



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΠΜΣ –ΒΙΩΣΙΜΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΚΑΙ ΚΥΚΛΙΚΗ
ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια και
επάρκεια και αύξηση της ανθεκτικότητας.

Διπλωματική Εργασία



Επιμέλεια: Υδραίος Αναστάσιος

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Όλγα Χριστοπούλου

Βόλος, Ιούλιος 2025

Περιεχόμενα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
1. Κλιματική Αλλαγή και Αγροτική Παραγωγή.....	13
1.1 Πώς η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την αγροτική παραγωγικότητα παγκοσμίως.....	13
1.1.1 Κλιματική και Αγροτική παραγωγικότητα στην Ελλάδα	18
1.2 Ακραία καιρικά φαινόμενα	23
1.3 Αλλαγές στη θερμοκρασία.....	24
1.4 Μοτίβα Βροχοπτώσεων	25
1.5 Παραδείγματα περιοχών που αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα στην αγροτική παραγωγή λόγω της κλιματικής αλλαγής	27
1.5.1 Καλιφόρνια	27
1.5.2 Σαχέλ.....	29
1.5.3 Τουρκία.....	31
2. Επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα τροφίμων	33
2.1 Κλιματική αλλαγή και διαθεσιμότητα τροφίμων.....	33
2.2 Απόδοση καλλιεργειών και αλλαγές στα πρότυπα κατανομής.....	35
2.3 Παραδείγματα περιοχών που αντιμετωπίζουν προκλήσεις στη διατήρηση της διαθεσιμότητας τροφίμων.....	39
2.3.1 Αιθιοπία.....	39
2.3.2 Ινδία.....	42
2.3.3 Ονδούρα	44
3. Διατροφική ποιότητα και ποικιλομορφία	46
3.1 Κλιματική αλλαγή και Διατροφική Ποιότητα	46
3.2 Κλιματική Αλλαγή και Ποικιλομορφία τροφίμων	52
3.3 Κλιματική αλλαγή διατροφική ποιότητα και ποικιλομορφία τροφίμων στην Ελλάδα.....	54
3.4 Τροποποιημένες συνθήκες καλλιέργειας και διαθεσιμότητα σε θρεπτικά συστατικά....	60
3.4.1 Υγρασία του εδάφους και διαθεσιμότητα νερού.....	60
3.4.2 Θερμοκρασία εδάφους	62
3.4.3 Μεταβολές του pH του εδάφους.....	63
3.4.4 Επίπεδα οργανικής ύλης	65
3.4.5 Ατμοσφαιρικές Αλλαγές (επίπεδα CO ₂)	67
3.5 Μείωση της διατροφικής ποικιλομορφίας λόγω κλιματικών αλλαγών στην παραγωγή τροφίμων	68
4. Ευπάθεια Περιθωριοποιημένων Κοινοτήτων	70
4.1 Ευάλωτες κοινότητες και επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην επισιτιστική ασφάλεια	70
4.1.1 Αυξημένη έκθεση σε ακραία καιρικά φαινόμενα.....	70
4.1.2 Πτώση της αγροτικής παραγωγικότητας.....	73

4.1.3 Αύξηση των τιμών των τροφίμων	75
4.1.4 Απώλεια διαβίωσης και μετανάστευση.....	78
4.1.5 Ευάλωτες κοινότητες, διατροφή και επιπτώσεις στην υγεία.....	80
4.2 Ανάλυση κοινωνικοοικονομικών παραγόντων ως αιτιών ευπάθειας	81
4.2.1 Φτώχεια	81
4.2.2 Έλλειψη πρόσβασης σε πόρους.....	83
4.2.3 Περιορισμένη ικανότητα προσαρμογής περιθωριοποιημένων κοινοτήτων.....	84
4.3 Μελέτες περιπτώσεων αναφορικά με τις προκλήσεις για τις περιθωριοποιημένες ομάδες με στόχο τη διασφάλιση της επάρκειας τροφίμων ενόψει της κλιματικής αλλαγής.....	86
4.3.1 Αλάσκα	86
4.3.2 Κένυα	87
4.3.3 Βιετνάμ	89
5. Στρατηγικές οικοδόμησης ανθεκτικότητας	90
5.1 Ανθεκτικότητα, κλιματική αλλαγή και σύστημα τροφίμων	90
5.2 Βιώσιμες γεωργικές πρακτικές.....	94
5.2.1 Αγροοικολογία.....	94
5.2.2 Διαφοροποίηση καλλιεργειών	96
5.2.3 Διατήρηση του εδάφους.....	98
5.3 Πολιτικές παρεμβάσεις και διεθνείς συνεργασίες.....	100
6. Τεχνολογικές καινοτομίες.....	102
6.1 Τεχνολογικές καινοτομίες και πρόοδοι για την επισιτιστική ασφάλεια	102
6.2 Ανθεκτικές στην ξηρασία ποικιλίες καλλιεργειών.....	105
6.3 Κλιματικά έξυπνες τεχνικές καλλιέργειας	107
6.4 Γεωργία ακριβείας.....	110
6.5 Μελέτες περιπτώσεων	112
6.5.1 Τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας στην Κύπρο	112
6.5.2 Διαχείριση εδάφους και υδάτων στην Κένυα	114
6.5.3 Αγροοικολογικές πρακτικές στη Βραζιλία.....	116
7. Συμπεράσματα	118
8. Προτάσεις.....	119
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	121

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 1.4 ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΡΟΤΥΠΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ ΤΟΥ 2024

ΕΙΚΟΝΑ 1.5.2 ΤΥΠΟΛΟΓΙΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΟΥ ΣΑΧΕΛ

ΕΙΚΟΝΑ 1.5.3 ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΠΟΥ ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΤΟΥΡΚΙΑ

ΕΙΚΟΝΑ 2.3.1 ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΑΙΘΙΟΠΙΑΣ

ΕΙΚΟΝΑ 2.3.1.1 ΕΠΙΣΤΙΤΣΤΙΚΗ ΑΝΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΙΘΙΟΠΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΔΥΟ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΠΕΡΙΟΔΩΝ: ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΥΓΟΥΣΤΟ ΕΩΣ ΤΟΝ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ ΤΟΥ 2024 (ΑΡΙΣΤΕΡΟΣ ΧΑΡΤΗΣ) ΚΑΙ ΤΗΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΚΤΩΒΡΙΟ 2024 ΕΩΣ ΤΟΝ ΙΑΝΟΥΑΡΙΟ ΤΟΥ 2025 (ΔΕΞΙΟΣ ΧΑΡΤΗΣ).

ΕΙΚΟΝΑ 2.3.2 ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΙΝΔΙΑΣ

ΕΙΚΟΝΑ 2.3.3 ΧΑΡΤΗΣ ΤΗΣ ΟΝΔΟΥΡΑΣ

ΕΙΚΟΝΑ 2.3.3.1 ΠΛΗΜΜΥΡΙΣΜΕΝΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΣΤΗΝ ΟΝΔΟΥΡΑ ΤΟΝ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟ ΤΟΥ 2021

ΕΙΚΟΝΑ 3.1 ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΕΙΣΡΟΩΝ, ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ, ΤΩΝ ΒΡΑΧΥΠΡΟΘΕΣΜΩΝ ΚΑΙ ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.

ΕΙΚΟΝΑ 3.2 ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΡΟΦΗΣ, ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΣ

ΕΙΚΟΝΑ 3.2.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΟΚΤΩ ΤΡΟΠΩΝ ΜΕ ΤΟΥΣ ΟΠΟΙΟΥΣ Η ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΖΕΙ ΤΗΝ ΔΙΑΤΡΟΦΙΚΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑ.

ΕΙΚΟΝΑ 3.3 ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΗ ΠΥΡΑΜΙΔΑ ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ

ΕΙΚΟΝΑ 3.4.4 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ ΤΗΣ ΟΡΓΑΝΙΚΗΣ ΥΛΗΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΣΤΑ ΘΡΕΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.

ΕΙΚΟΝΑ 4.1.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΧΑΡΤΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ ΔΕΙΚΤΗ ΚΙΝΔΥΝΟΥ ΓΙΑ ΤΟ ΚΛΙΜΑ 2000-2019.

ΕΙΚΟΝΑ 4.1.2 ΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΔΥΝΟΙ

ΕΙΚΟΝΑ 4.1.3 ΧΑΡΤΕΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΩΝ ΤΙΜΩΝ ΤΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ ΓΙΑ ΤΟ 2024.

ΕΙΚΟΝΑ 4.1.4 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΟΥΣ ΕΥΑΛΩΤΟΥΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥΣ

ΕΙΚΟΝΑ 4.1.4.1 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ: ΜΙΑ ΕΙΚΟΝΑ ΧΙΛΙΕΣ ΛΕΞΕΙΣ

ΕΙΚΟΝΑ 4.2.1 Η ΦΤΩΧΕΙΑ, Η ΕΥΠΑΘΕΙΑ ΚΑΙ Η ΠΕΡΙΘΩΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ 3 ΚΥΡΙΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΩΝ.

ΕΙΚΟΝΑ 4.2.3 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΠΤΥΧΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΕΥΠΑΘΕΙΑΣ (ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΙ ΜΕΣΟΙ ΟΡΟΙ ΕΠΙΛΕΓΜΕΝΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΕΥΠΑΘΕΙΑΣ).

ΕΙΚΟΝΑ 4.3.1 CHUGACH, ΝΟΤΙΟΚΕΝΤΡΙΚΗ ΑΛΑΣΚΑ

ΕΙΚΟΝΑ 4.3.2 ΠΡΩΤΕΥΟΥΣΑ ΤΗΣ ΚΕΝΥΑΣ

ΕΙΚΟΝΑ 4.3.3 ΚΟΛΠΟΣ ΧΑ ΛΟΝΓΚ, ΒΙΕΤΝΑΜ

ΕΙΚΟΝΑ 5.1 ΣΧΕΣΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΝΝΟΙΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.

ΕΙΚΟΝΑ 5.2.1 Η ΠΟΛΥΠΛΕΥΡΗ ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΑΓΡΟΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΒΙΟΠΟΙΚΙΛΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗ ΒΙΩΣΙΜΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ.

ΕΙΚΟΝΑ 5.2.3 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ.

ΕΙΚΟΝΑ 5.2.3.1 ΓΕΩΡΓΙΑ ΠΕΡΙΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

ΕΙΚΟΝΑ 6.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΗΣ ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΒΙΟΑΝΘΡΑΚΑ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΤΟ ΑΓΡΟΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.

ΕΙΚΟΝΑ 6.3.1 ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΝΕΡΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟΣΑΧΑΡΙΑΣ ΑΦΡΙΚΗΣ.

ΕΙΚΟΝΑ 6.4 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.

ΕΙΚΟΝΑ 6.4.1 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.

ΕΙΚΟΝΑ 6.5.2 ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΝΖΟΙΑ ΟΠΟΥ ΤΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΕΧΟΥΝ ΜΕΙΩΘΕΙ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΠΑΡΑΤΕΤΑΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.

ΕΙΚΟΝΑ 6.5.2.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ ΟΛ'ΒΟΛΟSSAT.

ΕΙΚΟΝΑ 6.5.3 ΧΩΡΑΦΙ ΜΕ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΧΩΡΙΣ ΑΡΟΣΗ.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ, ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΤΙΜΕΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ 1900.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.1.2 ΟΙ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΟΤΗΤΑ.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.1.3 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.1.4 ΔΗΜΟΦΙΛΕΣΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΠΑΝΕΛΛΑΔΙΚΑ.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1.1.5 ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗ ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΕΚΤΑΣΗ ΑΝΑ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 2.3.2 ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΣΤΗΝ ΙΝΔΙΑ ΤΟ 2022.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.1 ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.3.3 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΡΗ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ ΣΤΗ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 3.3.5 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΤΟΥ ΔΙΟΞΕΙΔΙΟΥ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1.2 ΠΤΥΧΕΣ ΤΗΣ ΒΙΩΣΙΜΗΣ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 4.1.3 ΥΨΗΛΟΤΕΡΑ ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΙΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ 2024.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 ΠΑΓΚΟΣΜΙΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ, ΓΕΩΡΓΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΤΙΜΕΣ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΗΣΙΜΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ 1900.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1.2 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΑ ΓΕΩΡΓΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1.3 ΔΗΜΟΦΙΛΕΣΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΚΤΡΟΦΗΣ ΠΑΝΕΛΛΑΔΙΚΩΣ.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 ΟΙ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.1 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΣΙΤΗΡΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΕΛΙΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3.3 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΑ ΑΜΠΕΛΙΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1.1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΧΩΡΩΝ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΑΠΟ ΑΚΡΑΙΑ ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΣΧΕΤΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΤΟ ΚΛΙΜΑ, 2014-2023.

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σημαντικά την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια και επάρκεια διαταράσσοντας τη γεωργική παραγωγικότητα, αλλάζοντας τα καιρικά πρότυπα και εντείνοντας ακραία φαινόμενα. Η αύξηση της θερμοκρασίας, η ακανόνιστη βροχόπτωση και η αυξημένη συχνότητα ξηρασιών και πλημμυρών μειώνουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών και μειώνουν την αξιοπιστία των συστημάτων τροφίμων. Βασικές γεωργικές περιοχές όπως η Καλιφόρνια, το Σαχέλ και τμήματα της Τουρκίας έχουν ήδη υποστεί σημαντικές μειώσεις στην παραγωγικότητα. Αυτές οι κλιματικές αλλαγές επηρεάζουν επίσης τη διαθεσιμότητα και τη διανομή των τροφίμων. Χώρες όπως η Αιθιοπία, η Ινδία και η Ονδούρα αντιμετωπίζουν αυξανόμενες προκλήσεις όσον αφορά τη διατήρηση των προμηθειών τροφίμων, ιδιαίτερα μεταξύ των ευάλωτων πληθυσμών. Η θρεπτική ποιότητα απειλείται επίσης, καθώς οι αλλαγές στην υγρασία του εδάφους, τη θερμοκρασία, το pH και τα επίπεδα CO₂ της ατμόσφαιρας επηρεάζουν την περιεκτικότητα και την ποικιλομορφία σε θρεπτικά συστατικά της καλλιέργειας. Οι περιθωριοποιημένες κοινότητες επηρεάζονται δυσανάλογα λόγω κοινωνικοοικονομικών ευπαθειών, συμπεριλαμβανομένης της φτώχειας, της περιορισμένης πρόσβασης σε πόρους και της περιορισμένης ικανότητας προσαρμογής. Το αυξημένο κόστος των τροφίμων, η απώλεια βιοπορισμού και η αναγκαστική μετανάστευση βαθαίνουν περαιτέρω την επισιτιστική τους ανασφάλεια. Μελέτες περιπτώσεων από την Αλάσκα, την Κένυα και το Βιετνάμ καταδεικνύουν τις πολύπλευρες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν αυτές οι ομάδες. Σε απάντηση, η οικοδόμηση ανθεκτικότητας είναι ζωτικής σημασίας. Οι στρατηγικές περιλαμβάνουν την υιοθέτηση βιώσιμων γεωργικών πρακτικών, όπως η αγροοικολογία, η διαφοροποίηση των καλλιεργειών και η διατήρηση του εδάφους, καθώς και η προώθηση της κλιματικά έξυπνης γεωργίας και της γεωργίας ακριβείας. Οι τεχνολογικές καινοτομίες όπως οι ανθεκτικές στην ξηρασία ποικιλίες καλλιεργειών και οι προηγμένες γεωργικές τεχνικές μπορούν να ενισχύσουν την προσαρμοστικότητα. Η διεθνής συνεργασία και οι παρεμβάσεις πολιτικής διαδραματίζουν επίσης ζωτικό ρόλο στη δημιουργία ανθεκτικών συστημάτων τροφίμων. Η αντιμετώπιση της επισιτιστικής ασφάλειας στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής απαιτεί μια πολύπλευρη προσέγγιση, ενσωματώνοντας περιβαλλοντικές, τεχνολογικές και κοινωνικές διαστάσεις για τη διασφάλιση της πρόσβασης σε επαρκή, θρεπτικά τρόφιμα για όλους.

Λέξεις κλειδιά: Κλιματική αλλαγή, Ασφάλεια τροφίμων, Αγροτική ανθεκτικότητα, Διατροφική ποιότητα, Βιώσιμη γεωργία

Abstract

Climate change significantly affects global food security and sufficiency by disrupting agricultural productivity, altering weather patterns, and intensifying extreme events. Rising temperatures, irregular precipitation, and increased frequency of droughts and floods diminish crop yields and reduce the reliability of food systems. Key agricultural regions such as California, the Sahel, and parts of Turkey have already experienced substantial declines in productivity. These climate-driven shifts also affect the availability and distribution of food. Countries like Ethiopia, India, and Honduras are facing mounting challenges in maintaining food supplies, particularly among vulnerable populations. Nutritional quality is also threatened, as changes in soil moisture, temperature, pH, and atmospheric CO₂ levels impact crop nutrient content and diversity. Marginalized communities are disproportionately affected due to socioeconomic vulnerabilities, including poverty, limited resource access, and restricted adaptive capacity. The increased cost of food, loss of livelihood, and forced migration further deepen their food insecurity. Case studies from Alaska, Kenya, and Vietnam illustrate the multifaceted challenges these groups face. In response, building resilience is crucial. Strategies include adopting sustainable agricultural practices like agroecology, crop diversification, and soil conservation, as well as promoting climate-smart agriculture and precision farming. Technological innovations such as drought-resistant crop varieties and advanced farming techniques can enhance adaptability. International cooperation and policy interventions also play a vital role in creating resilient food systems. Addressing food security in the context of climate change requires a multifaceted approach, integrating environmental, technological, and social dimensions to safeguard access to sufficient, nutritious food for all.

Keywords: Climate change, Food security, Agricultural resilience, Nutritional quality, Sustainable farming

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επισιτιστική ασφάλεια και επάρκεια είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση ότι όλα τα άτομα έχουν αξιόπιστη πρόσβαση στα τρόφιμα που είναι απαραίτητα για μια υγιή και δραστήρια ζωή. Αυτή η έννοια είναι θεμελιώδης για την ανθρώπινη ευημερία και την αειφόρο ανάπτυξη, αντιμετωπίζοντας τόσο τη διαθεσιμότητα τροφίμων όσο και την ικανότητα των ατόμων να τα αποκτήσουν. Η επισιτιστική ασφάλεια αναφέρεται σε μια κατάσταση όπου όλοι οι άνθρωποι, ανά πάσα στιγμή, έχουν φυσική, κοινωνική και οικονομική πρόσβαση σε επαρκή, ασφαλή και θρεπτικά τρόφιμα που ικανοποιούν τις διατροφικές τους ανάγκες και τις διατροφικές προτιμήσεις τους. Η διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας είναι απαραίτητη για διάφορους λόγους όπως η υγεία και η διατροφή (η επαρκής και θρεπτική τροφή είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της υγείας, την υποστήριξη της σωματικής και γνωστικής ανάπτυξης και την πρόληψη ασθενειών), η οικονομική σταθερότητα (ενισχύοντας την παραγωγικότητα και μειώνοντας το κόστος υγειονομικής περίθαλψης) που σχετίζεται με τον υποσιτισμό και η κοινωνική και πολιτική σταθερότητα (η διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας βοηθά στην αποτροπή συγκρούσεων που προκύπτουν συχνά από τον ανταγωνισμό των πόρων, ιδιαίτερα σε περιοχές όπου τα τρόφιμα είναι ήδη περιορισμένα). Η τροφική επάρκεια επικεντρώνεται στην παραγωγή επαρκούς τροφής για να καλύψει τις απαιτήσεις του πληθυσμού, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις τρέχουσες όσο και τις μελλοντικές ανάγκες. Είναι συνυφασμένη με την επισιτιστική ασφάλεια, καθώς η παραγωγή επαρκούς ποσότητας τροφίμων αποτελεί προϋπόθεση για τη σταθερότητα. Οι βασικές πτυχές περιλαμβάνουν τη Βιώσιμη Παραγωγή και την Ανθεκτικότητα στην Κλιματική Αλλαγή. Η κλιματική αλλαγή θέτει σημαντικές απειλές για την επάρκεια τροφίμων, καθώς τα ακραία καιρικά φαινόμενα, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και τα μεταβαλλόμενα πρότυπα βροχοπτώσεων μπορούν να διαταράξουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών. Η οικοδόμηση ανθεκτικότητας μέσω διαφοροποιημένων καλλιεργειών, προηγμένων γεωργικών τεχνικών και διαχείρισης πόρων συμβάλλει στην προστασία από αυτές τις επιπτώσεις. Η επισιτιστική ασφάλεια είναι ένα παγκόσμιο ζήτημα, καθώς ορισμένες περιοχές βασίζονται σε μεγάλο βαθμό σε εισαγόμενα τρόφιμα λόγω περιορισμένων πόρων ή ακατάλληλων κλιματικών συνθηκών. Οι εμπορικές συνεργασίες, η βοήθεια και οι πολιτικές τροφίμων μπορούν να συμβάλουν στη διασφάλιση δίκαιης κατανομής των πόρων τροφίμων. Η υποστήριξη των τοπικών συστημάτων τροφίμων, όπως οι φάρμες μικρής κλίμακας και η αστική γεωργία, μπορεί να ενισχύσει την επάρκεια τροφίμων σε επίπεδο κοινότητας. Αυτό μειώνει την εξάρτηση από τις εισαγωγές και παρέχει στις κοινότητες περισσότερο έλεγχο στον εφοδιασμό τους σε τρόφιμα. Η κλιματική αλλαγή είναι η μακροπρόθεσμη αλλαγή του κλίματος της Γης, κυρίως λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων όπως η καύση ορυκτών καυσίμων, η αποψίλωση των δασών και οι βιομηχανικές εκπομπές. Αυτές οι δραστηριότητες αυξάνουν τα αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, παγιδεύοντας τη θερμότητα και προκαλώντας αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Μερικές από τις πιο σημαντικές παγκόσμιες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι: *η Αύξηση της θερμοκρασίας* (Οι μέσες

θερμοκρασίες αυξάνονται, οδηγώντας σε πιο έντονους και συχνούς καύσωνες, οι οποίοι επηρεάζουν την υγεία, τη γεωργία και τα οικοσυστήματα), *τα ακραία καιρικά φαινόμενα* (Η κλιματική αλλαγή εντείνει γεγονότα όπως τυφώνες, ξηρασίες, πλημμύρες και πυρκαγιές, προκαλώντας εκτεταμένες καταστροφές, εκτοπίζοντας κοινότητες και πιέζοντας τις οικονομίες) , *η Άνοδος της στάθμης της θάλασσας* (το λιώσιμο των παγετώνων και των πολικών πάγων συμβάλλουν στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας, θέτοντας τις παράκτιες περιοχές σε κίνδυνο πλημμύρας, διάβρωσης και απώλειας οικοτόπων) , *οι Επιπτώσεις στους ωκεανούς* (Οι ωκεανοί απορροφούν μεγάλο μέρος της περίσσειας διοξειδίου του άνθρακα, προκαλώντας οξίνιση, η οποία επηρεάζει τη θαλάσσια ζωή όπως οι κοραλλιογενείς ύφαλοι και τα οστρακοειδή, και διαταράσσει τα ωκεάνια οικοσυστήματα) , *η Επιιστιτική ασφάλεια* (Οι αλλαγές στα καιρικά μοτίβα και τα ακραία φαινόμενα διαταράσσουν τη γεωργία, απειλώντας τις αποδόσεις των καλλιεργειών και τη διαθεσιμότητα τροφίμων, ιδιαίτερα σε ευάλωτες περιοχές) και *η Απώλεια βιοποικιλότητας* (Η αλλαγή των οικοτόπων και η θέρμανση του κλίματος θέτουν σε κίνδυνο πολλά είδη φυτών και ζώων, οδηγώντας σε απώλεια βιοποικιλότητας και ανισορροπίες των οικοσυστημάτων).

Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Η κλιματική αλλαγή αναγνωρίζεται ευρέως ως μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις για την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια. Πρόσφατες μελέτες υπογραμμίζουν πώς οι αυξανόμενες θερμοκρασίες, τα μεταβαλλόμενα μοτίβα βροχοπτώσεων και η αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων υπονομεύουν την αγροτική παραγωγικότητα, διαταράσσουν τη διανομή τροφίμων και αυξάνουν την αστάθεια των αγορών τροφίμων. Αυτές οι αλλαγές επιδεινώνουν τις υπάρχουσες ευπάθειες και εκθέτουν εκατομμύρια ανθρώπους σε κινδύνους διατροφικής ανεπάρκειας και ανασφάλειας. Αυτή η ανασκόπηση συνθέτει πρόσφατη βιβλιογραφία σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην επισιτιστική ασφάλεια και επάρκεια και εξετάζει προσεγγίσεις για την ανθεκτικότητα, δίνοντας έμφαση σε προσαρμοστικές στρατηγικές που ενισχύουν τα συστήματα τροφίμων. Οι αλλαγές θερμοκρασίας που προκαλούνται από το κλίμα έχουν αξιοσημείωτη επίδραση στις αποδόσεις των βασικών καλλιεργειών, με πρόσφατες μελέτες να σημειώνουν μειώσεις ιδιαίτερα σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Οι Zhao κ.α.(2017) και οι Walldhoff κ.α.(2020), παρατήρησαν ότι κάθε βαθμός αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση κατά περίπου 6% στις αποδόσεις σιταριού και καλαμποκιού, υπογραμμίζοντας πώς ακόμη και μικρές αυξήσεις της θερμοκρασίας μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στις παγκόσμιες προμήθειες τροφίμων. Μέχρι το 2024, νεότερα μοντέλα σε μελέτες όπως των Ritchie & Roser (2024), παρέχουν πιο λεπτομερείς περιφερειακές προβλέψεις, δείχνοντας πώς το θερμικό στρες όχι μόνο μειώνει τις αποδόσεις των καλλιεργειών αλλά και μειώνει τη θρεπτική αξία των αγροτικών προϊόντων, επηρεάζοντας την επάρκεια τροφίμων σε μεγαλύτερη κλίμακα. Η αλλαγή των μοτίβων βροχόπτωσης και η αύξηση των ρυθμών εξάτμισης εντείνουν τη λειψυδρία, έναν κρίσιμο παράγοντα στη γεωργική παραγωγικότητα.

Έρευνα του Zhao κ.α.(2017), υπογραμμίζει πώς οι μειώσεις στη διαθεσιμότητα νερού σε βασικές γεωργικές περιοχές, συμπεριλαμβανομένης της Νότιας Ασίας, της Υποσαχάριας Αφρικής και τμημάτων της Λατινικής Αμερικής, απειλούν τη γεωργία που εξαρτάται από την άρδευση. Οι μειωμένοι πόροι γλυκού νερού είναι πιθανό να θέσουν σε κίνδυνο τις αποδόσεις των καλλιεργειών, ιδιαίτερα για καλλιέργειες με υψηλή ζήτηση νερού, όπως το ρύζι και ορισμένα είδη φρούτων και λαχανικών. Μέχρι το 2024, οι προβλέψεις δείχνουν ότι έως και το 60% της αρδευόμενης γης μπορεί να αντιμετωπίσει υδατική πίεση λόγω των κλιματικών αλλαγών (Cai et al., 2024). Ακραία καιρικά φαινόμενα και μελέτες απωλειών καλλιεργειών μεταξύ 2018 και 2024 υπογραμμίζουν την αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων όπως ξηρασίες, πλημμύρες, τυφώνες και καύσωνες που επηρεάζουν άμεσα την παραγωγή τροφίμων. Σύμφωνα με τον Hasegawa κ.α. (2021), οι ξηρασίες και οι πλημμύρες οδηγούν σε σημαντικές ετήσιες απώλειες καλλιεργειών, με παγκόσμια μείωση της απόδοσης κατά περίπου 10-15% κατά τα έτη ακραίας ξηρασίας. Τα ευρήματα της IPCC (2021) δείχνουν ότι, εκτός από την άμεση καταστροφή των καλλιεργειών, τέτοια γεγονότα διαταράσσουν τις αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων, αυξάνουν το κόστος και μειώνουν την πρόσβαση σε τρόφιμα για ευάλωτους πληθυσμούς, επιδεινώνοντας περαιτέρω την επισιτιστική ανασφάλεια. Η υγεία του εδάφους και η πυκνότητα των θρεπτικών συστατικών είναι κρίσιμα για την ποιότητα και την επάρκεια των τροφίμων. Η εκτεταμένη υποβάθμιση και η διάβρωση του εδάφους, εν μέρει λόγω των εντεινόμενων καιρικών συνθηκών που σχετίζονται με το κλίμα και των ακατάλληλων πρακτικών χρήσης γης, περιπλέκουν περαιτέρω την επισιτιστική ασφάλεια. Μελέτες όπως αυτές των El-Ramady κ.α. (2024), υποδεικνύουν ότι τα υποβαθμισμένα εδάφη έχουν μειωμένη ικανότητα να συγκρατούν νερό και θρεπτικά συστατικά, οδηγώντας σε μειωμένη παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Μία έρευνα των Kopittke κ.α. (2017), υπογραμμίζει μια ανησυχητική τάση: τα εδάφη σε ευαίσθητες στο κλίμα περιοχές χάνουν επίσης βασικά μέταλλα, με αποτέλεσμα καλλιέργειες με χαμηλότερη θρεπτική ποιότητα, γεγονός που επηρεάζει την επάρκεια τροφίμων τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Η αύξηση της θερμοκρασίας διευκολύνει την εξάπλωση παρασίτων και ασθενειών σε νέες περιοχές, αυξάνοντας την ευπάθεια των καλλιεργειών. Μελέτες όπως του Deutsch κ.α. (2018), αναφέρουν ότι οι υψηλότερες θερμοκρασίες επεκτείνουν τους οικοτόπους παρασίτων όπως οι ακρίδες, ενώ παθογόνα όπως η σκουριά του σιταριού γίνονται πιο διαδεδομένα, οδηγώντας σε μεγαλύτερες απώλειες καλλιεργειών παγκοσμίως. Αυτή η εξάπλωση είναι ιδιαίτερα επιδραστική σε περιοχές όπου οι γεωργικές πρακτικές δεν διαθέτουν μέτρα ανθεκτικότητας έναντι των εισβολών παρασίτων (Mafongoya et al., 2019). Η ανάπτυξη ποικιλιών καλλιεργειών ανθεκτικών στις μεταβολές του κλίματος είναι μια κεντρική στρατηγική για την αντοχή σε αντίξοες κλιματικές συνθήκες. Η έρευνα μεταξύ 2018 και 2024 έχει σημειώσει σημαντικές προόδους στην αναπαραγωγή ποικιλιών καλλιεργειών ανθεκτικών στη θερμότητα και την ξηρασία. Για παράδειγμα, οι Tesfaye κ.α. (2018), αναφέρουν ότι οι γενετικά τροποποιημένες καλλιέργειες, όπως το ανθεκτικό στην ξηρασία καλαμπόκι, έχουν επιδείξει αυξημένη ανθεκτικότητα σε περιοχές με λειψυδρία. Ομοίως, η ανάπτυξη ποικιλιών ρυζιού ανθεκτικών στο

αλάτι έχει επεκτείνει τη βιώσιμη γεωργική γη σε παράκτιες περιοχές που επηρεάζονται από την αλάτωση (Egea et al., 2023). Οι βιώσιμες πρακτικές όπως η αγροοικολογία, η αναγεννητική γεωργία και η γεωργία διατήρησης προτείνονται με έμφαση ως ανθεκτικές λύσεις. Οι Sinclair κ.α. (2019), διαπίστωσαν ότι η εφαρμογή καλλιεργειών κάλυψης, καλλιεργειών χωρίς άροση και των βιολογικών τροποποιήσεων του εδάφους βελτίωσε την υγεία του εδάφους, ενίσχυσε την κατακράτηση νερού και προστάτευσε τις καλλιέργειες έναντι των ακραίων κλιματικών συνθηκών. Αυτές οι μέθοδοι συμβάλλουν επίσης στη δέσμευση άνθρακα, μειώνοντας το αποτύπωμα άνθρακα της γεωργίας και συμβάλλοντας σε ευρύτερους στόχους μετριασμού του κλίματος. Οι αποτελεσματικές πρακτικές διαχείρισης του νερού, όπως η στάγδην άρδευση, η συλλογή όμβριων υδάτων και η ανακύκλωση λυμάτων, συμβάλλουν στη βελτίωση της ανθεκτικότητας σε περιοχές που αντιμετωπίζουν λειψυδρία. Μια μελέτη του Wang κ.α. (2023), τόνισε ότι τα συστήματα άρδευσης ακριβείας - όπως οι αισθητήρες υγρασίας του εδάφους και η τεχνολογία τηλεπισκόπησης - μπορούν να μειώσουν τη χρήση του νερού έως και 40%, ενισχύοντας έτσι την ανθεκτικότητα των καλλιεργειών που εξαρτώνται από το νερό. Οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής έχουν επίσης ενθαρρύνει τους αγρότες μικρής κλίμακας να εφαρμόσουν τεχνικές εξοικονόμησης νερού που διασφαλίζουν τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα του νερού, ειδικά σε άνυδρες και ημίξηρες περιοχές (Morenje et al., 2024). Τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για ακραία καιρικά φαινόμενα και ασθένειες των καλλιεργειών, επιτρέπουν έγκαιρες παρεμβάσεις, ελαχιστοποιώντας τις επιπτώσεις των κλιματικών διαταραχών στην επισιτιστική ασφάλεια. Ο Wang κ.α. (2023), τεκμηριώνουν την αποτελεσματικότητα των δορυφορικών μετεωρολογικών προβλέψεων, της τηλεπισκόπησης και της μοντελοποίησης με βάση την τεχνητή νοημοσύνη για την παροχή έγκαιρων ειδοποιήσεων στους αγρότες, επιτρέποντας προληπτικές ενέργειες όπως η προσαρμογή των προγραμμάτων φύτευσης ή η εφαρμογή μέτρων ελέγχου παρασίτων. Αυτά τα συστήματα έχουν δείξει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα στη μείωση των απωλειών απόδοσης, ιδιαίτερα σε περιοχές που είναι ευάλωτες σε επαναλαμβανόμενες κλιματικές απειλές. Τα δίκτυα κοινωνικής ασφάλειας, όπως η ασφάλιση των καλλιεργειών, η επισιτιστική βοήθεια και οι επιδοτήσεις, είναι ζωτικής σημασίας για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των επισιτιστικά ανασφαλών πληθυσμών που επηρεάζονται από την κλιματική μεταβλητότητα. Μελέτες όπως αυτή των Béné & Devereux (2023), τονίζουν τη σημασία αυτών των προγραμμάτων, ιδιαίτερα για τους μικροκαλλιεργητές που συχνά δεν διαθέτουν τους πόρους για να ανακάμψουν από τις απώλειες που προκαλούνται από το κλίμα. Οι παρεμβάσεις πολιτικής, συμπεριλαμβανομένων των υποδομών ανθεκτικών στο κλίμα, της αγροτικής εκπαίδευσης και της πρόσβασης στην αγορά, είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την υποστήριξη της ικανότητας προσαρμογής σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο (FAO, 2022). Η ενίσχυση των δικτύων διανομής τροφίμων και η μείωση της σπατάλης τροφίμων είναι πρόσθετες στρατηγικές ανθεκτικότητας. Ο Zhang κ.α. (2018), διαπίστωσαν ότι η μείωση της σπατάλης τροφίμων θα μπορούσε να αντισταθμίσει έως και το 20% των πιθανών ελλείψεων τροφίμων καθιστώντας την

αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων πιο αποτελεσματική. Επιπλέον, τα αποκεντρωμένα δίκτυα τροφίμων και οι τοπικοί κόμβοι τροφίμων μπορούν να βελτιώσουν την πρόσβαση σε τρόφιμα σε ευάλωτες περιοχές κατά τη διάρκεια διακοπών που προκαλούνται από ακραία καιρικά φαινόμενα ή προκλήσεις στις μεταφορές (Paredes-Rodríguez et al., 2024). Τα κλιματικά μοντέλα αποκαλύπτουν ότι η αύξηση της θερμοκρασίας και τα ακανόνιστα μοτίβα βροχοπτώσεων είναι πιθανό να μειώσουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών, ιδιαίτερα για τις βασικές καλλιέργειες. Αυτή η μείωση θα επηρεάσει δυσανάλογα τις περιφέρειες και τις κοινότητες χαμηλού εισοδήματος που ήδη αντιμετωπίζουν επισιτιστική ανασφάλεια. Οι περιοχές με περιορισμένους υδάτινους πόρους, αδύναμες υποδομές και υψηλά ποσοστά φτώχειας είναι ιδιαίτερα ευάλωτες. Αυτές οι περιοχές είναι πιο πιθανό να αντιμετωπίσουν ελλείψεις τροφίμων, οδηγώντας σε υψηλότερες τιμές των τροφίμων και μειωμένη πρόσβαση σε τρόφιμα για τους τοπικούς πληθυσμούς.

Σκοπός και ερευνητικά ερωτήματα

Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι να διερευνήσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην επισιτιστική ασφάλεια, εστιάζοντας σε ζητήματα όπως: οι αλλαγές στις καιρικές και εδαφικές συνθήκες, η μη διαθεσιμότητα και ποιότητα τροφίμων, οι κοινωνικές επιπτώσεις για ευάλωτες κοινότητες και οι στρατηγικές και τεχνολογικές λύσεις για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των συστημάτων τροφίμων. Ακολουθώντας διατυπώνονται τα ερωτήματα στα οποία καλείται να απαντήσει η παρούσα εργασία, μέσω της αξιοποίησης της διεθνούς βιβλιογραφίας:

EP1. Πώς επηρεάζει η κλιματική αλλαγή την παγκόσμια αγροτική παραγωγικότητα; **EP2.** Ποιες είναι οι κύριες απειλές για τη διαθεσιμότητα και ποιότητα τροφίμων εξαιτίας των περιβαλλοντικών μεταβολών; **EP3.** Ποιες είναι οι πιο αποτελεσματικές στρατηγικές και πολιτικές προσαρμογής;

Συνοπτική παρουσίαση κεφαλαίων

Το Κεφάλαιο 1 εξετάζει τη γενική επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην αγροτική παραγωγικότητα, με έμφαση σε μεταβλητές όπως ακραία φαινόμενα, θερμοκρασία, βροχοπτώσεις και παραδείγματα από πληγείσες περιοχές. Το Κεφάλαιο 2 εστιάζει στη διαθεσιμότητα τροφίμων, τη μείωση αποδόσεων, τις μεταβολές στην κατανομή και παραδείγματα χωρών που αντιμετωπίζουν προκλήσεις. Το Κεφάλαιο 3 αναλύει τις επιπτώσεις στη διατροφική ποιότητα και ποικιλομορφία, μέσα από περιβαλλοντικές παραμέτρους όπως το pH, η υγρασία και η συγκέντρωση CO₂. Το Κεφάλαιο 4 εξετάζει τις ευάλωτες κοινότητες, τους παράγοντες ευπάθειας και τις κοινωνικοοικονομικές διαστάσεις που επηρεάζουν την ικανότητα προσαρμογής. Το Κεφάλαιο 5 παρουσιάζει στρατηγικές οικοδόμησης ανθεκτικότητας όπως βιώσιμες γεωργικές πρακτικές και πολιτικές παρεμβάσεις. Το Κεφάλαιο 6 εστιάζει σε τεχνολογικές λύσεις (π.χ. γεωργία ακριβείας, ανθεκτικές ποικιλίες), με παραδείγματα εφαρμογής σε Κύπρο, Κένυα και Βραζιλία. Το Κεφάλαιο 7 παρέχει συγκεκριμένες προτάσεις για την ενίσχυση της επισιτιστικής ασφάλειας. Το Κεφάλαιο 8 συνοψίζει τα βασικά ευρήματα και καταλήγει στα κύρια συμπεράσματα της μελέτης.

Μεθοδολογία

Ανασκόπηση βιβλιογραφίας και συλλογή δεδομένων

Μια διεξοδική βιβλιογραφική ανασκόπηση προηγούμενων μελετών για την κλιματική αλλαγή και την επισιτιστική ασφάλεια παρέχει τη θεμελιώδη γνώση για αυτή τη μελέτη. Τα δεδομένα συλλέγονται από αξιόπιστες πηγές, όπως ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας (FAO), άρθρα σε έγκυρα διεθνή επιστημονικά περιοδικά, εστιάζοντας στις κλιματικές τάσεις, στις στατιστικές παραγωγής τροφίμων και στους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες που επηρεάζουν την πρόσβαση στα τρόφιμα.

Σχεδιασμός Έρευνας

Αυτή η μελέτη σχετικά με τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στην επισιτιστική ασφάλεια, την επάρκεια και την ανθεκτικότητα χρησιμοποιεί έναν πολυεπίπεδο ερευνητικό σχεδιασμό που ενσωματώνει ποσοτικές και ποιοτικές μεθόδους. Η έρευνα έχει δομηθεί για να αξιολογήσει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα συστήματα τροφίμων, να αναλύσει την ευπάθεια σε διαφορετικές κοινότητες και να αξιολογήσει στρατηγικές που ενισχύουν την ανθεκτικότητα. Μελέτες περιπτώσεων κατά κύριο λόγο χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης εικόνας των προκλήσεων και των πιθανών λύσεων.

1. Κλιματική Αλλαγή και Αγροτική Παραγωγή

1.1 Πώς η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την αγροτική παραγωγικότητα παγκοσμίως

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σημαντικά τη γεωργική παραγωγικότητα παγκοσμίως, με επιπτώσεις που ποικίλλουν ανά περιοχή, τύπο καλλιέργειας και γεωργικές πρακτικές. Οι κύριοι τρόποι με τους οποίους η κλιματική αλλαγή επηρεάζει τη γεωργία συνοψίζονται στους εξής: *Μεταβολές θερμοκρασίας* και συγκεκριμένα *άνοδος της θερμοκρασίας* (Οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορούν να επιταχύνουν την ανάπτυξη των καλλιεργειών, μειώνοντας τον χρόνο που έχουν τα φυτά να συσσωρεύσουν βιομάζα, γεγονός που μπορεί να μειώσει τις αποδόσεις) και *θερμικό στρες* (Καλλιέργειες όπως το σιτάρι, ο αραβόσιτος και το ρύζι είναι ευαίσθητες σε ακραίες θερμοκρασίες και το θερμικό στρες κατά τη διάρκεια κρίσιμων περιόδων ανάπτυξης, όπως η ανθοφορία, μπορεί να μειώσει σημαντικά τις αποδόσεις.). *Αλλαγές στα πρότυπα βροχοπτώσεων* και συγκεκριμένα *ξηρασίες* (Οι μειωμένες βροχοπτώσεις ή οι παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας επιβαρύνουν τη διαθεσιμότητα νερού, επηρεάζοντας τις αποδόσεις των καλλιεργειών και την υγεία των ζώων.) και *πλημμύρες* (Οι έντονες βροχοπτώσεις και οι πλημμύρες μπορούν να βλάψουν τις καλλιέργειες, να διαβρώσουν το φυτικό έδαφος και να καταστρέψουν τις υποδομές.). (FAO, 2019).

Αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων και συγκεκριμένα *καταιγίδες και τυφώνες* (Αυτά τα γεγονότα βλάπτουν τις καλλιέργειες, ξεριζώνουν φυτά και καταστρέφουν τις αγροτικές υποδομές.) και *συμβάντα παγετού* (Σε ορισμένες

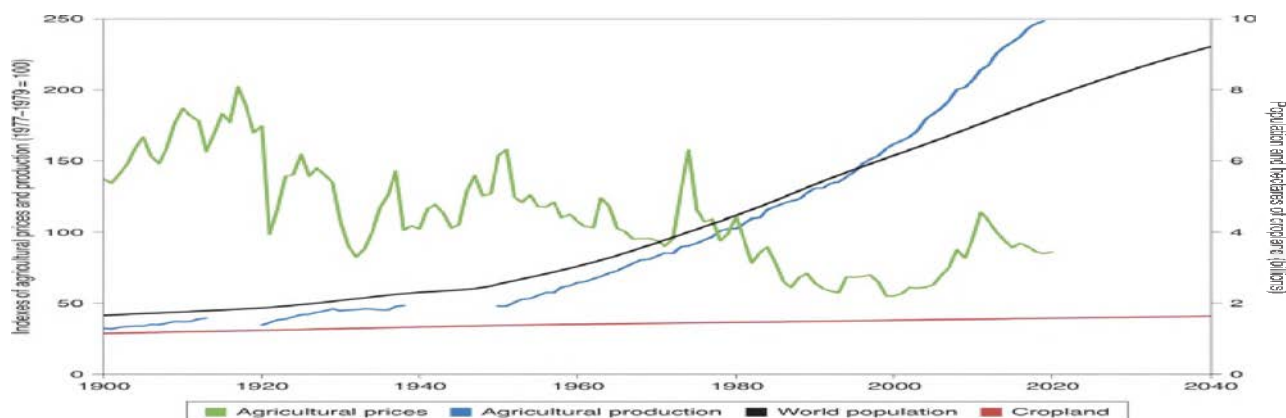
περιοχές, οι μη εποχικοί παγετοί μπορούν να βλάψουν ευαίσθητες καλλιέργειες όπως τα φρούτα και τα λαχανικά). *Υπερβάθμιση του εδάφους* και συγκεκριμένα διάβρωση (Οι έντονες βροχοπτώσεις και ο άνεμος μπορεί να οδηγήσουν σε απώλεια γόνιμου φυτικού εδάφους, *ερημοποίηση*) Οι υψηλότερες θερμοκρασίες και οι μειωμένες βροχοπτώσεις μπορούν να υποβαθμίσουν την καλλιεργήσιμη γη, ειδικά σε ημίξηρες και άνυδρες περιοχές και *αλατοποίηση του εδάφους* (η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και η ακατάλληλη άρδευση μπορεί να αυξήσουν την αλατότητα του εδάφους, καθιστώντας τη γη ακατάλληλη για καλλιέργεια. *Επιπτώσεις στους υδάτινους πόρους* και συγκεκριμένα **μείωση της διαθεσιμότητας νερού** Το λιώσιμο των παγετώνων, η αλλαγή των μοτίβων βροχοπτώσεων και η υπερβολική άντληση των υπόγειων υδάτων μειώνουν το διαθέσιμο νερό για άρδευση) και *αυξημένη ζήτηση* (Οι υψηλότερες θερμοκρασίες αυξάνουν την εξατμισοδιαπνοή, αυξάνοντας τις ανάγκες σε νερό για καλλιέργειες και ζώα). *Παράσιτα και ασθένειες* και συγκεκριμένα *αυξημένοι πληθυσμοί παρασίτων* (Τα θερμότερα κλίματα μπορούν να επεκτείνουν το φάσμα των παρασίτων και να οδηγήσουν σε υψηλότερα ποσοστά αναπαραγωγής) και *αναδυόμενες ασθένειες των φυτών* (Μπορεί να εμφανιστούν νέες ή πιο επιθετικές ασθένειες, απειλώντας περαιτέρω τις καλλιέργειες.) *Κτηνοτροφική παραγωγή* και συγκεκριμένα *θερμικό στρες στα ζώα* (Οι υψηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν την παραγωγικότητα των ζώων, επηρεάζοντας τις αποδόσεις γάλακτος και κρέατος) και **Αλλαγές στην ποιότητα των ζωοτροφών** (Οι τροποποιημένες συνθήκες καλλιέργειας επηρεάζουν τη διαθεσιμότητα και τη θρεπτική αξία των ζωοτροφών.) *Οικονομικές και Κοινωνικές Επιπτώσεις* και συγκεκριμένα *υψηλότερες τιμές τροφίμων* (Η μειωμένη παραγωγικότητα και οι αποτυχίες των καλλιεργειών μπορεί να οδηγήσουν σε ελλείψεις εφοδιασμού και αυξημένες τιμές). *Μετανάστευση και μετατόπιση* (Η απώλεια καλλιεργήσιμης γης αναγκάζει τους αγρότες να αναζητήσουν εναλλακτικούς τρόπους διαβίωσης, οδηγώντας δυνητικά σε ερήμωση της υπαίθρου ή μετανάστευση) και *επιποτιστική ασφάλεια* (Οι ευάλωτοι πληθυσμοί αντιμετωπίζουν υψηλότερους κινδύνους πείνας και υποσιτισμού)

(<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/07bc7c6e-72e5-488d-b2f7-3c1499d098fb/content>), (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>).

Ο Ortiz-Bobea κ.α. (2021), εξέτασαν τον αντίκτυπο της ανθρωπογενούς (ανθρωπογενούς) κλιματικής αλλαγής στην αύξηση της παγκόσμιας αγροτικής παραγωγικότητας, δίνοντας έμφαση στο πώς οι κλιματικές αλλαγές έχουν μειώσει την αποτελεσματικότητα των συστημάτων παραγωγής τροφίμων παγκοσμίως. Διαπίστωσαν ότι υπάρχει παγκόσμια επιβράδυνση της γεωργικής παραγωγικότητας και συγκεκριμένα ο ρυθμός αύξησης της παγκόσμιας αγροτικής παραγωγικότητας, μετρούμενος ως Συνολική Παραγωγικότητα Συντελεστών (TFP), έχει μειωθεί κατά 21% από το 1961 λόγω της κλιματικής αλλαγής. Το TFP αντικατοπτρίζει την αποτελεσματικότητα της παραγωγής γεωργικής παραγωγής σε σχέση με εισροές όπως γη, εργασία και κεφάλαιο, υπογραμμίζοντας τις τεχνολογικές βελτιώσεις και τις βελτιώσεις στην απόδοση. Επίσης, παρατηρήθηκε Περιφερειακή μεταβλητότητα σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές και σε εύκρατες περιοχές. Οι τροπικές και υποτροπικές περιοχές αντιμετωπίζουν τις μεγαλύτερες απώλειες, καθώς η άνοδος της

θερμοκρασίας, οι ασταθείς βροχοπτώσεις και τα ακραία καιρικά φαινόμενα επηρεάζουν αρνητικά τις αποδόσεις των καλλιεργειών και την κτηνοτροφική παραγωγή. Πολλές αναπτυσσόμενες χώρες σε αυτές τις περιοχές είναι ιδιαίτερα ευάλωτες. Ορισμένες εύκρατες ζώνες υπέστησαν μικρότερες επιπτώσεις, με περιστασιακά ελαφρά οφέλη από τη μέτρια αύξηση της θερμοκρασίας, καταδεικνύοντας γεωγραφικές ανισότητες στις κλιματικές επιπτώσεις.

Η κλιματική αλλαγή έχει ήδη αλλάξει τις αποδόσεις των μεγάλων καλλιεργειών παγκοσμίως, με άνισες επιπτώσεις σε περιοχές και καλλιέργειες. Ενώ ορισμένες περιοχές και καλλιέργειες έχουν ωφεληθεί από τις κλιματικές αλλαγές, η καθαρή παγκόσμια επίδραση είναι αρνητική, εγείροντας ανησυχίες για την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια. Ο Ray κ.α. (2019), ποσοτικοποιούν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην παγκόσμια παραγωγή τροφίμων για τέσσερις μεγάλες καλλιέργειες - σιτάρι, ρύζι, καλαμπόκι και σόγια. Το σιτάρι και το ρύζι έχουν σημειώσει σημαντικές μειώσεις στην απόδοση λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και της αλλαγής των προτύπων βροχόπτωσης. Η παραγωγή αραβοσίτου, ειδικότερα, έχει επηρεαστεί σοβαρά στις τροπικές περιοχές. Αναφορικά με το ρύζι και τη σόγια, οι επιπτώσεις σε αυτές τις καλλιέργειες είναι λιγότερο ομοιόμορφες, με ορισμένες περιοχές να παρουσιάζουν ελαφρά κέρδη λόγω των ευνοϊκών αλλαγών στο κλίμα. Επίσης, εντόπισαν περιφερειακές ανισότητες σε αναπτυσσόμενες και αναπτυγμένες χώρες. Περιοχές χαμηλού γεωγραφικού πλάτους, συμπεριλαμβανομένων τμημάτων της Αφρικής, της Νότιας Ασίας και της Κεντρικής Αμερικής, έχουν υποστεί πιο σοβαρές μειώσεις της απόδοσης λόγω της υψηλότερης ευπάθειας στο θερμικό στρες και της περιορισμένης ικανότητας προσαρμογής. Ορισμένες περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους, όπως μέρη της Ευρώπης και της Βόρειας Αμερικής, έχουν δει ήπιες αυξήσεις της απόδοσης λόγω των μεγαλύτερων καλλιεργητικών περιόδων και της ηπιότερης ανόδου της θερμοκρασίας.



Διάγραμμα 1.1 Παγκόσμιος πληθυσμός, γεωργική παραγωγή, τιμές και καλλιεργήσιμες εκτάσεις από το 1900.

Πηγή: (Fuglie, 2021).

Με βάση το παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι η γεωργική παραγωγή αυξήθηκε ταχύτερα από τον παγκόσμιο πληθυσμό και οι γεωργικές τιμές μειώθηκαν σε σχέση με τις τιμές των βιομηχανικών προϊόντων από τις αρχές της δεκαετίας του 1900. Το μεγαλύτερο μέρος της γεωργικής ανάπτυξης προήλθε από την αύξηση της παραγωγικότητας (Fuglie, 2021).

Πίνακας 1.1 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα γεωργικά συστήματα

Κατηγορία Επιπτώσεων	Περιγραφή	Παραδείγματα	Πληγείσες Περιοχές	Στρατηγικές Προσαρμογής
Αλλαγές στη Θερμοκρασία	Αυξημένες μέσες θερμοκρασίες που επηρεάζουν την ανάπτυξη των καλλιεργειών και τη διάρκεια της εποχής	Μειωμένες αποδόσεις σε σιτάρι, αραβόσιτο	Τροπικές περιοχές, υποτροπικές περιοχές	Ανθεκτικές στη θερμότητα ποικιλίες καλλιεργειών, μετατόπιση των ημερομηνιών φύτευσης
Διαθεσιμότητα νερού	Τροποποιημένα πρότυπα βροχόπτωσης που οδηγούν σε ξηρασία ή υπερβολικές βροχοπτώσεις	Λειψυδρία σε ξηρές περιοχές	Υποσαχάρια Αφρική, Ασία	Βελτιωμένη άρδευση, εξοικονόμηση νερού
Υποβάθμιση του εδάφους	Ενισχυμένη διάβρωση και εξάντληση θρεπτικών συστατικών από ακραία καιρικά φαινόμενα	Απώλεια καλλιεργήσιμης γης	Παράκτιες και ημίξηρες περιοχές	Τεχνικές διατήρησης του εδάφους, αγροδασοκομία
Εξάπλωση παρασίτων και ασθενειών	Διευρυμένα ενδιαίτηματα για παράσιτα και παθογόνα λόγω θερμότερου κλίματος	Αυξημένη πίεση παρασίτων στο ρύζι, τον καφέ	Τροπικές και εύκρατες περιοχές	Ολοκληρωμένη διαχείριση παρασίτων (ΟΠΜ), ανθεκτικές ποικιλίες
Ακραία καιρικά φαινόμενα	Συχνότερες και σοβαρότερες καταιγίδες, πλημμύρες και καύσωνες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα των καλλιεργειών	Ζημιές στις καλλιέργειες από πλημμύρες, καταιγίδες	Παράκτιες και ευάλωτες πλημμύρες περιοχές	Υποδομές ανθεκτικές στις καταστροφές, ασφάλεια καλλιεργειών
Υγεία των καλλιεργειών και του ζωικού κεφαλαίου	Η θερμική επιβάρυνση επηρεάζει την υγεία και την παραγωγικότητα του ζωικού κεφαλαίου	Χαμηλότερη απόδοση γάλακτος στα βοοειδή	Ξηρές και ημίξηρες ζώνες	Δομές σκίασης, φυλές ανθεκτικές στη θερμότητα

Πηγή: (Ιδία Επεξεργασία, Eswaran et al., 2024).

Με βάση τη βιβλιογραφία, δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα πίτας το οποίο συγκεντρώνει τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην παγκόσμια αγροτική παραγωγικότητα.



Διάγραμμα 1.1.2 Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην παγκόσμια αγροτική παραγωγικότητα.

Πηγή: (Ιδία Επεξεργασία).

Το μεγαλύτερο ποσοστό σχετίζεται με τις ξηρασίες, που προκαλούν μείωση της υγρασίας του εδάφους, δυσχεραίνοντας την καλλιέργεια. Αυτό επηρεάζει κυρίως περιοχές που ήδη αντιμετωπίζουν ελλείψεις νερού. Οι πλημμύρες, αποτέλεσμα ακραίων βροχοπτώσεων, καταστρέφουν τις καλλιέργειες και το έδαφος, κάνοντας την αποκατάσταση δύσκολη και δαπανηρή. Η αλλαγή στο κλίμα προκαλεί μετατόπιση των εποχών καλλιέργειας, διαταράσσοντας τις παραδοσιακές γεωργικές πρακτικές. Πολλοί αγρότες δυσκολεύονται να προσαρμοστούν σε αυτές τις μεταβολές. Η αύξηση της θερμοκρασίας και οι αλλαγές στις βροχοπτώσεις δημιουργούν ιδανικές συνθήκες για την εξάπλωση παρασίτων και ασθενειών, μειώνοντας τις αποδόσεις των καλλιεργειών.

1.1.1 Κλιματική και Αγροτική παραγωγικότητα στην Ελλάδα

Η κλιματική αλλαγή έχει επηρεάσει σημαντικά την αγροτική παραγωγικότητα της Ελλάδας τα τελευταία χρόνια, επηρεάζοντας διάφορες καλλιέργειες και περιοχές. Η άνοδος της θερμοκρασίας, τα αλλοιωμένα πρότυπα βροχοπτώσεων και τα ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν οδηγήσει σε αξιοσημείωτες μειώσεις στις αποδόσεις και οικονομικές απώλειες.

Το 2024, η Ελλάδα βίωσε τον θερμότερο χειμώνα και το καλοκαίρι που έχει καταγραφεί, με αποτέλεσμα την έντονη ξηρασία και τη ζέστη που κατέστρεψαν τη συγκομιδή του κάστανου. Οι αγρότες ανέφεραν μείωση της παραγωγής έως και 90%, με την εθνική συγκομιδή να αναμένεται να μειωθεί σε περίπου 15.000 τόνους το μισό του μέσου όρου των προηγούμενων πέντε ετών. Αυτή η πτώση επηρέασε επίσης άλλες καλλιέργειες, συμπεριλαμβανομένων των κερασιών, των μήλων και των καρυδιών, ιδιαίτερα σε περιοχές όπως η Θεσσαλία, οι οποίες αντιμετώπισαν παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας

(<https://www.reuters.com/business/environment/greeces-chestnut-harvest-set-shrink-hit-by-drought-heat-2024-10-24/>).

Η βιομηχανία μυδοκαλλιέργειας στη βόρεια Ελλάδα υπέφερε δραματικά λόγω της άνευ προηγουμένου άνοδου της θερμοκρασίας της θάλασσας. Το 2024, οι θερμοκρασίες της θάλασσας στον Θερμαϊκό Κόλπο ξεπέρασαν τους 30°C τον Ιούλιο, οδηγώντας σε πτώση 90% της παραγωγής μυδιών και απώλεια όλων των σπόρων για την επόμενη σεζόν. Αυτή η κατάρρευση απειλεί τα προς το ζην περίπου 100 οικογενειών στις πληγείσες κοινότητες

(<https://www.reuters.com/world/europe/greeces-mussel-harvest-wiped-out-by-warming-seas-2024-11-09/>).

Η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει τη συχνότητα και την ένταση των δασικών πυρκαγιών, απειλώντας περαιτέρω τη γεωργική βιωσιμότητα. Οι συνδυασμένες επιπτώσεις των αυξημένων θερμοκρασιών και των πυρκαγιών έχουν οδηγήσει σε υποβάθμιση του εδάφους, μειωμένες αποδόσεις των καλλιεργειών και οικονομικές δυσκολίες για τους αγρότες. Οι οικονομικές επιπτώσεις είναι σημαντικές. Μελέτες εκτιμούν ότι οι άμεσες οικονομικές απώλειες για την ελληνική γεωργία λόγω της κλιματικής αλλαγής κυμαίνονται από 437 εκατ. ευρώ έως 1 δισ. ευρώ ετησίως. Αυτά τα στοιχεία διπλασιάζονται όταν εξετάζονται οι έμμεσες επιπτώσεις σε συναφείς τομείς, όπως οι βιομηχανίες τροφίμων και ποτών, υπογραμμίζοντας τον εκτεταμένο αντίκτυπο στην εθνική οικονομία (Gkiza et al., 2021).

Η άνοδος της θερμοκρασίας έχει οδηγήσει σε σημαντικές προκλήσεις για την ελληνική γεωργία. Οι μελέτες προβλέπουν μείωση της συσσώρευσης ψύχους κατά 12,0–22,7% για το εγγύς μέλλον (2021–2060) και 22,7–70,9% για το απώτερο μέλλον (2061–2100), σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1979–2019. Αυτή η μείωση επηρεάζει αρνητικά καλλιέργειες όπως οι ελιές, οδηγώντας σε πρόωμη άνθηση και πιθανές μειώσεις τόσο στην ποσότητα όσο και στην ποιότητα των αποδόσεων (Tsadilas, 2023).

Τα αλλαγμένα πρότυπα βροχοπτώσης έχουν επιδεινώσει τα προβλήματα λειψυδρίας. Μια μελέτη που επικεντρώνεται στην Κρήτη, την Κύπρο και τη Σικελία προβλέπει σημαντική μείωση των βροχοπτώσεων, οδηγώντας σε αυξημένες συνθήκες ξηρασίας. Αυτή η τάση απειλεί τη διαθεσιμότητα νερού για άρδευση, ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των αποδόσεων των καλλιεργειών σε αυτά τα νησιά της Μεσογείου. Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει επίσης τη δυναμική των παρασίτων και των ασθενειών. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες και τα μεταβαλλόμενα επίπεδα υγρασίας μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένους πληθυσμούς παρασίτων και εστίες ασθενειών, απαιτώντας αλλαγές στο χρονοδιάγραμμα και τις μεθόδους εφαρμογής φυτοφαρμάκων. Αυτή η μετατόπιση μπορεί να αυξήσει το κόστος παραγωγής και τις περιβαλλοντικές ανησυχίες που σχετίζονται με τη χρήση φυτοφαρμάκων (Varotsos et al., 2021).

Η Despoudi (2021), διερεύνησε το κρίσιμο ζήτημα των απωλειών τροφίμων που συμβαίνουν στο παραγωγικό στάδιο της αγροτικής αλυσίδας εφοδιασμού στην Ελλάδα. Αρχικά, υπογραμμίζει πώς οι απώλειες τροφίμων σε επίπεδο παραγωγής είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε χώρες όπως η Ελλάδα, όπου η γεωργία διαδραματίζει βασικό ρόλο στην οικονομία και οι παραγωγοί είναι συχνά μικρομεσαίες επιχειρήσεις (ΜΜΕ) που παλεύουν με συστημικές ανεπάρκειες. Τονίζει ότι πολλοί παραγωγοί λειτουργούν χωρίς επαρκείς εγκαταστάσεις αποθήκευσης, εξοπλισμό μεταφοράς ή πρόσβαση σε σύγχρονες γεωργικές τεχνολογίες, γεγονός που οδηγεί σε αλλοίωση και αναποτελεσματικότητα μετά τη συγκομιδή. Η αστάθεια στη ζήτηση, η ασταθής τιμολόγηση και η έλλειψη αξιόπιστων πληροφοριών για την αγορά συχνά αναγκάζουν τους παραγωγούς να υπερπαραγωγούν ή να υπολογίσουν εσφαλμένα τον χρόνο συγκομιδής, με αποτέλεσμα τα απούλητα και σπαταλημένα προϊόντα. Οι εποχικές ελλείψεις εργατικού δυναμικού, που επιδεινώνονται από οικονομικές και δημογραφικές αλλαγές, συμβάλλουν σε καθυστερήσεις στη συγκομιδή και στη μετασυλλεκτική διαχείριση, αυξάνοντας τον κίνδυνο απωλειών. Η μικρή κλίμακα και ο κατακερματισμένος χαρακτήρας των ελληνικών αγροκτημάτων καθιστούν δύσκολο να επιτευχθούν οικονομίες κλίμακας και επενδύσεις σε τεχνολογίες πρόληψης ζημιών. Τέλος, επισημαίνει ότι οι παραδοσιακές πρακτικές, η αντίσταση στην καινοτομία και η περιορισμένη επίγνωση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων των απωλειών τροφίμων συμβάλλουν επίσης στο πρόβλημα.

Το κλίμα στην Ελλάδα αναμένεται να γίνει πιο ξηρό, καθώς οι καλοκαιρινές βροχοπτώσεις προβλέπεται να μειωθούν κατά 20-30% και οι χειμερινές κατά περίπου 10%. Οι ξηρές περίοδοι θα διαρκούν περισσότερο, το έλλειμμα υγρασίας ενδέχεται να φτάσει μέχρι και το 12%, ενώ έως και το 60% της αρόσιμης γης ενδέχεται να αντιμετωπίσει αυξημένο κίνδυνο ερημοποίησης. Αυτό δεν σημαίνει ότι η αγροτική παραγωγή θα εξαφανιστεί, αλλά ότι θα υπάρξουν αλλαγές τόσο στις αποδόσεις όσο και στα είδη καλλιεργειών που θα είναι πλέον βιώσιμα. Τα περισσότερα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν μείωση της αγροτικής παραγωγής στη Θεσσαλία και την Κεντρική Μακεδονία, ενώ αντίθετα, κάποιες πιο ήπιες περιοχές, όπως η Κρήτη,

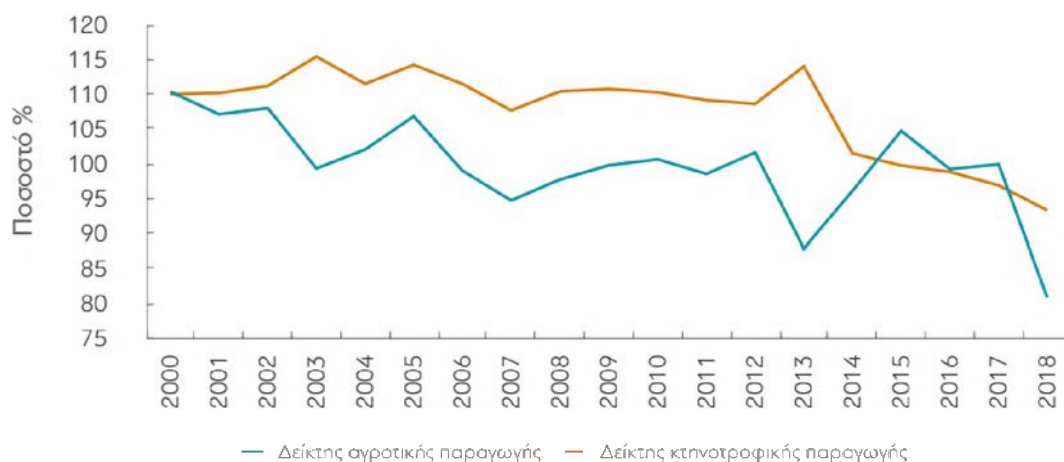
ενδέχεται να δουν θετικές επιδράσεις

(<https://www.dianeosis.org/en/2017/08/impact-climate-change-greek-economy/>).

Η Georgoroulou κ.α. (2017), διαπιστώνουν ότι η κλιματική αλλαγή είναι πιθανό να παράγει τόσο «νικητές όσο και ηττημένους» στην ελληνική γεωργία, με τα αποτελέσματα να ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με τον τύπο της καλλιέργειας και τη γεωγραφική της θέση. Σε ορισμένες περιοχές και καλλιέργειες ενδέχεται να σημειωθεί αύξηση της απόδοσης, ενώ άλλες θα μπορούσαν να αντιμετωπίσουν σημαντικές μειώσεις. Χωρίς προσαρμογή, οι προβλεπόμενες ετήσιες οικονομικές απώλειες λόγω της κλιματικής αλλαγής εκτιμήθηκαν ότι κυμαίνονται μεταξύ 50 και 280 εκατομμυρίων ευρώ. Εξαιρώντας τις καλλιέργειες υψηλής έντασης νερού όπως το βαμβάκι και το ρύζι, αυτές οι απώλειες θα μπορούσαν να αυξηθούν μεταξύ 160 και 355 εκατομμυρίων ευρώ ετησίως. Αν και αυτά τα στοιχεία αντιπροσωπεύουν ένα σχετικά μικρό ποσοστό του εθνικού ΑΕΠ της Ελλάδας (0,08–0,18% από το 2012), οι περιφερειακές οικονομικές επιπτώσεις θα μπορούσαν να είναι σημαντικές.

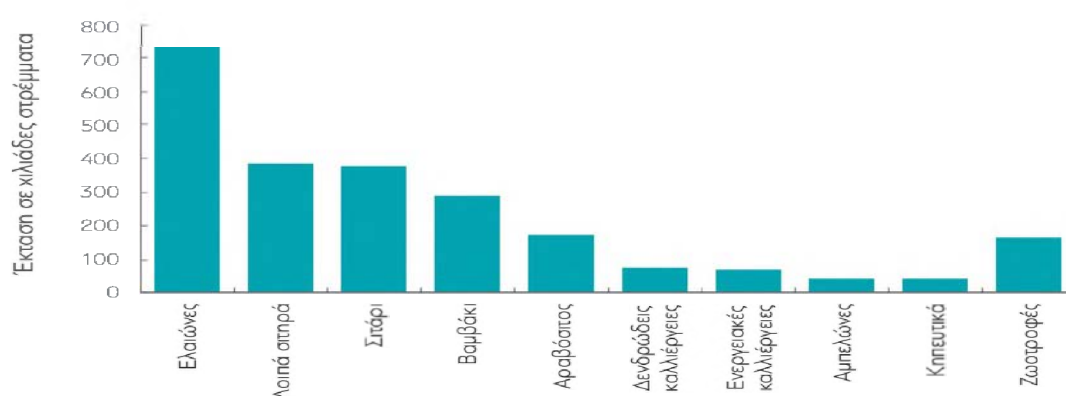
Μία πιο πρόσφατη μελέτη της Georgoroulou κ.α. (2024), προσφέρει μια ολοκληρωμένη αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο προβλέπεται ότι η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει τον αγροτικό τομέα της Ελλάδας έως το 2060. Η μελέτη προβλέπει αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του αέρα σε όλες τις περιοχές της Ελλάδας, με άνοδο περίπου 1°C στο εγγύς μέλλον (2021–2040) και έως 2°C έως τα μέσα του αιώνα (2041–2060) υπό δυσμενή σενάρια. Ενώ η ηλιακή ακτινοβολία και η ταχύτητα του ανέμου αναμένεται να παραμείνουν σχετικά σταθερές, η σχετική υγρασία μπορεί να παρουσιάσει μικρές μειώσεις. Οι προβλέψεις για τις βροχοπτώσεις είναι πιο αβέβαιες, παρουσιάζοντας σημαντική περιφερειακή και βασισμένη σε σενάρια μεταβλητότητα. Επίσης, προβλέπονται σημαντικές μειώσεις της απόδοσης για πολλές καλλιέργειες και περιοχές, ιδιαίτερα στο πλαίσιο των σεναρίων RCP4.5 και RCP8.5. Οι δένδρως καλλιέργειες όπως τα φρούτα, οι ελιές και οι ξηροί καρποί είναι ιδιαίτερα ευάλωτες λόγω της μειωμένης συσσώρευσης ψύχους και των βροχοπτώσεων κατά τα κρίσιμα στάδια ανάπτυξης. Αντίθετα, ορισμένες καλλιέργειες στις βόρειες περιοχές μπορεί να ωφεληθούν από τους μειωμένους παγετούς της άνοιξης, οδηγώντας σε αυξήσεις της απόδοσης. Οι άμεσες οικονομικές απώλειες στην ελληνική γεωργία λόγω της κλιματικής αλλαγής εκτιμάται ότι κυμαίνονται από 437 εκατ. ευρώ έως 1 δισ. ευρώ ετησίως, ανάλογα με τη σοβαρότητα του σεναρίου. Όταν εξετάζονται οι έμμεσες επιπτώσεις σε τομείς που εξαρτώνται από γεωργικά προϊόντα, όπως οι βιομηχανίες τροφίμων και ποτών και η φιλοξενία, αυτές οι απώλειες περίπου διπλασιάζονται. Οι περιοχές που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωργία, συμπεριλαμβανομένης της Θεσσαλίας, της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, της Δυτικής Ελλάδας, της Πελοποννήσου, της Στερεάς Ελλάδας και της Κρήτης, αναμένεται να υποστούν τις σημαντικότερες οικονομικές επιπτώσεις. Τέλος, σε εθνικό επίπεδο, οι αναμενόμενες μειώσεις του ΑΕΠ και της απασχόλησης είναι μέτριες. Ωστόσο, οι περιοχές με οικονομίες στενά συνδεδεμένες με τη γεωργία ενδέχεται να αντιμετωπίσουν σημαντικές κοινωνικοοικονομικές προκλήσεις,

υπογραμμίζοντας την άνιση κατανομή των κινδύνων για την κλιματική αλλαγή σε ολόκληρη τη χώρα .



Διάγραμμα 1.1.3 Εξέλιξη των δεικτών γεωργικής και κτηνοτροφικής παραγωγής στην Ελλάδα.

Πηγή: ([https://www.dianeosis.org/wpcontent/uploads/2021/11/climate change Version 4-11-2021 Upd.pdf](https://www.dianeosis.org/wpcontent/uploads/2021/11/climate_change_Version_4-11-2021_Upd.pdf)).



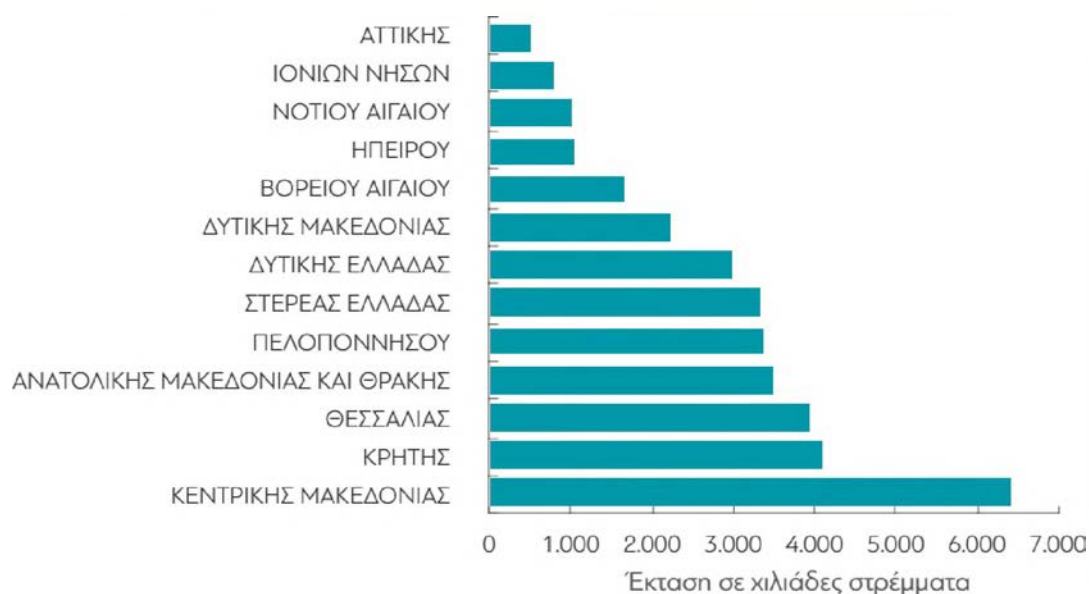
Διάγραμμα 1.1.4 Δημοφιλέστερες κατηγορίες καλλιεργειών πανελλαδικά.

Πηγή: ([https://www.dianeosis.org/wpcontent/uploads/2021/11/climate change Version 4-11-2021 Upd.pdf](https://www.dianeosis.org/wpcontent/uploads/2021/11/climate_change_Version_4-11-2021_Upd.pdf)).

Πίνακας 1.1.3 Δημοφιλέστερες κατηγορίες εκτροφής πανελλαδικώς.

Εκτροφή	Πλήθος ζώων
Αιγοπρόβατα	13.423.340
Ορνιθοειδή	11.833.733
Κυψέλες μελισσών-μελλισσομήνη	791.776
Βοοειδή	652.304
Θηραματικά πτηνά	152.435
Χοίροι	121.834
Ίπποι	22.193
Κονικλοειδή	13.678

Πηγή:(https://www.dianeosis.org/wpcontent/uploads/2021/11/climate_change_Version_4-11-2021_Upd.pdf).



Διάγραμμα 1.1.5 Χρησιμοποιούμενη γεωργική έκταση ανά Περιφέρεια.

Πηγή:(https://www.dianeosis.org/wpcontent/uploads/2021/11/climate_change_Version_4-11-2021_Upd.pdf).

1.2 Ακραία καιρικά φαινόμενα

Η θέρμανση του κλιματικού συστήματος της Γης έχει ενισχύσει την πιθανότητα και τη σοβαρότητα των ακραίων γεγονότων. Η κλιματική αλλαγή που προκαλείται από τον άνθρωπο έχει συνδεθεί άμεσα με την εντατικοποίηση των καύσωνα, τις έντονες βροχοπτώσεις, τις ξηρασίες και τους κυκλώνες. Οι καύσωνες έχουν γίνει πιο συχνοί, πιο μακροχρόνιοι και πιο έντονοι σε πολλές περιοχές. Αυτές οι τάσεις είναι πιο έντονες σε περιοχές που παρουσιάζουν επιταχυνόμενη θέρμανση λόγω των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Η αυξημένη ατμοσφαιρική υγρασία, αποτέλεσμα της ανόδου της παγκόσμιας θερμοκρασίας, συμβάλλει σε πιο έντονες και πιο έντονες βροχοπτώσεις.

Οι κίνδυνοι πλημμύρας είναι αυξημένοι σε περιοχές που είναι ήδη επιρρεπείς σε υψηλές βροχοπτώσεις, με σημαντικές κοινωνικοοικονομικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Τα πρότυπα ξηρασίας έχουν μετατοπιστεί παγκοσμίως, με ορισμένες περιοχές να αντιμετωπίζουν παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας λόγω αλλαγών στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία και ελλειμμάτων υγρασίας του εδάφους. Τα γεωργικά και οικολογικά συστήματα αντιμετωπίζουν αυξανόμενες απειλές από τη σύνθετη λειψυδρία και το θερμικό στρες. Ενώ ο συνολικός αριθμός των κυκλώνων μπορεί να μην αυξηθεί, η έντασή τους και τα ποσοστά βροχοπτώσεων αναμένεται να αυξηθούν.

Οι παράκτιες κοινότητες είναι όλο και πιο ευάλωτες σε καταιγίδες και ακραίες καιρικές επιπτώσεις που επιδεινώνονται από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Η αλληλεπίδραση πολλαπλών ακραίων γεγονότων, όπως οι ταυτόχρονοι καύσωνες και η ξηρασία, δημιουργεί επικίνδυνους κινδύνους. Αυτά τα σύνθετα γεγονότα μεγεθύνουν τις επιπτώσεις τους, ιδιαίτερα στην επισιτιστική ασφάλεια, τα συστήματα υγείας και τις υποδομές (Seneviratne et al., 2021).

Η Αρκτική γνώρισε πρωτοφανή υπερθέρμανση, με τα ακραία φαινόμενα καύσωνα να γίνονται πιο συχνά και πιο έντονα. Τα φαινόμενα υπερθέρμανσης του χειμώνα, που χαρακτηρίζονται από ξαφνικές αυξήσεις της θερμοκρασίας, είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτα και συνδέονται με αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Οι βόρειες περιοχές παρουσιάζουν αύξηση των έντονων βροχοπτώσεων, συχνά με τη μορφή βροχής αντί χιονιού λόγω της θέρμανσης. Τα φαινόμενα βροχής στο χιόνι γίνονται όλο και πιο συχνά, οδηγώντας σε επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, τις υποδομές και τα μέσα διαβίωσης των ιθαγενών. Η αυξημένη δραστηριότητα καταιγίδων στην Αρκτική, ιδιαίτερα το φθινόπωρο, οφείλεται στη μειωμένη κάλυψη του θαλάσσιου πάγου και στις αυξημένες ροές θερμότητας και υγρασίας από τον ωκεανό. Οι παράκτιες καταιγίδες επιδεινώνουν τη διάβρωση και τις πλημμύρες σε ευάλωτες περιοχές με χαμηλό υψόμετρο. Η μείωση του θαλάσσιου πάγου επηρεάζει την ατμοσφαιρική δυναμική, συμβάλλοντας σε ακραία φαινόμενα όπως διαταραχές πολιτικής δίνης και παρατεταμένα κρύα στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη. Η Αρκτική αντιμετωπίζει ολοένα και περισσότερο σύνθετες ακραίες καταστάσεις, όπως ταυτόχρονους καύσωνες, πυρκαγιές και ξηρασίες, ενισχύοντας τις επιπτώσεις τους. Τα ακραία φαινόμενα αναμένεται να γίνουν πιο συχνά και πιο έντονα στις βόρειες περιοχές υπό τη συνεχιζόμενη υπερθέρμανση του πλανήτη. Οι αλλαγές στην

ενίσχυση της Αρκτικής και η απώλεια θαλάσσιου πάγου θα οδηγήσουν περαιτέρω σε ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας, βροχοπτώσεων και καταιγίδας (Walsh et al., 2020).

1.3 Αλλαγές στη θερμοκρασία

Καθώς οι παγκόσμιες θερμοκρασίες αυξάνονται, η σοβαρότητα και η συχνότητα των επιπτώσεων που σχετίζονται με το κλίμα αυξάνονται μη γραμμικά. Μια άνοδος 1,5°C αντιπροσωπεύει σημαντική μείωση των κινδύνων σε σύγκριση με τους 2°C, ενώ οι κίνδυνοι κλιμακώνονται δραματικά πέρα από τους 2°C. Οι κλιματικές επιπτώσεις επηρεάζουν πολλούς τομείς ταυτόχρονα, δημιουργώντας σύνθετες προκλήσεις. Οι επιπτώσεις είναι άνισα κατανομημένες, με τις πιο ευάλωτες περιοχές, όπως η Αφρική, η Νότια Ασία και τα μικρά νησιωτικά κράτη, να επηρεάζονται δυσανάλογα. Οι πλουσιότερες περιοχές μπορεί να αντιμετωπίσουν λιγότερες απόλυτες επιπτώσεις, αλλά αντιμετωπίζουν προκλήσεις όσον αφορά την προσαρμογή τους στις διαδοχικές παγκόσμιες επιπτώσεις. Αναφορικά με τη γεωργία και επισιτιστική ασφάλεια, οι αποδόσεις των καλλιεργειών μειώνονται σταδιακά καθώς αυξάνονται οι θερμοκρασίες, ιδιαίτερα για βασικές καλλιέργειες όπως το σιτάρι, ο καλαμπόκι και το ρύζι σε τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Η θερμική καταπόνηση και τα μεταβαλλόμενα πρότυπα βροχοπτώσεων διαταράσσουν τη γεωργική παραγωγικότητα, με τους μικροκαλλιεργητές και τη γεωργία που επιβιώνουν περισσότερο σε κίνδυνο. Η επισιτιστική ανασφάλεια επιδεινώνεται, ιδιαίτερα σε περιοχές με χαμηλό εισόδημα, οδηγώντας σε αυξημένους κινδύνους υποσιτισμού. Αναφορικά με την ανθρώπινη υγεία, η άνοδος της θερμοκρασίας αυξάνει την έκθεση σε ασθένειες που σχετίζονται με τη θερμότητα, ασθένειες που μεταδίδονται από φορείς και υδατογενείς παθογόνους οργανισμούς. Η θνησιμότητα από τον καύσωνα αυξάνεται σημαντικά, ειδικά σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές. Σε υψηλότερα επίπεδα θερμοκρασίας, τα συστήματα υγείας αντιμετωπίζουν άνευ προηγουμένου καταπόνηση από κλιμακωτές κλιματικές επιπτώσεις (Arnell et al., 2019).

Οι παγκόσμιες θερμοκρασίες συνέχισαν να αυξάνονται, εντείνοντας τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Συγκεκριμένα, το 2024 προβλέπεται να είναι η θερμότερη χρονιά που έχει καταγραφεί, με τις παγκόσμιες θερμοκρασίες να ξεπερνούν για πρώτη φορά το κρίσιμο όριο του 1,5°C πάνω από τα προβιομηχανικά επίπεδα. Αυτό το ορόσημο υπογραμμίζει την επείγουσα ανάγκη αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής για την πρόληψη σοβαρών περιβαλλοντικών συνεπειών. Η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) έχει τεκμηριώσει εκτεταμένες και γρήγορες αλλαγές στο κλιματικό σύστημα, αποδίδοντας αυτές τις αλλαγές κυρίως στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η Συνθετική Έκθεσή τους για το 2023 υπογραμμίζει την εντατικοποίηση του κύκλου του νερού, οδηγώντας σε πιο συχνά και σοβαρά καιρικά φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων έντονων βροχοπτώσεων και ξηρασιών. Επιπλέον, μελέτες έχουν παρατηρήσει μια αύξηση στην ένταση των τυφώνων του Ατλαντικού τα τελευταία έξι χρόνια, με την ταχύτητα του ανέμου να αυξάνεται κατά μέσο όρο 18 μίλια την ώρα. Αυτή η κλιμάκωση συνδέεται με τις θερμότερες θερμοκρασίες των ωκεανών, οι οποίες παρέχουν περισσότερη ενέργεια για την ανάπτυξη των καταιγίδων, με αποτέλεσμα περισσότερους

καταστροφικούς τυφώνες

(https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf).

1.4 Μοτίβα Βροχοπτώσεων

Τα πρότυπα βροχόπτωσης αποτελούν κρίσιμο στοιχείο των κλιματικών συστημάτων, επηρεάζοντας άμεσα τους υδάτινους πόρους, τη γεωργία, τα οικοσυστήματα και τις υποδομές. Ένα από τα πιο σταθερά ευρήματα σε πρόσφατες κλιματικές μελέτες είναι η εντατικοποίηση των ακραίων βροχοπτώσεων λόγω της κλιματικής αλλαγής. Σύμφωνα με την Έκτη Έκθεση Αξιολόγησης της Διακυβερνητικής Επιτροπής για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC) (2021), οι περιοχές σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη, ιδιαίτερα στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη της Αρκτικής και του Βόρειου Ημισφαιρίου, παρουσιάζουν αυξημένες βροχοπτώσεις. Αυτή η τάση οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη θέρμανση της ατμόσφαιρας, η οποία συγκρατεί περισσότερη υγρασία, με αποτέλεσμα πιο έντονες βροχοπτώσεις. Αντίθετα, πολλές υποτροπικές και άνυδρες περιοχές παρουσιάζουν μείωση των βροχοπτώσεων, επιδεινώνοντας τις συνθήκες ξηρασίας. Αυτό το μοτίβο είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό για περιοχές που ήδη αντιμετωπίζουν λειψυδρία, όπως τμήματα της Αφρικής και της λεκάνης της Μεσογείου (IPCC, 2021).

Στις τροπικές περιοχές, τα μοτίβα βροχοπτώσεων αλλάζουν, με ορισμένες περιοχές να παρουσιάζουν εντατικοποίηση της υγρής περιόδου, ενώ άλλες αντιμετωπίζουν παρατεταμένες περιόδους ξηρασίας. Για παράδειγμα, η Νοτιοανατολική Ασία και η Ινδία έχουν δει διακυμάνσεις στους μουσώνες, με ορισμένες περιοχές να δέχονται ισχυρότερες βροχοπτώσεις, ενώ άλλες είναι όλο και πιο επιρρεπείς στην ξηρασία (Mishra et al., 2021). Ο ινδικός μουσώνας, ένα κρίσιμο καιρικό σύστημα που επηρεάζει μεγάλο μέρος των βροχοπτώσεων της Νότιας Ασίας, ήταν ιδιαίτερα ευαίσθητο στην κλιματική αλλαγή. Μελέτες έχουν δείξει ότι ενώ η συνολική ποσότητα βροχοπτώσεων κατά την περίοδο των μουσώνων έχει αυξηθεί σε ορισμένα χρόνια, η κατανομή αυτών των βροχοπτώσεων έχει γίνει πιο ασταθής, οδηγώντας τόσο σε πλημμύρες όσο και σε ξηρασίες.

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα μοτίβα βροχοπτώσεων είναι ιδιαίτερα συγκεκριμένες για την περιοχή, με ορισμένες περιοχές να παρουσιάζουν πιο έντονες μετατοπίσεις από άλλες. Για παράδειγμα, έρευνα στην Υποσαχάρια Αφρική έδειξε ότι η κλιματική αλλαγή οδηγεί σε πιο έντονες και συχνές βροχοπτώσεις σε ορισμένες περιοχές, ενώ άλλες αντιμετωπίζουν αύξηση της συχνότητας και της σοβαρότητας των ξηρασιών (Ayanlade et al., 2018). Αυτό είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό για τις χώρες που βασίζονται στη γεωργία με βροχή, καθώς οι ακανόνιστες βροχοπτώσεις μπορεί να οδηγήσουν σε αποτυχίες των καλλιεργειών και επισιτιστική ανασφάλεια.

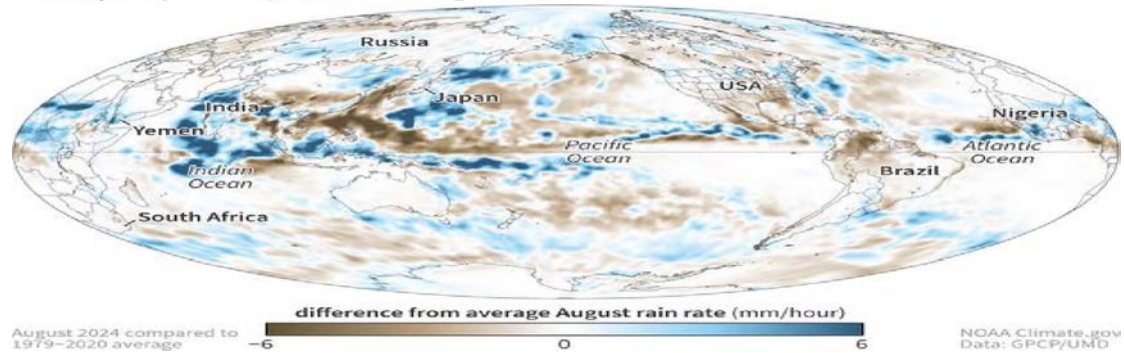
Στη Βόρεια Αμερική, οι Δυτικές Ηνωμένες Πολιτείες έχουν βιώσει μια σημαντική αλλαγή στα μοτίβα βροχοπτώσεων, με υψηλότερες θερμοκρασίες που οδηγούν σε νωρίτερα λιώσιμο του χιονιού και περισσότερες βροχές κατά τη διάρκεια του χειμώνα, γεγονός που με τη σειρά του έχει οδηγήσει σε αυξημένη συχνότητα

ξαφνικών πλημμυρών και πυρκαγιών (Tohver et al., 2014). Εν τω μεταξύ, οι ανατολικές ΗΠΑ έχουν αντιμετωπίσει πιο συχνές και σοβαρές τροπικές καταιγίδες, όπως οι τυφώνες, οι οποίοι έχουν συνδεθεί με υψηλότερες θερμοκρασίες των ωκεανών που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή.

Η συχνότητα και η ένταση των ακραίων βροχοπτώσεων, συμπεριλαμβανομένων των έντονων βροχοπτώσεων, των ξαφνικών πλημμυρών και των καταιγίδων, προβλέπεται να αυξηθούν σύμφωνα με μελλοντικά κλιματικά σενάρια. Η αυξημένη ικανότητα συγκράτησης υγρασίας μιας θερμότερης ατμόσφαιρας οδηγεί σε έντονες βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια καταιγίδων και η μεταβαλλόμενη κατανομή των βροχοπτώσεων θα μπορούσε να επιδεινώσει τις πλημμύρες σε ορισμένες περιοχές ενώ να οδηγήσει σε ξηρασίες σε άλλες (Liu et al., 2019). Σε περιοχές όπως η Ευρώπη και η Βόρεια Αμερική, αυτό θα μπορούσε να σημαίνει πιο σοβαρές και συχνές πλημμύρες, ενώ οι τροπικές περιοχές μπορεί να αντιμετωπίσουν μεγαλύτερες περιόδους ξηρασίας και μειωμένες γεωργικές αποδόσεις λόγω μειωμένων βροχοπτώσεων.

Ο Martel κ.α. (2021), εστιάζουν στην κρίσιμη διασταύρωση της κλιματικής αλλαγής και της υδρολογίας, με ιδιαίτερη έμφαση στις καμπύλες Έντασης-Διάρκειας-Συχνότητας βροχοπτώσεων (IDF) και υπογραμμίζουν την πολυπλοκότητα και την περιφερειακή μεταβλητότητα που εισάγεται από ένα θερμαινόμενο κλίμα και εστιάζουν στις προκλήσεις που θέτουν αυτές οι αλλαγές στον υδρολογικό σχεδιασμό. Οι καμπύλες IDF είναι απαραίτητα εργαλεία στη μηχανική και τον πολεοδομικό σχεδιασμό, που χρησιμοποιούνται για το σχεδιασμό υποδομών όπως συστήματα όμβριων υδάτων και αντιπλημμυρικά συστήματα. Οι συγγραφείς σημειώνουν ότι η υπερθέρμανση του πλανήτη ενισχύει τον κύκλο του νερού, κυρίως μέσω της αυξημένης ικανότητας μιας θερμότερης ατμόσφαιρας να συγκρατεί την υγρασία. Τα κλιματικά μοντέλα προβλέπουν σημαντικές αυξήσεις στο μέγεθος των ακραίων βροχοπτώσεων στο μέλλον, ακόμη και σε περιοχές όπου η μέση βροχόπτωση μπορεί να μειωθεί λόγω ξηρότερων συνολικών συνθηκών. Επίσης, καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η ενημέρωση των καμπυλών IDF υπό το φως της κλιματικής αλλαγής είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία ανθεκτικών υποδομών. Τονίζουν ότι η βάση μόνο σε ιστορικά δεδομένα είναι ανεπαρκής, καθώς υποτιμά τους κινδύνους που συνδέονται με την αλλαγή των προτύπων βροχοπτώσεων. Οι παρατηρούμενες και οι προβλεπόμενες αλλαγές υπογραμμίζουν την αναγκαιότητα ενημέρωσης των καμπυλών IDF ώστε να αντικατοπτρίζουν νέα μοτίβα βροχοπτώσεων.

Global precipitation patterns for August 2024



Εικόνα 1.4 Παγκόσμια πρότυπα βροχόπτωσης για τον Αύγουστο του 2024

Πηγή: (<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/global-climate-summary-august-2024>).

Η παραπάνω εικόνα δείχνει τις βροχοπτώσεις σε όλο τον κόσμο τον Αύγουστο του 2024 σε σύγκριση με το μέσο όρο 1979-2020. Οι τόποι που έλαβαν περισσότερες βροχοπτώσεις από το μέσο όρο έχουν μπλε χρώμα- οι τόποι που έλαβαν λιγότερες βροχοπτώσεις από το μέσο όρο έχουν καφέ χρώμα (<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/global-climate-summary-august-2024>).

1.5 Παραδείγματα περιοχών που αντιμετωπίζουν σημαντικά προβλήματα στην αγροτική παραγωγή λόγω της κλιματικής αλλαγής

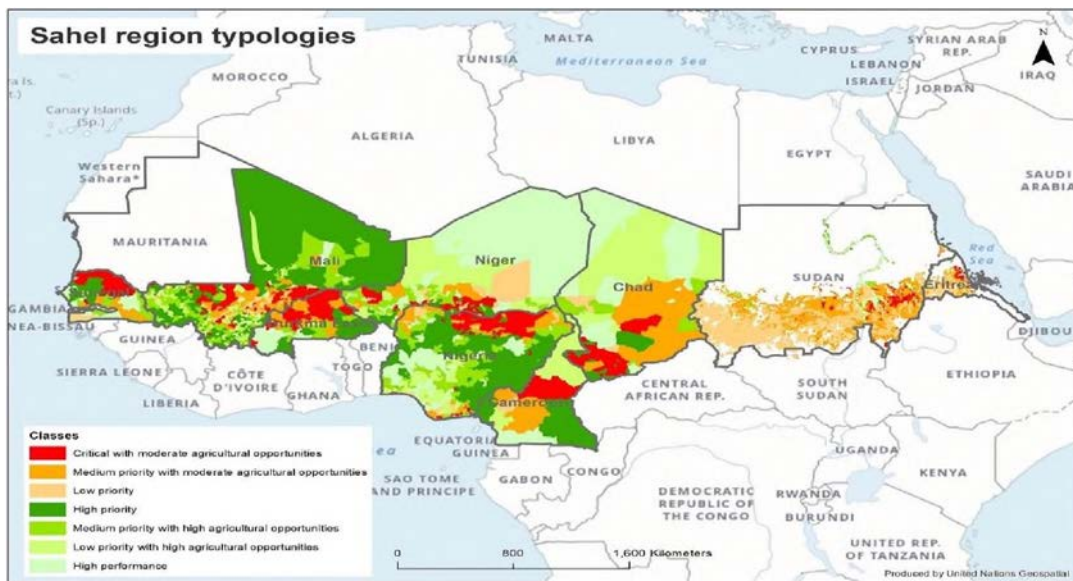
1.5.1 Καλιφόρνια

Η Καλιφόρνια παράγει περισσότερα από 400 εμπορεύματα, συμπεριλαμβανομένων φρούτων, λαχανικών και ξηρών καρπών υψηλής αξίας, συμβάλλοντας σημαντικά στην οικονομία των ΗΠΑ. Οι μέσες θερμοκρασίες στην Καλιφόρνια έχουν αυξηθεί κατά περίπου 0,87°C τον περασμένο αιώνα. Η μεγαλύτερη συχνότητα και ένταση των κυμάτων καύσωνα επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη των καλλιεργειών, την παραγωγικότητα των ζώων και την υγεία των εργαζομένων. Πολυετείς καλλιέργειες υψηλής αξίας όπως τα αμύγδαλα, τα σταφύλια και τα εσπεριδοειδή είναι ευάλωτα σε ακραίες θερμοκρασίες, μειώνοντας τις αποδόσεις και την ποιότητα. Οι απαιτούμενες ώρες ψύξης για ορισμένες καλλιέργειες φρούτων και ξηρών καρπών δεν καλύπτονται, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται αρνητικά η ανθοφορία και η ανάπτυξη των καρπών. Οι αγρότες βασίζονται ολοένα και περισσότερο στα υπόγεια ύδατα, οδηγώντας σε υπερβολική άντληση και καθίζηση της γης. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες ευνοούν τον πολλαπλασιασμό παρασίτων και ασθενειών (π.χ. νόσος του Pierce στα σταφύλια), αυξάνοντας το κόστος και τη δυσκολία της διαχείρισης των παρασίτων. Τα χωροκατακτητικά ζιζάνια μπορεί να ευδοκιμήσουν κάτω από συνθήκες που προκαλούνται από το κλίμα, ξεπερνώντας τις γηγενείς καλλιέργειες. Το θερμικό στρες μειώνει την πρόσληψη τροφής, την παραγωγή γάλακτος και τη γονιμότητα στα γαλακτοπαραγωγά βοοειδή, που συμβάλλει σημαντικά στην αγροτική οικονομία της Καλιφόρνια. Οι μειωμένες αποδόσεις και το αυξημένο κόστος εισροών (π.χ. άρδευση, έλεγχος παρασίτων)

επιβαρύνουν τα κέρδη των αγροκτημάτων. Οι ελλείψεις εργατικού δυναμικού επιδεινώνονται από την υπερβολική ζέστη, επηρεάζοντας την αποδοτικότητα της συγκομιδής και την ασφάλεια των εργαζομένων (Pathak et al., 2018).

Ο αγροτικός τομέας της Καλιφόρνια αντιμετωπίζει πολλές προκλήσεις λόγω της κλιματικής αλλαγής, με μεταβαλλόμενα καιρικά μοτίβα και ακραία φαινόμενα που απειλούν τις αποδόσεις των καλλιεργειών και τη διαθεσιμότητα νερού. Η γεωργία της πολιτείας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις αλλαγές θερμοκρασίας, οι οποίες επηρεάζουν τα πάντα, από τον χρόνο άνθησης στα οπωροφόρα δέντρα μέχρι την ποσότητα νερού που απαιτούν οι καλλιέργειες. Η Central Valley, μια βασική γεωργική περιοχή, αναμένεται να δει σημαντικές μειώσεις στην καταλληλότητα των καλλιεργειών μέχρι τα μέσα του αιώνα, με ορισμένες καλλιέργειες όπως τα βερίκοκα και τα καρύδια να μην είναι πλέον βιώσιμες σε μεγάλες εκτάσεις. Επιπλέον, οι θερμότεροι χειμώνες μειώνουν τις ώρες ψύχους, κάτι που είναι απαραίτητο για καλλιέργειες όπως τα φιστίκια και τα αμύγδαλα, που χρειάζονται συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας για να ευδοκιμήσουν και οι υψηλότερες θερμοκρασίες μπορεί να μετατοπίσουν τις καλλιεργητικές περιόδους, να μειώσουν το χιόνι στη Σιέρα Νεβάδα και να επηρεάσουν το χρόνο και τον όγκο της απορροής που είναι καθοριστικής σημασίας για την άρδευση. Εκτός από τις αλλαγές θερμοκρασίας, οι ξηρασίες γίνονται πιο συχνές και έντονες, επιδεινώνοντας την έλλειψη νερού. Κατά τη διάρκεια της ξηρασίας του 2021, τα ελλείμματα νερού οδήγησαν σε αυξημένη άντληση υπόγειων υδάτων, υψηλότερο ενεργειακό κόστος και υποχώρηση της γης. Οι σωρευτικές επιπτώσεις αυτών των πιέσεων που προκαλούνται από το κλίμα είναι πιθανό να διαταράξουν όχι μόνο τις τοπικές γεωργικές οικονομίες αλλά και τις ευρύτερες εθνικές αλυσίδες εφοδιασμού, καθώς η Καλιφόρνια είναι σημαντικός παραγωγός ειδικών καλλιεργειών (Medellín-Azuara et al., 2018).

1.5.2 Σαχέλ



Εικόνα 1.5.2 Τυπολογίες της περιοχής του Σαχέλ

Πηγή: (<https://www.fao.org/hand-in-hand/investment-forum-2022/the-sahel/en>).

Η εικόνα που παρουσιάζεται αναφέρεται στις τυπολογίες της περιοχής του Σαχέλ και παρέχει μία γεωγραφική αναπαράσταση της περιοχής του Σαχέλ στην Αφρική, με έμφαση στις προτεραιότητες και τις γεωργικές ευκαιρίες σε διάφορες περιοχές. Οι τυπολογίες αυτές αναλύουν το επίπεδο της γεωργικής καταλληλότητας και τις ανάγκες ανάπτυξης στην περιοχή. Σύμφωνα με την εικόνα, οι περιοχές της περιοχής του Σαχέλ έχουν κατηγοριοποιηθεί σε διάφορες κλάσεις, με βάση τις γεωργικές ευκαιρίες τους και την ανάγκη παρέμβασης για την ενίσχυση των γεωργικών δραστηριοτήτων. Οι κατηγορίες ή κλάσεις που εμφανίζονται στην εικόνα είναι:

Κόκκινο (Critical with moderate agricultural opportunities) : Οι περιοχές που αναφέρονται σε αυτή την κατηγορία είναι εκείνες που έχουν κρίσιμες ανάγκες και μέτριες γεωργικές ευκαιρίες. Η περιοχή απαιτεί σημαντικές βελτιώσεις και επενδύσεις για να αυξήσει την παραγωγή.

Πορτοκαλί (Medium priority with moderate agricultural opportunities) : Αυτές οι περιοχές θεωρούνται μεσαίας προτεραιότητας για ανάπτυξη, με μέτριες γεωργικές ευκαιρίες. Εδώ η κατάσταση είναι λιγότερο κρίσιμη, αλλά χρειάζεται επίσης παρέμβαση.

Κίτρινο (Low priority) : Περιοχές που δεν έχουν τόσο υψηλή προτεραιότητα για ανάπτυξη, αλλά και πάλι απαιτούν προσοχή για να ενισχυθούν οι γεωργικές δυνατότητες.

Πράσινο (Medium priority with high agricultural opportunities) : Περιοχές με μέση προτεραιότητα που έχουν υψηλές γεωργικές δυνατότητες. Αυτές οι περιοχές θεωρούνται πιο εύφορες και με δυνατότητες ανάπτυξης.

Σκούρο πράσινο (High priority): Περιοχές υψηλής προτεραιότητας, που ενδέχεται να έχουν σημαντικές ευκαιρίες για ανάπτυξη και βελτίωση.

Φωτεινό πράσινο (High performance) : Οι περιοχές που βρίσκονται σε αυτή την κατηγορία έχουν εξαιρετική απόδοση και υψηλές γεωργικές δυνατότητες, με το λιγότερο επίπεδο ανάγκης για παρέμβαση.

Η τυπολογία αυτή βοηθά στον εντοπισμό των περιοχών που χρειάζονται ενίσχυση, ενώ παράλληλα επισημαίνει και τις περιοχές που έχουν ήδη υψηλό γεωργικό δυναμικό, ώστε να δοθεί προτεραιότητα στην ανάπτυξη και τη βελτίωση των υποδομών στην περιοχή του Σαχέλ.

Ο Yobom (2020), περιγράφει τη μοναδική ευπάθεια του Σαχέλ στη μεταβλητότητα του κλίματος, η οποία χαρακτηρίζεται από ακανόνιστα μοτίβα βροχοπτώσεων, παρατεταμένες ξηρασίες και αυξανόμενες θερμοκρασίες. Αυτές οι κλιματικές αλλαγές έχουν οδηγήσει σε συντόμευση των καλλιεργητικών περιόδων, σε μειωμένη διαθεσιμότητα νερού και αυξημένη συχνότητα και σοβαρότητα ακραίων καιρικών φαινομένων όπως ξηρασίες και πλημμύρες. Ο γεωργικός τομέας του Σαχέλ είναι ιδιαίτερα ευάλωτος στην κλιματική αλλαγή λόγω της εξάρτησής του από τη γεωργία με βροχή και την κτηνοτροφία. Αυτά τα συστήματα είναι πολύ ευαίσθητα στις αλλαγές της θερμοκρασίας, τις βροχοπτώσεις και τα ακραία καιρικά φαινόμενα, τα οποία έχουν κλιμακωθεί σε συχνότητα και ένταση λόγω της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Το Σαχέλ είναι μια περιοχή όπου καλλιέργειες όπως το κεχρί, το σόργο και ο αραβόσιτος κυριαρχούν στην παραγωγή τροφίμων. Αυτά τα βασικά προϊόντα είναι προσαρμοσμένα σε ημίξηρες συνθήκες, αλλά η ανάπτυξή τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις προβλέψιμες εποχιακές βροχοπτώσεις. Η ποιότητα του εδάφους στο Σαχέλ είναι ήδη κακή λόγω των φυσικών συνθηκών και των μη βιώσιμων γεωργικών πρακτικών. Η κλιματική αλλαγή επιβαρύνει αυτήν την υποβάθμιση μέσω διάβρωσης του εδάφους, ερημοποίησης και εξάντλησης θρεπτικών ουσιών. Ως αποτέλεσμα, οι αγρότες της περιοχής αντιμετωπίζουν μειωμένη γεωργική παραγωγικότητα, ακόμη και σε χρόνια με μέσες βροχοπτώσεις, αναγκάζοντάς τους να επεκτείνουν τη γεωργική γη σε οριακές περιοχές, υποβαθμίζοντας περαιτέρω το οικοσύστημα.

Σύμφωνα με τους Sambo και Sule (2024), η λίμνη Τσαντ χρησίμευε ως κρίσιμος υδάτινος πόρος για τη γεωργία, την αλιεία και την κτηνοτροφία. Ωστόσο, η επιφάνειά του έχει μειωθεί δραστικά κατά πάνω από 90% από τη δεκαετία του 1960, κυρίως λόγω της κλιματικής μεταβλητότητας, της μη βιώσιμης διαχείρισης των υδάτων και των πληθυσμιακών πιέσεων. Οι αγρότες που εξαρτώνται από τη λίμνη για άρδευση αντιμετωπίζουν μειωμένες αποδόσεις καλλιεργειών. Τα αποθέματα ψαριών έχουν μειωθεί κατακόρυφα λόγω της συρρίκνωσης του υδάτινου οικοσυστήματος, επηρεάζοντας τόσο τα μέσα διαβίωσης όσο και τη διαθεσιμότητα πρωτεϊνών. Η υπεραλίευση και η αλλαγή των συνθηκών των υδάτων έχουν μειώσει περαιτέρω την ποικιλότητα των ειδών, καθιστώντας δυσκολότερη την αειφόρο ανάκαμψη της αλιείας. Οι κτηνοτρόφοι πασχίζουν να βρουν επαρκή νερό και βοσκοτόπια, με αποτέλεσμα την αύξηση της θνησιμότητας των ζώων. Η αδυναμία πρόβλεψης της διαθεσιμότητας νερού διαταράσσει τους κύκλους φύτευσης και συγκομιδής, οδηγώντας συχνά σε ολική αποτυχία της καλλιέργειας σε ακραίες περιπτώσεις. Η επέκταση της ερημοποίησης απειλεί να καταπατήσει γεωργικές εκτάσεις, μειώνοντας

περαιτέρω τη διαθέσιμη γη για καλλιέργεια. Επιπλέον, η λειψυδρία έχει καταστήσει ακριβότερο για τους αγρότες το πότισμα των καλλιεργειών τους, ενώ οι επενδύσεις σε εναλλακτικές πηγές νερού, όπως οι γεωτρήσεις, παραμένουν οικονομικά απαγορευτικές για πολλούς. Τέλος, οι συγγραφείς δίνουν έμφαση στην ανάγκη για επείγουσες παρεμβάσεις για την αποκατάσταση του οικοσυστήματος της λίμνης και την ενίσχυση της γεωργικής ανθεκτικότητας μέσω της βιώσιμης διαχείρισης των υδάτων, των επενδύσεων σε υποδομές και της υποστήριξης εναλλακτικών μέσων διαβίωσης.

1.5.3 Τουρκία



Εικόνα 1.5.3 Γεωργικά προϊόντα που παράγονται στην Τουρκία

Πηγή: (<https://s14turkey.wordpress.com/2014/04/29/adaptation-and-mitigation-to-climate-change/>).

Ο χάρτης δείχνει τα βασικά προϊόντα που στηρίζουν τη γεωργική οικονομία της Τουρκίας. Κάθε περιοχή της Τουρκίας εξειδικεύεται σε συγκεκριμένα προϊόντα, ανάλογα με το κλίμα, το έδαφος και τους υδάτινους πόρους. Η γεωργία επηρεάζει τη διατροφή, τις εξαγωγές και τις τοπικές συνήθειες κάθε περιοχής.

Επεξήγηση των στοιχείων του χάρτη

Wheat (Σιτάρι) - Κίτρινο:

Το σιτάρι κυριαρχεί στις κεντρικές και ανατολικές περιοχές της Τουρκίας, όπως γύρω από την Άγκυρα, το Ερζιντζάν και το Ερζερούμ. Αυτές οι περιοχές έχουν ευνοϊκές συνθήκες για την καλλιέργεια σιτηρών.

Mixed farming (Μικτή γεωργία) - Πορτοκαλί:

Στις δυτικές περιοχές και κοντά στις ακτές της Μαύρης Θάλασσας, η μικτή γεωργία περιλαμβάνει διάφορες καλλιέργειες και πιθανώς κτηνοτροφία.

Tobacco (Καπνός) - Κόκκινο:

Η καλλιέργεια καπνού επικεντρώνεται γύρω από πόλεις όπως η Σμύρνη (Izmir) και η Σαμσουντά (Samsun).

Cotton (Βαμβάκι) - Πράσινο:

Το βαμβάκι καλλιεργείται στη νότια Τουρκία, ειδικά στις πεδιάδες γύρω από την Αδάνων (Adana) και την Αντιόχεια (Antioch).

Fastures (Βοσκοτόπια) - Ανοιχτό πράσινο:

Τα βοσκοτόπια βρίσκονται κυρίως στις ανατολικές περιοχές και χρησιμοποιούνται για την εκτροφή ζώων.

Grapes (Σταφύλια) - Μωβ:

Τα σταφύλια καλλιεργούνται σε διάσπαρτες περιοχές, με σημαντική παραγωγή γύρω από τη Σμύρνη και σε άλλες παράκτιες περιοχές.

Hazelnuts (Φουντούκια) - Μπλε:

Η καλλιέργεια φουντουκιών επικρατεί στις περιοχές κοντά στις ακτές της Μαύρης Θάλασσας, όπως η Τραπεζούντα.

Olives/citrus (Ελιές/Εσπεριδοειδή) - Ριγέ περιοχές:

Οι ελιές και τα εσπεριδοειδή επικεντρώνονται στις δυτικές και νότιες παράκτιες περιοχές, όπως γύρω από τη Σμύρνη, την Αττάλεια και την Αντιόχεια.

Η γεωργία είναι ένας κρίσιμος τομέας στην Τουρκία, συμβάλλοντας σημαντικά στην οικονομία και απασχολώντας μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού. Οι συγγραφείς αναλύουν πώς οι αλλαγές που προκαλούνται από το κλίμα, συμπεριλαμβανομένων των αυξανόμενων θερμοκρασιών, των αλλαγών βροχοπτώσεων και των ακραίων καιρικών φαινομένων, επηρεάζουν τη γεωργική παραγωγικότητα, τα πρότυπα των καλλιεργειών και τα μέσα διαβίωσης της υπαίθρου. Οι αυξανόμενες θερμοκρασίες έχουν οδηγήσει σε μετατοπίσεις στις καλλιεργητικές περιόδους διάφορων καλλιεργειών. Οι καλλιέργειες που ευδοκίμουν σε ψυχρότερα κλίματα, όπως το σιτάρι, αντιμετωπίζουν προκλήσεις σε ορισμένες περιοχές λόγω θερμικής καταπόνησης. Επιπλέον, τα ακανόνιστα μοτίβα βροχοπτώσεων, συμπεριλαμβανομένων των παρατεταμένων ξηρασιών και των ξαφνικών έντονων βροχοπτώσεων, έχουν διαταράξει τη διαθεσιμότητα νερού, πιέζοντας περαιτέρω τον αγροτικό τομέα. Στις περιοχές του Αιγαίου και της Μεσογείου, η αύξηση της θερμοκρασίας έχει ωφελήσει ορισμένες καλλιέργειες, όπως οι ελιές και τα

εσπεριδοειδή, που ευδοκιμούν σε θερμότερα κλίματα. Ωστόσο, η λειψυδρία αποτελεί σοβαρή απειλή για τη βιωσιμότητα. Η περιοχή της Κεντρικής Ανατολίας, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωργία με βροχή, είναι ιδιαίτερα ευάλωτη σε μειωμένες βροχοπτώσεις και συνθήκες ξηρασίας. Οι περιοχές της Ανατολικής και της Νοτιοανατολικής Ανατολίας αντιμετωπίζουν προκλήσεις με παραδοσιακές καλλιέργειες όπως το κριθάρι και το σιτάρι, λόγω τόσο της θερμοκρασίας όσο και των πιέσεων που σχετίζονται με το νερό (Bozoglu et al., 2019).

Η κλιματική αλλαγή προβλέπεται να μειώσει σημαντικά τις αποδόσεις των βασικών καλλιεργειών, συμπεριλαμβανομένου του σιταριού, του κριθαριού και του καλαμποκιού, ειδικά σε περιοχές με βροχή, όπως η Κεντρική Ανατολία. Οι καλλιέργειες έντασης νερού, όπως το ρύζι και το βαμβάκι, αντιμετωπίζουν διπλές πιέσεις από την αύξηση της θερμοκρασίας και τη μείωση της διαθεσιμότητας νερού. Η μείωση της γεωργικής παραγωγής οδηγεί σε συρρίκνωση της συμβολής του αγροτικού τομέα στο ΑΕΠ, με επιπτώσεις σε άλλους τομείς. Οι μειωμένες αποδόσεις των καλλιεργειών αυξάνουν την εξάρτηση από εισαγωγές για την κάλυψη της εγχώριας ζήτησης τροφίμων, επηρεάζοντας αρνητικά το εμπορικό ισοζύγιο της Τουρκίας. Η μειωμένη παραγωγικότητα οδηγεί σε υψηλότερες τιμές των τροφίμων, επηρεάζοντας την ευημερία των καταναλωτών, ιδιαίτερα για τα νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι άνιστες σε ολόκληρη την Τουρκία. Οι άνυδρες και ημίξηρες περιοχές είναι πιο ευάλωτες λόγω της εξάρτησής τους από τη βροχερή γεωργία και τους περιορισμένους υδάτινους πόρους. Οι παράκτιες περιοχές, ενώ επωφελοούνται από σχετικά σταθερά αποθέματα νερού, αντιμετωπίζουν προκλήσεις από ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως πλημμύρες (Dudu & Cakmak, 2018).

2. Επιπτώσεις στη διαθεσιμότητα τροφίμων

2.1 Κλιματική αλλαγή και διαθεσιμότητα τροφίμων

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει άμεσα την παραγωγή τροφίμων μέσω αλλαγών στα πρότυπα βροχοπτώσεων, των αυξημένων θερμοκρασιών και της συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να οδηγήσουν σε μειωμένες αποδόσεις των καλλιεργειών και την παραγωγικότητα των ζώων, μειώνοντας έτσι τη συνολική διαθεσιμότητα τροφίμων. Για παράδειγμα, μελέτες έχουν δείξει ότι η κλιματική αλλαγή αποτελεί σοβαρή απειλή για την παραγωγή ορυζώνων στη Μαλαισία, η οποία συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την επισιτιστική ασφάλεια. Πέρα από την παραγωγή, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την οικονομική και φυσική πρόσβαση στα τρόφιμα. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα μπορούν να διαταράξουν τις μεταφορές και τις αλυσίδες εφοδιασμού, οδηγώντας σε αύξηση των τιμών των τροφίμων και μειωμένη πρόσβαση στην αγορά, ιδιαίτερα για τους ευάλωτους πληθυσμούς. Επιπλέον, η οικονομική αστάθεια που προκαλείται από το κλίμα μπορεί να μειώσει τα εισοδήματα των νοικοκυριών, περιορίζοντας περαιτέρω την ικανότητα αγοράς επαρκών και θρεπτικών τροφίμων (Firdaus et al., 2019).

Αναφορικά με τον τρόπο με τον οποίο η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων, οι αυξημένες θερμοκρασίες επηρεάζουν άμεσα την υγεία και την παραγωγικότητα των ζώων, οδηγώντας σε μειωμένους ρυθμούς ανάπτυξης, απόδοση γάλακτος, αποτελεσματικότητα αναπαραγωγής και επιβίωση. Η κλιματική αλλαγή μεταβάλλει τη διαθεσιμότητα και τη θρεπτική ποιότητα των κτηνοτροφικών καλλιεργειών, με τις ξηρασίες και τα μεταβαλλόμενα πρότυπα βροχόπτωσης να επηρεάζουν τις αποδόσεις των βοσκοτόπων. Οι αποτυχίες στις καλλιέργειες ζωοτροφών μπορεί να επιδεινώσουν τις ελλείψεις ζωοτροφών και να αυξήσουν το κόστος. Οι υψηλές θερμοκρασίες διευρύνουν το εύρος και την εποχικότητα των ασθενειών και των παρασίτων των ζώων, θέτοντας νέες προκλήσεις για τη διαχείριση ασθενειών. Ακραία καιρικά φαινόμενα όπως πλημμύρες ή τυφώνες μπορεί να βλάψουν τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας, να διαταράξουν τα συστήματα αποθήκευσης και να οδηγήσουν σε απώλειες προϊόντων. Οι ακραίες καιρικές συνθήκες μπορεί να διαταράξουν τα δίκτυα μεταφορών, καθυστερώντας τις παραδόσεις ζωοτροφών και επεξεργασμένων αγαθών. Η μειωμένη παραγωγική απόδοση και το υψηλότερο κόστος για ζωοτροφές, ενέργεια και μεταφορά αναμένεται να αυξήσουν το κόστος των κτηνοτροφικών προϊόντων (Godde et al., 2021).

Ο Tchonkouang κ.α. (2024), αναφέρουν ότι κλιματικά γεγονότα όπως τυφώνες και πλημμύρες βλάπτουν τις μονάδες επεξεργασίας, τους δρόμους και τα λιμάνια, προκαλώντας συμφόρηση. Διαταραχές στον ενεργειακό εφοδιασμό, που συχνά προκαλούνται από υπερβολική ζέστη ή καταιγίδες, επηρεάζουν άμεσα τις δραστηριότητες συντήρησης και επεξεργασίας τροφίμων. Οι διακοπές που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες αυξάνουν τους χρόνους διέλευσης, οδηγώντας σε αλλοίωση και υψηλότερο κόστος. Οι διακοπές που σχετίζονται με τις καιρικές συνθήκες αυξάνουν τους χρόνους διέλευσης, οδηγώντας σε αλλοίωση και υψηλότερο κόστος. Η μειωμένη γεωργική παραγωγή οδηγεί σε περιορισμένη διαθεσιμότητα στις αγορές. Καθώς ορισμένα τρόφιμα γίνονται σπάνια, η ποικιλομορφία της διατροφής μειώνεται, επηρεάζοντας τη δημόσια υγεία. Οι κλιματικές διαταραχές προκαλούν διακυμάνσεις στις τιμές των τροφίμων, επηρεάζοντας δυσανάλογα τους ευάλωτους πληθυσμούς.

Το άρθρο του Παγκόσμιου Οικονομικού Φόρουμ, "Οι ακραίες καιρικές συνθήκες αυξάνουν τις τιμές των τροφίμων αναλύει πώς τα ακραία καιρικά φαινόμενα που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή επηρεάζουν τις παγκόσμιες τιμές των τροφίμων, εστιάζοντας σε πέντε βασικές καλλιέργειες κακάο, ελαιόλαδο, ρύζι, πατάτες και σόγια. Στις αρχές του 2024, οι παγκόσμιες τιμές του κακάο έφτασαν σε υψηλά ρεκόρ λόγω των ξηρών καιρικών συνθηκών στη Δυτική Αφρική, ιδιαίτερα στην Γκάνα και την Ακτή Ελεφαντοστού. Το φαινόμενο El Niño συνέβαλε σε αυτές τις δυσμενείς συνθήκες, απειλώντας την παραγωγή κακάο και διπλασιάζοντας τις τιμές από τις αρχές του 2023. Οι εκτεταμένοι καύσωνες και οι ξηρασίες στη Μεσόγειο, ειδικά στην Ισπανία, έχουν επηρεάσει σοβαρά την παραγωγή ελαιόλαδου. Μεταξύ Απριλίου 2022 και Μαΐου 2023, οι θερμοκρασίες ήταν σημαντικά πάνω από τον μέσο όρο και οι δεξαμενές σε περιοχές όπως η Ανδαλουσία έπεσαν σε περίπου 25%

χωρητικότητα. Αυτοί οι παράγοντες οδήγησαν στην εκτίναξη των τιμών του ελαιόλαδου στα υψηλότερα επίπεδα όλων των εποχών. Οι καλλιεργητές ρυζιού από την Ιταλία έως την Ινδία βιώνουν τις πολύπλευρες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, συμπεριλαμβανομένων των ξηρασιών, των πλημμυρών και της αυξανόμενης αλατότητας του εδάφους. Τον Μάρτιο του 2023, η Ιταλία ανέμενε μείωση της παραγωγής ρυζιού λόγω δεύτερης συνεχόμενης χρονιάς ξηρασίας. Μέχρι τον Ιούλιο του 2023, οι τιμές του ρυζιού στην Ασία αυξήθηκαν στα υψηλότερα επίπεδα των τελευταίων δύο ετών, με την Ινδία να σταματά τις εξαγωγές ορισμένων κατηγοριών ρυζιού μετά τις έντονες βροχοπτώσεις των μουσώνων που προκάλεσαν ζημιές στις καλλιέργειες. Οι ακραίες καιρικές συνθήκες έχουν επίσης επηρεάσει τις αποδόσεις της πατάτας. Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το καλοκαίρι του 2023 οδήγησε σε σημαντική μείωση της συγκομιδής πατάτας λόγω παρατεταμένων περιόδων ξηρασίας, που οδήγησε σε αυξημένες τιμές και ανησυχίες για ελλείψεις εφοδιασμού. Οι καλλιέργειες σόγιας δεν έχουν γλιτώσει από τις προκλήσεις που προκαλούνται από το κλίμα. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι μεσοδυτικές πολιτείες αντιμετώπισαν συνθήκες ζέστης και ξηρασίας άνευ προηγουμένου το 2023, με αποτέλεσμα να μειωθούν οι αποδόσεις σόγιας και να συμβάλουν στην αύξηση των παγκόσμιων τιμών. (<https://www.weforum.org/stories/2024/02/climate-change-food-prices-drought/>).

2.2 Απόδοση καλλιεργειών και αλλαγές στα πρότυπα κατανομής

Η απόδοση της καλλιέργειας αναφέρεται στην ποσότητα της καλλιέργειας που παράγεται ανά μονάδα επιφάνειας γης, συνήθως μετρούμενη σε τόνους ανά εκτάριο. Είναι ένας κρίσιμος δείκτης της γεωργικής παραγωγικότητας, της επισιτιστικής ασφάλειας και της οικονομικής βιωσιμότητας στις γεωργικές πρακτικές. Τα πρότυπα κατανομής αναφέρονται στην κατανομή της γεωργικής γης μεταξύ διαφορετικών καλλιεργειών, επηρεαζόμενη από παράγοντες όπως η ζήτηση της αγοράς, οι κλιματικές συνθήκες και τα κίνητρα πολιτικής.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η διασύνδεση μεταξύ των αποδόσεων καλλιεργειών και των προτύπων κατανομής βασίζεται σε 3 παράγοντες. Ο πρώτος αναφέρεται στο ότι η βελτίωση της απόδοσης των καλλιεργειών επηρεάζει την κατανομή (οι υψηλότερες αποδόσεις μπορούν να οδηγήσουν σε μειωμένη χρήση γης για βασικές καλλιέργειες, ελευθερώνοντας χώρο για άλλους σκοπούς, όπως καλλιέργειες υψηλής αξίας, παραγωγή βιοκαυσίμων ή διατήρηση), ο δεύτερος αναφέρεται στο γεγονός ότι η κατανομή γίνεται με γνώμονα την αγορά και βελτιστοποίηση των αποδόσεων και ο τρίτος σε προσαρμογή στις περιβαλλοντικές πιέσεις (οι αλλαγές στο δυναμικό απόδοσης λόγω περιβαλλοντικών στρεσογόνων παραγόντων συχνά οδηγούν σε αλλαγές στην κατανομή, όπως η υιοθέτηση ανθεκτικών στο κλίμα καλλιεργειών ή στρατηγικών διαφοροποίησης),

Ο Li κ.α. (2023), διερευνούν τους ρόλους της συσσώρευσης και της κατανομής βιομάζας στην ενίσχυση της απόδοσης και της παραγωγικότητας του νερού (WP) στο χειμερινό σιτάρι τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Με τις αυξανόμενες πιέσεις στα παγκόσμια συστήματα τροφίμων λόγω της πληθυσμιακής αύξησης, της κλιματικής αλλαγής και της λειψυδρίας, η βελτίωση τόσο της απόδοσης όσο και της WP σε

βασικές καλλιέργειες όπως το σιτάρι έχει γίνει κρίσιμος στόχος της έρευνας. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι οι αυξήσεις στην απόδοση σχετίζονταν κυρίως με ενισχυμένη συνολική συσσώρευση βιομάζας παρά με βελτιωμένη κατανομή βιομάζας. Οι πρόοδοι στις αγρονομικές πρακτικές, συμπεριλαμβανομένων των καλύτερων στρατηγικών λίπανσης και του βελτιστοποιημένου προγραμματισμού άρδευσης, συνέβαλαν σημαντικά στην υψηλότερη παραγωγή βιομάζας. Παρά τις γενετικές και διαχειριστικές βελτιώσεις, ο δείκτης συγκομιδής έδειξε περιορισμένες αλλαγές, υποδηλώνοντας ότι τα περισσότερα κέρδη στην απόδοση δεν οφείλονταν στη βελτιωμένη κατανομή βιομάζας στους κόκκους. Οι βελτιώσεις του WP αποδόθηκαν στην αυξημένη συσσώρευση βιομάζας σε συνθήκες αποδοτικής χρήσης του νερού και στη μείωση των μη παραγωγικών απωλειών νερού (π.χ. εξάτμιση του εδάφους). Οι αποτελεσματικές στρατηγικές άρδευσης και οι ανθεκτικές στην ξηρασία ποικιλίες συνέβαλαν σε αυτά τα κέρδη. Οι σύγχρονες ποικιλίες σιταριού εμφάνισαν υψηλότερη φωτοσυνθετική απόδοση και ανοχή στην ξηρασία, γεγονός που ενίσχυσε τη συσσώρευση βιομάζας χωρίς να θυσιάζει το WP. Η μελέτη υπογραμμίζει αποτελεσματικά τη σύνθετη αλληλεπίδραση μεταξύ της συσσώρευσης και της κατανομής βιομάζας στην αύξηση της γεωργικής παραγωγικότητας. Υπογραμμίζει την επείγουσα ανάγκη για συνεχείς προόδους στην έρευνα για το σιτάρι και την υιοθέτηση καινοτόμων γεωργικών πρακτικών για την κάλυψη των μελλοντικών απαιτήσεων με βιώσιμο τρόπο.

O Garcia κ.α. (2023), διερευνούν τις δυνατότητες βελτίωσης της φωτοσύνθεσης και της αναπνευστικής αποτελεσματικότητας ως μέσο για την ενίσχυση των αποδόσεων των καλλιεργειών. Με την παγκόσμια ζήτηση για τρόφιμα να αυξάνεται εν μέσω περιβαλλοντικών προκλήσεων, η κάλυψη του χάσματος απόδοσης έχει γίνει προτεραιότητα στη γεωργική έρευνα. Η φωτοσύνθεση, η οποία οδηγεί την παραγωγή βιομάζας, και η αναπνοή, η οποία καταναλώνει ένα μέρος της παραγόμενης ενέργειας, είναι κρίσιμες διαδικασίες που επηρεάζουν σημαντικά την παραγωγικότητα των καλλιεργειών. Ο συνδυασμός παραδοσιακών τεχνικών αναπαραγωγής με γενετικές τροποποιήσεις που στοχεύουν στη φωτοσύνθεση και την αναπνοή μπορεί να δημιουργήσει ποικιλίες καλλιεργειών υψηλής απόδοσης, αποδοτικές ως προς τους πόρους. Η εισαγωγή συνθετικών μηχανισμών συμπύκνωσης άνθρακα σε καλλιέργειες όπως το σιτάρι και το ρύζι θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά τις αποδόσεις.

Η Farmonaut μια εταιρεία γεωργικής τεχνολογίας αφιερωμένη στην επανάσταση στις γεωργικές πρακτικές, δίνει έμφαση στο πώς η ενσωμάτωση προηγμένων τεχνολογιών μπορεί να βελτιώσει τις αποδόσεις των καλλιεργειών και να εξορθολογήσει τη διαχείριση των πόρων. Κεντρική θέση στην προσέγγιση της Farmonaut είναι η δορυφορική παρακολούθηση καλλιεργειών, η οποία χρησιμοποιεί πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες για να προσφέρει στους αγρότες λεπτομερείς πληροφορίες για τα χωράφια τους. Επίσης, χρησιμοποιούν γεωργικές τεχνολογίες ακριβείας όπως παρακολούθηση της υγείας των καλλιεργειών σε πραγματικό χρόνο, συμβουλευτικά συστήματα βασισμένα σε τεχνητή νοημοσύνη και εργαλεία διαχείρισης πόρων με στόχο να ενημερώσει και να βοηθήσει τους αγρότες με γνώσεις

που βασίζονται σε δεδομένα, οδηγώντας σε βελτιωμένη παραγωγικότητα και κερδοφορία. Μελέτες δείχνουν ότι οι τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας μπορούν να αυξήσουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών έως και 30%, ενώ μειώνουν τη χρήση νερού κατά 20-50%. Αυτό το διπλό όφελος υπογραμμίζει τις δυνατότητες της γεωργίας ακριβείας για τη βελτίωση της γεωργικής απόδοσης και βιωσιμότητας. Διερευνά επίσης τη σημασία της ανάλυσης της αγοράς στη γεωργία, υπογραμμίζοντας τη σημασία της κατανόησης των τιμών των εμπορευμάτων και των προβλέψεων απόδοσης των καλλιεργειών. Τα εργαλεία της Farmonaut βοηθούν τους αγρότες και τους επενδυτές στην πλοήγηση στην πολυπλοκότητα των γεωργικών αγορών, επιτρέποντας τη λήψη αποφάσεων με ενημερωμένη βάση. Συνοπτικά, η Farmonaut παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση του τρόπου με τον οποίο οι τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας φέρνουν επανάσταση στη διαχείριση των καλλιεργειών και στην ανάλυση της αγοράς. Αξιοποιώντας δορυφορικές εικόνες, τεχνητή νοημοσύνη και αναλύσεις δεδομένων, προσφέρει λύσεις σχεδιασμένες για τη βελτιστοποίηση των αποδόσεων, τη διατήρηση των πόρων και την ενίσχυση της κερδοφορίας στον αγροτικό τομέα (<https://farmonaut.com/precision-farming/unlock-precision-agriculture-farmonauts-guide-to-crop-yield-optimization-and-market-analysis/>).

Ο Cervantes-Gaxiola κ.α. (2020), έδωσαν έμφαση στην ανάπτυξη μιας συστηματικής προσέγγισης για τη βελτιστοποίηση της κατανομής των γεωργικών καλλιεργειών, λαμβάνοντας υπόψη πολλαπλούς ανταγωνιστικούς παράγοντες όπως η δυναμική της αγοράς, η διαθεσιμότητα νερού, οι οικονομικές αποδόσεις και η βιωσιμότητα. Η δυναμική της αγοράς διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη βελτιστοποίηση της κατανομής των καλλιεργειών. Η προσέγγιση που εφάρμοσαν ενσωματώνει δεδομένα για τις τιμές των καλλιεργειών, τις διακυμάνσεις της ζήτησης και την ελαστικότητα των τιμών για να διασφαλίσει ότι ο αγροτικός σχεδιασμός ευθυγραμμίζεται με τις οικονομικές τάσεις. Η προσέγγισή τους κατάφερε να προσαρμοστεί αποτελεσματικά σε σενάρια άνθησης και ύφεσης, στις εξαγωγικές απαιτήσεις και στην αστάθεια των τιμών, επιτρέποντας στους αγρότες να σταθεροποιήσουν τα εισοδήματα και στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να σχεδιάσουν γεωργικές στρατηγικές ευθυγραμμισμένες με την αγορά. Αυτή η δυναμική προσέγγιση διασφαλίζει την ανθεκτικότητα στις οικονομικές αλλαγές, ενώ παράλληλα προωθεί τη βιώσιμη χρήση των πόρων. Τα αποτελέσματα που βρήκαν έδειξαν ότι υπήρξε σημαντική βελτίωση στην αποδοτικότητα χρήσης των πόρων, που οδηγεί σε αυξημένη κερδοφορία χωρίς υπέρβαση των ορίων των υδάτινων πόρων. Επίσης, σημαντική ήταν η ικανότητα εντοπισμού των καλλιεργειών που ταιριάζουν περισσότερο στις επικρατούσες συνθήκες της αγοράς και στη διαθεσιμότητα νερού και εντόπισαν βελτιωμένες δυνατότητες λήψης αποφάσεων για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους αγρότες παρέχοντας γνώσεις βάσει δεδομένων για τον προγραμματισμό των καλλιεργειών.

Οι βασικές περιβαλλοντικές πιέσεις που επηρεάζουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών είναι η κλιματική αλλαγή, η υποβάθμιση του εδάφους, η λειψυδρία, τα παράσιτα και οι ασθένειες, η αστικοποίηση και αλλαγές χρήσης γης. Αναφορικά με

την κλιματική αλλαγή, η αύξηση της θερμοκρασίας η οποία επηρεάζει τους κύκλους ανάπτυξης των καλλιεργειών, επιταχύνοντας την ανάπτυξη σε ορισμένες περιοχές αλλά οδηγεί σε θερμικό στρες σε άλλες, μειώνοντας την παραγωγικότητα, τα μεταβαλλόμενα πρότυπα βροχόπτωσης εξαιτίας των οποίων οι απρόβλεπτες βροχοπτώσεις και οι παρατεταμένες ξηρασίες μειώνουν τη διαθεσιμότητα νερού για καλλιέργειες που εξαρτώνται από την άρδευση και τα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως οι καύσωνες, οι καταιγίδες και οι πλημμύρες τα οποία βλάπτουν άμεσα τις καλλιέργειες και μειώνουν τις αποδόσεις είναι οι βασικοί παράγοντες για τους οποίους η κλιματική αλλαγή προκαλεί περιβαλλοντικές πιέσεις στις αποδόσεις των καλλιεργειών. Αναφορικά με την υποβάθμιση τους εδάφους, η διάβρωση εξαιτίας της οποίας η απώλεια γόνιμου επιφανειακού εδάφους μειώνει την παραγωγικότητα και απαιτεί προσπάθειες διατήρησης του εδάφους, η εξάντληση θρεπτικών στοιχείων εξαιτίας της οποίας η κακή διαχείριση του εδάφους μειώνει την ικανότητα της γης να διατηρήσει υψηλές αποδόσεις και η αλατοποίηση κατά την οποία η αυξημένη άρδευση σε άνυδρες περιοχές συχνά οδηγεί σε συσσώρευση αλατιού, καθιστώντας τα εδάφη μη παραγωγικά είναι οι βασικοί παράγοντες για τους οποίους η υποβάθμιση του εδάφους προκαλεί περιβαλλοντικές πιέσεις στις αποδόσεις των καλλιεργειών. Αναφορικά με τη λειψυδρία, η υπερβολική χρήση των υπόγειων υδάτων και η μείωση των υδάτινων πόρων περιορίζουν τη σκοπιμότητα της άρδευσης, αναγκάζοντας τους αγρότες να προσαρμόσουν τις επιλογές των καλλιεργειών και τις γεωργικές πρακτικές. Αναφορικά με τα παράσιτα και τις ασθένειες, η αλλαγή του κλίματος διευρύνει το γεωγραφικό εύρος των παρασίτων και των παθογόνων παραγόντων, προκαλώντας αυξημένες απώλειες απόδοσης. Αναφορικά με την αστικοποίηση και τις αλλαγές χρήσεων γης, η γεωργική γη μετατρέπεται σε αστική γη, μειώνοντας τη διαθέσιμη καλλιεργήσιμη γη και μεταβάλλοντας τα τοπικά πρότυπα κατανομής των καλλιεργειών (Abramoff et al., 2023).

Οι προσαρμογές στις αποδόσεις των καλλιεργειών και στα πρότυπα κατανομής είναι απαραίτητες για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που δημιουργούνται από τις περιβαλλοντικές πιέσεις. Μια σημαντική προσαρμογή είναι η γεωγραφική μετατόπιση των καλλιεργειών σε περιοχές όπου οι θερμοκρασίες και τα πρότυπα βροχοπτώσεων είναι πιο ευνοϊκά για καλλιέργεια. Οι καλλιέργειες κινούνται σταδιακά προς τους πόλους ή σε μεγαλύτερα υψόμετρα, με την παραγωγή σιταριού, για παράδειγμα, να επεκτείνεται στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη λόγω των μεγαλύτερων καλλιεργητικών περιόδων και των ηπιότερων κλιματικών συνθηκών. Οι αγρότες υιοθετούν επίσης τη διαφοροποίηση των καλλιεργειών και στρέφονται σε ποικιλίες που ταιριάζουν καλύτερα στις τοπικές περιβαλλοντικές συνθήκες τους. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την καλλιέργεια αραβοσίτου ανθεκτικού στην ξηρασία σε άνυδρες περιοχές και ρυζιού ανθεκτικού στο αλάτι σε περιοχές που επηρεάζονται από την αλατοποίηση. Η πρόοδος στη γενετική των καλλιεργειών, ιδιαίτερα μέσω της ανάπτυξης γενετικά τροποποιημένων οργανισμών, επέτρεψε περαιτέρω τη δημιουργία καλλιεργειών με αυξημένη ανθεκτικότητα στη ζέστη, την ξηρασία και τα παράσιτα, διαδραματίζοντας κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση των αποδόσεων υπό δύσκολες συνθήκες. Οι τεχνικές βιώσιμης γεωργίας, γνωστές ως αγροοικολογικές πρακτικές, υιοθετούνται επίσης

ευρέως. Μέθοδοι όπως η συγκαλλιέργεια, η αμειψισπορά και η γεωργία διατήρησης βελτιώνουν την υγεία του εδάφους, βελτιστοποιούν τη χρήση των πόρων και μειώνουν τον αντίκτυπο των περιβαλλοντικών πιέσεων στη γεωργική παραγωγικότητα. Επιπλέον, η αντιμετώπιση της λειψυδρίας έχει καταστεί προτεραιότητα, με τους αγρότες να εφαρμόζουν συστήματα άρδευσης με αποδοτική χρήση του νερού, όπως η στάγδην άρδευση και η συγκομιδή βρόχινου νερού, για να διασφαλίσουν ότι οι καλλιέργειες λαμβάνουν επαρκή ενυδάτωση, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τη σπατάλη. Η τεχνολογία διαδραματίζει επίσης ζωτικό ρόλο σε αυτές τις προσαρμογές. Τα προηγμένα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης και πρόβλεψης χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την πρόβλεψη του καιρού, την παρακολούθηση των εστιών παρασίτων και τον καθορισμό των βέλτιστων χρόνων φύτευσης. Τα εργαλεία αυτά βοηθούν τους αγρότες να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, να μειώνουν τους κινδύνους και να ενισχύουν τη συνολική γεωργική αποτελεσματικότητα. Όλες μαζί, οι στρατηγικές αυτές αποτελούν μια ολοκληρωμένη απάντηση στις εξελισσόμενες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η παγκόσμια γεωργία (Raza et al., 2019).

2.3 Παραδείγματα περιοχών που αντιμετωπίζουν προκλήσεις στη διατήρηση της διαθεσιμότητας τροφίμων

2.3.1 Αιθιοπία

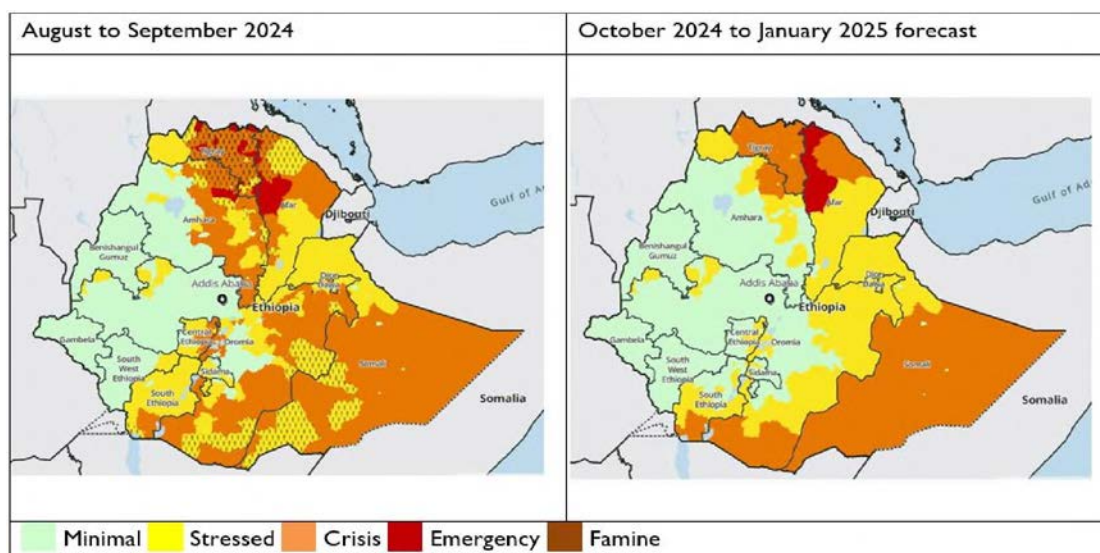


Εικόνα 2.3.1 Χάρτης της Αιθιοπίας

Πηγή: (google.gr)

Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών, η Αιθιοπία έχει παλέψει με εσωτερικές συγκρούσεις που προέρχονται από εθνοτικές αντιπαλότητες, πολιτικούς αγώνες εξουσίας και περιφερειακές διαμάχες. Ο λιμός μεταξύ 1983 και 1985 ήταν μια από τις πιο σοβαρές ανθρωπιστικές καταστροφές στη σύγχρονη ιστορία. Είχε ως αποτέλεσμα τον θάνατο περίπου 400.000 έως 1 εκατομμυρίου ανθρώπων, κυρίως λόγω της πείνας και των σχετικών ασθενειών. Η ένταση του λιμού επιδεινώθηκε από μια παρατεταμένη ξηρασία που κατέστρεψε τη γεωργική παραγωγή, σε συνδυασμό με την πολιτική αστάθεια και την κυβερνητική κακοδιαχείριση. Από το 2024, 16 εκατομμύρια Αιθίοπες εκτιμάται ότι χρειάζονται επείγουσα επισιτιστική βοήθεια. Ένας

συνδυασμός συγκρούσεων, ξηρασίας και οικονομικών δυσπραγιών έχει αφήσει μεγάλα τμήματα του πληθυσμού ευάλωτα στον υποσιτισμό και την πείνα. Οι επαναλαμβανόμενες ξηρασίες, τα απρόβλεπτα μοτίβα βροχοπτώσεων και οι προσβολές από ακρίδες έχουν μειώσει σημαντικά τις αποδόσεις των καλλιεργειών και την υγεία των ζώων. Η εξάρτηση της Αιθιοπίας από τη γεωργία που τροφοδοτείται με βροχή επιδεινώνει το γεγονός ότι είναι ευάλωτη σε κλιματικά σοκ. Ο υψηλός πληθωρισμός, η υποτίμηση του νομίσματος και οι διαταραγμένες αλυσίδες εφοδιασμού έχουν αυξήσει τις τιμές των τροφίμων, καθιστώντας τα βασικά είδη πρώτης ανάγκης απρόσιτα για πολλούς. Το οικονομικό έτος 2021–2022, το Ηνωμένο Βασίλειο παρείχε 156 εκατομμύρια λίρες σε βοήθεια στην Αιθιοπία, εστιάζοντας στην επισιτιστική βοήθεια, την υγειονομική περίθαλψη και τη στήριξη των εκτοπισμένων πληθυσμών. Η βοήθεια αποτελεί μέρος της ευρύτερης στρατηγικής του Ηνωμένου Βασιλείου για την αντιμετώπιση της παγκόσμιας επισιτιστικής ανασφάλειας και την προώθηση της σταθερότητας σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε συγκρούσεις.



Εικόνα 2.3.1.1 Επισιτιστική ανασφάλεια στην Αιθιοπία κατά τη διάρκεια δύο διακριτών περιόδων: από τον Αύγουστο έως τον Σεπτέμβριο του 2024 (αριστερός χάρτης) και την πρόβλεψη για τον Οκτώβριο 2024 έως τον Ιανουάριο του 2025 (δεξιός χάρτης).

Πηγή: (<https://lordslibrary.parliament.uk/ethiopia-conflict-and-food-insecurity-40-years-on-from-the-1984-famine/#:~:text=It%20summarised%20the%20challenges%20facing,million%20in%20drought%2Daffected%20areas.>)

Οι δύο χάρτες δείχνουν μια επιδεινούμενη τάση στην επισιτιστική ανασφάλεια σε ολόκληρη την Αιθιοπία από τον Αύγουστο-Σεπτέμβριο 2024 έως την προβλεπόμενη περίοδο Οκτωβρίου 2024-Ιανουάριος 2025. Προβλέπεται μια επέκταση των περιοχών που αντιμετωπίζουν επίπεδα κρίσης (πορτοκαλί) και έκτακτης ανάγκης (κόκκινο) επισιτιστικής ανασφάλειας. Αυτό υποδηλώνει ότι ένας αυξανόμενος αριθμός νοικοκυριών αδυνατεί να καλύψει τις βασικές ανάγκες σε τρόφιμα, οδηγώντας σε αυξημένους κινδύνους υποσιτισμού και θνησιμότητας. Οι συνθήκες πείνας (σκούρο

κόκκινο) επιμένουν σε μέρη του Tigray, χωρίς σημάδια βελτίωσης. Αυτό υπογραμμίζει την εξαιρετική ευπάθεια σε αυτές τις περιοχές και την αποτυχία σταθεροποίησης των συνθηκών. Οι περιοχές που επισημαίνονται ως **ελάχιστες (πράσινες) ή τονισμένες (κίτρινες)** συρρικνώνονται μεταξύ των δύο περιόδων. Αυτό δείχνει ότι ακόμη και σχετικά σταθερές περιοχές, ιδιαίτερα στην κεντρική Αιθιοπία, αντιμετωπίζουν αυξανόμενη επισιτιστική ανασφάλεια λόγω εξωτερικών πιέσεων, όπως κλιματικά σοκ ή οικονομικές διαταραχές. Οι βόρειες περιοχές (Tigray και Afar) παραμένουν το επίκεντρο της κρίσης, με τον λιμό και τις συνθήκες έκτακτης ανάγκης να συνεχίζονται αμείωτες λόγω των συγκρούσεων και της περιορισμένης ανθρωπιστικής πρόσβασης. Οι ανατολικές και νότιες περιοχές (Σομαλία και Ορόμια) παρουσιάζουν σημαντική εξάπλωση της επισιτιστικής ανασφάλειας σε επίπεδο κρίσης, λόγω των επαναλαμβανόμενων ξηρασιών, των εκτοπισμών και της τοπικής βίας (https://lordslibrary.parliament.uk/ethiopia-conflict-and-food-insecurity-40-years-on-from-the-1984famine/#:~:text=It%20summarised%20the%20challenges%20facing,million%20in%20drought%2Daffected%20areas.)).

Η γεωργία της Αιθιοπίας τροφοδοτείται έντονα από βροχοπτώσεις, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα ευαίσθητη σε ξηρασίες και ασταθείς καιρικές συνθήκες. Οι επαναλαμβανόμενες ξηρασίες έχουν προκαλέσει εκτεταμένες αποτυχίες των καλλιεργειών και απώλειες ζώων. Η υπερβόσκηση, η αποψίλωση των δασών και οι κακές πρακτικές διαχείρισης της γης έχουν μειώσει τη γονιμότητα του εδάφους, μειώνοντας τη γεωργική παραγωγικότητα. Η εξάρτηση από τις εποχικές βροχοπτώσεις χωρίς επαρκή αρδευτική υποδομή περιορίζει τη δυνατότητα σταθεροποίησης των γεωργικών εκροών. Η ταχεία αύξηση του πληθυσμού, που υπολογίζεται σε 2,5% ετησίως, ασκεί πίεση στους πόρους τροφίμων, την καλλιεργήσιμη γη και τα κυβερνητικά προγράμματα. Τα υψηλά ποσοστά ανεργίας, ειδικά στις αγροτικές περιοχές, περιορίζουν την αγοραστική δύναμη των νοικοκυριών και την πρόσβαση σε τρόφιμα. Η αυξανόμενη μετανάστευση από τις αγροτικές στις αστικές περιοχές δημιουργεί ανισορροπίες προσφοράς και ζήτησης τροφίμων στις πόλεις. Η ανεπαρκής τεχνική υποστήριξη στους αγρότες εμποδίζει την υιοθέτηση σύγχρονων γεωργικών πρακτικών. Ο υψηλός πληθωρισμός των τιμών των τροφίμων και η μακροοικονομική αστάθεια είναι οικονομικά απρόσιτα για τα νοικοκυριά χαμηλού εισοδήματος. Οι μελλοντικές προοπτικές της Αιθιοπίας για την υπέρβαση της επισιτιστικής ανασφάλειας εξαρτώνται από συνεχείς επενδύσεις στη γεωργία, τις υποδομές και την κοινωνική προστασία, μαζί με μέτρα για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και της ταχείας αύξησης του πληθυσμού (Ocho et al., 2017).

2.3.2 Ινδία

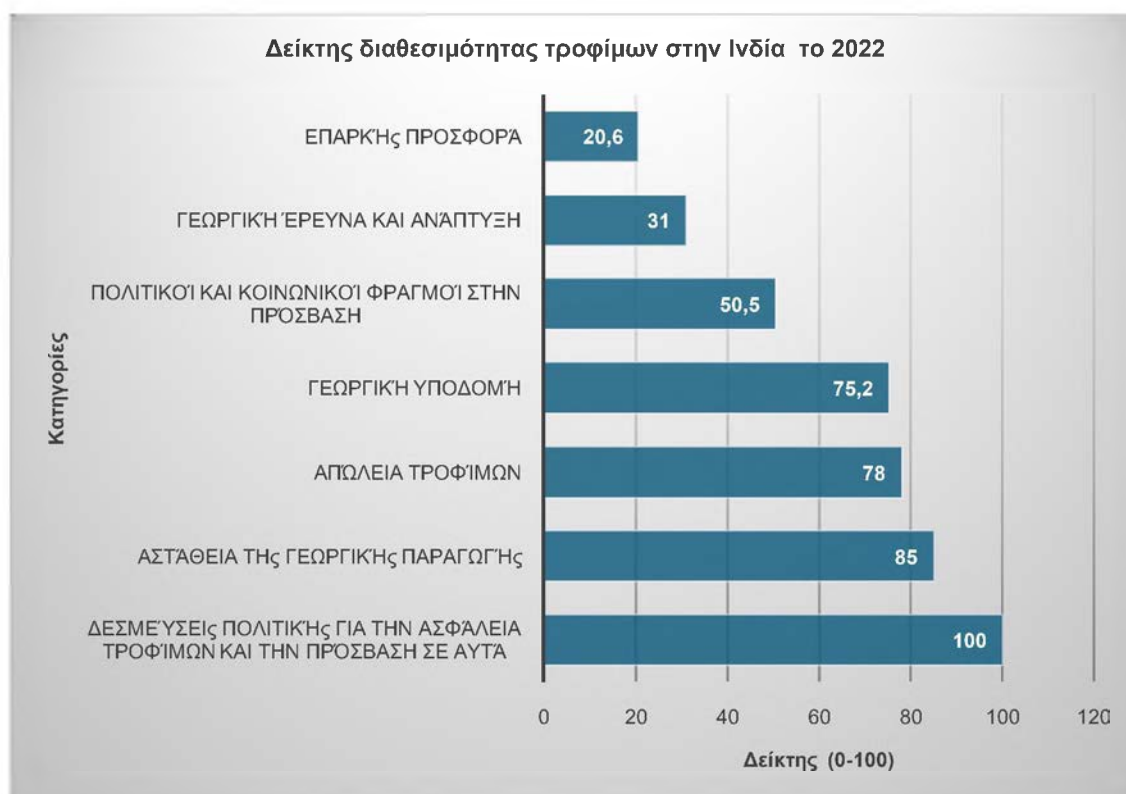


Εικόνα 2.3.2 Χάρτης της Ινδίας

Πηγή: (<https://www.globalsherpa.org/wp-content/uploads/2011/03/india-map-cities-states.png>)

Η Ινδία αντιμετώπισε σοβαρές ελλείψεις τροφίμων στα μέσα του 20ού αιώνα, γεγονός που οδήγησε σε σημαντική εξάρτηση από τις εισαγωγές τροφίμων. Η Πράσινη Επανάσταση (δεκαετίες 1960-70) σηματοδότησε ένα σημείο καμπής, εισάγοντας ποικιλίες σπόρων υψηλής απόδοσης, βελτιωμένες υποδομές άρδευσης και χημικά λιπάσματα, που αύξησαν δραματικά την αγροτική παραγωγικότητα. Η Ινδία κυριαρχεί στην παγκόσμια παραγωγή γάλακτος, μπαχαρικών, οσπρίων και βαμβακιού και έχει σημαντική συμβολή στο σιτάρι, το ρύζι, τα φρούτα, τα λαχανικά και τα πουλερικά. Η γεωργία απασχολεί σημαντικό μέρος του εργατικού δυναμικού της Ινδίας ενώ παράλληλα συμβάλλει ουσιαστικά στο ΑΕΠ της και στον αγροτικό τρόπο διαβίωσης. Η χώρα αντιμετωπίζει αυξανόμενη πίεση στους φυσικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένης της υποβάθμισης του εδάφους, της λειψυδρίας και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει περαιτέρω αυτές τις προκλήσεις, με την αύξηση της θερμοκρασίας και τα συχνότερα ακραία καιρικά φαινόμενα. Ένα μεγάλο ποσοστό της γεωργικής γης βρίσκεται στην κατοχή μικροκαλλιεργητών και αγροτών με περιορισμένους πόρους, γεγονός που καθιστά δύσκολη την επίτευξη οικονομιών κλίμακας και την εφαρμογή προηγμένων γεωργικών τεχνικών. Η ταχεία αστικοποίηση μεταβάλλει τα πρότυπα κατανάλωσης τροφίμων και αυξάνει τη ζήτηση για ποικίλα και θρεπτικά τρόφιμα, απαιτώντας προσαρμογές στην αλυσίδα εφοδιασμού τροφίμων. Παρά τη συνολική τροφική επάρκεια, τα υψηλά ποσοστά υποσιτισμού μεταξύ των παιδιών εξακολουθούν να υφίστανται, υποδεικνύοντας προβλήματα με τη διανομή τροφίμων (Gulati et al., 2023).

Οι Kumar και Agrawal (2023), εντόπισαν κάποιες προκλήσεις (που αφορούν στη διαχείριση της εφοδιαστικής αλυσίδας γεωργικών τροφίμων στην Ινδία) που κατηγοριοποιούνται σε πέντε βασικούς τομείς: προκλήσεις υποδομής, τεχνολογικές, οικονομικές, που σχετίζονται με πολιτικές και προκλήσεις διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας. Αναφορικά με τις προκλήσεις υποδομής, οι ανεπαρκείς εγκαταστάσεις αποθήκευσης, τα ανεπαρκή δίκτυα μεταφοράς και η έλλειψη υποδομών ψυκτικής αλυσίδας οδηγούν σε σημαντικές απώλειες μετά τη συγκομιδή και μειωμένη ποιότητα των προϊόντων. Αναφορικά με τις τεχνολογικές προκλήσεις, η περιορισμένη υιοθέτηση σύγχρονων τεχνολογιών, η ανεπαρκής έρευνα και ανάπτυξη και η έλλειψη τεχνικής εμπειρογνωμοσύνης εμποδίζουν τη βελτίωση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας. Αναφορικά με τις οικονομικές προκλήσεις, η περιορισμένη δυνατότητα δανεισμού, τα υψηλά επιτόκια και η ανεπαρκής ασφαλιστική κάλυψη δημιουργούν σημαντικούς οικονομικούς κινδύνους για τους αγρότες και άλλους ενδιαφερόμενους. Αναφορικά με τις προκλήσεις που σχετίζονται με την πολιτική, οι ασταθείς κυβερνητικές πολιτικές, τα ρυθμιστικά εμπόδια και η απουσία αποτελεσματικής εφαρμογής παρεμποδίζουν την πρόοδο του τομέα. Αναφορικά με τις προκλήσεις διαχείρισης της εφοδιαστικής αλυσίδας, οι κατακερματισμένες αλυσίδες εφοδιασμού, οι πολλαπλοί μεσάζοντες και η έλλειψη συντονισμού μεταξύ των ενδιαφερομένων οδηγούν σε αναποτελεσματικότητα και αυξημένο κόστος.



Διάγραμμα 2.3.2 Δείκτης διαθεσιμότητας τροφίμων στην Ινδία το 2022.

(Πηγή: Minhas, 2024 και Ιδία Επεξεργασία)

Με βάση το παραπάνω διάγραμμα, τα βασικά συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν είναι ότι παρότι η Ινδία είναι ένας μεγάλος παραγωγός τροφίμων, οι πολιτικοί και κοινωνικοί φραγμοί εμποδίζουν πολλούς πολίτες να έχουν πρόσβαση σε επαρκείς και υγιεινές τροφές. Αυτό υποδηλώνει βαθύτερα ζητήματα ανισότητας και αδικίας στην κατανομή των τροφίμων. Επίσης, αν και έχει γίνει κάποια πρόοδος, η γεωργική υποδομή της Ινδίας χρειάζεται περαιτέρω βελτίωση. Οι απώλειες τροφίμων κατά τη μεταφορά και την αποθήκευση αποτελούν σημαντικό πρόβλημα, υπονομεύοντας την επισιτιστική ασφάλεια. Η αβεβαιότητα της γεωργικής παραγωγής υποδεικνύει την ευπάθεια της Ινδίας στις κλιματικές αλλαγές και τις φυσικές καταστροφές. Αυτές οι αλλαγές μπορούν να οδηγήσουν σε μείωση της παραγωγής, αύξηση των τιμών και επισιτιστική ανασφάλεια. Η έλλειψη επαρκών επενδύσεων σε γεωργική έρευνα και ανάπτυξη περιορίζει την παραγωγικότητα και την ανθεκτικότητα του αγροτικού τομέα. Η ύπαρξη πολιτικών δεσμεύσεων για την ασφάλεια των τροφίμων είναι ενθαρρυντική, αλλά η αποτελεσματικότητά τους χρειάζεται να αξιολογηθεί περαιτέρω.

2.3.3 Ονδούρα



Εικόνα 2.3.3 Χάρτης της Ονδούρας

Πηγή: (<https://www.worldatlas.com/maps/honduras>)

Η Ονδούρα βρίσκεται στην Κεντρική Αμερική, μια περιοχή που έχει δει ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως τυφώνες, ξηρασίες και πλημμύρες, που έχουν επιδεινώσει την επισιτιστική ανασφάλεια. Η Ονδούρα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής, ιδιαίτερα μέσω ακραίων καιρικών φαινομένων που γίνονται όλο και πιο συχνά και έντονα. Η γεωργία της χώρας, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εποχιακές καιρικές συνθήκες, είναι ιδιαίτερα ευάλωτη σε διαταραχές που σχετίζονται με το κλίμα. Ακραία γεγονότα βροχοπτώσεων και τυφώνες όπως ο τυφώνας Mitch το 1998 και ο τυφώνας Eta και Iota το 2020 έχουν καταστρέψει γεωργική γη και υποδομές τροφίμων, προκαλώντας σημαντικές απώλειες καλλιεργειών και εκτοπίζοντας οικογένειες. Αυτά τα γεγονότα αυξάνουν τον κίνδυνο ελλείψεων τροφίμων και διαταράσσουν τις τοπικές αγορές τροφίμων. Ένα σημαντικό μέρος του πληθυσμού στην Ονδούρα ζει σε συνθήκες φτώχειας, ιδιαίτερα σε αγροτικές περιοχές όπου η πλειοψηφία των ανθρώπων εξαρτάται από τη γεωργία επιβίωσης για τα προς το ζην. Η αποτυχία των καλλιεργειών λόγω απρόβλεπτων καιρικών συνθηκών ή παρασίτων επιδεινώνει την τρωτότητά τους, καθώς στερούνται εναλλακτικών μέσων δημιουργίας εισοδήματος. Η οικονομική ανισότητα είναι διάχυτη στην Ονδούρα, με τις αγροτικές περιοχές να πλήττονται δυσανάλογα από τη φτώχεια. Αυτό επιδεινώνει την επισιτιστική ανασφάλεια, καθώς οι πλουσιότεροι αστικοί πληθυσμοί μπορούν να αντέξουν καλύτερα τις διακοπές στις αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων, ενώ οι αγροτικές κοινότητες αντιμετωπίζουν υψηλότερους κινδύνους έλλειψης τροφίμων. Συχνά υπάρχει ανεπαρκής υποστήριξη από κυβερνητικούς φορείς ή μη κυβερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ) για την αποτελεσματική αντιμετώπιση των αναγκών αυτών των κοινοτήτων, με αποτέλεσμα να είναι ευάλωτες (Keller et al., 2018).

Ο Lara-Arevalo κ.α.(2023), εξέτασαν πώς η πανδημία του COVID-19, η κλιματική αλλαγή και οι συγκρούσεις στην Ονδούρα επηρέασαν την επισιτιστική ασφάλεια μεταξύ 2020 και 2022. Τα βασικά τους ευρήματα ήταν ότι η πανδημία COVID-19 διέκοψε τις αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων, οδηγώντας σε ελλείψεις σε βασικά είδη όπως γαλακτοκομικά, κρέας, λαχανικά και χυμοί φρούτων. Επιπλέον, γεγονότα που προκλήθηκαν από την κλιματική αλλαγή, όπως οι τυφώνες και οι ξηρασίες, έβαλαν περαιτέρω σε κίνδυνο την παραγωγή τροφίμων. Οι συγκρούσεις, συμπεριλαμβανομένης της βίας και της πολιτικής αστάθειας, επιδείνωσαν αυτές τις προκλήσεις εμποδίζοντας τη διανομή και την πρόσβαση τροφίμων. Επίσης, οι οικονομικές δυσκολίες που εντάθηκαν από την πανδημία και τις καταστροφές που σχετίζονται με το κλίμα μείωσαν την αγοραστική δύναμη των νοικοκυριών, καθιστώντας δύσκολο για πολλούς να αγοράσουν θρεπτικά τρόφιμα. Το κλείσιμο των αγορών και το μειωμένο ωράριο λειτουργίας κατά τη διάρκεια της πανδημίας περιόρισαν τη φυσική πρόσβαση σε τρόφιμα, ενώ οι συγκρούσεις διέκοψαν τις διαδρομές μεταφοράς, εμποδίζοντας περαιτέρω την πρόσβαση. Τέλος, διαπίστωσαν ότι οι συνδυασμένες επιπτώσεις αυτών των γεγονότων οδήγησαν σε αυξημένη κατανάλωση λιγότερο θρεπτικών τροφίμων, καθώς ήταν πιο εύκολα διαθέσιμα και οικονομικά. Αυτή η αλλαγή στα διατροφικά πρότυπα συνέβαλε στη μείωση της συνολικής ποιότητας των τροφίμων και της διατροφής.



Εικόνα 2.3.3.1 Γιλημμυρισμένη περιοχή στην Ονδούρα τον Φεβρουάριο του 2021.

Πηγή: (<https://www.ipcinfo.org/ipcinfo-website/alerts-archive/issue-33/en/>)

3. Διατροφική ποιότητα και ποικιλομορφία

3.1 Κλιματική αλλαγή και Διατροφική Ποιότητα

Οι μειώσεις της ποικιλίας των καλλιεργειών που σχετίζονται με το κλίμα μειώνουν τη διαθεσιμότητα τροφών με θρεπτικά συστατικά, αυξάνοντας τους κινδύνους ελλείψεων σε βιταμίνες και μέταλλα όπως ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και η βιταμίνη Α. Η διατροφική ποιότητα των τροφίμων μπορεί επίσης να μειωθεί καθώς τα υψηλότερα επίπεδα CO₂ μπορούν να μειώσουν τη θρεπτική πυκνότητα των βασικών καλλιεργειών, μειώνοντας τα επίπεδα απαραίτητων βιταμινών και μετάλλων. Αυτό επηρεάζει τη συνολική υγεία και την ανάπτυξη των πληθυσμών. Η οικονομική πίεση που προκαλείται από τις κλιματικές επιπτώσεις ενδέχεται να ωθήσει τα νοικοκυριά να στραφούν σε φθηνότερες θερμιδικά επιλογές, οι οποίες όμως στερούνται διατροφικής αξίας, επιβαρύνοντας έτσι ακόμα περισσότερο την αντιμετώπιση του διπλού βάρους του υποσιτισμού, δηλαδή υποσιτισμό και παχυσαρκία. Οι κλιματικές διαταραχές, όπως ξηρασίες ή πλημμύρες, μειώνουν τη διαθεσιμότητα φρέσκων φρούτων, λαχανικών και τροφίμων ζωικής προέλευσης, τα οποία είναι συνήθως πιο ακριβά από τα βασικά δημητριακά. Εξαιτίας των όλο και υψηλότερων τιμών στα τρόφιμα, πολλές οικογένειες στρέφονται σε φθηνά και επεξεργασμένα τρόφιμα που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε ζάχαρη, αλάτι και ανθυγιεινά λίπη, αλλά χαμηλή περιεκτικότητα σε βασικά θρεπτικά συστατικά. Η τάση αυτή επιδεινώνει τους κινδύνους των μη μεταδοτικών ασθενειών (ΜΜΣ) που σχετίζονται με τη διατροφή, συμπεριλαμβανομένης της παχυσαρκίας, του διαβήτη και των καρδιαγγειακών ασθενειών. Η μείωση της ποικιλομορφίας των καλλιεργειών οδηγεί σε μονότονες δίαιτες, οι οποίες όχι μόνο στερούνται ποικιλίας αλλά και αποτυγχάνουν να παρέχουν το φάσμα των θρεπτικών συστατικών που απαιτούνται για τη βέλτιστη υγεία (Owino et al., 2022).

Η κλιματική αλλαγή, μέσω της επιρροής της στη θερμοκρασία, τα επίπεδα CO₂ της ατμόσφαιρας και τη διαθεσιμότητα νερού, μεταβάλλει τις μεταβολικές διεργασίες στα φυτά, οδηγώντας συχνά σε μείωση της συγκέντρωσης ζωτικών θρεπτικών συστατικών. Αυτές οι επιπτώσεις προκαλούν ιδιαίτερη ανησυχία επειδή πολλά από αυτά τα θρεπτικά συστατικά είναι απαραίτητα για την ανθρώπινη υγεία και οι ανεπάρκειές τους μπορεί να οδηγήσουν σε μια σειρά ασθενειών που σχετίζονται με τον υποσιτισμό. Τα μικροθρεπτικά συστατικά είναι απαραίτητα για διάφορες φυσιολογικές λειτουργίες στο ανθρώπινο σώμα, συμπεριλαμβανομένης της ανοσοποιητικής λειτουργίας, της ενζυμικής δραστηριότητας και των κυτταρικών διεργασιών. Εκτός από τον σίδηρο, τον ψευδάργυρο και τη βιταμίνη Α που αναφέρθηκαν παραπάνω, εξίσου σημαντικά είναι το σελήνιο και η βιταμίνη C. Το σελήνιο είναι σημαντικό για την αντιοξειδωτική άμυνα και τη λειτουργία του θυρεοειδούς. Βρίσκεται στα εδάφη σε διαφορετικές συγκεντρώσεις και η περιεκτικότητα σε σελήνιο στις καλλιέργειες μπορεί να διαφέρει σημαντικά ανάλογα με την περιφερειακή ποιότητα του εδάφους. Ωστόσο, η κλιματική αλλαγή μπορεί να μειώσει την απορρόφηση του σεληνίου από τα φυτά, ιδίως υπό συνθήκες ξηρασίας ή ακραίων θερμοκρασιών, επηρεάζοντας τη βιοδιαθεσιμότητά του στην ανθρώπινη διατροφή. Η βιταμίνη C, απαραίτητη για τη λειτουργία του ανοσοποιητικού συστήματος και την υγεία του δέρματος, βρίσκεται σε διάφορα φρούτα και λαχανικά. Σε ορισμένες καλλιέργειες, η έκθεση σε υψηλά επίπεδα CO₂ έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τις συγκεντρώσεις της βιταμίνης C, οδηγώντας σε πιθανές ελλείψεις σε πληθυσμούς που εξαρτώνται από αυτά τα τρόφιμα για την πρόσληψη αυτού του ζωτικού θρεπτικού συστατικού (Soares et al., 2019).

Τα μακροθρεπτικά συστατικά όπως οι υδατάνθρακες, οι πρωτεΐνες και τα λίπη είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη, την ενέργεια και τη γενική υγεία. Η πρωτεΐνη είναι ένα θεμελιώδες θρεπτικό συστατικό για την ανάπτυξη των μυών, την επισκευή των ιστών και τη λειτουργία του ανοσοποιητικού. Καλλιέργειες όπως τα όσπρια, το σιτάρι και το ρύζι είναι σημαντικές πηγές φυτικής πρωτεΐνης. Ωστόσο, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις CO₂ μπορεί να οδηγήσουν σε μείωση της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες σε ορισμένες βασικές καλλιέργειες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το αυξημένο CO₂ συχνά διεγείρει την ανάπτυξη των πλούσιων συστατικών σε υδατάνθρακες (όπως το άμυλο), οδηγώντας σε ένα αποτέλεσμα που μειώνει τη σχετική συγκέντρωση πρωτεΐνης. Οι υδατάνθρακες, συμπεριλαμβανομένων των σακχάρων και των αμύλων, παρέχουν ενέργεια στον άνθρωπο. Ωστόσο, η θρεπτική ποιότητα των υδατανθράκων (π.χ. ο γλυκαιμικός δείκτης ή η περιεκτικότητα σε φυτικές ίνες) μπορεί επίσης να αλλάξει, οδηγώντας δυνητικά σε καλλιέργειες που έχουν υψηλότερο ενεργειακό περιεχόμενο αλλά μικρότερη θρεπτική αξία. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για βασικές καλλιέργειες όπως το ρύζι και το καλαμπόκι, που παρέχουν ένα μεγάλο μέρος της ημερήσιας θερμιδικής πρόσληψης για δισεκατομμύρια ανθρώπους. Τα λίπη, τα οποία είναι απαραίτητα για την αποθήκευση ενέργειας και την απορρόφηση βιταμινών που προκαλούν λιποδιάλυση, βρίσκονται σε ποικίλες ποσότητες σε καλλιέργειες όπως η σόγια και ο ηλιάνθος. Αν και επηρεάζεται λιγότερο άμεσα από την κλιματική αλλαγή σε σχέση με άλλα θρεπτικά

συστατικά, η σύνθεση του λίπους μπορεί να επηρεαστεί από ακραίες θερμοκρασίες, ξηρασία και αλλοιωμένες συνθήκες καλλιέργειας (Bekele & Birhan, 2021).

Η διατροφική ποιότητα των φρούτων και των λαχανικών καθορίζεται κυρίως από την περιεκτικότητά τους σε βιταμίνες, μέταλλα, αμινοξέα και άλλες ενώσεις με ευεργετική βιολογική επίδραση. Η κλιματική αλλαγή μπορεί να αλλάξει σημαντικά αυτά τα επίπεδα. Το θρεπτικό περιεχόμενο βιταμινών (όπως η βιταμίνη C) και ανόργανων συστατικών (όπως το ασβέστιο και το μαγνήσιο) μειώνεται σε πολλές καλλιέργειες υπό αυξημένες συγκεντρώσεις CO₂. Αυτό οφείλεται στη μειωμένη διαθεσιμότητα βασικών θρεπτικών συστατικών στα εδάφη υπό μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες. Το υψηλότερο ατμοσφαιρικό CO₂ μπορεί να μειώσει την περιεκτικότητα ορισμένων καλλιεργειών σε πρωτεΐνες, καθώς το φυτό διαθέτει περισσότερη ενέργεια για την παραγωγή υδατανθράκων, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει τα αμινοξέα. Αντίθετα, η κλιματική αλλαγή μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την εμφάνιση των προϊόντων, προκαλώντας οπτικές διαταραχές και δυσμορφίες. Από διατροφική άποψη, μπορεί να υπάρξουν μειώσεις στα επίπεδα πρωτεϊνών, ανόργανων συστατικών και αμινοξέων (Christopoulos & Ouzounidou, 2021).

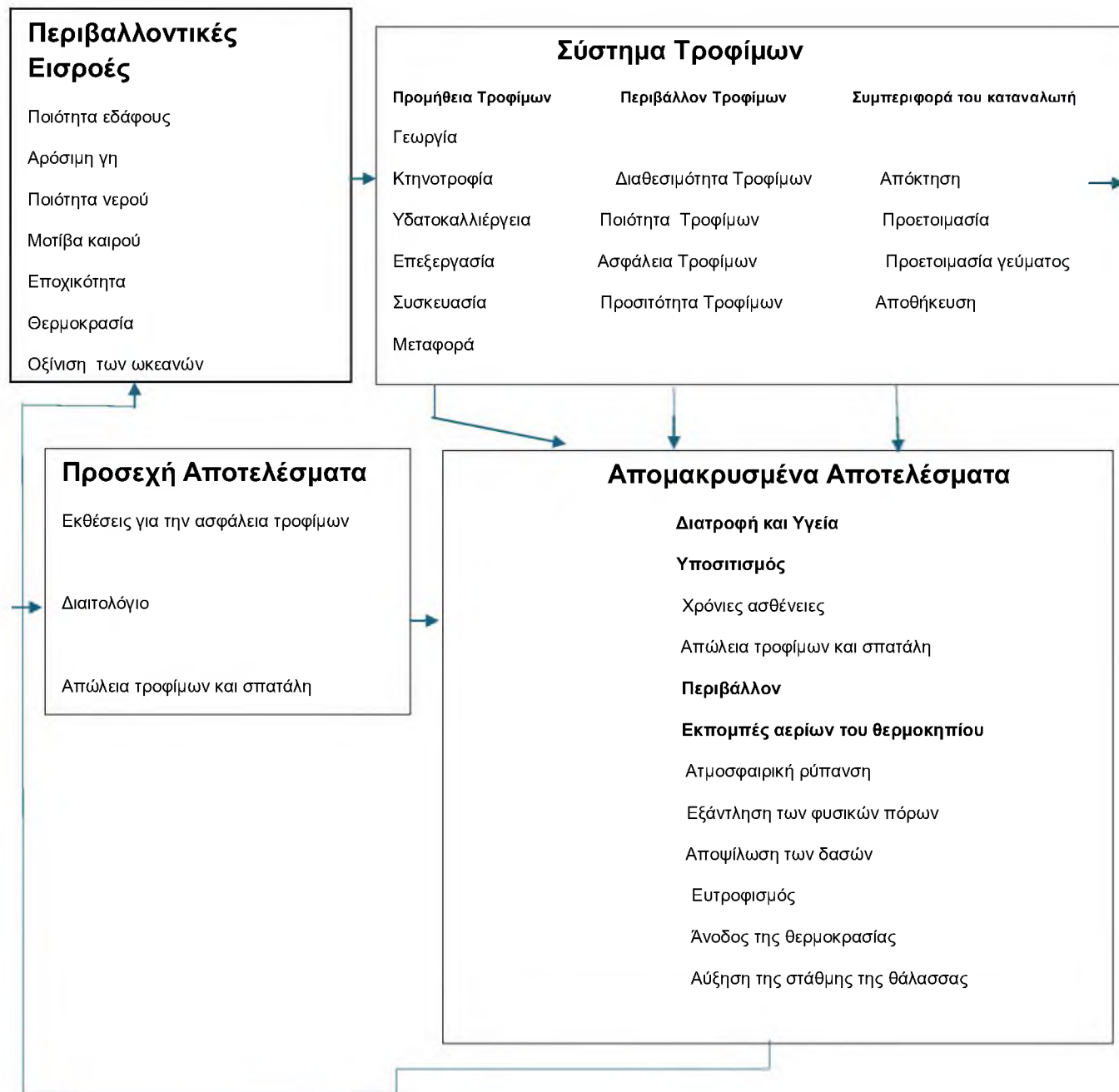
Η μεταβαλλόμενη σύνθεση λιπαρών οξέων είναι πολύ σημαντική για τη διατροφική ποιότητα, καθώς η έκθεση σε ακραίες κλιματικές συνθήκες όπως η ζέστη και η ξηρασία, μπορεί να αλλάξει τη σύνθεση των λιπαρών οξέων στους ξηρούς καρπούς και τους σπόρους, επηρεάζοντας έτσι τα οφέλη τους για την υγεία. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα για να γίνει κατανοητό είναι η μελέτη των Zou et al. (2022), η οποία διερευνά τις επιδράσεις της ξηρασίας στη θρεπτική ποιότητα του βαμβακόσπορου, εστιάζοντας στη σύνθεση των λιπαρών οξέων και των αμινοξέων. Η ξηρασία οδήγησε σε σημαντικές αλλαγές στη σύνθεση των λιπαρών οξέων του βαμβακέλαιου. Συγκεκριμένα, η ξηρασία μείωσε τα επίπεδα των ακόρεστων λιπαρών οξέων (όπως το ελαϊκό και το λινολεϊκό οξύ) και αύξησε τα επίπεδα των κορεσμένων λιπαρών οξέων (όπως το παλμιτικό οξύ) στις περισσότερες ποικιλίες. Αυτή η αλλαγή στη σύνθεση των λιπαρών οξέων θα μπορούσε ενδεχομένως να επηρεάσει τη διατροφική ποιότητα του βαμβακέλαιου, καθώς τα ακόρεστα λίπη θεωρούνται γενικά πιο ευεργετικά για την ανθρώπινη υγεία. Η ξηρασία προκάλεσε επίσης σημαντικές αλλαγές στη σύνθεση των αμινοξέων των πρωτεϊνών του βαμβακόσπορου. Τα απαραίτητα αμινοξέα, όπως η λυσίνη και η θρεονίνη, μειώθηκαν υπό συνθήκες ξηρασίας, ενώ ορισμένα μη απαραίτητα αμινοξέα αυξήθηκαν. Η μεταβολή αυτή μπορεί να μειώσει τη θρεπτική αξία των πρωτεϊνών του βαμβακόσπορου, οι οποίες είναι σημαντικές στις ζωτροφές (Li et al., 2022).



Διάγραμμα 3.1 Ποσοστιαία διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών από διαφορετικές κατηγορίες τροφίμων παγκοσμίως.

Πηγή: (Smith et al., 2022, Ιδία Επεξεργασία).

Το διάγραμμα απεικονίζει την ποσοστιαία διαθεσιμότητα διαφόρων θρεπτικών συστατικών που παρέχονται από διαφορετικές κατηγορίες τροφίμων σε παγκόσμιο επίπεδο. Με άλλα λόγια, μας δείχνει πόσο από κάθε θρεπτικό συστατικό παίρνουμε μέσω των τροφίμων που καταναλώνουμε. Το διάγραμμα μας δείχνει ποια τρόφιμα είναι οι κύριες πηγές για κάθε θρεπτικό συστατικό. Για παράδειγμα, τα δημητριακά είναι μια σημαντική πηγή ενέργειας και υδατανθράκων, ενώ τα φρούτα και τα λαχανικά είναι πλούσια σε βιταμίνες και μέταλλα. Τα όσπρια είναι μια εξαιρετική πηγή φυτικών πρωτεϊνών, φυτικών ινών, βιταμινών μετάλλων όπως ο σίδηρος. Οι ξηροί καρποί παρέχουν υγιεινά λίπη, φυτικές πρωτεΐνες, φυτικές ίνες και βιταμίνες. Το διάγραμμα μπορεί να δείξει αν υπάρχει υπερκατανάλωση ορισμένων θρεπτικών συστατικών από συγκεκριμένες κατηγορίες τροφίμων. Για παράδειγμα, αν υπάρχει υπερβολική κατανάλωση ζάχαρης, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα υγείας όπως ο διαβήτης και η παχυσαρκία. Μπορούμε να παρατηρήσουμε αν υπάρχουν διατροφικές ανισορροπίες σε παγκόσμιο επίπεδο. Για παράδειγμα, αν ένα θρεπτικό συστατικό προέρχεται κυρίως από μια συγκεκριμένη κατηγορία τροφίμων, αυτό μπορεί να υποδηλώνει ότι άλλες κατηγορίες τροφίμων δεν καταναλώνονται σε επαρκείς ποσότητες. Το διάγραμμα υπογραμμίζει τη σημασία της κατανάλωσης μιας ποικιλίας τροφίμων για να εξασφαλίσουμε ότι λαμβάνουμε όλα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά.



Εικόνα 3.1 Αλληλεπιδράσεις μεταξύ των περιβαλλοντικών εισροών, του συστήματος τροφίμων, των βραχυπρόθεσμων και των μακροπρόθεσμων αποτελεσμάτων.

Πηγή: (Fanzo et al., 2021, Ιδία Επεξεργασία).

Η εικόνα απεικονίζει ένα ολοκληρωμένο και συστηματικό πλαίσιο για την κατανόηση των περίπλοκων συνδέσεων μεταξύ περιβαλλοντικών παραγόντων, συστημάτων τροφίμων και των αποτελεσμάτων τους στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον (Fanzo et al., 2021, Ιδία Επεξεργασία).

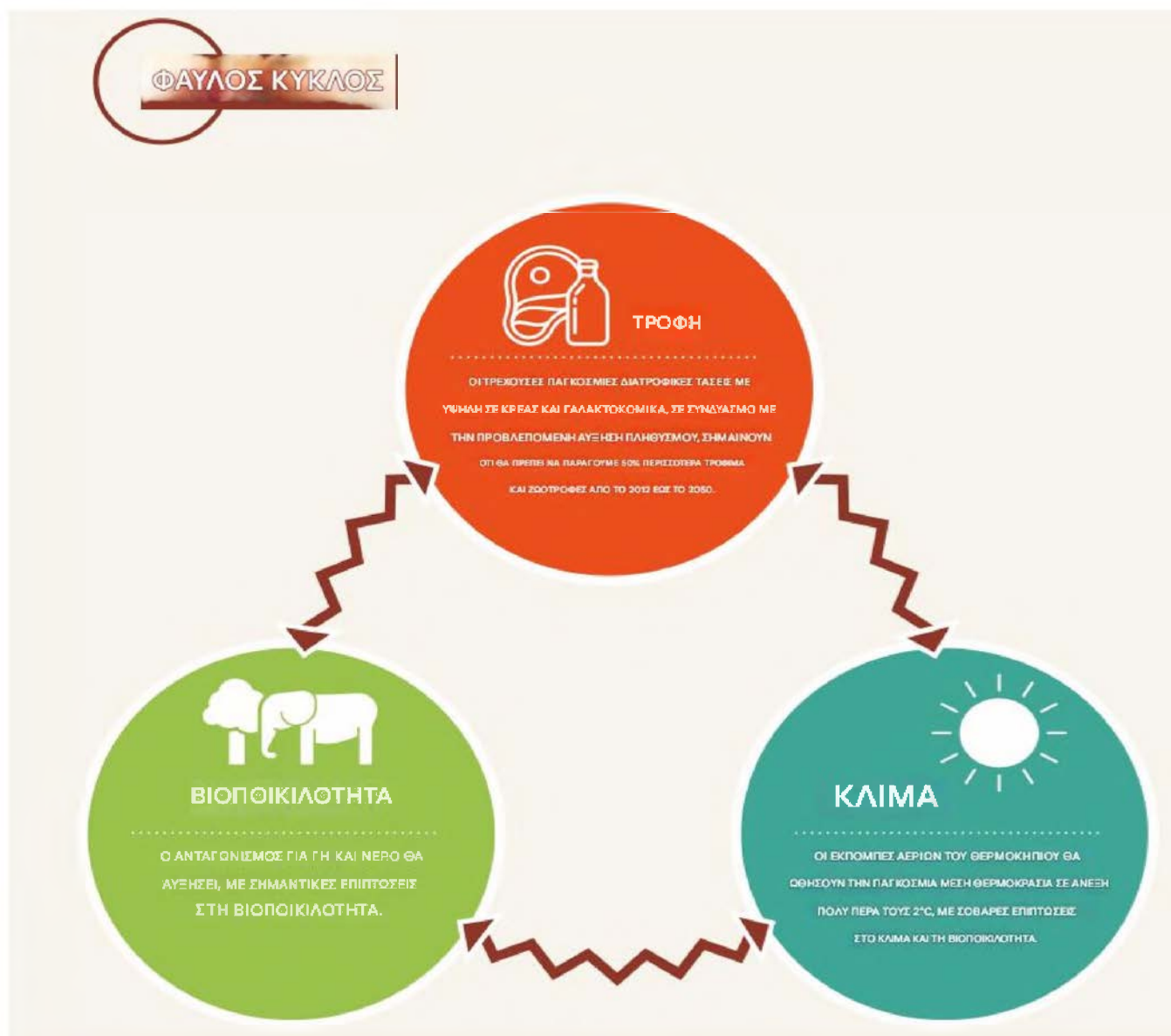
Το παγκόσμιο σύστημα τροφίμων αντιμετωπίζει διπλές προκλήσεις: κάλυψη των θερμιδικών απαιτήσεων ενός αυξανόμενου πληθυσμού και διασφάλιση επαρκούς διατροφικής ποιότητας. Η κλιματική αλλαγή, ιδιαίτερα τα αυξημένα επίπεδα CO₂ της ατμόσφαιρας, αποτελεί σημαντική απειλή για τη διατροφική ποιότητα των καλλιεργειών μέσω των επιπτώσεων της στη φωτοσύνθεση και την κατανομή των θρεπτικών ουσιών. Η αύξηση των επιπέδων CO₂ μπορεί να οδηγήσει σε "φαινόμενο αραιώσης άνθρακα", όπου η αυξημένη παραγωγή υδατανθράκων αραιώνει βασικά θρεπτικά συστατικά όπως πρωτεΐνες και μέταλλα στις καλλιέργειες. Αυτό το αποτέλεσμα ποικίλλει μεταξύ των καλλιεργειών με διαφορετικούς φωτοσυνθετικούς μηχανισμούς. Οι καλλιέργειες χρησιμοποιούν διάφορες φωτοσυνθετικές οδούς, κυρίως C₃ και C₄. Τα C₃ (π.χ. ρύζι, σιτάρι) μπορεί να παρουσιάσουν πιο έντονη αραιώση των θρεπτικών συστατικών σε συνθήκες αυξημένου CO₂ σε σύγκριση με τα C₄ (π.χ. αραβόσιτος, σόργο), τα οποία είναι γενικά πιο αποτελεσματικά στη χρήση του CO₂ και μπορούν να διατηρήσουν καλύτερα τη θρεπτική τους ποιότητα. Οι Walsh και Lundgren (2024), τονίζουν ότι η αντιμετώπιση των διατροφικών προκλήσεων των μελλοντικών κλιμάτων απαιτεί μια πολύπλευρη προσέγγιση που ενσωματώνει τη φωτοσυνθετική ποικιλομορφία, την ανθεκτικότητα στο κλίμα και τα διατροφικά αποτελέσματα. Υπογραμμίζουν την ανάγκη για καινοτομία στην επιστήμη των καλλιεργειών, τις παγκόσμιες γεωργικές πολιτικές και την αναδιάρθρωση του διατροφικού συστήματος, προκειμένου να διασφαλιστεί η διατροφική ασφάλεια και η διατροφική βιωσιμότητα (Walsh & Lundgren, 2024).

Υπάρχουν διάφορες προκλήσεις που σχετίζονται με την εξάρτηση από τις κύριες βασικές καλλιέργειες όπως το σιτάρι, το ρύζι και ο αραβόσιτος. Οι βασικές καλλιέργειες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες σε ακραίες θερμοκρασίες, ακανόνιστα μοτίβα βροχοπτώσεων και εστίες παρασίτων. Η εστίαση σε λίγες καλλιέργειες οδηγεί σε μη ισορροπημένες δίαιτες και ελλείψεις μικροθρεπτικών συστατικών σε πολλούς πληθυσμούς. Οι πρακτικές μονοκαλλιέργειας που σχετίζονται με βασικές καλλιέργειες καταστρέφουν τη γονιμότητα του εδάφους, αυξάνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και προωθούν την υπερβολική χρήση χημικών εισροών. Οι ανεκμετάλλευτες καλλιέργειες, που συχνά αναφέρονται ως «ορφανές καλλιέργειες» ή «παραμελημένα και ανεκμετάλλευτα είδη (NUS)», παρουσιάζονται ως πολύτιμοι πόροι για βιώσιμα συστήματα τροφίμων. Στις καλλιέργειες αυτές περιλαμβάνονται το κεχρί, το σόργο, και διάφορα όσπρια και φρούτα. Πολλές υποχρησιμοποιούμενες καλλιέργειες είναι φυσικά ανθεκτικές σε σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες, συμπεριλαμβανομένης της ξηρασίας, της αλατότητας και των φτωχών εδαφών. Αυτές οι καλλιέργειες είναι πλούσιες σε βασικά θρεπτικά συστατικά, βιταμίνες και μέταλλα, γεγονός που τις καθιστά πολύτιμες για την καταπολέμηση του υποσιτισμού. Τέλος, συμβάλλουν στην αμειψισπορά, βελτιώνουν την υγεία του εδάφους και ενισχύουν τη βιοποικιλότητα. Η διαφοροποίηση των συστημάτων καλλιέργειας με υποχρησιμοποιούμενες καλλιέργειες μπορεί να προσφέρει σταθερότητα στα συστήματα τροφίμων μειώνοντας την εξάρτηση από μερικές ευαίσθητες στο κλίμα

καλλιέργειες, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα και διασφαλίζοντας τη διατροφική επάρκεια για τους ευάλωτους πληθυσμούς (Mustafa et al., 2019).

3.2 Κλιματική Αλλαγή και Ποικιλομορφία τροφίμων

Η ποικιλομορφία των τροφίμων, ένα κρίσιμο στοιχείο της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας και διατροφής, απειλείται σημαντικά από την κλιματική αλλαγή και την απώλεια της βιοποικιλότητας. Η περίπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ αυτών των παραγόντων έχει βαθιές επιπτώσεις στα οικοσυστήματα, τα γεωργικά συστήματα και την ανθρώπινη ευημερία. Η βιοποικιλότητα αποτελεί το θεμέλιο της ποικιλότητας των τροφίμων, καθώς στηρίζει τις υπηρεσίες του οικοσυστήματος, όπως η επικονίαση, η γονιμότητα του εδάφους και ο έλεγχος των παρασίτων. Ωστόσο, η γεωργική επέκταση, η αποψίλωση των δασών και οι πρακτικές μονοκαλλιέργειας έχουν οδηγήσει σε σημαντική απώλεια της βιοποικιλότητας. Σχεδόν ένα εκατομμύριο είδη κινδυνεύουν με εξαφάνιση και πολλά από αυτά είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση των συστημάτων διατροφής. Η μείωση των επικονιαστικών ειδών και μόνο θα μπορούσε να οδηγήσει στην απώλεια φρούτων, λαχανικών και ξηρών καρπών, μειώνοντας περαιτέρω την ποικιλομορφία των τροφίμων και τις διατροφικές επιλογές. Η απώλεια βιοποικιλότητας έχει άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στα συστήματα τροφίμων. Η μείωση της ποικιλότητας των ειδών, τόσο στα φυσικά οικοσυστήματα όσο και στα αγροκτήματα, απειλεί τη διαθεσιμότητα τροφής και τις υπηρεσίες που παρέχονται από τα οικοσυστήματα. Η γενετική ποικιλότητα στα γεωργικά συστήματα είναι ζωτικής σημασίας για την προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η απώλεια της γενετικής ποικιλότητας τόσο στα φυτά όσο και στα ζώα μειώνει την ικανότητα αναπαραγωγής καλλιεργειών και ζώων που μπορούν να αντέξουν ακραίες καιρικές συνθήκες, παράσιτα και ασθένειες. Η γενετική διάβρωση καλλιεργειών όπως το ρύζι, το καλαμπόκι και το σιτάρι τις καθιστά πιο ευάλωτες στην κλιματική αλλαγή (FAO, 2019).



Εικόνα 3.2 Σύνδεση τροφής, βιοποικιλότητας και κλίματος

Πηγή: (<https://www.scp.org/agrobiodiversity-food-security/>, Ιδία Επεξεργασία)

Η εικόνα απεικονίζει έναν φαύλο κύκλο που συνδέει τρεις βασικούς παράγοντες: την τροφή, τη βιοποικιλότητα και το κλίμα. Στο κέντρο της εικόνας βρίσκεται η έννοια της τροφής, η οποία παρουσιάζεται ως η κινητήρια δύναμη αυτού του κύκλου. Γύρω από την τροφή σχηματίζονται δύο κύκλοι, ένας για τη βιοποικιλότητα και ένας για το κλίμα. Οι τρεις αυτοί κύκλοι είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με βέλη, υποδηλώνοντας μια αλληλεξάρτηση και μια συνεχή επίδραση του ενός στον άλλο. Η αύξηση της ζήτησης για τροφή οδηγεί σε απώλεια της βιοποικιλότητας και εντατικοποίηση της κλιματικής αλλαγής. Από την άλλη πλευρά, η κλιματική αλλαγή και η απώλεια της βιοποικιλότητας υπονομεύουν τη βιωσιμότητα της παραγωγής τροφίμων. Αυτός ο φαύλος κύκλος αποτελεί μια σοβαρή απειλή για το μέλλον του πλανήτη και την επιβίωση των μελλοντικών γενεών.



Εικόνα 3.2.1 Επισκόπηση των οκτώ τρόπων με τους οποίους η βιοποικιλότητα υποστηρίζει την διατροφική ασφάλεια.

Πηγή: (Dannenberg et al., 2024, Ιδία Επεξεργασία)

Η εικόνα παρουσιάζει μια ολιστική ματιά στη σχέση μεταξύ της διατροφικής ασφάλειας και της βιοποικιλότητας. Απεικονίζει τη διατροφική ασφάλεια ως τον κεντρικό στόχο, τον οποίο υποστηρίζουν πολλοί παράγοντες που συνδέονται άμεσα με τη βιοποικιλότητα. Υπογραμμίζει τη ζωτική σημασία της βιοποικιλότητας για την διασφάλιση της διατροφικής ασφάλειας. Η απώλεια της βιοποικιλότητας θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα να παράγονται επαρκείς ποσότητες υγιεινών τροφίμων και να υπάρχει προσαρμογή στις κλιματικές αλλαγές.

3.3 Κλιματική αλλαγή διατροφική ποιότητα και ποικιλομορφία τροφίμων στην Ελλάδα

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σημαντικά τη διατροφική ποιότητα και την ποικιλομορφία των τροφίμων στην Ελλάδα, κυρίως μέσω των επιπτώσεων της στη γεωργία και στα συστήματα παραγωγής τροφίμων. Η άνοδος της θερμοκρασίας, σε συνδυασμό με τις αλλαγές στις βροχοπτώσεις, είναι πιθανό να μειώσουν τις αποδόσεις βασικών καλλιεργειών όπως το σιτάρι, το ρύζι και ο αραβόσιτος, που αποτελούν βασικά συστατικά της ελληνικής διατροφής. Τα αυξημένα επίπεδα CO₂ της ατμόσφαιρας που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή μπορεί να οδηγήσουν σε μειώσεις στη θρεπτική πυκνότητα των καλλιεργειών. Αυτό το φαινόμενο έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερες συγκεντρώσεις βασικών μετάλλων όπως το μαγνήσιο, ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος και το κάλιο στους φυτικούς ιστούς, μειώνοντας έτσι τη

διατροφική ποιότητα των τροφίμων που διατίθενται προς κατανάλωση. Η λειψυδρία, που επιδεινώνεται από την κλιματική αλλαγή, επηρεάζει περαιτέρω τη διαθεσιμότητα φρέσκων φρούτων και λαχανικών στην Ελλάδα. Οι περιορισμένοι υδάτινοι πόροι εμποδίζουν την αγροτική παραγωγικότητα, οδηγώντας σε μειωμένη πρόσβαση σε τρόφιμα πλούσια σε θρεπτικά συστατικά. Κατά συνέπεια, τα άτομα μπορεί να καταφύγουν στην κατανάλωση φθηνότερων, πυκνών θερμίδων, αλλά φτωχών σε θρεπτικά συστατικά τροφίμων, αυξάνοντας τον κίνδυνο παχυσαρκίας και μεταβολικών διαταραχών (Bucciarelli et al., 2024).

Η μεσογειακή διατροφή, που χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση φυτικών τροφίμων, είναι γνωστή για τα οφέλη της για την υγεία και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Ωστόσο, η κλιματική αλλαγή θέτει προκλήσεις στη διατήρηση αυτού του διατροφικού προτύπου στην Ελλάδα. Η μειωμένη διαθεσιμότητα παραδοσιακών συστατικών μεσογειακής διατροφής λόγω των γεωργικών περιορισμών που προκαλούνται από το κλίμα μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της τήρησης αυτής της δίαιτας, επηρεάζοντας τόσο τη διατροφική υγεία όσο και τις πολιτιστικές διατροφικές πρακτικές (Koliaki et al., 2024).

Η λειψυδρία, που επιδεινώνεται από τη γήρανση των υποδομών και την αυξημένη ζήτηση, αποτελεί σημαντική πρόκληση για την ελληνική γεωργία. Σε περιοχές όπως η Αργολίδα, η αναποτελεσματική διαχείριση του νερού έχει οδηγήσει σε σοβαρή απώλεια νερού και μόλυνση, επηρεάζοντας τόσο την άρδευση των καλλιεργειών όσο και την παροχή πόσιμου νερού. Οι αγρότες παλεύουν με τις συνθήκες ξηρασίας και την εισροή αλμυρού νερού, που εμποδίζουν την παραγωγή και την ποιότητα των καλλιεργειών (<https://www.reuters.com/business/environment/parched-southern-greece-reveals-eus-giant-challenge-conserve-water-2025-02-20/>).

Η παραδοσιακή μεσογειακή διατροφή, γνωστή για τα οφέλη για την υγεία και τη βιωσιμότητα της, απειλείται λόγω των αλλαγών που προκαλούνται από το κλίμα στην παραγωγή τροφίμων. Τα τρέχοντα διατροφικά πρότυπα στις μεσογειακές χώρες αποκλίνουν από αυτό το μοντέλο, οδηγώντας σε αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και μειωμένη τήρηση αυτού του υγιεινού διατροφικού προτύπου (Castaldi et al., 2022).

Η κλιματική αλλαγή απειλεί επίσης τη βιοποικιλότητα των φαρμακευτικών και αρωματικών φυτών που αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του ελληνικού πολιτισμού και της κουζίνας. Οι αλλοιωμένες κλιματικές συνθήκες επηρεάζουν το φυτοχημικό περιεχόμενο και την επιβίωση αυτών των φυτών, απαιτώντας προσαρμοστικές στρατηγικές για τη διατήρησή τους (Tomou et al., 2022).

Οι Christopoulos & Ouzounidou (2021), εξέτασαν πώς οι διάφοροι παράγοντες της κλιματικής αλλαγής επηρεάζουν την αντιληπτή και διατροφική ποιότητα των φρούτων και των λαχανικών. Επικεντρώθηκαν τόσο σε σημαντικούς παράγοντες, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη και τα αυξημένα επίπεδα CO₂ της ατμόσφαιρας, όσο και σε δευτερεύοντες ή έμμεσους παράγοντες, όπως η αυξημένη συγκέντρωση

όζοντος, η αλατότητα του εδάφους και οι συνθήκες ξηρασίας . Τα αυξημένα επίπεδα CO₂ μπορούν να ενισχύσουν τη φωτοσύνθεση, οδηγώντας σε αυξημένη συσσώρευση υδατανθράκων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πιο γλυκά φρούτα και λαχανικά. Οι στρεσογόνοι παράγοντες που προκαλούνται από το κλίμα μπορεί να διεγείρουν τους αμυντικούς μηχανισμούς των φυτών, οδηγώντας σε αυξημένη παραγωγή αντιοξειδωτικών. Αυτό μπορεί να βελτιώσει τη θρεπτική ποιότητα των προϊόντων αυξάνοντας τις ωφέλιμες ενώσεις . Η υπερθέρμανση του πλανήτη και άλλοι παράγοντες πίεσης του κλίματος μπορούν να προκαλέσουν οπτικές διαταραχές και δυσμορφίες στα προϊόντα, επηρεάζοντας αρνητικά την εμπορευσιμότητά τους . Τα αυξημένα επίπεδα CO₂ έχουν συνδεθεί με μειώσεις της περιεκτικότητας σε πρωτεΐνες, βασικά μέταλλα και αμινοξέα στα φρούτα και τα λαχανικά. Για παράδειγμα, μελέτες έχουν δείξει μειωμένα επίπεδα αζώτου, φωσφόρου και καλίου στις ντομάτες που καλλιεργούνται κάτω από υψηλότερες συγκεντρώσεις CO₂. Η επίδραση στα επίπεδα βιταμίνης C φαίνεται ασυνεπής. Μερικές μελέτες αναφέρουν αυξήσεις, ενώ άλλες σημειώνουν μειώσεις, υποδηλώνοντας ότι οι απαντήσεις μπορεί να διαφέρουν ανάλογα με το είδος, τη γεωγραφία και τις γεωργικές πρακτικές .

Ο Adamidis κ.α. (2021), διερευνούν την παραδοσιακή ελληνική διατροφή, δίνοντας έμφαση στην ευθυγράμμισή της με το μεσογειακό διατροφικό πρότυπο. Αυτή η δίαιτα χαρακτηρίζεται από υψηλή κατανάλωση ελαιόλαδου, φρούτων, λαχανικών, δημητριακών ολικής αλέσεως, οσπρίων και ξηρών καρπών. μέτρια πρόσληψη ψαριών και πουλερικών. και περιορισμένη κατανάλωση κόκκινου κρέατος και γαλακτοκομικών προϊόντων. Τέτοιες διατροφικές συνήθειες έχουν συσχετιστεί με πολλά οφέλη για την υγεία, συμπεριλαμβανομένων των μειωμένων κινδύνων για καρδιαγγειακές παθήσεις. Το ελαιόλαδο, που χρησιμεύει ως η κύρια πηγή λίπους, είναι πλούσιο σε μονοακόρεστα λιπαρά οξέα και αντιοξειδωτικά, συμβάλλοντας στην υγεία της καρδιάς. Μια ποικιλία από τοπικά καλλιεργούμενα προϊόντα παρέχει απαραίτητες βιταμίνες, μέταλλα και φυτικές ίνες . Τα βασικά προϊόντα όπως οι φακές, τα ρεβίθια και το ψωμί ολικής αλέσεως προσφέρουν πρωτεΐνες και σύνθετους υδατάνθρακες . Η τακτική κατανάλωση ψαριών παρέχει ωμέγα-3 λιπαρά οξέα, ευεργετικά για την καρδιαγγειακή υγεία . Παρά την υγιεινή βάση της παραδοσιακής ελληνικής διατροφής, οι συγγραφείς παρατηρούν και καταγράφουν μια στροφή προς τα δυτικοποιημένα διατροφικά πρότυπα τις τελευταίες δεκαετίες. Η αυξημένη πρόσληψη επεξεργασμένων τροφίμων, κόκκινου κρέατος και ζαχαρούχων προϊόντων έχει συνδεθεί με αυξανόμενα ποσοστά παχυσαρκίας, διαβήτη και καρδιαγγειακών παθήσεων στην Ελλάδα.



Εικόνα 3.3 Μεσογειακή πυραμίδα διατροφής

Πηγή: (<https://agrimon.gr/en/the-mediterranean-diet/>).

Ο Tsadilas (2023), χρησιμοποίησε το μηχανικό μοντέλο AquaCrop του FAO για τα τρία σενάρια κλιματικής αλλαγής, δηλαδή, A1B (ενδιάμεσο), A2 (έντονο) και B2 (Ήπιο) για να εξετάσει τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στις κύριες καλλιέργειες της χώρας (σιτηρά, βαμβάκι, ελιά, αμπέλια).

Πίνακας 3.3 Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην απόδοση του βαμβακιού

Climate Area/Scenarios	A1B		A2		B2	
	2041–2050	2091–2100	2041–2050	2091–2100	2041–2050	2091–2100
East Macedonia-Thrace	Increase					
West-Central Macedonia	Increase					
Central-East Greece					Increase	
Western Greece		Increase				

Legend: green: Increase > 10%; grey: Increase < 10%; brown: Decrease 10%; yellow: No change

Σύμφωνα με τα δεδομένα του συγκεκριμένου πίνακα, διαπιστώνεται ότι στα περισσότερα πιθανά σενάρια κλιματικής μεταβολής, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να έχει θετική επίδραση στην καλλιέργεια βαμβακιού, με προβλεπόμενη αύξηση της απόδοσης που ξεπερνά το 10%. Εξαιρεση αποτελούν οι περιοχές της Κεντρικής και Ανατολικής Ελλάδας, όπου σύμφωνα με τα σενάρια A1B και A2, η παραγωγικότητα είτε θα παραμείνει στα ίδια επίπεδα είτε θα μειωθεί περίπου κατά 10%. Το φαινόμενο αυτό σχετίζεται με τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά ανάπτυξης του βαμβακιού. Έρευνες έχουν δείξει ότι η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ συνοδευόμενη από άνοδο της θερμοκρασίας ευνοεί την αύξηση της απόδοσης, εκτός εάν η θερμοκρασιακή άνοδος είναι υπερβολική, οπότε παρατηρείται μείωση της παραγωγής. Το βαμβάκι αναπτύσσεται όταν η ελάχιστη θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 12 και 15 °C, ενώ οι ιδανικές θερμοκρασίες ανάπτυξης βρίσκονται μεταξύ 26 και 28 °C. Η μέγιστη θερμοκρασία που μπορεί να αντέξει εξαρτάται από το πόσο διαρκεί η έκθεση σε αυτήν – ακόμη και σύντομα διαστήματα με υψηλότερες από τις ιδανικές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν βλάβες στα νεαρά καρύδια. Επιπλέον, η ξηρασία αποτελεί έναν σοβαρό αβιοτικό παράγοντα πίεσης για την καλλιέργεια. Οι περιοχές που αναμένεται να πληγούν περισσότερο από τις δυσμενείς επιπτώσεις είναι η Κεντρική και Ανατολική Ελλάδα, όπου παράγεται και το μεγαλύτερο ποσοστό του ελληνικού βαμβακιού.

Πίνακας 3.3.1 Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην απόδοση των σιτηρών

Climate Area/Scenarios		A1B		A2		B2	
		2041–2050	2091–2100	2041–2050	2091–2100	2041–2050	2091–2100
East Macedonia-Thrace	Wheat						
	Maize						
West-Central Macedonia	Wheat						
	Maize						
Central-East Greece	Wheat						
	Maize						
Western Greece	Wheat						
	Maize						
Western Peloponnese	Wheat						
	Maize						
East Peloponnese	Wheat						
	Maize						

Legend: green: Increase > 10%; grey: Increase < 10%; brown: Decrease 10%; yellow: No change; red: Decrease > 10%; white: no data.

Τα σιτηρά φαίνεται να συγκαταλέγονται στις πιο ευπαθείς καλλιέργειες στα πλαίσια των σεναρίων A1B και A2. Η περιοχή που αναμένεται να πληγεί περισσότερο είναι η Κεντρική και Ανατολική Ελλάδα, όπου οι αποδόσεις του σιταριού προβλέπεται να μειωθούν σημαντικά, φτάνοντας ή και ξεπερνώντας το 10%. Αντίθετα, μόνο στο ενδιάμεσο σενάριο B2 δεν διαφαίνεται να υπάρχει αρνητική επίδραση στην παραγωγή σιταριού σε καμία περιοχή της χώρας. Αντίστοιχες τάσεις καταγράφονται και για τη Δυτική Ελλάδα και τη Δυτική-Κεντρική Μακεδονία, όπου, υπό τα ίδια σεσάρια (A1B και A2), η μείωση των αποδόσεων εκτιμάται επίσης γύρω στο 10%. Όσον αφορά το καλαμπόκι, η κατάσταση είναι παραπλήσια αλλά ελαφρώς πιο αισιόδοξη. Σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, εκτιμήσεις δείχνουν ότι με αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,5 έως 2 °C, οι αποδόσεις του σιταριού έως το 2050 ενδέχεται να μειωθούν έως και κατά 49%, ενώ για το καλαμπόκι η μείωση αναμένεται να κυμανθεί μεταξύ 1% και 29%.

Πίνακας 3.3.2 Επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην απόδοση των ελιών

Climate Area/Scenarios		A1B		A2		B2	
		2041–2050	2091–2100	2041–2050	2091–2100	2041–2050	2091–2100
East Macedonia-Thrace							
West-Central Macedonia							
Central-East Greece							
Western Greece							
Ionian							
Western Peloponnese							
East Peloponnese							
Cyclades							
North Aegean							
Dodecanese							
Crete							

Legend: green: Increase > 10%; grey: Increase < 10%; brown: Decrease 10%; red: Decrease > 10%; yellow: No change.

Η καλλιέργεια της ελιάς αναμένεται να επωφεληθεί από τις κλιματικές αλλαγές, ιδιαίτερα στα βόρεια τμήματα της χώρας. Στην Ανατολική Μακεδονία - Θράκη και στη Δυτική - Κεντρική Μακεδονία προβλέπεται αύξηση της απόδοσης που θα ξεπερνά το 10%. Ανάλογη, αν και πιο περιορισμένη, βελτίωση στις αποδόσεις αναμένεται και σε περιοχές όπως η Δυτική Ελλάδα, τα νησιά του Ιονίου και το Βόρειο Αιγαίο. Αντίθετα, στις υπόλοιπες περιοχές της Ελλάδας προβλέπεται ότι οι επιπτώσεις θα είναι αρνητικές για την ελαιοκαλλιέργεια.

Πίνακας 3.3.3 Πιθανές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα αμπέλια

Climate Area/Scenarios	A1B		A2		B2	
	2041–2050	2091–2100	2041–2050	2091–2100	2041–2050	2091–2100
East Macedonia-Thrace						
West-Central Macedonia						
Central-East Greece						
Western Greece						
Ionian						
Western Peloponnese						
East Peloponnese						
Cyclades						
North Aegean						
Dodecanese						
Crete						

Legend: green: Increase > 10%; grey: Increase < 10%; brown: Decrease 10%; yellow: No change.

Η κατάσταση όσον αφορά τα αμπέλια παρουσιάζει ομοιότητες με αυτήν της ελαιοκαλλιέργειας. Περιοχές όπως η Βορειοανατολική Μακεδονία - Θράκη, η Δυτική και Κεντρική Μακεδονία, η Δυτική Ελλάδα, το Ιόνιο και το Βορειοανατολικό Αιγαίο αναμένεται να ευνοηθούν, με τις αποδόσεις να αυξάνονται έως και πάνω από 10%. Αντιθέτως, στην Κεντροανατολική Ελλάδα, στο Ιόνιο, στη Δυτική Πελοπόννησο και στο Ανατολικό Αιγαίο δεν προβλέπονται ιδιαίτερες μεταβολές στην παραγωγικότητα. Αντίθετα, στην Πελοπόννησο, τις Κυκλάδες, τα Δωδεκάνησα και την Κρήτη, αναμένονται σημαντικές μειώσεις στις αποδόσεις των αμπελιών.

3.4 Τροποποιημένες συνθήκες καλλιέργειας και διαθεσιμότητα σε θρεπτικά συστατικά

3.4.1 Υγρασία του εδάφους και διαθεσιμότητα νερού

Η υγρασία του εδάφους παίζει κρίσιμο και πολύπλευρο ρόλο στον καθορισμό της διαθεσιμότητας θρεπτικών ουσιών. Επηρεάζει άμεσα τις φυσικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες που ρυθμίζουν την κίνηση, τον μετασχηματισμό και την πρόσληψη των θρεπτικών συστατικών από τα φυτά. Η υγρασία του εδάφους επηρεάζει κυρίως την κινητικότητα των θρεπτικών συστατικών μέσω δύο βασικών μηχανισμών, τη ροή μάζας και τη διάχυση. Αναφορικά με τη ροή μάζας, τα θρεπτικά συστατικά που διαλύονται στο νερό του εδάφους μεταφέρονται στις ρίζες των φυτών μαζί με την πρόσληψη νερού. Τα κινητά θρεπτικά συστατικά, όπως τα νιτρικά (NO_3^-), το ασβέστιο (Ca^{2+}) και το μαγνήσιο (Mg^{2+}), βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στη ροή μάζας για τη μεταφορά τους. Σε ξηρά εδάφη, η μειωμένη κίνηση του νερού μειώνει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της ροής μάζας, περιορίζοντας τη διαθεσιμότητα

αυτών των θρεπτικών συστατικών. Αναφορικά με τη διάχυση, λιγότερο κινούμενα θρεπτικά συστατικά όπως ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K) κινούνται προς τις ρίζες με διάχυση, η οποία καθοδηγείται από τις διαβαθμίσεις συγκέντρωσης. Η διάχυση είναι πολύ ευαίσθητη στην υγρασία του εδάφους, επειδή οι μεμβράνες νερού στο έδαφος λειτουργούν ως μέσο για την κίνηση των ιόντων. Σε ξηρές συνθήκες, οι λεπτότερες μεμβράνες νερού περιορίζουν τους ρυθμούς διάχυσης, δημιουργώντας ζώνες εξάντλησης θρεπτικών στοιχείων γύρω από τις ρίζες (Marschner & Rengel, 2023).

Η διαθεσιμότητα του νερού από το έδαφος επηρεάζει σημαντικά τη διαλυτότητα και την κινητικότητα των θρεπτικών συστατικών. Η επαρκής περιεκτικότητα σε νερό ενισχύει τη διάλυση και τη μεταφορά των θρεπτικών στοιχείων, διευκολύνοντας την πρόσληψη από τα φυτά. Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των φυτών, η υδατική καταπόνηση (χαμηλή εδαφική υγρασία) περιορίζει τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών μειώνοντας τη μικροβιακή δραστηριότητα και τη διάχυση των θρεπτικών συστατικών. Μετά την ανάπτυξη των φυτών, η ξήρανση του εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε συγκέντρωση θρεπτικών συστατικών στο εδαφικό διάλυμα, αλλά η παρατεταμένη ξηρότητα επηρεάζει αρνητικά την προσβασιμότητα των θρεπτικών συστατικών. Κάποια θρεπτικά συστατικά επηρεάζονται από την περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους όπως το άζωτο (N), ο φώσφορος (P) και το κάλιο (K). Η ανεπάρκεια νερού μειώνει το ρυθμό νιτροποίησης (μετατροπή του αμμωνίου σε νιτρικό άλας), επειδή η διαδικασία αυτή απαιτεί ενεργό μικροβιακή συμμετοχή. Η απονιτροποίηση (απώλεια αζώτου ως αέριο) επηρεάζεται επίσης, ιδίως σε εδάφη με νερό όπου επικρατούν αναερόβιες συνθήκες. Ο φώσφορος γίνεται λιγότερο βιοδιαθέσιμος σε ξηρά εδάφη επειδή συνδέεται με σωματίδια του εδάφους ή σχηματίζει αδιάλυτες ενώσεις. Η υγρασία διευκολύνει την εκρόφηση, απελευθερώνοντας τον φώσφορο από αυτούς τους δεσμούς και καθιστώντας τον διαθέσιμο στα φυτά. Η διάχυση του καλίου περιορίζεται σημαντικά στα ξηρά εδάφη, καθώς η διαδικασία αυτή εξαρτάται από ένα λεπτό στρώμα υδάτινης μεμβράνης νερού που περιβάλλει τα σωματίδια του εδάφους. Η υψηλή υγρασία προάγει την κινητικότητα του καλίου, ενισχύοντας τη διαθεσιμότητά του (Xue et al., 2017).

Πίνακας 3.4.1 Πώς η σύσταση του εδάφους επηρεάζει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών στα φυτά.

Σύσταση του Εδάφους	Διαθεσιμότητα νερού	Διαθεσιμότητα Θρεπτικών Συστατικών	Διαθεσιμότητα Οξυγόνου	Ικανότητα διείσδυσης στις ρίζες
Αμμώδες	Χαμηλή: Το νερό αποστραγγίζεται	Χαμηλή: Χαμηλή ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων · τα ανιόντα εκπλύνονται	Υψηλή: πολλοί χώροι που περιέχουν αέρα	Υψηλή: Τα μεγάλα σωματίδια δεν διεισδύουν εύκολα στις ρίζες
Αργιλώδες	Το νερό προσκολλάται στην ηλεκτρικά φορτισμένη επιφάνεια των σωματιδίων αργίλου	Υψηλή: Μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων · τα ανιόντα παραμένουν στο διάλυμα	Χαμηλή: λίγοι χώροι που περιέχουν αέρα	Χαμηλή: Τα μικρά σωματίδια διεισδύουν εύκολα στις ρίζες
Οργανική ύλη	Το νερό προσκολλάται στην ηλεκτρικά φορτισμένη επιφάνεια των σωματιδίων αργίλου	Υψηλή: Άμεση πηγή θρεπτικών συστατικών. Μεγάλη ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων · τα ανιόντα παραμένουν στο διάλυμα	Υψηλή: πολλοί χώροι που περιέχουν αέρα	Υψηλή: Τα μεγάλα σωματίδια δεν διεισδύουν εύκολα στις ρίζες

Πηγή: (<https://organismalbio.biosci.gatech.edu/nutrition-transport-and-homeostasis/acquisition-of-nutrients-in-plants/>, Ιδία Επεξεργασία)

3.4.2 Θερμοκρασία εδάφους

Οι μικροοργανισμοί στο έδαφος είναι ευαίσθητοι στις μεταβολές της θερμοκρασίας, οι οποίες επηρεάζουν άμεσα διεργασίες όπως η αποσύνθεση της οργανικής ύλης και η ανακύκλωση των θρεπτικών συστατικών. Ορισμένα θρεπτικά συστατικά, όπως το άζωτο, γίνονται περισσότερο διαθέσιμα στα φυτά υπό βέλτιστες συνθήκες θερμοκρασίας του εδάφους. Η θερμοκρασία του εδάφους επηρεάζει την επιμήκυνση των ριζών, την πρόσληψη θρεπτικών στοιχείων και την απορρόφηση νερού. Οι βέλτιστες θερμοκρασίες εδάφους είναι ζωτικής σημασίας για το φύτρωμα των σπόρων και την πρώιμη εγκατάσταση των φυτών. Οι ακραίες θερμοκρασίες του εδάφους μπορούν να προκαλέσουν θερμικό στρες, περιορίζοντας την παραγωγικότητα των φυτών. Η θερμοκρασία επηρεάζει τη διαλυτότητα και τις χημικές μορφές των βασικών θρεπτικών συστατικών στο έδαφος. Σε χαμηλές θερμοκρασίες, η διαλυτότητα του φωσφόρου (P) μειώνεται λόγω της μειωμένης κινητικότητας των ιόντων. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να προωθήσουν τη δέσμευση του φωσφόρου σε μη διαθέσιμες μορφές, ιδίως σε εδάφη πλούσια σε οξειδία αργιλίου ή σιδήρου. Το κάλιο είναι ένα από τα συστατικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή φωσφόρου. Η πρόσληψη καλίου εξαρτάται από

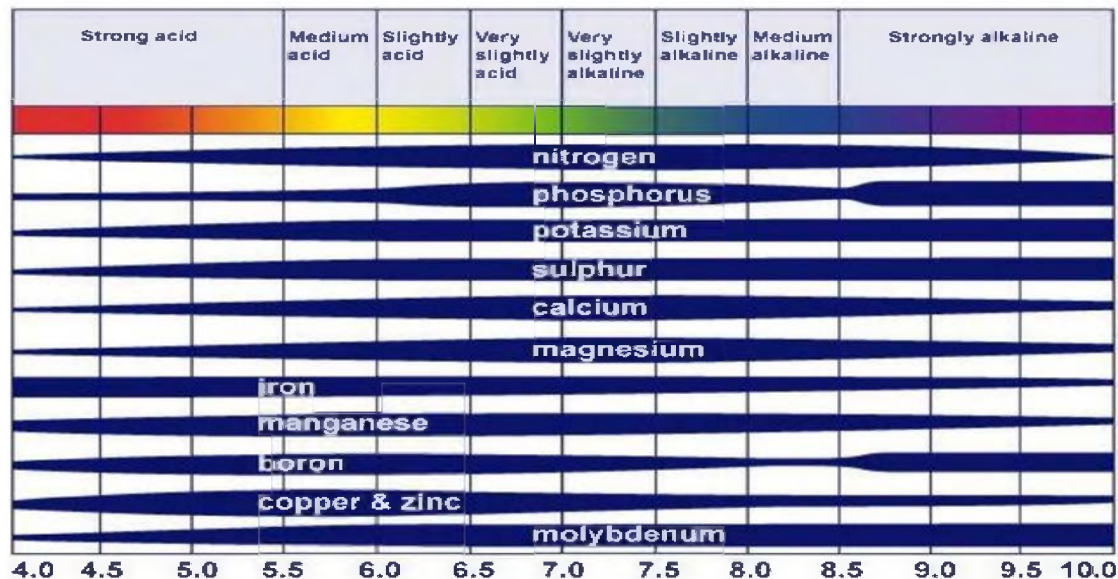
τη θερμοκρασία σε συνδυασμό με μειωμένη διαθεσιμότητα σε ψυχρά εδάφη λόγω των βραδύτερων ρυθμών διάχυσης (Onwuka et al., 2018).

Ο Sun κ.α. (2019), διερεύνησαν τον τρόπο με τον οποίο η κατάσταση των εδαφικών πόρων, ιδίως οι διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητα αζώτου (N) επηρεάζει τις αντιδράσεις των διεργασιών του εδαφικού αζώτου στις μεταβολές της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Το άζωτο αποτελεί περιορισμένο θρεπτικό συστατικό σε πολλά οικοσυστήματα και η ανακύκλωσή του διέπεται από πολύπλοκες βιολογικές και χημικές διεργασίες. Οι διεργασίες αυτές, όπως η ανοργανοποίηση, η νιτροποίηση και η απονιτροποίηση, εξαρτώνται από τη θερμοκρασία και την υγρασία. Τα σενάρια κλιματικής αλλαγής προβλέπουν μεταβολές στη θερμοκρασία και τα πρότυπα βροχόπτωσης, οι οποίες θα μπορούσαν να διαταράξουν τη δυναμική του αζώτου. Οι αντιδράσεις των διεργασιών του αζώτου στη θερμοκρασία και την υγρασία επηρεάστηκαν έντονα από την κατάσταση των εδαφικών πόρων. Τα εδάφη με υψηλούς πόρους παρουσίασαν πιο έντονες αλλαγές στις διεργασίες αζώτου με την αύξηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας, γεγονός που αντανάκλα την υψηλότερη μικροβιακή δραστηριότητα. Στα εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα σε πόρους, οι μικροβιακές κοινότητες έπαιξαν σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση των αποκρίσεων των διεργασιών αζώτου, καθώς τα εδάφη αυτά είχαν πιο ενεργούς και ποικίλους μικροβιακούς πληθυσμούς. Τα εδάφη με χαμηλή περιεκτικότητα σε πόρους παρουσίασαν περιορισμένες αποκρίσεις, πιθανότατα λόγω περιορισμών στη μικροβιακή δραστηριότητα.

3.4.3 Μεταβολές του pH του εδάφους

Το pH του εδάφους επηρεάζει σημαντικά τη διαλυτότητα των θρεπτικών στοιχείων. Σε όξινα εδάφη (χαμηλό pH), στοιχεία όπως το αλουμίνιο και το μαγγάνιο γίνονται πιο διαλυτά, φτάνοντας ενδεχομένως σε τοξικά επίπεδα για τα φυτά. Αντίθετα, βασικά θρεπτικά στοιχεία όπως ο φώσφορος, το ασβέστιο και το μαγνήσιο μπορεί να γίνουν λιγότερο διαθέσιμα σε όξινες συνθήκες. Σε αλκαλικά εδάφη (υψηλό pH), η διαθεσιμότητα του φωσφόρου και των περισσότερων μικροθρεπτικών συστατικών μειώνεται, οδηγώντας ενδεχομένως σε ελλείψεις. Τα διάφορα είδη φυτών έχουν διαφορετικές ανοχές και προσαρμογές στα επίπεδα pH του εδάφους. Ορισμένα φυτά έχουν αναπτύξει μηχανισμούς για να ευδοκίμουν σε όξινα ή αλκαλικά εδάφη, επηρεάζοντας την αποτελεσματικότητα της πρόσληψης θρεπτικών στοιχείων. Αυτή η μεταβλητότητα σημαίνει ότι το βέλτιστο εύρος pH για τη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων δεν είναι ομοιόμορφο για όλα τα είδη φυτών. Ο αντίκτυπος του pH στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών διαμορφώνεται επίσης από τις ιδιότητες του εδάφους, όπως η υφή, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και η μικροβιακή δραστηριότητα. Αυτοί οι παράγοντες μπορούν να μεταβάλουν τον τρόπο με τον οποίο το pH επηρεάζει τη διαλυτότητα και την κινητικότητα των θρεπτικών συστατικών εντός της εδαφικής μήτρας (Barrow & Hartemink, 2023).

Το pH του εδάφους επηρεάζει άμεσα τη διαλυτότητα και τη διαθεσιμότητα βασικών θρεπτικών συστατικών όπως το άζωτο, ο φώσφορος, το κάλιο, το ασβέστιο, το μαγνήσιο και μικροθρεπτικά συστατικά όπως ο σίδηρος και ο ψευδάργυρος. Σε όξινα εδάφη ($\text{pH} < 5,5$), το αλουμίνιο και το μαγγάνιο μπορεί να γίνουν τοξικά για τα φυτά, ενώ η διαθεσιμότητα του φωσφόρου και του μολυβδαινίου μειώνεται. Σε αλκαλικά εδάφη ($\text{pH} > 7,5$), οι ελλείψεις σε μικροθρεπτικά συστατικά όπως ο σίδηρος, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός και το μαγγάνιο είναι συχνές λόγω της μειωμένης διαλυτότητάς τους. Οι ευεργετικές μικροβιακές δραστηριότητες, συμπεριλαμβανομένης της δέσμευσης αζώτου και της αποσύνθεσης οργανικής ύλης, εξαρτώνται από το pH, με τα περισσότερα μικρόβια να ευδοκιμούν σε ουδέτερες έως ελαφρώς όξινες συνθήκες ($\text{pH} 6,0-7,5$). Οι μεταβολές στο pH του εδάφους επηρεάζουν τα εκκρίματα των ριζών και την ικανότητα του φυτού να απορροφά θρεπτικά συστατικά μέσω μηχανισμών ανταλλαγής κατιόντων. Ο χειρισμός του pH του εδάφους αποτελεί κοινή στρατηγική στη φυτοεξυγίανση και τη χημική σταθεροποίηση των βαρέων μετάλλων. Η αύξηση του pH με ασβέστη μπορεί να μειώσει την κινητικότητα τοξικών μετάλλων όπως το κάδμιο, ο μόλυβδος και το νικέλιο. Η ρυθμιστική ικανότητα των εδαφών καθορίζει πόσο ανθεκτικό είναι το pH σε αλλαγές, γεγονός που είναι ζωτικής σημασίας για τις μακροπρόθεσμες προσπάθειες αποκατάστασης. Συμπερασματικά, η προσαρμογή του pH του εδάφους είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση της γεωργικής παραγωγικότητας και την αποκατάσταση των υποβαθμισμένων εδαφών (Neina, 2019).



Διάγραμμα 3.4.3 Η επίδραση του pH του εδάφους στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών συστατικών.

Πηγή: (Roques et al., 2013)

Το διάγραμμα που παρουσιάζεται απεικονίζει τη σχέση μεταξύ του pH του εδάφους και της διαθεσιμότητας των βασικών θρεπτικών στοιχείων που απαιτούν τα φυτά για την ανάπτυξή τους. Το pH του εδάφους επηρεάζει άμεσα τη διαλυτότητα των

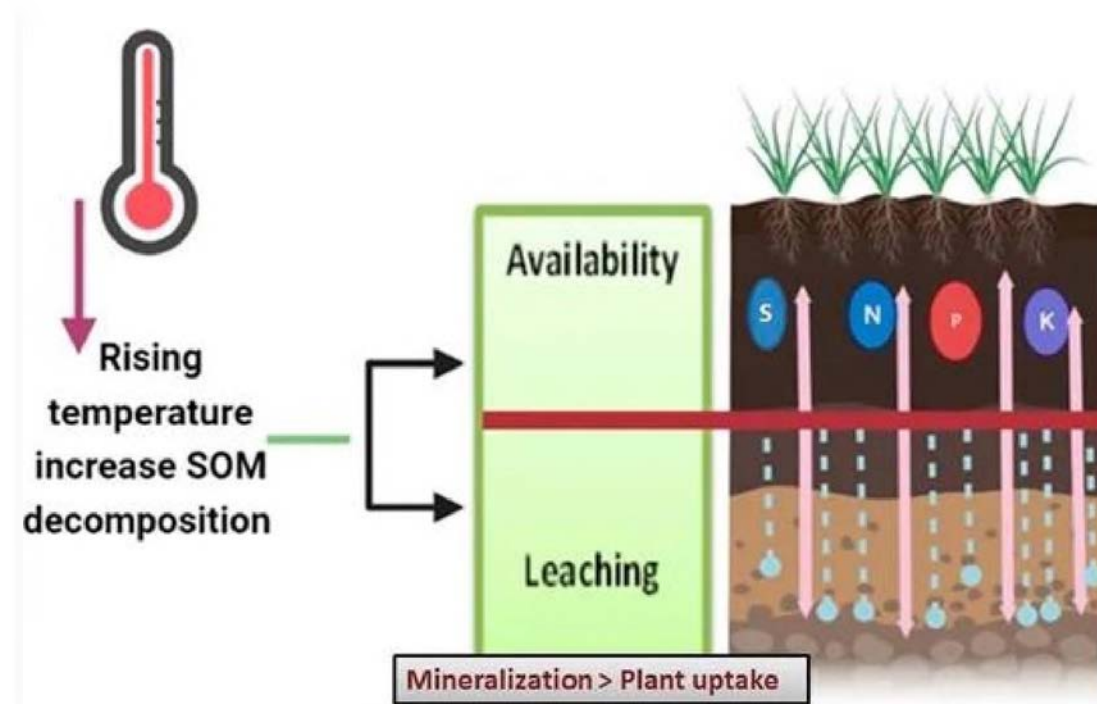
θρεπτικών στοιχείων στο έδαφος. Αυτό σημαίνει ότι σε διαφορετικές τιμές pH, τα φυτά μπορεί να έχουν δυσκολία στην απορρόφηση συγκεκριμένων θρεπτικών στοιχείων, ακόμα κι αν αυτά υπάρχουν στο έδαφος. Το διάγραμμα δείχνει ότι η πλειονότητα των θρεπτικών στοιχείων είναι πιο διαθέσιμα σε ένα ελαφρώς όξινο έδαφος, με pH μεταξύ 6 και 7. Σε αυτό το εύρος pH, τα φυτά μπορούν να απορροφήσουν πιο εύκολα τα απαραίτητα θρεπτικά συστατικά για την ανάπτυξή τους. Ο φώσφορος είναι πιο διαθέσιμος σε ελαφρώς όξινα εδάφη, αλλά η διαθεσιμότητά του μειώνεται σημαντικά σε πολύ όξινα ή πολύ αλκαλικά εδάφη. Ο σίδηρος και το μαγγάνιο είναι πιο διαθέσιμα σε όξινα εδάφη. Σε αλκαλικά εδάφη, η διαθεσιμότητά τους περιορίζεται σημαντικά, γεγονός που μπορεί να προκαλέσει χλώρωση (τα φύλλα των φυτών κιτρινίζουν λόγω έλλειψης χλωροφύλλης) στα φυτά. Το ασβέστιο και το μαγνήσιο είναι πιο διαθέσιμα σε αλκαλικά εδάφη. Σε όξινα εδάφη, η διαθεσιμότητά τους μειώνεται, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την ανάπτυξη των ριζών και την απορρόφηση άλλων θρεπτικών στοιχείων.

3.4.4. Επίπεδα οργανικής ύλης

Η οργανική ύλη του εδάφους (SOM) παίζει καθοριστικό ρόλο στην παροχή βασικών θρεπτικών συστατικών στα φυτά. Καθώς η οργανική ύλη αποσυντίθεται, απελευθερώνει θρεπτικά συστατικά σε μια διαδικασία γνωστή ως ανοργανοποίηση. Περίπου το 3% του συνολικού SOM αποσυντίθεται ετησίως, καθιστώντας τα θρεπτικά συστατικά διαθέσιμα στα φυτά. Για κάθε τόνο άνθρακα στην οργανική ύλη του εδάφους, μπορούν να απελευθερωθούν περίπου 100 kg αζώτου, 15 kg φωσφόρου και 15 kg θείου. Ωστόσο, η πραγματική διαθεσιμότητα αυτών των θρεπτικών στοιχείων εξαρτάται από παράγοντες όπως ο τύπος του εδάφους, το κλίμα και η ποιότητα των οργανικών υπολειμμάτων που προστίθενται. Δεν είναι όλα τα θρεπτικά συστατικά που απελευθερώνονται προσβάσιμα στα φυτά, καθώς ορισμένα μπορεί να χαθούν μέσω έκπλυσης ή να χρησιμοποιηθούν από τους μικροοργανισμούς του εδάφους (<https://www.agric.wa.gov.au/measuring-and-assessing-soils/soil-organic-matter-influence-nutrient-availability>).

Το SOM παίζει καθοριστικό ρόλο στην ενίσχυση της διαθεσιμότητας των κατιόντων μικροθρεπτικών συστατικών στο έδαφος δημιουργώντας ένα μειωμένο περιβάλλον (χαμηλότερο δυναμικό οξειδοαναγωγής). Το περιβάλλον αυτό διευκολύνει τη μετατροπή των μικροθρεπτικών συστατικών σε μορφές που είναι πιο προσιτές στα φυτά. Η προσθήκη οργανικής ύλης αυξάνει τις συνδεδεμένες μορφές των μικροθρεπτικών συστατικών, μετατρέποντας τα δεσμευμένα συστατικά σε μορφές προσβάσιμες από τα φυτά. Η διαδικασία αυτή αυξάνει τις μορφές των μικροθρεπτικών συστατικών που διαλύονται στο νερό και μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα από τα φυτά, διευκολύνοντας έτσι την απορρόφησή τους. Τα υψηλά επίπεδα οργανικής ύλης του εδάφους βελτιώνουν τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, όπως η χύδην πυκνότητα και η ικανότητα συγκράτησης νερού, τα οποία με τη σειρά τους επηρεάζουν τη δυναμική των μικροθρεπτικών συστατικών. Η συσσώρευση της οργανικής ύλης του εδάφους μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό πιο σταθερών ενώσεων μικροθρεπτικών συστατικών, επηρεάζοντας την κινητικότητα

και τη διαθεσιμότητά τους στο έδαφος. Συμπερασματικά, επηρεάζοντας το χημικό περιβάλλον και τις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, η οργανική ύλη του εδάφους ενισχύει τη διαθεσιμότητα βασικών μικροθρεπτικών συστατικών, υποστηρίζοντας έτσι την ανάπτυξη των φυτών και τη γεωργική παραγωγικότητα (Dhaliwal et al., 2019).



Εικόνα 3.4.4 Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής και της αύξησης της θερμοκρασίας στην αποσύνθεση της οργανικής ύλης του εδάφους και στα θρεπτικά συστατικά του εδάφους.

Πηγή: (Elbasiouny et al., 2022).

Η εικόνα απεικονίζει τη διαδικασία της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης του εδάφους (SOM) και τις επιπτώσεις της στην διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά, υπό την επίδραση της αύξησης της θερμοκρασίας. Η ανοδική τάση της θερμοκρασίας, που συμβολίζεται από το θερμόμετρο, αποτελεί τον κύριο παράγοντα που επηρεάζει τη διαδικασία. Η αύξηση της θερμοκρασίας επιταχύνει τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών, οι οποίοι αποικοδομούν την οργανική ύλη του εδάφους. Αυτό απεικονίζεται με την πράσινη γραμμή που συνδέει την αύξηση της θερμοκρασίας με την εντατικοποίηση της αποσύνθεσης. Η ταχύτερη αποσύνθεση της οργανικής ύλης μπορεί να οδηγήσει σε βραχυπρόθεσμη αύξηση της παραγωγής των φυτών, καθώς τα θρεπτικά στοιχεία γίνονται πιο εύκολα προσβάσιμα. Η υπερβολική ορυκτοποίηση μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια θρεπτικών στοιχείων μέσω έκπλυσης, μειώνοντας τη γονιμότητα του εδάφους μακροπρόθεσμα. Η συνεχής αποσύνθεση της οργανικής ύλης μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανική ύλη, με αρνητικές επιπτώσεις στη δομή και τη λειτουργία του εδάφους και συνοδεύεται από την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), ενός σημαντικού αερίου του θερμοκηπίου.

3.4.5 Ατμοσφαιρικές Αλλαγές (επίπεδα CO₂)

Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις CO₂ στην ατμόσφαιρα μπορούν να επηρεάσουν άμεσα τη διατροφική αξία των βασικών καλλιεργειών. Σε συνθήκες αυξημένου CO₂, καλλιέργειες όπως το σιτάρι, το ρύζι και ο αραβόσιτος (καλαμπόκι) τείνουν να παρουσιάζουν μειωμένες συγκεντρώσεις βασικών θρεπτικών συστατικών, ιδίως πρωτεϊνών, σιδήρου και ψευδαργύρου. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στον τρόπο με τον οποίο το CO₂ επηρεάζει τον μεταβολισμό των φυτών, οδηγώντας σε μεταβολή της κατανομής των θρεπτικών συστατικών και σε μειωμένη πυκνότητα θρεπτικών συστατικών στα παραγόμενα τρόφιμα. Μέχρι το 2050, καθώς τα επίπεδα του ατμοσφαιρικού CO₂ προβλέπεται να αυξηθούν σημαντικά, οι συνδυασμένες επιπτώσεις της μείωσης των θρεπτικών συστατικών και της μείωσης της απόδοσης προβλέπεται να μειώσουν τη διαθεσιμότητα πρωτεΐνης κατά 19,5%, σιδήρου κατά 14,4% και ψευδάργυρου κατά 14,6% παγκοσμίως επιδεινώνοντας τον παγκόσμιο υποσιτισμό. Οι χώρες χαμηλού εισοδήματος στη Νότια Ασία, την Υποσαχάρια Αφρική και τη Μέση Ανατολή προσδιορίστηκαν ως ιδιαίτερα ευάλωτες. Αυτές οι περιοχές αντιμετωπίζουν ήδη υψηλά ποσοστά υποσιτισμού και εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις καλλιέργειες που επηρεάζονται περισσότερο από τις μειώσεις θρεπτικών συστατικών που προκαλούνται από το CO₂ (Beach et al., 2019).

Τα λαχανικά, ως πρωταρχική πηγή βιταμινών, ανόργανων συστατικών και βιοδραστικών ενώσεων, διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στη διατροφή του ανθρώπου και οι αλλαγές στη διατροφική τους σύνθεση υπό συνθήκες αυξημένου CO₂ (eCO₂) έχουν σημαντικές επιπτώσεις. Το αυξημένο CO₂ (eCO₂) οδηγεί συχνά σε αύξηση της περιεκτικότητας των λαχανικών σε υδατάνθρακες, λόγω της αυξημένης φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Το φαινόμενο αυτό, γνωστό ως «φαινόμενο λίπανσης με άνθρακα», προάγει τη συσσώρευση υδατανθράκων. Το eCO₂ επηρεάζει αρνητικά τη συγκέντρωση βασικών μετάλλων, όπως ο σίδηρος (Fe), ο ψευδάργυρος (Zn) και το μαγνήσιο (Mg) σε πολλά λαχανικά. Η μείωση αυτή μπορεί να οφείλεται σε αλλοιωμένη απορρόφηση από τις ρίζες, στο μεταβολισμό των φυτών ή σε διαδικασίες μεταφοράς θρεπτικών συστατικών. Το αυξημένο CO₂ γενικά αυξάνει την απόδοση των λαχανικών και τη βιομάζα λόγω της ενισχυμένης φωτοσύνθεσης και των ρυθμών ανάπτυξης. Ωστόσο, αυτή η βελτίωση στην ποσότητα έρχεται συχνά με το κόστος της μειωμένης διατροφικής ποιότητας, ιδιαίτερα όσον αφορά την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες και μέταλλα. Οι διατροφικές επιπτώσεις του eCO₂ διαμορφώνονται από άλλους παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η διαθεσιμότητα νερού και τα επίπεδα θρεπτικών συστατικών. Για παράδειγμα, οι ελλείψεις σε θρεπτικά συστατικά στο έδαφος μπορούν να επιδεινώσουν τη μείωση της περιεκτικότητας σε μεταλλικά στοιχεία υπό συνθήκες eCO₂ (Dong et al., 2018).



Διάγραμμα 3.4.5 Εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα που σχετίζονται με την παραγωγή διαφόρων τροφίμων.

Πηγή: (Poore & Nemecek, 2018, Ιδία Επεξεργασία)

Το παραπάνω γράφημα παρουσιάζει ένα συγκριτικό διάγραμμα που δείχνει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, συγκεκριμένα του διοξειδίου του άνθρακα, που σχετίζονται με την παραγωγή διαφόρων τροφίμων. Οι εκπομπές αυτές υπολογίζονται ανά 100 γραμμάρια πρωτεΐνης, επιτρέποντας έτσι μια πιο άμεση σύγκριση μεταξύ των διαφορετικών τροφίμων. Το κρέας, ειδικά το βοδινό από εκτροφή βοοειδών για κρέας, έχει το μεγαλύτερο ανθρακικό αποτύπωμα. Αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως η εκπομπή μεθανίου από τα ζώα, η αποψίλωση δασών για τη δημιουργία βοσκοτόπων και η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή ζωοτροφών. Τα γαλακτοκομικά προϊόντα, όπως το τυρί και το γάλα, έχουν επίσης σημαντικό ανθρακικό αποτύπωμα, αν και μικρότερο από το κρέας. Ψάρια, πουλερικά, αυγά και όσπρια έχουν χαμηλότερο ανθρακικό αποτύπωμα σε σύγκριση με το κρέας και τα γαλακτοκομικά. Τα όσπρια, όπως το τόφου, έχουν το χαμηλότερο αποτύπωμα από όλα τα τρόφιμα που παρουσιάζονται.

3.5 Μείωση της διατροφικής ποικιλομορφίας λόγω κλιματικών αλλαγών στην παραγωγή τροφίμων

Η κλιματική αλλαγή επηρεάζει σημαντικά την παραγωγή τροφίμων και έχει οδηγήσει σε ανησυχητική μείωση της διατροφικής ποικιλομορφίας. Αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι οι αλλαγές των κλιματικών συνθηκών όπως η αύξηση της θερμοκρασίας, τα αλλαγμένα μοτίβα βροχοπτώσεων και η αυξημένη συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων επηρεάζουν την καλλιέργεια, τη διαθεσιμότητα και τη θρεπτική ποιότητα των διαφόρων καλλιεργειών και πηγών τροφίμων. Υπάρχουν ορισμένοι βασικοί παράγοντες που επηρεάζουν την διατροφική ποικιλομορφία και συνεπώς υπάρχουν επιπτώσεις στη διατροφή και στην υγεία. Η μείωση της ποικιλίας

των καλλιεργειών κατά την οποία οι αγρότες συχνά στρέφονται σε καλλιέργειες που είναι πιο ανθεκτικές στις σκληρές κλιματικές συνθήκες, όπως ποικιλίες ανθεκτικές στην ξηρασία ή στη θερμότητα, εις βάρος των παραδοσιακών καλλιεργειών. Αυτό μειώνει την ποικιλία των διαθέσιμων τροφίμων, ιδιαίτερα σε περιοχές που εξαρτώνται από τη γεωργία μικροκαλλιεργητών. *Η απώλεια βιοποικιλότητας* όπου τα οικοσυστήματα που υποστηρίζουν διάφορες πηγές τροφής, όπως άγρια φυτά και ζώα, απειλούνται. Η καταστροφή των οικοτόπων και η αλλαγή των οικοσυστημάτων σημαίνει ότι οι κοινότητες χάνουν την πρόσβαση σε πλούσιες σε θρεπτικά συστατικά, άγριες ποικιλίες τροφίμων. *Η διατροφική ποιότητα των καλλιεργειών* στην οποία τα αυξημένα επίπεδα CO₂ και το κλιματικό στρες έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες, ψευδάργυρο και σίδηρο βασικών καλλιεργειών όπως το ρύζι, το σιτάρι και ο αραβόσιτος. Αυτό υπονομεύει τη διατροφική ποικιλομορφία των διατροφών, ακόμη και όταν η πρόσληψη θερμίδων παραμένει σταθερή. Υπάρχουν *μετατοπίσεις γεωγραφικών καλλιεργειών* καθώς σε ορισμένες καλλιέργειες υπάρχουν μεγάλες πιθανότητες να μην ευδοκιμούν πλέον σε περιοχές όπου κάποτε ήταν βασικές, αναγκάζοντας την εξάρτηση από λιγότερες, εισαγόμενες εναλλακτικές λύσεις, οι οποίες μπορεί να μην ανταποκρίνονται στις πολιτιστικές ή διατροφικές ανάγκες των τοπικών πληθυσμών. Πολύ σημαντικό παράγοντα αποτελούν οι *οικονομικές πιέσεις* με την έννοια ότι οι μειωμένες γεωργικές αποδόσεις και το αυξημένο γεωργικό κόστος καθιστούν συχνά τα ποικίλα και πλούσια σε θρεπτικά συστατικά τρόφιμα (π.χ. φρούτα, λαχανικά και ξηρούς καρπούς) λιγότερο προσιτά, ωθώντας τους πληθυσμούς σε φθηνότερες θερμιδικά επιλογές. Η *εξάρτηση από τη μονοκαλλιέργεια* με την έννοια ότι για να καλυφθεί η παγκόσμια ζήτηση και η οικονομική αποδοτικότητα, υπάρχει αυξανόμενη εξάρτηση από τη μονοκαλλιέργεια μεγάλης κλίμακας, η οποία μειώνει το φάσμα των τροφίμων που παράγονται και καταναλώνονται. Αναφορικά με τις επιπτώσεις στη διατροφή και στην υγεία, παρατηρούνται *ελλείψεις μικροθρεπτικών συστατικών* για παράδειγμα μια διατροφή με περιορισμένη ποικιλία τροφίμων αυξάνει τον κίνδυνο ανεπάρκειας βασικών βιταμινών και ανόργανων συστατικών, ιδίως σε ευάλωτους πληθυσμούς όπως τα παιδιά, οι έγκυες γυναίκες και οι ηλικιωμένοι. Τέλος, διαπιστώνεται *αύξηση των μη μεταδοτικών ασθενειών* για παράδειγμα οι δίαιτες που περιορίζονται σε τρόφιμα με υψηλή θερμιδική αξία αλλά φτωχά σε θρεπτικά συστατικά συμβάλλουν στην αύξηση της παχυσαρκίας και των συναφών ασθενειών, όπως ο διαβήτης και οι καρδιαγγειακές παθήσεις (Muluneh, 2021 ; Owino et al., 2022).

4.Ευπάθεια Περιθωριοποιημένων Κοινοτήτων

4.1 Ευάλωτες κοινότητες και επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην επισιτιστική ασφάλεια

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί σημαντική απειλή για την παγκόσμια επισιτιστική ασφάλεια, αλλά οι επιπτώσεις της δεν γίνονται εξίσου αισθητές. Οι ευάλωτες κοινότητες -ιδιαίτερα εκείνες σε περιοχές με χαμηλό εισόδημα, αγροτικές γεωργικές περιοχές και παράκτιες ζώνες αντιμετωπίζουν δυσανάλογους κινδύνους λόγω των περιορισμένων πόρων και της προσαρμοστικής τους ικανότητας. Η άνοδος της θερμοκρασίας, τα ακραία καιρικά φαινόμενα και η μετατόπιση των γεωργικών προτύπων διαταράσσουν την παραγωγή τροφίμων και την πρόσβαση σε αυτά, οδηγώντας σε υψηλότερα επίπεδα πείνας και υποσιτισμού. Σχετικά με τον τρόπο με τον οποίο οι ευάλωτες κοινότητες επηρεάζονται δυσανάλογα από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην επισιτιστική ασφάλεια, θα γίνει αναφορά στην αυξημένη έκθεση σε ακραία καιρικά φαινόμενα, στην πτώση της αγροτικής παραγωγικότητας, στην αύξηση των τιμών των τροφίμων, στην απώλεια διαβίωσης και σε αναγκαστική μετανάστευση και στις διατροφικές ελλείψεις και επιπτώσεις στην υγεία.

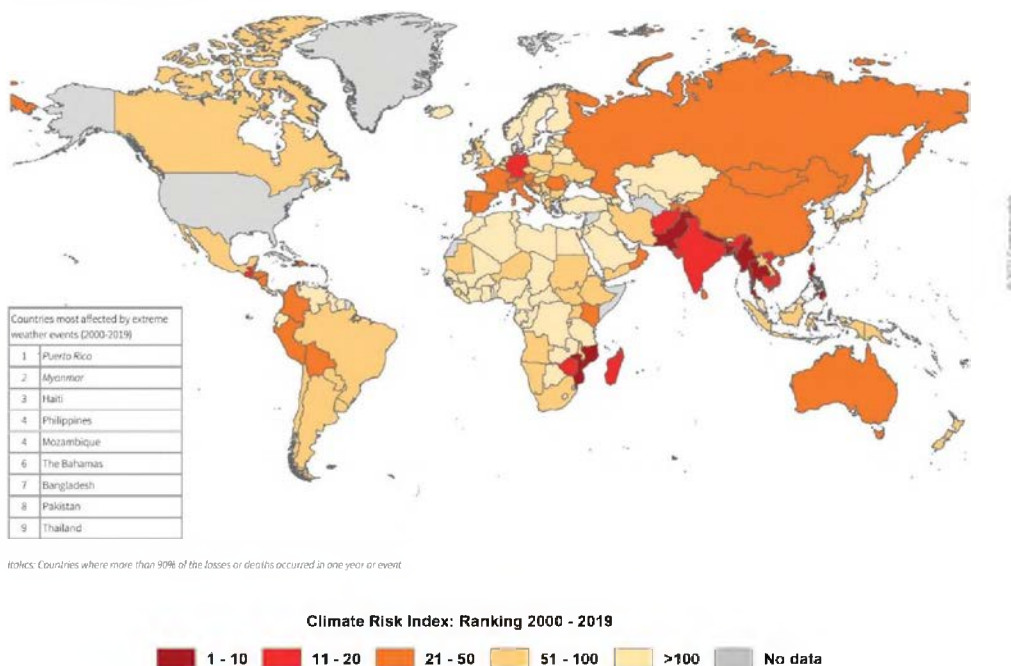
4.1.1 Αυξημένη έκθεση σε ακραία καιρικά φαινόμενα

Οι περιθωριοποιημένες κοινότητες αντιμετωπίζουν συχνά πολλαπλά τρωτά σημεία, συμπεριλαμβανομένης της περιορισμένης πρόσβασης στην υγειονομική περίθαλψη, της ανεπαρκούς υποδομής και των κοινωνικοοικονομικών μειονεκτημάτων, τα οποία αυξάνουν την έκθεση και την ευαισθησία τους σε ακραία καιρικά φαινόμενα. Οι άνθρωποι που ζουν σε περιοχές οι οποίες είναι ευάλωτες σε ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν διπλάσιες πιθανότητες να ζουν σε ζώνες υψηλού κινδύνου πλημμύρας σε σύγκριση με αυτούς που ζουν σε λιγότερο ευάλωτες περιοχές. Ένα σημαντικό ποσοστό ανθρώπων κατοικεί σε παράκτιες ζώνες με χαμηλό υψόμετρο, οι οποίες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στην άνοδο της στάθμης της θάλασσας και τις καταιγίδες. Στις αγροτικές περιοχές, οι αγρότες εξαρτώνται από τις βροχοπτώσεις για τη γεωργία, γεγονός που τους καθιστά εξαιρετικά ευάλωτους στην ξηρασία. Υπάρχουν περιοχές όπως Τσαντ, Σουδάν, Νίγηρας στην Υποσαχάρια Αφρική και στην περιοχή του Σάχελ, οι οποίες αντιμετωπίζουν πολύ σοβαρούς κινδύνους ξηρασίας. Επίσης, οι πλημμύρες στις ακτές και τα ποτάμια επηρεάζουν μεγάλες μερίδες του πληθυσμού, ιδιαίτερα στη Βραζιλία και τα νησιά της Καραϊβικής. Γενικότερα, οι πληθυσμοί που ζουν σε περιοχές που αντιμετωπίζουν σοβαρούς κινδύνους καταστροφών από ακραία καιρικά φαινόμενα, όχι μόνο αντιμετωπίζουν μεγαλύτερη έκθεση στους κλιματικούς κινδύνους αλλά έχουν και λιγότερους πόρους για να ανακάμψουν από καταστροφές (Winsemius et al., 2018).

Η επίδραση ενός ακραίου καιρικού φαινομένου στους ανθρώπους διαμορφώνεται από τον κίνδυνο, την έκθεση και την ευπάθεια. Ο κίνδυνος αναφέρεται στην πιθανότητα να συμβεί ένα ακραίο καιρικό φαινόμενο, η έκθεση προσδιορίζει τα άτομα ή τα πράγματα που θα μπορούσαν να επηρεαστούν από αυτό και η τρωτότητα μετρά τον βαθμό στον οποίο οι άνθρωποι αυτοί θα μπορούσαν να υποστούν βλάβη. Η

κλιματική αλλαγή μεταβάλλει τα καιρικά φαινόμενα, με αποτέλεσμα ξηρασίες και πλημμύρες που μπορούν να βλάψουν τις καλλιέργειες και να περιορίσουν την πρόσβαση σε καθαρό νερό. Αυτό είναι ιδιαίτερα ανησυχητικό για τις ευάλωτες κοινότητες που εξαρτώνται από τη γεωργία και την αλιεία για το εισόδημά τους. Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας προειδοποιεί ότι η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιδεινώσει τον υποσιτισμό και τις υδατογενείς ασθένειες, ιδίως στις αναπτυσσόμενες χώρες. Το 2019, περίπου 4,5 δισεκατομμύρια άνθρωποι εκτίθενται σε ακραία καιρικά φαινόμενα, αριθμός αυξημένος από τα 4 δισεκατομμύρια το 2010. Μεταξύ αυτών που εκτέθηκαν, 2,3 δισεκατομμύρια ζούσαν με λιγότερα από 6,85 δολάρια την ημέρα και περίπου 400 εκατομμύρια ζούσαν σε συνθήκες ακραίας φτώχειας (λιγότερα από 2,15 δολάρια την ημέρα). Μεταξύ 2010 και 2019, ενώ ο παγκόσμιος πληθυσμός που εκτίθεται σε ακραία καιρικά φαινόμενα αυξήθηκε, ο αριθμός των ανθρώπων που διατρέχουν υψηλό κίνδυνο μειώθηκε σε πολλές περιοχές. Ωστόσο, στην Υποσαχάρια Αφρική παρατηρήθηκε αύξηση του αριθμού των ατόμων που διατρέχουν υψηλό κίνδυνο κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου (Doan et al., 2023).

Figure 1: World Map of the Global Climate Risk Index 2000 – 2019
Source: Germanwatch and Munich Re NatCatsSERVICE



Εικόνα 4.1.1 Παγκόσμιος χάρτης απεικόνισης δείκτη κινδύνου για το κλίμα 2000-2019.

Πηγή: (Eckstein et al., 2021).

Ο χάρτης δείχνει ξεκάθαρα ότι ορισμένες περιοχές επηρεάζονται δυσανάλογα από τον κλιματικό κίνδυνο. Η Κεντρική Αμερική, τμήματα της Αφρικής, της Νότιας Ασίας και της Νοτιοανατολικής Ασίας εμφανίζονται ιδιαίτερα ευάλωτα. Η Ευρώπη παρουσιάζει γενικά χαμηλότερο κίνδυνο (ελαφρύτερα χρώματα), ιδιαίτερα στις δυτικές και βόρειες

περιοχές, υπογραμμίζοντας τη διαφορά στην ευπάθεια του κλίματος μεταξύ των αναπτυγμένων και των αναπτυσσόμενων χωρών.

Πίνακας 4.1.1 Κατάταξη των χωρών με βάση το οικονομικό κόστος από ακραία καιρικά φαινόμενα που σχετίζονται με το κλίμα, 2014-2023.

Κατάταξη	Χώρα	Άθροισμα των οικονομικών επιπτώσεων 2014-2023 (δισεκατομμύρια, δολάρια 2023)
1	Αμερική	934.7 \$
2	Κίνα	267.9 \$
3	Ινδία	112.2 \$
4	Ιαπωνία	90.8 \$
5	Πουέρτο Ρίκο	87.3 \$
6	Γερμανία	65.4 \$
7	Ιταλία	35.0 \$
8	Αυστραλία	33.7 \$
9	Γαλλία	29.4 \$
10	Βραζιλία	24.8 \$

Πηγή: (Ιδία Επεξεργασία, <https://iccwbo.org/wp-content/uploads/sites/3/2024/11/2024-ICC-Oxera-The-economic-cost-of-extreme-weather-events.pdf>).

Η Αμερική ξεχωρίζει σημαντικά με οικονομικό αντίκτυπο 934,7 δισεκατομμυρίων δολαρίων, ξεπερνώντας κατά πολύ κάθε άλλη χώρα. Αυτό υποδηλώνει υψηλή ευπάθεια και/ή μεγαλύτερη συγκέντρωση περιουσιακών στοιχείων που εκτίθενται σε κινδύνους που σχετίζονται με το κλίμα στις ΗΠΑ. Η Κίνα και η Ινδία κατατάσσονται στη 2η και 3η θέση, αντίστοιχα. Αυτό υπογραμμίζει ότι ενώ τα ανεπτυγμένα έθνη υφίστανται σημαντικές απώλειες, οι αναπτυσσόμενες οικονομίες φέρουν επίσης σημαντικό βάρος, παρά το γεγονός ότι συχνά συνέβαλαν λιγότερο στις αιτίες της κλιματικής αλλαγής. Η συμπερίληψη του Πουέρτο Ρίκο (κατάταξη στην 5η θέση) υποδηλώνει ότι τα νησιωτικά έθνη και εδάφη, που συχνά εκτίθενται περισσότερο σε ακραία καιρικά φαινόμενα όπως τυφώνες και άνοδος της στάθμης της θάλασσας, αντιμετωπίζουν σημαντικούς οικονομικούς κινδύνους. Η χρήση του οικονομικού αντίκτυπου ως μέτρου παρέχει έναν ποσοτικοποιημένο τρόπο κατανόησης του κόστους της κλιματικής αλλαγής. Ωστόσο, πρέπει να τονιστεί ότι αυτή η μέτρηση δεν αποτυπώνει την πλήρη εικόνα, καθώς μπορεί να μην αντικατοπτρίζει πλήρως τον ανθρώπινο πόνο, τις οικολογικές ζημιές και άλλες μη χρηματικές απώλειες.

4.1.2 Πτώση της αγροτικής παραγωγικότητας

Η κλιματική αλλαγή έχει αναδειχθεί ως σημαντική κινητήρια δύναμη της μειωμένης γεωργικής παραγωγικότητας. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως ξηρασίες, πλημμύρες και καύσωνες, έχουν γίνει πιο συχνά και σοβαρά, επηρεάζοντας δυσμενώς τις αποδόσεις των καλλιεργειών. Η μείωση της γεωργικής παραγωγικότητας επηρεάζει δυσανάλογα τις ευάλωτες κοινότητες, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου η γεωργία είναι η κύρια πηγή επιβίωσης. Οι μειωμένες αποδόσεις οδηγούν σε ελλείψεις τροφίμων, αυξημένο υποσιτισμό και βαθύτερη φτώχεια. Για παράδειγμα, στην Υποσαχάρια Αφρική, περίπου το 80% του πληθυσμού που κινδυνεύει περισσότερο από τις αποτυχίες των καλλιεργειών και την πείνα λόγω της κλιματικής αλλαγής είναι οικογένειες αγροτών που είναι δυσανάλογα φτωχές και ευάλωτες (<https://www.worldbank.org/en/news/feature/2022/10/17/what-you-need-to-know-about-food-security-and-climate-change>).

Οι αγροτικές κοινότητες στις νότιες Ηνωμένες Πολιτείες, ιδιαίτερα στο Τέξας, την Αριζόνα και την Καλιφόρνια, παρουσιάζουν υψηλότερα επίπεδα κοινωνικής ευπάθειας. Οι παράγοντες που συμβάλλουν σε αυτό περιλαμβάνουν υψηλότερο ποσοστό μειονοτήτων στους αγρότες οι οποίοι είναι κατά κύριο λόγο μεγάλης ηλικίας, χαμηλότερα επίπεδα εισοδήματος και περιορισμένη πρόσβαση σε πόρους. Κομητείες στην Καλιφόρνια, όπως οι Mendocino, Sonoma, Humboldt, El Dorado, Fresno και Kern, αντιμετωπίζουν τη μεγαλύτερη έκθεση σε συνθήκες ξηρασίας. Οι περιοχές αυτές αναμένεται να υποστούν σημαντικές οικονομικές απώλειες λόγω της μειωμένης αγροτικής παραγωγικότητας. Κομητείες όπως η Weld στο Κολοράντο και αρκετές στο Κάνσας (π.χ. Harvey, Saline, Sedgwick) διατρέχουν σημαντικό κίνδυνο απώλειας καλλιεργειών λόγω πλημμυρών. Οι περιοχές αυτές έχουν σημαντικές γεωργικές δραστηριότητες, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για στοχευμένες προσπάθειες μετριασμού των πλημμυρών (Tanir et al., 2024).

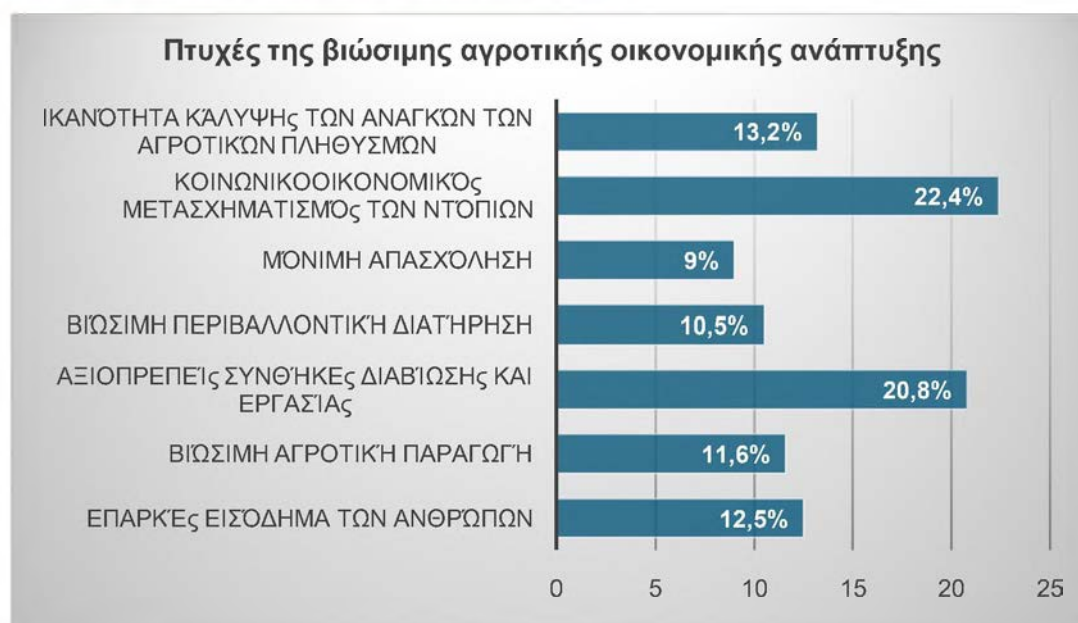
Οι αγροτικές κοινότητες διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη γεωργική παραγωγή των ΗΠΑ. Το 2013, περίπου 46 εκατομμύρια άνθρωποι, ή το 15% του πληθυσμού των ΗΠΑ, κατοικούσαν σε αγροτικές επαρχίες, οι οποίες καλύπτουν το 72% της έκτασης της χώρας. Μεταξύ 2010 και 2017, πολλές αγροτικές κομητείες παρουσίασαν μείωση του πληθυσμού λόγω της μετανάστευσης νέων ενηλίκων. Οι πρόσφατες τάσεις δείχνουν αργή αύξηση της απασχόλησης και του πληθυσμού στις περιοχές αυτές, σε συνδυασμό με υψηλότερα ποσοστά φτώχειας σε σύγκριση με τις αστικές περιοχές. Δεδομένων των στενών δεσμών τους με τη γεωργία, οι αγροτικές κοινότητες είναι ιδιαίτερα ευάλωτες στις οικονομικές διακυμάνσεις που προκύπτουν από την κλιματική μεταβλητότητα. Τα τροποποιημένα πρότυπα βροχοπτώσεων, οι συχνότερες ακραίες κλιματικές συνθήκες, όπως οι υψηλές θερμοκρασίες και οι ξηρασίες, και οι αυξημένες πιέσεις από παράσιτα μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά τις αποδόσεις των καλλιεργειών και των ζώων. Η έκταση αυτών των επιπτώσεων εξαρτάται από τη σοβαρότητα των κλιματικών αλλαγών και την προσαρμοστικότητα των παραγωγών (Gowda et al., 2018).

Climate Vulnerabilities



Εικόνα 4.1.2 κλιματικοί κίνδυνοι

Πηγή: (<https://www.usda.gov/about-usda/general-information/priorities/climate-solutions/climate-change-adaptation-and-usda>).



Διάγραμμα 4.1.2 Πτυχές της βιώσιμης αγροτικής οικονομικής ανάπτυξης

Πηγή: (Ιδία Επεξεργασία, Kalogiannidis et al., 2023)

Παρατηρώντας το παραπάνω διάγραμμα, φαίνεται ότι ο «κοινωνικοοικονομικός μετασχηματισμός των ντόπιων» και οι «αξιοπρεπείς συνθήκες διαβίωσης και εργασίας» θεωρούνται ως οι πιο σημαντικές πτυχές στο πλαίσιο της βιώσιμης αγροτικής οικονομικής ανάπτυξης. Τα χαμηλά ποσοστά για «διαρκή απασχόληση» και «αειφόρο προστασία του περιβάλλοντος» υπογραμμίζουν πλέον βασικές προκλήσεις για την επίτευξη βιώσιμης αγροτικής οικονομικής ανάπτυξης. Η δημιουργία σταθερών θέσεων εργασίας και η προστασία του περιβάλλοντος είναι τομείς που χρήζουν μεγαλύτερης προσοχής σε αυτό το πλαίσιο.

4.1.3 Αύξηση των τιμών των τροφίμων

Οι ευάλωτες κοινότητες, που συχνά χαρακτηρίζονται από νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα, περιορισμένη πρόσβαση σε πόρους και οικονομική αστάθεια, επηρεάζονται δυσανάλογα από την αύξηση των τιμών των τροφίμων. Καθώς το κόστος των τροφίμων αυξάνεται λόγω του πληθωρισμού, των διαταραχών της αλυσίδας εφοδιασμού ή της κλιματικής αλλαγής, οι κοινότητες αυτές παλεύουν να ανταπεξέλθουν οικονομικά σε βασικές διατροφικές ανάγκες. Ο αντίκτυπος είναι ιδιαίτερα σοβαρός στις αστικές και αγροτικές περιοχές όπου οι περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση σε τρόφιμα δυσκολεύουν την προμήθεια οικονομικά προσιτών και θρεπτικών επιλογών.

Οι υψηλότερες τιμές μπορεί να οδηγήσουν σε επισιτιστική ανασφάλεια, υποσιτισμό και μακροπρόθεσμες συνέπειες για την υγεία. Στις χώρες χαμηλού εισοδήματος τα τρόφιμα αποτελούν περίπου το ήμισυ των καταναλωτικών δαπανών και το 20% των εισαγωγών αγαθών, καθιστώντας αυτές τις οικονομίες ιδιαίτερα ευαίσθητες στις διακυμάνσεις των παγκόσμιων τιμών των γεωργικών προϊόντων. Από τον Απρίλιο του 2021, οι τιμές των γεωργικών βασικών προϊόντων είχαν αυξηθεί κατά 29% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος, σημειώνοντας την ταχύτερη αύξηση από το 2011. Αυτή η άνοδος αναμένεται να συνεχίσει να ασκεί ανοδική πίεση στον πληθωρισμό των χωρών χαμηλού εισοδήματος καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Η αύξηση των τιμών των τροφίμων και ο συνολικός πληθωρισμός είναι πιθανό να επιδεινώσουν την επισιτιστική ανασφάλεια στις χώρες χαμηλού εισοδήματος. Τα δεδομένα από το Δίκτυο Πληροφοριών για την Επισιτιστική Ασφάλεια και το Παγκόσμιο Δίκτυο κατά των επισιτιστικών κρίσεων δείχνουν ότι ο αριθμός των ανθρώπων που βιώνουν επισιτιστική κρίση αυξήθηκε από 135 εκατομμύρια το 2019 σε περίπου 165 εκατομμύρια το 2020 (<https://blogs.worldbank.org/en/developmenttalk/food-price-volatility-and-inflation-low-income-countries>).

Οι κλυδωνισμοί των τιμών των τροφίμων συχνά προκαλούνται από γεγονότα όπως οι καιρικές διαταραχές, οι αλλαγές στις παγκόσμιες τιμές των βασικών εμπορευμάτων, η πολιτική αστάθεια ή οι διαταραχές της αλυσίδας εφοδιασμού. Για τα άτομα που ανήκουν σε νοικοκυριά με χαμηλό εισόδημα, οι συνέπειες αυτών των κλυδωνισμών μπορεί να είναι σοβαρές, καθώς τα νοικοκυριά αυτά δαπανούν σημαντικό μέρος του εισοδήματός τους για τρόφιμα. Κατά συνέπεια, όταν οι τιμές αυξάνονται απροσδόκητα, η ικανότητά τους να προμηθεύονται επαρκή τρόφιμα μειώνεται, οδηγώντας σε αύξηση των ποσοστών φτώχειας. Οι φτωχότεροι άνθρωποι, οι οποίοι εξαρτώνται περισσότερο από τις αγορές τροφίμων για την επιβίωσή τους, υποφέρουν δυσανάλογα από τις αυξήσεις των τιμών. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα στις αγροτικές περιοχές, όπου τα αγροτικά μέσα διαβίωσης είναι ευάλωτα στις διακυμάνσεις της αγοράς. Οι αυξήσεις των τιμών των τροφίμων μπορούν να αποσταθεροποιήσουν την επισιτιστική ασφάλεια καθιστώντας τα τρόφιμα απρόσιτα για όσους βρίσκονται ήδη στο περιθώριο της φτώχειας. Η επισιτιστική ανασφάλεια δεν αφορά μόνο την ποσότητα των διαθέσιμων τροφίμων, αλλά και τη διατροφική

ποιότητα των τροφίμων, η οποία μπορεί επίσης να επηρεαστεί από την αύξηση των τιμών. Οι διάφορες κοινωνικές ομάδες βιώνουν με διαφορετικό τρόπο τους κλυδωνισμούς των τιμών των τροφίμων. Οι φτωχοί της υπαίθρου, οι αστικές οικογένειες με χαμηλό εισόδημα και όσοι έχουν περιορισμένη πρόσβαση σε δίκτυα κοινωνικής ασφάλειας είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι. Επιπλέον, οι γυναίκες και τα παιδιά είναι πιο πιθανό να βιώσουν επισιτιστική ανασφάλεια, καθώς συχνά επωμίζονται το κύριο βάρος της μειωμένης πρόσληψης τροφής σε περιόδους οικονομικής πίεσης (Headey & Martin, 2016).



Διάγραμμα 4.1.3 Υψηλότερα Ποσοστά Αύξης Τιμών Τροφίμων παγκοσμίως 2024.

Πηγή: (Ιδία Επεξεργασία, <https://tradingeconomics.com/country-list/food-inflation>)

Παρατηρείται μεγάλη διαφορά στα ποσοστά αύξησης τιμών μεταξύ των χωρών. Η Αργεντινή παρουσιάζει την υψηλότερη αύξηση με 94,70% (υποδηλώνοντας μια μοναδική και δυνητικά σοβαρή οικονομική κατάσταση), ενώ η Σρι Λάνκα την χαμηλότερη με 15,80%. Οι περισσότερες χώρες με υψηλές αυξήσεις τιμών βρίσκονται στην Αφρική και τη Μέση Ανατολή, γεγονός που υποδεικνύει πιθανώς κοινούς παράγοντες που επηρεάζουν αυτές τις περιοχές, όπως πολιτικές αναταραχές, ξηρασίες, ή προβλήματα στην εφοδιαστική αλυσίδα. Αυξήσεις στις τιμές τροφίμων έχουν σοβαρές επιπτώσεις στον πληθυσμό, όπως επισιτιστική ανασφάλεια, φτώχεια, και κοινωνική αναταραχή.

Figure 2a: Food Inflation Heat Map



Figure 2b: Real Food Inflation Heat Map



Εικόνα 4.1.3 Χάρτες αύξησης των τιμών των τροφίμων παγκοσμίως για το 2024.

Πηγή: (<https://thedocs.worldbank.org/en/doc/40ebbf38f5a6b68bfc11e5273e1405d4-0090012022/related/Food-Security-Update-112-January-17-2025.pdf>)

Η παραπάνω εικόνα δείχνει δύο χάρτες θερμότητας που απεικονίζουν τον ονομαστικό πληθωρισμό των τροφίμων και τον πραγματικό πληθωρισμό των τροφίμων σε όλο τον κόσμο. Στον χάρτη 2α, ένα σημαντικό τμήμα της Νότιας Αμερικής, ιδιαίτερα η Βενεζουέλα, και αρκετές χώρες στην Αφρική αντιμετωπίζουν τα πιο σοβαρά επίπεδα πληθωρισμού των τροφίμων. Περιοχές της Ασίας, όπως το Ιράν, αντιμετωπίζουν επίσης υψηλό πληθωρισμό τροφίμων. Η Βόρεια Αμερική, η Ευρώπη και η Αυστραλία εμφανίζουν γενικά χαμηλότερα έως μέτρια επίπεδα πληθωρισμού τροφίμων. Υπάρχει μια σαφής μεταβλητότητα στον πληθωρισμό των τροφίμων σε διάφορες περιοχές, υπογραμμίζοντας την τοπική φύση των οικονομικών προκλήσεων. Επίσης, σύμφωνα με τα δεδομένα που παρέχονται από την Παγκόσμια Τράπεζα για την επισιτιστική ασφάλεια για το 2024, ένα σημαντικό ποσοστό των χωρών χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος αντιμετωπίζει υψηλό πληθωρισμό τροφίμων (πάνω από 5%). Αυτό είναι ένα κρίσιμο εύρημα, καθώς αυτές οι χώρες έχουν συχνά πληθυσμούς πιο ευάλωτους σε κλυδωνισμούς στις τιμές των τροφίμων. Κοιτώντας το χάρτη 2β και σύμφωνα με τα δεδομένα που παρέχονται από την Παγκόσμια Τράπεζα για την επισιτιστική ασφάλεια για το 2024, ο πραγματικός πληθωρισμός των τροφίμων υπερβαίνει τον συνολικό πληθωρισμό. Αυτό σημαίνει ότι οι τιμές των τροφίμων αυξάνονται ταχύτερα από το γενικό επίπεδο τιμών, επιβαρύνοντας επιπλέον τους προϋπολογισμούς των νοικοκυριών.

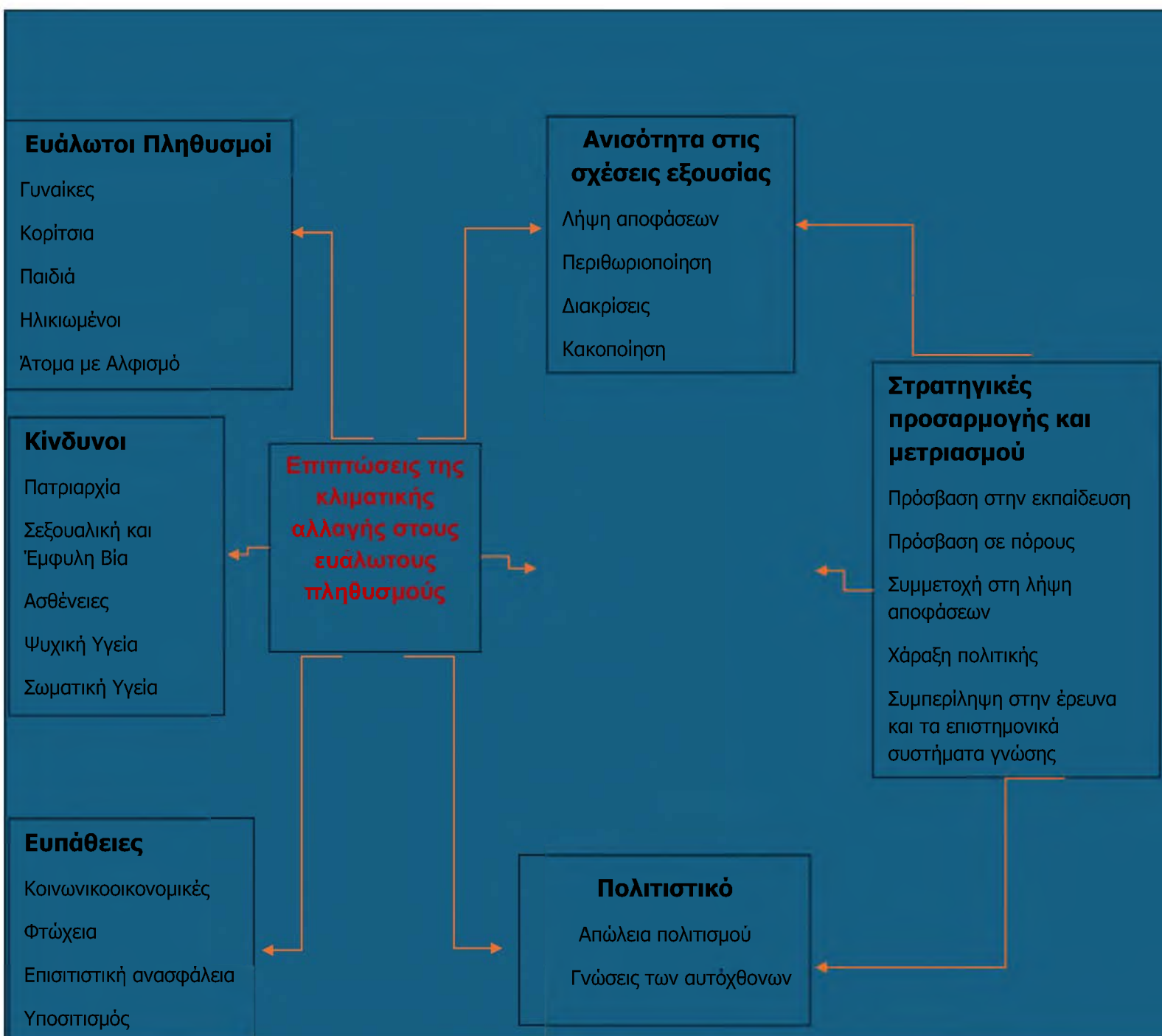
4.1.4 Απώλεια διαβίωσης και μετανάστευση

Η κλιματική αλλαγή έχει ήδη επηρεάσει σημαντικά τα μέσα διαβίωσης και τις συνθήκες διαβίωσης, ιδίως των φτωχότερων και πιο ευάλωτων, και θα συνεχίσει να υπονομεύει την ανάπτυξη κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα. Περιοχές όπως η Ανατολική, Κεντρική και Δυτική Αφρική, η Νότια Ασία και η Κεντρική Αμερική χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα ευάλωτες στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Οι περιοχές αυτές αντιμετωπίζουν πρόσθετες προκλήσεις λόγω των υφιστάμενων κοινωνικοοικονομικών ανισοτήτων και είναι πιο ευάλωτες σε καταστροφές που προκαλούνται από το κλίμα. Οι κίνδυνοι που προκαλούνται από το κλίμα, όπως οι ξηρασίες, οι πλημμύρες και οι καύσωνες, έχουν οδηγήσει σε σημαντικές οικονομικές απώλειες. Τα γεγονότα αυτά διαταράσσουν τις πηγές εισοδήματος, οδηγούν σε μετακινήσεις και διαβρώνουν τα πολιτιστικά και κοινωνικά αγαθά, εδραιώνοντας περαιτέρω τους κύκλους της φτώχειας (Birkmann et al., 2022).

Μια μελέτη του Hoque (2019) για το παράκτιο Μπαγκλαντές, τονίζει ότι το παράκτιο Μπαγκλαντές είναι ιδιαίτερα εκτεθειμένο σε διάφορους κινδύνους που προκαλούνται από το κλίμα, όπως πλημμύρες, δεισδυσία αλμυρού νερού, κυκλώνες και ακανόνιστες βροχοπτώσεις. Η άνοδος της στάθμης της θάλασσας και τα απρόβλεπτα πρότυπα βροχοπτώσεων είναι ιδιαίτερα επιζήμια για τα γεωργικά συστήματα που εξαρτώνται από το ρύζι και άλλες καλλιέργειες, οι οποίες είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στη διαθεσιμότητα του νερού και την αλατότητα. Παρατηρήθηκαν γεωργικές απώλειες όσον αφορά τη μείωση των αποδόσεων και του εισοδήματος των καλλιεργειών, ενώ πολλοί αγρότες ανέφεραν μείωση της παραγωγικότητας. Για παράδειγμα, οι αποδόσεις ρυζιού έχουν μειωθεί λόγω της δεισδυσίας αλατόνερου, ενώ η γαριδοκαλλιέργεια, μια άλλη ζωτικής σημασίας οικονομική δραστηριότητα στην περιοχή, αντιμετωπίζει πλήγματα από την αυξημένη αλατότητα. Η μελέτη υπογραμμίζει τις οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα αγροτικά μέσα διαβίωσης. Οι αγρότες αντιμετωπίζουν μειωμένο εισόδημα και επισιτιστική ανασφάλεια, οδηγώντας σε αυξημένα επίπεδα φτώχειας στις αγροτικές παράκτιες περιοχές. Αυτοί οι στρεσογόνοι παράγοντες συμβάλλουν επίσης στη μετανάστευση, καθώς οι αγρότες και οι οικογένειές τους αναζητούν εργασία στα αστικά κέντρα, γεγονός που επιδεινώνει τη φτώχεια στις πόλεις και επιβαρύνει τους πόρους στις πόλεις.

Μια μελέτη του Das (2020) για την Ινδία, αναλύει τον τρόπο με τον οποίο η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την ευπάθεια των κοινοτήτων που ζουν στις παραποτάμιες περιοχές μιας πεδινής περιοχής στην Ινδία που επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τον ποταμό Γάγγη. Η πεδινή αυτή περιοχή είναι μια από τις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές στην Ινδία. Η περιοχή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στην κλιματική αλλαγή, η οποία εγκυμονεί κινδύνους μέσω της αλλαγής των μοτίβων βροχοπτώσεων, των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας και των ακραίων γεγονότων όπως οι πλημμύρες και η ξηρασία. Οι κοινότητες που ζουν σε ζώνες που είναι επιρρεπείς σε πλημμύρες αντιμετωπίζουν υψηλότερους κινδύνους λόγω της ανόδου της στάθμης των υδάτων των ποταμών και οι εποχικές πλημμύρες έχουν γίνει πιο

απρόβλεπτες. Ο βιοπορισμός των περισσότερων κοινοτήτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωργία. Οι μεταβαλλόμενες βροχοπτώσεις έχουν οδηγήσει σε ακανόνιστες αποδόσεις καλλιεργειών, απειλώντας την επισιτιστική ασφάλεια και την παραγωγή εισοδήματος. Οι αλιείς αντιμετωπίζουν μειωμένα αλιεύματα λόγω των αλλαγών στην ποιότητα και την ποσότητα του νερού των ποταμών, σε συνδυασμό με την απώλεια της υδάτινης βιοποικιλότητας. Αυτό επηρεάζει άμεσα τα μέσα διαβίωσής τους και τις πηγές τροφής τους. Οι ευπάθειες είναι πιο έντονες μεταξύ περιθωριοποιημένων κοινοτήτων, ιδίως γυναικών και εργατών, οι οποίοι δεν έχουν πρόσβαση σε πόρους και στρατηγικές προσαρμογής. Οι ομάδες αυτές πλήττονται δυσανάλογα από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.



Εικόνα 4.1.4 Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στους ευάλωτους πληθυσμούς
(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία ,Ngcamu, 2023)



Εικόνα 4.1.4.1 Κλιματική αλλαγή: μια εικόνα χιλίες λέξεις
(Πηγή: Ngcamu, 2023)

4.1.5 Ευάλωτες κοινότητες, διατροφή και επιπτώσεις στην υγεία

Οι ευάλωτες κοινότητες, συμπεριλαμβανομένων των πληθυσμών με χαμηλό εισόδημα, των ηλικιωμένων, των παιδιών και των περιθωριοποιημένων ομάδων, αντιμετωπίζουν συχνά σημαντικές προκλήσεις στην πρόσβαση σε επαρκή διατροφή. Οι διατροφικές ελλείψεις σε αυτούς τους πληθυσμούς μπορεί να οφείλονται στην επισιτιστική ανασφάλεια, στην έλλειψη εκπαίδευσης και στην περιορισμένη πρόσβαση στην υγιεινολογική περίθαλψη. Οι ελλείψεις σε βασικά θρεπτικά συστατικά, όπως οι βιταμίνες Α, D, ο σίδηρος και οι πρωτεΐνες, μπορεί να οδηγήσουν σε σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία, συμπεριλαμβανομένης της εξασθενημένης λειτουργίας του ανοσοποιητικού συστήματος, της αναιμίας και της αυξημένης ευαισθησίας σε χρόνιες ασθένειες.

Οι Devine & Lawlis το (2019), αναφέρθηκαν στην πολύπλοκη αλληλεπίδραση φυσικών, κοινωνικών, πολιτιστικών και οικονομικών παραγόντων που περιορίζουν την πρόσβαση σε θρεπτικά τρόφιμα, επηρεάζοντας ομάδες όπως οι μεταναστευτικοί πληθυσμοί, οι αυτόχθονες πληθυσμοί, οι ηλικιωμένοι, οι έγκυες γυναίκες, τα άτομα με αναπηρία, οι άστεγοι, τα μικρά παιδιά και οι νέοι. Υπογραμμίζουν τα συγκλονιστικά παγκόσμια στατιστικά στοιχεία: περίπου 800 εκατομμύρια άνθρωποι υποσιτίζονται, περίπου 1,9 δισεκατομμύρια είναι υπέρβαροι ή παχύσαρκοι και 2 δισεκατομμύρια υποφέρουν από ελλείψεις μικροθρεπτικών συστατικών. Τα προβλήματα αυτά αποδίδονται εν μέρει στις αλλαγές στην παραγωγή και την παρασκευή τροφίμων,

στην οικονομική ύφεση, στην αύξηση των τιμών των τροφίμων και, σε ορισμένες περιοχές, στη μειωμένη διαθεσιμότητα και πρόσβαση σε τρόφιμα. Τέτοιες προκλήσεις επικρατούν τόσο στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου η επιβάρυνση από ασθένειες είναι υψηλή, όσο και στις ανεπτυγμένες χώρες, όπου αναδύονται ολοένα και περισσότερο ευάλωτοι πληθυσμοί. Τέλος, τονίζουν ότι η κακή διατροφή κατά τη διάρκεια κρίσιμων περιόδων ανάπτυξης και εξέλιξης, καθώς και καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής, επηρεάζει αρνητικά τα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα της υγείας. Αυτό οδηγεί σε υψηλότερη επικράτηση μη μεταδοτικών ασθενειών, αυξημένες δαπάνες υγειονομικής περίθαλψης και μειωμένη οικονομική και ανθρώπινη παραγωγικότητα.

Ο Khanna (2019), εξετάζει τις πολύπλευρες προκλήσεις της επισιτιστικής ανασφάλειας και τις βαθιές επιπτώσεις της στην υγεία των παιδιών σε διάφορα παγκόσμια πλαίσια. Υπογραμμίζει την εκτεταμένη φύση της επισιτιστικής ανασφάλειας, που επηρεάζει χώρες όπως η Βραζιλία, η Ινδία, η Ινδονησία, το Μεξικό, η Μοζαμβίκη, η Νιγηρία και οι Ηνωμένες Πολιτείες και ότι η επισιτιστική ανασφάλεια είναι ένα διάχυτο ζήτημα με σημαντικές επιπτώσεις στην υγεία των παιδιών παγκοσμίως. Σημειώνει ότι τα παιδιά σε νοικοκυριά με επισιτιστική ανασφάλεια διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο υποσιτισμού, αργής ανάπτυξης και αναπτυξιακών καθυστερήσεων. Αυτές οι προκλήσεις για την υγεία μπορεί να έχουν μακροπρόθεσμες συνέπειες, επηρεάζοντας τη γνωστική ανάπτυξη και τη συνολική ευημερία. Τέλος, κάνει ειδική αναφορά σε 2 περιπτώσεις στην Ινδία και στη Νιγηρία. Στην Ινδία μετά από έρευνα παρατηρήθηκε υψηλή συχνότητα ανεπάρκειας βιταμίνης D μεταξύ των εργαζομένων σε γραφεία, που αποδίδεται στην καθιστική ζωή σε εσωτερικούς χώρους. Στη Νιγηρία μετά από έρευνα αναδείχθηκε ο επιδεινούμενος αντίκτυπος της πανδημίας COVID-19 στην επισιτιστική ανασφάλεια μεταξύ των προσφύγων και των εκτοπισμένων πληθυσμών.

4.2 Ανάλυση κοινωνικοοικονομικών παραγόντων ως αιτιών ευπάθειας

4.2.1 Φτώχεια

Η φτώχεια είναι ένας πολύπλευρος καθοριστικός παράγοντας της υγείας, επηρεάζεται βαθιά και διαιωνίζεται από τον συστημικό ρατσισμό, οδηγώντας σε σημαντικές ανισότητες στην υγεία μεταξύ των περιθωριοποιημένων φυλετικών και εθνοτικών ομάδων. Εκτείνεται πέρα από την απλή οικονομική στέρηση- περιλαμβάνει περιορισμένη πρόσβαση σε ποιοτική εκπαίδευση, ανεπαρκή στέγαση και περιορισμένες υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης. Αυτοί οι παράγοντες συμβάλλουν συλλογικά σε δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία, συμπεριλαμβανομένων υψηλότερων ποσοστών χρόνιων ασθενειών, διαταραχών της ψυχικής υγείας και μειωμένου προσδόκιμου ζωής. Οι Ηνωμένες Πολιτείες για παράδειγμα, παρά τον πλούτο τους, παρουσιάζουν ένα από τα υψηλότερα ποσοστά φτώχειας μεταξύ των ανεπτυγμένων χωρών, επηρεάζοντας δυσανάλογα τις έγχρωμες κοινότητες. Αυτή η ανισότητα υπογραμμίζει τη συστημική φύση των οικονομικών ανισοτήτων και των ανισοτήτων στον τομέα της υγείας (Beech et al., 2021).

Οι Afandiyeva και Aliyeva (2023),εμβαθύνουν στις πολύπλευρες προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα παιδιά που ζουν στο δρόμο και τους παράγοντες που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη αυτού του ευάλωτου πληθυσμού. Η φτώχεια παραμένει πρωταρχικός παράγοντας, αναγκάζοντας τα παιδιά να αναζητήσουν εισόδημα στους δρόμους. Οι οικονομικές δυσκολίες, η ανεργία και η ανεπαρκής στέγαση επιδεινώνουν αυτό το ζήτημα. Η εκτόπιση λόγω συγκρούσεων ή φυσικών καταστροφών έχει συχνά ως αποτέλεσμα τα παιδιά να αποχωρίζονται από τις οικογένειές τους, οδηγώντας τα στη ζωή στο δρόμο. Η έλλειψη πρόσβασης σε θρεπτικά τρόφιμα, καθαρό νερό και υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης τα καθιστά ευάλωτα σε υποσιτισμό, μολυσματικές ασθένειες και κατάχρηση ουσιών.

Η ευπάθεια δεν είναι μια στατική κατάσταση, αλλά μια δυναμική κατάσταση που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η κοινωνικοοικονομική κατάσταση, οι περιβαλλοντικές συνθήκες και τα πολιτικά πλαίσια. Η κατανόηση των συγκεκριμένων περιστάσεων και των προκλήσεων που αντιμετωπίζουν οι ευάλωτες ομάδες είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη αποτελεσματικών πολιτικών και παρεμβάσεων. Παράγοντες όπως η κοινωνική τάξη, η φυλή, το φύλο και η ηλικία αλληλεπιδρούν με πολύπλοκους τρόπους, καθιστώντας τα άτομα περισσότερο ή λιγότερο ευάλωτα σε διαφορετικές καταστάσεις. Επίσης, η διατομεακότητα, η οποία εξετάζει τον τρόπο με τον οποίο διάφορες κοινωνικές κατηγορίες όπως η φυλή, το φύλο, η ηλικία και η κοινωνικοοικονομική θέση διασταυρώνονται για να δημιουργήσουν μοναδικές εμπειρίες καταπίεσης ή προνομίων, θα πρέπει να αποτελεί κατευθυντήρια αρχή στη διαχείριση κινδύνου και κρίσεων. Αυτή η προοπτική προχωρά πέρα από τη θεώρηση της ευπάθειας ως εγγενούς σε ορισμένες δημογραφικές ομάδες, αντί να την αναγνωρίζει ως αποτέλεσμα αλληλεξαρτώμενων κοινωνικών διαδικασιών (Kuran et al., 2020).

Η ευπάθεια και η φτώχεια είναι στενά συνδεδεμένες αλλά διαφορετικές έννοιες. Ενώ η φτώχεια αναφέρεται σε μια στατική κατάσταση κατά την οποία τα άτομα ή τα νοικοκυριά δεν διαθέτουν επαρκείς πόρους για την κάλυψη των βασικών αναγκών, η ευπάθεια αποτυπώνει τον κίνδυνο ή την πιθανότητα να περιέλθουν σε κατάσταση φτώχειας στο μέλλον λόγω εξωτερικών σοκ και αβεβαιοτήτων. Ο Fujii (2016), τονίζει ότι η κατανόηση της ευπάθειας είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών στρατηγικών μείωσης της φτώχειας, καθώς επιτρέπει στους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να προβλέπουν τους κινδύνους και να εφαρμόζουν προληπτικά μέτρα. Επίσης, επισημαίνει ότι η ευπάθεια συχνά μετριέται με όρους αναμενόμενης φτώχειας δηλαδή την πιθανότητα ένα άτομο ή ένα νοικοκυριό να πέσει κάτω από το όριο της φτώχειας στο μέλλον λόγω της έκθεσης σε διάφορους κινδύνους. Ενώ η φτώχεια μπορεί να παρατηρηθεί και να μετρηθεί απευθείας μέσω των επιπέδων εισοδήματος ή των συνθηκών διαβίωσης, η ευπάθεια απαιτεί μοντέλα πιθανοτήτων που προβλέπουν την πιθανότητα να βιώσει κανείς τη φτώχεια στο μέλλον. Το τελικό συμπέρασμα που εξάγεται είναι ότι η σχέση μεταξύ ευπάθειας και φτώχειας μπορεί να αναλυθεί μέσω τριών βασικών συνιστωσών: έκθεση σε κινδύνους , ευαισθησία σε αυτούς τους κινδύνους και ικανότητα αντιμετώπισης ή προσαρμογής .



Εικόνα 4.2.1 Η φτώχεια, η ευπάθεια και η περιθωριοποίηση ως 3 κύριες διαστάσεις των κοινοτήτων.

Πηγή: (Béné et al., 2010)

4.2.2 Έλλειψη πρόσβασης σε πόρους

Το πλαίσιο των κοινωνικών καθοριστικών παραγόντων της υγείας (SDH) τονίζει ότι οι ανισότητες στην υγεία προκύπτουν από τις συνθήκες στις οποίες οι άνθρωποι γεννιούνται, αναπτύσσονται, ζουν, εργάζονται και γερνούν. Η περιθωριοποίηση -που πηγάζει από παράγοντες όπως η κοινωνικοοικονομική κατάσταση, η φυλή, η εθνικότητα και η γεωγραφική θέση- επηρεάζει σημαντικά αυτές τις συνθήκες. Τα άτομα που ανήκουν σε περιθωριοποιημένες ομάδες βιώνουν συχνά περιορισμένη πρόσβαση στην υγειονομική περίθαλψη, την εκπαίδευση και τις οικονομικές ευκαιρίες, οδηγώντας σε χειρότερα αποτελέσματα για την υγεία (Baah et al., 2019).

Η οικονομική αστάθεια αποτελεί κρίσιμο εμπόδιο που εμποδίζει τις περιθωριοποιημένες κοινότητες να έχουν πρόσβαση στους αναγκαίους πόρους. Για παράδειγμα, τα άτομα με χαμηλό εισόδημα μπορεί να δυσκολεύονται να αγοράσουν υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης, θρεπτικά τρόφιμα και σταθερή στέγαση. Αυτή η οικονομική επιβάρυνση επιδεινώνει τις ευπάθειες στην υγεία, καθώς διακυβεύεται η συνεπής πρόσβαση σε ιατρική περίθαλψη και υγιείς συνθήκες διαβίωσης. Επιπλέον, η οικονομική περιθωριοποίηση συχνά συσχετίζεται με εκπαιδευτικά μειονεκτήματα, περιορίζοντας περαιτέρω την ικανότητα των ατόμων να περιηγηθούν στα πολύπλοκα συστήματα υγειονομικής περίθαλψης και να υπερασπιστούν τις ανάγκες υγείας τους. Σε γενικές γραμμές, οι χώρες και οι διεθνείς οργανισμοί ορίζουν τις ευάλωτες ομάδες

σύμφωνα με τους κοινωνικούς, οικονομικούς και πολιτιστικούς παράγοντες πριν από την κρίση, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη ότι οι ίδιοι αυτοί παράγοντες συνήθως δημιουργούν και διαιωνίζουν την ανισότητα, τον αποκλεισμό και την έλλειψη πρόσβασης και ελέγχου των πόρων (Sevelius et al., 2020).

Οι Shi και Stevens (2021), υπογραμμίζουν την έννοια της «έλλειψης πόρων» ως πρωταρχικό παράγοντα ευπάθειας. Για τις περιθωριοποιημένες κοινότητες, η πρόσβαση σε βασικούς πόρους όπως οι υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης, η εκπαίδευση, οι ευκαιρίες απασχόλησης, η στέγαση και η θρεπτική τροφή είναι συχνά περιορισμένη. Πολλές περιθωριοποιημένες ομάδες δεν έχουν ασφάλιση υγείας ή έχουν ανεπαρκή κάλυψη. Το υψηλό κόστος της υγειονομικής περίθαλψης, σε συνδυασμό με την έλλειψη παροχών υγειονομικής περίθαλψης σε υποβαθμισμένες περιοχές, εμποδίζει τα άτομα να αναζητήσουν ή να λάβουν την απαραίτητη περίθαλψη. Ακόμη και όταν υπάρχουν διαθέσιμες υπηρεσίες υγειονομικής περίθαλψης, μπορεί να είναι χαμηλότερης ποιότητας στις μειονεκτούσες κοινότητες. Η οικονομική αστάθεια είναι ένα επίμονο πρόβλημα στις περιθωριοποιημένες κοινότητες. Η ανεργία, η υποαπασχόληση και οι χαμηλοί μισθοί συχνά συμβάλλουν στην κακή υγεία, επειδή τα άτομα δεν μπορούν να πληρώσουν υγειονομική περίθαλψη, υγιεινά τρόφιμα ή στέγαση. Η οικονομική ανασφάλεια συσχετίζεται επίσης με αυξημένο άγχος, το οποίο επηρεάζει αρνητικά την ψυχική και σωματική υγεία. Δίνουν παραδείγματα όπως για τα άτομα που ζουν σε συνθήκες φτώχειας ότι ζουν σε υποβαθμισμένες περιοχές, με περιορισμένη πρόσβαση σε ποιοτική υγειονομική περίθαλψη, θρεπτικά τρόφιμα και στέγαση και για τις αγροτικές κοινότητες τονίζοντας ότι οι κάτοικοι των αγροτικών περιοχών αντιμετωπίζουν πρόσθετα εμπόδια λόγω της γεωγραφικής απομόνωσης, των ανεπαρκών εγκαταστάσεων υγειονομικής περίθαλψης και των περιορισμένων επαγγελματιών υγείας πρέπει συχνά να διανύουν μεγάλες αποστάσεις για να έχουν πρόσβαση στην απαραίτητη ιατρική περίθαλψη, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε καθυστερημένες διαγνώσεις και θεραπεία.

4.2.3 Περιορισμένη ικανότητα προσαρμογής περιθωριοποιημένων κοινοτήτων.

Οι περιθωριοποιημένες κοινότητες διαθέτουν περιορισμένη προσαρμοστική ικανότητα, γεγονός που επιδεινώνει την ευπάθειά τους στην κλιματική αλλαγή. Η προσαρμοστική ικανότητα αναφέρεται στην ικανότητα των περιθωριοποιημένων κοινοτήτων στην προκειμένη περίπτωση να ανταποκρίνονται, να αντιμετωπίζουν και να ανακάμπτουν από εξωτερικούς κινδύνους, όπως η κλιματική αλλαγή. Οι περιορισμένοι οικονομικοί πόροι εμποδίζουν τις επενδύσεις σε ανθεκτικές υποδομές και την πρόσβαση σε ποιοτική υγειονομική περίθαλψη, καθιστώντας δύσκολη την αποτελεσματική προσαρμογή αυτών των κοινοτήτων. Η ανεπαρκής στέγαση, τα δίκτυα μεταφορών και η πρόσβαση σε καθαρό νερό θέτουν σε κίνδυνο την ανθεκτικότητα, ιδίως σε άτυπους οικισμούς και αγροτικές περιοχές. Οι περιθωριοποιημένοι πληθυσμοί βιώνουν δυσανάλογα πολλούς περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες, όπως η ρύπανση και η ακραία ζέστη, οι οποίοι υπονομεύουν την υγεία και την ευημερία. Ο αποκλεισμός από τις διαδικασίες λήψης

αποφάσεων και οι θεσμικές διακρίσεις μειώνουν την ικανότητα των περιθωριοποιημένων ομάδων να επηρεάζουν τις πολιτικές που έχουν αντίκτυπο στην ανθεκτικότητά τους. Η έλλειψη πρόσβασης σε συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης, εκπαίδευσης και τεχνικής εμπειρογνωμοσύνης μειώνει την ετοιμότητα και την προσαρμοστική αντίδραση σε περιβαλλοντικούς κινδύνους (IPCC,2022).

Different aspects and dimensions of vulnerability (regional averages of selected vulnerability indicators)



Εικόνα 4.2.3 Διαφορετικές πτυχές και διαστάσεις της ευπάθειας (περιφερειακοί μέσοι έροι επιλεγμένων δεικτών ευπάθειας).

Πηγή: (IPCC,2022)

Αυτό το σχήμα παρουσιάζει τους περιφερειακούς μέσους όρους για επιλεγμένες πτυχές της ανθρώπινης ευπάθειας. Χρησιμοποιούνται τρεις κατηγορίες που βασίζονται σε φυσικά διαστήματα για την ταξινόμηση των περιφερειακών μέσων τιμών του αντίστοιχου δείκτη. Αυτά τα δεδομένα αποκαλύπτουν ότι όλες οι περιφέρειες αντιμετωπίζουν προκλήσεις σε διάφορες πτυχές της ευπάθειας, αλλά σε ορισμένες περιφέρειες αυτές οι προκλήσεις είναι πιο έντονες και αλληλοσυνδέονται. Για παράδειγμα, ο δείκτης εξάρτησης μετρά την αναλογία των παιδιών (0-14 ετών) και των ηλικιωμένων (65 ετών και άνω) προς τον πληθυσμό σε ηλικία εργασίας (15-64 ετών).

4.3 Μελέτες περιπτώσεων αναφορικά με τις προκλήσεις για τις περιθωριοποιημένες ομάδες με στόχο τη διασφάλιση της επάρκειας τροφίμων ενόψει της κλιματικής αλλαγής.

4.3.1 Αλάσκα



Εικόνα 4.3.1 Chugach, Νοτιοκεντρική Αλάσκα

Πηγή: (<https://www.superstock.com/asset/aerial-view-downtown-anchorage-chugach-mountains-cook-inlet-during-autumn/4289-13883402>).

Οι αυτόχθονες κοινότητες στην Αλάσκα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις παραδοσιακές πρακτικές, όπως το κυνήγι, το ψάρεμα και η συλλογή τροφίμων, για να καλύψουν τις διατροφικές τους ανάγκες. Ωστόσο, η άνοδος της θερμοκρασίας και το λιώσιμο του πάγου έχουν διαταράξει αυτές τις πρακτικές. Οι μεταβολές στις διαδρομές μετανάστευσης του καριμπού, η μείωση των ψαριών λόγω της οξίνισης των ωκεανών και οι ασταθείς συνθήκες του πάγου καθιστούν όλο και πιο δύσκολη την πρόσβαση σε παραδοσιακές πηγές τροφής. Επίσης, οι υψηλές τιμές των τροφίμων στις απομακρυσμένες περιοχές επιδεινώνουν την επισιτιστική ανασφάλεια για αυτές. Ακόμη και με τα ομοσπονδιακά προγράμματα βοήθειας, πολλές από αυτές τις κοινότητες αντιμετωπίζουν συστηματικά εμπόδια στην προσπάθειά τους να αποκτήσουν πλήρη έλεγχο στις τροφικές τους πηγές. Αυτά τα εμπόδια περιλαμβάνουν διαφωνίες γύρω από τα δικαιώματα και τις περιοριστικές πολιτικές που αφορούν το κυνήγι και το ψάρεμα, οι οποίες περιορίζουν την ικανότητα τους να διατηρήσουν τις παραδοσιακές τους πρακτικές.

Οι αυτόχθονες κοινότητες της Αλάσκας βρίσκονται αντιμέτωπες με σοβαρές προκλήσεις όσον αφορά την εξασφάλιση της τροφής τους, εξαιτίας των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Η ζωή τους είναι άμεσα συνδεδεμένη με τα παραδοσιακά συστήματα διατροφής, που βασίζονται στη συγκομιδή χερσαίων και θαλάσσιων ειδών ανάλογα με την εποχή. Όμως, οι περιβαλλοντικές αλλαγές, όπως η μείωση της χιονοκάλυψης, η απόψυξη του μόνιμου παγετού και η αλλαγή των μεταναστευτικών προτύπων των ζώων, διαταράσσουν αυτή την ισορροπία. Αυτό δεν επηρεάζει μόνο τη διαθεσιμότητα των παραδοσιακών τροφών, αλλά και τις ίδιες τις πολιτιστικές πρακτικές που συνδέονται με τη συλλογή και την κατανάλωσή τους. Στην παράκτια περιοχή Chugach της Νότιας Κεντρικής Αλάσκας, που περιλαμβάνει κοινότητες όπως η Cordova, το Seward και το Valdez, οι κάτοικοι βλέπουν τις παραδοσιακές πηγές τροφίμων να μειώνονται. Οι λόγοι είναι πολλοί: η κλιματική αλλαγή, η βιομηχανική ανάπτυξη, αλλά και οι κανονισμοί που επηρεάζουν τις πρακτικές κυνηγιού και αλιείας, δυσκολεύοντας την πρόσβαση στις τροφές που για γενιές στήριζαν τις κοινότητές τους. Μια πρόσφατη μελέτη ανέδειξε ένα ανησυχητικό στοιχείο: το ποσοστό των ενηλίκων που βιώνουν επισιτιστική ανασφάλεια στις αγροτικές περιοχές της Αλάσκας υπολογίζεται μεταξύ 20-25%, ξεπερνώντας κατά πολύ τον εθνικό μέσο όρο της υπαίθρου, που ανέρχεται περίπου στο 15%. Για πολλούς ανθρώπους, αυτό σημαίνει ότι οι βασικές διατροφικές ανάγκες τους δεν καλύπτονται επαρκώς, γεγονός που απειλεί τόσο την καθημερινότητά τους όσο και την πολιτιστική τους ταυτότητα (Nyholm et al., 2024).

4.3.2 Κένυα



Εικόνα 4.3.2 Γρωτεύουσα της Κένυας

Πηγή: (<https://www.wildlifekenyasafari.com/cities-in-kenya/>)

Οι περιθωριοποιημένες ομάδες στην Κένυα, ιδιαίτερα οι γυναίκες, οι μικροκαλλιεργητές και οι κοινότητες σε άνυδρες και ημίξηρες περιοχές, αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις για την επίτευξη επάρκειας τροφίμων εν μέσω της κλιματικής αλλαγής. Αυτές οι προκλήσεις είναι πολύπλευρες και περιλαμβάνουν κοινωνικοοικονομικές ανισότητες, περιβαλλοντικές ευπάθειες και περιορισμούς πολιτικής. Οι γυναίκες αποτελούν περίπου το 75% του αγροτικού εργατικού δυναμικού των μικροϊδιοκτητών της Κένυας και διαχειρίζονται το 40% των μικροκαλλιεργειών. Παρά τη σημαντική συνεισφορά τους, αντιμετωπίζουν κοινωνικές διακρίσεις και περιορισμένη εξουσία λήψης αποφάσεων, εμποδίζοντας την ικανότητά τους να προσαρμοστούν στην επισιτιστική ανασφάλεια που προκαλείται από το κλίμα. Κατά τη διάρκεια περιόδων έλλειψης τροφής, οι γυναίκες συχνά μειώνουν την κατανάλωση φαγητού για να δώσουν προτεραιότητα στις οικογένειές τους, επηρεάζοντας αρνητικά την υγεία τους, ειδικά μεταξύ των θηλαζουσών ή των μέλλουσες μητέρες. Επιπλέον, η ανάγκη αναζήτησης εργασίας μακριά από το σπίτι κατά τη διάρκεια της ξηρασίας μπορεί να οδηγήσει σε εκμετάλλευση και αυξημένη βία με βάση το φύλο (Liru & Heinecken, 2021)

Οι άνυδρες και ημιάνυδρες περιοχές της Κένυας είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στην κλιματική αλλαγή, με ακραίες θερμοκρασίες, ακανόνιστα μοτίβα βροχοπτώσεων, ξηρασίες και πλημμύρες. Αυτές οι κλιματικές συνθήκες επιδεινώνουν την επισιτιστική ανασφάλεια μεταξύ των ευάλωτων νοικοκυριών. Οι κοινότητες σε αυτές τις περιοχές συχνά βασίζονται σε αυτόχθονες στρατηγικές αντιμετώπισης που βασίζονται στη γνώση, όπως η παρατήρηση φυσικών δεικτών για την πρόβλεψη του καιρού και η διαφοροποίηση των γεωργικών πρακτικών. Ωστόσο, μελέτες δείχνουν ότι αυτές οι στρατηγικές από μόνες τους ενδέχεται να μην ενισχύσουν σημαντικά την επισιτιστική ασφάλεια των νοικοκυριών, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για ενσωμάτωση της παραδοσιακής γνώσης με τις σύγχρονες γεωργικές πρακτικές (Cherlogoi, 2022).

Η αποτελεσματικότητα των πολιτικών που στοχεύουν στη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας υπονομεύεται συχνά από την ανεπαρκή συμμετοχή των τοπικών κοινοτήτων στη διαμόρφωση και την εφαρμογή τους. Αυτή η αποσύνδεση οδηγεί σε αναποτελεσματικές στρατηγικές που αποτυγχάνουν να αντιμετωπίσουν τις μοναδικές ανάγκες των περιθωριοποιημένων ομάδων. Επιπλέον, οι δημόσιες επενδύσεις σε υποδομές, όπως δρόμοι και αγορές, συχνά κατανέμονται δυσανάλογα σε περιοχές με ευνοϊκότερες κλιματικές συνθήκες, αφήνοντας τις άνυδρες περιοχές με περιορισμένη πρόσβαση σε βασικές γεωργικές εισροές και αγορές. Αυτή η ανισότητα εμποδίζει την ικανότητα των μικροκαλλιεργητών να παράγουν και να πωλούν καλλιέργειες αποτελεσματικά, απειλώντας περαιτέρω την επισιτιστική ασφάλεια (Mogeni, 2025).

4.3.3 Βιετνάμ



Εικόνα 4.3.3 Κόλπος Χα Λονγκ, Βιετνάμ

Πηγή: (<https://www.geografikoi.gr/ha-long-vietnam/>)

Οι περιθωριοποιημένες ομάδες του Βιετνάμ, ιδιαίτερα οι εθνοτικές μειονότητες σε αγροτικές και παράκτιες περιοχές, αντιμετωπίζουν σημαντικές προκλήσεις για την επίτευξη επάρκειας τροφίμων εν μέσω της κλιματικής αλλαγής. Αυτές οι προκλήσεις είναι πολύπλευρες και περιλαμβάνουν περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές διαστάσεις. Η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει τις περιβαλλοντικές ευπάθειες για τις περιθωριοποιημένες κοινότητες. Στη βορειοδυτική ορεινή περιοχή, τα εύθραυστα οικοσυστήματα και η πολύπλοκη τοπογραφία καθιστούν αυτές τις περιοχές ιδιαίτερα ευάλωτες σε φυσικές καταστροφές. Οι εθνοτικές μειονότητες εδώ αντιμετωπίζουν αυξημένη ευαισθησία στην κλιματική μεταβλητότητα, οδηγώντας σε αυξημένη έκθεση σε κινδύνους όπως πλημμύρες και ξηρασίες, που απειλούν άμεσα την επισιτιστική τους ασφάλεια (Tran et al., 2021).

Οι οικονομικές δυσκολίες εντείνονται από τις αγροτικές διαταραχές που προκαλούνται από το κλίμα. Στις περιοχές Central Highlands και South-Central Coast, αγρότες μικρής κλίμακας, ειδικά εκείνοι που προέρχονται από φτωχά νοικοκυριά και εθνικές μειονότητες, παλεύουν με τη λειψυδρία λόγω των αλλαγμένων προτύπων βροχοπτώσεων. Αυτή η σπανιότητα εμποδίζει την ικανότητά τους να διατηρήσουν τις αποδόσεις των καλλιεργειών, απειλώντας έτσι τις πηγές τροφής και τα μέσα διαβίωσής τους (<https://www.undp.org/vietnam/projects/strengthening-resilience-smallholder-agriculture-climate-change-induced-water-insecurity-central-highlands-and-south-central-coast>).

Οι κοινωνικοί παράγοντες, συμπεριλαμβανομένων των ρόλων των φύλων, επηρεάζουν σημαντικά τις προσαρμοστικές ικανότητες. Σε παράκτιες περιοχές που επηρεάζονται από φαινόμενα αλατότητας, η δυναμική εντός του νοικοκυριού διαμορφώνει στρατηγικές προσαρμογής. Οι μελέτες αποκαλύπτουν ότι οι σύζυγοι έχουν συχνά διαφορετικές απόψεις σχετικά με τις επιθυμητές προσαρμοστικές αντιδράσεις. Η πρόσβαση των γυναικών στην εκπαίδευση, η συμμετοχή σε επίσημα ιδρύματα και οι ευκαιρίες κατάρτισης είναι ζωτικής σημασίας για τον καθορισμό της συμμετοχής τους στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων σχετικά με τα μέτρα προσαρμογής. Η ενίσχυση της δυναμικής των γυναικών σε αυτούς τους τομείς ενισχύει την ανθεκτικότητα των νοικοκυριών στην κλιματική αλλαγή (LeDang et al., 2025).

5. Στρατηγικές οικοδόμησης ανθεκτικότητας

5.1 Ανθεκτικότητα, κλιματική αλλαγή και σύστημα τροφίμων

Η ενίσχυση της ανθεκτικότητας στην κλιματική αλλαγή στα συστήματα τροφίμων είναι επιτακτική ανάγκη για τη διασφάλιση της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας και της βιώσιμης ανάπτυξης. Η κλιματική αλλαγή θέτει σημαντικές προκλήσεις για το παγκόσμιο σύστημα τροφίμων, επηρεάζοντας τις αλυσίδες εφοδιασμού, την ασφάλεια των τροφίμων και τη σταθερότητα της αγοράς. Η ενίσχυση της ανθεκτικότητας απαιτεί στρατηγικές που υπερβαίνουν τις βιώσιμες γεωργικές πρακτικές και επικεντρώνονται σε ευρύτερες συστημικές προσεγγίσεις. Τα βασικά μέτρα-στρατηγικές περιλαμβάνουν διαφοροποίηση συστημάτων παραγωγής τροφίμων, ανάπτυξη και αξιοποίηση κλιματικά ανθεκτικών ποικιλιών καλλιεργειών, προσαρμογές βάσει οικοσυστήματος, εφαρμογή αγροτικής ασφάλισης βάσει δείκτη και δημιουργία παραγωγικών δικτύων κοινωνικής ασφάλειας.

Η εφαρμογή διαφοροποιημένων πρακτικών παραγωγής, όπως η αγροδασοπονία και η ενσωμάτωση διαφόρων καλλιεργειών και ζώων, ενισχύει την ανθεκτικότητα των επισιτιστικών συστημάτων. Η διαφοροποίηση των συστημάτων παραγωγής τροφίμων είναι απαραίτητη για την ενίσχυση της επισιτιστικής ασφάλειας, της ανθεκτικότητας και της βιωσιμότητας. Με την ενσωμάτωση μιας ποικιλίας καλλιεργειών, ζώων και υδατοκαλλιέργειας, οι αγρότες μπορούν να μειώσουν την εξάρτηση από ένα μόνο προϊόν, μετριάζοντας τους κινδύνους από την κλιματική αλλαγή, τα παράσιτα και τις διακυμάνσεις της αγοράς. Οι αγροοικολογικές πρακτικές, όπως η αμειψισπορά και η αγροδασοκομία, βελτιώνουν την υγεία του εδάφους, ενισχύουν τη βιοποικιλότητα και μειώνουν την ανάγκη για χημικές εισροές. Επιπλέον, η προώθηση τοπικών και παραδοσιακών πηγών τροφίμων ενισχύει τα περιφερειακά δίκτυα τροφίμων και διατηρεί την πολιτιστική κληρονομιά. Η υιοθέτηση διαφοροποιημένων συστημάτων τροφίμων συμβάλλει σε έναν πιο ανθεκτικό και προσαρμόσιμο γεωργικό τομέα, διασφαλίζοντας μακροπρόθεσμη παραγωγικότητα και περιβαλλοντική ισορροπία. Για παράδειγμα, στα νησιά Φίτζι, τα συστήματα αγροδασοπονίας επέτρεψαν τη συνεχή

παραγωγή τροφίμων παρά τις κλιματικές διαταραχές όπως ο κυκλώνας Winston. Ομοίως, το έθνος των Hopi στην Αριζόνα χρησιμοποιεί ποικιλίες αραβοσίτου προσαρμοσμένες σε ξηρές συνθήκες, αναδεικνύοντας τη σημασία της παραδοσιακής γνώσης για την ενίσχυση της κλιματικής ανθεκτικότητας (<https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/southwest/topic/building-climate-resilience-across-food-system-diversified-production>).

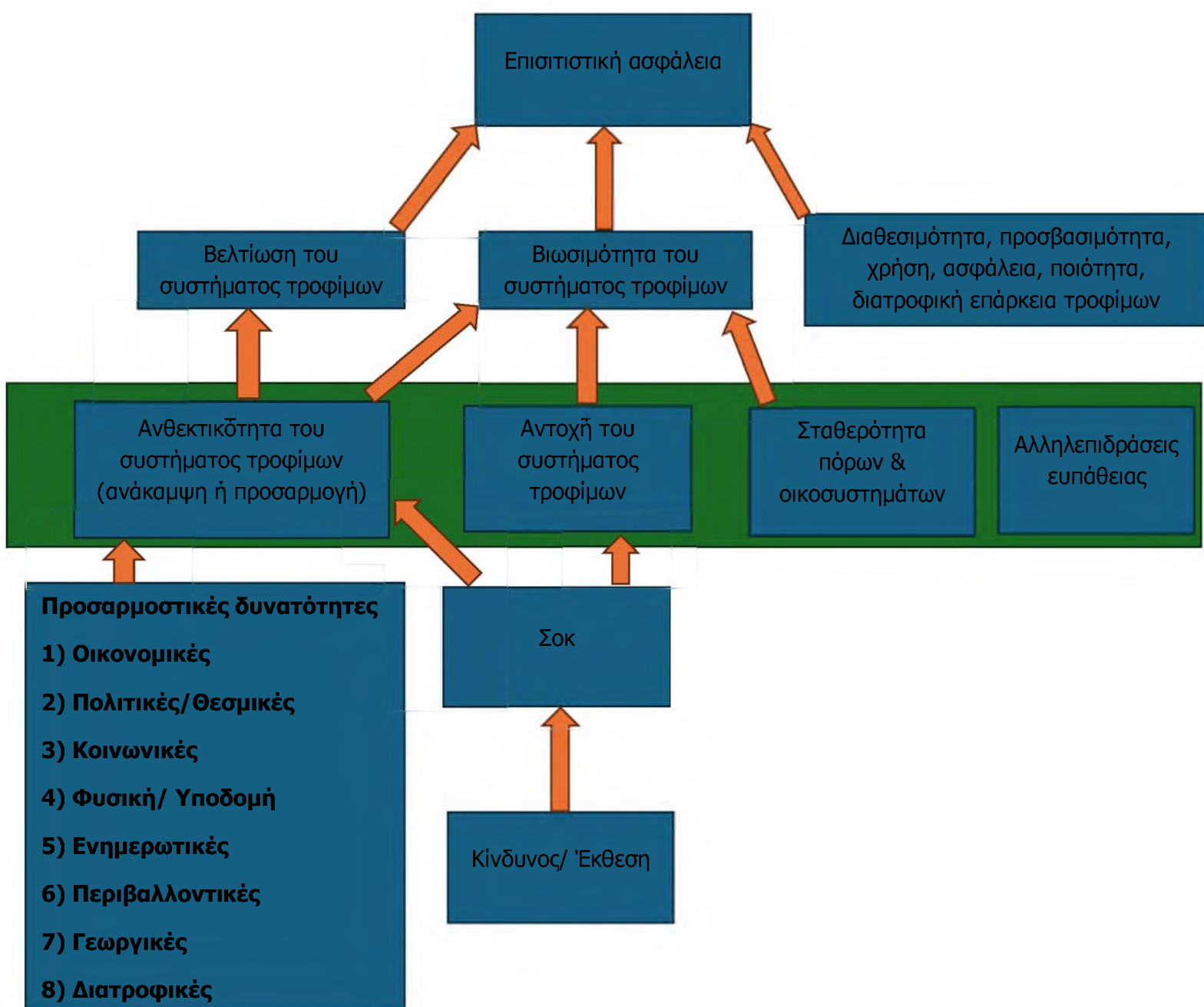
Η ανάπτυξη και η χρήση ποικιλιών καλλιεργειών ανθεκτικών στο κλίμα είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της παγκόσμιας επισιτιστικής ασφάλειας ενόψει της κλιματικής αλλαγής. Αυτές οι καλλιέργειες εκτρέφονται ή τροποποιούνται γενετικά για να αντέχουν σε ακραίες θερμοκρασίες, ξηρασία, πλημμύρες και παράσιτα, βοηθώντας τους αγρότες να διατηρήσουν σταθερές αποδόσεις παρά τις απρόβλεπτες συνθήκες. Οι προηγμένες τεχνικές αναπαραγωγής, συμπεριλαμβανομένης της γενετικής μηχανικής και της επιλογής με τη βοήθεια δεικτών, επιτρέπουν τη δημιουργία καλλιεργειών με ενισχυμένη ανθεκτικότητα, βελτιωμένο θρεπτικό περιεχόμενο και μεγαλύτερη αντοχή στις ασθένειες. Στην Ινδία, οι οργανισμοί γεωργικής έρευνας δημιούργησαν νέες ποικιλίες ρυζιού που απαιτούν λιγότερο νερό και παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή στις ασθένειες, εξασφαλίζοντας έτσι την επισιτιστική ασφάλεια εν μέσω ακραίων καιρικών φαινομένων που προκαλούνται από το κλίμα (<https://apnews.com/article/climate-change-resilient-seeds-agriculture-india-drought-rains-587cf822c3000072584ba58562d2a321>).

Η προσαρμογή με βάση τα οικοσυστήματα (EbA) αξιοποιεί τη βιοποικιλότητα και τις υπηρεσίες των οικοσυστημάτων για να βοηθήσει τις κοινότητες να προσαρμοστούν στις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Προσφέρει μια οικονομικά αποδοτική και βιώσιμη εναλλακτική λύση στις παραδοσιακές τεχνικές προσεγγίσεις, ενισχύοντας τη φυσική ανθεκτικότητα. Ένα αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι η μελέτη "Προσαρμογή με βάση το οικοσύστημα στην κλιματική αλλαγή" η οποία υλοποιήθηκε στη Μαυριτανία, το Νεπάλ, τις Σεϋχέλλες και την Κίνα. Στη Μαυριτανία, δημιουργήθηκαν 150 εκτάρια πράσινων ζωνών για την καταπολέμηση της ερημοποίησης και την παροχή πόρων όπως φρούτα. Στο Νεπάλ φυτεύτηκαν περίπου 840.000 δενδρύλλια δέντρων και θάμνων για την αποκατάσταση των ορεινών οικοσυστημάτων, ενώ στις Σεϋχέλλες αποκαταστάθηκαν 400 εκτάρια υγροτόπων, συμπεριλαμβανομένων των μαγγρόβιων, για την προστασία από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας και τις πλημμύρες (Mills et al., 2020).

Η γεωργική ασφάλιση βάσει δεικτών έχει αναδειχθεί ως ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο για τον μετριασμό των κινδύνων που σχετίζονται με το κλίμα στη γεωργία, συνδέοντας τις πληρωμές με συγκεκριμένους δείκτες, όπως δεδομένα καιρού ή δείκτες βλάστησης, αντί για μεμονωμένες απώλειες αγροκτημάτων. Αυτή η προσέγγιση μειώνει το διοικητικό κόστος και επιταχύνει τις διαδικασίες αποζημίωσης, προωθώντας την πρόσβαση σε πιστώσεις και την υιοθέτηση βελτιωμένων τεχνολογιών. Ωστόσο, η αντιμετώπιση προκλήσεων όπως ο «κίνδυνος βάσης» -όπου οι πληρωμές δεν ευθυγραμμίζονται απόλυτα με τις ατομικές απώλειες- είναι απαραίτητη για την αποτελεσματικότητα αυτών των συστημάτων. Για παράδειγμα

στην Αιθιοπία, η εφαρμογή της ασφάλισης ζώων βάσει δεικτών έδειξε θετικά αποτελέσματα. Μια μελέτη στη ζώνη Borena αποκάλυψε ότι η εφαρμογή της ασφάλισης ζώων βάσει δεικτών αύξησε σημαντικά την πιθανότητα απορρόφησης δανείου από τα ποιμενικά νοικοκυριά, υποδηλώνοντας ενισχυμένη οικονομική εμπιστοσύνη και μειωμένο αντιληπτό κίνδυνο μεταξύ των ασφαλισμένων αγροτών (Gebrekidan & Kaiyu, 2019).

Τα παραγωγικά δίκτυα κοινωνικής ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων των μεταφορών σε χρήμα και σε είδος, προστατεύουν τους ευάλωτους πληθυσμούς από τις δυσκολίες που προκαλούνται από το κλίμα. Για παράδειγμα, το πρόγραμμα Έγκαιρης Αξιολόγησης και Προστασίας Ζωής της Αιθιοπίας προσθέτει ένα επίπεδο ενδεχόμενης χρηματοδότησης, ενεργοποιώντας πρόσθετα κεφάλαια για την αναβάθμιση του προγράμματος παραγωγικού δικτύου ασφαλείας όταν οι κλιματικοί δείκτες υποδεικνύουν αναδυόμενη ξηρασία. Τέτοια προγράμματα όχι μόνο διασφαλίζουν την επισιτιστική ασφάλεια αλλά και ενισχύουν τα μέσα διαβίωσης με την ανακούφιση των κεφαλαιακών περιορισμών και την τόνωση της γεωργικής παραγωγής (Loboguerrero et al., 2019).



Εικόνα 5.1 Σχέσεις μεταξύ των βασικών εννοιών και της ανθεκτικότητας του συστήματος τροφίμων.

(Πηγή: Ιδία Επεξεργασία, Roosevelt et al., 2023)

Το σχήμα τονίζει την πολυπλοκότητα της επισιτιστικής ασφάλειας και την ανάγκη για μια ολιστική προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη πολλούς αλληλεπιδρώντες παράγοντες. Οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων στοιχείων είναι δυναμικές. Για παράδειγμα, τα σοκ μπορούν να αποκαλύψουν ευπάθειες και να δοκιμάσουν την ανθεκτικότητα του συστήματος. Οι ισχυρές προσαρμοστικές ικανότητες μπορούν να μετριάσουν τις επιπτώσεις των σοκ και να ενισχύσουν τη βιωσιμότητα. Υπογραμμίζεται ότι η απλή

αύξηση της παραγωγής τροφίμων δεν αρκεί για την επίτευξη επισιτιστικής ασφάλειας. Η βιωσιμότητα των πρακτικών και η ικανότητα του συστήματος να αντέχει και να προσαρμόζεται στις προκλήσεις είναι εξίσου σημαντικές. Οι προσαρμοστικές ικανότητες σε διάφορους τομείς (οικονομία, πολιτική, κοινωνία, περιβάλλον κ.λπ.) αποτελούν τη βάση για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και της βιωσιμότητας του συστήματος τροφίμων. Τέλος, η αναγνώριση των ευπαθειών και των πιθανών κινδύνων είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη προληπτικών μέτρων και στρατηγικών αντιμετώπισης.

5.2 Βιώσιμες γεωργικές πρακτικές

5.2.1 Αγροοικολογία

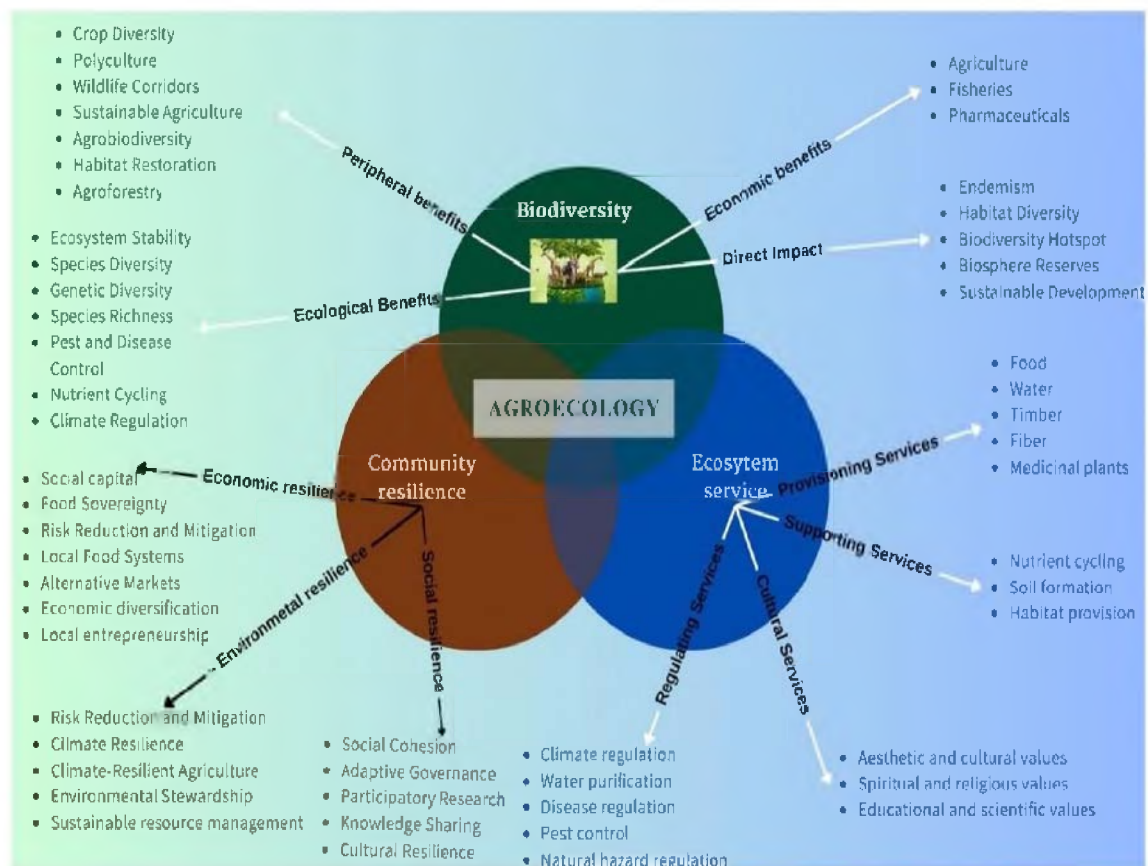
Η αγροοικολογία έχει τις ρίζες της στην αντίληψη ότι τα γεωργικά συστήματα πρέπει να λειτουργούν ως οικοσυστήματα, χρησιμοποιώντας τη βιοποικιλότητα, την υγεία του εδάφους και τους φυσικούς κύκλους ως θεμέλιο για τη βιώσιμη παραγωγή τροφίμων. Σύμφωνα με τον Altieri (2018), η αγροοικολογία συνδυάζει την παραδοσιακή γνώση με τη σύγχρονη επιστήμη για τη δημιουργία γεωργικών πρακτικών που διατηρούν την οικολογική ισορροπία, ελαχιστοποιούν τις εξωτερικές εισροές και ενισχύουν την επισιτιστική κυριαρχία. Επιπλέον, θεωρείται μια ολιστική προσέγγιση που αναγνωρίζει τη σημασία των κοινωνικών και πολιτιστικών πτυχών των διατροφικών συστημάτων, αναγνωρίζοντας τα δικαιώματα των τοπικών κοινοτήτων και των μικροκαλλιεργητών.

Ο Gliessman (2018), ορίζει την αγροοικολογία ως την εφαρμογή οικολογικών αρχών στο σχεδιασμό και τη διαχείριση βιώσιμων συστημάτων τροφίμων. Η αγροοικολογία τονίζει τη σημασία της τοπικής γνώσης, της βιοποικιλότητας και των οικολογικών διεργασιών στη γεωργία, προτείνοντας μια εναλλακτική λύση στα συμβατικά, βιομηχανοποιημένα γεωργικά συστήματα. Ενσωματώνει τις βιολογικές, οικολογικές, κοινωνικές και οικονομικές πτυχές της παραγωγής τροφίμων, τονίζοντας τις διασυνδέσεις μεταξύ των ανθρώπων, της γης και του περιβάλλοντος. Υποστηρίζει ότι τα αγροοικολογικά συστήματα τροφίμων αμφισβητούν τα παγκοσμιοποιημένα, βιομηχανικά συστήματα τροφίμων προωθώντας πρακτικές που διασφαλίζουν δίκαιη πρόσβαση σε υγιεινά, πολιτιστικά κατάλληλα και περιβαλλοντικά βιώσιμα τρόφιμα.

Οι Ewert et al. (2023), προτείνουν έξι τομείς για να προωθηθεί η ευρεία υιοθέτηση της αγροοικολογίας. Αρχικά, είναι 1) η *Γλοκληρωμένη προσέγγιση συστημάτων πολλαπλών κλιμάκων*. Αυτή η προσέγγιση τονίζει την ανάγκη να θεωρηθεί η αγροοικολογία ως ένα πολύπλοκο, διασυνδεδεμένο σύστημα που λειτουργεί σε διαφορετικά επίπεδα και κλίμακες. Για παράδειγμα, η μετάβαση σε αγροοικολογικές πρακτικές σε μια περιοχή πρέπει να λαμβάνει υπόψη τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζει τη δυναμική της αγοράς, την υγεία του εδάφους, τη χρήση νερού και τους κλιματικούς στόχους σε άλλα επίπεδα. Στη συνέχεια, ακολουθεί 2) η *Γλοκληρωμένη συμμετοχή πολλών παραγόντων* με την εμπλοκή όλων των ενδιαφερόμενων φορέων, συμπεριλαμβανομένων των φορέων χάραξης πολιτικής, των παραγωγών, των εμπόρων λιανικής πώλησης και των καταναλωτών, για να

διασφαλιστεί ο χωρίς αποκλεισμούς και δίκαιος μετασχηματισμός. Για παράδειγμα, μια διαδικασία συμμετοχικού σχεδιασμού που περιλαμβάνει τόσο τους αγρότες όσο και τους λιανοπωλητές μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη μιας περιφερειακής αλυσίδας εφοδιασμού για αγροοικολογικά προϊόντα, ευθυγραμμίζοντας τις πρακτικές παραγωγής με την πρόσβαση στην αγορά και τις ανάγκες των καταναλωτών. Έπειτα, είναι 3) *οι Προσεγγίσεις συν-σχεδιασμού σε ζωντανά εργαστήρια*. Τα ζωντανά εργαστήρια είναι πραγματικοί χώροι δοκιμών όπως αγροκτήματα, κοινότητες ή περιοχές όπου οι καινοτομίες αναπτύσσονται και δοκιμάζονται σε συνεργασία. Για παράδειγμα, ένα ζωντανό εργαστήριο θα μπορούσε να φέρει σε επαφή αγρότες, οικολόγους και προγραμματιστές ψηφιακής τεχνολογίας για να σχεδιάσουν ένα σύστημα παρακολούθησης καλλιεργειών που υποστηρίζει τη διαχείριση παρασίτων χρησιμοποιώντας φυσικούς θηρευτές αντί για φυτοφάρμακα. Επίσης, εξίσου σημαντικά είναι 4) τα *Εργαλεία παρακλούθησης, μοντελοποίησης και αξιολόγησης* που βοηθούν στην ανάπτυξη εργαλείων για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας σε όλες τις περιβαλλοντικές, κοινωνικές και οικονομικές διαστάσεις. Επιπλέον, αξιοσημείωτη αποτελεί 5) *Η στροφή στις αναδυόμενες τεχνολογίες* με την αξιοποίηση των νέων τεχνολογιών, ιδίως της ψηφιοποίησης και της αναπαραγωγής, για την ενίσχυση των αγροοικολογικών πρακτικών. Τέλος, υφίσταται 6) *Ο επαρκής σχεδιασμός πολιτικής* με τη δημιουργία πλαισίων πολιτικής που ενσωματώνουν τις τοπικές, περιφερειακές, εθνικές και παγκόσμιες προσπάθειες για βιώσιμα αγροδιατροφικά συστήματα.

Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα αποτελεί η υιοθέτηση αγροοικολογικών τεχνικών από τους μικροκαλλιεργητές στην Αφρική προκειμένου να επιτύχουν επισιτιστική ασφάλεια, οικονομική σταθερότητα και περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Οι βασικές αγροοικολογικές πρακτικές που χρησιμοποιούν οι μικροκαλλιεργητές στην Αφρική περιλαμβάνουν ταυτόχρονη καλλιέργεια πολλών ειδών καλλιεργειών για την αύξηση της βιοποικιλότητας, τη μείωση των κινδύνων από παράσιτα και ασθένειες και τη βελτίωση της υγείας του εδάφους, ενσωμάτωση δέντρων σε γεωργικά τοπία για την παροχή πλεονεκτημάτων όπως σκιά, προστασία από τον άνεμο και ενισχυμένη ανακύκλωση θρεπτικών στοιχείων. Επίσης, η χρήση ντόπιων ποικιλιών καλλιεργειών που είναι καλά προσαρμοσμένες στις τοπικές συνθήκες, βελτιώνει τη σταθερότητα των αποδόσεων και την ανθεκτικότητα στην κλιματική μεταβλητότητα. Τέλος, χρησιμοποιούνται ολοκληρωμένα συστήματα καλλιέργειας και κτηνοτροφίας στα οποία κυριαρχεί ο συνδυασμός της καλλιέργειας με την εκτροφή ζώων για τη βελτιστοποίηση της χρήσης των πόρων, την ενίσχυση της ανακύκλωσης των θρεπτικών στοιχείων και την αύξηση της κερδοφορίας των εκμεταλλεύσεων (Akanmu et al., 2023).



Εικόνα 5.2.1 Η πολύπλευρη συμβολή της Αγροοικολογίας στη βιοποικιλότητα και τη βιώσιμη ανάπτυξη.

Πηγή: (Vikas & Ranjan, 2024)

Αυτό το σχήμα δείχνει πώς η αγροοικολογία, ως ολιστική γεωργική προσέγγιση, διασυνδέεται με διάφορα στοιχεία για την ενίσχυση της βιοποικιλότητας και της ανθεκτικότητας μιας κοινότητας. Η εικόνα τονίζει τη διασύνδεση μεταξύ της αγροοικολογίας, της βιοποικιλότητας, των οικοσυστημάτων και των κοινωνικών επιπτώσεων. Δείχνει ότι η βιώσιμη γεωργία δεν είναι μόνο θέμα παραγωγής τροφίμων, αλλά και διατήρησης της βιοποικιλότητας, προστασίας των οικοσυστημάτων και ενίσχυσης των τοπικών κοινοτήτων. Επίσης δίνει έμφαση στο ότι η αγροοικολογία έχει οικονομικά οφέλη, όπως αυτά των φαρμακευτικών προϊόντων και της αλιείας.

5.2.2 Διαφοροποίηση καλλιεργειών

Η διαφοροποίηση των καλλιεργειών θεωρείται βασική στρατηγική για τη μείωση του κινδύνου στα γεωργικά συστήματα, τη βελτίωση της επισιτιστικής ασφάλειας και την προώθηση της βιοποικιλότητας. Δεδομένων των αυξανόμενων παγκόσμιων προκλήσεων που θέτουν η κλιματική αλλαγή, η υποβάθμιση του εδάφους και η απώλεια της βιοποικιλότητας, τα διαφοροποιημένα συστήματα καλλιέργειας θεωρούνται απαραίτητα για την προσαρμογή στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές

συνθήκες και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης γεωργικής παραγωγικότητας. Μερικά από τα οφέλη της διαφοροποίησης των καλλιεργειών είναι η βελτιωμένη διαχείριση παρασίτων και ασθενειών (μειωμένες πιθανότητες δημιουργίας πληθυσμών παρασίτων μονοκαλλιέργειας), ο έλεγχος της γονιμότητας του εδάφους και της διάβρωσης (μέσω της αμειψισποράς μειώνεται η γονιμότητα του εδάφους μειώνοντας τον κίνδυνο διάβρωσης του εδάφους μέσω ποικίλων δομών ριζών), η ενίσχυση της βιοποικιλότητας (η διαφοροποίηση οδηγεί συχνά σε αυξημένη φυτική και ζωική βιοποικιλότητα στα γεωργικά τοπία, η οποία μπορεί να βελτιώσει τις υπηρεσίες του οικοσυστήματος, όπως η επικονίαση) και η διαχείριση των υδάτων (βελτίωση της αποδοτικότητας της χρήσης του νερού, μείωση των απωλειών εξάτμισης και βελτιστοποίηση της διατήρησης της εδαφικής υγρασίας) (Hufnagel et al., 2020).

Ο Beillouin κ.α. (2019), υποστηρίζουν ότι οι βασικοί τύποι στρατηγικών διαφοροποίησης καλλιεργειών είναι: η *Διακαλλιέργεια* (δηλαδή η καλλιέργεια δύο ή περισσότερων καλλιεργειών ταυτόχρονα στο ίδιο χωράφι, η οποία μπορεί να βοηθήσει στη μείωση της πίεσης των παρασίτων, στη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους και στην αύξηση της συνολικής απόδοσης), η *Εναλλαγή καλλιεργειών* (δηλαδή εναλλαγή των τύπων των καλλιεργειών που καλλιεργούνται σε ένα συγκεκριμένο χωράφι με την πάροδο του χρόνου για τη βελτίωση της υγείας του εδάφους και τη μείωση της συσσώρευσης παρασίτων και ασθενειών), η *Αγροδασοκομία* (δηλαδή η ενσωμάτωση δέντρων με καλλιέργειες για την παροχή πολλαπλών οφελών, όπως η βελτίωση της δομής του εδάφους, η αύξηση της βιοποικιλότητας και η ενίσχυση της δέσμευσης άνθρακα) και η *Πολυκαλλιέργεια* (δηλαδή η καλλιέργεια διαφορετικών ειδών καλλιεργειών στην ίδια περιοχή για τη μίμηση των φυσικών οικοσυστημάτων, η οποία μπορεί να προσφέρει οικολογικά και οικονομικά οφέλη).

Ο Rustamova κ.α. (2023), εξετάζουν και στη συνέχεια προτείνουν τη διαφοροποίηση των καλλιεργειών ως στρατηγική για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας και της βιωσιμότητας της γεωργίας της περιοχής της θάλασσας Αράλης. Η περιοχή της θάλασσας Αράλης που κάποτε ήταν ακμάζουσα, έχει υποστεί σημαντική περιβαλλοντική υποβάθμιση λόγω παραγόντων όπως η κακή διαχείριση των υδάτων, η εκτροπή ποταμών για άρδευση και οι κλιματικές αλλαγές. Τα ζητήματα αυτά έχουν οδηγήσει σε μειωμένη γεωργική παραγωγικότητα, αυξημένη αλατότητα του εδάφους και οικονομικές δυσκολίες για τις γεωργικές κοινότητες. Υποστηρίζουν ότι οι αγρότες που υιοθέτησαν διαφοροποιημένα συστήματα καλλιέργειας ανέφεραν σημαντικά υψηλότερα έσοδα σε σύγκριση με εκείνους που ασκούν μονοκαλλιέργεια. Αυτό υποδηλώνει ότι η διαφοροποίηση μπορεί να οδηγήσει σε πιο σταθερά και αυξημένα γεωργικά εισοδήματα. Επίσης, η διαφοροποίηση των καλλιεργειών συμβάλλει στην ορθολογική χρήση των φυσικών πόρων, βοηθά στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα και αντιμετωπίζει κρίσιμα ζητήματα που σχετίζονται με την επισιτιστική ασφάλεια. Αυτή η προσέγγιση βοηθά στον μετριασμό των δυσμενών επιπτώσεων της αλάτωσης του εδάφους και της υποβάθμισης της γης που επικρατούν στην περιοχή. Τελικά, υπογραμμίζουν ότι η διαφοροποίηση των

καλλιεργειών όχι μόνο ενισχύει τα οικονομικά αποτελέσματα για τους αγρότες αλλά βελτιώνει επίσης τις συνολικές κοινωνικοοικονομικές συνθήκες των αγροτικών κοινοτήτων μειώνοντας την ευπάθεια σε περιβαλλοντικούς κλυδωνισμούς και κραδασμούς της αγοράς.

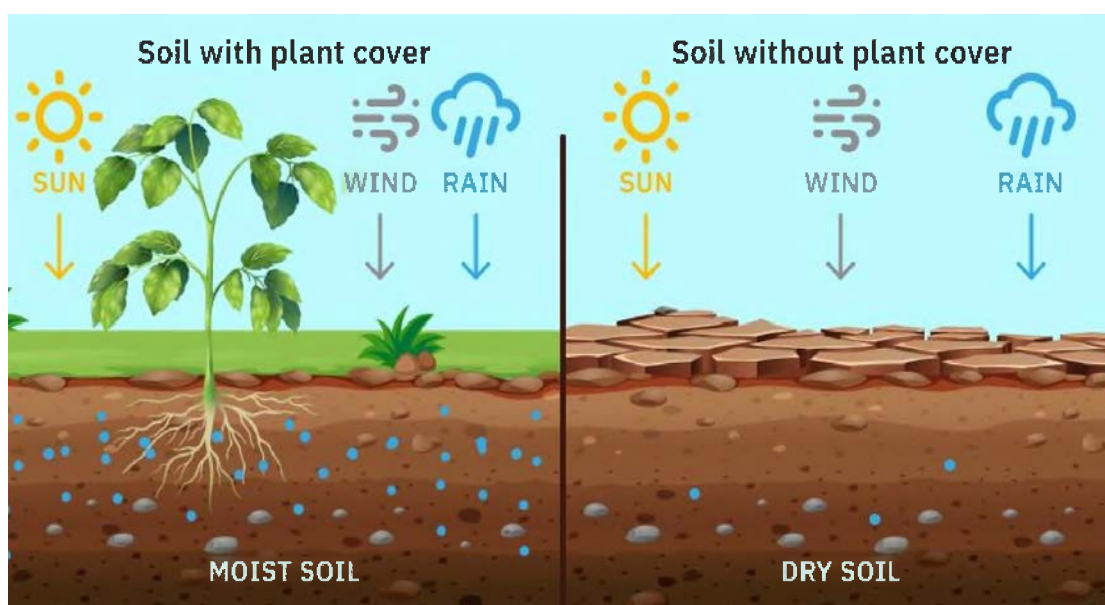
5.2.3 Διατήρηση του εδάφους

Η διατήρηση του εδάφους είναι μια ζωτική πτυχή της αειφόρου γεωργίας, με στόχο τη διατήρηση της υγείας, της γονιμότητας και της δομής του εδάφους, αποτρέποντας παράλληλα τη διάβρωση και την υποβάθμιση. Καθώς οι γεωργικές δραστηριότητες εντείνονται για να καλύψουν τις παγκόσμιες απαιτήσεις τροφίμων, μη βιώσιμες πρακτικές όπως η υπερβολική άρση, η μονοκαλλιέργεια και η υπερβόσκηση απειλούν την ποιότητα του εδάφους. Οι τεχνικές διατήρησης του εδάφους, συμπεριλαμβανομένων της αμειψισποράς, της καλλιέργειας και της αγροδασοπονίας, συμβάλλουν στη διατήρηση της παραγωγικότητας του εδάφους, στην ενίσχυση της συγκράτησης του νερού και στη μείωση της διάβρωσης.

Ο Shinde κ.α. (2019), αναλύουν τον κρίσιμο ρόλο της διατήρησης του εδάφους και τη σημασία του για τη διατήρηση της υγείας του εδάφους και τη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης γεωργικής παραγωγικότητας. Καταγράφουν τις πιο βασικές κατά τη γνώμη τους μεθόδους διατήρησης του εδάφους που στοχεύουν στην πρόληψη της υποβάθμισης του εδάφους και στη βελτίωση της μακροπρόθεσμης παραγωγικότητάς του. Αυτές είναι η γεωργία *περιγράμματος* (μέθοδος οργώματος αυλακιών που ακολουθούν τις καμπύλες του εδάφους και όχι ευθείες πάνω και κάτω πλαγιές) κατά το οποίο οι αγρότες οργώνουν κατά μήκος των φυσικών περιγραμμάτων της γης αντί σε ευθείες γραμμές. Αυτό βοηθά στη μείωση της επιφανειακής απορροής και στην ελαχιστοποίηση της διάβρωσης του εδάφους, ειδικά σε εδάφη με κλίση. Η *καλλιέργεια διατήρησης* γνωστή και ως μειωμένη άρση ή καλλιέργεια χωρίς άρση, η οποία ελαχιστοποιεί τη διαταραχή του εδάφους, διατηρώντας την οργανική ύλη και τη δομή του εδάφους, ενώ μειώνει τη διάβρωση και την απώλεια υγρασίας. Τα *συστήματα αγροδασοπονίας* τα οποία ενισχύουν τη γονιμότητα του εδάφους, σταθεροποιούν τη γη και μειώνουν τη διάβρωση από τον άνεμο και το νερό. Η *εδαφοκάλυψη* κατά την οποία η εφαρμογή οργανικής ή ανόργανης επίστρωσης στην επιφάνεια του εδάφους βοηθά στη διατήρηση της υγρασίας, στην πρόληψη της διάβρωσης και στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του εδάφους.

Ο Castellini κ.α. (2021), εισάγουν το ζήτημα της υποβάθμισης του εδάφους, τονίζοντας την κατάστασή του ως σημαντική περιβαλλοντική ανησυχία. Μέσα από ενδελεχή έρευνα τα βασικά τους ευρήματα είναι ότι οι πρακτικές βιολογικής γεωργίας, όπως η αμειψισπορά, η χρήση οργανικών τροποποιήσεων και η μειωμένη άρση, αυξάνουν τα επίπεδα οργανικού άνθρακα στο έδαφος. Αυτό βελτιώνει τη δομή του εδάφους, ενισχύει την συγκράτηση νερού και ενισχύει τη βιοποικιλότητα. Επίσης, η χρήση οργανικών εισροών (όπως το κομπόστ και η χλωρή λίπανση) υποστηρίζει την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων, ενισχύει τη μικροβιακή δραστηριότητα και συμβάλλει στη διατήρηση της γονιμότητας του εδάφους με την

πάροδο του χρόνου. Ακόμη, αναφέρθηκαν στην υδατοαπωθητικότητα στην οποία οργανικά υλικά όπως το σάπια φύλλα μπορούν να βελτιώσουν τη διείσδυση του νερού, η οποία είναι ιδιαίτερα ευεργετική σε περιοχές που είναι επιρρεπείς στην ξηρασία. Τέλος, επισήμαναν τον αντίκτυπο των ρύπων όπως το αργό πετρέλαιο, τα βαρέα μέταλλα και οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAH) στην υγεία του εδάφους αλλά επικεντρώθηκαν στη χρήση φυτών (φυτοαποκατάσταση) και μικροοργανισμών (βιοαποικοδόμηση) για την απομάκρυνση ή την εξουδετέρωση των ρύπων στο έδαφος, επιδεικνύοντας βιώσιμες τεχνικές για την αποκατάσταση της υγείας του εδάφους.



Εικόνα 5.2.3 Κατάσταση του εδάφους με χρήση συμβατικών μεθόδων καλλιέργειας έναντι τεχνικών διατήρησης.

Πηγή: (<https://eos.com/blog/soil-conservation/>)

Η εικόνα παρουσιάζει με σαφήνεια τις διαφορές μεταξύ ενός εδάφους με φυτική κάλυψη και ενός εδάφους χωρίς αυτήν, όσον αφορά την επίδραση των φυσικών στοιχείων (ήλιος, άνεμος, βροχή) και την υγρασία του εδάφους. Η εικόνα υπογραμμίζει τη σημασία της φυτικής κάλυψης για την υγεία και τη διατήρηση του εδάφους. Η απουσία φυτών οδηγεί σε ξηρότητα, διάβρωση και υποβάθμιση του εδάφους, καθιστώντας το λιγότερο γόνιμο και ικανό να υποστηρίξει τη ζωή.



Εικόνα 5.2.3.1 Γεωργία περιγράμματος

Πηγή: (<https://eos.com/blog/soil-conservation/>).

5.3 Πολιτικές παρεμβάσεις και διεθνείς συνεργασίες

Μία από τις πιο αποτελεσματικές προσεγγίσεις για την ενίσχυση της επισιτιστικής ασφάλειας υπό την κλιματική αλλαγή είναι η ολοκληρωμένη διαχείριση του κλιματικού κινδύνου, όπως αποδεικνύεται από την Πρωτοβουλία R4 Rural Resilience του Παγκόσμιου Επισιτιστικού Προγράμματος (WFP). Αυτό το πρόγραμμα παρέχει στους μικροκαλλιεργητές ένα ολοκληρωμένο πακέτο διαχείρισης κινδύνου. Συγκεκριμένα, οι βελτιωμένες γεωργικές πρακτικές, η διατήρηση των υδάτων και η βιώσιμη διαχείριση της γης συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση των τρωτών σημείων που σχετίζονται με το κλίμα. Επίσης, οι ασφαλιστικοί μηχανισμοί προστατεύουν τους αγρότες από κλιματικές κρίσεις, όπως ξηρασίες ή πλημμύρες, διασφαλίζοντας ότι δεν θα καταλήξουν στη φτώχεια λόγω αποτυχίας των καλλιεργειών. Επιπλέον, η πρόσβαση σε πιστώσεις επιτρέπει στους αγρότες να επενδύουν σε τεχνολογίες που βελτιώνουν την παραγωγικότητα και να διαφοροποιούν τις πηγές εισοδήματος. Ακόμη, οι ομάδες αποταμίευσης και τα δίκτυα χρηματοοικονομικής ασφάλειας παρέχουν οικονομική σταθερότητα κατά τη διάρκεια κρίσεων που σχετίζονται με το κλίμα. Μελέτες πεδίου στην Αιθιοπία, την Κένυα, τη Ζιμπάμπουε, τη Σενεγάλη και το Μαλάουι έχουν δείξει ότι οι αγρότες που συμμετέχουν στα προγράμματα R4 έχουν μεγαλύτερη επισιτιστική ασφάλεια και οικονομική ανθεκτικότητα. Είναι επίσης πιο πιθανό να επενδύσουν σε μακροπρόθεσμες στρατηγικές βιωσιμότητας, διασφαλίζοντας την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή (<https://www.wfp.org/publications/2024-impacts-wfps-integrated-climate-risk-management-approach-farmers-resilience>), (https://docs.wfp.org/api/documents/WFP0000156083/download/?_ga=2.164789311.1095601952.1742248170-1678016901.1742248170).

Μια βασική πρόκληση για την προσαρμογή του κλίματος και την επισιτιστική ασφάλεια είναι ο κατακερματισμός των πολιτικών σε διάφορους τομείς. Ο Chevallier (2023), τονίζει τη σημασία της εναρμόνισης των πολιτικών στον τομέα της γεωργίας, της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και της οικονομικής ανάπτυξης. Επίσης, θεωρεί πολύ σημαντική την ευθυγράμμιση των γεωργικών επιδοτήσεων με έξυπνες για το κλίμα πρακτικές για την αποφυγή των επιβλαβών για το περιβάλλον μεθόδων. Ακόμη, πιστεύει στην ενίσχυση μηχανισμών διακυβέρνησης για την προώθηση της συνεργασίας μεταξύ των Υπουργείων Γεωργίας, Περιβάλλοντος και Εμπορίου. Επιπλέον, εστιάζει στο γεγονός ότι είναι ωφέλιμο να επιτευχθεί η διασφάλιση της πρόσβασης των αγροτών σε καλλιέργειες και τεχνολογίες ανθεκτικές στο κλίμα, ενσωματώνοντας τις κλιματικές εκτιμήσεις στις εθνικές αναπτυξιακές στρατηγικές. Στο τέλος, δίνει παραδείγματα χωρών που έχουν υιοθετήσει τέτοιες στρατηγικές συνοχής πολιτικής, όπως το Βιετνάμ και η Βραζιλία, έχουν επιδείξει βελτιωμένη απόδοση παραγωγής τροφίμων, ενώ μειώνουν την αποψίλωση των δασών και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Chevallier, 2023).

Μια έκθεση πολιτικής του 2024 από το Διεθνές Ινστιτούτο Ερευνών για την Ειρήνη της Στοκχόλμης υπογραμμίζει την αυξανόμενη διασταύρωση μεταξύ της κλιματικής αλλαγής, της επισιτιστικής ανασφάλειας και των συγκρούσεων. Η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει την επισιτιστική ανασφάλεια, οδηγώντας σε συγκρούσεις που βασίζονται στους πόρους. Η έκθεση προτείνει ολοκληρωμένα προγράμματα οικοδόμησης ειρήνης και επισιτιστικής ασφάλειας για τη μείωση του ανταγωνισμού στους πόρους της γης και του νερού, έργα οικοδόμησης ανθεκτικότητας σε περιοχές επιρρεπείς σε συγκρούσεις που αντιμετωπίζουν τόσο τις κλιματικές κρίσεις όσο και την πολιτική αστάθεια και συνεργασία μεταξύ ανθρωπιστικών, αναπτυξιακών και ειρηνικών παραγόντων για την εφαρμογή μακροπρόθεσμων λύσεων αντί για βραχυπρόθεσμη επισιτιστική βοήθεια. Τέλος αναφέρεται ως παράδειγμα την περιοχή του Σαχέλ, στην οποία η ανθεκτική στο κλίμα γεωργία σε συνδυασμό με τις προσπάθειες επίλυσης συγκρούσεων οδήγησε σε μειωμένο εκτοπισμό και βελτιωμένη παραγωγή τροφίμων (Bunse & Delgado, 2024).

Η κλιματική αλλαγή διαταράσσει τις αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων, καθιστώντας το περιφερειακό εμπόριο ουσιαστική στρατηγική για την επισιτιστική ασφάλεια. Η Αφρικανική Ηπειρωτική Συμφωνία Ελεύθερου Εμπορίου (AfCFTA) στοχεύει στη δημιουργία μιας ενοποιημένης αγοράς για τα βασικά τρόφιμα, βελτιώνοντας την πρόσβαση και σταθεροποιώντας τις τιμές στα αφρικανικά έθνη. Με το περιφερειακό εμπόριο, οι χώρες που επηρεάζονται από ακραία καιρικά φαινόμενα μπορούν να βασίζονται σε εισαγωγές από περιοχές ανθεκτικές στο κλίμα, μια ευρύτερη αγορά μειώνει την αστάθεια των τιμών, προς όφελος τόσο των καταναλωτών όσο και των παραγωγών και οι βελτιωμένες εγκαταστάσεις μεταφοράς και αποθήκευσης μειώνουν τη σπατάλη τροφίμων. Για παράδειγμα, η Κοινότητα της Ανατολικής Αφρικής (EAC) έχει ήδη δει αυξημένο εμπόριο σε βασικές καλλιέργειες όπως ο αραβόσιτος και το ρύζι, βοηθώντας τις χώρες να μετριάσουν τις ελλείψεις τροφίμων που σχετίζονται με το κλίμα (Baptista et al., 2022).

6. Τεχνολογικές καινοτομίες

6.1 Τεχνολογικές καινοτομίες και πρόοδοι για την επισιτιστική ασφάλεια

Οι τεχνολογικές καινοτομίες διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην επισιτιστική ασφάλεια. Συγκεκριμένα, θα γίνει αναφορά στις δυνατότητες της τεχνητής νοημοσύνης στην αντιμετώπιση κρίσιμων προκλήσεων που αντιμετωπίζει η σύγχρονη γεωργία, στην κάθετη γεωργία και ηλεκτρογεωργία και στον εξοπλισμό της αυτόνομης γεωργίας.

Ο Liu (2020), υπογραμμίζει αρκετά πιεστικά ζητήματα που αντιμετωπίζει η παγκόσμια γεωργία. Συγκεκριμένα, τα Ηνωμένα Έθνη προβλέπουν ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός θα ξεπεράσει τα 9 δισεκατομμύρια μέχρι το 2050, εντείνοντας τη ζήτηση για παραγωγή τροφίμων, η μείωση της αρόσιμης γης και των φυσικών πόρων απαιτούν πιο αποτελεσματικές γεωργικές πρακτικές, τα απρόβλεπτα κλιματικά πρότυπα ενέχουν σημαντικούς κινδύνους για τις αποδόσεις των καλλιεργειών και την επισιτιστική ασφάλεια και οι εξελισσόμενες προτιμήσεις των καταναλωτών και οι απαιτήσεις της αγοράς απαιτούν προσαρμοστικά και ανθεκτικά γεωργικά συστήματα. Για να αντιμετωπίσει αυτές τις προκλήσεις, ο Liu δίνει έμφαση στην ενσωμάτωση τεχνολογιών τεχνητής νοημοσύνης για τη βελτίωση της παραγωγικότητας, της αποδοτικότητας, της ανθεκτικότητας και της βιωσιμότητας στη γεωργία. Η τεχνητή νοημοσύνη επιτρέπει την ακριβή παρακολούθηση και διαχείριση των καλλιεργειών, βελτιστοποιώντας εισροές όπως νερό, λιπάσματα και φυτοφάρμακα, αυξάνοντας έτσι τις αποδόσεις και μειώνοντας τα απόβλητα. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης αναλύουν τεράστια σύνολα δεδομένων για να προβλέψουν την απόδοση των καλλιεργειών και πιθανά προβλήματα, επιτρέποντας προληπτικές παρεμβάσεις. Η ρομποτική και τα αυτοματοποιημένα συστήματα, που τροφοδοτούνται από τεχνητή νοημοσύνη, μπορούν να εκτελέσουν εργασίες που χρειάζονται περισσότερο ανθρώπινο δυναμικό, όπως φύτευση, συγκομιδή και διαλογή, βελτιώνοντας τη λειτουργική απόδοση.

Η τεχνητή νοημοσύνη έχει μεταμορφώσει σημαντικά τη γεωργία επιτρέποντας τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων και την προγνωστική ανάλυση. Τα εργαλεία που λειτουργούν με τεχνητή νοημοσύνη βοηθούν τους αγρότες να βελτιστοποιήσουν την άρδευση, τη λίπανση και τον έλεγχο των παρασίτων αναλύοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο από μετεωρολογικές προβλέψεις, αισθητήρες εδάφους και δορυφορικές εικόνες. Οι μικροκαλλιεργητές, οι οποίοι παράγουν περίπου το 80% της παγκόσμιας προσφοράς τροφίμων, είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι σε διαταραχές που σχετίζονται με το κλίμα. Εργαλεία με τεχνητή νοημοσύνη, όπως το IBM Watson και το Azure FarmBeats της Microsoft, χρησιμοποιούν μοντέλα μηχανικής μάθησης για να προβλέψουν ξηρασίες, πλημμύρες και επιδημίες παρασίτων, βοηθώντας τους αγρότες να λάβουν προληπτικά μέτρα. Στην Ινδία, οι εφαρμογές τεχνητής νοημοσύνης έχουν παράσχει εξατομικευμένες προβλέψεις καιρού και αγοράς, οδηγώντας σε καλύτερη οικονομική σταθερότητα για τους αγρότες. Αυτά τα εργαλεία βοήθησαν στη μείωση του χρέους και στην αύξηση των αποταμιεύσεων. Παρά τις δυνατότητές του, πολλοί

μικροκαλλιεργητές δεν έχουν πρόσβαση σε λύσεις τεχνητής νοημοσύνης λόγω του υψηλού κόστους της τεχνολογίας και της περιορισμένης ψηφιακής υποδομής (<https://www.reuters.com/sustainability/land-use-biodiversity/comment-how-empowering-smallholder-farmers-with-ai-tools-can-bolster-global-food-2025-01-10/>).

Καθώς η καλλιεργήσιμη γη μειώνεται και η κλιματική αλλαγή διαταράσσει την παραδοσιακή γεωργία, νέα γεωργικά συστήματα όπως η κάθετη γεωργία και η ηλεκτρογεωργία καθίστανται απαραίτητα. Η κάθετη καλλιέργεια είναι μια τεχνική που περιλαμβάνει ανάπτυξη καλλιεργειών σε στοιβαγμένα στρώματα χρησιμοποιώντας υδροπονικά, αεροπονικά ή υδροπονικά συστήματα. Ελέγχοντας περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως το φως, η υγρασία και τα θρεπτικά συστατικά, οι κάθετες φάρμες (οι καλλιέργειες καλλιεργούνται σε πολλά στρώματα) παράγουν τρόφιμα πιο αποτελεσματικά από τις παραδοσιακές φάρμες. Η AeroFarms στις ΗΠΑ χρησιμοποιεί αεροπονική τεχνολογία για την καλλιέργεια λαχανικών σε εσωτερικούς χώρους, μειώνοντας τη χρήση νερού κατά 95% σε σύγκριση με τη συμβατική καλλιέργεια. Μερικά από τα οφέλη της είναι ότι μειώνει δραστικά τη χρήση γης, ελαχιστοποιεί τις εκπομπές από τις μεταφορές επιτρέποντας την αστική παραγωγή τροφίμων και παράγει σοδειές όλο το χρόνο ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες (<https://www.foodandwine.com/electro-agriculture-vertical-farming-8738299>).

Ο Crandall κ.α. (2024), αναφέρουν ότι η συμβατική γεωργία βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στη φωτοσύνθεση, μια διαδικασία με εγγενείς ανεπάρκειες, συλλαμβάνοντας μόνο περίπου το 1% της φωτεινής ενέργειας που απορροφάται από τα φυτά. Αυτή η αναποτελεσματικότητα περιορίζει την πιθανή απόδοση των καλλιεργειών και καθιστά αναγκαία την εκτεταμένη χρήση γης για την κάλυψη των παγκόσμιων απαιτήσεων τροφίμων. Για αυτό το λόγο κρίνουν αναγκαίο να εισαχθεί ένα καινοτόμο γεωργικό πλαίσιο που ονομάζεται ηλεκτρογεωργία. Αυτή η προσέγγιση στοχεύει να βελτιώσει την αποδοτικότητα της παραγωγής τροφίμων ενσωματώνοντας την ηλεκτρόλυση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) με βιολογικά συστήματα, μεταμορφώνοντας δυνητικά τις παραδοσιακές γεωργικές πρακτικές. Η Ηλεκτρογεωργία προτείνει μια εναλλακτική λύση αποσυνδένοντας την παραγωγή τροφίμων από το άμεσο ηλιακό φως. Η διαδικασία περιλαμβάνει τη χρήση ηλιακών συλλεκτών για τη σύλληψη του ηλιακού φωτός, το οποίο στη συνέχεια ενεργοποιεί την ηλεκτρόλυση του CO₂ και του νερού για την παραγωγή οξικού άλατος - ένα μόριο παρόμοιο με το οξικό οξύ. Τα γενετικά τροποποιημένα φυτά μπορούν να χρησιμοποιούν το οξικό οξύ ως πηγή άνθρακα, επιτρέποντας την ανάπτυξη ελλείψει φωτός. Η μέθοδος αυτή ενισχύει την αποτελεσματικότητα της δέσμευσης του άνθρακα, επιτυγχάνοντας απόδοση περίπου 4%, η οποία είναι περίπου τέσσερις φορές υψηλότερη από τη φυσική φωτοσύνθεση. Μερικά από τα πιθανά της οφέλη είναι η μείωση χρήσης γης, δημιουργεί ευέλικτα περιβάλλοντα καλλιέργειας και μέσω της βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης και τη μείωση της ανάγκης για αποψίλωση των δασών, προσφέρει μια βιώσιμη οδό για τον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και την προώθηση της βιοποικιλότητας. Συνδυάζοντας την κάθετη γεωργία και την ηλεκτρογεωργία, θα μπορούσαμε να παράγουμε τρόφιμα αποτελεσματικά σε αστικές περιοχές, μειώνοντας την ευπάθεια

στις ελλείψεις τροφίμων που προκαλούνται από το κλίμα. Η ηλεκτρογεωργία είναι πολλά υποσχόμενη θεωρητικά, αλλά βρίσκεται ακόμη σε πρώιμα ερευνητικά στάδια και δεν μπορεί να είναι στην παρούσα φάση οικονομικά αποδοτική λόγω του υψηλού κόστους κεφαλαίου και ενέργειας.

Για να αντιμετωπίσουν τις ελλείψεις εργατικού δυναμικού και να ενισχύσουν τη βιωσιμότητα, οι εταιρείες έχουν αναπτύξει αυτόνομο γεωργικό εξοπλισμό. Ο Deere παρουσίασε έναν στόλο αυτόνομων μηχανημάτων ικανών να ψεκάζουν αποτελεσματικά φυτοφάρμακα και λιπάσματα, ουσιαστικά χρησιμοποιούν τεχνητή νοημοσύνη και μηχανική όραση για να φυτεύουν, να γονιμοποιούν και να συγκομίζουν καλλιέργειες χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση. Η Kubota Tractor Corporation εισήγαγε τεχνολογία AI που ανιχνεύει ασθένειες και παράσιτα των καλλιεργειών, επιτρέποντας ακριβείς χημικές εφαρμογές. Αυτές οι τεχνολογίες μειώνουν τη χρήση χημικών, βελτιστοποιούν τη χρήση της γης και υποστηρίζουν τους αγρότες που αντιμετωπίζουν απρόβλεπτες καιρικές και περιβαλλοντικές πιέσεις (<https://apnews.com/article/ces-agriculture-climate-tech-las-vegas-e1d7bc812bb20951dac7976f6b3527ad>).

Ο Eckstein κ.α. (2019), χρησιμοποίησαν μια προσέγγιση μελέτης περίπτωσης, εστιάζοντας στο DOT™, ένα αυτόνομο ρομπότ πεδίου που αναπτύχθηκε από μια μικρή έως μεσαία επιχείρηση στο Σασκάτσουαν του Καναδά. Στόχος ήταν να διερευνήσουν τον τρόπο με τον οποίο αναπτύσσονται και υιοθετούνται καινοτομίες έξυπνης γεωργίας, ιδιαίτερα αυτόνομος εξοπλισμός όπως το DOT™, σε ευρέως γεωργικά συστήματα. Η διαδικασία καινοτομίας για το DOT™ περιλάμβανε συνδυασμό σιωπηρής γνώσης (κατανόηση της γεωργίας και των αγροτικών επιχειρήσεων με βάση την εμπειρία) με κωδικοποιημένη γνώση (προγραμματισμός ηλεκτρονικών υπολογιστών και ρομποτική). Αυτή η σύνθεση επέτρεψε την ανάπτυξη μιας τεχνολογίας προσαρμοσμένης για την αντιμετώπιση συγκεκριμένων γεωργικών προκλήσεων, όπως οι ελλείψεις εργατικού δυναμικού και η ανάγκη για ακρίβεια στις γεωργικές εργασίες. Επίσης, επισημαίνουν ότι νέα επιχειρηματικά μοντέλα εμφανίζονται για να διευκολύνουν την εμπορευματοποίηση γεωργικού εξοπλισμού υψηλής τεχνολογίας. Οι συμφωνίες αδειοδότησης επιτρέπουν σε άλλους κατασκευαστές να ενσωματώνουν αυτόνομες λειτουργίες στα προϊόντα τους, επιταχύνοντας τη διάδοση των τεχνολογιών έξυπνης γεωργίας. Τέλος, υπογραμμίζουν ανεπίλυτα ζητήματα που αφορούν την ιδιοκτησία και τον έλεγχο δεδομένων στην έξυπνη γεωργία. Καθώς ο αυτόνομος εξοπλισμός παράγει τεράστιο όγκο δεδομένων, προκύπτουν ερωτήματα σχετικά με το ποιος κατέχει αυτά τα δεδομένα, πώς μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ποιες πολιτικές απαιτούνται για την προστασία των συμφερόντων των ενδιαφερομένων.

Μια πολύ πρόσφατη εξέλιξη στις τεχνολογίες αυτόνομης γεωργίας είναι τον Φεβρουάριο του 2025, όταν η SwarmFarm Robotics άνοιξε έναν νέο κόμβο παραγωγής στο Darling Downs, Queensland, στην Αυστραλία, για την κατασκευή αυτόνομων ρομπότ αγροκτημάτων. Αυτά τα ρομπότ έχουν σχεδιαστεί για διάφορες γεωργικές εργασίες, όπως ο ψεκασμός λιπασμάτων, η εξάλειψη των ζιζανίων και η

άρωση του εδάφους. Η εγκατάσταση στοχεύει να υποστηρίξει ένα αναπτυσσόμενο δίκτυο ρομπότ που λειτουργεί ήδη στην ευρεία γεωργία και στους οπωρώνες της Αυστραλίας (<https://www.qic.com/News-and-Insights/SwarmFarm-builds-future-of-farming-from-new-Darling-Downs-manufacturing-hub>).

6.2 Ανθεκτικές στην ξηρασία ποικιλίες καλλιεργειών

Οι ανθεκτικές στην ξηρασία ποικιλίες καλλιεργειών αποτέλεσαν το επίκεντρο της γεωργικής έρευνας με στόχο την ενίσχυση της επισιτιστικής ασφάλειας εν μέσω κλιμάκωσης των κλιματικών προκλήσεων. Οι εξελίξεις στη γενετική μηχανική, την παραδοσιακή αναπαραγωγή και τις βιοτεχνολογικές παρεμβάσεις έχουν αποφέρει πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα στην ανάπτυξη καλλιεργειών που μπορούν να αντέξουν τη λειψυδρία.

Μια αξιοσημείωτη εξέλιξη είναι η δημιουργία του σίτου HB4®, μιας διαγονιδιακής ποικιλίας που ενσωματώνει το γονίδιο του ηλιάνθου Hahb-4. Το σιτάρι HB4® αναπτύχθηκε στην Αργεντινή το 2019. Αυτό το γονίδιο ενισχύει την ανοχή στην ξηρασία διαμορφώνοντας μονοπάτια που ανταποκρίνονται στο στρες. Αυτή η γενετική τροποποίηση επιτρέπει στο σιτάρι να αντέχει καλύτερα σε περιβάλλοντα με έλλειψη νερού, οδηγώντας δυνητικά σε πιο σταθερές αποδόσεις σε συνθήκες ξηρασίας. Από την ανάπτυξή του, το σιτάρι HB4® έχει λάβει εγκρίσεις για εμπορία και κατανάλωση ως τρόφιμο και ζωοτροφή σε τουλάχιστον δέκα χώρες. Συγκεκριμένα, η Αργεντινή και η Βραζιλία έχουν εγκρίνει την εμπορική καλλιέργειά της, σηματοδοτώντας σημαντικά ορόσημα στην αποδοχή γενετικά τροποποιημένων καλλιεργειών στη Νότια Αμερική. Τα προϊόντα που προέρχονται από αυτόν τον γενετικά τροποποιημένο σίτο είναι εξίσου ασφαλή με εκείνα από συμβατικές μη γενετικά τροποποιημένες ποικιλίες σίτου. Οι δοκιμές πεδίου στην Αργεντινή έδειξαν ότι η τεχνολογία HB4® μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση 10-20% στην παραγωγή σιταριού και σόγιας υπό συνθήκες υδατικής καταπόνησης. Αυτή η βελτίωση είναι σημαντική για τις περιοχές που είναι επιρρεπείς στην ξηρασία, προσφέροντας μια βιώσιμη λύση για τη βελτίωση των αποδόσεων των καλλιεργειών και τη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας (Gupta, 2024).



Εικόνα 6.2 Ποικιλία σιταριού HB4® .

Πηγή:(<https://eng.ruralvoice.in/international/drought-resistant-hb4-wheat-being-planted-on-limited-basis-in-brazil-and-argentina.html>).

Η συμβατική αναπαραγωγή, που υποστηρίζεται από τράπεζες σπόρων, έχει διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση και την επανεισαγωγή των ανθεκτικών στην ξηρασία χαρακτηριστικών. Η εθνική τράπεζα γονιδίων της Κένυας, για παράδειγμα, φιλοξενεί περίπου 50.000 παραδοσιακές συλλογές σπόρων και καλλιεργειών. Οι συνεργασίες με προγράμματα όπως το Crop Trust's Seeds for Resilience οδήγησαν στην εισαγωγή σχεδόν 300 ποικιλιών καλλιεργειών σε περισσότερους από 1.300 Αφρικανούς αγρότες, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα και τα διατροφικά αποτελέσματα (<https://www.theguardian.com/global-development/2024/oct/31/kenya-national-gene-bank-farmers-indigenous-crops-seeds-food-insecurity>).

Στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι ερευνητές αναπτύσσουν μικρότερες ποικιλίες καλαμποκιού ικανές να αντέχουν ανέμους έως και 50 mph και να χρησιμοποιούν λιγότερο νερό, αντιμετωπίζοντας ανησυχίες τόσο για την ανεμοθύελλα όσο και για την ξηρασία. Αυτές οι ποικιλίες επιτρέπουν επίσης υψηλότερη πυκνότητα φύτευσης, αυξάνοντας ενδεχομένως τις αποδόσεις (<https://apnews.com/article/short-corn-midwest-climate-change-b5e580aee90ec4cbbabf7b8f6e9e62ea>).

Ως απάντηση στις προκλήσεις που προκαλούνται από το κλίμα, οι επιστήμονες έχουν αναπτύξει ποικιλίες καλλιεργειών με ενισχυμένη ανθεκτικότητα. Στην Ινδία, οργανισμοί γεωργικής έρευνας κατασκευάζουν νέα στελέχη ρυζιού που απαιτούν λιγότερο νερό και παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή στις ασθένειες. Η ινδική κυβέρνηση έχει κυκλοφορήσει 109 ανθεκτικές στο κλίμα ποικιλίες σπόρων, με στόχο να σπείρουν τουλάχιστον το 25% των εκτάσεων ορυζώνα με αυτούς τους σπόρους στις επόμενες περιόδους (<https://apnews.com/article/climate-change-resilient-seeds-agriculture-india-drought-rains-587cf822c3000072584ba58562d2a321>).

6.3 Κλιματικά έξυπνες τεχνικές καλλιέργειας

Η κλιματική έξυπνη γεωργία περιλαμβάνει μια σειρά από τεχνικές καλλιέργειας που έχουν σχεδιαστεί για να αυξάνουν βιώσιμα την παραγωγικότητα, να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή και να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Μερικές αρκετά αποτελεσματικές τεχνικές καλλιέργειας είναι η εφαρμογή βιοάνθρακα, οι παραδοσιακές τεχνικές συγκομιδής νερού και οι ψηφιακές συμβουλευτικές υπηρεσίες.

Ο βιοάνθρακας που παράγεται μέσω της πυρόλυσης της βιομάζας, έχει αναγνωριστεί ως πολύτιμη τροποποίηση του εδάφους στην κλιματικά έξυπνη γεωργία. Η εφαρμογή του μπορεί να αυξήσει το pH του εδάφους, την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων και την κατακράτηση νερού, ενισχύοντας έτσι τις αποδόσεις των καλλιεργειών. Μια παγκόσμια ανάλυση αποκάλυψε ότι η εφαρμογή βιοαπανθράκων αύξησε την παραγωγικότητα των καλλιεργειών κατά 10% σε σύγκριση με τους γονιμοποιημένους ελέγχους και 186% σε σύγκριση με τους μη γονιμοποιημένους ελέγχους. Επιπλέον, η εφαρμογή βιοαπανθράκων έχει συσχετιστεί με σημαντικές μειώσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, συμβάλλοντας στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής (Kabato et al., 2025).

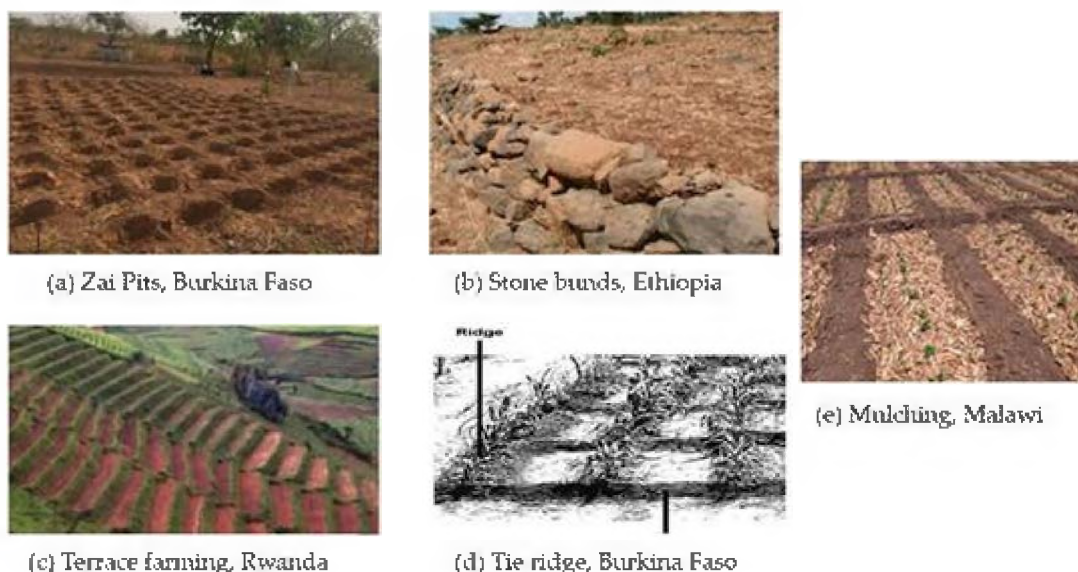


Εικόνα 6.3 Λειτουργίες της τροποποίησης βιοάνθρακα χαμηλού κόστους στο αγροπεριβάλλον. Πηγή: (Das et al., 2023).

Αυτή η εικόνα παρουσιάζει τις πολλαπλές λειτουργίες της τροποποίησης του εδάφους με χαμηλού κόστους βιοάνθρακα στο αγροτικό περιβάλλον. Κεντρικά, βλέπουμε μια φωτογραφία που απεικονίζει την εφαρμογή βιοάνθρακα στο έδαφος σε αγροτική

έκταση. Τα οφέλη που αναφέρονται είναι: *Βελτίωση της φυσικής υγείας του εδάφους*. Ο βιοάνθρακας μπορεί να βελτιώσει τη δομή του εδάφους, τον αερισμό και την ικανότητα συγκράτησης νερού. *Διεύθυνση της οξύτητας του εδάφους*. Ορισμένοι τύποι βιοάνθρακα μπορούν να βοηθήσουν στην εξουδετέρωση της οξύτητας του εδάφους. *Αύξηση της διαθεσιμότητας νερού*. Λόγω της πορώδους δομής του, ο βιοάνθρακας μπορεί να συγκρατεί περισσότερο νερό, κάνοντάς το πιο διαθέσιμο για τα φυτά. *Επιρροή στις φυσιολογικές παραμέτρους των φυτών*. Η βελτίωση των ιδιοτήτων του εδάφους μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη ανάπτυξη και φυσιολογία των φυτών. *Βελτίωση των χημικών ιδιοτήτων του εδάφους*. Ο βιοάνθρακας μπορεί να αυξήσει την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων του εδάφους και να επηρεάσει τη διαθεσιμότητα θρεπτικών στοιχείων. *Δέσμευση άνθρακα στο έδαφος*. Ο βιοάνθρακας είναι μια σταθερή μορφή άνθρακα και η εφαρμογή του στο έδαφος μπορεί να συμβάλει στη δέσμευση ατμοσφαιρικού CO₂. *Διατήρηση και συγκράτηση θρεπτικών στοιχείων*. Ο βιοάνθρακας μπορεί να μειώσει την έκπλυση θρεπτικών στοιχείων, καθιστώντας τα πιο διαθέσιμα για τα φυτά για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. *Αύξηση της ορυκτοποίησης μικροθρεπτικών στοιχείων του εδάφους*. Ο βιοάνθρακας μπορεί να επηρεάσει τη μικροβιακή δραστηριότητα του εδάφους, η οποία παίζει ρόλο στην απελευθέρωση μικροθρεπτικών στοιχείων. *Αποκατάσταση της ποιότητας και της γονιμότητας του εδάφους*. Συνολικά, οι παραπάνω λειτουργίες συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας και της γονιμότητας του εδάφους. *Αύξηση της απόδοσης και της παραγωγικότητας των καλλιεργειών*. Ως αποτέλεσμα των βελτιωμένων ιδιοτήτων του εδάφους και της καλύτερης θρέψης των φυτών, αναμένεται αύξηση της αγροτικής παραγωγής.

Σε περιοχές όπως η Υποσαχάρια Αφρική, έχουν χρησιμοποιηθεί παραδοσιακές μέθοδοι συλλογής νερού, όπως το Zai και οι λάκκοι του μισού φεγγαριού για τη διατήρηση της υγρασίας του εδάφους και τη βελτίωση της διαθεσιμότητας θρεπτικών ουσιών. Στην περίπτωση των λάκκων Zai, χρησιμοποιείται ένας λάκκος διαμέτρου περίπου 20–40 cm και βάθους 10–15 cm, ενώ η μέθοδος του μισού φεγγαριού περιλαμβάνει ένα ημικυκλικό λάκκο με διάμετρο περίπου 2 m. Αυτές οι τεχνικές περιλαμβάνουν το σκάψιμο λάκκων για τη συλλογή του νερού της βροχής, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την καλλιέργεια των καλλιεργειών. Τέτοιες πρακτικές έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικές στη βελτίωση της διατήρησης της υγρασίας του εδάφους και των αποδόσεων των καλλιεργειών, προσφέροντας βιώσιμες λύσεις για περιβάλλοντα με λειψυδρία (Danquah et al., 2025).



Εικόνα 6.3.1 Παραδοσιακές πρακτικές συλλογής νερού σε περιοχές της Υποσαχάριας Αφρικής.
 Πηγή: (Tefera et al., 2024)

Αυτή η εικόνα παρουσιάζει μια σειρά από παραδοσιακές και επιτόπιες πρακτικές συλλογής νερού που χρησιμοποιούνται στην Υποσαχάρια Αφρική, με στόχο την ενίσχυση της γεωργικής βιωσιμότητας σε περιοχές που συχνά αντιμετωπίζουν προβλήματα ξηρασίας και διάβρωσης του εδάφους. Η εικόνα α δείχνει μια έκταση γης με πολλές μικρές κοιλότητες, γνωστές ως "λάκκοι ζάι". Αυτή η τεχνική περιλαμβάνει τη δημιουργία μικρών λάκκων στο ξηρό έδαφος κατά την ξηρή περίοδο. Πριν από την περίοδο των βροχών, οι λάκκοι αυτοί γεμίζουν με οργανική ύλη, όπως κοπριά ή υπολείμματα καλλιεργειών. Κατά τη διάρκεια των βροχών, οι λάκκοι συγκρατούν το νερό και τα θρεπτικά συστατικά κοντά στις ρίζες των φυτών, βελτιώνοντας την διείσδυση του νερού στο έδαφος και μειώνοντας την επιφανειακή απορροή. Η εικόνα b απεικονίζει σειρές από πέτρες τοποθετημένες κατά μήκος των περιγραμμάτων του εδάφους. Αυτές οι "πετροπαγίδες" ή "αναχώματα από πέτρες" έχουν σχεδιαστεί για να επιβραδύνουν τη ροή του νερού της βροχής, επιτρέποντας του να διεισδύσει περισσότερο στο έδαφος. Παράλληλα, συγκρατούν το επιφανειακό χώμα, μειώνοντας τη διάβρωση και δημιουργώντας μικρο-λεκάνες όπου συγκεντρώνεται νερό και θρεπτικά συστατικά, ωφελώντας την ανάπτυξη των φυτών. Η αεροφωτογραφία της εικόνας c απεικονίζει αναβαθμίδες ή "πεζούλια" σκαλισμένα στις πλαγιές ενός λόφου. Η δημιουργία αναβαθμίδων είναι μια κλασική τεχνική για τη διαχείριση του νερού και του εδάφους σε λοφώδεις ή ορεινές περιοχές. Οι επίπεδες επιφάνειες των αναβαθμίδων μειώνουν την κλίση του εδάφους, επιβραδύνοντας την επιφανειακή απορροή και την διάβρωση. Επιτρέπουν επίσης την πιο ομοιόμορφη κατανομή του νερού και τη διευκόλυνση της καλλιέργειας σε περιοχές με περιορισμένο επίπεδο έδαφος. Η σχηματική απεικόνιση της εικόνας d δείχνει τη δημιουργία "συνδεδεμένων αναχωμάτων". Πρόκειται για αναχώματα χώματος που δημιουργούνται κατά μήκος των σειρών των καλλιεργειών, με τακτικές διακοπές που συνδέονται μεταξύ τους. Αυτές οι συνδέσεις δημιουργούν μικρές λεκάνες παγίδευσης νερού κατά μήκος των σειρών, αυξάνοντας τη διείσδυση του νερού στο έδαφος και μειώνοντας την απώλεια

νερού μέσω της επιφανειακής απορροής. Είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για τη διατήρηση της υγρασίας του εδάφους, ιδιαίτερα σε περιοχές με χαμηλές και ακανόνιστες βροχοπτώσεις. Η εικόνα e δείχνει την εφαρμογή "εδαφοκάλυψης". Αυτή η πρακτική περιλαμβάνει την κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους γύρω από τα φυτά με οργανικό υλικό, όπως άχυρο, φύλλα ή άλλα φυτικά υπολείμματα. Το στρώμα εδαφοκάλυψης βοηθά στη μείωση της εξάτμισης του νερού από το έδαφος, στη συγκράτηση της υγρασίας, στην καταστολή της ανάπτυξης ζιζανίων και στη βελτίωση της δομής του εδάφους καθώς το οργανικό υλικό αποσυντίθεται.

Η υιοθέτηση ψηφιακών συμβουλευτικών υπηρεσιών έχει συνδεθεί με την αυξημένη υιοθέτηση τεχνολογιών για κλιματικά έξυπνη από τους αγρότες. Μια μελέτη στην Γκάνα διαπίστωσε ότι η χρήση των ψηφιακών συμβουλευτικών υπηρεσιών αύξησε σημαντικά τις πιθανότητες υιοθέτησης πρακτικών όπως φύτευση σε σειρά, μηδενικό όργωμα και σπόροι ανθεκτικοί στην ξηρασία κατά 12,4%, 4,2% και 4,6%, αντίστοιχα. Αυτό υπογραμμίζει τον ρόλο των ψηφιακών πλατφορμών στη διάδοση έξυπνων πρακτικών για το κλίμα και στην υποστήριξη της τεκμηριωμένης λήψης αποφάσεων μεταξύ των αγροτών (Asante et al., 2024).

6.4 Γεωργία ακριβείας



Εικόνα 6.4 Εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας.

Πηγή: (<https://agrierp.com/blog/precision-agriculture/>).

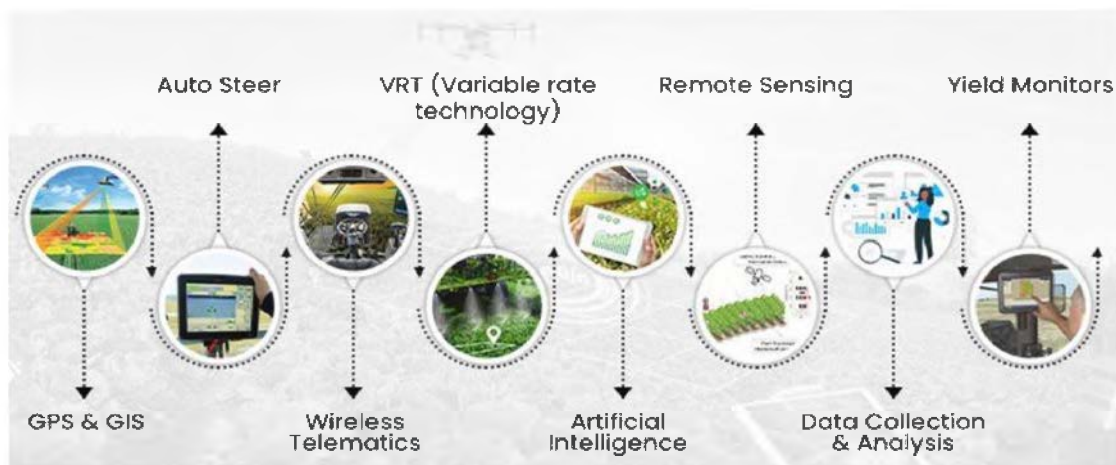
Η γεωργία ακριβείας έχει σημειώσει σημαντικές προόδους με γνώμονα την ενσωμάτωση έξυπνων αισθητήρων, τεχνητής νοημοσύνης, μηχανικής μάθησης και Internet of Things. Αυτές οι τεχνολογίες στοχεύουν συλλογικά στην ενίσχυση της γεωργικής αποδοτικότητας, της παραγωγικότητας και της βιωσιμότητας.

Η ανάπτυξη έξυπνων αισθητήρων στη γεωργία επέτρεψε την παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο διαφόρων παραμέτρων όπως η υγρασία του εδάφους, τα επίπεδα θρεπτικών ουσιών και η υγεία των καλλιεργειών. Όταν ενσωματώνονται σε δίκτυα, Internet of Things αυτοί οι αισθητήρες διευκολύνουν την απρόσκοπτη συλλογή και μετάδοση δεδομένων, επιτρέποντας την ακριβή διαχείριση των πόρων και την έγκαιρη λήψη αποφάσεων. Αυτή η σύγκλιση τεχνολογιών βελτιστοποιεί εισροές όπως το νερό και τα λιπάσματα, βελτιώνοντας έτσι τις αποδόσεις των καλλιεργειών και προωθώντας βιώσιμες πρακτικές (Soussi et al., 2024).

Η τεχνητή νοημοσύνη και η μηχανική μάθηση ήταν καθοριστικής σημασίας για την ανάλυση των τεράστιων συνόλων δεδομένων που δημιουργούνται από τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας. Οι εφαρμογές περιλαμβάνουν πρόβλεψη απόδοσης καλλιεργειών, ανίχνευση ασθενειών και βελτιστοποίηση των προγραμμάτων άρδευσης. Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης, ιδιαίτερα τα συνελκτικά νευρωνικά δίκτυα, έχουν επιδείξει αξιοσημείωτη επιτυχία σε εργασίες που βασίζονται σε εικόνες, όπως ο εντοπισμός ασθενειών των καλλιεργειών και ζιζανίων. Η ενοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης με άλλες τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας οδηγεί στην ανάπτυξη πιο αυτόνομων και έξυπνων γεωργικών συστημάτων (Adewuyi et al., 2024).

Οι εξελίξεις στις τεχνολογίες τηλεπισκόπησης, συμπεριλαμβανομένων των δορυφορικών εικόνων και των συστημάτων που βασίζονται σε drone, έχουν ενισχύσει την ικανότητα αποτελεσματικής παρακολούθησης μεγάλων γεωργικών εκτάσεων. Σε συνδυασμό με εξελιγμένες αναλύσεις δεδομένων, αυτές οι τεχνολογίες παρέχουν λεπτομερείς πληροφορίες για την υγεία των καλλιεργειών, τις συνθήκες του εδάφους και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Αυτές οι πληροφορίες υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων, οδηγώντας σε βελτιστοποιημένες γεωργικές πρακτικές και αξιοποίηση πόρων (Shukla et al., 2023).

Παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις, εξακολουθούν να υπάρχουν προκλήσεις όπως η διαλειτουργικότητα δεδομένων, το υψηλό κόστος υλοποίησης και η ανάγκη για ισχυρή ανάλυση δεδομένων. Η αντιμετώπιση αυτών των θεμάτων είναι ζωτικής σημασίας για την ευρεία υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας. Η μελλοντική έρευνα στοχεύει στην ανάπτυξη οικονομικών λύσεων για να γίνει η γεωργία ακριβείας προσβάσιμη σε ένα ευρύτερο φάσμα αγροτών (Saini & Yadav, 2025).



Εικόνα 6.4.1 Τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας.

Πηγή: (<https://geopard.tech/blog/what-are-major-components-of-precision-farming/>).

Η εικόνα παρουσιάζει με σαφήνεια την αλληλεπίδραση και την αλληλεξάρτηση των διαφόρων τεχνολογιών που συνθέτουν τη γεωργία ακριβείας. Από την ακριβή πλοήγηση και την στοχευμένη εφαρμογή εισροών, στην απομακρυσμένη παρακολούθηση και την ανάλυση δεδομένων μέσω τεχνητής νοημοσύνης, κάθε συστατικό παίζει έναν κρίσιμο ρόλο στην προσπάθεια για πιο αποδοτική, βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική γεωργία. Η γεωργία ακριβείας δεν είναι απλώς η χρήση μεμονωμένων τεχνολογιών, αλλά η συνδυασμένη εφαρμογή τους για την κατανόηση και τη διαχείριση της μεταβλητότητας στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

6.5 Μελέτες περιπτώσεων

6.5.1 Τεχνολογίες έξυπνης γεωργίας στην Κύπρο

Η Kasimati κ.α. (2024), διερευνούν την εφαρμογή και τον αντίκτυπο των καινοτομιών προσανατολισμένων στη βιωσιμότητα και των τεχνολογιών έξυπνης γεωργίας στις οινοβιομηχανίες της Κύπρου. Η ενσωμάτωση της ψηφιακής επισήμανσης και των έξυπνων λύσεων καλλιέργειας οδήγησε σε σημαντική μείωση της χρήσης φυτοφαρμάκων έως και 75%. Αυτές οι τεχνολογικές παρεμβάσεις οδήγησαν σε κατά μέσο όρο 8% βελτίωση στην αντιληπτή ποιότητα του παραγόμενου κρασιού. Υιοθετώντας ψηφιακά εργαλεία, όπως τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας και συστήματα ολοκληρωμένης διαχείρισης παρασίτων, οι αγρότες μπόρεσαν να στοχεύσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την εφαρμογή φυτοφαρμάκων, διασφαλίζοντας ότι χρησιμοποιούνται μόνο όταν είναι απαραίτητο και σε βέλτιστες ποσότητες. Η χρήση έξυπνων γεωργικών εργαλείων, όπως αισθητήρες για την παρακολούθηση της υγείας του εδάφους, των κλιματικών συνθηκών και της

ανάπτυξης αμπέλου, βοήθησε τους παραγωγούς να βελτιστοποιήσουν το περιβάλλον και τις πρακτικές καλλιέργειας. Αυτές οι τεχνολογίες επέτρεψαν την ακριβή διαχείριση της άρδευσης, της εφαρμογής θρεπτικών ουσιών και του χρόνου συγκομιδής, γεγονός που συνέβαλε στην καλύτερη ποιότητα των σταφυλιών.

Ο Adamides κ.α. (2020), εισάγουν το μοντέλο "Έξυπνης Γεωργίας ως Υπηρεσία" που έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει αγρότες μικρής κλίμακας μειώνοντας το τεχνολογικό επενδυτικό βάρος και προσφέροντας προηγμένες γεωργικές συμβουλές μέσω της ενσωμάτωσης ποικίλων πηγών πληροφοριών. Τα βασικά του στοιχεία είναι η ανάπτυξη αισθητήρων για τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, τις ιδιότητες του εδάφους και την απόδοση των καλλιεργειών (αυτή η συσσώρευση δεδομένων διευκολύνει τη δημιουργία αναλύσεων χρονοσειρών, επιτρέποντας ακριβείς προβλέψεις και προσαρμοσμένες συστάσεις για τους αγρότες), η αξιοποίηση των συλλεχθέντων δεδομένων για την παροχή αξιόπιστων πληροφοριών, βοηθώντας τους αγρότες να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τον προγραμματισμό άρδευσης και την εφαρμογή φυτοφαρμάκων και η εστίαση στην ενίσχυση της αποδοτικότητας των πόρων με τη βελτιστοποίηση της χρήσης του νερού και την ελαχιστοποίηση της εφαρμογής φυτοφαρμάκων, προωθώντας έτσι βιώσιμες γεωργικές πρακτικές. Το μοντέλο εφαρμόστηκε σε μια πιλοτική μελέτη με επίκεντρο την καλλιέργεια πατάτας στην Κύπρο. Τα αποτελέσματα έδειξαν πιθανή μείωση έως και 22% στις συνολικές ανάγκες άρδευσης και σημαντικές βελτιώσεις στην αποδοτικότητα χρήσης φυτοφαρμάκων. Αυτά τα ευρήματα υποδηλώνουν ότι οι τεχνικές έξυπνης γεωργίας μπορούν να οδηγήσουν σε πιο βιώσιμη γεωργική παραγωγή υιοθετώντας ακριβείς και αποδοτικές ως προς τους πόρους προσεγγίσεις, βοηθώντας έτσι τους αγρότες να μειώσουν το οικολογικό τους αποτύπωμα.

Ο Neophytides κ.α. (2024), επικεντρώθηκαν στη βελτιστοποίηση των πρακτικών άρδευσης για βασικές καλλιέργειες όπως εσπεριδοειδή, ελιές και πατάτες μέσω προηγμένων τεχνικών τηλεπισκόπησης για τον υπολογισμό της εξατμισοδιαπνοής (ET), προσδιορίζοντας έτσι τις ακριβείς απαιτήσεις άρδευσης. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η κατανάλωση νερού των τριών καλλιεργειών υπερέβη τη συνολική ετήσια εισροή των ταμιευτήρων της Κύπρου το 2023. Αυτή η απόκλιση υπογραμμίζει την επείγουσα ανάγκη για βελτιωμένες στρατηγικές άρδευσης και πρακτικές διαχείρισης του νερού μεταξύ των αγροτών και των τοπικών αρχών. Η εφαρμογή βελτιστοποιημένης άρδευσης με βάση ακριβείς υπολογισμούς εξατμισοδιαπνοής μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση νερού, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα των γεωργικών πρακτικών σε περιοχές με λειψυδρία.

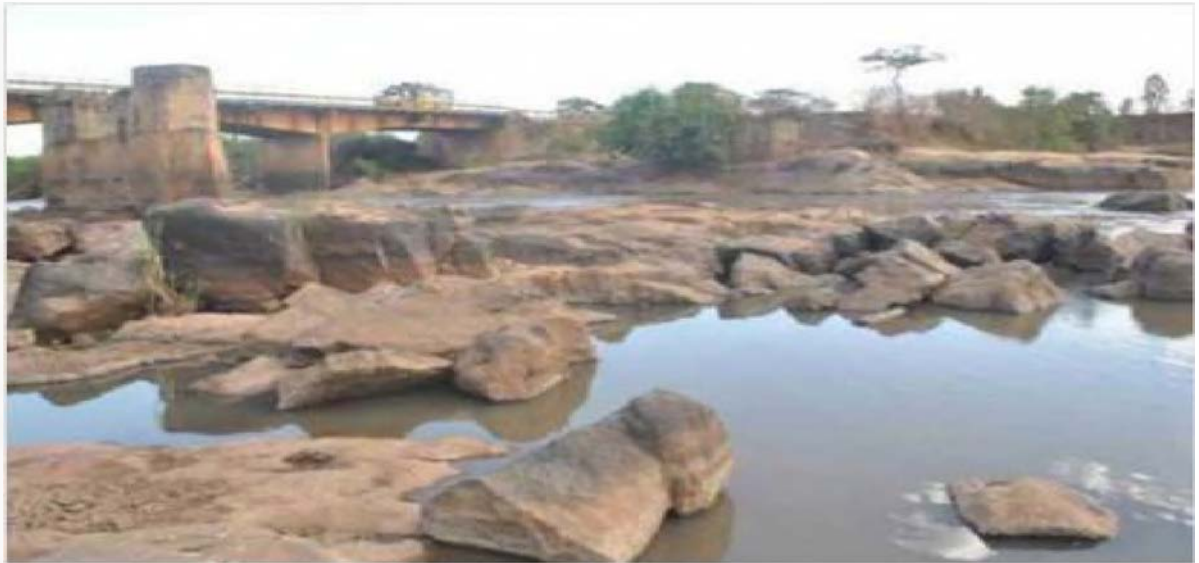
6.5.2 Διαχείριση εδάφους και υδάτων στην Κένυα

Στην κομητεία Makueni της Κένυας, οι μικροκαλλιεργητές αντιμετωπίζουν προκλήσεις λόγω μικρών μεγεθών αγροκτημάτων, αμμωδών εδαφών και συχνών ξηρασιών. Πειράματα στο αγρόκτημα έδειξαν ότι καινοτόμες τεχνολογίες διαχείρισης εδάφους και νερού, όπως η εγκατάσταση μεμβρανών Τεχνολογίας Κατακράτησης Υπόγειου Νερού (SWRT), οδήγησαν σε σημαντικές αυξήσεις στις αποδόσεις των καλλιεργειών (50% για το μπιζέλι και 158% για την απόδοση σε κόκκους αραβοσίτου). Παρά το υψηλό αρχικό κόστος εργασίας και επένδυσης, η δυνατότητα για αυξημένες αποδόσεις υποδηλώνει ότι τέτοιες τεχνολογίες μπορούν να ενισχύσουν την παραγωγή τροφίμων σε ημίξηρες περιοχές. Η πρόσβαση σε υπηρεσίες χρηματοδότησης και επέκτασης είναι ζωτικής σημασίας για την υποστήριξη της υιοθέτησης αυτών των τεχνολογιών (Nkurunziza et al., 2022).

Ο Rotich κ.α. (2022), επισημαίνουν τις πρακτικές διατήρησης του εδάφους και του νερού στην Κένυα. Κατασκευή κλιμακωτών επιπέδων σε πλαγιές για μείωση της απορροής και της διάβρωσης του εδάφους. Φύτευση κατά μήκος των φυσικών περιγραμμάτων της γης για την ελαχιστοποίηση της απώλειας εδάφους. Κάλυψη του εδάφους με οργανικά υλικά για τη συγκράτηση της υγρασίας και την πρόληψη της διάβρωσης. Φύτευση συγκεκριμένων καλλιεργειών για την προστασία του εδάφους μεταξύ των κύριων κύκλων καλλιέργειας. Ενσωμάτωση δέντρων και θάμνων σε γεωργικά συστήματα για τη βελτίωση της σταθερότητας του εδάφους. Μείωση της συχνότητας άρωσης για διατήρηση της δομής του εδάφους και μείωση της διάβρωσης. Καλλιέργεια δύο ή περισσότερων καλλιεργειών σε γειτνίαση για τη βελτίωση της κάλυψης του εδάφους και τη μείωση της διάβρωσης. Κανάλια σχεδιασμένα να εκτρέπουν την υπερβολική επιφανειακή απορροή μακριά από τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Κατασκευές που στοχεύουν στη δέσμευση της απορροής και στην ενίσχυση της διείσδυσης νερού στο έδαφος.

Ο Mwadalu κ.α. (2023), ανέλυσαν διάφορες τεχνολογίες διατήρησης του εδάφους και του νερού με στόχο την ενίσχυση της παραγωγικότητας και της βιωσιμότητας σε άνυδρες και ημίξηρες περιοχές της Κένυας. Η δέσμευση και η αποθήκευση του βρόχινου νερού για γεωργική χρήση μπορεί να μετριάσει τη λειψυδρία. Οι τεχνικές περιλαμβάνουν συστήματα συλλογής τaráτσας και συλλογή επιφανειακής απορροής, τα οποία παρέχουν συμπληρωματική άρδευση κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων. Η κατασκευή αναβαθμίδων σε πλαγιές μειώνει τη διάβρωση του εδάφους επιβραδύνοντας την απορροή του νερού, επιτρέποντας περισσότερη διείσδυση νερού και διατηρώντας τη γονιμότητα του εδάφους. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε λοφώδεις ξηρές περιοχές. Η ενσωμάτωση των δέντρων με καλλιέργειες και ζώα προσφέρει πολλαπλά οφέλη, όπως βελτιωμένη δομή του εδάφους, ενισχυμένος κύκλος θρεπτικών συστατικών και αυξημένη βιοποικιλότητα. Τα δέντρα λειτουργούν ως ανεμοφράκτες, μειώνοντας την αιολική διάβρωση και διατηρώντας την υγρασία του εδάφους. Η εφαρμογή οργανικών ή ανόργανων υλικών στην επιφάνεια του εδάφους διατηρεί την υγρασία, καταστέλλει τα ζιζάνια και ρυθμίζει τη θερμοκρασία του εδάφους. Το επίστρωμα είναι μια απλή

αλλά αποτελεσματική τεχνική για την ενίσχυση της διατήρησης της υγρασίας του εδάφους σε ξηρές εκτάσεις. Η ενσωμάτωση υλικών όπως βιοκάρβουνο, κομπόστ ή κοπριά βελτιώνει τη δομή του εδάφους, τη γονιμότητα και την ικανότητα συγκράτησης νερού, οδηγώντας σε καλύτερες αποδόσεις των καλλιεργειών σε ξηρές συνθήκες.



Εικόνα 6.5.2 Τμήμα του ποταμού Νζοιά όπου τα επίπεδα του νερού έχουν μειωθεί λόγω της παρατεταμένης περιόδου ξηρασίας.

Πηγή: (Karuku,2018)



Εικόνα 6.5.2.1 Επιπτώσεις της διάβρωσης στη λίμνη Ol Bolcassat.

Πηγή: (Karuku,2018).

6.5.3 Αγροοικολογικές πρακτικές στη Βραζιλία

Μεταξύ του 2006 και του 2017, η Βραζιλία παρουσίασε αύξηση 84,9% στην έκταση με συστήματα χωρίς άροση (NT) για ετήσιες καλλιέργειες, η οποία επεκτάθηκε από 17,9 εκατομμύρια εκτάρια σε 33,0 εκατομμύρια εκτάρια. Αυτή η ανάπτυξη παρατηρήθηκε σε όλες τις μεγάλες περιφέρειες, με τον αριθμό των εκμεταλλεύσεων που υιοθέτησαν συστήματα χωρίς άροση να αυξάνεται κατά 9,2%, από 507.000 σε πάνω από 553.000. Η υιοθέτηση συστημάτων χωρίς άροση ήταν καθοριστική για την ενίσχυση της παραγωγικότητας, των οικονομικών κερδών και των περιβαλλοντικών οφελών, υποστηριζόμενη από δημόσιες ερευνητικές επενδύσεις, κρατική χρηματοδότηση και συμπράξεις δημόσιου-ιδιωτικού τομέα (Llanillo et al., 2021).



Εικόνα 6.5.3 Χωράφι με καλαμπόκι με εφαρμογή συστήματος χωρίς άροση.

Πηγή: (<https://eos.com/blog/no-till-farming/>)

Αυτή η εικόνα απεικονίζει ένα χωράφι με καλαμπόκι. Αυτό που κάνει την εικόνα ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα είναι η εμφανής παρουσία υπολειμμάτων της προηγούμενης καλλιέργειας ανάμεσα στις σειρές των νέων φυτών. Αυτό το στοιχείο υποδηλώνει την εφαρμογή πρακτικών χωρίς άροση καλλιέργειας (no-till farming). Στη χωρίς άροση καλλιέργεια, το έδαφος δεν οργώνεται πριν από τη σπορά, αφήνοντας τα υπολείμματα της προηγούμενης συγκομιδής στην επιφάνεια.

Ο James κ.α. (2023), πραγματοποίησαν μία αξιολόγηση των αγροοικολογικών πρακτικών σε δήμους της Βραζιλίας η οποία αποκάλυψε σημαντική χωρική μεταβλητότητα. Ορισμένοι δήμοι, που ονομάζονται "φωτεινά σημεία", εμφάνισαν υψηλότερα επίπεδα αγροοικολογικών πρακτικών σε σύγκριση με τους μέσους όρους της πολιτείας τους. Αυτά τα φωτεινά σημεία αντιστοιχούσαν συχνά σε περιοχές με ενεργά δίκτυα αγροτών, πρόσβαση σε υποστηρικτικές δημόσιες πολιτικές, εγγύτητα στις αστικές αγορές και διατήρηση των παραδοσιακών γεωργικών πρακτικών. Αυτό

υποδηλώνει ότι η θεσμική υποστήριξη και η επένδυση σε αυτούς τους παράγοντες μπορούν να διευκολύνουν τις αγροοικολογικές μεταβάσεις .

Στην οικογενειακή γεωργία της Βραζιλίας, η υιοθέτηση τεχνολογιών διατήρησης του εδάφους επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η πρόσβαση σε τεχνική βοήθεια, οι πιστωτικές διευκολύνσεις, η συμμετοχή σε συλλογικούς οργανισμούς, η διαθεσιμότητα νερού, η κατοχή μηχανημάτων και το επίπεδο εκπαίδευσης των αγροτών. Η υιοθέτηση τέτοιων τεχνολογιών έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει την Ακαθάριστη Αξία Παραγωγής (GPV) των οικογενειακών αγροτών, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για δημόσιες πολιτικές που υποστηρίζουν τους συνεταιρισμούς, την τεχνική κατάρτιση και την πρόσβαση στους απαραίτητους πόρους (Procópio, 2024).

Στη νότια Βραζιλία, τα παραδοσιακά συστήματα αγροδασοπονίας, όπως *ta caívas* και *ta faxinaís*, αποτελούν αναπόσπαστο μέρος των τοπικών γεωργικών πρακτικών. *Ta Caíva* περιλαμβάνουν βοσκή γαλακτοπαραγωγών βοοειδών σε δασικές περιοχές, συχνά σε συνδυασμό με την παραγωγή του φυτού *erva-mate* (επιστημονικά *Ilex paraguariensis*), ενώ *ta faxinaís* είναι κοινοτικές εκτάσεις που χρησιμοποιούνται για κτηνοτροφία και ποικίλες καλλιέργειες καλλιεργειών. Αυτά τα συστήματα υποστηρίζουν τη βιοποικιλότητα και διατηρούν την πολιτιστική κληρονομιά. Ωστόσο, προκλήσεις όπως η χαμηλή παραγωγικότητα των βοσκοτόπων και η υποβάθμιση του περιβάλλοντος έχουν δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα και χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής (Lacerda et al., 2020).

7. Συμπεράσματα

Η κλιματική αλλαγή έχει σοβαρές επιπτώσεις στην αγροτική παραγωγικότητα παγκοσμίως, με κύριες αιτίες τα ακραία καιρικά φαινόμενα, τις μεταβολές θερμοκρασίας και τα νέα μοτίβα βροχοπτώσεων. Οι επιπτώσεις αυτές δεν είναι ομοιόμορφες, καθώς ορισμένες περιοχές πλήττονται περισσότερο από άλλες, οδηγώντας σε σημαντικές διαταραχές στη γεωργία και στην επισιτιστική επάρκεια. Η μεταβολή του κλίματος επηρεάζει την απόδοση των καλλιεργειών, προκαλώντας διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητα των τροφίμων. Ορισμένες περιοχές εμφανίζουν μειωμένη παραγωγή βασικών καλλιεργειών, ενώ άλλες μπορεί να επωφεληθούν από ευνοϊκότερες συνθήκες. Συνολικά, παρατηρείται αύξηση της αβεβαιότητας και των ανισοτήτων στην κατανομή των τροφίμων. Η υποβάθμιση της διατροφικής ποιότητας αποτελεί μια κρίσιμη συνέπεια της κλιματικής αλλαγής, καθώς οι αλλαγές στις συνθήκες καλλιέργειας επηρεάζουν τη θρεπτική αξία των τροφίμων. Ταυτόχρονα, η μείωση της παραγωγής ορισμένων ειδών οδηγεί σε περιορισμό της διατροφικής ποικιλομορφίας, αυξάνοντας τους κινδύνους υποσιτισμού σε ευάλωτους πληθυσμούς. Οι πιο ευάλωτες κοινωνικές ομάδες επηρεάζονται δυσανάλογα από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην επισιτιστική ασφάλεια, λόγω της φτώχειας, της έλλειψης πρόσβασης σε πόρους και της μειωμένης ικανότητας προσαρμογής. Οι κοινότητες αυτές αντιμετωπίζουν αυξημένους κινδύνους επισιτιστικής ανασφάλειας, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη λήψη στοχευμένων μέτρων στήριξης. Η βελτίωση της ανθεκτικότητας του συστήματος τροφίμων απέναντι στην κλιματική αλλαγή απαιτεί βιώσιμες γεωργικές πρακτικές, όπως η αγροοικολογία, η διαφοροποίηση των καλλιεργειών και η προστασία του εδάφους. Παράλληλα, οι κυβερνητικές πολιτικές και η διεθνής συνεργασία διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ενίσχυση της επισιτιστικής ασφάλειας. Οι τεχνολογικές καινοτομίες μπορούν να συμβάλουν στη μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μέσω της γεωργίας ακριβείας, των ανθεκτικών στην ξηρασία ποικιλιών και των "έξυπνων" γεωργικών πρακτικών. Η εφαρμογή αυτών των λύσεων σε διάφορες περιοχές έχει δείξει θετικά αποτελέσματα, βελτιώνοντας την παραγωγικότητα και την επάρκεια τροφίμων. Η ενίσχυση της ανθεκτικότητας του συστήματος τροφίμων μπορεί να επιτευχθεί μέσω της προώθησης της βιώσιμης γεωργίας, της αξιοποίησης νέων τεχνολογιών και της προσαρμογής των αγροτικών πρακτικών στις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες. Οι συνδυασμένες στρατηγικές σε τοπικό, εθνικό και διεθνές επίπεδο είναι απαραίτητες για την αντιμετώπιση της επισιτιστικής κρίσης στο πλαίσιο της κλιματικής αλλαγής.

8. Προτάσεις

Μετά τη διερεύνηση της βιωσιμότητας και της ανθεκτικότητας στα συστήματα τροφίμων, πιστεύω ότι είναι απαραίτητη μια πολύπλευρη προσέγγιση για τη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας ενόψει της κλιματικής αλλαγής, των διαταραχών της εφοδιαστικής αλυσίδας και της οικονομικής αστάθειας. Συγκεκριμένα ακολουθούν ορισμένες βασικές προτάσεις οι οποίες πιστεύω ότι θα μπορούσαν να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα των συστημάτων τροφίμων.

Διαφοροποίηση γεωργικών πρακτικών. Όπως έχει προαναφερθεί, η μονοκαλλιέργεια είναι εξαιρετικά ευάλωτη σε παράσιτα, εστίες ασθενειών και στρεσογόνους παράγοντες που σχετίζονται με το κλίμα. Η ενθάρρυνση της διαφοροποίησης των καλλιεργειών, της αγροδασοκομίας και της πολυκαλλιέργειας μπορούν να δημιουργήσουν πιο ανθεκτικά γεωργικά οικοσυστήματα. Τα κυβερνητικά κίνητρα για τους αγρότες που υιοθετούν αυτές τις μεθόδους θα μπορούσαν να καταστήσουν τις βιώσιμες πρακτικές οικονομικά πιο βιώσιμες.

Επένδυση σε τοπικές παραγωγές τροφίμων. Οι παγκόσμιες αλυσίδες εφοδιασμού τροφίμων είναι συχνά εύθραυστες και γεγονότα όπως οι πανδημίες ή οι γεωπολιτικές εντάσεις μπορούν να περιορίσουν την πρόσβαση σε βασικά προϊόντα διατροφής. Η ενίσχυση των τοπικών συστημάτων τροφίμων μέσω της αστικής γεωργίας, των κήπων σε ταράτσες και των προγραμμαμάτων γεωργίας που υποστηρίζεται από την κοινότητα (CSA) μπορεί να αυξήσει τη διαθεσιμότητα τροφίμων και να μειώσει την εξάρτηση από τις εισαγωγές.

Ενίσχυση της αποθήκευσης τροφίμων και της ασφαλούς διανομής τους. Η σπατάλη τροφίμων είναι ένα μείζον ζήτημα και ένα σημαντικό μέρος της προέρχεται από ανεπαρκή δίκτυα αποθήκευσης και διανομής. Η καλύτερη διαχείριση αποθηκών και οι αποκεντρωμένοι κόμβοι τροφίμων μπορούν να εξασφαλίσουν ότι τα τρόφιμα φτάνουν στους καταναλωτές πιο αποτελεσματικά, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις απώλειες.

Ανάπτυξη καλλιεργειών ανθεκτικών στο κλίμα. Η κλιματική αλλαγή είναι μια από τις μεγαλύτερες απειλές για την επισιτιστική ασφάλεια. Η έρευνα σε καλλιέργειες ανθεκτικές στην ξηρασία μπορεί να βοηθήσει στη διατήρηση της παραγωγής τροφίμων ακόμη και κάτω από ακραίες καιρικές συνθήκες. Η συνεργασία μεταξύ κυβερνήσεων, ερευνητικών ιδρυμάτων και αγροτών είναι το κλειδί για την εφαρμογή αυτών των καινοτομιών.

Πρώθηση της Βιώσιμης Διχείρισης των Υδάτων. Η γεωργία αντιπροσωπεύει σημαντικό μερίδιο της παγκόσμιας κατανάλωσης νερού. Η εφαρμογή τεχνικών όπως η άρδευση ακριβείας, η συλλογή όμβριων υδάτων και η ανακύκλωση νερού μπορούν να συμβάλουν στη διασφάλιση της μακροπρόθεσμης διαθεσιμότητας νερού για την παραγωγή τροφίμων, ενώ παράλληλα μετριάζουν τις επιπτώσεις της ξηρασίας.

Ενίσχυση της Διακυβέρνησης και της Πολιτικής του Συστήματος Τροφίμων. Τα ανθεκτικά συστήματα τροφίμων απαιτούν ισχυρές πολιτικές που υποστηρίζουν τη

βιώσιμη γεωργία, το δίκαιο εμπόριο και την ετοιμότητα για κρίσεις. Οι κυβερνήσεις θα πρέπει να δημιουργήσουν πολιτικές που προστατεύουν τους αγρότες μικρής κλίμακας και να ρυθμίζουν τις πρακτικές της αγοράς για να αποτρέψουν την αστάθεια των τιμών και τις ελλείψεις τροφίμων.

Ενθάρρυνση της Ευαισθητοποίησης και της Συμμετοχής των Καταναλωτών. Η ανθεκτικότητα δεν αφορά μόνο την παραγωγή, έχει να κάνει και με την υπεύθυνη κατανάλωση. Η εκπαίδευση των καταναλωτών σχετικά με βιώσιμες επιλογές τροφίμων, η μείωση της σπατάλης τροφίμων και η υποστήριξη των τοπικών παραγωγών μπορεί να συμβάλει σε ένα πιο ανθεκτικό σύστημα από την πλευρά της ζήτησης. Οι εκστρατείες ευαισθητοποίησης του κοινού και τα σχολικά προγράμματα μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στη μετατόπιση των καταναλωτικών προτύπων.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abramoff, R. Z., Ciais, P., Zhu, P., Hasegawa, T., Wakatsuki, H., & Makowski, D. (2023). *Adaptation strategies strongly reduce the future impacts of climate change on simulated crop yields. Earth's Future, 11*(4), e2022EF003190. <https://doi.org/10.1029/2022EF003190>.
- Adamides, G., Kalatzis, N., Stylianou, A., Marianos, N., Chatzipapadopoulos, F., Giannakopoulou, M., ... & Neocleous, D. (2020). *Smart farming techniques for climate change adaptation in Cyprus. Atmosphere, 11*(6), 557. <https://doi.org/10.3396/atmos11060557>.
- Adamidis, T., Papageorgiou, M., & Zinoviadou, K. G. (2021). *Food, nutrition, and health in Greece. In Nutritional and Health Aspects of Food in the Balkans (pp. 107-124). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820782-6.00020-7*.
- Adewuyi, A. Y., Anyibama, B., Adebayo, K. B., Kalinzi, J. M., Adeniyi, S. A., & Wada, I. (2024). *Precision agriculture: Leveraging data science for sustainable farming. International Journal of Scientific Research Archive, 12*(2), 1122-1129. <https://doi.org/10.30574/jsra.2024.12.2.1371>.
- Afandiyeva, U., & Aliyeva, U. (2023). *Vulnerable and Marginalized Groups. SOCIAL WORK & SOCIAL RESEARCH, 108. p.108-110. Available at: https://www.researchgate.net/profile/John-Ringson-2/publication/376171052_Deconstruction_of_child_rights_and_social_work_practice_in_the_African_context_An_African_philosophical_perspective/links/656bcb46ce88b870312ade5c/Deconstruction-of-child-rights-and-social-work-practice-in-the-African-context-An-African-philosophical-perspective.pdf#page=108*.
- Akanmu, A. O., Akol, A. M., Ndolo, D. O., Kutu, F. R., & Babalola, O. O. (2023). *Agroecological techniques: adoption of safe and sustainable agricultural practices among the smallholder farmers in Africa. Frontiers in Sustainable Food Systems, 7, 1143061. https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1143061*.
- Altieri, M. A. (2018). *Agroecology: the science of sustainable agriculture. CRC press. https://doi.org/10.1201/9780429495465*.
- Arnell, N. W., Lowe, J. A., Challinor, A. J., & Osborn, T. J. (2019). *Global and regional impacts of climate change at different levels of global temperature increase. Climatic Change, 155, 377-391. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02464-z*
- Asante, B. O., Ma, W., Prah, S., & Temoso, O. (2024). *Promoting the adoption of climate-smart agricultural technologies among maize farmers in Ghana: using digital advisory services. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 29*(3), 19. <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10116-6>.

Ayanlade, A., Radeny, M., Morton, J. F., & Muchaba, T. (2018). *Rainfall variability and drought characteristics in two agro-climatic zones: An assessment of climate change challenges in Africa*. *Science of the Total Environment*, 630, 728-737. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.196>

Baah, F. O., Teitelman, A. M., & Riegel, B. (2019). *Marginalization: Conceptualizing patient vulnerabilities in the framework of social determinants of health—An integrative review*. *Nursing inquiry*, 26(1), e12268. doi: [10.1111/nin.12268](https://doi.org/10.1111/nin.12268).

Baptista, D. M. S., Farid, M. M., Fayad, D., Kemoe, L., Lanci, L. S., Mitra, M. P., ... & Unsal, M. F. D. (2022). *Climate change and chronic food insecurity in sub-Saharan Africa*. *International Monetary Fund*. <https://doi.org/10.5089/9798400218507.087>.

Barrow, N. J., & Hartemink, A. E. (2023). *The effects of pH on nutrient availability depend on both soils and plants*. *Plant and Soil*, 487(1), 21-37. <https://doi.org/10.1007/s11104-023-05960-5>.

Beach, R. H., Sulser, T. B., Crimmins, A., Cenacchi, N., Cole, J., Fukagawa, N. K., ... & Ziska, L. H. (2019). *Combining the effects of increased atmospheric carbon dioxide on protein, iron, and zinc availability and projected climate change on global diets: a modelling study*. *The Lancet Planetary Health*, 3(7), e307-e317. DOI: [10.1016/S2542-5196\(19\)30108-1](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30108-1).

Beech, B. M., Ford, C., Thorpe Jr, R. J., Bruce, M. A., & Norris, K. C. (2021). *Poverty, racism, and the public health crisis in America*. *Frontiers in public health*, 9, 699049. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.699049>.

Beillouin, D., Ben-Ari, T., & Makowski, D. (2019). *Evidence map of crop diversification strategies at the global scale*. *Environmental Research Letters*, 14(12), 123001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5f1b>.

Bekele, D., & Birhan, M. (2021). The impact of secondary macro nutrients on crop production. *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences*, 7(5), 37-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.20431/2454-6224.0705005>

Béné, C., & Devereux, S. (2023). *Resilience, food security and food systems: setting the scene*. In *Resilience and Food Security in a Food Systems Context* (pp. 1-25). Palgrave Macmillan, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-23535-1>

Béné, C., Hersoug, B., & Allison, E. H. (2010). *Not by rent alone: analysing the pro-poor functions of small-scale fisheries in developing countries*. *Development Policy Review*, 28(3), 325-358. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7679.2010.00486.x>.

Birkmann, J., E. Liwenga, R. Pandey, E. Boyd, R. Djalante, F. Gemenne, W. Leal Filho, P.F. Pinho, L. Stringer, and D. Wrathall, (2022). *Poverty, Livelihoods and Sustainable Development. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1171–1274, doi:10.1017/9781009325844.010.*

Bozoglu, M., Başer, U., Eroglu, N. A., & Topuz, B. K. (2019). *Impacts of climate change on Turkish agriculture. Journal of International Environmental Application and Science, 14(3), 97-103.*

Bucciarelli, V., Moscucci, F., Cocchi, C., Nodari, S., Sciomer, S., Gallina, S., & Mattioli, A. V. (2024). *Climate change versus Mediterranean diet: a hazardous struggle for the women's heart. American Heart Journal Plus: Cardiology Research and Practice, 45, 100431. https://doi.org/10.1016/j.ahj.2024.100431.*

Bunse, S., & Delgado, C. (2024). *Promoting Peace through Climate-resilient Food Security Initiatives, Stockholm International Peace Research Institute. Sweden. https://doi.org/10.55163/NFAX5143.*

Cai, B., Feng, K., Zhang, W., Liu, Y., Wang, F., & Hubacek, K. (2024). *Mitigating trade-driven water scarcity via water-saving irrigation in China: Different role of surface water and groundwater. Resources, Conservation and Recycling, 205, 107570. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107570.*

Castaldi, S., Dembska, K., Antonelli, M., Petersson, T., Piccolo, M. G., & Valentini, R. (2022). *The positive climate impact of the Mediterranean diet and current divergence of Mediterranean countries towards less climate sustainable food consumption patterns. Scientific Reports, 12(1), 8847. https://doi.org/10.1038/s41598-022-12916-9.*

Castellini, M., Diacono, M., Gattullo, C. E., & Stellacci, A. M. (2021). *Sustainable agriculture and soil conservation. Applied Sciences, 11(9), 4146. https://doi.org/10.3396/app11094146.*

Cervantes-Gaxiola, M. E., Sosa-Niebla, E. F., Hernández-Calderón, O. M., Ponce-Ortega, J. M., Ortiz-del-Castillo, J. R., & Rubio-Castro, E. (2020). *Optimal crop allocation including market trends and water availability. European journal of operational research, 285(2), 728-739. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.02.012.*

Cheplogoi, Shadrack. (2022). *Influence of Indigenous Knowledge Based Climate Change Coping Strategies on Household Food Security in Baringo County, Kenya. Egerton University International Conference. Retrieved from https://conferences.egerton.ac.ke/index.php/euc/article/view/175.*

Chevallier, R. (2023). *Strengthening Africa's climate-smart agriculture and food systems through enhanced policy coherence and coordinated action*. *South African Journal of International Affairs*, 30(4), 595–618. <https://doi.org/10.1080/10220461.2024.2318712>.

Christopoulos, M., & Ouzounidou, G. (2021). *Climate change effects on the perceived and nutritional quality of fruit and vegetables*. *Journal of Innovation Economics & Management*, 34(1), 79-99. DOI: 10.3917/jie.034.0079

Crandall, B. S., Harland-Dunaway, M., Jinkerson, R. E., & Jiao, F. (2024). *Electro-agriculture: Revolutionizing farming for a sustainable future*. *Joule*, 8(11), 2974-2991. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.09.011>.

Dannenbergh, P., Braun, B., Greiner, C., Follmann, A., Haug, M., Semedi Hargo Yuwono, P., ... & Kopriva, S. (2024). *Eight arguments why biodiversity is important to safeguard food security*. *Plants, People, Planet*, 6(5), 604-610. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10492>.

Danquah, E. O., Frimpong, F., Addo-Danso, A., Amankwaa-Yeboah, P., Yeboah, S., Danquah, F. O., ... & Ayamba, B. E. (2025). *Climate-smart cropping systems for resilient food production in Sub-Saharan Africa in the face of changing climate: a review*. *Circular Agricultural Systems*, 5(1). doi: 10.48130/cas-0024-0015.

Das, M., Das, A., Momin, S., & Pandey, R. (2020). *Mapping the effect of climate change on community livelihood vulnerability in the riparian region of Gangatic Plain, India*. *Ecological Indicators*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106815>.

Das, S. K., Ghosh, G. K., & Avasthe, R. (2023). *Application of biochar in agriculture and environment, and its safety issues*. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(2), 1359-1369. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-01013-4>.

Despoudi, S. (2021). *Challenges in reducing food losses at producers' level: The case of Greek agricultural supply chain producers*. *Industrial marketing management*, 93, 520-532. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.09.022>.

Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). *Increase in crop losses to insect pests in a warming climate*. *Science*, 361(6405), 916-919. DOI: 10.1126/science.aat3466

Devine, A., & Lawlis, T. (2019). *Nutrition and vulnerable groups*. *Nutrients*, 11(5), 1066. <https://doi.org/10.3390/nu11051066>.

Dhaliwal, S. S., Naresh, R. K., Mandal, A., Singh, R., & Dhaliwal, M. K. (2019). *Dynamics and transformations of micronutrients in agricultural soils as influenced by organic matter build-up: A review*. *Environmental and Sustainability Indicators*, 1, 100007. <https://doi.org/10.1016/j.ingic.2019.100007>.

Doan, M. K., Hill, R., Hallegatte, S., Corral Rodas, P. A., Brunckhorst, B. J., Nguyen, M., ... & Naikal, E. G. (2023). *Counting People Exposed to, Vulnerable to, or at High Risk From Climate Shocks—A Methodology* (No. 10619). The World Bank. DOI: [10.1596/1813-9450-10619](https://doi.org/10.1596/1813-9450-10619).

Dong, J., Gruda, N., Lam, S. K., Li, X., & Duan, Z. (2018). Effects of elevated CO₂ on nutritional quality of vegetables: a review. *Frontiers in plant science*, 9, 924. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00924>.

Dudu, H., & Cakmak, E. H. (2018). *Climate change and agriculture: an integrated approach to evaluate economy-wide effects for Turkey*. *Climate and Development*, 10(3), 275-288. <https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1372259>.

Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2021). *The global climate risk index 2021*. Bonn: Germanwatch. Available at: <https://bvearmb.de/bitstream/handle/123456789/1306/Global%20Climate%20Risk%20Index%202021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Egea, I., Estrada, Y., Faura, C., Egea-Fernández, J. M., Bolarin, M. C., & Flores, F. B. (2023). *Salt-tolerant alternative crops as sources of quality food to mitigate the negative impact of salinity on agricultural production*. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1092885. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1092885>

Elbasiouny, H., El-Ramady, H., Elbehiry, F., Rajput, V. D., Minkina, T., & Mandzhieva, S. (2022). *Plant nutrition under climate change and soil carbon sequestration*. *Sustainability*, 14 (2), 914. <https://doi.org/10.3390/su14020914>.

El-Ramady, H., Brevik, E. C., Abowaly, M., Ali, R., Saad Moghanm, F., Gharib, M. S., ... & Prokisch, J. (2024). *Soil degradation under a changing climate: management from traditional to nano-approaches*. *Egyptian Journal of Soil Science*, 64(1). DOI: [10.21608/ess.2023.248610.1686](https://doi.org/10.21608/ess.2023.248610.1686)

Eswaran, S., Anand, A., Lairenjam, G., Mohan, G., Sharma, N., Khare, A., & Bhargavi, A. (2024). *Climate Change Impacts on Agricultural Systems Mitigation and Adaptation Strategies: A Review*. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(11), 1-12. <https://doi.org/10.9734/jea/2024/v46i113021>

Ewert, F., Baatz, R., & Finger, R. (2023). *Agroecology for a sustainable agriculture and food system: from local solutions to large-scale adoption*. *Annual Review of Resource Economics*, 15(1), 351-381. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-102422-090105>.

Fanzo, J., Bellows, A. L., Spiker, M. L., Thorne-Lyman, A. L., & Bloem, M. W. (2021). *The importance of food systems and the environment for nutrition*. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 113 (1), 7-16. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa313>.

FAO. (2019). *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. J. Bélanger & D. Pilling (eds.). FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Rome. <https://doi.org/10.4060/CA3129EN>.

FAO.(2022). Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f6270800-eec7-498f-9887-6d937c4f575a/content>

Firdaus, R. R., Senevi Gunaratne, M., Rahmat, S. R., & Kamsi, N. S. (2019). *Does climate change only affect food availability? What else matters?* *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1707607. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1707607>.

Fuentes-Llanillo, R., Telles, T. S., Junior, D. S., De Melo, T. R., Friedrich, T., & Kassam, A. (2021). *Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. Soil and Tillage Research*, 208, 104877. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104877>.

Fuglie, K. (2021). *Climate change upsets agriculture. Nature Climate Change*, 11(4), 294-295. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01017-6>.

Fujii, T. (2016). *Concepts and measurement of vulnerability to poverty and other issues: a review of literature* (pp. 53-83). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781785369155.00010>.

Garcia, A., Gaju, O., Bowerman, A. F., Buck, S. A., Evans, J. R., Furbank, R. T., ... & Atkin, O. K. (2023). *Enhancing crop yields through improvements in the efficiency of photosynthesis and respiration. New Phytologist*, 237(1), 60-77. <https://doi.org/10.1111/nph.18545>.

Gebrekidan, T., & Kaiyu, L. (2019). *Effect of index-based livestock insurance on loan uptake: Evidence from the Borena zone of Southern Ethiopia. Agricultural Finance Review*, 79 (4), 426-442. <https://doi.org/10.1108/AFR-09-2018-0078>.

Georgopoulou, E., Gakis, N., Kapetanakis, D., Voloudakis, D., Markaki, M., Sarafidis, Y., ... & Tzamtzis, I. (2024). *Climate Change Risks for the Mediterranean Agri-Food Sector: The Case of Greece. Agriculture*, 14(5), 770. <https://doi.org/10.3390/agriculture14050770>.

Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Vitaliotou, M., Lalas, D. P., Theloudis, I., ... & Zavras, V. (2017). *Climate change impacts and adaptation options for the Greek agriculture in 2021–2050: A monetary assessment. Climate Risk Management*, 16, 164-182. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.002>.

Gkiza, I. G., Nastis, S. A., Manos, B. D., & Sartzetakis, E. S. (2021). *The economic effects of climate change on cereal yield in Greece: a spatial analysis selection model. International Journal of Global Warming*, 23(3), 311-330. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2021.113862>.

Gliessman, S. (2018). *Defining agroecology. Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42(6), 599-600.<https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1432329>.

Godde, C. M., Mason-D'Croz, D., Mayberry, D. E., Thornton, P. K., & Herrero, M. (2021). *Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence. Global food security*, 28, 100488.<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100488>

Goel, M., & Pandey, M. (2024, March). *Crop Yield Prediction Using AI: A Review. In 2024 2nd International Conference on Disruptive Technologies (ICDT)* (pp. 1547-1553). IEEE.[doi: 10.1109/ICDT61202.2024.10489432](https://doi.org/10.1109/ICDT61202.2024.10489432).

Gowda, P.H., Steiner, J.L., Grusak, M.A., Boggess, M.V., Farrigan, T. 2018. Chapter 10: Agriculture and rural communities. In: *Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II* [Reidmiller, D.R., C.W. Avery, D.R. Easterling, K.E. Kunkel, K.L.M. Lewis, T.K. Maycock, and B.C. Stewart (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp 391-437. <https://doi.org/10.7930/NCA4.2018.CH10>.

Gulati, A., Paroda, R., Puri, S., Narain, D., Ghanwat, A. (2023). *Food System in India. Challenges, Performance and Promise. In: von Braun, J., Afsana, K., Fresco, L.O., Hassan, M.H.A. (eds) Science and Innovations for Food Systems.* https://doi.org/10.1007/978-3-031-15703-5_43.

Gupta, P. K. (2024). *Drought-tolerant transgenic wheat HB4®: a hope for the future. Trends in Biotechnology*, 42(7), 807-809.<https://doi.org/10.1016/j.tubtech.2023.12.007>.

Hasegawa, T., Sakurai, G., Fujimori, S., Takahashi, K., Hijioka, Y., & Masui, T. (2021). *Extreme climate events increase risk of global food insecurity and adaptation needs. Nature Food*, 2(8), 587-595.<https://doi.org/10.1038/s43016-021-00335-4>

Headey, D. D., & Martin, W. J. (2016). *The impact of food prices on poverty and food security. Annual review of resource economics*, 8(1), 329-351. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100815-095303>.

Hoque, M. Z., Cui, S., Xu, L., Islam, I., Tang, J., & Ding, S. (2019). *Assessing agricultural livelihood vulnerability to climate change in coastal Bangladesh. International journal of environmental research and public health*, 16(22), 4552.<https://doi.org/10.3390/ijerph16224552>.

Hufnagel, J., Reckling, M., & Ewert, F. (2020). *Diverse approaches to crop diversification in agricultural research. A review. Agronomy for Sustainable Development*, 40(2), 14. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00617-4>.

IPCC (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp. [doi:10.1017/9781009325844](https://doi.org/10.1017/9781009325844).

IPCC. (2021). *Special Report on Climate Change and Food Security. Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-5/>.

James, D., Blesh, J., Levers, C., Ramankutty, N., Bicksler, A. J., Mottet, A., & Wittman, H. (2023). *The state of agroecology in Brazil: An indicator-based approach to identifying municipal "bright spots"*. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 11(1). <https://doi.org/10.1525/elementa.2023.00011>.

Kabato, W., Getnet, G. T., Sinore, T., Nemeth, A., & Molnár, Z. (2025). *Toward's Climate-Smart Agriculture: Strategies for Sustainable Agricultural Production, Food Security, and Greenhouse Gas Reduction*. *Agronomy*, 15(3), 565. <https://doi.org/10.3396/agronomy15030565>.

Kalogiannidis, S., Papadopoulou, C. I., Loizou, E., & Chatzitheodoridis, F. (2023). *Risk, vulnerability, and resilience in agriculture and their impact on sustainable rural economy development: a case study of Greece*. *Agriculture*, 13(6), 1222. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061222>.

Karuku, G. N. (2018). *Soil and Water Conservation Measures and Challenges in Kenya; a Review*. Department of Land Resource and Agricultural Technology, University of Nairobi. <https://doi.org/10.32474/CiACR.2018.02.000148>.

Kasimati, A., Papadopoulos, G., Manstretta, V., Giannakopoulou, M., Adamides, G., Neocleous, D., ... & Stylianou, A. (2024). *Case studies on sustainability-oriented innovations and smart farming technologies in the wine industry: a comparative analysis of pilots in Cyprus and Italy*. *Agronomy*, 14(4), 736. <https://doi.org/10.3396/agronomy14040736>.

Keller, M., Zamudio, A. N., Bizikova, L., Sosa, A. R., & Gough, A. M. (2018). *Food security and climate change from a systems perspective: Community case studies from Honduras*. *Climate and Development*, 10(6), 742-754. <https://doi.org/10.1086/17565529.2018.1447901>.

Khanna, S. K. (2024). *Food Insecurity, Child Health, and Vulnerable Populations*. *Ecology of Food and Nutrition*, 63(2), 37-39. <https://doi.org/10.1086/03670244.2024.2337417>.

Koliaki, C. C., Katsilambros, N. L., & Dimosthenopoulos, C. (2024). *The Mediterranean Diet in the Era of Climate Change: A Reference Diet for Human and Planetary Health*. *Climate*, 12(5), 136. <https://doi.org/10.3396/clii12090136>.

Kopittke, P. M., Dalal, R. C., Finn, D., & Menzies, N. W. (2017). *Global changes in soil stocks of carbon, nitrogen, phosphorus, and sulphur as influenced by long-term agricultural production*. *Global change biology*, 23(6), 2509-2519. <https://doi.org/10.1111/qcb.13513>

Kumar, A., & Agrawal, S. (2023). *Challenges and opportunities for agri-fresh food supply chain management in India*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 212, 108161. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108161>.

Kuran, C. H. A., Morsut, C., Kruke, B. I., Krüger, M., Segnestam, L., Orru, K., ... & Torpan, S. (2020). *Vulnerability and vulnerable groups from an intersectionality perspective*. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101826. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101826>.

Lacerda, A. E. B., Hanisch, A. L., & Nimmo, E. R. (2020). *Leveraging traditional agroforestry practices to support sustainable and agrobiodiverse landscapes in Southern Brazil*. *Land*, 9(6), 176. <https://doi.org/10.3390/land9060176>.

Lara-Arévalo, J., Escobar-Burgos, L., Moore, E. R. H., Neff, R., & Spiker, M. L. (2023). *COVID-19, Climate Change, and Conflict in Honduras: A food system disruption analysis*. *Global Food Security*, 37, 100693. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2023.100693>.

Le Dang, H., Pham, T. T., Pham, N. T. H., & Pham, N. K. (2025). *Farmers in the midst of climate change: an intra-household analysis of gender roles on farmers' choices of adaptation strategies to salinity intrusion in Vietnam*. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 30(2), 15. <https://doi.org/10.1007/s11027-025-10204-1>.

Li, H., Shao, L., Liu, X., Sun, H., Chen, S., & Zhang, X. (2023). *What matters more, biomass accumulation or allocation, in yield and water productivity improvement for winter wheat during the past two decades?*. *European Journal of Agronomy*, 149, 126910. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.126910>.

Li, Y., Zou, J., Zhu, H., He, J., Setter, T. L., Wang, Y., ... & Zhou, Z. (2022). *Drought deteriorated the nutritional quality of cottonseed by altering fatty acids and amino acids compositions in cultivars with contrasting drought sensitivity*. *Environmental and Experimental Botany*, 194, 104747. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104747>.

Liru, P., & Heineken, L. (2021). *Building resilience: the gendered effect of climate change on food security and sovereignty in Kakamega-Kenya*. *Sustainability*, 13(7), 3751. <https://doi.org/10.3390/su13073751>.

Liu, M., Shen, Y., Qi, Y., Wang, Y., & Geng, X. (2019). *Changes in precipitation and drought extremes over the past half century in China*. *Atmosphere*, 10(4), 203. <https://doi.org/10.3390/atmos10040203>

Liu, S. Y. (2020). *Artificial intelligence (Ai) in agriculture*. *IT professional*, 22(3), 14-15. [doi: 10.1105/MITP.2020.2986121](https://doi.org/10.1105/MITP.2020.2986121).

Loboguerrero, A. M., Campbell, B. M., Cooper, P. J., Hansen, J. W., Rosenstock, T., & Wollenberg, E. (2019). *Food and earth systems: priorities for climate change adaptation and mitigation for agriculture and food systems*. *Sustainability*, 11(5), 1372. <https://doi.org/10.3390/su11051372>.

Mafongoya, P., Gubba, A., Moodley, V., Chapoto, D., Kisten, L., & Phophi, M. (2019). *Climate change and rapidly evolving pests and diseases in Southern Africa*. *New frontiers in natural resources management in Africa*, 41-57. https://doi.org/10.1007/978-3-030-11857-0_4

Marschner, P., & Rengel, Z. (2023). *Nutrient availability in soils*. In *Marschner's Mineral Nutrition of Plants* (pp. 499-522). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819773-8.00003-4>.

Martel, J. L., Brissette, F. P., Lucas-Picher, P., Troin, M., & Arsenault, R. (2021). *Climate change and rainfall intensity–duration–frequency curves: Overview of science and guidelines for adaptation*. *Journal of Hydrologic Engineering*, 26(16), 03121001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002122](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002122)

Medellín-Azuara, J., Sumner, D. A., Pan, Q. Y., Lee, H., Espinoza, V., Cole, S. A., ... & Lund, J. (2018). *Assessment of California Crop and Livestock Potential Adaptation to Climate Change*. *California's Fourth Climate Change Assessment, Issue*, California Natural Resources Agency.

Mills, A. J., Tan, D., Manji, A. K., Vijitpan, T., Henriette, E., Murugaiyan, P., ... & Lister, J. (2020). *Ecosystem-based adaptation to climate change: Lessons learned from a pioneering project spanning Mauritania, Nepal, the Seychelles, and China*. *Plants, People, Planet*, 2(6), 587-597. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10126>.

Minhas A. (2024). *Food availability index in India 2022, by category*. Online διαθέσιμο : <https://www.statista.com/statistics/1239482/india-food-availability-index-by-category/#statisticContainer>.

Mishra, V., Aadhar, S., & Mahto, S. S. (2021). *Anthropogenic warming and intraseasonal summer monsoon variability amplify the risk of future flash droughts in India*. *Nrj Climate and Atmospheric Science*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1038/s41612-020-00158-3>.

Mogeni, S. (2025). *Climate change and food security in arid Kenya: Examining resource accessibility, agricultural practices, and socio-economic implications*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/389090039_Climate_Change_and_Food_Security_in_Arid_Kenya_Examining_Resource_Accessibility_Agricultural_Practices_and_Socio-Economic_Implications.

Morepje, M. T., Agholor, I. A., Sithole, M. Z., Mgwenya, L. I., Msweli, N. S., & Thabane, V. N. (2024). *An Analysis of the Acceptance of Water Management Systems among Smallholder Farmers in Numbi, Mpumalanga Province, South Africa. Sustainability*, 16(5), 1952. <https://doi.org/10.3390/su16051952>

Muluneh, M. G. (2021). *Impact of climate change on biodiversity and food security: a global perspective—a review article. Agriculture & Food Security*, 10(1), 1-25. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>.

Mustafa, M. A., Mayes, S., & Massawe, F. (2019). *Crop diversification through a wider use of underutilised crops: A strategy to ensure food and nutrition security in the face of climate change. 125-149. In: Sarkar, A., Sensarma, S., vanLoon, G. (eds) Sustainable Solutions for Food Security. https://doi.org/10.1007/978-3-319-77878-5_7*

Mwadalu, R., Kisiwa, A., Elema, M., & Gathara, M. (2023). *Potential of soil and water conservation technologies for dryland agriculture and forestry. Journal of Applied Biosciences*, 181, 18925-18939. <https://doi.org/10.35759/JABs.181.5>.

Myers, S. S., Zanobetti, A., Kloog, I., Huybers, P., Leakey, A. D., Bloom, A. J., ... & Usui, Y. (2014). *Increasing CO2 threatens human nutrition. Nature*, 510(7503), 139-142. <https://doi.org/10.1038/nature13179>

Neina, D. (2019). *The role of soil pH in plant nutrition and soil remediation. Applied and environmental soil science*, 2019 (1), 5794869. <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>.

Neophytides, S. P., Eliades, M., Mavrovouniotis, M., Papoutsas, C., Papadavid, G., & Hadjimitsis, D. G. (2024). *Improved water resources management for smart farming: a case study for Cyprus. Scientific Reports*, 14(1), 31751. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-82797-7>.

Ngcamu, B. S. (2023). *Climate change effects on vulnerable populations in the Global South: a systematic review. Natural Hazards*, 118(2), 977-991. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06070-2>.

Nkurunziza, L., Kuyah, S., Nyawira, S., Ng'ang'a, S. K., Musei, S., Chirinda, N., ... & Öborn, I. (2022). *Reducing climate risks by improving food production and value chains: a case of sandy soils in Semi-arid Kenya. Frontiers in Climate*, 3, 766583. [doi: 10.3389/fcli.2021.766583](https://doi.org/10.3389/fcli.2021.766583).

Nyholm, J., Walch, A., & Redmond, L. (2024). *Traditional food security and food sovereignty in the coastal region of South-Central Alaska. International Journal of Circumpolar Health*, 83(1), 2359161. <https://doi.org/10.1080/22423982.2024.23>.

Ocho, F. L., Yadessa, G. B., Abdissa, F. M., & Bekele, A. E. (2017). *Why does food insecurity persist in Ethiopia? Trends, challenges and prospects of food security in Ethiopia. Journal of Development and Agricultural Economics*, 9(12), 341-354. <https://doi.org/10.5897/JDAE2017.0846>.

Onwuka, B., & Mang, B. J. A. P. A. R. (2018). *Effects of soil temperature on some soil properties and plant growth. Adv. Plants Agric. Res*, 8(1), 34-37.

Ortiz-Bobea, A., Ault, T. R., Carrillo, C. M., Chambers, R. G., & Lobell, D. B. (2021). *Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. Nature Climate Change*, 11(4), 306-312. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1>

Owino, V., Kumwenda, C., Ekesa, B., Parker, M. E., Ewoldt, L., Roos, N., ... & Tome, D. (2022). *The impact of climate change on food systems, diet quality, nutrition, and health outcomes: A narrative review. Frontiers in Climate*, 4, 941842. [doi: 10.3389/fclim.2022.941842](https://doi.org/10.3389/fclim.2022.941842).

Paredes-Rodríguez, A. M., Osorio-Gómez, J. C., & Orejuela-Cabrera, J. P. (2024). *Dynamic evaluation of distribution channels in a fresh food supply chain from a sustainability and resilience approach. Alexandria Engineering Journal*, 106, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.06.091>

Pathak, T. B., Maskey, M. L., Dahlberg, J. A., Kearns, F., Bali, K. M., & Zaccaria, D. (2018). *Climate change trends and impacts on California agriculture: a detailed review. Agronomy*, 8(3), 25. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030025>

Poore, J., & Nemecek, T. (2018). *Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science*, 360(6392), 987-992. [DOI:10.1126/science.aag0216](https://doi.org/10.1126/science.aag0216).

Procópio, D. P. (2024). *Factors Associated with the Adoption of Soil Conservation Technologies in Brazilian Family Farming. Rural Sustainability Research, Sciendo*, vol. 52 no. 347, pp. 1-12. <https://doi.org/10.2478/plua-2024-0011>.

Ray, D. K., West, P. C., Clark, M., Gerber, J. S., Prishchepov, A. V., & Chatterjee, S. (2019). *Climate change has likely already affected global food production. PLoS one*, 14(5), e0217148. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217148>

Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S. S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y., & Xu, J. (2019). *Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. Plants*, 8(2), 34. <https://doi.org/10.3390/plants8020034>.

Relf-Eckstein, J. E., Ballantyne, A. T., & Phillips, P. W. (2019). *Farming Reimagined: A case study of autonomous farm equipment and creating an innovation opportunity space for broadacre smart farming. NjAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90, 100307. <https://doi.org/10.1016/j.r.ias.2019.100307>.

Ritchie, H., & Roser, M. (2024). *How will climate change affect crop yields in the future? Our World in Data*.

Roosevelt, M., Raile, E. D., & Anderson, J. R. (2023). *Resilience in food systems: Concepts and measurement options in an expanding research agenda*. *Agronomy*, 13(2), 444. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020444>.

Roques, S., Kendall, S., Smith, K., Newell Price, P., & Berry, P. (2013). *A review of the non-NPKS nutrient requirements of UK cereals and oilseed rape* Research Review No. 78. HGCA, Kenilworth.

Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A. C., Müller, C., Arneth, A., ... & Jones, J. W. (2014). *Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison*. *Proceedings of the national academy of sciences*, 111(9), 3268-3273. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>

Rotich, B., Csorba, A., & Michéli, E. (2022). *Soil and water conservation in Kenya; Practices, Challenges and Prospects*. *Proceedings of the 5th ISCW, Szarvas, Hungary*, 22-24.

Rustamova, I., Primov, A., Karimov, A., Khaitov, B., & Karimov, A. (2023). *Crop diversification in the Aral sea region: long-term Situation analysis*. *Sustainability*, 15 (15), 10221. <https://doi.org/10.3390/su151310221>.

Saini, A. K., & Yadav, A. K. (2025). *A Comprehensive review on technological breakthroughs in precision agriculture: IoT and emerging data analytics*. *European Journal of Agronomy*, 163, 127440. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127440>.

Sambo, U., & Sule, B. (2024). *Climate change, depletion of Lake Chad, and its impacts on agricultural output, food security, and social order in the Sahel*. In *The Paigraive Handbook of Global Social Change* (pp. 1-23). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-87624-1_11-1.

Seneviratne, S. I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Luca, A. D., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J., Lewis, S., Otto, F., Pinto, I., Satoh, M., Vicente-Serrano, S. M., Wehner, M., Zhou, B. and Allan, R. (2021) *Weather and climate extreme events in a changing climate*. In: Masson-Delmotte, V. P., Zhai, A., Pirani, S. L. and Connors, C. (eds.) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 1513-1766. DOI: [10.1017/9781009157896.013](https://doi.org/10.1017/9781009157896.013).

Sevelius, J. M., Gutierrez-Mock, L., Zamudio-Haas, S., McCree, B., Ngo, A., Jackson, A., ... & Gamarel, K. (2020). *Research with marginalized communities: challenges to continuity during the COVID-19 pandemic*. *AIDS and Behavior*, 24, 2009-2012. doi: [10.1007/s10461-020-02920-3](https://doi.org/10.1007/s10461-020-02920-3).

Shi, L., & Stevens, G. D. (2021). *Vulnerable populations in the United States* (3rd ed.) John Wiley & Sons.

Shinde, R., Sarkar, P. K., Thombare, N., & Naik, S. K. (2019). *Soil conservation: Today's need for sustainable development. Agriculture & Food: e-Newsletter*, 1(5), 175-183.

Shukla, B. K., Maurya, N., & Sharma, M. (2023). *Advancements in sensor-based technologies for precision agriculture: an exploration of interoperability, analytics and deployment strategies. Engineering Proceedings*, 58(1), 22. <https://doi.org/10.3396/ecsa-10-16051>.

Sinclair, F., Wezel, A., Mbow, C., Chomba, S., Robiglio, V., & Harrison, R. (2019). *The contribution of agroecological approaches to realizing climate-resilient agriculture. GCA: Rotterdam, The Netherlands*.

Smith, N. W., Fletcher, A. J., Millard, P., Hill, J. P., & McNabb, W. C. (2022). *Estimating cropland requirements for global food system scenario modeling. Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 1063419. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1063419>.

Soares, J. C., Santos, C. S., Carvalho, S. M., Pintado, M. M., & Vasconcelos, M. W. (2019). *Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: importance and strategies. Plant and Soil*, 443, 1-26. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04229-0>.

Soussi, A., Zero, E., Sacile, R., Trincherro, D., & Fossa, M. (2024). *Smart sensors and smart data for precision agriculture: a review. Sensors*, 24(8), 2647. <https://doi.org/10.3396/s24082647>.

Sun, L., Xia, Z., Sang, C., Wang, X., Peng, B., Wang, C., ... & Bai, E. (2019). *Soil resource status affects the responses of nitrogen processes to changes in temperature and moisture. Biology and Fertility of Soils*, 55, 629-641. <https://doi.org/10.1007/s00374-019-01379-2>.

Tanir, T., Yildirim, E., Ferreira, C. M., & Demir, I. (2024). *Social vulnerability and climate risk assessment for agricultural communities in the United States. Science of The Total Environment*, 908. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168346>.

Tchoukouang, R. D., Onyeaka, H., & Nkoutchou, H. (2024). *Assessing the vulnerability of food supply chains to climate change-induced disruptions. Science of the Total Environment*, 171047. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171047>.

Tefera, M. L., Seddaiu, G., & Carletti, A. (2024). *Traditional In Situ Water Harvesting Practices and Agricultural Sustainability in Sub-Saharan Africa—A Meta-Analysis. Sustainability*, 16(15), 6427. <https://doi.org/10.3396/su16156427>.

Tesfaye, K., Kruseman, G., Cairns, J. E., Zaman-Allah, M., Wegary, D., Zaidi, P. H., ... & Erenstein, O. (2018). *Potential benefits of drought and heat tolerance for adapting maize to climate change in tropical environments*. *Climate risk management*, 19, 106-119.<https://doi.org/10.1016/j.crm.2017.10.001>

Tohver, I. M., Hamlet, A. F., & Lee, S. Y. (2014). *Impacts of 21st-century climate change on hydrologic extremes in the Pacific Northwest region of North America*. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(6), 1461-1476. <https://doi.org/10.1111/jawr.12199>.

Tomou, E. M., Skaltsa, H., Economou, G., & Trichopoulou, A. (2022). *Sustainable diets & medicinal aromatic plants in Greece: Perspectives towards climate change*. *Food Chemistry*, 374, 131767.<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131767>

Tran, V. T., An-Vo, D. A., Cockfield, G., & Mushtaq, S. (2021). *Assessing livelihood vulnerability of minority ethnic groups to climate change: A case study from the northwest mountainous regions of Vietnam*. *Sustainability*, 13(15), 7106. <https://doi.org/10.3396/su13137106>.

Tsadilas, C. D. (2023). *Impact of Climate Change on the Primary Agricultural Sector of Greece: Adaptation Policies and Measures*. *Earth*, 4(4), 758-775. <https://doi.org/10.3396/earth4040041>.

Varotsos, K. V., Karali, A., Lemesios, G., Kitsara, G., Moriondo, M., Dibari, C., ... & Giannakopoulos, C. (2021). *Near future climate change projections with implications for the agricultural sector of three major Mediterranean islands*. *Regional Environmental Change*, 21, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01736-0>.

Vikas, & Ranjan, R. (2024). *Agroecological approaches to sustainable development*. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1405409. <https://doi.org/10.3386/fsufs.2024.1405409>.

Waldhoff, S. T., Wing, I. S., Edmonds, J., Leng, G., & Zhang, X. (2020). *Future climate impacts on global agricultural yields over the 21st century*. *Environmental Research Letters*, 15(11), 114010. DOI 10.1086/1748-9326/abadcb.

Walsh, C. A., & Lundgren, M. R. (2024). *Nutritional quality of photosynthetically diverse crops under future climates*. *Plants, People, Planet*, 6 (6), 1272-1283. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10544>.

Walsh, J. E., Ballinger, T. J., Euskirchen, E. S., Hanna, E., Mård, J., Overland, J. E., ... & Vihma, T. (2020). *Extreme weather and climate events in northern areas: A review*. *Earth-Science Reviews*, 209, 103324.<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103324>

Wang, S., Xiong, J., Yang, B., Yang, X., Du, T., Steenhuis, T. S., ... & Kang, S. (2023). *Diversified crop rotations reduce groundwater use and enhance system resilience*. *Agricultural Water Management*, 276, 108067. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.108067>

Winsemius, H. C., Jongman, B., Veldkamp, T. I., Hallegatte, S., Bangalore, M., & Ward, P. J. (2018). *Disaster risk, climate change, and poverty: assessing the global exposure of poor people to floods and droughts*. *Environment and Development Economics*, 23(3), 328-348. <https://doi.org/10.1017/S1355776X17000444>

Xue, R., Shen, Y., & Marschner, P. (2017). *Soil water content during and after plant growth influence nutrient availability and microbial biomass*. *Journal of soil science and plant nutrition*, 17(3), 702-715. <http://dx.doi.org/10.4067/S071895162017000300012>

Yobom, O. (2020). *Climate change, agriculture and food security in Sahel (Doctoral dissertation, Université Bourgogne Franche-Comté)*.

Zhang, H., Duan, H., Andric, J. M., Song, M., & Yang, B. (2018). *Characterization of household food waste and strategies for its reduction: A Shenzhen City case study*. *Waste Management*, 78, 426-433. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.010>

Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., ... & Asseng, S. (2017). *Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates*. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 114(35), 9326-9331. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>

Διαδικτυακοί Τόποι

<https://aqriep.com/blog/precision-agriculture/>.

<https://aqrimon.gr/en/the-mediterranean-diet/>.

<https://apnews.com/article/ces-agriculture-climate-tech-las-vegas-e1d7bc812bb20951dac7976f6b3527ad>.

<https://apnews.com/article/climate-change-resilient-seeds-agriculture-india-drought-rains-587cf822c3000072584ba58562d2a321>.

<https://apnews.com/article/climate-change-resilient-seeds-agriculture-india-drought-rains-587cf822c3000072584ba58562d2a321>.

<https://apnews.com/article/short-corn-midwest-climate-change-b5e580aee90ec4cbbabf7b8f6e9e62ea>.

<https://blogs.worldbank.org/en/developmenttalk/food-price-volatility-and-inflation-low-income-countries>.

<https://www.dianeosis.org/en/2017/08/impact-climate-change-greek-economy/>.

https://www.dianeosis.org/wpcontent/uploads/2021/11/climate_change_Version_4-11-2021_Upd.pdf.

https://docs.wfp.org/api/documents/WFP0000156083/download/?_ga=2.164789311.1095601952.1742248170-1678016901.1742248170.

<https://enq.ruralvoice.in/international/drought-resistant-hb4-wheat-being-planted-on-limited-basis-in-brazil-and-argentina.html>.

<https://eos.com/blog/no-till-farming/>.

<https://eos.com/blog/soil-conservation/>.

<https://eos.com/blog/soil-conservation/>.

<https://farmonaut.com/precision-farming/unlock-precision-agriculture-farmonauts-guide-to-crop-yield-optimization-and-market-analysis/>.

<https://geopard.tech/blog/what-are-major-components-of-precision-farming/>.

<https://iccwbo.org/wp-content/uploads/sites/3/2024/11/2024-ICC-Oxera-The-economic-cost-of-extreme-weather-events.pdf>.

<https://lordslibrary.parliament.uk/ethiopia-conflict-and-food-insecurity-40-years-on-from-the-1984-famine/#:~:text=It%20summarised%20the%20challenges%20facing,million%20in%20drought%20affected%20areas>.

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/07bc7c6e-72e5-488d-b2f7-3c1499d098fb/content>.

<https://organismalbio.biosci.gatech.edu/nutrition-transport-and-homeostasis/acquisition-of-nutrients-in-plants/>.

<https://s14turkey.wordpress.com/2014/04/29/adaptation-and-mitigation-to-climate-change/>.

<https://thedocs.worldbank.org/en/doc/40ebbf38f5a6b68bfc11e5273e1405d4-0090012022/related/Food-Security-Update-112-January-17-2025.pdf>.

<https://tradingeconomics.com/country-list/food-inflation>.

<https://wwf-scp.org/agrobiodiversity-food-security/>.

<https://www.agric.wa.gov.au/measuring-and-assessing-soils/soil-organic-matter-influence-nutrient-availability>.

<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/global-climate-summary-august-2024>.

<https://www.climatehubs.usda.gov/hubs/southwest/topic/building-climate-resilience-across-food-system-diversified-production>.

<https://www.fao.org/hand-in-hand/investment-forum-2022/the-sahel/en>.

<https://www.foodandwine.com/electro-agriculture-vertical-farming-8738299>.

<https://www.geografikoi.gr/ha-long-vietnam/>.

<https://www.globalsherpa.org/wp-content/uploads/2011/03/india-map-cities-states.png>.

https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf.

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.

<https://www.ipcinfo.org/ipcinfo-website/alerts-archive/issue-33/en/>.

<https://www.qic.com/News-and-Insights/SwarmFarm-builds-future-of-farming-from-new-Darling-Downs-manufacturing-hub>.

<https://www.reuters.com/sustainability/land-use-biodiversity/comment-how-empowering-smallholder-farmers-with-ai-tools-can-bolster-global-food-2025-01-10/>.

<https://www.reuters.com/business/environment/greeces-chestnut-harvest-set-shrink-hit-by-drought-heat-2024-10-24/>.

<https://www.reuters.com/world/europe/greeces-mussel-harvest-wiped-out-by-warming-seas-2024-11-09/>.

<https://www.superstock.com/asset/aerial-view-downtown-anchorage-chugach-mountains-cook-inlet-during-autumn/4289-13883402>.

[https://www.theguardian.com/global-development/2024/oct/31/kenya-national-gene-bank-farmers-indigenous-crops-seeds-food-insecurity.](https://www.theguardian.com/global-development/2024/oct/31/kenya-national-gene-bank-farmers-indigenous-crops-seeds-food-insecurity)

[https://www.undp.org/vietnam/projects/strengthening-resilience-smallholder-agriculture-climate-change-induced-water-insecurity-central-highlands-and-south-central-coast.](https://www.undp.org/vietnam/projects/strengthening-resilience-smallholder-agriculture-climate-change-induced-water-insecurity-central-highlands-and-south-central-coast)

[https://www.usda.gov/about-usda/general-information/priorities/climate-solutions/climate-change-adaptation-and-usda.](https://www.usda.gov/about-usda/general-information/priorities/climate-solutions/climate-change-adaptation-and-usda)

[https://www.weforum.org/stories/2024/02/climate-change-food-prices-drought/.](https://www.weforum.org/stories/2024/02/climate-change-food-prices-drought/)

[https://www.wfp.org/publications/2024-impacts-wfps-integrated-climate-risk-management-approach-farmers-resilience.](https://www.wfp.org/publications/2024-impacts-wfps-integrated-climate-risk-management-approach-farmers-resilience)

[https://www.wildlifekenyasafari.com/cities-in-kenya/.](https://www.wildlifekenyasafari.com/cities-in-kenya/)

[https://www.worldatlas.com/maps/honduras.](https://www.worldatlas.com/maps/honduras)

[https://www.worldbank.org/en/news/feature/2022/10/17/what-you-need-to-know-about-food-security-and-climate-change.](https://www.worldbank.org/en/news/feature/2022/10/17/what-you-need-to-know-about-food-security-and-climate-change)