

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Τομέας Π: Ανάλυσης, Σχεδιασμού και
Ανάπτυξης Διεργασιών και Συστημάτων

Εργαστήριο Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών



**ΜΕΛΕΤΗ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥ
ΑΠΟΤΥΠΩΜΑΤΟΣ
ΦΑΡΜΑΣ
ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΕΞΥΠΝΩΝ ΑΓΡΟΤΙΚΩΝ
ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ**

Βογιατζή Σοφία

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Κροκίδα Μαγδαληνή

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2024

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία ανατέθηκε και εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη της κυρίας Κροκίδας Μαγδαληνής, Καθηγήτρια του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Στα πλαίσια της ολοκλήρωσης της εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την κυρία Κροκίδα, που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα για την ολοκλήρωση των σπουδών μου και για την βοήθεια, την επίβλεψη, καθοδήγηση και το ενδιαφέρον για την πρόοδο της εργασίας που μου έδειξε. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Χρήστο Μπουκουβάλα, ΕΔΙΠ του Εργαστηρίου Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών του ΕΜΠ για την πολύτιμη βοήθειά του και το χρόνο του και τη Γεωργία Φρακολάκη, μεταδιδακτορική ερευνήτρια του Εργαστηρίου Σχεδιασμού και Ανάλυσης Διεργασιών του ΕΜΠ για τις πολύτιμες συμβουλές της, το χρόνο της και τη συνεχή βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου και τους φίλους μου για την συμπαράσταση και τη στήριξή τους όλο το διάστημα των σπουδών μου.

Περίληψη

Η βιομηχανία της γαλακτοπαραγωγής εξελίσσεται συνεχώς προς πιο εντατικοποιημένα επίπεδα βιομηχανοποίησης και αυτοματοποίησης και έχει συνδεθεί με σοβαρές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, με την κλιματική αλλαγή να αποτελεί έναν από τους βασικότερους λόγους ανησυχίας. Είναι αναγκαία η υιοθέτηση νέων στρατηγικών για την επίτευξη βιώσιμων πρακτικών σε περιβαλλοντικό επίπεδο, ενώ παράλληλα ικανοποιούνται οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες της κοινωνίας. Η παρούσα μελέτη στοχεύει στην αξιολόγηση της μεταβολής του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μίας φάρμας γαλακτοπαραγωγής της Ευρώπης πριν και μετά την εφαρμογή τεσσάρων έξυπνων πρακτικών ή/και τεχνολογιών, μέσω ανάλυσης κύκλου ζωής (AKZ). Η AKZ είναι ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο εργαλείο για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης διαφόρων τεχνολογιών και προϊόντων που πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό GaBi και τη συλλογή δεδομένων εισροής και εκροής από βάσεις δεδομένων και βιβλιογραφικές πηγές. Οι τέσσερις έξυπνες αγροτικές πρακτικές που εξετάστηκαν είναι η μετατροπή της τροφής ώστε να είναι βασισμένη στο γρασίδι, η χρήση τοπικών πηγών πρωτεΐνης, η αναπαραγωγή αγελάδων με σκοπό τη μακροζωία και η χρήση αγροφωτοβολταϊκών. Από τη σύγκριση των αποτελεσμάτων της ανάλυσης, προέκυψαν συμπεράσματα για την αποδοτικότητα της κάθε πρακτικής σε διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, προέκυψε ότι ο δείκτης της κλιματικής αλλαγής μειώθηκε περισσότερο για το σενάριο φάρμας γρασιδιού και φάρμας αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων με μείωση 25% και για τις δύο περιπτώσεις. Ο δείκτης σχηματισμού λεπτών σωματιδίων, ο δείκτης εξάντλησης ορυκτών πόρων και ο δείκτης τοξικότητας στον άνθρωπο (καρκίνος), εμφάνισαν τη μεγαλύτερη μείωση συγκριτικά με το συμβατικό σενάριο, στο σενάριο των αγροφωτοβολταϊκών κατά 44%, 75% και 51% αντίστοιχα. Η κατανάλωση γλυκού νερού, ο ευτροφισμός γλυκού και θαλάσσιου νερού, η τοξικότητα στον άνθρωπο (εκτός καρκίνου), η χρήση γης και η εξάντληση μετάλλων ανέδειξαν μεγαλύτερη μεταβολή σε σχέση με τη συμβατική φάρμα με μείωση 66%, 33% και 36%, 29%, 42% και 66% για το σενάριο φάρμας βασισμένης στο γρασίδι. Ο δείκτης της θαλάσσιας οικοτοξικότητας εμφάνισε τη μέγιστη μείωση κατά την εφαρμογή της πρακτικής τοπικής πρωτεΐνης ίση με 19%, ενώ ο δείκτης ιοντίζουσας ακτινοβολίας εμφάνισε τη μέγιστη μείωση του κατά την εφαρμογή της πρακτικής τοπικής πρωτεΐνης αλλά και αγροφωτοβολταϊκών ίσες με 70% και 173%. Ο δείκτης οικοτοξικότητας γλυκού νερού μειώθηκε περισσότερο για το σενάριο τοπικής πρωτεΐνης και το σενάριο αναπαραγωγής αγελάδων για μακροζωία με μείωση 18% και 16% αντίστοιχα συγκριτικά με τη συμβατική φάρμα. Ο δείκτης καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος μειώθηκε περισσότερο για το σενάριο τοπικής πρωτεΐνης κατά 25%. Τέλος, οι δείκτες φωτοχημικού σχηματισμού όζοντος για τα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο, η επίγεια οξίνιση και η επίγεια οικοτοξικότητα εμφάνισαν τη μέγιστη μείωση για το σενάριο αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων με σημαντική μείωση 226%, 227%, 40% και 197% αντίστοιχα, ενώ αξιοσημείωτη ήταν και η μείωση του σεναρίου τοπικής πρωτεΐνης για αυτούς τους παράγοντες με μείωση 69%, 68%, 32% και 51% αντίστοιχα.

Λέξεις κλειδιά: Φάρμα Γαλακτοπαραγωγής, Ανάλυση Κύκλου Ζωής, Έξυπνες Πρακτικές, Βιωσιμότητα.

Abstract

The dairy industry is constantly evolving towards more intensive levels of industrialization and automation and has been linked to serious environmental impacts, with climate change being one of the main reasons for concern. It is necessary to adopt new strategies to achieve sustainable practices at environmental level, while at the same time meeting the ever-increasing needs of society. The present study aims to evaluate the change in the environmental footprint of a European dairy farm before and after the implementation of four smart practices and/or technologies, through life cycle analysis (LCA). LCA is a widely used tool for assessing the environmental impact of various technologies and products performed with GaBi software and collecting input and output data from databases and literature. The four smart farming practices examined are converting to grass-based feed, using local protein sources, breeding for longevity and using agro-photovoltaics. From the comparison of the results of the analysis, conclusions were drawn about the efficiency of each practice in various environmental factors. Specifically, it was found that the climate change index decreased more for the grass-based farm and agro-photovoltaic farm scenario with a 25% reduction for both cases. The fine particulate matter formation index, fossil depletion index and cancer human toxicity index, showed the largest reduction compared to the conventional scenario, in the agro-photovoltaic scenario by 44%, 75% and 51% respectively. Freshwater consumption, freshwater and marine eutrophication, non-cancer human toxicity, land use and metal depletion showed greater change compared to conventional farm with a reduction of 66%, 33% and 36%, 29%, 42% and 66% for the grass-based scenario. The marine ecotoxicity index shows the maximum reduction during the application of the local protein practice with 19%, while the ionizing radiation index shows the maximum reduction during the application of the local protein but also the agro-photovoltaics practice, equal to 70% and 173%. The freshwater ecotoxicity index was reduced the most for the local protein scenario and the breeding for longevity scenario with 18% and 16% reductions respectively compared to the conventional farm. The stratospheric ozone depletion index was reduced the most for the local protein scenario by 25%. Finally, the indicators of photochemical ozone formation for ecosystems and humans, terrestrial acidification and terrestrial ecotoxicity showed the maximum reduction for the scenario of agro-photovoltaic systems with a significant reduction of 226%, 227%, 40% and 197% respectively, while the reduction of the local protein scenario was also notable for these factors with a reduction of 69%, 68%, 32% and 51% respectively.

Keywords: Dairy Farm, Life Cycle Analysis, Smart Practices, Sustainability.

Περιεχόμενα

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	12
1.1. Εισαγωγή στις φάρμες γαλακτοπαραγωγής & ιστορική αναδρομή.....	12
1.2. Περιγραφή φάρμας γαλακτοπαραγωγής	14
1.2.1. Τροφή	17
1.2.2. Νερό.....	19
1.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις φάρμας γαλακτοπαραγωγής.....	19
1.3.1. Διοξείδιο του άνθρακα.....	20
1.3.2. Μεθάνιο	21
1.3.3. Νιτρικά	22
1.4. Τρόποι μείωσης περιβαλλοντικού αποτυπώματος φάρμας γαλακτοπαραγωγής	23
1.4.1. Μετατροπή τροφής ώστε να βασίζεται σε χορτονομή	23
1.4.2. Τοπική πηγή πρωτεϊνών.....	24
Αναπαραγωγή αγελάδων για μακροζωία	25
1.4.3.	25
1.4.4. Αγροφωτοβολταϊκά συστήματα.....	25
1.5. Στόχος.....	26
2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	27
2.1.1. ISO 14040/14044.....	27
2.1.2. Στάδια Κύκλου Ζωής.....	28
2.1.3. Μεθοδολογίες εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Impact assessment methodologies)	29
2.1.4. Επιλογή λογισμικού πακέτου AKZ	35
3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΦΑΡΜΑΣ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.....	35
3.1. Ορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής (Goal and Scope definition).....	35
3.1.1. Ορισμός Συστήματος (Product System).....	35
3.1.2. Όρια Συστήματος (System Boundaries).....	36
3.1.3. Παραδοχές	36
3.2. Απογραφή δεδομένων (Life Cycle Inventory, LCI)	36
3.2.1. Συμβατική Φάρμα.....	37
3.2.2. Φάρμα Τροφής με βάση το Γρασίδι	40
3.2.3. Φάρμα Τοπική Πηγής Πρωτεΐνης.....	42
3.2.4. Φάρμα Αναπαραγωγής Αγελάδων για Μακροζωία.....	44

3.2.5. Φάρμα με Αγροφωτοβολταϊκά Συστήματα (APVS).....	46
4. Αποτελέσματα.....	47
4.1. Αποτελέσματα Συμβατικής Φάρμας	49
4.2. Αποτελέσματα Φάρμας Βασισμένης στο Γρασίδι	51
4.3. Αποτελέσματα Φάρμας Τοπικής Πηγής Πρωτεΐνης.....	54
4.4. Αποτελέσματα Φάρμας Αναπαραγωγής Αγελάδων για Μακροζωία.....	58
4.5. Αποτελέσματα Φάρμας με Αγροφωτοβολταϊκά Συστήματα.....	61
4.6. Σύγκριση των τεσσάρων έξυπνων πρακτικών	64
5. Συμπεράσματα	67
6. Βιβλιογραφία	70

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Μεσαία σημεία της μεθοδολογίας ReCiPe	30
Πίνακας 2: Τελικά σημεία της μεθοδολογίας ReCiPe	31
Πίνακας 3: Βιβλιογραφικά δεδομένα συμβατικής φάρμας.....	38
Πίνακας 4: Μελέτη συμβατότητας κλίματος Γερμανίας και Emilia Romagna της Ιταλίας ^[38]	39
Πίνακας 5: Τιμές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για 1 αγελάδα.....	40
Πίνακας 6: Μελέτη συμβατότητας κλίματος Γερμανίας και Γαλλίας ^[38]	40
Πίνακας 7: Βιβλιογραφικά δεδομένα φάρμας τροφής βασιζόμενη στο γρασίδι	41
Πίνακας 8: Βιβλιογραφικά δεδομένα φάρμας τροφής που βασίζεται στο γρασίδι συγκριτικά με συμβατική φάρμα	42
Πίνακας 9: Βιβλιογραφικά δεδομένα για τη φάρμα τοπικής πηγής πρωτεΐνης.....	43
Πίνακας 10: Βιβλιογραφικά δεδομένα φάρμας τοπικής πηγής πρωτεΐνης συγκριτικά με συμβατική φάρμα.....	44
Πίνακας 11: Βιβλιογραφικά δεδομένα για τη φάρμα αναπαραγωγής για μακροζωία.....	45
Πίνακας 12: Βιβλιογραφικά δεδομένα φάρμας αναπαραγωγής για μακροζωία συγκριτικά με συμβατική φάρμα	46
Πίνακας 13: Αποτελέσματα μεσαίου σημείου για το συμβατικό σενάριο.....	50
Πίνακας 14: Αποτελέσματα τελικού σημείου για το συμβατικό σενάριο	50
Πίνακας 15: Αποτελέσματα μεσαίου σημείου για το σενάριο φάρμας βασιζόμενη στο γρασίδι.	52
Πίνακας 16: Αποτελέσματα τελικού σημείου για το σενάριο φάρμας βασιζόμενη στο γρασίδι	52
Πίνακας 17: Αποτελέσματα μεσαίου σημείου για το σενάριο φάρμας τοπικής πηγής πρωτεΐνης.....	55
Πίνακας 18: Αποτελέσματα τελικού σημείου για το σενάριο φάρμας τοπικής πηγής πρωτεΐνης.....	55
Πίνακας 19: Αποτελέσματα μεσαίου σημείου για το σενάριο φάρμας αναπαραγωγής αγελάδων για μακροζωία.....	58
Πίνακας 20: Αποτελέσματα τελικού σημείου για το σενάριο φάρμας αναπαραγωγής αγελάδων για μακροζωία.....	58
Πίνακας 21: Αποτελέσματα μεσαίου σημείου για το σενάριο φάρμας αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων.....	61
Πίνακας 22: Αποτελέσματα τελικού σημείου για το σενάριο φάρμας αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων.....	61

Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Πλάνο διεργασιών στο GaBi για τη συμβατική φάρμα.....	38
Διάγραμμα 2: Πλάνο διεργασιών στο GaBi για τη φάρμα τροφής βασισμένης στο γρασίδι	41
Διάγραμμα 3: Πλάνο διεργασιών στο GaBi για τη φάρμα τοπικής πηγής πρωτεΐνης.....	43
Διάγραμμα 4: Πλάνο διεργασιών στο GaBi για τη φάρμα αναπαραγωγής για μακροζωία	45
Διάγραμμα 5: Πλάνο διεργασιών στο GaBi για τη φάρμα με αγροφωτοβολταϊκά συστήματα.....	47
Διάγραμμα 6: Μεσαία Σημεία για όλα τα σενάρια φάρμας.....	48
Διάγραμμα 7: Τελικά Σημεία για όλα τα σενάρια φάρμας	49
Διάγραμμα 8: Κύρια Μεσαία Σημεία Συμβατικής Φάρμας.....	51
Διάγραμμα 9: Κύρια Μεσαία Σημεία Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Βασισμένη στο Γρασίδι	53
Διάγραμμα 10: Καταστροφή στα οικοσυστήματα Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Βασισμένη στο Γρασίδι.....	53
Διάγραμμα 11: Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Βασισμένη στο Γρασίδι	54
Διάγραμμα 12: Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Βασισμένη στο Γρασίδι	54
Διάγραμμα 13: Κύρια Μεσαία Σημεία Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Τοπικής Πρωτεΐνης	56
Διάγραμμα 14: Καταστροφή στα οικοσυστήματα Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Τοπικής Πρωτεΐνης.....	57
Διάγραμμα 15: Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Τοπικής Πρωτεΐνης	57
Διάγραμμα 16: Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Τοπικής Πρωτεΐνης	57
Διάγραμμα 17: Κύρια Μεσαία Σημεία Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αναπαραγωγής για Μακροζωία	59
Διάγραμμα 18: Καταστροφή στα οικοσυστήματα Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αναπαραγωγής για Μακροζωία	60
Διάγραμμα 19: Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αναπαραγωγής για Μακροζωία	60
Διάγραμμα 20: Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αναπαραγωγής για Μακροζωία	60
Διάγραμμα 21: Κύρια Μεσαία Σημεία Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αγροφωτοβολταϊκών Συστημάτων	62
Διάγραμμα 22: Καταστροφή στα οικοσυστήματα Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αναπαραγωγής για Μακροζωία	63
Διάγραμμα 23: Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αναπαραγωγής για Μακροζωία	63
Διάγραμμα 24: Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αναπαραγωγής για Μακροζωία	63
Διάγραμμα 25: Κλιματική αλλαγή για όλα τα σενάρια φάρμας.....	64

Διάγραμμα 26: Εξάντληση ορυκτών πόρων για όλα τα σενάρια φάρμας.	65
Διάγραμμα 27: Χρήση γης για όλα τα σενάρια φάρμας.	65
Διάγραμμα 28: Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα για όλα τα σενάρια φάρμας.	66
Διάγραμμα 29: Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία για όλα τα σενάρια φάρμας.	66
Διάγραμμα 30: Επίγεια οικοτοξικότητα για όλα τα σενάρια φάρμας.....	67

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Στάδια κύκλου ζωής προϊόντος ^[30]	29
Εικόνα 2: Δομή εύρεσης τελικού σημείου με τη μεθοδολογία ReCiPe ^[33]	32

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1. Εισαγωγή στις φάρμες γαλακτοπαραγωγής & ιστορική αναδρομή

Η βιομηχανία της γαλακτοπαραγωγής περιλαμβάνει ουσιαστικά την εκτροφή ποικίλων ζώων με σκοπό την παραγωγή γάλακτος. Το 81% της παγκόσμιας παραγωγής γάλακτος προέρχεται από βοοειδή, το 15% από βουβάλια, το 2% από κατσίκες, το 1% από πρόβατα και το 0,5% από καμήλες. Εκτός από τη χρήση του ως αυτούσιο προϊόν σε όλο τον κόσμο, το γάλα χρησιμοποιείται και για την παραγωγή τυριού, γιαουρτιού και άλλων γαλακτοκομικών ειδών.^[1]

Η ανάπτυξη και η ο βαθμός επιτυχίας μιας βιομηχανίας γαλακτοπαραγωγής σε μια χώρα καθορίζεται από πολυάριθμους παράγοντες στους οποίους συμπεριλαμβάνεται το κλίμα, η διατήρηση του επαγγέλματος μέσα στην οικογένεια, η αύξηση της ζήτησης από τους καταναλωτές λόγω της αστικοποίησης και το αποτύπωμα άνθρακα της βιομηχανίας. Οι αγελάδες γαλακτοπαραγωγής όταν έχουν πρόσβαση σε ζωοτροφές υψηλής ποιότητας, ενώ όσον αφορά το κλίμα, επιφέρουν τη βέλτιστη απόδοση σε εύκρατα κλίματα. Σε πολλές περιοχές του κόσμου, η αναζήτηση τροφής σε ορεινές περιοχές είναι ευκολότερη για τα πρόβατα και τις κατσίκες, ενώ οι αγελάδες προσαρμόζονται πιο δύσκολα. Παγκοσμίως, οι αγελάδες, τα βουβάλια, οι κατσίκες και τα πρόβατα καταναλώνουν τροφή από τεράστιες εκτάσεις γης, οι οποίες δεν προσφέρονται για καλλιέργεια. Έτσι, οι εκτάσεις αυτές δεν παραμένουν αναξιοποίητες, αλλά χρησιμοποιούνται για την εκτροφή των ζώων που συνεισφέρουν στην παραγωγή γαλακτοκομικών προϊόντων και κρέατος.

Οι άνθρωποι αξιοποιούν το αγελαδινό γάλα από το 9000 π.Χ. Το επάγγελμα της γαλακτοπαραγωγής έχει μεταλαμπαδευτεί στις καινούργιες γενιές από τις παλαιότερες. Συγκεκριμένα, με μια γρήγορη ματιά στην Ευρώπη, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι τις περισσότερες φάρμες διαχειρίζονται δύο, τρεις ή και παραπάνω γενιές.

Κατά τα πρώτα χρόνια αξιοποίησής του, το γάλα περιείχε κομμάτια χρώματος και άλλες προσμίξεις, ενώ συνοδευόταν από τη χαρακτηριστική οσμή ενός αχυρώνα. Για την ακρίβεια περιείχε τόσους πολλούς μικροοργανισμούς ώστε να αποκαλείται «ζωντανό υγρό» από τους φυσικούς της εποχής. Εξετάζοντας τους τρόπους με τους οποίους έλαβε χώρα η βιομηχανοποίηση της διαδικασίας, δηλαδή η εξέλιξη και η ειδίκευση των αγροτικών μεθόδων προκειμένου να αυξηθεί η παραγωγή και να διασφαλισθεί η ποιότητα, συμπεραίνεται ότι αποτελούν και τους κύριους παράγοντες που οδήγησαν σε περιβαλλοντικές ζημιές και στη διατάραξη της αυθεντικότητας των αγροτικών κοινωνιών. Παρότι, ωστόσο, η εκσυγχρόνιση των αγροκτημάτων διαφθείρει την φυσικότητα, βοήθησε ώστε το προϊόν, δηλαδή το γάλα, να είναι αγνότερο και ασφαλέστερο.^[2]

Για να διατηρηθεί η διεθνής ανταγωνιστικότητα και να αυξηθεί η παραγωγικότητα, έχει αυξηθεί η χρήση λιπασμάτων και προϊόντων καθαρισμού. Ως αποτέλεσμα η γαλακτοκομία συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και

χρησιμοποιεί διαδικασίες διαχείρισης γης, νερού και αποβλήτων που επηρεάζουν αρνητικά το περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα, μεθάνιο εκλύεται από τα βοοειδή, ενώ υποξείδιο του αζώτου από τα γεωργικά εδάφη εξαιτίας των ούρων και της κοπριάς των ζώων που βόσκουν, καθώς και από τα συνθετικά λιπάσματα αζώτου που μετατρέπονται σε υποξείδιο από τα μικρόβια του εδάφους. Η κατανάλωση ντίζελ και βενζίνης για τη λειτουργία τρακτέρ και φορτηγών που χρησιμοποιούνται στις φάρμες και βυτιοφόρων που μεταφέρουν γάλα στα εργοστάσια επεξεργασίας παράγει απευθείας διοξείδιο του άνθρακα. Ακόμη, τα λιπάσματα και τα διατροφικά συμπληρώματα, όπως το ενσίρωμα χόρτου και ο σανός, παράγουν έμμεσα διοξείδιο του άνθρακα. Η γαλακτοκομία συμβάλλει επίσης στη ρύπανση των υδάτων επειδή η περίσσεια αζώτου, χημικών ουσιών, ιζημάτων και φωσφόρου του εδάφους εισέρχεται σε γλυκά νερά όπως ποτάμια και λίμνες. Τέλος, αυτή η βιομηχανία παράγει και διάφορα άλλα είδη απορριμμάτων, όπως πλαστικά ή αγροχημικά απορρίμματα και νεκρή ύλη. Άλλα απόβλητα περιλαμβάνουν σακούλες λιπασμάτων, ελαστικά, χρησιμοποιημένο λάδι, μπαταρίες, παλιοσίδηρα, επεξεργασμένη ξυλεία, βελόνες και σύριγγες.^[3]

Επομένως, γίνεται αντιληπτή η ανάγκη για εφαρμογή αποτελεσματικών συστημάτων εκτροφής με σταθερές πηγές ενέργειας για να αντιμετωπιστεί το κρίσιμο ζήτημα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και της προώθησης της ασφάλειας των τροφίμων. Η επίτευξη της βιωσιμότητας στην αγροτική βιομηχανία σημαίνει μια αδιάκοπη προσπάθεια εξέτασης και ευθυγράμμισης των κοινωνικοοικονομικών και οικολογικών στόχων της γεωργίας και άλλων οικονομικών τομέων.^[4]

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατανάλωση ενέργειας και νερού και τη χρήση σύνθετων χημικών ουσιών αποτελούν κάποιους από τους κύριους παράγοντες του αγροδιατροφικού τομέα που καλείται να ανταποκριθεί στην πρόκληση της κλιματικής αλλαγής. Οι γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες κατατάσσονται ως σημαντικές πηγές πρωτογενών αερίων θερμοκηπίου (GHG) με συμβολή περίπου 10-12% στις παγκόσμιες ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων. Επιπλέον, η γεωργία είναι υπεύθυνη για τις έμμεσες εκπομπές σε άλλους βιομηχανικούς τομείς που παρέχουν τους πόρους που καταναλώνονται στις γεωργικές διαδικασίες. Η χρήση της ενέργειας από καύση ορυκτών καυσίμων στις γεωργικές διεργασίες συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή τόσο εντός του αγροκτήματος με διεργασίες όπως η καύση καυσίμων όσο και εκτός του αγροκτήματος λόγω της παραγωγής και της μεταφοράς γεωργικών εισροών σε αυτό. Κατά συνέπεια, η αποτελεσματικότερη χρήση ορυκτών καυσίμων σε συνδυασμό με την αυξημένη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την εφαρμογή πρωτοποριακών τακτικών μπορεί να διαδραματίσει βασικό ρόλο για την ανάπτυξη πιο βιώσιμων συστημάτων παραγωγής.^[5]

Ακόμη και τον καιρό που η παραγωγή του γάλακτος λάμβανε χώρα αποκλειστικά στην εξοχή, οι αγρότες είχαν βρει τρόπο να διαχειρίζονται την ποιότητά του είτε επεμβαίνοντας στις ίδιες τις αγελάδες με τεχνικές όπως η αύξηση της συστηματικής τροφής, που οδηγούσε στην ενίσχυση της δυναμικότητας παραγωγής γάλακτος και η διασταύρωση των καλύτερων αγελάδων με δυνατούς ταύρους. Ακόμη, οι κτηνοτρόφοι έκαναν προσπάθειες διατήρησης της γαλακτοπαραγωγής και τους χειμερινούς μήνες εστιάζοντας στη γη και φυτεύοντας χορτάρι και άλλες καλλιέργειες που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως ζωοτροφή. Με τον εκσυγχρονισμό των φαρμών, οι αγρότες δεν στόχευαν μόνο στα κέρδη, αλλά και στην εξάλειψη ορισμένων εργασιών που

απαιτούσαν πολύ κόπο, ή στην αντιμετώπιση απρόβλεπτων φυσικών προκλήσεων όπως αρρώστιες ή μολύνσεις.

Πιο συγκεκριμένα, στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, η αστικοποίηση δημιούργησε την ανάγκη τα τρόφιμα να ταξιδεύουν μεγαλύτερες αποστάσεις και για περισσότερο καιρό. Η διασφάλιση της ποιότητας του γάλακτος, αγαθό άμεσα συνδεδεμένο με τις παιδικές ηλικίες και που δεν έλειπε από κανένα νοικοκυριό, ήταν ένα θέμα μέγιστης σημασίας.^[6] Έτσι, το ξεκίνημα της σύγχρονης γαλακτοκομίας σημειώνεται με την ανάπτυξη και διάδοση της τεχνικής της παστερίωσης. Η παστερίωση χρησιμοποιεί θερμότητα προκειμένου να απαλλάσσει το γάλα από ορισμένα βακτήρια που προκαλούν την αλλοίωσή του με αποτέλεσμα να παράγεται ασφαλέστερο προϊόν με μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Αυτή η επέκταση της διάρκειας ζωής του γάλακτος στην αποστολή προϊόντων σε πιο μακρινές αποστάσεις καθώς δεν αλλοιώνονταν κατά το χρονικό διάστημα της μεταφοράς.^[7]

Η διασφάλιση της ποιότητας του γάλακτος δεν οδηγήθηκε μόνο από τις αρχές δημόσιας υγείας, αλλά και από τους επιστήμονες γεωργίας και κτηνοτροφίας που κατείχαν επίσης σημαντικό ρόλο. Οι διαδικασίες αυτές για την διασφάλιση ποιότητας, εκτός από παρέμβαση στο ίδιο το γάλα, απαιτούσε και παρεμβάσεις στους αγρότους που μεταμορφώθηκαν εντελώς, με τη βοήθεια χρηματοδοτήσεων και τη δημιουργία πειραματικών σταθμών. Έτσι το διάστημα του 1945-1970 ξεκίνησε η αντιμετώπιση των μολυσματικών ασθενειών στους μαστούς των αγελάδων με αντιβιοτικά και ο ψεκασμός φυτοφαρμάκων για τον περιορισμό των μυγών που δαγκώνουν και ερεθίζουν τα ζώα.^[6]

Οι φάρμες γαλακτοπαραγωγής έχουν αναπτυχθεί σημαντικά για να ανταποκριθούν στην αυξανόμενη ζήτηση για γαλακτοκομικά προϊόντα. Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις, αυτές οι φάρμες εξακολουθούν να ανήκουν σε συγγενείς και απογόνους των αρχικών ιδιοκτητών. Είτε το αγρόκτημα είναι μεγάλο είτε μικρό, οι αγρότες δεσμεύονται να παράγουν το προϊόν υψηλότερης ποιότητας, ενώ φροντίζουν τη γη που καλλιεργούν.^[7]

1.2. Περιγραφή φάρμας γαλακτοπαραγωγής

Το γάλα, καταλήγει από τη φάρμα στα καταστήματα σε περίπου 48 ώρες, 365 μέρες το χρόνο. Οι κτηνοτρόφοι συνήθως είναι εγκατεστημένοι στο αγρόκτημα τους για γενιές, ώστε να φροντίζουν και να διαχειρίζονται τη γη τους με τον καλύτερο τρόπο. Η γαλακτοπαραγωγή στη φάρμα μοιάζει με έναν κύκλο που ξεκινάει με την παραγωγή καλλιέργειας, στην οποία αξιοποιείται κοπριά αγελάδας ως λίπασμα και ολοκληρώνεται όταν οι αγελάδες τρώνε τις καλλιέργειες που οι ίδιες βοήθησαν να παραχθούν. Υπάρχουν πολλές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη διατήρηση και τη βελτίωση της γης που προβλέπεται για καλλιέργεια της τροφής των αγελάδων, συμπεριλαμβανομένων της καλλιέργειας χωρίς άροση, των λωρίδων προστασίας, της φύτευσης καλλιεργειών με τη βοήθεια GPS και άλλων.^[8]

Εκτός από μεμονωμένα νοικοκυριά, υπάρχουν οι εξής τύποι φαρμών:

- Ελεύθερα γαλακτοκομία ή καμπίνες: σε αυτού του είδους τις φάρμες, τα βοοειδή έχουν τη δυνατότητα να κινούνται γύρω από τον αχυρώνα, ενώ τους παρέχονται και ειδικοί στάβλοι που χωρίζονται μεταξύ τους με μεταλλικές ράβδους
- Γαλακτοκομεία Tie stall ή ορθοστάτες: αποτελεί ένα σύστημα στέγασης κατά το οποίο η κάθε αγελάδα είναι δεμένη σε ένα δικό της καθορισμένο στάβλο, χωρίς να έχει τη δυνατότητα να κινηθεί ελεύθερα στο χώρο
- Γαλακτοκομεία Dry lot: αποτελεί ένα μη ασφαλωμένο σύστημα στέγασης σε εξωτερικό χώρο, κάτω από το οποίο κινούνται ελεύθερα, αλλά περιορίζονται σε αυτό οι αγελάδες
- Γαλακτοκομία με βάση τους βοσκότοπους: οι αγελάδες έχουν πλήρη ελευθερία να περιπλανούνται σε ολόκληρο τον βοσκότοπο.

Στα συστήματα εσωτερικού χώρου, το δάπεδο είναι συνήθως σκυρόδεμα, καθώς είναι φθινό και θεωρείται εύκολο να καθαριστεί. Ωστόσο, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στις αγελάδες καθώς είναι σκληρό και γλιστερό όταν επικαλυφθεί με κάποιο υγρό. Επομένως, προτιμάται μαλακό ελαστικό υλικό για δάπεδο που έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την ολίσθηση και βελτιώνει την κίνηση σε σύγκριση με το σκυρόδεμα. Η παροχή υλικών κλίνης βελτιώνει την άνεση, την καθαριότητα και την ευημερία των αγελάδων. Ο τύπος του δαπέδου κλίνης θα πρέπει να παρέχει επαρκή θερμομόνωση, χαμηλό κίνδυνο τριβής και κατάλληλο βαθμό απαλότητας και τριβής. Το άχυρο ή τα ρινίσματα ξύλου μπορούν να λειτουργήσουν ως υπόστρωμα για την ανάπτυξη βακτηρίων και να αυξήσουν τον κίνδυνο μαστίτιδας, οπότε συνήθως προτιμώνται μαλακά συνθετικά υλικά που παρέχουν άνεση χωρίς τον κίνδυνο επιμόλυνσης. Η άνεση των αγελάδων είναι πολύ σημαντική και έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα από το φαγητό ή την κοινωνική επαφή γι' αυτές, ενώ είναι αλληλένδετη με τη γαλακτοπαραγωγή.^[9]

Ένας άλλος παράγοντας που συνδέεται άμεσα με την ποιότητα του γάλακτος, είναι η απαραίτητη φροντίδα στις αγελάδες για να διατηρούνται ικανοποιημένες και υγιείς. Θα πρέπει δηλαδή να ελέγχονται τακτικά από κτηνιάτρους, να έχουν διαθέσιμο φρέσκο νερό και υγιεινή τροφή καθημερινά καθώς και καταφύγιο για τις πολύ χαμηλές αλλά και υψηλές θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα για τις υψηλές θερμοκρασίες, υπάρχουν συγκεκριμένες τεχνικές όπως η αυτόματη ενεργοποίηση ψεκαστήρων, τοποθετημένων στο ταβάνι του αχυρώνα, όταν η θερμοκρασία υπερβαίνει μια συγκεκριμένη τιμή. Άλλη λύση αποτελεί η χρήση ανεμιστήρων που λειτουργούν με θερμοστάτες και ενεργοποιούνται με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπλέον, ορισμένοι αχυρώνες έχουν συμπεριλάβει τη λύση στο πρόβλημα της αυξημένης θερμοκρασίας κατά την κατασκευή τους, όπως ο αχυρώνας των Porterdale Farms στο Άνταμς της Νέας Υόρκης, που έχει κατεύθυνση από την ανατολή προς τη δύση, αιχμαλωτίζοντας τον άνεμο και μεγιστοποιώντας τον αερισμό. Ακόμα, η γραμμή οροφής του και οι τρούλοι στο

εξωτερικό των στεγών είναι σχεδιασμένοι με τέτοιο τρόπο ώστε να τραβούν τον ζεστό αέρα που παράγεται από τις αγελάδες προς τα επάνω και εκτός του αχυρώνα, ενώ η μόνωση και η χρήση κουρτινών επίσης βοηθούν στη διατήρηση των θεμιτών θερμοκρασιών. Το καθαρό και κρύο νερό είναι επίσης πολύ σημαντικός παράγοντας για τη θερμοκρασία των αγελάδων, ειδικά τις θερμές ημέρες που το χρειάζονται συχνότερα και σε μεγαλύτερη ποσότητα. Γι' αυτόν τον λόγο γίνεται χρήση εξοπλισμού όπως fit bits που παρακολουθούν την υγεία των αγελάδων. Τέλος, πολλές φορές χρησιμοποιείται ανακυκλωμένη άμμος που παραμένει δροσερή το καλοκαίρι ως «κρεβάτι» για τις αγελάδες, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει πρόσφυση και υποστήριξη βοηθώντας στην ανάπαυση των ζώων. [8]

Η βιομηχανία της γαλακτοκομίας είναι παγκόσμια. Από χώρα σε χώρα, διαφοροποιείται ανάλογα με τη κλίμακα παραγωγής και τα είδη ζώων που εκτρέφονται. Όσον αφορά τις χώρες με χαμηλότερο εισόδημα, οι μικρότεροι αγρότες, όπως μεμονωμένα νοικοκυριά, τείνουν να πρωταγωνιστούν στην εκτροφή ζώων με σκοπό την παραγωγή γάλακτος καθώς το χρησιμοποιούν τόσο για τη δική τους διατροφή όσο και για οικονομικούς πόρους. Αντιθέτως, σε χώρες με υψηλότερο εισόδημα, υπερτερούν οι βιομηχανικές φάρμες γαλακτοπαραγωγής, καθώς η γαλακτοπαραγωγή γίνεται σε σημαντικά μεγαλύτερη κλίμακα. Σε αυτές τις περιστάσεις, τα ζώα είναι συνήθως βοοειδή που έχουν εκτραφεί ειδικά για την παραγωγή μεγάλης ποσότητας γάλακτος. [1]

Ο κύκλος παραγωγής γάλακτος μιας αγελάδας ξεκινά συνήθως σε ηλικία περίπου 25 μηνών όταν μετά από εννέα μήνες εγκυμοσύνης, γεννά το πρώτο της μοσχάρι και αρχίζει τη γαλουχία. Ένας μικρός αριθμός αρσενικών μόσχων χρησιμοποιείται για αναπαραγωγή και οι άλλοι αρσενικοί μόσχοι χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή μοσχαρίσιου κρέατος. Το μέσο διάστημα μεταξύ τοκετών είναι συνήθως 13 μήνες, δηλαδή η εγκυμοσύνη ξεκινάει 4 μήνες μετά τον τοκετό. Αξίζει να αναφερθεί ότι η παραγωγή γάλακτος συνεχίζεται κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης, γεγονός που επιβαρύνει σοβαρά τα ζώα. Όσον αφορά την αναπαραγωγή, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας έχουν γίνει ευρέως διαδεδομένες τεχνικές όπως η τεχνητή γονιμοποίηση, η εμβρυομεταφορά πολλαπλής ωορρηξίας και η εξωσωματική γονιμοποίηση που όμως μπορεί να είναι αρκετά επώδυνες για τις αγελάδες. Πριν τη σφαγή, προηγείται αναισθητοποίηση με ένα πιστόλι στο κεφάλι, ώστε οι αγελάδες να μη νιώθουν τον πόνο. Σε λιγότερο από 15 δευτερόλεπτα μετά την αναισθητοποίηση γίνεται η σφαγή με θωρακικό ραβδί, που είναι η συνιστώμενη μέθοδος αφού αποφεύγει προβλήματα που σχετίζονται με αποκοπή αρτηριών στον λαιμό της αγελάδας. [9]

Τεχνικές γαλακτοπαραγωγής

- Αγωγός αρμέγματος

Ο αγωγός αρμέγματος είναι ένας συνήθως μεταλλικός σωλήνας, που συνδέει το τμήμα του συστήματος αρμέγματος που έρχεται σε επαφή με το μαστό μιας αγελάδας με μια δεξαμενή ψύξης στην οποία αποθηκεύεται το γάλα. Τα μικρότερα γαλακτοκομεία τείνουν να χρησιμοποιούν έναν αγωγό που μετακινείται από αγελάδα σε αγελάδα, ενώ

τα μεγαλύτερα μπορεί να χρησιμοποιούν έναν αγωγό που προσεγγίζουν οι ίδιες οι αγελάδες.

- Αρμεκτήρια

Τα αρμεκτήρια είναι τα μέρη στα γαλακτοκομικά αγροκτήματα όπου αρμέγονται οι αγελάδες. Μπορούν να διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τη διάταξη του γαλακτοκομείου. Στα περισσότερα γαλακτοκομεία, ειδικά στα μεγαλύτερα, οι αγελάδες εκτρέφονται σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία όπου αρμέγονται. Μερικά από αυτά περιστρέφονται ακόμη και για να επεξεργαστούν τις αγελάδες πιο αποτελεσματικά.

- Αυτόματα αρμεκτήρια «take-off»

Τα αυτόματα αρμεκτήρια «απογείωσης» διαθέτουν αισθητήρα ροής που εμποδίζει τον κτηνοτρόφο να υπεραντλήσει γάλα από την αγελάδα του, καθώς μπορεί να καταλάβει τότε η ροή μειώνεται.

- Πλήρως αυτοματοποιημένο ρομποτικό άρμεγμα

Πλήρως αυτοματοποιημένα ρομποτικά συστήματα αρμέγματος χρησιμοποιούν περιλαίμια σε κάθε αγελάδα για να προσδιορίσουν εάν είναι έτοιμη για άρμεγμα. Εάν η αγελάδα είναι έτοιμη για άρμεγμα, θα μπορεί να μπει στο αρμεκτήριο, το οποίο θα καθαρίσει αυτόματα τις θηλές της και θα τοποθετήσει τις συσκευές επαφής. Μόλις ολοκληρωθεί το άρμεγμα, απελευθερώνεται πίσω στον γενικό πληθυσμό.^[1]

1.2.1. Τροφή

Η σίτιση των αγελάδων γαλακτοπαραγωγής αποτελεί πρόκληση. Η ισορροπία των διατροφικών απαιτήσεων, της παραγωγικότητας, της υγείας, της ευημερίας, της ελαχιστοποίησης των εκπομπών αερίων και η προώθηση των παροχών του οικοσυστήματος, προσφέροντας ταυτόχρονα θρεπτικές τροφές για τους ανθρώπους είναι μια πολύ περίπλοκη διαδικασία. Οι τρέχουσες και μελλοντικές τάσεις στον τομέα της σίτισης προκύπτουν από στρατηγικές μετριασμού των αερίων του θερμοκηπίου και βελτιωμένους στόχους απόδοσης και παραγωγικότητας.^[10] Η βασική διατροφή απαιτεί νερό, υδατάνθρακες, αμινοξέα, λιπαρά οξέα, μέταλλα και βιταμίνες, οι απαιτήσεις των οποίων ποικίλλουν πολύ ανάλογα με το στάδιο της γαλουχίας, καθώς οι αγελάδες πρώιμης γαλουχίας απαιτούν πολύ περισσότερα θρεπτικά συστατικά. Η δυσκολία βασίζεται στο γεγονός ότι η ικανοποίηση των απαιτήσεων σε θρεπτικά συστατικά συχνά περιορίζεται από την πρόσληψη τροφής, ιδιαίτερα τις πρώτες εβδομάδες μετά τον τοκετό. Επομένως, είναι σημαντική η μεγιστοποίηση της εθελοντικής πρόσληψης τροφής.^[11] Οι αγρότες και οι διατροφολόγοι θα πρέπει να συνεργάζονται παρέχοντας εξατομικευμένες λύσεις για κάθε φάρμα, και ιδανικά, για κάθε ζώο. Η τροφή της αγελάδας είναι ουσιαστικά η διατήρηση μιας υγιούς και σταθερής κοιλίας, καθώς η διασφάλιση της καλής λειτουργίας της σχετίζεται άμεσα με την παραγωγικότητα, την αποτελεσματικότητα και την υγεία του ζώου. Αντιθέτως, όταν δε λειτουργεί σωστά

οδηγεί σε ασυνεπή πρόσληψη τροφής, μικροβιακές αλλαγές και χαμηλότερη αποτελεσματικότητα. Το κριτήριο για την καλή λειτουργία της αποτελεί η διατήρηση της ισορροπίας στη ζύμωση και η συμπεριφορά σίτισης. Η τελευταία, συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την πρόσληψη ξηρής ουσίας. Μεγαλύτερη πρόσληψη ξηρής ουσίας σχετίζεται με περισσότερο χρόνο φαγητού την ημέρα και με πιο συχνά γεύματα. Αυτά τα πρότυπα συμπεριφοράς σίτισης οδηγούν σε ένα πιο σταθερό και συνεπές περιβάλλον στη κοιλία.^[10] Τα διάφορα είδη χόρτων και σιτηρών που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι η μηδική (τριφύλλι), το καλαμπόκι, το σόργο, οι σπόροι δημητριακών και τα χόρτα, συμπεριλαμβανομένων των χόρτων ψυχρής εποχής (οπωρόχορτο, σίκalos) και θερμής εποχής (βερμούδα). Προκειμένου να αποτελέσουν τροφή για τα βοοειδή αποθηκεύονται σε υγρή μορφή, διαδικασία κατά την οποία είναι πολύ σημαντική η ελαχιστοποίηση των απωλειών ξηρής ουσίας. Αυτό επιτυγχάνεται όταν η ξηρή ουσία που διατίθεται είναι επαρκής, γεγονός που επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες αλλά και το στάδιο ωρίμανσης της συγκομιδής και ταυτόχρονα όταν βελτιστοποιούνται οι συνθήκες για αναερόβια ζύμωση. Η ζύμωση επηρεάζεται από την περιεκτικότητα σε ξηρή ουσία, τη χημική σύνθεση των χόρτων, και την απομάκρυνση του οξυγόνου στη δομή αποθήκευσης. Επιπλέον, για την επιτάχυνση της αναερόβιας ζύμωσης χρησιμοποιούνται πρόσθετα στα υγρά χόρτα όπως οργανικά οξέα (κυρίως το προπιονικό οξύ), βακτήρια γαλακτικού οξέος, σανό ή το στέλεχος *Lactobacillus buchneri*, βακτήριο που αυξάνει το οξικό οξύ. Όσον αφορά τους σπόρους δημητριακών, προτιμάται το καλαμπόκι, το κριθάρι, το σόργο και το σιτάρι. Για την αποφυγή ανάπτυξης μούχλας, προστίθενται οργανικά οξέα και αμμωνία, ενώ για την επιτάχυνση της αναερόβιας ζύμωσης και τη βελτίωση της σταθερότητας της τροφής κατά την αποθήκευση συνίσταται μείωση του μεγέθους των κόκκων.^[12] Τόσο τα χόρτα, όσο και οι σπόροι δημητριακών αποτελούν τη κύρια πηγή υδατανθράκων για τα βοοειδή, καθώς περιλαμβάνουν ημικυτταρίνη και κυτταρίνη που αποτελούν το ινώδες συστατικό των ζωοτροφών, το οποίο είναι αυτό που διασφαλίζει την υγεία της κοιλίας. Η αποκαλούμενη «αποτελεσματική ίνα» είναι απαραίτητη για να επιτραπεί ο μηρυκασμός.^[11] Οι τροφές χαμηλής ποιότητας και χαμηλής πεπτικότητας έχουν ως αποτέλεσμα σχετικά υψηλές εντερικές εκπομπές ανά μονάδα γάλακτος, ιδιαίτερα σε συστήματα με χαμηλή παραγωγικότητα. Η βελτίωση της πεπτικότητας των ζωοτροφών και του ενεργειακού περιεχομένου και η καλύτερη αντιστοίχιση της παροχής πρωτεΐνης με τις ανάγκες των ζώων μπορεί να επιτευχθεί μέσω καλύτερης διαχείρισης λιβαδιών, βελτιωμένων ειδών βοσκοτόπων, αλλαγής του μείγματος χορτονομής και μεγαλύτερης χρήσης συμπληρωμάτων ζωοτροφών για την επίτευξη ισορροπημένης διατροφής, συμπεριλαμβανομένων των υποπροϊόντων καλλιέργειας και επεξεργασίας καλλιέργειών. Συμπροϊόντα από βιομηχανίες αγροδιατροφής ή πράσινης χημείας, πρώην τρόφιμα και εναλλακτικές πηγές πρωτεϊνών (συμπεριλαμβανομένων των εντόμων, άλλων ασπόνδυλων, ζυμομυκήτων, βακτηρίων/μονοκυτταρικών πρωτεϊνών) πρέπει να αρχίσουν να αξιοποιούνται για την παραγωγή ζωοτροφών^[10]. Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα συμπροϊόντα περιλαμβάνουν υγρή και ξηρή τροφή γλουτένης καλαμποκιού, άλευρο γλουτένης καλαμποκιού, υγρούς και ξηρούς κόκκους ζυθοποιίας, σπόρους σιταριού και φλούδες βρώμης. Άλλα υποπροϊόντα που χρησιμοποιούνται είναι αυτά των ελαιούχων σπόρων όπως ο βαμβακόσπορος, η ελαιοκράμβη, ο ηλιάνθος και ο καρθάκος τα οποία έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη και παραλαμβάνονται μετά την εκχύλιση του ελαίου, του φλοιού ή

ολόκληρου του σπόρου ως υποπροϊόν. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα οικονομικά οφέλη της χρήσης υποπροϊόντων διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή και από εποχή σε εποχή με βάση τη συγκομιδή του πρωτογενούς προϊόντος.^[12]

1.2.2. Νερό

Εκτός από την τροφή, εξίσου σημαντικό είναι και το νερό για τη διατήρηση της ζωής και της υγείας των αγελάδων γαλακτοπαραγωγής, καθώς είναι η κύρια ποσοτική απαίτηση τροφής. Η ημερήσια ποσότητα νερού που απαιτείται από τα βοοειδή επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, το βάρος, η ηλικία, το στάδιο ζωής του ζώου (ανάπτυξη, πάχυνση, γαλουχία) και ο ρυθμός μεταβολικής δραστηριότητας, που θα αντιστοιχεί σε μεγάλο βαθμό στο επίπεδο της παραγωγής της αγελάδας γαλακτοπαραγωγής σε κάθε φάση του παραγωγικού κύκλου. Η κατανάλωση κορυφώνεται τους ζεστούς μήνες και αμέσως μετά το άρμεγμα. Εάν οι αγελάδες δεν λαμβάνουν την απαραίτητη ποσότητα νερού, μπορεί να προκύψει μείωση της κατανάλωσης ζωοτροφών, αφυδάτωση, αυξημένος καρδιακός ρυθμός, αυξημένη θερμοκρασία σώματος, αυξημένος ρυθμός αναπνοής και κατάσταση λήθαργου, με αποτέλεσμα να γίνονται πιο επιρρεπείς σε ασθένειες. Χωρίς νερό, ο βασικός μεταβολισμός των ζώων τίθεται σε κίνδυνο, επηρεάζοντας σοβαρά τη λειτουργικότητα των κύριων οργάνων.^[13] Επιπλέον, το νερό είναι το πιο σημαντικό θρεπτικό συστατικό όταν εξετάζουμε την παραγωγή γάλακτος, καθώς αντιπροσωπεύει το 87% της σύνθεσής του. Αυτό σημαίνει ότι οι αγελάδες γαλακτοπαραγωγής υψηλής παραγωγής καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες νερού και οι αγρότες θα πρέπει έτσι να εξασφαλίσουν ελεύθερη πρόσβαση σε αρκετό φρέσκο και καθαρό νερό.^[11] Έτσι, το νερό θα πρέπει να είναι καθαρό, φρέσκο, άχρωμο, άοσμο, να περιέχει χαμηλά επίπεδα στερεών και αλκαλικότητας και να είναι απαλλαγμένο από τοξικές ενώσεις. Η διασφάλιση της ποιότητας του νερού είναι απαραίτητη τόσο για το νερό που χρησιμοποιείται για τον καθαρισμό του εξοπλισμού αρμέγματος όσο και για το πόσιμο νερό. Εάν το νερό είναι μολυσμένο, μπορεί να επηρεάσει την υγεία και την ευημερία των ζώων και, ως εκ τούτου, αυτή η μόλυνση μπορεί να μεταφερθεί σε τρόφιμα (γάλα και κρέας), θέτοντας σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία. Πιθανές πηγές άντλησης νερού αποτελούν οι φυσικές πηγές ή και τα δημόσια δίκτυα τροφοδοσίας. Με την κατάλληλη επεξεργασία όπως η υποβολή σε φυσικοχημικές, μικροβιολογικές και ακόμη και ραδιενεργές διεργασίες, είναι δυνατή και η χρήση νερού από πηγάδια, ορυχεία, φράγματα, ποτάμια και λίμνες, που συχνά δεν είναι κατάλληλο για άμεση κατανάλωση.^[13]

1.3. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις φάρμακα γαλακτοπαραγωγής

Οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου έχουν απασχολήσει τους επιστήμονες σε όλους τους κλάδους λόγω των επιπτώσεών τους στο παγκόσμιο κλίμα. Όσον αφορά τη γεωργία, εκτιμάται ότι συμβάλλει περίπου στο 11% του συνόλου των παγκόσμιων εκπομπών. Τα ζώα έχουν επίσης λάβει ιδιαίτερη προσοχή για τη συμβολή τους στις εκπομπές

αερίων του θερμοκηπίου μαζί με άλλες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα βοοειδή υπολογίζεται ότι παράγουν 5.335 Mt διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) ετησίως, που είναι περίπου 11% όλων των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Έτσι, και οι φάρμες γαλακτοπαραγωγής συμβάλλουν σημαντικά στις συνολικές εκπομπές αερίων κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής του γάλακτος και άλλων γαλακτοκομικών προϊόντων. Επομένως, είναι σημαντική η αναγνώριση των πηγών των εκπομπών από τις φάρμες γαλακτοπαραγωγής και η κατανόηση των διαδικασιών που δημιουργούν αυτές τις εκπομπές ώστε να δημιουργηθούν ευκαιρίες για μετριασμό.^[14]

1.3.1. Διοξείδιο του άνθρακα

Το διοξείδιο του άνθρακα εισέρχεται σε ένα γεωργικό σύστημα μέσω της φωτοσύνθεσης. Στη συνέχεια εκπέμπεται μέσω της αναπνοής των φυτών (τόσο των βλαστών όσο και των ριζών), των ζώων και των μικροβιακών οργανισμών οι οποίοι αποσυνθέτουν οργανική ύλη από την κοπριά και τα υπολείμματα των καλλιεργειών.^[15]

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα φυτά δεσμεύουν περισσότερο CO₂ μέσω της φωτοσύνθεσης από ό,τι εκπέμπουν μέσω της διαδικασίας της αναπνοής. Όσο υψηλότερες ποσότητες βιομάζας παράγουν οι καλλιέργειες, τόσο μεγαλύτερη είναι και η εισροή του άνθρακα. Για παράδειγμα καλλιέργειες με υψηλές εισροές άνθρακα είναι το καλαμπόκι και η σόγια, ενώ με χαμηλότερες τα χόρτα χωρίς πρόσθετο λίπασμα. Αυτή η μεγαλύτερη εισροή προκαλείται επειδή οι καλλιέργειες είναι περισσότερο αναπτυγμένες, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ποσότητα άνθρακα να αφομοιώνεται τόσο στην ξηρή μάζα των φυτών, όσο και στη ρίζα. Οι ετήσιες καλλιέργειες σιτηρών όπως το καλαμπόκι, η σόγια και το σιτάρι, παράγουν επίσης λιγότερο άνθρακα κατά τη συγκομιδή όταν αφαιρείται μόνο ο σπόρος και η υπόλοιπη φυτική βιομάζα παραμένει στο χωράφι. Όταν η παραγωγή βιομάζας είναι υψηλή και η συγκομιδή της χαμηλή, δεσμεύεται και αφομοιώνεται στο έδαφος περισσότερος άνθρακας, ο οποίος μαζί με άλλα οργανικά συστατικά του εδάφους συνεπάγεται αυξημένη μικροβιακή αναπνοή και κατά συνέπεια μεγαλύτερη εκπομπή CO₂, αντισταθμίζοντας ένα μέρος αυτής της πιθανής δέσμευσης άνθρακα.^[16]

Οι πολυετείς καλλιέργειες όπως το γρασίδι συνήθως δεσμεύουν περισσότερο άνθρακα από όσο δεσμεύουν οι ετήσιες καλλιέργειες σιτηρών όπως η σόγια, ενώ η μηδική και το γρασίδι δεσμεύουν παρόμοια ποσότητα άνθρακα. Με βάση το κλίμα, τις πρακτικές διαχείρισης που χρησιμοποιούνται στο χωράφι και άλλους παράγοντες, οι εκπομπές για την ίδια καλλιέργεια μπορεί να ποικίλλουν. Επιπλέον, παρατηρείται αυξημένη δέσμευση άνθρακα και επομένως λιγότερες εκπομπές διοξειδίου, με τη χρήση καλλιεργειών που χρησιμοποιούν περιορισμένη άρωση. Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι αυτές οι πρακτικές επιβραδύνουν την αποσύνθεση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών και έτσι δεσμεύουν περισσότερο άνθρακα στο έδαφος.

Άλλος ένας παράγοντας που συμβάλλει στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα στις φάρμες γαλακτοπαραγωγής είναι η κοπριά και η διαχείρισή της. Με την κατανάλωση της τροφής που προέρχεται από τις καλλιέργειες, τα ζώα μετατρέπουν ένα μεγάλο

μέρος του δεσμευμένου άνθρακα των φυτών σε διοξείδιο του άνθρακα μέσω της διαδικασίας της αναπνοής. Βρέθηκε μια μέση εκπομπή CO₂ από την αναπνοή των ζώων που στεγάζονται σε εγκαταστάσεις χωρίς αποθήκευση κοπριάς να είναι περίπου 2.600 kg CO₂ LU⁻¹ yr⁻¹.^[15] Ένα μεγάλο μέρος των φάρμων γαλακτοπαραγωγής εξακολουθεί να χρησιμοποιεί για την κοπριά ένα καθημερινό σύστημα έλξης χωρίς αποθήκευση ή ένα σύστημα βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης από μερικές ημέρες έως μερικές εβδομάδες. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι ελάχιστες. Τα αγροκτήματα που χρησιμοποιούν καθημερινή έλξη είναι συνήθως μικρού μεγέθους, επομένως ένα μεγάλο μέρος της κοπριάς από γαλακτοπαραγωγή βοοειδή αποθηκεύεται μακροπρόθεσμα (4–12 μήνες) σε κάποιο είδος εγκατάστασης. Η μακροχρόνια αποθήκευση αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και είναι άμεσα εξαρτώμενη από την αερόβια δραστηριότητα στην κοπριά. Όταν υπάρχει διαθέσιμο οξυγόνο στη στερεή κοπριά, διεισδύει σε αυτή και ενισχύει μέσω της μικροβιακής αναπνοής την παραγωγή CO₂. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την υγρή αποθήκευση κοπριάς σε δεξαμενή είναι περίπου 70% χαμηλότερες.^[14]

Άλλη μια πηγή διοξειδίου του άνθρακα που προέρχεται από τα αγροκτήματα γαλακτοπαραγωγής αποτελεί η καύση ορυκτών καυσίμων. Στις περισσότερες φάρμες το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι ντίζελ, το οποίο εκπέμπει 2.682 kg CO₂ ανά λίτρο καυσίμου που καταναλώνεται. Η κατανάλωση καυσίμου στα αγροκτήματα λαμβάνει χώρα για την υποστήριξη λειτουργιών που χρησιμοποιούνται στην άρση, στη φύτευση και στη συγκομιδή των καλλιεργειών, στη διατροφή των ζώων και στον χειρισμό της κοπριάς.^[15] Επίσης, η κατανάλωση ντίζελ και βενζίνης γίνεται από τρακτέρ και βαρέα φορτηγά που χρησιμοποιούνται σε αγροκτήματα και από βυτιοφόρα που μεταφέρουν γάλα σε εργοστάσια επεξεργασίας. Τέλος, λιπάσματα που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των επιπέδων θρεπτικών στοιχείων του εδάφους στο αγρόκτημα και συμπληρώματα διατροφής όπως το ενσίρωμα χόρτου και σανού παράγουν διοξείδιο του άνθρακα έμμεσα.^[3]

1.3.2. Μεθάνιο

Το μεθάνιο εκπέμπεται κυρίως μέσω της αναερόβιας αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Τα εδάφη εκπέμπουν μεθάνιο με δύο τρόπους. Αρχικά, όταν η οργανική ύλη αποσυντίθεται από μικροοργανισμούς σε εδάφη τα οποία δεν αερίζονται επαρκώς, όπως οι ορυζώνες και οι υγρότοποι, εκπέμπεται μεθάνιο αντί διοξειδίου του άνθρακα. Κατά τη διάρκεια του έτους, ορισμένα τμήματα των αγρών μπορούν να κορεστούν με νερό, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται αναερόβιες μικροθέσεις, γεγονός που προκαλεί ελάχιστες εκπομπές μεθανίου. Ωστόσο, στο διάστημα ενός ολόκληρου έτους, συνήθως τα γεωργικά εδάφη αερίζονται επαρκώς και το μεθάνιο καταλήγει να οξειδώνεται από τους μικροοργανισμούς.^[15] Έπειτα, οι εκπομπές μεθανίου από τα εδάφη αυξάνονται με την προσθήκη κοπριάς ή άλλων οργανικών λιπασμάτων, καθώς αυξάνεται η οργανική περιεκτικότητα του εδάφους. Οι πηγές οργανικού άνθρακα του εδάφους και της κοπριάς έχουν θεωρηθεί ως η μοναδική πηγή παραγωγής μεθανίου από καλλιεργήσιμες εκτάσεις, καθώς οι εκπομπές καλλιεργειών στις οποίες δεν έχει

εφαρμοστεί κοπριά βρέθηκαν να είναι ίδιες με εκείνες των μη καλλιεργήσιμων εδαφών. Όταν αυτές οι πρακτικές διακόπτονται, η επίδρασή τους με τον καιρό εξαφανίζεται και οι εκπομπές επιστρέφουν στα τυπικά επίπεδα εκπομπής από τα ίδια τα φυτά τα οποία όμως είναι ελάχιστα.^[16] Όσον αφορά τα γαλακτοκομικά αγροκτήματα, η κύρια πηγή εκπομπών μεθανίου είναι τα ζώα στις εγκαταστάσεις στέγασης τους, από διαδικασίες όπως η εντερική ζύμωση και από την κοπριά. Αυτό συμβαίνει επειδή τα βοοειδή δεν έχουν τη δυνατότητα να αφομοιώσουν την κυτταρίνη που βρίσκεται στα φυτά που καταναλώνουν ως τροφή, έτσι που όταν ορισμένα βακτήρια στην κοιλία τους διασπούν την κυτταρίνη, λαμβάνουν ενέργεια από αυτή και παράγουν υδρογόνο ως ένα υποπροϊόν. Τα εντερικά μεθανογόνα βακτήρια, τα οποία υπάρχουν σε μια συμβιωτική σχέση με άλλους μικροοργανισμούς στη μεγάλη κοιλία, εμποδίζουν τη συσσώρευση υδρογόνου χρησιμοποιώντας το για τη μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα σε μεθάνιο, το οποίο στη συνέχεια απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μέσω της αναπνοής. Η ποσότητα του για κάθε ζώο εξαρτάται από το είδος και το μέγεθός του, την πεπτικότητα της τροφής, την πρόσληψη ξηρής ουσίας και τους συνολικούς υδατάνθρακες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι θηλάζουσες αγελάδες εκπέμπουν περίπου διπλάσια ποσότητα μεθανίου από τις ξηρές αγελάδες ή τις δαμαλίδες καθώς τρέφονται περισσότερο^[15]. Πολύ σημαντικοί για τις εκπομπές μεθανίου είναι και οι τύποι στέγασης στις φάρμες γαλακτοπαραγωγής που μπορούν να είναι είτε αχυρώνες με συμπαγές δάπεδο, είτε αχυρώνες με δάπεδα με σχάρες και ένα λάκκο συλλογής κάτω, είτε αχυρώνες με κρεβάτια και ανοιχτά χωράφια. Σε ελεύθερους αχυρώνες, η κοπριά αφαιρείται κανονικά κάθε λίγες ώρες ή μία φορά την ημέρα με απόξεση ή λίπανση. Με αυτήν την ταχεία αφαίρεση της κοπριάς, το μεθάνιο δεν προλαβαίνει να σχηματιστεί και οι εκπομπές είναι χαμηλές. Σε ένα δάπεδο με σχάρες, η κοπριά συσσωρεύεται σε ένα λάκκο κάτω από το δάπεδο από μερικές εβδομάδες έως αρκετούς μήνες, ενώ σε έναν αχυρώνα με κρεβάτια, η κοπριά συσσωρεύεται στο πάτωμα για μερικούς μήνες ή περισσότερο μαζί με το υλικό κλινοστρωμνής που προστίθεται για να απορροφήσει την υγρασία. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι εκπομπές είναι πολύ μεγαλύτερες. Στα ανοιχτά χωράφια η κοπριά απλώνεται σε ένα λεπτό στρώμα και λόγω των αερόβιων συνθηκών οι εκπομπές είναι πολύ χαμηλές.^[14] Κατά την αποθήκευση της κοπριάς, το μεθάνιο παράγεται μέσω μιας αντίδρασης παρόμοιας με αυτή της εντερικής ζύμωσης. Διάφορα μικρόβια αποικοδομούν την κυτταρίνη στην κοπριά και τα προϊόντα αυτής της διαδικασίας χρησιμεύουν ως υποστρώματα για δημιουργία μεθανίου. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες για τις εκπομπές μεθανίου είναι η θερμοκρασία και ο χρόνος αποθήκευσης.^[15]

1.3.3. Νιτρικά

Όσον αφορά τις αζωτούχες ενώσεις που παράγει μια φάρμα γαλακτοπαραγωγής, τα βοοειδή παράγουν εντερικό υποξείδιο του αζώτου (N_2O), του οποίου η συγκέντρωση επηρεάζεται από τη συγκέντρωση νιτρικών στη διατροφή τους. Η ποσότητα που εκπέμπεται συγκριτικά με το εντερικό μεθάνιο είναι πολύ μικρή γι' αυτό συχνά παραλείπεται στις αναλύσεις εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μιας φάρμας. Πιο συγκεκριμένα, η αντιπροσώπευση αυτής της πηγής είναι $0,4 \text{ g } N_2O/\text{αγελάδα την ημέρα}$.^[14] Μια ακόμη πηγή υποξειδίου του αζώτου αποτελεί η καλλιεργήσιμη γη με

ετήσια εκπομπή $5,9 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1}$. Αυτού του είδους οι εκπομπές αντιστοιχούν συνήθως στη διαβροχή ξηρού εδάφους και την εφαρμογή αζώτου στην κοπριά ή το λίπασμα, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές τους προκύπτουν από βοσκοτόπια τα οποία είχαν μεγάλη εισροή κοπριάς, και συνεπώς αζώτου, που εναποτίθεται από τις αγελάδες που βόσκουν.^[16] Οι τιμές για τις ετήσιες εκπομπές N_2O που προέρχονται από την κοπριά ποικίλλουν από 0 έως $25 \text{ g N}_2\text{O/kg}$ βοοειδών, κυρίως εξαρτώμενες από τον τύπο διαχείρισης της κοπριάς. Οι μετασχηματισμοί αζώτου στο έδαφος περιλαμβάνουν διαδικασίες νιτροποίησης και απονιτροποίησης, οι οποίες και οι δύο μπορούν να δημιουργήσουν N_2O . Η νιτροποίηση είναι μια αερόβια διαδικασία που οξειδώνει την αμμωνία (NH_4) σε νιτρικό ανιόν (NO_3), με την παραγωγή μονοξειδίου του αζώτου (NO) και N_2O ως ενδιάμεσα. Η απονιτροποίηση είναι μια μικροβιακή διαδικασία που μειώνει τα νιτρικά άλατα σε άζωτο (N_2). Ανάλογα με τις εδαφικές συνθήκες, αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι ατελής, παράγοντας επίσης NO και N_2O . Όσον αφορά την αμμωνία, οι εγκαταστάσεις στέγασης των βοοειδών αποτελούν επίσης σημαντική πηγή εκπομπών. Οι εκπομπές αυτές στη συνέχεια είναι πιθανό να μετατραπούν σε άλλες μορφές αζώτου, συμπεριλαμβανομένου του N_2O .^[14]

1.4. Τρόποι μείωσης περιβαλλοντικού αποτυπώματος φάρμας γαλακτοπαραγωγής

1.4.1. Μετατροπή τροφής ώστε να βασίζεται σε χορτονομή

Οι αγελάδες είναι ζώα των οποίων το πεπτικό σύστημα είναι σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να επεξεργάζεται χόρτα. Η ποσότητα γάλακτος που αναμένεται ανά αγελάδα σε σχέση με τα προηγούμενα χρόνια είναι σημαντικά αυξημένη. Έτσι, οι αγρότες μεγιστοποιούν την συγκέντρωση εισροών ενέργειας στις αγελάδες για να διατηρήσουν υψηλή την παραγωγή γάλακτος. Πολλές φορές αυτό οδηγεί στην εισαγωγή συμπυκνωμάτων και άλλων τροφών σε ένα σύστημα που όπως προαναφέρθηκε είναι σχεδιασμένο να επεξεργάζεται χόρτα, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η μακροζωία και η αποτελεσματικότητα της αγελάδας. Έτσι, μπορεί να αποτελέσει ευνοϊκή συνθήκη για μια φάρμα η διατροφή των αγελάδων να στηρίζεται σε χορτονομή και όχι σε δημητριακά.^[17]

Για τον ίδιο αριθμό αγελάδων και την ίδια έκταση γης, η παραγωγή γάλακτος μιας τέτοιας φάρμας μειώνεται σε σύγκριση με μία τυπική φάρμα. Έτσι, για τη διατήρηση της αποτελεσματικότητας και της απόδοσης της παραγωγής είναι απαραίτητη η αύξηση της έκτασης γης.^[18] Ένας άλλος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη σε μια φάρμα γρασιδιού, είναι πως γίνεται στόχος ο τοκετός των αγελάδων να ξεκινάει στις αρχές της άνοιξης (μέση ημερομηνία τοκετού 14 Φεβρουαρίου) που είναι γενικά η έναρξη της εποχής καλλιέργειας χόρτου.^[19] Επίσης οι αγελάδες έχουν τον πρώτο τους τοκετό στους 36 μήνες λόγω της αργής τους ανάπτυξης που συνεπάγεται η διατροφή τους με βάση το γρασίδι, σε αντίθεση με τις κανονικές φάρμες που οι αγελάδες γεννούν στους 25 μήνες. Κατά την χειμερινή περίοδο οι αγελάδες τρέφονται με συμπυκνωμένη τροφή και γρασίδι το οποίο έχει διατηρηθεί.^[18] Δηλαδή, όταν η ανάπτυξη του χόρτου υπερβαίνει τη ζήτηση για τις ζωοτροφές κοπαδιών, είναι δυνατή η παραγωγή ενσιρώματος χόρτου για τις περιόδους που η ανάπτυξη των βοσκοτόπων δεν είναι σε

θέση να καλύψει τις διατροφικές απαιτήσεις του κοπαδιού.^[19] Το βασικό πρόβλημα με τη διατροφή με υψηλή χορτονομή στις γαλακτοπαραγωγικές αγελάδες υψηλής παραγωγής, είναι η μη επαρκής καθαρή ενεργειακή πρόσληψη για την κάλυψη των αναγκών του ζώου. Μια πιθανή λύση σε αυτό το ζήτημα αποτελεί το ενδεχόμενο να διατίθεται καλής ποιότητας χορτονομή όπως ο σανός αλφάλφα που θα μπορούσε να συγκομιστεί νωρίς για να έχει υψηλότερη περιεκτικότητα σε υδατάνθρακες και πρωτεΐνη με υψηλότερη πρόσληψη και καθαρή απορρόφηση αμινοξέων σε σχέση με την περιεκτικότητα σε πρωτεΐνες της χορτονομής. Τότε υπάρχει πιθανότητα υψηλότερης ενεργειακής πρόσληψης οδηγώντας σε υψηλότερη παραγωγή γάλακτος.^[18]

1.4.2. Τοπική πηγή πρωτεϊνών

Οι πιο συνηθισμένες τροφές που παρέχουν την απαραίτητη πρωτεΐνη για τις αγελάδες γαλακτοπαραγωγής, έχουν ως πρώτη ύλη τη σόγια, την ελαιοκράμβη και τον ηλίανθο.^[20] Η ευρέως χρησιμοποιούμενη πηγή πρωτεΐνης στα αγροκτήματα είναι το άλευρο σόγιας, το οποίο παρασκευάζεται από κόκκους σόγιας που εισάγονται κυρίως από τη Νότια Αμερική.^[21] Για την αποφυγή αυτής της διαδικασίας, στις ευρωπαϊκές χώρες αποτελεί συχνό φαινόμενο η παραγωγή σιτηρών στις φάρμες προκειμένου να καλύπτονται οι διατροφικές ανάγκες των βοοειδών με όσπρια (φασόλια και μπιζέλια) τα οποία αποτελούν μια καλή πηγή πρωτεΐνης, καθώς περιέχουν 22-35 % πρωτεΐνη και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και 26-38 % πρωτεΐνη.^[20]

Επιπλέον, τα όσπρια διαθέτουν την ικανότητα να δεσμεύουν το άζωτο που είναι ελεύθερο στην ατμόσφαιρα και να χρησιμοποιούν μέρος από αυτό για την ανάπτυξή τους. Το υπόλοιπο παραμένει στο χωράφι με τη μορφή υπολειμματικού αζώτου μετά τη συγκομιδή των οσπρίων, για την επόμενη καλλιέργεια. Ως αποτέλεσμα, περιορίζεται τόσο η απορροή θρεπτικών ουσιών όσο και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου καθώς μειώνεται η χρήση λιπασμάτων.^[22]

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ένας ακόμη σπόρος οσπρίων, το γλυκό λούπινο που χρησιμοποιείται ευρέως στη Βόρεια Ευρώπη και σε άλλες μεγάλες περιοχές του κόσμου και φαίνεται να είναι πολλά υποσχόμενο για τη βελτίωση της βιωσιμότητας της φάρμας. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας της υψηλής περιεκτικότητας του σε ακατέργαστη πρωτεΐνη που κυμαίνεται σε 30 - 35 % και σε λιπαρά 10% αντίστοιχα, όσον αφορά τη ξηρή μάζα και για τις δύο περιπτώσεις. Συγκριτικά, η σόγια έχει περιεκτικότητα ακατέργαστης πρωτεΐνης που κυμαίνεται σε 40 - 41% σε ξηρή μάζα. Επιπλέον, τόσο η σόγια όσο και το γλυκό λούπινο έχουν παρόμοια περιεκτικότητα σε ουρία, γεγονός που συνεπάγεται καλή διατροφική αποτελεσματικότητα και επαρκή τροφή ώστε να λαμβάνεται γάλα καλής ποιότητας και υψηλής περιεκτικότητας σε πρωτεΐνη και ταυτόχρονα να διατηρούνται υγιή ζώα.^[23]

Αξίζει να αναφερθεί ότι η εναλλαγή από τη χρήση εισαγόμενων πρωτεϊνικών τροφών στις καλλιέργειες του αγροκτήματος, εκτός από τη μείωση των εκπομπών μεταφοράς της ζωοτροφής συνδέεται και με την αποψίλωση των δασών στις περιοχές παραγωγής της σόγιας.^[21]

1.4.3. Αναπαραγωγή αγελάδων για μακροζωία

Οι αγελάδες γαλακτοπαραγωγής εξυπηρετούν τους ανθρώπους προσφέροντάς τους γάλα. Μεγαλύτερη ποσότητα γάλακτος σημαίνει μεγαλύτερη αξία της αγελάδας. Δεδομένου ότι καμία αγελάδα δεν μπορεί να υπερβεί τα γενετικά όρια της γαλακτοπαραγωγής της, οι αγρότες τείνουν να εξαλείψουν τα ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά των αγελάδων και να διατηρήσουν τα γονίδια που οδηγούν σε υψηλή παραγωγή γάλακτος και μακροζωία, μέσω της κατάλληλης αναπαραγωγής.^[17]

Οι κύριοι παράγοντες για την επέκταση της μακροζωίας των αγελάδων στα κοπάδια γαλακτοπαραγωγής είναι η βελτίωση της αναπαραγωγικής διαχείρισης και η αύξηση της απόδοσης των αγελάδων. Μεγαλύτερη μακροζωία αγελάδων σημαίνει ότι οι αγελάδες διατηρούνται στο κοπάδι για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, μειώνοντας την ανάγκη για αντικατάσταση δαμαλίδων με αποτέλεσμα να αυξάνεται η κερδοφορία της φάρμας λόγω μείωσης του κόστους εκτροφής.^[24]

Αρχικά, η γενετική αξιολόγηση της αγελάδας βασιζόταν στην επίδοση της ίδιας, ενώ στη συνέχεια σε σύγκριση με τη μητέρα της. Εάν ο αγρότης είχε βελτιώσει τη διαχείριση των κοπαδιών του, θα έπρεπε αυτή η επίδοση της δεύτερης αγελάδας να είναι καλύτερη. Έπειτα το σύστημα αναπτύχθηκε περαιτέρω και η επίδοση της αγελάδας συγκρινόταν με αυτή των υπολοίπων αγελάδων του κοπαδιού. Αυτό το σύστημα θεωρείται καλύτερο καθώς η σύγκριση γίνεται μεταξύ αγελάδων στις ίδιες συνθήκες και το ίδιο περιβάλλον.

Ο πιο απλός τρόπος για να αυξηθεί η μακροζωία της αγελάδας είναι η επιλεκτική αναπαραγωγή δύο μακρόβιων ζώων. Το κόστος της αντικατάστασης αγελάδων είναι σημαντικό. Η μέση διάρκεια ζωής μιας αγελάδας υπερβαίνει τα παραγωγικά της χρόνια στο κοπάδι. Έτσι, πρέπει κανείς να εξετάσει τους λόγους για τους οποίους οι αγελάδες θανατώνονται για να μπορεί να αποφασίσει εάν η κληρονομικότητα κάποιων πολύτιμων χαρακτηριστικών τους είναι αρκετά υψηλή ώστε να μπορεί να αυξήσει αποτελεσματικά τη διάρκεια της παραγωγικής ζωής μιας αγελάδας.^[17]

Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι τον 20^ο αιώνα οι αγρότες έστρεψαν την προσοχή τους στην επιλεκτική αναπαραγωγή βοοειδών με επιθυμητό αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής του γάλακτος παραμελώντας τη βελτίωση άλλων χαρακτηριστικών, σημαντικών για την υγεία και την ευημερία τους. Ως αποτέλεσμα, αυτή η παράβλεψη των αγροτών έχει οδηγήσει σε μια μη ισορροπημένη κατανομή της ενέργειας των αγελάδων στην παραγωγή γάλακτος που συχνά συνεπάγεται μείωση της γονιμότητας. Επίσης, όταν μια αγελάδα είναι γενετικά προγραμματισμένη για να θέσει την πλειοψηφία της μεταβολικής της ενέργειας στην παραγωγή γάλακτος, μπορεί να είναι πιο ευαίσθητη στο άγχος και τις ασθένειες.^[9]

1.4.4. Αγροφωτοβολταϊκά συστήματα

Τα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα (agrophotovoltaics - APV) αφορούν την ταυτόχρονη παραγωγή φωτοβολταϊκής ενέργειας και αγροτικών προϊόντων στο ίδιο χωράφι. Φωτοβολταϊκές μονάδες τοποθετούνται σε απόσταση 2 μέτρων πάνω από το έδαφος ώστε να υπάρχει αρκετός χώρος ενδιάμεσα της γης και της μονάδας, αποτρέποντας έτσι τη σκίαση των καλλιεργειών. Όταν οι φωτοβολταϊκές μονάδες τοποθετούνται αρκετά ψηλά πάνω από το έδαφος, σχεδόν τα δύο τρίτα της ηλιακής ακτινοβολίας, προσπίπτει στην επιφάνεια του εδάφους.^[25] Η παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά ακολουθεί τη φυσική μεταβλητότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, με μέγιστη παραγωγή κατά τη θερινή περίοδο και συγκεκριμένα τον Ιούλιο και ελάχιστη κατά τους χειμερινούς μήνες. Επομένως, η παραγωγή αυτού του είδους ενέργειας μπορεί να καλύψει εν μέρει τις ηλεκτρικές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια της χαμηλότερης ζήτησης, αλλά ακόμη και να τις υπερβεί κατά τη διάρκεια της υψηλότερης. Στην περίπτωση αυτή, το πλεόνασμα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διοχετεύεται στο δίκτυο και πωλείται.^[26] Δεδομένου ότι τα γαλακτοκομικά αγροκτήματα έχουν συχνά μεγάλους αχυρώνες, τα πάνελ που τοποθετούνται στην οροφή είναι κατάλληλα και είναι λιγότερο δαπανηρά στην εγκατάσταση από τα πάνελ που είναι τοποθετημένα σε ένα επίγειο σύστημα ραφιών.^[27] Μετά από 30 χρόνια εντατικής έρευνας και ανάπτυξης, από το 1982 που πρωτοεμφανίστηκε αυτή η έννοια, τα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα έχουν υιοθετηθεί ευρέως και εφαρμόζονται παγκοσμίως σε διάφορα εγχειρήματα και πιλοτικά προγράμματα. Διάφορες μελέτες έχουν δείξει ότι τα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα βελτιώνουν την παραγωγικότητα της γης αυξάνοντας τα αγροτικά εισοδήματα πάνω από 30%. Επιπλέον, τα αγροφωτοβολταϊκά συστήματα ελαχιστοποιούν τον ρυθμό εξάτμισης του νερού, πράγμα που σημαίνει ότι οι καλλιέργειες έχουν περισσότερο διαθέσιμο νερό από τις καλλιέργειες που καλλιεργούνται σε συνηθισμένο έδαφος, συμβάλλοντας σε σταθερές αποδόσεις. Τα συστήματα APV μπορεί επίσης να έχουν τις περισσότερες υποσχέσεις για το μέλλον σε τοποθεσίες με ξηρό και ημίξηρο κλίμα λόγω της ικανότητάς τους να βελτιώνουν την απόδοση του νερού ελαχιστοποιώντας την εξάτμιση και τις επιβλαβείς επιπτώσεις της παρατεταμένης έκθεσης στον ήλιο.^[25]

1.5. Στόχος

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο προσδιορισμός και η αξιολόγηση της μεταβολής του περιβαλλοντικού αποτυπώματος σε φάρμες γαλακτοπαραγωγής μέσω της εφαρμογής τεσσάρων έξυπνων αγροτικών πρακτικών, οι οποίες περιλαμβάνουν τη μετατροπή της ζωοτροφής ώστε να βασίζεται στο γρασίδι, τη χρήση τοπικών πηγών πρωτεΐνης, την αναπαραγωγή αγελάδων με στόχο τη μακροζωία, και την εφαρμογή αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων. Η ανάλυση γίνεται μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής (AKZ) που θα διεξαχθεί και στοχεύει στη σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μιας συμβατικής φάρμας γαλακτοπαραγωγής στην Ευρωπαϊκή Ένωση με το αποτύπωμα της ίδιας φάρμας σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια, όπου εφαρμόζεται μία περιβαλλοντικά έξυπνη πρακτική ανά σενάριο.

2. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

2.1.1. ISO 14040/14044

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) ή με αγγλικούς όρους Life Cycle Assessment (LCA), είναι το ισχυρότερο εργαλείο αξιολόγησης των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων προϊόντων ή υπηρεσιών σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής τους. Παραδείγματα περιβαλλοντικών επιπτώσεων αποτελούν η χρήση πόρων, η ανθρώπινη υγεία και οι οικολογικές συνέπειες.

Η μεθοδολογία για την Ανάλυση Κύκλου Ζωής έχει τυποποιηθεί στο πλαίσιο του Διεθνούς Οργανισμού Προτύπων (International Standard Organisation, ISO) μέσω της σειράς προτύπων ISO 14040. Τα πρότυπα παρέχουν αρχές, πλαίσιο και μεθοδολογικές απαιτήσεις για τη διεξαγωγή μελετών ανάλυσης κύκλου ζωής. Τα πρότυπα της σειράς προτύπων ISO 14040 που σχετίζονται με αυτή την εργασία είναι:

- ISO 14040:2006 Περιβαλλοντική διαχείριση – Ανάλυση κύκλου ζωής – Αρχές και πλαίσιο
- ISO 14044:2006 Περιβαλλοντική διαχείριση – Ανάλυση κύκλου ζωής – Απαιτήσεις και κατευθυντήριες γραμμές^[28]

Μια μελέτη LCA σύμφωνα με τη σειρά προτύπων ISO 14040 περιλαμβάνει τέσσερις κύριες φάσεις:

Ορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής: Καθορίζεται με σαφήνεια ο στόχος για τη μελέτη ανάλυσης κύκλου ζωής που καθοδηγεί τις επιλογές που πρέπει να γίνουν στις άλλες φάσεις της μελέτης και το πεδίο εφαρμογής που θα περιγράφει τη λεπτομέρεια και το βάθος της μελέτης.

Πιο συγκεκριμένα, ο στόχος θα πρέπει να περιλαμβάνει την προβλεπόμενη εφαρμογή και τον λόγο διεξαγωγής της μελέτης και αποτελεί θεμελιώδη βάση για τον καθορισμό του πεδίου εφαρμογής της μελέτης, το οποίο θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής:

- Το σύστημα προϊόντων και τα όρια του συστήματος, δηλαδή ποιες διεργασίες μονάδας περιλαμβάνονται στο σύστημα προϊόντων, καθώς και ποιες εισροές και εκροές θα πρέπει να περιλαμβάνονται. Η επιλογή των διαδικασιών που θα συμπεριληφθούν στο σύστημα εξαρτάται από τον στόχο για τη μελέτη και την επιδιωκόμενη εφαρμογή των αποτελεσμάτων.
- Η λειτουργία του συστήματος προϊόντων, που παρέχεται από το σύστημα προϊόντος και εκφράζεται από τη λειτουργική μονάδα.
- Η λειτουργική μονάδα, δηλαδή ένα ποσοτικό μέτρο της λειτουργίας του υπό μελέτη συστήματος, το οποίο παρέχει μια αναφορά στην οποία σχετίζονται οι εισροές και οι εκροές στο σύστημα προϊόντων. Αυτό επιτρέπει τη σύγκριση δύο διαφορετικών συστημάτων προϊόντων.
- Η ροή αναφοράς, μια φυσική ροή ενέργειας ή υλικών που απαιτούνται για την εκπλήρωση της λειτουργικής μονάδας
- Διαδικασίες κατανομής
- Μεθοδολογία εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων

- Απαιτήσεις δεδομένων
- Υποθέσεις και περιορισμοί
- Απαιτήσεις ποιότητας δεδομένων

Συλλογή Δεδομένων: Αυτή η φάση συλλογής δεδομένων (LCI phase) αποτελεί τη δεύτερη φάση της ανάλυσης κύκλου ζωής. Αφορά την συλλογή δεδομένων εισόδου και εξόδου (εισροές και εκροές) από το σύστημα που έχει οριστεί υπό μελέτη όπως η χρήση πόρων, οι εκπομπές στον αέρα, το νερό, το έδαφος, και οι ροές αποβλήτων. Επιπλέον, περιλαμβάνει τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων και τη συγκέντρωση της συνεισφοράς από κάθε διεργασία στο συνολικό αποτέλεσμα για το σύστημα. Η συλλογή μπορεί να γίνει από συνεντεύξεις, βάσεις δεδομένων ή βιβλιογραφικά.

Αξιολόγηση επιπτώσεων: Η φάση αξιολόγησης επιπτώσεων στον κύκλο ζωής (LCIA) είναι η τρίτη φάση της ΑΚΖ. Ο σκοπός της είναι η παροχή πρόσθετων πληροφοριών για να κατανοηθεί σαφέστερα η περιβαλλοντική σημασία των αποτελεσμάτων της προηγούμενης φάσης, δηλαδή των εισροών και εκροών για το σύστημα προϊόντων. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο μια συγκεκριμένη εκπομπή στον αέρα επηρεάζει διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η όξυνση κ.λπ.

Ερμηνεία Κύκλου Ζωής: Αυτή αποτελεί την τελική φάση της ανάλυσης κύκλου ζωής και αφορά την σύννοψη των αποτελεσμάτων των δύο προηγούμενων φάσεων και τη συζήτησή τους ως βάση για συμπεράσματα, συστάσεις και λήψη αποφάσεων σύμφωνα με τον ορισμό του στόχου και του πεδίου εφαρμογής.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάλυση κύκλου ζωής συνήθως δεν εξετάζει τις οικονομικές ή κοινωνικές πτυχές ενός προϊόντος.^[29]

2.1.2. Στάδια Κύκλου Ζωής

Υπάρχουν διάφορες έννοιες του κύκλου ζωής ενός προϊόντος, αλλά γενικά αποτελείται από πέντε στάδια:

1. Εξόρυξη πόρων και πρώτων υλών
2. Κατασκευή, μεταποίηση ή επεξεργασία
3. Μεταφορά και διανομή
4. Χρήση προϊόντος
5. Επαναχρησιμοποίηση, Ανακύκλωση ή Διαχείριση απορριμμάτων



Εικόνα 1: Στάδια κύκλου ζωής προϊόντος^[30]

Τα όρια του συστήματος μπορούν να είναι cradle-to-gate (από την αρχή της αλυσίδας μέχρι το τέλος της διαδικασίας παραγωγής) που αξιολογεί ένα προϊόν μέχρι να φύγει από το εργοστάσιο/φάρμα, δηλαδή πριν μεταφερθεί στον καταναλωτή, cradle-to-grave (από την αρχή της αλυσίδας έως το τέλος της ζωής του προϊόντος) που περιλαμβάνει και τα 5 στάδια κύκλου ζωής ή cradle-to-cradle (από την αρχή της αλυσίδας μέχρι την αρχή καινούργιας αλυσίδας) όπου ανταλλάσσει το στάδιο των απορριμμάτων με μια διαδικασία ανακύκλωσης που καθιστά τα υλικά ή τα εξαρτήματα επαναχρησιμοποιήσιμα για άλλο προϊόν – ουσιαστικά «κλείνοντας τον βρόχο».^[30]

2.1.3. Μεθοδολογίες εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Impact assessment methodologies)

Η εκτίμηση των επιπτώσεων στην ανάλυση κύκλου ζωής συνήθως πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μια έτοιμη μέθοδο εκτίμησης επιπτώσεων. Υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες μέθοδοι εκτίμησης επιπτώσεων μεσαίων και τελικών σημείων, η εγκυρότητα των οποίων ποικίλλει ως προς τη χρονική και γεωγραφική εμβέλεια.^[28] Μια από τις πιο γνωστές μεθόδους αποτελεί η CML 2002 η οποία δημιουργήθηκε από το Κέντρο Περιβαλλοντικών Μελετών (CML) στο Πανεπιστήμιο του Leiden στην Ολλανδία το 2001 και περιέχει περισσότερες από 1700 διαφορετικές ροές. Μια άλλη μέθοδος είναι η Eco-Indicator 99 η οποία εξακολουθεί να είναι πιθανώς μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους εκτίμησης επιπτώσεων στην ανάλυση κύκλου ζωής. Η Eco-Indicator 99 αντικατέστησε την Eco-Indicator 95, την πρώτη μέθοδο τελικού σημείου. Αυτή η μέθοδος αναλύει τρεις διαφορετικούς τύπους επιπτώσεων: την ανθρώπινη υγεία, την ποιότητα του οικοσυστήματος και τους πόρους.^[31] Άλλη μια μέθοδος εκτίμησης περιβαλλοντικών επιπτώσεων, η οποία θα ακολουθηθεί και στην παρούσα εργασία είναι η ReCiPe 2016. Η ReCiPe είναι μία μέθοδος που αναπτύχθηκε πρώτη φορά το 2008 και αφορά την αξιολόγηση των επιπτώσεων στον κύκλο ζωής. Ο κύριος στόχος αυτής της μεθόδου είναι η μετατροπή της μακράς λίστας των

αποτελεσμάτων του αποθέματος του κύκλου ζωής σε έναν περιορισμένο αριθμό δεικτών. Αυτοί οι δείκτες εκφράζουν τη σημαντικότητα σε μια κατηγορία περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι δείκτες στη ReCiPe προσδιορίζονται σύμφωνα με δύο μεθοδολογίες: μέσου σημείου (midpoint) κατά την οποία προσδιορίζονται 18 δείκτες μεσαίου σημείου που παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 και τελικού σημείου (endpoint) που προσδιορίζονται 3 δείκτες τελικού σημείου και παρουσιάζονται στον Πίνακα 2. [32]

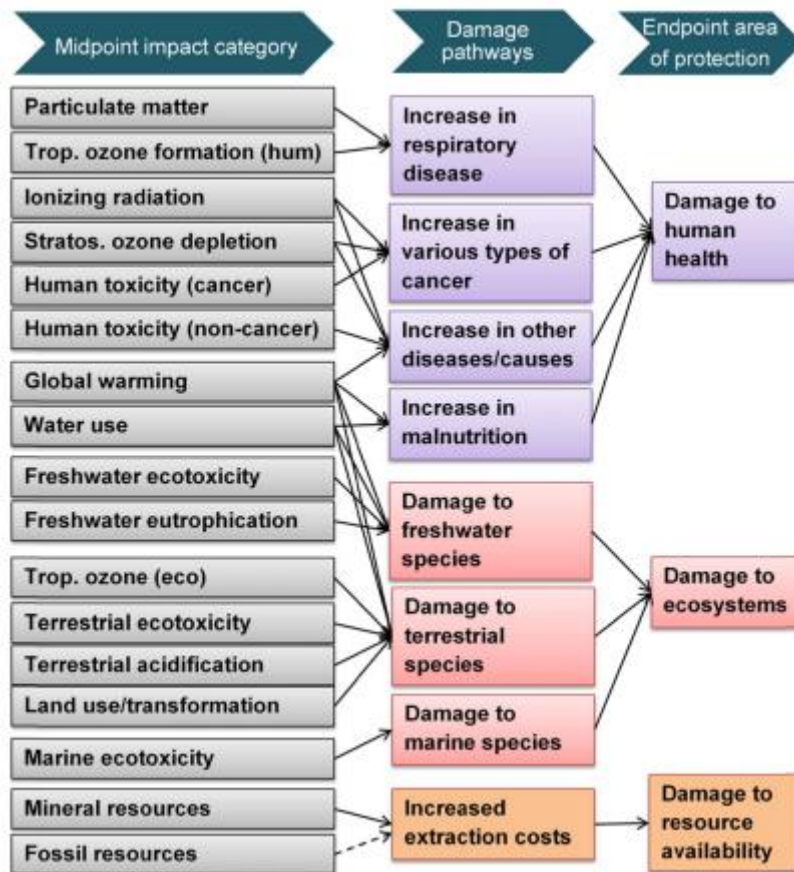
Πίνακας 1: Μεσαία σημεία της μεθοδολογίας ReCiPe

Επιπτώσεις Μεσαίου Σημείου	Δείκτης	Χαρακτηριστικοί Συντελεστές	Μονάδες μέτρησης
Κλιματική αλλαγή, εκτός του βιογενούς άνθρακα	Αύξηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας	Global warming potential (GWP)	kg CO ₂ -eq to air
Κλιματική αλλαγή συμπ/νου του βιογενούς άνθρακα	Αύξηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας	Global warming potential (GWP)	kg CO ₂ -eq to air
Καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος	Μείωση του στρατοσφαιρικού όζοντος	Ozone depletion potential (ODP)	kg CFC-11-eq to air
Ιονίζουσα ακτινοβολία	Αύξηση της απορροφούμενης δόσης	Absorbed dose increase Ionising radiation potential (IRP)	kBq Co-60-eq to air
Σχηματισμός λεπτών σωματιδίων	Αύξηση πρόσληψης PM _{2,5}	Particulate matter formation potential (PMFP)	kg PM _{2.5} -eq to air
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα	Αύξηση τροποσφαιρικού όζοντος	Photochemical oxidant formation potential: ecosystems (EOFP)	kg NO _x -eq to air
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία	Αύξηση της πρόσληψης πληθυσμού τροποσφαιρικού όζοντος	Photochemical oxidant formation potential: humans (HOFP)	kg NO _x -eq to air
Επίγεια Οξίνιση	Αύξηση πρωτονίων σε φυσικά εδάφη	Terrestrial acidification potential (TAP)	kg SO ₂ -eq to air
Ευτροφισμός γλυκού νερού	Αύξηση φωσφόρου στο γλυκό νερό	Freshwater eutrophication potential (FETP)	kg P-eq to freshwater

Τοξικότητα στον άνθρωπο, καρκίνος	Αύξηση κινδύνου εμφάνισης καρκινικών νοσημάτων	Human toxicity potential (HTPc)	kg 1,4-DCB-eq to urban air
Τοξικότητα στον άνθρωπο, εκτός καρκίνου	Αύξηση κινδύνου επίπτωσης μη καρκινικής νόσου	Human toxicity potential (HTPnc)	kg 1,4-DCB-eq to urban air
Επίγεια οικοτοξικότητα	Σταθμισμένη αύξηση κινδύνου στα φυσικά εδάφη	Terrestrial ecotoxicity potential (TETP)	kg 1,4-DCB-eq to industrial soil
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού	Σταθμισμένη ως προς τον κίνδυνο αύξηση στα γλυκά νερά	Freshwater ecotoxicity potential (FETP)	kg 1,4-DCB-eq to freshwater
Θαλάσσια οικοτοξικότητα	Σταθμισμένη αύξηση του θαλάσσιου νερού	Marine ecotoxicity potential (METP)	kg 1,4-DCB-eq to marine water
Χρήση γης	Κατοχή και χρονικά ολοκληρωμένη μεταμόρφωση γης	Agricultural land occupation potential (LOP)	m ² × yr annual cropland-eq
Κατανάλωση γλυκού νερού	Αύξηση του νερού που καταναλώνεται	Water consumption potential (WCP)	m ³ water-eq consumed
Εξάντληση μετάλλων	Αύξηση του εξορυσσόμενου μεταλλεύματος	Surplus ore potential (SOP)	kg Cu-eq
Εξάντληση ορυκτών πόρων	Ανώτερη τιμή θέρμανσης	Fossil fuel potential (FFP)	kg oil-eq

Πίνακας 2: Τελικά σημεία της μεθοδολογίας ReCiPe

Περιβαλλοντική επίπτωση τελικού σημείου	Μονάδα μέτρησης
Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου	DALY
Καταστροφή στα οικοσυστήματα	species.yr
Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων	\$



Εικόνα 2: Δομή εύρεσης τελικού σημείου με τη μεθοδολογία ReCiPe^[33]

Η μέθοδος αυτή υπερτερεί άλλων προσεγγίσεων αξιολόγησης επιπτώσεων του κύκλου ζωής καθώς διαθέτει το μεγαλύτερο σύνολο κατηγοριών επιπτώσεων μέσω σημείου, χρησιμοποιεί μηχανισμούς επιπτώσεων παγκόσμιας εμβέλειας και δεν περιλαμβάνει πιθανές επιπτώσεις από μελλοντικές εξαγωγές στην εκτίμηση επιπτώσεων, αλλά υποθέτει ότι αυτές οι επιπτώσεις έχουν συμπεριληφθεί στην ανάλυση απογραφής.

Οι δείκτες περιβαλλοντικών επιπτώσεων και οι μονάδες μέτρησης που τους αντιστοιχούν, αναλύονται στη συνέχεια:

- Κλιματική αλλαγή συμπεριλαμβανομένου του βιογενούς άνθρακα. Ο δείκτης αυτός, αφορά την ποσότητα θερμότητας που παγιδεύει ένα αέριο του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Δεδομένου ότι τα διαφορετικά αέρια του θερμοκηπίου έχουν διαφορετικές δυνατότητες υπερθέρμανσης του πλανήτη, οι επιπτώσεις τους εκφράζονται σε ισοδύναμα CO₂.
- Κλιματική Αλλαγή Εκτός Βιογενή Άνθρακα. Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στην κλιματική αλλαγή που σχετίζεται με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, χωρίς να λαμβάνεται υπόψη ο βιογενής άνθρακας. Επικεντρώνεται στην επίδραση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων που αυξάνουν τα αέρια του θερμοκηπίου και μετριέται επίσης σε ισοδύναμα CO₂.

- Σχηματισμός λεπτών σωματιδίων. Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στην πιθανότητα σχηματισμού μικρών αιωρούμενων σωματιδίων, τα οποία μπορεί να είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία όταν εισπνέονται και μετριέται σε kg PM_{2.5} eq. Η μονάδα μέτρησης αναφέρεται στα αιωρούμενα σωματίδια (Particulate Matter) διαμέτρου μικρότερης των 2.5 μm.
- Εξάντληση ορυκτών πόρων. Αυτός ο δείκτης μεσαίου σημείου αντικατοπτρίζει την κατανάλωση καυσίμων καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής και μετριέται σε kg oil eq. Αυτή είναι μια μονάδα μέτρησης που εκφράζει το ενεργειακό περιεχόμενο διαφόρων ορυκτών καυσίμων ως προς την ποσότητα ενέργειας που θα περιείχε ένα κιλό αργού πετρελαίου.
- Κατανάλωση γλυκού νερού. Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στην ποσότητα νερού που καταναλώνεται από το περιβάλλον κατά τη διάρκεια ζωής ενός προϊόντος ή διαδικασίας και μετριέται σε m³.
- Θαλάσσια οικοτοξικότητα. Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στις πιθανές τοξικές εκπομπές χημικών ουσιών στα θαλάσσια οικοσυστήματα και μετριέται σε kg 1,4 DB eq. Η επίδραση των διάφορων τοξικών ουσιών μετατρέπεται σε ισοδύναμη ποσότητα 1,4-Διχλωροβενζολίου, καθώς οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του τελευταίου έχουν μελετηθεί επαρκώς και μπορεί να λειτουργήσει ως αποτελεσματική ουσία αναφοράς.
- Ευτροφισμός γλυκού νερού. Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στην ποσότητα των θρεπτικών ουσιών, κυρίως του φωσφόρου, που απελευθερώνονται στο περιβάλλον και μπορούν να προκαλέσουν ευτροφισμό στα γλυκά νερά, όπως ποτάμια και λίμνες. Ο δείκτης μετριέται σε kg P eq. Καθώς ο φώσφορος αποτελεί το βασικό στοιχείο που προκαλεί φαινόμενα ευτροφισμού.
- Τοξικότητα στον άνθρωπο, καρκίνος. Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία από την έκθεση σε καρκινογόνες ουσίες και μετριέται σε kg 1,4-DB eq.
- Τοξικότητα στον άνθρωπο, εκτός καρκίνου. Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στην τοξικότητα που προκαλεί μια ουσία στον άνθρωπο, εκτός από καρκινικές επιδράσεις και μετριέται σε kg 1,4-DB eq.
- Ιοντίζουσα ακτινοβολία. Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στην ιοντίζουσα ακτινοβολία που εκπέμπεται από μια πηγή και μετριέται σε Bq C-60 eq. to air. Η μονάδα Bq (Becquerel) αναφέρεται στην ποσότητα ραδιενέργειας που εκπέμπεται σε σχέση με το ισότοπο κοβάλτιο-60 (C-60) ως αναφορά, για την καλύτερη κατανόηση της επίδρασης της ακτινοβολίας στον αέρα.
- Χρήση γης. Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στην έκταση γης που χρησιμοποιείται και μετριέται σε Annual crop eq.·y.
- Οικοτοξικότητα γλυκού νερού. Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στην τοξικότητα που προκαλείται στα οικοσυστήματα των γλυκών νερών όπως λίμνες και ποτάμια και μετριέται σε kg 1,4-DB eq.
- Θαλάσσιος ευτροφισμός. Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στην ποσότητα αζώτου που συμβάλλει στον θαλάσσιο ευτροφισμό και μετριέται σε kg N eq., δηλαδή στην ισοδύναμη ποσότητα αζώτου που προκαλεί ευτροφισμό.
- Εξάντληση μετάλλων. Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στην εξάντληση των φυσικών αποθεμάτων μεταλλευμάτων και μετριέται σε kg Cu eq., δηλαδή την ισοδύναμη ποσότητα χαλκού για να ποσοτικοποιήσει την εξάντληση μετάλλων.

- Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα. Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στο όζον που σχηματίζεται στο επίπεδο του εδάφους, όπου θεωρείται επιβλαβής ρύπος για τα οικοσυστήματα και μετριέται σε kg NO_x eq. Όλες οι ουσίες που συμβάλλουν στον φωτοχημικό σχηματισμό όζοντος εκφράζονται ως ισοδύναμα των οξειδίων του αζώτου.
- Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη υγεία. Ο δείκτης αυτός αναφέρεται στο σχηματισμό του όζοντος στο επίπεδο του εδάφους, που προκαλεί επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και μετριέται επίσης σε kg NO_x eq.
- Καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος. Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στην καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος και μετριέται σε kg CFC-11 eq., δηλαδή στην ποσότητα CFC-11 που ισοδυναμεί με την καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος, καθώς οι χλωροφθοράνθρακες είναι η κύρια ουσία που προκαλεί αυτό το φαινόμενο.
- Επίγεια Οξίνιση. Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στην όξυνση του εδάφους που προκαλείται από εκπομπές όξινων ουσιών. Η βασικότερη ουσία συνδεδεμένη με αυτό το φαινόμενο είναι το διοξείδιο του θείου, γι' αυτό και ο δείκτης αυτός μετριέται σε kg SO₂ eq.
- Επίγεια οικοτοξικότητα. Αυτός ο δείκτης αναφέρεται στις πιθανές επιβλαβείς επιπτώσεις που προκύπτουν από διάφορες χημικές ουσίες που απελευθερώνονται στα οικοσυστήματα της ξηράς, επηρεάζοντας οργανισμούς, φυτά και ζώα και μετριέται σε kg 1,4-DB eq.

Έπειτα, ακολουθεί η περιγραφή των δεικτών τελικών σημείων και των μονάδων μέτρησης που τους αντιστοιχούν.

- Η Καταστροφή στην ανθρώπινη υγεία αναφέρεται στις πιθανές επιπτώσεις των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων στην υγεία του ανθρώπου και μετριέται σε DALYs (Disability-Adjusted Life Years) δηλαδή έτη ζωής προσαρμοσμένα στην αναπηρία.
- Η Καταστροφή στα οικοσυστήματα αναφέρεται στην καταστροφή των οικοτόπων, τη ρύπανση και την απώλεια ειδών και μετριέται σε species.y δηλαδή σε ετήσια απώλεια ειδών.
- Η Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων αναφέρεται στην εξάντληση των φυσικών πόρων και μετριέται σε S, δηλαδή την πλεονάζουσα ενέργεια που απαιτείται για την εξόρυξη πόρων στο μέλλον, λόγω της τρέχουσας εξάντλησης.^[32]

2.1.4. Επιλογή λογισμικού πακέτου AKZ

Για την πραγματοποίηση μελετών ανάλυσης κύκλου ζωής και ανάλυσης περιβαλλοντικού αποτυπώματος υπάρχουν πολλά εργαλεία συμπεριλαμβανομένων του SimaPro, του OpenLCA και του GaBi. Στην παρούσα αξιολόγηση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό GaBi 6 από την PE International. Πιο συγκεκριμένα, προσομοιώθηκαν ένα σενάριο συμβατικής φάρμας γαλακτοπαραγωγής και τέσσερα σενάρια αφού έχουν εφαρμοστεί οι έξυπνες πρακτικές.

3. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΦΑΡΜΑΣ ΓΑΛΑΚΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

3.1. Ορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής (Goal and Scope definition)

Σε αυτό το στάδιο της AKZ ορίζεται ο στόχος και το πεδίο εφαρμογής, συμπεριλαμβανομένων άλλων απαραίτητων μεταβλητών όπως τα όρια του συστήματος και η λειτουργική μονάδα. Ο στόχος της AKZ που θα διεξαχθεί είναι η σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος μιας συμβατικής φάρμας γαλακτοπαραγωγής στην ευρωπαϊκή ένωση και της ίδιας φάρμας γαλακτοπαραγωγής σε τέσσερα διαφορετικά σενάρια, στο καθένα από τα οποία έχει εφαρμοστεί μία περιβαλλοντικά έξυπνη πρακτική, και συγκεκριμένα η μετατροπή της ζωοτροφής ώστε να είναι βασισμένη στο γρασίδι, η χρήση τοπικών πηγών πρωτεΐνης, η αναπαραγωγή αγελάδων με σκοπό τη μακροζωία και η εφαρμογή αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων, που αναλύθηκαν στην υποενότητα 1.5.

Όσον αφορά το πεδίο εφαρμογής, είναι απαραίτητος ο καθορισμός του συστήματος, της λειτουργικής μονάδας και των ορίων του συστήματος.

3.1.1. Ορισμός Συστήματος (Product System)

Το σύστημα που αξιολογείται είναι μια φάρμα γαλακτοπαραγωγής στην ευρωπαϊκή ένωση και συγκεκριμένα της Γερμανίας, της οποίας το κύριο προϊόν είναι το γάλα. Οι διεργασίες που περιλαμβάνονται εντός του συστήματος είναι οι εξής:

- Η παραγωγή της ζωοτροφής
- Η διαχείριση των ζώων
- Η διαχείριση της κοπριάς

Λειτουργική Μονάδα (Functional Unit)

Ως λειτουργική μονάδα βάσει της οποίας υπολογίστηκαν όλες οι εισροές και εκροές ορίστηκε το 1 kg γάλακτος.

3.1.2. Όρια Συστήματος (System Boundaries)

Τα όρια του συστήματος ορίζονται ως cradle-to-gate. Περιλαμβάνονται όλες οι διεργασίες από την αρχή της αλυσίδας, μέχρι το προϊόν, δηλαδή το γάλα να φύγει από την φάρμα εκτροφής. Δεν συμπεριλαμβάνονται δηλαδή οι διεργασίες που σχετίζονται με την μεταφορά τη συσκευασία και την αποθήκευση του προϊόντος.

3.1.3. Παραδοχές

Εξ αιτίας της ύπαρξης περιορισμένων διαθέσιμων βιβλιογραφικών δεδομένων αναφορικά με την συγκεκριμένη μελέτη, λήφθηκαν κάποιες παραδοχές προκειμένου η ανάλυση κύκλου ζωής να είναι όσο περισσότερο ολοκληρωμένη είναι εφικτό.

- Όσον αφορά την τιμή των νιτρικών λιπασμάτων που αποτελούν έναν καθοριστικό παράγοντα για τις αέριες εκπομπές, λήφθηκε η μέση τιμή χρήσης τους σε φάρμα της Ευρώπης το 2019, συνθήκες που είναι χρονολογικά συμβατές με εκείνες των υπόλοιπων βιβλιογραφικών δεδομένων.
- Στην ανάλυση δε λήφθηκαν υπόψη τα πλαστικά απόβλητα καθώς η ποσότητά τους δεν μεταβαλλόταν μελετώντας τα διαφορετικά σενάρια.
- Η ανάλυση έγινε θεωρώντας ότι η φάρμα εκτρέφει μόνο αγελάδες και όλες οι πρώτες ύλες καταναλώνονται από αυτές.
- Στην ανάλυση θεωρήθηκε ότι όλη η έκταση του αγροκτήματος ισούται με την ποσότητα του γρασιδιού που διατίθεται για να φάνε οι αγελάδες.
- Για την καταχώριση δεδομένων θεωρήθηκε ομοιόμορφη πυκνότητα κοπριάς ίση με $1006.54201 \text{ kg/m}^3$ ^[34] και ντίτζελ ίση με το μέσο όρο των τιμών που κυμαίνεται: 0.85 kg/L .^[35]
- Θεωρήθηκαν συμβατά δεδομένα που αναφέρονται σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες με παρόμοιο κλίμα.
- Όσον αφορά την κοπριά που παράγουν τα ζώα, αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι στη παρούσα εργασία θεωρείται ένα παραπροϊόν χωρίς αξία, δηλαδή δεν πωλείται αλλά δίνεται χωρίς κόστος. Συμπεριλαμβάνονται στην έρευνα μόνο οι εκπομπές που προκύπτουν από την κοπριά.

3.2. Απογραφή δεδομένων (Life Cycle Inventory, LCI)

Η συλλογή δεδομένων αποτελεί ένα από τα πιο καθοριστικά στάδια της ανάλυσης, καθώς η εγκυρότητα και η ακρίβειά τους επηρεάζουν άμεσα το αποτέλεσμα. Όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό GaBi, το οποίο προσφέρεται για αξιόπιστη λειτουργία ώστε να γίνει η απογραφή όλων των εισροών και των εκροών του συστήματος. Η μελέτη απεικονίζεται στο πρόγραμμα ως ένα πλάνο με καθορισμένα όρια, το οποίο αποτελείται από επιμέρους διεργασίες, ροές ή άλλα μικρότερα πλάνα.

Οι διεργασίες και οι ροές είναι εφικτό να κατασκευαστούν από το χρήστη, ενώ άλλες επιλέγονται από τις βάσεις δεδομένων που είναι ήδη καταχωρημένες στο πρόγραμμα. Οι ροές αποτελούν τα δεδομένα εισροής και εκροής και μπορούν είτε να συνδέσουν τις διεργασίες μεταξύ τους, είτε να εισέρχονται και να εξέρχονται από το σύστημα. Ο τελικός κατάλογος δεδομένων αποτελεί το σύνολο των ροών.

Η συλλογή δεδομένων για την παρούσα μελέτη έγινε από βιβλιογραφικές πηγές, τόσο για το συμβατικό σενάριο, όσο και για τις τέσσερις πρακτικές. Επιπλέον, τα δεδομένα που λήφθηκαν από το πρόγραμμα GaBi, προέρχονται από τη βάση δεδομένων Ecoinvent.

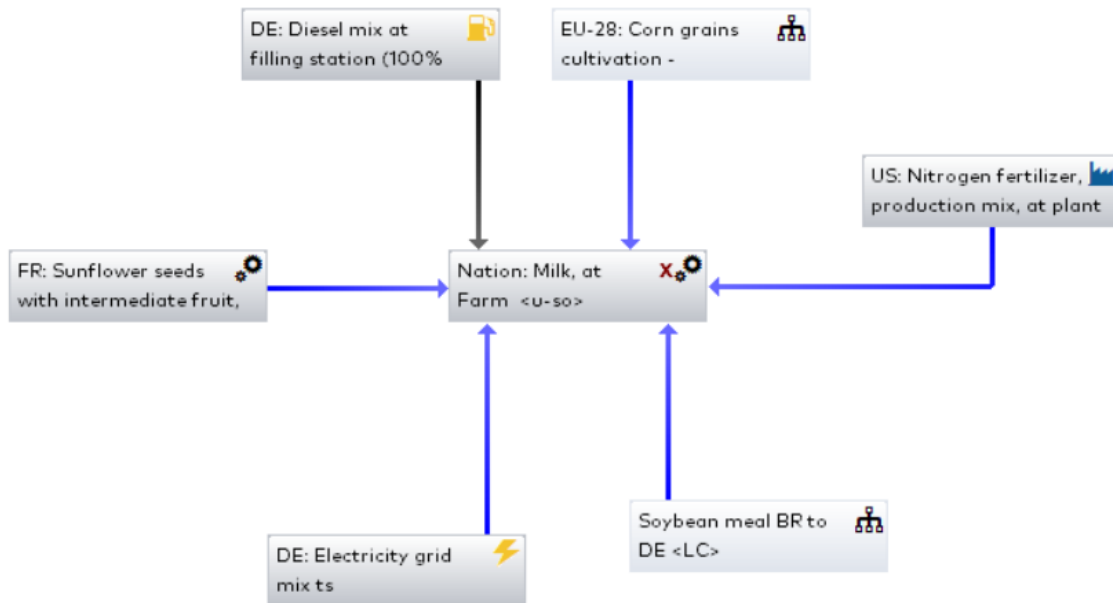
Η Ecoinvent είναι μια βάση δεδομένων που υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα αξιολογήσεων βιωσιμότητας και περιέχει περισσότερα από 20.000 αξιόπιστα σύνολα δεδομένων απογραφής κύκλου ζωής, που μοντελοποιούν ανθρώπινες δραστηριότητες και διαδικασίες αναφορικά με τους τομείς της γεωργίας, της κτηνοτροφίας, τις κατασκευές, τα χημικά και πλαστικά, την ενέργεια, τη δασοκομία και το ξύλο, τα μέταλλα, την κλωστοϋφαντουργία, τις μεταφορές, τα τουριστικά καταλύματα, την επεξεργασία απορριμμάτων και την ανακύκλωση και την παροχή νερού. Κάθε δραστηριότητα στη βάση δεδομένων Ecoinvent αποδίδεται σε μια γεωγραφική τοποθεσία. Καθώς η βάση δεδομένων Ecoinvent είναι μια βάση δεδομένων υποβάθρου, ο στόχος είναι να καλύψει δραστηριότητες στις πιο σχετικές γεωγραφίες για το επιλεγμένο προϊόν ή υπηρεσία. Έτσι, σχεδόν κάθε δραστηριότητα στη βάση δεδομένων διαθέτει ένα σύνολο δεδομένων που αντιπροσωπεύει τη διαδικασία σε παγκόσμιο επίπεδο, δηλαδή τη μέση παγκόσμια παραγωγή. Η δομή της βάσης δεδομένων είναι έτσι ώστε να μπορεί ο χρήστης να εντοπίσει το αντίκτυπο των προϊόντων του σε όλη την αλυσίδα εφοδιασμού και να κατανοήσει τα αποτελέσματά του. Οι διεργασίες στη βάση δεδομένων Ecoinvent αντιπροσωπεύουν τις μέσες συνθήκες παραγωγής σε μια γεωγραφική τοποθεσία, αντί για τις συγκεκριμένες συνθήκες της εταιρείας ή της τοποθεσίας. Για παράδειγμα, η βάση δεδομένων Ecoinvent θα περιέχει μια διαδικασία για τη μέση παραγωγή μπανάνας στον Εκουαδόρ, αντί για την παραγωγή μπανάνας στο αγρόκτημα μιας συγκεκριμένης εταιρείας φρούτων. Επιπλέον, τα προϊόντα που περιέχονται είναι κατά κύριο λόγο ενδιάμεσα προϊόντα παρά προϊόντα τελικής κατανάλωσης. Για παράδειγμα, η βάση δεδομένων θα περιέχει αλεύρι σίτου αλλά όχι ζυμαρικά από αυτό το αλεύρι.^[36]

3.2.1. Συμβατική Φάρμα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για το σενάριο μιας συμβατικής φάρμας στην ευρωπαϊκή ένωση παρουσιάζονται στον Πίνακα 3 και το πλάνο διεργασιών του GaBi απεικονίζεται στο Διάγραμμα 1:

Πίνακας 3: Βιβλιογραφικά δεδομένα συμβατικής φάρμας

Χαρακτηριστικό	Μονάδες Μέτρησης	Τιμή	Πηγή
αγρόκτημα	ha	565.40	https://doi.org/10.3390/su14106028
αγελάδες	#	648	https://doi.org/10.3390/su14106028
ηλιόσποροι	kg	191094	https://doi.org/10.3390/su14106028
σόγια	kg	9148	https://doi.org/10.3390/su14106028
αραβόσιτος	kg	181598	https://doi.org/10.3390/su14106028
νερό	kg	28035.56	https://doi.org/10.3390/su14106028
diesel	kg	154695.75	https://doi.org/10.3390/su14106028
ηλεκτρική ενέργεια	kWh	658693	https://doi.org/10.3390/su14106028
κοπριά	kg	26066418.48	https://doi.org/10.3390/su14106028
παραγόμενο γάλα	kg	6600000	https://doi.org/10.3390/su14106028



Διάγραμμα 1: Πλάνο διεργασιών στο GaBi για τη συμβατική φάρμα

Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη ανάλυση γίνεται για μια φάρμα της ευρωπαϊκής ένωσης και συγκεκριμένα της Γερμανίας. Τα βιβλιογραφικά δεδομένα για τη συμβατική φάρμα έχουν ληφθεί από μελέτη που έγινε σε μια ιταλική φάρμα βοοειδών γαλακτοπαραγωγής^[37]. Τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη ανάλυση παρά το γεγονός πως αναφέρονται σε διαφορετική χώρα λόγω της συμβατότητας των κλιμάτων της Ιταλίας και της Γερμανίας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4:

Πίνακας 4: Μελέτη συμβατότητας κλίματος Γερμανίας και Emilia Romagna της Ιταλίας^[38]

Ετήσιες τιμές	Γερμανία	Ιταλία Emilia Romagna
Μέγιστη θερμοκρασία ημέρας	14°C	18.80°C
Ελάχιστη θερμοκρασία ημέρας	5.8°C	9.2°C
Υγρασία	79%	70%
Ημέρες βροχής	117,6 ημέρες	73.2 ημέρες
Ώρες ηλιοφάνειας	1716 ώρες	2336 ώρες

Κατά την εισαγωγή δεδομένων στο GaBi, όπου υπήρχε δυνατότητα να γίνει επιλογή δεδομένων που βασίζονται στη Γερμανία προτιμήθηκε (ένδειξη DE), ενώ όπου δεν ήταν εφικτό επιλέχθηκαν δεδομένα της ευρωπαϊκής ένωσης και ως τελευταία επιλογή κάποιας άλλης χώρας.

Όσον αφορά το πλάνο της τροφής σόγιας (Soybean meal BR to DE), έχει ληφθεί υπόψη η μεταφορά της από την Νότια Αμερική, το μέρος στο οποίο συνήθως παράγεται το άλευρο σόγιας που προμηθεύονται οι αγρότες^[21] στη Γερμανία. Συγκεκριμένα, οι σπόροι σόγιας μεταφέρονται από τα αγροκτήματα στο εργοστάσιο σύνθλιψης με φορτηγά. Μετά τη σύνθλιψη, το άλευρο σόγιας διανέμεται σε εμπορικά θαλάσσια λιμάνια χρησιμοποιώντας διάφορους τρόπους μεταφοράς και συγκεκριμένα 60% οδικώς, 33% με τρένο και 7% οδικώς^[39], διανύοντας συνολική απόσταση 1000 χιλιομέτρων. Από τα λιμάνια, το άλευρο σόγιας έπειτα αποστέλλεται με φορτηγά πλοία από τη Βραζιλία στην Ευρώπη, ένα ταξίδι περίπου 10000 χιλιομέτρων.^[40]

Αναφορικά με την κοπριά, τα αέρια που εκπέμπονται από μια αγελάδα αντιστοιχούν σε 2600 kg ετησίως διοξείδιο του άνθρακα, 95 kg ετησίως μεθάνιο και 0,146 kg ετησίως οξείδιο του αζώτου. Οι τιμές αυτές, που βρέθηκαν βιβλιογραφικά, πολλαπλασιάστηκαν με τον αριθμό των αγελάδων και καταχωρήθηκαν στο GaBi στη διεργασία του γάλακτος (Milk, at farm) ως εκροές. Πιο συγκεκριμένα, οι εκροές που καταχωρήθηκαν για τα αέρια που εκπέμπονται από τις 648 αγελάδες που παράγουν 26066418.48 kg κοπριάς, οι οποίες παρατίθενται στον Πίνακα 5:

Πίνακας 5: Τιμές εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου για 1 αγελάδα

Αέριο	Τιμή	Μονάδες Μέτρησης	Πηγή
διοξείδιο του άνθρακα	1684800	kg/year	doi: 10.13031/2013.26895
Μεθάνιο οξείδιο του αζώτου	61430.9184	kg/year	https://www.epa.gov/snep/agriculture-and-aquaculture-food-thought#:~:text=A%20single%20cow%20produces%20between,(Our%20World%20in%20Data).
	94.608	kg/year	https://doi.org/10.3168/jds.2017-13272

Για την διεργασία λιπασμάτων νιτρικών (Nitrogen fertilizer), βρέθηκε βιβλιογραφικά η μέση τιμή ποσότητας που χρησιμοποιείται από μια φάρμα γαλακτοπαραγωγής το 2019, ίση με 128 kg N/ha/year.^[41] Στη συνέχεια η τιμή αυτή πολλαπλασιάστηκε με τα εκτάρια της φάρμας του συμβατικού σεναρίου, ώστε να υπολογιστεί η ολική ποσότητα νιτρικών που χρησιμοποιείται στη φάρμα. Η ποσότητα αυτή υπολογίστηκε ίση με $N_{fert} = 72371.2 \frac{\text{kg N}}{\text{year}}$

Τέλος, αναφορικά με τη διεργασία τροφής ηλιόσπορων (FR:Sunflower seeds), όπως φανερώνεται από την ένδειξη FR, η διαδικασία αναφέρεται στη Γαλλία. Η διαφορά μεταξύ του κλίματος της Γαλλίας και της Γερμανίας μπορεί να εντοπιστεί στον Πίνακα 6. Η κλιματολογική διαφορά των δύο χωρών μπορεί να επηρεάσει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Πίνακας 6: Μελέτη συμβατότητας κλίματος Γερμανίας και Γαλλίας^[38]

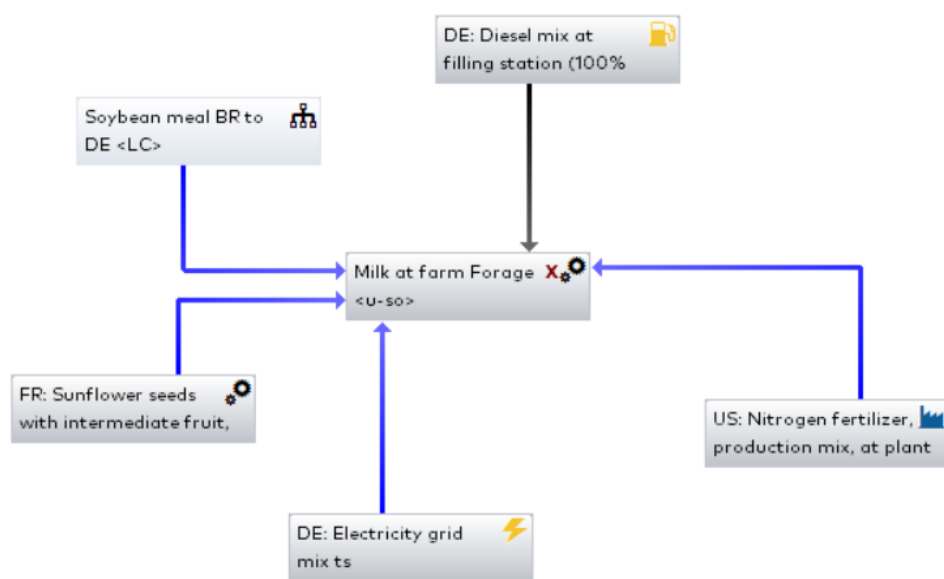
Ετήσιες τιμές	Γερμανία	Γαλλία
Μέγιστη θερμοκρασία ημέρας	14°C	17.2°C
Ελάχιστη θερμοκρασία ημέρας	5.8°C	8.4°C
Υγρασία	79%	78%
Ημέρες βροχής	117,6 ημέρες	105.6 ημέρες
Ώρες ηλιοφάνειας	1716 ώρες	2044 ώρες

3.2.2. Φάρμα Τροφής με βάση το Γρασίδι

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για το σενάριο μιας φάρμας στην ευρωπαϊκή ένωση στην οποία η τροφή των βοοειδών είναι βασισμένη στο γρασίδι, ή διαφορετικά απουσία δημητριακών παρουσιάζονται στον Πίνακα 7 και το πλάνο διεργασιών του GaBi απεικονίζεται στο Διάγραμμα 2:

Πίνακας 7: Βιβλιογραφικά δεδομένα φάρμας τροφής βασιζόμενη στο γρασίδι

Χαρακτηριστικό	Μονάδες Μέτρησης	Βασισμένη στο Γρασίδι	Συμβατική	% Μετατροπή	Πηγή
λιβάδι	ha	40	20	100%	https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.11.004
λίπασμα N	kg N/ha	260	85	206%	https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.11.004
παραγόμενο γάλα	kg/ cow per year	6639	8040	-17%	https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.11.004
αραβόσιτος	kg/ cow per year	0	1746		https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.11.004
γεύμα σόγιας	kg/ cow per year	120	325	-63%	https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.11.004



Διάγραμμα 2: Πλάνο διεργασιών στο GaBi για τη φάρμα τροφής βασισμένης στο γρασίδι

Για το σενάριο αυτό το πλάνο του αραβόσιτου (Corn grains cultivation) διαγράφηκε από το διάγραμμα ροής και αυξήθηκαν η ποσότητα του γρασιδιού και του λιπάσματος σημαντικά κατά 100% και 206%, αλλά μειώθηκαν οι ποσότητες της σόγιας και του παραγόμενου γάλακτος. Σημειώνεται λοιπόν ότι για να λειτουργήσει ένα τέτοιο σενάριο απαιτείται σημαντική έκταση γης, επηρεάζοντας και τους παράγοντες που την καλλιεργούν όπως τα λιπάσματα. Συγκεκριμένα, από τη μετατροπή των τιμών προέκυψαν τα νέα δεδομένα εισροής για το GaBi τα οποία απεικονίζονται στον Πίνακα 8:

Πίνακας 8: Βιβλιογραφικά δεδομένα φάρμας τροφής που βασίζεται στο γρασίδι συγκριτικά με συμβατική φάρμα

Χαρακτηριστικό	Συμβατική Φάρμα	Φάρμα Τροφής βασισμένης στο Γρασίδι	Μονάδα μέτρησης
αγελάδες	648	648	#
αγρόκτημα	565.4	1130.8	ha
ηλεκτρική ενέργεια	658693	658693	kwh
αραβόσιτος	181598	181598	kg
κοπριά	26066418.48	26066418.48	kg
σόγια	9148	3377.72	kg
νερό	28035.56	28035.56	kg
diesel	154695.75	154695.75	kg
ηλιόσποροι	191094	191094	kg
N λίπασμα	72371.2	221370.73	kg
παραγόμενο γάλα	6600000	5449925.37	kg
διοξείδιο του άνθρακα	1684800	1684800	kg
μεθάνιο	61430.9184	61430.9184	kg
οξείδιο του αζώτου	94.608	94.608	kg

3.2.3. Φάρμα Τοπική Πηγής Πρωτεΐνης

Όσον αφορά το σενάριο χρήσης τοπικών πηγών πρωτεΐνης, έναντι της εισαγωγής σόγιας από την Νότια Αμερική, εξετάστηκε το ενδεχόμενο αντικατάστασης της σόγιας με τοπικές καλλιέργειες πλούσιες σε πρωτεΐνες όπως το φασόλι και η ελαιοκράμβη.^[21]

Τα βιβλιογραφικά δεδομένα για το σενάριο φάρμας τοπικής πηγής πρωτεΐνης παρουσιάζονται στον Πίνακα 9 και το διάγραμμα ροής στο GaBi στο Διάγραμμα 3:

Όπως φαίνεται έχει διαγραφεί το πλάνο της τροφής της σόγιας (Soybean meal BR to DE) η οποία παράγεται στη Βραζιλία και έχουν προστεθεί οι διεργασίες τροφής αρακά (Peas, at field) και ελαιοκράμβης (Rapeseed meal). Οι τιμές για την ποσότητα του αρακά και της ελαιοκράμβης υπολογίστηκαν αναλογικά. Συγκεκριμένα, στη βιβλιογραφική πηγή από την οποία προέκυψαν τα δεδομένα για αυτό το σενάριο, η ποσότητα σόγιας για τη συμβατική φάρμα ήταν ίση με 23976 kg, ενώ η ποσότητες αρακά και ελαιοκράμβης για την φάρμα τοπικής πηγής πρωτεΐνης ήταν ίσες με 60237 kg και 87561 kg αντίστοιχα.^[21] Επομένως υπολογίστηκε αναλογικά ότι η ποσότητα αρακά ήταν το 60% της σόγιας και η ποσότητα ελαιοκράμβης ήταν το 70% της σόγιας. Άρα η ποσότητα αρακά και ελαιοκράμβης για το σενάριο τοπικής πηγής πρωτεΐνης της παρούσας εργασίας υπολογίστηκε ως εξής:

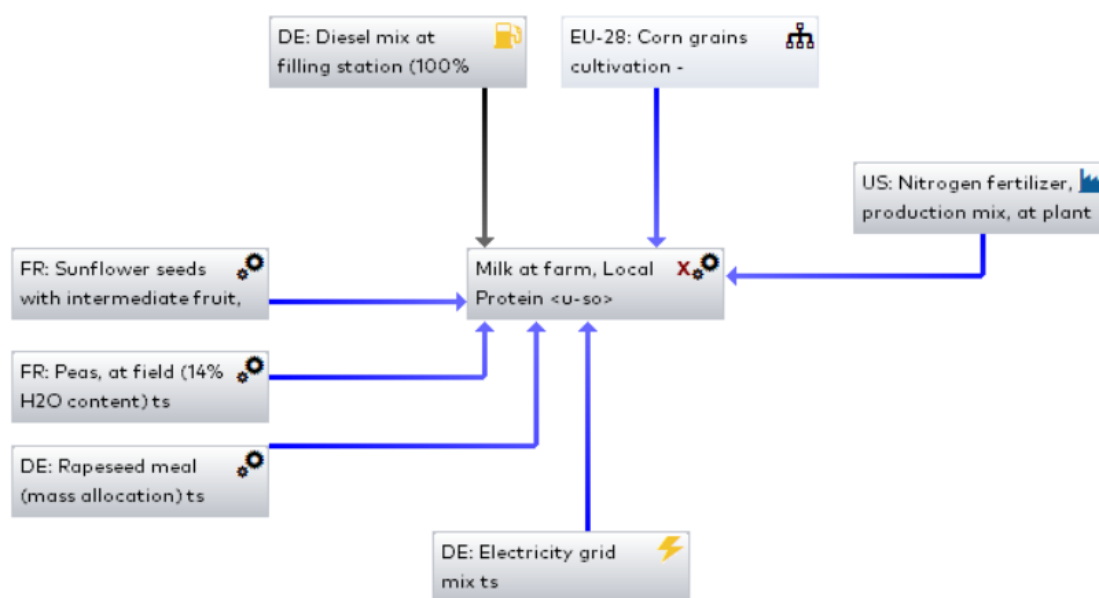
$$\text{αρακάς} = 15246.67 \text{ kg και ελαιοκράμβη} = 12531.51 \text{ kg,}$$

όπου η μεταβλητή σόγια αναφέρεται στη τιμή της σόγιας του συμβατικού σεναρίου.

Πίνακας 9: Βιβλιογραφικά δεδομένα για τη φάρμα τοπικής πηγής πρωτεΐνης

Χαρακτηριστικό	Μονάδες Μέτρησης	Τοπική Πρωτεΐνη	Εισαγόμενη Πρωτεΐνη	% Μετατροπή	Πηγή
αραβόσιτος	kg	20.5	25.1	-18%	https://doi.org/10.1017/S1751731114001293
κοπριά	kg/cow per year	1900	2100	-10%	https://doi.org/10.1017/S1751731114001293
N λίπασμα	kg N/ha per year	335.6	445	-25%	https://doi.org/10.1017/S1751731114001293
diesel	kg/ha	27854	24624	13%	https://doi.org/10.1017/S1751731114001293
παραγόμενο γάλα	kg/ha	33200	29900	11%	https://doi.org/10.1017/S1751731114001293
σόγια	kg	0	23976		https://doi.org/10.1017/S1751731114001293
αρακάς	kg	60237.00	0		https://doi.org/10.1017/S1751731114001293
ελαιοκράμβη	kg	87561	0		https://doi.org/10.1017/S1751731114001293

Η μετατροπή της ποσότητας της κοπριάς, συνεπάγεται την αναλογική μετατροπή των αερίων που εκπέμπονται από μια αγελάδα και υπολογίστηκαν για το συμβατικό σενάριο. Έτσι, για το σενάριο της φάρμας τοπικής πρωτεΐνης εκπέμπονται 1524342.857 kg CO₂, 55580.35474 kg CH₄ και 85.59771429 kg N₂O.



Διάγραμμα 3: Πλάνο διεργασιών στο GaBi για τη φάρμα τοπικής πηγής πρωτεΐνης

Από τη μετατροπή των τιμών προέκυψαν τα δεδομένα εισροής για το σενάριο της φάρμας που χρησιμοποιεί τοπικές πηγές πρωτεΐνης, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 10:

Πίνακας 10: Βιβλιογραφικά δεδομένα φάρμας τοπικής πηγής πρωτεΐνης συγκριτικά με συμβατική φάρμα

Χαρακτηριστικό	Συμβατική Φάρμα	Φάρμα Τοπικής Πρωτεΐνης	Μονάδες Μέτρησης
αγελάδες	648	648	#
αγρόκτημα	565.4	565.4	ha
ηλεκτρική ενέργεια	658693	658693	kwh
αραβόσιτος	181598	148317.09	kg
κοπριά	26066418.48	23583902.44	kg
σόγια	9148	0	kg
νερό	28035.56	28035.56	kg
diesel	154695.75	154695.75	kg
ηλιόσποροι	191094	191094	kg
N λίπασμα	72371.2	54579.27	kg
παραγόμενο γάλα	6600000	7326000	kg
αρακάς	0	15246.67	kg
ελαιοκράμβη	0	12531.51	kg
διοξείδιο του άνθρακα	1684800	1524342.857	kg
μεθάνιο	61430.9184	55580.35474	kg
οξείδιο του αζώτου	94.608	55580.35474	kg

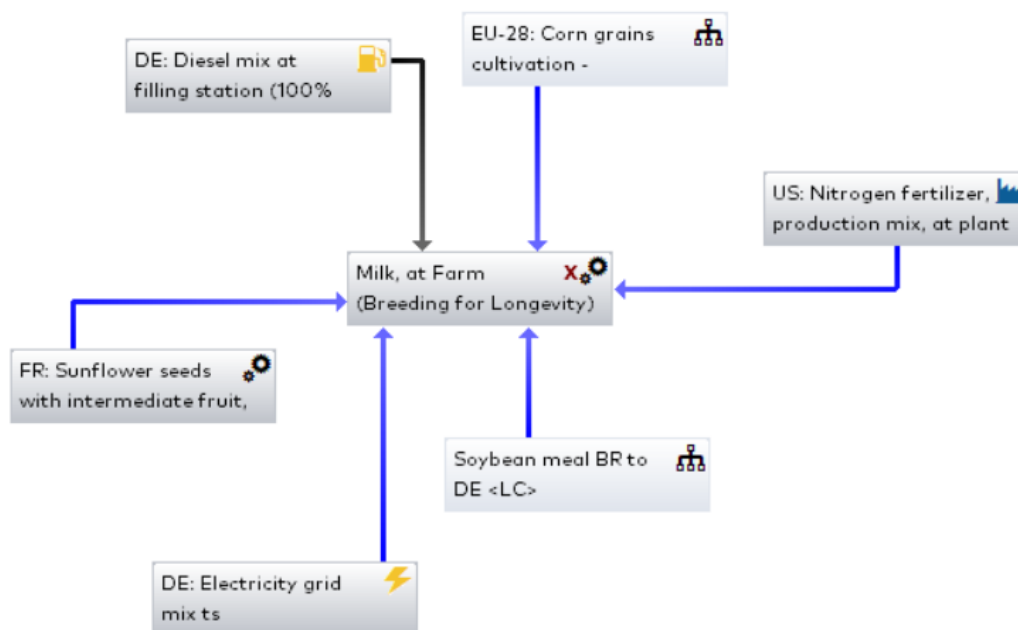
Παρατηρείται ότι η τιμή του αραβόσιτου σε αυτό το σενάριο είναι χαμηλότερη από το συμβατικό, όπως και της κοπριάς και του λιπάσματος νιτρικών. Αντιθέτως, η παραγωγή γάλατος αυξάνεται κατά 11%. Οι διεργασίες τροφής αρακά και ελαιοκράμβης αναφέρονται στη Γαλλία, της οποίας το κλίμα έχει ήδη σχολιαστεί συγκριτικά με της Γερμανίας.

3.2.4. Φάρμα Αναπαραγωγής Αγελάδων για Μακροζωία

Για το σενάριο φάρμας γαλακτοπαραγωγής στην οποία εφαρμόζονται τεχνικές επιλεγμένης αναπαραγωγής των βοοειδών με σκοπό τη μακροζωία των ζώων και κατά συνέπεια την αυξημένη παραγωγική ζωή τους, δηλαδή περισσότερη ποσότητα γάλακτος από το κάθε ζώο, μελετήθηκαν τα χαρακτηριστικά μιας φάρμας στην οποία εφαρμόστηκε μια μέθοδος διατροφής των αγελάδων παρουσίας και απουσίας σόγιας, με σκοπό την επιμήκυνση της διάρκειας ζωής τους. Τα δεδομένα παρουσιάζονται στον Πίνακα 11 και το διάγραμμα ροής στο Διάγραμμα 4:

Πίνακας 11: Βιβλιογραφικά δεδομένα για τη φάρμα αναπαραγωγής για μακροζωία

Χαρακτηριστικό	Μονάδες Μέτρησης	Φάρμα για Μακροζωία	Συμβατική Φάρμα	% Μετατροπή	Πηγή
παραγόμενο γάλα	kg	13.3	10.6	20%	doi:10.1017/S175173111800112X
γρσσίδι	kg	9.8	11.7	-19%	doi:10.1017/S175173111800112X
αράβόσιτος	kg	10.9	8.8	19%	doi:10.1017/S175173111800112X



Διάγραμμα 4: Πλάνο διεργασιών στο GaBi για τη φάρμα αναπαραγωγής για μακροζωία

Από τη μετατροπή των τιμών προέκυψαν τα δεδομένα εισροής για το σενάριο της φάρμας αναπαραγωγής των αγελάδων για μακροζωία, τα οποία παρουσιάζονται στον Πίνακα 12:

Πίνακας 12: Βιβλιογραφικά δεδομένα φάρμας αναπαραγωγής για μακροζωία συγκριτικά με συμβατική φάρμα

Χαρακτηριστικό	Συμβατική Φάρμα	Φάρμα για Μακροζωία	Μονάδες Μέτρησης
αγελάδες	648	648	#
αγρόκτημα	565.4	455.78	ha
ηλεκτρική ενέργεια	658693	658693	kwh
αραβόσιτος	181598	216584.77	kg
κοπριά	26066418.48	26066418.48	kg
σόγια	9148	9148	kg
νερό	28035.56	28035.56	kg
diesel	154695.75	154695.75	kg
ηλιόσποροι	191094	191094	kg
N λίπασμα	72371.2	72371.2	kg
παραγόμενο γάλα	6600000	7939849.63	kg
διοξείδιο του άνθρακα	1684800	1684800	kg
μεθάνιο	61430.9184	61430.9184	kg
οξείδιο του αζώτου	94.608	94.608	kg

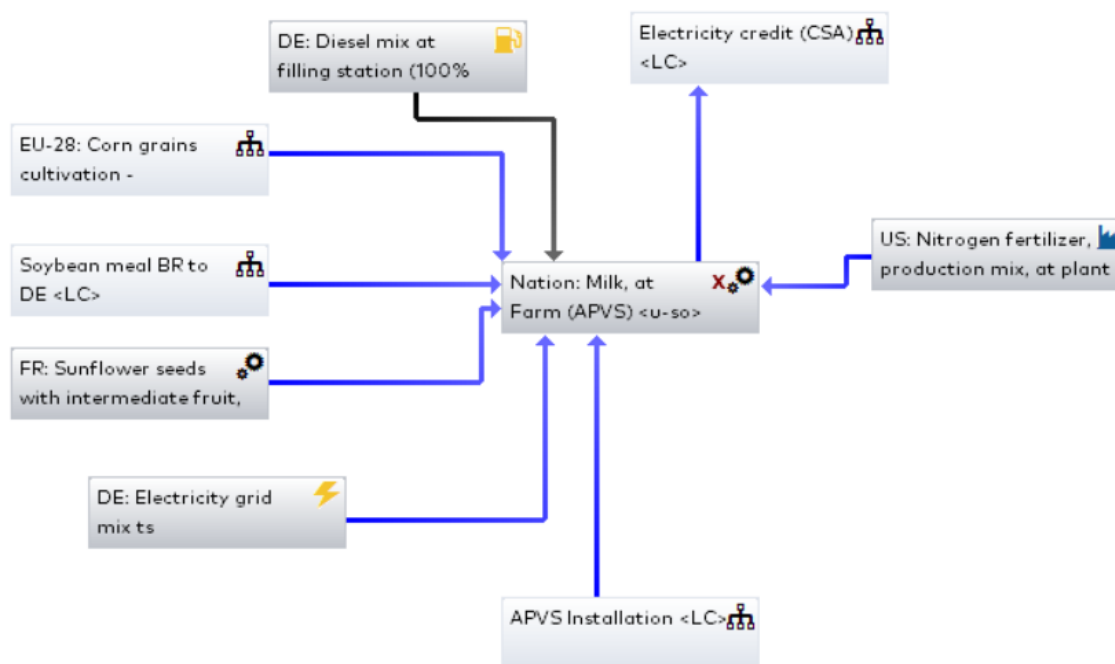
Παρατηρείται το γεγονός πως για αυξημένη παραγωγή γάλακτος, προτιμάται οι αγελάδες να καταναλώνουν περισσότερα δημητριακά και λιγότερο γρασίδι.

3.2.5. Φάρμα με Αγροφωτοβολταϊκά Συστήματα (APVS)

Όσον αφορά το σενάριο φάρμας στην οποία έχουν τοποθετηθεί αγροφωτοβολταϊκά συστήματα, υπολογίστηκε η συνολική παραγωγή ηλιακής ενέργειας που λαμβάνει χώρα στη φάρμα. Συγκεκριμένα, οι θάλαμοι των αγελάδων έχουν διαστάσεις 2,8m² ο ένας.^[42] Δεδομένου ότι οι αγελάδες της φάρμας έχουν οριστεί 648, και η κάθε μια καταλαμβάνει έναν θάλαμο, η συνολική έκταση οροφής που θα είναι διαθέσιμη για την τοποθέτηση φωτοβολταϊκών πάνελ είναι ίση με 1866.24 m².

Στο GaBi συμπεριλήφθηκαν τα πλάνα της παραγωγής και εγκατάστασης των συστημάτων APV, τα οποία χρησιμοποιούν δεδομένα της Ecoinvent. Τα δεδομένα της παραγωγής αντιστοιχούν σε 1 m² πάνελ και τα δεδομένα της εγκατάστασης αντιστοιχούν σε 1 μονάδα 570kW. Τα ηλιακά συστήματα ισχύος 570 kW μπορούν να αποτελούνται από διαφορετικό αριθμό πάνελ ανάλογα με το μέγεθος των ηλιακών συλλεκτών. Ο πιο κοντινός συνδυασμός στην διαθέσιμη έκταση για τοποθέτηση στη φάρμα είναι να εγκατασταθούν 1140 πάνελ των 500W με εμβαδόν 1.75 m².^[43] Αυτές οι διαστάσεις υποδηλώνουν ότι θα εγκατασταθεί ένα πάνελ σε κάθε θάλαμο. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι διαστάσεις απέχουν, γεγονός που θα πρέπει να ληφθεί υπόψη στην αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Όπως προαναφέρθηκε, η Γερμανία έχει 1716 ώρες

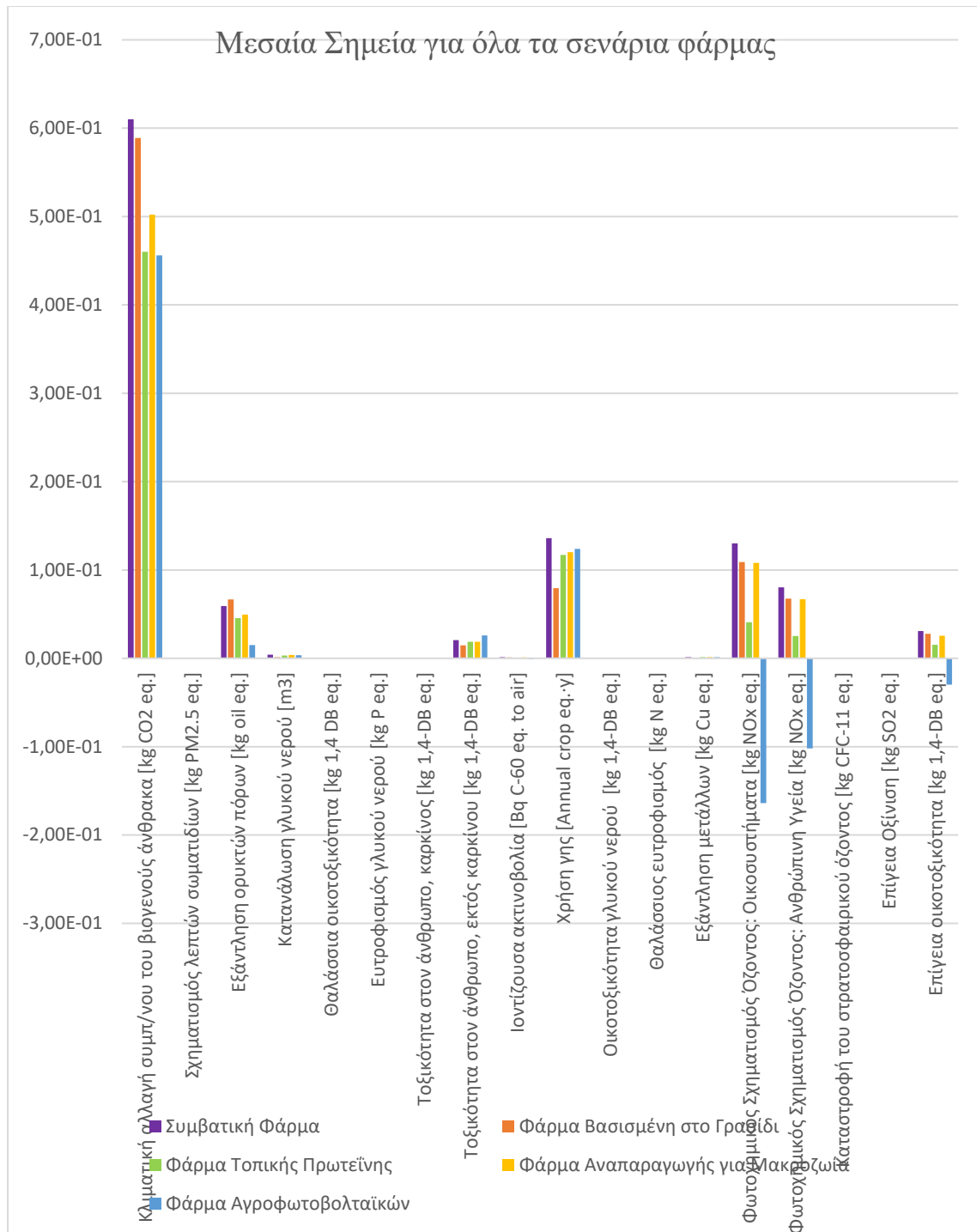
ηλιοφάνειας τον χρόνο, επομένως η συνολική παραγωγή ηλιακής ενέργειας θα είναι 1601233.92 kWh. Αυτή η τιμή καταχωρήθηκε στο GaBi ως electricity credit.



Διάγραμμα 5: Πλάνο διεργασιών στο GaBi για τη φάρμα με αγροφωτοβολταϊκά συστήματα

4. Αποτελέσματα

Σε αυτή την παράγραφο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα περιβαλλοντικού αποτυπώματος από την ανάλυση κύκλου ζωής για καθένα από τα σενάρια που κατασκευάστηκαν και μοντελοποιήθηκαν. Παρουσιάζονται οι δείκτες των μεσαίων και τελικών σημείων για κάθε σενάριο και διαγράμματα σύγκρισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των τεσσάρων έξυπνων πρακτικών μεταξύ τους, αλλά και συγκριτικά με την συμβατική φάρμα. Τα έξι μεσαία σημεία που κρίθηκαν περισσότερο σημαντικά, είναι τα εξής:

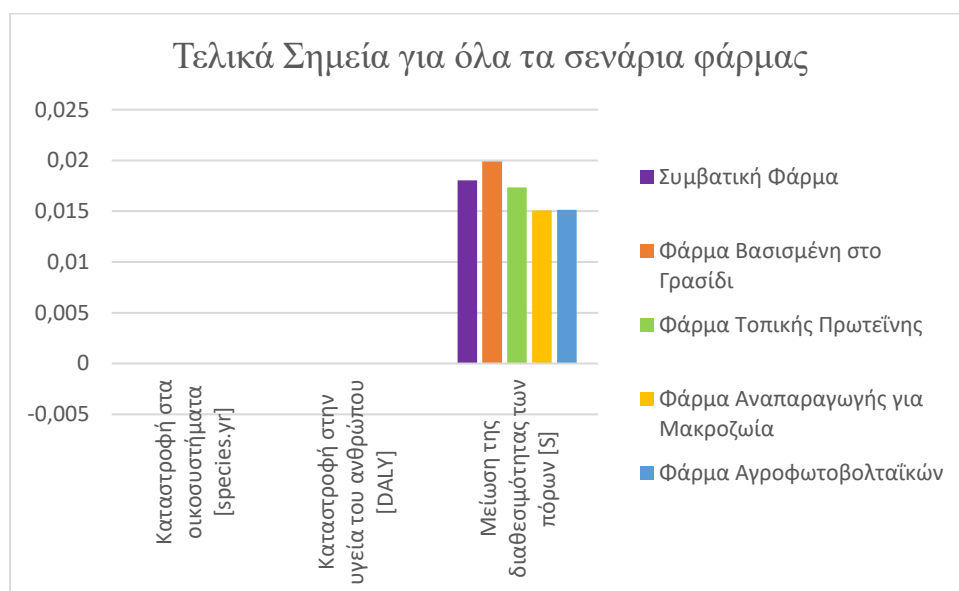


Διάγραμμα 6: Μεσαία Σημεία για όλα τα σενάρια φάρμας

Οι δείκτες μεσαίου σημείου που επηρεάζονται περισσότερο και θα εξεταστούν αναλυτικά για τις τέσσερις έξυπνες αγροτικές πρακτικές είναι οι εξής:

- Κλιματική αλλαγή συμπεριλαμβανομένου του βιογενούς άνθρακα
- Εξάντληση ορυκτών πόρων
- Χρήση γης
- Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα
- Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη υγεία
- Επίγεια οικοτοξικότητα

Στο Διάγραμμα 7, παρουσιάζονται τα τρία τελικά σημεία για όλα τα σενάρια φάρμας που κατασκευάστηκαν.



Διάγραμμα 7: Τελικά Σημεία για όλα τα σενάρια φάρμας

4.1. Αποτελέσματα Συμβατικής Φάρμας

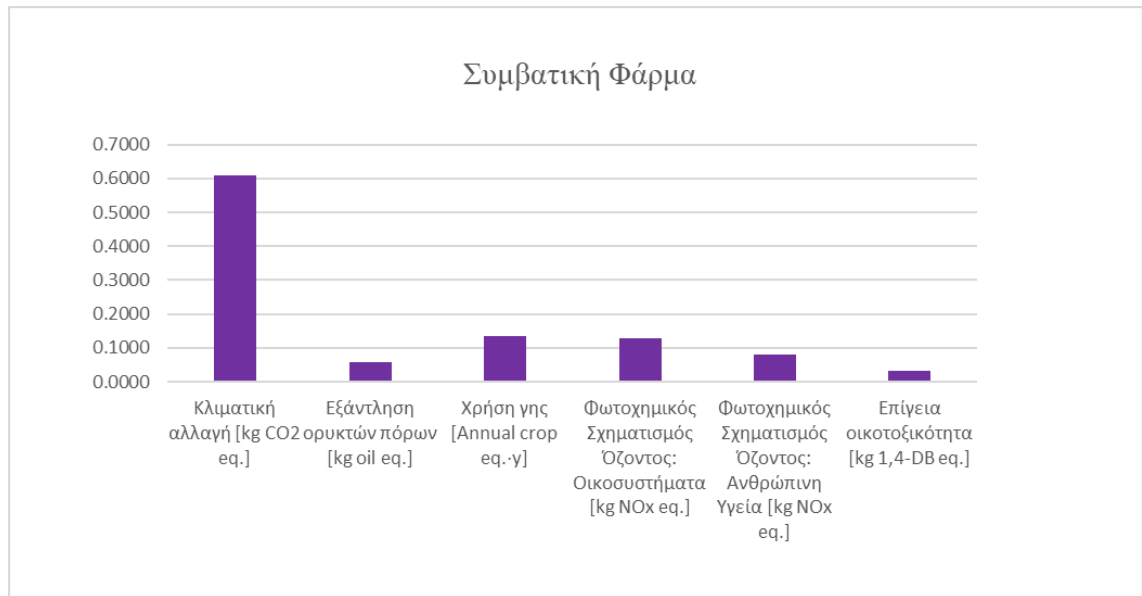
Από την ανάλυση κύκλου ζωής προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα αναφορικά με τους δείκτες επιπέδου μεσαίου σημείου για το σενάριο της συμβατικής φάρμας.

Πίνακας 13: Αποτελέσματα μεσαίου σημείου για το συμβατικό σενάριο.

Μεσαία σημεία Συμβατικής Φάρμας	
Κλιματική αλλαγή εκτός του βιογενούς άνθρακα [kg CO2 eq.]	6.90E-01
Κλιματική αλλαγή συμπ/νου του βιογενούς άνθρακα [kg CO2 eq.]	6.10E-01
Σχηματισμός λεπτών σωματιδίων [kg PM2.5 eq.]	1.11E-04
Εξάντληση ορυκτών πόρων [kg oil eq.]	5.93E-02
Κατανάλωση γλυκού νερού [m3]	4.11E-03
Θαλάσσια οικοτοξικότητα [kg 1,4 DB eq.]	1.80E-04
Ευτροφισμός γλυκού νερού [kg P eq.]	1.68E-05
Τοξικότητα στον άνθρωπο, καρκίνος [kg 1,4-DB eq.]	4.16E-05
Τοξικότητα στον άνθρωπο, εκτός καρκίνου [kg 1,4-DB eq.]	2.06E-02
Ιοντίζουσα ακτινοβολία [Bq C-60 eq. to air]	1.36E-03
Χρήση γης [Annual crop eq. · y]	1.36E-01
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού [kg 1,4-DB eq.]	2.64E-04
Θαλάσσιος ευτροφισμός [kg N eq.]	7.94E-05
Εξάντληση μετάλλων [kg Cu eq.]	1.44E-03
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα [kg NOx eq.]	1.30E-01
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία [kg NOx eq.]	8.04E-02
Καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος [kg CFC-11 eq.]	8.47E-07
Επίγεια Οξίνιση [kg SO2 eq.]	4.00E-04
Επίγεια οικοτοξικότητα [kg 1,4-DB eq.]	3.08E-02

Πίνακας 14: Αποτελέσματα τελικού σημείου για το συμβατικό σενάριο

Τελικά σημεία Συμβατικής Φάρμας	
Καταστροφή στα οικοσυστήματα [species.yr]	2.2E-08
Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου [DALY]	1.4E-06
Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων [S]	0.01803



Διάγραμμα 8: Κύρια Μεσαία Σημεία Συμβατικής Φάρμας

Η Κλιματική αλλαγή από τους δείκτες μεσαίων σημείων που εξετάζονται αναλυτικά, ανέρχεται στη τιμή των 0.6100 kg CO₂ eq., η Εξάντληση ορυκτών πόρων στην τιμή 0.0593 kg oil eq., η Χρήση γης στην τιμή 0.1360 Annual crop eq.·y, ο Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα στην τιμή 0.1300 kg NO_x eq., ο Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία στην τιμή 0.0804 kg NO_x eq. και τέλος η Επίγεια οικοτοξικότητα στην τιμή 0.0308 kg 1,4-DB eq.

Όσον αφορά τα τελικά σημεία, η Καταστροφή στα οικοσυστήματα ανέρχεται σε 2.17E-08 species.yr., η Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου σε 1.36E-06 DALY και η Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων σε 0.0180 S.

4.2. Αποτελέσματα Φάρμας Βασισμένης στο Γρασίδι

Αναφορικά με τη φάρμα στην οποία έχει γίνει μετατροπή της τροφής έτσι ώστε να είναι βασισμένη στο γρασίδι, προέκυψαν από την ανάλυση κύκλου ζωής τα αποτελέσματα του Πίνακα 15 για τα μεσαία σημεία και του Πίνακα 16 για τα τελικά σημεία:

Πίνακας 15: Αποτελέσματα μεσαίου σημείου για το σενάριο φάρμας βασισμένης στο γρασίδι.

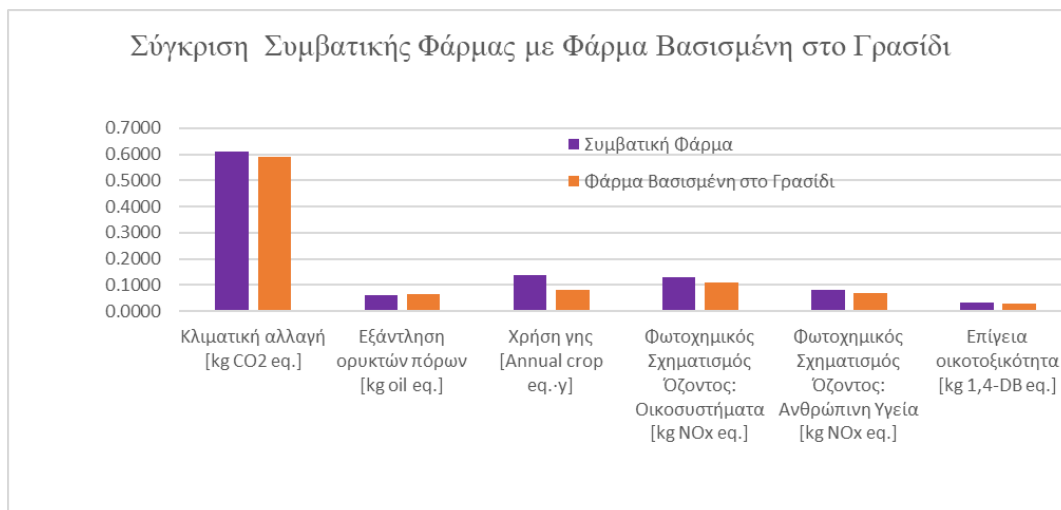
Μεσαία σημεία Φάρμας Βασισμένης στο Γρασίδι	
Κλιματική αλλαγή εκτός του βιογενούς άνθρακα [kg CO ₂ eq.]	6.22E-01
Κλιματική αλλαγή συμπ/νου του βιογενούς άνθρακα [kg CO ₂ eq.]	5.89E-01
Σχηματισμός λεπτών σωματιδίων [kg PM _{2.5} eq.]	1.94E-04
Εξάντληση ορυκτών πόρων [kg oil eq.]	6.66E-02
Κατανάλωση γλυκού νερού [m ³]	1.39E-03
Θαλάσσια οικοτοξικότητα [kg 1,4 DB eq.]	2.64E-04
Ευτροφισμός γλυκού νερού [kg P eq.]	1.13E-05
Τοξικότητα στον άνθρωπο, καρκίνος [kg 1,4-DB eq.]	4.35E-05
Τοξικότητα στον άνθρωπο, εκτός καρκίνου [kg 1,4-DB eq.]	1.46E-02
Ιοντίζουσα ακτινοβολία [Bq C-60 eq. to air]	1.13E-03
Χρήση γης [Annual crop eq.·y]	7.95E-02
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού [kg 1,4-DB eq.]	3.70E-04
Θαλάσσιος ευτροφισμός [kg N eq.]	5.09E-05
Εξάντληση μετάλλων [kg Cu eq.]	4.92E-04
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα [kg NO _x eq.]	1.09E-01
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία [kg NO _x eq.]	6.75E-02
Καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος [kg CFC-11 eq.]	1.31E-06
Επίγεια Οξίνιση [kg SO ₂ eq.]	6.88E-04
Επίγεια οικοτοξικότητα [kg 1,4-DB eq.]	2.77E-02

Πίνακας 16: Αποτελέσματα τελικού σημείου για το σενάριο φάρμας βασισμένης στο γρασίδι

Τελικά Σημεία Φάρμας Βασισμένης στο Γρασίδι	
Καταστροφή στα οικοσυστήματα [species.yr]	1.83E-08
Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου [DALY]	1.31E-06
Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων [S]	1.99E-02

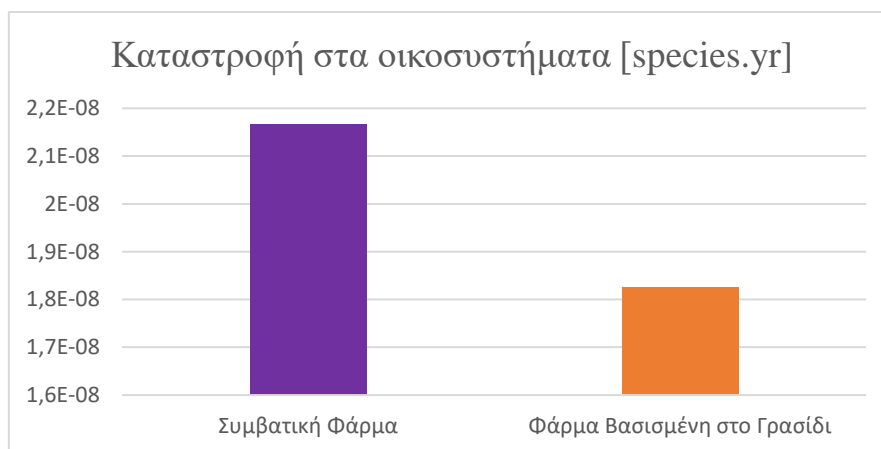
Παρατηρείται το γεγονός ότι όλοι οι δείκτες που εξετάζονται αναλυτικά εξαιρουμένου του δείκτη Εξάντληση ορυκτών πόρων παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές. Συγκεκριμένα, η Κλιματική αλλαγή από τιμή των 0.6100 kg CO₂ eq. μειώθηκε στα 0.5890 kg CO₂ eq., ο Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα από τιμή 0.13 kg NO_x eq. σε 0.109 kg NO_x eq., η Χρήση γης από τιμή 0.136 Annual crop eq.·y σε 0.0795 Annual crop eq.·y, ο Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία από τιμή 0.0804 kg NO_x eq. σε 0.0675 kg NO_x eq. και τέλος η Επίγεια οικοτοξικότητα από τιμή 0.0308 kg 1,4-DB eq. σε 0.0277 kg 1,4-DB eq. Αντιθέτως, η Εξάντληση ορυκτών πόρων αυξήθηκε από τιμή 0.0593 kg oil eq. σε 0.0664 kg oil eq. γεγονός που πιθανόν να οφείλεται στην αυξημένη έκταση γης κατά την εισχώρηση δεδομένων που συνεπάγεται την αυξημένη χρήση λιπασμάτων και εξοπλισμού καλλιεργειών, ζημιώνοντας τους πόρους της γης και τροποποιώντας το έδαφος. Αξίζει να σημειωθεί

και η σημαντική μείωση των δεικτών της κατανάλωσης νερού από 0.00411 m² σε 0.00139 m², του θαλάσσιου ευτροφισμού από 7.94E-05 kg N eq. σε 5.09E-05 kg N eq. και της εξάντλησης των μετάλλων από 1.44E-03 kg Cu eq. σε 4.92E-04 kg Cu eq.

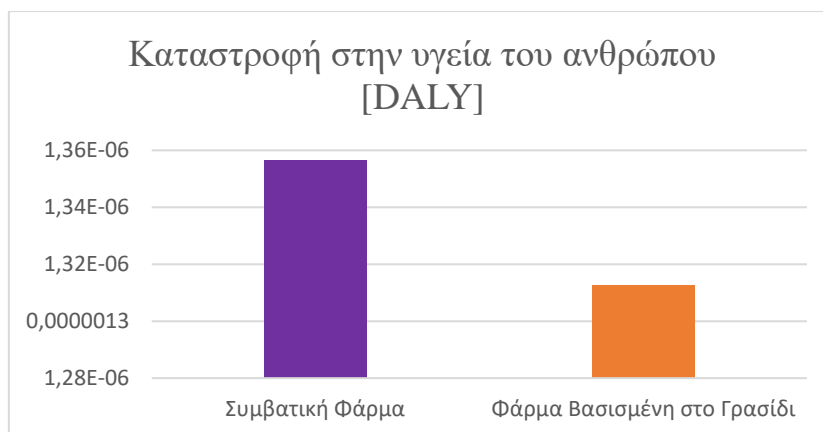


Διάγραμμα 9: Κύρια Μεσαία Σημεία Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Βασισμένη στο Γρασίδι

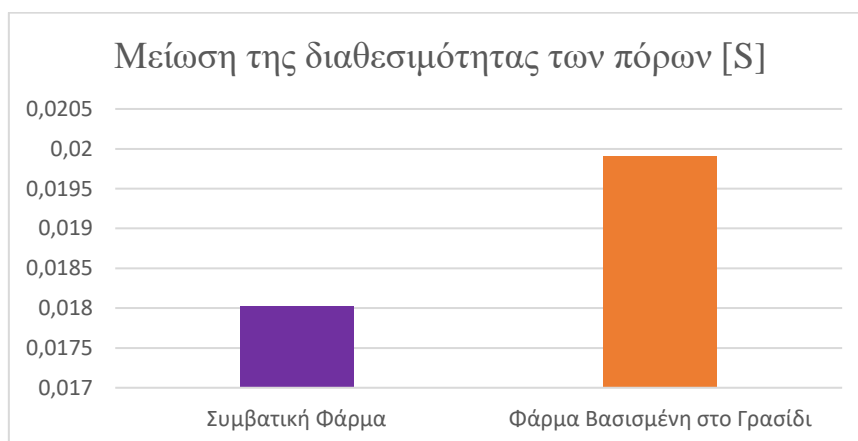
Όσον αφορά τα τελικά σημεία, η Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων αυξήθηκε από 0.0180 S στα 0.0199 S, η Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου μειώθηκε από 1.36E-06 DALY σε 1.31E-06 DALY και η Καταστροφή στα οικοσυστήματα μειώθηκε από 2.17E-08 species.yr σε 1.83E-08 species.yr.



Διάγραμμα 10: Καταστροφή στα οικοσυστήματα Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Βασισμένη στο Γρασίδι



Διάγραμμα 11: Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Βασισμένη στο Γρασίδι



Διάγραμμα 12: Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Βασισμένη στο Γρασίδι

4.3. Αποτελέσματα Φάρμας Τοπικής Πηγής Πρωτεΐνης

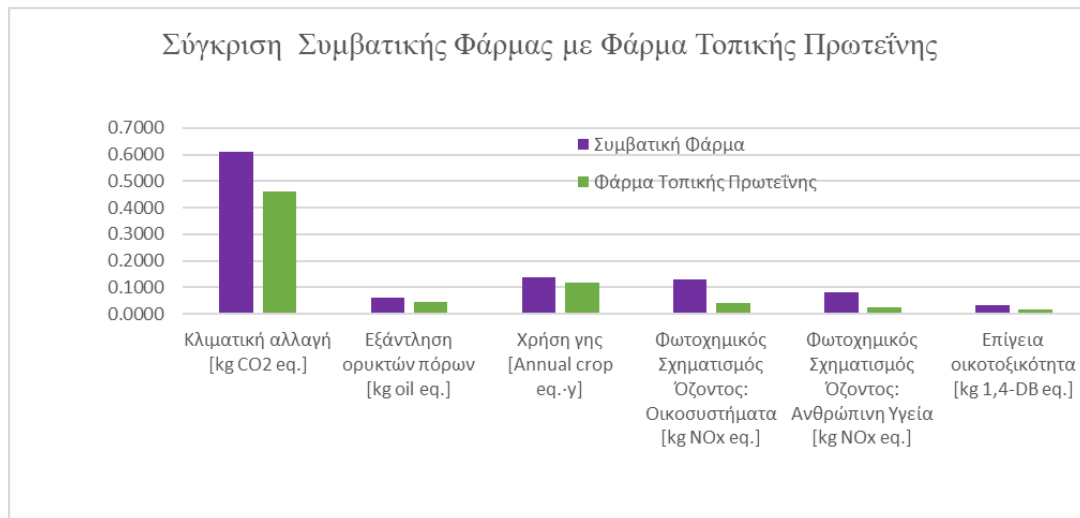
Όσον αφορά το σενάριο επιλογής της πρωτεΐνης στην τροφή των αγελάδων προκειμένου να παρέχεται από τοπικές πηγές, από την ανάλυση κύκλου ζωής προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα του Πίνακα 17 για τα μεσαία σημεία και του Πίνακα 18 για τα τελικά σημεία:

Πίνακας 17: Αποτελέσματα μεσαίου σημείου για το σενάριο φάρμας τοπικής πηγής πρωτεΐνης.

Μεσαία σημεία Φάρμας Τοπικής Πηγής Πρωτεΐνης	
Κλιματική αλλαγή, εκτός του βιογενούς άνθρακα [kg CO2 eq.]	5.30E-01
Κλιματική αλλαγή συμπ/νου του βιογενούς άνθρακα [kg CO2 eq.]	4.60E-01
Σχηματισμός λεπτών σωματιδίων [kg PM2.5 eq.]	7.46E-05
Εξάντληση ορυκτών πόρων [kg oil eq.]	4.54E-02
Κατανάλωση γλυκού νερού [m3]	3.15E-03
Θαλάσσια οικοτοξικότητα [kg 1,4 DB eq.]	1.45E-04
Ευτροφισμός γλυκού νερού [kg P eq.]	1.48E-05
Τοξικότητα στον άνθρωπο, καρκίνος [kg 1,4-DB eq.]	3.49E-05
Τοξικότητα στον άνθρωπο, εκτός καρκίνου [kg 1,4-DB eq.]	1.87E-02
Ιοντίζουσα ακτινοβολία [Bq C-60 eq. to air]	4.02E-04
Χρήση γης [Annual crop eq. ·y]	1.17E-01
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού [kg 1,4-DB eq.]	2.17E-04
Θαλάσσιος ευτροφισμός [kg N eq.]	7.00E-05
Εξάντληση μετάλλων [kg Cu eq.]	1.17E-03
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα [kg NOx eq.]	4.09E-02
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία [kg NOx eq.]	2.54E-02
Καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος [kg CFC-11 eq.]	6.37E-07
Επίγεια Οξίνιση [kg SO2 eq.]	2.74E-04
Επίγεια οικοτοξικότητα [kg 1,4-DB eq.]	1.52E-02

Πίνακας 18: Αποτελέσματα τελικού σημείου για το σενάριο φάρμας τοπικής πηγής πρωτεΐνης.

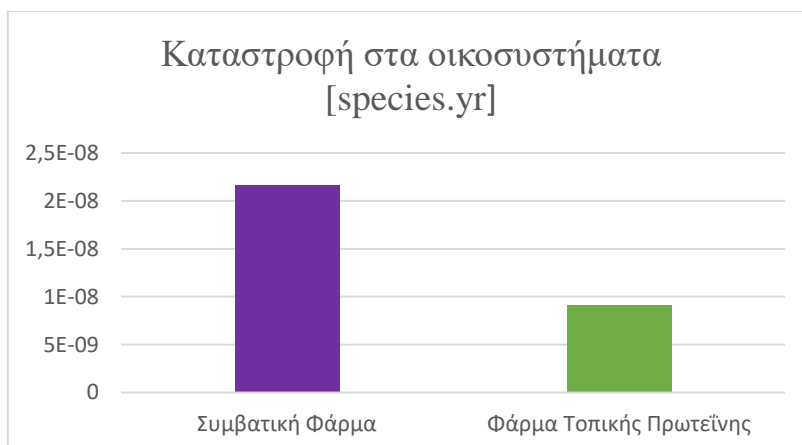
Τελικά σημεία Φάρμας Τοπικής Πηγής Πρωτεΐνης	
Καταστροφή στα οικοσυστήματα [species.yr]	9.16E-09
Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου [DALY]	9.95E-07
Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων [S]	1.73E-02



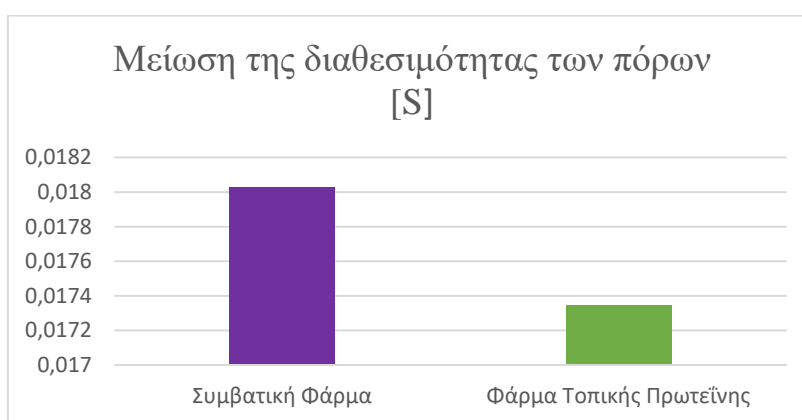
Διάγραμμα 13: Κύρια Μεσαία Σημεία Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Τοπικής Πρωτεΐνης

Παρατηρείται το γεγονός ότι όλοι οι δείκτες που εξετάζονται αναλυτικά παρουσιάζουν χαμηλότερες τιμές. Συγκεκριμένα, η Κλιματική αλλαγή από τιμή των 0.6100 kg CO₂ eq. μειώθηκε στα 0.46 kg CO₂ eq., ο Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα από τιμή 0.13 kg NO_x eq. σε 0.0409 kg NO_x eq., η Χρήση γης από τιμή 0.136 Annual crop eq.·y σε 0.1170 Annual crop eq.·y, ο Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία από τιμή 0.0804 kg NO_x eq. σε 0.0264 kg NO_x eq., η Επίγεια οικοτοξικότητα από τιμή 0.0308 kg 1,4-DB eq. σε 0.0152 kg 1,4-DB eq. και τέλος η Εξάντληση ορυκτών πόρων από τιμή 0.0593 kg oil eq. σε 0.0454 kg oil eq.

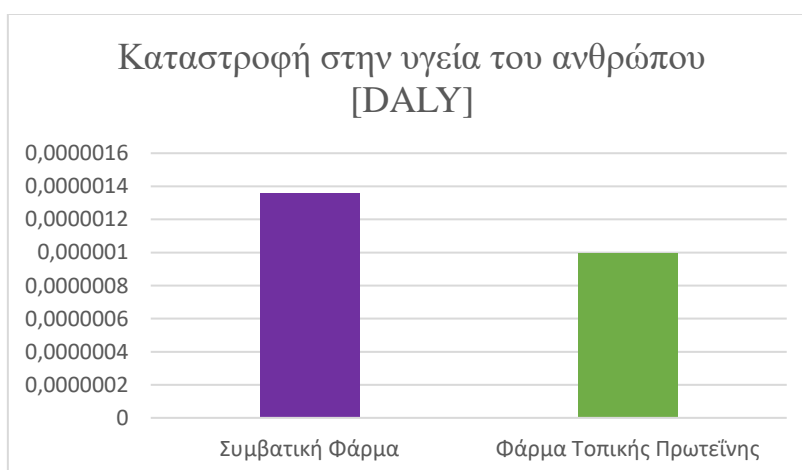
Όσον αφορά τα τελικά σημεία, η Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων μειώθηκε από 0.0180 S στα 0.0173 S, η Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου μειώθηκε από 1.36E-06 DALY σε 9.95E-07 DALY και η Καταστροφή στα οικοσυστήματα μειώθηκε από 2.17E-08 species.yr. σε 9.16E-09 species.yr.



Διάγραμμα 14: Καταστροφή στα οικοσυστήματα Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Τοπικής Πρωτεΐνης



Διάγραμμα 15: Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Τοπικής Πρωτεΐνης



Διάγραμμα 16: Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Τοπικής Πρωτεΐνης

4.4. Αποτελέσματα Φάρμας Αναπαραγωγής Αγελάδων για Μακροζωία

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το σενάριο αναπαραγωγής των πιο παραγωγικών αγελάδων προκειμένου αυξηθεί η διάρκεια ζωής τους. Από την ανάλυση κύκλου ζωής προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα του Πίνακα 19 για τα μεσαία σημεία και του Πίνακα 20 για τα τελικά σημεία:

Πίνακας 19: Αποτελέσματα μεσαίου σημείου για το σενάριο φάρμας αναπαραγωγής αγελάδων για μακροζωία.

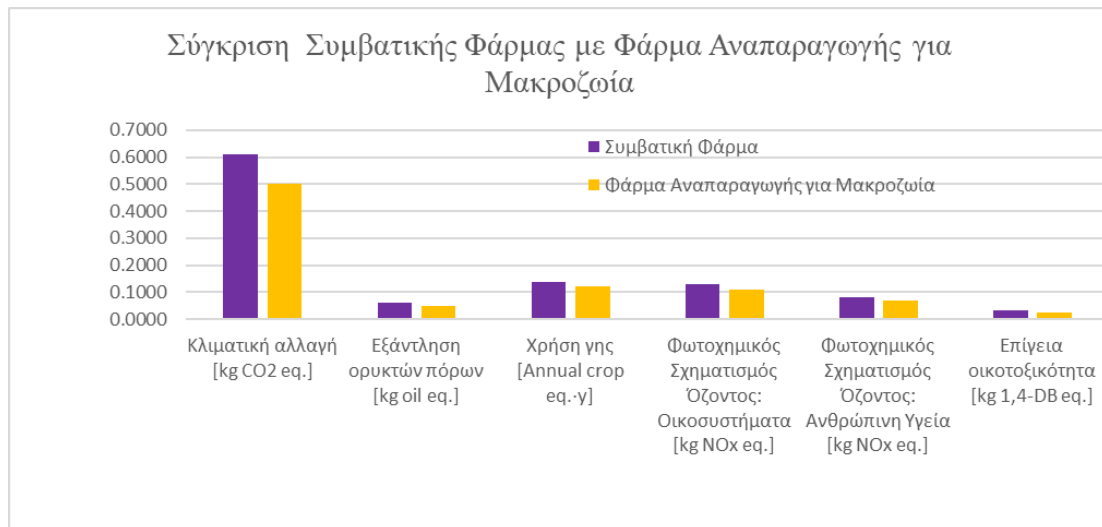
Μεσαία σημεία Φάρμας Αναπαραγωγής Αγελάδων για Μακροζωία

Κλιματική αλλαγή, εκτός του βιογενούς άνθρακα [kg CO ₂ eq.]	5.75E-01
Κλιματική αλλαγή συμπ/νου του βιογενούς άνθρακα [kg CO ₂ eq.]	5.02E-01
Σχηματισμός λεπτών σωματιδίων [kg PM _{2.5} eq.]	9.36E-05
Εξάντληση ορυκτών πόρων [kg oil eq.]	4.95E-02
Κατανάλωση γλυκού νερού [m ³]	3.82E-03
Θαλάσσια οικοτοξικότητα [kg 1,4 DB eq.]	1.53E-04
Ευτροφισμός γλυκού νερού [kg P eq.]	1.46E-05
Τοξικότητα στον άνθρωπο, καρκίνος [kg 1,4-DB eq.]	3.50E-05
Τοξικότητα στον άνθρωπο, εκτός καρκίνου [kg 1,4-DB eq.]	1.86E-02
Ιοντίζουσα ακτινοβολία [Bq C-60 eq. to air]	1.13E-03
Χρήση γης [Annual crop eq. · y]	1.20E-01
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού [kg 1,4-DB eq.]	2.23E-04
Θαλάσσιος ευτροφισμός [kg N eq.]	6.91E-05
Εξάντληση μετάλλων [kg Cu eq.]	1.34E-03
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα [kg NO _x eq.]	1.08E-01
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία [kg NO _x eq.]	6.70E-02
Καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος [kg CFC-11 eq.]	7.17E-07
Επίγεια Οξίνιση [kg SO ₂ eq.]	3.38E-04
Επίγεια οικοτοξικότητα [kg 1,4-DB eq.]	2.57E-02

Πίνακας 20: Αποτελέσματα τελικού σημείου για το σενάριο φάρμας αναπαραγωγής αγελάδων για μακροζωία.

Τελικά σημεία Φάρμας Αναπαραγωγής Αγελάδων για Μακροζωία

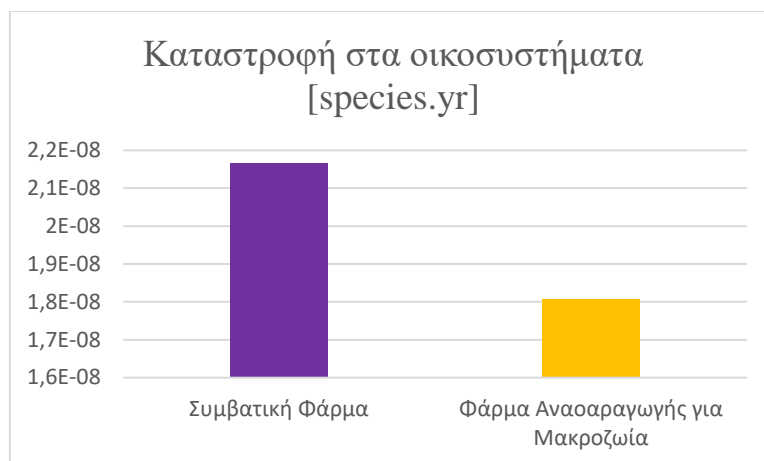
Καταστροφή στα οικοσυστήματα [species.yr]	1.81E-08
Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου [DALY]	1.12E-06
Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων [S]	1.51E-02



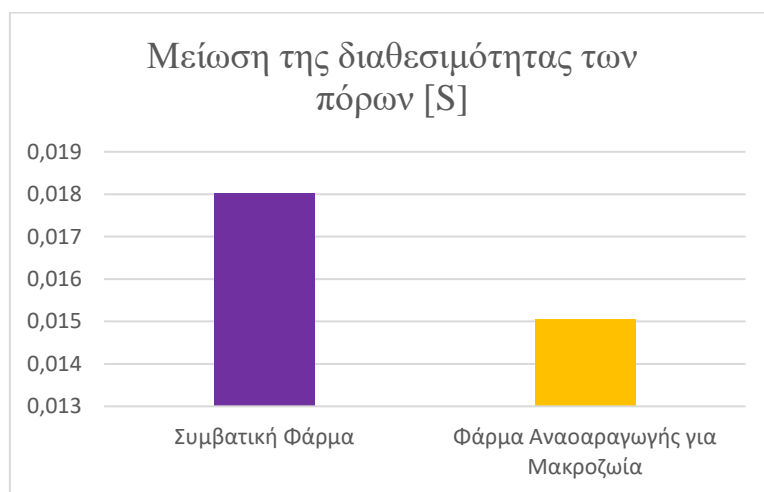
Διάγραμμα 17: Κόρια Μεσαία Σημεία Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αναπαραγωγής για Μακροζωία

Και σε αυτό το σενάριο παρατηρείται ότι οι αγροτική πρακτική που εφαρμόστηκε οδήγησε σε μείωση όλων των δεικτών μεσαίου σημείου. Πιο συγκεκριμένα, για τους δείκτες που εξετάζονται αναλυτικά, η Κλιματική αλλαγή από τιμή των 0.6100 kg CO₂ eq. μειώθηκε στα 0.502 kg CO₂ eq., ο Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα από τιμή 0.13 kg NO_x eq. σε 0.108 kg NO_x eq., η Χρήση γης από τιμή 0.136 Annual crop eq.·y σε 0.12 Annual crop eq.·y, ο Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία από τιμή 0.0804 kg NO_x eq. σε 0.0670 kg NO_x eq., Επίγεια οικοτοξικότητα από τιμή 0.0308 kg 1,4-DB eq. σε 0.0257 kg 1,4-DB eq. και τέλος η Εξάντληση ορυκτών πόρων από τιμή 0.0593 kg oil eq. σε 0.0495 kg oil eq.

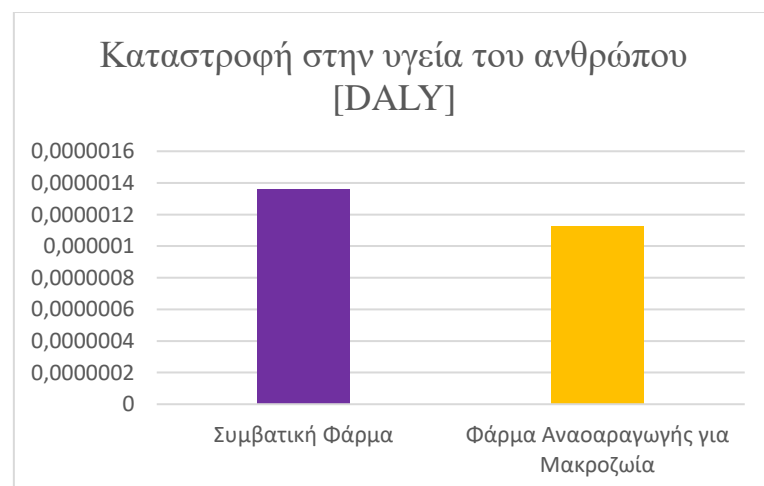
Όσον αφορά τα τελικά σημεία, η Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων μειώθηκε από 0.0180 S στα 0.0151 S, η Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου μειώθηκε από 1.36E-06 DALY σε 1.12E-06 DALY και η Καταστροφή στα οικοσυστήματα μειώθηκε από 2.17E-08 species.yr. σε 1.81E-08 species.yr.



Διάγραμμα 18: Καταστροφή στα οικοσυστήματα Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Ανασαραγωγής για Μακροζωία



Διάγραμμα 19: Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Ανασαραγωγής για Μακροζωία



Διάγραμμα 20: Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Ανασαραγωγής για Μακροζωία

4.5. Αποτελέσματα Φάρμας με Αγροφωτοβολταϊκά Συστήματα

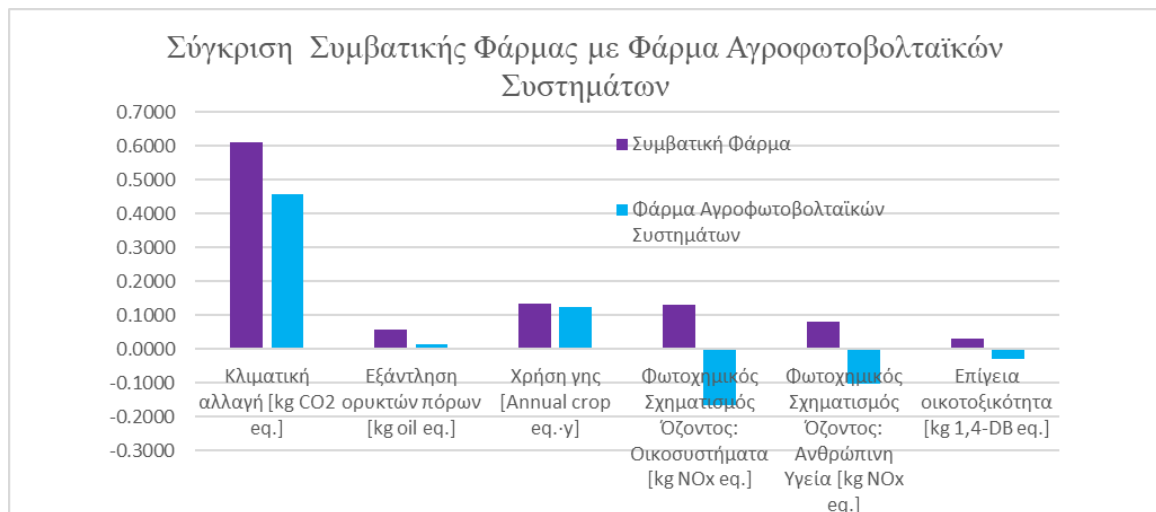
Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για το σενάριο εγκατάστασης αγροτικών φωτοβολταϊκών συστημάτων στην οροφή των θαλάμων των αγελάδων. Από την ανάλυση κύκλου ζωής προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα του Πίνακα 21 για τα μεσαία σημεία και του Πίνακα 22 για τα τελικά σημεία:

Πίνακας 21: Αποτελέσματα μεσαίου σημείου για το σενάριο φάρμας αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων

Μεσαία σημεία Φάρμας Αγροφωτοβολταϊκών Συστημάτων	
Κλιματική αλλαγή, εκτός του βιογενούς άνθρακα [kg CO ₂ eq.]	5.36E-01
Κλιματική αλλαγή συμ/νου του βιογενούς άνθρακα [kg CO ₂ eq.]	4.56E-01
Σχηματισμός λεπτών σωματιδίων [kg PM _{2.5} eq.]	6.18E-05
Εξάντληση ορυκτών πόρων [kg oil eq.]	1.51E-02
Κατανάλωση γλυκού νερού [m ³]	3.57E-03
Θαλάσσια οικοτοξικότητα [kg 1,4 DB eq.]	2.15E-04
Ευτροφισμός γλυκού νερού [kg P eq.]	1.62E-05
Τοξικότητα στον άνθρωπο, καρκίνος [kg 1,4-DB eq.]	2.05E-05
Τοξικότητα στον άνθρωπο, εκτός καρκίνου [kg 1,4-DB eq.]	2.59E-02
Ιοντίζουσα ακτινοβολία [Bq C-60 eq. to air]	-9.93E-04
Χρήση γης [Annual crop eq.·y]	1.24E-01
Οικοτοξικότητα γλυκού νερού [kg 1,4-DB eq.]	2.86E-04
Θαλάσσιος ευτροφισμός [kg N eq.]	7.48E-05
Εξάντληση μετάλλων [kg Cu eq.]	1.17E-03
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα [kg NO _x eq.]	-1.64E-01
Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία [kg NO _x eq.]	-1.02E-01
Καταστροφή του στρατοσφαιρικού όζοντος [kg CFC-11 eq.]	7.73E-07
Επίγεια Οξίνιση [kg SO ₂ eq.]	2.40E-04
Επίγεια οικοτοξικότητα [kg 1,4-DB eq.]	-2.99E-02

Πίνακας 22: Αποτελέσματα τελικού σημείου για το σενάριο φάρμας αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων

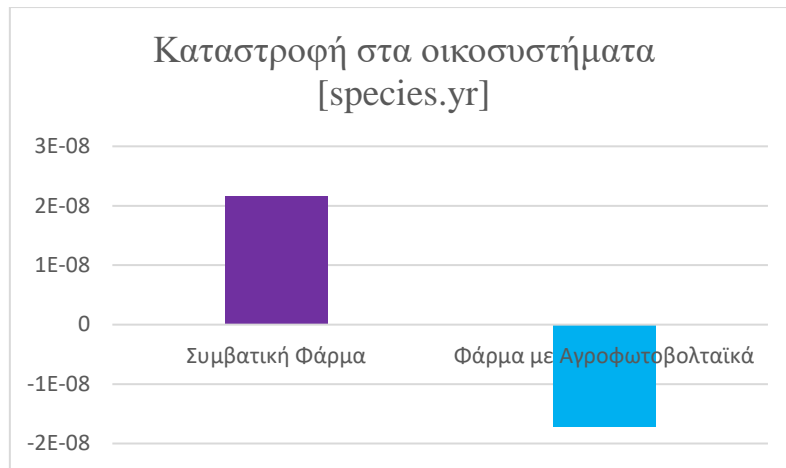
Τελικά σημεία Φάρμας Αγροφωτοβολταϊκών Συστημάτων	
Καταστροφή στα οικοσυστήματα [species.yr]	-1.72E-08
Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου [DALY]	8.74E-07
Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων [S]	1.52E-02



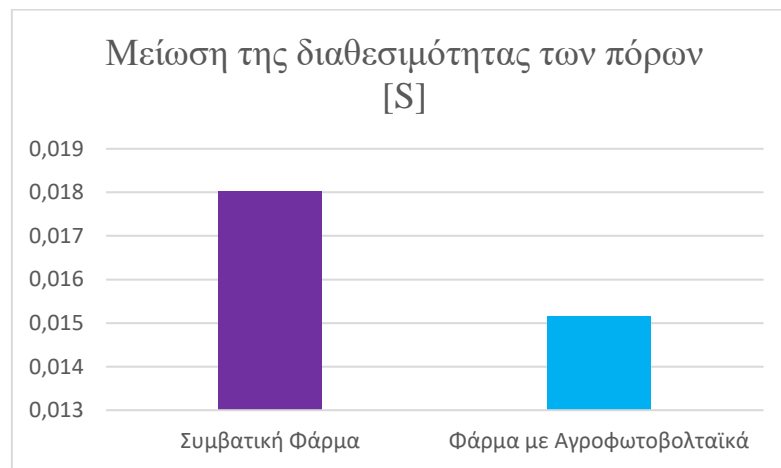
Διάγραμμα 21: Κύρια Μεσαία Σημεία Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αγροφωτοβολταϊκών Συστημάτων

Αυτό το σενάριο φαίνεται να δίνει πολύ καλά αποτελέσματα καθώς οι δείκτες που εξετάζονται όχι μόνο μειώνονται σε σχέση με τους δείκτες της συμβατικής φάρμας, αλλά πολλοί από αυτούς παίρνουν αρνητικές τιμές. Αυτό σημαίνει ότι δεν επιδρούν αρνητικά στις συγκεκριμένες επιπτώσεις, αλλά αντιθέτως προσδίδουν όφελος. Αναλυτικά, η Κλιματική αλλαγή από τιμή των 0.6100 kg CO₂ eq. μειώθηκε στα 0.456 kg CO₂ eq., ο Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα από τιμή 0.13 kg NO_x eq. σε -0.164 kg NO_x eq., η Χρήση γης από τιμή 0.136 Annual crop eq.·y σε 0.124 Annual crop eq.·y, ο Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία από τιμή 0.0804 kg NO_x eq. σε -0.102 kg NO_x eq., η Επίγεια οικοτοξικότητα από τιμή 0.0308 kg 1,4-DB eq. σε -0.0299 kg 1,4-DB eq. και τέλος η Εξάντληση ορυκτών πόρων από τιμή 0.0593 kg oil eq. σε 0.0151 kg oil eq.

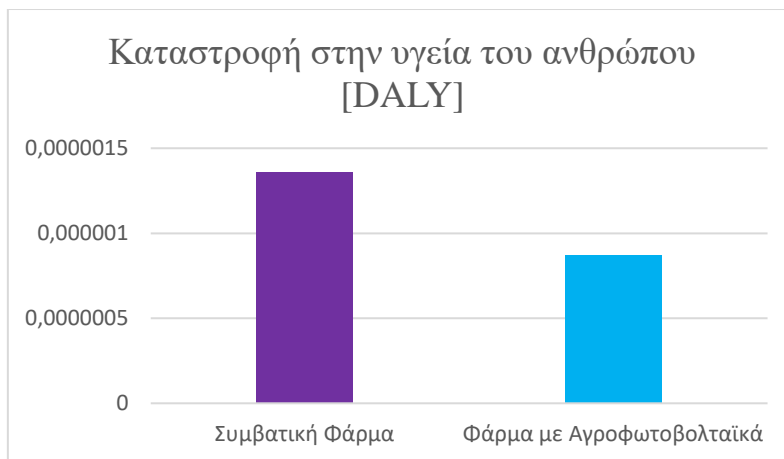
Όσον αφορά τα τελικά σημεία, η Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων μειώθηκε από 0.0180 S στα 0.0152 S, η Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου μειώθηκε από 1.36E-06 DALY σε 8.74E-07 DALY και η Καταστροφή στα οικοσυστήματα μειώθηκε από 2.17E-08 species.yr. σε -1.72E-08 species.yr.



Διάγραμμα 22: Καταστροφή στα οικοσυστήματα Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αναπαραγωγής για Μακροζωία



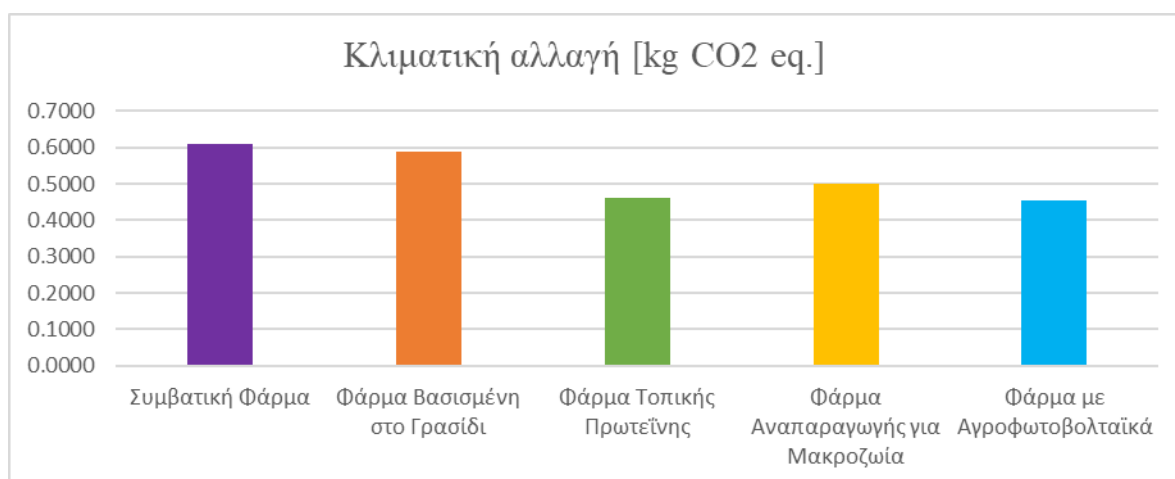
Διάγραμμα 23: Μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αναπαραγωγής για Μακροζωία



Διάγραμμα 24: Καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου Συμβατικής Φάρμας Συγκριτικά με Φάρμα Αναπαραγωγής για Μακροζωία

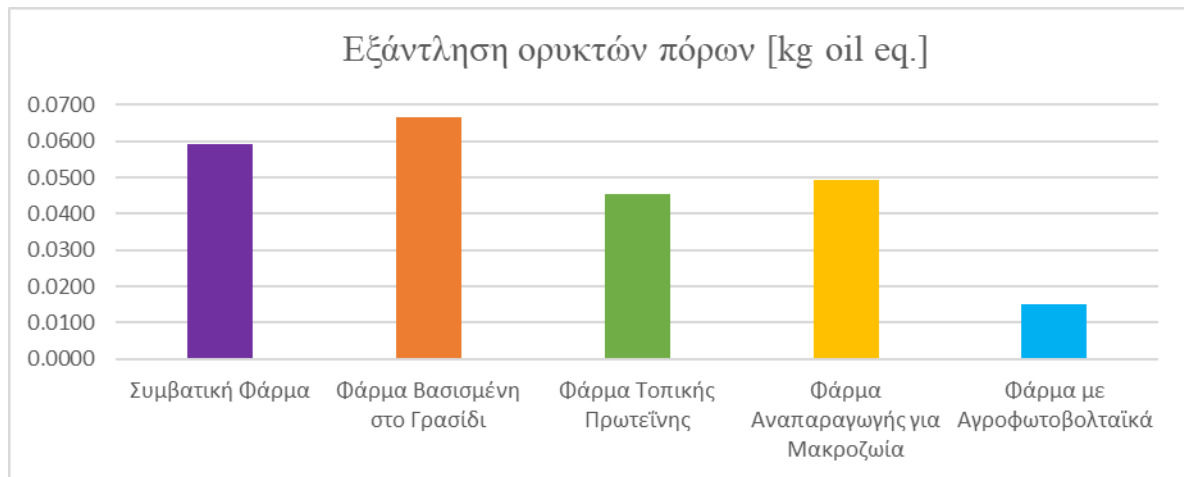
4.6. Σύγκριση των τεσσάρων έξυπνων πρακτικών

Σε αυτό το σημείο, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά διαγράμματα για κάθε ένα από τους δείκτες που εξετάστηκαν αναλυτικά με όλες τις τιμές των δεικτών για το συμβατικό σενάριο και τις τέσσερις έξυπνες πρακτικές, με σκοπό την αποτελεσματικότερη σύγκρισή τους και τη διεξαγωγή συμπερασμάτων.



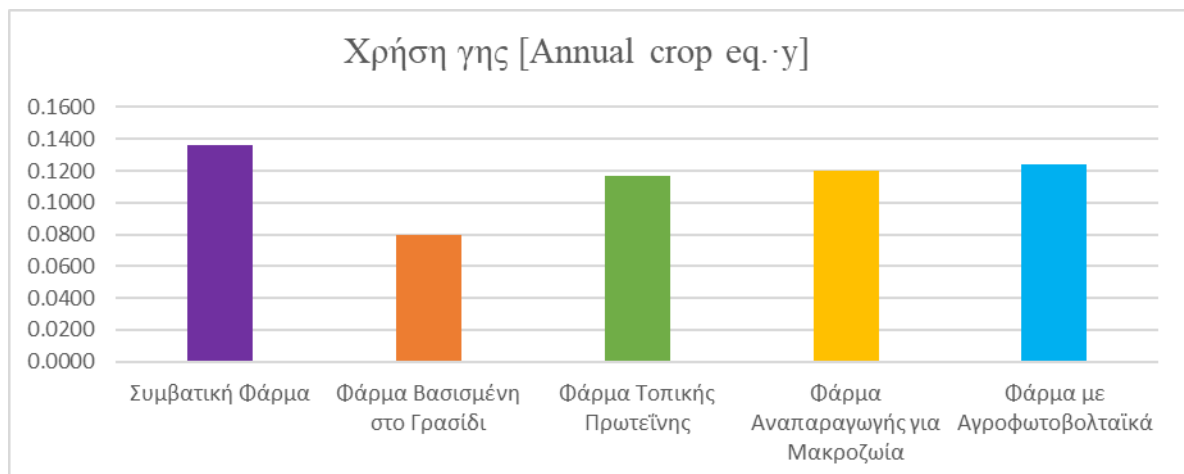
Διάγραμμα 25: Κλιματική αλλαγή για όλα τα σενάρια φάρμας.

Όσον αφορά τη κλιματική αλλαγή, η έξυπνη αγροτική πρακτική που είχε τη μεγαλύτερη επίδραση με θετικό τρόπο και ως αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη μεταβολή του δείκτη σε σχέση με τη συμβατική φάρμα, ήταν η εγκατάσταση αγροφωτοβολταϊκών, καθώς συνεπάγεται τη μείωση της ηλεκτρικής ενέργειας και της χρήσης ντίζελ, παράγοντες άμεσα συνδεδεμένους με το φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Παρόμοια μεταβολή υπέστη ο δείκτης και για το σενάριο της προτίμησης τοπικών πηγών πρωτεΐνης αντί της εισαγόμενης σόγιας, γεγονός που οφείλεται στην μειωμένη ανάγκη χρήσης λιπασμάτων για την εναλλακτική πηγή πρωτεΐνης που είναι τα όσπρια, αλλά και στην αυξημένη πεπτικότητα του μίγματος γρασιδιού και οσπρίων με αποτέλεσμα τη μείωση των εντερικών εκπομπών.^[21]



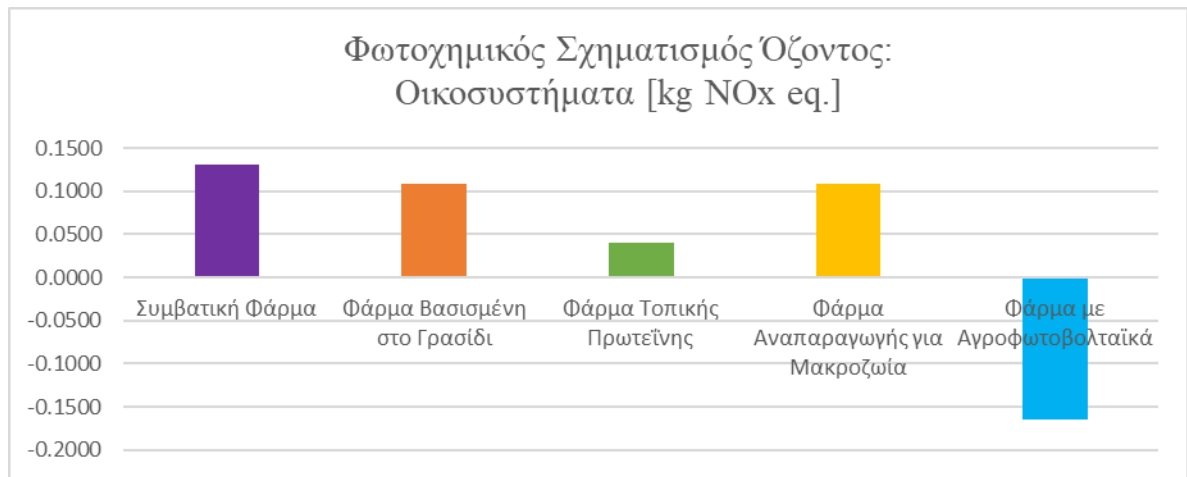
Διάγραμμα 26: Εξάντληση ορυκτών πόρων για όλα τα σενάρια φάρμας.

Για την εξάντληση των ορυκτών πόρων, η χρήση των φωτοβολταϊκών φαίνεται να είναι η πιο αποτελεσματική πρακτική εξ αιτίας της χρήσης ηλιακής ενέργειας και κατά συνέπεια μείωσης χρήσης diesel και ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντική είναι και η μείωση του δείκτη αυτού στο σενάριο τοπικής πρωτεΐνης, που προκύπτει από την απουσία συμβολής της καύσης ορυκτών πόρων για τη μετακίνηση της σόγιας από τη χώρα καλλιέργειάς της στην Ευρώπη. Η πρακτική μετατροπής της τροφής της φάρμας έτσι ώστε να είναι βασισμένη στο γρασίδι έχει ως αποτέλεσμα υψηλότερο δείκτη εξάντλησης ορυκτών πόρων από το συμβατικό σενάριο.

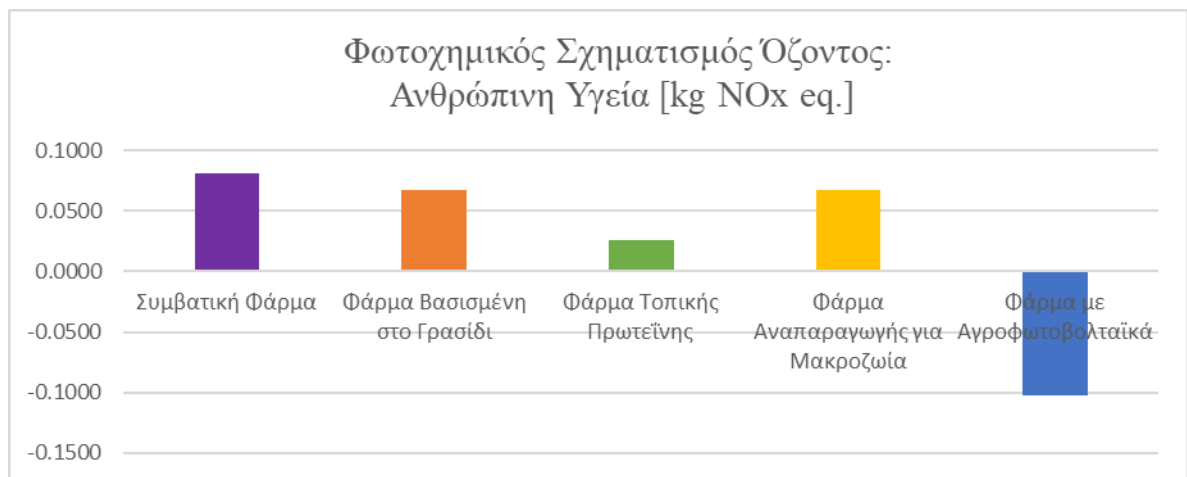


Διάγραμμα 27: Χρήση γης για όλα τα σενάρια φάρμας.

Για τον δείκτη της χρήσης γης, μεγαλύτερη μεταβολή σε σχέση με το συμβατικό σενάριο παρατηρείται στο σενάριο φάρμας βασισμένης στο γρασίδι. Παρά την αύξηση της έκτασης γρασιδιού, η απουσία έκτασης καλλιέργειας δημητριακών οδηγεί τελικά σε μείωση της χρήσης γης.

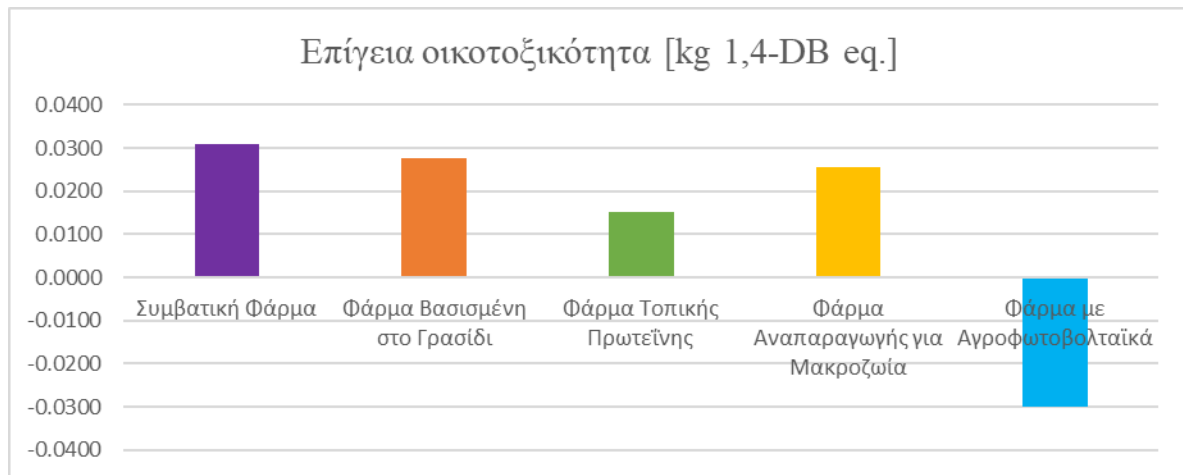


Διάγραμμα 28: Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Οικοσυστήματα για όλα τα σενάρια φάρμας.



Διάγραμμα 29: Φωτοχημικός Σχηματισμός Όζοντος: Ανθρώπινη Υγεία για όλα τα σενάρια φάρμας.

Αναφορικά με το Φωτοχημικό Σχηματισμό Όζοντος τόσο για την ανθρώπινη υγεία, όσο και για τα οικοσυστήματα, οι τέσσερις πρακτικές έδωσαν καλύτερα αποτελέσματα με τη μεγαλύτερη μεταβολή να σημειώνεται για το σενάριο τοπικής πρωτεΐνης και για το σενάριο των αγροφωτοβολταϊκών, το οποίο εμφάνισε θετική συνεισφορά.



Διάγραμμα 30: Επίγεια οικοτοξικότητα για όλα τα σενάρια φάρμας.

Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται και για το δείκτη της επίγειας οικοτοξικότητας, με το σενάριο των αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων να μην έχει αρνητική επίδραση και το σενάριο τοπικής πρωτεΐνης να έχει την αμέσως επόμενη μεγαλύτερη μεταβολή.

5. Συμπεράσματα

Η παρούσα μελέτη εφαρμόζει Ανάλυση Κύκλου Ζωής (AKZ) με σκοπό τη σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος τεσσάρων έξυπνων αγροτικών πρακτικών ξεχωριστά, με το αποτύπωμα μιας συμβατικής φάρμας γαλακτοπαραγωγής της Ευρώπης. Αναπτύχθηκε με επιτυχία ένα μοντέλο AKZ για κάθε σενάριο φάρμας, δίνοντας τη δυνατότητα για λεπτομερή αξιολόγηση και αναλυτική σύγκριση των αποτελεσμάτων τόσο των σεναρίων μεταξύ τους, όσο και με τη συμβατική φάρμα και αναδείχθηκε η ωφελιμότητα της κάθε πρακτικής.

Διενεργήθηκε ανάλυση πέντε διαφορετικών σεναρίων, συμπεριλαμβανομένου του συμβατικού σεναρίου και τεσσάρων άλλων, που στο καθένα από αυτά είχε εφαρμοστεί μια έξυπνη αγροτική πρακτική. Τα δεδομένα εισροής και εκροής αντλήθηκαν από βάσεις δεδομένων και τη σχετική βιβλιογραφία, ενώ τα αποτελέσματα που διεξάχθηκαν χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος κάθε αγροτικής πρακτικής. Συγκεκριμένα, εξάχθηκαν συμπεράσματα για τον αντίκτυπό τους στο περιβάλλον, την ανθρώπινη υγεία και την εξάντληση των φυσικών πόρων. Με βάση αυτά, εντοπίστηκαν οι διεργασίες με τη μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση, καθώς και οι διεργασίες που συμβάλλουν στην βιωσιμότητα της φάρμας.

Αρχικά, αναφορικά με το σενάριο της συμβατικής φάρμας από την AKZ προέκυψαν αποτελέσματα για τους δείκτες μεσαίου σημείου περιβαλλοντικών επιπτώσεων που

ανέδειξαν ότι οι υψηλότερες τιμές τους αντιστοιχούσαν στην κλιματική αλλαγή, την εξάντληση ορυκτών πόρων, τη χρήση γης, το φωτοχημικό σχηματισμό όζοντος για τα οικοσυστήματα και τους ανθρώπους και την επίγεια οικοτοξικότητα.

Η πρώτη έξυπνη αγροτική πρακτική που εφαρμόστηκε είναι η μετατροπή της ζωοτροφής των αγελάδων ώστε να μη συμπεριλαμβάνει καθόλου δημητριακά, αλλά να είναι βασισμένη στο γρασίδι. Συγκεκριμένα, η κλιματική αλλαγή μειώθηκε μόλις 3%, ενώ ο φωτοχημικός σχηματισμός όζοντος για τα οικοσυστήματα και των άνθρωπο μειώθηκαν κατά 16% και η επίγεια οικοτοξικότητα 10%. Από όλες τις πρακτικές η μεταβολή της φάρμας σε φάρμα γρασιδιού εμφάνισε τη μεγαλύτερη μείωση στη χρήση γης, ίση με 42%, στον ευτροφισμό γλυκού και θαλάσσιου νερού, ίση με 33% και 36% αντίστοιχα. Ο δείκτης της κατανάλωσης γλυκού νερού επίσης μειώθηκε περισσότερο από όλες τις υπόλοιπες πρακτικές κατά 66%, η τοξικότητα στον άνθρωπο που αφορά τον καρκίνο μειώθηκε 29% και η εξάντληση μετάλλων 66%.

Συνεχίζοντας, με βάση τους δείκτες τελικών σημείων προέκυψε ότι η φάρμα γαλακτοπαραγωγής βασισμένη στο γρασίδι μείωσε την καταστροφή στα οικοσυστήματα κατά 16% σε σχέση με τη συμβατική φάρμα. Η καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου μειώθηκε μόλις 3%, ενώ η μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων αυξήθηκε 10% συγκριτικά με το συμβατικό σενάριο.

Έπειτα, εφαρμόστηκε η αγροτική πρακτική προτίμησης και χρήσης τοπικών πηγών πρωτεΐνης και συγκεκριμένα της ελαιοκράμβης και του αρακά προκειμένου να αντικατασταθεί η εισαγόμενη σόγια. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η κλιματική αλλαγή μειώθηκε 25% σε σχέση με τη συμβατική φάρμα, η ιοντίζουσα ακτινοβολία μειώθηκε κατά 70%, η εξάντληση ορυκτών πόρων κατά 23%, ο φωτοχημικός σχηματισμός όζοντος αναφορικά με τα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο μειώθηκαν κατά 69% και 68% αντίστοιχα και η επίγεια οικοτοξικότητα μειώθηκε 51%. Η χρήση γης μειώθηκε μόλις 14% σε σχέση με το συμβατικό σενάριο, ενώ η πρακτική αυτή παρουσίασε τη μεγαλύτερη μείωση σε σχέση με τις υπόλοιπες για το δείκτη θαλάσσιας οικοτοξικότητας με μείωση 19%, καθιστώντας τη πιο αποδοτική σε αυτόν τον παράγοντα.

Όσον αφορά του δείκτες τελικού σημείου, τα αποτελέσματα φανέρωσαν ότι η καταστροφή των οικοσυστημάτων είχε σημαντική μείωση ίση με 58% σε σχέση με τη συμβατική φάρμα. Ακόμη, ο δείκτης της καταστροφής στην ανθρώπινη υγεία εμφάνισε χαμηλότερες επιβαρύνσεις κατά 27%. Τέλος, η μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων προέκυψε ίση με μόλις 4% συγκριτικά με τη συμβατική φάρμα.

Η επόμενη αγροτική πρακτική που εφαρμόστηκε ήταν η αναπαραγωγή των αγελάδων της φάρμας με σκοπό τη μακροζωία και την αύξηση της παραγωγικότητάς τους. Ο δείκτης της κλιματικής αλλαγής μειώθηκε 18%, ενώ χρήση γης μειώθηκε 12%. Η εξάντληση φυσικών πόρων, η επίγεια οικοτοξικότητα και ο φωτοχημικός σχηματισμός όζοντος για τα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο μειώθηκαν 17% σε σχέση με το συμβατικό σενάριο. Συγκριτικά με τις υπόλοιπες πρακτικές, υπήρξε η δεύτερη μεγαλύτερη μείωση για τους δείκτες της οικοτοξικότητας γλυκού και θαλάσσιου νερού με μείωση 16% και 15% αντίστοιχα.

Σχετικά με τους δείκτες τελικών σημείων προέκυψε ότι η καταστροφή στα οικοσυστήματα μειώθηκε 17%, η καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου μειώθηκε επίσης 17% και η μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων εμφάνισε παρόμοια μείωση ίση με 16% συγκριτικά με τη συμβατική φάρμα.

Τέλος, η τέταρτη αγροτική πρακτική που εφαρμόστηκε είναι η εγκατάσταση αγροφωτοβολταϊκών συστημάτων στη φάρμα γαλακτοπαραγωγής για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας. Ο δείκτης της κλιματικής αλλαγής εμφάνισε μείωση ίση με 25%. Επιπλέον, αυτό το σενάριο εμφάνισε υψηλότερη μείωση σε σχέση με τα άλλα όσον αφορά τους δείκτες σχηματισμός λεπτών σωματιδίων με μείωση 44%, εξάντληση ορυκτών πόρων με μείωση 75%, τοξικότητα στον άνθρωπο, καρκίνος με μείωση 51% και επίγεια όξυνση με μείωση 40%. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός πως ορισμένοι δείκτες πήραν αρνητική τιμή και επέφεραν αξιοσημείωτη μείωση όπως ο δείκτης της ιοντίζουσας ακτινοβολίας που μειώθηκε 173%, ο δείκτης του φωτοχημικού σχηματισμού όζοντος για τα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο με μείωση 226% και 227% αντίστοιχα και η επίγεια οικοτοξικότητα με μείωση 197%. Τα παραπάνω υποδεικνύουν την αξία και τη θετική επίδραση της συγκεκριμένης πρακτικής στο περιβάλλον.

Οι δείκτες τελικών σημείων επίσης εμφάνισαν πολύ καλά αποτελέσματα που καθιστούν αποδοτική τη χρήση φωτοβολταϊκών σε πολλούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, η καταστροφή στην υγεία του ανθρώπου μειώθηκε 36%, ενώ η μείωση της διαθεσιμότητας των πόρων μειώθηκε 16%. Η καταστροφή στα οικοσυστήματα ανέδειξε σημαντική μείωση 180% σε σχέση με τη συμβατική φάρμα.

6. Βιβλιογραφία

[1] Jiang H., Wang W., Li C. (2017). Innovation, practical benefits and prospects for the future development of automatic milking systems. *Front. Agr. Sci. Eng*, 4(1): 37–47

[DOI: 10.15302/J-FASE-2016117](https://doi.org/10.15302/J-FASE-2016117)

[2] John R. Campbell, Robert T. Marshall (2016) Dairy Production and Processing: The Science of Milk and Milk Products. Waveland Press.

[3] Inani H.S, Beverley R.L, Natasja S. (2024). Measuring and reporting environmental impacts of dairy farming, Emerald 2049372X
[10.1108/MEDAR-06-2023-2039](https://doi.org/10.1108/MEDAR-06-2023-2039)

[4] Dhonde M., Sahu K., Murty V. V. S. (2022). The application of solar-driven technologies for the sustainable development of agriculture farming: a comprehensive review. *Rev Environ Sci Biotechnol* 21:139–167
<https://doi.org/10.1007/s11157-022-09611-6>

[5] Murgia L., Todde G., Caria M., Pazzona A. (2013). A partial life cycle assessment approach to evaluate the energy intensity and related greenhouse gas emission in dairy farms. *Journal of Agricultural Engineering*, volume XLIV(s2):e37

[6] Kendra, S. (2013). Pure and Modern Milk: An Environmental History Since 1900. OUP USA.

[7] Currier R., W., Widness J., A. (2018). A Brief History of Milk Hygiene and Its Impact on Infant Mortality from 1875 to 1925 and Implications for Today: A Review. *Journal of Food Protection*, 81(10) 1713-1722
[doi:10.4315/0362-028X.JFP-18-186](https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-18-186)

[8] Van Saun R., J. (2022). Nutritional Requirements of Dairy Cattle. *MSD Manual*.

[9] Humane Society of the United States, “The Welfare of Cows in the Dairy Industry” (HSUS, 2009)

[10] Martins, L.F., Wasson, D.E. & Hristov, A.N. (2022). Feeding dairy cows for improved metabolism and health. *Animal Frontiers* 12(5): 29–36.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9564990/>

[11] Erickson P., S., Kalscheur K., F. (2020). Nutrition and feeding of dairy cattle. *Animal Agriculture*, 157-180
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00009-4>

- [12] M.L. Eastridge. (2006). Major Advances in Applied Dairy Cattle Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 89(4), 1311-1323
[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72199-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72199-3)
- [13] D. M. Golher, B. H. M. Patel, S. H. Bhoite, M. I. Syed, G. J. Panchbhai, and P. Thirumurugan, (2021). Factors influencing water intake in dairy cows: a review. *Int J Biometeorol*, 65(4), 617–625,
<https://www.doi.org/s00484-020-02038-0>
- [14] C. Alan Rotz. (2018). Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 101(7), 6675-6690
<https://doi.org/10.3168/jds.2017-13272>
- [15] D. S. Chianese, C. A. Rotz, T. L. Richard. (2009). WHOLE-FARM GREENHOUSE GAS EMISSIONS: A REVIEW WITH APPLICATION TO A PENNSYLVANIA DAIRY FARM. *Applied Engineering in Agriculture*, 25(3), 431-442
[doi: 10.13031/2013.26895](https://doi.org/10.13031/2013.26895)
- [16] Dawn M Sedorovich, C Alan Rotz, Tom L Richard. (2007, June 17-20). Greenhouse Gas Emissions from Dairy Farms, ASAE Annual Meeting , 074096
[doi: 10.13031/2013.23112](https://doi.org/10.13031/2013.23112)
- [17] John R. Campbell, Robert T. Marshall (2016) Dairy Production and Processing: The Science of Milk and Milk Products. Waveland Press.
- [18] Nguyen T. T. H., Corson M. S., Doreau M., Eugène M., Van der Werf H. M. G. (2013). Consequential LCA of switching from maize silage-based to grass-based dairy systems. *Int J Life Cycle Assess*, 18, 1470-1484
<https://doi.org/10.1007/s11367-013-0605-1>
- [19] O'Brien, D., Shalloo, L., Patton, J., Buckley, F., Grainger, C., Wallace, M. (2012). A life cycle assessment of seasonal grass-based and confinement dairy farms. *Agricultural Systems*, 107, 33-46
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.11.004>
- [20] Proskina, L., Cerina, S. (24-26, May, 2017). ECONOMIC GAINS FROM CONSUMPTION OF LEGUMES IN DAIRY FARMING. ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT
- [21] Sasu-Boakye Y., Cederberg C., Wirsenius S. (2024). Localising livestock protein feed production and the impact on land use and greenhouse gas emissions. *Animal*, 8(8), 1339-1348
<https://doi.org/10.1017/S1751731114001293>
- [22] Lötjönen, S., Ollikainen, M., Does crop rotation with legumes provide an efficient means to reduce nutrient loads and GHG emissions?. (2017). *Rev Agric Food Environ Stud*, 98, 283–312
<https://doi.org/10.1007/s41130-018-0063-z>

- [23] Martini, A., Migliorini P., Lorenzini, G., Lotti, C., Rosi S., Squilloni, S., Riccio, F., Giorgetti, A. (2008). Production of grain legume crops alternative to soya bean and their use in organic dairy production. FLORE
<https://hdl.handle.net/2158/349447>
- [24] Clasen J.B., Fikse W.F., Ramin M., Lindberg M. (2024). Effects of herd management decisions on dairy cow longevity, farm profitability, and emissions of enteric methane – a simulation study of milk and beef production. *Animal*, 18(2), 101051
<https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.101051>
- [25] Dhonde M., Sahu K., Murty V. V. S. (2022). The application of solar-driven technologies for the sustainable development of agriculture farming: a comprehensive review. *Rev Environ Sci Biotechnol* 21:139–167
<https://doi.org/10.1007/s11157-022-09611-6>
- [26] Murgia L., Todde G., Caria M., Pazzona A. (2013). A partial life cycle assessment approach to evaluate the energy intensity and related greenhouse gas emission in dairy farms. *Journal of Agricultural Engineering, volume XLIV(s2):e37*
- [27] Ahmad Mohsenimanesh, Etienne L. LeRiche, Robert Gordon, Steve Clarke, Ronald D. MacDonald, Ian MacKinnon, Andrew C. VanderZaag. REVIEW: DAIRY FARM ELECTRICITY USE, CONSERVATION, AND RENEWABLE PRODUCTION—A GLOBAL PERSPECTIVE
- [28] Pålsson, A. C., Riise, E. (2011). Defining the goal and scope of the LCA study. TOSCA.
<https://tosca-life.info/getting-started-guides/life-cycle-assessment/how-to-perform-an-lca/phases-in-an-lca-study/goal-and-scope/>
- [29] ISO/TC 207/SC 5. ISO 14040:2006 Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Online Browsing Platform (OBP)
<https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:en>
- [30] Quist, Z. (2024). Life Cycle Assessment (LCA) – Everything you need to know. Ecochain.
<https://ecochain.com/blog/life-cycle-assessment-lca-guide/#four-phase-lca>
- [31] Acero, A., P., Rodríguez, C., Cirotto, A. (11, May, 2016). LCIA methods. GreenDelta
<https://www.openlca.org/wp-content/uploads/2016/08/LCIA-METHODS-v.1.5.5.pdf>
- [32] (29, August, 2016). Life cycle assessment. Pre-Sustainability
<https://pre-sustainability.com/articles/recipe/>
- [33] Huijbregts et al. (12, December, 2016). ReCiPe 2016 A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *Int J Life Cycle Assess*, 22, 138–147
[DOI 10.1007/s11367-016-1246-y](https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y)

- [34] Livestock and Poultry Environmental Learning Community. (5, March, 2019). <https://lpehc.org/common-manure-test-results-conversions/#:~:text=Liquid%20manure%20density%20can%20vary,and%20a%20se%20of%20scales>
- [35] Diesel Fuels Technical Review, Chevron <https://www.chevron.com/-/media/chevron/operations/documents/diesel-fuel-tech-review.pdf>
- [36] (1, January, 2024)Introduction to the Database. EcoivnetSupport. <https://support.ecoinvent.org/introduction-to-the-database>
- [37] Zanni, S., Roccaro, M., Bocedi, F., Peli, A., Bonoli, A. (2022). LCA to Estimate the Environmental Impact of Dairy Farms: A Case Study. *Sustainability*. 14(10), 6028 <https://doi.org/10.3390/su14106028>
- [38] WorldData.info https://www.worlddata.info/climate-comparison.php?r1=germany&r2=italy#google_vignette
- [39] Lehuger, S., Gabrielle, B., Gagnaire, N. (2009). Environmental impact of the substitution of imported soybean meal with locally-produced rapeseed meal in dairy cow feed. *Journal of Cleaner Production*, 17 616-624 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.10.005>
- [40] Hörtenhuber, S.J., Lindenthal T., Zollitsch W. (2011). Reduction of greenhouse gas emissions from feed supply chains by utilizing regionally produced protein sources: the case of Austrian dairy production. *J Sci Food Agric*, 91(6), 1118-1127. [doi: 10.1002/jsfa.4293](https://doi.org/10.1002/jsfa.4293). Epub 2011 Feb 9. PMID: 21308691
- [41] Powell J., M., Gourley C., J., P., Rotz C., A., Weaver D., M. (2010). Nitrogen use efficiency: A potential performance indicator and policy tool for dairy farms. *Environmental Science & Policy*, 13(3) 217-228 <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.03.007>
- [42] Dairy cow cubicle housing design to control environmental mastitis in lactation. AHDB. <https://ahdb.org.uk/knowledge-library/dairy-cow-cubicle-housing-design-to-control-environmental-mastitis-in-lactation>
- [43] Solarproofquotes <https://quotes.solarproof.com.au/system-sizes/570kw-solar-system-information-facts-figures/#:~:text=Here%20are%20some%20common%20panel,panels%20to%20make%20570.17kW>

