεκτικότητας σε CO_2 συμβαίνει με χαμηλό ρυθμό, αυξάνοντας τη διαθεσιμότητα βιομάζας, η οποία σε συνδυασμό με υψηλότερες θερμοκρασίες το χειμώνα, μπορεί να αυξήσει την επιβίωση των παθογόνων στα υπολείμματα των καλλιεργειών και να μολύνει τις επόμενες καλλιέργειες.

Σήμερα, το περιβάλλον μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη και την ευαισθησία του φυτού ξενιστή, την αναπαραγωγή παθογόνων, τη διασπορά, την επιβίωση και τη δραστηριότητα, καθώς και την αλληλεπίδραση ξενιστή-παθογόνου. Το κλασικό τρίγωνο της νόσου δημιουργεί τις συνθήκες για την ανάπτυξη της νόσου, που είναι η αλληλεπίδραση ενός ευαίσθητου ξενιστή, ενός παθογόνου και ενός ευνοϊκού περιβάλλοντος, δεδομένης της κλιματικής αλλαγής. Αυτή η σχέση αποδεικνύεται στον ορισμό της ίδιας της ασθένειας των φυτών. Μια ασθένεια των φυτών είναι μια δυναμική διαδικασία κατά την οποία ένας ξενιστής και ένα παθογόνο που σχετίζεται στενά με το περιβάλλον επηρεάζονται αμοιβαία, με αποτέλεσμα μορφολογικές και φυσιολογικές αλλαγές (Grace et al., 2019).

Πίνακας 2. Διερεύνηση μεταβολών σε μικροοργανισμούς στα τρόφιμα (γεωργία/κτηνοτροφία) λόγω κλιματικής αλλαγής

Συγγραφείς	Σκοπός	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα
Grace et al. (2019)	Ανάλυση και επεξήγηση της συσχέτισης μεταξύ παθογόνων μικροοργανισμών και κλιματικής αλλαγής στην ασφάλεια των τροφίμων	Κρίση εμπειρογνομόνων / ερευνητών μέσω ανασκοπήσεων	Όλοι οι κλιματικοί παράγοντες που προκαλούν ή επιταχύνουν τον θάνατο των ιστών, τις υψηλές θερμοκρασίες ή τα επίπεδα O_3 , θα μπορούσαν να ευνοήσουν τα νεκροτροφικά παθογόνα. Οι κλιματικοί παράγοντες που διεγείρουν την ανάπτυξη των φυτών, όπως τα αυξημένα επίπεδα CO_2 ή η αυξημένη θερμοκρασία, θα μπορούσαν πιθανότατα να αλλάξουν τη φυσιολογία του φυτού, αλλάζοντας τον αποικισμό του ξενιστή από

			βιοτροφικά παθογόνα
Moretti, Pascale & Logrieco (2019)	Διερεύνηση κινδύνων μυκοτοξίνης υπό ένα σενάριο κλιματικής αλλαγής στην Ευρώπη.	Κρίση εμπειρογνομόνων / ερευνητών	Η επέκταση του κινδύνου μόλυνσης από αφλατοξίνες στον αραβόσιτο στη Νότια και την Κεντρική Ευρώπη είναι πολύ πιθανή τα επόμενα 30 χρόνια, λόγω των ευνοϊκών κλιματικών συνθηκών για την ανάπτυξη του <i>Aspergillus flavus</i> . Το προφίλ του μυκοτοξογόνου είδους <i>Fusarium</i> στο σιτάρι στην Ευρώπη βρίσκεται σε συνεχή αλλαγή στη Βόρεια, Κεντρική και Νότια Ευρώπη με μια ανησυχητική αυξανόμενη μόλυνση του <i>F. graminearum</i> στην Κεντρική και Βόρεια Ευρώπη
Herrera et al. (2016)	Καταγραφή πιθανών αλλαγών και επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής σε φυτικά και ζωικά προϊόντα	Κρίση εμπειρογνομόνων / ερευνητών	Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιδεινώσει τα προβλήματα ασφάλειας των ζωοτροφών και των τροφίμων σε όλες τις φάσεις παραγωγής και προμήθειας τροφίμων. Οι αυξήσεις της θερμοκρασίας και οι αλλαγές στα πρότυπα βροχοπτώσεων θα έχουν αντίκτυπο στα πρότυπα εμφάνισης βακτηρίων, ιών, παρασίτων, μυκήτων και επιβλαβών φυκών και τα πρότυπα των αντίστοιχων τροφιμογενών ασθενειών τους και τον κίνδυνο τοξικής μόλυνσης. Τα χημικά υπολείμματα φυτοφαρμάκων και κτηνιατρικών φαρμάκων σε φυτικά και ζωικά προϊόντα θα επηρεαστούν από αλλαγές στην πίεση των παρασίτων. Οι κίνδυνοι για τα τρόφιμα από βαρέα μέταλλα και οργανικούς ρύπους (δηλαδή διοξίνες, πολυχλωριωμένα διφαινύλια) θα μπορούσαν να αυξηθούν μετά από αλλαγές στο έδαφος και ατμοσφαιρικές μεταφορές μεγάλης εμβέλειας, αν και οι ποσοτικές εκτιμήσεις είναι σπάνιες
Zhang et al. (2015)	Διερεύνηση μόλυνσης γεωργικών εδαφών εξαιτίας ανθρωπογενών παρεμβάσεων και κλιματικής αλλαγής.	Κρίση εμπειρογνομόνων / ερευνητών από 465 εργασίες σχετικά με τα ποσοστά ρύπανσης από βαρέα μέταλλα (η αναλογία των δειγμάτων που υπερβαίνουν τα όρια Βαθμού II για τα κινεζικά εδάφη, το Πρότυπο Εδαφικής Περιβαλλοντικής Ποιότητας-1995) σε καλλιεργήσιμο εδάφους σε όλη την Κίνα.	Το Cd είχε το υψηλότερο ποσοστό ρύπανσης 7,75%, ακολουθούμενο από το Hg, Cu, Ni και Zn. Το Pb και το Cr είχαν τα χαμηλότερα ποσοστά ρύπανσης κάτω από 1%. Το συνολικό ποσοστό ρύπανσης στο έδαφος ήταν 10,18%, κυρίως από Cd, Hg, Cu και Ni. Οι ανθρώπινες δραστηριότητες της εξόρυξης, της βιομηχανίας, της άρδευσης με λύματα, της αστικής ανάπτυξης και της εφαρμογής λιπασμάτων απελευθέρωσαν ορισμένες ποσότητες βαρέων μετάλλων στο έδαφος, γεγονός που είχε ως αποτέλεσμα τη μόλυνση του εδάφους των καλλιεργειών. Το 13,86% της παραγωγής σιτηρών επηρεάστηκε λόγω της ρύπανσης στο γεωργικό έδαφος
Liu, Hofstra & Franz (2013)	Διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (αυξήσεις θερμοκρασίας και αλλαγές στο πρότυπο	Κρίση εμπειρογνομόνων / ερευνητών Ανάλυση επιπτώσεων των αυξήσεων της θερμοκρασίας και οι αλλαγές στο πρότυπο βροχόπτωσης στον	Πηγές μόλυνσης (π.χ. χώμα, κοπριά, νερό κ.λπ.) και μονοπάτια (άρδευση, πιτσίλισμα, επαφή με κόπρανα κ.λπ.) του <i>E. coli</i> O157 και του <i>Salmonella</i> spp. εντοπίστηκαν. Η θερμοκρασία πιθανότατα αυξάνεται παντού, αλλά τα μοτίβα βροχοπτώσεων διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό ανά περιοχή. Οι ήδη άνυδρες

	βροχοπτώσεων) σε πηγές μόλυνσης (κοπριά, έδαφος, επιφανειακά ύδατα, λύματα και άγρια ζωή) και οδούς τροφιμογενών παθογόνων (εστιάζοντας στο <i>E. coli</i> O157 και <i>Salmonella</i> spp.) σε προ-συλλεγμένα πράσινα φυλλώδη λαχανικά	επιπολασμό των παθογόνων σε κάθε πηγή και μονοπάτι μόλυνσης	περιοχές αναμένεται να γίνουν πιο ξηρές, ενώ οι υγρές περιοχές αναμένεται να γίνουν πιο υγρές και τα ακραία φαινόμενα βροχοπτώσεων αναμένεται να συμβαίνουν συχνότερα σε όλο τον κόσμο. Αυτές οι αλλαγές έχουν θετικές και αρνητικές επιπτώσεις στις πηγές και τις οδούς μόλυνσης που επηρεάζουν την επιβίωση <i>E. coli</i> O157 και <i>Salmonella</i> spp. σε κοπριά, έδαφος και νερό. Το εάν η κλιματική αλλαγή αυξάνει τον επιπολασμό εξαρτάται όχι μόνο από το προκύπτον τοπικό ισοζύγιο των θετικών και αρνητικών επιπτώσεων, αλλά και από τα επιλεγμένα περιφερειακά σενάρια κλιματικής αλλαγής. Ανάγκη για ποσοτικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης με αναλύσεις σεναρίων και πρόσθετα εργαστηριακά πειράματα. Η κλιματική αλλαγή δεν πρέπει να αγνοηθεί στη διαχείριση και την έρευνα για την ασφάλεια των τροφίμων.
Marvin et al. (2013)	Έγκαιρη προειδοποίηση για πιθανές επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής στην ασφάλεια των τροφίμων	Κρίση εμπειρογνομόνων / ερευνητών	Με την καλύτερη χρήση των διαθέσιμων πληροφοριών (συστήματα εστιασμένα σε φυτά, ζώα, ανθρώπινες ασθένειες που παρακολουθούν τις καιρικές συνθήκες και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες ή/και συστήματα που συλλέγουν δημοσιεύσεις στο διαδίκτυο), ο αρνητικός αντίκτυπος των σοβαρών φυσικών γεγονότων στα τρόφιμα η ασφάλεια μπορεί να ελαχιστοποιηθεί.
Rajkumar et al. (2013)	Διερεύνηση πώς οι κλιματικές παράμετροι, συμπεριλαμβανομένων του CO₂, της θερμοκρασίας και της ξηρασίας επηρεάζουν την αλληλεπίδραση φυτού-ιχνοστοιχείων σε μολυσμένα εδάφη.	Κρίση εμπειρογνομόνων / ερευνητών	Η πρόβλεψη του τρόπου με τον οποίο η αλληλεπίδραση φυτών-ιχνοστοιχείων ανταποκρίνεται στην αλλαγή της κλιματικής αλλαγής είναι κρίσιμη για την επιλογή κατάλληλων φυτών που θα είναι σε θέση να παράγουν περισσότερο και να ανέχονται συνθήκες στρες χωρίς συσσώρευση τοξικών βαρέων μετάλλων, για μελλοντική ασφάλεια τροφίμων.
Van der Spiegel et al. (2012)	Διερεύνηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στους αναδυόμενους κινδύνους για την ασφάλεια των τροφίμων στην αλυσίδα παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων	Μελέτη κρίσης (εμπειρογνομόνων) για τον εντοπισμό και την ταξινόμηση των πιο σημαντικών κρίσιμων παραγόντων σε σχέση με τους αναδυόμενους κινδύνους για την ασφάλεια των τροφίμων στην ολλανδική αλυσίδα παραγωγής γαλακτοκομικών προϊόντων	Οι ειδικοί ανέφεραν θέματα που σχετίζονται με τις ζωοτροφές (πρώτες ύλες, βοσκότοπους, ενσίρωση, αποθήκευση και παραγωγή σύνθετων ζωοτροφών) και την υγεία των ζώων ως τους σημαντικότερους κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν την εμφάνιση κινδύνων για την ασφάλεια των τροφίμων λόγω της κλιματικής αλλαγής.
Pritchard (2011)	Καταγραφή πιθανών αλλαγών	Κρίση εμπειρογνομόνων / ερευνητών	1) Η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει τους οργανισμούς του εδάφους τόσο άμεσα (θέρμανση)

	και επιπτώσεων κλιματικής αλλαγής στους οργανισμούς των εδαφών		όσο και έμμεσα (θέρμανση και αυξημένο CO ₂) μέσω αλλαγών στην ποσότητα και την ποιότητα των εισροών C του εδάφους που προέρχονται από φυτά. 2) Τα δεδομένα υποδηλώνουν ότι η ροή ενέργειας μέσω των μυκητιακών οδών μπορεί να ενισχυθεί σε σχέση με τα βακτηριακά μονοπάτια τόσο με τη θέρμανση όσο και με τον εμπλουτισμό του ατμοσφαιρικού CO ₂ . Το αν η στροφή προς την κυριαρχία των μυκήτων στα εδάφη θα αυξήσει την εμφάνιση μυκητιασικών ασθενειών στο έδαφος παραμένει ένα ανοιχτό ερώτημα.
Compant, Van Der Heijden & Sessitsch (2010)	Διερεύνηση των επιπτώσεων των παραγόντων της κλιματικής αλλαγής σε μικροοργανισμούς και την αλληλεπίδρασή τους με τα φυτά ξενιστές	Εξέταση και ανάλυση των αποτελεσμάτων 135 μελετών που διερευνούν τις επιπτώσεις των παραγόντων της κλιματικής αλλαγής σε μικροοργανισμούς και την αλληλεπίδρασή τους με τα φυτά ξενιστές	Η πλειονότητα των μελετών έδειξε ότι το αυξημένο CO ₂ είχε θετική επίδραση στην αφθονία των θυροειδών και εκτομοκορριζικών μυκήτων Οι επιδράσεις στα βακτήρια που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών και στους ενδοφυτικούς μύκητες ήταν πιο μεταβλητές. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι μικροοργανισμοί που σχετίζονται με τα φυτά είχαν ευεργετική επίδραση στα φυτά με αυξημένο CO ₂ . Οι επιδράσεις της αυξημένης θερμοκρασίας σε μικροοργανισμούς που σχετίζονται με τα φυτά ήταν πιο μεταβλητές, θετικές και ουδέτερες και οι αρνητικές επιδράσεις ήταν εξίσου κοινές και διέφεραν σημαντικά με το σύστημα μελέτης και το εύρος θερμοκρασίας που ερευνήθηκε. Πολυάριθμες μελέτες έδειξαν ότι οι μικροοργανισμοί που προάγουν την ανάπτυξη των φυτών (τόσο τα βακτήρια όσο και οι μύκητες) επηρέασαν θετικά τα φυτά που υπόκεινται σε στρες ξηρασίας.
Paterson & Lima (2010)	Περιγραφή των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (θερμοκρασία, συγκεντρώσεις CO ₂ και όζοντος, βροχόπτωση και ξηρασία) στη βιολογία των παθογόνων μικροοργανισμών και την ικανότητά τους να μολύνουν τα φυτά και να επιβιώνουν σε φυσικά και γεωργικά περιβάλλοντα.	Κρίση εμπειρογνομώνων / ερευνητών	1) Η αλλαγή των αβιοτικών συνθηκών θα επηρεάσει τη βιολογία των παθογόνων μικροοργανισμών, το μικροκλίμα που περιβάλλει τα φυτά και την ευαισθησία των φυτών στη μόλυνση. 2) Αυτές οι μεταβαλλόμενες συνθήκες αναμένεται να επηρεάσουν τις μικροβιακές κοινότητες στα συστήματα του εδάφους, αλλάζοντας πιθανώς τα ευεργετικά αποτελέσματα αυτών των κοινοτήτων 3) Επειδή τόσο τα παθογόνα όσο και τα φυτά ξενιστές θα επηρεαστούν από το μεταβαλλόμενο κλίμα, αναμένονται ασθένειες
Miraglia et al. (2009)	Διερεύνηση ζητημάτων ασφάλειας των	Κρίση εμπειρογνομώνων / ερευνητών	Τα ζητήματα που εντοπίστηκαν είναι: μυκοτοξίνες, υπολείμματα φυτοφαρμάκων σε φυτικά προϊόντα, ιχνοστοιχεία και/ή βαρέα

	τροφίμων που επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή στην Ευρώπη		μέταλλα σε φυτικά προϊόντα, πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες στα τρόφιμα., παρουσία παθογόνων βακτηρίων στα τρόφιμα
Beggs & Walczyk (2008)	Διερεύνηση της δυνατότητας της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, και, ειδικότερα, του αυξημένου CO ₂ και της θερμοκρασίας, να έχει αντίκτυπο στην αλλεργιογένεση των αλλεργιογόνων φυτικών τροφίμων	Κρίση εμπειρογνομόνων / ερευνητών	Πρότειναν τη δυνατότητα της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, και, ειδικότερα, του αυξημένου CO ₂ και της θερμοκρασίας, να έχει αντίκτυπο στην αλλεργιογένεση των αλλεργιογόνων φυτικών τροφίμων, όπως τα φιστίκια. Τέτοιες επιπτώσεις θα μπορούσαν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε σχετιζόμενες αλλεργικές ασθένειες και να αποτελούν μια μη αναγνωρισμένη προηγούμενως απειλή για την ανθρώπινη υγεία. Υπάρχει επείγουσα ανάγκη για έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα αλλεργιογόνα των φυτικών τροφίμων.

3.3. Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην ατμόσφαιρα

Είναι καλά τεκμηριωμένο ότι η κλιματική αλλαγή οδηγεί σε επιδείνωση των συμπτωμάτων σε ασθενείς με εγκατεστημένη αλλεργική νόσο. Ασθενείς με χρόνια αλλεργική νόσο του αναπνευστικού όπως το άσθμα και η αλλεργική ρινοεπιπεφυκίτιδα διατρέχουν ιδιαίτερο κίνδυνο λόγω της αυξημένης έκθεσης στη γύρη, καθώς και της αυξημένης συγκέντρωσης και κατανομής των ατμοσφαιρικών ρύπων (Katelaris & Beggs, 2018). Μια αναδρομική μελέτη σχετικά με την αφθονία της αλλεργιογόνου γύρης και την εποχικότητα δημοσιεύθηκε στο τεύχος 2019 του The Lancet Planetary Health. Οι ερευνητές ανέλυσαν παγκόσμια σύνολα δεδομένων που περιέχουν δεδομένα για τη διάρκεια και την ένταση της εποχής της γύρης για 17 τοποθεσίες σε πολλές ηπείρους στο βόρειο ημισφαίριο. Η μελέτη διαπίστωσε αύξηση του ετήσιου φορτίου γύρης για 12 από τις τοποθεσίες, καθώς και σημαντική αύξηση στη διάρκεια της περιόδου γύρης για 11 από τις 17 τοποθεσίες. Οι ετήσιες αυξήσεις στις μέγιστες θερμοκρασίες συσχετίστηκαν σημαντικά με αύξηση του φορτίου γύρης, αποδεικνύοντας τη σύνδεση μεταξύ των δύο φαινομένων (Ziska et al., 2019).

Για να προβλέψουν την επίδραση των αλλαγών του κλίματος και της χρήσης γης στις συγκεντρώσεις της ατμοσφαιρικής γύρης, οι Hamaoui-Laguel et al. (2015) χρησιμοποίησαν δύο ολοκληρωμένα πλαίσια μοντελοποίησης που υπολογίζουν όλους αυτούς τους παράγοντες σε σενάρια υψηλών και μέτριων κλιματικών αλλαγών και χρήσης γης. Οι συγγραφείς συμπέραναν ότι μέχρι το 2050 οι συγκεντρώσεις γύρης αμβροσίας θα είναι περίπου 4 φορές υψηλότερες από ότι το έτος 2015, με ένα εύρος αβεβαιότητας από 2 έως 12, ανάλογα με τις υποθέσεις του ρυθμού διασποράς των σπόρων. Περίπου το ένα τρίτο της αύξησης της ατμοσφαιρικής γύρης οφείλεται στη συνεχιζόμενη διασπορά των σπόρων, ανεξάρτητα από την κλιματική αλλαγή. Τα υπόλοιπα δύο τρίτα σχετίζονται με αλλαγές του κλίματος και της χρήσης γης θα επεκτείνουν την καταλληλότητα των ενδιαιτημάτων αμβροσίας στη βόρεια και ανατολική Ευρώπη και θα αυξήσουν την παραγωγή γύρης σε καθιερωμένες περιοχές αμβροσίας λόγω της αύξησης του CO₂. Ως εκ τούτου, η κλιματική αλλαγή και η διασπορά των σπόρων αμβροσίας σε τρέχουσες και μελλοντικές κατάλληλες περιοχές θα αυξήσουν τις συγκεντρώσεις γύρης στον αέρα, γεγονός που μπορεί κατά συνέπεια να αυξήσει τη συχνότητα και τον επιπολασμό της αλλεργίας σε αμβροσία (Hamaoui-Laguel et al., 2015). Τα κλινικά στοιχεία έδειξαν ότι οι προαναφερθείσες αλλαγές στη γύρη οδήγησαν σε αυξημένη αναπνευστική αλλεργική νόσο, εμφανής από συσχετίσεις μεταξύ της γύρης και των παροξύνσεων της αναπνευστικής νόσου (Katelaris & Beggs, 2018). Οι Erbas et al. (2012) εξέτασαν τη συσχέτιση μεταξύ των αυξανόμενων επιπέδων γύρης του γρασιδιού στο περιβάλλον και των παρουσιάσεων άσθματος στα παιδιά, στη Μελβούρνη της Αυστραλίας. Οι ίδιοι συγγραφείς χρησιμοποίησαν μια σύντομη χρονολογική μελέτη για παρουσιάσεις άσθματος σε παιδιά και μετρήσεις γύρης γρασιδιού, μετεωρολογικές και ατμοσφαιρικές μετρήσεις που καταγράφηκαν κατά την επιλεγμένη περίοδο του 2003. Χρησιμοποιήθηκε ένα ημιπαραμετρικό μοντέλο παλινδρόμησης Poisson για να εξετάσει τις συσχετίσεις δόσης-απόκρισης μεταξύ των ημερήσιων επιπέδων γύρης

χόρτου και της μέσης ημερήσιας παρουσίας άσθματος. Οι συγγραφείς πρότειναν μια συσχέτιση δόσης-απόκρισης. Καθώς η γύρη του περιβάλλοντος γρασιδιού αυξήθηκε σε περίπου 19 κόκκους/m³, ο κίνδυνος εμφάνισης άσθματος στην παιδική ηλικία αυξήθηκε επίσης γραμμικά την ίδια ημέρα ($P < 0,001$). Τα επίπεδα γύρης γρασιδιού συσχετίστηκαν επίσης με αυξημένο κίνδυνο σε παρουσιάσεις άσθματος την επόμενη ημέρα ($P < 0,001$) (Erbas et al., 2012).

Η κλιματική αλλαγή έχει επίσης συνδεθεί με αυξημένες συγκεντρώσεις και κατανομή ατμοσφαιρικών ρύπων όπως το όζον, το μονοξείδιο του αζώτου και άλλες πτητικές οργανικές χημικές ουσίες. Υπάρχει ένας αυξανόμενος όγκος στοιχείων που υποδηλώνουν ότι αυτοί οι ατμοσφαιρικοί περιβαλλοντικοί ρύποι μπορεί να είναι εν μέρει υπεύθυνοι για τη σημαντική αύξηση της αλλεργικής αναπνευστικής νόσου που παρατηρείται στις βιομηχανικές χώρες τις τελευταίες δεκαετίες (D'Amato et al., 2010). Η παγκόσμια επιβάρυνση των αλλεργικών αναπνευστικών ασθενειών πιστεύεται ότι αυξάνεται και οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν υψηλότερο ποσοστό από τις αγροτικές περιοχές, σύμφωνα με τους D'Amato et al. (2010). Η αυξημένη χρήση ενέργειας και οι εκπομπές από τα οχήματα είναι μεταξύ των πολλών αιτιών αυτής της αύξησης της νοσηρότητας που σχετίζεται με την αλλεργική αναπνευστική νόσο. Η ατμοσφαιρική ρύπανση στις πόλεις έχει γίνει πλέον μείζον ζήτημα δημόσιας υγείας. Τα στοιχεία από εργαστηριακές μελέτες που υποστηρίζουν επιδημιολογικά δεδομένα δείχνουν ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει αποδειχθεί ότι βλάπτει τη λειτουργία των πνευμόνων σε άτομα που πάσχουν από άσθμα. Η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να δημιουργήσει συνθήκες που επιτρέπουν την πρόσβαση εισπνεόμενων αλλεργιογόνων στα κύτταρα του ανοσοποιητικού συστήματος, οδηγώντας σε ευαισθητοποίηση των αεραγωγών μέσω βλάβης στον αεραγωγό, στους βλεννογόνους και μειωμένο μηχανισμό κάθαρσης. Ως αποτέλεσμα αυτών των αλλαγών, μια πιο έντονη απόκριση με τη μεσολάβηση ανοσοσφαιρίνης (Ig) έναντι των αερομεταφερόμενων

αλλεργιογόνων και μεγαλύτερη φλεγμονή στον αεραγωγό μπορεί να ευθύνονται για υψηλότερα ποσοστά αλλεργικών αναπνευστικών ασθενειών που καταγράφονται σε μολυσμένες πόλεις. Τρία κύρια συστατικά βρίσκονται σε μεγάλες ποσότητες σε αστικές περιοχές υψηλής κυκλοφορίας: αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του αζώτου και όζον. Επιπλέον, η υπερθέρμανση του πλανήτη της γης επιταχύνεται λόγω ανθρωπογενών δυνάμεων όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και τα αέρια θερμοκηπίου που απελευθερώνονται μέσω της παραγωγής ενέργειας, της μεταφοράς, της μεταποίησης και της γεωργίας. Η αλλαγή του κλίματος τροποποιεί επίσης τις ποσότητες και το πού βρίσκονται οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, συμπεριλαμβανομένης της αλλεργιογόνου γύρης που θα πρέπει να υπάρχει εποχιακά, και τα σταματά αργότερα (D'Amato et al., 2010).

Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι στενά συνδεδεμένη με το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, που προκαλεί την κλιματική αλλαγή. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να προκληθεί από την αύξηση της ποσότητας αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρά μας. Όχι μόνο η υπερθέρμανση του πλανήτη λιώνει τους πάγους και το χιόνι, ανεβάζει τη στάθμη της θάλασσας και πλημμυρίζει τις παράκτιες περιοχές, αλλά οδηγεί επίσης στην τροπικοποίηση των εύκρατων θαλάσσιων οικοσυστημάτων. Επιπλέον, οι επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις ασθένειες των αεραγωγών και των πνευμόνων είναι καλά τεκμηριωμένες, όπως αναφέρει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Αλλεργιών. Οι Patella et al. (2018), αναζήτησαν στην επιστημονική βιβλιογραφία μελέτες που διερευνούν την επίδραση της αλληλεπίδρασης μεταξύ της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής σε αλλεργικές και αναπνευστικές ασθένειες. Οι ίδιοι συγγραφείς τονίζουν ότι από τη δεκαετία του 1990, έχουν δημοσιευτεί πολλά άρθρα και κριτικές σχετικά με αυτό το θέμα, με πολλές μελέτες να επιβεβαιώνουν ότι η θέρμανση του πλανήτη μας προκαλείται από το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» ως αποτέλεσμα της αυξημένης εκπομπής αερίων του «θερμοκηπίου». Η ατμοσφαιρική ρύπανση

συνδέεται επίσης στενά με την υπερθέρμανση του πλανήτη: η εκπομπή προϊόντων καύσης υδρογονανθράκων οδηγεί σε αυξημένες συγκεντρώσεις βιολογικών αλλεργιογόνων όπως η γύρη, δημιουργώντας ένα μείγμα από αυτά τα σωματίδια που ονομάζονται αιωρούμενα σωματίδια (PM). Η υπερθέρμανση του πλανήτη συνδέεται με την εκπομπή προϊόντων καύσης υδρογονανθράκων, καθώς τόσο το διοξείδιο του άνθρακα όσο και η θερμότητα αυξάνουν την εκπομπή γύρης στην ατμόσφαιρα και όλα αυτά τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν τα PM₁₀. Ωστόσο, η κατανόηση των μηχανισμών με τους οποίους τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία είναι ακόμα περιορισμένη. Ως εκ τούτου, αρκετές μελέτες προσπαθούν να προσδιορίσουν τα αίτια της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Υπάρχουν επίσης στοιχεία ότι οι αυξημένες συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων και γύρης μπορούν να ενεργοποιήσουν φλεγμονώδεις μεσολαβητές στους αεραγωγούς (Patella et al., 2018).

Μια παρακολούθηση της μελέτης του Toronto Child Health Evaluation Questionnaire (T-CHQ) διαπίστωσε ότι η έκθεση στο όζον και το διοξείδιο του αζώτου κατά τη γέννηση συσχετίστηκε με 17% αυξημένο κίνδυνο ανάπτυξης άσθματος σε ηλικία περίπου 4 ετών και 7% αυξημένο κίνδυνος για ανάπτυξη εκζέματος στα 3,5 χρόνια. Οι To et al. (2020), σε αυτή τη συνέχεια της μελέτης του Toronto Child Health Evaluation Questionnaire (T-CHEQ), εξέτασαν τις συσχετίσεις μεταξύ της πρώιμης έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση και της συχνότητας εμφάνισης άσθματος, αλλεργικής ρινίτιδας και εκζέματος από τη γέννηση έως την εφηβεία. Για το λόγο αυτό, 1286 συμμετέχοντες στο T-CHEQ παρακολούθηθηκαν από τη γέννηση μέχρι την έκβαση (31 Μαρτίου 2016) ή την απώλεια της παρακολούθησης, με μέσο όρο παρακολούθησης 17 χρόνων. Οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου (NO₂), όζοντος (O₃) και σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο αποκοπής 50% 2,5 μm (PM_{2,5}) από 1 Ιανουαρίου 1999 έως 31 Δεκεμβρίου 2012 ανατέθηκαν στους συμμετέχοντες με βάση την ταχυδρομική τους αποστολή κατά τη γέννηση χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις εδάφους,

χημικά/μετεωρολογικά μοντέλα, μοντέλα τηλεπισκόπησης και παλινδρόμησης χρήσης γης. Τα αποτελέσματα της μελέτης περιελάμβαναν τη συχνότητα εμφάνισης άσθματος με διάγνωση γιατρού, αλλεργικής ρινίτιδας και εκζέματος. Τα μοντέλα αναλογικής παλινδρόμησης κινδύνου Cox χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των αναλογιών κινδύνου ανά διατεταρτημόριο εύρος εκθέσεων και αποτελεσμάτων, προσαρμόζοντας τους πιθανούς συγχυτικούς παράγοντες. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν ότι οι αναλογίες κινδύνου 1,17 (95% CI 1,05–1,31) για το άσθμα και 1,07 (95% CI 0,99–1,15) για έκζεμα παρατηρήθηκαν για τα συνολικά οξειδωτικά (O₃ και NO₂) κατά τη γέννηση. Δεν βρέθηκε σημαντική αύξηση του κινδύνου για τα PM_{2,5}. Οι εκθέσεις σε οξειδωτικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους (O₃ και NO₂) αλλά όχι σε PM_{2,5} συσχετίστηκαν με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης άσθματος και εκζέματος στα παιδιά. Σύμφωνα με τους ίδιους συγγραφείς, η βελτίωση της ποιότητας του αέρα μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη του άσθματος και άλλων αλλεργικών ασθενειών στην παιδική και εφηβική ηλικία (To et al., 2020).

Πίνακας 3. Διερεύνηση μεταβολών σε μικροοργανισμούς στην ατμόσφαιρα λόγω κλιματικής αλλαγής

Συγγραφείς	Σκοπός	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα
D'Amato et al. (2010)	Διερεύνηση αιτιών και επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων	Μελέτη κρίσης (εμπειρογνομόνων), μέσω υπαρχουσών μελετών, για τον εντοπισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στο αναπνευστικό σύστημα των ανθρώπων.	Η κλιματική αλλαγή μεταβάλλει τη συγκέντρωση και την κατανομή των ατμοσφαιρικών ρύπων και παρεμποδίζει την εποχιακή παρουσία αλλεργιογόνων γύρης στην ατμόσφαιρα παρατείνοντας αυτές τις περιόδους
Erbas et al. (2012)	Εξέταση της συσχέτισης μεταξύ των αυξανόμενων επιπέδων γύρης του γρασιδιού στο περιβάλλον και των παρουσιάσεων άσθματος στα παιδιά.	Μια σύντομη χρονολογική μελέτη για παρουσιάσεις άσθματος σε παιδιά στη Μεμβούρνη, Βικτώρια, και μετρήσεις γύρης γρασιδιού, μετεωρολογικές και ατμοσφαιρικές μετρήσεις που καταγράφηκαν κατά την επιλεγμένη περίοδο του 2003. Χρησιμοποιήθηκε	Μια ομαλοποιημένη γραφική παράσταση πρότεινε μια συσχέτιση δόσης-απόκρισης. Καθώς η γύρη του περιβάλλοντος γρασιδιού αυξήθηκε σε περίπου 19 κόκκους/m ³ , ο κίνδυνος εμφάνισης άσθματος στην παιδική ηλικία αυξήθηκε επίσης γραμμικά την ίδια ημέρα (P < 0,001). Τα επίπεδα γύρης γρασιδιού συσχετίστηκαν επίσης με αυξημένο κίνδυνο σε παρουσιάσεις άσθματος την επόμενη ημέρα P < 0,001).

		ένα ημιπαραμετρικό μοντέλο παλινδρόμησης Poisson για να εξετάσει τις συσχετίσεις δόσης-απόκρισης μεταξύ των ημερήσιων επιπέδων γύρης χόρτου και της μέσης ημερήσιας παρουσίας άσθματος.	
Hamaoui-Laguel et al. (2015)	Πρόβλεψη της επίδρασης των αλλαγών του κλίματος και της χρήσης γης στις συγκεντρώσεις της ατμοσφαιρικής γύρης	Δύο ολοκληρωμένα πλαίσια μοντελοποίησης που υπολογίζουν όλους τους παράγοντες σε σενάρια υψηλών και μέτριων κλιματικών αλλαγών και χρήσης γης.	Μέχρι το 2050 οι συγκεντρώσεις γύρης αμβροσίας θα είναι περίπου 4 φορές υψηλότερες από ότι το έτος 2015, με ένα εύρος αβεβαιότητας από 2 έως 12, ανάλογα με τις υποθέσεις του ρυθμού διασποράς των σπόρων. Περίπου το ένα τρίτο της αύξησης της ατμοσφαιρικής γύρης οφείλεται στη συνεχιζόμενη διασπορά των σπόρων, ανεξάρτητα από την κλιματική αλλαγή. Τα υπόλοιπα δύο τρίτα σχετίζονται με αλλαγές του κλίματος και της χρήσης γης θα επεκτείνουν την καταλληλότητα των ενδιαιτημάτων αμβροσίας στη βόρεια και ανατολική Ευρώπη και θα αυξήσουν την παραγωγή γύρης σε καθιερωμένες περιοχές αμβροσίας λόγω της αύξησης του CO ₂ . Η κλιματική αλλαγή και η διασπορά των σπόρων αμβροσίας σε τρέχουσες και μελλοντικές κατάλληλες περιοχές θα αυξήσουν τις συγκεντρώσεις γύρης στον αέρα, γεγονός που μπορεί κατά συνέπεια να αυξήσει τη συχνότητα και τον επιπολασμό της αλλεργίας σε αμβροσία.
Katelaris & Beggs (2018)	Διερεύνηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε ασθενείς με αλλεργική νόσο	Μελέτη κρίσης (εμπειρογνομόνων) για τον εντοπισμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε ασθενείς με αλλεργική νόσο λόγω της έκθεσης στη γύρη	Η κλιματική αλλαγή οδηγεί σε επιδείνωση των συμπτωμάτων σε ασθενείς με αλλεργική νόσο. Ασθενείς με χρόνια αλλεργική νόσο του αναπνευστικού όπως το άσθμα και η αλλεργική ρινοεπιπεφυκίτιδα διατρέχουν ιδιαίτερο κίνδυνο λόγω της αυξημένης έκθεσης στη γύρη, καθώς και της αυξημένης συγκέντρωσης και κατανομής των ατμοσφαιρικών ρύπων.
Patella et al. (2018)	Διερεύνηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής σε αλλεργικές και αναπνευστικές ασθένειες.	Έκθεση κρίσης μέσω μελέτης της επιστημονικής βιβλιογραφίας της αλληλεπίδρασης μεταξύ της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής σε αλλεργικές και αναπνευστικές ασθένειες.	Η ατμοσφαιρική ρύπανση συνδέεται στενά με την υπερθέρμανση του πλανήτη: η εκπομπή προϊόντων καύσης υδρογονανθράκων οδηγεί σε αυξημένες συγκεντρώσεις βιολογικών αλλεργιογόνων όπως η γύρη, δημιουργώντας ένα μείγμα από αυτά τα σωματίδια που ονομάζονται αιωρούμενα σωματίδια (PM). Η υπερθέρμανση του πλανήτη συνδέεται με την εκπομπή προϊόντων καύσης υδρογονανθράκων, καθώς τόσο το διοξείδιο του άνθρακα όσο και η θερμότητα αυξάνουν την εκπομπή γύρης στην ατμόσφαιρα και όλα αυτά τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν τα PM10. Οι αυξημένες συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων και γύρης μπορούν να ενεργοποιήσουν φλεγμονώδεις μεσολαβητές στους αεραγωγούς.

Ziska et al. (2019)	Διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της αφθονίας της αλλεργιογόνου γύρης και της εποχικότητας (θερμοκρασία)	Αναδρομική μελέτη. Οι ερευνητές ανέλυσαν παγκόσμια σύνολα δεδομένων που περιέχουν δεδομένα για τη διάρκεια και την ένταση της εποχής της γύρης για 17 τοποθεσίες σε πολλές ηπείρους στο βόρειο ημισφαίριο.	Αύξηση του ετήσιου φορτίου γύρης για 12 από τις τοποθεσίες. Σημαντική αύξηση στη διάρκεια της περιόδου γύρης για 11 από τις 17 τοποθεσίες. Οι ετήσιες αυξήσεις στις μέγιστες θερμοκρασίες συσχετίστηκαν σημαντικά με αύξηση του φορτίου γύρης, αποδεικνύοντας τη σύνδεση μεταξύ των δύο φαινομένων
To et al. (2020)	Διερεύνηση των συσχετίσεων μεταξύ της πρώιμης έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση και της συχνότητας εμφάνισης άσθματος, αλλεργικής ρινίτιδας και εκζέματος από τη γέννηση έως την εφηβεία.	1286 συμμετέχοντες στο T-CHEQ παρακολούθηθηκαν από τη γέννηση μέχρι την έκβαση (31 Μαρτίου 2016) ή την απώλεια της παρακολούθησης, με μέσο όρο παρακολούθησης 17 χρόνων. Οι συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου (NO ₂), όζοντος (O ₃) και σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο αποκοπής 50% 2,5 μm (PM _{2,5}) από 1 Ιανουαρίου 1999 έως 31 Δεκεμβρίου 2012 ανατέθηκαν στους συμμετέχοντες με βάση την ταχυδρομική τους αποστολή κατά τη γέννηση χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις εδάφους, χημικά/μετεωρολογικά μοντέλα, μοντέλα τηλεπισκόπησης και παλινδρόμησης χρήσης γης. Τα αποτελέσματα της μελέτης περιελάμβαναν τη συχνότητα εμφάνισης άσθματος με διάγνωση γιατρού, αλλεργικής ρινίτιδας και εκζέματος. Τα μοντέλα αναλογικής παλινδρόμησης κινδύνου Cox χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των αναλογιών κινδύνου ανά διατεταρτημόριο εύρος εκθέσεων και αποτελεσμάτων, προσαρμόζοντας τους πιθανούς συγχυτικούς παράγοντες.	Οι αναλογίες κινδύνου 1,17 (95% CI 1,05–1,31) για το άσθμα και 1,07 (95% CI 0,99–1,15) για έκζεμα παρατηρήθηκαν για τα συνολικά οξειδωτικά (O ₃ και NO ₂) κατά τη γέννηση. Δεν βρέθηκε σημαντική αύξηση του κινδύνου για τα PM _{2,5} . Οι εκθέσεις σε οξειδωτικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους (O ₃ και NO ₂) αλλά όχι σε PM _{2,5} συσχετίστηκαν με αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης άσθματος και εκζέματος στα παιδιά. Η βελτίωση της ποιότητας του αέρα μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη του άσθματος και άλλων αλλεργικών ασθενειών στην παιδική και εφηβική ηλικία.

3.4. Απόκριση μετάδοσης παθογόνων σε κλιματικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες

Τα παθογόνα που μεταδίδονται από φορείς, τα τρόφιμα, τα αερομεταφερόμενα, τα υδάτινα και άλλα περιβαλλοντικά παθογόνα μπορεί να είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Πίνακας 4) (Atchison et al., 2010; Colón-González et al., 2018; Glass et al., 2002; Lake et al., 2009; Lal et al., 2012; McIntyre et al., 2017; Moore et al., 2017; Nguyen, et al., 2013; Ostfeld & Brunner, 2015; Paaijmans et al., 2010; Paull et al., 2017; Peng, Murphy & Holden, 2008; Shaman & Lipsitch, 2013; Shaman & Karspeck, 2012; Semenza et al., 2012; Tian et al., 2017; Venzulli et al., 2016).

Για τις ασθένειες που μεταδίδονται από φορείς, η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει την κατανομή των φορέων και, ως εκ τούτου, το εύρος στο οποίο μεταδίδονται οι ασθένειες, καθώς και την αποτελεσματικότητα με την οποία οι φορείς μεταδίδουν παθογόνα. Η αποτελεσματικότητα εξαρτάται από το χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ ενός φορέα που τρέφεται με έναν μολυσμένο ξενιστή και του να γίνει ο ίδιος μολυσματικός φορέας. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, αυτός ο χρόνος μπορεί να μειωθεί σημαντικά, παρέχοντας περισσότερες ευκαιρίες για μετάδοση εντός της διάρκειας ζωής του φορέα. Ορισμένες ασθένειες που μεταδίδονται από φορείς, όπως ο καταρροϊκός πυρετός του προβάτου, μια οικονομικά σημαντική ιογενής ασθένεια των ζώων, έχουν ήδη εμφανιστεί στην Ευρώπη ως απάντηση στην κλιματική αλλαγή και προβλέπεται να εμφανιστούν μεγαλύτερα, συχνότερα κρούσματα στο μέλλον. Για ορισμένες υδατογενείς λοιμώξεις από παθογόνο *Vibrio spp.*, η εξάπλωση προς τους πόλους συσχετίζεται με την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας και τη χαμηλότερη αλατότητα των υδάτινων περιβαλλόντων σε παράκτιες περιοχές (όπως οι εκβολές ποταμών) που προκαλείται από αυξημένη βροχόπτωση. Αυτές οι μεταβαλλόμενες συνθήκες μπορούν να προάγουν την ανάπτυξη του *Vibrio spp.* στο περιβάλλον. Η αύξηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας συσχετίζεται επίσης με τις αυξήσεις των

μολύνσεων από *Vibrio cholerae* στο Μπαγκλαντές, λοιμώξεις από διάφορα ανθρωποπαθογόνα *Vibrio spp.* στην περιοχή της Βαλτικής Θάλασσας και την αφθονία του *Vibrio spp.* (συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπινων παθογόνων) στον Βόρειο Ατλαντικό και τη Βόρεια Θάλασσα. Η ελονοσία και ο δάγκειος πυρετός είναι δύο ασθένειες που μεταδίδονται από φορείς που είναι γνωστό ότι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στις κλιματικές συνθήκες και επομένως η χωρική κατανομή τους αναμένεται να αλλάξει ως απόκριση στην κλιματική αλλαγή. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να διευκολύνει την εξάπλωση των παθογόνων που μεταδίδονται από φορείς παρατείνοντας την περίοδο μετάδοσης, αυξάνοντας τον ρυθμό αναπαραγωγής των παθογόνων στον φορέα και αυξάνοντας τον αριθμό και τη γεωγραφική περιοχή των κουνουπιών. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τον *Aedes aegypti*, τον κύριο φορέα των ιών του δάγκειου πυρετού, του Zika, του chikungunya και του κίτρινου πυρετού, ο οποίος επί του παρόντος περιορίζεται σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές επειδή δεν μπορεί να επιβιώσει τους κρύους χειμώνες. Σε συνδυασμό με άλλες ασθένειες που μεταδίδονται από τα κουνούπια (όπως ο πυρετός του Δυτικού Νείλου και η ιαπωνική εγκεφαλίτιδα) και οι ασθένειες που μεταδίδονται από τα τσιμπούρια (όπως η νόσος του Lyme), εκατομμύρια άνθρωποι προβλέπεται να κινδυνεύουν πρόσφατα λόγω της κλιματικής αλλαγής (Ostfeld & Brunner, 2015; Paaijmans et al., 2010; Paull et al., 2017; Peng, Murphy & Holden, 2008; Shaman & Lipsitch, 2013; Shaman & Karspeck, 2012).

Πολλές μολυσματικές ασθένειες, συμπεριλαμβανομένων αρκετών μεταδοτικών και υδατογενών ασθενειών, επηρεάζονται έντονα από την κλιματική μεταβλητότητα που προκαλείται από μεγάλης κλίμακας κλιματικά φαινόμενα όπως το ENSO, το οποίο διαταράσσει τα κανονικά πρότυπα βροχοπτώσεων και αλλάζει τις θερμοκρασίες περίπου στα δύο τρίτα του πλανήτη κάθε λίγα χρόνια. Συσχετίσεις με το ENSO έχουν αναφερθεί για την ελονοσία, τον δάγκειο πυρετό, τη νόσο του ιού Ζίκα, τη χολέρα, την πανώλη, την αφρικανική ασθένεια των αλόγων και πολλές άλλες σημαντικές ασθένειες των ανθρώπων και των ζώων.

Η προσαρμογή των ειδών στο τοπικό τους περιβάλλον έχει μελετηθεί λιγότερο σε μικροοργανισμούς παρά σε ζώα (συμπεριλαμβανομένων των ανθρώπων) και στα φυτά, αν και οι μηχανισμοί και οι συνέπειες της προσαρμογής έχουν μελετηθεί σε φυσικούς και πειραματικούς μικροβιακούς πληθυσμούς. Τα ιικά, βακτηριακά και μυκητιακά παθογόνα φυτών και ζώων (όπως καλλιέργειες, άνθρωποι και ζώα) προσαρμόζονται σε αβιοτικούς και βιοτικούς παράγοντες (όπως θερμοκρασία, φυτοφάρμακα, αλληλεπιδράσεις μεταξύ μικροοργανισμών και αντοχή του ξενιστή) με τρόπους που επηρεάζουν τη λειτουργία του οικοσυστήματος, την ανθρώπινη υγεία και τα τρόφιμα ασφάλεια. Η κυκλική ανάδραση μεταξύ της μικροβιακής απόκρισης και της ανθρώπινης δραστηριότητας απεικονίζεται καλά από τα πρότυπα προσαρμογής των παθογόνων γεωργικών μυκήτων. Επειδή τα γεωργικά οικοσυστήματα έχουν κοινά παγκόσμια χαρακτηριστικά (για παράδειγμα, άρδευση, χρήση λιπασμάτων και φυτικές ποικιλίες) και το ανθρώπινο ταξίδι και η μεταφορά φυτικού υλικού διασκορπίζουν εύκολα τα παθογόνα των καλλιεργειών, τα «αγρο-προσαρμοσμένα» παθογόνα έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να προκαλέσουν επιδημίες και να αποτελούν μεγαλύτερη απειλή στη φυτική παραγωγή σε σχέση με τα φυσικά στελέχη. Η ικανότητα των μυκητιακών παθογόνων να επεκτείνουν το εύρος τους και να εισβάλουν σε νέους βιότοπους εξελίσσοντας για να ανέχονται υψηλότερες θερμοκρασίες ενώσεις που απειλούν τα παθογόνα μυκήτων τόσο για τα φυσικά όσο και για τα γεωργικά οικοσυστήματα (Atchison et al., 2010; Can et al., 2013; Colón-González et al., 2018; Glass et al., 2002; Lake et al., 2009; Lal et al., 2012; McIntyre et al., 2017; Moore et al., 2017; Nguyen, et al., 2013; Ostfeld & Brunner, 2015; Paaijmans et al., 2010; Paull et al., 2017; Peng, Murphy & Holden, 2008; Shaman & Lipsitch, 2013; Shaman & Karspeck, 2012; Semenza et al., 2012; Tian et al., 2017; Venzulli et al., 2016). Οι Lake et al. (2018), υπογράμμισαν πως η κλιματική αλλαγή μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες για τις τροφιμογενείς ασθένειες, αλλά αυτές οι σχέσεις είναι περίπλοκες και αβέβαιες. Ως εκ τούτου, εντός της ακαδημαϊκής βιβλιογραφίας, υπάρχει

σημαντική αβεβαιότητα σχετικά με το ποια τροφιμογενή παθογόνα θα επηρεαστούν περισσότερο, ποιες θα είναι οι συγκεκριμένες επιπτώσεις και σε ποιες χρονικές κλίμακες ενδέχεται να συμβούν αλλαγές.

Πίνακας 4. Απόκριση μετάδοσης παθογόνων σε κλιματικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες

Συγγραφείς	Μεταφορά παθογόνου μικροοργανισμού	Ασθένειες	Κλιματικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες	Παράμετροι μετάδοσης
Tian et al. (2017)	Αερομεταφερόμενα	Γρίπη Hantaviru Κοκκιδιοειδому κητίαση	Σχετική υγρασία, Θερμοκρασία, Άνεμος	Επιβίωση παθογόνου, Διασπορά παθογόνου και/ή ξενιστή
Nguyen, et al. (2013)				
Shaman & Lipsitch (2013)				
Shaman & Karspeck (2012)				
Glass et al. (2002)				
Lake et al. (2018)	Μέσω τροφίμων	Salmonella spp. Campylobacter spp. Εντερικά προβλήματα	Θερμοκρασία, Βροχόπτωση, Εποχικότητα, Κύματα καύσωνα	Αντιγραφή παθογόνου, Ανθρώπινη συμπεριφορά
McIntyre et al. (2017)				
Lake et al. (2009)				
Lal et al. (2012)				
Semenza et al. (2012)				
Kovats et al. (2005)				
D'Souza et al. (2004)				
Kovats et al. (2004)	Μεταφερόμενο από φορέα	Ιός του Δυτικού Νείλου Ελονοσία Δάγκειος πυρετός Η νόσος του Lyme	Υετός, σχετική υγρασία, θερμοκρασία, El Niño	Αφθονία φορέα, Ρυθμός δαγκώματος, Ρυθμός αντιγραφής παθογόνων σε φορέα
Colón-González et al. (2018)				
Paull et al. (2017)				
Ostfeld & Brunner (2015)				
Paaijmans et al. (2010)	Υδατομεταφερόμενα	Χολέρα Non-cholera Vibrio spp. Cryptosporidiu m spp. Rotavirus	Θερμοκρασία, Μεταβλητότητα βροχόπτωσης, Αλατότητα, El Niño	Επιβίωση παθογόνου, Αντιγραφή παθογόνου στο περιβάλλον, Μεταφορά
Moore et al. (2017)				
Venzulli et al. (2016)				
Can et al. (2013)				
Atchison et al. (2010)				
Peng, Murphy, & Holden (2008)				

4. Συζήτηση - Συμπεράσματα

4.1. Συζήτηση

Η κλιματική κρίση έχει προκαλέσει σημαντικές αλλαγές στο περιβάλλον και τις συνθήκες διαβίωσης στον πλανήτη μας. Μια από τις επιπτώσεις που ερευνώνται είναι η εκτίμηση της αύξησης παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον και στα τρόφιμα. Αυτή η βιβλιογραφική ανασκόπηση εστιάζει στις μελέτες που έχουν διεξαχθεί για να αναλύσουν αυτήν την απειλή. Η αναζήτηση βιβλιογραφικών πηγών πραγματοποιήθηκε σε διάφορες ηλεκτρονικές βάσεις δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων PubMed, Scopus και Google Scholar.

Η πρόσφατη αλλαγή στη θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας θεωρείται ως η πιο διάχυτη και σοβαρή επίπτωση στα παράκτια οικοσυστήματα παγκοσμίως, ιδιαίτερα υπό το φως των πρόσφατων παρατηρήσεων που δείχνουν σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας σε πάνω από το 70% των ακτών του κόσμου. Η παρούσα ανασκόπηση υπέδειξε πως η κλιματική αλλαγή μπορεί να έχει άμεσες επιπτώσεις στα θαλάσσια οικοσυστήματα, όπως μέσω της υπερθέρμανσης των ωκεανών, γεγονός που είναι πιθανό να διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στην αύξηση των κινδύνων που σχετίζονται με τα παθογόνα βακτήρια του γένους *vibrios*, όπως το *V. vulnificus*, το *V. parahaemolyticus* και το *non-O1 V. Cholera*. Είναι εντυπωσιακό το γεγονός ότι έχουν σημειωθεί πολλά κρούσματα σε περιοχές που έχουν υποστεί πρόσφατα υπερθέρμανση τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, με αρκετά περιστατικά να συμβαίνουν σε αυτές τις εύκρατες και μεγάλου γεωγραφικού πλάτους περιοχές που υφίστανται ταχείες τάσεις θέρμανσης (Baker-Austin et al., 2013, 2017; McLaughlin et al., 2012; Paz et al., 2007; Vezzulli et al., 2012).

Τα δεδομένα από το CDC (2005) έδειξαν μια απότομη αύξηση των λοιμώξεων από *Vibrio* μετά τον τυφώνα Κατρίνα που έπεσε στην ακτή του Κόλπου των ΗΠΑ τον Αύγουστο

του 2005, επιβεβαιώνοντας τα αποτελέσματα της ανασκόπησης (Baker-Austin et al., 2013, 2017; McLaughlin et al., 2012; Paz et al., 2007; Vezzulli et al., 2012). Αν και δεν ήταν διαθέσιμα ακριβή ιστορικά έκθεσης για όλους τους ασθενείς, οι λοιμώξεις που προκλήθηκαν από δονήσεις πιθανότατα οφείλονταν σε πληγές που εκτέθηκαν σε πλημμυρικά νερά μεταξύ ατόμων με ιατρικές παθήσεις που τους προδιαθέτουν σε λοιμώξεις από το *Vibrio*. Από τις 18 λοιμώξεις του *Vibrio* που αναφέρθηκαν στην περιοχή μετά την Katrina, πέντε (28%) ασθενείς με λοιμώξεις από *Vibrio* που σχετίζονται με το τραύμα πέθαναν. Τρεις θάνατοι σχετίστηκαν με λοίμωξη από *V. vulnificus* και δύο με λοίμωξη από *V. parahaemolyticus* (CDC, 2005).

Η κλιματική αλλαγή προκαλείται κυρίως από ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η καύση ορυκτών καυσίμων και η αποψίλωση των δασών, και έχει εκτεταμένες και επιβλαβείς επιπτώσεις στον φυσικό κόσμο. Μερικές από αυτές τις επιδράσεις μπορούν να θεωρηθούν ως αυξημένες θερμοκρασίες, αλλαγή μοτίβων βροχοπτώσεων, άνοδος της στάθμης της θάλασσας και απώλεια βιολογικής ποικιλότητας (McLaughlin et al., 2012; Paz et al., 2007; Vezzulli et al., 2012). Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι ένα από τα πιο κοινά αποτελέσματα που είναι ορατά από την κλιματική αλλαγή. Η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης έχει αυξηθεί δραματικά εδώ και πολλά χρόνια, γεγονός που είχε πολλές επιπτώσεις. Ένα από αυτά είναι ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες είναι υπεύθυνες για το λιώσιμο των πολικών παγετώνων, με αποτέλεσμα την υψηλότερη στάθμη της θάλασσας. Το θέμα είναι ότι αυτή η διαδικασία φαίνεται να απειλεί τις παράκτιες κοινότητες όπου γεγονότα όπως οι πλημμύρες και η διάβρωση μπορούν να προκαλέσουν ανεπανόρθωτη ζημιά όχι μόνο σε εύθραυστα οικοσυστήματα όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι αλλά και να στερήσουν τους υγροτόπους από τους οικοτόπους τους. Η αλλαγή των προτύπων βροχοπτώσεων είναι μια άλλη συνέπεια της κλιματικής αλλαγής. Ορισμένες περιοχές αντιμετωπίζουν αυξημένες βροχοπτώσεις και πιο συχνές και ισχυρές καταιγίδες, ενώ άλλες

αντιμετωπίζουν παρατεταμένες ξηρασίες. Αυτές οι αλλαγές στις βροχοπτώσεις μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα και στη διαθεσιμότητα υδάτινων πόρων (Baker-Austin et al., 2013, 2017; McLaughlin et al., 2012). Η αυξημένη βροχόπτωση μπορεί να προκαλέσει πλημμύρες, οι οποίες διαταράσσουν τα οικοσυστήματα, βλάπτουν τις υποδομές και αυξάνουν τον κίνδυνο υδατογενών ασθενειών. Αντίθετα, οι ξηρασίες οδηγούν σε λειψυδρία, μείωση της γεωργικής παραγωγικότητας και απώλεια της βιοποικιλότητας. Η απώλεια βιοποικιλότητας είναι μια κρίσιμη περιβαλλοντική συνέπεια της κλιματικής αλλαγής. Η άνοδος της θερμοκρασίας και τα μεταβαλλόμενα καιρικά πρότυπα διαταράσσουν τα οικοσυστήματα και επηρεάζουν την κατανομή και τη συμπεριφορά των ειδών. Οι Harf & Monteil, (1989) μελέτησαν τους παθογόνους μικροοργανισμούς σε νερά ποταμών, υπόγεια ύδατα και θερμά λουτρά αναψυχής. Οι ελεύθερες αμοιβάδες και τα βακτήρια εντοπίστηκαν στις φυσικές τους τοποθεσίες και μελετήθηκε η επίδραση των φυσικών και χημικών παραλλαγών στην οικολογία τους. Η μικροβιολογική μόλυνση αυξάνεται από τα υπόγεια ύδατα στα ποτάμια και εξαρτάται από τις δραστηριότητες του ανθρώπου και των ζώων. Τα νερά του Ρήνου είναι πολύ μολυσμένα με Εντεροβακτηρίδια, παθογόνο *Naegleria* και *Legionella*. Οι αμοιβάδες είναι πιθανό να είναι φυσικοί ξενιστές για τη *Legionella*. Η ενδοκυτταρική αντιγραφή και η ένταξη σε ανθεκτικές κύστες αμοιβάδων τους δίνει τη δυνατότητα επιβίωσης σε δυσμενείς συνθήκες. Η βαριά αμοιβαδική και βακτηριολογική μόλυνση των θερμών λουτρών αναψυχής ενέχει πιθανό κίνδυνο για τους κολυμβητές. Ο καθαρισμός και η χλωρίωση των πισινών είναι μια καλή προληπτική δράση κατά των υδατογενών λοιμώξεων (Harf & Monteil, 1989).

Πολλά είδη φυτών και ζώων παράλληλα αγωνίζονται να προσαρμοστούν ή να μεταναστεύσουν αρκετά γρήγορα για να επιβιώσουν στους μεταβαλλόμενους οικοτόπους τους (Van Der Heijden & Sessitsch, 2010). Ως αποτέλεσμα, γινόμαστε μάρτυρες μετατοπίσεων στο χρόνο των φυσικών γεγονότων όπως η ανθοφορία, η αναπαραγωγή και η

μετανάστευση, καθώς και η απώλεια της ποικιλότητας των ειδών. Η παρακμή των βασικών ειδών και η διαταραχή των οικολογικών αλληλεπιδράσεων μπορεί να έχουν κλιμακωτά αποτελέσματα σε ολόκληρα οικοσυστήματα, οδηγώντας σε περαιτέρω απώλεια βιοποικιλότητας (Liu, Hofstra & Franz, 2013). Η ρύπανση από μικροπλαστικά και οι συναφείς επιπτώσεις στο υδάτινο περιβάλλον σύμφωνα με τους Junaid et al., (2022) εξαπλώνονται με ανησυχητικό ρυθμό σε όλο τον κόσμο. Τα πλαστικά απόβλητα αυξάνονται στο περιβάλλον και τα μικροπλαστικά (MPs) γίνονται ένα αυξανόμενο ζήτημα επειδή χρησιμεύουν ως φορείς για τη μετάδοση παθογόνων. Αυτή είναι η πρώτη ολοκληρωμένη αξιολόγηση που αντιμετωπίζει συγκεκριμένα τα MPs ως πηγή και φορέα παθογόνων βακτηρίων που σχετίζονται κυρίως με *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*. Η οξίνιση των ωκεανών είναι μια άλλη συνέπεια της κλιματικής αλλαγής που αποτελεί σημαντική απειλή για τα θαλάσσια οικοσυστήματα. Καθώς το διοξείδιο του άνθρακα απορροφάται από τους ωκεανούς, αντιδρά με το θαλασσινό νερό, οδηγώντας σε μείωση των επιπέδων pH. Αυτή η οξίνιση αναστέλλει την ικανότητα των θαλάσσιων οργανισμών, όπως τα κοράλλια, τα οστρακοειδή και κάποιο πλαγκτόν, να χτίζουν και να διατηρούν τα κελύφη και τους σκελετούς τους. Αυτό μπορεί να διαταράξει ολόκληρο τον θαλάσσιο τροφικό ιστό, καθώς αυτοί οι οργανισμοί χρησιμεύουν ως βάση για πολλά άλλα είδη, συμπεριλαμβανομένων των εμπορικά σημαντικών ψαριών. Επιπλέον, η θέρμανση των ωκεανών συμβάλλει στη λεύκανση των κοραλλιογενών υφάλων, με αποτέλεσμα την παρακμή τους και την πιθανή εξαφάνισή τους (Junaid et al., 2022). Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στο περιβάλλον έχουν επίσης επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Ένας μεγάλος αριθμός ανθρώπινων υδατογενών λοιμώξεων προκαλείται από μικροοργανισμούς συμπεριλαμβανομένων ιών, βακτηρίων ή πρωτόζωων. Αυτοί οι μικροοργανισμοί είτε βρίσκονται φυσικά σε υδάτινα περιβάλλοντα είτε προέρχονται από πηγές κοπράνων. Μπορεί να παραμείνουν σε υδάτινα οικοσυστήματα για μεγάλο χρονικό διάστημα πριν μολύνουν

έναν νέο ξενιστή. Τα υδάτινα περιβάλλοντα υπόκεινται σε μεγάλη μεταβλητότητα φυσικοχημικών παραμέτρων. Περιλαμβάνουν μια μικροβιακή κοινότητα που είναι περισσότερο ή λιγότερο προσαρμοσμένη σε αυτές τις περιβαλλοντικές αλλαγές. Έτσι, υπάρχουν πολυάριθμες αλληλεπιδράσεις μεταξύ μικροοργανισμών, οι οποίοι είναι παθογόνοι ή όχι, και οι περισσότεροι από αυτούς είναι ακόμη άγνωστοι (Junaid et al., 2022).

Η ανασκόπηση των Baudart & Paniel, (2014) επικεντρώνεται στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παθογόνων μικροοργανισμών και του περιβάλλοντος τους. Πιο συγκεκριμένα, ασχολείται με το ζήτημα της ποικιλομορφίας των πηγών μόλυνσης, τη συμβολή τους στη μικροβιολογική ρύπανση του υδάτινου περιβάλλοντος και την ικανότητα ορισμένων παθογόνων να επιβιώνουν σε αντίξοες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η αλλαγή των οικοσυστημάτων μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο ασθενειών, όπου τα παθογόνα μεταφέρονται από τα ζώα στον άνθρωπο. Για παράδειγμα, η αποψίλωση των δασών και η καταπάτηση ανθρώπινων οικισμών σε προηγουμένως ανέγγιχτες περιοχές φέρνουν τους ανθρώπους σε στενότερη επαφή με την άγρια ζωή, αυξάνοντας τη δυνατότητα μετάδοσης ασθενειών όπως ο Έμπολα και ο COVID-19. Ο μετριασμός της κλιματικής αλλαγής μπορεί να επιτευχθεί με τη μετάβαση σε πιο βιώσιμες πρακτικές και την ελαχιστοποίηση της ποσότητας των αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Συγκεκριμένα, αυτό σημαίνει χρήση περισσότερων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καλύτερη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας και υιοθέτηση πολιτικών που προωθούν τη βιώσιμη χρήση γης, τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, μεταξύ άλλων μέτρων. Είναι ένα φαινόμενο εμφανές σε όλο τον κόσμο που έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή άνοδο τόσο της θερμοκρασίας του αέρα όσο και της θάλασσας, μαζί με κλιμακούμενες επιπτώσεις και διάρκεια ακραίων κλιματικών φαινομένων. Η ικανότητα των μυκητιακών παθογόνων να επεκτείνουν το εύρος τους και να εισβάλουν σε νέους βιότοπους συμβαίνει τόσο για τα φυσικά όσο και για τα γεωργικά οικοσυστήματα (Atchison et al., 2010; Colón-González et

al., 2018; Glass et al., 2002; McIntyre et al., 2017; Moore et al., 2017; Nguyen, et al., 2013; Ostfeld & Brunner, 2015; Paaijmans et al., 2010; Paull et al., 2017; Peng, Murphy & Holden, 2008; Shaman & Lipsitch, 2013; Shaman & Karspeck, 2012; Semenza et al., 2012; Tian et al., 2017; Venzulli et al., 2016). Αυτές οι αλλαγές μπορούν να οδηγήσουν σε ένα ευρύ φάσμα άμεσων και έμμεσων απειλών για τη δημόσια υγεία, συμπεριλαμβανομένων των επιπτώσεων στην ασφάλεια των τροφίμων και του νερού. Για παράδειγμα, οι αυξημένες θερμοκρασίες και οι εποχιακές επιπτώσεις έχουν συσχετιστεί με υψηλότερη συχνότητα τροφιμογενών ασθενειών παγκοσμίως (Lake et al., 2009, Lal et al., 2012), ενώ οι αυξημένες βροχοπτώσεις και τα ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν συνδεθεί με κρούσματα υδατογενών ασθενειών (Cann, Thomas, Salmon, Wyn-Jones, & Kay, 2013).

Όπως επιβεβαιώνουν οι Parlapani, Boziaris & DeWitt (2023), παθογόνα όπως βακτήρια, συμπεριλαμβανομένων πληθυσμών και ιών ανθεκτικών στα μικροβιακά, μπορεί να υπάρχουν στη στήλη του νερού και τα ψάρια (συμπεριλαμβανομένων των οστρακόδερμων) απειλώντας την επισιτιστική ασφάλεια και τη δημόσια υγεία. Τα παθογόνα μπορούν να μεταφερθούν από ανθρώπινους οικισμούς, συστήματα καλλιέργειας, κτηνοτροφικά συστήματα, βιομηχανίες σφαγής και μεταποίησης ζώων και από άλλες πηγές ανθρώπινης και ζωικής δραστηριότητας, στο υδάτινο περιβάλλον και να μολύνουν τα ψάρια. Η μόλυνση των ψαριών μπορεί επίσης να συνεχιστεί κατά τη συγκομιδή, το χειρισμό, τη συσκευασία, την επεξεργασία και τη διανομή, λόγω ανεπαρκών πρακτικών υγιεινής. Τέτοια παθογόνα μπορούν να καταλήξουν στους ανθρώπους μέσω της τροφικής αλυσίδας αξίας και να αρρωστήσουν μετά την κατανάλωση μολυσμένων ψαριών. Αρκετά παθογόνα στελέχη, ορότυποι ή οροί *Vibrio vulnificus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Vibrio cholerae*, *Salmonella enterica*, *Aeromonas* sp., *Listeria monocytogenes* και *Clostridium botulinum* ευθύνονται για χιλιάδες περιπτώσεις και θανάτους που σχετίζονται με την κατανάλωση ψαριών σε όλο τον κόσμο. Από αυτά, τα *Vibrio*, *Salmonella*, *Aeromonas* και *L. monocytogenes* που

απομονώθηκαν από εκτρεφόμενα ψάρια, έχει βρεθεί ότι παρουσιάζουν αντοχή στα αντιβιοτικά σε διάφορους αντιμικροβιακούς παράγοντες (Parlapani, Boziaris & DeWitt (2023).

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί, συμπεριλαμβανομένων των βακτηρίων, των ιών, των μυκήτων και των παρασίτων, μπορούν να προκαλέσουν διάφορες ασθένειες σε ανθρώπους, ζώα και φυτά. Ενώ αυτά τα παθογόνα μπορούν να υπάρχουν σε διαφορετικά περιβάλλοντα, ορισμένες φυσικές συνθήκες δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό τους. Η κατανόηση αυτών των συνθηκών είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη και τον έλεγχο της εξάπλωσης μολυσματικών ασθενειών. Οι μικροοργανισμοί έχουν συγκεκριμένες θερμοκρασίες στις οποίες ευδοκιμούν. Πολλά παθογόνα βακτήρια και μύκητες προτιμούν μέτριες θερμοκρασίες γύρω στους 20-40 βαθμούς Κελσίου. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, μπορούν να ευδοκιμήσουν θερμοφιλοι μικροοργανισμοί, όπως ορισμένα είδη βακτηρίων και μύκητες. Αντίθετα, οι ψυχρόφιλοι μικροοργανισμοί προσαρμόζονται σε ψυχρά περιβάλλοντα. Το εύρος θερμοκρασίας είναι ένας ουσιαστικός παράγοντας που επηρεάζει τους ρυθμούς ανάπτυξης και την επιβίωση των παθογόνων. Η διαθεσιμότητα νερού παίζει ζωτικό ρόλο στην ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Η υγρασία παρέχει ένα κατάλληλο περιβάλλον για την ανάπτυξη και τον πολλαπλασιασμό των μικροοργανισμών. Τα βακτήρια, για παράδειγμα, απαιτούν επαρκή υγρασία για να πραγματοποιήσουν μεταβολικές διεργασίες και να αναπαραχθούν. Οι μύκητες, όπως η μούχλα, ευδοκιμούν σε συνθήκες υγρασίας, καθώς η υγρασία τους επιτρέπει να παράγουν σπόρια και να εξαπλωθούν. Επιπλέον, το νερό χρησιμεύει ως μέσο για τη μετάδοση ορισμένων υδατογενών παθογόνων (Baudart & Paniel, 2014).

Η έρευνα των McElhany & Pillai (2010) εξετάζει τις διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τον επιπολασμό, την επιβίωση και, τελικά, την τύχη των εντερικών βακτηριακών παθογόνων σε διαφορετικά περιβάλλοντα και υπό διάφορες συνθήκες. Τα βακτηριακά

παθογόνα που συζητούνται είναι εκείνα που είναι γνωστό ότι έχουν μια οδό μετάδοσης με βάση το νερό ή με τη μεσολάβηση του νερού μεταξύ του περιβάλλοντος και του ανθρώπου. Η μόλυνση των ζώων, ειδικά από σμήνη πτηνών, πιστεύεται ότι είναι η κύρια πηγή *Campylobacter jejuni* σε απομακρυσμένα υδάτινα περιβάλλοντα και το *Campylobacter jejuni* απομονώνεται σταθερά από πληθυσμούς άγριων πτηνών. Η άμμος ιδιαίτερα, φαίνεται ικανή να υποστηρίξει σημαντικούς πληθυσμούς εντερόκοκκων, ειδικά σε σύγκριση με το νερό. Είναι σαφές ότι οι εντερόκοκκοι είναι ικανοί να πολλαπλασιαστούν υπό προσομοιωμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ωστόσο, το κατά πόσον αυτού του είδους οι συνθήκες υπάρχουν ποτέ φυσικά στο περιβάλλον είναι συζητήσιμο. Μελέτες υποδεικνύουν ότι η σαλμονέλα είναι ικανή να επιβιώσει για παρατεταμένες περιόδους στο περιβάλλον, ειδικά στο έδαφος και στα απόβλητα των ζώων. Η παρουσία βακτηρίων στο περιβάλλον εξαρτάται ουσιαστικά από δύο παράγοντες: τη φόρτωση και την επιβίωση. Τα Παθογόνα *Vibrio spp.* είναι επίσης σαφώς ικανά για επίμονη ανάπτυξη στο υδάτινο περιβάλλον. Πολλές από τις μελέτες που εξετάζουν τα χαρακτηριστικά των εντερικών παθογόνων στο περιβάλλον έχουν επικεντρωθεί στην παρουσία αυτών των οργανισμών σε υδάτινα περιβάλλοντα και αποθέματα νερού, ίσως επειδή αυτός θεωρείται ο πιο πιθανός φορέας για ανθρώπινη μόλυνση. Πρόσφατες μελέτες έχουν παρουσιάσει νέες, μοριακές προσεγγίσεις για την ανίχνευση ή τον ποσοτικό προσδιορισμό ορισμένων εντερικών παθογόνων (McElhany & Pillai, 2010).

Το επίπεδο pH, ένα μέτρο της οξύτητας ή της αλκαλικότητας μιας ουσίας, επηρεάζει την ανάπτυξη και την επιβίωση των μικροοργανισμών. Διαφορετικά παθογόνα έχουν ποικίλες προτιμήσεις pH. Ορισμένα βακτήρια, όπως αυτά που προκαλούν γαστρικά έλκη, μπορούν να επιβιώσουν στο όξινο περιβάλλον του στομάχου. Άλλοι, όπως αυτοί που προκαλούν ουρολοιμώξεις, προτιμούν ένα ελαφρώς αλκαλικό pH. Το επίπεδο pH επηρεάζει την ενζυματική δραστηριότητα και τις κυτταρικές διεργασίες των μικροοργανισμών, επηρεάζοντας έτσι την ανάπτυξή τους. Το οξύγονο είναι ένας κρίσιμος παράγοντας που

επηρεάζει την ανάπτυξη των μικροοργανισμών. Ορισμένα παθογόνα ταξινομούνται ως υποχρεωτικά αναερόβια, που σημαίνει ότι δεν μπορούν να επιβιώσουν παρουσία οξυγόνου. Άλλα είναι υποχρεωτικά αερόβια και απαιτούν οξυγόνο για τις μεταβολικές τους διεργασίες (Korzeniewska, 2011). Επιπλέον, υπάρχουν προαιρετικά αναερόβια που μπορούν να αλλάξουν μεταξύ αερόβιας και αναερόβιας ανάπτυξης με βάση τη διαθεσιμότητα οξυγόνου. Τα επίπεδα οξυγόνου επηρεάζουν τους τύπους μικροοργανισμών που μπορούν να ευδοκιμήσουν σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Η εξάπλωση παθογόνων μικροοργανισμών παράλληλα, ενδοτοξινών, οσμών και σωματιδίων σκόνης στον αέρα είναι αναπόφευκτη συνέπεια της παραγωγής και της διαχείρισης των απορριμμάτων. Έτσι, ο κίνδυνος μολύνσεων που σχετίζονται με τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (WWTP) έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία τις τελευταίες δεκαετίες. Τα λύματα και η ασταθής ιλύς περιέχουν διάφορα παθογόνα, όπως ιούς, βακτήρια και ανθρώπινα και ζωικά παράσιτα (Korzeniewska, 2011). Αυτοί οι μικροοργανισμοί μπορούν να μεταδοθούν στον αέρα του περιβάλλοντος με σταγονίδια λυμάτων, τα οποία δημιουργούνται κατά τον αερισμό ή τη μηχανική μετακίνηση των λυμάτων. Ως εκ τούτου, τα βιοαερόλύματα που παράγονται κατά την επεξεργασία των λυμάτων ενδέχεται να αποτελούν δυνητικό κίνδυνο για την υγεία των εργαζομένων αυτών των εγκαταστάσεων ή των κατοίκων του περιβάλλοντός τους. Ο βαθμός της ανθρώπινης έκθεσης σε αερομεταφερόμενα βακτήρια, μύκητες, ενδοτοξίνες και άλλα αλλεργιογόνα μπορεί να ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τον τύπο και την ικανότητα ενός φυτού, το είδος των εγκαταστάσεων, τις δραστηριότητες που εκτελούνται και τις μετεωρολογικές συνθήκες. Η αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, σε συνδυασμό με την εντατική ανάπτυξη της βιομηχανίας και της γεωργίας, είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία και τη συσσώρευση μεγάλων ποσοτήτων απορριμμάτων σε όλο τον κόσμο. Η εξάπλωση παθογόνων μικροοργανισμών, ενδοτοξινών, οσμών και σωματιδίων σκόνης στον αέρα είναι αναπόφευκτη συνέπεια της παραγωγής και της διαχείρισης των απορριμμάτων. Έτσι, ο

κίνδυνος μολύνσεων που σχετίζονται με τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας λυμάτων (WWTP) έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία τις τελευταίες δεκαετίες. Τα λύματα και η ασταθής ιλύς περιέχουν διάφορα παθογόνα, όπως ιούς, βακτήρια και ανθρώπινα και ζωικά παράσιτα. Αυτοί οι μικροοργανισμοί μπορούν να μεταδοθούν στον αέρα του περιβάλλοντος με σταγονίδια λυμάτων, τα οποία δημιουργούνται κατά τον αερισμό ή τη μηχανική μετακίνηση των λυμάτων. Ως εκ τούτου, τα βιοαεrolύματα που παράγονται κατά την επεξεργασία των λυμάτων ενδέχεται να αποτελούν δυνητικό κίνδυνο για την υγεία των εργαζομένων αυτών των εγκαταστάσεων ή των κατοίκων του περιβάλλοντός τους (Korzeniewska, 2011).

Η μόλυνση του αέρα από μικροοργανισμούς, συμπεριλαμβανομένων των παθογόνων, προκαλείται από διάφορες πηγές, τόσο φυσικές, όπως νερό, έδαφος ή σάπια φυτά και υπολείμματα ζώων, όσο και ανθρωπογενείς, συμπεριλαμβανομένων των αστικών χωματερών και των μονάδων επεξεργασίας λυμάτων. Τα παθογόνα, που εντοπίζονται κυρίως στα περιττώματα, και οι εκκρίσεις των ασθενών μεταφέρονται γενικά από τα λύματα και τα αστικά απόβλητα από νοικοκυριά και νοσοκομεία, δημιουργώντας απροσδιόριστο κίνδυνο για την υγεία στον περιβάλλοντα χώρο των WWTP. Η παραγωγή, η επεξεργασία και η διάθεση των ανθρώπινων και ζωικών αποβλήτων συμβάλλουν στην αύξηση της παραγωγής βιοαεροζόλ που περιέχουν μεγάλη ποικιλία μικροβιακών παθογόνων και σχετικών ρύπων (Korzeniewska, 2011). Τα βιοαεrolύματα μπορεί να αποτελέσουν όχημα για τη διάδοση ανθρώπινων και ζωικών παθογόνων παραγόντων από τα λύματα. Η παρουσία τους στον αέρα μπορεί να αποτελέσει πιθανή επιδημιολογική απειλή. Η σύγκριση του βαθμού μόλυνσης με βιοαεrolύματα που παράγονται από WWTP που χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους συστημάτων επεξεργασίας λυμάτων, φαίνεται να είναι ιδιαίτερα σημαντική. Ο άνθρακας, το άζωτο, ο φώσφορος και διάφορα ιχνοστοιχεία είναι απαραίτητα για την επιβίωσή τους. Θρεπτικά συστατικά μπορούν να βρεθούν σε οργανική ύλη, όπως φυτικό και ζωικό υλικό σε αποσύνθεση, καθώς και σε ανόργανες πηγές όπως μέταλλα και άλατα. Η διαθεσιμότητα των

θρεπτικών συστατικών επηρεάζει τους ρυθμούς ανάπτυξης και τη λοιμογόνο δράση των παθογόνων (Korzeniewska, 2011).

Οι παθογόνοι μικροοργανισμοί έχουν συχνά φυσικές δεξαμενές ή ενδιαιτήματα όπου επιμένουν και πολλαπλασιάζονται. Αυτές οι δεξαμενές μπορεί να είναι χώμα, υδάτινα σώματα, ζώα ή φυτά. Για παράδειγμα, το έδαφος μπορεί να φιλοξενεί βακτήρια όπως το *Clostridiumtetani*, τον αιτιολογικό παράγοντα του τετάνου, ενώ τα υδάτινα σώματα μπορεί να περιέχουν υδατογενή παθογόνα όπως το *Vibriocholerae*, που ευθύνονται για τα κρούσματα χολέρας. Η κατανόηση των δεξαμενών και των συνθηκών που υποστηρίζουν την επιβίωση των παθογόνων σε αυτά τα περιβάλλοντα είναι ζωτικής σημασίας για την πρόληψη και τον έλεγχο των ασθενειών. Το κολύμπι στα νερά των ωκεανών, συμπεριλαμβανομένου του νερού των ωκεανών σε παραλίες που δεν επηρεάζονται από γνωστές σημειακές πηγές ρύπανσης, είναι μια αυξανόμενη ανησυχία για την υγεία (Abdelzaher et al., 2010). Η μελέτη τους είναι μια αρχική αξιολόγηση της παρουσίας μικροβίων και παθογόνων δεικτών και της συσχέτισης μεταξύ των μικροβίων δεικτών, των παθογόνων και των περιβαλλοντικών συνθηκών σε μια υποτροπική, ψυχγωγική θαλάσσια παραλία στη νότια Φλόριντα που επηρεάζεται από μη σημειακές πηγές ρύπανσης. Δώδεκα δείγματα νερού και οκτώ άμμου συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια τεσσάρων δειγματοληπτικών γεγονότων σε υψηλή ή άμωτη υπό συνθήκες αυξημένης ή μειωμένης ηλιακής ακτινοβολίας. Οι αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν περιελάμβαναν αναλύσεις βακτηρίων δεικτών κοπράνων (FIB) (κολοβακτηρίδια κοπράνων, *Escherichia coli*, εντερόκοκκοι και *Clostridiumperfringens*), δείκτες παρακολούθησης μικροβιακής πηγής που σχετίζονται με τον άνθρωπο (ανθρώπινοι ιοί πολυωματικών [HPyVs] και γονίδιο *Enterococcusfaeciumesp*) και παθογόνα (*Vibriovulnificus*, *Staphylococcusaureus*, εντεροϊός, νοροϊός, ιός ηπατίτιδας Α, *Cryptosporidiumsp.* και *Giardiaspp.*). Οι συγκεντρώσεις του εντερόκοκκου στο νερό και την άμμο που προσδιορίστηκαν με ποσοτική PCR ήταν μεγαλύτερες από τις συγκεντρώσεις

που καθορίστηκαν με τη μέτρηση διήθησης μεμβράνης. Οι συγκεντρώσεις FIB στο νερό ήταν κάτω από τα πρότυπα ποιότητας του νερού αναψυχής για τρία από τα τέσσερα συμβάντα δειγματοληψίας, όταν τα παθογόνα και οι δείκτες MST ήταν επίσης γενικά μη ανιχνεύσιμοι (Abdelzaher et al., 2010).

Τα επίπεδα FIB υπερέβησαν τις ρυθμιστικές κατευθυντήριες γραμμές κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος, και αυτό συνοδεύτηκε από ανίχνευση HPyV και παθογόνων, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης του αυτόχθονου βακτηρίου *V. vulnificus* σε άμμο και νερό, ανίχνευση των αλλόχθων πρωτόζωων *Giardiaspp.* σε νερό και ανίχνευση *Cryptosporidiumsp.* σε δείγματα άμμου. Τα υψηλά επίπεδα μικροβίων ανιχνεύθηκαν στην υψηλή παλίρροια και σε συνθήκες χαμηλής ηλιακής ακτινοβολίας. Θα πρέπει να διεξαχθούν πρόσθετες δειγματοληψίες για να διερευνηθούν περαιτέρω οι σχέσεις μεταξύ παλιρροϊκών και ηλιακών συνθηκών ηλιακής ακτινοβολίας και μεταξύ μικροβίων δεικτών και παθογόνων σε υποτροπικά θαλάσσια ύδατα αναψυχής που επηρεάζονται από μη σημειακή ρύπανση. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ενώ αυτές οι φυσικές συνθήκες παρέχουν ευνοϊκά περιβάλλοντα για την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών, από μόνες τους δεν προκαλούν ασθένειες. Η παρουσία ευπαθών ξενιστών, όπως οι άνθρωποι ή τα ζώα, και οι οδοί μετάδοσης είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες για την εμφάνιση της νόσου. Ο εντοπισμός των φυσικών συνθηκών που ευνοούν την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών επιτρέπει την εφαρμογή προληπτικών μέτρων (Abdelzaher et al., 2010). Αυτά τα μέτρα μπορεί να περιλαμβάνουν κατάλληλες πρακτικές υγιεινής, επεξεργασία νερού, έλεγχο των φορέων και προώθηση της υγιεινής και της καθαριότητας. Επιπλέον, η κατανόηση αυτών των συνθηκών βοηθά στην ανάπτυξη στρατηγικών για την επιτήρηση, την έγκαιρη ανίχνευση και την απόκριση σε κρούσματα μολυσματικών ασθενειών. Αντιμετωπίζοντας αυτές τις φυσικές συνθήκες, μπορούμε να μειώσουμε σημαντικά τους

κινδύνους που συνδέονται με τους παθογόνους μικροοργανισμούς και να προστατεύσουμε τη δημόσια υγεία.

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση των πιθανών επιπτώσεων και των κινδύνων που σχετίζονται με τα υδατογενή παθογόνα. Η κλιματική αλλαγή, ειδικότερα, έχει αναγνωριστεί ως ένας σημαντικός περιβαλλοντικός παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την επιβίωση και τη μεταφορά παθογόνων παραγόντων. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι αλλαγές στη βροχόπτωση και την απορροή, που οφείλονται στην κλιματική αλλαγή, μπορούν να επηρεάσουν τη μεταφορά των αποβλήτων κοπράνων από ορεινές πηγές σε υδάτινα σώματα (Baker-Austin et al., 2017). Επιπλέον, η ιστορική μεταβλητότητα του κλίματος και τα μελλοντικά σενάρια κλιματικής αλλαγής χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της ευαισθησίας των συστημάτων σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η κλιματική αλλαγή (Baker-Austin et al., 2017). Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι παθογόνοι μικροοργανισμοί ανταποκρίνονται στις κλιματικές αλλαγές είναι ζωτικής σημασίας για τον εντοπισμό των τρωτών σημείων και την ανάπτυξη στρατηγικών προσαρμογής για τη μείωση των μελλοντικών κινδύνων. Οι συνδυασμένες επιπτώσεις των αλλαγών στο κλίμα και της χρήσης γης στα παθογόνα δεν έχουν ενσωματωθεί πλήρως στις περισσότερες μελέτες, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για περισσότερη έρευνα σε αυτόν τον τομέα. Η χρήση της αστικής και γεωργικής γης, οι απορρίψεις ρύπων και οι υποδομές διαχείρισης των υδάτων είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τα υδατογενή παθογόνα. Για παράδειγμα, η αδιαπέραστη κάλυψη που σχετίζεται με την αστική ανάπτυξη μειώνει τη διείσδυση του νερού και αυξάνει την επιφανειακή απορροή κατά τη διάρκεια καταιγίδων, οδηγώντας σε αυξημένη μεταφορά κοπράνων που περιέχουν παθογόνα. Είναι προφανές ότι η ολιστική κατανόηση των περιβαλλοντικών παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της κλιματικής αλλαγής, της χρήσης γης και της διαχείρισης των υδάτων, είναι απαραίτητη για την

ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών για τη μείωση των φορτίων των παθογόνων και τη διασφάλιση της ασφάλειας των υδάτινων πόρων (Baker-Austin et al., 2017).

Το ζήτημα της κλιματικής αλλαγής ως παράγοντας που προωθεί την εξάπλωση των υδατογενών ασθενειών γίνεται όλο και πιο σημαντικό, με αναφορά στις λοιμώξεις που προκαλούνται από βακτηριακά παθογόνα (Baker-Austin et al., 2017). Μεταξύ τέτοιων παθογόνων βακτηρίων, τα *vibrios* παίζουν παγκόσμιο ρόλο στην πρόκληση ασθενειών στους ανθρώπους και στα υδρόβια ζώα. Αυτά τα αρνητικά κατά Gram βακτήρια, όπως τα είδη *Vibrio vulnificus*, *Vibrio parahaemolyticus* και *Vibrio cholerae*, είναι κοινά σε ζεστά νερά με χαμηλή αλατότητα και η αφθονία τους στο φυσικό περιβάλλον εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Ο αριθμός των ανθρώπινων μολύνσεων είναι υψηλός στο θαλάσσιο περιβάλλον που θερμαίνεται γρήγορα και κυρίως οι εστίες συμβαίνουν κατά τη διάρκεια σοβαρών καιρικών συμβάντων όπως οι καύσωνες στη Βόρεια Ευρώπη (Baker-Austin et al., 2017). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η εμφάνιση παθογόνων μικροοργανισμών επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις αλλαγές θερμοκρασίας, προτείνουμε αυτό το σύνολο μικροοργανισμών ως απαραίτητο εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση της κλιματικής αλλαγής στα θαλάσσια συστήματα. Παρέχονται ορισμένα συγκεκριμένα παραδείγματα των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε αυτήν την ομάδα βακτηρίων και τις σχετικές ασθένειες και συζητούνται προηγμένες στρατηγικές για τη βελτίωση της κατανόησης αυτών των αναδυόμενων υδατογενών ασθενειών μέσω της ενσωμάτωσης μικροβιολογικών, γονιδιωματικών, επιδημιολογικών, κλιματικών και ωκεανών επιστήμες (Baker-Austin et al., 2017; Matson et al., 2010).

Ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής στην επιβίωση και την εξάπλωση των παθογόνων μικροοργανισμών είναι ένα σύνθετο και πολύπλευρο ζήτημα. Οι αλλαγές θερμοκρασίας και βροχόπτωσης είναι δύο βασικοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη συμπεριφορά αυτών των παθογόνων. Ενώ οι αλλαγές στη θερμοκρασία έχουν γίνει

καλύτερα κατανοητές από τις αλλαγές στη βροχόπτωση στις περισσότερες περιοχές των ΗΠΑ, η σχετική επιρροή αυτών των δύο παραγόντων στα υδατογενή παθογόνα εξακολουθεί να αποτελεί ερευνητικό ερώτημα. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες του νερού που προκύπτουν από την κλιματική αλλαγή θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ανάπτυξη και αυξημένο επιπολασμό παθογόνων παραγόντων που απαντώνται στη φύση, όπως το *Vibrio spp.* και η *Legionella*. Οι βακτηριακοί δείκτες της πιθανής παρουσίας ανθρώπινων παθογόνων στα υδάτινα συστήματα έχουν παραδοσιακά απαριθμηθεί στο νερό. Ωστόσο, η πρόσφατη βιβλιογραφία έχει συμπεριλάβει αρκετές αναφορές για αυξημένο αριθμό δεικτών και παθογόνων στα ιζήματα. Κατά την μιας εκροής λυμάτων, ο Hendricks βρήκε περίπου το 90 τοις εκατό των απομονώσεων *Salmonella* στα ιζήματα και απέδειξε υψηλότερο ποσοστό ανάκτησης από ιζήματα παρά από νερό. Οι VanDonsel και Geldreich ανακάλυψαν 100 έως 1.000 φορές περισσότερες μορφές κοπράνων στη λάσπη του ποταμού παρά στο υπερκείμενο νερό. Αυξημένο αριθμό κολοβακτηριδίων κοπράνων στον ποταμό Μισισσιπή υπέδειξε ο Grimes, ο οποίος εμφανίστηκε κατά τη διάρκεια και μετά τη βυθοκόρηση του καναλιού, οδηγώντας στο συμπέρασμα ότι τα επαναιωρούμενα ιζήματα είχαν λειτουργήσει ως πηγή απελευθέρωσης. Οι αναφορές σχετικά με τους δείκτες και την επιβίωση και τον πολλαπλασιασμό των παθογόνων στα ιζήματα είναι πολύ πιο σχετικές με αυτή τη θεμελιώδη θεωρία των δεικτών ρύπανσης. Οι εντερικοί οργανισμοί έχουν αποδειχθεί ότι μεταβολίζουν εκλούσματα ιζημάτων γλυκού νερού και αναπτύσσονται, καθώς και αναπαράγονται, σε συστήματα θαλάσσιων ιζημάτων χωρίς θηρευτές. Επομένως, η ταχεία απομάκρυνση από το νερό μπορεί να συμβάλει στην αύξηση του πληθυσμού των ιζημάτων. Στα συστήματα ρηχών υδάτων, η σημασία των βενθικών μικροοργανισμών είναι ήδη αναγνωρισμένη επειδή σε τέτοιες περιπτώσεις η βιομάζα και η μεταβολική δραστηριότητα συνεισφέρονται από τη βενθική κοινότητα. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι η ανάλυση ιζημάτων με δείκτες θα μπορούσε να είναι χρήσιμη για περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με την ποιότητα του νερού. Υπό το

φως αυτών των πρόσφατων στοιχείων, θα παρουσιαστούν δεδομένα που συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια τριετούς μελέτης δεικτών και άλλων βακτηρίων και ζυμομυκήτων στη λεκάνη του ποταμού Shetucket στο βορειοανατολικό Κονέκτικατ. Για όλους τους εξεταζόμενους μικροοργανισμούς, σημειώνονται υψηλότερες συγκεντρώσεις στα ιζήματα από ότι στα υπόγεια ύδατα (Matson et al., 2010).

Η ρύπανση και η μόλυνση παίζουν σημαντικό ρόλο στην αύξηση των παθογόνων μικροοργανισμών, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των ασθενειών που μεταδίδονται στα τρόφιμα και στο νερό. Η παρουσία μιας υγιούς μικροχλωρίδας σε ένα άτομο μπορεί να παρέχει προστασία από παθογόνους οργανισμούς που εισέρχονται στο σώμα μέσω μολυσμένου ή μολυσμένου νερού ή τροφής. Ωστόσο, η ρύπανση και η μόλυνση μπορεί να εμφανιστούν σε διάφορα περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων εξυπηρέτησης τροφίμων και των σπιτιών, συμβάλλοντας στον πολλαπλασιασμό παθογόνων μικροοργανισμών. Στην περίπτωση των νωπών προϊόντων, οι περιβαλλοντικές πηγές στο χωράφι μπορούν να χρησιμεύσουν ως μέσο με το οποίο τα παθογόνα μολύνουν τα φρούτα και τα λαχανικά. Επιπλέον, η επαφή με τον εξοπλισμό συγκομιδής και τα δοχεία που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά των προϊόντων μπορεί επίσης να οδηγήσει σε μόλυνση από παθογόνα. Η αύξηση των παθογόνων μικροοργανισμών στα νωπά προϊόντα μπορεί να αποδοθεί στη ρύπανση και τη μόλυνση, που παρέχουν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη και την επιβίωσή τους. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το ζήτημα, είναι σημαντικό να αποκτήσουμε καλύτερη κατανόηση των μικροβιακών οικοσυστημάτων που υπάρχουν στα ωμά φρούτα και λαχανικά. Αυτή η γνώση είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη παρεμβάσεων που ελαχιστοποιούν τη μόλυνση και αποτρέπουν την ανάπτυξη παθογόνων. Αξίζει να σημειωθεί ότι η παρουσία και ο αριθμός βακτηρίων, ζυμομυκήτων, μούχλας, παρασίτων και ιών στα προϊόντα μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το είδος προϊόντος, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για ολοκληρωμένη παρακολούθηση και προληπτικά μέτρα (To et al., 2020; Ziska, 2008, 2019).

Η αυξημένη ένταση της εποχής της γύρης μπορεί να αποδοθεί στην αυξημένη συγκέντρωση γύρης. Η κλιματική αλλαγή είναι, εν μέρει, αποτέλεσμα της αύξησης των ατμοσφαιρικών αερίων του θερμοκηπίου όπως το διοξείδιο του άνθρακα, το υποξείδιο του αζώτου και το μεθάνιο. Σε μια μελέτη σχετικά με το διοξείδιο του άνθρακα της ατμόσφαιρας και τη βιολογία των φυτών, οι αυξήσεις στο διοξείδιο του άνθρακα αποδείχθηκε ότι οδηγούν σε αντανακλαστική αύξηση της αναπαραγωγής των φυτών και των συνολικών επιπέδων γύρης. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένας από τους τέσσερις κύριους πόρους που απαιτούνται από τα φυτά για την επιτυχή φωτοσύνθεση. Καθώς οι συγκεντρώσεις CO₂ έχουν αυξηθεί, το ίδιο συμβαίνει και με την ανάπτυξη των φυτικών ειδών που ευδοκιμούν σε υψηλές συγκεντρώσεις CO₂ (φυτά «C₃»), καθώς και στα υποπροϊόντα γύρης τους (D'Amato et al., 2010; Erbas et al., 2012; Hamaoui-Laguel et al., 2015; Katelaris & Beggs, 2018; Patella et al., 2018; To et al., 2020; Ziska, 2008, 2019).

Οι παραπάνω μελέτες έχουν αποδείξει διάφορους τρόπους με τους οποίους η κλιματική αλλαγή έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει το ανθρώπινο σώμα. Για να ελαχιστοποιήσουμε αυτόν τον αντίκτυπο, πρέπει να τερματίσουμε την καταστροφή του φυσικού μας περιβάλλοντος, να μειώσουμε τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να παροτρύνουμε τους συνομηλίκους μας να υιοθετήσουν πιο «πράσινη» συμπεριφορά. Είναι σαφές ότι οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής εκτείνονται πέρα από το φυσικό περιβάλλον και στο ανθρώπινο σώμα. Σε αυτήν την ανασκόπηση παρουσιάστηκαν λεπτομερώς αρκετές από αυτές τις επιπτώσεις. Ένα ζεστό κλίμα έχει προκαλέσει έξαρση των υπαρχουσών αναπνευστικών αλλεργικών ασθενειών και εμπλέκεται στην αύξηση των αλλεργιών. Η κλιματική αλλαγή έχει αλλάξει δραματικά το προφίλ των αντιγόνων στα οποία εκτίθεται το σώμα μας, βομβαρδίζοντας το ανοσοποιητικό μας σύστημα και δυνητικά την ικανότητά του για ειδική ανοχή για αντιγόνα (D'Amato et al., 2010; Erbas et al., 2012; Hamaoui-Laguel et al., 2015; Katelaris & Beggs, 2018; Patella et al., 2018; To et al., 2020; Ziska, 2008, 2019).

Οι μικροβιακές διεργασίες έχουν κεντρικό ρόλο στις παγκόσμιες ροές των βασικών βιογενών αερίων του θερμοκηπίου (διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο και υποξείδιο του αζώτου) και είναι πιθανό να ανταποκριθούν γρήγορα στην κλιματική αλλαγή. Δεν είναι σαφές εάν οι αλλαγές στις μικροβιακές διεργασίες οδηγούν σε καθαρή θετική ή αρνητική ανάδραση για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Για να βελτιωθεί η πρόβλεψη των κλιματικών μοντέλων, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τους μηχανισμούς με τους οποίους οι μικροοργανισμοί ρυθμίζουν την επίγεια ροή αερίων του θερμοκηπίου. Αυτό περιλαμβάνει την εξέταση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων που συμβαίνουν μεταξύ των μικροοργανισμών και άλλων βιοτικών και αβιοτικών παραγόντων. Η δυνατότητα μετριασμού της κλιματικής αλλαγής με τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μέσω της διαχείρισης των επίγειων μικροβιακών διεργασιών είναι μια δελεαστική προοπτική για το μέλλον (Singh et al., 2010).

Τα φρούτα και τα λαχανικά παράγονται σε όλο τον κόσμο, σε διάφορες κλιματικές συνθήκες, ακολουθώντας διαφορετικές πρακτικές παραγωγής και νομοθεσία για την ασφάλεια των τροφίμων. Το εμπόριο με αυτά τα εμπορεύματα αυξήθηκε σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Ωστόσο, παρατηρήθηκε αύξηση στον αριθμό των αναφερόμενων μικροβιολογικών κινδύνων, των υπολειμμάτων φυτοφαρμάκων και των μυκοτοξινών, το οποίο μπορεί να υποδεικνύει ανεπάρκειες στις δραστηριότητες ελέγχου που εφαρμόζονται επί του παρόντος σε εταιρείες. Ορισμένα από αυτά τα περιστατικά ασφάλειας τροφίμων έχουν συσχετιστεί με κλιματικά φαινόμενα και ακραίες καταστάσεις (Kirezieva et al., 2015). Για παράδειγμα, η αυξημένη εμφάνιση ορισμένων εντερικών ασθενειών έχει συνδεθεί με την εποχικότητα και τα κύματα καύσωνα (D'Souza et al., 2004, Kovats et al., 2004, Kovats et al., 2005). Οι ραγδαίες αυξήσεις της μόλυνσης του περιβάλλοντος έχουν τεκμηριωθεί μετά από έντονες βροχοπτώσεις, καταιγίδες και πλημμύρες (Semenza et al., 2012). Επιπλέον, η εφαρμογή φυτοφαρμάκων και ο κίνδυνος υπολειμμάτων θεωρείται ότι αυξάνονται λόγω της

κλιματικής αλλαγής και των ακραίων γεγονότων (Konats et al., 2005). Ο κίνδυνος για την ασφάλεια των τροφίμων και οι ευπάθειες στις τρέχουσες δραστηριότητες ελέγχου στην πρωτογενή παραγωγή αναμένεται πράγματι να επιδεινωθούν περαιτέρω από την κλιματική αλλαγή (Miraglia et al., 2009). Οι πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην ασφάλεια των τροφίμων έχουν επανεξεταστεί εκτενώς (Miraglia et al., 2009). Ωστόσο, υπάρχουν μόνο γενικά και διάσπαρτα στοιχεία σχετικά με το πώς οι πρωτογενείς παραγωγοί μπορούν να ανταποκριθούν στις αλλαγές του κλίματος όσον αφορά την ασφάλεια των τροφίμων. Σε πολλές περιπτώσεις, οι στρατηγικές απόκρισης υπονομεύονται σε λίγα αυθαίρετα μέτρα, δεν λαμβάνεται υπόψη το πλαίσιο εφαρμογής τους και λείπει μια συστηματική προσέγγιση (Marvin et al., 2013).

Η κλιματική αλλαγή δεν είναι πλέον ζήτημα για τις μελλοντικές γενιές. Επηρεάζει τον καθένα μας, τώρα. Εάν δεν ενεργήσουμε άμεσα, ο αντίκτυπός του στην ανθρώπινη υγεία αναμφίβολα θα επιδεινωθεί. Το σώμα μας έχει την απίστευτη ικανότητα να προσαρμόζεται στις περιβαλλοντικές αλλαγές. Ωστόσο, η προσαρμογή διαρκεί γενιές. Είναι επιτακτική ανάγκη να εργαστούμε για να σταματήσουμε την κλιματική αλλαγή, όχι μόνο για να σώσουμε τον πλανήτη μας, αλλά και για να σώσουμε τις ζωές μας.

4.2. Περιορισμοί – Προτάσεις

Η ανάλυση της εκτίμησης της αύξησης παθογόνων μικροοργανισμών στο περιβάλλον και στα τρόφιμα ως απόρροια της κλιματικής κρίσης αντιμετωπίζει περιορισμούς, με τους σημαντικότερους να αναλύονται παρακάτω:

- 1) Υποκειμενικότητα των μεθόδων δειγματοληψίας: Οι μέθοδοι δειγματοληψίας μπορεί να μην αντικατοπτρίζουν ακριβώς την πραγματική κατάσταση της μόλυνσης.
- 2) Διαφορές στη μεθοδολογία: Οι μελέτες χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους ανάλυσης και δείγματα, κάτι που δυσχεραίνει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων.

3) Έλλειψη μακροπρόθεσμων δεδομένων: Η έλλειψη μακροπρόθεσμων δεδομένων παρακολούθησης μπορεί να καθιστά δύσκολο τον καθορισμό της τάσης της μόλυνσης.

4) Επιπτώσεις των παρεμβάσεων: Ορισμένες μελέτες δεν λαμβάνουν υπόψη τις επιπτώσεις των παρεμβάσεων, όπως οι υγειονομικές πρακτικές ή οι νέες τεχνολογίες, στην ανάπτυξη της μόλυνσης.

Είναι αναγκαίο να ληφθούν υπόψη αυτοί οι περιορισμοί κατά την ερμηνεία των αποτελεσμάτων και τη λήψη πολιτικών αποφάσεων για την προστασία της δημόσιας υγείας. Μελλοντικές μελέτες θα πρέπει να επικεντρωθούν στη μείωση αυτών των περιορισμών και στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων προσεγγίσεων για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υγεία και το περιβάλλον. Εάν η παραγωγή τροφίμων πρέπει να αυξηθεί κατά 50% τα επόμενα 50 χρόνια από τους φθίνοντες πόρους γης, αυτό θα χρειαστεί μια βιώσιμη και τεράστια επένδυση κεφαλαίου, χρόνου και ανθρώπινου δυναμικού (Grace et al., 2019). Το κύριο συστατικό της λύσης στο μέλλον θα είναι από μια πλατφόρμα που βασίζεται στην τεχνολογία. Αυτή η τεχνολογία θα πρέπει να παράγει, να επεξεργάζεται, να διανέμει και να εμπορεύεται τρόφιμα που είναι επαρκή, ασφαλή και θρεπτικά για να ανταποκρίνονται στις διατροφικές ανάγκες και προτιμήσεις του παγκόσμιου ανθρώπινου πληθυσμού, χωρίς να επηρεάζεται η βιωσιμότητα του φυσικού περιβάλλοντος. Από την άποψη της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας πρέπει να υπάρξει μια μετατόπιση του παραδείγματος από την εκτίμηση επιπτώσεων στην ανάπτυξη στρατηγικών προσαρμογής και μετριασμού για βιώσιμες επιλογές ελέγχου. Η διαγονιδιακή τεχνολογία ειδικότερα πρέπει να λαμβάνει υπόψη την ολοκληρωμένη διαχείριση ασθενειών στο πλαίσιο της επισιτιστικής ασφάλειας (Van Vuuren & O'Neill, 2006).

4.3. Σύνοψη συμπερασμάτων

Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επηρεάσει τα υδάτινα οικοσυστήματα, τη γεωργία, την κτηνοτροφία και την ατμόσφαιρα. Αυτά επηρεάζουν την ασφάλεια των τροφίμων μέσω πολλών διαφορετικών οδών.

Η αλλαγή των οικοσυστημάτων μπορεί να αυξήσει τον κίνδυνο ασθενειών, όπου τα παθογόνα μεταφέρονται μέσω πολλών οδών στον άνθρωπο.

Η κλιματική αλλαγή μεταβάλλει τη συγκέντρωση και την κατανομή των ατμοσφαιρικών ρύπων και παρεμποδίζει την εποχιακή παρουσία αλλεργιογόνων γύρης στην ατμόσφαιρα παρατείνοντας αυτές τις περιόδους

Η αλλαγή των αβιοτικών συνθηκών θα επηρεάσει τη βιολογία των παθογόνων μικροοργανισμών, το μικροκλίμα που περιβάλλει τα φυτά και την ευαισθησία των φυτών στη μόλυνση. Επειδή τόσο τα παθογόνα όσο και τα φυτά ξενιστές θα επηρεαστούν από το μεταβαλλόμενο κλίμα, αναμένονται ασθένειες.

Η αύξηση της θερμοκρασίας των υδάτων συνδέθηκε με την αύξηση παθογόνων βακτηρίων του γένους *Vibrios* και την αύξηση λοιμώξεων.

Βιβλιογραφία

- Abdelzaher, A. M., Wright, M. E., Ortega, C., Solo-Gabriele, H. M., Miller, G., Elmir, S., & Fleming, L. E. (2010). Presence of pathogens and indicator microbes at a non-point source subtropical recreational marine beach. *Applied and environmental microbiology*, 76(3), 724-732.
- Alava, J. J., Cheung, W. W., Ross, P. S., & Sumaila, U. R. (2017). Climate change–contaminant interactions in marine food webs: Toward a conceptual framework. *Global change biology*, 23(10), 3984-4001.
- Archer, D., & Rahmstorf, S. (2010). *The climate crisis: An introductory guide to climate change*. Cambridge University Press.
- Atchison, C. J., Tam, C. C., Hajat, S., Van Pelt, W., Cowden, J. M., & Lopman, B. A. (2010). Temperature-dependent transmission of rotavirus in Great Britain and The Netherlands. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 277(1683), 933-942.
- Baker-Austin, C., Trinanès, J., Gonzalez-Escalona, N., & Martinez-Urtaza, J. (2017). Non-cholera vibrios: the microbial barometer of climate change. *Trends in microbiology*, 25(1), 76-84.
- Baker-Austin, C., Trinanès, J. A., Salmenlinna, S., Löfdahl, M., Siitonen, A., Taylor, N. G., & Martinez-Urtaza, J. (2016). Heat wave–associated vibriosis, Sweden and Finland, 2014. *Emerging infectious diseases*, 22(7), 1216.
- Baker-Austin, C., Trinanès, J. A., Taylor, N. G., Hartnell, R., Siitonen, A., & Martinez-Urtaza, J. (2013). Emerging *Vibrio* risk at high latitudes in response to ocean warming. *Nature climate change*, 3(1), 73-77.
- Balloux, F., & van Dorp, L. (2017). Q&A: What are pathogens, and what have they done to and for us? *BMC biology*, 15(1), 1-6.
- Baudart, J., & Paniel, N. (2014). Sources and fate of pathogenic microorganisms in aquatic environments. *Revue Francophone des Laboratoires: RFL*, 2014(459), 29-39.
- Beggs, P. J., & Walczyk, N. E. (2008). Impacts of climate change on plant food allergens: a previously unrecognized threat to human health. *Air Quality, Atmosphere & Health*, 1, 119-123.
- Branca, G., Lipper, L., McCarthy, N., & Jolejole, M. C. (2013). Food security, climate change, and sustainable land management. A review. *Agronomy for sustainable development*, 33, 635-650.
- Campbell-Lendrum, D., Manga, L., Bagayoko, M., & Sommerfeld, J. (2015). Climate change and vector-borne diseases: what are the implications for public health research and policy? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1665), 20130552.
- Cann, K. F., Thomas, D. R., Salmon, R. L., Wyn-Jones, A. P., & Kay, D. (2013). Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology & Infection*, 141(4), 671-686.

- Centers for Disease Control and Prevention, (2005). *Vibrio* illnesses after Hurricane Katrina – multiple states, August–September 2005. *MMWR Morb. Mortal. Wkly Rep* 54, 928–931
- Cianconi, P., Betrò, S., & Janiri, L. (2020). The impact of climate change on mental health: a systematic descriptive review. *Frontiers in psychiatry*, 11, 74.
- Colón-González, F. J., Harris, I., Osborn, T. J., Steiner São Bernardo, C., Peres, C. A., Hunter, P. R., ... & Lake, I. R. (2018). Limiting global-mean temperature increase to 1.5–2 °C could reduce the incidence and spatial spread of dengue fever in Latin America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(24), 6243–6248.
- Compant, S., Van Der Heijden, M. G., & Sessitsch, A. (2010). Climate change effects on beneficial plant–microorganism interactions. *FEMS microbiology ecology*, 73(2), 197–214.
- D'Amato, G., Cecchi, L., D'amato, M., & Liccardi, G. (2010). Urban air pollution and climate change as environmental risk factors of respiratory allergy: an update. *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 20(2), 95–102.
- D'Souza, R. M., Becker, N. G., Hall, G., & Moodie, K. B. (2004). Does ambient temperature affect foodborne disease?. *Epidemiology*, 15(1), 86–92.
- EPA, U. (2017). Climate impacts on agriculture and food supply. *United States Environmental Protection Agency, Washington, DC*.
- Erbas, B., Akram, M., Dharmage, S. C., Tham, R., Dennekamp, M., Newbigin, E., ... & Abramson, M. J. (2012). The role of seasonal grass pollen on childhood asthma emergency department presentations. *Clinical & Experimental Allergy*, 42(5), 799–805.
- Fiodor, A., Singh, S., & Pranaw, K. (2021). The contrivance of plant growth promoting microbes to mitigate climate change impact in agriculture. *Microorganisms*, 9(9), 1841.
- Foden, W. B., Young, B. E., Akçakaya, H. R., Garcia, R. A., Hoffmann, A. A., Stein, B. A., ... & Huntley, B. (2019). Climate change vulnerability assessment of species. *Wiley interdisciplinary reviews: climate change*, 10(1), e551.
- Frumkin, H. (2022). Hope, health, and the climate crisis. *The Journal of Climate Change and Health*, 5, 100115.
- Glass, G. E., Yates, T. L., Fine, J. B., Shields, T. M., Kendall, J. B., Hope, A. G., ... & Mills, J. N. (2002). Satellite imagery characterizes local animal reservoir populations of Sin Nombre virus in the southwestern United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(26), 16817–16822.
- Grace, M. A., Achick, T. F. E., Bonghan, B. E., Bih, M. E., Ngo, N. V., Ajeck, M. J., ... & Ntungwen, F. C. (2019). An overview of the impact of climate change on pathogens, pest of crops on sustainable food biosecurity. *Int. J. Ecotoxicol. Ecobiol*, 4, 114–119.
- Hamaoui-Laguel, L., Vautard, R., Liu, L. I., Solmon, F., Viovy, N., Khvorostyanov, D., ... & Epstein, M. M. (2015). Effects of climate change and seed dispersal on airborne ragweed pollen loads in Europe. *Nature Climate Change*, 5(8), 766–771.
- Harf, C., & Monteil, H. (1989). Pathogenic microorganisms in environmental waters: a

- potential risk for human health. *Water international*, 14(2), 75-79.
- Herrera, M., Anadón, R., Iqbal, S. Z., Bailly, J. D., & Ariño, A. (2016). Climate change and food safety. *Food Safety: Basic Concepts, Recent Issues, and Future Challenges*, 149-160.
- Ibáñez, A., Garrido-Chamorro, S., & Barreiro, C. (2023). Microorganisms and Climate Change: A Not So Invisible Effect. *Microbiology Research*, 14(3), 918-947.
- Isik, M., & Devadoss, S. (2006). An analysis of the impact of climate change on crop yields and yield variability. *Applied Economics*, 38(7), 835-844.
- Jeong, J., & Ko, H. (2021). Bracing for climate impact: Renewables as a climate change adaptation strategy. *Abu Dhabi*.
- Junaid, M., Siddiqui, J. A., Sadaf, M., Liu, S., & Wang, J. (2022). Enrichment and dissemination of bacterial pathogens by microplastics in the aquatic environment. *Science of the Total Environment*.
- Kadandale, S., Marten, R., Dalglish, S. L., Rajan, D., & Hipgrave, D. B. (2020). Primary health care and the climate crisis. *Bulletin of the World Health Organization*, 98(11), 818.
- Katellaris, C. H., & Beggs, P. J. (2018). Climate change: allergens and allergic diseases. *Internal medicine journal*, 48(2), 129-134.
- Kim, J. G., & Kim, J. S. (2016). Impact of climate change on food safety: a mini-review. Από <https://www.e-jehs.org/journal/view.html?page=465&volume=42&number=6>
- Kirchman, David L., *Processes in Microbial Ecology*, 2nd edn (Oxford, 2018; online edn, Oxford Academic, 23 Aug. 2018), <https://doi.org/10.1093/oso/9780198789406.001.0001>, Accessed 1 Feb. 2024
- Korzeniewska, E. (2011). Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants—a review. *Front biosci (Schol ed)*, 3, 393-407.
- Kovats, R. S., Edwards, S. J., Charron, D., Cowden, J., D'Souza, R. M., Ebi, K. L. & Schmid, H. (2005). Climate variability and campylobacter infection: an international study. *International Journal of Biometeorology*, 49, 207-214.
- Kovats, R. S. (2004). Will climate change really affect our health? Results from a European Assessment. *British Menopause Society Journal*, 10(4), 139-144.
- Lake, I. R., Gillespie, I. A., Bentham, G., Nichols, G. L., Lane, C., Adak, G. K., & Threlfall, E. J. (2009). A re-evaluation of the impact of temperature and climate change on foodborne illness. *Epidemiology & Infection*, 137(11), 1538-1547.
- Lal, A., Ikeda, T., French, N., Baker, M. G., & Hales, S. (2013). Climate variability, weather and enteric disease incidence in New Zealand: time series analysis. *PLoS One*, 8(12), e83484.
- Lau, J. A., & Lennon, J. T. (2012). Rapid responses of soil microorganisms improve plant fitness in novel environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(35), 14058-14062.
- LeChevallier, M. W., & Au, K. K. (2004). *Water treatment and pathogen control*. Iwa Publishing.

- Levy, K., Smith, S. M., & Carlton, E. J. (2018). Climate change impacts on waterborne diseases: moving toward designing interventions. *Current environmental health reports*, 5, 272-282.
- Litchman, E. (2010). Invisible invaders: non-pathogenic invasive microbes in aquatic and terrestrial ecosystems. *Ecology letters*, 13(12), 1560-1572.
- Liu, C., Hofstra, N., & Franz, E. (2013). Impacts of Climate Change on the Microbial Safety of Pre-harvest Leafy Green Vegetables. *Impact of Climate Change on Microbial Safety of Leafy Green Vegetables*, 163, 11.
- Lurgi, M., Lopez, B. C., & Montoya, J. M. (2012). Climate change impacts on body size and food web structure on mountain ecosystems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1605), 3050-3057.
- Maibach, E., Frumkin, H., & Ahdoot, S. (2021). Health professionals and the climate crisis: trusted voices, essential roles. *World Medical & Health Policy*, 13(1), 137-145.
- Marvin, H. J., Kleter, G. A., Noordam, M. Y., Franz, E., Willems, D. J., & Boxall, A. (2013). Proactive systems for early warning of potential impacts of natural disasters on food safety: Climate-change-induced extreme events as case in point. *Food Control*, 34(2), 444-456.
- Matson, E. A., Hornor, S. G., & Buck, J. D. (1978). Pollution indicators and other microorganisms in river sediment. *Journal (Water Pollution Control Federation)*, 13-19.
- McLaughlin, J. B., DePaola, A., Bopp, C. A., Martinek, K. A., Napolilli, N. P., Allison, C. G., ... & Middaugh, J. P. (2005). Outbreak of *Vibrio parahaemolyticus* gastroenteritis associated with Alaskan oysters. *New England Journal of Medicine*, 353(14), 1463-1470.
- Miraglia, M., Marvin, H. J. P., Kleter, G. A., Battilani, P., Brera, C., Coni, E., ... & Vespermann, A. (2009). Climate change and food safety: an emerging issue with special focus on Europe. *Food and chemical toxicology*, 47(5), 1009-1021.
- Misra, A. K. (2014). Climate change and challenges of water and food security. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1), 153-165.
- McIntyre, K. M., Setzkorn, C., Hepworth, P. J., Morand, S., Morse, A. P., & Baylis, M. (2017). Systematic assessment of the climate sensitivity of important human and domestic animals' pathogens in Europe. *Scientific reports*, 7(1), 7134.
- McNutt, M. (2013). Climate change impacts. *Science*, 341(6145), 435-435.
- McElhany, K. G., & Pillai, S. D. (2010). Prevalence and Fate of Gut-Associated Human Pathogens in the Environment. *The fecal bacteria*, 217-240.
- Moore, S. M., Azman, A. S., Zaitchik, B. F., Mintz, E. D., Brunkard, J., Legros, D., ... & Lessler, J. (2017). El Niño and the shifting geography of cholera in Africa. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(17), 4436-4441.
- Moretti, A., Pascale, M., & Logrieco, A. F. (2019). Mycotoxin risks under a climate change scenario in Europe. *Trends in food science & technology*, 84, 38-40.

- Niewolak, S., & Opieka, A. (2000). Potentially pathogenic microorganisms in water and bottom sediments in the Czarna Hancza River. *Polish Journal of Environmental Studies*, 9(3), 183-194.
- Nguyen, C., Barker, B. M., Hoover, S., Nix, D. E., Ampel, N. M., Frelinger, J. A., ... & Galgiani, J. N. (2013). Recent advances in our understanding of the environmental, epidemiological, immunological, and clinical dimensions of coccidioidomycosis. *Clinical microbiology reviews*, 26(3), 505-525.
- Ostfeld, R. S., & Brunner, J. L. (2015). Climate change and Ixodes tick-borne diseases of humans. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1665), 20140051.
- Paaijmans, K. P., Blanford, S., Bell, A. S., Blanford, J. I., Read, A. F., & Thomas, M. B. (2010). Influence of climate on malaria transmission depends on daily temperature variation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(34), 15135-15139.
- Papaioannou, D., Sutton, A., & Booth, A. (2016). Systematic approaches to a successful literature review. *Systematic approaches to a successful literature review*, 1-336.
- Parlapani, F. F., Bozaris, I. S., & DeWitt, C. A. M. (2023). Pathogens and their sources in freshwater fish, sea finfish, shellfish, and algae. In *Present Knowledge in Food Safety* (pp. 471-492). Academic Press.
- Patella, V., Florio, G., Magliacane, D., Giuliano, A., Crivellaro, M. A., Di Bartolomeo, D., ... & Air Pollution and Climate Change Task Force of the Italian Society of Allergology, Asthma and Clinical Immunology (SIAAIC). (2018). Urban air pollution and climate change: "The Decalogue: Allergy Safe Tree" for allergic and respiratory diseases care. *Clinical and Molecular Allergy*, 16, 1-11.
- Paterson, R. R. M., & Lima, N. (2010). How will climate change affect mycotoxins in food? *Food research international*, 43(7), 1902-1914.
- Patz, J. A. (2016). Solving the global climate crisis: the greatest health opportunity of our times? *Public Health Reviews*, 37, 1-3.
- Paull, S. H., Horton, D. E., Ashfaq, M., Rastogi, D., Kramer, L. D., Diffenbaugh, N. S., & Kilpatrick, A. M. (2017). Drought and immunity determine the intensity of West Nile virus epidemics and climate change impacts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1848), 20162078.
- Paz, S., Bisharat, N., Paz, E., Kidar, O., & Cohen, D. (2007). Climate change and the emergence of *Vibrio vulnificus* disease in Israel. *Environmental research*, 103(3), 390-396.
- Peng, X., Murphy, T., & Holden, N. M. (2008). Evaluation of the effect of temperature on the die-off rate for *Cryptosporidium parvum* oocysts in water, soils, and feces. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(23), 7101-7107.
- Pierrehumbert, R. (2019). There is no Plan B for dealing with the climate crisis. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 75(5), 215-221.
- Piñeiro, C., Cañas, B., & Carrera, M. (2010). The role of proteomics in the study of the influence of climate change on seafood products. *Food research international*, 43(7),

1791-1802.

- Pritchard, S. G. (2011). Soil organisms and global climate change. *Plant Pathology*, 60(1), 82-99.
- Rajkumar, M., Prasad, M. N. V., Swaminathan, S., & Freitas, H. (2013). Climate change driven plant–metal–microbe interactions. *Environment international*, 53, 74-86.
- Semenza, J. C., Herbst, S., Rechenburg, A., Suk, J. E., Höser, C., Schreiber, C., & Kistemann, T. (2012). Climate change impact assessment of food-and waterborne diseases. *Critical reviews in environmental science and technology*, 42(8), 857-890.
- Shaman, J., & Lipsitch, M. (2013). The El Niño–Southern Oscillation (ENSO)–pandemic Influenza connection: Coincident or causal? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(supplement_1), 3689-3691.
- Shaman, J., & Karspeck, A. (2012). Forecasting seasonal outbreaks of influenza. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(50), 20425-20430.
- Singh, B. K., Bardgett, R. D., Smith, P., & Reay, D. S. (2010). Microorganisms and climate change: terrestrial feedbacks and mitigation options. *Nature Reviews Microbiology*, 8(11), 779-790.
- Thomas, J., Utley, J., Hong, S. Y., Korkmaz, H., & Nugent, G. (2020). A Review of the Research. *Handbook of Research on STEM Education*.
- Tian, H., Yu, P., Cazelles, B., Xu, L., Tan, H., Yang, J., ... & Xu, B. (2017). Interannual cycles of Hantaan virus outbreaks at the human–animal interface in Central China are controlled by temperature and rainfall. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(30), 8041-8046.
- Tiedje, J. M., Bruns, M. A., Casadevall, A., Criddle, C. S., Elie-Fadrosh, E., Karl, D. M., ... & Zhou, J. (2022). Microbes and climate change: a research prospectus for the future. *Mbio*, 13(3), e00800-22.
- Tirado, M. C., Clarke, R., Jaykus, L. A., McQuatters-Gollop, A., & Frank, J. M. (2010). Climate change and food safety: A review. *Food Research International*, 43(7), 1745-1765.
- To, T., Zhu, J., Stieb, D., Gray, N., Fong, I., Pinault, L., ... & Dell, S. (2020). Early life exposure to air pollution and incidence of childhood asthma, allergic rhinitis and eczema. *European Respiratory Journal*, 55(2).
- Ukhurebor, K. E., Aigbe, U. O., Onyancha, R. B., & Adetunji, C. O. (2021). Climate change and pesticides: their consequence on microorganisms. *Microbial Rejuvenation of Polluted Environment: Volume 3*, 83-113.
- Van der Spiegel, M., Van der Fels-Klerx, H. J., & Marvin, H. J. P. (2012). Effects of climate change on food safety hazards in the dairy production chain. *Food Research International*, 46(1), 201-208.
- Van Vuuren, D. P., & O'Neill, B. C. (2006). The consistency of IPCC's SRES scenarios to 1990–2000 trends and recent projections. *Climatic Change*, 75(1-2), 9-46.
- Vezzulli, L., Grande, C., Reid, P. C., H  laou  t, P., Edwards, M., H  fle, M. G., ... & Pruzzo, C. (2016). Climate influence on *Vibrio* and associated human diseases during the past

- half-century in the coastal North Atlantic. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(34), E5062-E5071.
- Vezzulli, L., Brettar, I., Pezzati, E., Reid, P. C., Colwell, R. R., Höfle, M. G., & Pruzzo, C. (2012). Long-term effects of ocean warming on the prokaryotic community: evidence from the vibrios. *The ISME journal*, 6(1), 21-30.
- Young, I., Gropp, K., Fazil, A., & Smith, B. A. (2015). Knowledge synthesis to support risk assessment of climate change impacts on food and water safety: A case study of the effects of water temperature and salinity on *Vibrio parahaemolyticus* in raw oysters and harvest waters. *Food Research International*, 68, 86-93.
- Zhang, X., Zhong, T., Liu, L., & Ouyang, X. (2015). Impact of soil heavy metal pollution on food safety in China. *PLoS One*, 10(8), e0135182.
- Ziska, L. H. (2008). Rising atmospheric carbon dioxide and plant biology: the overlooked paradigm. *DNA and Cell Biology*, 27(4), 165-172.
- Ziska, L. H., Makra, L., Harry, S. K., Bruffaerts, N., Hendrickx, M., Coates, F., ... & Crimmins, A. R. (2019). Temperature-related changes in airborne allergenic pollen abundance and seasonality across the northern hemisphere: a retrospective data analysis. *The Lancet Planetary Health*, 3(3), e124-e131.