



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS

ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ & ΕΙΔΙΚΗΣ ΖΩΟΤΕΧΝΙΑΣ

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΑΛΑΚΤΟΣ
& ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εκτίμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου
σε κτηνοτροφικές μονάδες παραγωγής αιγοπρόβειου γάλακτος



Ραφαέλα Ι. Λεμονίδου

Επιβλέπων καθηγητής:

Γεώργιος Λαλιώτης, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ

ΑΘΗΝΑ, 2023

**ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΡΟΦΙΜΩΝ & ΔΙΑΤΡΟΦΗΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΓΕΝΙΚΗΣ & ΕΙΔΙΚΗΣ ΖΩΟΤΕΧΝΙΑΣ**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Εκτίμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου
σε κτηνοτροφικές μονάδες παραγωγής αιγοπρόβειου γάλακτος

Estimation of greenhouse gas emissions
in goat and sheep milk production units

Ραφαέλα Ι. Λεμονίδου

Εξεταστική Επιτροπή:

Γεώργιος Λαλιώτης, Επίκουρος Καθηγητής ΓΠΑ (επιβλέπων)

Μαρία Χαρισμιάδου, Επίκουρη Καθηγήτρια ΓΠΑ

Θεοφύλακτος Μασούρας, Καθηγητής ΓΠΑ

Εκτίμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου σε κτηνοτροφικές μονάδες παραγωγής αιγοπρόβειου γάλακτος

*ΔΠΜΣ Ολοκληρωμένη Διαχείριση Παραγωγής Γάλακτος & Γαλακτοκομικών Προϊόντων
Τμήμα Επιστήμης Τροφίμων & Διατροφής του ανθρώπου
Τμήμα Επιστήμης Ζωικής Παραγωγής
Εργαστήριο Γενικής & Ειδικής Ζωοτεχνίας*

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Αν και η παραγωγή αιγοπρόβειου γάλακτος είναι ένα από τα βασικά οικονομικά στοιχεία της παγκόσμιας κτηνοτροφίας, συγχρόνως αποτελεί σημαντική πηγή εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (Greenhouse Gas, GHG). Κύριοι στόχοι της παρούσας μελέτης είναι η εκτίμηση των εκπομπών GHG, εκφρασμένα σε ισοδύναμα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂-eq), που προκύπτουν από την παραγωγή αιγοπρόβειου γάλακτος σε 11 εκτροφές αιγοπροβάτων της περιοχής Βαμβακού και η διερεύνηση πιθανών στρατηγικών μετριασμού των εκπομπών αυτών. Για την πραγματοποίηση της εκτίμησης των αερίων του θερμοκηπίου γίνεται χειρισμός των μεθοδολογιών Tier 1 και Tier 2.

Οι συνολικές εκτιμώμενες εκπομπές παρουσιάζουν ανοδική τάση με βάση τον αυξανόμενο αριθμό ζωικού κεφαλαίου ανά εκτροφή. Τα ευρήματα αποκαλύπτουν αυξημένες εκτιμώμενες συνολικές εκπομπές GHG ανεξαρτήτως μεθοδολογίας. Το αποτέλεσμα αυτό είναι σύμφωνο με τις προσδοκίες, λόγω της αύξησης του πληθυσμού των ζώων. Διαφοροποίηση, βέβαια, παρατηρείται στις εκτιμηθείσες εκπομπές με βάση τη μεθοδολογία εκτίμησης. Πιο συγκεκριμένα, η μεθοδολογία Tier 2, όντας ακριβέστερη, υποδεικνύει αρκετά χαμηλότερες εκπομπές σε σύγκριση με αυτές της Tier 1. Το εύρος των τιμών των συνολικών εκπομπών GHG βάσει της μεθοδολογίας Tier 1 κυμαίνεται μεταξύ 0,006 - 0,102 Gg CO₂-eq για τις αίγες και 0,010 - 0,056 Gg CO₂-eq για τα πρόβατα, ενώ βάσει της μεθοδολογίας Tier 2 μεταξύ 0,0001 - 0,020 Gg CO₂-eq για τις αίγες και 0,0005 - 0,009 Gg CO₂-eq για τα πρόβατα. Η διαφορά αυτή οφείλεται στις ξεχωριστές μαθηματικές προσεγγίσεις των δύο μεθοδολογιών. Η εμφανής αύξηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου τονίζει την ανάγκη για περαιτέρω στρατηγικές μετριασμού. Η παρούσα μελέτη μαζί με διάφορες άλλες περιπτώσιολογικές μελέτες (π.χ.

οικονομοτεχνικές μελέτες) θα μπορούσαν να αποτελέσουν μελλοντικό βοήθημα για την ενίσχυση της βιωσιμότητας του κλάδου.

Επιστημονική περιοχή: Ζωική Παραγωγή

Λέξεις κλειδιά: Εκτίμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, κτηνοτροφικές μονάδες, αιγοπρόβειο γάλα, Ελλάδα

Estimation of greenhouse gas emissions in goat and sheep milk production units

*Msc Complete Management of Milk Production & Dairy Products
Department of Food Science & Human Nutrition
Department of Animal Production
Laboratory of Animal Breeding & Husbandry*

ABSTRACT

Although sheep and goat milk production is one of the main economic components of global livestock farming, it is also a significant source of greenhouse gas (GHG) emissions. The main objectives of the present study are the estimation of GHG emissions, expressed in carbon dioxide equivalents (CO₂-eq), resulting from the production of goat and sheep milk in 11 farms in Vamvakou region and the investigation of possible strategies to mitigate these emissions. GHG emissions were estimated using the Tier 1 and Tier 2 methodologies.

Total estimated emissions show an upward trend depending on the animals' number. The Findings reveal increased estimated total GHG emissions regardless of methodology. This result is in line with our expectations, due to the increase in animal population. In particular, the Tier 2 methodology indicates lower emissions compared to those of Tier 1. The range of values of total GHG emissions under the Tier 1 methodology is between 0.006 - 0.102 Gg CO₂-eq for goats and 0.010 - 0.056 Gg CO₂-eq for sheep, while under the Tier 2 methodology between 0.0001 - 0.020 Gg CO₂-eq for goats and 0.0005 - 0.009 Gg CO₂-eq for sheep. This difference can be attributed to the separate mathematical approaches of the two methodologies. The observed increase in greenhouse gas emissions highlights the need for further mitigation strategies. The present study along with various other case studies could be a future aid in enhancing the sustainability of the industry.

Scientific Area: Animal Production

Keywords: Estimation of greenhouse gas emissions, livestock units, goat and sheep milk, Greece

Ευχαριστίες

Παρουσιάζοντας τη Μεταπτυχιακή μου Μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο της Γενικής και Ειδικής Ζωοτεχνίας στο Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους σπουδαιούς ανθρώπους που βοήθησαν στην διεκπεραίωσή της.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου και Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου Γενικής και Ειδικής Ζωοτεχνίας κύριο Λαλιώτη Γεώργιο για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε εξ αρχής, αναθέτοντά μου το συγκεκριμένο θέμα, την επιστημονική του καθοδήγηση, τις υποδείξεις του, τη συμπαράστασή του και τη συνεχή του υποστήριξη που έδειξε από την αρχή μέχρι το τέλος. Σε μία εποχή γεμάτη δυσκολίες, το αμείωτο ενδιαφέρον του και η επιμονή του υπήρξαν για μένα κινητήριοις δυνάμεις.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ θα ήθελα να απευθύνω στην κυρία Χαρισμιάδου Μαρία, Επίκουρη Καθηγήτρια του Εργαστηρίου Γενικής και Ειδικής Ζωοτεχνίας και στον κύριο Μασούρα Θεόφιλο, Καθηγητή του Εργαστηρίου Γαλακτοκομίας για την πολύτιμη συμβολή τους στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, ως μέλη της τριμελούς επιτροπής.

Παρόλα αυτά, το μεγαλύτερο ευχαριστώ το οφείλω στους αγαπημένους μου γονείς, Λεμονίδα Ιωάννη και Κορωναίου Νικολέττα, για όλη την συμπαράσταση, την στήριξη και την υπομονή που μου έδειξαν, καθώς υπήρξαν πάντα ένα ανεκτίμητο στήριγμα για μένα και τους οφείλω όλη την ακαδημαϊκή και μη διαδρομή μου έως και σήμερα.

Τέλος, θέλω να αφιερώσω την παρούσα μελέτη στον λατρευτό μου αδελφό, που εδώ και χρόνια αποτελεί την μεγαλύτερη δύναμη και, ταυτόχρονα, αδυναμία μου.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	2
Abstract	4
Ευχαριστίες	5
Πίνακας Περιεχομένων	6
Κατάλογος εικόνων	8
Κατάλογος πινάκων	9
Κατάλογος διαγραμμάτων	11
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή: Η κλιματική αλλαγή, η σημασία της σήμερα και η σύνδεση με τον τομέα της κτηνοτροφίας	12
Κεφάλαιο 2: Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας	15
2.1 Κλιματική αλλαγή	15
2.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου	18
2.2.1 Σημασία του φαινομένου του θερμοκηπίου	18
2.2.2 Αέρια του θερμοκηπίου	21
2.3 Ζωική Παραγωγή και κτηνοτροφικά προϊόντα	25
2.4 Κτηνοτροφία και επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή	30
2.4.1 Εντερική ζύμωση	32
2.4.2 Διαχείριση της κόπρου	33
2.4.3 Εκμετάλλευση γης	34
2.4.4 Παραγωγή ζωοτροφών	35
2.4.5 Επεξεργασία και μεταφορά κτηνοτροφικών προϊόντων	36
2.5 Έννοια ανθρακικού αποτυπώματος - Σημασία και σημερινές τάσεις	38
2.6 Στρατηγικές μετριασμού	40
2.7 Εκτίμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	47
2.7.1. Μεθοδολογία LCA	47
2.7.2. Όρια παραγωγικού συστήματος και μονάδες έκφρασης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου	51
2.7.3 Μέθοδοι εκτιμήσεων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Tier 1 - Tier 2 - Tier 3 IPCC)	52
Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία της μελέτης/Πειραματικό μέρος	53
3.1. Σκοπός	53
3.2. Υλικά και μέθοδοι	53
3.2.1. Η Περιοχή στόχος	53
3.2.2. Σύστημα εκτροφής	54
3.2.3. Τρόπος συλλογής δεδομένων	58
3.2.4. Εκτίμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου	60
3.2.5. Στατιστική επεξεργασία	80

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα	81
4.1 Εκπομπές αερίων κατά Tier 1	81
4.2 Εκπομπές αερίων κατά Tier 2	89
Κεφάλαιο 5: Συζήτηση	110
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα	114
Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφία	115

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε στάδια.

Εικόνα 2.2: Τα αέρια του θερμοκηπίου.

Εικόνα 2.3 Συχνότητα αερίων θερμοκηπίου εντερικής ζύμωσης και αποθήκευσης κοπριάς ανά ζωικό τύπο.

Εικόνα 2.4: Οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την κτηνοτροφία και συμβάλλουν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου.

Εικόνα 2.5: Μια απλοποιημένη απεικόνιση των κύριων σταδίων του κύκλου ζωής για ένα σύστημα βιοενέργειας.

Εικόνα 2.6: Τα στάδια του κύκλου ζωής των τυπικών ενεργειακών συστημάτων.

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 3.1: Υποκατηγορίες αιγοπροβάτων

Πίνακας 3.2: Παράγοντες και παράμετροι που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις για τους υπολογισμούς των Tier 1 και 2.

Πίνακας 4.1: Ημερήσια απόδοση γάλακτος των αιγοπροβάτων των εκτροφών.

Πίνακας 4.2: Διορθωμένο ετήσιο ζωικό κεφάλαιο ανά κτηνοτροφική εκμετάλλευση.

Πίνακας 4.3: Εκπομπές μεθανίου μέσω εντερικής ζύμωσης και διαχείρισης κόπρου ανά εκτροφή.

Πίνακας 4.4: Εκπομπές αζώτου μέσω της διαχείρισης κόπρου ανά εκτροφή.

Πίνακας 4.5: Συνολικές εκπομπές CH₄ και N₂O ανά εκτροφή και συνολική αξιοποιήσιμη ποσότητα γάλακτος εκτροφής (Tier 1).

Πίνακας 4.6: Καθαρή ενέργεια για συντήρηση (NE_m).

Πίνακας 4.7: Καθαρή ενέργεια για δραστηριότητα: (NE_a).

Πίνακας 4.8 Καθαρή ενέργεια για ανάπτυξη (NE_g).

Πίνακας 4.9: Καθαρή ενέργεια για γαλακτοπαραγωγή (NE_l).

Πίνακας 4.10: Καθαρή ενέργεια για κυοφορία (NE_p).

Πίνακας 4.11: Καθαρή ενέργεια για παραγωγή μαλλιού (NE_{wool}).

Πίνακας 4.12: Ακαθάριστη ενέργεια (GE) αιγοπροβάτων ανά υποκατηγορία.

Πίνακας 4.13 Καθαρή ενέργεια γαλακτοπαραγωγής (GE_{lac}) ανά γαλακτοπαραγωγό ζώο.

Πίνακας 4.14 Ακαθάριστη ενέργεια (GE) αιγοπροβάτων ανά εκτροφή.

Πίνακας 4.15: Συντελεστής εκπομπής μεθανίου (EF) εντερικής ζύμωσης αιγοπροβάτων ανά υποκατηγορία.

Πίνακας 4.16: Συνολικές εκπομπές μεθανίου εντερικής ζύμωσης ανά εκτροφή αιγοπροβάτων.

Πίνακας 4.17: Συντελεστές εκπομπών μεθανίου (EF) διαχείρισης κόπρου αιγοπροβάτων ανά είδος ζώου.

Πίνακας 4.18: Συνολικές εκπομπές μεθανίου διαχείρισης κόπρου ανά εκτροφή αιγοπροβάτων .

Πίνακας 4.19: Εκπομπές αζώτου μέσω διαχείρισης κόπρου αιγοπροβάτων.

Πίνακας 4.20: Συνολικές εκπομπές CH₄ και N₂O ανά εκτροφή και συνολική αξιοποιήσιμη ποσότητα γάλακτος εκτροφής (Tier 2).

Πίνακας 4.21: Συνολικές εκπομπές GHG (Gg CO₂-eq) αιγοπροβάτων και σύγκριση των μεθοδολογιών.

Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 2.1: Μεταβολή της γεωργικής αγοράς και των συστημάτων παραγωγής στο παγκόσμιο σύστημα τροφίμων.

Διάγραμμα 2.2: Τάσεις κατανάλωσης για τα κύρια παγκόσμια είδη διατροφής.

Διάγραμμα 2.3: Εκπομπές ανά κιλό παραγωγής γάλακτος σε παγκόσμιο επίπεδο.

Διάγραμμα 4.1: Ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης για την πρόβλεψη συνολικών εκπομπών GHG που αντιστοιχούν στις εκπομπές μεθανίου και αζώτου (Tier 1) με βάση τους αριθμούς των ζώων.

Διάγραμμα 4.2: Συνολικές εκπομπές μεθανίου και αζώτου ανά εκτροφή (Tier 1).

Διάγραμμα 4.3: Ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης για την πρόβλεψη συνολικών εκπομπών GHG που αντιστοιχούν στις εκπομπές μεθανίου και αζώτου (Tier 2) με βάση τους αριθμούς των ζώων.

Διάγραμμα 4.4: Απόκλιση των μεθοδολογιών ανά κιλό παραγόμενου γάλακτος.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή: Η κλιματική αλλαγή, η σημασία της σήμερα και η σύνδεση με τον τομέα της κτηνοτροφίας

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί μια σημαντική και εκτεταμένη πρόκληση για τα κτηνοτροφικά συστήματα σε όλο τον κόσμο. Περιλαμβάνει διάφορες πτυχές, συμπεριλαμβανομένης της υπερθέρμανσης του πλανήτη και των αυξημένων κλιματικών διακυμάνσεων, τα οποία έχουν σημαντικές συνέπειες για βασικούς πόρους όπως οι ζωοτροφές και το νερό. Επιπλέον, η κλιματική αλλαγή επηρεάζει την υγεία και την παραγωγικότητα των ζώων. Ο αντίκτυπός του εκτείνεται σε διάφορα στάδια της αλυσίδας εφοδιασμού κτηνοτροφικών προϊόντων, συμπεριλαμβανομένης της επεξεργασίας, της αποθήκευσης, της μεταφοράς, της λιανικής πώλησης και της κατανάλωσης. Κατά συνέπεια, απειλείται η ικανότητα των υφιστάμενων κτηνοτροφικών συστημάτων να συντηρούν τα προς το ζην και να ανταποκρίνονται στην αυξανόμενη ζήτηση για κτηνοτροφικά προϊόντα.

Ο τομέας της κτηνοτροφίας διαδραματίζει ζωτικό ρόλο στον παγκόσμιο εφοδιασμό τροφίμων και την επισιτιστική ασφάλεια. Προϊόντα που προέρχονται από ζώα, όπως το κρέας, το γάλα και τα αυγά, συμβάλλουν σημαντικά στην παροχή θερμίδων (15%) και πρωτεϊνών (31%) σε κατά κεφαλήν βάση παγκοσμίως, αν και με περιφερειακές ανισότητες. Συγκεκριμένα, ένα σημαντικό μέρος της παραγωγής κρέατος και γάλακτος μηρυκαστικών (περίπου 30% και 6%, αντίστοιχα) προέρχεται από συστήματα βόσκησης, συνήθως σε μη καλλιεργήσιμα εδάφη. Επιπλέον, η κτηνοτροφία εξυπηρετεί ποικιλία λειτουργιών, ενεργώντας ως πηγή ρεύματος, μέσο μεταφοράς, παροχή θρεπτικών ουσιών για εδάφη φτωχά σε θρεπτικά συστατικά, δημιουργία εισοδήματος και μια μορφή χρηματοοικονομικού κεφαλαίου. Αυτοί οι ρόλοι ενισχύουν συλλογικά την ευημερία και την ανθεκτικότητα πολλών κοινοτήτων. Πάνω από 844 εκατομμύρια άνθρωποι έχουν εισόδημα από τη γεωργία παγκοσμίως και ο κτηνοτροφικός τομέας συνεισφέρει περίπου το 40% στη γεωργική προστιθέμενη αξία. Ενώ τα ζώα διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας και στην υποστήριξη των κοινοτήτων, η κλιματική αλλαγή εισάγει αβεβαιότητες που μπορεί να επηρεάσουν αυτές τις συνεισφορές. Ωστόσο, το ακριβές μέγεθος και το εύρος αυτών των επιπτώσεων παραμένει αβέβαιο (Andretta et al., 2021, He et al., 2019, Ivanova et al., 2017, Matthews et al., 2008).

Οι μελέτες που διερευνούν τη «συνύπαρξη» του ζωικού κεφαλαίου και της κλιματικής αλλαγής συχνά επικεντρώνονται σε δύο βασικούς τομείς: τη δυνατότητα των κτηνοτροφικών μονάδων και του ζωικού κεφαλαίου να μετριάσουν τις συνέπειες τους στην κλιματική αλλαγή και την περιγραφή των στρατηγικών προσαρμογής των μονάδων και των ζώων στην ίδια την κλιματική αλλαγή. Όταν διεξάγονται μελέτες κλιματικών επιπτώσεων, τείνουν να υιοθετούν μια στενή προοπτική, εστιάζοντας σε συγκεκριμένες πτυχές, όπως συγκεκριμένα είδη ζώων, πρωτογενή παραγωγή ή συγκεκριμένες διαστάσεις κινδύνων που σχετίζονται με το κλίμα, όπως κινδύνους που σχετίζονται με το κλίμα. Αυτές οι μελέτες συχνά παραβλέπουν διακυμάνσεις στα επίπεδα ευπάθειας των διαφορετικών κοινοτήτων. Αυτό το περιορισμένο πεδίο εφαρμογής μπορεί να αποδοθεί, εν μέρει, στο γεγονός ότι υπάρχουν λιγότερες μελέτες σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στα ζώα σε σύγκριση με την παραγωγή καλλιεργειών (φυτική παραγωγή). Παράλληλα, εντοπίζεται η έλλειψη περιεκτικών ανασκοπήσεων σχετικά με αυτό το θέμα (Bird et al., 2011, Hristov et al., 2013, Reijnders, 2021, Wilkes et al., 2020).

Ενώ η βιομηχανία αιγοπρόβειου κρέατος και γαλακτοκομικών προϊόντων συνεισφέρει σημαντικά παγκοσμίως στις συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, είναι επιτακτική ανάγκη να στρέψουμε την προσοχή μας στις εκπομπές σε επίπεδο χώρας. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούμε να αποκτήσουμε πιο αναλυτικές πληροφορίες και να επινοήσουμε στοχευμένες στρατηγικές μετριασμού. Επιπλέον, υπάρχει έλλειψη πληροφοριών σχετικά με τον ειδικό αντίκτυπο των ελληνικών κτηνοτροφικών μονάδων παραγωγής αιγοπρόβειου γάλακτος στην κλιματική αλλαγή όσον αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Κατά συνέπεια, η διεξαγωγή μιας εις βάθος ανάλυσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου καθίσταται κρίσιμη για την ολοκληρωμένη κατανόηση της συμβολής αυτού του τομέα σε εθνικό επίπεδο. Στο πλαίσιο αυτό, η παρούσα μελέτη επιδιώκει την εκτίμηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που παράγονται σε ελληνικές κτηνοτροφικές μονάδες παραγωγής αιγοπρόβειου γάλακτος, χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία που εγκρίθηκε από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (IPCC). Επιπλέον, αποτελεί μία συστηματική προσπάθεια για την ποσοτικοποίηση των εκπομπών GHG που προέρχονται από τις ελληνικές κτηνοτροφικές μονάδες παραγωγής αιγοπρόβειου γάλακτος στην Ελλάδα. Παράλληλα, παρουσιάζει πιθανές στρατηγικές για τον μετριασμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των εκπομπών αυτών. Τα

αποτελέσματα αυτής της έρευνας μπορεί να αποδειχθούν καθαριστικά για τους ενδιαφερόμενους στην κτηνοτροφία στο τομέα των αιγοπροβάτων, καθοδηγώντας τους προς πιο περίπλοκα και αποτελεσματικά μέτρα στο μέλλον (Atzori et al., 2021, Wilkes et al., 2020).

Κεφάλαιο 2: Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1 Κλιματική αλλαγή

Ένας σημαντικός παράγοντας για την ύπαρξη της ποικιλομορφίας και την εξέλιξη της ζωής στον πλανήτη, αποτελεί η σταθερότητα του κλίματος που δημιουργεί τις ευνοϊκές συνθήκες για ζωή. Σήμερα, παρατηρείται μια διατάραξη των κλιματικών συνθηκών και κυρίως των διακυμάνσεων τους. Συγκεκριμένα, τον τελευταίο αιώνα, η θερμοκρασία της Γης έχει αυξηθεί κατά 1°C και η αύξηση αυτή αναμένεται να φτάσει τους 2 - 3°C. Συγκεκριμένα, από το 1980 μέχρι σήμερα, η θερμοκρασία αυξάνεται κάθε δεκαετία. Αυτή η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας της Γης έχει προκαλέσει ένα φάσμα θεμάτων που έχουν αφήσει μόνιμο αντίκτυπο στο περιβάλλον μας (Hardy, 2003).

Η αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη οδηγεί σε τήξη των πάγων στους πόλους και άνοδο της στάθμης της θάλασσας με κίνδυνο την εμφάνιση πλημμυρών και την εξαφάνιση περιοχών με χαμηλό υψόμετρο. Ακόμη, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών, περισσότερη υγρασία εξατμίζεται στην ατμόσφαιρα με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η συχνότητα και ποιότητα των βροχοπτώσεων. Οι έντονες και καταρρακτώδεις βροχές πλήττουν πλέον πολλές περιοχές του πλανήτη, με απρόβλεπτες συνέπειες για την ασφάλεια των πληθυσμών αλλά και την ζωική και φυτική παραγωγή.

Άλλη συνέπεια του φαινομένου αποτελεί η ξηρασία. Η κλιματική αλλαγή επιδεινώνει τη διαθεσιμότητα σε νερό σε περιοχές που αντιμετωπίζουν ήδη πρόβλημα. Έτσι, αυξάνεται ο κίνδυνος για μείωση της παραγωγής φυτικών προϊόντων, ερημοποίηση περιοχών αλλά και ελλείψεις σε πόσιμο νερό. Λογικό επόμενο αποτελεί και η επισιτιστική κρίση, καθώς αυξάνονται οι αποδόσεις σε αλιεία, κτηνοτροφία και καλλιέργειες. Η σύσταση του νερού στις θάλασσες αλλάζει, με το pH να γίνεται πιο όξινο, διαταράσσοντας το θαλάσσιο οικοσύστημα. Ακόμη, η αλλαγή στην πυκνότητα του πάγου και η ξηρασία διαταράσσουν τον εφοδιασμό σε αγροτικά προϊόντα που προορίζονται για κτηνοτροφία ή κατανάλωση.

Μια επίσης, συνέπεια της κλιματικής αλλαγής αποτελεί και η εξαφάνιση ειδών στη στεριά και τη θάλασσα. Συγκεκριμένα, ο ρυθμός εξαφάνισης ειδών σήμερα είναι 1000 φορές μεγαλύτερος από οποιαδήποτε άλλη χρονική περίοδο της ανθρώπινης ιστορίας. Οι πυρκαγιές, οι ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες, η έλλειψη νερού και η αύξηση των μολυσματικών παραγόντων και ασθενειών θα οδηγήσουν στην εξαφάνιση ίσως και ενός εκατομμυρίου ειδών ζώων τις επόμενες δεκαετίες (United Nations, 2021).

Οι σύγχρονοι επιστήμονες αντιλαμβάνονται την κλιματική αλλαγή στη Γη ως ένα αδιαμφισβήτητο πρόβλημα της παγκόσμιας ανθρωπότητας. Το μεταβαλλόμενο κλίμα του πλανήτη είναι πραγματικότητα. Μεταξύ των φυσικών παραγόντων των κλιματικών διακυμάνσεων στη Γη, η επιρροή του Ήλιου είναι η ισχυρότερη. Η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει άμεσα την επιφάνεια της Γης, ζεσταίνοντας περισσότερο τις περιοχές του Ισημερινού, δημιουργώντας κατά συνέπεια μοτίβα ανέμου και ωκεάνια ρεύματα. Η αυξημένη ηλιακή δραστηριότητα οδηγεί σε γεωμαγνητικές καταιγίδες και σε αυξημένες θερμοκρασίες.

Άλλοι φυσικοί παράγοντες της κλιματικής αλλαγής αποτελούν οι μεταβολές στην τροχιά του πλανήτη, η ηφαιστειακή δραστηριότητα, οι μετατοπίσεις σε ηπειρωτικές και σε ωκεάνιες πλάκες και οι τροποποιήσεις στο γεωμαγνητικό πεδίο. Αξίζει να σημειωθεί πως οι ισχυρές ηφαιστειακές εκρήξεις προκαλούν ταχεία ψύξη στην περιοχή τους. Παρά την συχνότητά τους, ο βραχυπρόθεσμος αντίκτυπος των ηφαιστειακών εκρήξεων στη ψύξη του κλίματος και στη μοίρα ολόκληρων ειδών αποτελεί καίριο ζήτημα (Yakovlev & Belyaev, 2023).

Είναι ευρέως γνωστό πως οι ήπειροι σταδιακά μετατοπίζονται λόγω της κίνησης των τεκτονικών πλακών. Αυτή η κίνηση έχει οδηγήσει στο σχηματισμό νέων θαλασσών και ωκεανών, στο σχηματισμό νέων βουνών ή στη διάβρωση ήδη υπάρχοντων και, τελικά, στη δημιουργία διαφορετικών κλιμάτων. Για παράδειγμα, η Εποχή των Παγετώνων, η οποία συνέβη πριν από περίπου τρία εκατομμύρια χρόνια και είναι ιστορικά γνωστή, επεκτάθηκε λόγω της κίνησης των πλακών της Βόρειας και της Νότιας Αφρικής. Η σύγκρουσή τους δημιούργησε τον Ισθμό του Παναμά, εμποδίζοντας δυνητικά την ανάμειξη των υδάτων του Ατλαντικού και του Ειρηνικού Ωκεανού, κάτι που θα παρέτεινε την περίοδο των παγετώνων.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου οφείλεται στον εγκλωβισμό εντός της ατμόσφαιρας της θερμότητας που φτάνει στη Γη από τον Ήλιο. Η παραγωγή και η αφομοίωση του διοξειδίου του άνθρακα είναι φυσιολογικά στάδια του κύκλου του άνθρακα, αλλά η αυξανόμενη παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα που προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, έχει οδηγήσει σε πρωτοφανή υψηλά επίπεδα στην ατμόσφαιρα (Gill et al, 2010). Συγκεκριμένα, από τις αρχές του 21ου αιώνα, το φαινόμενο του θερμοκηπίου έχει οκταπλασιαστεί.

Υπάρχουν πολλά σημαντικά ζητήματα που προκύπτουν από τις ανθρώπινες δραστηριότητες και επηρεάζουν δυσμενώς το κλίμα και το περιβάλλον (Hardy, 2003, Onoja et al., 2011, Yakovlev & Belyaev, 2023), παγιδεύοντας θερμότητα στην ατμόσφαιρα όπως για παράδειγμα:

- Η καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, πετρέλαιο και φυσικό αέριο) έχει συμβάλλει στην απελευθέρωση 400 δισεκατομμυρίων τόνων διοξειδίου του άνθρακα. Τα αυξημένα αυτά επίπεδα CO₂ στην ατμόσφαιρα, συντελούν στην υπερθέρμανση του πλανήτη και στις αυξημένες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.
- Τα αερολύματα, που προέρχονται τόσο από φυσικές όσο και από ανθρωπογενείς πηγές, προκαλούν ξηρασίες και σημαντικές διαταραχές στα καιρικά μοτίβα, με αποτέλεσμα φαινόμενα όπως χιονοπτώσεις, βροχοπτώσεις και πτώση της θερμοκρασίας. Επιπλέον, τα αερολύματα διαδραματίζουν κεντρικό ρόλο στο σχηματισμό και την επέκταση του νέφους.
- Η βιομηχανία τσιμέντου ξεχωρίζει ως σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει στις εκπομπές CO₂, κατέχοντας περίπου το 2,5% των εκπομπών CO₂ στις βιομηχανικές διεργασίες.
- Οι αλλαγές στη χρήση γης, συμπεριλαμβανομένης της άρδευσης, της αποψίλωσης των δασών και των γεωργικών δραστηριοτήτων, αποτελούν μετασχηματιστικές δυνάμεις που επηρεάζουν το περιβάλλον και τη δυναμική του κλίματος, αλλάζοντας τις ιδιότητες της επιφάνειας της Γης. Οι τροποποιήσεις αυτές μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές τόσο στις θερμοδυναμικές όσο και στις δυναμικές ατμοσφαιρικές ιδιότητες, προκαλώντας έτσι δυσμενείς κλιματικές διεργασίες.

→ Η κτηνοτροφία, αν και δεν είναι άμεσα εμφανής, έχει σημαντική σχέση με την κλιματική αλλαγή. Με τις προβλέψεις να υποδεικνύουν αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού σε 9 δισεκατομμύρια ανθρώπους έως το 2050, εμφανίζεται η ανάγκη για εκτεταμένη παραγωγή κρέατος, γάλακτος και γαλακτοκομικών προϊόντων, αυξάνοντας κατά συνέπεια τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (περίπου 46 - 50%) που επηρεάζουν αρνητικά το περιβάλλον (Hardy, 2003, Onoja et al., 2011, Yakovlev & Belyaev, 2023).

2.2 Το φαινόμενο του θερμοκηπίου

2.2.1 Σημασία του φαινομένου του θερμοκηπίου

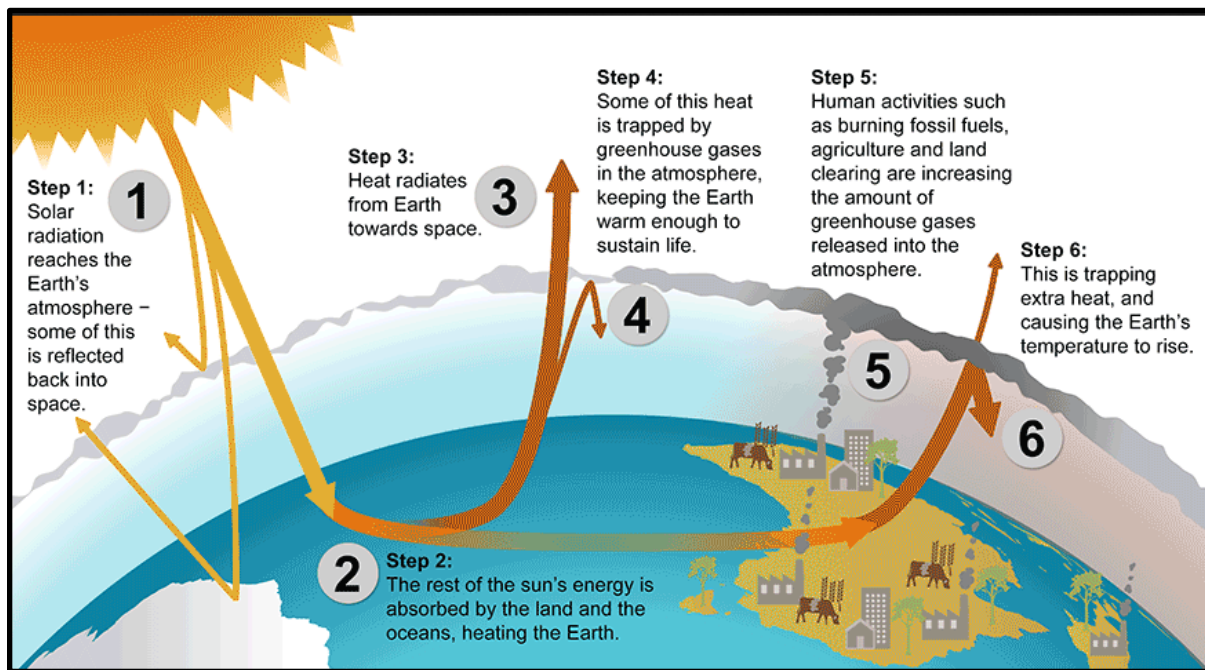
Ο Ήλιος ακτινοβολώντας ενέργεια σε πολύ μικρά μήκη κύματος, κυρίως στο ορατό ή σχεδόν ορατό (π.χ. υπεριώδες) μέρος του φάσματος, καθορίζει το κλίμα του πλανήτη. Περίπου το ένα τρίτο της ηλιακής ενέργειας που φτάνει στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας της Γης αντανακλάται απευθείας στο διάστημα. Η υπόλοιπη ενέργεια απορροφάται από την επιφάνεια και σε μικρότερο βαθμό από την ατμόσφαιρα. Για να εξισορροπηθεί η απορροφούμενη εισερχόμενη ενέργεια, η Γη πρέπει, κατά μέσο όρο, να εκπέμπει την ίδια ποσότητα ενέργειας πίσω στο διάστημα. Επειδή η Γη είναι περισσότερο κρύο σώμα από τον Ήλιο, ακτινοβολεί σε μεγαλύτερα μήκη κύματος, κυρίως στο υπέρυθρο. Μεγάλο μέρος αυτής της θερμικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται από την ξηρά και τους ωκεανούς απορροφάται από την ατμόσφαιρα και ακτινοβολείται ξανά πίσω στη Γη. Το φαινόμενο της παγίδευσης της ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα μια συνολική αύξηση των παγκόσμιων θερμοκρασιών. Αυτός ο μηχανισμός, παρόμοιος με τα γυάλινα πάνελ ενός θερμοκηπίου, είναι ο κύριος λόγος για τον οποίο τα αέρια που μπορούν να παράγουν αυτό το φαινόμενο αναφέρονται συλλογικά ως αέρια θερμοκηπίου (Yakovlev & Belyaev, 2023). Σε ένα θερμοκήπιο, το ηλιακό φως εισέρχεται μέσα από το γυαλί, επιτρέποντας στο φως να εισέλθει ενώ ταυτόχρονα εμποδίζεται η διαφυγή της θερμότητας. Ομοίως, τα αέρια του θερμοκηπίου στη Γη επιτρέπουν στο ηλιακό φως να διεισδύσει στην ατμόσφαιρα, το οποίο στη συνέχεια απορροφάται από την επιφάνεια της Γης, συμπεριλαμβανομένης της γης, του νερού και της βιόσφαιρας. Μόλις απορροφηθεί, αυτή η ενέργεια εκπέμπεται εκ νέου στην ατμόσφαιρα. Ενώ μέρος αυτής της ενέργειας διαφεύγει πίσω στο διάστημα, ένα σημαντικό μέρος παραμένει παγιδευμένο στην ατμόσφαιρα λόγω της

παρουσίας αερίων του θερμοκηπίου. Αυτή η διαδικασία είναι απολύτως φυσική και παίζει καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση της μέσης θερμοκρασίας της Γης. Χωρίς το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, η πλειονότητα της θερμότητας θα διασκορπιζόταν στο διάστημα και κατά συνέπεια η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης θα βρισκόταν κάτω από το σημείο πήξης του νερού. Έτσι, το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου της Γης καθιστά δυνατή τη ζωή, όπως τη γνωρίζουμε. Ωστόσο, οι ανθρώπινες δραστηριότητες που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχουν εντείνει σημαντικά το φυσικό φαινόμενο του θερμοκηπίου, προκαλώντας υπερθέρμανση του πλανήτη, οδηγώντας σε δυσμενείς συνέπειες για τους ανθρώπους, τα φυτά και τα ζώα. Σύμφωνα με υπολογιστικά κλιματικά μοντέλα, οι επιστήμονες εκτιμούν ότι μέχρι το έτος 2100, η μέση παγκόσμια θερμοκρασία θα μπορούσε να αυξηθεί από 1,4 έως 5,8 °C εφόσον δεν ληφθούν μέτρα μετριασμού (NASA, 2021).

Τα δύο πιο άφθονα αέρια στην ατμόσφαιρα, το άζωτο (78% της ξηρής ατμόσφαιρας) και το οξυγόνο (που αποτελεί το 21%) αποτελούνται από μόρια δύο ατόμων που είναι πολύ στενά συνδεδεμένα για να δονούνται και, κατά συνέπεια, δεν συμβάλλουν στην απορρόφηση θερμότητας, με αποτέλεσμα να μην ασκούν σχεδόν κανένα ρόλο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Herrero et al., 2016, Knapp et al., 2014, Yakovlev & Belyaev, 2023). Οι υδρατμοί και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) αποτελούν τα πιο σημαντικά αέρια του θερμοκηπίου. Το μεθάνιο, το μονοξείδιο του αζώτου, το όζον και άλλα αέρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα σε μικρές ποσότητες συμβάλλουν επίσης στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Στις υγρές περιοχές του Ισημερινού, όπου οι υδρατμοί στον αέρα είναι σε υψηλές συγκεντρώσεις, το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι πιο έντονο. Αντιθέτως, στις ψυχρές, ξηρές πολικές περιοχές, οι υδρατμοί είναι λιγότεροι και η επίδραση μιας μικρής αύξησης CO₂ ή υδρατμών είναι πολύ μεγαλύτερη.

Ωστόσο, οι ωκεανοί και τα έμβια όντα, επηρεάζουν τις ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις των αερίων του θερμοκηπίου. Για παράδειγμα, τα φυτά που αφαιρούν το CO₂ από την ατμόσφαιρα και το μετατρέπουν σε υδατάνθρακες, μέσω της φωτοσύνθεσης. Η προσθήκη περισσότερων αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα όπως το CO₂, κυρίως μέσα από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες, εντείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου θερμαίνοντας έτσι το κλίμα της Γης.

Για τον προσδιορισμό της επιρροής αυτής, λαμβάνονται υπόψη διάφοροι μηχανισμοί ανάδρασης. Για παράδειγμα, καθώς η ατμόσφαιρα θερμαίνεται λόγω της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου, αυξάνεται και η συγκέντρωσή της σε υδρατμούς, εντείνοντας περαιτέρω το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Αυτό με τη σειρά του προκαλεί περισσότερη θέρμανση και, κατά συνέπεια, επιπλέον αύξηση των υδρατμών, σε έναν αυτοτροφοδοτούμενο κύκλο (Εικόνα 2.1). Η παρατηρούμενη αυτή ενίσχυση του φαινομένου μέσω των υδρατμών μπορεί να είναι αρκετά ισχυρή ώστε σχεδόν να διπλασιάσει την αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, εξαιτίας του προστιθέμενου CO₂. Τα σύννεφα αποτελούν ακόμη ένα μηχανισμό ανάδρασης, αφού απορροφούν τμήμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας θερμαίνοντας έτσι τη Γη. Τα φυσικά χαρακτηριστικά των σύννεφων, όπως το μέγεθος ή η περιεκτικότητα σε νερό, επηρεάζουν τη σχέση απορρόφησης και ανάκλασης άρα και το κατά πόσο τα σύννεφα θερμαίνουν ή ψύχουν τη Γη (The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2007).



Εικόνα 2.1. Το φαινόμενο του θερμοκηπίου σε στάδια. Στο 1^ο στάδιο, η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει στην ατμόσφαιρα της Γης - μέρος της οποίας αντανακλάται πίσω στο διάστημα. Στο 2^ο η υπόλοιπη ενέργεια του ήλιου απορροφάται από τη γη και τους ωκεανούς, θερμαίνοντας τη Γη. Στο 3^ο στάδιο, φαίνεται πως η θερμότητα εκπέμπεται από τη Γη προς το διάστημα. Στο 4^ο στάδιο, ένα μέρος αυτής της θερμότητας παγιδεύεται από αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, διατηρώντας τη Γη σε συνθήκες ικανές ώστε

να υπάρχει ζωή. Στο 5^ο στάδιο, σημειώνονται οι ανθρώπινες δραστηριότητες που αυξάνουν την ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα. Τέλος, στο 6^ο στάδιο, φαίνεται η πλεονάζουσα θερμότητα που προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας της Γης, μαζί με άλλες επιπτώσεις όπως η οξίνιση των ωκεανών (DCCEEW, Australian Government, Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water, 2023).

2.2.2 Αέρια του θερμοκηπίου

Υπάρχουν δέκα πρωτογενή αέρια του θερμοκηπίου (GHG) και διαθέτουν μοριακή δομή με τρία ή περισσότερα άτομα. Αυτή η συγκεκριμένη διάταξη, τους επιτρέπει να δονούνται, να απορροφούν θερμότητα μέσα στην ατμόσφαιρα και στη συνέχεια να τη μεταφέρουν πίσω στην επιφάνεια της Γης, συμβάλλοντας σε ένα φαινόμενο θέρμανσης. Από αυτά, οι υδρατμοί (H₂O), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄) και το μονοξείδιο του αζώτου (N₂O) απαντώνται στη φύση. Οι υπερφθοράνθρακες (CF₆, C₂F₆), οι υδροφθοράνθρακες (CHF₃, CF₃CH₂F, CH₃CHF₂) και το εξαφθοριούχο θείο (SF₆) υπάρχουν στην ατμόσφαιρα μόνο λόγω βιομηχανικών διεργασιών (Εικόνα 2.2).

Οι υδρατμοί αποτελούν το πιο άφθονο και κυρίαρχο GHG στην ατμόσφαιρα και ανταποκρίνονται γρήγορα στις περιβαλλοντικές αλλαγές, είτε μέσω συμπύκνωσης σε βροχοπτώση, είτε με εξάτμιση πίσω στην ατμόσφαιρα. Η συγκέντρωσή τους εξαρτάται από τη θερμοκρασία και άλλες μετεωρολογικές συνθήκες και όχι άμεσα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Επιπλέον, οι υδρατμοί δρουν ως μηχανισμός ταχείας ανάδρασης, αλλά επηρεάζονται από την ακτινοβολία που ασκείται από τα μη συμπυκνούμενα αέρια του θερμοκηπίου.

Αντιθέτως, το CO₂ είναι το κύριο ανθρωπογενές αέριο του θερμοκηπίου και με βάση τα δεδομένα του 2010, αντιπροσωπεύει το 78% της ανθρώπινης συνεισφοράς στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2022). Αποτελείται από ένα άτομο άνθρακα συνδεδεμένο με δύο άτομα οξυγόνου μέσω των οποίων απορροφά υπέρυθη ακτινοβολία, προκαλώντας δόνηση του μορίου. Τελικά, το δονούμενο μόριο εκπέμπει ακτινοβολία, η οποία απορροφάται από κάποιο άλλο μόριο αερίου του θερμοκηπίου. Αυτός ο κύκλος απορρόφησης, εκπομπής και επαναρρόφησης παγιδεύει αποτελεσματικά τη θερμότητα

κοντά στην επιφάνεια της Γης, παρέχοντας μόνωση ενάντια στο κρύο του διαστήματος. Το διοξείδιο του άνθρακα, εκτός από τις βιολογικές διεργασίες των φυτών, εισέρχεται στην ατμόσφαιρα μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων (άνθρακας, φυσικό αέριο και πετρέλαιο), στερεών αποβλήτων και ως αποτέλεσμα ορισμένων χημικών αντιδράσεων (π.χ. κατασκευή τσιμέντου). Το διοξείδιο του άνθρακα απομακρύνεται από την ατμόσφαιρα (ή «απομονώνεται») όταν απορροφάται από τα φυτά, καθώς υπάρχει φυσικά στην ατμόσφαιρα ως μέρος του κύκλου του άνθρακα της Γης (η φυσική κυκλοφορία του άνθρακα μεταξύ της ατμόσφαιρας, των ωκεανών, του εδάφους, των φυτών και των ζώων). Οι ανθρώπινες δραστηριότητες μεταβάλλουν τον κύκλο του άνθρακα, τόσο προσθέτοντας περισσότερο CO₂ στην ατμόσφαιρα, όσο και επηρεάζοντας την ικανότητα των δασών και της γης, να αφαιρούν και να αποθηκεύουν CO₂ από την ατμόσφαιρα (United States Environmental Protection Agency, 2021).

Το μεθάνιο προέρχεται από τη διεργασία των ορυκτών καυσίμων, τις φυσικές γεωλογικές πηγές, τη μικροβιακή δραστηριότητα και την καύση βιομάζας. Παρότι έχει μικρότερη διάρκεια ζωής από το CO₂, είναι 28 φορές πιο αποτελεσματικό στην παγίδευση θερμότητας στην ατμόσφαιρα σε χρονικό διάστημα 100 ετών. Σημαντική πηγή μεθανίου αποτελεί η μικροβιακή δραστηριότητα σε κτηνοτροφία, γεωργία, χωματερές, υγρότοπους και γλυκά νερά όπως και διαρροές από δραστηριότητες πετρελαίου και φυσικού αερίου σε όλο τον κόσμο (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2016).

Το 2018, η συγκέντρωση του ατμοσφαιρικού υποξειδίου του αζώτου (N₂O) υπολογίστηκε ότι έχει αυξηθεί περισσότερο από 20%, με τη μεγαλύτερη αύξηση να σημειώνεται τα τελευταία πενήντα χρόνια. Οι εκπομπές του προς την ατμόσφαιρα έχουν αυξηθεί λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων αλλά και λόγω της επιρροής από την ίδια την κλιματική αλλαγή, όπως για παράδειγμα η έλλειψη νερού και η αύξηση του CO₂ στην ατμόσφαιρα. Εξωτερικοί περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η βροχόπτωση και η θερμοκρασία, επηρεάζουν την απόδοση N₂O στην ατμόσφαιρα, διαταράσσοντας διαδικασίες όπως η νιτροποίηση και απονιτροποίηση (Tian et al., 2020). Σε πολύ μεγάλο ποσοστό οι αυξημένες εκπομπές προέρχονται από την γεωργία άμεσα μέσω της χρήσης και εφαρμογής αζωτούχων λιπασμάτων στις καλλιέργειες, αλλά και έμμεσα μέσω των αποβλήτων των κτηνοτροφικών μονάδων

(Βαρβάρας, 2009). Φυσικά, καθότι αποτελεί μια πολύ δραστική χημική ένωση, σημαντική είναι και η συνεισφορά στην περιβαλλοντική επιβάρυνση από τη βιομηχανία, τα ορυκτά καύσιμα και τους κινητήρες των διαφόρων μηχανών, της καύσης της βιομάζας κ.ά. Το N_2O διαδραματίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στην καταστροφή της στοιβάδας του όζοντος στην στρατόσφαιρα, που προστατεύει τη Γη από την υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου αλλά και την απορρόφηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας συνεισφέροντας σημαντικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου (Tian et al., 2020).

Οι υπερφθοράνθρακες, οι υδροφθοράνθρακες και το εξαφθοριούχο θείο αποτελούν τεχνητά αέρια που ονομάζονται φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου. Οι υπερφθοράνθρακες χρησιμοποιούνται συνήθως στον τομέα των ηλεκτρονικών, της φαρμακευτικής και των καλλυντικών, οι υδροφθοράνθρακες αντίστοιχα έχουν ευρύτερη δράση ως ψυκτικά μέσα σε κλιματιστικά και αντλίες θερμότητας αλλά και ως παράγοντες διόγκωσης αφρωδών υλικών και διαλύτες. Το εξαφθοριούχο θείο χρησιμοποιείται κυρίως ως μονωτικό αέριο, σε διακόπτες υψηλής τάσης καθώς και στην παραγωγή μαγνησίου και αλουμινίου. Παρότι η συνεισφορά των φθοριούχων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί μόνο το 2% από τα υπόλοιπα αέρια του θερμοκηπίου, παρουσιάζουν μεγάλη αυξητική τάση και έχουν πολύ υψηλό δυναμικό θέρμανσης του πλανήτη (Global Warming Potential, GWP), έως και 23.000 φορές μεγαλύτερο του διοξειδίου του άνθρακα (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2022).

Το εξαφθοριούχο θείο (SF_6) συγκαταλέγεται, επίσης, στα φθοριούχα αέρια και αποτελεί το πιο ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου που έχει εντοπιστεί. Οι εξαιρετικές του φυσικές και διηλεκτρικές ιδιότητες, όπως η υψηλή σταθερότητα, η χαμηλή τοξικότητα και η μη αναφλεξιμότητα, το καθιστούν χρήσιμο και απαραίτητο σε ευρείες εφαρμογές ως μονωτικό αέριο σε ηλεκτρικό εξοπλισμό, σε διακόπτες υψηλής τάσης καθώς και στην παραγωγή μαγνησίου και αλουμινίου (Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, 2022). Ακόμη χρησιμοποιείται στην θερμομόνωση παραθύρων, στην ιατρική απεικόνιση και στις χειρουργικές επεμβάσεις, στην επεξεργασία ημιαγωγών και στην κατασκευή ηχητικού εξοπλισμού. Η συνεισφορά του (δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη) είναι 23.900 φορές μεγαλύτερη από αυτή του διοξειδίου του άνθρακα σε περίοδο 100 ετών. Και, εφόσον αποτελεί ένα συνθετικό αέριο δεν απορροφάται

ούτε καταστρέφεται φυσικά, και για το λόγο αυτό το συχνό φαινόμενο της διαφυγής του αερίου στην ατμόσφαιρα κατά τον χειρισμό απειλεί το περιβάλλον. Φυσικά, ο τομέας της ηλεκτρικής βιομηχανίας εξακολουθεί να είναι η κύρια πηγή εκπομπών SF₆ στο περιβάλλον και η αντικατάσταση του από κάποια πιο φιλική και βιώσιμη χημική ένωση αποτελεί μεγάλο στοίχημα λόγω των μοναδικών του ιδιοτήτων, όπως πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την υψηλή διηλεκτρική του αντοχή (πρόληψη ηλεκτρικής βλάβης υψηλής τάσης και κινδύνου ηλεκτρικής έκρηξης) αλλά και του χαμηλού κόστους συντήρησης (Ozin, 2019).

Το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP), υποδεικνύει τη σχετική αποτελεσματικότητα των GHG στην παγίδευση της θερμότητας της Γης σε ένα ορισμένο χρονικό πλαίσιο. Το CO₂ χρησιμοποιείται ως αέριο αναφοράς και έχει GWP 1,4. Για παράδειγμα, το GWP 100 ετών του SF₆ είναι 23.500, υποδεικνύοντας ότι η ακτινοβολία του είναι 23.500 φορές μεγαλύτερη από αυτή του CO₂ στον ίδιο χρονικό ορίζοντα. Οι εκπομπές GHG συνήθως παρουσιάζονται ως προς τη μάζα των ισοδυνάμων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂-eq.), τα οποία υπολογίζονται πολλαπλασιάζοντας τη μάζα των εκπομπών με το GWP του αερίου (Center for Sustainable Systems, University of Michigan, 2021).

Compound	Pre-industrial concentration (ppmv*)	Concentration in 2020 (ppmv)	Atmospheric lifetime (years)	Main human activity source	GWP**
Carbon dioxide (CO ₂)	278	413	variable	Fossil fuels, cement production, land use change	1
Methane (CH ₄)	0.722	1.889	12	Fossil fuels, rice paddies, waste dumps, livestock	28
Nitrous oxide (N ₂ O)	0.27	0.333	121	Fertilizers, combustion industrial processes	265
HFC 23 (CHF ₃)	0	0.000024***	222	Electronics, refrigerants	12,400
HFC 134a (CF ₃ CH ₂ F)	0	0.000062***	13	Refrigerants	1,300
HFC 152a (CH ₃ CHF ₂)	0	0.0000064***	1.5	Industrial processes	138
Perfluoromethane (CF ₄)	0.00004	0.000079***	50,000	Aluminum production	6,630
Perfluoroethane (C ₂ F ₆)	0	0.0000041***	10,000	Aluminum production	11,100
Sulphur hexafluoride (SF ₆)	0	0.0000073***	3,200	Electrical insulation	23,500

*ppmv = parts per million by volume, **GWP = 100-year global warming potential, ***Concentration in 2011
Water vapor not included in table, see bullet.

Εικόνα 2.2. Τα αέρια του θερμοκηπίου. Στην πρώτη στήλη αποτυπώνονται τα είδη των αέριων. Στις υπόλοιπες παρουσιάζονται κατά σειρά: η συγκέντρωσή τους πριν από τη βιομηχανική

ανάπτυξη, η συγκέντρωσή τους το έτος 2020, η διάρκεια ζωής τους στην ατμόσφαιρα, οι κύριες πηγές ανθρωπογενούς δραστηριότητας και το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη 100 ετών GWP (Center for Sustainable Systems, University of Michigan, 2021).

Οι προβλέψεις για τις μελλοντικές εκπομπές βασίζονται, εν μέρει, σε υποθέσεις σχετικές με τις αλλαγές στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Για παράδειγμα, η αναμενόμενη ανάπτυξη της παγκόσμιας οικονομίας αναμένεται να αυξήσει σημαντικά τη ζήτηση για ορυκτά καύσιμα, όπως η βενζίνη. Πολλές, αν και όχι όλες, πηγές ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αναμένεται να αυξηθούν τα επόμενα χρόνια. Ωστόσο, αυτές οι κλιμακώσεις ενδέχεται να μετριαστούν με συνεχείς προσπάθειες που στοχεύουν στην ενίσχυση της χρήσης προηγμένων, καθαρότερων τεχνολογιών και στην εφαρμογή διαφόρων μέτρων.

Επιπλέον, οι καθημερινές μας επιλογές που σχετίζονται με θέματα όπως η μετακίνηση, η στέγαση, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και η ανακύκλωση μπορούν να επηρεάσουν την ποσότητα των αερίων του θερμοκηπίου που απελευθερώνονται στο περιβάλλον.

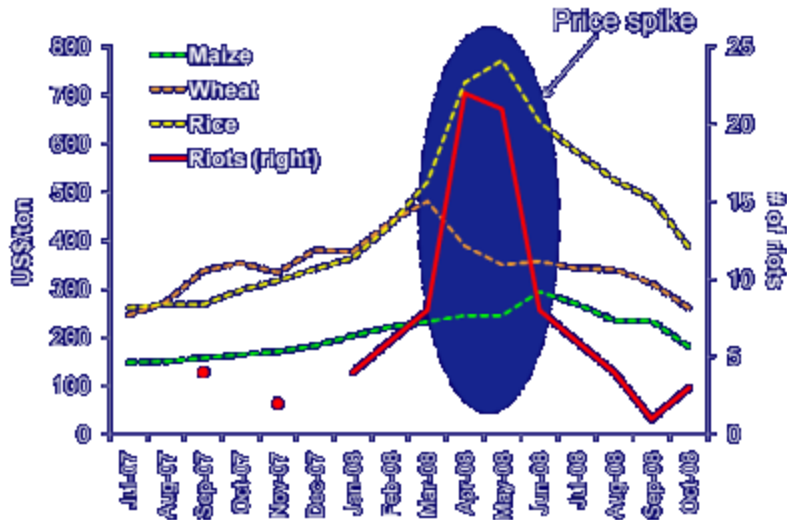
2.3 Ζωική Παραγωγή και κτηνοτροφικά προϊόντα

Ο τομέας της κτηνοτροφίας βρίσκεται συνεχώς αντιμέτωπος με την αύξηση του πληθυσμού και τις νέες απαιτήσεις που δημιουργούνται, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Τις τελευταίες δεκαετίες η παγκόσμια αύξηση του πληθυσμού δείχνει να μειώνεται. Το 1970 το ποσοστό αύξησης του πληθυσμού ανά έτος βρισκόταν στο 2,07%, ενώ το 1980 υπήρξε μεγάλη μείωση στο 1,79%. Μέχρι την αλλαγή της χιλιετίας, το ποσοστό αύξησης του πληθυσμού μειώθηκε στο 1,35%. Στα επόμενα χρόνια, το 2017 έφτασε στο 1,12%, το 2019 στο 1,08% και το 2020 να βρίσκεται στο 1,05% (Laliotis, 2020). Η μείωση του ποσοστού με την πάροδο των ετών, υποδεικνύει τη μικρότερη αύξηση του πληθυσμού συγκριτικά, ωστόσο ο παγκόσμιος πληθυσμός συνεχίζει φυσικά να αυξάνεται. Συγκεκριμένα, ο παγκόσμιος πληθυσμός σήμερα φτάνει τα 8 δισεκατομμύρια και αυξάνεται κατά 140 ανθρώπους κάθε λεπτό και αναμένεται μέχρι το 2050 να φτάσει περίπου τα 9 δισεκατομμύρια, όμως με ισχυρότερη διατροφική κατανάλωση από την ήδη υπάρχουσα.

Ορισμένοι πληθυσμοί οικόσιτων ζώων γνώρισαν ακόμη πιο γρήγορη ανάπτυξη από τον ανθρώπινο πληθυσμό κατά την ίδια περίοδο. Για παράδειγμα, ο παγκόσμιος πληθυσμός κοτόπουλων έχει τουλάχιστον οκταπλασιαστεί από το 1960 και συγκεκριμένα αγγίζει περίπου τα 30 δισεκατομμύρια. Οι πληθυσμοί των χοίρων και των αιγών συμβαδίζουν περίπου με τον ανθρώπινο πληθυσμό, ενώ ο αριθμός των βοοειδών και των προβάτων αυξάνεται με βραδύτερους ρυθμούς. Στην πραγματικότητα, η σημαντική αύξηση των κατοικίδιων ζώων αντανακλά τη βελτιωμένη οικονομική ευημερία των ανθρώπων σε ορισμένες λιγότερο ανεπτυγμένες περιοχές (Kweku et al., 2018).

Ως φυσικό επακόλουθο της αύξησης του πληθυσμού, η ανάγκη για παραγωγή περισσότερης τροφής αυξάνεται. Ο τομέας της κτηνοτροφίας αποτελεί πυλώνα της διατροφής παγκοσμίως, καθώς καλύπτει μεγάλο ποσοστό των αναγκών του ανθρώπινου πληθυσμού τόσο σε ενέργεια όσο και σε πρωτεΐνη. Σταδιακά, θα υπάρξει μεγαλύτερη ζήτηση για τρόφιμα υψηλής έντασης νερού και ξηράς, όπως το κρέας, το γάλα και τα ψάρια. Δυστυχώς, παράλληλα με αυτές τις τάσεις, τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια ανησυχητική αύξηση της πείνας παγκοσμίως. Τόσο ο απόλυτος αριθμός των πεινασμένων όσο και τα σχετικά ποσοστά του πληθυσμού που βιώνει την πείνα έχουν αυξηθεί. Σύμφωνα με τις τελευταίες εκτιμήσεις του FAO, ο αριθμός των υποσιτισμένων ατόμων ανέρχεται σε περίπου ένα δισεκατομμύριο. Η συγκεκριμένη εκτίμηση αφορά αποκλειστικά άτομα με έλλειψη θερμίδων, ενώ ένας πολύ μεγαλύτερος αριθμός υποφέρει από ελλείψεις πρωτεϊνών και θρεπτικών συστατικών.

Η αστάθεια είναι ένα ζήτημα που επηρεάζει όλες τις πτυχές της γεωργικής αγοράς και των παγκόσμιων συστημάτων παραγωγής τροφίμων. Το Διάγραμμα 2.1 απεικονίζει αυτό το φαινόμενο μέσω των διακυμάνσεων των τιμών που παρατηρήθηκαν κατά τα έτη 2007 - 2008. Οι αυξήσεις των τιμών είχαν εκτεταμένες επιπτώσεις χάρη στο αυξανόμενο κόστος των ζωοτροφών. Η επισιτιστική κρίση επιδείνωσε τη φτώχεια και την πείνα στις χαμηλόμισθες και αναπτυσσόμενες χώρες (Kweku et al., 2018).

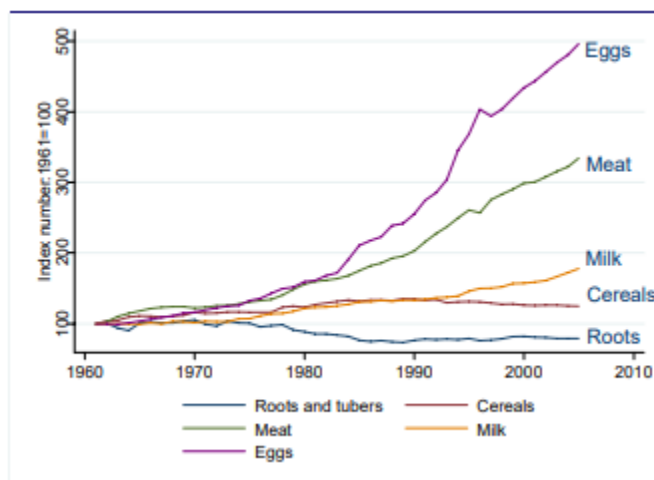


Διάγραμμα 2.1 Μεταβολή της γεωργικής αγοράς και των συστημάτων παραγωγής στο παγκόσμιο σύστημα τροφίμων (FAO, 2017)

Ο κτηνοτροφικός τομέας και οι συναφείς δραστηριότητες αντιπροσωπεύουν μια αναπτυσσόμενη οικονομική δύναμη, ασκώντας σημαντικές επιπτώσεις στα μέσα διαβίωσης και στα εισοδήματα. Εκτός από τη στήριξη και εξάρτηση της οικονομίας ολόκληρων χωρών από τον κτηνοτροφικό τομέα, η ενασχόληση με την κτηνοτροφία αποτελεί βασική πηγή εισοδήματος για πολλούς ανθρώπους, ειδικά των λιγότερο ανεπτυγμένων χωρών. Περισσότερα από ένα δισεκατομμύριο άτομα ασχολούνται με την κτηνοτροφία, η οποία αποτελεί σημαντική πηγή εισοδήματος για τους φτωχούς, και ιδιαίτερα για τις γυναίκες των αναπτυσσόμενων χωρών. Ειδικότερα, η παραγωγή γάλακτος διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη διαβίωση των φτωχών κοινωνιών. Το ζωικό κεφάλαιο, άλλωστε, αποτελεί πάνω από το ένα τέταρτο του συνολικού γεωργικού κεφαλαίου.

Η γεωργία εξελίσσεται από τομέας με γνώμονα την προσφορά σε έναν τομέα βασισμένο στη ζήτηση, εστιάζοντας στην εξυπηρέτηση των καταναλωτών και στην πρόβλεψη των μελλοντικών τους προτιμήσεων. Έτσι, η γεωργία ωθείται προς μια ευρύτερη έννοια γνωστή ως «βιοοικονομία». Η βιοοικονομία περιλαμβάνει όλες τις πρώτες ύλες βιολογικής βάσης και τις μετατροπές από βιομάζα σε υλικά υψηλής αξίας.

Η κατανάλωση ζωικών προϊόντων επηρεάζεται από παράγοντες όπως το μέγεθος του πληθυσμού, το διαθέσιμο εισόδημα, οι σχετικές τιμές των τροφίμων, η γεύση και οι προτιμήσεις. Οι τάσεις κατανάλωσης για τα κύρια παγκόσμια είδη διατροφής, όπως απεικονίζονται στο Διάγραμμα 2.2, δείχνουν μια απότομη ανοδική τροχιά, ιδιαίτερα για τα αυγά και το κρέας, με το γάλα να ακολουθεί με πιο ήπια αύξηση.



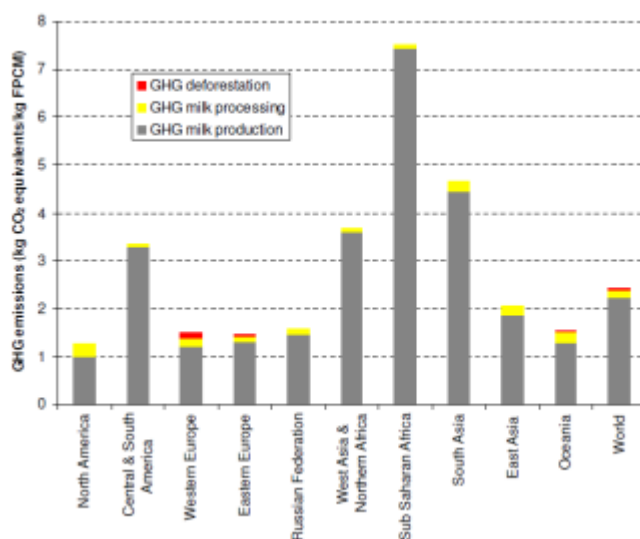
Διάγραμμα 2.2 Τάσεις κατανάλωσης για τα κύρια παγκόσμια είδη διατροφής (FAO, 2017)

Οι υψηλότερες απαιτήσεις σε κρέας, αυγά, γάλα και γαλακτοκομικά προϊόντα οδηγούν αντίστοιχα σε υψηλότερες απαιτήσεις σε εκτάσεις και ενέργεια, σε φυσικούς δηλαδή πόρους. Η κάλυψη αυτών των απαιτήσεων οδήγησε σε ολοένα και μεγαλύτερη εκμετάλλευση των χερσαίων εκτάσεων μέσω της αποψίλωσης φυσικών δασών, με το 70% των δασών στον Αμαζόνιο να έχει μετατραπεί σε βοσκότοπους (Swain, et al., 2016). Αντίστοιχα, η εντατικοποίηση της παραγωγής επιβαρύνει το περιβάλλον, μέσω της δαπάνης μεγάλων ποσών ενέργειας αλλά και την αύξηση των εκπομπών ρύπων στην ατμόσφαιρα με άμεσο και έμμεσο τρόπο. Άμεσα, οι εκπομπές ρύπων από την κτηνοτροφία μέσω των ζώων, αποτελούν σχεδόν το 80% όλων των γεωργικών εκπομπών (Swain et al., 2016) και περιλαμβάνουν την εντερική ζύμωση και την διαχείριση της κόπρου. Αντίστοιχα, πρακτικές όπως η αλλαγή χρήσης γης, η παραγωγή και χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, οι γεωργικές εργασίες, η επεξεργασία, η συντήρηση και μεταφορά ζωοτροφών, καθώς και η επεξεργασία, η παραγωγή και η μεταφορά

των ζωικών προϊόντων, συμβάλλουν με έμμεσο τρόπο στην επιβάρυνση της ατμόσφαιρας μέσω εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (Grossi et al., 2019).

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η μείωση των δασών, η δαπάνη ενέργειας και η παραγωγή αερίων του θερμοκηπίου ή άλλων ρύπων, αποτελούν δραστηριότητες που συμβάλλουν στην ενίσχυση των δυσμενών συνεπειών της κλιματικής αλλαγής. Η αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και των αερίων του θερμοκηπίου στο πλαίσιο της κτηνοτροφικής παραγωγής είναι επιτακτική. Η κλιματική αλλαγή και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου δυσκολεύουν την δημιουργία μιας αποτελεσματικής και βιώσιμης στρατηγικής για τον κτηνοτροφικό τομέα. Θα πρέπει να γίνουν ολοκληρωμένες και συλλογικές μειώσεις των εκπομπών των ζώων και όχι μεμονωμένες προσωρινές λύσεις, όπως η μείωση των εκπομπών από την παραγωγή ζωοτροφών, συμπεριλαμβανομένων των έμμεσων επιπτώσεων στη χρήση γης που σχετίζονται με τον τομέα της ζωικής παραγωγής, που μπορούν να συμβάλουν στην αξιοποίηση των τροπικών δασών και στη μετατροπή των βοσκοτόπων.

Η παραγωγικότητα έχει ύψιστη σημασία σε αυτό το πλαίσιο. Μια σύγκριση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά κιλό γάλακτος υπογραμμίζει τη φιλική προς το περιβάλλον βελτίωση της παραγωγικότητας και της αποδοτικότητας, μια πτυχή που περιστασιακά παραβλέπεται (Διάγραμμα 2.3).



Διάγραμμα 2.3 Εκπομπές ανά κιλό παραγωγής γάλακτος σε παγκόσμιο επίπεδο (FAO, 2017)

Οι καταναλωτές έχουν διαφορετικές απαιτήσεις και προσδοκίες σχετικά με την ποιότητα των τροφίμων, ιδιαίτερα των ζωικών προϊόντων. Οι παγκόσμιοι καταναλωτές ζωικών προϊόντων αναζητούν τρόφιμα οικονομικά προσιτά, να προάγουν την υγεία, πλούσια σε θρεπτικά συστατικά, ασφαλή για κατανάλωση, περιβαλλοντικά συνειδητά, πολιτιστικά συμβατά και με σεβασμό στην καλή διαβίωση των ζώων.

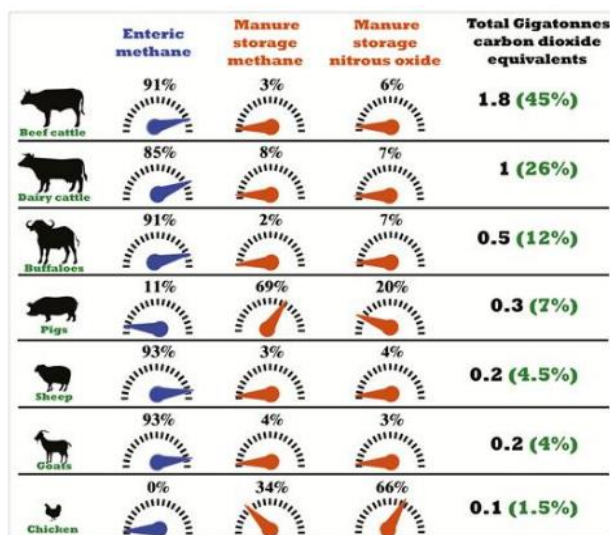
2.4 Κτηνοτροφία και επιπτώσεις στην κλιματική αλλαγή

Η κτηνοτροφία υπολογίζεται ότι συμβάλλει στην κλιματική αλλαγή, μέσω της εκπομπής στην ατμόσφαιρα αερίων του θερμοκηπίου (GHG) που φτάνουν το 14,5% των συνολικών εκπομπών που προέρχονται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες παγκοσμίως (Gerber et al., 2013). Η συνεισφορά αυτή, περιλαμβάνει την επιρροή του κλίματος μέσω διαφόρων δραστηριοτήτων.

Οι πρωτογενείς εκπομπές GHG των ζώων εκτροφής περιλαμβάνουν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄) και το μονοξείδιο του αζώτου (N₂O). Πιο συγκεκριμένα, η κτηνοτροφία παράγει το 5% του CO₂ που προέρχεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες, το 44% του CH₄ και το 53% του N₂O (Gerber et al., 2013). Τα ποσοστά αυτά μπορούν να αυξηθούν εάν σε κάποιο κτηνοτροφικό σύστημα υπάρχει χαμηλή απόδοση και παραγωγικότητα, ενώ δαπανούνται μεγαλύτερα ποσά ενέργειας, οργανικής ύλης και τροφής (Gerber et al., 2013). Η μεγαλύτερη συνεισφορά στα GHG προέρχεται από τις άμεσες εκπομπές που προέρχονται από τα ίδια τα ζώα και συμπεριλαμβάνουν την εντερική ζύμωση, την αναπνοή και τις εκκρίσεις. Η Εικόνα 2.3 απεικονίζει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου που αποδίδονται στην εντερική ζύμωση και στην διαχείριση της κόπρου σε διάφορα είδη ζώων παγκοσμίως, εκφρασμένες σε ισοδύναμα διοξειδίου του άνθρακα.

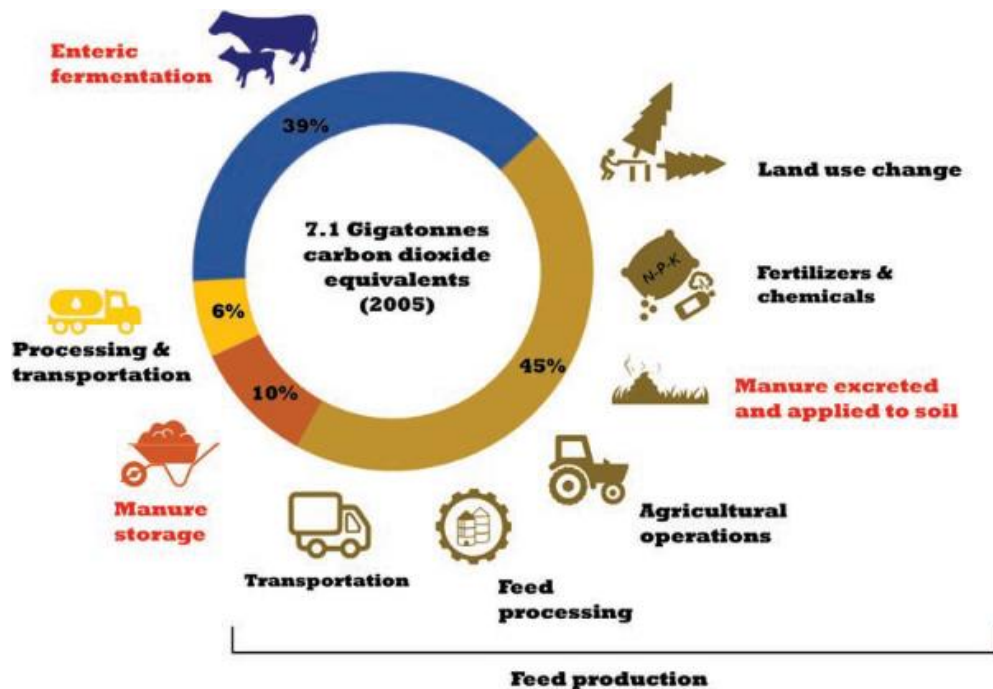
Οι έμμεσες εκπομπές περιλαμβάνουν τις εκπομπές που προέρχονται από όλες τις υπόλοιπες δραστηριότητες που απαρτίζουν την κτηνοτροφία και συμμετέχουν στην παραγωγή και στην προσφορά των τελικών προϊόντων, όπως η καλλιέργεια των ζωοτροφών, η επεξεργασία και η αποθήκευση της κόπρου, η ενέργεια για συντήρηση των αγροκτημάτων, η επεξεργασία κτηνοτροφικών προϊόντων αλλά και οι μεταφορές που απαιτούνται. Δεν εξαιρούνται φυσικά και οι πρακτικές που επιβαρύνουν τη γη, όπως η εκμετάλλευση εκτάσεων (για παράδειγμα η

αποψίλωση των δασών) για αύξηση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων για παραγωγή ζωοτροφών ή τη δημιουργία βοσκοτόπων ή αγροκτημάτων, η ερημοποίηση, αλλά και ο άνθρακας που απελευθερώνεται από εδάφη που έχουν καλλιεργηθεί (Rojas-Downing et al, 2017). Τέλος, οι εκπομπές αυτές προέρχονται από την παραγωγή συνθετικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων, καθώς και από τη χρήση ορυκτών καυσίμων σε γεωργικές δραστηριότητες στο αγρόκτημα (Goglio et al., 2018).



Εικόνα 2.3 Ποσότητες αερίων θερμοκηπίου που προέρχονται από την εντερική ζύμωση και αποθήκευση κοπριάς ανά ζωικό τύπο, εκφραζόμενη σε γιγατόνους ισοδυνάμων διοξειδίου του άνθρακα (Grossi et al., 2019, βάσει στοιχείων του FAO, 2010).

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4, η παραγωγή και η μεταποίηση ζωοτροφών συμβάλλουν περίπου στο 45% στις συνολικές εκπομπές του τομέα. Η εντερική ζύμωση, η οποία παράγει περίπου το 39%, αντιπροσωπεύει τη δεύτερη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών. Η αποθήκευση κοπριάς αντιπροσωπεύει περίπου το 10% των συνολικών εκπομπών. Το υπόλοιπο 6% μπορεί να αποδοθεί στην επεξεργασία και μεταφορά ζωικών προϊόντων (Gerber et al., 2013).



Εικόνα 2.4. Οι δραστηριότητες που σχετίζονται με την κτηνοτροφία και συμβάλλουν στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Grossi et al., 2019)

2.4.1 Εντερική ζύμωση

Η εντερική ζύμωση αποτελεί ένα από τα στάδια της πεπτικής διαδικασίας των μηρυκαστικών. Στο τμήμα του στομάχου που ονομάζεται μεγάλη κοιλία, βακτήρια, πρωτόζωα και μύκητες πραγματοποιούν ζύμωση και διασπούν τη φυτική βιομάζα που καταναλώνει το μηρυκαστικό. Η βιομάζα αυτή, στη μεγάλη κοιλία μετατρέπεται σε πτητικά λιπαρά οξέα, τα οποία διαπερνούν τα τοιχώματά της και κατευθύνονται στο ήπαρ μέσω του κυκλοφορικού συστήματος. Με αυτήν τη διαδικασία καλύπτεται ένα σημαντικό μέρος από τις ενεργειακές ανάγκες του ζώου και καθίσταται δυνατή η μέγιστη αξιοποίηση της κυτταρίνης και της ημικυτταρίνης, δύο σημαντικών πολυσακχαριτών στην διατροφή των μηρυκαστικών. Τα αέρια απόβλητα προϊόντα της εντερικής ζύμωσης, διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο, αποβάλλονται κυρίως μέσω ερυγών και η εκπομπή διαφέρει ανάλογα με την πρόσληψη τροφής και την πεπτικότητα (Grossi et al., 2019). Η παραγωγή μεθανίου, δηλαδή ο συνδυασμός τεσσάρων μορίων υδρογόνου με ένα μόριο διοξειδίου του άνθρακα μέσω της δράσης μικροοργανισμών τις μεγάλης κοιλίας (Monteiro, 2018), αποτελεί μια εξελικτική προσαρμογή, ώστε να ρυθμίζεται η συγκέντρωση υδρογόνου και

να αποτρέπεται η αναστολή της ζύμωσης των υδατανθράκων και της αποικοδόμησης των ινών σε συνθήκες συσσωρευμένου υδρογόνου (Grossi et al., 2019). Ωστόσο, η παραγωγή και η εκπομπή μεθανίου προκαλεί απώλεια από 2 έως 12% της συνολικής ενέργειας που προσλαμβάνεται από τα μηρυκαστικά (Monteiro et al., 2018). Σε σύγκριση με τα μηρυκαστικά, τα μονογαστρικά (χοίροι και πουλερικά) έχουν ένα στομάχι και παρουσιάζουν αμελητέες εκπομπές μεθανίου (Swain et al., 2016).

2.4.2 Διαχείριση της κόπρου

Μέσω της κόπρου απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα μεθάνιο και μονοξείδιο του αζώτου και η ποσότητα που εκπέμπεται εξαρτάται από περιβαλλοντικές συνθήκες, το είδος της διαχείρισης αλλά και τη σύνθεσή της. Η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία και άζωτο στην κόπρω των ζώων είναι τα κύρια χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την εκπομπή μεθανίου και μονοξείδιο του αζώτου, αντίστοιχα. Η κοπριά χοίρων αποτελεί σχεδόν το ήμισυ των παγκόσμιων εκπομπών μεθανίου, που σχετίζονται από αυτή. Όσον αφορά στο μεθάνιο, ένα αναερόβιο περιβάλλον αποθήκευσης οδηγεί σε αύξηση της παραγωγής του, όπως επίσης και η παρατεταμένη αποθήκευση σε ζεστό και υγρό περιβάλλον. Όταν η κοπριά εναποτίθεται σε βοσκοτόπια, η παραγωγή οξειδίου του αζώτου αυξάνεται, ενώ του μεθανίου μειώνεται ή και μηδενίζεται. Στην περίπτωση του οξειδίου του αζώτου, χρειάζεται συνδυασμός αερόβιων και αναερόβιων συνθηκών. Το μονοξείδιο του αζώτου αποτελεί μια χημική ένωση η οποία παράγεται από ένα σύνολο χημικών αντιδράσεων που αφορούν το άζωτο. Στην κοπριά το άζωτο έχει οργανική μορφή, εντός των πρωτεϊνών και ανόργανη μορφή, όπως το αμμώνιο και η αμμωνία. Η νιτροποίηση γίνεται αερόβια και μετατρέπει το αμμώνιο και την αμμωνία σε νιτρώδη και στη συνέχεια σε νιτρικά, ενώ η απονιτροποίηση πραγματοποιείται αναερόβια μετατρέποντας τα νιτρικά άλατα σε μονοξείδιο του αζώτου και αέριο άζωτο (Saggar, 2010). Η ισορροπία μεταξύ αμμωνίου και αμμωνίας επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το pH, με τη συγκέντρωση της αμμωνίας να αυξάνεται καθώς αυξάνεται το pH (Grossi et al., 2019). Οι εκπομπές υποξειδίου του αζώτου στο έδαφος από την εφαρμογή κοπριάς είναι η μεγαλύτερη πηγή παγκοσμίως. Οι εκπομπές N₂O από την εφαρμοζόμενη κοπριά είναι 40% υψηλότερες σε μικτό σύστημα καλλιέργειας - κτηνοτροφίας σε σύγκριση με τις εκπομπές N₂O από την απεκκρινόμενη κοπριά

που εναποτίθεται σε συστήματα βοσκοτόπων. Σε συστήματα εργοστασιακής παραγωγής υπάρχουν 90% λιγότερες εκπομπές N₂O από τα μικτής συστήματα που συνδυάζουν καλλιέργειες για παραγωγή ζωοτροφών και κτηνοτροφίας (Rojas-Downing et al, 2017).

2.4.3 Εκμετάλλευση γης

Με την πάροδο του χρόνου, τα δάση και τα φυσικά ενδιαιτήματα ολοένα και λιγοστεύουν, καθώς μετατρέπονται σε βοσκοτόπους και καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Αθροιστικά, οι γεωργικές εκτάσεις καλύπτουν περίπου το 38,5% της παγκόσμιας συνολικής έκτασης, η οποία αποτελείται από 28,4% καλλιεργήσιμη γη και 68,4% μόνιμα λιβάδια και βοσκοτόπια. Η αύξηση της ζήτησης έχει οδηγήσει σε μεγάλη αλλαγή του φυσικού τοπίου. Η ποιότητα του εδάφους έχει υποβαθμιστεί λόγω της υποβάθμισης των φυσικών χημικών και βιολογικών ιδιοτήτων του εδάφους. Η υποβάθμιση αυτή, συμβαίνει λόγω της εξάντλησης των φυσικών πόρων του εδάφους από τους παραγωγούς. Η αλλαγή χρήσης γης επηρεάζει τον φυσικό κύκλο του άνθρακα, ο οποίος κατά συνέπεια απελευθερώνει υψηλές ποσότητες άνθρακα στην ατμόσφαιρα, αυξάνοντας έτσι τις εκπομπές GHG. Συγκεκριμένα, τα φυσικά οικοσυστήματα όπως τα δάση δεσμεύουν μεγαλύτερη ποσότητα άνθρακα μέσω του εδάφους και της χλωρίδας, σε σύγκριση με τα χωράφια ή τα βοσκοτόπια. Αντιθέτως, τα εκμεταλλευόμενα εδάφη περιέχουν περισσότερο άνθρακα που οφείλεται στο γεγονός ότι το έδαφος και το χώμα δεσμεύουν περισσότερο άνθρακα κατά τον κύκλο του άνθρακα, από ό,τι τα φυτά. Ο Sundquist (1993) εκτίμησε ότι 1.100 έως 1.600 δισεκατομμύρια τόνοι άνθρακα αποθηκεύονται στα έδαφος. Ο άνθρακας που βρίσκεται αποθηκευμένος στο έδαφος μπορεί να χαθεί μέσω διαφόρων γεωργικών πρακτικών, όπως επίσης και λόγω φωτιάς, εξάτμισης, διάβρωσης ή αλλαγή χρήσης γης. Αποτελεί μονόδρομο το συμπέρασμα ότι με την αποψίλωση ενός δάσους για να μετατραπεί σε καλλιέργειες και βοσκοτόπια με την υλοτόμηση ή την καύση, απελευθερώνονται τεράστιες ποσότητες άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Το μεγαλύτερο παράδειγμα αποτελεί η ιστορία της Λατινικής Αμερικής. Αποτελεί την ήπειρο με τη μεγαλύτερη εκμετάλλευση των δασικών περιοχών με σκοπό τη κτηνοτροφία και την γεωργία. Τα τελευταία 40 χρόνια, οι δασικές εκτάσεις στην Κεντρική Αμερική μειώθηκαν σχεδόν κατά 40%, ενώ ταυτόχρονα υπήρξε αύξηση βοσκοτόπων και των κοπαδιών βοοειδών. Φυσικά, με την αύξηση των ζώων παραγωγής

αυξάνονται και οι απαιτήσεις σε ζωοτροφές. Για την ικανοποίηση της ζήτησης, δημιουργούνται επίσης καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Το 2004 - 2005, η επέκταση της καλλιέργειας σόγιας αντικατέστησε 12 εκατομμύρια στρέμματα τροπικού δάσους (Rojas-Downing et al., 2017).

Η αποψίλωση των δασών, η γεωργία και η κτηνοτροφία ευθύνονται για υψηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Από τις συνολικές εκπομπές GHG των ζώων, το 9,2% αποδίδεται στην αλλαγή χρήσης γης, όπου το 6% οφείλεται στην επέκταση των βοσκοτόπων και το 3,2% οφείλεται στην επέκταση των καλλιεργειών ζωοτροφών. Ωστόσο, η αλλαγή χρήσης γης παράγει και άλλες επιπλέον εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα. Από την αλλαγή χρήσης γης επηρεάζονται και οι εκπομπές μεθανίου, καθώς είναι δυνατό να μειωθεί η οξείδωση από μικροοργανισμούς του εδάφους. Η μείωση των βοσκοτόπων για την αποφυγή των συνεπειών της ερημοποίησης, μιας πρακτικής που απελευθερώνει 100 εκατομμύρια τόνους διοξείδιο του άνθρακα το χρόνο, αποτελεί σύνθετο ζήτημα και εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, ανάλογα με τις γεωργικές και κτηνοτροφικές πρακτικές, το κλίμα και το οικοσύστημα, η βόσκηση μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει τις εκπομπές διοξειδίου. Επομένως, με τη σωστή διαχείριση της βόσκησης, όπως η αποφυγή της υπερβολικής εκμετάλλευσης ενός βοσκοτόπου και η ύπαρξη ισορροπίας μεταξύ ρυθμού εκτροφής και εκτάσεων βόσκησης, η πρακτική εκ περιτροπής βόσκηση και η τήρηση της μη βόσκησης σε υποβαθμισμένα βοσκοτόπια, είναι δυνατή η δέσμευση του (Rojas-Downing et al., 2017).

2.4.4 Παραγωγή ζωοτροφών

Ένας ακόμη τρόπος που ο κτηνοτροφικός τομέας συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αποτελεί η καλλιέργεια των ζωοτροφών. Συγκεκριμένα, μέσω της παραγωγής αζωτούχων λιπασμάτων που χρησιμοποιούνται για καλλιέργεια των ζωοτροφών υπολογίζεται ότι χρησιμοποιούνται 4 έως 5 εκατομμύρια τόνοι ορυκτών λιπασμάτων (Rojas-Downing et al., 2017). Το πετρέλαιο, ο άνθρακας και το φυσικό αέριο χρησιμοποιούνται στην παραγωγή λιπασμάτων (Rojas-Downing et al., 2017). Καλλιεργητικές πρακτικές όπως η επιλογή του χρόνου, της μεθόδου αλλά και συνδυασμού και αναλογίας των λιπασμάτων είναι παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου του εδάφους. Τα αζωτούχα λιπάσματα εκπλένονται εύκολα με το πότισμα ή τη βροχή, επομένως η αποφυγή εφαρμογής τους κατά τις

ημέρες με υγρασία ή βροχή μειώνει την απώλεια. Όσον αφορά την κοπριά, όπως έχει ήδη αναλυθεί, ο μη κατάλληλος χειρισμός των αποθεμάτων συμβάλλει στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου (Grossi et al., 2019).

Η χρήση λιπασμάτων, η γεωργική αζωτοδέσμευση και η εναπόθεση αζώτου στην ατμόσφαιρα γενικά αυξάνουν τις εκπομπές οξειδίων του αζώτου. Τα συνθετικά λιπάσματα φαίνεται να ευθύνονται για το 40% του συνολικού αζώτου που απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα ενώ η απώλεια εξαιτίας της εξάτμισης αμμωνίας από τα συνθετικά αζωτούχα λιπάσματα αγγίζει το 14% και τα ποσά αμμωνίας που εναποτίθενται στην ατμόσφαιρα αγγίζουν τους 3,1 εκατομμύρια τόνους. Όσον αφορά στο άζωτο/μονοξείδιο του αζώτου, ο κτηνοτροφικός τομέας συνεισφέρει 0,2 εκατομμύρια τόνους εκπομπών από ορυκτά λιπάσματα ετησίως. Ακόμη, οι καλλιέργειες οσπρίων ζωοτροφών για τα ζώα ευθύνονται για πρόσθετες εκπομπές οξειδίων του αζώτου κατά 0,5 εκατομμύρια τόνους ετησίως (Rojas-Downing et al., 2017).

2.4.5 Επεξεργασία και μεταφορά κτηνοτροφικών προϊόντων

Ένα σημαντικό τμήμα των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που σχετίζονται με τον κτηνοτροφικό τομέα, απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα μέσω της δαπάνης μεγάλων ποσών ενέργειας για την επεξεργασία, την μεταποίηση και τις μεταφορές των προϊόντων. Υπολογίζεται ότι, σε παγκόσμια κλίμακα, αρκετές δεκάδες εκατομμύρια τόνοι εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα προέρχονται από τη μεταποίηση ζωικών προϊόντων. Οι μεταφορές κτηνοτροφικών προϊόντων από τους παραγωγούς στα σημεία λιανικής ή χονδρικής πώλησης, όπως και οι μεταφορές των τεράστιων ποσοτήτων ζωοτροφών, δαπανούν μεγάλα ποσά ενέργειας, με τη ναυτιλία, συμπεριλαμβανομένης την κάλυψη μεγάλων αποστάσεων, να αποτελεί τη σημαντικότερη πηγή εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για τη μεταφορά κρέατος κατά την περίοδο 2001 - 2003 υπολογίστηκαν μεταξύ 800 - 850 χιλιάδων τόνων. Φυσικά, δεν είναι ασήμαντη η συνεισφορά των συστημάτων θέρμανσης, ψύξης, αερισμού αλλά και των συστημάτων και μηχανημάτων που συμβάλλουν στη γενικότερη συντήρηση και υγιεινή των εγκαταστάσεων εκτροφής. Ωστόσο, απαιτείται περαιτέρω μελέτη για την καλύτερη προσέγγιση και εκτίμηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που

σχετίζονται με την επεξεργασία και μεταφορά των κτηνοτροφικών προϊόντων (Rojas-Downing et al., 2017).

Η αποτελεσματικότητα και η παραγωγικότητα των ζώων εκτροφής επηρεάζουν σημαντικά την ένταση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι παράγοντες αυτοί εξαρτώνται τόσο από τις πρακτικές διαχείρισης της εκτροφής όσο και από το γενετικό υπόβαθρο των ζώων. Ένα περισσότερο αποτελεσματικό ζώο, έχει καλύτερες αποδόσεις και μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Τα πιο παραγωγικά ζώα επιτυγχάνουν το ίδιο επίπεδο παραγωγής αλλά με χαμηλότερη ανάγκη σε θρεπτικά συστατικά. Επίσης, τα παραγωγικά ζώα διατηρούν μεγαλύτερα ποσά αζώτου μέσω των πρωτεϊνών που προέρχονται από την διατροφή και αποβάλλουν λιγότερο άζωτο στα κόπρανα και τα ούρα. Τα τελευταία 20 χρόνια, έχουν μειωθεί σημαντικά οι εκπομπές ανά μονάδα βάρους μέσω της γενετικής βελτίωσης της απόδοσης και μετατροπής της τροφής σε ενέργεια που έχει επιτευχθεί στα κοτόπουλα κρεατοπαραγωγής. Όσον αφορά στη γονιμότητα μιας φυλής, χαμηλή γονιμότητα σημαίνει ότι απαιτούνται περισσότερα ζώα αναπαραγωγής στο σύστημα εκτροφής για την επίτευξη των στόχων της παραγωγής, αλλά και περισσότερες αντικαταστάσεις για τη διατήρηση του αριθμού της συνολικής εκτροφής. Κατά συνέπεια, με την εκτροφή φυλών χαμηλής γονιμότητας αυξάνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Οι πρακτικές που ακολουθούνται στο σύστημα της εκτροφής διαδραματίζουν ουσιαστικό ρόλο στο περιβαλλοντικό αποτύπωμα. Για παράδειγμα, η αναπαραγωγική πίεση αυξάνει τις μεταβολικές απαιτήσεις για την επίτευξη της εγκυμοσύνης και τη γαλουχία, αυξάνοντας συγχρόνως τις πιθανότητες για εμφάνιση μεταβολικών ασθενειών που έχουν ως αποτέλεσμα την αποδυνάμωση του ανοσοποιητικού συστήματος και τη μείωση της γονιμότητας. Ακόμη, η κακή υγεία και ευημερία των ζώων, οδηγούν σε πληθώρα άλλων αρνητικών επιπτώσεων, συμπεριλαμβανομένης και της αύξησης της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Σε ένα ζώο που ασθενεί, παρουσιάζεται προσωρινή μείωση της πρόσληψης τροφής ή της ικανότητας πέψης της τροφής, και έτσι οδηγείται σε μείωση του ρυθμού ανάπτυξης, η οποία θα έχει ως αποτέλεσμα περισσότερο απαιτούμενο χρόνο και ενέργεια για την επίτευξη των επιθυμητών αποδόσεων (Grossi et al., 2019).

2.5. Έννοια ανθρακικού αποτυπώματος - Σημασία και σημερινές τάσεις

Όσο η κτηνοτροφία αναπτύσσεται, τόσο αυξάνονται και οι επενδύσεις γύρω από τον κτηνοτροφικό τομέα. Αν και αυτό βοήθησε την οικονομική της ανάπτυξη, είχε επίσης αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα και στο κλίμα. Η κτηνοτροφία συμβάλλει σημαντικά στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αντιπροσωπεύοντας περίπου το 15% του συνόλου, με το μεθάνιο (CH₄) να κατέχει περίπου το 37%. Οι εκπομπές άνθρακα από την κτηνοτροφία προέρχονται κυρίως από πηγές, όπως η κόπρος και τα ούρα, η αναπνοή των ζώων, τα απόβλητα και οι ρύποι που παράγονται και άλλες άμεσες εκπομπές άνθρακα. Ωστόσο, οι έμμεσες εκπομπές άνθρακα και η περιβαλλοντική ρύπανση που προέρχονται από την κατανάλωση πόρων διαδραματίζουν επίσης κρίσιμο ρόλο. Όπως έχει αναφερθεί, τα βοοειδή, τα αιγοπρόβατα και οι χοίροι αποτελούν βασικούς παράγοντες στις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (Bird et al., 2011, Matthews et al., 2008).

Η αύξηση του εισοδήματος έχει οδηγήσει σε αυξημένη ζήτηση προϊόντων ζωικής προέλευσης. Η κατανάλωση ζωικών τροφίμων έχει σημειώσει σημαντική αύξηση τις τελευταίες δεκαετίες. Η αυξημένη κατανάλωση κρέατος έχει ως αποτέλεσμα την υψηλότερη παραγωγή ζώων και πουλερικών, ενισχύοντας έτσι τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. Η αλλαγή των καταναλωτικών συνηθειών μπορεί να έχει ουσιαστικό αντίκτυπο στη μείωση των εκπομπών. Η ενθάρρυνση των καταναλωτών να μειώσουν την κατανάλωση κρέατος είναι μια εφικτή προσέγγιση. Καθώς η οικονομίες των χωρών συνεχίζουν να αναπτύσσονται με ταχείς ρυθμούς, υπήρξαν αλλαγές στα πρότυπα κατανάλωσης κρέατος και στη στάση απέναντι στο κρέας. Το χοιρινό είναι το πιο διαδεδομένο κρέας παγκοσμίως, αντιπροσωπεύοντας το 45% της συνολικής κατανάλωσης. Η παραγωγή αιγοπρόβειου κρέατος έχει σημαντικά χαμηλότερη ένταση εκπομπών σε σύγκριση με το βόειο κρέας. Επομένως, η αλλαγή των καταναλωτικών συνηθειών για τη μείωση του βόειου κρέατος και την αύξηση του αιγοπρόβειου κρέατος μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των εκπομπών άνθρακα (Matthews et al., 2008).

Η γεωργία αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών άνθρακα μετά την ενέργεια (ηλεκτρισμός, θέρμανση και μεταφορές). Ως εκ τούτου, θα πρέπει να διαμορφωθούν πολιτικές μείωσης του άνθρακα, λαμβάνοντας υπόψη τις περιφερειακές ανισότητες. Αναγνωρίζοντας τα

περιβαλλοντικά ζητήματα που προκαλούνται από την κτηνοτροφία, οι κυβερνήσεις των χωρών έχουν εφαρμόσει διάφορες πολιτικές για την αντιμετώπιση του ελέγχου της απορροής κοπράνων, του διαχωρισμού υγρών-στερεών κοπράνων, της παραγωγής βιοαερίου, της χρήσης οργανικών λιπασμάτων και των περιβαλλοντικών ελέγχων μεγάλων κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων. Η πανδημία COVID-19, με μειωμένες κοινωνικές δραστηριότητες και εκπομπές άνθρακα, έχει επίσης επηρεάσει την κατανάλωση κρέατος και τις επακόλουθες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Καθώς ο τομέας της εστίασης σταδιακά ανακάμπτει, η κατανάλωση κρέατος αναμένεται να αυξηθεί, τονίζοντας την ανάγκη για συνεχή διαχείριση των εκπομπών άνθρακα στην κτηνοτροφία (Bird et al., 2011).

Ο βαθμός εντατικοποίησης της παραγωγής, το επίπεδο ανάπτυξης της κτηνοτροφίας και το επίπεδο εκπαίδευσης του εργατικού δυναμικού παρουσιάζουν ποικίλες επιπτώσεις στις εκπομπές άνθρακα σε διάφορες περιοχές. Συνεπώς, η οικονομική ανάπτυξη, το μέγεθος του πληθυσμού, η βιομηχανική κλίμακα και το επίπεδο της κτηνοτροφίας είναι σημαντικοί παράγοντες που συμβάλλουν στις εκπομπές άνθρακα στην κτηνοτροφία. Η οικονομική προσαρμογή, ο αυξημένος πλούτος και η αύξηση του πληθυσμού έχουν αναγνωριστεί ως βασικοί μοχλοί αύξησης των εκπομπών άνθρακα. Ταυτόχρονα, οι τεχνολογικές εξελίξεις και οι αλλαγές στη δομή της κτηνοτροφίας έχουν συμβάλει στη μείωση των εκπομπών άνθρακα (Matthews et al., 2008).

Βάσει της εκτεταμένης διεθνούς συνεργασίας, πολλές χώρες έχουν αρχίσει να αντιλαμβάνονται τα μέτρα που συμβάλλουν στη μείωση των εκπομπών ως κύρια εθνική πλατφόρμα στρατηγικής (Ivanova et al., 2017). Είναι επιτακτική ανάγκη να διερευνηθεί μια εφικτή και επιστημονική μέθοδος μέτρησης των εκπομπών άνθρακα για να διασφαλιστεί η βιώσιμη ανάπτυξη. Η πρόταση του ανθρακικού αποτυπώματος αποκαλύπτει έντονα την επίδραση των ανθρώπινων συμπεριφορών στην κλιματική αλλαγή και παρέχει ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την επιστημονική μέτρηση των εκπομπών άνθρακα. Η ποσοτική ανάλυση που βασίζεται στο ανθρακικό αποτύπωμα όχι μόνο διευκολύνει την εξερεύνηση των περιοχών συγκέντρωσης και της έντασης των εκπομπών άνθρακα, αλλά παρέχει επίσης τη βάση για τη λήψη στοχευμένων μέτρων και την περιοδική επίβλεψή τους. Εν τω μεταξύ, είναι χρήσιμο για τους μελετητές να

συνδέουν διαφορετικά επίπεδα κατανάλωσης άνθρακα με ένα ενιαίο θέμα (He et al., 2019), έτσι ώστε οι διαφορετικές ερευνητικές προοπτικές να έχουν μια ενιαία βάση αναφοράς. Τα πλεονεκτήματα του ανθρακικού αποτυπώματος συμβάλλουν στην υιοθέτηση ενοποιημένων στόχων και δράσεων από τους ενδιαφερόμενους σε διάφορους τομείς στη διαδικασία μείωσης των εκπομπών άνθρακα και προώθησης της παγκόσμιας βιώσιμης ανάπτυξης.

Από τότε που προτάθηκε η έννοια του Οικολογικού Αποτυπώματος, η φέρουσα ικανότητα και οι μηχανισμοί βιωσιμότητας των ανθρώπινων κοινωνικοοικονομικών συστημάτων έχουν αρχίσει να προσελκύουν την προσοχή. Το Carbon Footprint είναι μια από τις πιο σημαντικές εννοιολογικές του επεκτάσεις. Αν και πολλοί μελετητές έχουν ορίσει το εύρος του ανθρακικού αποτυπώματος με βάση τις δικές τους ερευνητικές προοπτικές, δεν έχει ακόμη σχηματιστεί ένας πιο ενοποιημένος ορισμός του (Shi & Yin, 2021). Σε αυτή την έρευνα, το ανθρακικό αποτύπωμα ορίζεται ως ένα μέτρο της συνολικής ποσότητας εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που προκαλείται άμεσα και έμμεσα από μια δραστηριότητα ή συσσωρεύεται κατά τα στάδια ζωής ενός προϊόντος. Από την άποψη αυτού του ορισμού, σε αντίθεση με την έννοια των εκπομπών άνθρακα, το ανθρακικό αποτύπωμα τείνει περισσότερο να επικεντρωθεί στις εκπομπές άνθρακα κατά τη διάρκεια του πλήρους κύκλου ζωής (των προϊόντων). Αυτή η οπτική έκφρασης αντανακλάται και στη μεταφορική έκφραση της λέξης «αποτύπωμα», καθώς η έρευνα για το «ανθρακικό αποτύπωμα» κινείται προς ένα γενικευμένο ερευνητικό παράδειγμα στο μακροπλαίσιο της κλιματικής αλλαγής (Petersen et al., 2013).

2.6 Στρατηγικές μετριασμού

Η έντονη ετερογένεια του γεωργικού τομέα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την επιλογή στρατηγικής μετριασμού των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου, η οποία συνήθως ποικίλλει ανάλογα με το σύστημα κτηνοτροφίας, το είδος και το κλίμα. Γενικά, κανένα μεμονωμένο μέτρο δεν δύναται να συμπεριλάβει το πλήρες δυναμικό μείωσης των εκπομπών, αντιθέτως για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος χρειάζεται ένας συνδυασμός επιλεγμένος από το πλήρες φάσμα των υπάρχοντων επιλογών (Llonch et al., 2017). Είναι επίσης σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της αντιστάθμισης της ρύπανσης κατά την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μιας στρατηγικής μετριασμού (Hristov et al.,

2013). Ο μετριασμός μπορεί να συμβεί άμεσα με τη μείωση της ποσότητας των εκπεμπόμενων αερίων του θερμοκηπίου ή έμμεσα μέσω της βελτίωσης της αποδοτικότητας της παραγωγής.

Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή ενός προσεκτικά μελετημένου σιτηρεσίου προσαρμοσμένο φυσικά στις ανάγκες των ζώων αλλά και στο παραγωγικό πλάνο, είναι δυνατό να μειώσουν σε σημαντικό βαθμό την απελευθέρωση αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, έχει αποδειχθεί ότι η συχνή σίτιση των ζώων εντός της ημέρας μπορεί προκαλέσει λιγότερη απελευθέρωση μεθανίου συγκριτικά με τη σίτιση μιας φοράς την ημέρα. Η ποιότητα της τροφής επηρεάζει την παραγωγή μεθανίου. Οι πρακτικές που στοχεύουν στη βελτίωση της ποιότητας των ζωοτροφών έχουν τη δυνατότητα να μειώσουν τις εντερικές εκπομπές μεθανίου κατά περίπου 5% ανά μονάδα γάλακτος διορθωμένης πρωτεΐνης σε λίπος (Knapp et al., 2014). Η φυσική επεξεργασία των ζωοτροφών μπορεί επίσης να ενισχύσει την πεπτικότητα και να βοηθήσει στον μετριασμό της παραγωγής εντερικού μεθανίου στα μηρυκαστικά (Hristov et al., 2013). Ωστόσο, το δυναμικό μετριασμού αυτής της πρακτικής έχει αναφερθεί ότι είναι μικρότερο από 2% ανά μονάδα γάλακτος διορθωμένης πρωτεΐνης σε λίπος (Knapp et al., 2014).

Οι λιγότερο ινώδεις και εύπεπτες ζωοτροφές μπορούν, επίσης, να μειώσουν την παραγωγή μεθανίου στην μεγάλη κοιλία. Μια μη ισορροπημένη διατροφή των ζώων επηρεάζει τον τρόπο ζύμωσης της μεγάλης κοιλίας και έτσι παράγεται περισσότερο οξικό και βουτυρικό οξύ που με τη σειρά τους οδηγούν στην παραγωγή περισσότερου υδρογόνου και διοξειδίου του άνθρακα, με αποτέλεσμα να παράγεται περισσότερο μεθάνιο. Η προσθήκη λίπους ή λιπαρών οξέων μπορεί να μειώσει τις εντερικές εκπομπές μεθανίου, μέσω ενός συνδυασμού μείωσης της ενέργειας που προέρχεται από ζυμώσιμους υδατάνθρακες και μεταβολής του μικροβιακού πληθυσμού του πεπτικού συστήματος (Llonch et al., 2017). Ενώ ορισμένα υποπροϊόντα, όπως ο βαμβακόσπορος, οι σπόροι κριθαριού και το άλευρο canola ψυχρής έκθλιψης, έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά στη μείωση της εντερικής ζύμωσης, το δυναμικό μετριασμού των υποπροϊόντων με υψηλή περιεκτικότητα σε έλαια παραμένει λιγότερο τεκμηριωμένο και σε ορισμένες περιπτώσεις, η παραγωγή μεθανίου μπορεί να οξυνθεί, λόγω της αυξημένης πρόσληψης φυτικών ινών (Hristov et al., 2013). Η συμπλήρωση λιπιδίων σε επίπεδα που υπερβαίνουν το 10% της πρόσληψης ξηρής ουσίας μπορεί να επηρεάσει αρνητικά τη λειτουργία

του μηρυκαστικού, επηρεάζοντας τους μικροβιακούς πληθυσμούς και την πέψη των ινών. Ένα συμπλήρωμα διατροφής λιπιδίων που κυμαίνεται από 5% έως 8% της πρόσληψης ξηρής ουσίας έχει αναγνωριστεί ως μια αποτελεσματική στρατηγική μετριασμού, που πιθανώς έχει ως αποτέλεσμα 15% μείωση των εντερικών εκπομπών μεθανίου ανά μονάδα γάλακτος διορθωμένης πρωτεΐνης σε λίπος (Knapp et al., 2014). Η προσθήκη φυτικών ελαίων στο σιτηρέσιο μπορεί επίσης να μειώσει την παραγωγή μεθανίου στα μηρυκαστικά, καθώς αποτελούν πηγή ενέργειας αλλά και επηρεάζουν την λειτουργία της μεγάλης κοιλίας. Μερικά από τα συστατικά των ελαίων έχουν αντιμικροβιακή δράση και βοηθούν στην διατήρηση των φυτικών ινών. Ωστόσο, χρειάζεται προσεκτικός υπολογισμός της ποσότητας, καθώς δημιουργείται κίνδυνος στην απαραίτητη αποικοδόμηση των φυτικών ινών και της ξηρής ύλης (Swain et al., 2016).

Ακόμη, η χορήγηση αντιβιοτικών μέσω σιτηρεσίου συμβάλλει στην μείωση της εντερικής ζύμωσης, όπως και η προσθήκη συμπυκνωμάτων για βελτίωση της πεπτικότητας άρα και τη μείωση των εκπομπών μεθανίου, ενώ η αύξηση 1% του λίπους στο σιτηρέσιο μπορεί να μειώσει τις εντερικές εκπομπές μεθανίου κατά 4 - 5% (Grossi et al., 2019). Γενικότερα, φαίνεται πως η χορήγηση πρωτεΐνης προσαρμοσμένη στην ποσότητα που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του ζώου είναι μια αποτελεσματική στρατηγική μετριασμού για τη μείωση των εκπομπών αμμωνίας και υποξειδίου του αζώτου στις απεκκρίσεις, άρα και στην κοπριά. Πιο αναλυτικά, η μεγάλη μείωση της πρωτεΐνης που λαμβάνει το ζώο, μπορεί να προκαλέσει αύξηση της ζύμωσης των υδατανθράκων που με τη σειρά της μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της παραγωγής μεθανίου. Είναι αναγκαία η ισορροπημένη χορήγηση αμινοξέων ώστε η παραγωγικότητα των ζώων να παραμένει σε υψηλά επίπεδα. Ωστόσο, η χρήση συνθετικών αμινοξέων που συνηθίζεται στα μονογαστρικά, όπως είναι αναμενόμενο, συνεισφέρει στις εκπομπές αερίων μέσω της διαδικασίας παρασκευής τους. Στα μηρυκαστικά, η χορήγηση ελεύθερων αμινοξέων είναι αναποτελεσματική καθώς αποδομούνται στη μεγάλη κοιλία δίχως να επιφέρουν αύξηση της παραγωγικότητας του ζώου, ενώ τα προστατευμένα αμινοξέα, μπορούν να φτάσουν στο έντερο, όπου απορροφώνται, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση στις αγελάδες γαλακτοπαραγωγής (Grossi et al., 2019).

Προσθήκη χημικών ουσιών μπορεί να συνεισφέρει σε μια περισσότερο πράσινη κτηνοτροφία. Το φουμαρικό οξύ έχει τη δυνατότητα να τροποποιεί την παραγωγή πτητικών λιπαρών οξέων. Όταν χορηγηθεί, το φουμαρικό οξύ αυξάνει τη συνολική συγκέντρωση πτητικών λιπαρών οξέων, με αύξηση της αναλογίας προπιονικού και με μειωμένη αναλογία οξικού και προπιονικού οξέος, με αποτέλεσμα να μειώνεται η παραγωγή μεθανίου. Ωστόσο, χρειάζεται ισορροπία για τη διατήρηση του οικοσυστήματος της μεγάλης κοιλίας. Ακόμη, η χρήση νιτρικών μπορεί να ελαττώσει την παραγωγή μεθανίου στα μηρυκαστικά. Τα στελέχη *Selenomonas ruminantium* και *Wolinella succinogenes* είναι βακτήρια που μειώνουν τα νιτρικά άλατα που βρίσκονται στη μεγάλη κοιλία των αιγών. Αυτά τα βακτήρια μπορεί να λειτουργήσουν ως “παραλήπτες” υδρογόνου στη μεγάλη κοιλία, καθώς έχουν την ικανότητα να μετατρέψουν τα νιτρικά σε αμμωνία και τα νιτρώδη αποτελούν το ενδιάμεσο. Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι η αναγωγή των νιτρικών είναι μια πολύ γρήγορη χημική αντίδραση και ενέχει τον κίνδυνο τα νιτρώδη να συσσωρεύονται στην κοιλία. Θα πρέπει, επομένως, να ελέγχεται η συγκέντρωση, ώστε να αποφεύγονται οι τοξικές επιδράσεις των νιτρωδών στη μεγάλη κοιλία (Swain et al., 2016).

Κάποια είδη φυτών, είναι ικανά να προκαλέσουν μείωση της παραγωγής μεθανίου στην μεγάλη κοιλία μέσω της παρουσίας δευτερογενών μεταβολιτών, όπως η τανίνη και η σαπωνίνη. Για παράδειγμα, φυτά πλούσια σε σαπωνίνη είναι τα *Glycine max*, *Cicer arietinum* L., *Medicago sativa*, *Sapindus mukorossi* και το λούπινο ενώ τα *Terminalia chebula*, *Populus deltoides*, *Mangifera indica*, και τα φύλλα του *Psidium guajava* είναι πλούσια σε τανίνες (Swain et al., 2016).

Ιονοφόρα, όπως η μονενσίνη, βρέθηκαν αποτελεσματικά στη μείωση της παραγωγής μεθανίου της μεγάλης κοιλίας. Συγκεκριμένα, προκαλεί επιλεκτική μείωση των gram θετικών βακτηρίων *Ruminococcus*, αυξάνοντας έτσι την παραγωγή προπιονικού οξέος στη μεγάλη κοιλία με αποτέλεσμα την μείωση της παραγωγής μεθανίου. Μια ακόμη καινοτόμα προσέγγιση για την μείωση της παραγωγής μεθανίου αποτελεί η χορήγηση εμβολίου εναντίων της μεθανογένεσης που προέρχεται από τους μικροοργανισμούς της μεγάλης κοιλίας που αποτελούν τμήμα του μικροβιώματος της μεγάλης κοιλίας. Η στοχευμένη δράση ενάντια στα μεθανογόνα,

περιλαμβάνει την ενεργοποίηση του ανοσοποιητικού συστήματος του ζώου με σκοπό την παραγωγή αντισωμάτων στο σίελο και την μεταφορά τους στην κοιλία για τη μείωση της παραγωγής μεθανίου (Swain et al., 2016). Ωστόσο, η χρήση ορισμένων από αυτές τις ενώσεις μπορεί να εγείρει ανησυχίες σχετικά με την τοξικότητά τους και τους σχετικούς κινδύνους για την υγεία, περιορίζοντας την ευρεία υιοθέτησή τους (Herrero et al., 2016).

Η αυξανόμενη πυκνότητα των ζώων και η συνεχής εισροή θρεπτικών ουσιών από τις εισαγόμενες ζωοτροφές αναμένεται να οδηγήσει σε μεγαλύτερους όγκους κόπρου. Αν και η αποθηκευμένη κοπριά αντιπροσωπεύει ένα σχετικά μικρό ποσοστό των άμεσων γεωργικών εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, είναι εφικτό να μετριαστεί ένα σημαντικό ποσοστό τους (Hristov et al., 2013). Μια προσέγγιση για τη μείωση των εκπομπών μεθανίου είναι η μείωση της θερμοκρασίας αποθήκευσης της κοπριάς, η οποία έχει αποδειχθεί ότι οδηγεί σε μειώσεις κατά 30 - 50% (Saidul et al., 2012). Ωστόσο, η καθαρή μείωση των αερίων θερμοκηπίου που επιτυγχάνεται μέσω αυτής της στρατηγικής μπορεί να ποικίλλει ευρέως και συνδέεται στενά με την κατανάλωση ενέργειας και το σύστημα ψύξης. Η συχνή απομάκρυνση της κόπρου σε μια υπαίθρια εγκατάσταση αποθήκευσης αντιπροσωπεύει μια αποτελεσματική πρακτική που μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας εσχαρωτά δάπεδα σε συνδυασμό με τακτική απόξεση της κοπριάς και η οποία μπορεί ενδεχομένως να μειώσει τις εκπομπές μεθανίου και οξειδίου του αζώτου κατά 55% και 41%, αντίστοιχα (Mohankumar Sajeev et al., 2018).

Ο διαχωρισμός στερεού - υγρού είναι μια τεχνολογία επεξεργασίας που διαχωρίζει μερικώς τα στερεά από την υγρή κόπρο χρησιμοποιώντας τη βαρύτητα ή μηχανικά συστήματα όπως φυγόκεντρος ή φίλτρο, μετριάζοντας τις εκπομπές πάνω από 30% σε σύγκριση με την ακατέργαστη κοπριά (Montes et al., 2013). Κατά τη διαδικασία διαχωρισμού, το μεγαλύτερο μέγεθος σωματιδίων οργανικό συστατικό ακολουθεί το στερεό ρεύμα και εάν αποθηκευτεί σε αερισμένη κατάσταση, περιορίζει τις εκπομπές μεθανίου. Ωστόσο, αυτή η διαδικασία μπορεί να επιταχύνει την απώλεια αμμωνίας λόγω της κομποστοποίησης και των υψηλών θερμοκρασιών. Επιπλέον, το υγρό κλάσμα παραμένει μια πιθανή πηγή έμμεσων εκπομπών υποξειδίου του αζώτου, καθώς η απουσία ινώδους και μεγάλου οργανικού υλικού εμποδίζει το σχηματισμό κρούστας κατά την αποθήκευση, οδηγώντας σε αυξημένη εξάτμιση της αμμωνίας. Είναι

σημαντικό να σημειωθεί ότι υπάρχουν διάφορες πρακτικές διαχείρισης για την αντιμετώπιση αυτών των ζητημάτων, συμπεριλαμβανομένης της κάλυψης της αποθήκευσης ιλύος και της χρήσης έγχυσης για εφαρμογή στο έδαφος (Holly et al., 2017).

Η αναερόβια χώνευση είναι μια διαδικασία βιολογικής αποδόμησης που παράγει κυρίως μεθάνιο και διοξείδιο του άνθρακα από την κόπρω απουσία οξυγόνου. Η αναερόβια χώνευση έχει βρεθεί ότι μειώνει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου κατά περισσότερο από 30% σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους χειρισμού κοπριάς (Battini et al., 2014). Ωστόσο, η διαχείριση του χωνεμένου υπολείμματος από τη διαδικασία απαιτεί προσοχή. Η ανοργανοποίηση οργανικού αζώτου κατά τη βιολογική αποικοδόμηση αυξάνει την περιεκτικότητα και το pH των εκρών σε ανόργανο άζωτο, οδηγώντας δυνητικά σε αυξημένη εξάτμιση αμμωνίας. Ο συνδυασμός αναερόβιας χώνευσης με διαχωρισμό στερεού - υγρού μπορεί να μειώσει τις απώλειες αμμωνίας μετά την πέψη (Holly et al., 2017).

Ο χρόνος, η ποσότητα και η μέθοδος εφαρμογής των λιπασμάτων παίζουν καθοριστικό ρόλο στις εκπομπές υποξειδίου του αζώτου του εδάφους. Η εφαρμογή αζωτούχων λιπασμάτων είναι επιρρεπής σε απώλειες λόγω έκπλυσης και απονιτροποίησης. Συνεπώς, η διασφάλιση της σωστής ποσότητας αζώτου και η αποφυγή εφαρμογής κατά τη διάρκεια των υγρών εποχών ή πριν από σημαντικές βροχοπτώσεις είναι βασικές πρακτικές που μπορούν να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή βιομάζας και να μειώσουν τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου στο έδαφος.

Η μείωση του χρόνου αποθήκευσης μπορεί να μειώσει αποτελεσματικά τις εκπομπές μεθανίου που προκύπτουν από την εφαρμογή κοπριάς. Ωστόσο, οι συχνές εφαρμογές του εδάφους που προκύπτουν από τη μειωμένη αποθήκευση μπορούν να έχουν ποικίλες επιπτώσεις στις εκπομπές υποξειδίου του αζώτου από το χωράφι και στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από την καύση καυσίμου. Για την καλύτερη αποτελεσματικότητα της προσέγγισης αυτής, καλή θα ήταν η αποφυγή της εφαρμογής κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων υγρού εδάφους και μειωμένης πρόσληψης αζώτου από τα φυτά (Hristov et al., 2013).

Ακόμη, η ύπαρξη κατάλληλων εγκαταστάσεων αποθήκευσης της κόπρω παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στον καθορισμό του πότε θα γίνει εφαρμογή της στις καλλιέργειες. Η ανάλυση της

κόπρου παρέχει πληροφορίες για την ορθή διαχείριση θρεπτικών ουσιών και την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Τέλος, η χρήση αναστολέων νιτροποίησης έχει τη δυνατότητα να μειώσει την έκλυση αζώτου αναβάλλοντας τη μετατροπή της αμμωνίας σε νιτρικό. Ωστόσο, ενώ αυτή η επίδραση είναι ευεργετική, μπορεί να αντισταθμιστεί από την αύξηση των έμμεσων εκπομπών μονοξειδίου του αζώτου που προκύπτουν, λόγω της υψηλότερης εξάτμισης της αμμωνίας (Lam et al., 2017).

Υπάρχει άμεση σύνδεση μεταξύ των εντάσεων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και της αποδοτικότητας των ζώων. Τα πιο υψιπαραγωγά ζώα εκμεταλλεύονται καλύτερα τη διατροφική πρωτεΐνη, με αποτέλεσμα να αποβάλλουν λιγότερο άζωτο στα κόπρανα και τα ούρα (Gerber et al., 2013). Ωστόσο, οι στρατηγικές που στοχεύουν στην τροποποίηση των φαινοτύπων των ζώων για καλύτερη παραγωγικότητα και αποτελεσματικότητα πρέπει να παρακολουθούνται προσεκτικά προς αποφυγή αρνητικών επιπτώσεων στην υγεία και την ευημερία των ζώων (Llonch et al., 2017). Επομένως, οι φυλές που προκύπτουν από διασταυρώσεις βελτιώνοντας την παραγωγικότητα του ζωικού κεφαλαίου δύνανται να επιφέρουν σημαντικές μειώσεις αερίων θερμοκηπίου, υπό την προϋπόθεση ότι είναι προσαρμοσμένες με το παραγωγικό σύστημα και το κλίμα. Επίσης, η βελτίωση της αναπαραγωγικής ικανότητας είναι δυνατόν να βελτιώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, όμως είναι πιθανό να αυξήσει τις μεταβολικές απαιτήσεις κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης και της γαλουχίας, επηρεάζοντας δυνητικά αρνητικά την υγεία των ζώων και αυξάνοντας τον κίνδυνο ασθενειών, ενώ παράλληλα μειώνει τη λειτουργία του ανοσοποιητικού (Llonch et al., 2017). Η μειωμένη υγεία και ευημερία των ζώων μπορεί να επιφέρει αλλαγές συμπεριφοράς και μεταβολισμού που επηρεάζουν τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου με ποικίλους τρόπους. Τα ζώα που καταπολεμούν τις λοιμώξεις απαιτούν περισσότερη ενέργεια για τη συντήρηση.

2.7. Εκτίμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

2.7.1. Μεθοδολογία LCA

Στον 21ο αιώνα, η ενεργειακή πολιτική δίνει σημαντική έμφαση στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής και στη διασφάλιση της ενεργειακής ασφάλειας. Ένας βασικός μοχλός για την

προώθηση της βιοενέργειας είναι η δυνατότητά της να μειώσει τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) αντικαθιστώντας τα ορυκτά καύσιμα όπως το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και τον άνθρακα με καύσιμα που προέρχονται από ανανεώσιμες πηγές βιομάζας. Για να ληφθούν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με την ενεργειακή πολιτική, τη χρήση γης και τη χρήση πόρων βιομάζας, είναι απαραίτητη η σύγκριση των ισοζυγίων των αερίων του θερμοκηπίου των συστημάτων βιοενέργειας με αυτά των ορυκτών καυσίμων και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ο άνεμος και η ηλιακή ενέργεια (Bird et al., 2011, Roberts et al., 2010).

Η μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (Life Cycle Assessment, LCA) είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για να αξιολογήσει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας από την προμήθεια των πρώτων υλών και την παραγωγή μέχρι την χρήση και τη διάθεση ως το τέλος ζωής. Η LCA αξιολογεί τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος ή μιας υπηρεσίας από την άποψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, η ρύπανση του αέρα, του νερού και του εδάφους. Μελέτες LCA έχουν επίσης διεξαχθεί για εναλλακτικές επιλογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, καθώς και για συστήματα ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο και άνθρακας) που παρέχουν διάφορες ενεργειακές υπηρεσίες (Reijnders, 2021).

Τα ισοζύγια GHG της βιοενέργειας και άλλων ενεργειακών συστημάτων και δραστηριοτήτων επηρεάζονται από μια πλειάδα παραγόντων, συστατικών και παραδοχών. Η βιομάζα μπορεί να προέρχεται από διάφορες πηγές, καθεμία με διαφορετικές αποδόσεις και πρακτικές παραγωγής. Επιπλέον, η ίδια βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές τεχνολογίες μετατροπής, διαδικασίες μεταφοράς και διανομής και τεχνολογίες τελικής χρήσης. Συνεπώς, είναι σημαντικό οποιαδήποτε σύγκριση LCA να οριοθετεί ρητά τόσο το υπό εξέταση σύστημα (που αναφέρεται ως σύστημα μελέτης) όσο και το σύστημα με το οποίο συγκρίνεται (αναφέρεται ως σύστημα αναφοράς). Και τα δύο συστήματα θα πρέπει να παρέχουν ισοδύναμα επίπεδα υπηρεσιών και η ανάλυση πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις σχετικές, ουσιαστικές πηγές εκπομπών GHG και τη χρήση ενέργειας. Χωρίς τις παραμέτρους αυτές, ενδέχεται να προκύψει

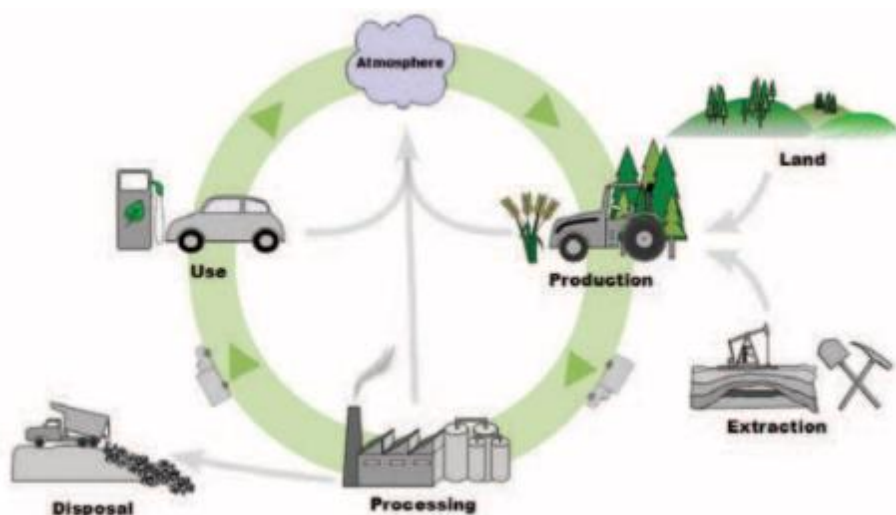
σύγκριση LCA ανόμοιων πτυχών και κατά συνέπεια παραπλανητικά συμπεράσματα (Bird et al., 2011, Roberts et al., 2010).

Η μεθοδολογία LCA περιλαμβάνει τα εξής βασικά βήματα:

- Ορισμός του σκοπού και του αντικειμένου: Σε αυτή τη φάση καθορίζονται ο σκοπός και το εύρος της ανάλυσης. Περιλαμβάνει την περιγραφή του θέματος της μελέτης, την παροχή πλαισίου για την αξιολόγηση, την αντιμετώπιση των υποθέσεων και την ποιότητα των δεδομένων και τον καθορισμό των ορίων του συστήματος. Επιπλέον, περιγράφει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που πρέπει να αξιολογηθούν. Ενώ οι LCA προϊόντων και υπηρεσιών μπορεί να περιλαμβάνουν μια σειρά περιβαλλοντικών επιπτώσεων όπως εξάντληση αβιοτικών πόρων, οξίνιση, δυναμικό ευτροφισμού και δυναμικό ανθρώπινης τοξικότητας, οι LCA των ενεργειακών προϊόντων συχνά εστιάζουν αποκλειστικά στον αντίκτυπο της υπερθέρμανσης του πλανήτη και στο ενεργειακό ισοζύγιο.
- Ανάλυση του κύκλου ζωής (Εικόνα 2.5): Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης, συγκεντρώνονται δεδομένα για την ενέργεια, τις ροές υλικών και τις εκπομπές σε όλα τα στάδια του κύκλου ζωής. Το αποτέλεσμα είναι ένας κατάλογος που περιγράφει λεπτομερώς όλες τις εισροές και τις εκροές, που παρουσιάζονται ως στοιχειώδεις ροές από και προς το περιβάλλον, για όλες τις διαδικασίες που εξετάζονται στη μελέτη. Αυτό περιλαμβάνει εισροές όπως λιπάσματα, φυτοφάρμακα, ορυκτά καύσιμα και εκροές όπως προϊόντα, απόβλητα και εκπομπές στην ατμόσφαιρα, όπως σωματίδια και αέρια θερμοκηπίου (GHGs) όπως CO₂, CH₄ και N₂O (Bird et al., 2011, Roberts et al., 2010).
- Αξιολόγηση των επιπτώσεων: Στο στάδιο αυτό, γίνεται η εκτίμηση των επιπτώσεων σε διάφορες κατηγορίες, όπως η αλλαγή του κλίματος, η οξίνιση, η ευτροφολοποίηση και άλλες περιβαλλοντικές κατηγορίες.
- Ερμηνεία των αποτελεσμάτων: Εξέταση των αποτελεσμάτων για να γίνουν κατανοητοί ποιοι παράγοντες επηρεάζουν το περιβαλλοντικό αποτύπωμα και πού μπορεί να γίνει βελτίωση.

- Αναφορά: Εκπόνηση εκθέσεων και παρουσίαση των αποτελεσμάτων σε αρμόδιους φορείς ή στο κοινό.

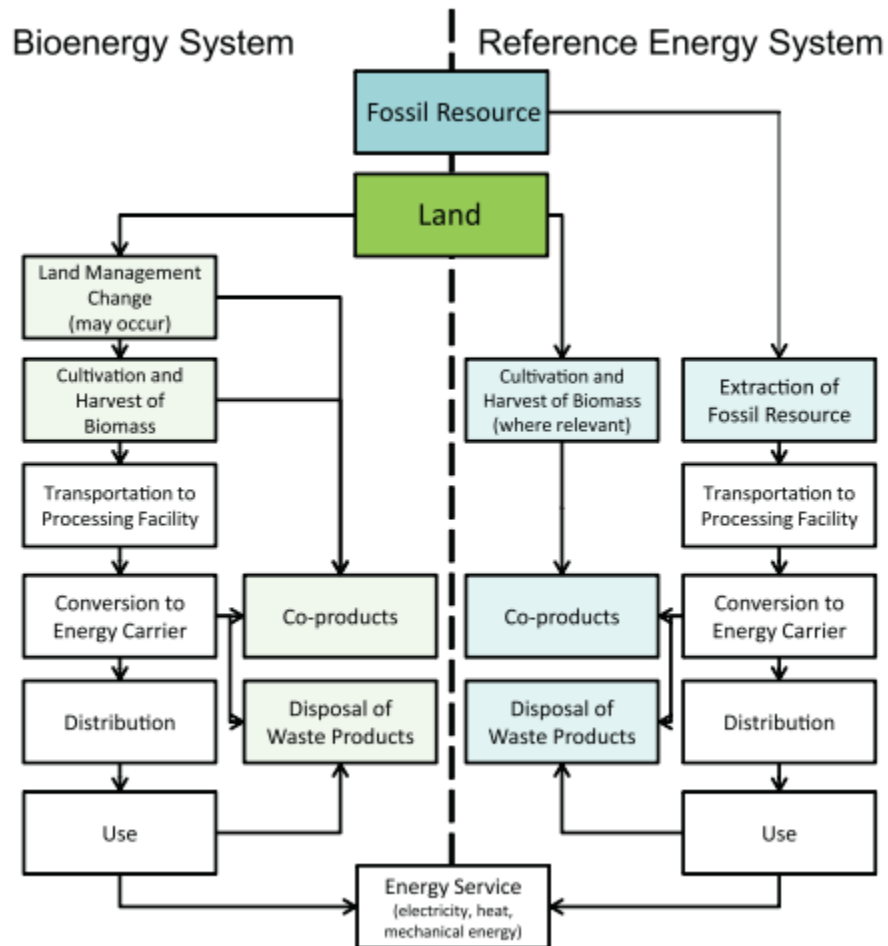
Η LCA χρησιμοποιείται για να υποστηρίξει αποφάσεις σχετικά με τη βιώσιμη παραγωγή και κατανάλωση προϊόντων και υπηρεσιών, καθώς και για την ανάπτυξη περιβαλλοντικών πολιτικών και πρακτικών. Αυτή η μεθοδολογία βοηθάει στη μείωση του αντίκτυπου στο περιβάλλον και στην βελτίωση της βιωσιμότητας στην κατασκευή και χρήση προϊόντων και υπηρεσιών (Εικόνα 2.6).



Εικόνα 2.5 Μια απλοποιημένη απεικόνιση των κύριων σταδίων του κύκλου ζωής για ένα σύστημα παραγωγής βιοενέργειας. Ο πράσινος κύκλος αντιπροσωπεύει τον κύκλο του άνθρακα, τα γκρι βέλη δείχνουν εισόδους και εξόδους από το σύστημα βιοενέργειας (Bird et al., 2011, Roberts et al., 2010).

Τα υποπροϊόντα είναι αγαθά ή υπηρεσίες που παρέχονται από το σύστημα, εκτός από την κύρια υπηρεσία ή προϊόν. Για παράδειγμα, το άχυρο που χρησιμοποιείται για ενσίρωση ή στρωμνή είναι υποπροϊόν από καλλιέργεια σιτηρών. Η απόρριψη αποβλήτων από τη διαδικασία μετατροπής (για παράδειγμα, ιλύς από βιοχωνευτήρες) περιλαμβάνεται επίσης στην LCA. Ορισμένα απόβλητα χρησιμοποιούνται ευεργετικά, εκτοπίζοντας έτσι άλλα προϊόντα (για παράδειγμα, η τέφρα από μια θερμική διαδικασία που εφαρμόζεται ως λίπασμα μειώνει την

ανάγκη για εμπορικά λιπάσματα) υποδεικνύοντας ότι «τα σκουπίδια ενός ανθρώπου είναι ο θησαυρός του άλλου» (Reijnders, 2021).



Εικόνα 2.6 Τα στάδια του κύκλου ζωής των τυπικών συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Η κατασκευή και η αποξήλωση όλων των εγκαταστάσεων δεν εμφανίζονται σε αυτό το διάγραμμα. Ωστόσο, πρέπει να συμπεριληφθούν οι εκπομπές GHG από αυτές τις δραστηριότητες (Bird et al., 2011, Roberts et al., 2010).

2.7.2. Όρια παραγωγικού συστήματος και μονάδες έκφρασης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

Κατά την αξιολόγηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG emissions) από ένα παραγωγικό σύστημα ή μια οικονομική δραστηριότητα, χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα όρια

και μονάδες έκφρασης για να μετρήσουμε, αξιολογήσουμε και συγκρίνουμε τις εκπομπές. Ορισμένοι βασικοί όροι και μονάδες έκφρασης περιλαμβάνουν:

1. Περίοδος Αναφοράς: Πρόκειται για το χρονικό διάστημα κατά το οποίο πραγματοποιείται η αξιολόγηση των εκπομπών GHG. Συνήθως είναι ένα έτος, αλλά μπορεί να είναι και μικρότερο ή μεγαλύτερο ανάλογα με τον σκοπό της αξιολόγησης.
2. Σύστημα Αναφοράς: Οι κανόνες και οι προδιαγραφές που καθορίζουν πώς πρέπει να αναφέρονται και να υπολογίζονται οι εκπομπές. Υπάρχουν διάφορα συστήματα αναφοράς, όπως το σύστημα του IPCC.
3. Μονάδες Έκφρασης: Οι μονάδες με τις οποίες εκφράζονται οι εκπομπές GHG. Οι πιο συνηθισμένες μονάδες είναι:
 - α. Τόνοι ισοδύναμων διοξειδίου του άνθρακα (CO₂-eq): Αυτή η μονάδα εκφράζει τις εκπομπές όλων των αερίων του θερμοκηπίου ως ισοδύναμες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.
 - β. Κιλά ή τόνοι CO₂: Επιτρέπουν τη μέτρηση των εκπομπών αποκλειστικά σε CO₂ χωρίς την ισοδυναμία με άλλα αέρια.
4. Όρια Παραγωγικού Συστήματος: Αυτά τα όρια καθορίζουν ποιες δραστηριότητες, διεργασίες ή τμήματα της οικονομίας θα συμπεριληφθούν στην αξιολόγηση των εκπομπών. Περιλαμβάνουν τον τρόπο και το εύρος με το οποίο γίνονται υπολογισμοί. Είναι σημαντικά για τη σαφήνεια και τη συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων.

Τα παραπάνω στοιχεία χρησιμοποιούνται για την κατανόηση, την αξιολόγηση και την αναφορά των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, και είναι βασικά για την κατανόηση και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

2.7.3 Μέθοδοι εκτιμήσεων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (Tier 1 - Tier 2 - Tier 3 IPCC)

Τα περισσότερα πρωτόκολλα δημιουργούν απογραφές ανθρακικού αποτυπώματος με προοδευτικά ευρύτερα πεδία και μεθοδολογίες. Οι μέθοδοι εκτίμησης εκπομπών αερίων του

θερμοκηπίου (GHG emissions) σύμφωνα με την Παγκόσμια Διακυβερνητική επιτροπή για την κλιματική αλλαγή (IPCC) κατατάσσονται σε τρία επίπεδα, γνωστά ως Tier 1, Tier 2 και Tier 3. Κάθε επίπεδο αντιπροσωπεύει διαφορετική ακρίβεια και λεπτομέρεια στην εκτίμηση των εκπομπών.

Tier 1: Η Tier 1 είναι απλή και γενική μέθοδος για την εκτίμηση των εκπομπών GHG και χρησιμοποιεί συχνά παγκόσμιους ή εθνικούς παράγοντες (συντελεστές) εκπομπών για διάφορες δραστηριότητες, όπως η κατανάλωση ενέργειας, η γεωργία, η δασοκομία κ.λπ. Είναι κατάλληλη για γρήγορες αρχικές εκτιμήσεις.

Tier 2: Η μέθοδος Tier 2 είναι πιο λεπτομερής από τη Tier 1 και βασίζεται σε πιο συγκεκριμένα δεδομένα και παράγοντες εκπομπών που είναι προσαρμοσμένοι στην τοπική πραγματικότητα. Η μέθοδος αυτή προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια στην εκτίμηση των εκπομπών και χρησιμοποιείται για λεπτομερείς αναλύσεις.

Tier 3: Η μέθοδος Tier 3 είναι η πιο λεπτομερής και ακριβής, καθώς βασίζεται σε εξειδικευμένα δεδομένα και μεθόδους. Συχνά περιλαμβάνει μετρήσεις και παρακολούθηση εκπομπών σε συγκεκριμένες τοποθεσίες και δραστηριότητες. Χρησιμοποιείται για πολύ λεπτομερείς αναλύσεις και για την αξιολόγηση συγκεκριμένων μέτρων μείωσης εκπομπών.

Η επιλογή του επιπέδου Tier εξαρτάται από τους διαθέσιμους πόρους, τον σκοπό της ανάλυσης και την ακρίβεια που απαιτείται. Για ακριβείς αναλύσεις, συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος Tier 3, αλλά σε περιπτώσεις όπου απαιτείται μια πιο συνολική εκτίμηση, οι μέθοδοι Tier 1 και Tier 2 μπορούν να είναι πολύ χρήσιμες. Η μέθοδος Tier 3 πρέπει να τεκμηριώνεται διεξοδικά ώστε να περιγράφονται οι διαδικασίες εκτίμησης και θα πρέπει να υποστηρίζεται από σχετική βιβλιογραφία (Eurostat, 2011).

Κεφάλαιο 3: Μεθοδολογία της μελέτης/Πειραματικό μέρος

3.1. Σκοπός

Σκοπός της μελέτης αυτής είναι η εκτίμηση των εκπομπών GHG, εκφρασμένων σε ισοδύναμα διοξειδίου του άνθρακα (CO₂-eq), που προκύπτουν από την παραγωγή αιγοπρόβειου γάλακτος στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην περιοχή της Βαμβακού. Επιπλέον, η μελέτη στοχεύει στη διερεύνηση πιθανών στρατηγικών για το μετριασμό αυτών των εκπομπών. Η εκτίμηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μεθοδολογιών Tier 1 και Tier 2.

3.2. Υλικά και μέθοδοι

3.2.1. Η Περιοχή στόχος

Η περιοχή μελέτης όπου εδράζουν οι κτηνοτροφικές μονάδες είναι η περιοχή της Βαμβακούς στο νομό Λακωνίας. Η Βαμβακού και τα χωριά γύρω από αυτήν, αποτελούν ένα ομοιογενές σύμπλεγμα το οποίο οριοθετείται γεωγραφικά στο Λακωνικό τμήμα του Πάρνωννα. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από τον φυσικό πλούτο της, τις παραδόσεις της και την πανάρχαια ιστορία της. Ένας από τους βασικούς τομείς της πρωτογενούς παραγωγής της περιοχής αποτελεί η παραδοσιακή κτηνοτροφία και, σχεδόν αποκλειστικά, τα τελευταία χρόνια η εκτροφή αιγών και προβάτων. Την τελευταία δεκαετία, ο τομέας αυτός συνεχώς φθίνει, δεδομένου ότι οι τελευταίοι εναπομείναντες κτηνοτρόφοι αδυνατούν να ανταπεξέλθουν οικονομικά στις σημερινές απαιτήσεις της αγοράς. Στην περιοχή λειτουργεί μόνο ένα οικιακό τυροκομείο μικρής δυναμικότητας, ενώ τα κύρια προϊόντα, το γάλα και τα αμνοερίφια, πωλούνται σε τυροκομεία και σφαγεία που βρίσκονται στην Τρίπολη ή τη Σπάρτη. Επεμβάσεις στο σύστημα εκτροφής σε συνδυασμό με επενδύσεις που θα αφορούν στην πρωτογενή παραγωγή και τη μεταποίηση, μπορούν να δώσουν περαιτέρω ώθηση στον τομέα της κτηνοτροφίας της περιοχής και να αυξήσουν την απασχόληση. Παράλληλα, η προσπάθεια παραγωγής προϊόντων με υψηλή προστιθέμενη αξία θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί μέσω της ανάδειξης των μοναδικών χαρακτηριστικών του συστήματος εκτροφής (π.χ. περιβαλλοντικό

αποτύπωμα, εκτατικό σύστημα κλπ). Συνεπώς, μέσα από μία σειρά στοχευμένων δράσεων μπορεί να επιτευχθεί ώθηση της κτηνοτροφίας της περιοχής με τελικό στόχο την παραγωγή ποιοτικών τελικών προϊόντων υψηλής προστιθέμενης αξίας, τα οποία θα μπορούν να διεισδύσουν σε εγχώριες και διεθνείς αγορές.

3.2.2. Σύστημα εκτροφής

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Βαμβακού και στα γύρω χωριά, όπου ασκούν την κτηνοτροφική τους δραστηριότητα 11 κτηνοτρόφοι. Το εφαρμοζόμενο σύστημα εκτροφής τόσο στην περίπτωση των αιγών, όσο και στην περίπτωση των προβάτων είναι το ημικτατικό, το οποίο χαρακτηρίζεται από μικρής έντασης συμμετοχής κεφαλαίου αναφορικά με τις υφιστάμενες κτηνοτροφικές υποδομές καθώς και με το εφαρμοζόμενο σύστημα διατροφής.

Οι κτηνοτροφικές υποδομές είναι ελλειπείς με πρόχειρες σταβλικές εγκαταστάσεις και χαρακτηρίζονται από απουσία κατάλληλου μηχανολογικού εξοπλισμού, ιδίως μηχανικής άμελης. Επίσης, στη περιοχή η πλειοψηφία των μονάδων χαρακτηρίζεται από απουσία μόνιμης παροχής ηλεκτρισμού. Στις εγκαταστάσεις αυτές υπάρχει γεννήτρια παροχής ρεύματος για την κάλυψη στοιχειωδών διαχειριστικών ενεργειών (π.χ. φωτισμός κατά την άμελη, συντήρηση ψυγείων κλπ). Πέντε παραγωγοί διέθεταν εξοπλισμό (π.χ. μύλος, χαρμανιέρα) για την παραγωγή μίγματος ζωοτροφών, ενώ μόλις τέσσερις παγολεκάνη για τη συντήρηση του παραγόμενου γάλακτος. Οι εκτρεφόμενες φυλές ζώων ήταν:

για τα πρόβατα: ντόπια φυλή, Lacaune, Χιώτικα, Γερμανικά και διασταυρωμένα (κυρίως ντόπια με Lacaune ή Γερμανοχιώτικα),

για τις αίγες: ντόπια φυλή, Δαμασκού, Saanen, Alpine, Anglo-Nubian, Murcia και διασταυρώσεις των παραπάνω φυλών.

Η κύρια παραγωγική κατεύθυνση είναι η γαλακτοπαραγωγή και δευτερευόντως η πώληση κρέατος, η οποία προέρχεται από την πώληση του μεγαλύτερου μέρους των γεννηθέντων αμνοεριφίων (εξαιρούνται τα ζώα αντικατάστασης), αμέσως μετά τον απογαλακτισμό.

Το σύστημα κτηνοτροφικής παραγωγής αποτελεί μέρος του συστήματος διαβίωσης σε μικτές ορεινές περιοχές. Το σύνολο των παραγωγών στηρίζουν το μεγαλύτερο μέρος της διατροφής των ζώων στη φυσική βόσκηση (> 50%) με μέση διάρκεια βόσκησης πάνω από 7 ώρες. Οι βοσκήσιμες εκτάσεις αφορούν κυρίως εκτάσεις με χλόη, πουρνάρι, κουμαριές. Επιπλέον, χορηγούν στα ζώα τους μηδική ή/και άχυρο σίτου, καθώς και μίγμα συμπυκνωμένων ζωοτροφών κατά την γαλακτοπαραγωγική φάση, το οποίο οι παραγωγοί ιδιοπαράγουν αφού αγοράσουν τις πρώτες ύλες, όπως καλαμπόκι, κριθάρι, σιτάρι, βίκο, βαμβακόπιτα, βαμβακόσπορο, πούλπα πορτοκαλιού και ισορροπιστή. Τέλος, μόνο κατά τους χειμερινούς μήνες, όταν η βόσκηση δεν είναι εφικτή λόγω έντονης χιονόπτωσης, η διατροφή των ζώων στηρίζεται σε χονδροειδείς ζωοτροφές χορηγούμενες εντός του στάβλου.

Η IPCC (2006, 2019) συνιστά την ταξινόμηση των πληθυσμών ζώων σε υποκατηγορίες για κάθε είδος ανάλογα με την ηλικία, το σύστημα παραγωγής και το φύλο. Αντιπροσωπευτικές υποκατηγορίες ειδών αιγοπροβάτων φαίνονται στον Πίνακα 3.1

Πίνακας 3.1: Υποκατηγορίες αιγοπροβάτων

Κατηγορία αιγοπροβάτων	Υποκατηγορία	Ηλικία
1. Πρόβατα	Όριμα πρόβατα γαλακτοπαραγωγής (προβατίνες)	> 2 έτη
	Νεαρά πρόβατα (Ζυγούρια)	Απογαλακτισμός μέχρι 2 έτη
	Αρσενικό πρόβατο (κριός)	> 2 έτη
	Ζώα αντικατάστασης	1 - 2 έτη
2. Αίγες	Όριμες αίγες γαλακτοπαραγωγής (γίδες)	> 2 έτη
	Βιτούλες	Απογαλακτισμός μέχρι 2 έτη
	Τράγοι	> 2 έτη
	Ζώα αντικατάστασης	1 - 2 έτη

Για καθεμία από τις υποκατηγορίες ζώων χρειάζεται να είναι διαθέσιμες οι ακόλουθες πληροφορίες:

- Ετήσιος μέσος πληθυσμός (αριθμός ζώων).
- Μέση ημερήσια πρόσληψη τροφής [Megaloules (MJ) ανά ημέρα ή/και kg ξηράς ουσίας ανά ημέρα] και
- Συντελεστής μετατροπής μεθανίου (ποσοστό της ενέργειας τροφοδοσίας που μετατρέπεται σε μεθάνιο).

Τα ακόλουθα γενικά δεδομένα πρέπει να συλλέγονται για την εκτίμηση της πρόσληψης τροφής για κάθε αντιπροσωπευτική κατηγορία/υποκατηγορία ζώων:

- **Ζων βάρος (LW, kg).**
- **Μέση αύξηση βάρους ανά ημέρα (AWG, kg).**
- **Βάρος ώριμης ηλικίας (MW, kg):** Το ώριμο βάρος του ενήλικου ζώου καθε υποκατηγορίας απαιτείται για τον καθορισμό ενός προτύπου ανάπτυξης, συμπεριλαμβανομένης της τροφής και της ενέργειας που απαιτείται για την ανάπτυξη. Το ώριμο βάρος μιας φυλής ή μιας κατηγορίας αιγοπροβάτων γενικά θεωρείται ότι είναι το σωματικό βάρος, στο οποίο έχει ολοκληρωθεί η σκελετική ανάπτυξη (IPCC, 2006). Το ώριμο βάρος ποικίλει μεταξύ των φυλών και θα πρέπει να αντανακλά το βάρος του ζώου όταν βρίσκεται σε κανονική (μέση) σωματική κατάσταση.
- **Δραστηριότητα των ζώων:** Απαιτούνται δεδομένα σχετικά με την κίνηση και δραστηριότητα των ζώων για την εκτίμηση των καθαρών ενεργειακών αναγκών που σχετίζονται με τη δραστηριότητα αυτών (όταν τα ζώα μετακινούνται από μέρος σε μέρος αναζητώντας τροφή, ξοδεύουν ενέργεια). Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε με βάση τον Πίνακα 10.5 της IPCC (2019), η τιμή $0,024 \text{ (MJ ημέρα}^{-1} \text{ kg}^{-1})$ ως ο συντελεστής που αντιστοιχεί στον τύπο δραστηριότητας του ζώου (βόσκηση σε ορεινές εκτάσεις) για όλες τις υποκατηγορίες αιγοπροβάτων για το σύστημα εκτροφής που μελετήθηκε.

- **Δεδομένα παραγωγής γάλακτος:** για τα ζώα που θηλάζουν, απαιτούνται δεδομένα για την ημερήσια παραγωγή γάλακτος για τον υπολογισμό των ενεργειακών απαιτήσεων για τη γαλουχία.
- **Ενέργεια παραγωγής 1kg γάλακτος EV** = η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή 1 kg γάλακτος, MJ kg⁻¹. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια προεπιλεγμένη τιμή EV γάλακτος 4,6 MJ/kg για τα πρόβατα (AFRC 1993, AFRC 1995) και 3 MJ/kg για τις αίγες (AFRC 1998) που αντιστοιχεί σε περιεκτικότητα σε λιπαρά γάλακτος 7% και 3,8% κατά βάρος για πρόβατα και αίγες, αντίστοιχα.
- **Χαρακτηριστικά στοιχεία ζωοτροφών:** απαιτούνται χαρακτηριστικά στοιχεία ζωοτροφών, όπως πεπτικότητα της τροφής (DE%), περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη (CP) για τον περαιτέρω υπολογισμό της εκπομπής CH₄ από την εντερική ζύμωση και την απέκκριση αζώτου από κοπριά.
- **Πεπτικότητα ζωοτροφών (DE%):** Οι τιμές πεπτικότητας για διαφορετικές κατηγορίες ζώων και είδος διατροφής (ζωοτροφών) μπορούν να διαφέρουν. Ωστόσο, οι τιμές πεπτικότητας, βάσει της IPCC (2006, 2019) για το εύρος της κατηγορίας ζώων και του τύπου διατροφής, είναι διαθέσιμες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της πρόσληψης τροφής. Χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής πεπτικότητας DE% = 67,5% για τα αιγοπρόβατα στις συγκεκριμένες εκτροφές σύμφωνα με τον Πίνακα 10.2 της IPCC (2006, 2019) και με βάση τα χαρακτηριστικά του υπό μελέτη παραγωγικού συστήματος (ημικτατικό, χρήση βοσκήσιμων εκτάσεων).

Οι διακυμάνσεις στην πεπτικότητα του σιτηρεσίου έχουν ως αποτέλεσμα σημαντικές διακυμάνσεις στην εκτίμηση των ζωοτροφών που απαιτούνται για την κάλυψη των αναγκών των ζώων και, κατά συνέπεια, τις σχετικές εκπομπές μεθανίου και τις ποσότητες κοπριάς που απεκκρίνεται. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι η πεπτικότητα, η πρόσληψη και η ανάπτυξη είναι φαινόμενα συνεξαρτώμενα. Για παράδειγμα, μια χαμηλή πεπτικότητα θα οδηγήσει σε χαμηλότερη αξιοποίηση της τροφής και κατά συνέπεια σε μειωμένη ανάπτυξη. Αντίθετα, οι τροφές με υψηλή πεπτικότητα συχνά οδηγούν σε υψηλότερη αξιοποίηση της

τροφής και αυξημένη ανάπτυξη. Ένα σφάλμα 10% στην εκτίμηση της DE θα μεγεθύνεται σε 12 έως 20% κατά την εκτίμηση των εκπομπών μεθανίου και ακόμη περισσότερο (20 έως 45%) στις εκπομπές από την κόπρω (IPCC, 2006).

3.2.3. Τρόπος συλλογής δεδομένων

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης αντλήθηκαν στοιχεία τόσο από ποιοτική, όσο και από ποσοτική έρευνα. Με σκοπό να γίνει καλύτερα αντιληπτός ο τρόπος που διεξήχθη η έρευνα, παρακάτω παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της ποιοτικής και της ποσοτικής έρευνας.

Η χρήση της ποιοτικής έρευνας κρίνεται απαραίτητη όταν υπάρχει η ανάγκη άμεσης επαφής με τον ερωτώμενο, καθώς και όταν πρέπει να μελετηθούν συμπεριφορές, κίνητρα, γνώμες, αισθήματα και να τεθούν ερωτήσεις που μπορεί να φέρουν σε δύσκολη θέση τον ερωτώμενο ή η απάντηση δεν μπορεί να κατηγοριοποιηθεί. Δηλαδή, χρησιμοποιείται, κυρίως, για να δοθούν απαντήσεις στα ερωτήματα «γιατί» και «πώς» και λιγότερο για ερωτήματα του τύπου «τι έγινε» ή «πόσο».

Επιπλέον, ο Baker (1995) υποστηρίζει πως η ποιοτική έρευνα χρησιμοποιείται επιλεκτικά σε περιπτώσεις που χρειάζεται υψηλή αντίληψη, να διευρυνθεί η γνώση, να ξεκαθαριστεί η χρήση, να δημιουργηθούν υποθέσεις, να αναγνωριστούν διάφορες συμπεριφορές, να αναζητηθούν ή και να εξηγηθούν κίνητρα και στάσεις, να υπογραμμιστούν ξεχωριστά σύνολα συμπεριφορών και να προσφέρει μία βοήθεια για μελλοντικές έρευνες. Για την πραγματοποίηση αυτού του είδους της έρευνας χρησιμοποιούνται κάποιες τεχνικές. Αυτές αναφορικά είναι:

- Συζητήσεις σε ομάδες (group discussions),
- Τεχνικές προβολής (projective techniques),
- Ατομικές συνεντεύξεις σε βάθος (individual depth interviews).

Η τελευταία μέθοδος χρησιμοποιήθηκε και στη συγκεκριμένη έρευνα. Σύμφωνα με τους Kinnear και Bernhardt (1986) οι ατομικές συνεντεύξεις σε βάθος ορίζονται ως «μη δομημένες

προσωπικές συνεντεύξεις, όπου γίνονται εκτεταμένες προσπάθειες, ώστε ο ερωτώμενος να μιλήσει ελεύθερα και να εκφράσει λεπτομερή θέση πάνω σ' ένα θέμα».

Συνεπώς, η ποιοτική έρευνα στηρίζεται κατά πολύ στην παρατηρητικότητα του ερευνητή και σε αυτά που μαθαίνει από τους ανθρώπους που απαρτίζουν τον οργανισμό που αναλύει - στην παρούσα μελέτη ως οργανισμό θεωρούμε τον κλάδο της κτηνοτροφίας στην Βαμβακού.

Όσον αφορά στην ποσοτική έρευνα, αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε συνδυασμό με την ποιοτική - όπως συμβαίνει στην παρούσα μελέτη -, είτε μόνη της. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά της είναι:

- Η στατιστική και αριθμητική μέτρηση: Σε αντίθεση με την ποιοτική έρευνα, τα αποτελέσματα της ποσοτικής είναι μετρήσιμα και μπορούν να επεξεργαστούν μέσω ειδικών προγραμμάτων στους υπολογιστές (π.χ. Excel, SPSS).
- Η δειγματοληψία από μικρότερες ομάδες και οι συγκρίσεις: Καλύτερη αντίληψη μεγεθών για συγκρίσεις.
- Η έρευνα μπορεί να επαναληφθεί στο μέλλον και τα στοιχεία μπορούν να είναι συγκρίσιμα: Μία έρευνα με ημερομηνία και αριθμητικά δεδομένα είναι εύκολα συγκρίσιμη με οποιαδήποτε ανάλογη μελέτη που θα διεξαχθεί μελλοντικά.
- Καταγράφει ατομικές απαντήσεις: Οι απαντήσεις είναι ατομικές και ο ερωτώμενος τις απαντάει σύμφωνα με τα πιστεύω του.
- Λιγότερο εξαρτημένη από τις ικανότητες του υπεύθυνου της έρευνας ή τον προσανατολισμό του: Από τη στιγμή που η βάση είναι δεδομένη και μετρήσιμη είναι πιο εύκολο να πραγματοποιηθεί από οποιονδήποτε ανεξάρτητα από το επίπεδο ικανοτήτων τους.
- Χρησιμοποιεί αντικειμενικά κριτήρια κατά τη διάρκεια της μελέτης, γεγονός που την καθιστά και πιο πραγματική.

Η συλλογή των πρωτογενών στοιχείων, στην παρούσα μελέτη, πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια μεθόδων συλλογής στοιχείων μέσω επικοινωνιακής διαδικασίας, και συγκεκριμένα επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν δομημένα ερωτηματολόγια, καθώς και συνεντεύξεις. Τα απαραίτητα δεδομένα συλλέχθηκαν από το σύνολο των 11 κτηνοτρόφων της περιοχής και αφορούσαν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που σχετίζονται με το παραγωγικό σύστημα και τη διαδικασία εκτροφής των παραγωγικών ζώων.

3.2.4. Εκτίμηση εκπομπών αερίων θερμοκηπίου

Η γενική προσέγγιση στην προσπάθεια εκτίμησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου είναι πρωτίστως ο εντοπισμός των πρακτικών διαχείρισης και των πηγών εκπομπών που θα πρέπει να εκτιμηθούν, πριν από την επιλογή μιας μεθοδολογίας υπολογισμού και τη συλλογή δεδομένων εισόδου. Η επιλογή μεθοδολογίας είναι ένα βασικό βήμα, επειδή η πιθανή ακρίβεια της εκτίμησης των αερίων του θερμοκηπίου και οι τύποι δεδομένων εισόδου που απαιτούνται ποικίλλουν μεταξύ των προσεγγίσεων, επηρεάζοντας την ικανότητα πραγματοποίησης αναφοράς εκπομπών GHG.

Σύμφωνα με την IPCC (2006) υπάρχουν τρεις μεθοδολογίες προσδιορισμού των αερίων του θερμοκηπίου όπως ήδη έχει αναφερθεί στο βιβλιογραφικό μέρος, που είναι ανάλογες με την πολυπλοκότητα των δεδομένων και των πληροφοριών που χρησιμοποιούν. Οι μεθοδολογίες αυτές είναι η Tier 1, η Tier 2 και η Tier 3. Οι μεθοδολογίες ακολουθούν μια δομή ιεραρχικής βαθμίδας. Η μεθοδολογική προσέγγιση Tier 1 χρησιμοποιεί προεπιλεγμένες τιμές συντελεστών για τις εξισώσεις των υπολογισμών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Θεωρείται η πιο βασική και απλή εκ των τριών και βασίζεται στην μέθοδο των προσθαφαιρέσεων (gain-loss method) με βασική παράμετρο το συνολικό αριθμό εκτρεφόμενων ζώων.

Η μεθοδολογική προσέγγιση Tier 2 προσδιορίζει ακριβέστερα τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τους πληθυσμούς των υποκατηγοριών των ζώων. Χρησιμοποιεί παρόμοια προσέγγιση με τη μεθοδολογία Tier 1, αλλά απαιτεί τη γνώση των υποκατηγοριών πληθυσμού/ζώου και του συντελεστή πρόσληψης τροφής για ένα τυπικό ζώο της κάθε κατηγορίας. Επομένως, απαιτείται γενική γνώση της παραγωγικότητας των ζώων, της σύνθεσης της διατροφής και των συστημάτων διαχείρισης. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται ειδικές εξισώσεις

για την εκτίμηση των συντελεστών εκπομπών λαμβάνοντας υπόψη ζωοτεχνικούς δείκτες, χαρακτηριστικά παραγωγικότητας και ενεργειακές απαιτήσεις ανά είδος.

Τέλος, η μεθοδολογική προσέγγιση Tier 3 αντιπροσωπεύει την πιο σύνθετη προσέγγιση για την εκτίμηση των εκπομπών GHG. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη εξελιγμένων μοντέλων που εξετάζουν τη λεπτομερή σύνθεση των σιτηρεσιών, τα παραγόμενα προϊόντα που προκύπτουν από την εντερική ζύμωση, τις εποχιακές διακυμάνσεις στον πληθυσμό των ζώων ή την ποιότητα και τη διαθεσιμότητα των ζωοτροφών, καθώς επίσης και πιθανές στρατηγικές μετριασμού. Οι εξισώσεις της Tier 3 είναι συγκεκριμένες για κάθε χώρα ή περίπτωση παραγωγικού συστήματος και μπορούν να προσδώσουν μεγαλύτερη ακρίβεια στις εκτιμήσεις των εκπομπών GHG.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις Tier 1 και Tier 2 κάνοντας χρήση των απαραίτητων εξισώσεων σύμφωνα με τις οδηγίες της IPCC (2006, 2019) μέσω των οποίων υπολογίζονται τα παραγόμενα αέρια του θερμοκηπίου για την εκτίμηση των εκπομπών μεθανίου (CH_4) μέσω εντερικής ζύμωσης και διαχείρισης της κόπρου, καθώς και άμεσες (N_2O) και έμμεσες (NO_x , NH_3) εκπομπές αζώτου εντός της κάθε υπό μελέτη κτηνοτροφικής μονάδας. Τα αποτελέσματα υπολογίζονται σε συνολικά ισοδύναμα Gg διοξειδίου του άνθρακα (Gg $\text{CO}_2\text{-eq}$), λαμβάνοντας υπόψη το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη για 100 χρόνια από τις εκπομπές GHG ($\text{CH}_4=25 \times \text{CO}_2$, και $\text{N}_2\text{O} = 298 \times \text{CO}_2$).

Εκτίμηση εκπομπών με χρήση των μεθοδολογιών Tier 1 και Tier 2

Βασική προϋπόθεση για την εφαρμογή της μεθοδολογίας Tier 1 είναι η γνώση του συνολικού πληθυσμού των εκτρεφόμενων ζώων κεφαλαίου, καθώς και η επιλογή κατάλληλων συντελεστών εκπομπών με βάση τη χώρα εκτροφής, το είδος του εκτρεφόμενου ζώου (π.χ. αιγοπρόβατα) καθώς και το εφαρμοζόμενο παραγωγικό σύστημα. Συνεπώς, θα πρέπει πρώτα από όλα να είναι γνωστός ο πληθυσμός των ζώων ανά κατηγορία (π.χ. προβατίνες, κριοί, αμνοί κ.α). Επιπλέον, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες οδηγίες της IPCC και ανεξάρτητα μεθοδολογίας, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι οι εποχικές γεννήσεις ή οι σφαγές μπορεί να προκαλέσουν διεύρυνση ή συρρίκνωση του πληθυσμού σε διαφορετικές περιόδους του έτους, κάτι που θα απαιτήσει την ανάλογη προσαρμογή των αριθμών του πληθυσμού. Κάποιες κατηγορίες ζώων

διαβιούν για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα εντός ενός παραγωγικού έτους (π.χ. αμνοί για πώληση) συνεπώς ο πληθυσμός τους θα πρέπει να ανάγεται στο σύνολο του έτους μελέτης.

Η αναγωγή αυτή πραγματοποιείται, όπου αυτό χρειάζεται, με βάση την παρακάτω εξίσωση:

$$AAP = Days\ live \times (NAPA \div 365) \text{ (Εξίσωση 1)}$$

Όπου:

AAP = μέσος ετήσιος πληθυσμός.

NAPA = αριθμός ζώων που παράγονται ετησίως.

Εκπομπές μεθανίου από εντερική ζύμωση σε αιγοπρόβατα

Το μεθάνιο παράγεται στα μηρυκαστικά ως υποπροϊόν της εντερικής ζύμωσης, κατά την οποία οι υδατάνθρακες διασπώνται από βακτήρια στην πεπτική οδό. Η ποσότητα του μεθανίου που παράγεται εξαρτάται από τον τύπο του πεπτικού σωλήνα. Στα μηρυκαστικά η παρουσία της μεγάλης κοιλίας εντός του πεπτικού συστήματος ευνοεί την εκτεταμένη εντερική ζύμωση και τις υψηλές εκπομπές CH₄. Τα κύρια μηρυκαστικά ζώα είναι τα βοοειδή, οι αίγες, τα πρόβατα και οι καμήλες. Τα μονογαστρικά ζώα (άλογα, μουλάρια, γαϊδούρια, πουλερικά) έχουν σχετικά χαμηλότερες εκπομπές CH₄ λόγω λιγότερης πέψης που παράγει CH₄ στο πεπτικό τους σύστημα.

Γενικά, η παραγωγή μεθανίου από μηρυκαστικά ζώα επηρεάζεται από τα διατροφικά χαρακτηριστικά καθώς και από τις συνθήκες ζύμωσης στη μεγάλη κοιλία. Εκτός από τα παραπάνω, η παραγωγή μεθανίου από εντερική ζύμωση εξαρτάται από το επίπεδο γαλακτοπαραγωγής, το στάδιο της γαλουχίας, την εγκυμοσύνη, την ηλικία, το μέγεθος του ζώου, τη πρόσληψη τροφής και από παρεμβάσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση, όπως το καθεστώς βόσκησης, το καθεστώς σίτισης, τη στέγαση και το άρμεγμα.

A) Εκτίμηση εκπομπών μεθανίου από την εντερική ζύμωση με μεθοδολογία Tier 1

Για την εκτίμηση των συνολικών ετήσιων εκπομπών μεθανίου που προέρχονται από την εντερική ζύμωση των αιγοπροβάτων χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (IPCC, 2019):

$$CH_4 \text{ από εντερ. ζύμωση} = \sum \left(\sum EF * \left(\frac{N}{10^6} \right) \right) \text{ (Εξίσωση 2)}$$

Όπου:

CH_4 από εντερική ζύμωση = εκπομπές μεθανίου από εντερική ζύμωση ($Gg CH_4 yr^{-1}$).

EF = συντελεστής εκπομπής για την κάθε κατηγορία (π.χ. πρόβατα, αίγες) ζώου ($kg CH_4 ζώο^{-1} έτος^{-1}$).

N = ο αριθμός των εκτρεφόμενων ζώων ανά κατηγορία.

Σύμφωνα με την τελευταία αναθεώρηση των οδηγιών της IPCC ο συντελεστής EF για τη χώρα μας ανέρχεται σε $5 kg CH_4 ζώο^{-1} έτος^{-1}$ λαμβάνοντας υπόψη ότι το υπό μελέτη παραγωγικό σύστημα (πρόβατα, αίγες) λόγω του εκτατικού χαρακτήρα και των αποδόσεων εντάσσεται στα χαμηλής παραγωγικότητας συστήματα.

Κατηγορίες ζωικού πληθυσμού (μεθοδολογία Tier 2)

Η εφαρμογή της μεθοδολογίας Tier 2 απαιτεί λεπτομερείς πληροφορίες για το ζωικό πληθυσμό σχετικά με:

- ❖ τους ορισμούς για τις κατηγορίες και τις υποκατηγορίες ζώων,
- ❖ το ζωικό πληθυσμό ανά υποκατηγορία, με συνεκτίμηση τυχόν αναγωγής του ετήσιου πληθυσμού (εξίσωση 1),
- ❖ τις εκτιμήσεις πρόσληψης τροφής για το τυπικό ζώο σε κάθε υποκατηγορία.

Οι υποκατηγορίες του ζωικού πληθυσμού ορίζονται για τη δημιουργία σχετικά ομοιογενών υποομάδων των ζώων. Με τη διαίρεση του πληθυσμού σε αυτές τις υποκατηγορίες, μπορούν να αντικατοπτρίζονται καλύτερα οι διαφοροποιήσεις στη δομή ηλικίας και στις επιδόσεις των ζώων εντός του συνολικού πληθυσμού των ζώων. Η προσέγγιση αυτή επιδιώκει να ορίσει τα ζώα, την παραγωγικότητά τους και το σύστημα ποιότητας και διαχείρισης των διατροφικών συνηθειών τους για μια πιο ακριβή εκτίμηση της παραγωγή μεθανίου λόγω εντερικής ζύμωσης

μέσω της μεθόδου Tier 2. Οι ίδιες προσεγγίσεις στις εκτιμήσεις πρόσληψης τροφής χρησιμοποιούνται και για τον υπολογισμό των εκπομπών CH₄ και N₂O από την κόπρο.

B) Εκτίμηση εκπομπών μεθανίου από την εντερική ζύμωση με τη μεθοδολογία Tier 2

Συνήθως οι προσεγγίσεις της Tier 2 της IPCC για την εκτίμηση των εκπομπών μεθανίου από την εντερική ζύμωση στα αιγοπρόβατα είναι προτιμότερες εφόσον διατίθενται πληρέστερα δεδομένα χαρακτηρισμού. Η μέθοδος αυτή απαιτεί επίσης να χρησιμοποιούνται διαχωρισμένες υπο κατηγορίες πληθυσμού ζώων για τον υπολογισμό των συντελεστών εκπομπών. Τα βασικά ζητήματα της μεθόδου είναι η συλλογή λεπτομερών δεδομένων δραστηριότητας και ο επιμέρους υπολογισμός συντελεστών εκπομπών των αντίστοιχων αερίων (CH₄, N₂O).

Η μέθοδος για την εκτίμηση της εκπομπής μεθανίου από την εντερική ζύμωση χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Tier 2 αποτελείται από τα εξής βήματα:

Βήμα 1: διαχωρισμός του πληθυσμού των ζώων σε υποκατηγορίες και χαρακτηρισμός καθε υποκατηγορίας,

Βήμα 2. υπολογισμός της πρόσληψης τροφής (ακαθάριστη ενέργεια) που απαιτείται για τον υπολογισμό του συντελεστή εκπομπής μεθανίου,

Βήμα 3: υπολογισμός του συντελεστή εκπομπής μεθανίου για κάθε υποκατηγορία σε κιλά μεθανίου ανά ζώο ανά έτος,

Βήμα 4: υπολογισμός του συντελεστή εκπομπής υποκατηγορίας με τους πληθυσμούς της υποκατηγορίας για την εκτίμηση των εκπομπών ανά υποκατηγορία,

Βήμα 5. άθροιση των εκπομπών της υποκατηγορίας για την εκτίμηση της συνολικής εκπομπής από τα αιγοπρόβατα.

Οι εκπομπές μεθανίου από την εντερική ζύμωση σε κάθε κατηγορία ζώων υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας την εξίσωση (2), αλλά για την παράμετρο EF αντί να χρησιμοποιηθούν προεπιλεγμένες τιμές για την περιοχή στόχο, υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση (IPCC, 2019):

$$EF = \frac{GE \cdot \left(\frac{Y_m}{100}\right) \cdot 365}{55.65} \quad (\text{Εξίσωση 3})$$

Όπου:

EF = συντελεστής εκπομπής (kg CH₄·κεφαλή⁻¹·yr⁻¹).

GE = ακαθάριστη ενεργειακή πρόσληψη (κεφαλή MJ⁻¹ ημέρα⁻¹).

Y_m = συντελεστής μετατροπής μεθανίου, ποσοστό της ακαθάριστης ενέργειας στην τροφοδοσία που μετατρέπεται σε μεθάνιο (6,7 για πρόβατα και 5,5 για αίγες με βάση τον πίνακα 10.13 της IPCC 2019).

Ο συντελεστής 55,65 (MJ/kg CH₄) είναι το ενεργειακό περιεχόμενο του μεθανίου.

Η ακαθάριστη ενέργεια GE προκύπτει με βάση τις αθροιστικές καθαρές ενεργειακές απαιτήσεις και υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση με βάση τις αναφερόμενες κατευθυντήριες γραμμές της IPCC:

$$GE = \left[\frac{\left(\frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_{work} + NE_p}{REM} \right) + \left(\frac{NE_g + NE_{wool}}{REG} \right)}{DE} \right] \quad (\text{Εξίσωση 4})$$

Όπου:

GE = ακαθάριστη ενέργεια (MJ·ημέρα⁻¹).

NE_m = καθαρή ενέργεια που απαιτείται από το ζώο για συντήρηση (MJ·ημέρα⁻¹).

NE_a = καθαρή ενέργεια για τη δραστηριότητα των ζώων (MJ·ημέρα⁻¹).

NE_l = καθαρή ενέργεια για τη γαλουχία (MJ·ημέρα⁻¹).

NE_p = καθαρή ενέργεια που απαιτείται για την εγκυμοσύνη (MJ·ημέρα⁻¹).

NE_{work} = καθαρή ενέργεια που απαιτείται για την εργασία ($MJ \text{ ημέρα}^{-1}$).

REM = αναλογία της καθαρής ενέργειας που διατίθεται σε ένα σιτηρέσιο προς τη διατήρηση της πεπτής ενέργειας.

NE_g = καθαρή ενέργεια που απαιτείται για την ανάπτυξη ($MJ \text{ ημέρα}^{-1}$).

NE_{wool} = καθαρή ενέργεια που απαιτείται για την εριοπαραγωγή ($MJ \text{ ημέρα}^{-1}$).

REG = αναλογία της καθαρής ενέργειας που διατίθεται για ανάπτυξη σε ένα σιτηρέσιο προς την πεπτή ενέργεια που καταναλώνεται.

DE = πεπτικότητα της τροφής που εκφράζεται ως κλάσμα της ακαθάριστης ενέργειας.

Η εκτίμηση των παραμέτρων που σχετίζονται με τον υπολογισμό του GE (NE_m , NE_a , NE_l , NE_{work} , NE_m και NE_g) διεξήχθη σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές και τις αντίστοιχες εξισώσεις που αναφέρονται από την IPCC (IPCC, 2019). Στην παρούσα μελέτη η NE_{work} δεν υπολογίστηκε καθώς δεν περιλαμβάνονται ζώα εργασίας. Ο τρόπος υπολογισμού του GE εμφανίζεται σε ξεχωριστό υποκεφάλαιο (B1).

Όσον αφορά στις εκπομπές μεθανίου που προέρχονται από την κοπριά σε κάθε κατηγορία ζώων, οι συντελεστες EF και VS εκτιμήθηκαν ως εξής:

$$EF = (VS \times 365) \times B_0 \times 0,67 \times \sum MCF \times AWMS \text{ (Εξίσωση 5)}$$

Όπου:

EF = ετήσιος συντελεστής εκπομπής CH_4 για ζωικό πληθυσμό ($kg \text{ CH}_4 \cdot \text{ζώο}^{-1} \cdot \text{yr}^{-1}$).

VS = ημερήσιο πτητικό στερεό που εκκρίνεται για τον πληθυσμό των ζώων ($kg \text{ ξηρής ύλης} \cdot \text{ζώο}^{-1} \cdot \text{ημέρα}^{-1}$).

365 = βάση για τον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής VS (ημέρες yr^{-1}).

B_0 = μέγιστη ικανότητα παραγωγής μεθανίου για κοπριά που παράγεται από ζωικό πληθυσμό ($m^3 \text{ CH}_4 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}$ που απεκκρίνεται).

MCF = συντελεστές μετατροπής μεθανίου για κάθε σύστημα διαχείρισης κοπριάς στην περιοχή βάσει κλίματος (ποσοστό).

AWMS = το κλάσμα του συνολικού ετήσιου VS για ζωικά είδη που διαχειρίζεται σε σύστημα διαχείρισης κοπριάς (χωρίς μονάδα).

Η παράμετρος Vs του παραπάνω τύπο υπολογίζεται ως εξής:

$$VS = \left[GE \cdot \left(1 - \frac{DE}{100} \right) + (UE \cdot GE) \right] \cdot \left[\left(\frac{1 - ASH}{18.45} \right) \right] \quad (\text{Εξίσωση 6})$$

Όπου:

VS = απέκκριση πτητικού στερεού ανά ημέρα σε βάση ξηρής οργανικής ύλης (kg VS·ημέρα⁻¹).

GE = ακαθάριστη ενεργειακή πρόσληψη (MJ ημέρα⁻¹).

DE = πεπτικότητα της τροφής σε ποσοστό.

(UE * GE) = ενέργεια ούρων εκφρασμένη ως κλάσμα του GE.

ASH = η περιεκτικότητα σε τέφρα της ζωοτροφής που υπολογίζεται ως κλάσμα της πρόσληψης τροφής ξηρής ουσίας.

18,45 = ο συντελεστής μετατροπής για το διαιτητικό GE ανά kg ξηράς ουσίας (MJ·kg⁻¹).

Παρόμοια με τη μεθοδολογία Tier 1, όλοι οι κατάλληλοι παράγοντες και οι παράμετροι που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις για τους υπολογισμούς του Tier 1 και 2 ακολουθούν τις συστάσεις της IPCC (IPCC, 2006, 2019) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 Παράγοντες και παράμετροι που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις για τους υπολογισμούς των Tier 1 και 2 (IPCC, 2019)

Παράμετρος	Μεθοδολογία	Τιμή
$EF_{CH4-enteric}$	Tier 1	5 kg CH ₄ ζώο ⁻¹ (χαμηλή παραγωγικότητα)
AWMS	Tier 1/2	Πρόβατα 42% στερεά αποθήκευση, 0% βοσκότοπος / βοσκή Αίγες 28% στερεά αποθήκευση, 0% βοσκότοπος / βοσκή
VS_{rate}	Tier 1	Πρόβατα 8,2 (kg VS·(1000 kg μάζα ζώου) ⁻¹ ·ημέρα ⁻¹) Αίγες 9 (kg VS·(1000 kg μάζα ζώου) ⁻¹ ·ημέρα ⁻¹)
TAM	Tier 1/2	40 kg·ζώο ⁻¹
Y_m	Tier 2	Πρόβατα 6,7 Αίγες 5,5
B_o	Tier 2	Πρόβατα 0,19 m ³ CH ₄ ·kg ⁻¹ VS Αίγες 0,18 m ³ CH ₄ ·kg ⁻¹ VS
MCF	Tier 2	4 στερεά αποθήκευση, 0,55 βοσκότοπος / βοσκή

EF₃	Tier 1	0,01 kg N ₂ O-N/kg N
Nrate	Tier 1	Πρόβατα 0,43 kg N·(1000 kg μάζα ζώου) ⁻¹ ·ημέρα ⁻¹ Αίγες 0,42 kg N·(1000 kg μάζα ζώου) ⁻¹ ·ημέρα ⁻¹
N_{retention_frac}	Tier 2	0,1
CP%	Tier 2	Πρόβατα 8,2% Αίγες 8,1%
EF₄	Tier 1/2	0,01 kg N ₂ O-N/kg N
Frac_{GasMS}	Tier 1/2	0,12
EF₅	Tier 1/2	0,011 kg N ₂ O-N/kg N
Frac_{LeachMS}	Tier 1/2	0,02

B1) Πρόσληψης τροφής και υπολογισμός της ακαθάριστης πρόσληψης ενέργειας (GE) για τα αιγοπρόβατα

Απαιτούνται δεδομένα απόδοσης και διατροφής των ζώων για την εκτίμηση της πρόσληψης τροφής, η οποία είναι η ποσότητα ενέργειας (MJ/ημέρα) που χρειάζεται ένα ζώο για συντήρηση, δραστηριότητες, ανάπτυξη, γαλουχία, εργασία και εγκυμοσύνη. Οι εξισώσεις για την εκτίμηση της πρόσληψης τροφής είναι οι εξής:

Καθαρή ενέργεια για συντήρηση (NE_m): είναι η καθαρή ενέργεια που απαιτείται για τη συντήρηση, η οποία είναι η ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για να διατηρείται το ζώο σε

ισορροπία, όπου η ενέργεια του σώματος ούτε κερδίζεται ούτε χάνεται. Η εξίσωση για την εκτίμηση της NE_m για τα αιγοπρόβατα είναι:

$$NE_m = Cfi \cdot (\text{Βάρος})^{0,75} \text{ (Εξίσωση 7)}$$

Όπου:

NE_m = Καθαρή ενέργεια που απαιτείται από το ζώο για συντήρηση (MJ ανά ημέρα).

Cfi = Συντελεστές υπολογισμού NE_m (MJ ανά ημέρα ανά kg που ποικίλλει για κάθε κατηγορία ζώου) (0,217 για πρόβατα και 0,315 για κατσίκια).

Βάρος = βάρος ζωντανού ζώου (kg).

Καθαρή ενέργεια για δραστηριότητα (NE_a): είναι η καθαρή ενέργεια που απαιτείται για τα ζώα για να αποκτήσουν την τροφή, το νερό και το καταφύγιό τους. Βασίζεται στην κατάσταση σίτισης και όχι στα χαρακτηριστικά της ίδιας της τροφής. Η εξίσωση για την εκτίμηση της NE_a για τα αιγοπρόβατα είναι:

$$NE_a = Ca \cdot NE_m \text{ (Εξίσωση 8)}$$

Όπου:

NE_a = καθαρή ενέργεια για τη δραστηριότητα των ζώων (MJ ανά ημέρα).

Ca = συντελεστής που αντιστοιχεί στην κατάσταση σίτισης του ζώου (=0.024).

NE_m = καθαρή ενέργεια που απαιτείται από το ζώο για συντήρηση (MJ ανά ημέρα).

Καθαρή Ενέργεια για ανάπτυξη (NE_g): είναι η καθαρή ενέργεια που απαιτείται για την ανάπτυξη (δηλαδή, αύξηση βάρους, NRC 1996). Η εξίσωση για τον υπολογισμό της Καθαρής Ενέργειας για την ανάπτυξη στα αιγοπρόβατα είναι:

$$NE_g = \frac{WG_{\text{Iamb/kid}} \cdot (a + 0.5b(BW_i + BW_f))}{365} \text{ (Εξίσωση 9)}$$

Όπου:

NE_g = καθαρή ενέργεια που απαιτείται για την ανάπτυξη ($MJ \text{ ημέρα}^{-1}$).

$WG_{\text{lamb/kid}}$ = η αύξηση βάρους ($BW_f - BW_i$) ($kg \text{ έτος}^{-1}$).

BW_i = το ζωντανό σωματικό βάρος κατά τον απογαλακτισμό (kg).

BW_f = το ζωντανό σωματικό βάρος σε ηλικία 1 έτους ή κατά τη σφαγή (ζωντανό βάρος) εάν έχει σφαγεί πριν από 1 έτος (kg).

a, b = σταθερές όπως περιγράφονται στον Πίνακα 10.6 του IPCC 2019.

Καθαρή ενέργεια γαλακτοπαραγωγής (NE_l): είναι η καθαρή ενέργεια που απαιτείται για τη γαλακτοπαραγωγή. Η εξίσωση για τον υπολογισμό της Καθαρής Ενέργειας γαλακτοπαραγωγής στα αιγοπρόβατα είναι:

$$NE_l = Milk \bullet EV_{milk} \text{ (Εξίσωση 10)}$$

Όπου:

NE_l = καθαρή ενέργεια για τη γαλακτοπαραγωγή ($MJ \text{ ημέρα}^{-1}$).

Milk = ποσότητα παραγόμενου γάλακτος ($kg \text{ ημέρα}^{-1}$).

EV_{milk} = η ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή 1 kg γάλακτος ($MJ \text{ kg}^{-1}$). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια προεπιλεγμένη τιμή EV γάλακτος 4,6 MJ/kg (πρόβατα) (AFRC 1993; AFRC 1995) και 3 MJ/kg (κατσίκες) (AFRC 1998).

Καθαρή ενέργεια κuoφορίας (NE_p): είναι η ενέργεια που απαιτείται για την κuoφορία. Η εξίσωση για τον υπολογισμό της καθαρής ενέργειας για την κuoφορία είναι:

$$NE_p = C_{\text{κuoφορίας}} \bullet NE_m \text{ (Εξίσωση 11)}$$

Όπου:

NE_p = καθαρή ενέργεια που απαιτείται για την κuoφορία ($MJ \text{ ανά ημέρα}$).

$C_{\text{κυφορίας}}$ = συντελεστής εγκυμοσύνης.

NE_m = καθαρή ενέργεια που απαιτείται από το ζώο για συντήρηση (MJ ανά ημέρα).

Ο συντελεστής C υπολογίστηκε βάσει και του συντελεστή πολυδυμίας λαμβάνοντας υπόψη των παρακάτω τύπο:

$$C_{pr} = (0.126 * \text{double birth fraction}) + 0.077 * (\text{single birth fraction})$$

Καθαρή ενέργεια για την παραγωγή μαλλιού (NE_{wool}): είναι η μέση ημερήσια καθαρή ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή μαλλιού ένα έτος. Το NE_{wool} υπολογίζεται ως εξής:

$$NE_{\text{wool}} = \left(\frac{EV_{\text{wool}} \cdot Pr_{\text{wool}}}{365} \right) \quad (\text{Εξίσωση 12})$$

Όπου:

NE_{wool} = καθαρή ενέργεια που απαιτείται για την παραγωγή μαλλιού (MJ ημέρα⁻¹).

EV_{wool} = η ενεργειακή αξία κάθε κιλού μαλλιού που παράγεται (ζυγισμένο μετά το στέγνωμα αλλά πριν από το τρίψιμο) (MJ kg⁻¹). Μια προεπιλεγμένη τιμή 24 MJ kg⁻¹ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των προβάτων.

Pr_{wool} = ετήσια παραγωγή μαλλιού ανά ζώο (kg ετησίως) (1,8 για τα πρόβατα).

B2) Υπολογισμός του λόγου της καθαρής ενέργειας που διατίθεται στη διατροφή για συντήρηση προς την πεπτή ενέργεια που καταναλώνεται (REM)

Ο λόγος της καθαρής ενέργειας που διατίθεται στο σιτηρέσιο για συντήρηση προς την πεπτή ενέργεια που καταναλώνεται (REM) απαιτείται για την εκτίμηση της ακαθάριστης ενέργειας: Για τα αιγοπρόβατα, ο λόγος της καθαρής ενέργειας που διατίθεται σε ένα σιτηρέσιο για συντήρηση προς την πεπτή ενέργεια που καταναλώνεται (REM) υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$REM = [1,123 - (4,092 * 10^{-3}) * DE + (1,126 * 10^{-5}) * DE^2 - (25,4/DE)] \quad (\text{Εξίσωση 13})$$

Όπου:

REM = αναλογία της καθαρής ενέργειας που διατίθεται σε μια δίαιτα για συντήρηση προς την καταναλισκόμενη πεπτή ενέργεια.

DE = πεπτή ενέργεια εκφρασμένη ως ποσοστό της ακαθάριστης ενέργειας.

B3) Υπολογισμός του λόγου της καθαρής ενέργειας που διατίθεται στη δίαιτα για ανάπτυξη προς την καταναλώμενη πεπτή ενέργεια (REG)

Ο λόγος της καθαρής ενέργειας που διατίθεται στο σιτηρέσιο για ανάπτυξη προς την πεπτή ενέργεια που καταναλώνεται (REG) απαιτείται για την εκτίμηση της ακαθάριστης ενέργειας (Gibbs and Johnson, 1993):

$$REG=[1,164-(5,160*10^{-3}*DE)+(1,308*10^{-5}*DE^2) - (37,4/DE)] \text{ (Εξίσωση 14)}$$

Όπου:

REG = αναλογία της καθαρής ενέργειας που διατίθεται για ανάπτυξη στο σιτηρέσιο προς την καταναλωμένη εύπεπτη ενέργεια.

DE = πεπτή ενέργεια εκφρασμένη ως ποσοστό της ακαθάριστης ενέργειας.

Γ) Εκπομπές μεθανίου από τη διαχείριση της κόπρου στα αιγοπρόβατα

Αυτή η ενότητα παρουσιάζει τον τρόπο εκτίμησης του CH₄ που παράγεται κατά την αποθήκευση και την επεξεργασία της κόπρου και από την κόπρο που εναποτίθεται σε βοσκότοπους. Ο όρος κόπρος χρησιμοποιείται εδώ συλλογικά για να περιλαμβάνει τόσο την κοπριά όσο και τα ούρα (δηλαδή τα στερεά και τα υγρά) που παράγονται από τα ζώα (IPCC, 2006).

Η διαχείριση της κόπρου (και των ούρων) απελευθερώνει τόσο CH₄ όσο και N₂O, αν και οι εκπομπές αυτών των GHG επηρεάζονται από διαφορετικούς παράγοντες. Το CH₄ εκπέμπεται κατά την αποθήκευση και την επεξεργασία της κόπρου υπό αναερόβιες συνθήκες.

Το CH₄ εκπέμπεται ευκολότερα:

- Όταν μεγάλος αριθμός ζώων διαχειρίζεται σε περιορισμένη περιοχή (π.χ. γαλακτοκομικές εκμεταλλεύσεις, εμπορικές ζωοτροφές και πτηνοτροφεία).
- Όταν η κόπρος αποθηκεύεται ή αντιμετωπίζεται ως υγρό.
- Όταν η κόπρος αντιμετωπίζεται ως στερεό (π.χ. σε στοίβες) ή όταν εναποτίθεται σε βοσκοτόπια και λιβάδια, τείνει να αποσυντίθεται κάτω από πιο αερόβιες συνθήκες, παράγοντας λιγότερο CH₄.

Οι εκπομπές που σχετίζονται με την κόπρο προκύπτουν από την αναερόβια αποσύνθεση του οργανικού υλικού στην κοπριά των ζώων.

Για τον υπολογισμό των σχετικών εκπομπών λήφθηκαν υπόψη τα κλιματικά δεδομένα (κλιματικές ζώνες - θερμοκρασίες) της χώρας, σε συνδυασμό με προεπιλεγμένους συντελεστές εκπομπής βάσει κατευθυντήριων οδηγιών της IPCC βάσει του τρόπου διαχείρισης της κόπρου. Βάσει των χαρακτηριστικών των παραγωγικού συστήματος, το οποίο έχει ημικτατικό χαρακτήρα στηριζόμενο στη βόσκηση άνω των 6 ωρών ημερησίως, θεωρήθηκε στην παρούσα μελέτη ότι η κόπρος κατά 50% αποτίθεται στους φυσικούς βοσκοτόπους και κατά 50% αποθηκεύεται σε κοπροσωρό (στερεά αποθήκευση).

Οι εκπομπές CH₄ που προέρχονται από τη διαχείριση κόπρου υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας την εξίσωση

$$\text{Εκπομπές CH}_4 \text{ από κόπρο} = \left[\sum \frac{(N \cdot VS \cdot AWMS \cdot EF)}{1000} \right] \text{ (Εξίσωση 15)}$$

Όπου:

CH₄ = εκπομπές CH₄ από τη διαχείριση κοπριάς (kg CH₄ έτος⁻¹).

N = αριθμός κεφαλών ειδών ζώων/κατηγορία T στη χώρα.

VS = ετήσια μέση έκκριση πτητικών στερεών (VS) ανά κεφαλή είδους (kg VS ζώου⁻¹ έτος⁻¹).

AWMS = κλάσμα του συνολικού ετήσιου VS για κάθε ζωικό είδος/κατηγορία βάσει του συστήματος διαχείρισης κοπριάς (χωρίς μονάδα έκφρασης/αδιάστατο).

EF = συντελεστής εκπομπής για άμεσες εκπομπές CH₄ από το σύστημα διαχείρισης κοπριάς ανά είδος ζώων / (g CH₄ kg VS⁻¹).

Η παράμετρος VS υπολογίζεται ως εξής:

$$VS = \left(VS_{rate} * \frac{TAM}{1000} \right) * 365 \text{ (Εξίσωση 16)}$$

Όπου:

VS = ετήσια απέκκριση VS για ζώα κατηγορίας (kg VS ζώου⁻¹ έτος⁻¹).

VS_{rate} (T, P) = προεπιλεγμένος ρυθμός απέκκρισης VS [kg VS (1000 kg ζωικής μάζας)⁻¹ ημέρα⁻¹].

Αναφορικά με τις λοιπές παραμέτρους (AWMS, EF) για αυτές λαμβάνονται υπόψη προκαθορισμένες τιμές με βάση τις οδηγίες της IPCC (2019) ανάλογα το παραγωγικό σύστημα και το εφαρμοζόμενο σύστημα διαχείρισης της κόπρου (π.χ. διασπορά σε βοσκότοπο, κοπροσωρός κλπ).

Δ) Εκτιμήσεις εκπομπών μονοξειδίου του αζώτου (N₂O) που προέρχονται από τη διαχείριση της κόπρου

Το μονοξείδιο του αζώτου (N₂O) παράγεται, άμεσα και έμμεσα, κατά την αποθήκευση και την επεξεργασία της κόπρου. Ο υπολογισμός των αντίστοιχων εκπομπών βασίζεται στην απέκκριση N, στους συντελεστές εκπομπής για τις εκπομπές N₂O και στους παράγοντες εξάτμισης και έκλυσης (IPCC, 2006, 2019). Οι άμεσες εκπομπές N₂O παράγονται από τη νιτροποίηση και απονιτροποίηση του αζώτου που περιέχεται στην κοπριά. Οι απώλειες πτητικού αζώτου έχουν ως αποτέλεσμα έμμεσες εκπομπές που εμφανίζονται κυρίως με τη μορφή αμμωνίας και NO_x.

Δ1) Άμεσες Εκτιμήσεις (Μεθοδολογία Tier 1 και 2)

Τα άμεσα αέρια αζώτου (N₂O) που προέρχονται από τη διαχείριση της κόπρου εκτιμήθηκαν με την παρακάτω εξίσωση:

$$N_2O = \left[\sum \left[\sum \left((N * Nex) * AWMS \right) \right] * EF \right] * \frac{44}{28} \text{ (Εξίσωση 17)}$$

Όπου:

N_2O = άμεσες εκπομπές N_2O από τη διαχείριση κόπρου ($kg N_2O \text{ έτος}^{-1}$).

N = αριθμός ζώων/ηλικιακή κατηγορία.

N_{ex} = μέση ετήσια έκκριση N ανά κεφαλή είδους/κατηγορία ($kg N \text{ ζώου}^{-1} \text{ έτος}^{-1}$).

$AWMS$ = κλάσμα του συνολικού ετήσιου VS για κάθε ζωικό είδος/κατηγορία βάσει του συστήματος διαχείρισης κοπριάς (χωρίς μονάδα έκφρασης).

EF = συντελεστής εκπομπής για άμεσες εκπομπές N_2O από σύστημα διαχείρισης κόπρου ($kg N_2O-N/kg N$).

$44 / 28$ = μετατροπή εκπομπών $N_2O-N_{(mm)}$ σε εκπομπές $N_2O_{(mm)}$.

Η εφαρμογή της εξίσωσης απαιτεί την εκτίμηση του εκκρινόμενου αζώτου ανά ζώο (N_{ex}), ενώ ο συντελεστής εκπομπής (EF) παρέχεται από τις κατευθυντήριες γραμμές της IPCC (2019).

Για την προσέγγιση Tier 1, ο υπολογισμός του εκκρινόμενου αζώτου (N_{ex}) βασίζεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$N_{ex} = N_{rate} * \frac{TAM}{1000} * 365 \text{ (Εξίσωση 18)}$$

Όπου:

N_{ex} = ετήσια N απέκκριση για ζώα κατηγορίας ($kg N \text{ ζώου}^{-1} \text{ έτος}^{-1}$).

N_{rate} = προεπιλεγμένος ρυθμός απέκκρισης N ($kg N (1000 kg \text{ ζωικής μάζας})^{-1} \text{ ημέρα}^{-1}$ για την κατηγορία ζώων).

TAM = τυπική ζωική μάζα για ζώα κατηγορίας T ($kg \text{ ζώου}^{-1}$).

Η μεθοδολογία Tier 2 ακολουθεί μια πιο σύνθετη προσέγγιση που λαμβάνει υπόψη παραμέτρους που σχετίζονται με παραγωγικά χαρακτηριστικά και διατροφικά χαρακτηριστικά. Επομένως, η ακόλουθη εξίσωση, η οποία λαμβάνει υπόψη το άζωτο που καταπίνει και

κατακρατά ένα ζώο σύμφωνα με το παραγωγικό του στάδιο, χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του παράγοντα N_{ex} (IPCC, 2019).

$$N_{ex} = N_{intake} \times (1 - N_{retention_frac}) \times 365 \text{ (Εξίσωση 19)}$$

Όπου:

N_{intake} = η ημερήσια πρόσληψη N ανά κεφαλή ζώου ενός είδους ($\text{kg N ζώου}^{-1} \text{ ημέρα}^{-1}$).

$N_{retention_frac}$ = κλάσμα της ημερήσιας πρόσληψης N που κατακρατείται από ένα ζώο του υπό μελέτη είδους (χωρίς μονάδα έκφρασης/ αδιάστατο).

365 = αριθμός ημερών σε ένα έτος.

Σύμφωνα με τις οδηγίες της IPCC [18], το N_{intake} εκτιμήθηκε χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$N_{intake(T)} = \frac{GE}{18.45} \cdot \left(\frac{CP\%}{6.25} \right) \text{ (Εξίσωση 20)}$$

Το GE προσδιορίστηκε όπως περιγράφηκε προηγουμένως και το CP καθορίστηκε με βάση τις αντίστοιχες πληροφορίες που παρέχονται από τις κατευθυντήριες γραμμές της IPCC και λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της περιοχής - στόχου, των συστημάτων εκτροφής και της κατηγορίας των ζώων (Πίνακας 3.2). Ομοίως, όσον αφορά το $N_{retention_frac}$, οι αντίστοιχες τιμές καθορίστηκαν σύμφωνα με τις συστάσεις της IPCC (IPCC, 2019).

Δ2) Έμμεσες Εκτιμήσεις (Μεθοδολογία Tier 1 και Tier 2)

Η εκτίμηση των έμμεσων αερίων αζώτου (N_2O) λαμβάνει υπόψη τις αντίστοιχες εκπομπές που προέρχονται από την εξάτμιση και την έκπλυση κάνοντας χρήση των ακόλουθων εξισώσεων:

α) Αέρια αζώτου λόγω εξάτμισης:

$$N_2O = (N_{volatilization\ MMS} * EF) * \frac{44}{28} \text{ (Εξίσωση 21)}$$

Όπου:

N_2O = έμμεσες εκπομπές N_2O λόγω εξάτμισης του N από Διαχείριση κόπρου ($kg N_2O$ έτος⁻¹).

$N_{volatilization MMS}$ = ποσότητα αζώτου κόπρου που χάνεται λόγω της εξάτμισης των NH_3 και NO_x ($kg N yr^{-1}$).

EF = συντελεστής εκπομπής για εκπομπές N_2O από την ατμοσφαιρική εναπόθεση αζώτου σε εδάφη και επιφάνειες νερού [$kg N_2O-N (kg NH_3-N + NO_x-N_{volatilization})^{-1}$].

Η ποσότητα του $N_{volatilization}$ υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$N_{volatilization MMS} = \sum \left[\sum \left[\left((N * N_{ex}) * AWMS \right) * Frac_{GasMS} \right] \right]$$

(Εξίσωση 22)

Όπου:

$N_{volatilization MMS}$ = ποσότητα αζώτου κόπρου που χάνεται λόγω της εξάτμισης των NH_3 και NO_x ($kg N yr^{-1}$).

N = αριθμός κεφαλών ζωικού είδους/κατηγορίας.

N_{ex} = μέση ετήσια έκκριση N ανά κεφαλή είδους/κατηγορίας ($kg N ζώου^{-1}$ έτος⁻¹).

$AWMS$ = κλάσμα της συνολικής ετήσιας απέκκρισης αζώτου για κάθε ζωικό είδος/κατηγορία T που διαχειρίζεται σε σύστημα διαχείρισης κόπρου (χωρίς μονάδα έκφρασης/αδιάστατο).

$Frac_{GasMS}$ = κλάσμα αζώτου διαχειριζόμενης κόπρου για την κατηγορία ζώων που εξατμίζεται ως NH_3 και NO_x στη διαχείριση της κόπρου.

β) Αέρια αζώτου λόγω έκπλυσης:

$$N_2O = (N_{leachingMMS} * EF) * \frac{44}{28} \text{ (Εξίσωση 23)}$$

Όπου:

N_2O = έμμεσες εκπομπές N_2O λόγω έκπλυσης και απορροής από διαχείριση κόπρου ($kg N_2O$ έτος⁻¹).

EF= συντελεστής εκπομπής για εκπομπές N_2O από έκπλυση και απορροή αζώτου ($kg N_2O-N/kg$ έκπλυσης N και απορροής).

$N_{leaching\ MMS}$ = ποσότητα αζώτου κόπρου που χάνεται λόγω έκπλυσης ($kg N yr^{-1}$).

Η ποσότητα του $N_{leaching}$ υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$N_{leaching_MMS} = \sum \left[\sum \left[((N * Nex * AWMS)) * Frac_{LeachMS} \right] \right]$$

(Εξίσωση 24)

Όπου:

$N_{leaching\ MMS}$ = ποσότητα αζώτου κόπρου που χάνεται λόγω έκπλυσης ($kg N yr^{-1}$).

N= αριθμός κεφαλής ζωικού είδους/κατηγορίας.

N_{ex} = μέση ετήσια έκκριση N ανά κεφαλή είδους/κατηγορία ($kg N ζώου^{-1} έτος^{-1}$).

AWMS= κλάσμα της συνολικής ετήσιας απέκκρισης αζώτου για κάθε είδος/κατηγορία ζώων (χωρίς μονάδα έκφρασης/αδιάστατο).

$Frac_{LeachMS}$ = κλάσμα αζώτου διαχειριζόμενης κόπρου για την κατηγορία ζώων που εκπλένεται από το σύστημα διαχείρισης κόπρου.

Όλοι οι κατάλληλοι παράγοντες και παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στις προαναφερθείσες εξισώσεις ήταν σύμφωνοι με τις συστάσεις της IPCC (IPCC, 2019) και παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.2. Οι εκπομπές αναφέρονται ως καθαρές εκπομπές σε ολικό ισοδύναμο CO_2 (Gg), καθώς και σε CO_2 -eq/Kg παραγόμενου γάλακτος και CO_2 -eq/κεφαλή ζώου.

3.2.5. Στατιστική επεξεργασία

Όλες οι κατάλληλες εκτιμήσεις πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους υπολογισμούς και τύπους σε φύλλα Excel. Μόλις ολοκληρώθηκε η ανάλυση, ακολούθησαν

περιγραφικές στατιστικές ερμηνείες. Οι εκπομπές παρουσιάζονται σε ισοδύναμο Gg CO₂-eq, σε CO₂-eq/Kg παραγόμενου γάλακτος και σε CO₂-eq/κεφαλή ζώου για όλα τα εκτιμώμενα αέρια μετατρέποντας αυτά τα αέρια σύμφωνα με το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP). Τα αντίστοιχα GWP θεωρήθηκαν 25 για το CH₄ και 298 για το N₂O.

Κεφάλαιο 4: Αποτελέσματα

4.1 Εκπομπές αερίων κατά Tier 1

Κατά την εξεταζόμενη περίοδο, η μέση απόδοση γάλακτος των εκτροφών κυμάνθηκε μεταξύ 0,25 - 1,11 kg/ημέρα/ζώο στις αίγες και μεταξύ 0,29 - 1,03 kg/ημέρα/ζώο στα πρόβατα (Πίνακας 4.1), ενώ το ετήσιο ζωικό κεφάλαιο καθώς και το διορθωμένο ετήσιο ζωικό κεφάλαιο παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.1 Ημερήσια απόδοση γάλακτος των αιγοπροβάτων των εκτροφών

Εκτροφή	Μέση ημερήσια απόδοση σε γάλα (kg γάλακτος/ ημέρα/ ζώο)	
	Αίγες	Πρόβατα
1	0,69	-
2	-	1,03
3	0,83	-
4	0,79	-
5	0,53	0,55
6	0,54	0,33
7	0,61	-

8	-	0,29
9	0	0,72
10	0,25	-
11	1,11	0,93

Πίνακας 4.2 Διορθωμένο ετήσιο ζωικό κεφάλαιο ανά κτηνοτροφική εκμετάλλευση

Εκτροφή	Διορθωμένο ετήσιο ζωικό κεφάλαιο προβάτων	Διορθωμένο ετήσιο ζωικό κεφάλαιο αιγών
1	-	736,30
2	405	-
3	-	519,86
4	-	651,44
5	79,04	499,45
6	425,12	93,51
7	-	314,23

8	111,14	-
9	321,58	42
10	-	763,84
11	111,58	574,45

Εκπομπές μεθανίου (EF) μέσω εντερικής ζύμωσης και διαχείρισης κόπρου ανά εκτροφή βάσει της TIER 1 μεθοδολογίας

Ο υπολογισμός των εκπομπών μεθανίου μέσω της εντερικής ζύμωσης και διαχείρισης της κόπρου αιγοπροβάτων ανά εκτροφή παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3 Εκπομπές μεθανίου μέσω εντερικής ζύμωσης και διαχείρισης κόπρου ανά εκτροφή

Εκτροφή	Εκπομπές CH ₄ - εντερική ζύμωση				Εκπομπές CH ₄ - Διαχείριση κοπριάς			
	kg CH ₄ /έτος		kg CO ₂ -eq		kg CH ₄ /έτος		kg CO ₂ -eq	
	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα
1	3.681,51	-	92.037,67	-	47,41	-	1.185,19	-
2	-	2.025	-	50.625	-	35,64	-	890,94
3	2.599,32	-	64.982,88	-	34,81	-	870,27	-

4	3.257,19	-	81.429,79	-	41,94	-	1.048,59	-
5	2.497,26	395,21	62.431,51	9.880,14	32,16	6,96	803,94	173,88
6	467,53	2.125,62	11.688,36	53.140,41	6,02	37,41	150,51	935,21
7	1.571,16	-	39.279,11	-	20,23	-	505,80	-
8	-	555,68	-	13.892,12	-	9,78	-	244,49
9	210	1.607,88	5.250	40.196,92	2,70	28,30	67,61	707,42
10	3.819,18	-	95.479,45	-	49,18	-	1.229,51	-
11	2.872,26	557,88	71.806,51	13.946,92	36,99	9,82	924,67	245,45

Υπολογισμός εκπομπών αζώτου μέσω διαχείρισης κόπρου ανά εκτροφή

Όσον αφορά τις εκπομπές αζώτου από την κόπρο, τα αποτελέσματα για τις υπό μελέτη εκτροφές φαίνονται στον Πίνακα 4.4, ενώ οι συνολικές εκπομπές CH₄ και N₂O ανά εκτροφή και η συνολική αξιοποιήσιμη ποσότητα γάλακτος εκτροφής στον Πίνακα 4.5.

Πίνακας 4.4 Εκπομπές αζώτου μέσω της διαχείρισης κόπρου ανά εκτροφή

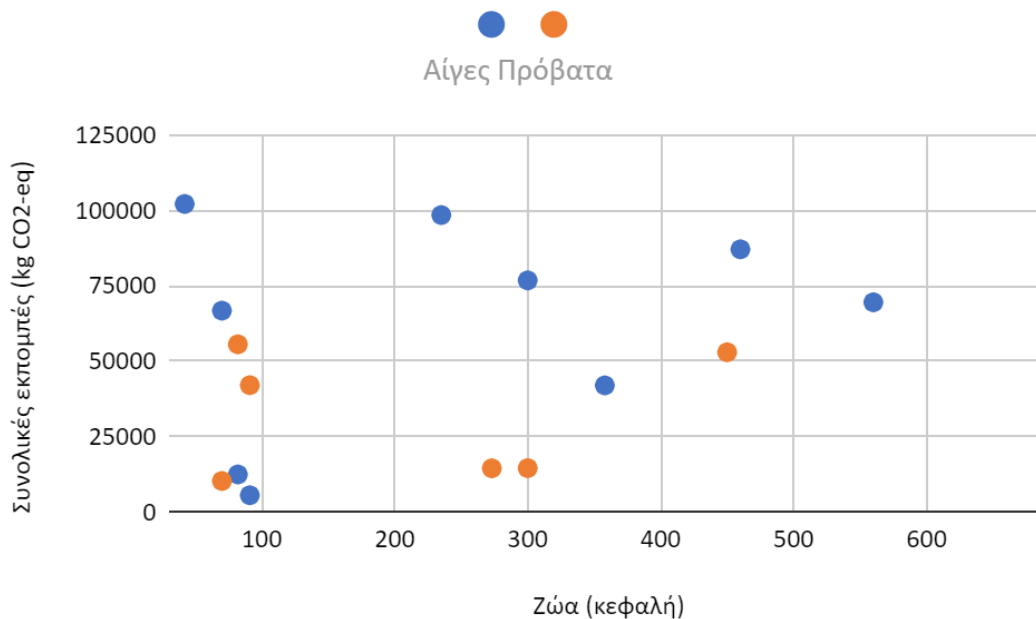
Εκτροφή	Άμεσες εκπομπές N ₂ O				Έμμεσες εκπομπές N ₂ O							
	kg N/έτος		kg CO ₂ -eq		Εξάτμιση				Έκπλυση			
					kg N/έτος		kg CO ₂ -eq		kg N/έτος		kg CO ₂ -eq	
	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα
1	10,88	-	3.241,94	-	1,31	-	389,03	-	5,50	-	1.640,42	-
2	-	7,02	-	2.093,34	-	0,84	-	251,20	-	0,15	-	46,05
3	7,68	-	2.288,96	-	0,92	-	274,68	-	3,89	-	1.158,21	-
4	9,63	-	2.868,29	-	1,16	-	344,19	-	4,87	-	1.451,35	-
5	7,38	1,37	2.199,09	408,54	0,89	0,16	263,89	49,03	3,73	0,03	1.112,74	8,99

6	1,38	7,38	411,71	2.197,36	0,17	0,88	49,41	263,68	0,70	0,16	208,33	48,34
7	4,64	-	1.383,57	-	0,56	-	166,03	-	2,35	-	700,09	-
8	-	1,93	-	574,44	-	0,23	-	68,93	-	0,04	-	12,64
9	0,62	5,58	184,93	1.662,14	0,07	0,67	22,19	199,46	0,31	0,12	93,57	36,57
10	11,29	-	3.363,18	-	1,35	-	403,28	-	5,71	-	1.701,77	-
11	8,49	1,94	2.529,32	576,71	1,02	0,23	3030,52	69,20	4,29	0,04	1.279,83	12,69

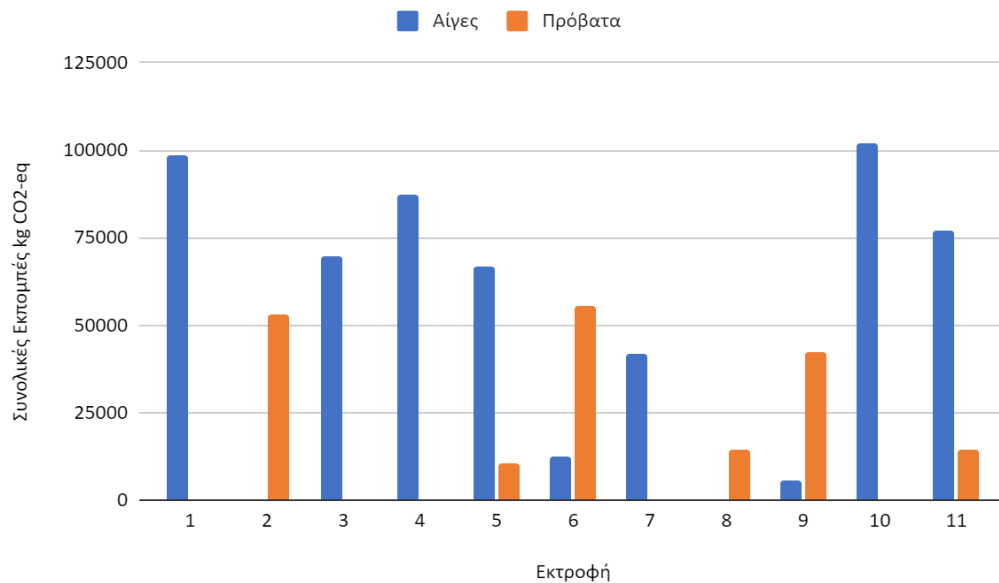
Το Διάγραμμα 4.1 απεικονίζει τα αποτελέσματα διασποράς μεταξύ των εκτιμώμενων τιμών εκπομπής GHG που αντιστοιχούν στις εκπομπές μεθανίου και αζώτου (Tier 1) με βάση τον αριθμό ζώων, ενώ το Διάγραμμα 4.2 απεικονίζει τις συνολικές εκπομπές μεθανίου και αζώτου ανά εκτροφέα.

Πίνακας 4.5: Συνολικές εκπομπές CH₄ και N₂O ανά εκτροφή και συνολική αξιοποιήσιμη ποσότητα γάλακτος εκτροφής (Tier 1).

Εκτροφή	Συνολικές εκπομπές kg CO ₂ -eq		Συνολικές εκπομπές ανά kg παραγόμενου γάλακτος	
	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα
1	98.494,26	-	2,10	-
2	-	53.016,44	-	2,41
3	69.575	-	1,34	-
4	87.142,22	-	1,74	-
5	66.881,17	10.346,86	2,34	1,92
6	12.508,31	55.650,68	1,90	3,20
7	42.034,60	-	1,50	-
8	-	14.548,36	-	7,27
9	5.618,30	42.095,75	0	1,54
10	102.177,48	-	1,27	-
11	76.843,84	14.605,75	1,10	0,97
Μέσος όρος	62.356,13	31.710,64	1,48	2,89



Διάγραμμα 4.1 Ανάλυση διασποράς για την πρόβλεψη συνολικών εκπομπών GHG που αντιστοιχούν στις εκπομπές μεθανίου και αζώτου (Tier 1) με βάση τον αριθμό των ζώων.



Διάγραμμα 4.2 Συνολικές εκπομπές μεθανίου και αζώτου ανά εκτροφή (Tier 1).

4.2 Εκπομπές αερίων κατά Tier 2

Υπολογισμός της ακαθάριστης πρόσληψης ενέργειας (GE) για τα αιγοπρόβατα

Καθαρή ενέργεια για συντήρηση (NE_m)

Η τιμή για την καθαρή ενέργεια για συντήρηση μπορεί να υπολογιστεί για κάθε υποκατηγορία αιγοπροβάτων ως εξής (Πίνακας 4.6):

Πίνακας 4.6 Καθαρή ενέργεια για συντήρηση (NE_m) ανά υποκατηγορία ζωικού κεφαλαίου ανά ζώο

Υποκατηγορία	NE_m (Mj/ημέρα/ζώο)
Κριάρια	4,68
Τράγοι	7,62
Ζυγούρες	3,22
Βίτουλες	4,77
Προβατίνες	3,64
Γίδες	5,47
Αντικατάστασης Ζυγ.	3,03

Αντικατάστασης Βιτ.	4,04
Αμνοί Θηλ.	1,20
Αμνοί Αρσ.	1,20
Ερίφια Θηλ.	1,60
Ερίφια Αρσ.	1,60

Καθαρή ενέργεια για δραστηριότητα: (NE_a)

Η καθαρή ενέργεια για δραστηριότητα ανά υποκατηγορία ζωικού κεφαλαίου ανά ζώο, όπως υπολογίστηκε βάσει των εξισώσεων της IPCC, εμφανίζεται στον Πίνακα 4.7:

Πίνακας 4.7 Καθαρή ενέργεια για δραστηριότητα ανά υποκατηγορία ζωικού κεφαλαίου ανά ζώο (NE_a)

Υποκατηγορία	NE_a (Mj/ημέρα/ζώο)
Ζυγούρες	0,88
Βίτουλες	0,9
Προβατίνες	1,03

Γίδες	1,08
Αντικατάστασης Ζυγ.	0,72
Αντικατάστασης Βιτ.	0,72

Σημειώνεται ότι ανάγκες δραστηριότητας εκτιμήθηκαν μόνο για τα ζώα τα οποία έβγαιναν για βόσκηση.

Καθαρή ενέργεια για ανάπτυξη (NE_g)

Ομοίως, οι τιμές για την καθαρή ενέργεια ανά υποκατηγορία ζωικού κεφαλαίου ανά ζώο, όπως υπολογίστηκε βάσει των εξισώσεων της IPCC, εμφανίζεται στον Πίνακα 4.8:

Πίνακας 4.8 Καθαρή ενέργεια για ανάπτυξη ανά υποκατηγορία ζωικού κεφαλαίου ανά ζώο (NE_g)

Υποκατηγορία	NE_g (Mj/ημέρα/ζώο)
Ζυγούρες	0,50
Βίτουλες	0,51
Αντικατάστασης Ζυγ.	0,50
Αντικατάστασης Βιτ.	0,51

Αμνοί Θηλ.	0,21
Αμνοί Αρσ.	0,19
Ερίφια Θηλ.	0,49
Ερίφια Αρσ.	0,49

Καθαρή ενέργεια γαλακτοπαραγωγής (NE_i)

Η τιμή για την καθαρή ενέργεια για γαλακτοπαραγωγή υπολογίστηκε για κάθε εκτροφή αιγοπροβάτων και φαίνεται στον Πίνακα 4.9:

Πίνακας 4.9 Καθαρή ενέργεια για γαλακτοπαραγωγή ανά κατηγορία ζωικού κεφαλαίου ανά γαλακτοπαραγωγό ζώο (NE_i)

Εκτροφή	NE _i (Mj/ημέρα/γαλακτοπαραγωγό ζώο)	
	Αίγες	Πρόβατα
1	2,07	-
2	-	4,72
3	2,48	-

4	2,38	-
5	1,59	2,55
6	1,62	1,52
7	1,82	-
8	-	1,31
9	-	3,32
10	0,76	-
11	3,33	4,27

Καθαρή ενέργεια για κυοφορία (NE_p)

Η τιμή για την καθαρή ενέργεια για κυοφορία υπολογίστηκε για κάθε υποκατηγορία αιγοπροβάτων και φαίνεται στον Πίνακα 4.10:

Πίνακας 4.10 Καθαρή ενέργεια για κυοφορία ανά υποκατηγορία ζωικού κεφαλαίου ανά ζώο
(NE_p)

Υποκατηγορία	NE _p (Mj/ημέρα/ζώο)
Προβατίνες	0,36
Γίδες	0,52

Καθαρή ενέργεια για παραγωγή μαλλιού (NE_{wool})

Η τιμή για την καθαρή ενέργεια για παραγωγή μαλλιού υπολογίστηκε για κάθε υποκατηγορία αιγοπροβάτων και φαίνεται στον Πίνακα 4.11:

Πίνακας 4.11 Καθαρή ενέργεια για παραγωγή μαλλιού ανά υποκατηγορία ζωικού κεφαλαίου ανά ζώο (NE_{wool})

Υποκατηγορία	NE _{wool} (Mj/ημέρα/ζώο)
Κριάρια	0,12
Ζυγούρες	0,12
Προβατίνες	0,12
Αντικατάστασης Ζυγ.	0,12

Αμνοί Θηλ.	0,12
Αμνοί Αρσ.	0,12

Υπολογισμός της ακαθάριστης ενέργειας (GE) αιγοπροβάτων ανά υποκατηγορία ζωικού κεφαλαίου

Πίνακας 4.12 Ακαθάριστη ενέργεια (GE) αιγοπροβάτων ανά υποκατηγορία ζωικού κεφαλαίου ανά ζώο

Υποκατηγορία	GE (Mj/ημέρα/ζώο)
Κριάρια	0,14
Τράγοι	0,22
Ζυγούρες	0,15
Βίτουλες	0,18
Προβατίνες*	0,15
Γίδες*	0,20
Αντικατάστασης Ζυγ.	0,14

Αντικατάστασης Βιτ.	0,16
Αμνοί Θηλ.	0,05
Αμνοί Αρσ.	0,05
Ερίφια Θηλ.	0,07
Ερίφια Αρσ.	0,07

* Δεν εμπεριέχεται η ενέργεια γαλακτοπαραγωγής ($NE_{lactation}$)

Επειδή κάθε εκτροφή είχε διαφορετική ποσότητα παραγόμενου γάλακτος ανά γαλακτοπαραγωγό ζώο, η καθαρή ενέργεια γαλακτοπαραγωγής ανά γαλακτοπαραγωγό ζώο εκτιμήθηκε ξεχωριστά εντός της κάθε εκτροφής (Πίνακας 4.13) και στη συνέχεια αθροίστηκε με τις επιμέρους ανάγκες των γαλακτοπαραγωγών ζώων (αίγες, προβατίνες) βάσει του Πίνακα 4.12.

Πίνακας 4.13 Ακαθάριστη ενέργεια γαλακτοπαραγωγής (GE_{lac}) ανά γαλακτοπαραγωγό ζώο

Εκτροφή	GE_{lac} (Mj/ημέρα/γαλακτοπαραγωγό ζώο)	
	Γίδες	Προβατίνες
1	0,06	-

2	-	0,13
3	0,07	-
4	0,07	-
5	0,05	0,07
6	0,05	0,04
7	0,05	-
8	-	0,04
9	-	0,09
10	0,02	0
11	0,09	0,12

Η συνολική ακαθάριστη ενέργεια GE της κάθε εκτροφής μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την ακαθάριστη ενέργεια κάθε υποκατηγορίας με τον αριθμό των ζώων σε κάθε υποκατηγορία και αθροίζοντας τις υποκατηγορίες (Πίνακας 4.14).

Πίνακας 4.14 Ακαθάριστη ενέργεια (GE) αιγοπροβάτων ανά εκτροφή

Εκτροφή	GE (Mj/ημέρα)	
	Αίγες	Πρόβατα
1	133,38	-
2	-	41,43
3	119,38	-
4	138,77	-
5	83,35	14,21
6	19,70	69,75
7	67,79	-
8	-	16,85
9	7,62	61,61
10	144,61	-
11	133,36	24,88

Υπολογισμός συντελεστών εκπομπής μεθανίου (EFs) για εντερική ζύμωση σε αιγοπρόβατα ανά εκτροφή

Πίνακας 4.15 Συντελεστές εκπομπής μεθανίου (EFs) εντερικής ζύμωσης αιγοπροβάτων ανά εκτροφή και ανά υποκατηγορία ζώου και ζωικού κεφαλαίου

Εκτροφή	EFs (kg CH ₄ /ζώο/έτος)											
	Κριάρια	Τράγοι	Ζυγούρες	Βίτουλες	Προβατίνες	Γίδες	Αμνοί Αντ	Ερίφια Αντ	Αμνοί Θηλ	Αμνοί Αρσ	Ερίφια Θηλ	Ερίφια Αρσ
1	-	0,08	-	0,07	-	0,09	-	0,06	-	-	0,02	0,02
2	0,06	-	0,06	-	0,12	-	0,06	-	0,02	0,02	-	-
3	-	0,08	-	0,07	-	0,10	-	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
4	-	0,08	-	0,07	-	0,10	-	0,06	-	-	0,02	0,02
5	0,06	0,08	0,06	0,07	0,10	0,03	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
6	0,06	0,08	0,06	0,07	0,08	0,09	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
7	-	0,08	-	0,07	-	0,09	-	0,06	-	-	0,02	0,02
8	0,06	-	0,06	-	0,08	-	0,06	-	0,02	0,02	-	-
9	0,06	0,08	0,06	0,07	0,11	0,07	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,01
10	-	0,08	-	-	-	0,08	-	0,06	-	-	0,02	0,02
11	0,06	0,08	0,06	0,07	0,12	0,11	0,06	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02

Η συνολική εκπομπή μεθανίου από την εντερική ζύμωση της κάθε εκτροφής μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας τον συντελεστή εκπομπής κάθε υποκατηγορίας με τον αριθμό

των ζώων σε κάθε υποκατηγορία και αθροίζοντας τις υποκατηγορίες για να καταλήξουμε στη συνολική εκπομπή από αιγοπρόβατα (Πίνακας 4.16)

Πίνακας 4.16 Συνολικές εκπομπές μεθανίου εντερικής ζύμωσης ανά εκτροφή αιγοπροβάτων

Εκτροφή	Εκπομπές CH ₄ - Εντερική ζύμωση (kg CH ₄ /έτος)		Εκπομπές CH ₄ - Εντερική ζύμωση kg CO ₂ -eq	
	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα
1	49,24	-	1.231,01	-
2	-	18,20	-	455,11
3	42,50	-	1.062,53	-
4	50,06	-	1.251,50	-
5	14,73	6,24	368,23	156,06
6	6,96	30,65	174,10	766,32
7	24,45	-	611,34	-
8	-	7,41	-	185,14
9	2,75	27,07	68,73	676,83
10	52,16	-	1.304,12	-
11	48,11	11,33	1.202,69	283,25

Υπολογισμός συντελεστών εκπομπών μεθανίου (EF) διαχείρισης κόπρου αιγοπροβάτων ανά είδος ζώου

Ακολουθώντας την ίδια προσέγγιση εκτιμήθηκε και ο συντελεστής εκπομπής μεθανίου από την κόπρω λαμβάνοντας υπόψη ότι το 50% της κόπρω διασπείρεται σε φυσικούς βοσκότοπους και το 50% αποθηκεύεται στην κοπροσωρό.

Πίνακας 4.17 Συντελεστές εκπομπών μεθανίου (EF) διαχείρισης κόπρω αιγοπροβάτων ανά είδος ζώου

Είδος	EF solid (100%) (kg CH ₄ /ζώο/έτος)	EF daily spread (100%) (kg CH ₄ /ζώο/έτος)	EF farm (kg CH ₄ /ζώο/έτος)
αίγες	0,67	0	0,34
πρόβατα	0,71	0	0,36

Οι συνολικές εκπομπές μεθανίου από τη διαχείριση της κόπρω των αιγοπροβάτων για κάθε εκτροφή παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.18.

Πίνακας 4.18 Συνολικές εκπομπές μεθανίου διαχείρισης κόπρου ανά εκτροφή αιγοπροβάτων

Εκτροφή	Εκπομπές CH ₄ - Διαχείριση κόπρου			
	kg CH ₄ /έτος		kg CO ₂ -εq	
	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα
	1	0,150	-	3,754
2	-	0,021	-	0,524
3	0,106	-	2,662	-
4	0,156	-	3,877	-
5	0,071	0,003	1,785	0,076
6	0,003	0,081	0,079	2,014
7	0,037	-	0,914	-
8	-	0,005	-	0,127
9	0,001	0,054	0,014	1,345
10	0,189	-	4,737	-
11	0,131	0,008	3,285	0,189

Υπολογισμός εκπομπών αζώτου μέσω διαχείρισης κόπρου σε αιγοπρόβατα ανά εκτροφή

Όσον αφορά στις εκπομπές αζώτου, τα αποτελέσματα κατά την εξεταζόμενη περίοδο φαίνονται στον Πίνακα 4.19.

Πίνακας 4.19 Εκπομπές αζώτου μέσω διαχείρισης κόπρου αιγοπροβάτων

Εκτροφή	Συντελεστής N _{ex} kg N/ζώα/έτος		Άμεσες εκπομπές N ₂ O διαχείριση κόπρου				Έμμεσες εκπομπές N ₂ O διαχείριση κόπρου							
							Εξάτμιση				Έκπλυση			
			kg N/έτος		kg CO ₂ -eq		kg N/έτος		kg CO ₂ -eq		kg N/έτος		kg CO ₂ -eq	
							Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα
1	30,78	-	44,44	-	13.242,70	-	5,33	-	1.589,12	-	0,98	-	291,34	-
2	-	9,56	-	6,20	-	1.848,75	-	0,74	-	221,85	-	0,14	-	40,67

3	27,55	-	31,51	-	9.388,89	-	3,78	-	1.126,67	-	0,69	-	206,56	-
4	32,02	-	45,89	-	13.675,88	-	5,51	-	1.641,11	-	1,01	-	300,87	-
5	19,23	3,32	21,13	0,87	6.297,93	257,94	2,54	0,10	755,75	30,95	0,46	0,02	138,55	5,67
6	4,55	16,29	0,94	22,86	278,68	6.812,14	0,11	2,74	33,44	817,46	0,02	0,50	6,13	149,87
7	15,64	-	10,81	-	3.222,43	-	1,30	-	386,69	-	0,24	-	70,89	-
8	-	3,94	-	1,44	-	430,26	-	0,17	-	51,63	-	0,03	-	9,47
9	1,76	14,40	0,16	15,27	48,42	4.551,17	0,02	1,83	5,81	546,14	0,004	0,34	1,07	100,13

10	33,37	-	56,07	-	16.709,80	-	6,73	-	2.005,18	-	1,23	-	367,62	-
11	30,77	5,81	38,89	2,14	11.589,34	637,77	4,67	0,26	1.390,72	76,53	0,86	0,05	254,97	14,03

Στον Πίνακα 4.20 παρουσιάζονται οι συνολικές εκπομπές CH₄ και N₂O ανά εκτροφή και η συνολική αξιοποιήσιμη ποσότητα γάλακτος εκτροφής (Tier 2).

Πίνακας 4.20 Συνολικές εκπομπές CH₄ και N₂O ανά εκτροφή και συνολική αξιοποιήσιμη ποσότητα γάλακτος εκτροφής (Tier 2).

Εκτροφή	Συνολικές εκπομπές kg CO ₂ -eq		Συνολικές εκπομπές ανά kg παραγόμενου γάλακτος kg CO ₂ -eq	
	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα
1	16.357,93	-	0,35	-
2	-	2.566,91	-	0,12
3	11.787,30	-	0,27	-
4	16.873,23	-	0,34	-
5	7.562,24	450,70	0,26	0,08
6	492,43	8.547,79	0,07	0,49
7	4.292,27	-	0,15	-
8	-	676,63	-	0,34
9	124,04	5.875,61	0	0,22
10	20.391,45	-	0,25	-
11	14.441	1.011,78	0,21	0,07
Μέσος όρος	10.257,99	3.188,24	0,21	0,22

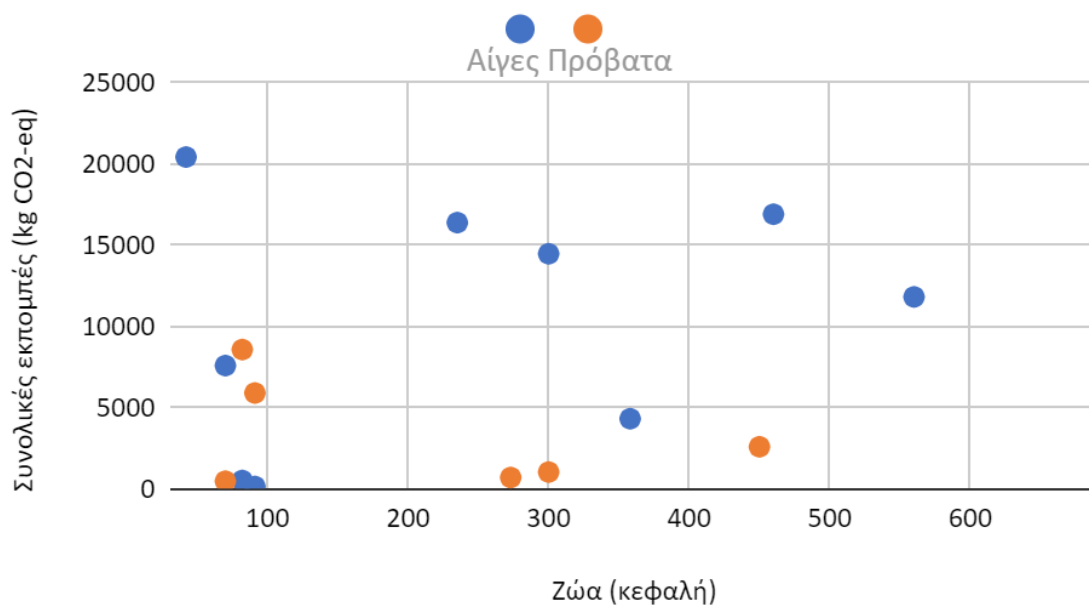
Στη συνέχεια αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για τα υπό μελέτη συστήματα χρησιμοποιώντας τις μεθοδολογίες Tier 1 και 2. Οι εκπομπές μεθανίου είχαν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στις εκτιμώμενες συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για τις εκτροφές μελέτης. Επιπλέον, οι εκτιμώμενες εκπομπές με τη χρήση της μεθοδολογίας Tier 2 ήταν χαμηλότερες (80,04% - 97,79% στις αίγες, 84,64% - 95,64% στα πρόβατα) σε σύγκριση με αυτές που εκτιμήθηκαν από την προσέγγιση Tier 1 στα υπό μελέτη συστήματα εκτροφής.

Πίνακας 4.21 Συνολικές εκπομπές GHG (Gg CO₂-eq) αιγοπροβάτων και σύγκριση των μεθοδολογιών

Εκτροφή	Συνολικές Εκπομπές GHG (Gg CO ₂ -eq) (Tier 1)		Συνολικές Εκπομπές GHG (Gg CO ₂ -eq) (Tier 2)		Tier 2 έναντι Tier 1 (Διαφορά σε κάθε σύστημα εκτροφής)	
	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα	Αίγες	Πρόβατα
1	0,098	-	0,016	-	-83,39%	-
2	-	0,053	-	0,003	-	-95,16%
3	0,070	-	0,012	-	-83,06%	-
4	0,087	-	0,017	-	-80,64%	-
5	0,067	0,010	0,008	0,0005	-88,68%	-95,64%
6	0,013	0,056	0,0005	0,009	-96,06%	-84,64%
7	0,042	-	0,004	-	-89,79%	-

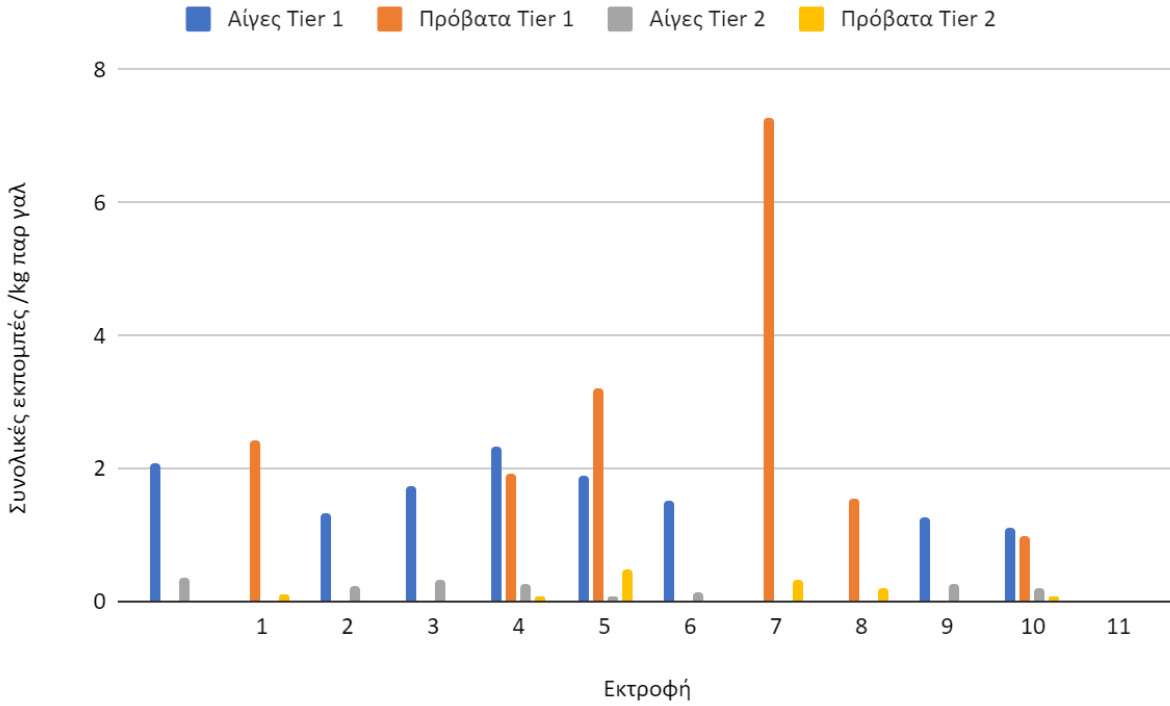
8	-	0,015	-	0,0007	-	-93,35%
9	0,006	0,042	0,0001	0,006	-97,79%	-86,04%
10	0,102	-	0,020	-	-80,04%	-
11	0,077	0,015	0,014	0,001	-81,21%	-93,07%

Περαιτέρω απεικονίζονται οι συνολικές εκπομπές GHG χρησιμοποιώντας τους αριθμούς των ζώων ως προγνωστικούς παράγοντες και με βάση τις εκτιμώμενες εκπομπές. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης διασποράς μεταξύ των εκτιμώμενων τιμών συνολικών εκπομπών GHG (Tier 2) με βάση τον αριθμό των ζώων φαίνονται στο Διάγραμμα 4.3.



Διάγραμμα 4.3 Ανάλυση διασποράς για την πρόβλεψη συνολικών εκπομπών GHG που αντιστοιχούν στις εκπομπές μεθανίου και αζώτου (Tier 2) με βάση τους αριθμούς των ζώων.

Τέλος, το Διάγραμμα 4.4 αναδεικνύει την απόκλιση των συνολικών εκπομπών των δύο μεθοδολογιών ανά κιλό παραγόμενου γάλακτος.



Διάγραμμα 4.4 Απόκλιση των μεθοδολογιών ανά κιλό παραγόμενου γάλακτος.

Κεφάλαιο 5: Συζήτηση

Η κτηνοτροφία κατέχει σημαντικό ρόλο στη γεωργική οικονομία και με βάση τον προβλεπόμενο παγκόσμιο πληθυσμό που θα ξεπεράσει τα 9 εκατομμύρια μέχρι το 2050, η ζήτηση για ζωικά προϊόντα θα αυξηθεί, επηρεάζοντας το περιβάλλον λόγω των αυξημένων απαιτήσεων σε φυσικούς πόρους. Κατά συνέπεια, οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου (GHG) που προκύπτουν από τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες καθίστανται καθοριστικές, δεδομένης της ουσιαστικής συμβολής τους στις συνολικές ανθρωπογενείς εκπομπές GHG (Cusack et al., 2021).

Αυτή η μελέτη παρουσιάζει μια ανάλυση των εκπομπών GHG από αιγοπροβατοτροφικές εκμεταλλεύσεις στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην περιοχή της Βαμβακού. Η μελέτη ακολουθεί τις μεθοδολογίες Tier 1 και Tier 2, σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές που ορίζονται από τη Διακυβερνητική Επιτροπή για την Κλιματική Αλλαγή (The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC).

Τα ευρήματα αποκαλύπτουν αυξομειώσεις στις εκτιμώμενες συνολικές εκπομπές GHG από τα συστήματα εκτροφής που εξετάστηκαν, ανεξάρτητα από το εάν χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία Tier 1 ή Tier 2. Αυτό το αποτέλεσμα ευθυγραμμίζεται με τις προσδοκίες λόγω της διακύμανσης του πληθυσμού των ζώων στις εκτροφές. Συγκεκριμένα, κατά τη χρήση της μεθοδολογίας Tier 1 για την εκτίμηση των συνολικών εκπομπών, αυτές βρέθηκαν υψηλότερες σε σύγκριση με αυτές που υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τη Tier 2. Αυτή η διαφορά μπορεί να αποδοθεί στις ξεχωριστές μαθηματικές προσεγγίσεις που υιοθετούν οι δύο μεθοδολογίες για τον προσδιορισμό συγκεκριμένων παραμέτρων, ιδίως εκείνων που σχετίζονται με τους παράγοντες εκπομπών.

Η μεθοδολογία Tier 1, που αναγνωρίζεται για την απλότητά της, επικεντρώνεται στον αριθμό των ζώων και τους ειδικούς ανά περιοχή παράγοντες εκπομπής για τις εκπομπές μεθανίου και οξειδίου του αζώτου για τα συγκεκριμένα είδη ζώων που βρίσκονται υπό έλεγχο. Κατά συνέπεια, οι εκτιμήσεις τους αντικατοπτρίζουν κυρίως αλλαγές στον αριθμό των ζώων, ανεξάρτητα από την ηλικία, το στάδιο παραγωγής ή τα εδαφικά χαρακτηριστικά των μονάδων. Αντίθετα, η προσέγγιση Tier 2 εμβαθύνει σε δεδομένα για να αξιολογήσει με μεγαλύτερη

ακρίβεια τους παράγοντες εκπομπής που συνδέονται με τις εκπομπές μεθανίου και οξειδίου του αζώτου. Αυτή η μέθοδος λαμβάνει υπόψη μια πληθώρα πληροφοριών, που περιλαμβάνει τη δομή της αγέλης, τους τύπους και τους αριθμούς ζώων (κατηγοριοποιημένα ανά τύπο ζώων), τα συστήματα παραγωγής, το βάρος των ζώων, τις διατροφικές συνήθειες, τις ενεργειακές ανάγκες και τις μετρήσεις απόδοσης. Ως αποτέλεσμα, η μεθοδολογία Tier 2 επιδιώκει να παρέχει μια πιο ακριβή αξιολόγηση των εκπομπών GHG.

Δεδομένου ότι η μεθοδολογία της Tier 1 βασίζεται στον αριθμό των ζώων και στους προκαθορισμένους περιφερειακούς παράγοντες εκπομπών ως βασικές παραμέτρους της, μπορεί εγγενώς να υπερεκτιμά τα αποτελέσματα σε σύγκριση με τις αξιολογήσεις της Tier 2. Σε ορισμένες αναπτυσσόμενες χώρες, έχουν αναφερθεί επίσης περιπτώσεις όπου οι συντελεστές εκπομπών Tier 2 ξεπερνούν τους αντίστοιχους της Tier 1, οδηγώντας σε υψηλότερες συνολικές εκπομπές στα αποθέματα της Tier 2 (Wilkes et al., 2017). Σύμφωνα με τις συστάσεις της IPCC, συνιστάται σε επίπεδο χωρών να επιλέγουν μεθοδολογίες υψηλότερης βαθμίδας για ακριβέστερες εκτιμήσεις GHG (IPCC, 2019). Παρόμοιες τάσεις αποκλίσεις έχουν αναφερθεί και σε άλλες μελέτες όπου εκτιμώνται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε επίπεδο χώρας για τη χοιροτροφία και την κρεοπαραγωγό βοοτροφία (Akamati et al., 2022, Azoukis et al., 2023). Για παράδειγμα όσον αφορά στις εκπομπές της χοιροτροφίας, οι εκτιμήσεις των εκπομπών GHG, βάσει της μεθοδολογίας Tier 2, ήταν σημαντικά χαμηλότερες συγκριτικά με εκείνες της μεθοδολογίας Tier 1, φτάνοντας έως και περίπου το ήμισυ στις περισσότερες περιπτώσεις. Ο πληθυσμός αποτελεί βασική παράμετρο και των δύο μεθοδολογιών. Έτσι, τα αποτελέσματα της Tier 1 φάνηκαν ανάλογα του συνολικού αριθμού των ζώων. Ωστόσο, η προσέγγιση Tier 2 λαμβάνει μεν υπόψη το ζωικό κεφάλαιο, άλλα το διαχωρίζει σε υποκατηγορίες ζώων. Ακόμη, χρησιμοποιεί επιπλέον παραμέτρους της κτηνοτροφίας για μία πιο ακριβή εκτίμηση. Παρεμφερή ήταν και τα ευρήματα των εκτιμήσεων των εκπομπών GHG της κρεοπαραγωγούς βοοτροφίας, καθώς οι τιμές των εκπομπών της Tier 1 ήταν αρκετά αυξημένες συγκριτικά με αυτές της Tier 2. Δεδομένου πως η προσέγγιση Tier 1 χρησιμοποιεί ως παραμέτρους μόνο τον συνολικό πληθυσμό των ζώων και προκαθορισμένους συντελεστές, είναι αναμενόμενη η υπερεκτίμηση των αποτελεσμάτων συγκριτικά με αυτά της Tier 2. Σε κάθε περίπτωση, η IPCC προτείνει να χρησιμοποιείται η Tier 2 για πιο σαφή και ακριβή αποτελέσματα.

Όσον αφορά στις συνολικές εκπομπές GHG, η σύγκριση των ευρημάτων της παρούσας εργασίας με προηγούμενες μελέτες παρουσιάζει ορισμένες προκλήσεις και περιορισμούς. Διάφορες μελέτες έχουν διερευνήσει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο της εκμετάλλευσης αιγοπροβάτων, ωστόσο οι διαφορετικές μονάδες έκφρασης των τελικών αποτελεσμάτων και τα όρια του παραγωγικού συστήματος που χρησιμοποιούνται για την αναφορά αυτών των εκτιμώμενων εκπομπών εισάγουν σημαντική μεταβλητότητα στους τελικούς υπολογισμούς (Andretta et al., 2021, Aguirre-Villegas & Larson, 2017, Wilkes et al., 2020). Ενδεικτικά, μπορεί να αναφερθεί η εκτίμηση των αερίων του θερμοκηπίου και του ανθρακικού αποτυπώματος από κάποιες έρευνες ως μέτρο αδρής σύγκρισης. Για παράδειγμα, οι Farrell et al. (2022) υπολόγισαν σε Ιρλανδικές εκτροφές προβάτων ότι το ποσοστό από τις εκπομπές μεθανίου φτάνει περίπου το 67%, ενώ το ποσοστό από τις εκπομπές υποξειδίου του αζώτου αποτελεί περίπου το 21% των συνολικών εκπομπών. Οι Weiske et al. (2006) εκτίμησαν τις εκπομπές ανά κιλό παραγόμενου αγελαδινού γάλακτος στην Ευρώπη μεταξύ 1,3 - 1,7 kg CO₂-eq για τις συμβατικές και 1,2 - 2 κιλά CO₂-eq για τις βιολογικές εκμεταλλεύσεις. Τέλος, οι Χριστοδούλου et al. (2011) αναφέρουν ότι η παραγωγή του βοδινού κρέατος είναι αυτή που ευθύνεται πολύ περισσότερο για την εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου με 22,6 kg CO₂-eq/kg, ακολουθούμενη από την παραγωγή χοιρινού κρέατος στα 3,5 kg CO₂-eq/kg, την παραγωγή κρέατος πουλερικών με 1,6 kg CO₂-eq/kg, αυγών με 1,7 kg CO₂-eq/kg και αγελαδινού γάλακτος με 1,3 kg CO₂-eq/kg.

Οι Toro-Mujica et al. (2017) σε έρευνα τους απέδειξαν πως η έκταση της εκτροφής όσο και η φυλή των προβάτων αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την μείωση του αποτυπώματος. Ακόμη, το ανθρακικό αποτύπωμα σε εκτατικά συστήματα φαίνεται να μειώνεται όταν γίνεται έγκαιρη απομάκρυνση των αμνών (Farrell et al., 2022). Μία άλλη μελέτη αποδεικνύει πως το ανθρακικό αποτύπωμα μειώνεται με την αύξηση της γαλακτοπαραγωγής ανά ζώο, καθώς επίσης με την δέσμευση εδαφικού άνθρακα μέσω της βόσκησης (Batalla et al., 2015). Οι τελευταίοι ερευνητές αναφέρουν μία διακύμανση του αποτυπώματος άνθρακα από 0,7 - 5,2 kg CO₂-eq/kg FPCM.

Αναφορικά με τις λύσεις μετριασμού των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου, αυτές εστιάζονται κυρίως στις πηγές προέλευσης αυτών (Gerber et al., 2013). Λαμβάνοντας υπόψη τα

χαρακτηριστικά του συστήματος εκτροφής θα μπορούσαν ενδεικτικά να αναφερθούν κάποιες λύσεις μετριασμού οι οποίες σχετίζονται κυρίως με το ίδιο το ζωικό υλικό και την ορθολογική διαχείριση αυτού. Ενδεικτικά θα μπορούσε να αναφερθεί η αύξηση της παραγωγικότητας των ζώων και η βελτίωση του ζωικού υλικού είτε μέσω κατάλληλων διασταυρώσεων των ζώων εντός εκτροφής είτε μέσω της διατήρησης των πιο υψιπαραγωγών ζώων. Με τον τρόπο αυτό η ένταση των εκπομπών (εκπομπές / τελικό παραγόμενο προϊόν) θα μειώνονταν (Grossi et al., 2019, Gerber et al., 2013, Laliotis, 2020). Μία επιπλέον λύση θα μπορούσε να αποτελέσει η ορθολογική διαχείριση της διατροφής και η σωστή κάλυψη των αναγκών των ζώων ανά παραγωγικό στάδιο. Από προηγούμενη μελέτη που έχει γίνει στην περιοχή έχει διαπιστωθεί ότι οι κτηνοτρόφοι δυστυχώς δεν ακολουθούν ένα σωστό πρόγραμμα διατροφής και η κάλυψη των αναγκών τους υπολείπεται. Συνεπώς, η κατάρτιση ισόρροπων σιτηρεσίων που θα καλύπτουν τις ανάγκες των ζώων και θα τα οδηγήσουν στη σωστή έκπτυξη του γενετικού τους υλικού θα συμβάλλει στην αύξηση των αποδόσεων τους και στη μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος ανά τελικό παραγόμενο προϊόν.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τον τομέα της εκμετάλλευσης αιγοπροβάτων της Ελλάδας παρουσιάζουν μια αξιοσημείωτη ανοδική τροχιά. Οι μεθοδολογίες Tier 1 και Tier 2 ανίχνευσαν παρόμοιες τάσεις, παρόλα αυτά οι υπολογισμοί της Tier 2 αποκάλυψαν χαμηλότερα επίπεδα εκπομπών, που αποδίδεται κυρίως στις πιο περίπλοκες και ολοκληρωμένες υπολογιστικές μεθοδολογίες της. Σε επίπεδο επιμέρους συστημάτων εκτροφής, υπήρχαν διακυμάνσεις στις εκπομπές - είτε κλιμακώνονται είτε μειώνονται - σε κάθε εκτροφή. Ωστόσο, ορισμένα συστήματα εκτροφής παρουσίασαν έντονες αιχμές εκπομπών, συνέπεια των αυξημένων πληθυσμών ζώων. Η παρατηρούμενη κλιμάκωση των εκπομπών (τόσο σε απόλυτους αριθμούς, όσο και σε ένταση εκπομπών) κατά τη μελέτη των συστημάτων εκτροφής έχει σημαντικές επιπτώσεις, υπογραμμίζοντας την επείγουσα ανάγκη για πρόσθετες στρατηγικές μετριασμού. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου που προσδιορίστηκαν βρίσκονται εντός του εύρους των εκπομπών από αντίστοιχες παλαιότερες μελέτες στον τομέα της αιγοπροβατοτροφίας. Τέλος, βάσει των χαρακτηριστικών του παραγωγικού συστήματος, οι παραγωγοί μπορούν να ακολουθήσουν εύκολα εφαρμόσιμες λύσεις μετριασμού των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, χωρίς κάποιο ιδιαίτερο περαιτέρω κόστος για αυτούς.

Κεφάλαιο 7: Βιβλιογραφία

ΔΙΕΘΝΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

2023 world population by country (live) 2023 World Population by Country (Live). Available at: <https://worldpopulationreview.com/>.

Aguirre-Villegas, H. A., & Larson, R. A. (2017). *Evaluating greenhouse gas emissions from dairy manure management practices using survey data and lifecycle tools. Journal of cleaner production, 143, 169-179.*

Akamati, K.; Laliotis, G.P.; Bizelis, I. (2022). *Comparative Assessment of Greenhouse Gas Emissions in Pig Farming Using Tier Inventories. Environments, 9, 59.* <https://doi.org/10.3390/environments9050059>

Andretta, I., Hickmann, F. M. W., Remus, A., Franceschi, C. H., Mariani, A. B., Orso, C., Kipper, M., Létourneau-Montminy, M.-P., & Pomar, C. (2021). Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: Insights From a Systematic Review. *Frontiers in Veterinary Science, 8.* <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.750733>

Atzori, A. S. ., Lunesu, M. F. ., Sau, P. ., Pill, D. ., Pacchioli, M. T. ., & Cannas, A. (2021). *Carbonsheep: AGIS tool based on simplified Life Cycle Assesment to benchmark and spatialize the carbon footprint of sheep farms. In Proceedings of the 72nd Annual Meeting of the European Federation of Animal Science, Davos, Switzerland.*

Azoukis, S.; Akamati, K.; Bizelis, I.; Laliotis, G.P. (2023). *Retrospective Assessment of Greenhouse Gas Emissions from the Beef Sector in Greece and Potential Mitigation Scenarios. Environments, 10, 144.* <https://doi.org/10.3390/environments10080144>

Baker, M. (1995) *Corpora in Translation Studies: An Overview and Suggestions for Future Research. Target, 7, 223- 242.* <http://dx.doi.org/10.1075/target.7.2.03bak>

Batalla I., Trydeman Knudsen M., Mogensen L., Hierro O., Pinto M., Hermansen J. (2015). *Carbon footprint of milk from sheep farming systems in Northern Spain including soil carbon sequestration in grasslands. Journal of Cleaner Production 104 121-129.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.043>.

Battini, F., Agostini, A., Boulamanti, A. K., Giuntoli, J., & Amaducci, S. (2014). Mitigating the environmental impacts of milk production via anaerobic digestion of manure: Case study of a dairy farm in the Po Valley. *Science of The Total Environment, 481, 196–208.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.038>

Bird, N., Cowie, A., Cherubini, F., & Jungmeier, G. (2011). *Using a life cycle assessment approach to estimate the net greenhouse gas emissions of bioenergy.*

- Braun, J. V. (2010). *The role of livestock production for a growing world population*.
- Center for Sustainable Systems, University of Michigan (2021) "Greenhouse Gases Factsheet." Pub. No. CSS05-21.
- Cusack, D. F., Kazanski, C. E., Hedgpeth, A., Chow, K., Cordeiro, A. L., Karpman, J., & Ryals, R. (2021). Reducing climate impacts of beef production: A synthesis of life cycle assessments across management systems and global regions. *Global Change Biology*, 27(9), 1721–1736. <https://doi.org/10.1111/gcb.15509>
- DCCEEW (Australian Government, Department of Climate Change, Energy, the Environment and Water) (ed.) (2023) *Understanding climate change*. Available at: Understanding climate change - DCCEEW.
- Eurostat. (2011). *Analysis of methodologies for calculating greenhouse gas and ammonia emissions and nutrient balances*.
- FAO. (2017). *Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM)*. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). [accessed September 3, 2018]. Available from www.fao.org/gleam/en/.
- Farrell L., Herron J., Pabiou T., McHugh N., McDermott K., Shalloo L., O'Brien D., Bohan A. (2022). *Modelling the production, profit, and greenhouse gas emissions of Irish sheep flocks divergent in genetic merit*. *Agricultural Systems* 201 103467. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2022.103467>.
- Gerber, P. J., H.Steinfeld, B.Henderson, A.Mottet, C.Opio, J.Dijkman, A.Falcucci, & G.Tempio. (2013). *Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Rome: FAO. Available from <http://www.fao.org/3/a-i3437e.pdf>.
- Gill, M., Wilkinson, J.M. and Smith, P. (2010) *Mitigating climate change: The role of Domestic Livestock, Animal : an international journal of animal bioscience*. U.S. National Library of Medicine. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22443938/>.
- Goglio, P., Smith, W. N., Grant, B. B., Desjardins, R. L., Gao, X., Hanis, K., Tenuta, M., Campbell, C. A., McConkey, B. G., Nemecek, T., Burgess, P. J., & Williams, A. G. (2018). A comparison of methods to quantify greenhouse gas emissions of cropping systems in LCA. *Journal of Cleaner Production*, 172, 4010–4017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.133>
- Grossi, G. et al. (2019) *Livestock and climate change: Impact of livestock on Climate and mitigation strategies*, *Animal frontiers : the review magazine of animal agriculture*. U.S. National Library of Medicine. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32071797/>.
- Hardy, J. T. (2003). *Climate change: causes, effects, and solutions*. John Wiley & Sons.

He, B., Liu, Y., Zeng, L., Wang, S., Zhang, D., & Yu, Q. (2019). Product carbon footprint across sustainable supply chain. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118320. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118320>

Herrero, M., Henderson, B., Havlík, P., Thornton, P. K., Conant, R. T., Smith, P., Wiersenius, S., Hristov, A. N., Gerber, P., Gill, M., Butterbach-Bahl, K., Valin, H., Garnett, T., & Stehfest, E. (2016). Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6(5), 452–461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>

Holly, M. A., Larson, R. A., Powell, J. M., Ruark, M. D., & Aguirre-Villegas, H. (2017). Greenhouse gas and ammonia emissions from digested and separated dairy manure during storage and after land application. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, 410–419. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.007>

Hristov, A. N., J. Oh, C. Lee, R. Meinen, F. Montes, T. Ott, J. Firkins, A. Rotz, C. Dell, & A. Adesogan. (2013). *Mitigation of greenhouse gas emissions in livestock production—a review of technical options for non-CO2 emissions*. In: Gerber, P. J., B. Henderson, and H. P. S. Makkar, editors. *FAO Animal Production and Health Paper No. 177*. Rome (Italy): FAO. E-ISBN 978-

IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use*; Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Eds.; IGES: Hayama, Japan, ISBN 4-88788-032-4.

IPCC (ed.) (2007) The Intergovernmental Panel on Climate Change (FAQ 1.3 what is the greenhouse effect?, FAQ 1.3 - AR4 WGI Chapter 1: Historical Overview of Climate Change Science. Available at: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq1-3.html.

IPCC. (2019). *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Agriculture, Forestry and Other Land Use*; Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., Eds.; IGES: Hayama, Japan; ISBN 978-4-88788-032-4.

Ivanova, D., Vita, G., Steen-Olsen, K., Stadler, K., Melo, P. C., Wood, R., & Hertwich, E. G. (2017). Mapping the carbon footprint of EU regions. *Environmental Research Letters*, 12(5), 054013. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6da9>

Kinnear, T., Bernhardt, K. (1986). *Principles of Marketing*, Scott, Foresman and Company.

Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P., & Tricarico, J. M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of Dairy Science*, 97(6), 3231–3261. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>

Kweku, D. W., Bismark, O., Maxwell, A., Desmond, K. A., Danso, K. B., Oti-Mensah, E. A., & Adormaa, B. B. (2018). *Greenhouse effect: greenhouse gases and their impact on global warming*. *Journal of Scientific research and reports*, 17(6), 1-9.

Laliotis, G.P. (2020) *Livestock Production in Front of Population Growth and Climate Change Challenges: A Threaten to Extensive Farming Systems or A Balanced Coexistence with Intensive Systems?* Available at: https://www.researchgate.net/publication/341186534_Livestock_Production_in_Front_of_Population_Growth_and_Climate_Change_Challenges_A_Threaten_to_Extensive_Farming_Systems_or_A_Balanced_Coexistence_with_Intensive_Systems.

Lam, S. K., Suter, H., Mosier, A. R., & Chen, D. (2017). Using nitrification inhibitors to mitigate agricultural N₂O emission: a double-edged sword? *Global Change Biology*, 23(2), 485–489. <https://doi.org/10.1111/gcb.13338>

Llonch, P., Haskell, M. J., Dewhurst, R. J., & Turner, S. P. (2017). Current available strategies to mitigate greenhouse gas emissions in livestock systems: an animal welfare perspective. *Animal*, 11(2), 274–284. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001440>

Matthews, H. S., Hendrickson, C. T., & Weber, C. L. (2008). The Importance of Carbon Footprint Estimation Boundaries. *Environmental Science & Technology*, 42(16), 5839–5842. <https://doi.org/10.1021/es703112w>

Mohankumar Sajeev, E. P., Winiwarter, W., & Amon, B. (2018). Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Different Stages of Liquid Manure Management Chains: Abatement Options and Emission Interactions. *Journal of Environmental Quality*, 47(1), 30–41. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.05.0199>

Monteiro, Alda & Faro, Amanda & Peres, Mylena & Batista, Rafael & Poli, Cesar & Villalba, Juan. (2018). The role of small ruminants on global climate change. *Acta Scientiarum Animal Sciences*. 40. 10.4025/actascianimsci.v40i1.43124.

Montes, F., Meinen, R., Dell, C., Rotz, A., Hristov, A. N., Oh, J., Waghorn, G., Gerber, P. J., Henderson, B., Makkar, H. P. S., & Dijkstra, J. (2013). SPECIAL TOPICS — Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: II. A review of manure management mitigation options1. *Journal of Animal Science*, 91(11), 5070–5094. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6584>

Moore, D. S. ., Notz, W. I. ., & Flinger, M. A. (2013). *The Basic Practice of Statistics, 6th ed.*; W.H. Freeman and Company: New York, NY, USA.

NASA (2021). Global Climate Change Vital Signs of the Planet. “The Effects of Climate Change”. <https://climate.nasa.gov/effects/>

National Oceanic and Atmospheric Administration (2016) *Study finds fossil fuel methane emissions greater than previously estimated*, National Oceanic and Atmospheric Administration. Available at: <https://www.noaa.gov/media-release/study-finds-fossil-fuel-methane-emissions-greater-than-previously-estimated>.

Onoja, U. S., Dibua, U. M. E., & Enete, A. A. (2011). Climate change: causes, effects and

mitigation measures—a review. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, 17(4), 469–479.

Ozin, G. (2019) *SF6 worries – the most potent and persistent greenhouse gas*, *Advanced Science News*. Available at: <https://www.advancedsciencenews.com/sf6-worries-the-most-potent-and-persistent-greenhouse-gas/>.

Petersen, S. O., Blanchard, M., Chadwick, D., Del Prado, A., Edouard, N., Mosquera, J., & Sommer, S. G. (2013). Manure management for greenhouse gas mitigation. *Animal*, 7, 266–282. <https://doi.org/10.1017/S1751731113000736>

Reijnders, L. (2021). Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions. In *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation* (pp. 1–36). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6431-0_2-3

Roberts, K. G., Gloy, B. A., Joseph, S., Scott, N. R., & Lehmann, J. (2010). *Life cycle assessment of biochar systems: estimating the energetic, economic, and climate change potential*. *Environmental science & technology*, 44(2), 827–833.

Rojas-Downing, Pouyan Nejadhashemi A., Timothy Harrigan, Sean A. Woznicki (2017), *Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation*, Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation - ScienceDirect. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221209631730027X>)

Saggar, S. (2010). Estimation of nitrous oxide emission from ecosystems and its mitigation technologies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 136(3–4), 189–191. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.01.007>

Saidul, M., Mukhtar, S., Capareda, S., & Rahm, S. (2012). Greenhouse Gas Emissions from Housing and Manure Management Systems at Confined Livestock Operations. In *Waste Management - An Integrated Vision*. InTech. <https://doi.org/10.5772/51175>

Shi, S., & Yin, J. (2021). Global research on carbon footprint: A scientometric review. *Environmental Impact Assessment Review*, 89, 106571. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106571>

Sundquist, B., 1993. The global carbon dioxide budget. *Science* 259, 934–941

Swain, P., Dominic, G., Bhakthavatsalam, KVS, Terhuja, M. (2016) *Impact of ruminants on Global Warming: Indian and global context*, *Semantic Scholar*. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Impact-of-Ruminants-on-Global-Warming%3A-Indian-and-Swain-Dominic/57a2955aaee299fcbd056eac5101f768c8f423e3>.

Tian, H., Xu, R., Canadell, J. G., Thompson, R. L., Winiwarter, W., Suntharalingam, P., Davidson, E. A., Ciais, P., Jackson, R. B., Janssens-Maenhout, G., Prather, M. J., Regnier, P., Pan, N., Pan, S., Peters, G. P., Shi, H., Tubiello, F. N., Zaehle, S., Zhou, F., Arneeth, A., Battaglia, G., Berthet, S., Bopp, L., Bouwman, A. F., Buitenhuis, E. T., Chang, J., Chipperfield, M. P.,

Dangal, S. R. S., Dlugokencky, E., Elkins, J. W., Eyre, B. D., Fu, B., Hall, B., Ito, A., Joos, F., Krummel, P. B., Landolfi, A., Laruelle, G. G., Lauerwald, R., Li, W., Lienert, S., Maavara, T., MacLeod, M., Millet, D.B., Olin, S., Patra, P. K., Prinn, R.G., Raymond, P. A., Ruiz, D. J., Van der Werf, G. R., Vuichard, N., Wang, J., Weiss, R. F., Wells, K. C., Wilson, C., Yang, J., Yao, Y. (2020) *A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks*, *Nature News*. Nature Publishing Group. Available at: <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2780-0>.

Toma, L., March, M., Stott, A. W., & Roberts, D. J. (2013). *Environmental efficiency of alternative dairy systems: A productive efficiency approach*. *Journal of Dairy Science*, 96(11), 7014-7031.

Toro - Mujica P., Aguilar C., Vera R., Bas F. (2017). *Carbon footprint of sheep production systems in semi-arid zone of Chile: A simulation-based approach of productive scenarios and precipitation patterns*. *Agricultural Systems* 157 22–38. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.06.012>.

United Nations (ed.) (no date) *Causes and effects of climate change*, United Nations. Available at: <https://www.un.org/en/climatechange/science/causes-effects-climate-change>.

United States Environmental Protection Agency (2021) *Overview of Greenhouse Gases*, EPA. Environmental Protection Agency. Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases>.

Weiske A., Vabitsch A., Olesen J.E., Schelde K., Michel J., Friedrich R. & Kaltschmitt M. (2006). *Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming*, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112: 221-232.

Wilkes, A., Reisinger, A., Wollenberg, E., & Van Dijk, S. (2017). *Measurement, Reporting and Verification of Livestock GHG Emissions by Developing Countries in the UNFCCC: Current Practices and Opportunities for Improvement*. In *CCAFS Report No. 17, CGIAR Research Program on Climate Change; Agriculture and Food Security*.

Wilkes, A., Wassie, S. E., Tadesse, M., Assefa, B., Abu, M., Ketema, A., & Solomon, D. (2020). *Inventory of greenhouse gas emissions from cattle, sheep and goats in Ethiopia (1994-2018) calculated using the IPCC Tier 2 approach*.

Yakovlev, V. A., & Belyaev, G. A. (2023). *Global climate change, its consequences and ways to solve the problem*. *E3S Web of Conferences*, 390, 04007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339004007>.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βαρβάρας Ιωάννης (2009) *Διαχείριση κτηνοτροφικών αποβλήτων η περίπτωση της Ελλάδας, η απουσία διαχειριστικών αρχών, προτάσεις και προοπτικές, ΠΜΣ "Γεωργία και Περιβάλλον", Τμήμα Περιβάλλοντος Πανεπιστήμιο Αιγαίου*. Available at: <https://hellanicus.lib.aegean.gr/bitstream/handle/11610/15420/file0.pdf?sequence=1>.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2022) *Φθοριούχα Αέρια του θερμοκηπίου, ΥΠΕΝ Αρχική* -. Available at: <https://ypen.gov.gr/perivallon/klimatiki-allagi/fthorioucha-aeria-tou-thermokiou/>.

Χριστοδούλου, Βλ., Κοτσάμπαση, Β., Μπαμπίδης, Β., (2011). *Η εκπομπή αερίων από τη Ζωική Παραγωγή. Περιοδικό ΕΘΙΑΓΕ, Τεύχος 45, 6-9.*