

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Χημικών Μηχανικών

Τομέας Π: Ανάλυσης, Σχεδιασμού και Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων

Εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών



### Διπλωματική Εργασία

Ανάλυση κύκλου ζωής εφαρμογής καινοτόμων αγρονομικών πρακτικών και μεθόδων επεξεργασίας καρπών με σκοπό την παραγωγή προϊόντων υψηλής διατροφικής αξίας

**Κυπραίου Άννα-Μαρία**

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια : Κροκίδα Μαγδαληνή,

Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, 2024



## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε από την κυρία Κροκίδα Μαγδαληνή, καθηγήτρια του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στο πλαίσιο εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας της σχολής Χημικών Μηχανικών. Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) και μελέτη του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της εφαρμογής καινοτόμων αγρονομικών τεχνικών και μεθόδων επεξεργασίας καρπών με σκοπό την παραγωγή προϊόντων υψηλής θρεπτικής αξίας. Η ανάλυση κύκλου ζωής θα αξιολογήσει τα περιβαλλοντικά οφέλη από τις προσεγγίσεις που θα αναπτυχθούν στα πλαίσια της διπλωματικής για τα προϊόντα αναφοράς. Η εφαρμογή της AKZ βασίστηκε στη συλλογή και τη διεξοδική ανάλυση στοιχείων εισόδου και εξόδου σε κάθε στάδιο της καλλιέργειας και της επεξεργασίας, στη διαμόρφωση ενεργειακών ισοζυγίων και ισοζυγίων μάζας, κατανάλωσης χημικών υλών καθώς και στην εξέταση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με αυτά. Για την διεξαγωγή της AKZ χρησιμοποιήθηκαν βάσεις δεδομένων όπως Ecoinvent και εργαλεία λογισμικού, όπως GaBi και SimaPro.

Το πρώτο σενάριο που μελετήθηκε εστιάζει στη σύγκριση συγκαλλιέργειών βρώμης – αρακά σε αναλογίες 75:25, 50:50 και 25:75 με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Η συγκαλλιέργεια βρώμης – αρακά με αναλογίες 50:50 και 75:25 αποδεικνύεται πως είναι η περισσότερο ευνοϊκές σε σχέση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Ακόμα, προέκυψε πως οι συγκαλλιέργειες με αναλογίες 75:25 και 50:50 μειώνουν την κατανάλωση νερού, την τοξικότητα και περιορίζουν τον ευτροφισμό και την οικοτοξικότητα του εδάφους και των υδάτων. Ωστόσο, οι συγκαλλιέργειες παρουσιάζουν αυξημένες επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή σε σύγκριση με τις μονοκαλλιέργειες. Το δεύτερο σενάριο της έρευνας εξετάζει τη συγκαλλιέργεια αρακά – σιταριού με ή χωρίς χρήση λιπασμάτων, συγκρινόμενη με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Η ανάλυση δείχνει ότι η συγκαλλιέργεια με χρήση λιπασμάτων μειώνει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις κατά 77.87% σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια σιταριού και κατά 90.3% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά. Όταν δεν χρησιμοποιούνται λιπάσματα, η συγκαλλιέργεια αυξάνει την περιβαλλοντική επιβάρυνση κατά 25.64% συγκριτικά με τη μονοκαλλιέργεια σιταριού, αλλά μειώνει την επιβάρυνση κατά 44.94% σε σχέση με τον αρακά. Παράλληλα, η χρήση λιπασμάτων μειώνει την επιβάρυνση στην ανθρώπινη υγεία κατά 65.0%, αν και συνοδεύεται από αύξηση της κατανάλωσης πόρων κατά

9.44%. Επιπλέον προέκυψε πως με χρήση της συγκαλλιέργειας, μειώνονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, η κατανάλωση νερού και η τοξικότητα στο περιβάλλον και στην ανθρώπινη υγεία, ενώ περιορίζεται η οξίνιση του εδάφους, ο ευτροφισμός και η οικοτοξικότητα των υδάτων. Τέλος, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της συγκαλλιέργειας ρεβιθιού – σιταριού, από την οποία προέκυψε πως η συγκαλλιέργεια μειώνει την επιβάρυνση στην ανθρώπινη υγεία κατά 7.87%, σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια σιταριού και κατά 29.83% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού και μειώνει την κατανάλωση πόρων κατά 18.32% και 45.31% αντίστοιχα. Ωστόσο, παρατηρείται αύξηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης στη συγκαλλιέργεια, με αύξηση 37.56% σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια σιταριού και 34.28% συγκριτικά με την μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού.

Συμπερασματικά, αποδεικνύεται πως η συγκαλλιέργεια ψυχανθών με δημητριακά βελτιώνει την αξιοποίηση των φυσικών πόρων του εδάφους, ενισχύει και σταθεροποιεί τις αποδόσεις, αυξάνει την παραγωγή και μειώνει την ανάγκη για χρήση λιπασμάτων και εντομοκτόνων. Επιπλέον, αυξάνει την ανθεκτικότητα των φυτών στις ασθένειες και περιβαλλοντικές προκλήσεις, ενώ ταυτόχρονα προστατεύει το έδαφος από διάβρωση και βελτιώνει την αποδοτικότητα της χρήσης νερού. Οικονομικά, προσφέρει μεγαλύτερο κέρδος ανά έκταση και μειώνει το κόστος εισροών. Ακόμα, η συγκαλλιέργεια αποτελεί μια ενδεδειγμένη γεωργική πρακτική για περιοχές όπου τα επιμέρους συστατικά των καλλιεργειών δεν ευδοκμούν μεμονωμένα. Σε αυτές τις περιοχές, η εφαρμογή της μεθόδου της συγκαλλιέργειας μειώνει σημαντικά το περιβαλλοντικό αποτύπωμα, σε σύγκριση με την ανάγκη εισαγωγής των προϊόντων από άλλες χώρες. Παρόλα αυτά, μπορεί να αυξήσει την ποικιλία παρασίτων που εκτίθεται η καλλιέργεια και να δυσκολέψει τη διαχείρισή της λόγω της γενετικής ποικιλότητας και των διαφορετικών απαιτήσεων των φυτών.

## **Abstract**

This thesis was assigned by Mrs. Magdalini Krokida, professor of the National Technical University of Athens, in the context of the elaboration of the diploma thesis of the School of Chemical Engineering. The thesis focuses on Life Cycle Assessment (LCA) and study of the environmental footprint of the application of innovative agronomic techniques and processing methods in order to produce products of high nutritional value. The Life Cycle Assessment will evaluate the environmental benefits of the approaches that will be developed in the context of the thesis on reference products. The implementation of LCA was based on the collection and thorough analysis of input and output data at each stage of cultivation and processing, the formation of energy and mass balances, consumption of chemical materials as well as the examination of the environmental impacts related to them. Databases such as Ecoinvent and software tools such as GaBi and SimaPro were used to conduct LCA.

The first study focuses on comparing the intercropping of oats – peas in ratios of 75:25, 50:50 and 25:75 with the corresponding monocultures. The intercropping of oats – peas in a ratio of 50:50 and 75:25 proves to be the most favorable of the other ratios compared to the corresponding monocultures. It also emerged that the intercrops with ratios of 75:25 and 50:50 reduce water consumption, toxicity, reduce eutrophication, and also soil and water ecotoxicity. However, intercropping has an increased impact on climate change compared to monocultures. The second scenario of the study examines the intercropping of peas and wheat with or without fertilizer use, compared to the corresponding monocultures. The analysis shows that intercropping using fertilizers reduces the environmental impact by 77.87% compared to wheat monoculture and by 90.3% compared to pea monoculture. When fertilizers are not used, intercropping increases the environmental impact by 25.64% compared to wheat monoculture but reduces the impact by 44.94% compared to peas. At the same time, the use of fertilizers reduces the impact on human health by 65%, although it is accompanied by an increase in resource consumption by 9.44%. In addition, it has been shown that by using intercropping, carbon dioxide emissions, water consumption and toxicity to the environment and human health are reduced, while soil acidification, eutrophication and water ecotoxicity are reduced. Finally, an analysis of chickpea-wheat intercropping was conducted, which showed that intercropping reduces the burden on human health by 7.87% compared to wheat monoculture

and by 29.83% compared to chickpea monoculture and reduces resource consumption by 18.32% and 45.31%, respectively. However, there is an increase in the environmental impact on intercropping, with an increase of 37.56% compared to wheat monoculture and 34.28% compared to chickpea monoculture.

In conclusion, it is proven that intercropping of legumes with cereals improves the utilization of natural soil resources, boosts and stabilizes yields, increases production and reduces the need for fertilizers and insecticides. In addition, it increases the resistance of plants to diseases and environmental challenges, while protecting soil from erosion and improving water use efficiency. Economically, it offers greater profit per area of land and reduces input costs. Moreover, intercropping is an appropriate agricultural practice for areas where individual crop components do not thrive in isolation. In such areas, the implementation of intercropping significantly reduces the environmental footprint, compared to the need to import the products from other countries. However, it can increase the variety of pests the crop is exposed to and make it difficult to manage due to genetic diversity and different plant requirements.



## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	2
Abstract .....	4
Ευχαριστίες .....	9
Κατάλογος πινάκων .....	10
Κατάλογος εικόνων.....	11
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	11
Εισαγωγή .....	14
Γενικά.....	14
Ψυχανθή.....	15
Συγκαλλιέργεια και Μονοκαλλιέργεια .....	16
Συγκαλλιέργεια μεταξύ οσπρίων και σιτηρών.....	18
1. Νερό .....	20
2. Άζωτο.....	21
3. Φώσφορος.....	22
4. Κάλιο.....	23
5. Λιπάσματα .....	24
6. Παράσιτα.....	24
Εκπομπές αέριων και στερεών ρύπων στην καλλιέργεια .....	26
Εκπομπές διοξειδίου και οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_2$ , $\text{NO}_x$ ).....	26
Εκπομπές αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ) .....	27
Εκπομπές νιτρικών ιόντων στα ύδατα ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	27
Εκπομπές βαρέων μετάλλων .....	27
Θεωρητικό Μέρος.....	29
Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ), Life Cycle Assessment (LCA).....	29

Σκοπός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής .....	30
Βασικά στάδια της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής .....	30
Λογισμικό της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	31
Κατηγορίες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων .....	31
1. Κλιματική αλλαγή (Climate change) .....	32
2. Οξίνιση (Acidification).....	32
3. Ευτροφισμός (Eutrophication).....	33
4. Εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος .....	34
5. Τοξικότητα στον άνθρωπο.....	34
6. Οικοτοξικότητα.....	35
7. Αιωρούμενα σωματίδια .....	35
8. Ιονίζουσα ακτινοβολία.....	36
9. Φωτοχημικό όζον.....	36
10. Εξάντληση πόρων .....	36
Λειτουργικές μονάδες και όρια συστήματος .....	38
Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων.....	39
Υπολογισμός εκπομπών στην ατμόσφαιρα, τα υδάτινα σώματα και το έδαφος .....	43
Εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα .....	43
Εκπομπές ρύπων στα ύδατα.....	44
Εκπομπές βαρέων μετάλλων στο έδαφος .....	44
Εφαρμογή Μεθοδολογίας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής – Αποτελέσματα .....	46
1. «Σενάριο 1» : Συγκαλλιέργεια Αρακά (Pea) - Βρώμης (Oat), Μονοκαλλιέργειες Αρακά και Βρώμης .....	46
1.1. Μονοκαλλιέργεια Βρώμης.....	46
1.2. Συγκαλλιέργεια Βρώμης – Αρακά (75:25).....	47



1.3. Συγκαλλιέργεια Βρώμης – Αρακά (50:50) .....	48
1.4. Συγκαλλιέργεια Βρώμης – Αρακά (25:75) .....	48
1.5 Μονοκαλλιέργεια Αρακά .....	49
2. «Σενάριο 2» : Συγκαλλιέργεια Αρακά (Pea) – Σιταριού (Wheat), Μονοκαλλιέργειες Αρακά και Σιταριού .....	54
2.1 Μονοκαλλιέργεια σιταριού με προσθήκη λιπάσματος .....	54
2.2 Μονοκαλλιέργεια αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος .....	57
2.3 Συγκαλλιέργεια σιταριού – αρακά με προσθήκη λιπάσματος .....	60
2.4 Συγκαλλιέργεια σιταριού – αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος .....	63
3. «Σενάριο 3» : Συγκαλλιέργεια Ρεβιθιού (Chickpea) - Σιταριού (Wheat), Μονοκαλλιέργειες Ρεβιθιού και Σιταριού .....	71
3.1. Μονοκαλλιέργεια Ρεβιθιού .....	71
3.2. Συγκαλλιέργεια Ρεβιθιού – Σιταριού (2:1) .....	72
3.3. Μονοκαλλιέργεια Σιταριού .....	73
Συμπεράσματα .....	79
Συμπεράσματα από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής .....	79
Βιβλιογραφία .....	87

## **Ευχαριστίες**

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε και εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη της κυρίας Κροκίδας Μαγδαληνής, Καθηγήτρια του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Κροκίδα, για την συνεργασία, την επίβλεψη, την πολύτιμη βοήθεια και τη γενικότερη καθοδήγηση που μου παρείχε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της διπλωματικής μου εργασίας. Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Κεκέ Τρύφωνα, ερευνητή του Εργαστηρίου Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών του ΕΜΠ για τις πολύτιμες συμβουλές του, τον χρόνο που μου αφιέρωσε και την αμερόληπτη βοήθεια που μου προσέφερε κατά την εκπόνηση της εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την συμπαράσταση και την στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Δεδομένα εισροών και εκροών σεναρίου 1.....	40
Πίνακας 2: Εκροές βαρέων μετάλλων στο έδαφος σεναρίου 1 .....	40
Πίνακας 3:Δεδομένα εισροών και εκροών σεναρίου 2.....	40
Πίνακας 4: Εκροές βαρέων μετάλλων στο έδαφος σεναρίου 2 .....	41
Πίνακας 5: Δεδομένα εισροών και εκροών σεναρίου 3.....	41
Πίνακας 6: Εκροές βαρέων μετάλλων στο έδαφος σεναρίου 3 .....	42
Πίνακας 7: Εκπομπές αμμωνίας (NH <sub>3</sub> ) συναρτήσει του είδους λιπάσματος .....	44
Πίνακας 8:Εκπομπές βαρέων μετάλλων ανά κατηγορία φυτοφαρμάκων .....	45
Πίνακας 9: Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια βρώμης.....	46
Πίνακας 10: Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια βρώμης .....	47
Πίνακας 11: Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (75:25).....	47
Πίνακας 12: Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (75:25).....	47
Πίνακας 13:Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (50:50).....	48
Πίνακας 14: Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (50:50).....	48
Πίνακας 15:Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (25:75).....	48
Πίνακας 16: Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (25:75).....	49
Πίνακας 17:Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια αρακά.....	49
Πίνακας 18: Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια αρακά.....	49
Πίνακας 19: Δείκτες endpoint συγκριτικά για τις μονοκαλλιέργειες και τις συγκαλλιέργειες του σεναρίου 1 .....	50
Πίνακας 20:Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια σιταριού με προσθήκη λιπάσματος	54
Πίνακας 21:Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια σιταριού με προσθήκη λιπάσματος	55
Πίνακας 22:Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος .....	57
Πίνακας 23:Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος .....	58
Πίνακας 24:Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια σιταριού-αρακά με προσθήκη λιπάσματος.....	60
Πίνακας 25:Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια σιταριού-αρακά με προσθήκη λιπάσματος.....	61

Πίνακας 26: Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια σιταριού-αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος.....	63
Πίνακας 27: Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια σιταριού-αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος.....	65
Πίνακας 28: Δείκτες endpoint συγκριτικά για τις μονοκαλλιέργειες και τις συγκαλλιέργειες του σεναρίου 2 .....	67
Πίνακας 29: Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού.....	71
Πίνακας 30: Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού .....	72
Πίνακας 31: Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια ρεβιθιού-σιταριού (2:1).....	72
Πίνακας 32: Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια ρεβιθιού-σιταριού (2:1).....	73
Πίνακας 33: Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια σιταριού .....	73
Πίνακας 34: Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια σιταριού.....	74
Πίνακας 35: Δείκτες endpoint συγκριτικά για τις μονοκαλλιέργειες και την συγκαλλιέργεια του σεναρίου 3 .....	74

## **Κατάλογος εικόνων**

Εικόνα 1: Στάδια ανάλυσης κύκλου ζωής .....	31
Εικόνα 2: Κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων .....	38

## **Κατάλογος Διαγραμμάτων**

Διάγραμμα 2: Συγκριτική Ανάλυση Μη Καρκινογόνου Τοξικότητας στην Ανθρώπινη Υγεία: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 1 .....	51
Διάγραμμα 1: Συγκριτική Ανάλυση Εξάντλησης Ορυκτών Πόρων: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 1 .....	51
Διάγραμμα 4: Συγκριτική Ανάλυση Κατανάλωσης Νερού: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 1 .....	51
Διάγραμμα 3: Συγκριτική Ανάλυση Ευτροφισμού του Νερού: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 1 .....	51

Διάγραμμα 6: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στο Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα για το Σενάριο 1 .....	52
Διάγραμμα 5: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στην Ανθρώπινη Υγεία για το Σενάριο 1 .....	52
Διάγραμμα 7: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στην Κατανάλωση Πόρων για το Σενάριο 1 .....	52
Διάγραμμα 8: Συγκριτική Ανάλυση Κλιματικής Αλλαγής: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2 .....	67
Διάγραμμα 9: Συγκριτική Ανάλυση Συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2 .....	67
Διάγραμμα 10: Συγκριτική Ανάλυση Καρκινογόνου Τοξικότητας στην Ανθρώπινη Υγεία: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2 .....	68
Διάγραμμα 11: Συγκριτική Ανάλυση Οικοτοξικότητας του Νερού: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2 .....	68
Διάγραμμα 12: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στο Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα για το Σενάριο 2 .....	68
Διάγραμμα 13: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στην Ανθρώπινη Υγεία για το Σενάριο 2 .....	69
Διάγραμμα 14: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στην Κατανάλωση Πόρων για το Σενάριο 2 .....	69
Διάγραμμα 15: Συγκριτική Ανάλυση Συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 3 .....	75
Διάγραμμα 16: Συγκριτική Ανάλυση Δείκτη Κλιματικής Αλλαγής: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 3 .....	75
Διάγραμμα 17: Συγκριτική Ανάλυση Συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2 .....	75
Διάγραμμα 18: Συγκριτική Ανάλυση Συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2 .....	75
Διάγραμμα 19: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στην Ανθρώπινη Υγεία για το Σενάριο 3 .....	76

Διάγραμμα 20: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στο Περιβαλλοντικό Αποτύπωμα για το Σενάριο 3 .....	76
Διάγραμμα 21: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στην Κατανάλωση Πόρων για το Σενάριο 3 .....	76

## Εισαγωγή

### Γενικά

Η συνεχής αύξηση του πληθυσμού και παράλληλα η απαίτηση για ικανοποίηση των διατροφικών αναγκών του, κατευθύνουν όλο και περισσότερο τον κλάδο της γεωργίας προς μια περισσότερο βιώσιμη προσέγγιση. Η κοινωνία αλλά και συγκεκριμένα οι εργαζόμενοι στον τομέα της γεωργίας, τα τελευταία χρόνια φαίνεται να εκδηλώνουν αυξανόμενο ενδιαφέρον για την υιοθέτηση πιο φιλικών προς το περιβάλλον γεωργικών πρακτικών. Η στάση αυτή υποδηλώνει επίγνωση της ανάγκης για μια πιο βιώσιμη γεωργία και ένδειξη της αυξανόμενης κοινωνικής ζήτησης για βιώσιμες πρακτικές, όπως αυτή της συγκαλλιέργειας [1].

Καίριο ρόλο στην επιτυχή ενσωμάτωση της βιωσιμότητας και της παραγωγικότητας στην γεωργία διαδραματίζει η ευρέως διαδεδομένη πρακτική της συγκαλλιέργειας ή αλλιώς ενδοκαλλιέργειας (intercropping), η οποία αντιτίθεται στον κλασικό τύπο καλλιέργειας, την μονοκαλλιέργεια. Η συγκαλλιέργεια στον τομέα της γεωργίας αντιπροσωπεύει μια σύγχρονη προσέγγιση στην καλλιέργεια φυτών, όπου διάφορα φυτικά είδη συνυπάρχουν σε μια κοινή έκταση γης. Μέσω αυτής της πρακτικής, προσδίδεται μια νέα διάσταση στη γεωργική διαχείριση, επιτρέποντας την αποτελεσματική αντιστοίχιση των απαιτήσεων της καλλιεργήσιμης γης με των διαθέσιμων πόρων του εδάφους. Η συγκαλλιέργεια δεν περιορίζεται απλώς στην αύξηση της παραγωγικότητας και της απόδοσης σε μια δεδομένη έκταση γης, αλλά ενισχύει επίσης τη βιοποικιλότητα και προωθεί μια πιο βιώσιμη προσέγγιση στη γεωργία. Με βάση τη διαφοροποίηση του είδους των φυτών σε μια έκταση γης και του χρόνου ανάπτυξής τους, πραγματοποιείται συμπληρωματική χρήση των διαθέσιμων πόρων του εδάφους που απαιτούνται για την ανάπτυξη των φυτών που αποτελούν την συγκαλλιέργεια. Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί πως η πρακτική της συγκαλλιέργειας βελτιώνει την παραγωγικότητα και γονιμότητα του εδάφους μέσω του μηχανισμού της βιολογικής δέσμευσης αζώτου που πραγματοποιούν τα ψυχανθή, όταν αποτελούν το ένα συστατικό μιας καλλιέργειας [2]. Η μείωση της εμφάνισης των παρασιτικών οργανισμών και εντόμων που απειλούν την καλλιέργεια έχει συνδεθεί άρρηκτα με την πρακτική της συγκαλλιέργειας και έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της χρήσης και εισροής στο έδαφος των φυτοφαρμάκων και των λιπασμάτων. Ως εκ τούτου, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της γεωργίας ελαττώνονται



δραστικά. Τέλος, η συγκαλλιέργεια προσφέρει ασφάλεια στην περίπτωση που το ένα από τα δύο συστατικά της καλλιέργειας έχει χειρότερη απόδοση από την αναμενόμενη. Κατά συνέπεια, παρέχεται οικονομική σταθερότητα έναντι μιας μονοκαλλιέργειας, γεγονός που καθιστά την προσέγγιση της συγκαλλιέργειας ωφέλιμη και πολύτιμη σε μια εποχή οικονομικής αβεβαιότητας.

Συνολικά, η συγκαλλιέργεια αποτελεί κλειδί για τη δημιουργία μιας νέας εποχής στον τομέα της γεωργίας, στηριζόμενη στην αρχή της ισορροπίας μεταξύ παραγωγής και προστασίας του περιβάλλοντος.

### **Ψυχανθή**

Τα ψυχανθή ή αλλιώς όσπρια, απαρτίζουν μια ομάδα χλωροφύκων γνωστή ως κορυμβοφύκη ή φύκος στηρίγματος (Charophyta), η οποία ανήκει στο βασίλειο Φυτών ή Plantae και την οικογένεια Fabaceae ή Leguminosae [3]. Η οικογένεια των οσπρίων αποτελείται από 800 γένη και 20.000 είδη, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως σε ποικίλους τομείς, όπως στην διατροφή, αφού αποτελούν κύρια πηγή πρωτεϊνών, φυτικών ινών και βιταμινών, στην κτηνοτροφία ως ζωοτροφές για την αύξηση της πρόσληψης πρωτεΐνης από τα ζώα, στην γεωργία ως λιπάσματα και συστατικά συγκαλλιέργειας και τέλος σε βιομηχανίες καλλυντικών, φαρμάκων και βιοκαυσίμων [4].

Τα ψυχανθή έχουν την δυνατότητα να σχηματίσουν διάφορες μορφές, όπως τους καρπούς τους που ονομάζονται και λοβοί, φύλλα και λουλούδια, ενώ ορισμένα είδη μπορεί να διαθέτουν και ειδικές δομές προσαρμοσμένες για τη διασπορά των σπόρων τους. Το 88% των ειδών που έχουν εξεταστεί παρουσιάζουν ριζόβια στις ρίζες τους [5]. Τα ριζόβια αποτελούν μια ομάδα βακτηρίων του εδάφους, τα οποία αλληλοεπιδρούν με τα οζίδια των ψυχανθών και τελικά δημιουργείται ένα σύστημα ριζών το οποίο φιλοξενεί τα βακτηριοειδή που είναι υπεύθυνα για την δέσμευση του αζώτου από την ατμόσφαιρα [6].

Τα ψυχανθή αποτελούν σημαντικό μέρος του οικοσυστήματος και παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που ενισχύουν το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για την συγκεκριμένη κατηγορία και τα καθιστούν μοναδικά, καθώς συμβάλλουν στην ισορροπία και τη βιοποικιλότητα του περιβάλλοντος.

Τα ψυχανθή αντιπροσωπεύουν το 27% της παγκόσμιας φυτικής παραγωγής και καλύπτουν το 33% των πρωτεϊνών που καταναλώνει ο άνθρωπος στα πλαίσια μιας ισορροπημένης

διατροφής. Ο πληθυσμός την σύγχρονη εποχή καταναλώνει περίπου 11 g αζώτου ημερησίως ή 24 Mt αζώτου ετησίως [7]. Τα κύρια ψυχανθή που συμπεριλαμβάνονται στην διατροφή του ανθρώπου, αποτελούν το φασόλι, το ρεβίθι, τα μπιζέλια (broad bean, pigeon pea και cowpea) το λούπινο και η φακή [8]. Από την δημοσίευση της ευρωπαϊκής ένωσης σχετικά με τις γεωργικές προοπτικές για τα έτη 2019-2030, προέκυψε πως οι καλλιέργειες των ψυχανθών αντιστοιχούν στο 1.4% της συνολικής καλλιεργήσιμης γης της Ευρώπης, δηλαδή περίπου 180 εκατομμύρια εκτάρια ή το 10% της παγκόσμιας συνολικής καλλιεργήσιμης γης [9].

Συνοψίζοντας, τα ψυχανθή διαδραματίζουν καίριο ρόλο στην γεωργία, την διατροφή και γενικά στα φυσικά οικοσυστήματα, αφού λόγω των μοναδικών χαρακτηριστικών τους, όπως για παράδειγμα η διεργασία της αζωτοδέσμευσης, καθίστανται οικονομικά ωφέλιμα και αποδοτικά σε σχέση με άλλες καλλιέργειες.

### **Συγκαλλιέργεια και Μονοκαλλιέργεια**

Η αγροτική παραγωγή απαιτεί τη διαχείριση πόρων παραγωγής εντός ενός συγκεκριμένου κοινωνικοοικονομικού πλαισίου. Αυτό συμπεριλαμβάνει τη χρήση φυσικών πόρων, όπως το έδαφος και το νερό, καθώς και κοινωνικοοικονομικών πόρων, όπως εργατικό δυναμικό και κεφάλαιο. Το σύστημα παραγωγής στη γεωργία εξαρτάται συχνά από τον τύπο της καλλιέργειας που χρησιμοποιείται. Οι δύο βασικές κατηγορίες που μπορεί να εντάσσεται μια καλλιέργεια είναι η μονοκαλλιέργεια, όπου σε μια συγκεκριμένη έκταση γης καλλιεργείται μόνο ένα είδος, ή μικτή καλλιέργεια, όπου συνδυάζονται πολλαπλές καλλιέργειες στην ίδια έκταση γης [10].

Μονοκαλλιέργεια ονομάζεται το σύστημα φυτικής παραγωγής στο οποίο καλλιεργείται ένα φυτικό είδος σε μια έκταση γης. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται κυρίως σε ανεπτυγμένες χώρες όπως η Βόρεια Αμερική και η Δυτική Ευρώπη, αφού υπάρχει η τεχνογνωσία, η τεχνολογία και η εμπειρία για να ανταπεξέλθουν αποτελεσματικά στις απαιτήσεις της μονοκαλλιέργειας [11].

Τα πλεονεκτήματα της μονοκαλλιέργειας είναι καίρια για τη γεωργική παραγωγή. Καταρχάς, η μονοκαλλιέργεια επιτρέπει την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων τροφής με υψηλή αποδοτικότητα. Επιπλέον, η διαχείριση ενός αγροκτήματος με μονοκαλλιέργεια είναι συνήθως απλούστερη σε σύγκριση με άλλες μεθόδους καλλιέργειας, καθώς χρησιμοποιούνται

συγκεκριμένες ποσότητες και κατηγορίες φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων και άλλων πόρων, αφού δεν υπάρχει ποικιλία φυτών τα οποία απαιτούν διαφορετικό χειρισμό.

Ωστόσο, υπάρχουν και αρνητικά στοιχεία που χαρακτηρίζουν την συγκεκριμένη πρακτική. Αρχικά, η παραγωγή είναι ευάλωτη σε ασθένειες, παράσιτα και καταστροφές, καθώς όλα τα φυτά είναι εξίσου ευάλωτα. Επίσης, η έλλειψη ποικιλίας φυτών συνεπάγεται με την ύπαρξη λιγότερων ωφέλιμων εντόμων και μικρότερη ικανότητα για αντιμετώπιση περιβαλλοντικών πιέσεων, για παράδειγμα στρες αζώτου [10]. Τέλος, η αστάθεια που παρουσιάζεται στις μονοκαλλιέργειες θεωρείται πως οφείλεται στις περιορισμένες αλληλεπιδράσεις σε σύγκριση με ένα σύστημα μικτής καλλιέργειας, το οποίο λόγω της βιοποικιλότητας που το χαρακτηρίζει, έχει την δυνατότητα να απορροφά τις επιπτώσεις των μεταβολών πιο άμεσα [12].

Λόγω της εντατικοποίησης των συστημάτων μονοκαλλιέργειας στην Ευρώπη, καίρια περιβαλλοντικά προβλήματα έχουν αναδυθεί τις τελευταίες δεκαετίες, όπως η απώλεια της βιοποικιλότητας, η μόλυνση και ο ευτροφισμός των υδάτινων σωμάτων, οι υψηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και η υποβάθμιση του εδάφους [13]. Ως εκ τούτου, προκειμένου να αποφευχθεί η ριζική περιβαλλοντική καταστροφή, θα πρέπει να αντιμετωπιστούν οι περιβαλλοντικές προκλήσεις, αξιοποιώντας μια πιο βιώσιμη μέθοδο καλλιέργειας. Η αύξηση του αριθμού των φυτών μιας καλλιέργειας και η προσθήκη ψυχανθών σε αυτή έχει προταθεί ως λύση για την αντιμετώπιση των προαναφερθέντων περιβαλλοντικών προβλημάτων [14]. Η παραπάνω μέθοδος καλλιέργειας ονομάζεται συγκαλλιέργεια και αποτελεί έναν τύπο μικτής καλλιέργειας.

Συγκαλλιέργεια ή ενδοκαλλιέργεια (intercropping) ορίζεται ως η ταυτόχρονη καλλιέργεια δύο ή περισσότερων φυτικών ειδών, τα οποία σπέρνονται στην ίδια έκταση γης. Στα φυτά που αποτελούν την συγκαλλιέργεια δεν είναι απαραίτητη η ταυτόχρονη συγκομιδή, σπορά ή προσθήκη λιπασμάτων και εντομοκτόνων, καθώς το χρονικό διάστημα ανάπτυξης και ωρίμανσης διαφορετικών ποικιλιών φυτικών ειδών συνήθως διαφέρει [15].

Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την μέγιστη αξιοποίηση των φυσικών πόρων του εδάφους που διατίθενται για την παραγωγή των φυτών, αυξάνοντας την συνολική απόδοση της παραγωγής και ταυτόχρονα μειώνοντας την ανάγκη για χρήση εκτεταμένων ποσοτήτων λιπασμάτων και εντομοκτόνων. Η γενετική ανομοιογένεια των ειδών, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην μείωση της διασποράς των ασθενειών από έντομα και παρασιτικούς οργανισμούς και επιπλέον συμβάλλει στην προστασία της καλλιέργειας έναντι περιβαλλοντικών προκλήσεων. Ακόμα, η

συγκαλλιέργεια αυξάνει την ποσότητα του διαθέσιμου νερού για τα φυτά και προστατεύει το έδαφος από διάβρωση λόγω της βροχής [16]. Ύστερα από μελέτες σε συγκαλλιέργειες και αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες παρατηρήθηκε πως η συγκαλλιέργεια φυτών παρέχει πρόσθετα οικονομικά αλλά και περιβαλλοντικά οφέλη σχετικά με τον συμβατικό τρόπο παραγωγής [17]. Τα οικονομικά οφέλη που συνδέονται με την μέθοδο της συγκαλλιέργειας, σχετίζονται με την αύξηση του κέρδους ανά έκταση γης και την μείωση του κόστους εισροών. Η απόδοση μιας συγκαλλιέργειας μπορεί να αποδοθεί με τον λόγο ισοδύναμης γης (LER, land equivalent ratio), δηλαδή την αναλογία της έκτασης γης που απαιτείται σε μια μονοκαλλιέργεια με συγκεκριμένη απόδοση, προς την αντίστοιχη έκταση γης μιας συγκαλλιέργειας [18].

Ωστόσο, η συγκαλλιέργεια δεν είναι απαλλαγμένη από μειονεκτήματα. Η αύξηση της γενετικής ποικιλότητας μπορεί να αυξήσει την ποικιλία παρασίτων και ασθενειών σε ορισμένες περιπτώσεις. Επιπλέον, η διαχείριση των διαδικασιών σποράς, συγκομιδής, άρδευσης αλλά και προσθήκης λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων σε ένα σύστημα συγκαλλιέργειας μπορεί να είναι περίπλοκη, λόγω της ποικιλομορφίας των φυτών και των παρεμβάσεων που απαιτούνται.

### **Συγκαλλιέργεια μεταξύ οσπρίων και σιτηρών**

Η συγκαλλιέργεια αποτελεί ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο σύστημα φυτικής παραγωγής σε περιοχές που παρουσιάζουν συχνές βροχοπτώσεις αλλά και σε μεσογειακές χώρες [19] [20]. Ένας από τους κυριότερους λόγους που επιλέγεται να χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη μέθοδος είναι η αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας συγκριτικά με την αντίστοιχη μονοκαλλιέργεια και η μέγιστη αξιοποίηση των πόρων του εδάφους [21]. Ωστόσο, η απόδοση μιας συγκαλλιέργειας μπορεί να επηρεαστεί από ποικίλους παράγοντες, όπως οι ποικιλίες των ειδών που καλλιεργούνται, η αναλογία σποράς των δύο διαφορετικών ειδών και οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους [22], [23], [24].

Σε μια συγκαλλιέργεια οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ειδών που συνυπάρχουν στον ίδιο αγρό μπορεί να είναι ανταγωνιστικές ή συνεργατικές με σκοπό την επιβίωση των φυτών [25]. Το νερό, το διοξείδιο του άνθρακα και τα συστατικά του εδάφους όπως το άζωτο, το κάλιο και ο φώσφορος είναι αναγκαία για την φυσιολογική ανάπτυξη μιας καλλιέργειας. Ένας από τους πιο διαδεδομένους συνδυασμούς φυτών για συγκαλλιέργεια είναι τα ψυχανθή με τα δημητριακά, καθώς έχει αποδειχθεί πως είναι συναγωνιστικά φυτά και αναπτύσσονται με

διαφορετικούς μηχανισμούς, ελαχιστοποιώντας τον ανταγωνισμό για τα απαραίτητα θρεπτικά στοιχεία. Συνήθως η αδυναμία του ψυχανθούς να ανταγωνιστεί για τα παραπάνω θρεπτικά συστατικά αποδίδεται στη μικρότερη διακλάδωση του ριζικού τους συστήματος [26]. Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα ριζών των δημητριακών είναι πολύ πιο εκτεταμένο και γρήγορα αναπτυσσόμενο από αυτό των ψυχανθών και αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του ανταγωνισμού για τους πόρους του εδάφους [27].

Στην περίπτωση που τα δύο φυτά που αποτελούν μια συγκαλλιέργεια έχουν παρόμοιες ανάγκες για τα συστατικά του εδάφους όπως το άζωτο, το κάλιο και ο φώσφορος ή τα συστατικά στο έδαφος είναι περιορισμένα, τότε παρουσιάζεται ανταγωνισμός μεταξύ τους. Οι συνέπειες που έχει ο ανταγωνισμός μεταξύ των φυτών λόγω των περιορισμένων πόρων μπορεί να είναι η μείωση της απόδοσης της καλλιέργειας, η μείωση της παραγωγής των καρπών και του ύψους των φυτών αλλά και η υπανάπτυξη των ριζών του ενός φυτού [28].

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της συγκαλλιέργειας οσπρίων με δημητριακά αποτελεί το γεγονός πως τα δύο αυτά είδη φυτών είναι συναγωνιστικά όσο αφορά την ανάπτυξή τους στην ίδια έκταση γης και συνεπώς προτιμάται αυτός ο συνδυασμός αφού τελικά η απόδοση της καλλιέργειας αυξάνεται. Η πρακτική αυτή έχει αποδειχθεί πως εκτός από την μεγιστοποίηση της απόδοσης, παρέχει και σταθερότητα απόδοσης με την πάροδο των χρόνων [29]. Το έδαφος, λόγω της ποικιλομορφίας των αναγκών που παρουσιάζουν τα διαφορετικά είδη φυτών, δεν εξασθενείται από συγκεκριμένα συστατικά όπως συμβαίνει στην περίπτωση της μονοκαλλιέργειας, αλλά παραμένει πλούσιο σε εδαφικούς πόρους. Σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες των ψυχανθών, οι συγκαλλιέργειες με δημητριακά δίνουν την δυνατότητα για μια πιο αποτελεσματική χρήση των συστατικών του εδάφους, λόγω της συμπληρωματικότητας και συνεργατικότητας των φυτών κατά το στάδιο της ανάπτυξής τους. Σε μελέτη καλλιεργειών μπιζελιού – τριτικάλε και μπιζελιού – σιταριού, με αναλογίες 80:20 αντίστοιχα και στις δύο, παρατηρήθηκε αύξηση της απόδοσης των συστημάτων συγκαλλιέργειας κατά περίπου 20% σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Αυτό το αποτέλεσμα αποδίδεται σε βελτιωμένες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δύο ειδών στις συγκαλλιέργειες, οι οποίες ενισχύουν τελικά τη συνολική παραγωγικότητα. Η αυξημένη απόδοση οδήγησε σε σημαντικά υψηλότερα οικονομικά οφέλη για τους παραγωγούς, καθιστώντας τα συστήματα συγκαλλιέργειας μια βιώσιμη και πιο κερδοφόρα επιλογή σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μονοκαλλιέργειες [2].

Παρόλα αυτά, είναι αναγκαίο σε κάθε σύστημα συγκαλλιέργειας να εξετάζεται ενδελεχώς ο ανταγωνισμός των δύο συστατικών της, αφού κάθε φυτά έχουν διαφορετικές ανάγκες σε ανόργανα και οργανικά συστατικά του εδάφους. Ένα παράδειγμα ανταγωνιστικής ανάπτυξης μεταξύ των δύο συστατικών μιας συγκαλλιέργειας οσπρίων – δημητριακών αποτελεί η συγκαλλιέργεια σόγιας – σόργου. Πραγματοποιήθηκε συγκαλλιέργεια μεταξύ δύο διαφορετικών ειδών σόργου και σόγιας με στόχο την μεγιστοποίηση της απόδοσης των καρπών ανά μονάδα έκτασης γης. Παρατηρήθηκε πως με την χρήση της τεχνικής της συγκαλλιέργειας, οι αποδόσεις των δύο ειδών σόργου μειώθηκαν κατά 14% και 74% αντίστοιχα, σε αντίθεση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειας. Επιπλέον, επηρεάστηκε και ο αριθμός των λοβών της σόγιας, μειώνοντας έτσι τον συνολικό πληθυσμό του φυτού αλλά και την συνολική απόδοση της καλλιέργειας [30].

Τα κύρια συστατικά του εδάφους, των οποίων η επαρκής πρόσληψη αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για την ανάπτυξη των φυτών σε μια καλλιέργεια, είναι το άζωτο, ο φώσφορος και το κάλιο. Επιπλέον, το νερό του εδάφους αλλά και τα στοιχεία που απαρτίζουν τον ατμοσφαιρικό αέρα είναι απαραίτητα για την επιτυχή ανάπτυξη των φυτών μιας συγκαλλιέργειας. Με βάση πολυάριθμες έρευνες που έχουν διεξαχθεί στον τομέα της γεωργίας, και ανάλογα τις περιόδους σποράς των φυτών, το ποσοστό θρεπτικών συστατικών και νερού του εδάφους και τον ανταγωνισμό που μπορεί να προκύψει μεταξύ δύο διαφορετικών φυτών, έχει αποδειχθεί πως η συγκαλλιέργεια οσπρίων – δημητριακών ενισχύει την πρόσληψη όλων των προαναφερθέντων συστατικών, γεγονός που καθιστά την καλλιέργεια επιτυχημένη, συμφέρουσα και με υψηλή απόδοση σε σχέση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες [31]. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται αναλυτικά η επίδραση της συγκαλλιέργειας στα κύρια θρεπτικά στοιχεία του εδάφους που επηρεάζουν κάθε καλλιέργεια.

### **1. Νερό**

Το νερό αποτελεί θεμέλιο στοιχείο για την ανάπτυξη οποιασδήποτε καλλιέργειας. Η έλλειψη νερού αποτελεί την πιο κοινή μορφή στρες που υπόκειται μια καλλιέργεια. Σε περιοχές όπου το διαθέσιμο νερό στο έδαφος είναι περιορισμένο, οι καλλιέργειες είναι πιο πιθανό να μην αναπτύσσονται επαρκώς και η απόδοσή τους να είναι σημαντικά μειωμένη. Έχει παρατηρηθεί, πως κατά την διάρκεια περιόδων όπου επικρατεί ξηρασία, οι ρίζες των φυτών μιας καλλιέργειας μειώνονται σημαντικά σε μέγεθος. Η μείωση αυτή έχει υπολογιστεί πως σε

αρκετές περιπτώσεις είναι ανάλογη με την σοβαρότητα της ξηρασίας που επικρατεί, δηλαδή ανάλογη με το μέγεθος της έλλειψης νερού σε μια έκταση γης [32].

Πιο συγκεκριμένα, σε συγκαλλιέργειες ψυχανθών – δημητριακών, έχει παρατηρηθεί πως λόγω των διαφορετικών αναγκών των δύο ειδών, πραγματοποιείται η βέλτιστη χρήση των πόρων του εδάφους και συνεπώς και του διαθέσιμου νερού. Ορισμένοι τρόποι με τους οποίους οι συγκαλλιέργειες βελτιώνουν την χρήση του διαθέσιμου νερού είναι η αύξηση της ποσότητας του νερού που ανασύρουν στην επιφάνεια τα φυτά και συνεπώς η αύξηση του διαθέσιμου νερού, η αύξηση της απόδοσης της μετατροπής και τέλος η αύξηση του μεριδίου του νερού στο μέρος του φυτού που επιφέρει οικονομικά κέρδη, για παράδειγμα στον καρπό [33]. Γενικά, σε συστήματα συγκαλλιέργειας ψυχανθών – δημητριακών έχει παρατηρηθεί αυξημένη αποδοτικότητα της χρήσης νερού από τα φυτά από 18% έως 99%, συγκριτικά με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες [34]. Επιπλέον, την αποδοτικότητα της χρήσης νερού επηρεάζει άμεσα ο πληθυσμός των φυτών των δύο συστατικών της συγκαλλιέργειας και η απόσταση που θα γίνει η σπορά μεταξύ τους [35].

Μελετήθηκε συγκαλλιέργεια μπιζελιού (cowpea) – καλαμποκιού αναπτυσσόμενη στην δυτική Νιγηρία. Παρατηρήθηκε πως η αποδοτικότητα χρήσης νερού στην συγκαλλιέργεια ήταν κατά 71.1% αυξημένη σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια καλαμποκιού και 100.0% αυξημένη σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια μπιζελιού για τις καλλιέργειες το έτος 1984. Γενικά από την έρευνα συμπεραίνεται πως η αποδοτικότητα χρήσης νερού της συγκαλλιέργειας μπιζελιού (cowpea) – καλαμποκιού, σε περίοδο όπου το έδαφος είχε αυξημένο διαθέσιμο νερό, ήταν υψηλότερη σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Πάραυτα, πρέπει να αναφερθεί πως σε περίοδο όπου το διαθέσιμο νερό του εδάφους ήταν περιορισμένο, φαίνεται πως η συγκαλλιέργεια είχε χαμηλότερη αποδοτικότητα χρήσης νερού σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια καλαμποκιού, ενώ το αντίθετο συνέβη για την μονοκαλλιέργεια του μπιζελιού. Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί λόγω της προσωρινής διακοπής της ανάπτυξης του μπιζελιού λόγω του φαινομένου της ξηρασίας [36].

## **2. Άζωτο**

Τόσο τα δημητριακά όσο και τα ψυχανθή προσλαμβάνουν άζωτο από το έδαφος, αλλά μόνο τα ψυχανθή μπορούν να δεσμεύσουν επιπλέον άζωτο από τον αέρα λόγω της βιολογικής δέσμευσης του αζώτου. Με αυτόν τον τρόπο τα ψυχανθή λαμβάνουν τα ποσά αζώτου που χρειάζονται για να αναπτυχθούν από την ατμόσφαιρα, παραχωρώντας έτσι το διαθέσιμο άζωτο



του εδάφους στα δημητριακά. Ακόμα, λόγω της αζωτοδέσμευσης που πραγματοποιείται από τα ψυχανθή, αποφεύγεται η χρήση συνθετικών αζωτούχων λιπασμάτων για την αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας, μειώνοντας έτσι τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα και τελικά μειώνοντας το αποτύπωμα του άνθρακα της καλλιέργειας [37], [38], [39]. Συνεπώς, όταν υπάρχει χαμηλή ποσότητα αζώτου στο έδαφος, τα δημητριακά αποδίδουν καλύτερα σε κοινή καλλιέργεια με ψυχανθή λόγω του μειωμένου ανταγωνισμού για άζωτο, αφού τα ψυχανθή λαμβάνουν μέρος του αζώτου τους από τον αέρα. Έτσι, η συγκαλλιέργεια ενός δημητριακού και ενός ψυ σε έδαφος με χαμηλή ποσότητα αζώτου μειώνει το στρες αζώτου του δημητριακού και ενισχύει τη βιολογική δέσμευση του ατμοσφαιρικού αζώτου από το ψυχανθή [40]. Από συγκαλλιέργεια κουκιού – σιταριού προέκυψε πως το κουκί μείωσε την πρόσληψη αζώτου του σιταριού κατά 26% και αντίστοιχα το σιτάρι μείωσε την πρόσληψη αζώτου του κουκιού κατά 44%. Μπορεί να παρατηρηθεί πως η συγκαλλιέργεια επηρέασε αρκετά το ποσοστό πρόσληψης αζώτου των δύο φυτών, αλλά και την απόδοση της καλλιέργειας, η οποία αυξήθηκε κατά 20% [41]. Επιπλέον σε έρευνες που πραγματοποιήθηκαν σε καλλιέργειες μπιζελιού (cowpea) και καλαμποκιού, παρατηρήθηκε πως η πρόσληψη αζώτου του καλαμποκιού στην συγκαλλιέργεια μειώθηκε κατά 17%, συγκριτικά με την μονοκαλλιέργεια. Ακόμα, η πρόσληψη αζώτου του μπιζελιού στην συγκαλλιέργεια μειώθηκε στα 64 kg/ha, σε σύγκριση με τα 88 kg/ha που χρειάστηκαν στην αντίστοιχη μονοκαλλιέργεια [42].

### **3. Φώσφορος**

Ο φώσφορος αποτελεί απαραίτητο συστατικό για την ανάπτυξη των φυτών μιας συγκαλλιέργειας, αφού συμβάλλει στην διεκπεραίωση καίριων διεργασιών, όπως στην διαδικασία της βιοσύνθεσης νουκλεϊκών οξέων και μεμβρανών, στην φωτοσύνθεση, στην κυτταρική αναπνοή και στον μεταβολισμό της ενέργειας [43]. Η πρόσληψη φωσφόρου από τα φυτά είναι ζωτικής σημασίας, γεγονός που έχει αποδειχθεί, αφού η απόδοση στο 30 – 40% των καλλιεργήσιμων εκτάσεων παγκοσμίως είναι μειωμένη λόγω της ανεπάρκειας φωσφόρου του εδάφους. Το είδος εδάφους που έχει την μεγαλύτερη πιθανότητα να παρουσιάζει έλλειψη φωσφόρου είναι το όξινο έδαφος [44]. Σύμφωνα με τον διεθνή οργανισμό της Οργάνωσης Τροφίμων και Γεωργίας, του ΟΗΕ, το μεγαλύτερο μερίδιο όξινου εδάφους το κατέχει η νοτιοανατολική Ασία και ο Ειρηνικός, όπου το 63% του εδάφους είναι όξινο. Η Αμερική κατέχει το 40.9% του παγκόσμιου όξινου εδάφους, η Αφρική το 16.7% και τέλος η Ευρώπη,

κατέχει το 9.9% [45]. Η έλλειψη του φώσφορου από το έδαφος έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων και εξελιγμένων μορφολογικών, χημικών και βιοχημικών χαρακτηριστικών στα φυτά, αλλά και νέων μηχανισμών για την απόκτηση και χρήση του [43]. Οι στρατηγικές που χρησιμοποιούνται στοχεύουν είτε στην διατήρηση του υπάρχοντος φώσφορου στο φυτό, είτε στην ενίσχυση του μηχανισμού απόκτησής του [46]. Ένας αρκετά συνήθης τρόπος απόκτησης φώσφορου από τα ψυχανθή ελλείπει του στοιχείου, είναι η δημιουργία ριζών (clutter roots), οι οποίες έχουν υψηλή απόδοση στην πρόσληψη φώσφορου [47]. Έχει παρατηρηθεί πως αρκετά είδη ψυχανθών, όπως το λούπινο και το μπιζέλι έχουν αναπτύξει τις παραπάνω δομές (clutter roots) σε καλλιέργειες όπου το έδαφος δεν προσφέρει αρκετό φώσφορο [48], [49]. Σε συγκαλλιέργειες ψυχανθών – δημητριακών, κατά κύριο λόγο έχει παρατηρηθεί πως τα δύο συστατικά της καλλιέργειας, ανάλογα το είδος τους, μπορεί είτε να μην παρουσιάσουν καθόλου ανταγωνισμό για τον φώσφορο, είτε μπορεί η πρόσληψη του φώσφορου να μειωθεί στην συγκαλλιέργεια συγκριτικά με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Σε συγκαλλιέργεια ψυχανθών – δημητριακών στην πολιτεία του Ιλινόι στις ΗΠΑ, παρατηρήθηκε πως τα δύο συστατικά της καλλιέργειας καθ' όλη την περίοδο ανάπτυξης τους δεν παρουσίασαν ανταγωνισμό για τον φώσφορο του εδάφους [50]. Παρόλα αυτά, σε συγκαλλιέργεια μπιζελιού (pigeon pea) – καλαμποκιού, παρατηρήθηκε πως η πρόσληψη φώσφορου μειώθηκε κατά 25% στο καλαμπόκι και 70% στο μπιζέλι στην συγκαλλιέργεια, συγκριτικά με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Τελικά, προέκυψε πως η συγκαλλιέργεια μεταξύ των δύο φυτών, τα οποία ήταν τοποθετημένα σε εναλλασσόμενες σειρές, προσέλαβε το μέγιστο ποσό φωσφόρου συγκριτικά με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες [51].

#### **4. Κάλιο**

Έρευνες υπέδειξαν πως οι ρίζες των ψυχανθών έχουν την δυνατότητα να προσλάβουν και να ανταλλάξουν σχεδόν διπλάσια κατιόντα, σε σύγκριση με τις ρίζες των δημητριακών. Ως εκ τούτου, στην περίπτωση που η καλλιέργεια πραγματοποιείται σε έδαφος με χαμηλά ποσοστά ανταλλάξιμου καλίου, είναι πολύ πιθανό να προκληθεί στα ψυχανθή ανεπάρκεια σε κάλιο. Η πρόσληψη των κατιόντων καλίου από τις ρίζες των δημητριακών, σε συνδυασμό με τον αυξημένο ρυθμό εξάντλησης των ποσοτήτων του καλίου στο έδαφος, δημιουργεί μείωση στην πρόσληψη του καλίου από τα ψυχανθή [52]. Σε συγκαλλιέργεια σόργου – μπιζελιού (pigeonpea) παρατηρήθηκε μείωση πρόσληψης καλίου από 28.6 kg/ha σε 3 kg/ha στην μονοκαλλιέργεια και συγκαλλιέργεια αντίστοιχα [53]. Με στόχο την δημιουργία καμπυλών

για διάφορα θρεπτικά συστατικά όπως το κάλιο, σε συγκαλλιέργεια μπιζελιού (cowpea) – καλαμποκιού προστέθηκαν διαφορετικοί συνδυασμοί λιπασμάτων. Διαπιστώθηκε πως ύστερα από εφαρμογή 115 kg/ha αζωτούχου λιπάσματος στο έδαφος, η πρόσληψη του καλίου μειώθηκε σημαντικά και στα δύο συστατικά της καλλιέργειας. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε μείωση κατά 31% στο καλαμπόκι και 50% στο μπιζέλι της συγκαλλιέργειας, συγκριτικά με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες [42].

Ως εκ τούτου, προκύπτει πως σε γεωγραφικές περιοχές όπου οι περιβαλλοντικές και εδαφικές συνθήκες αποτελούν περιορισμό για την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας, για παράδειγμα περιοχές όπου το έδαφος παρέχει περιορισμένες ποσότητες αζώτου, υγρασίας και άλλων θρεπτικών συστατικών, η εφαρμογή της μεθόδου της συγκαλλιέργειας μπορεί να αποτελέσει μια βιώσιμη λύση για την καλλιέργεια και παραγωγή δημητριακών και ψυχανθών.

### **5. Λιπάσματα**

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της συγκαλλιέργειας αποτελεί η βελτίωση της αποδοτικότητας των καλλιεργειών στη χρήση λιπασμάτων. Από μελέτες σε συστήματα συγκαλλιέργειας δημητριακών – ψυχανθών, προέκυψε πως τα συστήματα αυτά αυξάνουν την αποτελεσματικότητα της χρήσης λιπασμάτων φωσφόρου στη γεωργία. Συγκεκριμένα, σε συγκαλλιέργεια δημητριακών – ψυχανθών, η απαίτηση σε λίπασμα φωσφόρου ήταν 21% χαμηλότερη σε σχέση με τις μονοκαλλιέργειες για τις ίδιες αποδόσεις. Επιπλέον, από στατιστική ανάλυση 17 ερευνών, προέκυψε πως κατά μέσο όρο, τα συστήματα συγκαλλιέργειας είχαν μεγαλύτερη πρόσληψη φωσφόρου στην βιομάζα και υψηλότερη απόδοση στην χρήση γης από τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Ακόμα, παρατηρήθηκε πως συγκαλλιέργειες με συγκεκριμένα ψυχανθή όπως φάβα και ρεβίθια μπορούν να υποστηρίξουν αυξημένη πρόσληψη φωσφόρου στα δημητριακά της συγκαλλιέργειας αλλά και συνολική απόδοση, ενώ άλλα όπως η σόγια μικρότερη [54].

### **6. Παράσιτα**

Έχει παρατηρηθεί πως οι συγκαλλιέργειες ψυχανθών – δημητριακών, δεν προσβάλλονται συχνά από παρασιτικούς οργανισμούς και έντομα, τα οποία προσβάλλουν κατά κόρον τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες και έχουν δυσμενείς επιπτώσεις για ολόκληρη την παραγωγή. Σε περισσότερο από 200 έρευνες έχει παρατηρηθεί μείωση ασθενειών που οφείλονται σε μυκητιασικές αιτίες, κατά 73% σε συγκαλλιέργειες ψυχανθών – δημητριακών, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες [55]. Επιπλέον, σε πείραμα που διεξάχθηκε για 3 χρόνια

σε έκταση της Δανίας, παρατηρήθηκε πως σε συγκαλλιέργειες λούπινου, φάβας και μπιζελιού με κριθάρι οι ασθένειες που οφείλονταν σε παρασιτικούς και παθογόνους οργανισμούς, συγκεκριμένα *Mycosporrella pinoides*, *Botrytis fabea*, *Pyrenophora teres*, *Peronospora* και *Puccinia hordei*, μειώθηκαν κατά 20 με 40%. Ειδικά στην συγκαλλιέργεια λούπινου – κριθαριού, παρατηρήθηκε δραματική μείωση από 78% έως 87% του μύκητα *Pleiochaeta setosa*, ο οποίος προσβάλλει κυρίως τα φύλλα στο λούπινο [49]. Επιπλέον, η μυκητιασική ασθένεια *Ascochyta blight*, η οποία προσβάλλει το στέλεχος ψυχανθών όπως το ρεβίθι, την φάβα, την φακή και το μπιζέλι, μειώνεται σημαντικά όταν τα παραπάνω ψυχανθή βρίσκονται σε συγκαλλιέργεια με δημητριακά, όπως η βρώμη. Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε πως όταν τα δύο συστατικά της συγκαλλιέργειας τριτικάλε – βρώμη και φάβα – βρώμη, βρίσκονταν σε αναλογία 50:50, η μείωση της ασθένειας ήταν η πιο δραστική, με τα ποσοστά μείωσης να κυμαίνονται από 60 έως 70% στην πρώτη περίπτωση και 65 με 82% στην δεύτερη [56]. Συγκαλλιέργειες όπου το ένα συστατικό είναι το μπιζέλι (*cowpea*) και το άλλο το καλαμπόκι, φαίνεται να αποτελεί προστασία της καλλιέργειας ενάντια σε έντομα και παράσιτα. Σε δύο τοποθεσίες καλλιεργήθηκε μπιζέλι (*cowpea*) με καλαμπόκι χρησιμοποιώντας την μέθοδο της συγκαλλιέργειας αλλά και η αντίστοιχη μονοκαλλιέργεια μπιζελιού, με στόχο την σύγκριση των αποτελεσμάτων. Στην πρώτη τοποθεσία (Ofiki) οι καλλιέργειες ήταν οι εξής: μονοκαλλιέργεια μπιζελιού στην οποία έγιναν τρεις ψεκασμοί 150 g/ha με εντομοκτόνο περμεθρίνη και δεν χρησιμοποιήθηκε λίπασμα, μονοκαλλιέργεια μπιζελιού χωρίς την χρήση εντομοκτόνου και λιπάσματος και συγκαλλιέργεια μπιζελιού – καλαμποκιού με χρήση 30 kg/ha λιπάσματος NPK, λίπασμα το οποίο περιέχει άζωτο, φώσφορο και κάλιο. Στην δεύτερη τοποθεσία (Yankara) οι καλλιέργειες ήταν ίδιες, μόνο που στην συγκαλλιέργεια μπιζελιού – καλαμποκιού χρησιμοποιήθηκαν 750 kg/ha λίπασμα CAN, δηλαδή ασβεστόχα νιτρική αμμωνία και 250 kg/ha υπερφωσφορικό λίπασμα. Με βάση τις παραπάνω καλλιέργειες προέκυψε πως ο αριθμός των εντόμων *Megalurothrips sjostedti* που προσβάλλαν το μπιζέλι, μειώθηκε κατά 42% στην συγκαλλιέργεια μπιζελιού – καλαμποκιού στην πρώτη τοποθεσία (Ofiki). Επιπλέον μειωμένος ήταν και ο αριθμός των θρίπων, παρασίτων που καταστρέφουν την καλλιέργεια του μπιζελιού και προκαλούν δυσμενείς οικονομικές συνέπειες. Γενικά συμπεραίνεται πως η συγκαλλιέργεια μπιζελιού – καλαμποκιού συμβάλλει στην μείωση των παρασίτων και εντόμων που επιτίθενται στα συστατικά της καλλιέργειας και η απόδοσή της μπορεί να φτάσει την απόδοση μιας μονοκαλλιέργειας μπιζελιού στην οποία

χρησιμοποιήθηκαν εντομοκτόνα για την αποτροπή της καταστροφής της από τα έντομα και τα παράσιτα [57].

Συμπερασματικά, υπό ορισμένες συνθήκες, η συγκαλλιέργεια ψυχανθών – δημητριακών, μπορεί να συμβάλει επωφελώς στον έλεγχο του πληθυσμού παθογόνων παραγόντων ή ασθενειών και συνεπώς στην αύξηση της απόδοσης της καλλιέργειας. Μηχανισμοί άμυνας των συστατικών της συγκαλλιέργειας συνδυάζονται και παρέχουν εκτενή προστασία στην συγκαλλιέργεια.

### **Εκπομπές αέριων και στερεών ρύπων στην καλλιέργεια**

#### **Εκπομπές διοξειδίου και οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_2$ , $\text{NO}_x$ )**

Η εφαρμογή ορυκτών αζωτούχων λιπασμάτων προκαλεί την απελευθέρωση διαφόρων τύπων εκπομπών του αζώτου στο περιβάλλον, άμεσων και έμμεσων, οι οποίες εκφράζονται ως οξείδια του αζώτου, νιτρικά άλατα και αμμωνία [58].

Οι εκπομπές διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ) και οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) από το έδαφος είναι αποτέλεσμα διεργασιών όπως η απονιτροποίηση και η νιτροποίηση. Η απονιτροποίηση, ορίζεται ως η διαδικασία απομάκρυνσης του αζώτου από το έδαφος σε μορφή αερίου και προκαλείται κυρίως από τη βιολογική διαδικασία της αναπνοής από μικροοργανισμούς στο έδαφος. Αντίστοιχα, η νιτροποίηση αναφέρεται στη διαδικασία μετατροπής του αζώτου σε αμμωνία ή νιτρικά ιόντα και συνήθως συμβαίνει με τη συμμετοχή των βακτηρίων. Αυτές οι διεργασίες εξαρτώνται από ποικίλους παράγοντες, όπως η χρήση αζωτούχων λιπασμάτων και ζωικής κοπριάς, η μέθοδος οργώματος του εδάφους, η διαχείριση των υπολειμμάτων καλλιεργειών, όπως η αποσύνθεση οργανικής ύλης και οι καιρικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία, και επηρεάζουν τον ρυθμό εκπομπών διοξειδίου του αζώτου στην ατμόσφαιρα [59]. Δευτερογενείς παράγοντες που συμβάλλουν στις εκπομπές διοξειδίου του αζώτου μπορεί να σχετίζονται με την έκπλυση νιτρικών αλάτων στα υπόγεια ύδατα και την πτητικοποίηση της αμμωνίας, η οποία συμβαίνει στην περίπτωση που το άζωτο βρίσκεται με την μορφή της ουρίας σε λιπάσματα, από τα οργανικά υπολείμματα ζώων ή και από την αποσύνθεση των φυτικών ειδών της καλλιέργειας [60].

Σε συστήματα συγκαλλιέργειας ψυχανθών – δημητριακών έχει παρατηρηθεί δραστική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του αζώτου σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες [61], [62].

### **Εκπομπές αμμωνίας (NH<sub>3</sub>)**

Η γεωργία ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών αμμωνίας σε σχέση με οποιονδήποτε άλλο τομέα. Για το έτος 2000, καταγράφηκαν 53.000 τόνοι αμμωνίας από τον τομέα της γεωργίας, οι οποίοι αποτελούν το 93% των συνολικών εκπομπών αμμωνίας [63]. Κατά την εφαρμογή των λιπασμάτων στις καλλιέργειες, το κατιόν του αμμωνίου (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) μετατρέπεται σε αμμωνία (NH<sub>3</sub>) η οποία έχει παρατηρηθεί πως συμβάλλει στον ευτροφισμό και την οξίνιση του εδάφους και κατά συνέπεια ενισχύει την οικολογική καταστροφή. Λαμβάνοντας τα αρμόζοντα μέτρα, οι εκπομπές αέριας αμμωνίας μπορούν να μειωθούν κατά κόρον. Συστήματα συγκαλλιέργειας έχουν παρουσιάσει υποσχόμενα αποτελέσματα σχετικά με την μείωση των αέριων ρύπων, όπως η αμμωνία, με το ποσοστό μείωσης να ανέρχεται στο 45% κατά μέσο όρο [64].

### **Εκπομπές νιτρικών ιόντων στα ύδατα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Τα νιτρικά άλατα (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) στο έδαφος εκλαμβάνονται είτε ως εναπόθεση από λιπάσματα είτε ως αποτέλεσμα της διαδικασίας της αποδόμησης οργανικής ύλης από μικροοργανισμούς στο έδαφος. Η παρουσία των νιτρικών αλάτων μπορεί να αξιοποιηθεί ως πηγή θρεπτικών συστατικών από τα φυτά. Ωστόσο, κατά περιόδους έντονων βροχοπτώσεων, η υπερβολική ποσότητα βροχής μπορεί να οδηγήσει αρχικά σε κορεσμό του εδάφους με νερό και στη συνέχεια σε διήθησή του στα υπόγεια ύδατα. Εφόσον τα νιτρικά άλατα διαλύονται εύκολα στο νερό, υπάρχει υψηλός κίνδυνος έκπλυσής τους στα υπόγεια ύδατα [65].

Το φαινόμενο αυτό είναι ευρέως διαδεδομένο σε χώρες της βόρειας Ευρώπης όπως η Ελβετία, με τον κίνδυνο έκπλυσης των νιτρικών αλάτων να είναι υψηλότερος κατά τους μήνες του φθινοπώρου και του χειμώνα, όταν η ποσότητα νερού από τις βροχοπτώσεις συχνά υπερβαίνει την δυνατότητα πρόσληψής του από τα φυτά.

### **Εκπομπές βαρέων μετάλλων**

Η βιοδιαθεσιμότητα των βαρέων μετάλλων σε μολυσμένα εδάφη αποτελεί αντικείμενο επιστημονικού ενδιαφέροντος, καθώς η κατανόησή της είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού κινδύνου και των πιθανών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Αν και η βιοδιαθεσιμότητα αυτών των μετάλλων εξαρτάται από ποικίλους φυσικούς παράγοντες, όπως ο τύπος του εδάφους και οι μετεωρολογικές συνθήκες, κύρια αιτία αύξησης τη ποσότητας αυτής αποτελεί η ανθρώπινη δραστηριότητα [66]. Η διάβρωση ορυκτών αποτελεί την

σημαντικότερη μορφή φυσικής μόλυνσης του περιβάλλοντος με βαρέα μέταλλα, η οποία σε συνδυασμό με περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως το pH και την θερμοκρασία μπορεί να επιταχυνθεί. Ωστόσο, η ανθρωπογενής δραστηριότητα αποτελεί την κύρια πηγή μόλυνσης, με την εξόρυξη, την επεξεργασία μεταλλεύματος και τη γεωργική χρήση ιλύος, εντομοκτόνων και χημικών λιπασμάτων να συνεισφέρουν στην αύξηση των επιπέδων βαρέων μετάλλων στο έδαφος [67].

Για την ανάλυση κύκλου ζωής, θα αναλυθούν τα βαρέα μέταλλα που εκπέμπονται από φυτοφάρμακα και εντομοκτόνα, τα οποία είναι το Κάδμιο (Cd), ο Χαλκός (Cu), ο Ψευδάργυρος (Zn), ο Μόλυβδος (Pb), το Νικέλιο (Ni) και το Χρώμιο (Cr).



## Θεωρητικό Μέρος

### Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ), Life Cycle Assessment (LCA)

Η επίτευξη μιας βιώσιμης ανάπτυξης στον τομέα της γεωργίας προϋποθέτει την υιοθέτηση νέων μεθόδων και εργαλείων που θα επιτρέψουν την ποσοτικοποίηση και σύγκριση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται εισέτι στις καλλιέργειες.

Κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής ενός προϊόντος που προέρχεται από μια καλλιέργεια, οι δραστηριότητες που συντελούν στην παραγωγή, την κατανάλωση και τη διάθεσή του έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον λόγω της κατανάλωσης πόρων και της εκπομπής ρύπων. Η κατανάλωση πόρων περιλαμβάνει τη χρήση έκτασης γης, την κατανάλωση νερού για άρδευση, καθώς και άλλους φυσικούς πόρους που απαιτούνται για την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας. Ταυτόχρονα, οι εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα, στο έδαφος και στα υδάτινα σώματα προκαλούν αρνητικές επιπτώσεις, επηρεάζοντας την ποιότητα του φυσικού περιβάλλοντος και ενδέχεται να έχουν επιζήμιες επιδράσεις στην υγεία των ανθρώπων [68]. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν την κλιματική αλλαγή, την εξάντληση του στρατοσφαιρικού όζοντος, τον ευτροφισμό, την οξίνιση, την τοξική επίδραση στα υπόγεια ύδατα και τα οικοσυστήματα, την εξάντληση των φυσικών πόρων, τη υπερβολική χρήση των υδάτων και της γης και άλλα. Η αύξηση της ευαισθητοποίησης, όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και τις πιθανές επιπτώσεις των προϊόντων που παράγονται και καταναλώνονται, έχει ενισχύσει το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη μεθόδων που θα συμβάλουν στην καλύτερη κατανόηση και μείωση αυτών των επιπτώσεων.

Μια από τις τεχνικές που αναπτύσσονται για τον σκοπό αυτό είναι η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ). Η ανάλυση κύκλου ζωής αποτελεί ένα μεθοδολογικό πλαίσιο για την εκτίμηση και αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος. Η ανάπτυξη ενός πλήρους μοντέλου ανάλυσης κύκλου ζωής περιλαμβάνει τον προσδιορισμό και την περιγραφή κάθε σταδίου της παραγωγής, από την απόκτηση των πρώτων υλών έως την απόρριψη ή ανακύκλωση του προϊόντος μετά τη χρήση του από τον καταναλωτή. Κάθε καλλιέργεια, από τη στιγμή της σποράς των συστατικών της μέχρι την συγκομιδή, περνά από ποικίλα στάδια, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης των πρώτων υλών και άλλων συστατικών που θα χρησιμοποιηθούν στην καλλιέργεια, όπως σπόροι, λιπάσματα,

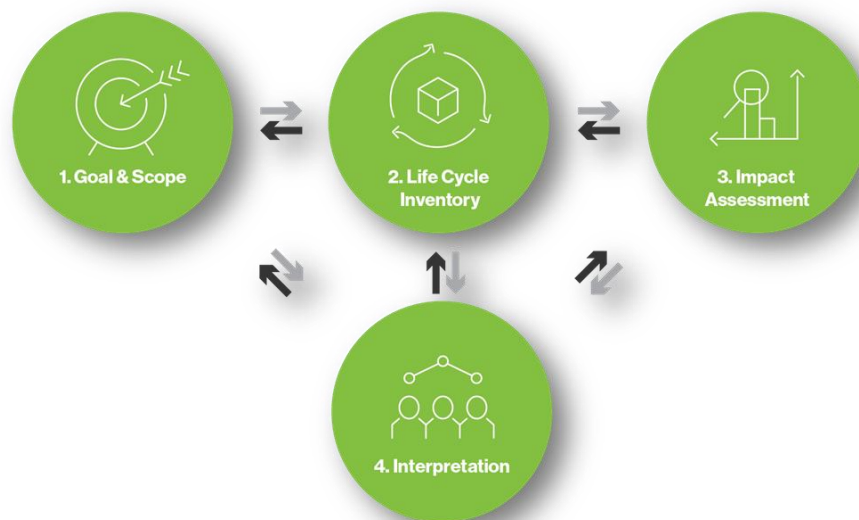
φυτοφάρμακα και εντομοκτόνα, της παραγωγής, της μεταφοράς, της χρήσης των παραγόμενων προϊόντων, της ανακύκλωσης και της διάθεσης των αποβλήτων. Η ανάλυση κύκλου ζωής αναδεικνύεται ως εργαλείο παρακολούθησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των προϊόντων, διευκολύνοντας την σύγκριση μεταξύ διαφορετικών παραγωγικών διαδικασιών στο πλαίσιο ανάπτυξης μιας καλλιέργειας ή διαφορετικών ειδών φυτών που την αποτελούν.

### **Σκοπός της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής**

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάπτυξη της Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) και μελέτη του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της εφαρμογής καινοτόμων αγρονομικών τεχνικών και μεθόδων επεξεργασίας καρπών. Αναλύονται τρία διαφορετικά σενάρια, τα οποία περιλαμβάνουν συγκαλλιέργειες και μονοκαλλιέργειες από ψυχανθή και δημητριακά, οι οποίες έχουν αντληθεί από τη βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης θα χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κάθε καλλιέργειας. Με βάση αυτά τα αποτελέσματα θα εξεταστεί η επιβάρυνση στο οικοσύστημα, την ανθρώπινη υγεία και την κατανάλωση πόρων κάθε καλλιέργειας και θα αναδειχθούν οι βέλτιστες μέθοδοι που συμβάλλουν στην υψηλότερη απόδοση της καλλιέργειας και στην μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεών της.

### **Βασικά στάδια της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής**

Η διαδικασία ανάπτυξης της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής ακολουθεί συγκεκριμένα στάδια. Καταρχάς, γίνεται ο καθορισμός του σκοπού και των στόχων της ανάλυσης. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας ως δεδομένα τις εισροές, τις εκροές και τους περιορισμούς του συστήματος που έχουν οριστεί, περιγράφεται ο κύκλος ζωής του προϊόντος. Σε αυτό το στάδιο, γίνεται ουσιαστικά η συλλογή και αξιολόγηση των δεδομένων. Έπειτα, εισάγονται τα δεδομένα στο λογισμικό GaBi και SimaPro και τέλος, γίνεται εξαγωγή και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τα οποία αντιπροσωπεύουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις του συστήματος, σύμφωνα με τα πρότυπα που περιγράφονται στο ISO14040/14044, ώστε τα αποτελέσματα αυτά να μπορούν να είναι συγκρίσιμα. Το σύστημα, τυπικά, αποτελεί ένα στατικό μοντέλο προσομοίωσης που αποτελείται από διακριτές αντιπροσωπευτικές διαδικασίες του συστήματος, όπως η παραγωγή και η μεταφορά, κάθε μία από τις οποίες περιλαμβάνει εισροές, ενδιάμεσες ροές του προϊόντος και εκροές.



Εικόνα 1: Στάδια ανάλυσης κύκλου ζωής

### Λογισμικό της Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά GaBi και SimaPro. Χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ανάλυσης κύκλου ζωής για τον ποσοτικό προσδιορισμό του αποτυπώματος και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της συγκαλλιέργειας, σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας αναλύονται με την μεθοδολογία ReCipe 2016 (Hierarchist) και σχετίζονται με τις επιπτώσεις στην κλιματικής αλλαγής [kg CO<sub>2</sub> – eq], της οξίνισης χερσαίων τμημάτων [kg SO<sub>2</sub> – eq], του ευτροφισμού γλυκών υδάτων [kg P – eq], του θαλάσσιου ευτροφισμού [kg – eq], της εξασθένησης της στιβάδας του όζοντος [kg CFC – 11 – eq], της ανθρώπινης τοξικότητας [kg C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub> – eq], της χερσαίας και υδάτινης οικοτοξικότητας [kg C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub> – eq], των αιωρούμενων σωματιδίων [kg PM<sub>2.5</sub> – eq], της ιονίζουσας ακτινοβολίας [kBq-60 – eq], του φωτοχημικού όζοντος [kg NO<sub>x</sub> – eq], και της εξάντλησης των ορυκτών πόρων [kg oil – eq].

### Κατηγορίες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων

Για τον υπολογισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος και την αξιολόγηση του κύκλου ζωής, απαιτείται η χρήση ενός εξειδικευμένου υπολογιστικού μοντέλου. Το συγκεκριμένο μοντέλο περιλαμβάνει ένα ολοκληρωμένο σύνολο δεδομένων και μεταβλητών, τα οποία

συνδέονται με τους συντελεστές ρύπανσης για κάθε κατηγορία. Από την εφαρμογή του μοντέλου, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν τα απαραίτητα δεδομένα ροών ρύπων ή με τη χρήση ειδικού λογισμικού που εκτιμά αυτές τις τιμές, προκύπτει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα μιας διεργασίας.

Οι κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω:

### **1. Κλιματική αλλαγή (Climate change)**

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να περιγραφεί ως η αύξηση της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας, η οποία οφείλεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και την εκπομπή των αερίων του θερμοκηπίου, τα οποία είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το υποξείδιο του αζώτου, το μεθάνιο, οι υδροφθοράνθρακες, οι χλωροφθοράνθρακες και οι υδρατμοί, λόγω των ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής έχουν ήδη καταγραφεί και παρατηρηθεί, ενώ διαπιστώνεται μια συνεχής επιδείνωσή τους. Μερικές από αυτές περιλαμβάνουν την αύξηση των βροχοπτώσεων ή της ξηρασίας, οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν έλλειψη τροφής λόγω της καταστροφής των καλλιεργειών, ενώ η αύξηση της στάθμης της θάλασσας, λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και της τήξης του πάγου, μπορεί να έχει σημαντικές συνέπειες στις παράκτιες περιοχές, περιλαμβανομένων των πλημμυρών, της εκτεταμένης διάβρωσης του εδάφους και της αύξησης των αλάτων στα υδάτινα σώματα [69], [70].

Οι μονάδες μέτρησης αυτής της κατηγορίας ρύπανσης ορίζονται σε ισοδύναμα κιλά διοξειδίου του άνθρακα [ $\text{kg CO}_2 - \text{eq}$ ] με χρονική διάρκεια 100 έτη.

### **2. Οξίνιση (Acidification)**

Τα όξινα αέρια, όπως το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ), αντιδρούν με την υγρασία της ατμόσφαιρας. Η συγκεκριμένη διαδικασία ονομάζεται εναπόθεση όξινων ουσιών και αποτελεί το φαινόμενο της όξινης βροχής. Η επίπτωση αυτής της βροχής επεκτείνεται σε διάφορα οικοσυστήματα, ακόμη και σε περιοχές απομακρυσμένες από τις πηγές εκπομπής των αντίστοιχων ουσιών. Ανάμεσα στα αέρια που συμβάλλουν στην εναπόθεση όξινων ουσιών περιλαμβάνονται η αμμωνία ( $\text{NH}_3$ ), τα οξειδία του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) και του θείου ( $\text{SO}_x$ ), κυρίως το διοξείδιο του θείου ( $\text{SO}_2$ ). Τα συγκεκριμένα αέρια κατά την εναπόθεση, μπορεί να απορροφηθούν από το έδαφος και τα φυτά και στην συνέχεια μετατρέπονται σε όξινες ενώσεις όπως το αμμώνιο ( $\text{NH}_4^+$ ), το νιτρικό ( $\text{HNO}_3$ ) και το θειικό οξύ ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) αντίστοιχα [71]. Η

χρήση αζωτούχων και φωσφορούχων λιπασμάτων συμβάλλει στην ενίσχυση του φαινομένου της οξίνισης της βροχής, η οποία προκαλεί την οξίνιση του εδάφους και των υδάτινων σωμάτων. Λόγω της οξίνισης του εδάφους, μεταβάλλεται το pH και η έκταση οδηγείται σε ανεπάρκεια μετάλλων όπως το κάλιο, το μαγνήσιο και το ασβέστιο, τα οποία αποτελούν καίρια στοιχεία για την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Όσο αφορά τα ύδατα, έχει παρατηρηθεί η εξαφάνιση ζωντανών οργανισμών και φυτοπλαγκτόν σε υδάτινα σώματα τα οποία έχουν επηρεαστεί από το φαινόμενο της οξίνισης και έχουν αποκτήσει χαμηλό pH [72].

Οι μονάδες μέτρησης της οξίνισης ορίζονται ως τα ισοδύναμα κιλά διοξειδίου του θείου, [kg SO<sub>2</sub> - eq].

### **3. Ευτροφισμός (Eutrophication)**

Ο ευτροφισμός αναφέρεται στην αυξημένη συγκέντρωση οργανικών ουσιών σε ένα οικοσύστημα, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την υψηλή παραγωγικότητα οργανισμών [73]. Ο ευτροφισμός των υδάτινων σωμάτων αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα στα υδάτινα οικοσυστήματα, προκαλώντας σοβαρή υποβάθμιση της ποιότητας του νερού και απειλώντας την ισορροπία των οργανισμών που περιέχονται σε αυτό. Οι βασικές επιπτώσεις του ευτροφισμού περιλαμβάνουν την υποξία του πυθμένα του υδάτινου σώματος και την μείωση της διαύγειας του νερού και την αύξηση της απόθεσης που οδηγεί στην καταστροφή του συστήματος του βυθού από το σκίασμα της υποβρύχιας βλάστησης. Επιπλέον, άλλες σημαντικές επιπτώσεις περιλαμβάνουν, την παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα από την αποσύνθεση έντονα παραγόμενης οργανικής ύλης και την τροποποίηση βιογεωχημικών διεργασιών, συμπεριλαμβανομένης της ανοξίας του ιλύος, της επικάθαρσης επιβλαβούς θείου και της κυκλοφορίας των θρεπτικών συστατικών [74]. Οι εκπομπές ουσιών όπως η αμμωνία, τα οξείδια του αζώτου και του θείου στον τομέα της γεωργίας, προκύπτουν κυρίως από την εφαρμογή λιπασμάτων και επιδεινώνουν κατά κόρον το φαινόμενο του ευτροφισμού [75].

Οι μονάδες μέτρησης για το φαινόμενο του ευτροφισμού στα γλυκά νερά είναι τα ισοδύναμα κιλά φώσφορου [kg P - eq], ενώ για τον ευτροφισμό στα θαλάσσια ύδατα ορίζονται τα ισοδύναμα κιλά αζώτου [kg N - eq].

#### **4. Εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος**

Η μείωση της στιβάδας του όζοντος στην στρατόσφαιρα αποτελεί ένα από τα κυριότερα περιβαλλοντικά προβλήματα του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Οι μετρήσεις υψηλών συγκεντρώσεων του υποχλωριόδου ιόντος (ClO) στην στρατόσφαιρα το οποίο αποτελεί καταλυτικό μόριο της καταστροφής του όζοντος, καταδεικνύουν ως κύρια αιτία αυτής της καταστροφής, τις ανθρωπογενείς εκπομπές χλωροφθορανθράκων (CFSs) [76]. Ενώσεις του υδρογόνου, του αζώτου, του χλωρίου και του βρωμίου, λόγω της σταθερότητας τους, έχουν την δυνατότητα να φτάσουν στο επίπεδο της στρατόσφαιρας και να πραγματοποιήσουν καταλυτικές αντιδράσεις οι οποίες καταστρέφουν το τριατομικό μόριο του αζώτου (O<sub>3</sub>). Οι κύριες ενώσεις οι οποίες είναι υπεύθυνες για την εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος είναι οι χλωροφθοράνθρακες (CFCs), οι υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFCs) και οι υδρογονάνθρακες (HCs) [77]. Η εξασθένηση της στιβάδας του όζοντος επιτρέπει την διέλευση της υπεριώδους ακτινοβολίας στην Γη. Η έκθεση σε αυτή την μορφή ακτινοβολίας μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία του ανθρώπου, μεταξύ των οποίων από τις σοβαρότερες αποτελεί ο καρκίνος του δέρματος, η μόνιμη ή προσωρινή τύφλωση και η εξασθένηση του ανοσοποιητικού συστήματος [78]. Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί πως μπορεί να υπάρξουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όπως η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, των υδάτων και των οργανισμών που περιλαμβάνονται σε αυτά τα οικοσυστήματα, καθώς και η καταστροφή της χλωρίδας. Αυτό μπορεί να αποβεί καταστροφικό αφού η υποβάθμιση της χλωρίδας μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον τομέα της γεωργίας, δηλαδή την παραγωγή τροφίμων [79].

Οι επιπτώσεις αυτής της κατηγορίας εκφράζονται σε ισοδύναμα κιλά χλωροφθοράνθρακα – 11 [kg CFC – 11 – eq].

#### **5. Τοξικότητα στον άνθρωπο**

Η τοξικότητα στον άνθρωπο υποδεικνύει την πιθανή επίδραση μιας ουσίας στην ανθρώπινη υγεία, λαμβάνοντας υπόψη την τοξικότητά της και τον βαθμό που εκτίθεται ο οργανισμός σε αυτή. Οι κύριες ενώσεις που λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό της τοξικότητας στην ανθρώπινη υγεία είναι ο ψευδάργυρος (Zn), ο υδράργυρος (Hg), ο μόλυβδος (Pb), το χρώμιο (Cr), το αρσενικό (As), το κάδμιο (Cd), το νικέλιο (Ni) και όλες οι ενώσεις τους, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), πτητικές οργανικές ενώσεις εκτός του μεθανίου (NMVOC), το φλουορανθένιο (C<sub>16</sub>H<sub>10</sub>) και οργανικές ενώσεις (AOX) ως 1,4-

διχλωροβενζόλιο [80]. Η έκθεση του ανθρώπου στις παραπάνω ουσίες μπορεί να επιτευχθεί μέσω της επαφής, της κατάποσης και της εισπνοής από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Οι δύο κατηγορίες τοξικότητας είναι η καρκινογόνος και η μη καρκινογόνος τοξικότητα.

Οι μονάδες μέτρησης της τοξικότητας στον άνθρωπο είναι τα ισοδύναμα κιλά 1,4-διχλωροβενζόλιου [kg C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>12</sub> - eq] ή [kg 1,4 DCB- eq].

## **6. Οικοτοξικότητα**

Η τοξικότητα στο περιβάλλον εστιάζει στην ρύπανση μέσω ουσιών οι οποίες επηρεάζουν οικοσυστήματα όπως το έδαφος και τα υδάτινα σώματα. Οι κύριες ενώσεις που λαμβάνονται υπόψη για τον προσδιορισμό της τοξικότητας στην ανθρώπινη υγεία είναι ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), το χρώμιο (Cr), το αρσενικό (As), το κάδμιο (Cd), το νικέλιο (Ni) και όλες οι ενώσεις τους, οι πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), το ανθρακένιο (C<sub>14</sub>H<sub>10</sub>), το φλουορανθένιο (C<sub>16</sub>H<sub>10</sub>) και οργανικές ενώσεις (AOX) ως 1,4-διχλωροβενζόλιο [80].

Οι μονάδες μέτρησης της τοξικότητας στα οικοσυστήματα είναι τα ισοδύναμα κιλά 1,4-διχλωροβενζόλιου [kg C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>Cl<sub>12</sub> - eq] ή [kg 1,4 DCB- eq].

## **7. Αιωρούμενα σωματίδια**

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν από τους πιο σημαντικούς δείκτες της μόλυνσης του αέρα. Η σύστασή τους περιλαμβάνει οργανικές ουσίες, μέταλλα, θειούχες ενώσεις, σωματίδια από το έδαφος και βιολογικές ουσίες όπως τοξίνες [81]. Η παρουσία τους μπορεί να συντελέσει στην εμφάνιση πληθώρας προβλημάτων υγείας στον άνθρωπο, όπως αναπνευστικά προβλήματα, καρδιακά νοσήματα, κίνδυνο πρόωρου τοκετού, μεταλλάξεις στο DNA, καθώς και κίνδυνο ανάπτυξης καρκίνου, μεταξύ άλλων. Επιπλέον, η παρουσία των αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στο οικοσύστημα, όπως μείωση της φωτοσύνθεσης στα φυτά λόγω της αύξησης του φαινομένου της αιθαλομίχλης (smog), μεταβολή των ιδιοτήτων του εδάφους λόγω της εναπόθεσης μετάλλων, καθώς επίσης μπορεί να έχει και καταλυτική επίδραση στις φυσικοχημικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας [82].

Οι μονάδες μέτρησης αυτής της κατηγορίας ορίζονται ως ισοδύναμα κιλά σωματιδίων διαμέτρου 2.5μm [kg PM<sub>2.5</sub> - eq].



## 8. Ιονίζουσα ακτινοβολία

Η δόση της ιονίζουσας ακτινοβολίας και η επιφάνεια στην οποία εκτίθεται ένας άνθρωπος σχετίζεται άμεσα με την επίδρασή της σε αυτόν. Στην περίπτωση που ολόκληρο το σώμα ενός ανθρώπου εκτεθεί σε 300 rad ακτινοβολίας, η πιθανότητα θανάτου σε τριάντα ημέρες ανέρχεται στο 50%, ενώ εάν εκτεθεί σε 5000 rad σε συγκεκριμένα μέρη του σώματος για λίγους μήνες η επίδραση και οι αλλαγές περιορίζονται μόνο στο δέρμα του [83]. Η επίδραση της ιονίζουσας ακτινοβολίας υπολογίζεται με βάση τα ραδιονουκλείδια, τα οποία εναποτίθενται και διασπύρονται στην ατμόσφαιρα, στο νερό και στην χλωρίδα. Η έκθεση του ανθρώπου στην ακτινοβολία μπορεί επίσης να προκύψει από το έδαφος, μέσω της κατανάλωσης των καλλιεργήσιμων φυτών, από τον αέρα, στον οποίο έχει παρατηρηθεί αύξηση της β και γ ακτινοβολίας και από το νερό, μέσω της κατανάλωσης ψαριών [84].

Οι μονάδες μέτρησης της ιονίζουσας ακτινοβολίας είναι τα ισοδύναμα κιλομεκερέλ Κοβαλτίου – 60, [kBq Co – 60 – eq].

## 9. Φωτοχημικό όζον

Το φωτοχημικό όζον δημιουργείται στην τροπόσφαιρα κατά την διάρκεια της φωτοχημικής οξειδωσης των πτητικών οργανικών ενώσεων, εκτός του μεθανίου, της ατμόσφαιρας (NMVOCs), μονοξειδίου του άνθρακα (CO), διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>) με την παρουσία οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), της θερμότητας και της ηλιακής ακτινοβολίας. Το όζον που βρίσκεται στην τροπόσφαιρα αποτελεί ένα δραστικό και οξειδωτικό αέριο, το οποίο έχει την δυνατότητα να αντιδρά με ακόρεστους οργανικούς δεσμούς και να σχηματίζει οζονίδια, γεγονός που το καθιστά τοξικό για την ανθρώπινη υγεία. Το όζον μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, αφού μπορεί να αποβεί ερεθιστικό για το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου και να προκαλέσει φλεγμονή στους πνεύμονες, καθώς και θάνατο των κυττάρων που βρίσκονται στην αναπνευστική οδό [85].

Οι μονάδες μέτρησης της επίπτωσης αυτής της κατηγορίας είναι τα ισοδύναμα κιλά οξειδίων του αζώτου [kg NO<sub>x</sub> – eq].

## 10. Εξάντληση πόρων

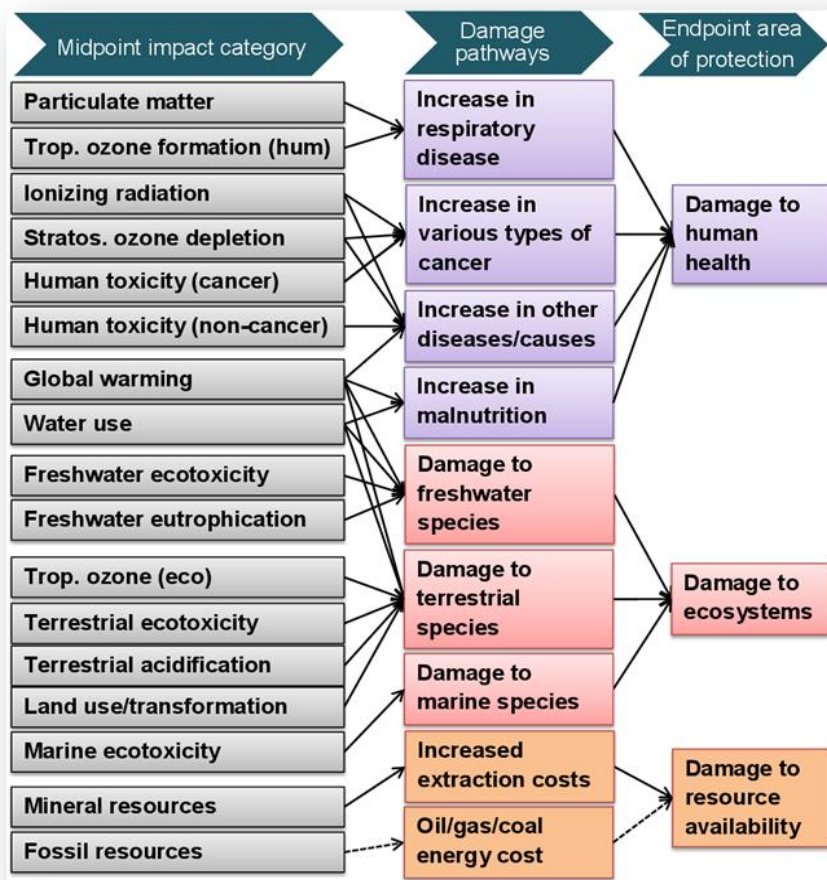
Η κατηγορία της εξάντλησης των πόρων περιλαμβάνει τους αβιοτικούς και τους βιοτικούς πόρους. Οι αβιοτικοί πόροι περιλαμβάνουν τους ανόργανους πόρους και υλικά, όπως το νερό,

τα μέταλλα, την νεκρή οργανική ύλη όπως ο άνθρακας και ο λιγνίτης. Οι βιοτικοί πόροι περιλαμβάνουν τα ζώα και το ξύλο [86].

Οι μονάδες μέτρησης των αβιοτικών πόρων είναι τα ισοδύναμα κιλά χαλκού [kg Cu - eq] και των βιοτικών πόρων είναι τα ισοδύναμα κιλά πετρελαίου [kg oil - eq].

Οι παραπάνω κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων παρουσιάζονται αναλυτικά στο λογισμικό με την χρήση των δεικτών ενδιάμεσου σημείου (midpoint). Οι συγκεκριμένοι δείκτες παρουσιάζουν μετρήσιμα αποτελέσματα για κάθε κατηγορία ξεχωριστά και συνδέουν τις επιπτώσεις αυτές με τις αιτίες, δηλαδή τις διαφορετικές ενέργειες που λαμβάνονται σε κάθε καλλιέργεια, που τις προκαλούν.

Οι δείκτες ενδιάμεσου σημείου, μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες επιπτώσεων, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο την αξιολόγηση του προς μελέτη συστήματος σε τρεις τελικές κατηγορίες (endpoint). Οι τρεις κατηγορίες αφορούν τις επιπτώσεις του μελετώμενου συστήματος στην ανθρώπινη υγεία, το οικοσύστημα και την διαθεσιμότητα των πόρων. Οι δείκτες endpoint αποτελούν μια απλοποιημένη προσέγγιση των παραπάνω, αφού δίνει την δυνατότητα σύγκρισης μόνο του συνολικού περιβαλλοντικού αποτυπώματος δύο διαφορετικών καλλιεργειών και όχι των επιμέρους περιβαλλοντικών επιπτώσεων που το αποτελούν.



Εικόνα 2:Κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων

### Λειτουργικές μονάδες και όρια συστήματος

Οι μονάδες μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν ως αναφορά, στοχεύουν στην ερμηνεία και σύγκριση των αποτελεσμάτων που εξάχθηκαν (εκροές), μέσω της κανονικοποίησης όλων των μονάδων μέτρησης από τα δεδομένα που εισάχθηκαν στο λογισμικό (εισροές). Επιλέχθηκε ως μονάδα αναφοράς για όλα τα δεδομένα το 1 κιλό (kg) παραγόμενου προϊόντος κατά την συγκομιδή, ώστε να μπορέσει να πραγματοποιηθεί σύγκριση μεταξύ της απόδοσης μιας μονοκαλλιέργειας και της αντίστοιχης συγκαλλιέργειας στην ίδια έκταση γης. Τα δεδομένα έχουν αναχθεί στο 1 εκτάριο (ha) για τις μετρήσεις της επιφάνειας του εδάφους όπου πραγματοποιήθηκαν όλες οι καλλιέργειες

Τα όρια του συστήματος καθορίζουν τις διεργασίες που συμπεριλαμβάνονται στην ανάλυση κύκλου ζωής και στην συγκεκριμένη περίπτωση καθορίστηκαν από την σπορά μέχρι την

συγκομιδή των καρπών της καλλιέργειας. Δεδομένα ενέργειας και βενζίνης σχετικά με την χρήση και εφαρμογή φυτοφαρμάκων, λιπασμάτων και εντομοκτόνων υπολογίστηκαν και προστέθηκαν στο λογισμικό για κάθε καλλιέργεια. Επιπλέον, για όλες τις γεωργικές διεργασίες που πραγματοποιήθηκαν, όπως την σπορά, το όργωμα, την συγκομιδή, την εφαρμογή λιπασμάτων, εντομοκτόνων και φυτοφαρμάκων, συμπεριλήφθηκαν δεδομένα κατανάλωσης ενέργειας και καυσίμων.

Τρία σενάρια αντλήθηκαν από την βιβλιογραφία για διαφορετικές καλλιέργειες ψυχανθών – δημητριακών, τα οποία θα αναφέρονται ως «Σενάριο 1», «Σενάριο 2» και «Σενάριο 3». Τα σενάρια αναφέρονται ονομαστικά παρακάτω:

- «Σενάριο 1» : Αναφέρεται σε Συγκαλλιέργεια Αρακά (Pea) - Βρώμης (Oat) και τις Μονοκαλλιέργειες Αρακά και Βρώμης [87], [88]
- «Σενάριο 2» : Αναφέρεται σε συγκαλλιέργεια Αρακά (Pea) – Σιταριού (Wheat) και τις Μονοκαλλιέργειες Αρακά και Σιταριού [89], [90]
- «Σενάριο 3» : Αναφέρεται σε συγκαλλιέργεια Ρεβιθιού (Chickpea) – Σιταριού (Wheat) και τις Μονοκαλλιέργειες Ρεβιθιού και Σιταριού [91]

## **Συλλογή και Επεξεργασία Στοιχείων**

Η παρούσα ανάλυση κύκλου ζωής στοχεύει στην αποτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων συγκαλλιεργιών ψυχανθών με δημητριακά και των αντίστοιχων μονοκαλλιεργιών. Για την εκτίμηση του αποτυπώματος, αναλύθηκε ο κύκλος ζωής τριών σεναρίων, τα οποία περιέχουν τις συγκαλλιέργειες και τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω. Οι διαφορετικές εισροές στις ποσότητες σπόρων, λιπασμάτων, εντομοκτόνων και εκπομπών ρύπων συνυπολογίστηκαν με τις αντίστοιχες εκροές και με βάση τα αποτελέσματα κατέστη δυνατή η σύγκριση της μεθόδου της συγκαλλιέργειας με την μονοκαλλιέργεια, σε κάθε σενάριο. Παρακάτω παρουσιάζονται αναλυτικά οι εισροές και εκροές που εισάχθηκαν στο λογισμικό GaBi και SimaPro για την ανάλυση του εκάστου σεναρίου:

- «Σενάριο 1» : Αναφέρεται σε συγκαλλιέργεια Αρακά (Pea) - Βρώμης (Oat) και τις Μονοκαλλιέργειες Αρακά και Βρώμης [87], [88]

Πίνακας 1: Δεδομένα εισροών και εκροών σεναρίου 1

	Units	Oat	Oat:Pea (75:25)	Oat:Pea (50:50)	Oat:Pea (25:75)	Pea
<b>Outputs</b>						
Grain yield	kg/ha	5211	5284	4400	4707	5823
Grain N yield	kg/ha	111.5	119.6	106.6	126.4	210.2
<b>Emissions to air</b>						
Nitrous oxide N <sub>2</sub> O	kg/ha	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Ammonia NH <sub>3</sub>	kg/ha	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
NO <sub>x</sub>	kg/ha	0.1575	0.1575	0.1575	0.1575	0.1575
<b>Emissions to water</b>						
Nitrate NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	kg/ha	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
<b>Inputs</b>						
Fertilizer (CAN,27%N), N	kg/ha	60	60	60	60	60
Insecticide(deltamethrin)	g/ha	75	75	75	75	75
Oat seed	kg/ha	120	90	60	30	0
Pea seed	kg/ha	0	52.5	105	157.5	210
Land	ha	1	1	1	1	1
Diesel	kg	100.46	100.46	100.46	100.46	100.46

Πίνακας 2: Εκροές βαρέων μετάλλων στο έδαφος σεναρίου 1

Τύπος λιπάσματος	Cd kg/ha	Cu kg/ha	Zn kg/ha	Pb kg/ha	Ni kg/ha	Cr kg/ha
Calcium ammonium nitrate (27/0/0) kg N	0.0000114	0.000511	0.006	0.0003558	0.0007554	0.0001776

- «Σενάριο 2» : Αναφέρεται σε συγκαλλιέργεια Αρακά (Pea) – Σιταριού (Wheat) και τις Μονοκαλλιέργειες Αρακά και Σιταριού [89], [90]

Πίνακας 3: Δεδομένα εισροών και εκροών σεναρίου 2

	Units	Wheat	Pea	Pea:Wheat (NOT fertilized)	Pea:Wheat (fertilized)
<b>Outputs</b>					
Dry matter yield	kg/ha	1008	467	815	879
<b>Emissions to air</b>					
Nitrous oxide N <sub>2</sub> O	kg/ha	2.375	0	0	0.5625
Ammonia NH <sub>3</sub>	kg/ha	3.8	0	0	0.9

NOx	<b>kg/ha</b>	0.499	0	0	0.118
<b>Emissions to water</b>					
Nitrate NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>kg/ha</b>	9.50	0.00	0.00	2.25
<b>Inputs</b>					
Fertilizer CaO (calcium oxide)	<b>kg/ha</b>	333	333	333	333
Fertilizer N(mineral)	<b>kg/ha</b>	190	0	0	45
Fertilizer K <sub>2</sub> O (potassium oxide)	<b>kg/ha</b>	24	53	53	53
Fertilizer P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (triple superphosphate)	<b>kg/ha</b>	38	45	45	45
Pesticide (active ingredient)	<b>g/ha</b>	1.96	4.95	2.08	2.08
Pea seed	<b>kg/ha</b>	0.0	89	44.0	44
Wheat seed	<b>kg/ha</b>	110	0.0	55.0	55
Agricultural machinery		25.7	23.7	23.4	23.8
Diesel	<b>kg</b>	88.00	89.00	87.00	90

Πίνακας 4: Εκροές βαρέων μετάλλων στο έδαφος σεναρίου 2

<b>Mineral fertilizers (%N/%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/%K<sub>2</sub>O /%Mg)</b>	<b>Cd kg/ha</b>	<b>Cu kg/ha</b>	<b>Zn kg/ha</b>	<b>Pb kg/ha</b>	<b>Ni kg/ha</b>	<b>Cr kg/ha</b>
<b>Generic mean N</b>	0.0000399	0.0042275	0.0230717	0.0010203	0.0032623	0.00148
<b>Triple superphosphate (0/46/0) kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0.00938232	0.00811989	0.05395	0.00063163	0.00793895	0.04709
<b>Lime kg CaO</b>	0.00003996	0.001332	0.002664	0.0011988	0.0040626	0.10456
<b>Generic mean K</b>	0.00000847	0.00047509	0.00541541	0.00060676	0.00057904	0.00682

- «Σενάριο 3» : Αναφέρεται σε συγκαλλιέργεια Ρεβιθιού (Chickpea) - Σιταριού (Wheat) και τις Μονοκαλλιέργειες Ρεβιθιού και Σιταριού [91]

Πίνακας 5: Δεδομένα εισροών και εκροών σεναρίου 3

	<b>Units</b>	<b>Wheat</b>	<b>Chickpea</b>	<b>Wheat:Chickpea (2:1)</b>
<b>Outputs</b>				
Dry matter yield	<b>kg/ha</b>	4670	2970	6420
<b>Emissions to air</b>				
Nitrous oxide N <sub>2</sub> O	<b>kg/ha</b>	1.005	1.005	1.005
Ammonia NH <sub>3</sub>	<b>kg/ha</b>	1.608	1.608	1.608

NO <sub>x</sub>	<b>kg/ha</b>	0.21105	0.21105	0.21105
<b>Emissions to water</b>				
Nitrate NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>kg/ha</b>	4.02	4.02	4.02
<b>Inputs</b>				
Manure	<b>kg/ha</b>	6780	6700	6700
Chickpea seed	<b>kg/ha</b>	0.0	45	45.000
Wheat seed	<b>kg/ha</b>	100	0.0	200.00
Land	<b>ha</b>	0.00144	0.00144	0.00144
Diesel	<b>kg</b>	64.14	64.14	64.14

Πίνακας 6: Εκροές βαρέων μετάλλων στο έδαφος σεναρίου 3

Τύπος λιπάσματος	Cd kg/ha	Cu kg/ha	Zn kg/ha	Pb kg/ha	Ni kg/ha	Cr kg/ha	Hg kg/ha	DM
<b>Cattle liquid manure</b>	0.0000143	0.0029828	0.0130409	0.0003031	0.0003457	0.0003136	0.0000322	9.00%

Για τον υπολογισμό του μεγέθους σπόρων σε κιλά ανά εκτάριο [kg/ha], ακολουθήθηκε η εξής μεθοδολογία στις περιπτώσεις όπου τα δεδομένα παρουσιάζονταν σε καρπούς ανά τετραγωνικά μέτρα [seeds/m<sup>2</sup>]. Αρχικά, αναζητήθηκαν βιβλιογραφικά δεδομένα για το βάρος του ενός σπόρου. Έπειτα, το εν λόγω βάρος πολλαπλασιάστηκε με την ποσότητα των σπόρων που αναφερόταν στην εκάστοτε μελέτη, προκειμένου να υπολογιστεί η απαιτούμενη ποσότητα σε κιλά ανά τετραγωνικό μέτρο και τέλος μετατράπηκαν τα τετραγωνικά μέτρα σε εκτάρια προκειμένου να εισαχθούν στο λογισμικό.

Από την βιβλιογραφία προέκυψαν τα παρακάτω βάρη ανά σπόρο για κάθε είδος συστατικού της καλλιέργειας:

- Αρακάς (*Pisum arvense* L.) : 0.000105 kg/seed, [92], [93]
- Σιτάρι 0.000036 kg/seed, [94], [95]

Για τον υπολογισμό της ποσότητας βενζίνης (diesel) με βάση τις γεωργικές διεργασίες που πραγματοποιήθηκαν σε κάθε σενάριο, λήφθηκαν δεδομένα κατανάλωσης βενζίνης σε [kg] για κάθε διαφορετική εργασία από την βιβλιογραφία [96].

## **Υπολογισμός εκπομπών στην ατμόσφαιρα, τα υδάτινα σώματα και το έδαφος**

Σε μια γεωργική καλλιέργεια, οι εκπομπές ρυπογόνων ουσιών στην ατμόσφαιρα, στα υδάτινα σώματα και στο έδαφος προέρχονται κυρίως από τη χρήση λιπασμάτων, φυτοφαρμάκων και εντομοκτόνων, καθώς και από διάφορες γεωργικές δραστηριότητες που απαιτούν τη χρήση βενζινοκίνητων μηχανημάτων και ενέργειας. Αυτές οι δραστηριότητες περιλαμβάνουν το όργωμα, τη σπορά, τη συγκομιδή, την άρδευση και άλλες. Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία μπορούν να διαφεύγουν στο περιβάλλον μέσω της απορροής και της εξάτμισης, επηρεάζοντας την ποιότητα του νερού στα υπόγεια ύδατα και του αέρα στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, η χρήση μηχανημάτων που λειτουργούν με καύσιμα, συμβάλλει στην αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και άλλων αερίων του θερμοκηπίου, ενισχύοντας το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Ακόμα, η υποβάθμιση του εδάφους λόγω της έντονης άρδευσης αποτελεί συνηθισμένο πρόβλημα σε αρκετές καλλιέργειες, ενώ οι συχνές γεωργικές επεμβάσεις στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις γης μπορούν να μειώσουν τη βιοποικιλότητα και να διαταράξουν το οικοσύστημα.

Οι εκπομπές ρύπων των λιπασμάτων σε [kg N/ha], που προκύπτουν από μια καλλιέργεια, εξάχθηκαν από μαθηματικά μοντέλα βασισμένα στην βιβλιογραφία. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι για κάθε καλλιέργεια, οι παράγοντες όπως ο τύπος του εδάφους, η άρδευση, οι κλιματικές συνθήκες, η γεωγραφική θέση και άλλοι σχετικοί παράγοντες, μπορεί να διαφέρουν σημαντικά. Ως εκ τούτου, τα προτεινόμενα μοντέλα λαμβάνουν υπόψη ορισμένες από τις παραμέτρους, προκειμένου να παρέχουν ακριβέστερες εκτιμήσεις των εκπομπών.

### **Εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα**

Οι εκπομπές ρύπων στην ατμόσφαιρα υπολογίστηκαν με βάση τις εκπομπές αζώτου λόγω των λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται σε κάθε καλλιέργεια [96].

- Εκπομπή αμμωνίας ( $\text{NH}_3$ ) =  $\alpha \% * \text{N}$  ,
- Εκπομπή διοξειδίου του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ) =  $1.25 \% * \text{N}$  ,
- Εκπομπή οξειδίων του αζώτου ( $\text{NO}_x$ ) =  $0.21 * \text{N}_2\text{O}$  ,

όπου  $\alpha$ , ο παράγοντας εκπομπών για τα διαφορετικά είδη λιπάσματος όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα [96]:



Πίνακας 7: Εκπομπές αμμωνίας (NH<sub>3</sub>) συναρτήσει του είδους λιπάσματος

Τύπος Λιπάσματος	Παράγοντας Εκπομπών (α)
<b>Ammonium nitrate, calcium ammonium nitrate</b> (νιτρικό αμμώνιο, νιτρικό άλας ασβεστίου-αμμωνίου)	2 %
<b>Ammonium sulphate</b> (θειικό αμμώνιο)	8 %
<b>Urea</b> (Ουρία)	15 %
<b>Multinutrient fertilizers</b> (NPK-, NP-, NK-fertilizers)	4 %
<b>Urea ammonium nitrate</b> (νιτρικό άλας ουρίας-αμμωνίου)	8.5 %

### Εκπομπές ρύπων στα ύδατα

Οι εκπομπές στα ύδατα υπολογίστηκαν με βάση τα νιτρικά ιόντα που απορρέουν λόγω της χρήσης λιπασμάτων:

- Εκπομπή νιτρικών ιόντων ( $\text{NO}_3^-$ ) = 5% \* N<sub>2</sub>O [97] ,

Εκτιμάται πως οι εκπομπές των νιτρικών ιόντων  $\text{NO}_3^-$  στα ύδατα αποτελούν από 5 έως 14% του συνολικού αζώτου που τοποθετείται με την μορφή νιτρικών λιπασμάτων σε μια καλλιέργεια, ανάλογα τον τρόπο άρδευσης [97].

### Εκπομπές βαρέων μετάλλων στο έδαφος

Στην γεωργία, η χρήση των φυτοφαρμάκων τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί επικίνδυνα, λόγω της έντονης ανάγκης για υψηλότερες αποδόσεις των καλλιεργειών και οικονομικής ανασφάλειας σε περίπτωση καταστροφής τους. Οι γεωργοί στρέφονται όλο και περισσότερο στη χρήση αυτών των χημικών ουσιών για να προστατεύσουν τις καλλιέργειές τους από παράσιτα και ασθένειες, ελπίζοντας να εξασφαλίσουν την οικονομική τους βιωσιμότητα. Ωστόσο, τα φυτοφάρμακα περιέχουν αρκετά υψηλές ποσότητες βαρέων μετάλλων, τα οποία παραμένουν στο έδαφος ή προσλαμβάνονται από τα καλλιεργήσιμα φυτά, με αποτέλεσμα την επιβάρυνση του περιβάλλοντος αλλά και της ανθρώπινης υγείας.

Από την βιβλιογραφία, υπολογίζονται οι εκπομπές των βαρέων μετάλλων Κάδμιο (Cd), Χαλκός (Cu), Ψευδάργυρος (Zn), Μόλυβδος (Pb), Νικέλιο (Ni) και Χρώμιο (Cr), με βάση τα φυτοφάρμακα που χρησιμοποιούνται σε κάθε καλλιέργεια όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα [98]:

Πίνακας 8:Εκπομπές βαρέων μετάλλων ανά κατηγορία φυτοφαρμάκων

<b>Λιπάσματα (%N / % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> / % K<sub>2</sub>O / %Mg)</b>	<b>Cd mg/kg nutrient</b>	<b>Cu mg/kg nutrient</b>	<b>Zn mg/kg nutrient</b>	<b>Pb mg/kg nutrient</b>	<b>Ni mg/kg nutrient</b>	<b>Cr mg/kg nutrient</b>
<b>Urea (Ουρία) (46/0/0) kg N</b>	0.11	13.04	95.65	2.39	4.35	4.35
<b>Calcium ammonium nitrate (Νιτρικό άλας ασβεστίου-αμμωνίου) (20/0/0) kg N</b>	0.25	60	155	5.5	90	10
<b>Ammonium nitrate (Νιτρικό αμμώνιο) (27.5/0/0) kg N</b>	0.18	25.45	181.82	6.91	47.27	14.55
<b>Ammonium sulphate (Θειικό αμμώνιο) (21/0/0) kg N</b>	0.24	19.05	142.86	5.24	8.57	9.52
<b>Calcium ammonium nitrate (Νιτρικό άλας ασβεστίου-αμμωνίου) (27/0/0) kg N</b>	0.19	8.52	100	5.93	12.59	2.96
<b>Magnesium ammonium nitrate (Νιτρικό άλας μαγνησίου-αμμωνίου) (23/0/0/5) kg N</b>	0.43	56.52	4.35	4.35	21.74	6.09
<b>Generic mean N (Γενικός μέσος όρος N)</b>	0.21	22.25	121.43	5.37	17.17	7.81
<b>Triple superphosphate (Τριπλό υπερφωσφορικό) (0/46/0) kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	113.04	97.83	650	7.61	95.65	567.39
<b>Superphosphate (Υπερφωσφορικό) (0/19/0) kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	52.63	121.05	852.63	578.95	105.26	342.11
<b>Thomas meal (0/16/0) kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	1.56	250	425	75	125	12212.5
<b>Hyperphosphate/raw phosphate (Υπερφωσφορικό/ακατέργαστο φωσφορικό) (0/26/0) kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	50	115.38	915.38	23.85	76.92	611.54
<b>Generic mean P (Γενικός μέσος όρος P)</b>	51.32	118.22	751.32	49.42	100.46	589.46
<b>Potassium chloride (KCl) (Χλωριούχο κάλιο) (0/0/60) kg K<sub>2</sub>O</b>	0.1	8.33	76.67	9.17	3.5	3.33
<b>Potassium sulphate (Θειικό κάλιο) (0/0/50) kg K<sub>2</sub>O</b>	0.1	4	64	6.6	1.6	4
<b>Raw potassium (Ακατέργαστο κάλιο) (0/0/26/5) kg K<sub>2</sub>O</b>	0.19	173.08	153.85	11.54	11.54	173.08
<b>Lime (Άσβεστος/Οξείδιο του ασβεστίου) kg CaO</b>	0.12	4	8	3.6	12.2	314
<b>Generic mean K (Γενικός μέσος όρος K)</b>	0.11	6.17	70.33	7.88	7.52	88.54

# Εφαρμογή Μεθοδολογίας Ανάλυσης Κύκλου Ζωής – Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) των εξεταζόμενων σεναρίων 1 έως 3 που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις κάθε καλλιέργειας αναλύθηκαν με τη χρήση του λογισμικού GaBi και SimaPro, σύμφωνα με τα πρότυπα ISO 14040 και ISO 14044. Μέσω της ανάλυσης, εξήχθησαν οι δείκτες endpoint οι οποίοι σχετίζονται με τις επιπτώσεις της κάθε καλλιέργειας στην ανθρώπινη υγεία, το οικοσύστημα και τους πόρους και οι δείκτες midpoint, οι οποίοι παρουσιάζουν τα αποτελέσματα κάθε κατηγορίας επιβάρυνσης ξεχωριστά.

## 1. «Σενάριο 1» : Συγκαλλιέργεια Αρακά (Pea) - Βρώμης (Oat), Μονοκαλλιέργειες Αρακά και Βρώμης

### 1.1.Μονοκαλλιέργεια Βρώμης

Πίνακας 9: Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια βρώμης

Se	Impact category	Unit	Total	oat	Oat seed, for sowing	Calcium ammonium	Insecticide, at plant	Diesel (Europe)
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming		1.84E-5	9.71E-6	1.35E-6	5.29E-6	1.67E-8	2E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Stratospheric ozone depletion		6.18E-5	4.79E-5	3.57E-6	1.03E-5	1.5E-9	5.93E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation		1.32E-6	x	3.93E-7	3.29E-7	8.05E-8	5.17E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Human health		8.07E-6	2.66E-6	1.6E-6	1.91E-6	9.67E-9	1.88E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Fine particulate matter formation		6.27E-6	4.15E-6	6.25E-7	9.78E-7	5.76E-9	5.13E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Terrestrial ecosystems		1.03E-5	3.08E-6	1.91E-6	2.36E-6	1.14E-8	2.9E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acidification		2.58E-5	2.04E-5	1.95E-6	2.5E-6	9.45E-9	9.08E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater eutrophication		1.12E-5	x	3.05E-6	7.25E-6	1.27E-7	7.37E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine eutrophication		3.09E-5	1.52E-5	1.5E-5	5.82E-7	5.02E-9	1.16E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity		5.12E-6	3.5E-26	1.13E-6	2.26E-6	3.59E-8	1.69E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater ecotoxicity		1.08E-5	5.05E-7	2.49E-6	6.23E-6	3.62E-7	1.21E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine ecotoxicity		8.96E-6	2.38E-7	1.43E-6	5.44E-6	2.7E-7	1.58E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Human carcinogenic toxicity		6.11E-5	3.15E-7	9.17E-6	4.47E-5	5.85E-7	6.3E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Human non-carcinogenic toxicity		4.15E-7	1.42E-8	1.28E-7	2.22E-7	4.71E-9	4.65E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use		9.47E-6	x	9.44E-6	2.82E-8	3.29E-9	4.56E-9
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral resource scarcity		3.13E-10	x	1.57E-10	1.16E-10	1.52E-12	3.86E-11
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil resource scarcity		3.08E-5	x	1.59E-6	7.97E-6	4.26E-8	2.12E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption		1.75E-6	x	2.07E-7	1.48E-6	5.41E-9	6.44E-8

Πίνακας 10: Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια βρώμης

Skip categories With result = 0

Standard Group Exclude long-term emissions Per impact category

Se	Damage category	Unit	Total	oat	Oat seed, for sowing	Calcium ammonium	Insecticide, at plant	Diesel (Europe)
<input checked="" type="checkbox"/>	Human health		1.02E-5	5.87E-6	8.97E-7	2.48E-6	1.13E-8	9.87E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecosystems		8.05E-7	2.72E-7	3.86E-7	1.06E-7	4.98E-10	4.08E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Resources		4.42E-7	x	2.13E-8	8.64E-8	4.44E-10	3.33E-7

## 1.2.Συγκαλλιέργεια Βρώμης – Αρακά (75:25)

Πίνακας 11: Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (75:25)

Characterization Normalization

Skip categories With result = 0

Standard Group Default units Exclude long-term emissions Per impact category

Se	Impact category	Unit	Total	oat-pea (75:25)	Oat seed, for sowing	Calcium ammonium	Insecticide, at plant	Pea seed, for sowing	Diesel (Europe)
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming		2.45E-5	1.29E-5	1.34E-6	7.01E-6	2.21E-8	6.39E-7	2.65E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Stratospheric ozone depletion		8.18E-5	6.35E-5	3.54E-6	1.36E-5	1.99E-9	1.13E-6	7.85E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation		1.91E-6	x	3.9E-7	4.36E-7	1.07E-7	2.97E-7	6.85E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Human health		1.14E-5	3.53E-6	1.59E-6	2.53E-6	1.28E-8	1.2E-6	2.49E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Fine particulate matter formation		8.43E-6	5.5E-6	6.21E-7	1.3E-6	7.62E-9	3.23E-7	6.79E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Terrestrial ecosystems		1.44E-5	4.08E-6	1.9E-6	3.12E-6	1.51E-8	1.42E-6	3.84E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acidification		3.4E-5	2.71E-5	1.93E-6	3.32E-6	1.25E-8	4.59E-7	1.2E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater eutrophication		1.69E-5	x	3.03E-6	9.6E-6	1.68E-7	3.17E-6	9.76E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine eutrophication		4.51E-5	2.01E-5	1.49E-5	7.71E-7	6.65E-9	9.22E-6	1.54E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity		9.33E-6	4.64E-6	1.12E-6	3E-6	4.75E-8	2.92E-6	2.24E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater ecotoxicity		1.87E-5	6.69E-7	2.47E-6	8.26E-6	4.79E-7	5.21E-6	1.6E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine ecotoxicity		1.8E-5	3.15E-7	1.42E-6	7.21E-6	3.58E-7	6.6E-6	2.1E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Human carcinogenic toxicity		8.78E-5	4.17E-7	9.11E-6	5.92E-5	7.75E-7	9.89E-6	8.35E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Human non-carcinogenic toxicity		4.55E-7	1.89E-8	1.27E-7	2.94E-7	6.24E-9	-5.31E-8	6.16E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use		1.54E-5	x	9.37E-6	3.73E-8	4.36E-9	5.93E-6	6.04E-9
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral resource scarcity		5.41E-10	x	1.56E-10	1.53E-10	2.01E-12	1.79E-10	5.12E-11
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil resource scarcity		4.13E-5	x	1.58E-6	1.06E-5	5.64E-8	9.84E-7	2.81E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption		4.95E-6	x	2.06E-7	1.95E-6	7.16E-9	2.69E-6	8.54E-8

Πίνακας 12: Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (75:25)

Characterization Damage Assessment Normalization Weighting Single score

Skip categories With result = 0

Standard Group Default units Exclude long-term emissions Per impact category

Se	Damage category	Unit	Total	oat-pea (75:25)	Oat seed, for sowing	Calcium ammonium	Insecticide, at plant	Pea seed, for sowing	Diesel (Europe)
<input checked="" type="checkbox"/>	Human health		1.37E-5	7.77E-6	8.91E-7	3.28E-6	1.5E-8	4.71E-7	1.31E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecosystems		1.18E-6	3.6E-7	3.83E-7	1.4E-7	6.6E-10	2.38E-7	5.4E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Resources		5.91E-7	x	2.12E-8	1.14E-7	5.89E-10	1.27E-8	4.42E-7

### 1.3. Συγκαλλιέργεια Βρώμης – Αρακά (50:50)

Πίνακας 13: Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (50:50)

Characterization | Normalization

Skip categories With result = 0

Standard Group Default units Exclude long-term emissions Per impact category

Se	Impact category	Unit	Total	oat-pea (50:50)	Oat seed, for sowing	Calcium ammonium	Insecticide, at plant	Pea seed, for sowing	Diesel (Europe)
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming		2.31E-5	1.2E-5	8.34E-7	6.55E-6	2.06E-8	1.19E-6	2.47E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Stratospheric ozone depletion		7.64E-5	5.93E-5	2.21E-6	1.27E-5	1.86E-9	2.11E-6	7.34E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation		1.94E-6	x	2.43E-7	4.07E-7	9.96E-8	5.55E-7	6.4E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Human health		1.12E-5	3.29E-6	9.92E-7	2.37E-6	1.2E-8	2.24E-6	2.33E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Fine particulate matter formation		7.98E-6	5.14E-6	3.87E-7	1.21E-6	7.12E-9	6.04E-7	6.34E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Terrestrial ecosystems		1.42E-5	3.82E-6	1.18E-6	2.92E-6	1.41E-8	2.66E-6	3.59E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acidification		3.16E-5	2.53E-5	1.2E-6	3.1E-6	1.17E-8	8.57E-7	1.12E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater eutrophication		1.78E-5	x	1.89E-6	8.97E-6	1.57E-7	5.92E-6	9.12E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine eutrophication		4.62E-5	1.88E-5	9.27E-6	7.2E-7	6.22E-9	1.72E-5	1.44E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity		1.11E-5	4.33E-26	7E-7	2.8E-6	4.44E-8	5.45E-6	2.1E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater ecotoxicity		2.16E-5	6.25E-7	1.54E-6	7.72E-6	4.48E-7	9.75E-6	1.5E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine ecotoxicity		2.26E-5	2.94E-7	8.83E-7	6.74E-6	3.34E-7	1.23E-5	1.96E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Human carcinogenic toxicity		8.84E-5	3.9E-7	5.67E-6	5.53E-5	7.24E-7	1.85E-5	7.8E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Human non-carcinogenic toxicity		3.36E-7	1.76E-8	7.9E-8	2.75E-7	5.83E-9	-9.91E-8	5.75E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use		1.7E-5	x	5.84E-6	3.49E-8	4.08E-9	1.11E-5	5.64E-9
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral resource scarcity		6.24E-10	x	9.7E-11	1.43E-10	1.88E-12	3.34E-10	4.78E-11
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil resource scarcity		3.9E-5	x	9.84E-7	9.87E-6	5.27E-8	1.84E-6	2.63E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption		7.07E-6	x	1.28E-7	1.83E-6	6.69E-9	5.03E-6	7.98E-8

Πίνακας 14: Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (50:50)

Characterization | Damage Assessment | Normalization | Weighting | Single score

Skip categories With result = 0

Standard Group Default units Exclude long-term emissions Per impact category

Se	Damage category	Unit	Total	oat-pea (50:50)	Oat seed, for sowing	Calcium ammonium	Insecticide, at plant	Pea seed, for sowing	Diesel (Europe)
<input checked="" type="checkbox"/>	Human health		1.3E-5	7.26E-6	5.55E-7	3.06E-6	1.4E-8	8.8E-7	1.22E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecosystems		1.2E-6	3.37E-7	2.39E-7	1.31E-7	6.17E-10	4.44E-7	5.05E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Resources		5.57E-7	x	1.32E-8	1.07E-7	5.5E-10	2.38E-8	4.13E-7

### 1.4. Συγκαλλιέργεια Βρώμης – Αρακά (25:75)

Πίνακας 15: Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (25:75)

Characterization | Normalization

Skip categories With result = 0

Standard Group Default units Exclude long-term emissions Per impact category

Se	Impact category	Unit	Total	oat-pea (25:75)	Oat seed, for sowing	Calcium ammonium	Insecticide, at plant	Pea seed, for sowing	Diesel (Europe)
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming		2.4E-5	1.24E-5	4.3E-7	6.76E-6	2.13E-8	1.85E-6	2.55E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Stratospheric ozone depletion		7.88E-5	6.12E-5	1.14E-6	1.31E-5	1.92E-9	3.27E-6	7.57E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation		2.17E-6	x	1.25E-7	4.2E-7	1.03E-7	8.58E-7	6.61E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Human health		1.22E-5	3.4E-6	5.12E-7	2.44E-6	1.23E-8	3.47E-6	2.4E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Fine particulate matter formation		8.35E-6	5.3E-6	1.99E-7	1.25E-6	7.35E-9	9.35E-7	6.55E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Terrestrial ecosystems		1.54E-5	3.94E-6	6.09E-7	3.01E-6	1.46E-8	4.11E-6	3.7E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acidification		3.24E-5	2.61E-5	6.21E-7	3.2E-6	1.21E-8	1.33E-6	1.16E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater eutrophication		2.05E-5	x	9.75E-7	9.25E-6	1.62E-7	9.16E-6	9.41E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine eutrophication		5.17E-5	1.94E-5	4.78E-6	7.43E-7	6.41E-9	2.67E-5	1.48E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity		1.39E-5	4.47E-26	3.61E-7	2.89E-6	4.58E-8	8.44E-6	2.16E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater ecotoxicity		2.65E-5	6.45E-7	7.95E-7	7.96E-6	4.62E-7	1.51E-5	1.54E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine ecotoxicity		2.92E-5	3.04E-7	4.56E-7	6.95E-6	3.45E-7	1.91E-5	2.02E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Human carcinogenic toxicity		9.78E-5	4.02E-7	2.93E-6	5.71E-5	7.47E-7	2.86E-5	8.05E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Human non-carcinogenic toxicity		2.55E-7	1.82E-8	4.07E-8	2.84E-7	6.01E-9	-1.53E-7	5.93E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use		2.02E-5	x	3.01E-6	3.6E-8	4.21E-9	1.72E-5	5.82E-9
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral resource scarcity		7.67E-10	x	5E-11	1.48E-10	1.94E-12	5.17E-10	4.93E-11
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil resource scarcity		4.07E-5	x	5.07E-7	1.02E-5	5.43E-8	2.85E-6	2.71E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption		9.83E-6	x	6.62E-8	1.88E-6	6.9E-9	7.79E-6	8.23E-8

Πίνακας 16: Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά (25:75)

Characterization Damage Assessment | **Normalization** | Weighting | Single score

Skip categories With result = 0

Default units  
 Exclude long-term emissions  
 Per impact category

Se	Damage category	Unit	Total	oat-pea (25:75)	Oat seed, for sowing	Calcium ammonium	Insecticide, at plant	Pea seed, for sowing	Diesel (Europe)
<input checked="" type="checkbox"/>	Human health		1.36E-5	7.49E-6	2.86E-7	3.16E-6	1.45E-8	1.36E-6	1.26E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecosystems		1.35E-6	3.47E-7	1.23E-7	1.35E-7	6.36E-10	6.88E-7	5.21E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Resources		5.8E-7	x	6.81E-9	1.1E-7	5.68E-10	3.68E-8	4.26E-7

## 1.5 Μονοκαλλιέργεια Αρακά

Πίνακας 17: Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια αρακά

Network Tree | **Impact assessment** | Inventory | Process contribution | Setup

Characterization | **Normalization**

Skip categories With result = 0

Default units  
 Exclude long-term emissions  
 Per impact category

Se	Impact category	Unit	Total	pea	Calcium ammonium	Insecticide, at plant	Pea seed, for sowing	Diesel (Europe)
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming		1.91E-5	9.77E-6	5.32E-6	1.68E-8	1.94E-6	2.01E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Stratospheric ozone depletion		6.2E-5	4.82E-5	1.03E-5	1.51E-9	3.43E-6	5.96E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation		1.83E-6	x	3.31E-7	8.09E-8	9.01E-7	5.2E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Human health		1.01E-5	2.68E-6	1.92E-6	9.72E-9	3.65E-6	1.89E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Fine particulate matter formation		6.66E-6	4.17E-6	9.83E-7	5.79E-9	9.81E-7	5.15E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Terrestrial ecosystems		1.27E-5	3.1E-6	2.37E-6	1.15E-8	4.31E-6	2.91E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acidification		2.54E-5	2.05E-5	2.52E-6	9.5E-9	1.39E-6	9.13E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater eutrophication		1.78E-5	x	7.28E-6	1.27E-7	9.61E-6	7.41E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine eutrophication		4.4E-5	1.53E-5	5.85E-7	5.05E-9	2.8E-5	1.17E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity		1.29E-5	3.52E-26	2.27E-6	3.61E-8	8.86E-6	1.7E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater ecotoxicity		2.42E-5	5.07E-7	6.27E-6	3.64E-7	1.58E-5	1.21E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine ecotoxicity		2.76E-5	2.39E-7	5.47E-6	2.72E-7	2.01E-5	1.59E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Human carcinogenic toxicity		8.22E-5	3.17E-7	4.49E-5	5.88E-7	3E-5	6.34E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Human non-carcinogenic toxicity		1.28E-7	1.43E-8	2.23E-7	4.73E-9	-1.61E-7	4.67E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use		1.8E-5	x	2.83E-8	3.31E-9	1.8E-5	4.58E-9
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral resource scarcity		7E-10	x	1.16E-10	1.53E-12	5.43E-10	3.88E-11
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil resource scarcity		3.24E-5	x	8.01E-6	4.28E-8	2.99E-6	2.13E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption		9.73E-6	x	1.48E-6	5.43E-9	8.18E-6	6.48E-8

Πίνακας 18: Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια αρακά

Characterization Damage Assessment | **Normalization** | Weighting | Single score

Skip categories With result = 0

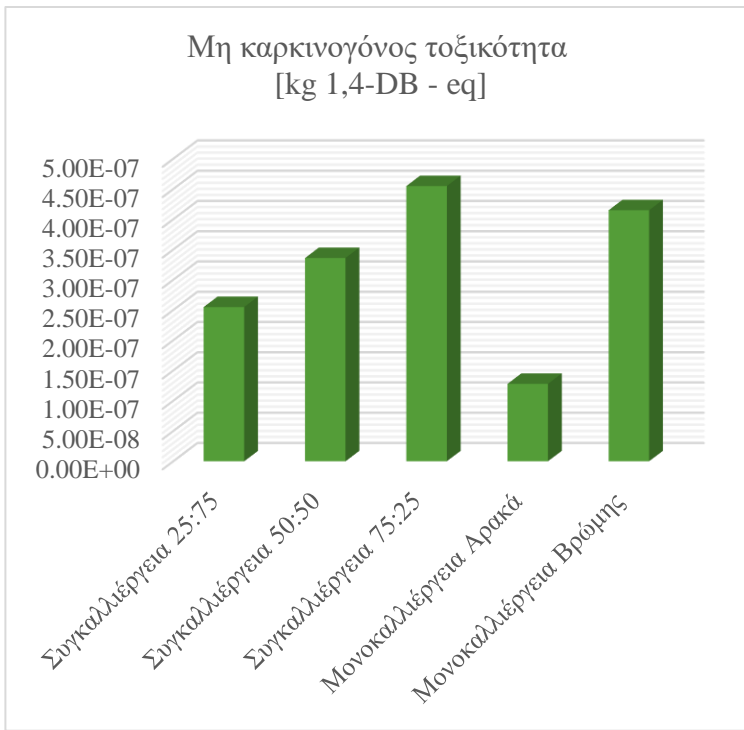
Default units  
 Exclude long-term emissions  
 Per impact category

Se	Damage category	Unit	Total	pea	Calcium ammonium	Insecticide, at plant	Pea seed, for sowing	Diesel (Europe)
<input checked="" type="checkbox"/>	Human health		1.08E-5	5.9E-6	2.49E-6	1.14E-8	1.43E-6	9.93E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Ecosystems		1.14E-6	2.74E-7	1.06E-7	5.01E-10	7.22E-7	4.1E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Resources		4.61E-7	x	8.69E-8	4.47E-10	3.87E-8	3.35E-7

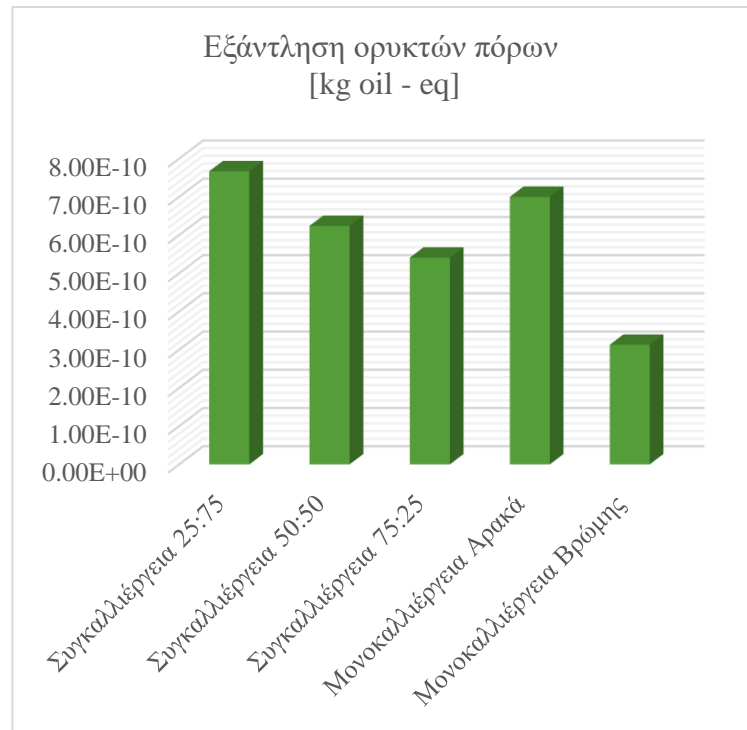
Πίνακας 19: Δείκτες endpoint συγκριτικά για τις μονοκαλλιέργειες και τις συγκαλλιέργειες του σεναρίου 1

Κατηγορίες επιπτώσεων (endpoints)	Συγκαλλιέργεια βρώμης – αρακά 25:75	Συγκαλλιέργεια βρώμης – αρακά 50:50	Συγκαλλιέργεια βρώμης – αρακά 75:25	Μονοκαλλιέργεια αρακά	Μονοκαλλιέργεια βρώμης
<b>Οικοσύστημα</b>	1.35E-06	1.6E-06	1.2E-06	1.1E-06	8.1E-07
<b>Ανθρώπινη υγεία</b>	1.36E-05	1.3E-05	1.4E-05	1.1E-05	1.0E-05
<b>Κατανάλωση πόρων</b>	5.80E-07	5.6E-07	5.9E-07	4.6E-07	4.4E-07

Στη συνέχεια, παρουσιάζονται γραφήματα που απεικονίζουν ορισμένες από τις κύριες κατηγορίες περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, όπως η κατανάλωση νερού, ο ευτροφισμός των υδάτων, η μη καρκινογόνος τοξικότητα στον άνθρωπο και η εξάντληση ορυκτών πόρων. Τα γραφήματα συγκρίνουν τις τρεις διαφορετικές αναλογίες συγκαλλιέργειας βρώμης – αρακά, 25:75, 50:50 και 75:25, με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες προκειμένου να αξιολογηθούν οι επιπτώσεις κάθε συστήματος καλλιέργειας στις παραπάνω περιβαλλοντικές παραμέτρους.



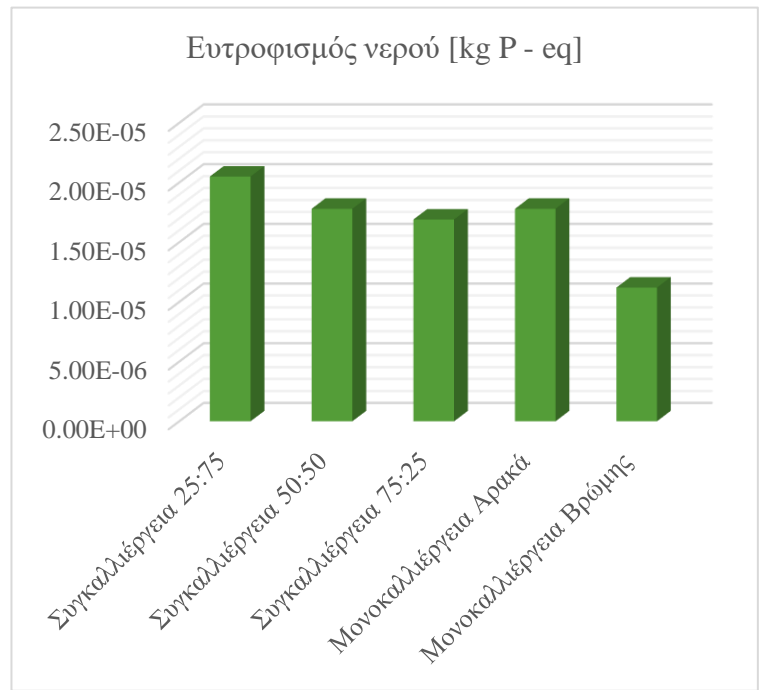
Διάγραμμα 1: Συγκριτική Ανάλυση Μη Καρκινογόνου Τοξικότητας στην Ανθρώπινη Υγεία: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 1



Διάγραμμα 2: Συγκριτική Ανάλυση Εξάντλησης Ορυκτών Πόρων: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 1



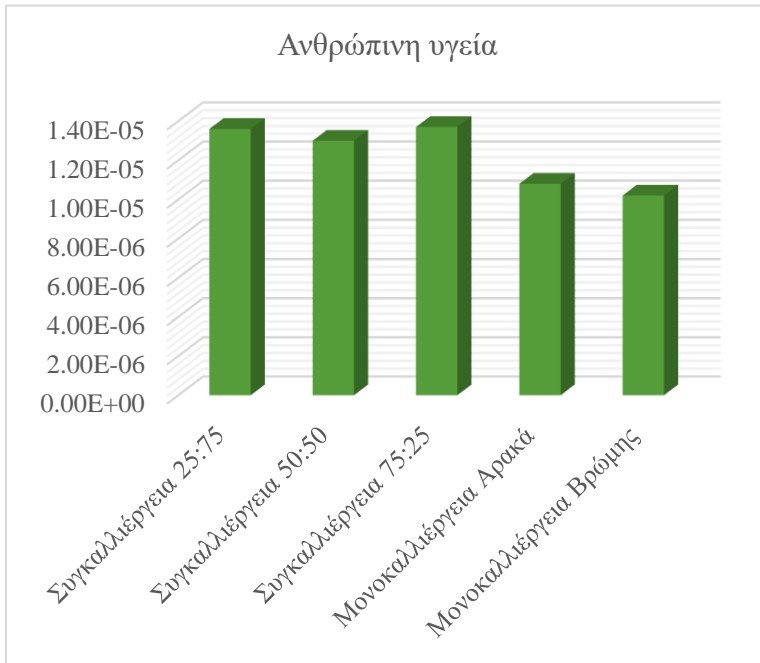
Διάγραμμα 3: Συγκριτική Ανάλυση Κατανάλωσης Νερού: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 1



Διάγραμμα 4: Συγκριτική Ανάλυση Ευτροφισμού του Νερού: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 1

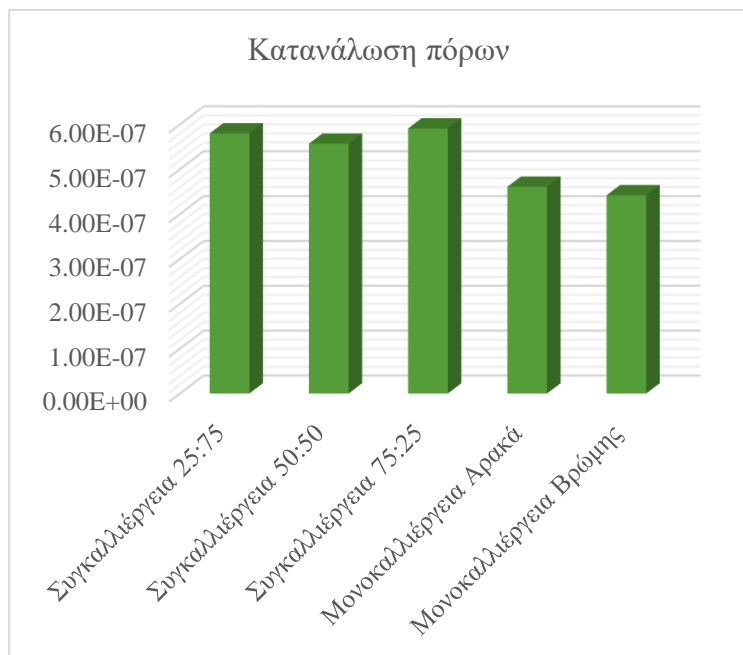


Επιπλέον, απεικονίζονται γραφήματα τα οποία αποτυπώνουν τους δείκτες endpoint, οι οποίοι καταγράφουν τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των επιμέρους καλλιεργειών στις τρεις βασικές κατηγορίες: το περιβάλλον, την ανθρώπινη υγεία και την κατανάλωση των πόρων.



Διάγραμμα 5: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στην Ανθρώπινη Υγεία για το Σενάριο 1

Διάγραμμα 6: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στο Οικοσύστημα για το Σενάριο 1



Διάγραμμα 7: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στην Κατανάλωση Πόρων για το Σενάριο 1

Αρχικά, θα αξιολογηθούν οι πίνακες 9, 11, 13, 15 και 17 οι οποίοι παρουσιάζουν αναλυτικά όλες τις κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων με τους δείκτες ενδιάμεσου σημείου για όλες τις καλλιέργειες. Παρατηρήθηκε πως οι συγκαλλιέργειες με αναλογίες 75:25 και 50:50 εμφανίζουν σημαντικά μικρότερη κατανάλωση νερού, με τιμές  $4.95 * 10^{-6} \text{ m}^3$  και  $7.07 * 10^{-6} \text{ m}^3$  αντίστοιχα, σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά στην οποία η τιμή του δείκτη ανέρχεται σε  $9.73 * 10^{-6} \text{ m}^3$ , ενώ, στη συγκαλλιέργεια με αναλογία 25:75, η κατανάλωση νερού είναι σχεδόν παρόμοια με την καλλιέργεια αρακά. Επιπλέον, η τιμή της κατηγορίας ευτροφισμού του νερού είναι υψηλότερη στη μονοκαλλιέργεια αρακά με τιμή  $1.78 * 10^{-5} \text{ kg P} - \text{eq}$ , σε σύγκριση με τη συγκαλλιέργεια βρώμης-αρακά με αναλογία 75:25, όπου παρουσιάζει τιμή ίση με  $1.69 * 10^{-5} \text{ kg P} - \text{eq}$  και ίδια με την συγκαλλιέργεια με αναλογία βρώμης αρακά 50:50. Στην κατηγορία της μη καρκινογόνους τοξικότητας στον άνθρωπο παρατηρείται ότι η μονοκαλλιέργεια βρώμης τιμή ίση με  $4.15 * 10^{-7} \text{ kg 1,4 DCB} - \text{eq}$ , υψηλότερη από εκείνη των συγκαλλιεργειών με αναλογίες 50:50 και 25:75, όπου ο δείκτης είναι  $3.36 * 10^{-7} \text{ kg 1,4 DCB} - \text{eq}$  και  $2.55 * 10^{-7} \text{ kg 1,4 DCB} - \text{eq}$  αντίστοιχα, ενώ εμφανίζει περίπου ίδια τιμή με τη συγκαλλιέργεια με αναλογία 75:25. Οι συγκαλλιέργειες με αναλογίες 75:25 και 50:50 επιβαρύνουν λιγότερο την κατηγορία της οικοτοξικότητας της θάλασσας, του νερού και του εδάφους σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά, ενώ στη συγκαλλιέργεια με αναλογία 25:75 παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές. Η εξάντληση ορυκτών πόρων φαίνεται να είναι μειωμένη στις συγκαλλιέργειες βρώμης-αρακά με αναλογίες 75:25 και 50:50, με τιμές  $5.41 * 10^{-10} \text{ kg Cu} - \text{eq}$  και  $6.24 * 10^{-10} \text{ kg Cu} - \text{eq}$  αντίστοιχα, σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά όπου η τιμή αυξάνεται σε  $7.00 * 10^{-10} \text{ kg Cu} - \text{eq}$ . Στην κατηγορία της ιονίζουσας ακτινοβολίας και του σχηματισμού όζοντος που επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, οι τιμές των παραμέτρων είναι παρόμοιες μεταξύ των συγκαλλιεργειών και της μονοκαλλιέργειας αρακά. Τέλος, ο δείκτης της κλιματικής αλλαγής είναι αυξημένος και στις τρεις αναλογίες των συγκαλλιεργειών συγκριτικά με τις μονοκαλλιέργειες αρακά και βρώμης. Γενικά, στην καλλιέργεια βρώμης, οι κατηγορίες των περιβαλλοντικών επιπτώσεων εμφανίζονται μειωμένες σε σύγκριση με τις συγκαλλιέργειες.

Από τους πίνακες 10, 12, 14, 16 και 18 οι οποίοι παρουσιάζουν τους δείκτες endpoint, προκύπτουν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των επιμέρους καλλιεργειών στις τρεις κύριες κατηγορίες: την ανθρώπινη υγεία, το περιβάλλον και τους πόρους. Αρχικά, συγκρίνοντας τις

συγκαλλιέργειες με διαφορετικές αναλογίες βρώμης και αρακά, παρατηρείται ότι όλες οι καλλιέργειες βρώμης-αρακά παρουσιάζουν σχεδόν την ίδια επιβάρυνση στην ανθρώπινη υγεία, με μέση τιμή περίπου  $1.3 * 10^{-6}$ . Οι συγκαλλιέργειες στις αναλογίες 75:25 και 50:50 παρουσιάζουν σχεδόν την ίδια επιβάρυνση στο περιβάλλον, με τιμές  $1.15 * 10^{-6}$  και  $1.2 * 10^{-6}$  αντίστοιχα, ενώ η τελευταία αναλογία, (50:50), εμφανίζει μειωμένη επιβάρυνση στην κατανάλωση πόρων ίση με  $5.57 * 10^{-7}$ . Στην καλλιέργεια βρώμης-αρακά με αναλογία 25:75, διαπιστώνεται ότι η επιβάρυνση στο περιβάλλον και στους πόρους είναι αυξημένη σε σχέση με τις προηγούμενες αναλογίες, ωστόσο η επιβάρυνση στην ανθρώπινη υγεία παραμένει σταθερή σε όλες τις αναλογίες. Όσον αφορά τη μονοκαλλιέργεια αρακά, παρατηρείται ότι η επιβάρυνση στην ανθρώπινη υγεία είναι μικρότερη συγκριτικά με τις συγκαλλιέργειες, ενώ η επιβάρυνση στο περιβάλλον είναι περίπου ίση με τις συγκαλλιέργειες στις αναλογίες 75:25 και 50:50 βρώμης – αρακά. Η μονοκαλλιέργεια βρώμης παρουσιάζει ελαφρώς χαμηλότερες τιμές και στις τρεις κατηγορίες επιβαρύνσεων.

## 2. «Σενάριο 2» : Συγκαλλιέργεια Αρακά (Pea) – Σιταριού (Wheat), Μονοκαλλιέργειες Αρακά και Σιταριού

### 2.1 Μονοκαλλιέργεια σιταριού με προσθήκη λιπάσματος

Πίνακας 20: Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια σιταριού με προσθήκη λιπάσματος

Impact Category	Nitrogen fertilizer, production mix, at plant <LC>	Wheat seed production <LC>	DE: Phosphoric acid (100%) (wet process) ts	EU-28: Diesel mix at refineries	EU-28: Lime (CaO; quicklime lumpy) (EN15804 A1-A3) ts	GLO: Pesticides (average) ts	GLO: Simplified NPK mixers <u-so>	Wheat 100% N-fertilizer <u-so>	Total
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2 eq.]	3.91E-002	3.32E-003	7.47E-003	4.52E-003	4.01E-002	1.74E-003			0.0963
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Climate change, incl biogenic carbon [kg CO2 eq.]	3.91E-002	-1.15E-002	7.56E-003	2.82E-003	4.01E-002	1.75E-003			0.0798
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Fine Particulate Matter Formation [kg PM2.5 eq.]	1.05E-004	4.90E-006	2.11E-005	4.18E-006	4.35E-006	1.03E-006		2.86E-004	4.266E-04
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Fossil depletion [kg oil eq.]	1.70E-002	5.72E-004	4.41E-003	9.77E-003	4.17E-003	7.92E-004			0.0367
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater Consumption [m3]		3.41E-004	2.05E-005	4.24E-005	6.29E-006	1.21E-005			4.223E-04

ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater ecotoxicity [kg 1,4 DB eq.]	1.27E-004	8.44E-006	2.42E-006	5.60E-006	4.20E-007	2.75E-007			1.442E-04
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater Eutrophication [kg P eq.]		1.78E-006	4.60E-008	1.56E-007	2.72E-009	8.86E-009			1.994E-06
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Human toxicity, cancer [kg 1,4-DB eq.]	1.02E-005	7.00E-007	4.92E-006	7.82E-006	7.48E-007	6.63E-007			2.505E-05
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Human toxicity, non-cancer [kg 1,4-DB eq.]	5.14E-003	7.34E-004	7.85E-004	2.92E-003	2.12E-004	5.39E-005			0.0098
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Ionizing Radiation [Bq C-60 eq. to air]		9.48E-006	4.12E-005	1.28E-005	2.57E-005	9.03E-006			9.821E-05
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Land use [Annual crop eq.·y]		1.84E-002	1.16E-004	2.44E-003	4.71E-005	5.21E-005		9.92E-001	1.0131
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Marine ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	1.62E-004	1.17E-005	8.67E-006	1.70E-005	2.25E-006	7.88E-007			2.024E-04
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Marine Eutrophication [kg N eq.]	1.86E-007	1.86E-005	1.10E-007	8.36E-007	2.08E-008	3.92E-008			1.979E-05
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Metal depletion [kg Cu eq.]		1.77E-004	3.86E-004	1.84E-005	1.29E-003	5.14E-006			0.0019
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Ecosystems [kg NOx eq.]	1.87E-005	7.49E-004	5.77E-003	1.83E-003	2.25E-003	1.55E-003		2.65E-003	0.0148
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Human Health [kg NOx eq.]	1.84E-005	4.69E-004	3.59E-003	1.14E-003	1.40E-003	9.62E-004		2.65E-003	0.0102
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Stratospheric Ozone Depletion [kg CFC-11 eq.]	6.44E-007	6.22E-008	2.29E-009	5.91E-009	1.09E-009	1.69E-009			7.172E-07
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Terrestrial Acidification [kg SO2 eq.]	3.71E-004	2.81E-005	7.01E-005	1.50E-005	7.44E-006	3.32E-006		9.64E-004	0.0015
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	1.89E-003	1.54E-004	4.96E-003	1.25E-003	6.26E-003	6.36E-004			0.0152

Πίνακας 21: Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια σιταριού με προσθήκη λιπάσματος

Impact Category	Nitrogen fertilizer, production mix, at plant <LC>	Wheat seed production <LC>	DE: Phosphoric acid (100%) (wet process) ts	EU-28: Diesel mix at refineries	EU-28: Lime (CaO; quicklime lumpy) (EN15804 A1-A3) ts	GLO: Pesticide (average) ts	GLO: Simplified NPK mixers <u-so>	Wheat 100% N-fertilized <u-so>
-----------------	--	----------------------------	---	---------------------------------	---	-----------------------------	-----------------------------------	--------------------------------

ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Freshw Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]	2.99E-015	2.54E-016	5.71E-016	3.46E-016	3.07E-015	1.33E-016		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Freshw Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]	2.99E-015	-8.81E-016	5.78E-016	2.16E-016	3.07E-015	1.34E-016		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon [DALY]	3.63E-008	3.08E-009	6.93E-009	4.20E-009	3.72E-008	1.61E-009		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon [DALY]	3.63E-008	-1.07E-008	7.01E-009	2.62E-009	3.72E-008	1.62E-009		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Terrest Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]	1.10E-010	9.30E-012	2.09E-011	1.27E-011	1.12E-010	4.86E-012		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Terrest Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]	1.10E-010	-3.22E-011	2.12E-011	7.90E-012	1.12E-010	4.89E-012		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Fine Particulate Matter Formation [DALY]	6.61E-008	3.08E-009	1.32E-008	2.63E-009	2.74E-009	6.48E-010		1.80E-007
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Fossil depletion [\$]	5.01E-003	1.84E-004	1.60E-003	4.32E-003	9.25E-004	2.31E-004		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Freshw Ecosystems [species.yr]		1.34E-016	3.28E-017	5.38E-017	2.65E-018	1.87E-017		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Human Health [DALY]		4.17E-010	2.65E-011	2.18E-011	4.07E-012	2.29E-011		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Terrest Ecosystems [species.yr]		1.21E-012	1.67E-013	1.59E-013	2.54E-014	1.47E-013		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater ecotoxicity [species.yr]	8.80E-014	5.87E-015	1.68E-015	3.89E-015	2.92E-016	1.91E-016		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Eutrophication [species.yr]		1.19E-012	3.09E-014	1.05E-013	1.82E-015	5.95E-015		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Human toxicity, cancer [DALY]	3.38E-011	2.32E-012	1.63E-011	2.60E-011	2.48E-012	2.20E-012		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Human toxicity, non-cancer [DALY]	1.17E-009	1.67E-010	1.79E-010	6.66E-010	4.83E-011	1.23E-011		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Ionizing Radiation [DALY]		8.06E-014	3.50E-013	1.09E-013	2.18E-013	7.67E-014		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Land use [species.yr]		1.64E-010	1.03E-012	2.16E-011	4.19E-013	4.62E-013		8.81E-009

ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Marine ecotoxicity [species.yr]	1.70E-014	1.22E-015	9.10E-016	1.78E-015	2.37E-016	8.28E-017		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Marine Eutrophication [species.yr]	3.23E-016	3.06E-014	1.84E-016	1.39E-015	3.47E-017	6.59E-017		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Metal depletion [\$]		3.36E-005	1.04E-004	1.10E-005	2.99E-004	1.73E-006		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Ecosystems [species.yr]	2.42E-012	9.66E-011	7.44E-010	2.37E-010	2.90E-010	2.00E-010		3.42E-010
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Human Health [DALY]	1.67E-011	4.27E-010	3.26E-009	1.04E-009	1.27E-009	8.76E-010		2.41E-009
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Stratospheric Ozone Depletion [DALY]	3.42E-010	3.30E-011	1.22E-012	3.14E-012	5.81E-013	8.96E-013		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Terrestrial Acidification [species.yr]	7.86E-011	5.97E-012	1.49E-011	3.19E-012	1.58E-012	7.04E-013		2.04E-010
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Terrestrial ecotoxicity [species.yr]	2.15E-014	1.75E-015	5.65E-014	1.42E-014	7.13E-014	7.25E-015		

## 2.2 Μονοκαλλιέργεια αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος

Πίνακας 22: Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος

Impact Category	Pea seed production <LC>	DE: Phosphoric acid (100%) (wet process) ts	EU-28: Diesel mix at refineries	EU-28: Lime (CaO; quicklime lumpy) (EN15804 A1-A3) ts	GLO: Pesticide (average) ts	GLO: Simplified NPK mixers <u-so>	Pea 100% no N-fertilized <u-so>	Total
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2 eq.]	3.31E-003	1.91E-002	8.27E-003	8.66E-002	9.47E-003			0.127
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Climate change, incl biogenic carbon [kg CO2 eq.]	-2.53E-002	1.93E-002	5.16E-003	8.66E-002	9.51E-003			0.095
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Fine Particulate Matter Formation [kg PM2.5 eq.]	7.49E-006	5.38E-005	7.64E-006	9.39E-006	5.62E-006		1.18E-003	0.001
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Fossil depletion [kg oil eq.]	9.03E-004	1.13E-002	1.79E-002	9.01E-003	4.32E-003			0.043
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater Consumption [m3]	1.70E-005	5.25E-005	7.75E-005	1.36E-005	6.60E-005			2.27E-04

ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater ecotoxicity [kg 1,4 DB eq.]	1.84E-005	6.18E-006	1.02E-005	9.07E-007	1.50E-006			3.72E-05
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater Eutrophication [kg P eq.]	3.87E-006	1.18E-007	2.85E-007	5.87E-009	4.83E-008			4.33E-06
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Human toxicity, cancer [kg 1,4-DB eq.]	2.46E-006	1.26E-005	1.43E-005	1.61E-006	3.61E-006			3.46E-05
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Human toxicity, non-cancer [kg 1,4-DB eq.]	2.40E-003	2.01E-003	5.34E-003	4.57E-004	2.94E-004			0.011
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Ionizing Radiation [Bq C-60 eq. to air]	2.25E-005	1.05E-004	2.34E-005	5.55E-005	4.92E-005			2.56E-04
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Land use [Annual crop eq.·y]	4.68E-002	2.96E-004	4.46E-003	1.02E-004	2.84E-004		2.14E+000	2.192
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Marine ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	2.56E-005	2.22E-005	3.10E-005	4.86E-006	4.30E-006			8.80E-05
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Marine Eutrophication [kg N eq.]	2.65E-005	2.82E-007	1.53E-006	4.50E-008	2.14E-007			2.86E-05
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Metal depletion [kg Cu eq.]	7.27E-004	9.86E-004	3.37E-005	2.79E-003	2.80E-005			0.005
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Ecosystems [kg NOx eq.]	1.75E-003	1.47E-002	3.35E-003	4.85E-003	8.45E-003		1.10E-002	0.044
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Human Health [kg NOx eq.]	1.09E-003	9.17E-003	2.09E-003	3.02E-003	5.25E-003		1.10E-002	0.032
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Stratospheric Ozone Depletion [kg CFC-11 eq.]	1.78E-008	5.85E-009	1.08E-008	2.36E-009	9.20E-009			4.60E-08
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Terrestrial Acidification [kg SO2 eq.]	3.04E-005	1.79E-004	2.75E-005	1.61E-005	1.81E-005		3.99E-003	0.004
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	3.54E-004	1.27E-002	2.28E-003	1.35E-002	3.47E-003			0.032

Πίνακας 23: Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος

Impact Category	Pea seed production <LC>	DE: Phosphoric acid (100%) (wet process) ts	EU-28: Diesel mix at refinery ts	EU-28: Lime (CaO; quicklime lumpy) (EN15804 A1-A3) ts	GLO: Pesticide (average) ts	GLO: Simplified NPK mixers <u-so>	Pea 100% no N-fertilized <u-so>
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Freshw	2.53E-016	1.46E-015	6.33E-016	6.63E-015	7.24E-016		

Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]							
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Freshw Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]	-1.93E-015	1.48E-015	3.95E-016	6.63E-015	7.28E-016		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon [DALY]	3.07E-009	1.77E-008	7.68E-009	8.04E-008	8.78E-009		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon [DALY]	-2.35E-008	1.79E-008	4.79E-009	8.04E-008	8.83E-009		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Terrest Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]	9.26E-012	5.35E-011	2.32E-011	2.43E-010	2.65E-011		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Terrest Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]	-7.08E-011	5.41E-011	1.44E-011	2.42E-010	2.66E-011		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Fine Particulate Matter Formation [DALY]	4.71E-009	3.39E-008	4.80E-009	5.91E-009	3.53E-009		7.43E-007
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Fossil depletion [\$]	3.09E-004	4.09E-003	7.89E-003	2.00E-003	1.26E-003		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Freshw Ecosystems [species.yr]	8.83E-018	8.39E-017	9.84E-017	5.71E-018	1.02E-016		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Human Health [DALY]	1.19E-011	6.78E-011	3.99E-011	8.79E-012	1.25E-010		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Terrest Ecosystems [species.yr]	8.78E-014	4.26E-013	2.91E-013	5.48E-014	8.00E-013		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater ecotoxicity [species.yr]	1.28E-014	4.30E-015	7.11E-015	6.30E-016	1.04E-015		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Eutrophication [species.yr]	2.60E-012	7.90E-014	1.91E-013	3.94E-015	3.24E-014		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Human toxicity, cancer [DALY]	8.17E-012	4.17E-011	4.75E-011	5.36E-012	1.20E-011		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Human toxicity, non-cancer [DALY]	5.48E-010	4.58E-010	1.22E-009	1.04E-010	6.70E-011		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Ionizing Radiation [DALY]	1.91E-013	8.95E-013	1.99E-013	4.71E-013	4.18E-013		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Land use [species.yr]	4.15E-010	2.63E-012	3.96E-011	9.03E-013	2.52E-012		1.90E-008



<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Marine ecotoxicity [species.yr]</b>	2.69E-015	2.33E-015	3.26E-015	5.11E-016	4.51E-016		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Marine Eutrophication [species.yr]</b>	4.40E-014	4.70E-016	2.55E-015	7.50E-017	3.59E-016		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Metal depletion [\$]</b>	1.43E-004	2.67E-004	2.01E-005	6.44E-004	9.45E-006		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Ecosystems [species.yr]</b>	2.26E-010	1.90E-009	4.33E-010	6.25E-010	1.09E-009		1.41E-009
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Human Health [DALY]</b>	9.96E-010	8.34E-009	1.90E-009	2.75E-009	4.77E-009		9.98E-009
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Stratospheric Ozone Depletion [DALY]</b>	9.45E-012	3.11E-012	5.74E-012	1.25E-012	4.89E-012		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Terrestrial Acidification [species.yr]</b>	6.44E-012	3.80E-011	5.82E-012	3.40E-012	3.84E-012		8.46E-010
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Terrestrial ecotoxicity [species.yr]</b>	4.04E-015	1.44E-013	2.60E-014	1.54E-013	3.95E-014		

### 2.3 Συγκαλλιέργεια σιταριού – αρακά με προσθήκη λιπάσματος

Πίνακας 24: Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια σιταριού-αρακά με προσθήκη λιπάσματος

<b>Impact Category</b>	<b>Nitrogen fertilizer, production mix, at plant &lt;LC&gt;</b>	<b>Pea seed production &lt;LC&gt;</b>	<b>Wheat seed production &lt;LC&gt;</b>	<b>DE: Phosphoric acid (100%) (wet processes) ts</b>	<b>EU-28: Diesel mix at refineries</b>	<b>EU-28: Lime (CaO; quicklime lumpy) (EN15 804 A1-A3) ts</b>	<b>GLO: Pesticides (average) ts</b>	<b>GLO: Simplified NPK mixers &lt;u-so&gt;</b>	<b>Pea 50% - Wheat 50% N-fertilized &lt;u-so&gt;</b>	<b>Total</b>
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2 eq.]</b>	1.06E-002	8.68E-004	1.90E-003	1.01E-002	4.44E-003	4.60E-002	2.11E-003			0.076018
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Climate change, incl biogenic carbon [kg CO2 eq.]</b>	1.06E-002	-6.64E-003	-6.60E-003	1.03E-002	2.77E-003	4.60E-002	2.12E-003			0.05855
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Fine Particulate Matter Formation [kg PM2.5 eq.]</b>	2.86E-005	1.97E-006	2.81E-006	2.86E-005	4.10E-006	4.99E-006	1.25E-006		5.28E-004	0.00060032
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Fossil depletion [kg oil eq.]</b>	4.63E-003	2.37E-004	3.28E-004	5.99E-003	9.60E-003	4.79E-003	9.64E-004			0.026539
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater Consumption [m3]</b>		4.46E-006	1.95E-004	2.79E-005	4.16E-005	7.21E-006	1.47E-005			0.00029087

ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	3.44E-005	4.84E-006	4.84E-006	3.28E-006	5.50E-006	4.82E-007	3.35E-007			5.3677E-05
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater Eutrophication [kg P eq.]		1.02E-006	1.02E-006	6.25E-008	1.53E-007	3.12E-009	1.08E-008			2.2694E-06
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Human toxicity, cancer [kg 1,4-DB eq.]	2.76E-006	6.46E-007	4.01E-007	6.68E-006	7.68E-006	8.57E-007	8.06E-007			0.00001983
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Human toxicity, non-cancer [kg 1,4-DB eq.]	1.39E-003	6.31E-004	4.21E-004	1.07E-003	2.87E-003	2.43E-004	6.57E-005			0.0066907
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Ionizing Radiation [Bq C-60 eq. to air]		5.90E-006	5.44E-006	5.59E-005	1.26E-005	2.95E-005	1.10E-005			0.00012034
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Land use [Annual crop eq.·y]		1.23E-002	1.06E-002	1.57E-004	2.39E-003	5.41E-005	6.34E-005		1.14E+000	1.1655645
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Marine ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	4.39E-005	6.72E-006	6.68E-006	1.18E-005	1.67E-005	2.58E-006	9.60E-007			0.00008934
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Marine Eutrophication [kg N eq.]	5.06E-008	6.97E-006	1.06E-005	1.50E-007	8.21E-007	2.39E-008	4.77E-008			1.8663E-05
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Metal depletion [kg Cu eq.]		1.91E-004	1.01E-004	5.24E-004	1.81E-005	1.48E-003	6.25E-006			0.00232035
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Ecosystems [kg NOx eq.]	5.08E-006	4.60E-004	4.29E-004	7.84E-003	1.80E-003	2.58E-003	1.89E-003		4.90E-003	0.01990408
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Human Health [kg NOx eq.]	4.99E-006	2.88E-004	2.69E-004	4.87E-003	1.12E-003	1.60E-003	1.17E-003		4.90E-003	0.01422199
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Stratospheric Ozone Depletion [kg CFC-11 eq.]	1.75E-007	4.67E-009	3.57E-008	3.11E-009	5.80E-009	1.26E-009	2.05E-009			2.2759E-07
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Terrestrial Acidification [kg SO2 eq.]	1.01E-004	7.97E-006	1.61E-005	9.52E-005	1.48E-005	8.53E-006	4.04E-006		1.78E-003	0.00202764
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	5.13E-004	9.30E-005	8.82E-005	6.73E-003	1.22E-003	7.17E-003	7.74E-004			0.0165882

Πίνακας 25: Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια σιταριού-αρακά με προσθήκη λιπάσματος

Impact Category	Nitrogen fertilizer, production mix, at plant <LC>	Pea seed production <LC>	Wheat seed production <LC>	DE: Phosphoric acid (100%) (wet process) ts	EU-28: Diesel mix at refineries	EU-28: Lime (CaO; quicklime lumpy) (EN15804 A1-A3) ts	GLO: Pesticides (average) ts	GLO: Simplified NPK mixers <u-so>	Pea 50% - Wheat 50% N-fertilizer <u-so>
-----------------	--	--------------------------	----------------------------	---	---------------------------------	---	------------------------------	-----------------------------------	---

<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Freshw Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]</b>	8.13E-016	6.64E-017	1.46E-016	7.76E-016	3.40E-016	3.52E-015	1.62E-016		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Freshw Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]</b>	8.13E-016	-5.08E-016	-5.05E-016	7.85E-016	2.12E-016	3.52E-015	1.62E-016		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon [DALY]</b>	9.87E-009	8.06E-010	1.77E-009	9.41E-009	4.12E-009	4.27E-008	1.96E-009		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon [DALY]</b>	9.87E-009	-6.16E-009	-6.13E-009	9.52E-009	2.57E-009	4.27E-008	1.97E-009		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Terrest Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]</b>	2.98E-011	2.43E-012	5.33E-012	2.84E-011	1.24E-011	1.29E-010	5.92E-012		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Terrest Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]</b>	2.98E-011	-1.86E-011	-1.85E-011	2.87E-011	7.76E-012	1.29E-010	5.95E-012		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Fine Particulate Matter Formation [DALY]</b>	1.80E-008	1.24E-009	1.77E-009	1.80E-008	2.58E-009	3.14E-009	7.89E-010		3.32E-007
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Fossil depletion [\$]</b>	1.36E-003	8.12E-005	1.06E-004	2.17E-003	4.24E-003	1.06E-003	2.81E-004		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Freshw Ecosystems [species.yr]</b>		2.32E-018	7.66E-017	4.46E-017	5.29E-017	3.03E-018	2.28E-017		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Human Health [DALY]</b>		3.11E-012	2.39E-010	3.60E-011	2.14E-011	4.67E-012	2.78E-011		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Terrest Ecosystems [species.yr]</b>		2.31E-014	6.94E-013	2.26E-013	1.56E-013	2.91E-014	1.79E-013		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater ecotoxicity [species.yr]</b>	2.39E-014	3.36E-015	3.36E-015	2.28E-015	3.82E-015	3.35E-016	2.33E-016		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Eutrophication [species.yr]</b>		6.83E-013	6.84E-013	4.20E-014	1.03E-013	2.09E-015	7.24E-015		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Human toxicity, cancer [DALY]</b>	9.17E-012	2.15E-012	1.33E-012	2.22E-011	2.55E-011	2.85E-012	2.68E-012		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Human toxicity, non-cancer [DALY]</b>	3.18E-010	1.44E-010	9.59E-011	2.43E-010	6.54E-010	5.53E-011	1.50E-011		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Ionizing Radiation [DALY]</b>		5.02E-014	4.62E-014	4.76E-013	1.07E-013	2.50E-013	9.34E-014		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Land use [species.yr]</b>		1.09E-010	9.39E-011	1.40E-012	2.13E-011	4.80E-013	5.63E-013		1.01E-008

<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Marine ecotoxicity [species.yr]</b>	4.61E-015	7.06E-016	7.01E-016	1.24E-015	1.75E-015	2.71E-016	1.01E-016		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Marine Eutrophication [species.yr]</b>	8.76E-017	1.15E-014	1.75E-014	2.50E-016	1.37E-015	3.98E-017	8.02E-017		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Metal depletion [\$]</b>		3.74E-005	1.92E-005	1.42E-004	1.08E-005	3.42E-004	2.11E-006		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Ecosystems [species.yr]</b>	6.56E-013	5.94E-011	5.54E-011	1.01E-009	2.32E-010	3.32E-010	2.43E-010		6.32E-010
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Human Health [DALY]</b>	4.54E-012	2.62E-010	2.45E-010	4.43E-009	1.02E-009	1.46E-009	1.07E-009		4.45E-009
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Stratospheric Ozone Depletion [DALY]</b>	9.28E-011	2.48E-012	1.89E-011	1.65E-012	3.08E-012	6.67E-013	1.09E-012		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Terrestrial Acidification [species.yr]</b>	2.14E-011	1.69E-012	3.42E-012	2.02E-011	3.13E-012	1.81E-012	8.56E-013		3.78E-010
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Terrestrial ecotoxicity [species.yr]</b>	5.85E-015	1.06E-015	1.01E-015	7.67E-014	1.40E-014	8.18E-014	8.82E-015		

## 2.4 Συγκαλλιέργεια σιταριού – αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος

Πίνακας 26: Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια σιταριού-αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος

Impact Category	Pea seed production <LC>	Wheat seed production <LC>	DE: Phosphoric acid (100%) (wet process) ts	EU-28: Diesel mix at refineries ts	EU-28: Lime (CaO; quicklime lumpy) (EN1580 4 A1-A3) ts	GLO: Pesticide (average) ts	GLO: Simplified NPK mixers <u-so>	Pea 50%-Wheat 50% no N-fertilized <u-so>	Total
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2 eq.]</b>	9.37E-004	2.05E-003	1.09E-002	4.63E-003	4.96E-002	2.28E-003			0.070397
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Climate change, incl biogenic carbon [kg CO2 eq.]</b>	-7.16E-003	-7.12E-003	1.11E-002	2.89E-003	4.96E-002	2.29E-003			0.0516
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Fine Particulate Matter Formation [kg PM2.5 eq.]</b>	2.12E-006	3.03E-006	3.08E-005	4.28E-006	5.38E-006	1.35E-006		5.69E-004	0.00061596
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Fossil depletion [kg oil eq.]</b>	2.56E-004	3.54E-004	6.46E-003	1.00E-002	5.16E-003	1.04E-003			0.02327

<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater Consumption [m3]</b>	4.81E-006	2.11E-004	3.01E-005	4.34E-005	7.78E-006	1.59E-005			0.00031299
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater ecotoxicity [kg 1,4 DB eq.]</b>	5.22E-006	5.22E-006	3.54E-006	5.73E-006	5.20E-007	3.61E-007			0.000020591
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Freshwater Eutrophication [kg P eq.]</b>	1.10E-006	1.10E-006	6.74E-008	1.60E-007	3.36E-009	1.16E-008			2.44236E-06
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Human toxicity, cancer [kg 1,4-DB eq.]</b>	6.97E-007	4.33E-007	7.20E-006	8.01E-006	9.25E-007	8.70E-007			0.000018135
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Human toxicity, non- cancer [kg 1,4-DB eq.]</b>	6.81E-004	4.54E-004	1.15E-003	2.99E-003	2.62E-004	7.08E-005			0.0056078
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Ionizing Radiation [Bq C-60 eq. to air]</b>	6.36E-006	5.86E-006	6.03E-005	1.31E-005	3.18E-005	1.18E-005			0.00012922
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Land use [Annual crop eq.y]</b>	1.33E-002	1.14E-002	1.70E-004	2.50E-003	5.83E-005	6.83E-005		1.23E+000	1.2574966
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Marine ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]</b>	7.25E-006	7.20E-006	1.27E-005	1.74E-005	2.79E-006	1.03E-006			0.00004837
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Marine Eutrophication [kg N eq.]</b>	7.52E-006	1.15E-005	1.62E-007	8.56E-007	2.58E-008	5.15E-008			2.01153E-05
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Metal depletion [kg Cu eq.]</b>	2.06E-004	1.09E-004	5.65E-004	1.89E-005	1.60E-003	6.75E-006			0.00250565
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Ecosystems [kg NOx eq.]</b>	4.96E-004	4.63E-004	8.45E-003	1.88E-003	2.78E-003	2.03E-003		5.28E-003	0.021379
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Human Health [kg NOx eq.]</b>	3.10E-004	2.90E-004	5.25E-003	1.17E-003	1.73E-003	1.26E-003		5.28E-003	0.01529
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Stratospheric Ozone Depletion [kg CFC-11 eq.]</b>	5.04E-009	3.85E-008	3.35E-009	6.05E-009	1.35E-009	2.22E-009			5.651E-08
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) -</b>	8.60E-006	1.74E-005	1.03E-004	1.54E-005	9.20E-006	4.36E-006		1.92E-003	0.00207796

Terrestrial Acidification [kg SO2 eq.]									
ReCiPe 2016 v1.1 Midpoint (H) - Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	1.00E-004	9.51E-005	7.26E-003	1.28E-003	7.74E-003	8.34E-004			0.0173091

Πίνακας 27: Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια σιταριού-αρακά χωρίς προσθήκη λιπάσματος

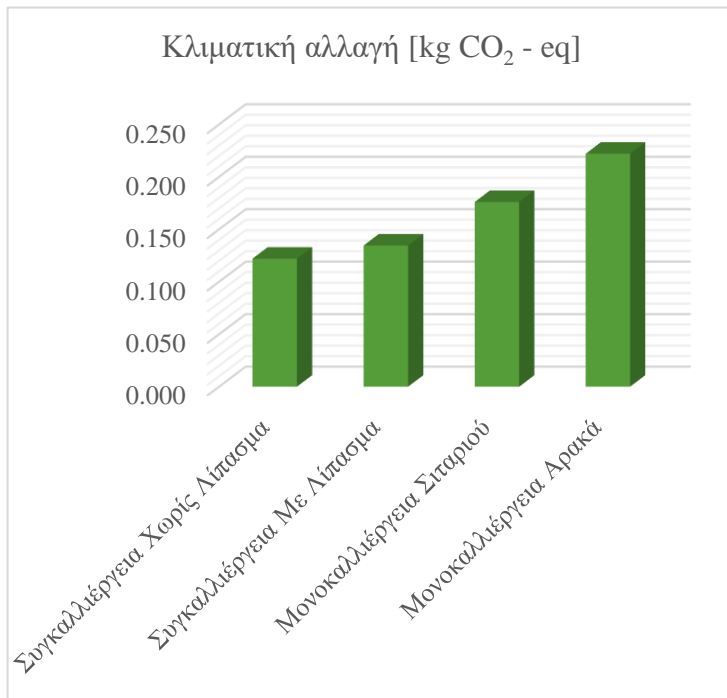
Impact Category	Pea seed production <LC>	Wheat seed production <LC>	DE: Phosphoric acid (100%) (wet process) ts	EU-28: Diesel mix at refineries ts	EU-28: Lime (CaO; quicklime lumpy) (EN15804 A1-A3) ts	GLO: Pesticide (average) ts	GLO: Simplified NPK mixer ts <u-so>	Pea 50%-Wheat 50% no N-fertilized <u-so>
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Freshw Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]	7.16E-017	1.57E-016	8.37E-016	3.54E-016	3.80E-015	1.74E-016		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Freshw Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]	-5.48E-016	-5.45E-016	8.47E-016	2.21E-016	3.80E-015	1.75E-016		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Human Health, default, excl biogenic carbon [DALY]	8.69E-010	1.91E-009	1.02E-008	4.30E-009	4.61E-008	2.12E-009		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Human Health, incl biogenic carbon [DALY]	-6.64E-009	-6.61E-009	1.03E-008	2.68E-009	4.61E-008	2.13E-009		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Terrest Ecosystems, default, excl biogenic carbon [species.yr]	2.62E-012	5.75E-012	3.06E-011	1.30E-011	1.39E-010	6.38E-012		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Climate change Terrest Ecosystems, incl biogenic carbon [species.yr]	-2.00E-011	-1.99E-011	3.10E-011	8.09E-012	1.39E-010	6.41E-012		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Fine Particulate Matter Formation [DALY]	1.34E-009	1.91E-009	1.94E-008	2.69E-009	3.39E-009	8.51E-010		3.58E-007
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Fossil depletion [\$]	8.76E-005	1.14E-004	2.34E-003	4.42E-003	1.14E-003	3.03E-004		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Freshw Ecosystems [species.yr]	2.50E-018	8.27E-017	4.81E-017	5.51E-017	3.27E-018	2.46E-017		
ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Human Health [DALY]	3.36E-012	2.58E-010	3.88E-011	2.23E-011	5.04E-012	3.00E-011		

<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Consumption, Terrest Ecosystems [species.yr]</b>	2.49E-014	7.49E-013	2.44E-013	1.63E-013	3.14E-014	1.93E-013		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater ecotoxicity [species.yr]</b>	3.63E-015	3.63E-015	2.46E-015	3.98E-015	3.61E-016	2.51E-016		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Freshwater Eutrophication [species.yr]</b>	7.36E-013	7.37E-013	4.52E-014	1.07E-013	2.26E-015	7.81E-015		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Human toxicity, cancer [DALY]</b>	2.31E-012	1.44E-012	2.39E-011	2.66E-011	3.07E-012	2.89E-012		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Human toxicity, non-cancer [DALY]</b>	1.55E-010	1.03E-010	2.62E-010	6.82E-010	5.97E-011	1.61E-011		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Ionizing Radiation [DALY]</b>	5.41E-014	4.98E-014	5.13E-013	1.12E-013	2.70E-013	1.01E-013		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Land use [species.yr]</b>	1.18E-010	1.01E-010	1.51E-012	2.22E-011	5.18E-013	6.07E-013		1.09E-008
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Marine ecotoxicity [species.yr]</b>	7.62E-016	7.56E-016	1.33E-015	1.82E-015	2.93E-016	1.09E-016		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Marine Eutrophication [species.yr]</b>	1.25E-014	1.89E-014	2.69E-016	1.43E-015	4.30E-017	8.65E-017		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Metal depletion [\$]</b>	4.04E-005	2.08E-005	1.53E-004	1.13E-005	3.69E-004	2.27E-006		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Ecosystems [species.yr]</b>	6.40E-011	5.97E-011	1.09E-009	2.42E-010	3.58E-010	2.62E-010		6.81E-010
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Photochemical Ozone Formation, Human Health [DALY]</b>	2.82E-010	2.64E-010	4.78E-009	1.06E-009	1.57E-009	1.15E-009		4.80E-009
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Stratospheric Ozone Depletion [DALY]</b>	2.68E-012	2.04E-011	1.78E-012	3.21E-012	7.19E-013	1.18E-012		
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Terrestrial Acidification [species.yr]</b>	1.82E-012	3.69E-012	2.18E-011	3.26E-012	1.95E-012	9.23E-013		4.07E-010
<b>ReCiPe 2016 v1.1 Endpoint (H) - Terrestrial ecotoxicity [species.yr]</b>	1.14E-015	1.08E-015	8.27E-014	1.45E-014	8.82E-014	9.51E-015		

Πίνακας 28: Δείκτες endpoint συγκριτικά για τις μονοκαλλιέργειες και τις συγκαλλιέργειες του σεναρίου 2

Κατηγορίες Επιπτώσεων (Endpoint)	Συγκαλλιέργεια Σιταριού – Αρακά Χωρίς Λίπασμα	Συγκαλλιέργεια Σιταριού – Αρακά Με Λίπασμα	Μονοκαλλιέργεια Σιταριού	Μονοκαλλιέργεια Αρακά
Οικοσύστημα	1.47E-08	2.59E-09	1.17E-08	2.67E-08
Ανθρώπινη υγεία	5.17E-07	1.81E-07	4.44E-07	1.03E-06
Κατανάλωση πόρων	9.00E-03	9.85E-03	1.27E-02	1.66E-02

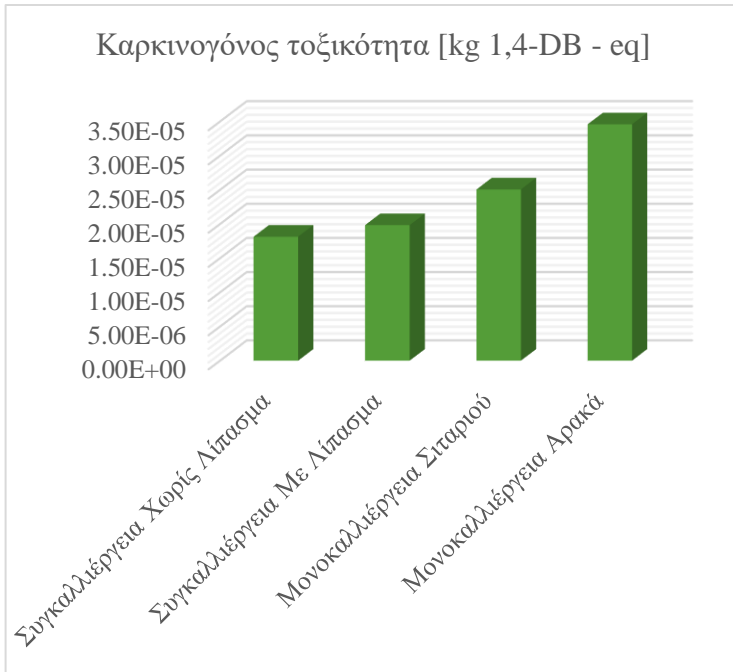
Στη συνέχεια, παρατίθενται γραφήματα τα οποία απεικονίζουν ορισμένες από τις κρίσιμες κατηγορίες περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, όπως η κλιματική αλλαγή, η συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων, η οικοτοξικότητα του νερού και η καρκινογόνος τοξικότητα στην ανθρώπινη υγεία. Τα γραφήματα παρέχουν μια συγκριτική ανάλυση μεταξύ συγκαλλιεργειών σιταριού – αρακά, με ή χωρίς τη χρήση λιπάσματος, και των αντίστοιχων μονοκαλλιεργειών.



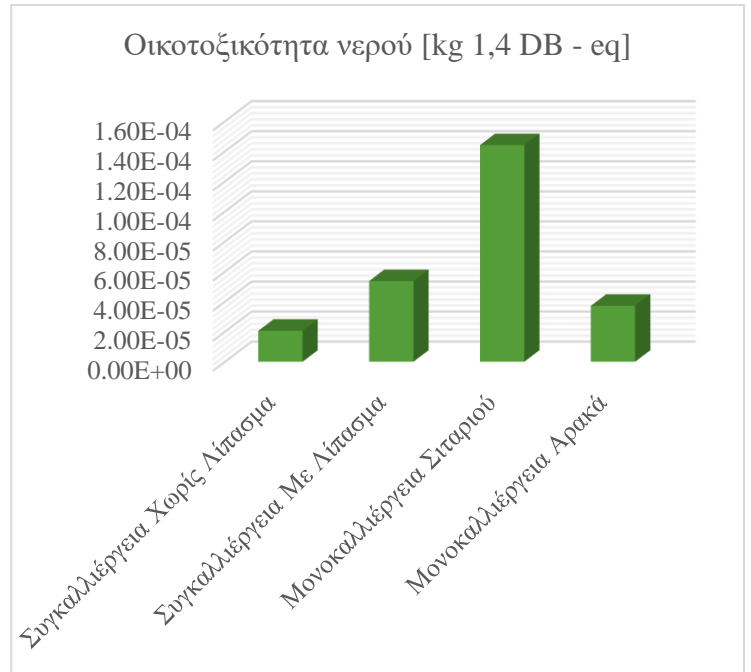
Διάγραμμα 8: Συγκριτική Ανάλυση Κλιματικής Αλλαγής: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2

Διάγραμμα 9: Συγκριτική Ανάλυση Συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2





Διάγραμμα 10: Συγκριτική Ανάλυση Καρκινογόνου Τοξικότητας στην Ανθρώπινη Υγεία: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2

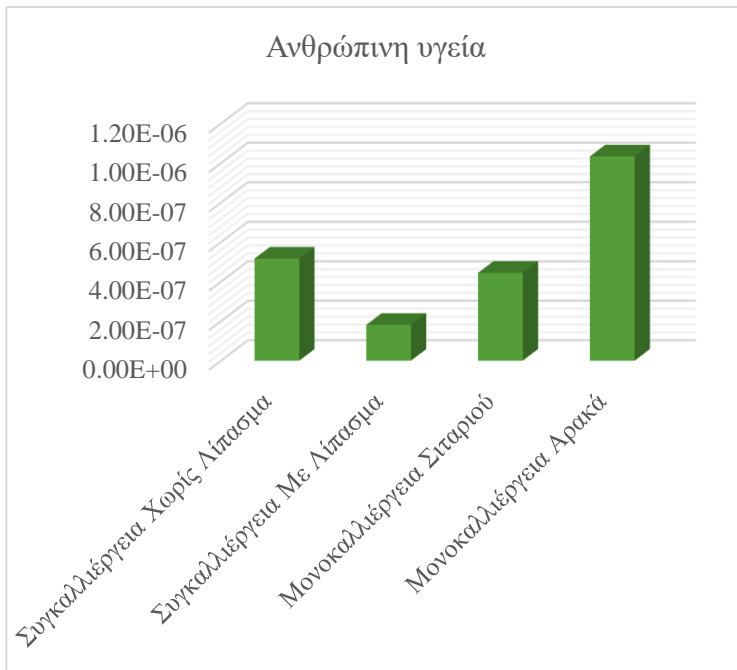


Διάγραμμα 11: Συγκριτική Ανάλυση Οικοτοξικότητας του Νερού: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2

Επιπλέον, παρέχονται γραφήματα που αποτυπώνουν τους δείκτες endpoint, οι οποίοι αναλύουν τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των επιμέρους καλλιεργειών σε τρεις κύριες κατηγορίες: το φυσικό περιβάλλον, την ανθρώπινη υγεία και την κατανάλωση πόρων.



Διάγραμμα 12: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στο Οικοσύστημα για το Σενάριο 2



Διάγραμμα 13: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιιεργειών στην Ανθρώπινη Υγεία για το Σενάριο 2



Διάγραμμα 14: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιιεργειών στην Κατανάλωση Πόρων για το Σενάριο 2

Η σύγκριση μεταξύ συγκαλλιιεργειών με ή χωρίς λίπασμα, σχετικά με τις μονοκαλλιιεργειες σιταριού και αρακά, βασιζόμενη στους δείκτες από τον πίνακα των δεικτών ενδιάμεσου σημείου (midpoint), αποκαλύπτει σημαντικές πτυχές σχετικά με την περιβαλλοντική επίδραση των δύο αυτό συστημάτων καλλιιεργειας.

Αρχικά, όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, η συνολική εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα είναι χαμηλότερη για τις συγκαλλιιεργειες, είτε με χρήση είτε χωρίς λιπάσματος, σε σύγκριση με τις μονοκαλλιιεργειες. Ο δείκτης της κλιματικής αλλαγής για τις μονοκαλλιιεργειες σιταριού και αρακά ισούται με 0.176 kg CO<sub>2</sub> – eq και 0.222 kg CO<sub>2</sub> – eq αντίστοιχα, ενώ οι τιμές για τις συγκαλλιιεργειες είναι 0.122 kg CO<sub>2</sub> – eq, για την συγκαλλιιεργεια με λίπασμα και 0.135 kg CO<sub>2</sub> – eq για την συγκαλλιιεργεια χωρίς χρήση λιπάσματος. Αυτό υποδηλώνει ότι η συγκαλλιιεργεια αρακά – σιταριού είναι πιο αποδοτική και μπορεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιιεργειες. Επίσης, σε ό,τι αφορά τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων (PM<sub>2.5</sub>), οι συγκαλλιιεργειες, ειδικά εκείνες στις οποίες έχει προστεθεί λίπασμα, παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές σε σύγκριση με την μονοκαλλιιεργεια αρακά. Πιο αναλυτικά, η τιμή για τη συγκαλλιιεργεια με λίπασμα είναι 6.00 \*

$10^{-4}$  kg PM<sub>2.5</sub> – eq, και για την συγκαλλιέργεια χωρίς λίπασμα  $6.16 * 10^{-4}$  kg PM<sub>2.5</sub> – eq, ενώ για τη μονοκαλλιέργεια αρακά είναι  $1.26 * 10^{-3}$  kg PM<sub>2.5</sub> – eq. Στον τομέα της κατανάλωσης νερού, οι δύο μέθοδοι καλλιέργειας επίσης διαφέρουν, με τις συγκαλλιέργειες να έχουν μικρότερη κατανάλωση νερού σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια σιταριού, με τις τιμές να μειώνονται από  $4.22 * 10^{-4}$  m<sup>3</sup> σε  $3.13 * 10^{-4}$  m<sup>3</sup> και  $2.91 * 10^{-4}$  m<sup>3</sup> για τις συγκαλλιέργειες χωρίς λίπασμα και με χρήση λιπάσματος αντίστοιχα. Επιπλέον, η κατηγορία της οξίνισης του εδάφους, φαίνεται να είναι υψηλότερη για την μονοκαλλιέργεια αρακά σε σύγκριση με τις συγκαλλιέργειες, με την τιμή για τη μονοκαλλιέργεια αρακά να είναι ίση με  $4.26 * 10^{-3}$  kg SO<sub>2</sub> eq., ενώ για τη συγκαλλιέργεια με λίπασμα είναι μόλις  $2.08 * 10^{-3}$  και για την συγκαλλιέργεια χωρίς λίπασμα  $2.03 * 10^{-3}$  kg SO<sub>2</sub> eq. Ωστόσο, η τιμή του δείκτη όσον αφορά την μονοκαλλιέργεια σιταριού φαίνεται να μειώνεται σε  $1.46 * 10^{-3}$  σε σύγκριση με τις παραπάνω τιμές των συγκαλλιεργειών. Παρόμοια πορεία ακολουθούν και οι δείκτες ευτροφισμού του νερού και της θάλασσας και σχηματισμού όζοντος, με την μονοκαλλιέργεια αρακά να κατέχει μεγαλύτερη τιμή από τις συγκαλλιέργειες ενώ η καλλιέργεια σιταριού παρουσιάζει την μικρότερη τιμή. Η κατανάλωση ορυκτών πόρων αυξάνεται από 0.023 στην συγκαλλιέργεια σε 0.037 και 0.043 στις μονοκαλλιέργειες σιταριού και αρακά αντίστοιχα. Για την καρκινογόνο και μη καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο, προκύπτει από τους πίνακες πως και οι δύο συγκαλλιέργειες έχουν χαμηλότερες τιμές και στους δύο δείκτες συγκριτικά με τις μονοκαλλιέργειες, γεγονός που τονίζει την σημασία της μεθόδου αυτής η οποία συμβάλλει δραστικά στην μείωση της επιβάρυνσης της ανθρώπινης υγείας.

Στην συνέχεια, με χρήση των πινάκων endpoint αναλύονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον, την ανθρώπινη υγεία και την κατανάλωση πόρων, της συγκαλλιέργειας αρακά - σιταριού σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες των δύο ειδών. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της συγκαλλιέργειας με χρήση λιπάσματος παρατηρείται πως είναι χαμηλότερες σε σύγκριση με τις μονοκαλλιέργειες των συστατικών της. Αντίστοιχα, στη συγκαλλιέργεια χωρίς χρήση λιπασμάτων, η τιμή της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης είναι πάλι χαμηλότερη από την μονοκαλλιέργεια αρακά, και ελαφρώς υψηλότερη από την μονοκαλλιέργεια σιταριού. Ο δείκτης που αφορά την ανθρώπινη υγεία, παρουσιάζει παρόμοια μείωση, με τις τιμές να είναι  $4.44 * 10^{-7}$  και  $1.03 * 10^{-6}$  για τις μονοκαλλιέργειες σιταριού και αρακά αντίστοιχα, ενώ στη συγκαλλιέργεια χωρίς λίπανση είναι  $5.17 * 10^{-7}$ , και με λίπανση μειώνεται σε  $1.81 *$

$10^{-7}$ , η οποία αποτελεί τη χαμηλότερη τιμή του δείκτη. Η κατηγορία κατανάλωσης πόρων υπολογίστηκε επίσης χαμηλότερη στη συγκαλλιέργεια, με τις τιμές να ανέρχονται σε  $1.27 * 10^{-2}$  και  $1.66 * 10^{-2}$  για τις μονοκαλλιέργειες σιταριού και αρακά, ενώ στη συγκαλλιέργεια χωρίς λίπανση είναι  $9.00 * 10^{-3}$  και με λίπανση αυξάνεται ελαφρώς σε  $9.85 * 10^{-3}$ .

Τα ευρήματα αυτά αποδεικνύουν ότι η συγκαλλιέργεια αρακά – σιταριού είναι μια πιο φιλική προς το περιβάλλον μέθοδος, συμβάλλοντας στη μείωση της οικολογικής επιβάρυνσης και της χρήσης πόρων. Επιπλέον, διασφαλίζει την παραγωγικότητα των καλλιεργειών και υποστηρίζει την ανθρώπινη υγεία μέσα από ορθές γεωργικές πρακτικές.

### 3. «Σενάριο 3» : Συγκαλλιέργεια Ρεβιθιού (Chickpea) - Σιταριού (Wheat), Μονοκαλλιέργειες Ρεβιθιού και Σιταριού

#### 3.1. Μονοκαλλιέργεια Ρεβιθιού

Πίνακας 29: Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού

Network		Tree	Impact assessment		Inventory	Process contribution	
Characterization		Normalization				<input type="checkbox"/> Default units <input type="checkbox"/> Exclude long-term emissions <input type="checkbox"/> Per impact category	
Skip categories		With result = 0		<input type="checkbox"/> Standard <input type="checkbox"/> Group			
Impact category	Unit	Total	chickpea	Green manure,	Diesel (Europe	Pea seed, for sowing	
<input checked="" type="checkbox"/> Global warming	kg CO2 eq	0.127	0.101	0.000235	0.0198	0.0064	
<input checked="" type="checkbox"/> Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	3.82E-6	3.72E-6	7.72E-9	4.39E-9	8.47E-8	
<input checked="" type="checkbox"/> Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0.000486	x	1.39E-7	0.000307	0.000179	
<input checked="" type="checkbox"/> Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0.00015	7.11E-5	4.41E-7	4.79E-5	3.1E-5	
<input checked="" type="checkbox"/> Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0.000164	0.000138	1.14E-7	1.62E-5	1.04E-5	
<input checked="" type="checkbox"/> Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0.000167	7.11E-5	4.47E-7	6.37E-5	3.16E-5	
<input checked="" type="checkbox"/> Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.00116	0.00109	4.5E-7	4.6E-5	2.36E-5	
<input checked="" type="checkbox"/> Freshwater eutrophication	kg P eq	3.26E-6	x	9.35E-8	5.92E-7	2.58E-6	
<input checked="" type="checkbox"/> Marine eutrophication	kg N eq	0.000148	9.1E-5	2.82E-6	6.62E-7	5.32E-5	
<input checked="" type="checkbox"/> Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.0874	1.22E-21	3.84E-5	0.0318	0.0556	
<input checked="" type="checkbox"/> Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.000232	2.92E-5	6.32E-8	3.76E-5	0.000165	
<input checked="" type="checkbox"/> Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.000468	2.34E-5	1.02E-7	8.51E-5	0.00036	
<input checked="" type="checkbox"/> Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.00021	1.46E-6	1.71E-7	8.03E-5	0.000128	
<input checked="" type="checkbox"/> Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.000791	0.000923	0.00015	0.0018	-0.00208	
<input checked="" type="checkbox"/> Land use	m2a crop eq	0.0482	x	0.0023	3.48E-5	0.0459	
<input checked="" type="checkbox"/> Mineral resource scarcity	kg Cu eq	3.27E-5	x	1.99E-9	5.74E-6	2.69E-5	
<input checked="" type="checkbox"/> Fossil resource scarcity	kg oil eq	0.0269	x	7.61E-6	0.0257	0.00121	
<input checked="" type="checkbox"/> Water consumption	m3	0.000921	x	4.05E-7	2.12E-5	0.0009	

Πίνακας 30: Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού

Skip categories   Standard  Exclude long-term emission  
 Group  Per impact category

Sε	Impact category	Unit	Total	wheat	Green manure,	Wheat seed, for sowing	Diesel (Europe)
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming, Human health	DALY	8.62E-8	5.96E-8	1.39E-10	1.48E-8	1.17E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	2.6E-10	1.79E-10	4.18E-13	4.45E-11	3.52E-11
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	7.09E-15	4.91E-15	1.14E-17	1.22E-15	9.61E-16
<input checked="" type="checkbox"/>	Stratospheric ozone depletion	DALY	1.38E-9	1.26E-9	2.61E-12	1.21E-10	1.48E-12
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation	DALY	3.13E-12	x	7.49E-16	1.47E-12	1.66E-12
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Human health	DALY	1.12E-10	4.11E-11	2.55E-13	4.34E-11	2.77E-11
<input checked="" type="checkbox"/>	Fine particulate matter formation	DALY	8E-8	5.51E-8	4.56E-11	1.83E-8	6.47E-9
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	1.74E-11	5.83E-12	3.67E-14	6.28E-12	5.22E-12
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acidification	species.yr	1.86E-10	1.47E-10	6.08E-14	3.32E-11	6.2E-12
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater eutrophication	species.yr	7.11E-12	x	3.99E-14	6.82E-12	2.52E-13
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine eutrophication	species.yr	1.69E-13	9.84E-14	3.05E-15	6.72E-14	7.16E-16
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity	species.yr	2.37E-12	8.84E-33	2.78E-16	2.14E-12	2.31E-13
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater ecotoxicity	species.yr	1.35E-13	1.29E-14	2.78E-17	1.05E-13	1.66E-14
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine ecotoxicity	species.yr	4.2E-14	1.56E-15	6.84E-18	3.48E-14	5.69E-15
<input checked="" type="checkbox"/>	Human carcinogenic toxicity	DALY	8.6E-10	3.09E-12	3.61E-13	6.87E-10	1.7E-10
<input checked="" type="checkbox"/>	Human non-carcinogenic toxicity	DALY	2.93E-9	1.34E-10	2.17E-11	2.52E-9	2.6E-10
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use	species.yr	5.52E-10	x	1.3E-11	5.39E-10	1.96E-13
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral resource scarcity	USD2013	1.05E-5	x	2.92E-10	9.65E-6	8.44E-7
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil resource scarcity	USD2013	0.00803	x	2.13E-6	0.000686	0.00734
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption, Human health	DALY	4.39E-10	x	-1.51E-13	4.24E-10	1.54E-11
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	7.45E-12	x	2.29E-16	7.37E-12	8.19E-14
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	1.54E-14	x	8.28E-19	1.54E-14	5.82E-18

### 3.2. Συγκαλλιέργεια Ρεβιθιού – Σιταριού (2:1)

Πίνακας 31: Δείκτες midpoint για την συγκαλλιέργεια ρεβιθιού-σιταριού (2:1)

Characterization Normalization  
Skip categories   Default units  Exclude long-term emissions  
 Group  Per impact category

Sε	Impact category	Unit	Total	wheat-chickp	Green manure,	Wheat seed, for sowing	Diesel (Europe)	Pea seed, for sowing
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming	kg CO2 eq	0.082	0.0466	0.000109	0.0231	0.00915	0.00296
<input checked="" type="checkbox"/>	Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	2.1E-6	1.72E-6	3.57E-9	3.31E-7	2.03E-9	3.92E-8
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0.000477	x	6.42E-8	0.000252	0.000142	8.27E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0.000139	3.29E-5	2.04E-7	6.93E-5	2.22E-5	1.43E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0.000118	6.37E-5	5.27E-8	4.24E-5	7.5E-6	4.79E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0.000148	3.29E-5	2.07E-7	7.08E-5	2.95E-5	1.46E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.000763	0.000503	2.08E-7	0.000227	2.13E-5	1.09E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater eutrophication	kg P eq	1.63E-5	x	4.32E-8	1.48E-5	2.74E-7	1.19E-6
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine eutrophication	kg N eq	0.000126	4.21E-5	1.31E-6	5.75E-5	3.06E-7	2.46E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.314	5.64E-22	1.78E-5	0.273	0.0147	0.0257
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.000328	1.35E-5	2.92E-8	0.000221	1.74E-5	7.61E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.000698	1.08E-5	4.73E-8	0.000482	3.94E-5	0.000166
<input checked="" type="checkbox"/>	Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.000398	6.77E-7	7.92E-8	0.000301	3.71E-5	5.9E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.0164	0.000427	6.93E-5	0.016	0.000831	-0.000961
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use	m2a crop eq	0.111	x	0.00107	0.0883	1.61E-5	0.0212
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral resource scarcity	kg Cu eq	7.59E-5	x	9.19E-10	6.08E-5	2.65E-6	1.25E-5
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil resource scarcity	kg oil eq	0.0155	x	3.52E-6	0.00305	0.0119	0.000559
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption	m3	0.00684	x	1.87E-7	0.00641	9.83E-6	0.000416

Πίνακας 32: Δείκτες endpoint για την συγκαλλιέργεια ρεβιθιού-σιταριού (2:1)

Characterization		Damage Assessment	Normalization	Weighting	Single score				
Skip categories		With result = 0							
			<input type="checkbox"/> Standard	<input type="checkbox"/> Group	<input type="checkbox"/> Default units	<input type="checkbox"/> Exclude long-term emissions	<input type="checkbox"/> Per impact category		
Se	Impact category	Unit	Total	wheat-chickp	Green manure,	Wheat seed, for sowing	Diesel (Europe)	Pea seed, for sowing	
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming, Human health	DALY	7.62E-8	4.34E-8	1.01E-10	2.15E-8	8.49E-9	2.75E-9	
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	2.3E-10	1.31E-10	3.04E-13	6.47E-11	2.56E-11	8.29E-12	
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	6.27E-15	3.57E-15	8.31E-18	1.77E-15	6.99E-16	2.27E-16	
<input checked="" type="checkbox"/>	Stratospheric ozone depletion	DALY	1.11E-9	9.14E-10	1.9E-12	1.76E-10	1.08E-12	2.08E-11	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation	DALY	4.04E-12	x	5.45E-16	2.13E-12	1.21E-12	7.02E-13	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Human health	DALY	1.26E-10	2.99E-11	1.86E-13	6.31E-11	2.02E-11	1.3E-11	
<input checked="" type="checkbox"/>	Fine particulate matter formation	DALY	7.45E-8	4.01E-8	3.31E-11	2.66E-8	4.71E-9	3.01E-9	
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	1.91E-11	4.24E-12	2.67E-14	9.14E-12	3.8E-12	1.89E-12	
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acidification	species.yr	1.62E-10	1.07E-10	4.42E-14	4.83E-11	4.51E-12	2.31E-12	
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater eutrophication	species.yr	1.09E-11	x	2.9E-14	9.92E-12	1.83E-13	7.99E-13	
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine eutrophication	species.yr	2.14E-13	7.16E-14	2.22E-15	9.77E-14	5.21E-16	4.18E-14	
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity	species.yr	3.57E-12	6.43E-33	2.03E-16	3.11E-12	1.68E-13	2.93E-13	
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater ecotoxicity	species.yr	2.27E-13	9.4E-15	2.03E-17	1.53E-13	1.21E-14	5.28E-14	
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine ecotoxicity	species.yr	7.34E-14	1.13E-15	4.97E-18	5.06E-14	4.14E-15	1.75E-14	
<input checked="" type="checkbox"/>	Human carcinogenic toxicity	DALY	1.32E-9	2.24E-12	2.63E-13	9.99E-10	1.23E-10	1.96E-10	
<input checked="" type="checkbox"/>	Human non-carcinogenic toxicity	DALY	3.74E-9	9.73E-11	1.58E-11	3.66E-9	1.89E-10	-2.2E-10	
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use	species.yr	9.82E-10	x	9.47E-12	7.84E-10	1.43E-13	1.89E-10	
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral resource scarcity	USD2013	1.75E-5	x	2.12E-10	1.4E-5	6.14E-7	2.88E-6	
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil resource scarcity	USD2013	0.00655	x	1.55E-6	0.000998	0.00534	0.000204	
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption, Human health	DALY	1.4E-9	x	-1.1E-13	6.17E-10	1.12E-11	7.77E-10	
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	1.25E-11	x	1.67E-16	1.07E-11	5.96E-14	1.7E-12	
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	2.27E-14	x	6.03E-19	2.24E-14	4.24E-18	2.65E-16	

### 3.3. Μονοκαλλιέργεια Σιταριού

Πίνακας 33: Δείκτες midpoint για την μονοκαλλιέργεια σιταριού

Characterization		Normalization							
Skip categories		With result = 0							
			<input type="checkbox"/> Standard	<input type="checkbox"/> Group	<input type="checkbox"/> Default units	<input type="checkbox"/> Exclude long-term emissions	<input type="checkbox"/> Per impact category		
Se	Impact category	Unit	Total	wheat	Green manure,	Wheat seed, for sowing	Diesel (Europe)		
<input checked="" type="checkbox"/>	Global warming	kg CO2 eq	0.0927	0.0641	0.000149	0.0159	0.0126		
<input checked="" type="checkbox"/>	Stratospheric ozone depletion	kg CFC11 eq	2.6E-6	2.37E-6	4.91E-9	2.27E-7	2.79E-9		
<input checked="" type="checkbox"/>	Ionizing radiation	kBq Co-60 eq	0.000369	x	8.82E-8	0.000173	0.000196		
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Human health	kg NOx eq	0.000124	4.52E-5	2.81E-7	4.77E-5	3.05E-5		
<input checked="" type="checkbox"/>	Fine particulate matter formation	kg PM2.5 eq	0.000127	8.76E-5	7.25E-8	2.91E-5	1.03E-5		
<input checked="" type="checkbox"/>	Ozone formation, Terrestrial ecosystems	kg NOx eq	0.000135	4.52E-5	2.84E-7	4.87E-5	4.05E-5		
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0.000877	0.000691	2.86E-7	0.000156	2.93E-5		
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater eutrophication	kg P eq	1.06E-5	x	5.95E-8	1.02E-5	3.76E-7		
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine eutrophication	kg N eq	9.97E-5	5.79E-5	1.8E-6	3.95E-5	4.21E-7		
<input checked="" type="checkbox"/>	Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.208	7.76E-22	2.44E-5	0.188	0.0203		
<input checked="" type="checkbox"/>	Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.000194	1.86E-5	4.02E-8	0.000152	2.39E-5		
<input checked="" type="checkbox"/>	Marine ecotoxicity	kg 1,4-DCB	0.0004	1.49E-5	6.51E-8	0.000331	5.41E-5		
<input checked="" type="checkbox"/>	Human carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.000259	9.3E-7	1.09E-7	0.000207	5.11E-5		
<input checked="" type="checkbox"/>	Human non-carcinogenic toxicity	kg 1,4-DCB	0.0129	0.000587	9.52E-5	0.011	0.00114		
<input checked="" type="checkbox"/>	Land use	m2a crop eq	0.0622	x	0.00147	0.0607	2.21E-5		
<input checked="" type="checkbox"/>	Mineral resource scarcity	kg Cu eq	4.54E-5	x	1.26E-9	4.18E-5	3.65E-6		
<input checked="" type="checkbox"/>	Fossil resource scarcity	kg oil eq	0.0185	x	4.84E-6	0.0021	0.0164		
<input checked="" type="checkbox"/>	Water consumption	m3	0.00442	x	2.57E-7	0.00441	1.35E-5		

Πίνακας 34: Δείκτες endpoint για την μονοκαλλιέργεια σιταριού

Se	Impact category /	Unit	Total	chickpea	Green manure,	Diesel (Europe	Pea seed, for sowing
✓	Global warming, Human health	DALY	1.18E-7	9.37E-8	2.18E-10	1.83E-8	5.95E-9
✓	Global warming, Terrestrial ecosystems	species.yr	3.56E-10	2.82E-10	6.57E-13	5.54E-11	1.79E-11
✓	Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	9.73E-15	7.72E-15	1.8E-17	1.51E-15	4.9E-16
✓	Stratospheric ozone depletion	DALY	2.03E-9	1.98E-9	4.1E-12	2.33E-12	4.5E-11
✓	Ionizing radiation	DALY	4.13E-12	x	1.18E-15	2.61E-12	1.52E-12
✓	Ozone formation, Human health	DALY	1.37E-10	6.47E-11	4.02E-13	4.36E-11	2.82E-11
✓	Fine particulate matter formation	DALY	1.03E-7	8.67E-8	7.17E-11	1.02E-8	6.51E-9
✓	Ozone formation, Terrestrial ecosystems	species.yr	2.15E-11	9.17E-12	5.77E-14	8.21E-12	4.08E-12
✓	Terrestrial acidification	species.yr	2.45E-10	2.31E-10	9.55E-14	9.76E-12	4.99E-12
✓	Freshwater eutrophication	species.yr	2.19E-12	x	6.27E-14	3.96E-13	1.73E-12
✓	Marine eutrophication	species.yr	2.51E-13	1.55E-13	4.8E-15	1.13E-15	9.04E-14
✓	Terrestrial ecotoxicity	species.yr	9.96E-13	1.39E-32	4.38E-16	3.63E-13	6.32E-13
✓	Freshwater ecotoxicity	species.yr	1.61E-13	2.03E-14	4.38E-17	2.6E-14	1.14E-13
✓	Marine ecotoxicity	species.yr	4.92E-14	2.45E-15	1.08E-17	8.94E-15	3.78E-14
✓	Human carcinogenic toxicity	DALY	6.96E-10	4.85E-12	5.68E-13	2.67E-10	4.24E-10
✓	Human non-carcinogenic toxicity	DALY	1.79E-10	2.1E-10	3.42E-11	4.09E-10	-4.74E-10
✓	Land use	species.yr	4.28E-10	x	2.05E-11	3.09E-13	4.08E-10
✓	Mineral resource scarcity	USD2013	7.55E-6	x	4.59E-10	1.33E-6	6.22E-6
✓	Fossil resource scarcity	USD2013	0.012	x	3.34E-6	0.0115	0.000441
✓	Water consumption, Human health	DALY	1.7E-9	x	-2.38E-13	2.43E-11	1.68E-9
✓	Water consumption, Terrestrial ecosystem	species.yr	3.8E-12	x	3.61E-16	1.29E-13	3.67E-12
✓	Water consumption, Aquatic ecosystems	species.yr	5.83E-16	x	1.3E-18	9.15E-18	5.72E-16

Πίνακας 35: Δείκτες endpoint συγκριτικά για τις μονοκαλλιέργειες και την συγκαλλιέργεια του σεναρίου 3

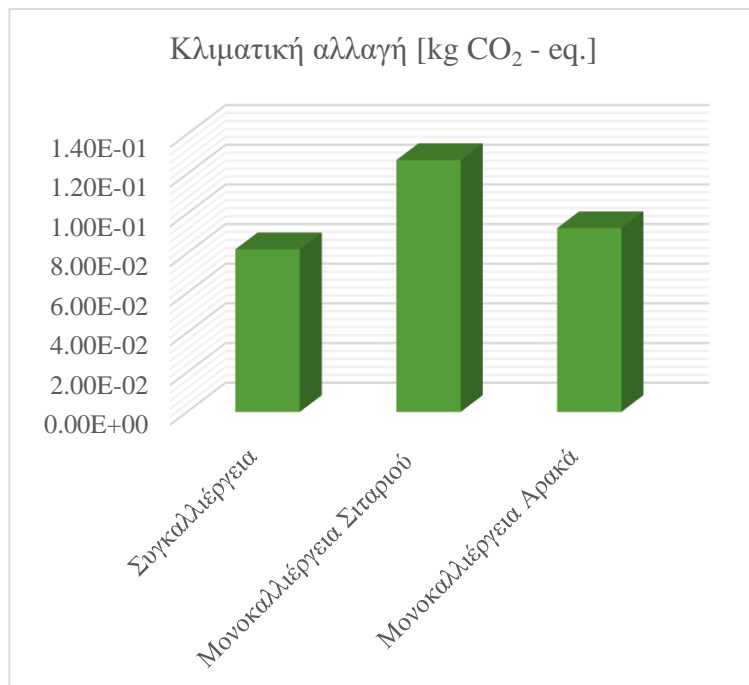
Κατηγορίες Επιπτώσεων (Endpoint)	Συγκαλλιέργεια Σιταριού – Ρεβιθιού	Μονοκαλλιέργεια Σιταριού	Μονοκαλλιέργεια Ρεβιθιού
<b>Οικοσύστημα</b>	1.42E-09	1.03E-09	1.06E-09
<b>Ανθρώπινη υγεία</b>	1.58E-07	1.72E-07	2.26E-07
<b>Κατανάλωση πόρων</b>	6.57E-03	8.04E-03	1.20E-02

Ακολουθούν γραφήματα που περιγράφουν ορισμένες από τις βασικές κατηγορίες περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, όπως η κλιματική αλλαγή, η συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων, η εξασθένιση του στρατοσφαιρικού όζοντος και η οξίνιση του εδάφους. Τα διαγράμματα συγκρίνουν τη συγκαλλιέργεια σιταριού – αρακά με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες.

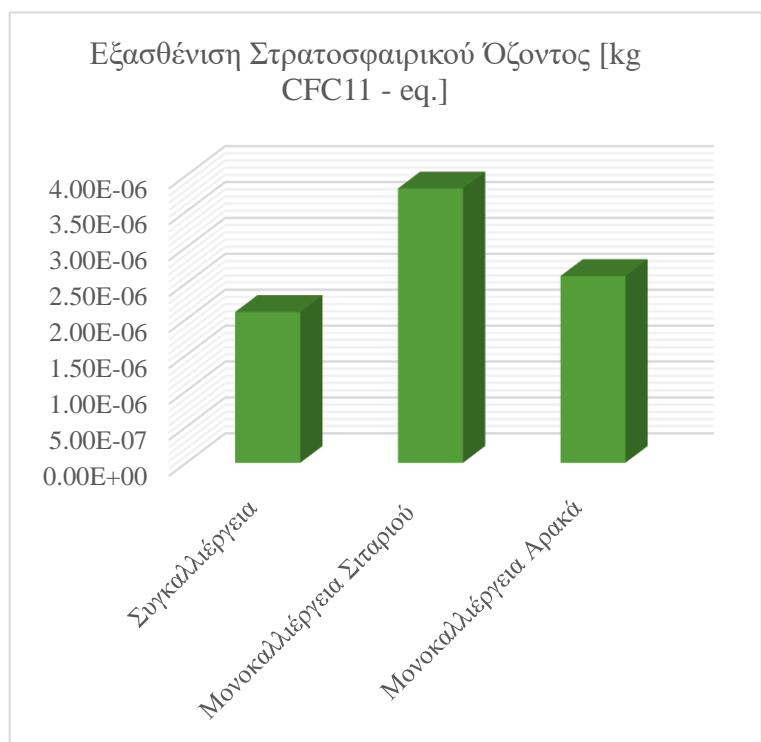




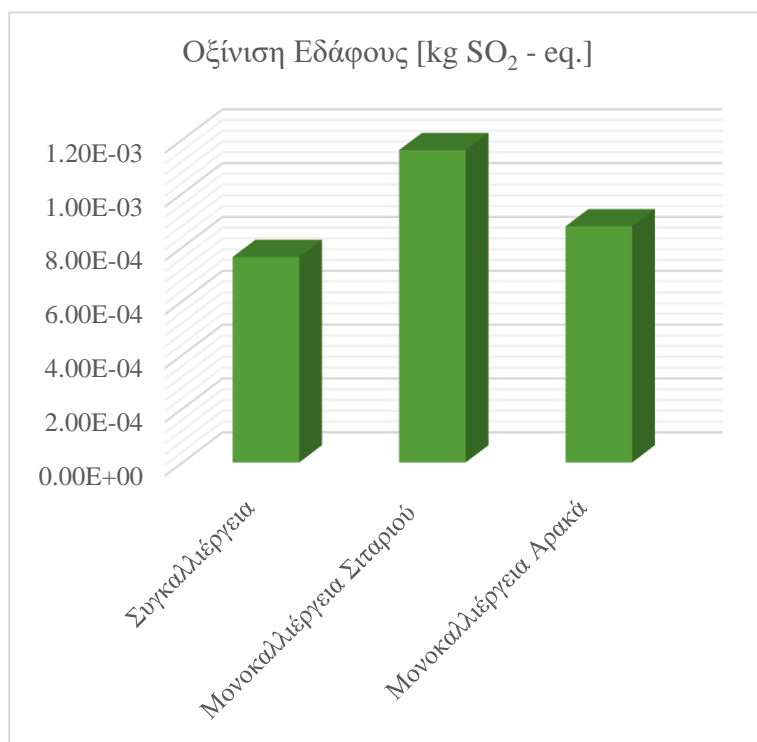
Διάγραμμα 15: Συγκριτική Ανάλυση Συγκέντρωσης αιωρούμενων σωματιδίων: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 3



Διάγραμμα 16: Συγκριτική Ανάλυση Δείκτη Κλιματικής Αλλαγής: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 3



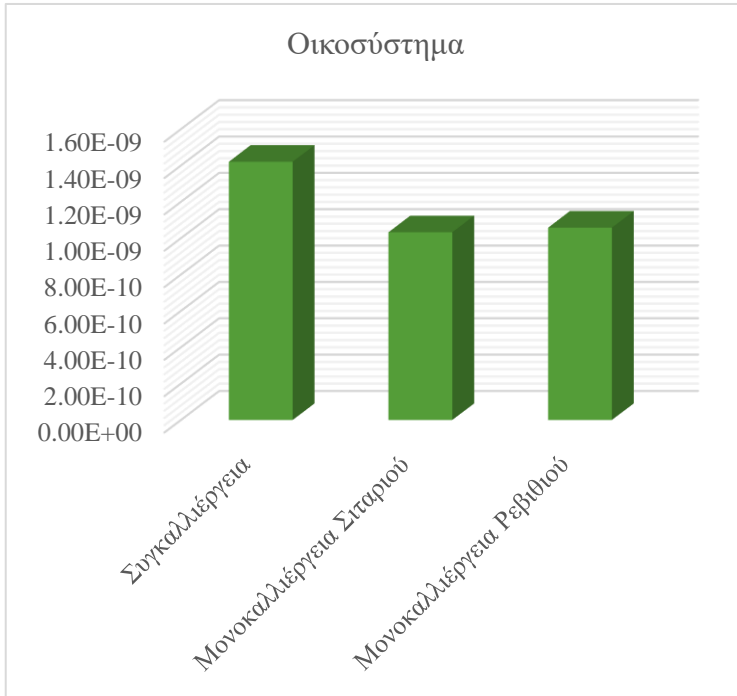
Διάγραμμα 17: Συγκριτική Ανάλυση Εξασθένισης Στρατοσφαιρικού Όζοντος: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2



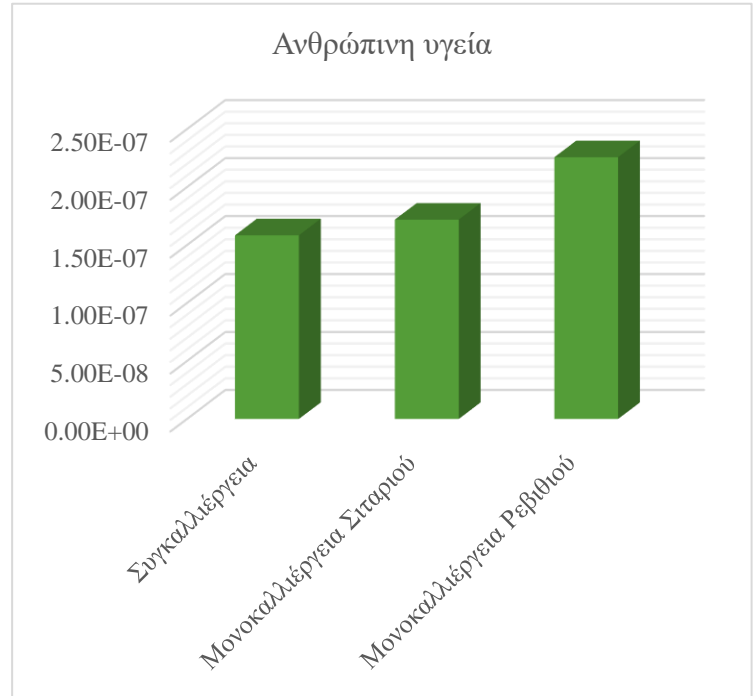
Διάγραμμα 18: Συγκριτική Ανάλυση Οξίνισης Εδάφους: Συγκαλλιέργειες και Μονοκαλλιέργειες για το Σενάριο 2



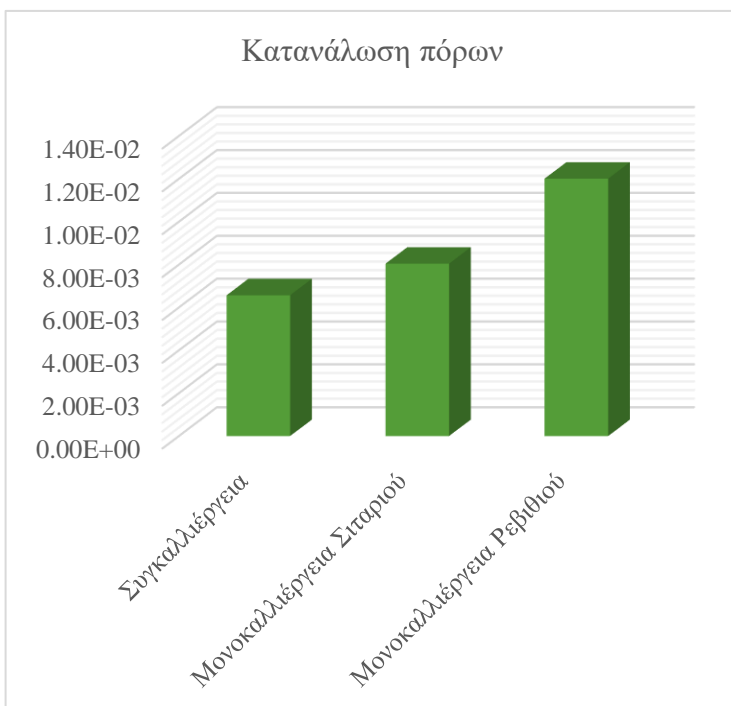
Επιπλέον, παρουσιάζονται διαγράμματα που καταγράφουν τους δείκτες endpoint, οι οποίοι εξετάζουν τις συνολικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συστημάτων καλλιέργειας σε τρεις βασικές διαστάσεις: το οικοσύστημα, την ανθρώπινη υγεία και την κατανάλωση πόρων.



Διάγραμμα 19: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στο Οικοσύστημα για το Σενάριο 3



Διάγραμμα 20: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στην Ανθρώπινη Υγεία για το Σενάριο 3



Διάγραμμα 21: Συγκριτική Ανάλυση Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Καλλιεργειών στην Κατανάλωση Πόρων για το Σενάριο 3

Όσον αφορά τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των εκάστοτε καλλιεργειών, τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους πίνακες 29, 31 και 33, με χρήση των δεικτών ενδιάμεσου σημείου (midpoint). Η κάθε κατηγορία περιβαλλοντικής επιβάρυνσης αναλύεται στην συνέχεια.

Αρχικά, οι δείκτες που αφορούν την συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία αποτελούν από τους πιο σημαντικούς δείκτες της μόλυνσης του αέρα και επιδείνωσης της ανθρώπινης υγείας, αλλά και την κλιματική αλλαγή, δηλαδή τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, φαίνεται πως είναι υψηλότεροι στις μονοκαλλιέργειες σιταριού και ρεβιθιού σε σχέση με την αντίστοιχη συγκαλλιέργεια. Οι τιμές για την κλιματική αλλαγή προκύπτουν ίσες με  $0.0927 \text{ kg CO}_2 - \text{eq}$  και  $0.127 \text{ kg CO}_2 - \text{eq}$  για τις μονοκαλλιέργειες σιταριού και ρεβιθιού αντίστοιχα, ενώ για την συγκαλλιέργεια των δύο φυτών παρατηρείται μείωση της τιμής σε  $0.082 \text{ kg CO}_2 - \text{eq}$ . Παρόμοια αποτελέσματα εμφανίζει και η κατηγορία εξασθένισης του στρατοσφαιρικού όζοντος, με την συγκαλλιέργεια να ευνοεί την μείωση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων. Η κατηγορία της δημιουργίας όζοντος, η οποία επιδρά αρνητικά στα οικοσυστήματα και την ανθρώπινη υγεία, παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές στην συγκαλλιέργεια ρεβιθιού - σιταριού σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού. Επιπλέον, ο δείκτης της οξίνισης του εδάφους παρουσιάζει αρκετά μεγάλη απόκλιση στην τιμή της συγκαλλιέργειας σε σχέση με αυτή της μονοκαλλιέργειας ρεβιθιού, με τις τιμές να ισούνται με  $0.000763 \text{ kg SO}_2 - \text{eq}$  και  $0.00116 \text{ kg SO}_2 - \text{eq}$  αντίστοιχα, και μικρή απόκλιση με αυτή της μονοκαλλιέργειας σιταριού, η οποία είναι ίση με  $0.000877 \text{ kg SO}_2 - \text{eq}$ . Προκύπτει πως οι μονοκαλλιέργειες ευνοούν την ανάπτυξη του φαινομένου της οξίνισης σε αντίθεση με την συγκαλλιέργεια των δύο φυτών.

Από τους δείκτες endpoint που υπολογίστηκαν στους παραπάνω πίνακες προκύπτει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των τριών καλλιεργειών. Παρατηρείται πως και οι δύο μονοκαλλιέργειες, ρεβιθιού και σιταριού, εμφανίζουν υψηλότερες τιμές στους δείκτες που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία και την κατανάλωση πόρων. Στον δείκτη της ανθρώπινης υγείας, η τιμή για την μονοκαλλιέργεια σιταριού είναι ίση με  $1.72 * 10^{-7}$  και για την μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού ίση με  $2.26 * 10^{-7}$ , ενώ η τιμή της συγκαλλιέργειας μειώνεται σε  $1.58 * 10^{-7}$ . Επιπλέον, όσον αφορά την κατανάλωση πόρων, η συγκαλλιέργεια παρουσιάζει τιμή ίση με  $6.57 * 10^{-3}$ , η οποία είναι χαμηλότερη σε σύγκριση με τις μονοκαλλιέργειες σιταριού και ρεβιθιού με τιμές  $8.04 * 10^{-3}$  και  $1.02 * 10^{-2}$  αντίστοιχα. Ωστόσο, η

επιβάρυνση στο περιβάλλον είναι ελαφρώς αυξημένη στην συγκαλλιέργεια και ίση με  $1.42 * 10^{-9}$ , σε αντίθεση με τις τιμές στις μονοκαλλιέργειες σιταριού και ρεβιθιού, όπου οι τιμές μειώνονται σε  $1.03 * 10^{-9}$  και  $1.06 * 10^{-9}$  αντίστοιχα.

## Συμπεράσματα

### Συμπεράσματα από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής

Η παρούσα μελέτη εφαρμόζει Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) σε συγκαλλιέργειες με διαφορετικά συστατικά και τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες που διεξάγονται σε διάφορες χώρες, με στόχο την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε ποικίλα κλιματικά και γεωγραφικά πλαίσια. Τα πειράματα αυτά καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα κλιματικών συνθηκών και τύπων εδαφών, επιτρέποντας μια λεπτομερή σύγκριση των αποτελεσμάτων, εξαλείφοντας τους περιορισμούς που συναντώνται στις τρέχουσες προσεγγίσεις οι οποίες επικεντρώνονται σε έναν μόνο τύπο καλλιέργειας σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.

Πραγματοποιήθηκε ανάλυση τριών διαφορετικών σεναρίων, τα οποία περιλαμβάνουν συγκαλλιέργειες και μονοκαλλιέργειες από ψυχανθή και δημητριακά, εξάγοντας τα δεδομένα από σχετική βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κάθε καλλιέργειας. Με βάση αυτά τα ευρήματα, αναδεικνύονται οι διεργασίες που επιβαρύνουν περισσότερο το περιβάλλον και προκύπτουν οι βέλτιστες μέθοδοι που συμβάλλουν στην επίτευξη υψηλότερης απόδοσης της καλλιέργειας.

Το πρώτο σενάριο επικεντρώνεται στη συγκαλλιέργεια βρώμης – αρακά σε αναλογίες (75:25), (50:50) και (25:75) και τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Με την εισαγωγή δεδομένων εισροών και εκροών των καλλιεργειών στο λογισμικό GaBi, αναδείχθηκαν συμπεράσματα χρήσιμα για την αξιολόγηση και σύγκριση των δύο μεθόδων καλλιέργειας, με βάση τον αντίκτυπό τους στο περιβάλλον, την ανθρώπινη υγεία και την εξάντληση των φυσικών πόρων αλλά και αναλυτικά τις κατηγορίες επιπτώσεων που αποτελούν τις επιβαρύνσεις αυτές.

Αρχικά, μέσω της ανάλυσης των κατηγοριών των περιβαλλοντικών επιπτώσεων προέκυψε πως οι συγκαλλιέργειες με αναλογίες 75:25 και 50:50 καταναλώνουν σημαντικά λιγότερο νερό σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά, με τις συγκαλλιέργειες να μειώνουν την κατανάλωση κατά 49.1% και 27.3% αντίστοιχα, καθιστώντας τις πιο αποδοτικές σε αυτόν το κρίσιμο περιβαλλοντικό παράγοντα. Επιπλέον, η κατηγορία του ευτροφισμού του νερού δείχνει υψηλότερες τιμές στη μονοκαλλιέργεια αρακά σε σχέση με τις συγκαλλιέργειες βρώμης – αρακά σε αναλογίες 75:25 και 25:75, ενώ έχει παρόμοια τιμή με την αναλογία

50:50. Σχετικά με τη μη καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο, η μονοκαλλιέργεια βρώμης φαίνεται να επιδεικνύει υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τις συγκαλλιέργειες με αναλογίες 50:50 και 25:75, με την συγκαλλιέργεια 50:50 να μειώνει την μη καρκινογόνο τοξικότητα στον άνθρωπο κατά 19.04% και την συγκαλλιέργεια 25:75 να μειώνει τον δείκτη κατά 38.55%, ενώ παρουσιάζει περίπου ίδια τιμή με την συγκαλλιέργεια με αναλογία 75:25. Τέλος, οι συγκαλλιέργειες με αναλογίες 75:25 και 50:50 φαίνεται να μειώνουν σημαντικά την κατηγορία της οικοτοξικότητας στη θάλασσα, το νερό και το έδαφος σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά. Η συγκαλλιέργεια με αναλογία βρώμης – αρακά 75:25 παρουσιάζει μείωση της τάξη του 27.64%, 22.73% και 34.78% αντίστοιχα για την οικοτοξικότητα του εδάφους, του νερού και της θάλασσας, σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια αρακά. Από την άλλη πλευρά, η ανάλυση των δεδομένων δείχνει επίσης σημαντική μείωση κατά 13.95%, 10.74% και 18.12% για τον δείκτη της οικοτοξικότητας στο έδαφος, στο νερό και στη θάλασσα αντίστοιχα, όταν χρησιμοποιείται η συγκαλλιέργεια βρώμης – αρακά με αναλογία 50:50, σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά. Η αναλογία 50:50 φαίνεται να μειώνει κατά 10.86% την εξάντληση ορυκτών πόρων, σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια αρακά. Παρόλα τα πλεονεκτήματα των συγκαλλιεργειών, φαίνεται πως στην κατηγορία της κλιματικής αλλαγής, οι συγκαλλιέργειες με αναλογίες βρώμης – αρακά 75:25, 50:50 και 25:75 έχουν υψηλότερες τιμές κατά 33.15%, 25.54% και 30.43% αντίστοιχα σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια βρώμης και 28.27%, 20.94% και 25.26% σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια αρακά.

Συνεχίζοντας, με βάση τους δείκτες endpoint, προέκυψε πως η συγκαλλιέργεια με αναλογία βρώμης – αρακά 75:25, αυξάνει την κατανάλωση πόρων κατά 33.7% και 28.2% συγκριτικά με τη μονοκαλλιέργεια βρώμης και αρακά αντίστοιχα. Στην κατηγορία της ανθρώπινης υγείας, η ίδια αναλογία παρουσιάζει αύξηση κατά 34.3% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια βρώμης και 26.9% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά. Η επιβάρυνση στο περιβάλλον αυξάνεται κατά 46.6% συγκριτικά με τη μονοκαλλιέργεια βρώμης και κατά 3.5% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά.

Η συγκαλλιέργεια με αναλογία βρώμης – αρακά, 50:50, καταδεικνύει επίσης σημαντικά πλεονεκτήματα, με τον δείκτη της κατανάλωσης πόρων να μειώνεται κατά 26.0% και 20.8% σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια βρώμης και αρακά αντίστοιχα. Αντιθέτως, η επιβάρυνση στην ανθρώπινη υγεία είναι αυξημένη κατά 27.5% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια βρώμης

και 20.4% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά. Ο δείκτης της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, εμφανίζει υψηλότερες επιβαρύνσεις, κατά 40.4% συγκριτικά με τη μονοκαλλιέργεια αρακά.

Τέλος, η συγκαλλιέργεια με αναλογία βρώμης – αρακά, 25:75, εμφανίζει μειονεκτήματα με αυξημένη επιβάρυνση στο περιβάλλον και στους πόρους σε σχέση με τις άλλες αναλογίες, παρόλο που η επιβάρυνση στην ανθρώπινη υγεία παραμένει σταθερή. Συγκεκριμένα, η επιβάρυνση στο περιβάλλον αυξάνεται κατά 67.7% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια βρώμης και 18.4% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά, ενώ η κατανάλωση πόρων αυξάνεται κατά 31.2% και 25.8% αντίστοιχα.

Συνοψίζοντας, μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής, προέκυψε πως οι συγκαλλιέργειες βρώμης και αρακά στις αναλογίες 75:25 και 50:50 έχουν παρόμοια επιβάρυνση στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον, με την αναλογία 50:50 να είναι πιο αποδοτική όσον αφορά την κατανάλωση πόρων. Η αναλογία 25:75 παρουσιάζει αυξημένη επιβάρυνση στο περιβάλλον και τους πόρους, ενώ η επιβάρυνση στην ανθρώπινη υγεία παραμένει σταθερή σε όλες τις αναλογίες. Η μονοκαλλιέργεια αρακά επιβαρύνει λιγότερο την ανθρώπινη υγεία αλλά περισσότερο το περιβάλλον, συγκριτικά με τις συγκαλλιέργειες 75:25, ενώ η μονοκαλλιέργεια βρώμης εμφανίζει χαμηλότερες επιβαρύνσεις σε όλες τις κατηγορίες. Ωστόσο, η καλλιέργεια βρώμης, με την εφαρμογή κατάλληλων διεργασιών, όπως η κατάλληλη χρήση λιπασμάτων ή η χρήση της κατάλληλης αναλογίας της βρώμης στην συγκαλλιέργεια, μπορεί να μειώσει τις αρνητικές επιδράσεις στις κατηγορίες περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, βελτιώνοντας έτσι τη βιωσιμότητά της στο πλαίσιο της συγκαλλιέργειας με τον αρακά.

Το δεύτερο σενάριο αναφέρεται σε συγκαλλιέργεια αρακά – σιταριού με ή χωρίς την χρήση λιπασμάτων και στις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Με βάση την ανάλυση κύκλου ζωής των καλλιεργειών, εξάγονται σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις της συγκαλλιέργειας αρακά και σιταριού σε σύγκριση με τις μονοκαλλιέργειες των δύο αυτών ειδών.

Αρχικά, όσον αφορά την κλιματική αλλαγή, η συνολική εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα είναι χαμηλότερη για τις συγκαλλιέργειες. Οι τιμές για τις συγκαλλιέργειες χωρίς λίπασμα και με χρήση λιπάσματος αντίστοιχα, μειώνονται κατά 30.72% και 23.58% σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια σιταριού, και κατά 45.05% και 39.39% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια

αρακά. Σχετικά με τη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων οι συγκαλλιέργειες παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια αρακά. Αυτό αντιστοιχεί σε μείωση κατά 52.50% και 51.27% για τις συγκαλλιέργειες με και χωρίς λίπασμα αντίστοιχα. Στον δείκτη της κατανάλωσης νερού, οι συγκαλλιέργειες έχουν μικρότερη κατανάλωση σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια σιταριού, κατά 25.88% και 31.12% για την συγκαλλιέργεια χωρίς και με την χρήση λιπάσματος αντίστοιχα. Στην κατηγορία της οξίνισης του εδάφους, οι συγκαλλιέργειες χωρίς λίπασμα και με χρήση λιπάσματος, παρουσιάζουν μείωση του δείκτη κατά 51.23% και 52.42% αντίστοιχα, σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια του αρακά. Ωστόσο, η τιμή του δείκτη της οξίνισης του εδάφους παρουσιάζει κατά μέσο όρο 40 % αύξηση συγκριτικά με την μονοκαλλιέργεια σιταριού. Στους δείκτες ευτροφισμού των υδάτων, οι συγκαλλιέργειες παρουσιάζουν κατά μέσο όρο 45.6% μείωση του δείκτη σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια αρακά, ενώ αντίθετα 18.2% είναι η αύξηση σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια σιταριού. Ακόμα, η οικοτοξικότητα των υδάτων στην συγκαλλιέργεια αρακά – σιταριού χωρίς λίπασμα και η συγκαλλιέργεια με την χρήση λιπάσματος έχει σημαντική μείωση του δείκτη κατά 85.72% και 62.76% σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια σιταριού. Τέλος, οι δείκτες τοξικότητας για τον άνθρωπο, τόσο καρκινογόνοι όσο και μη καρκινογόνοι, είναι χαμηλότεροι στις συγκαλλιέργειες σε σύγκριση με τις μονοκαλλιέργειες, υπογραμμίζοντας τη σημασία της συγκαλλιέργειας ως μεθόδου που συμβάλλει στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Στις κατηγορίες της καρκινογόνου και μη καρκινογόνου τοξικότητας για τον άνθρωπο, η τιμή μειώνεται κατά μέσο όρο 47.1% από την συγκαλλιέργεια χωρίς την χρήση λιπασμάτων, σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια αρακά, ενώ η μη καρκινογόνος τοξικότητα μειώνεται κατά 43.04% σε σχέση με την μονοκαλλιέργεια σιταριού. Η μείωση αυτών των τοξικολογικών δεικτών είναι κρίσιμης σημασίας, καθώς αποδεικνύεται πως η μέθοδος της συγκαλλιέργειας συμβάλλει στη μείωση του κινδύνου ανάπτυξης ασθενειών και στην προστασία των πιο ευάλωτων πληθυσμιακών ομάδων, όπως παιδιά, ηλικιωμένοι και άτομα με προϋπάρχουσες ιατρικές καταστάσεις.

Συμπερασματικά, η ανάλυση κύκλου ζωής των καλλιεργειών αρακά και σιταριού δείχνει ότι η συγκαλλιέργεια αυτή προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Οι συγκαλλιέργειες μειώνουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, την κατανάλωση νερού και τα αιωρούμενα σωματίδια, ενώ περιορίζουν την οξίνιση του εδάφους και τον ευτροφισμό και οικοτοξικότητα των υδάτων και των θαλασσών. Τέλος,

οι δείκτες τοξικότητας για τον άνθρωπο είναι χαμηλότεροι, υποδεικνύοντας ότι η συγκαλλιέργεια συμβάλλει στην προστασία της ανθρώπινης υγείας.

Στην συνέχεια, με βάση τους δείκτες endpoint, παρατηρείται ότι η συγκαλλιέργεια με χρήση λιπάσματος παρουσιάζει χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σύγκριση με τις μονοκαλλιέργειες σιταριού και αρακά. Συγκεκριμένα, η περιβαλλοντική επιβάρυνση στη συγκαλλιέργεια με λίπανση μειώνεται κατά 77.87% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια σιταριού και κατά 90.3% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια αρακά. Αντίστοιχα, στη συγκαλλιέργεια χωρίς χρήση λιπασμάτων, η περιβαλλοντική επιβάρυνση είναι 25.64% υψηλότερη από τη μονοκαλλιέργεια σιταριού αλλά 44.94% χαμηλότερη από τη μονοκαλλιέργεια αρακά. Η χρήση λιπασμάτων στις συγκαλλιέργειες μειώνει σημαντικά τον δείκτη της ανθρώπινης υγείας, κατά περίπου 65.0% σε σύγκριση με τις συγκαλλιέργειες που δεν χρησιμοποιούν λιπάσματα. Από την άλλη πλευρά, η μονοκαλλιέργεια σιταριού δεν εμφάνισε σημαντική αλλαγή στον δείκτη, σε σύγκριση με τις συγκαλλιέργειες χωρίς λίπασμα. Τέλος, η μονοκαλλιέργεια αρακά εμφάνισε αύξηση της επιβάρυνσης της ανθρώπινης υγείας κατά περίπου 50.0% σε σύγκριση με τις συγκαλλιέργειες χωρίς λίπασμα και 82.5% σε σύγκριση με την συγκαλλιέργεια με χρήση λιπάσματος, υποδεικνύοντας σημαντικό αρνητικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία και την αποτελεσματικότητα της συγκαλλιέργειας στη μείωση των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία. Η συγκαλλιέργεια με χρήση λιπασμάτων φαίνεται πως εμφανίζει ελαφρώς αυξημένη κατανάλωση πόρων, κατά περίπου 9.44%, σε σύγκριση με την συγκαλλιέργεια που δεν χρησιμοποιήθηκαν λιπάσματα. Αυτό φανερώνει πως η προσθήκη λιπασμάτων μπορεί να αυξήσει την αποδοτικότητα της παραγωγής, αλλά παράλληλα αυξάνει την κατανάλωση των φυσικών πόρων. Επιπλέον, η μονοκαλλιέργεια σιταριού εμφανίζει αύξηση της κατανάλωσης πόρων κατά περίπου 29.2%, σε σύγκριση με την συγκαλλιέργεια χωρίς λίπασμα, ενώ συγκριτικά με την συγκαλλιέργεια στην οποία έχουν χρησιμοποιηθεί λιπάσματα, η μονοκαλλιέργεια χρησιμοποιεί περίπου 22.5% περισσότερους πόρους. Επιπλέον, η μονοκαλλιέργεια αρακά παρουσιάζει σημαντική αύξηση της κατανάλωσης φυσικών πόρων κατά περίπου 45.9% σε σύγκριση με τις συγκαλλιέργειες χωρίς λίπασμα. Αυτή η σημαντική αύξηση της κατανάλωσης πόρων υπογραμμίζει την ανάγκη χρήσης του συστήματος συγκαλλιέργειας σε αυτήν την περίπτωση, προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί η επιβάρυνση που ασκείται στο περιβάλλον.



Τα αποτελέσματα αυτά υποδηλώνουν ότι η συγκαλλιέργεια αρακά και σιταριού αποτελεί μια πιο βιώσιμη γεωργική πρακτική σε σύγκριση με τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες. Συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και της κατανάλωσης πόρων, ενώ ταυτόχρονα μειώνει τις αρνητικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία με την κατάλληλη χρήση λιπασμάτων. Συνολικά, η συγκαλλιέργεια αρακά – σιταριού αποδεικνύεται περιβαλλοντικά πιο ευνοϊκή σε σύγκριση με τις μονοκαλλιέργειες αρακά και σιταριού, προσφέροντας σημαντικά περιβαλλοντικά και οικονομικά πλεονεκτήματα.

Το τρίτο σενάριο αναλύει την συγκαλλιέργεια ρεβιθιού – σιταριού σε αναλογία 2 προς 1 και τις αντίστοιχες μονοκαλλιέργειες.

Από την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μέσω των πινάκων ενδιάμεσου σημείου των καλλιεργειών ρεβιθιού και σιταριού, προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα για την αποτελεσματικότητα της συγκαλλιέργειας σε σύγκριση με τις μονοκαλλιέργειες.

Στην κατηγορία της κλιματικής αλλαγής, η συγκαλλιέργεια ρεβιθιού και σιταριού παρουσιάζει μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 11.5% σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια σιταριού και κατά 35.4% σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού. Επιπλέον, ο δείκτης της οξίνισης του εδάφους παρουσιάζει μείωση κατά 34.2% σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού και κατά 13.0% σε σύγκριση με τη μονοκαλλιέργεια σιταριού. Σχετικά με την συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων, η μέθοδος της συγκαλλιέργειας ευνοεί την μείωση του δείκτη κατά 28.0% και 7.1% σε σχέση με τις μονοκαλλιέργειες σιταριού και ρεβιθιού αντίστοιχα. Η εξασθένιση του στρατοσφαιρικού όζοντος φαίνεται πως μειώνεται κατά 45.0% και 19.2% συγκριτικά με το σιτάρι και το ρεβίθι όταν καλλιεργούνται μόνα τους. Τέλος, στους δείκτες της δημιουργίας όζοντος αλλά και της τοξικότητας στην ανθρώπινη υγεία, η συγκαλλιέργεια ευνοεί τη μείωση των επιβαρύνσεων.

Συνολικά, η συγκαλλιέργεια ρεβιθιού και σιταριού προσφέρει καλύτερη περιβαλλοντική απόδοση σε σχέση με τις μονοκαλλιέργειες, μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή, τη δημιουργία όζοντος και την οξίνιση του εδάφους, ενώ συμβάλλει στην προστασία της ανθρώπινης υγείας.

Από την ανάλυση κύκλου ζωής των καλλιεργειών ρεβιθιού και σιταριού, προκύπτει το περιβαλλοντικό αποτύπωμά τους. Οι δύο μονοκαλλιέργειες φαίνεται να επιδεικνύουν

υψηλότερες τιμές στους δείκτες που σχετίζονται με την ανθρώπινη υγεία και την κατανάλωση πόρων σε σύγκριση με τη συγκαλλιέργεια. Ωστόσο, παρατηρείται ελαφρώς μειωμένη επιβάρυνση του περιβάλλοντος για τις δύο αυτές μονοκαλλιέργειες. Στον δείκτη της ανθρώπινης υγείας, η συγκαλλιέργεια αποδεικνύεται πως μειώνει την επιβάρυνση κατά 7.87% σε σύγκριση με την μονοκαλλιέργεια σιταριού και κατά 29.83% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού. Αναφορικά με την κατανάλωση πόρων, η συγκαλλιέργεια εμφανίζει μείωση κατά 18.32% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια σιταριού και 45.31% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού. Παρόλα αυτά, η επιβάρυνση στο περιβάλλον είναι αυξημένη στη συγκαλλιέργεια, με αύξηση 37.56% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια σιταριού και 34.28% σε σχέση με τη μονοκαλλιέργεια ρεβιθιού.

Γενικά, η ανάλυση κύκλου ζωής των καλλιεργειών ρεβιθιού και σιταριού αποδεικνύει ότι οι μονοκαλλιέργειες έχουν υψηλότερες επιπτώσεις στους δείκτες ανθρώπινης υγείας και κατανάλωσης πόρων σε σύγκριση με τη συγκαλλιέργεια. Ωστόσο, παρατηρείται ελαφρώς αυξημένη επιβάρυνση στο περιβάλλον από τη συγκαλλιέργεια σε σύγκριση με τις μονοκαλλιέργειες, γεγονός που υποδεικνύει την ανάγκη για περαιτέρω βελτίωση των πρακτικών καλλιέργειας ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές επιπτώσεις. Συνολικά, η συγκαλλιέργεια φαίνεται να προσφέρει σημαντικά περιβαλλοντικά οφέλη, αλλά απαιτεί προσοχή για τη διαχείριση των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων.

Συνοψίζοντας, η συγκαλλιέργεια βρώμης και αρακά σε αναλογία 50:50 προσφέρει τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική αποδοτικότητα, αν και επιβαρύνει περισσότερο την ανθρώπινη υγεία. Από την άλλη πλευρά, η συγκαλλιέργεια αρακά και σιταριού με χρήση λιπασμάτων παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων αλλά συνοδεύεται από αυξημένη κατανάλωση πόρων. Τέλος, η συγκαλλιέργεια ρεβιθιού και σιταριού είναι επωφελής για την ανθρώπινη υγεία και την κατανάλωση πόρων αλλά επιβαρύνει το περιβάλλον περισσότερο σε σχέση με τις μονοκαλλιέργειες. Από τα παραπάνω προκύπτει πως η συγκαλλιέργεια αναδεικνύεται ως ευνοϊκή στρατηγική γεωργίας σε σύγκριση με τις μονοκαλλιέργειες, προσφέροντας σημαντικά περιβαλλοντικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα. Βάσει των τριών διαφορετικών σεναρίων, η μέθοδος της συγκαλλιέργειας επιτυγχάνει πιο αποδοτική χρήση των πόρων μειώνοντας την κατανάλωση νερού και λιπασμάτων. Ειδικότερα, οι συγκαλλιέργειες επιφέρουν μείωση σε βασικές περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις, όπως οι

εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, η τοξικότητα, η οικοτοξικότητα εδάφους και υδάτων και ο ευτροφισμός, σε σύγκριση με τις μονοκαλλιέργειες. Ενισχύουν την ανθρώπινη υγεία μειώνοντας τις αρνητικές επιπτώσεις που συνδέονται με τις μονοκαλλιέργειες δημητριακών και ψυχανθών, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την ποιότητα των προϊόντων που παράγονται. Παρόλο που οι συγκαλλιέργειες ενδέχεται να δείχνουν αυξημένη επιβάρυνση σε κάποιες περιβαλλοντικές κατηγορίες, γενικά προσφέρουν μια πιο ισορροπημένη και βιώσιμη προσέγγιση, καθιστώντας τις ως μια στρατηγική γεωργίας που προάγει την αειφορία και τη μέγιστη αποδοτικότητα στη γεωργική παραγωγή.

## Βιβλιογραφία

- [1] Himanen, S. J., Mäkinen, H., Rimhanen, K., & Savikko, R. (2016). Engaging farmers in climate change adaptation planning: assessing intercropping as a means to support farm adaptive capacity. *Agriculture*, 6(3), 34.
- [2] Lithourgidis, A. S., Dordas, C. A., Damalas, C. A., & Vlachostergios, D. (2011). Annual intercrops: an alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian journal of crop science*, 5(4), 396-410.
- [3] Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E. (1999). *Biology of Plants*. Six edition. New York. WH Freeman and Company, 944, 370.
- [4] Mackinder, B., & Lock, M. (2005). *Legumes of the world*. Kew, Royal Botanic Gardens.
- [5] De Faria, S. M., Lewis, G. P., Sprent, J. I., & Sutherland, J. M. (1989). Occurrence of nodulation in the Leguminosae. *New phytologist*, 111(4), 607-619.
- [6] Ledermann, R., Schulte, C. C., & Poole, P. S. (2021). How rhizobia adapt to the nodule environment. *Journal of Bacteriology*, 203(12), 10-1128.
- [7] Vance, C. P., Graham, P. H., & Allan, D. L. (2000). Biological nitrogen fixation: phosphorus-a critical future need?. *Nitrogen fixation: From molecules to crop productivity*, 509-514.
- [8] Semba, R. D., Ramsing, R., Rahman, N., Kraemer, K., & Bloem, M. W. (2021). Legumes as a sustainable source of protein in human diets. *Global Food Security*, 28, 100520.

- [9] European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development, EU agricultural outlook for markets and income 2019-2030, Publications Office, 2019, <https://data.europa.eu/doi/10.2762/904294>
- [10] Mason, S. C. (2005). Principles of Crop Production: Theory, Techniques and Technology. NACTA Journal, 49(4), 71.
- [11] Tsubo, M., Mukhala, E., Ogindo, H. O., & Walker, S. (2003). Productivity of maize-bean intercropping in a semi-arid region of South Africa. Water Sa, 29(4), 381-388.
- [12] Horn, D. J. (1988). Parasitism of cabbage aphid and green peach aphid (Homoptera: Aphididae) on collards in relation to weed management. Environmental entomology, 17(2), 354-358.
- [13] Wezel, A., Goris, M., Bruil, J., Félix, G. F., Peeters, A., Bàrberi, P., Bellon, S., Migliorini, P. (2018). Challenges and action points to amplify agroecology in Europe. Sustainability, 10(5), 1598.
- [14] Vandermeer, J. (1995). The ecological basis of alternative agriculture. Annual review of ecology and systematics, 201-224.
- [15] Willey, R. (1979). Intercropping-its importance and research needs. 1. Competition and yield advantages.
- [16] Lal, R. (1974). Soil temperature, soil moisture and maize yield from mulched and unmulched tropical soils. Plant and soil, 40, 129-143.
- [17] Cuartero, J., Pascual, J. A., Vivo, J. M., Özbolat, O., Sánchez-Navarro, V., Egea-Cortines, M., ... & Ros, M. (2022). A first-year melon/cowpea intercropping system

improves soil nutrients and changes the soil microbial community. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 328, 107856.

[18] Vandermeer, J. H. (1992). *The ecology of intercropping*. Cambridge university press.

[19] Lithourgidis, A. S., Dhima, K. V., Vasilakoglou, I. B., & Yiakoulaki, M. D. (2004). Mixtures of cereals and common vetch for forage production and their competition with weeds. In *Proceedings of 10th Conference Genetics and Plant Breeding Society of Greece*, Athens, Greece.

[20] Anil, Park, & Phipps. (1998). Temperate intercropping of cereals for forage: a review of the potential for growth and utilization with particular reference to the UK. *Grass and forage science*, 53(4), 301-317.

[21] Hauggaard-Nielsen, H., Jørnsgaard, B., Kinane, J., & Jensen, E. S. (2008). Grain legume–cereal intercropping: The practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23(1), 3-12.

[22] Droushiotis, D. N. (1989). Mixtures of annual legumes and small-grained cereals for forage production under low rainfall. *The Journal of Agricultural Science*, 113(2), 249-253.

[23] Carr, P. M., Horsley, R. D., & Poland, W. W. (2004). Barley, oat, and cereal–pea mixtures as dryland forages in the northern Great Plains. *Agronomy journal*, 96(3), 677-684.

[24] Caballero, R., Goicoechea, E. L., & Hernaiz, P. J. (1995). Forage yields and quality of common vetch and oat sown at varying seeding ratios and seeding rates of vetch. *Field crops research*, 41(2), 135-140.

- [25] Odum, E. P., & Barrett, G. W. (1971). *Fundamentals of ecology* (Vol. 3, p. 5). Philadelphia: Saunders.
- [26] Rabotnov, T. A. (1977). The influence of fertilizers on the plant communities of mesophytic grasslands. In *Application of vegetation science to grassland husbandry* (pp. 459-497). Dordrecht: Springer Netherlands.
- [27] Trenbath, B. R. (1976). Plant interactions in mixed crop communities. *Multiple cropping*, 27, 129-169.
- [28] Fisher, N. M. (1976). Experiments with maize bean and maize potato mixed crops in an area with two short rainy seasons in the highlands of Kenya. In *Intercropping in semi-arid areas; report of a symposium*. IDRC, Ottawa, ON, CA.
- [29] Raseduzzaman, M. D. (2016). *Intercropping for enhanced yield stability and food security*.
- [30] Wahua, T. A. T., & Miller, D. A. (1978). Relative Yield Totals and Yield Components of Intercropped Sorghum and Soybeans 1. *Agronomy Journal*, 70(2), 287-291.
- [31] Sanchez, P. A. (2019). *Properties and Management of Soils in the Tropics*. Cambridge University Press.
- [32] Kono, Y. (1990). Development of sorghum root system under increasing drought stress. *Japanese Journal of Crop Science*, 59(4), 752-761.
- [33] Willey, R. W. (1990). Resource use in intercropping systems. *Agricultural water management*, 17(1-3), 215-231.

- [34] Morris, R. A., & Garrity, D. P. (1993). Resource capture and utilization in intercropping: water. *Field Crops Research*, 34(3-4), 303-317.
- [35] Willey, R. W. (1979). Intercropping-its importance and research needs. 2. *Agronomy and research needs*.
- [36] Hulugalle, N. R., & Lal, R. (1986). Soil Water Balance of Intercropped Maize and Cowpea Grown in a Tropical Hydromorphic Soil in Western Nigeria 1. *Agronomy Journal*, 78(1), 86-90.
- [37] Fustec, J., Jamont, M., Joly, F. X., Piva, G., Cannavacciuolo, M., & Cassagne, N. (2014, August). Measuring nitrogen transfer in annual intercrops. In *Proceedings of the European Society for Agronomy Congress*.
- [38] Nieder, R., & Benbi, D. K. (2008). *Carbon and nitrogen in the terrestrial environment*. Springer Science & Business Media.
- [39] Gan, Y., Liang, C., Hamel, C., Cutforth, H., & Wang, H. (2011). Strategies for reducing the carbon footprint of field crops for semiarid areas. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 31, 643-656.
- [40] Ito, O., Johansen, C., Adu-Gyamfi, J. J., Katayama, K., Kumar Rao, J. V. D. K., & Rego, T. J. (1996). Roots and nitrogen in cropping systems of the semi-arid tropics. *Proceedings of the International Workshop: Dynamics of Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the Semi-Arid Tropics*, International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT), Patancheru, Andhra Pradesh, India, 21-25 November 1994.
- [41] Ibrahim, N. E., & Kabesh, M. O. (1971). Effect of associated growth on the yield and nutrition of legume and grass plants. 1. Wheat and horsebeans mixed for grain productions.



- [42] Wahua, T. A. T. (1983). Nutrient uptake by intercropped maize and cowpeas and a concept of nutrient supplementation index (NSI). *Experimental Agriculture*, 19(3), 263-275.
- [43] Raghothama, K. G. (1999). Phosphate acquisition. *Annual review of plant biology*, 50(1), 665-693.
- [44] Von Uexküll, H. R., & Mutert, E. (1995). Global extent, development and economic impact of acid soils. *Plant and soil*, 171, 1-15.
- [45] Fischer, G. W. (1994). Agro-ecological land resources assessment for agricultural development planning: A case study of Kenya: Making land use choices for district planning (Vol. 10). Food & Agriculture Org.
- [46] Lajtha, K., & Harrison, A. F. (1995). Strategies of phosphorus acquisition and conservation by plant species and communities. *SCOPE-SCIENTIFIC COMMITTEE ON PROBLEMS OF THE ENVIRONMENT INTERNATIONAL COUNCIL OF SCIENTIFIC UNIONS*, 54, 139-148.
- [47] Dinkelaker, B., Hengeler, C., & Marschner, H. J. B. A. (1995). Distribution and function of proteoid roots and other root clusters. *Botanica Acta*, 108(3), 183-200.
- [48] Lamont, B. B. (2003). Structure, ecology and physiology of root clusters—a review. *Plant and Soil*, 248, 1-19.
- [49] Lamont, B. (1972). The morphology and anatomy of proteoid roots in the genus *Hakea*. *Australian Journal of Botany*, 20(2), 155-174.
- [50] Kurtz, T. E. A. (1952). The importance of nitrogen and water in reducing competition between intercrops.

- [51] Dalal, R. C. (1974). Effects of intercropping maize with pigeon peas on grain yield and nutrient uptake. *Experimental Agriculture*, 10(3), 219-224.
- [52] Drake, M., Vengris, J., & Colby, W. G. (1951). Cation-exchange capacity of plant roots. *Soil science*, 72(2), 139-148.
- [53] Natarajan, M., & Willey, R. W. (1980). Sorghum-pigeonpea intercropping and the effects of plant population density: 1. Growth and yield. *The Journal of Agricultural Science*, 95(1), 51-58.
- [54] Tang, X., Zhang, C., Yu, Y., Shen, J., van der Werf, W., & Zhang, F. (2021). Intercropping legumes and cereals increases phosphorus use efficiency; a meta-analysis. *Plant and Soil*, 460, 89-104.
- [55] Boudreau, M. A. (2013). Diseases in intercropping systems. *Annual review of phytopathology*, 51(1), 499-519.
- [56] Fernández-Aparicio, M., Amri, M., Kharrat, M., & Rubiales, D. (2010). Intercropping reduces *Mycosphaerella pinodes* severity and delays upward progress on the pea plant. *Crop protection*, 29(7), 744-750.
- [57] Matteson, P. C. (1982). The effects of intercropping with cereals and minimal permethrin applications on insect pests of cowpea and their natural enemies in Nigeria. *International Journal of Pest Management*, 28(4), 372-380.
- [58] Bernas, J., Bernasová, T., Kaul, H. P., Wagentristl, H., Moitzi, G., & Neugschwandtner, R. W. (2021). Sustainability estimation of oat: Pea intercrops from the agricultural life cycle assessment perspective. *Agronomy*, 11(12), 2433.
- [59] Saggar, S. (2010). Estimation of nitrous oxide emission from ecosystems and its mitigation technologies. *Agriculture*, 136(3), 189-191.

- [60] Klein, D. (2006). N<sub>2</sub>O emissions from managed soils, and CO<sub>2</sub> emissions from lime and urea application. (No Title), 1.
- [61] Chen, P., Song, C., Liu, X. M., Zhou, L., Yang, H., Zhang, X., ... & Yong, T. (2019). Yield advantage and nitrogen fate in an additive maize-soybean relay intercropping system. *Science of the Total Environment*, 657, 987-999.
- [62] Luo, S., Yu, L., Liu, Y., Zhang, Y., Yang, W., Li, Z., & Wang, J. (2016). Effects of reduced nitrogen input on productivity and N<sub>2</sub>O emissions in a sugarcane/soybean intercropping system. *European Journal of Agronomy*, 81, 78-85.
- [63] Matthaei, D., Seidler, E., & Thöni, L. (2007). Ammonia passive samplers: a helpful tool for monitoring measures to abate emissions. In *Ammonia emissions in agriculture* (pp. 334-335). Wageningen Academic.
- [64] Fung, K. M., Tai, A. P., Yong, T., Liu, X., & Lam, H. M. (2019). Co-benefits of intercropping as a sustainable farming method for safeguarding both food security and air quality. *Environmental Research Letters*, 14(4), 044011.
- [65] Meisinger, J. J., & Delgado, J. A. (2002). Principles for managing nitrogen leaching. *Journal of soil and water conservation*, 57(6), 485-498.
- [66] Wei, S., da Silva, J. A. T., & Zhou, Q. (2008). Agro-improving method of phytoextracting heavy metal contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 150(3), 662-668.
- [67] Zhou, Q. X., & Song, Y. F. (2004). Remediation of contaminated soils: principles and methods. Science, Beijing, 1-489.
- [68] Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., ... & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and

scope definition, inventory analysis, and applications. *Environment international*, 30(5), 701-720.

[69] Mbow, H. O. P., Reisinger, A., Canadell, J., & O'Brien, P. (2017). Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems (SR2). Geneva, IPCC, 650.

[70] Titus, J. G. (1986). The causes and effects of sea level rise. *Effects of changes in stratospheric ozone and global climate*, 1, 219-248.

[71] Reuss, J. O., & Johnson, D. W. (2012). *Acid deposition and the acidification of soils and waters* (Vol. 59). Springer Science & Business Media.

[72] Singh, A., & Agrawal, M. (2007). Acid rain and its ecological consequences. *Journal of Environmental Biology*, 29(1), 15.

[73] Yang, X. E., Wu, X., Hao, H. L., & He, Z. L. (2008). Mechanisms and assessment of water eutrophication. *Journal of zhejiang university Science B*, 9, 197-209.

[74] Dorgham, M. M. (2014). Effects of eutrophication. *Eutrophication: Causes, Consequences and Control: Volume 2*, 29-44.

[75] de Jonge, V. N., Elliott, M., & Orive, E. (2002). Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problem: eutrophication. In *Nutrients and Eutrophication in Estuaries and Coastal Waters: Proceedings of the 31st Symposium of the Estuarine and Coastal Sciences Association (ECSA)*, held in Bilbao, Spain, 3–7 July 2000 (pp. 1-19). Springer Netherlands.

[76] Rowland, F. S. (2006). Stratospheric ozone depletion. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 361(1469), 769-790.

[77] Ming, T., Caillol, S., & Liu, W. (2016). Fighting global warming by GHG removal: Destroying CFCs and HCFCs in solar-wind power plant hybrids producing renewable energy with no-intermittency. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 49, 449-472.

[78] Anwar, F., Chaudhry, F. N., Nazeer, S., Zaman, N., & Azam, S. (2015). Causes of ozone layer depletion and its effects on human. *Atmospheric and Climate Sciences*, 6(1), 129-134.

[79] Wilson, S. R., Madronich, S., Longstreth, J. D., & Solomon, K. R. (2019). Interactive effects of changing stratospheric ozone and climate on tropospheric composition and air quality, and the consequences for human and ecosystem health. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 18(3), 775-803.

[80] Nordborg, M., Arvidsson, R., Finnveden, G., Cederberg, C., Sörme, L., Palm, V., ... & Molander, S. (2017). Updated indicators of Swedish national human toxicity and ecotoxicity footprints using USEtox 2.01. *Environmental Impact Assessment Review*, 62, 110-114.

[81] Schwarze, P. E., Øvrevik, J., Låg, M., Refsnes, M., Nafstad, P., Hetland, R. B., & Dybing, E. (2006). Particulate matter properties and health effects: consistency of epidemiological and toxicological studies. *Human & experimental toxicology*, 25(10), 559-579.

[82] Mukherjee, A., & Agrawal, M. (2017). World air particulate matter: sources, distribution and health effects. *Environmental chemistry letters*, 15, 283-309.

[83] ÖNAL, H. T. (2018). THE EFFECTS OF IONISING RADIATION. *Recent Researches in Health Sciences*, 319.

- [84] Frischknecht, R., Braunschweig, A., Hofstetter, P., & Suter, P. (2000). Human health damages due to ionising radiation in life cycle impact assessment. *Environmental impact assessment Review*, 20(2), 159-189.
- [85] Kley, D., Kleinmann, M., Sanderman, H., & Krupa, S. (1999). Photochemical oxidants: state of the science. *Environmental pollution*, 100(1-3), 19-42.
- [86] Klinglmair, M., Sala, S., & Brandão, M. (2014). Assessing resource depletion in LCA: a review of methods and methodological issues. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19, 580-592.
- [87] Neugschwandtner, R. W., & Kaul, H. P. (2014). Sowing ratio and N fertilization affect yield and yield components of oat and pea in intercrops. *Field Crops Research*, 155, 159-163.
- [88] Neugschwandtner, R. W., & Kaul, H. P. (2015). Nitrogen uptake, use and utilization efficiency by oat–pea intercrops. *Field Crops Research*, 179, 113-119.
- [89] Naudin, C., Corre-Hellou, G., Pineau, S., Crozat, Y., & Jeuffroy, M. H. (2010). The effect of various dynamics of N availability on winter pea–wheat intercrops: crop growth, N partitioning and symbiotic N<sub>2</sub> fixation. *Field Crops Research*, 119(1), 2-11.
- [90] Naudin, C., van der Werf, H. M., Jeuffroy, M. H., & Corre-Hellou, G. (2014). Life cycle assessment applied to pea-wheat intercrops: A new method for handling the impacts of co-products. *Journal of Cleaner Production*, 73, 80-87.
- [91] Singh, B., Aulakh, C. S., & Walia, S. S. (2019). Productivity and water use of organic wheat–chickpea intercropping system under limited moisture conditions in northwest India. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 34(2), 134-143.

- [92] Çaçan, E., Kaplan, M., Kökten, K., & Tutar, H. (2018). Evaluation of some forage pea (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.) lines and cultivars in terms of seed yield and straw quality.
- [93] Tan, M., Koc, A., & Gül, Z. D. (2012). Morphological characteristics and seed yield of East Anatolian local forage pea (*Pisum sativum* ssp. *arvense* L.) ecotypes. *Turkish Journal of Field Crops*, 17(1), 24-30.
- [94] Wided, O., & Salima, B. (2022). Research On The Technological And Genetic Potential Of Durum Wheat In Algeria (*Triticum Durum* Desf). *NVEO-NATURAL VOLATILES & ESSENTIAL OILS Journal*| NVEO, 9(4), 52-63.
- [95] Bouthiba, A., Debaeke, P., & Hamoudi, S. A. (2008). Varietal differences in the response of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) to irrigation strategies in a semi-arid region of Algeria. *Irrigation Science*, 26, 239-251.
- [96] Nemecek, T., Kägi, T., & Blaser, S. (2007). Life cycle inventories of agricultural production systems. Final report ecoinvent v2. 0 No, 15, 1-360.
- [97] Martínez-Alcántara, Belén, et al., (2012). Impact of fertilizer-water management on nitrogen use efficiency and potential nitrate leaching in citrus trees. *Soil science and plant nutrition* 58.5: 659-669.
- [98] Desaules, André. (2012). Critical evaluation of soil contamination assessment methods for trace metals. *Science of the Total Environment* 426: 120-131.