



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εκπομπή Αερίων Θερμοκηπίου από
Γεωργικά Εδάφη με Διαφορετική
Συγκέντρωση Οργανικού Υλικού

Διπλωματική Εργασία

Ειρήνη Λογοθέτη

Τριμελής Επιτροπή:

- Νικόλαος Παρανυχιανάκης (Επιβλέπων)
- Νικόλαος Νικολαΐδης
- Γεώργιος Καρατζάς

Αναπληρωματικός: Αλέξανδρος Στεφανάκης

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου, κύριο Παρανυχιανάκη Νικόλαο για την κατανόηση και την καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Μουρνελά Ραφαήλα του εργαστηρίου Γεωργικής Μηχανικής για την βοήθεια της.

Τέλος θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για τη στήριξη που μου προσέφεραν και την πολύτιμη βοήθειά τους.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή	9
1.1 Το Έδαφος.....	9
1.1.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά Εδαφών	9
1.1.2 Οργανική Ύλη Εδάφους	10
1.2 Τα Αέρια του Θερμοκηπίου	11
1.2.1 Οι Εκπομπές CO ₂ από το Έδαφος	11
1.2.2 Οι Εκπομπές N ₂ O από το Έδαφος	12
1.2.3 Οι Εκπομπές CH ₄ από το Έδαφος	12
1.2.4 Οι Εκπομπές NH ₃ από το Έδαφος	12
1.2.5 Η Επιρροή της Οργανικής Ύλης του Εδάφους στις Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου.....	12
1.3 Πρακτικές για την Αντιμετώπιση των Παγκόσμιων Προκλήσεων	13
1.4 Ο Ρόλος του Εδαφικού C ως Φυσική Λύση για την Κλιματική Αλλαγή	14
1.4.1 Μέθοδοι για την Ενίσχυση του Εδαφικού C	15
1.5 Η Επιρροή της Δέσμευσης C στο Έδαφος και στη Συντηρητική Γεωργία	15
1.6 Βιογεωχημικός Κύκλος του N.....	16
1.7 Οι Εκπομπές N ₂ O από τη Γεωργία	17
1.7.1 Οι Παράγοντες που Επηρεάζουν την Παραγωγή N ₂ O.....	18
1.8 Αντικείμενα Διπλωματικής Εργασίας.....	19
2. Πειραματικό Μέρος	20
2.1 Πειραματική Διάταξη	20
2.2 Προετοιμασία Μικρόκοσμων εδάφους.....	22
2.3 Πειραματική διαδικασία	23
3. Αποτελέσματα και Συζήτηση.....	24
3.1 Μεταβολή της Συγκέντρωσης Ανόργανου N στο Έδαφος	24
3.2 Εκπομπή Αερίων Θερμοκηπίου και Αμμωνίας από το Έδαφος	33
3.3 Εκπομπή Αερίων Θερμοκηπίου και Αμμωνίας από το Έδαφος-Συγκεντρωτικά	49
4. Συζήτηση.....	53
5. Συμπεράσματα	57
6. Βιβλιογραφία.....	59

7. Παραρτήματα.....	60
7.1 Παράρτημα Εικόνων	60
7.2 Παράρτημα Διαγραμμάτων.....	62

Κατάλογος Εικόνων

<u>Εικόνα 1:</u> Κύρια μονάδα του αναλυτή αερίων του θερμοκηπίου Gasmeter 4015.....	21
<u>Εικόνα 2:</u> Εδάφη μετά την προ-επεξεργασία.....	22
<u>Εικόνα 3:</u> Εδάφη χωρισμένα σε δοχεία προς ανάλυση	22

Κατάλογος Διαγραμμάτων

<u>Γράφημα 1:</u> Μεταβολή $\text{NH}_4^+\text{-N}$ συναρτήσει του χρόνου.....	24
<u>Γράφημα 2:</u> Μεταβολή $\text{NO}_3^-\text{-N}$ συναρτήσει του χρόνου.....	25
<u>Γράφημα 3:</u> Μεταβολή $\text{NH}_4^+\text{-N}$ συναρτήσει του χρόνου.....	26
<u>Γράφημα 4:</u> Μεταβολή $\text{NO}_3^-\text{-N}$ συναρτήσει του χρόνου.....	27
<u>Γράφημα 5:</u> Μεταβολή $\text{NO}_3^-\text{-N}$ συναρτήσει του χρόνου.....	28
<u>Γράφημα 6:</u> Μεταβολή $\text{NO}_3^-\text{-N}$ συναρτήσει του χρόνου.....	29
<u>Γράφημα 7:</u> Μεταβολή $\text{NH}_4^+\text{-N}$ συναρτήσει του χρόνου.....	30
<u>Γράφημα 8:</u> Μεταβολή $\text{NO}_3^-\text{-N}$ συναρτήσει του χρόνου.....	31
<u>Γράφημα 9:</u> Μεταβολή της ροής CO_2 συναρτήσει του χρόνου.....	32
<u>Γράφημα 10:</u> Μεταβολή της ροής N_2O συναρτήσει του χρόνου.....	33
<u>Γράφημα 11:</u> Μεταβολή της ροής NH_3 συναρτήσει του χρόνου.....	34
<u>Γράφημα 12:</u> Μεταβολή της ροής CH_4 συναρτήσει του χρόνου.....	35
<u>Γράφημα 13:</u> Μεταβολή της ροής CO_2 συναρτήσει του χρόνου.....	36
<u>Γράφημα 14:</u> Μεταβολή της ροής N_2O συναρτήσει του χρόνου.....	37

<u>Γράφημα 15:</u> Μεταβολή της ροής NH_3 συναρτήσει του χρόνου.....	38
<u>Γράφημα 16:</u> Μεταβολή της ροής CH_4 συναρτήσει του χρόνου.....	39
<u>Γράφημα 17:</u> Μεταβολή της ροής CO_2 συναρτήσει του χρόνου.....	40
<u>Γράφημα 18:</u> Μεταβολή της ροής N_2O συναρτήσει του χρόνου.....	41
<u>Γράφημα 19:</u> Μεταβολή της ροής NH_3 συναρτήσει του χρόνου.....	42
<u>Γράφημα 20:</u> Μεταβολή της ροής CH_4 συναρτήσει του χρόνου.....	43
<u>Γράφημα 21:</u> Μεταβολή της ροής CO_2 συναρτήσει του χρόνου.....	44
<u>Γράφημα 22:</u> Μεταβολή της ροής N_2O συναρτήσει του χρόνου.....	45
<u>Γράφημα 23:</u> Μεταβολή της ροής NH_3 συναρτήσει του χρόνου.....	46
<u>Γράφημα 24:</u> Μεταβολή της ροής CH_4 συναρτήσει του χρόνου.....	47
<u>Γράφημα 25:</u> Μεταβολή της ροής CO_2 για το σύνολο των εδαφών.....	48
<u>Γράφημα 26:</u> Μεταβολή της ροής N_2O για το σύνολο των εδαφών.....	49
<u>Γράφημα 27:</u> Μεταβολή της ροής NH_3 για το σύνολο των εδαφών.....	50
<u>Γράφημα 28:</u> Μεταβολή της ροής CH_4 για το σύνολο των εδαφών.....	51

Περίληψη

Η δημιουργία συνθηκών που ευνοούν τη συσσώρευση οργανικού υλικού στο έδαφος – Soil Organic Matter, μέσω της εφαρμογής κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης, αποτελεί παγκόσμια προτεραιότητα τα τελευταία έτη. Ο στόχος είναι η ανάσχεση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη και η βελτίωση της γονιμότητας των εδαφών, εξασφαλίζοντας έτσι την πρωτογενή παραγωγή και την επισιτιστική ασφάλεια. Ο σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περαιτέρω κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του οργανικού υλικού του εδάφους και της εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 , καθώς παραμένει ασαφές εάν και σε ποιο βαθμό η αύξηση του οργανικού υλικού στο έδαφος πέραν συγκεκριμένων ορίων αναστρέφει τη θετική αυτή επίδραση μέσω της αυξημένης έκλυσης άλλων αερίων όπως του N_2O , του CH_4 και της NH_3 . Συγκεκριμένα, μελετήθηκαν τέσσερα (4) εδάφη από γειτονικές περιοχές με διαφορετική συγκέντρωση οργανικού υλικού, αλλά με την ίδια προέλευση και φυσικοχημικές ιδιότητες. Κατά τη διάρκεια της μελέτης τα επίπεδα εδαφικής υγρασίας ήταν διαφορετικά και εφαρμόστηκε λίπανση συγκέντρωσης $10 \frac{\text{gN}}{\text{m}^2}$, ώστε να διερευνηθεί η επίδρασή της. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας μετρήθηκαν οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, συγκεκριμένα του CO_2 , του N_2O , του CH_4 , και της NH_3 με τη χρήση του αναλυτή Gasmeter 4015 και αξιολογήθηκαν οι μεταβολές των εκπομπών συναρτήσει του χρόνου. Επιπλέον, έγινε ανάλυση των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στα εδάφη σε συνάρτηση με το χρόνο. Συνολικά, εξετάστηκε η συμβολή των διαφορετικών συγκεντρώσεων οργανικού υλικού στο έδαφος, των διαφορετικών επιπέδων εδαφικής υγρασίας και της εφαρμογής λίπανσης. Τα αποτελέσματα έδειξαν διακυμάνσεις στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 , με τις εκπομπές CO_2 να κυμαίνονται από μηδενικές έως $400 \frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, τις εκπομπές N_2O από μηδενικές έως $0.20 \frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, τις εκπομπές NH_3 από μηδενικές έως $0.95 \frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και τις εκπομπές CH_4 από μηδενικές έως $0.12 \frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$. Διαπιστώθηκε ότι το οργανικό υλικό του εδάφους συμβάλλει στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 , ωστόσο δεν παρατηρήθηκαν αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 τέτοιες ώστε να αναστρέφουν τα θετικά αποτελέσματα που προσφέρει η συσσώρευση οργανικού υλικού στο έδαφος, με αποτέλεσμα να αποτελεί μια κατάλληλη πρακτική για την αντιμετώπιση των παγκοσμίων προκλήσεων.

Abstract

Creating conditions that favour the accumulation of organic matter in soil – Soil Organic Matter, through the application of appropriate soil management practices, has been a global priority in recent years. The aim is to halt global warming and improve soil fertility, thus ensuring primary production and food security. The aim of this thesis is to further understand the interaction between soil organic matter and greenhouse gas and NH_3 emissions, as it remains unclear whether and to what extent the increase of soil organic matter beyond certain limits reverses this positive effect through increased release of other gases such as N_2O , CH_4 and NH_3 . Specifically, four (4) soils from neighboring areas with different organic matter concentrations but with the same origin and physicochemical properties were studied. Soil moisture levels during the study were different and fertilization, at a concentration of $10 \frac{\text{gN}}{\text{m}^2}$, was applied to investigate its effect. During the experimental procedure, greenhouse gas emissions, specifically CO_2 , N_2O , CH_4 , and NH_3 were measured using the Gasmeter 4015 analyzer and the changes in emissions over time were evaluated. In addition, the NH_4^+ - N and NO_3^- - N concentrations in the soils were analysed as a function of time. Overall, the contribution of different soil organic matter concentrations, different soil moisture levels and fertilization application was examined. The results showed variations in GHG and NH_3 emissions, with CO_2 emissions ranging from zero to $400 \frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, N_2O emissions from zero to $0.20 \frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, NH_3 emissions from zero to $0.95 \frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ and CH_4 emissions from zero to $0.12 \frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$. Soil organic matter was found to contribute to GHG and NH_3 emissions, but no increased GHG and NH_3 emissions were observed to reverse the positive effects of soil organic matter accumulation, making it an appropriate practice to address global challenges.

1.Εισαγωγή

1.1 Το Έδαφος

Το έδαφος καλύπτει το μεγαλύτερο μέρος της γης και είναι ένα χαλαρό επιφανειακό υλικό που αποτελείται από ανόργανα σωματίδια και οργανική ύλη. Το έδαφος παρέχει τη δομική υποστήριξη στα φυτά και αποτελεί πηγή νερού και θρεπτικών συστατικών. Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα τύπων εδάφους που καθορίζονται από διαφορετικές διεργασίες και οι χημικές και φυσικές ιδιότητές τους ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό. Το έδαφος περιλαμβάνει το εδαφικό οικοσύστημα, ένα αλληλεξαρτώμενο σύστημα υποστήριξης της ζωής. Περιλαμβάνει αέρα, νερό, ανόργανα άλατα, οργανική ύλη, μακρο- και μικροοργανισμούς. Αυτοί οι οργανισμοί και οι αλληλεπιδράσεις τους ενισχύουν τη λειτουργία του εδαφικού οικοσυστήματος και αποτελούν το τροφικό πλέγμα του εδάφους. Το τροφικό πλέγμα απαιτεί ενέργεια, η οποία παράγεται από τους πρωτογενείς παραγωγούς, οι οποίοι χρησιμοποιούν το ηλιακό φως για να μετατρέψουν το ατμοσφαιρικό CO₂ σε υδατάνθρακες. [10]

Οι οργανισμοί του εδάφους κατέχουν σημαντικό ρόλο σε πολλές φυσικές διεργασίες που καθορίζουν τη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων και του νερού για τη γεωργική παραγωγή. Το βιολογικό μέρος της οργανικής ουσίας του εδάφους περιλαμβάνει μια μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών, ρίζες φυτών, έντομα, γαιοσκώληκες και μεγάλα ζώα. Αντιπροσωπεύει περίπου το 5% της συνολικής οργανικής ουσίας του εδάφους και είναι υπεύθυνο για τη διατήρηση του αέρα και του νερού, την παροχή θρεπτικών συστατικών στα φυτά, την αποσύνθεση των ρύπων και τη διατήρηση της δομής του εδάφους. Η υγεία του εδάφους είναι ζωτικής σημασίας. Το έδαφος αποτελείται από μικροοργανισμούς και μεγάλους οργανισμούς που επιτελούν πολλές σημαντικές λειτουργίες και αποτελούν το θεμέλιο του διατροφικού συστήματος, παράγοντας υγιείς καλλιέργειες που παρέχουν επισιτιστική ασφάλεια. Η διατήρηση της υγείας του εδάφους είναι, επομένως, σημαντικός παράγοντας. [10]

1.1.1 Φυσικά Χαρακτηριστικά Εδαφών

Οι φυσικές ιδιότητες των εδαφών περιλαμβάνουν την υφή, το χρώμα, το βάθος, τη δομή, το πορώδες και την περιεκτικότητα σε πέτρες. Η ορθή διαχείριση του εδάφους είναι υψίστης σημασίας, καθώς διαδραματίζει βασικό ρόλο στην υγεία του εδάφους και επιτρέπει την κίνηση του νερού και του αέρα μέσα στο εδαφικό προφίλ. Ο συνδυασμός των κλασμάτων ανόργανης και οργανικής ύλης στο έδαφος, όπως χαλίκι, άμμος, ιλύς και άργιλος, συμβάλλει στην υφή του. Ο βαθμός της υφής εξαρτάται από την ποσότητα του πηλού, της άμμου, της ιλύος και της οργανικής ύλης που υπάρχει. [10]

Τα σωματίδια οργανικής ύλης, ιλύος, άμμου και αργίλου σχηματίζουν συσσωματώματα και αποτελούν το στερεό μέρος του εδάφους. Τα συσσωματώματα συγκρατούνται μεταξύ τους από τα σωματίδια αργίλου και την οργανική ύλη, η οποία είναι ένας από τους κύριους παράγοντες που συγκρατούν τα συσσωματώματα στο έδαφος. Το μέγεθος και το σχήμα των συσσωματωμάτων επηρεάζουν την ανάπτυξη των φυτών δίνοντας δομή στο έδαφος και επηρεάζοντας την κίνηση του νερού, του αέρα και των θρεπτικών συστατικών στο έδαφος. Η ποσότητα και το μέγεθος των

πόρων στο έδαφος σχετίζονται με την ικανότητα αποστράγγισης του εδάφους. Όσο μεγαλύτεροι και λιγότεροι είναι οι πόροι, τόσο καλύτερη είναι η κίνηση του νερού μέσα στο εδαφικό προφίλ. [10]

Οι δραστηριότητες και οι περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την κανονική λειτουργία των εδαφών, αλλά η υπερβολική καλλιέργεια, η απομάκρυνση των υπολειμμάτων των καλλιεργειών και η αυξημένη κυκλοφορία μπορούν να οδηγήσουν σε υποβάθμιση του εδάφους, στη μείωση του μεγέθους των πόρων και στην καταστροφή των εδαφικών συσσωματωμάτων. [10]

1.1.2 Οργανική Ύλη Εδάφους

Η οργανική ουσία του εδάφους είναι σημαντική για τη διατήρηση της υγείας και της ποικιλομορφίας του εδάφους, καθώς συμβάλλει στη βελτίωση της δομής του εδάφους και στη διατήρηση της εδαφικής υγρασίας. [10] Υπάρχουν, επίσης, σενάρια διαρκώς εισροών αυξανόμενου C (Donigian et al., 1997), τα οποία είναι ιδιαίτερα σημαντικά για την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών με σκοπό τη προώθηση δέσμευσης C στο έδαφος μέσω της αύξησης των φυτικών εισροών. Τα εγγενή επίπεδα εδαφικού C αντικατοπτρίζουν την ισορροπία μεταξύ των εισροών και των απωλειών C υπό φυσικές συνθήκες. Ωστόσο δεν αντιπροσωπεύουν ένα ανώτατο όριο των αποθεμάτων του στο έδαφος. Τα γεωργικά και κτηνοτροφικά οικοσυστήματα με εντατική διαχείριση είναι πιθανό να έχουν υψηλότερα επίπεδα C από τα οικοσυστήματα υπό φυσικές συνθήκες. Τα εγγενή επίπεδα C στο έδαφος μπορεί να μην είναι ένα κατάλληλο μέτρο της τελικής καταβόθρας του C. Υπάρχουν ενδείξεις που υποδεικνύουν ότι οι φυσικοχημικές διεργασίες σταθεροποιούν ή προστατεύουν τις οργανικές ενώσεις στα εδάφη και θεωρείται ότι διάφορες φυσικές ιδιότητες του εδάφους εμπλέκονται στην προστασία των οργανικών υλικών από τους αποικοδομητικούς οργανισμούς. [14]

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα για τη μελέτη του οργανικού υλικού στο έδαφος (Soil Organic Matter) καθορίζοντας τους διαφορετικούς ρυθμούς αποδόμησης και τους παράγοντες που τους ελέγχουν (βλέπε ανασκοπήσεις από McGill, 1996-Parton, et al.1994-Paustian, 1994). Οι τρεις κύριοι μηχανισμοί σταθεροποίησης που έχουν αναφερθεί ως μηχανισμοί σταθεροποίησης του οργανικού υλικού του εδάφους είναι η χημική σταθεροποίηση, η βιοχημική σταθεροποίηση και η φυσική προστασία του εδάφους (Christensen, 1996 - Stevenson, 1994). Η χημική σταθεροποίηση θεωρείται ότι είναι το αποτέλεσμα της χημικής ή φυσικοχημικής σύνδεσης μεταξύ του οργανικού υλικού του εδάφους και των ορυκτών του. Όσον αφορά τη βιοχημική σταθεροποίηση ορίζεται ως η σταθεροποίηση λόγω της χημικής σύνθεσης της οργανικής ύλης και του χημικού συνδυασμού των εδαφικών διεργασιών. Τέλος, η φυσική προστασία ορίζεται από τα εδαφικά συσσωματώματα τα οποία προστατεύουν φυσικά το εδαφικό οργανικό υλικό (Elliott και Coleman, 1988). [14]

Έτσι, έχουν προκύψει τρεις δεξαμενές που προστατεύουν το οργανικό υλικό στο έδαφος σύμφωνα με τρεις μηχανισμούς σταθεροποίησης. Το εδαφικό οργανικό υλικό στο έδαφος προστατεύεται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε ιλύ και άργιλο, από τα μικροσυσσωματώματα που σχηματίζονται στο έδαφος και λόγω βιοχημικών διεργασιών του εδάφους. Η σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας των

εδαφών σε ιλύ και άργιλο και της ποσότητας C που προστατεύεται από αυτά υποδεικνύει τα επίπεδα κορεσμού ενός εδάφους σε C (Hassink (1997)). Η προστασία του οργανικού υλικού μέσω της βιοχημικής σταθεροποίησης οφείλεται στην πολύπλοκη χημική σύνθεση του οργανικού υλικού. Η σύνθεση αυτή μπορεί να οφείλεται στις εγγενείς ιδιότητες του φυτικού υλικού ή στη συμπύκνωση και συμπλοκοποίηση των υπολειμμάτων αποσύνθεσης κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης. Τέλος, η φυσική προστασία αφορά τη μέγιστη χωρητικότητα του εδαφικού οργανικού υλικού και θεωρείται ότι καθορίζεται από τη μέγιστη μικροσυσσωμάτωση, η οποία καθορίζεται από την περιεκτικότητα του εδάφους σε άργιλο και από τον τύπο του. Τέλος, οι διαδικασίες σχηματισμού ή αποσύνθεσης μικροσυσσωματωμάτων, προσρόφησης ή εκρόφησης και συμπύκνωσης αποτελούν κύριους μηχανισμούς προστασίας και απελευθέρωσης της εδαφικής οργανικής ύλης. [14]

1.2 Τα Αέρια του Θερμοκηπίου

Σύμφωνα με το Πρωτόκολλο του Κιότο τα έξι (6) παρακάτω αέρια αναγνωρίστηκαν επίσημα ως τα αέρια του θερμοκηπίου. [16]

- Διοξείδιο του άνθρακα - CO₂
- Υποξείδιο του αζώτου - N₂O
- Μεθάνιο - CH₄
- Υδροφθοράνθρακες - HFCS
- Υπερφθοράνθρακες - PFCs
- Εξαφθοριούχο θείο - SF₆

1.2.1 Οι Εκπομπές CO₂ από το Έδαφος

Το CO₂ αποτελεί ένα σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου και αντιπροσωπεύει το 60% του συνολικού φαινομένου του θερμοκηπίου. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (CO₂, N₂O και CH₄) έχουν αυξηθεί καθώς παγιδεύουν την εξερχόμενη υπέρυθη ακτινοβολία από την επιφάνεια της γης. Οι ατμοσφαιρικές συγκεντρώσεις έχουν αυξηθεί από 280 ppmv στην αρχή της βιομηχανικής επανάστασης σε 391 ppmv σήμερα. Η αύξηση αυτή οφείλεται σε ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως η γεωργία, η αλλαγή χρήσης γης, η καύση ορυκτών καυσίμων και η αποψίλωση των δασών. [9]

Το CO₂ απελευθερώνεται από το έδαφος μέσω της εδαφικής αναπνοής. Η εδαφική μικροχλωρίδα ευθύνεται για το 99% των εκπομπών του μέσω της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης σε εναλλασσόμενες υγρές και ξηρές συνθήκες. Το CO₂ παράγεται υπό αερόβιες συνθήκες στο έδαφος, ανάλογα με τη συγκέντρωση του εδαφικού οργανικού C (Soil Organic Carbon). Οι μεγάλες ποσότητες οργανικού C που προστίθενται στο έδαφος υπό διαφορετικές συνθήκες συμβάλλουν σημαντικά στις εκπομπές CO₂. Οι εκπομπές CO₂ από το έδαφος έχουν αντίκτυπο στη δομή του εδάφους, τη γονιμότητα και την παραγωγικότητα του εδάφους, επειδή μειώνουν τη δεξαμενή οργανικής ουσίας του εδάφους. Συνεπώς, η μείωση των εκπομπών μέσω της δέσμευσης του εδαφικού C είναι ύψιστης σημασίας. [9]

1.2.2 Οι Εκπομπές N₂O από το Έδαφος

Το N₂O είναι ένα ισχυρό αέριο του θερμοκηπίου, με δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη 265 έως 298 φορές μεγαλύτερο από αυτό του CO₂ σε χρονικό ορίζοντα 100 ετών (Myhre et al., 2013). Οι εκπομπές του N₂O αποτελούν τη σημαντικότερη αιτία της καταστροφής του O₃ (Ravishankara, Daniel, & Portmann, 2009). Ένα μεγάλο ποσοστό των εκπομπών οφείλεται στη γεωργία, καθώς η γεωργική γη είναι η μεγαλύτερη πηγή ανθρωπογενών εκπομπών N₂O, αντιπροσωπεύοντας το 40% (Paustian et al., 2016). Οι εκπομπές τείνουν να αυξηθούν κατά 50% μεταξύ 2010 και 2050 καθώς η παραγωγή στη γεωργική γη εντείνεται και επεκτείνεται περαιτέρω στο μέλλον (Αλεξανδράτος & Bruinsma, 2012). [5]

1.2.3 Οι Εκπομπές CH₄ από το Έδαφος

Η μεθανογενετική οδός καταλύεται από μία πολύπλοκη μικροβιακή κοινότητα που αποτελείται κυρίως από βακτήρια και μεθανογενετικά Αρχαία. Η μεθανογενετική διεργασία είναι αναερόβια, καθώς λαμβάνει χώρα απουσίας οξυγόνου. Το CH₄ παράγεται από το έδαφος ως τελικό προϊόν της αναερόβιας αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Τα κορεσμένα εδάφη χαρακτηρίζονται από υψηλό δυναμικό παραγωγής CH₄ και αποτελούν πηγή CH₄, ενώ σε στραγγισμένα περιβάλλοντα το δυναμικό παραγωγής χάνεται. Σε συνθήκες έλλειψης οξυγόνου, επικρατούν αναερόβιες διεργασίες, με αποτέλεσμα το σχηματισμό CH₄, το οποίο είναι πολύ σταθερό, αλλά οξειδώνεται σε CO₂ υπό αερόβιες συνθήκες. [13]

1.2.4 Οι Εκπομπές NH₃ από το Έδαφος

Η NH₃ είναι ένας από τους σημαντικότερους ρύπους, που συμβάλλει στην ανθρώπινη υγεία και την υποβάθμιση του οικοσυστήματος. Πολλές από τις εκπομπές της στην ατμόσφαιρα σχηματίζουν σωματίδια, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν τη συνολική ανθρώπινη υγεία. Η συνεχής αύξηση και εντατικοποίηση της κτηνοτροφικής παραγωγής συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση των εκπομπών NH₃ στο περιβάλλον. Η NH₃ και τα άλατά της έχουν σημαντικό αντίκτυπο στον ευτροφισμό και πιθανές στρατηγικές μείωσης μπορούν να οδηγήσουν σε αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. [15]

1.2.5 Η Επιρροή της Οργανικής Ύλης του Εδάφους στις Εκπομπές Αερίων του Θερμοκηπίου

Τα εδάφη αποτελούν τη μεγαλύτερη δεξαμενή C στη γη (Schlesinger, 1995) και έχουν μεγάλες δυνατότητες δέσμευσης και αποθήκευσης αυξημένου C στην οργανική ουσία του εδάφους και μείωσης των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα (Walthall et al., 2012). Η διαδικασία της δέσμευσης C μπορεί να επιτευχθεί μέσω αλλαγών στη διαχείριση του εδάφους. Στα αγροοικοσυστήματα, τα επίπεδα του εδαφικού C διέπονται από την ισορροπία μεταξύ των εισροών C από τα φυτικά υπολείμματα και των απωλειών C, κυρίως μέσω της αποσύνθεσης, δηλαδή της ετερότροφης εδαφικής αναπνοής (Paustian et al., 2000). Η γεωργική διαχείριση που αυξάνει τις εισροές, για παράδειγμα με τη μη επεξεργασία του εδάφους για τη μείωση του ρυθμού αποσύνθεσης, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του οργανικού υλικού του εδάφους. [11]

Η κατεργασία του εδάφους είναι μια διαχειριστική πρακτική που αυξάνει τις απώλειες C λόγω των αυξημένων ρυθμών αποσύνθεσης, διαταράσσοντας τη δομή του εδάφους και αυξάνοντας το εδαφικό οργανικό υλικό που είναι διαθέσιμο στους μικροοργανισμούς του εδάφους. Εκτός από τις αλλαγές στις δεξαμενές του εδαφικού οργανικού C, η διαχείριση των υπολειμμάτων μπορεί να επηρεάσει την ανοργανοποίηση του υπάρχοντος οργανικού υλικού και τη ροή αερίων του θερμοκηπίου, όπως N_2O και CH_4 , γεγονός που μπορεί να αναιρέσει πιθανά οφέλη μέσω της αύξησης του εδαφικού C (Schlesinger, 1999- Fontaine et al., 2004- Li et al., 2005), καθώς αποτελούν αέρια που επηρεάζουν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και συμβάλλουν στην υπερθέρμανση του πλανήτη. [11]

1.3 Πρακτικές για την Αντιμετώπιση των Παγκόσμιων Προκλήσεων

Οι σημερινές προκλήσεις συνδέονται άμεσα με την επισιτιστική ασφάλεια και τη διαχείριση της γης. Η ανάγκη μετριασμού και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, η ανάγκη καταπολέμησης της υποβάθμισης της γης και της ερημοποίησης και η ανάγκη της παροχής της επισιτιστικής ασφάλειας, αποτελούν παγκόσμιες ανησυχίες. Οι προαναφερθείσες παγκόσμιες προκλήσεις είναι αλληλένδετες. Αυτό έχει οδηγήσει στην ανάγκη σημαντικών αλλαγών στη διαχείριση της γης και στα συστήματα παραγωγής για την αντιμετώπισή τους. Ως εκ τούτου, έχει αξιολογηθεί μια σειρά από πρακτικές για την αντιμετώπιση των εδαφικών ζητημάτων. Οι πρακτικές αυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως πρακτικές που βασίζονται στη διαχείριση της γης, πρακτικές που βασίζονται στη διαχείριση της τροφικής αλυσίδας και πρακτικές που βασίζονται στη διαχείριση κινδύνου. Οι πρακτικές με κύριο στόχο τη διαχείριση της γης μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις πρακτικές που αφορούν τη γεωργία, τα δάση και τα οικοσυστήματα και γενικότερα στις πρακτικές που σχετίζονται με την απομάκρυνση του ατμοσφαιρικού CO_2 . Όσον αφορά τις πρακτικές διαχείρισης της αλυσίδας, κατηγοριοποιούνται σε αυτές που βασίζονται στη διαχείριση της ζήτησης και της προσφοράς, ενώ οι επιλογές διαχείρισης του κινδύνου ομαδοποιούνται μαζί. [1]

Μία από τις πρακτικές που εφαρμόζονται για τον μετριασμό και την προσαρμογή της γεωργίας είναι η κλιματικά έξυπνη γεωργία. Η κλιματικά έξυπνη γεωργία περιλαμβάνει τη βελτιωμένη διαχείριση των καλλιεργούμενων εκτάσεων, τη διαχείριση των βοσκοτόπων και τη διαχείριση του ζωικού κεφαλαίου. Μία άλλη πρακτική που αφορά τη διαχείριση του εδάφους είναι η δέσμευση και η ενίσχυση του C στο έδαφος. Η πρακτική αυτή συμβάλλει σε μεγάλο μέρος του δυναμικού μετριασμού, καθώς αποτελεί δράση για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Η αύξηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε οργανικό υλικό αποτελεί μέτρο για τη διαχείριση του εδάφους και την αποκατάσταση υποβαθμισμένων εδαφών, καθώς αυξάνει την ανθεκτικότητα του εδάφους απέναντι στην κλιματική αλλαγή και συμβάλλει στην προσαρμογή του. Οι πρακτικές που βασίζονται στην αύξηση του οργανικού C του εδάφους έχουν μεγάλες δυνατότητες. Συμβάλλουν στην αντιμετώπιση των αναγκών προσαρμογής και αποτελούν επίσης μέτρα για την αντιμετώπιση της υποβάθμισης της γης. Σχεδιάζονται για την αύξηση του οργανικού υλικού του εδάφους και έχουν μεγάλες δυνατότητες για την αντιμετώπιση των υποβαθμισμένων εδαφών (Lal, 2004). [1]

Τα αυξημένα αποθέματα εδαφικού οργανικού υλικού μπορούν να συμβάλλουν στη βελτίωση της απόδοσης και της σταθερότητας των αγροοικοσυστημάτων (Lal, 2006- Pan, Smith, & Pan, 2009- Soussana et al., 2019), αλλά δεν παρατηρούνται καθολικά στα εδάφη (Hijbeek et al., 2017). Έχει αναφερθεί ότι αύξηση οργανικού C στο έδαφος κατά 1 t C/ha μπορεί να αυξήσει την παραγωγή των σιτηρών στις αναπτυσσόμενες χώρες κατά 32 εκατομμύρια τόνους/έτος (Lal, 2006). Η διαχείριση και ο έλεγχος της διάβρωσης του εδάφους μπορεί να αποτρέψει την απώλεια του οργανικού C σε ιζήματα που μεταφέρονται από το νερό και τον άνεμο. Τέλος, τα περισσότερα μέτρα μετριασμού μπορούν να εφαρμοστούν χωρίς να ανταγωνίζονται της διαθέσιμη γη και έχουν τη δυνατότητα να αποφέρουν πολλαπλά οφέλη. [1]

1.4 Ο Ρόλος του Εδαφικού C ως Φυσική Λύση για την Κλιματική Αλλαγή

Τα εδάφη διαδραματίζουν διπλό ρόλο στον παγκόσμιο προϋπολογισμό C. Αυτό σημαίνει ότι τα εδάφη μπορούν να προσφέρουν οφέλη στην κλιματική αλλαγή, τα οποία μπορούν να επιτευχθούν μέσω των στρατηγικών για τη διατήρηση των υφιστάμενων αποθεμάτων ή για την αποκατάσταση των αποθεμάτων σε εδάφη με μειωμένη περιεκτικότητα C. Η προστασία και η αποκατάσταση της οργανικής ουσίας του εδάφους – SOM έχει πολλά οφέλη για τον άνθρωπο και τη φύση. Σε παγκόσμιο επίπεδο, τα εδάφη συγκρατούν τρεις φορές περισσότερο C από την ατμόσφαιρα και ο ρόλος της οργανικής ουσίας του εδάφους είναι να δρα ως ρυθμιστής του κλίματος. Ο οργανικός C του εδάφους αποτελεί μια φυσική λύση για το κλίμα, συμβάλλοντας στην αποκατάσταση της δεξαμενής C και προστατεύοντας από περαιτέρω εκπομπές CO₂. Είναι επίσης μια λύση για την προβλεπόμενη αλλαγή χρήσης γης και την κλιματική αλλαγή [2].

Γενικά, η προστασία και η αύξηση των αποθεμάτων οργανικού C στο έδαφος επιφέρει πρόσθετα σημαντικά οφέλη. Αρχικά, ο εδαφικός C προστατεύει και βελτιώνει τη γονιμότητα του εδάφους και αυξάνει την ανθεκτικότητα του εδάφους απέναντι στην κλιματική αλλαγή. Μειώνει επίσης τη διάβρωση του εδάφους. Ωστόσο, η ανάπτυξη της αποθήκευσης και δέσμευσης του εδαφικού οργανικού C για τον μετριασμό του κλίματος παραμένει περιορισμένη στην πράξη. Οι πρακτικές βελτίωσης θεωρείται ότι έχουν θετικά συν-οφέλη, καθώς δεν απαιτούν πρόσθετη έκταση γης, έχουν ελάχιστο υδατικό αποτύπωμα και είναι εύκολο να εφαρμοστούν, καθώς δεν απαιτούν αλλαγή χρήσης γης. Η δέσμευση του θα μπορούσε να αντισταθμίσει πλήρως την τρέχουσα αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂ και το παγκόσμιο δυναμικό και τα πολλαπλά οφέλη από την αύξηση του παγκόσμιου αποθέματος C είναι σημαντικά. [2]

Στις περισσότερες βελτιωμένες προσεγγίσεις διαχείρισης του C, ο ρυθμός με τον οποίο τα εδάφη μπορούν να αποθηκεύσουν επιπλέον C αρχίζει να μειώνεται μετά από μερικές δεκαετίες και μια νέα σταθερή κατάσταση επιτυγχάνεται όταν επιτευχθούν υψηλότερα αποθέματα C. Ο χρόνος για την επίτευξη μια νέας σταθερής κατάστασης είναι συνήθως της τάξης των δεκαετιών, αλλά ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τον τύπο του εδάφους, τις διαχειριστικές παρεμβάσεις, το κλιματικό καθεστώς και την υπάρχουσα εξάντληση του εδαφικού οργανικού C. Ο χρόνος αυτός συμπίπτει με την ανάγκη μείωσης της μέγιστης ατμοσφαιρικής συγκέντρωσης CO₂

και μετριασμού της μέγιστης αύξησης της θερμοκρασίας. Ενδέχεται να εμφανιστεί το ενδεχόμενο κορεσμού των καταβολών και ο κίνδυνος μη μονιμότητας, δηλαδή αντιστρεψιμότητας. Ο όρος κορεσμός του εδάφους αναφέρεται στη μέγιστη ικανότητα συγκράτησης οργανικής ύλης του εδάφους. [2]

Ωστόσο, οι δραστηριότητες που δημιουργούν οργανικό C σε έναν τύπο εδάφους μπορεί να είναι αναποτελεσματικές σε ένα άλλο έδαφος. Μπορεί να αποτελέσουν σημαντικό τρόπο αύξησης των καταβολών C και μείωσης των εκπομπών. Οι εκτιμήσεις αυτές δεν περιλαμβάνουν πρακτικές διαχείρισης της γης ή της γεωργίας που μειώνουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εκτός του CO₂, όπως του N₂O και του CH₄, χωρίς να προστατεύουν ή να ενισχύουν τις καταβόθρες τους. [2]

1.4.1 Μέθοδοι για την Ενίσχυση του Εδαφικού C

Καθώς η αύξηση του εδαφικού C μπορεί να αποφέρει πολλά οφέλη, στη βιβλιογραφία έχουν αναφερθεί διάφορες μέθοδοι και πρακτικές για την αύξηση του. Η αποφυγή της μετατροπής των δασικών οικοσυστημάτων που αποτελούνται από δέντρα σε ποσοστό άνω του 25% σε γεωργική έκταση είναι ένας τρόπος για να αποφευχθεί η απώλεια του εδαφικού C που υπάρχει στο έδαφος. Οι Don et al. εκτίμησαν ότι 17.4 MgCha-1 χάνονται όταν τα δάση μετατρέπονται σε γεωργική γη. Η αναδάσωση είναι μια εφικτή μέθοδος που συμβάλλει στη δέσμευση του εδαφικού οργανικού C. Η πορεία της αναδάσωσης ποσοτικοποιεί τη δυνατότητα μετατροπής μη δασικών εκτάσεων με λιγότερο από 25% δενδροκάλυψης σε δάση με πάνω από 25% δενδροκάλυψης. Στο πλαίσιο αυτής της πορείας, οι δυνητικά δασωμένοι βοσκότοποι μπορούν να μπορούν να αναδασωθούν μειώνοντας το αποτύπωμα της κτηνοτροφικής παραγωγής μέσω της αύξησης της παραγωγής. [2]

Επιπλέον, η μετατροπή του μη ανακυκλωμένου C, δηλαδή των υπολειμμάτων βιομάζας των καλλιεργειών σε αναστρέψιμο C αυξάνει τη δεξαμενή C του εδάφους. Η μείωση της μετατροπής των λιβαδιών και η προστασία τους από τη μετατροπή τους σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις συμβάλλει επίσης σημαντικά στην μείωση των απωλειών C. Όσον αφορά την ένταση της βόσκησης και τη σπορά των ψυχανθών σε φυτεμένους βοσκότοπους αποτελούν μονοπάτια που μπορούν να εφαρμοστούν κατά τη διαχείριση του εδάφους, για τους Griscom et al. Οι αλλαγές στη βόσκηση βελτιστοποιούν την απομάκρυνση της βοσκήσιμης ύλης και αυξάνουν τον εδαφικό C. [2]

Επιπλέον, η διαχείριση των θρεπτικών στοιχείων, η μειωμένη κατεργασία του εδάφους και η βελτιωμένη διαχείριση των υδάτων είναι επίσης πιθανές πρακτικές για την αύξηση του οργανικού υλικού στο έδαφος. [4]

1.5 Η Επιρροή της Δέσμευσης C στο Έδαφος και στη Συντηρητική Γεωργία

Καθώς η συσσώρευση της οργανικής ουσίας του εδάφους αποτελεί σημαντικό δείκτη της υγείας και της ποιότητας του εδάφους, η πρόσληψη του εδαφικού C συμβάλλει στη βελτίωση πολλών από τις λειτουργίες που παρέχουν τα έδαφη. Τα έδαφη παρέχουν λειτουργίες, οι περισσότερες από τις οποίες επηρεάζονται θετικά

από την πρόσληψη εδαφικού C. Η δέσμευση του C προάγει την παραγωγή βιομάζας στη γεωργία και τη δασοκομία. Συμβάλλει επίσης σημαντικά στην αποθήκευση, τη διήθηση και τη μετατροπή θρεπτικών ουσιών, υλικών και νερού, βελτιώνοντας έτσι την υγεία του εδάφους και μειώνοντας τη διάβρωσή του. Βελτιώνει επίσης το φυσικό και πολιτιστικό περιβάλλον. Τέλος, οι πρώτες ύλες που βρίσκονται στα εδάφη και χρησιμοποιούνται ως πρώτες ύλες για πολλά προϊόντα επωφελούνται από τη δέσμευση του C στο έδαφος λόγω της βελτίωσης της υγείας του εδάφους. Η γεωλογική και η αρχαιολογική κληρονομιά στα εδάφη προστατεύεται επίσης, καθώς ο C του εδάφους λιγότερο επιρρεπής στη διάβρωση από το νερό και τον άνεμο βελτιώνοντας τη δομή τους. [3]

Ωστόσο, η εφαρμογή του εδαφικού C δεν συμβάλλει στην απολύμανση του εδάφους ή των ιζημάτων και η δέσμευση του μπορεί δυνητικά να αυξήσει τις εκπομπές NH_3 . Παρ' όλα αυτά αποτελεί σημαντικό συστατικό των εδαφών και σημαντικό στοιχείο του σχηματισμού του εδάφους. Η δράση για την κλιματική αλλαγή μπορεί να βελτιώσει την ανθεκτικότητα στην κλιματική αλλαγή μέσω της απορρόφησης του εδαφικού C, ο οποίος αποτελεί μια μεγάλη αναστρέψιμη δεξαμενή για το ατμοσφαιρικό CO_2 . Επιπλέον, η ενίσχυση του εδαφικού C είναι πιθανό να συνεισφέρει, στην πρόληψη της διάβρωσης και της ρύπανσης από ουσίες της ζωής στο νερό. [3]

Όσον αφορά τον βιοάνθρακα η προσθήκη του σε ποσοστό 1% ή περισσότερο μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές N_2O από τα εδάφη, εκτός από τις εκπομπές CO_2 και άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Ο βιοάνθρακας μπορεί να μειώσει την εξάτμιση NH_3 και να αυξήσει τη συγκράτηση N στην κομποστοποίηση και στη διαχείριση αποβλήτων πλούσιων σε N. Η υψηλή αντιδραστικότητα και η ειδική επιφάνεια του βιοάνθρακα μπορούν να συμβάλλουν στην αποκατάσταση του εδάφους και στον καθαρισμό των υδάτων, καθώς μπορούν να απορροφήσουν τόσο θρεπτικά συστατικά όσο και ρύπους. Η βελτιωμένη γονιμότητα του εδάφους μετά την εφαρμογή του μπορεί να αυξήσει τις αποδόσεις των καλλιεργειών και να αυξήσει την ανθεκτικότητα των αγροοικοσυστημάτων. Αυτό σημαίνει αυξημένη επισιτιστική ασφάλεια και διατήρηση των γεωργικών και αγροτικών μέσων διαβίωσης. [3]

1.6 Βιογεωχημικός Κύκλος του N

Ο παγκόσμιος κύκλος του N έχει μεταβληθεί από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, αυξάνοντας τα επίπεδα N στη βιόσφαιρα (Kaiser, 2001- Fowler et al., 2013). Οι εισροές N στα χερσαία συστήματα αυξάνονται λόγω της δέσμευσης N από τα λιπάσματα N και τις καλλιέργειες (Galloway and Cowling, 2002- Schlesinger, 2009- Fowler et al., 2013). Έτσι, η γεωργία συμβάλλει σημαντικά στις εισροές αντιδραστικού N στα χερσαία συστήματα. Λόγω των υψηλών ποσοστών απώλειας N, η διαχείριση του N είναι πολύπλοκη, επειδή το διαθέσιμο N είναι δυναμικό στο χρόνο και στο χώρο. Η κινητικότητα και η διαθεσιμότητα του N από τα λιπάσματα και την οργανική ύλη είναι αποτέλεσμα μικροβιακών διεργασιών που λαμβάνουν χώρα εντός της εδαφικής μήτρας, κυρίως της ανοργανοποίησης και της νιτροποίησης. Η νιτροποίηση είναι η βιολογική οξείδωση της NH_3 ή NH_4^+ σε NO_2^- και στη συνέχεια σε NO_3^- . Στις περισσότερες γεωργικές εκτάσεις, η NH_3 μετατρέπεται γρήγορα σε NO_3^- , τα οποία μπορεί να συσσωρευτούν σε υψηλές συγκεντρώσεις στο εδαφικό διάλυμα.

Η μετατροπή του NH_4^+ σε NO_2^- ή NO_3^- καθορίζει την κίνηση του N στην αρνητικά φορτισμένη μήτρα και επηρεάζει σημαντικά την τύχη του στο έδαφος. Τα NO_3^- μετακινείται ταχύτερα στις ρίζες των φυτών μέσω της ροής μάζας από ότι τα NH_4^+ και μπορεί να ξεπλυθούν από τη ζώνη των ριζών ή να χαθούν από το έδαφος μέσω της απονιτροποίησης. [7]

Η διαδικασία της νιτροποίησης ελέγχεται από διάφορους παράγοντες. Ο ρυθμός και η έκταση της διαδικασίας σχετίζονται με την αφθονία και τους λειτουργικούς οικότυπους των υπεύθυνων οργανισμών. Οι κύριοι παράγοντες που ελέγχουν τον ρυθμό στα γεωργικά εδάφη είναι η παροχή υποστρώματος, οι περιβαλλοντικές συνθήκες, οι πληθυσμοί των νιτροποιητών και των ανταγωνιστών και η παρουσία αναστολέων της νιτροποίησης. Πρόσθετοι παράγοντες που επηρεάζουν τη διαδικασία νιτροποίησης περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον αερισμό του εδάφους και τη συνολική μικροβιακή κατάσταση του εδάφους (Wallenstein and Hall, 2012). Έχει αναφερθεί ότι η εδαφική υγρασία επηρεάζει τους ρυθμούς νιτροποίησης μέσω διάφορων επιδράσεων στη διαθεσιμότητα του υποστρώματος. Όσον αφορά το pH του εδάφους, είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που ελέγχουν τον ρυθμό και τη συσσώρευση των προϊόντων της νιτροποίησης (Parton et al., 2001- Kyveryga et al, 2004). Οι ρυθμοί οξείδωσης της NH_3 και των NO_2^- ευνοούνται σε ουδέτερα έως ελαφρώς αλκαλικά εδάφη. [7]

Η μείωση της νιτροποίησης είναι επιθυμητή για τη μείωση των απωλειών N και την αύξηση της αποτελεσματικότητας της χρήσης των αζωτούχων λιπασμάτων. Η αύξηση της διαθεσιμότητας του N παραμένει η κύρια τεχνική διαχείρισης για την αύξηση των αποδόσεων των καλλιεργειών και οι στρατηγικές για τον έλεγχο της διαθεσιμότητας του υποστρώματος NH_4^+ περιλαμβάνουν τη χρονική στιγμή της λίπανσης, τη σύνθεση των λιπασμάτων, τη διατήρηση της ανάπτυξης των φυτών για την αφομοίωση του διαθέσιμου N και την ενίσχυση του εσωτερικού κύκλου του N. Μια άλλη αποτελεσματική στρατηγική είναι η άμεση αναστολή της νιτροποίησης. Η μείωση του ποσοστού της αζωτούχου λίπανσης μειώνει το διαθέσιμο N για νιτροποίηση αλλά μπορεί να μειώσει τις αποδόσεις. Ωστόσο, αντί να μειωθεί το συνολικό ποσοστό N, έχουν επινοηθεί προσεγγίσεις για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της χρήσης του με παράλληλη διατήρηση των αποδόσεων που μπορούν να μειώσουν τους κινδύνους που συνδέονται με τη νιτροποίηση. [7]

1.7 Οι Εκπομπές N_2O από τη Γεωργία

Η γεωργική γη είναι η μεγαλύτερη πηγή ανθρωπογενών εκπομπών N_2O , αντιπροσωπεύοντας το 40% των συνολικών εκπομπών (Paustian et al., 2016). Οι εκπομπές προβλέπεται να αυξηθούν κατά 50% μεταξύ 2010 και 2050 λόγω της εντατικοποίησης και της περαιτέρω επέκτασης της παραγωγής στη γεωργική γη στο μέλλον (Αλεξανδράτος & Bruinsma, 2012). Οι εκπομπές N_2O από τη γεωργία είναι δύσκολο να προβλεφθούν. Ο γεωργικός τομέας αναπτύχθηκε ραγδαία τις τελευταίες δεκαετίες, με αποτέλεσμα την αυξημένη χρήση λιπασμάτων. Αυτή η ταχεία ανάπτυξη έχει συμβάλλει στη συνολική αβεβαιότητα των εκπομπών από τη γεωργία. Η χωρική μεταβλητότητα των δεδομένων για τη γεωργική δραστηριότητα και η ελλιπής αναπαράσταση των εκπομπών που σχετίζονται με τις γεωργικές εργασίες εγείρουν

ερωτήματα σχετικά με τον αντίκτυπο των γεωργικών πρακτικών στην κλιματική αλλαγή. Ωστόσο, η εκτίμηση των εκπομπών N_2O από τη γεωργική γη είναι ύψιστης σημασία για τη βιώσιμη διαχείριση του N. [5]

Η μείωση των εκπομπών του N_2O από τις καλλιεργούμενες εκτάσεις αποτελεί σημαντικό μέτρο μετριασμού εκπομπών με στόχο το μετριασμό της υπερθέρμανσης του πλανήτη που σχετίζεται με την κλιματική αλλαγή και την καταστροφή του O_3 (Masson-Delmotte et al., 2018). Έχει παρατηρηθεί ότι ο οργανικό άνθρακας στο έδαφος - SOC συμβάλλει στις εκπομπές N_2O , καθώς οι παρατηρήσεις πεδίου έδειξαν θετική συσχέτιση μεταξύ των εκπομπών και του εδαφικού οργανικού C (Figueiredo, Enrich-Prast, & Rütting, 2016). Το SOC παρέχει πηγές ενέργειας, C και N για τους μικροοργανισμούς νιτροποίησης και απονιτροποίησης. Επιπλέον, προωθεί τη δημιουργία αναερόβιων συνθηκών, οι οποίες συμβάλλουν στην αντίδραση της οξείδωσης και αναγωγής για την απονιτροποίηση (Charles et al., 2017). [5]

1.7.1 Οι Παράγοντες που Επηρεάζουν την Παραγωγή N_2O

Η νιτροποίηση, η απονιτροποίηση νιτροποιητών, η απονιτροποίηση και η νιτρική αμμωνιοποίηση είναι οι τέσσερις (4) κύριες βιολογικές διεργασίες που αναφέρονται από τον Baggs(2008), οι οποίες παράγουν N_2O . Κατά τη διαδικασία νιτροποίησης, οι οργανικές ενώσεις N μετατρέπονται σε NH_4^+ μέσω διαδικασιών υδρόλυσης και αμμωνιοποίησης. Τα NH_4^+ μετατρέπονται σε NO_2^- και τελικά σε NO_3^- υπό αερόβιες συνθήκες. Η διεργασία της απονιτροποίησης είναι μια αναερόβια διεργασία, όπου τα NO_3^- μετατρέπονται σε NO_2^- υπό συνθήκες έλλειψης οξυγόνου, σε NO και N_2O και τελικά σε στοιχειακό N_2 . [6]

Το N_2O ανήκει στα αέρια του θερμοκηπίου και εκτιμάται ότι ευθύνεται για το 6% της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η γεωργία εκτιμάται ότι ευθύνεται για το 75% των συνολικών εκπομπών N_2O συμπεριλαμβανομένων των έμμεσων εκπομπών. Οι εκπομπές από τα γεωργικά εδάφη προκύπτουν άμεσα από την εφαρμογή N και έμμεσα από τις εκπομπές NH_3 και NO_x . Ειδικότερα, τα γεωργικά εδάφη αποτελούν σημαντική πηγή εκπομπών N_2O λόγω της χρήσης λιπασμάτων. Στις Κάτω Χώρες η εφαρμογή ανόργανων αζωτούχων λιπασμάτων αναφέρεται ότι συμβάλλει στο 0.8% των συνολικών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές N_2O περιλαμβάνουν τον τύπο του εδάφους και τις γενικές συνθήκες του εδάφους. Ο καιρός και η διαχείριση του εδαφικού N τείνουν επίσης να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην παραγωγή N (Butterbach-Bahl et al. , 2013; Lesschen et al., 2011). Οι ταχείες μεταβολές στη συγκέντρωση N στο έδαφος, στη διαθεσιμότητα C, στη διαθεσιμότητα οξυγόνου και στη θερμοκρασία μπορούν να προκαλέσουν διακυμάνσεις στις εκπομπές N. Τέλος, η εδαφική υγρασία του είναι ένα ισχυρός παράγοντας που ελέγχει τις εκπομπές. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέγιστη παραγωγή N_2O παρατηρείται από εδάφη που έχει εφαρμοστεί λίπανση υπό υγρές συνθήκες, ιδίως σε εδάφη πλούσια σε SOM. [8]

Η κλιματική αλλαγή οδηγεί σε αύξηση των ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως οι πλημμύρες, οι καταιγίδες και οι ξηρασίες (Stocker, 2014). Τα γεγονότα αυτά επηρεάζουν τις βιογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Sánchez-Rodríguez, Hill, Chadwick, & Jones, 2017). Για παράδειγμα, επιφανειακή άρδευση του εδάφους

μετά από παρατεταμένη ξηρασία εκπέμπει υψηλότερες τιμές CO₂ και N₂O σε σύγκριση με εδάφη που ήταν μέτρια υγρά πριν από την πλημμύρα (Flechard et al., 2007). Μεγάλο μέρος των εκπομπών μετά από παρατεταμένη ξηρασία μπορεί να οφείλεται σε διάφορες πηγές προκαλώντας περαιτέρω ανοξικές συνθήκες λόγω της ταχείας κατανάλωσης του οξυγόνου ευνοώντας περαιτέρω την επικράτηση συνθηκών που ευνοούν την απονιτροποίηση. Επιπλέον, υπό ξηρές συνθήκες, η παραγωγή του ενζύμου αναγωγής του N₂O μπορεί να έχει μεγαλύτερη υστέρηση σε σύγκριση με τις προ-υγρές συνθήκες (Bergstermann et al., 2011). Επομένως, όταν οι μικροοργανισμοί καταφεύγουν στην απονιτροποίηση για την αναπνοή μια υψηλότερη αναλογία N₂O:N₂ είναι πιθανό να προκύψει. Οι περίοδοι ξηρασίας μπορεί επίσης να επηρεάσουν τη δυναμική των πληθυσμών των μικροβιακών κοινοτήτων, οι οποίες μπορεί να ανταποκρίνονται διαφορετικά στα υψηλά επίπεδα εδαφικής σε σύγκριση με εδάφη που δεν έχουν βιώσει ποτέ ξηρασία (Morales, Jha, & Saggar, 2015). Όσον αφορά τη μεγάλη αύξηση του N₂O σε σύντομο χρονικό διάστημα, ο όρος «θερμή στιγμή», όπως ορίζεται από τους McClain et.al. (2003). Οι «θερμές στιγμές» μπορούν να διαρκέσουν αρκετές ημέρες απελευθερώνοντας σημαντικό ποσοστό της ετήσιας ροής και προκαλώντας μεγάλες μεταβολές στο χρόνο. [6]

1.8 Αντικείμενα Διπλωματικής Εργασίας

Η υπερθέρμανση του πλανήτη είναι μια ανησυχητική παγκόσμια τάση, η οποία αναγνωρίζεται ως ένα από τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά προβλήματα. Η υπερθέρμανση του πλανήτη προκαλείται από την αύξηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από ανθρώπινες δραστηριότητες. Αν αυτή η τάση συνεχιστεί, θα έχει σοβαρές συνέπειες για τον πλανήτη και τους ανθρώπους του, γι' αυτό είναι σημαντικό να ληφθούν μέτρα για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και την αναχαίτιση της υπερθέρμανσης του πλανήτη.

Η δημιουργία συνθηκών που ευνοούν τη συσσώρευση οργανικού υλικού – Soil Organic Matter στο έδαφος μέσω της εφαρμογής κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης του εδάφους έχει αποκτήσει παγκόσμια προτεραιότητα τα τελευταία χρόνια, όχι μόνο για την ανάσχεση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη, αλλά και για τη βελτίωση της γονιμότητας του εδάφους και κατ' επέκταση της πρωτογενούς παραγωγής για τη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας. Ωστόσο, παραμένει ασαφές εάν και σε ποιο βαθμό η αύξηση του εδαφικού οργανικού υλικού πέραν συγκεκριμένων ορίων, αναστρέφει τη θετική επίδραση, μέσω της αυξημένης έκλυσης των αερίων του θερμοκηπίου -N₂O και CH₄- και της NH₃.

Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στην περαιτέρω κατανόηση της αλληλεπίδρασης της οργανικής ύλης του εδάφους με τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH₃. Διερευνήθηκαν οι επιδράσεις της διαφορετικής συγκέντρωσης οργανικού υλικού του εδάφους, της εφαρμογής λίπανσης και της εδαφικής υγρασίας. Για την πειραματική διαδικασία επιλέχθηκαν τέσσερα (4) εδάφη από γειτονικές περιοχές με διαφορετικές συγκεντρώσεις οργανικής ύλης, αλλά ίδιας προέλευσης και με κοινά φυσικοχημικά χαρακτηριστικά. Με σκοπό τη διεξαγωγή της μελέτης διερευνήθηκαν οι μεταβολές στις συγκεντρώσεις NH₄⁺ -N και NO₃⁻ - N και στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH₃ σε συνάρτηση με το χρόνο.

Η ανάλυση των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ πραγματοποιήθηκε φωτομετρικά σύμφωνα με την τροποποιημένη μέθοδο των Hood et al. (2010). Για την ανάλυση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής Gasmeter 4015. Ο αναλυτής Gasmeter 4015 είναι μια συσκευή ανάλυσης φασμάτων, η οποία χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και την ανάλυση των αερίων σε διάφορα περιβαλλοντικά πεδία, προσδιορίζοντας τα διάφορα αέρια που υπάρχουν σε ένα έδαφος.

Συνολικά, αξιολογείται η συμβολή του οργανικού υλικού στο έδαφος, η εφαρμογή της λίπανσης και η εδαφική υγρασία στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 .

2. Πειραματικό Μέρος

2.1 Πειραματική Διάταξη

Η πειραματική διαδικασία αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά τον προσδιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από εδάφη με διαφορετικές συγκεντρώσεις οργανικού υλικού. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στις συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ σε συνάρτηση με το χρόνο στα ίδια εδάφη.

Ο εργαστηριακός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για το πρώτο μέρος της πειραματικής διαδικασίας, δηλαδή την ανάλυση και τη μέτρηση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου από το έδαφος, είναι ο αναλυτής Gasmeter 4015. Ο αναλυτής αυτός χρησιμοποιείται για τη δυναμική μέτρηση της ροής των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από κάθε αναλυόμενο έδαφος. Είναι μια συσκευή ανάλυσης φασμάτων, η οποία χρησιμοποιείται για την ανάλυση και τη μέτρηση των αερίων σε διάφορα περιβάλλοντα. Ο αναλυτής μπορεί να αναγνωρίσει και να μετρήσει τις ποσότητες των διαφορετικών αερίων που περιέχονται στο δείγμα. Στην παρούσα πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του στατικού θαλάμου για τη μέτρηση της ροής των αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από τα εδάφη. Η μέθοδος του στατικού θαλάμου αποτελείται από ένα θάλαμο που περιέχει το προς μέτρηση έδαφος και τοποθετείται στην επιφάνεια του εδάφους, τον αναλυτή και έναν φορητό υπολογιστή για την καταγραφή των μετρήσεων. Αφού τοποθετηθεί το έδαφος μέσα στο στατικό θάλαμο, ο οποίος είναι αεροστεγώς κλειστός, αρχίζει η μέτρηση. Τα αέρια που απελευθερώνονται από την επιφάνεια του εδάφους συσσωρεύονται μέσα στο θάλαμο με αποτέλεσμα την ποσοτικοποίησή τους. Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από έναν κυκλικό θάλαμο, ο οποίος είναι στεγανοποιημένος για την αποφυγή διαρροών. Το σχήμα του θαλάμου έχει μικρή επίδραση στις εκτιμήσεις των εκπομπών, εφόσον επιτυγχάνεται επαρκής ανάμιξη του αέρα. Εκτός από τον στατικό θάλαμο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πειραματική διάταξη, υπάρχουν πολλές παραλλαγές και δυνατότητες για πειραματικές διατάξεις θαλάμων. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνική είναι η χρήση θαλάμου κυκλικού βρόχου. Σε αυτή τη διάταξη, το αέριο αντλείται από το θάλαμο, διέρχεται από τον αναλυτή και στη συνέχεια επιστρέφει σε θάλαμο σε κλειστό βρόχο. Η μέθοδος αυτή είναι μη παρεμβατική δειγματοληψία, απλή και λιγότερο επιρρεπής σε συστηματικά σφάλματα. Οι θάλαμοι που χρησιμοποιούνται

είναι κατασκευασμένοι από διάφορα άκαμπτα υλικά που δεν αντιδρούν με τη μήτρα του αερίου που μετρείται. Για παράδειγμα, τα υλικά που χρησιμοποιούνται, συνήθως, περιλαμβάνουν ανοξείδωτο χάλυβα, αλουμίνιο, ακρυλικό πλαστικό και πολυβινυλοχλωρίδιο. Χρησιμοποιούνται, επίσης, αυτοματοποιημένοι και αυτοσχέδιοι θάλαμοι, οι οποίοι είναι εξίσου αποτελεσματικοί για τους αναλυτές αερίων Gasmel. [15] Στην παρούσα πειραματική διάταξη χρησιμοποιήθηκε ένας αυτοσχέδιος θάλαμος. Ο θάλαμος συνδέεται με μία φιάλη αζώτου πριν και στο τέλος της μέτρησης για να «φιλτράρει» τη διάταξη ώστε να απομακρυνθούν τα υπολειπόμενα αέρια που θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ανάλυση.

Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας πραγματοποιήθηκαν αναλύσεις στις συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ σύμφωνα με την τροποποιημένη μέθοδο των Hood et al (2010). Για τη διενέργεια της ανάλυσης χρησιμοποιήθηκαν ζυγός ακριβείας, ξηραντήρας, φυγοκεντρική διάταξη και φασματοφωτόμετρο. Για τη ζύγιση κάθε εδάφους προς ανάλυση χρησιμοποιήθηκε ζυγός ακριβείας. Ο φούρνος ξήρανσης χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό της υγρασίας των εδαφών και για την ανάλυση των συγκεντρώσεων $\text{NO}_3^- - \text{N}$, ακολουθώντας τη διαδικασία του προτύπου. Η χρήση της φυγοκεντρικής διάταξης αποσκοπούσε στον διαχωρισμό του διαλύματος σε στερεή φάση και υγρή φάση. Τα σωματίδια που είναι διασκορπισμένα στο υγρό μείγμα καθιζάνουν λόγω βαρύτητας εάν η πυκνότητα τους είναι μεγαλύτερη από την πυκνότητα του μείγματος. Τέλος, οι μετρήσεις των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ πραγματοποιήθηκαν φωτομετρικά στα 697nm και στα 540 nm, αντίστοιχα, με τη χρήση του φασματοφωτομέτρου Lambda 25 του οίκου PerkinElmer.



Εικόνα 1: Κύρια μονάδα του αναλυτή αερίων του θερμοκηπίου Gasmel 4015

2.2 Προετοιμασία Μικρόκοσμων εδάφους

Για την διεξαγωγή της μελέτης, επιλέχθηκαν εδάφη με διαφορετική συγκέντρωση εδαφικής οργανικής ουσίας, αλλά με την ίδια προέλευση και φυσικοχημικές ιδιότητες. Πριν από την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, τα εδάφη προ-επεξεργάστηκαν. Συγκεκριμένα, κοσκινίστηκαν με χρήση διάτρητου κόσκινου 2mm και αφαιρέθηκαν πέτρες, ξύλα και πιθανά θραύσματα ριζών. Στη συνέχεια τα εδάφη διαιρέθηκαν ισομερώς. Συγκεκριμένα, κάθε έδαφος χωρίστηκε σε έξι (6) δείγματα των 400 γραμμαρίων το καθένα, τοποθετήθηκαν σε δοχεία και χρησιμοποιήθηκαν για την μέτρηση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σε κάθε δείγμα προστέθηκε ένα αρχικός όγκος 100 ml νερού πριν από την έναρξη του πειράματος.



Εικόνα 2: Εδάφη μετά την προ-επεξεργασία



Εικόνα 3: Εδάφη χωρισμένα σε δοχεία προς ανάλυση

2.3 Πειραματική διαδικασία

Για την εκπόνηση της πειραματικής διαδικασίας επιλέχθηκαν τέσσερα (4) εδάφη από γειτονικές περιοχές, διαφορετικής συγκέντρωσης οργανικού υλικού αλλά με την ίδια προέλευση και φυσικοχημικές ιδιότητες. Η πειραματική διαδικασία περιλάμβανε δύο μέρη που διεξαγόntonταν παράλληλα. Το πρώτο μέρος αφορούσε τη μέτρηση των ροών αερίων του θερμοκηπίου, ιδίως του CO_2 , N_2O , CH_4 και της NH_3 , ενώ το δεύτερο μέρος αφορούσε την ανάλυση των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στο έδαφος. Οι μετρήσεις των ροών αερίων πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του αναλυτή Gasmeter 4015. Προκειμένου να προσδιοριστούν οι μεταβολές στις ροές των αερίων του θερμοκηπίου σε συνάρτηση με το χρόνο, οι μετρήσεις επαναλαμβάνονταν σε τακτά χρονικά διαστήματα κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Πριν από την έναρξη και στο τέλος κάθε μέτρησης, μια φιάλη αζώτου με σταθερή πίεση συνδεόταν με τον εξοπλισμό για να «φιλτράρει» τη διάταξη, για την αποφυγή σφαλμάτων λόγω συσσώρευσης αερίων στον σταθερό θάλαμο.

Για την διεξαγωγή των μετρήσεων, ο αναλυτής συνδεόταν με το στατικό θάλαμο και έναν φορητό υπολογιστή και οι μετρήσεις εμφανίζονταν στο λογισμικό Calcmeter. Πριν από την έναρξη της πειραματικής διαδικασίας, ο στατικός θάλαμος στεγανοποιείται για να αποφευχθεί οποιαδήποτε διαρροή. Μόλις τοποθετηθεί το έδαφος στο θάλαμο και ο θάλαμος κλείσει αεροστεγώς, ξεκινούσαν οι μετρήσεις. Για κάθε έδαφος λαμβάνονταν κατά μέσο όρο πέντε (5) μετρήσεις, με κάθε μέτρηση να διαρκεί ένα (1) λεπτό. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλα τα εδάφη. Μεταξύ των μετρήσεων μεσολαβούσε ένα χρονικό διάστημα, προκειμένου να απομακρυνθούν τυχόν αέρια που έχουν συσσωρευτεί στο θάλαμο. Στόχος ήταν να μειωθούν τα σφάλματα που οφείλονται σε υπολείμματα αερίων από προηγούμενες μετρήσεις.

Στην αρχή της πρώτης εβδομάδας μετρήσεων, προστέθηκαν 50ml νερού στο έδαφος. Οι επόμενες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μια εβδομάδα αργότερα. Πριν από την έναρξη της δεύτερης εβδομάδας μετρήσεων εφαρμόστηκε σε μέρος των εδαφών θειική αμμωνία, συγκέντρωσης 10g N/m^2 , η οποία αντιστοιχεί σε μία αντιπροσωπευτική ποσότητα λίπανσης, που εφαρμόζεται στη γεωργία. Οι μετρήσεις διήρκησαν για διάστημα τριών ημερών. Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα αργότερα. Κατά τη διάρκεια της πειραματικής περιόδου η υγρασία του εδάφους διατηρούταν ως επί των πλείστων σταθερή μέσω της αναπλήρωσης των απωλειών του νερού. Αφού τα εδάφη έμειναν ξηρά για περίπου δύο εβδομάδες, προστέθηκαν 120ml νερού και έγιναν οι τελικές μετρήσεις.

Όσον αφορά τη μορφοποίηση των αποτελεσμάτων, οι εκπομπές αερίων καταγράφηκαν στο λογισμικό Calcmeter και μεταφέρθηκαν σε φύλλο Excel για την κατάλληλη μετατροπή. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα μετατρέπονται σε $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$.

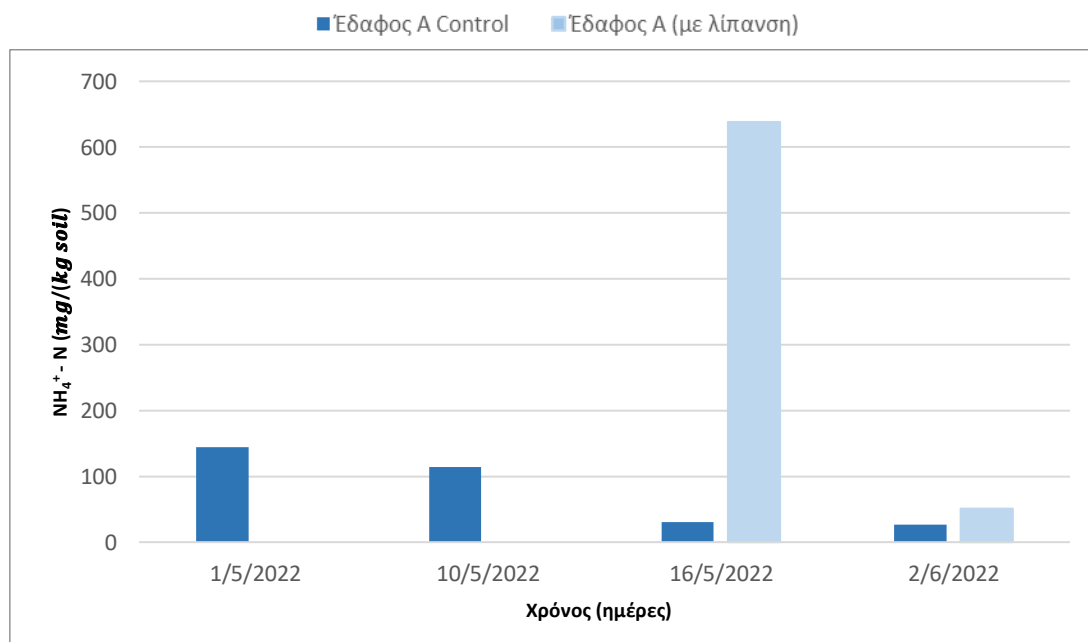
Για την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας, πραγματοποιήθηκε ανάλυση των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στα εδάφη. Όσον αφορά την ανάλυση των συγκεντρώσεων $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ακολουθήθηκε η τροποποιημένη μέθοδος των Hood et. al (2010). Σύμφωνα με τη μέθοδο, σε 2.5 γραμμάρια εδάφους προστίθενται 15ml απιονισμένο νερό και το αιώρημα που προκύπτει αναδεύεται για 15 λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στο έδαφος πραγματοποιήθηκε φωτομετρικά σε συγκεκριμένο μήκος κύματος 540 nm με φωτόμετρο Lambda 25 του οίκου PerkinElmer. Για την ανάλυση των $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ακολουθήθηκε επίσης η τροποποιημένη μέθοδος των Hood et. al (2010). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, σε 2.5 γραμμάρια εδάφους προστίθεται 15 ml διαλύματος KCL, συγκέντρωσης 2M. Το εναιώρημα που προκύπτει αναδεύεται για μία (1) ώρα σε θερμοκρασία δωματίου. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στο έδαφος πραγματοποιήθηκε φωτομετρικά σε συγκεκριμένο μήκος κύματος 697nm με φωτόμετρο Lambda 25 του οίκου PerkinElmer.

3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

3.1 Μεταβολή της Συγκέντρωσης Ανόργανου N στο Έδαφος

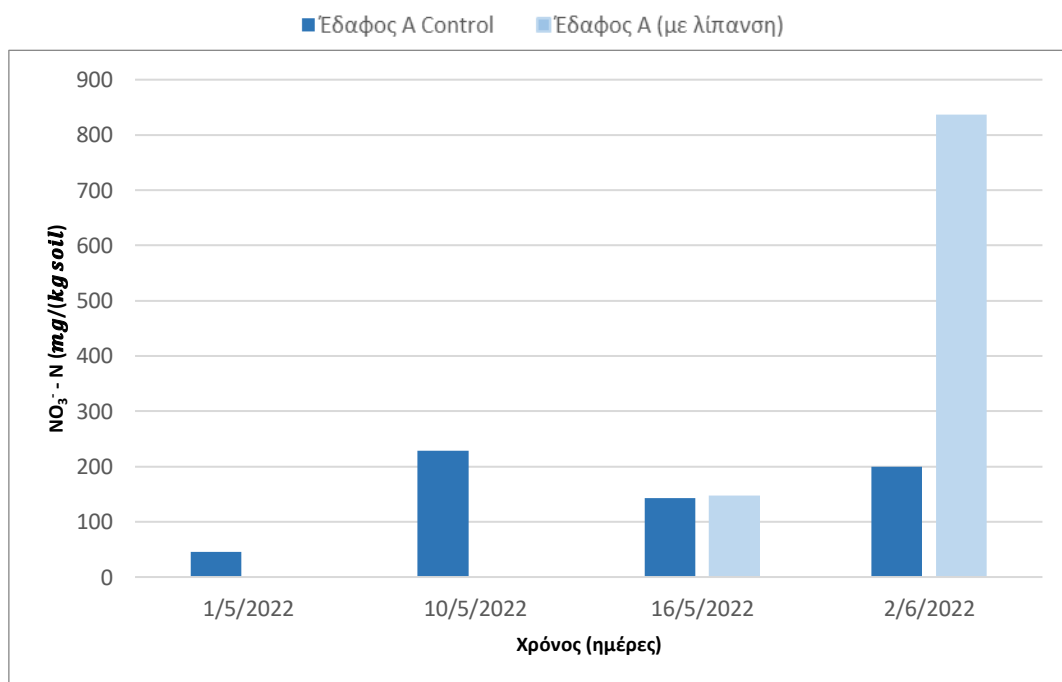
Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζεται πληροφορία σχετικά με τη μεταβολή της συγκέντρωσης ανόργανου N στο έδαφος. Τα γραφήματα, τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω, συνοψίζουν τις μεταβολές των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ σε συνάρτηση με το χρόνο για κάθε έδαφος. Σε κάθε μέτρηση έχει υπολογιστεί και εμφανίζεται η μέση τιμή.

Το **γράφημα 1** συνοψίζει τις μεταβολές της συγκέντρωσης $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στο έδαφος Α σε συνάρτηση με το χρόνο. Στην πρώτη μέτρηση, η αρχική συγκέντρωση υπολογίστηκε $144.6 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η συγκέντρωση που εμφανίζεται στη συνέχεια αντιστοιχεί σε μετρήσεις που έγιναν μετά από μια εβδομάδα, όπου παρατηρήθηκε μείωση ($113.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$). Μια εβδομάδα αργότερα, εφαρμόστηκε λίπανση συγκέντρωσης 10gN/m^2 σε ένα μέρος του εδάφους, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της. Παρατηρήθηκε περαιτέρω μείωση της συγκέντρωσης στο έδαφος ελέγχου (control), αλλά παρατηρήθηκε ταχεία αύξηση της συγκέντρωσης στο έδαφος που είχε υποστεί λίπανση ($30.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $638.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Οι τελικές συγκεντρώσεις που εμφανίζονται αντιστοιχούν σε μετρήσεις που έγιναν μετά από δύο εβδομάδες. Συνολικά, οι συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στο έδαφος παρουσίασαν μείωση ($26.7 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $50.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Διαπιστώθηκε ότι κατά την εφαρμογή λίπανσης, η συγκέντρωση $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ αυξήθηκε, αλλά συνολικά οι συγκεντρώσεις μειώθηκαν συναρτήσει του χρόνου. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στα control υπολογίστηκε ίση με $78.8 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $344.6 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η ελάχιστη συγκέντρωση βρέθηκε $30.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και η μέγιστη $638.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$.



Γράφημα 1: Μεταβολή $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ συναρτήσει του χρόνου

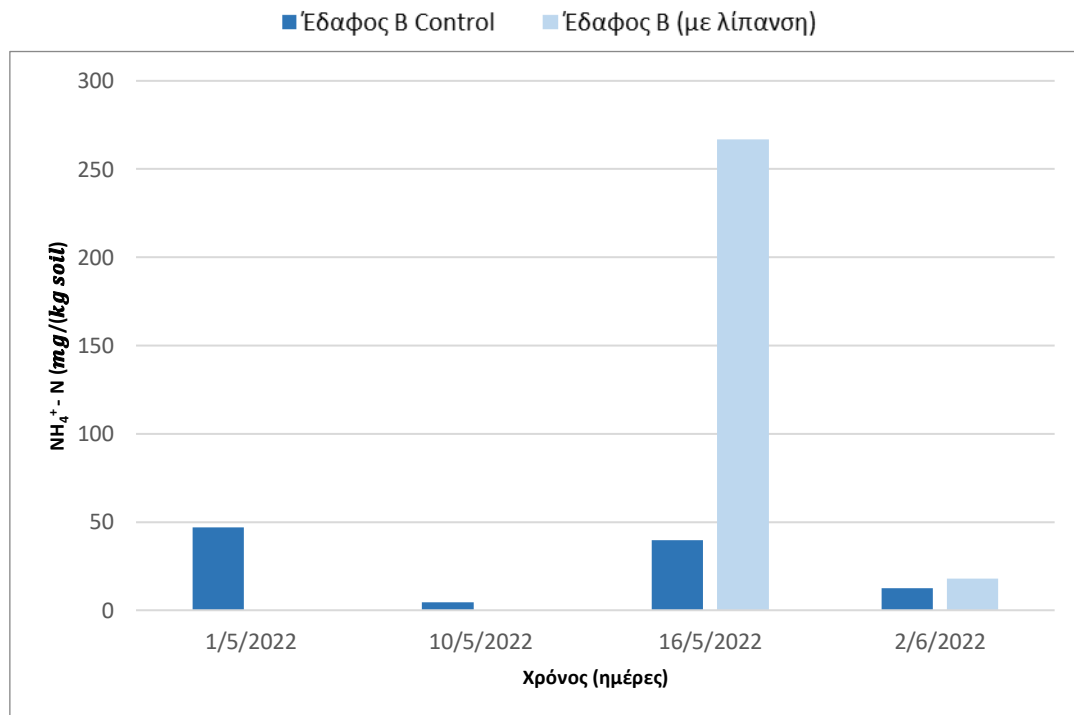
Το **γράφημα 2** συνοψίζει τις μεταβολές της συγκέντρωσης $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στο έδαφος Α σε συνάρτηση με το χρόνο. Στην πρώτη μέτρηση, η αρχική συγκέντρωση υπολογίστηκε $45.4 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η συγκέντρωση που εμφανίζεται στη συνέχεια αντιστοιχεί σε μετρήσεις που έγιναν μετά από μια εβδομάδα, όπου παρατηρήθηκε αύξηση ($228.4 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$). Μια εβδομάδα αργότερα, εφαρμόστηκε λίπανση συγκέντρωσης 10gN/m^2 σε ένα μέρος του εδάφους, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της. Παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης στα control ($142.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$) με τη συγκέντρωση του εδάφους που είχε υποστεί λίπανση, να υπερβαίνει τις αντίστοιχες των control ($146.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$). Οι τελικές συγκεντρώσεις που εμφανίζονται αντιστοιχούν σε μετρήσεις που έγιναν μετά από δύο εβδομάδες. Συνολικά οι συγκεντρώσεις $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στο έδαφος παρουσίασαν αύξηση ($199.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $836.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή λίπανσης συνέβαλε στην αύξηση της συγκέντρωσης μετά από δύο εβδομάδες, αν και συνολικά η συγκέντρωση στο έδαφος παρουσίασε διακυμάνσεις σε συνάρτηση με το χρόνο. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στα control υπολογίστηκε ίση με $153.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $491.6 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η ελάχιστη συγκέντρωση βρέθηκε $45.4 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και η μέγιστη $836.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$.



Γράφημα 2: Μεταβολή $\text{NO}_3^- - \text{N}$ συναρτήσει του χρόνου

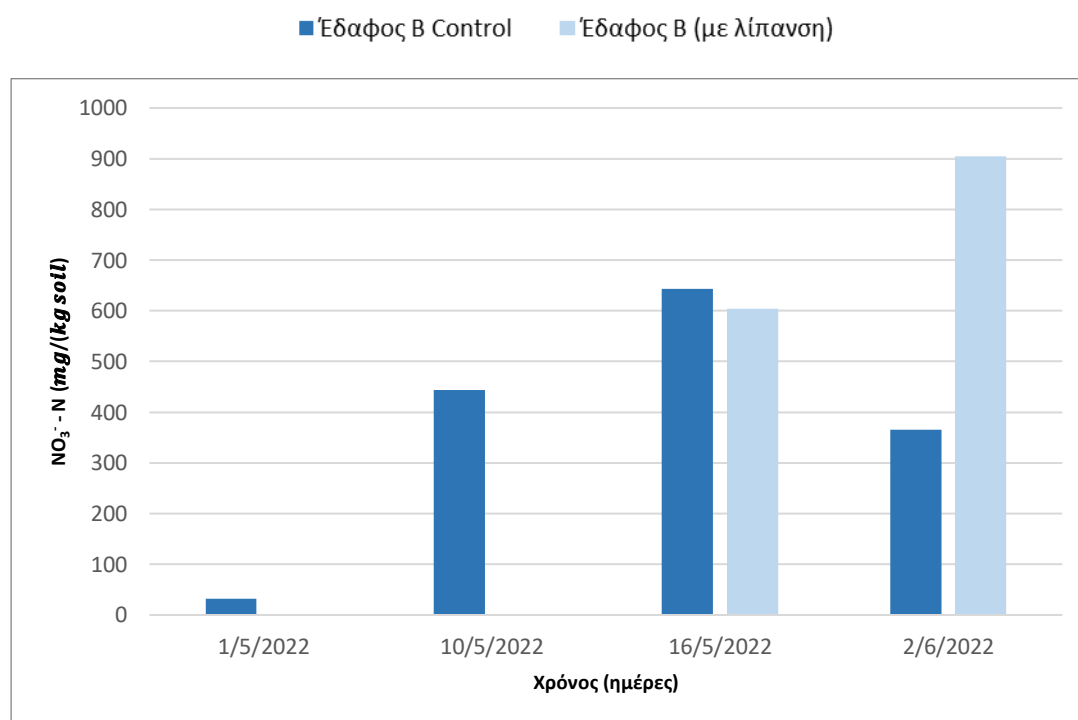
Το **γράφημα 3** συνοψίζει τις μεταβολές της συγκέντρωσης $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στο έδαφος B σε συνάρτηση με το χρόνο. Στην πρώτη μέτρηση, η αρχική συγκέντρωση υπολογίστηκε $47.0 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η συγκέντρωση που εμφανίζεται στη συνέχεια αντιστοιχεί σε μετρήσεις που έγιναν μετά από μια εβδομάδα, όπου παρατηρήθηκε μείωση ($4.6 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$). Μια εβδομάδα αργότερα, εφαρμόστηκε λίπανση συγκέντρωσης 10gN/m^2 σε ένα μέρος του εδάφους, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της. Παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης στα control ($39.7 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$) και στο έδαφος που είχε υποστεί λίπανση ($267.0 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$). Οι τελικές συγκεντρώσεις που εμφανίζονται αντιστοιχούν σε μετρήσεις που έγιναν μετά από δύο εβδομάδες. Συνολικά οι συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στο έδαφος παρουσίασαν μείωση ($12.6 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $17.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα).

Διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή λίπανσης συνέβαλε στην ταχεία αύξηση της συγκέντρωσης, αν και συνολικά η συγκέντρωση στο έδαφος παρουσίασε διακυμάνσεις σε συνάρτηση με το χρόνο. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στα control υπολογίστηκε ίση με $25.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $142.5 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η ελάχιστη συγκέντρωση βρέθηκε $4.6 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και η μέγιστη $267 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$.



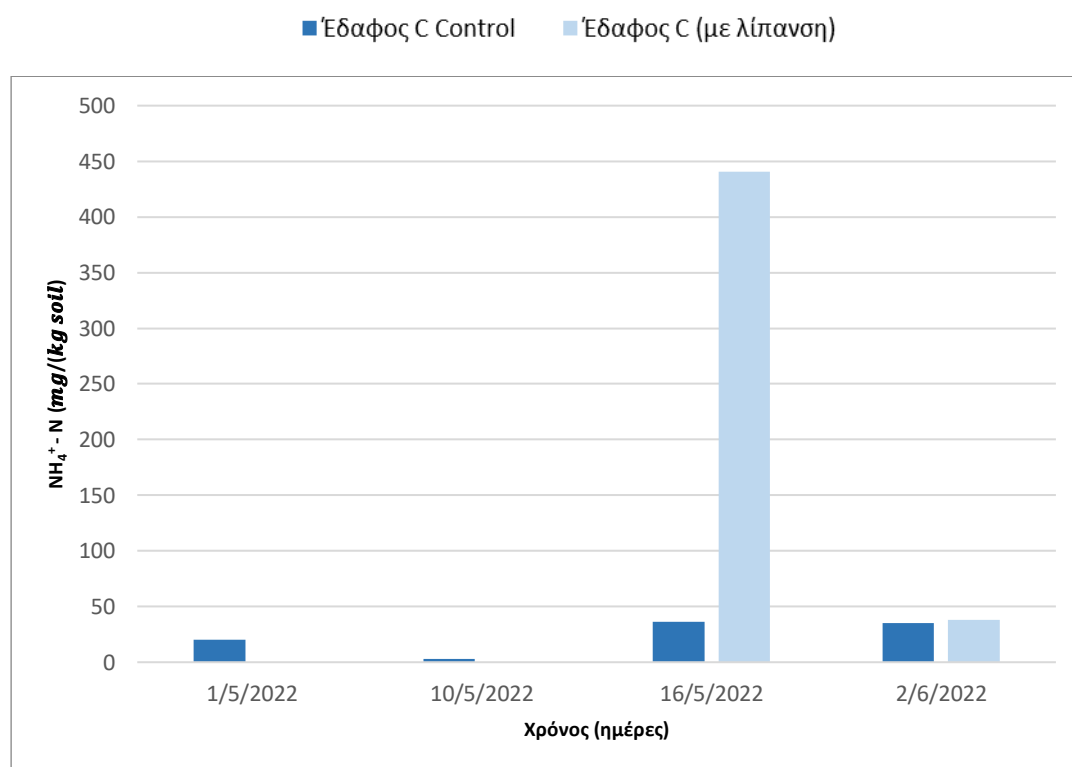
Γράφημα 3: Μεταβολή $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 4** συνοψίζει τις μεταβολές της συγκέντρωσης $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στο έδαφος B σε συνάρτηση με το χρόνο. Στην πρώτη μέτρηση, η αρχική συγκέντρωση υπολογίστηκε $32.0 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η συγκέντρωση που εμφανίζεται στη συνέχεια αντιστοιχεί σε μετρήσεις που έγιναν μετά από μια εβδομάδα, όπου παρατηρήθηκε αύξηση ($444.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$). Μια εβδομάδα αργότερα, εφαρμόστηκε λίπανση συγκέντρωσης 10gN/m^2 σε ένα μέρος του εδάφους, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση της συγκέντρωσης στα control και στο έδαφος που είχε υποστεί λίπανση ($643.8 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $603.8 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Οι τελικές συγκεντρώσεις που εμφανίζονται αντιστοιχούν σε μετρήσεις που έγιναν μετά από δύο εβδομάδες. Παρατηρήθηκε μείωση της συγκέντρωσης στα control και αύξηση της συγκέντρωσης στο έδαφος που είχε υποστεί λίπανση ($365.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $904.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή λίπανσης συνέβαλε στην αύξηση της συγκέντρωσης μετά από δύο εβδομάδες, αν και συνολικά η συγκέντρωση στο έδαφος παρουσίασε διακυμάνσεις σε συνάρτηση με το χρόνο. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στα control υπολογίστηκε ίση με $371.4 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $754.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η ελάχιστη συγκέντρωση βρέθηκε $32.0 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και η μέγιστη $904.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$.



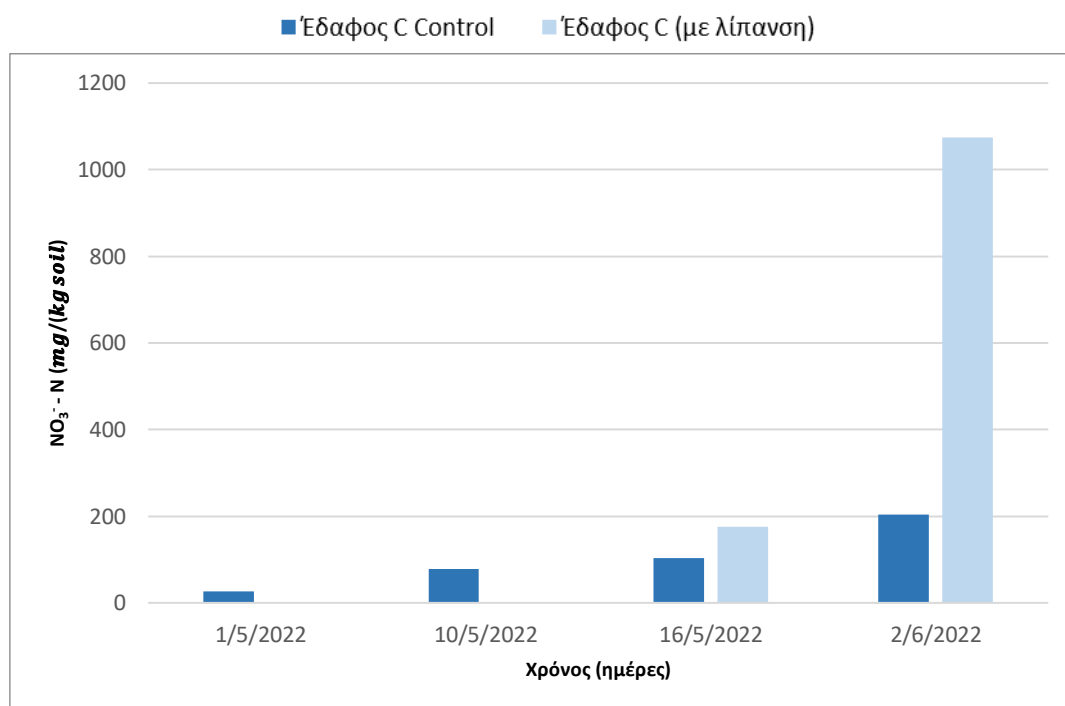
Γράφημα 4: Μεταβολή $\text{NO}_3^- - \text{N}$ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 5** συνοψίζει τις μεταβολές της συγκέντρωσης $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στο έδαφος C σε συνάρτηση με το χρόνο. Στην πρώτη μέτρηση, η αρχική συγκέντρωση υπολογίστηκε $20.4 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η συγκέντρωση που εμφανίζεται στη συνέχεια αντιστοιχεί σε μετρήσεις που έγιναν μετά από μια εβδομάδα, όπου παρατηρήθηκε μείωση ($3.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$). Μια εβδομάδα αργότερα, εφαρμόστηκε λίπανση συγκέντρωσης 10gN/m^2 σε ένα μέρος του εδάφους, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της. Παρατηρήθηκε αύξηση της συγκέντρωσης στα control και στο έδαφος που είχε υποστεί λίπανση ($36.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $440.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Οι τελικές συγκεντρώσεις που εμφανίζονται αντιστοιχούν σε μετρήσεις που έγιναν μετά από δύο εβδομάδες. Συνολικά οι συγκεντρώσεις στο έδαφος παρουσίασαν μείωση ($35.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $37.8 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή λίπανσης συνέβαλε στην απότομη αύξηση της συγκέντρωσης $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, αν και συνολικά οι συγκεντρώσεις στο έδαφος ήταν χαμηλές με μικρές διακυμάνσεις. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στα control υπολογίστηκε ίση με $23.7 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $239.4 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η ελάχιστη συγκέντρωση βρέθηκε $3.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και η μέγιστη $440.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$.



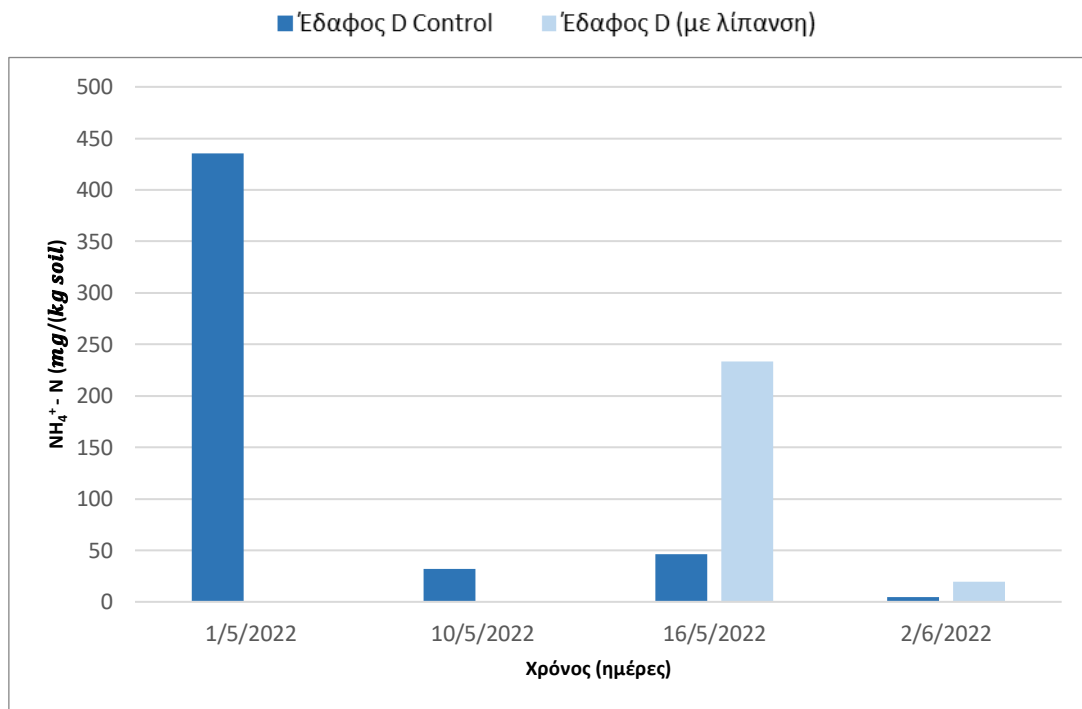
Γράφημα 5: Μεταβολή $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 6** συνοψίζει τις μεταβολές της συγκέντρωσης $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στο έδαφος C σε συνάρτηση με το χρόνο. Στην πρώτη μέτρηση, η αρχική συγκέντρωση υπολογίστηκε $26.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η συγκέντρωση που εμφανίζεται στη συνέχεια αντιστοιχεί σε μετρήσεις που έγιναν μετά από μια εβδομάδα, όπου παρατηρήθηκε αύξηση ($77.8 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$). Μετά από μία εβδομάδα εφαρμόστηκε λίπανση συγκέντρωσης 10gN/m^2 , σε ένα μέρος του εδάφους, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση της συγκέντρωσης $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στα control και στο έδαφος που είχε υποστεί λίπανση ($103.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $175.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Οι τελικές συγκεντρώσεις που εμφανίζονται αντιστοιχούν σε μετρήσεις που έγιναν μετά από δύο εβδομάδες. Συνολικά οι συγκεντρώσεις $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στο έδαφος παρουσίασαν αύξηση ($203.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $1074.5 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή λίπανσης συνέβαλε στην αύξηση της συγκέντρωσης μετά από δύο εβδομάδες, αν και συνολικά οι συγκεντρώσεις παρουσίασαν αύξηση σε συνάρτηση με το χρόνο. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στα control υπολογίστηκε ίση με $23.7 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $239.4 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η ελάχιστη συγκέντρωση βρέθηκε $3.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και η μέγιστη $1074.5 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$.



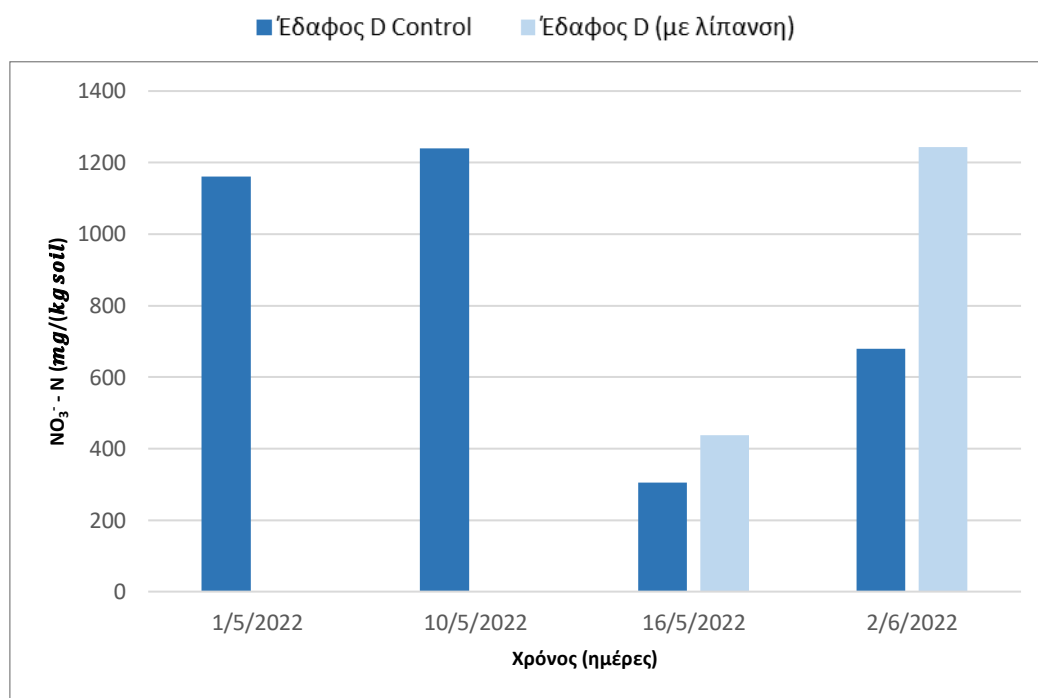
Γράφημα 6: Μεταβολή $\text{NO}_3^- - \text{N}$ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 7** συνοψίζει τις μεταβολές των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στο έδαφος D σε συνάρτηση με το χρόνο. Στην πρώτη μέτρηση, η αρχική συγκέντρωση υπολογίστηκε $435.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η συγκέντρωση που εμφανίζεται στη συνέχεια αντιστοιχεί σε μετρήσεις που έγιναν μετά από μια εβδομάδα, όπου παρατηρήθηκε μείωση ($31.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$). Μία εβδομάδα αργότερα, εφαρμόστηκε λίπανση συγκέντρωσης 10gN/m^2 σε ένα μέρος του εδάφους, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ συνολικά στο έδαφος ($46.2 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $233.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Οι τελικές συγκεντρώσεις που εμφανίζονται αντιστοιχούν σε μετρήσεις που έγιναν μετά από δύο εβδομάδες. Συνολικά, οι συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στο έδαφος παρουσίασαν μείωση ($4.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $19.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή λίπανσης συνέβαλε στην απότομη αύξηση της συγκέντρωσης, αν και η μέγιστη συγκέντρωση στο έδαφος βρέθηκε στην αρχή της διαδικασίας. Συνολικά η συγκέντρωση μειώθηκε σε συνάρτηση με το χρόνο. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στα control υπολογίστηκε ίση με $129.4 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $126.2 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η ελάχιστη συγκέντρωση βρέθηκε $4.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και η μέγιστη $435.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$.



Γράφημα 7: Μεταβολή $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 8** συνοψίζει τις μεταβολές της συγκέντρωσης $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στο έδαφος D σε συνάρτηση με το χρόνο. Στην πρώτη μέτρηση, η αρχική συγκέντρωση υπολογίστηκε $1160.3 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η συγκέντρωση που εμφανίζεται στη συνέχεια αντιστοιχεί σε μετρήσεις που έγιναν μετά από μια εβδομάδα, όπου παρατηρήθηκε αύξηση ($1238.9 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$). Μια εβδομάδα αργότερα, εφαρμόστηκε λίπανση συγκέντρωσης 10gN/m^2 σε ένα μέρος του εδάφους, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση της συγκέντρωσης στο έδαφος ($305.7 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $438.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Οι τελικές συγκεντρώσεις που εμφανίζονται αντιστοιχούν σε μετρήσεις που έγιναν μετά από δύο εβδομάδες. Συνολικά οι συγκεντρώσεις $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στο έδαφος παρουσίασαν αύξηση ($679.4 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και $1243.5 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$, αντίστοιχα). Διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή λίπανσης συνέβαλε στην αύξηση της συγκέντρωσης μετά από δύο εβδομάδες, αν και συνολικά η συγκέντρωση στο έδαφος ήταν αυξημένη. Η μέση τιμή της συγκέντρωσης $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στα control υπολογίστηκε ίση με $846.1 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $840.8 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$. Η ελάχιστη συγκέντρωση βρέθηκε $305.7 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$ και η μέγιστη $1243.5 \frac{\text{mg}}{\text{kg soil}}$.

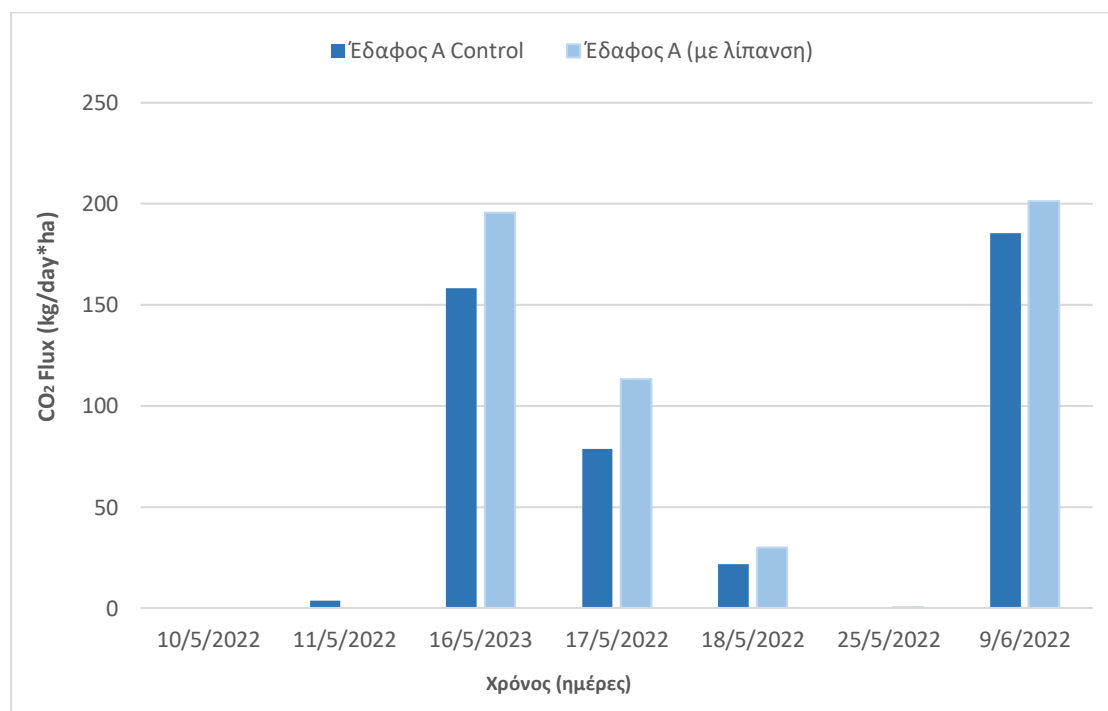


Γράφημα 8: Μεταβολή $\text{NO}_3^- - \text{N}$ συναρτήσει του χρόνου

3.2 Εκπομπή Αερίων Θερμοκηπίου και Αμμονίας από το Έδαφος

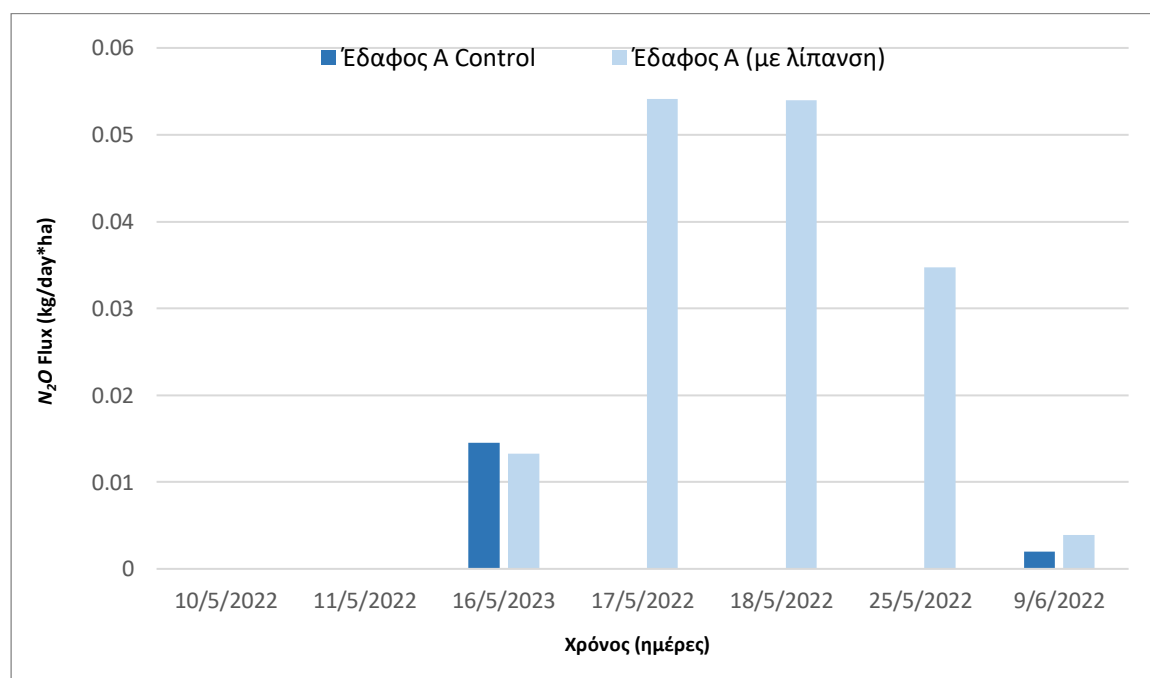
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται πληροφορία σχετικά με το ρυθμό έκλυσης των αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και της NH_3 από το έδαφος. Σε κάθε μέτρηση έχει υπολογιστεί και εμφανίζεται η μέση τιμή.

Το **γράφημα 9** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής του CO_2 στο έδαφος A συναρτήσει του χρόνου. Οι αρχικές δύο (2) μετρήσεις έδειξαν χαμηλό ρυθμό έκλυσης CO_2 ($0.12 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $3 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, **αντίστοιχα**). Μία εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση για να διερευνηθεί η επίδραση της στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 . Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντική αύξηση των εκπομπών από τα control ($158 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Τα εδάφη με λίπανση παρουσίασαν υψηλότερες εκπομπές CO_2 ($195 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$), οι οποίες υπερέβησαν τις αντίστοιχες των control. Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν τις επόμενες δύο (2) ημέρες παρατηρώντας μείωση των εκπομπών από τα control και από τα εδάφη που είχαν υποστεί λίπανση ($78.6 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, $113.3 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $30 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, $22 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, **αντίστοιχα**). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά, όπου παρατηρήθηκαν μεγάλες μειώσεις του ρυθμού ροής για όλες τις επεμβάσεις ($0.02 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.03 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ **αντίστοιχα**). Τέλος, αφού τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και προστέθηκε ποσότητα νερού, πραγματοποιήθηκαν οι τελικές μετρήσεις. Παρατηρήθηκαν αυξημένες ροές από τα control και από τα εδάφη με λίπανση. Οι εκπομπές από τα control βρέθηκαν μικρότερες από εκείνες των εδαφών με λίπανση ($185 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $201 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ **αντίστοιχα**). Η μέση τιμή εκπομπής CO_2 από τα control υπολογίστηκε ίση με $63.9 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $108.1 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$. Η ελάχιστη μέτρηση βρέθηκε $0.02 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και η μέγιστη μέτρηση $201.2 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$.



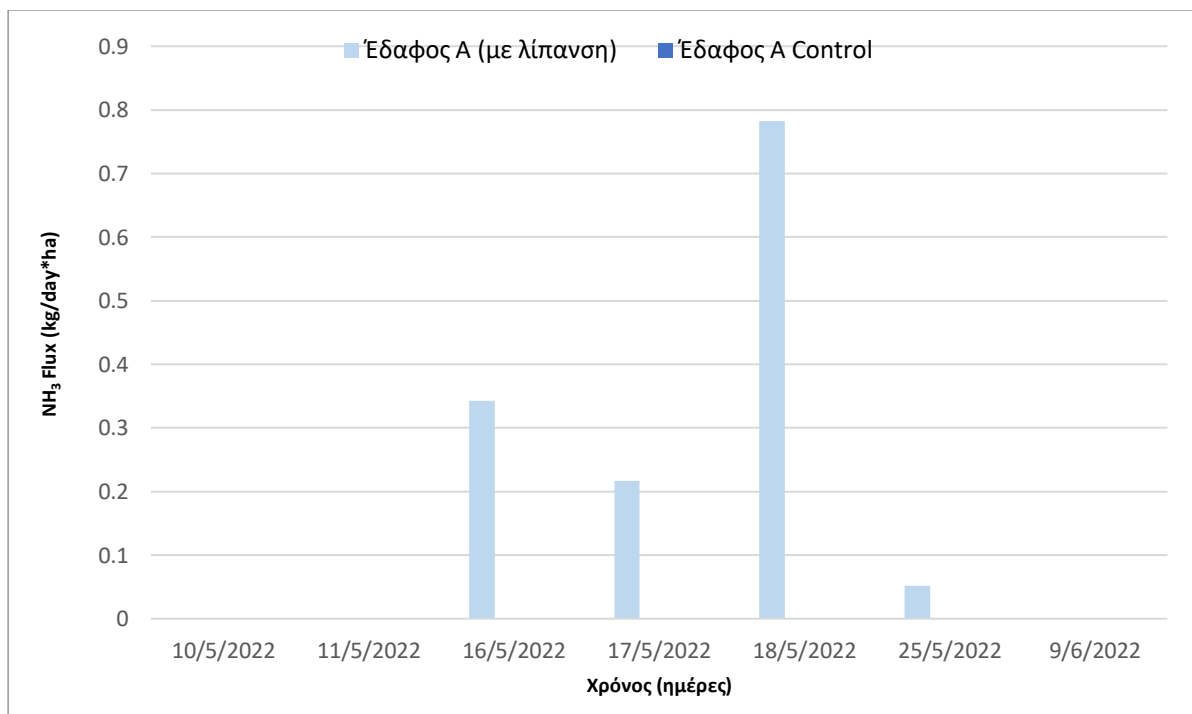
Γράφημα 9: Μεταβολή της ροής CO₂ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 10** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής του N₂O στο έδαφος A συναρτήσει του χρόνου. Οι αρχικές δύο (2) μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης N₂O (**0.001 $\frac{kg}{day*ha}$ και 0.001 $\frac{kg}{day*ha}$, αντίστοιχα**). Μία εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και NH₃. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εκπομπές N₂O από τα control αυξήθηκαν (**0.013 $\frac{kg}{day*ha}$**). Επίσης, τα εδάφη με λίπανση παρουσίασαν υψηλότερες εκπομπές, οι οποίες υπερέβησαν τις αντίστοιχες των control (**0.015 $\frac{kg}{day*ha}$**). Στις επόμενες δύο (2) μετρήσεις οι εκπομπές από τα control και από τα εδάφη που είχαν υποστεί λίπανση παρέμειναν σταθερές (**0.0001 $\frac{kg}{day*ha}$ και 0.054 $\frac{kg}{day*ha}$, αντίστοιχα**). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας ότι οι εκπομπές των control παρέμειναν σταθερές (**0.0001 $\frac{kg}{day*ha}$**), ενώ εκείνες των εδαφών με λίπανση παρουσίασαν μείωση (**0.035 $\frac{kg}{day*ha}$**). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Παρατηρήθηκε ότι η ροή N₂O από τα control αυξήθηκε, ενώ μειώθηκε περαιτέρω από τα εδάφη με λίπανση (**0.002 $\frac{kg}{day*ha}$ και 0.004 $\frac{kg}{day*ha}$ αντίστοιχα**). Η μέση τιμή εκπομπής N₂O από τα control υπολογίστηκε ίση με 0.002 $\frac{kg}{day*ha}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση 0.03 $\frac{kg}{day*ha}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με 0.0001 $\frac{kg}{day*ha}$ και η μέγιστη 0.05 $\frac{kg}{day*ha}$.



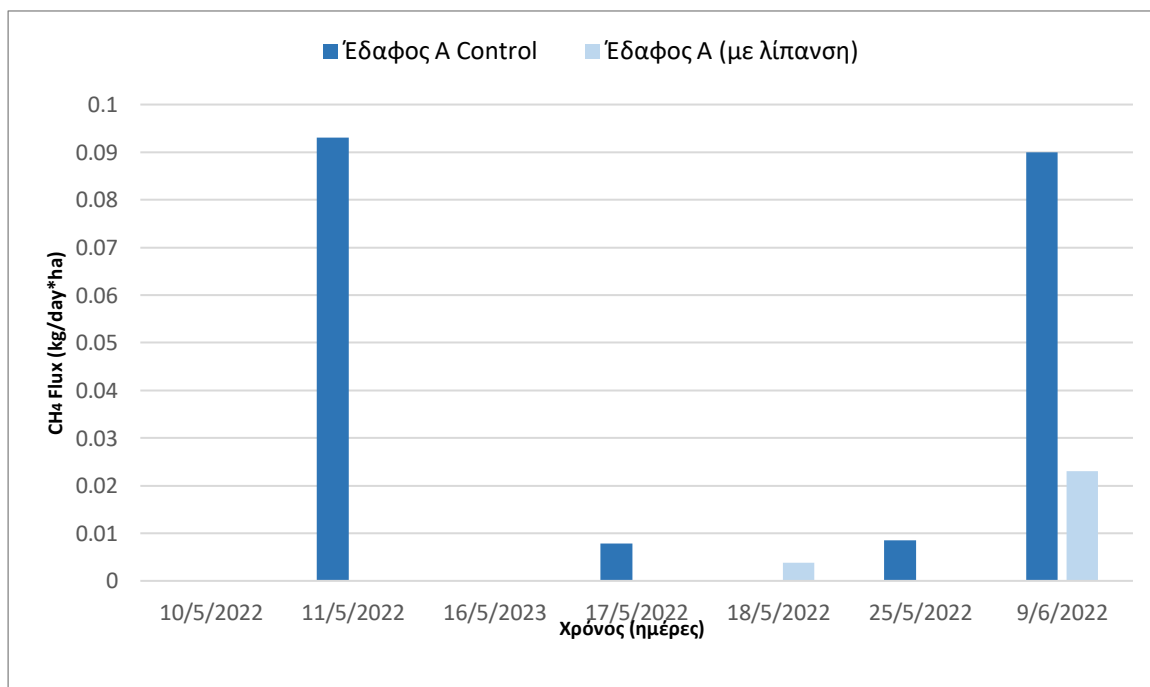
Γράφημα 10: Μεταβολή της ροής N₂O συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 11** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής της NH_3 για το έδαφος A συναρτήσει του χρόνου. Οι αρχικές δύο (2) μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης (**$0.004 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$** και **$0.001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$** , **αντίστοιχα**). Μία εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εκπομπές NH_3 από τα εδάφη με λίπανση αυξήθηκαν (**$0.35 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$**), ενώ οι εκπομπές από τα control παρέμειναν σταθερές (**$0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$**). Στις επόμενες δύο (2) μετρήσεις οι εκπομπές από τα control παρέμειναν σταθερές (**$0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$** και **$0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$** , **αντίστοιχα**). Οι εκπομπές από τα εδάφη με λίπανση παρουσίασαν μείωση (**$0.22 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$**) και στην συνέχεια αύξηση (**$0.78 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$**). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας ότι οι εκπομπές από τα control παρέμειναν σταθερές (**$0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$**), ενώ παρατηρήθηκε μείωση των εκπομπών από τα εδάφη με λίπανση (**$0.05 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$**). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Παρατηρήθηκαν πολύ χαμηλές εκπομπές για όλες τις παρεμβάσεις (**$0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$** και **$0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$** , **αντίστοιχα**). Η μέση τιμή εκπομπής NH_3 από τα control υπολογίστηκε ίση με $0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $0.28 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με $0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και η μέγιστη $0.78 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$.



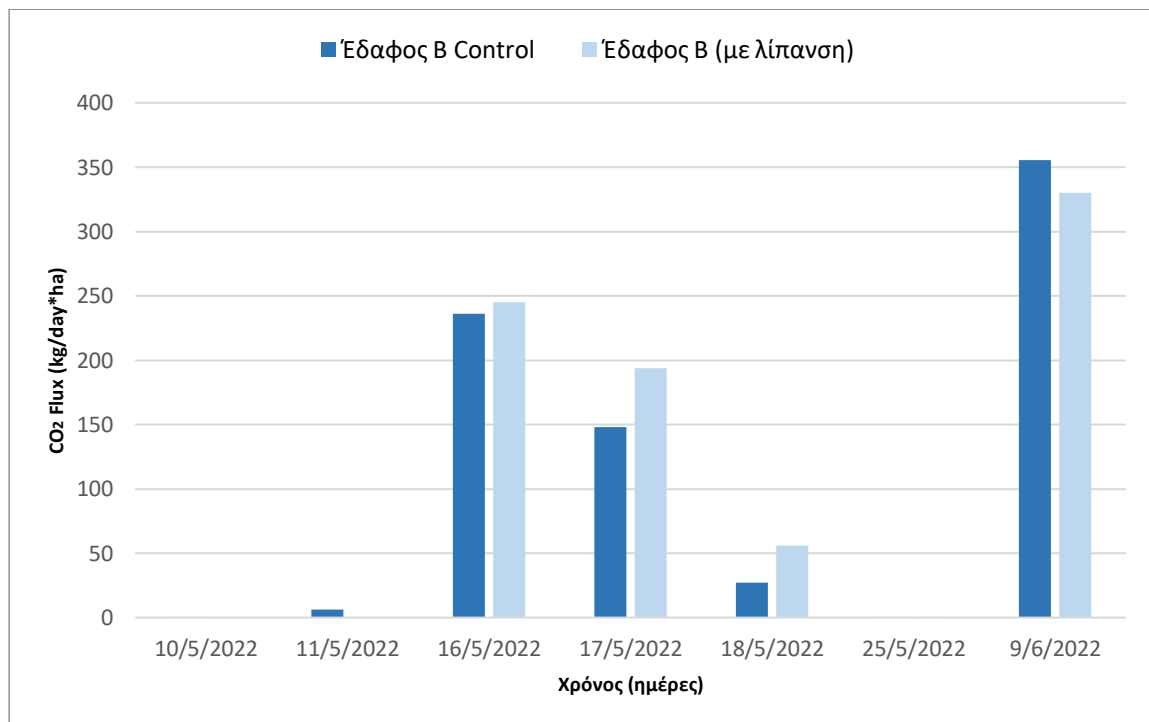
Γράφημα 11: Μεταβολή της ροής NH_3 συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 12** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής CH₄ για το έδαφος Α συναρτήσει του χρόνου. Η πρώτη μέτρηση έδειξε πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$). Η επόμενη μέτρηση (μία ημέρα (1) μετά) έδειξε αύξηση των εκπομπών ($0.09 \frac{kg}{day*ha}$). Μια εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και NH₃. Οι παρατηρούμενες εκπομπές για όλες τις επεμβάσεις ήταν πολύ χαμηλές ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.0001 \frac{kg}{day*ha}$, αντίστοιχα). Την επόμενη ημέρα παρατηρήθηκε αύξηση των εκπομπών CH₄ στα control ($0.008 \frac{kg}{day*ha}$), ενώ παρατηρήθηκαν σταθερές εκπομπές από τα εδάφη με λίπανση ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$). Μία ημέρα αργότερα παρατηρήθηκε μείωση των εκπομπών από τα control ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$) και αύξηση των εκπομπών από τα εδάφη με λίπανση ($0.004 \frac{kg}{day*ha}$). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας αύξηση των εκπομπών από τα control ($0.009 \frac{kg}{day*ha}$) και μείωση των εκπομπών από τα εδάφη με λίπανση ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των εκπομπών για τα control και για τα εδάφη με λίπανση ($0.09 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.02 \frac{kg}{day*ha}$, αντίστοιχα). Η μέση τιμή εκπομπής CH₄ από τα control υπολογίστηκε ίση με $0.03 \frac{kg}{day*ha}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $0.005 \frac{kg}{day*ha}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με $0.0001 \frac{kg}{day*ha}$ και η μέγιστη $0.09 \frac{kg}{day*ha}$.



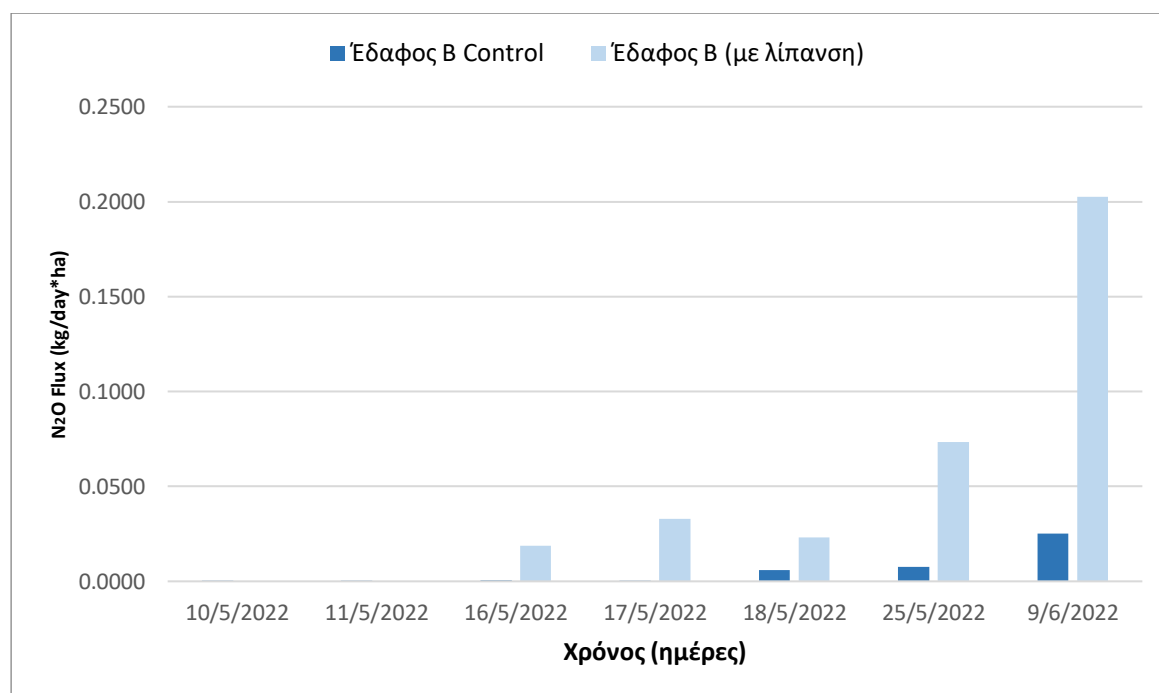
Γράφημα 12: Μεταβολή της ροής CH₄ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 13** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής CO₂ για το έδαφος B συναρτήσει του χρόνου. Οι αρχικές δύο (2) μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης CO₂ ($0.15 \frac{kg}{day*ha}$ και $6.4 \frac{kg}{day*ha}$, **αντίστοιχα**). Μία εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και NH₃. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των εκπομπών για τα control και για τα εδάφη με λίπανση ($236 \frac{kg}{day*ha}$ και $245 \frac{kg}{day*ha}$, **αντίστοιχα**). Οι επόμενες δύο (2) μετρήσεις έδειξαν μείωση των εκπομπών από τα control και από τα εδάφη με λίπανση ($148 \frac{kg}{day*ha}$, $194 \frac{kg}{day*ha}$ και $27 \frac{kg}{day*ha}$, $56 \frac{kg}{day*ha}$, **αντίστοιχα**). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας περαιτέρω μειώσεις των εκπομπών από τα control και από τα εδάφη με λίπανση ($0.044 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.031 \frac{kg}{day*ha}$, **αντίστοιχα**). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των εκπομπών για τα control και για τα εδάφη με λίπανση ($355 \frac{kg}{day*ha}$ και $330 \frac{kg}{day*ha}$, **αντίστοιχα**). Η μέση τιμή εκπομπής CO₂ από τα control υπολογίστηκε ίση με $110.5 \frac{kg}{day*ha}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $164.9 \frac{kg}{day*ha}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με $0.03 \frac{kg}{day*ha}$ και η μέγιστη $355.4 \frac{kg}{day*ha}$.



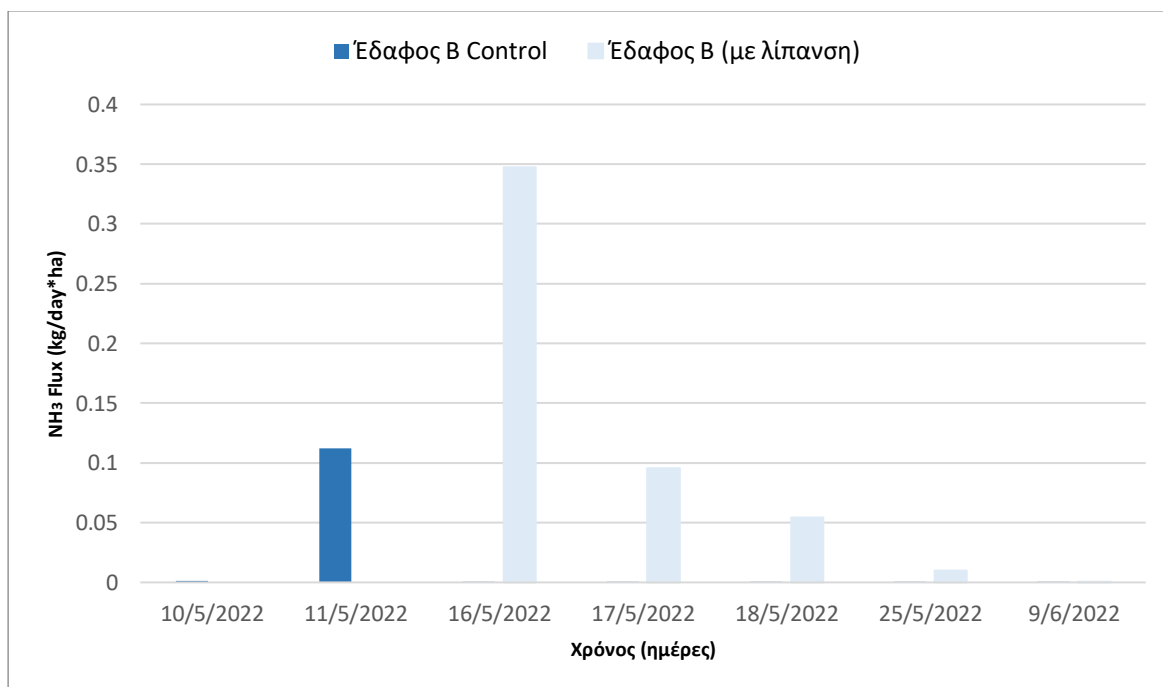
Γράφημα 13: Μεταβολή της ροής CO₂ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 14** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής N_2O για το έδαφος B συναρτήσει του χρόνου. Οι αρχικές δύο (2) μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης (**$0.0001 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.0001 \frac{kg}{day*ha}$, αντίστοιχα**). Μία εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 . Παρατηρήθηκε σταθερή απελευθέρωση N_2O από τα control (**$0.0004 \frac{kg}{day*ha}$**). Στα εδάφη με λίπανση παρατηρήθηκε αύξηση των εκπομπών, παρατηρώντας υψηλότερες εκπομπές από τις αντίστοιχες των control (**$0.02 \frac{kg}{day*ha}$**). Την επόμενη ημέρα παρατηρήθηκε σταθερή ροή από τα control (**$0.0001 \frac{kg}{day*ha}$**) και αύξηση των εκπομπών από τα εδάφη με λίπανση (**$0.03 \frac{kg}{day*ha}$**). Μια ημέρα αργότερα παρατηρήθηκε αύξηση των εκπομπών από τα control (**$0.006 \frac{kg}{day*ha}$**) και μείωση των εκπομπών από τα εδάφη με λίπανση (**$0.02 \frac{kg}{day*ha}$**). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας αύξηση των εκπομπών από τα control (**$0.008 \frac{kg}{day*ha}$**) και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση (**$0.08 \frac{kg}{day*ha}$**). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Παρατηρήθηκαν αυξημένες ροές N_2O για όλες τις επεμβάσεις (**$0.03 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.21 \frac{kg}{day*ha}$ αντίστοιχα**). Η μέση τιμή εκπομπής N_2O από τα control υπολογίστηκε ίση με $0.006 \frac{kg}{day*ha}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $0.07 \frac{kg}{day*ha}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με $0.0001 \frac{kg}{day*ha}$ και η μέγιστη $0.21 \frac{kg}{day*ha}$.



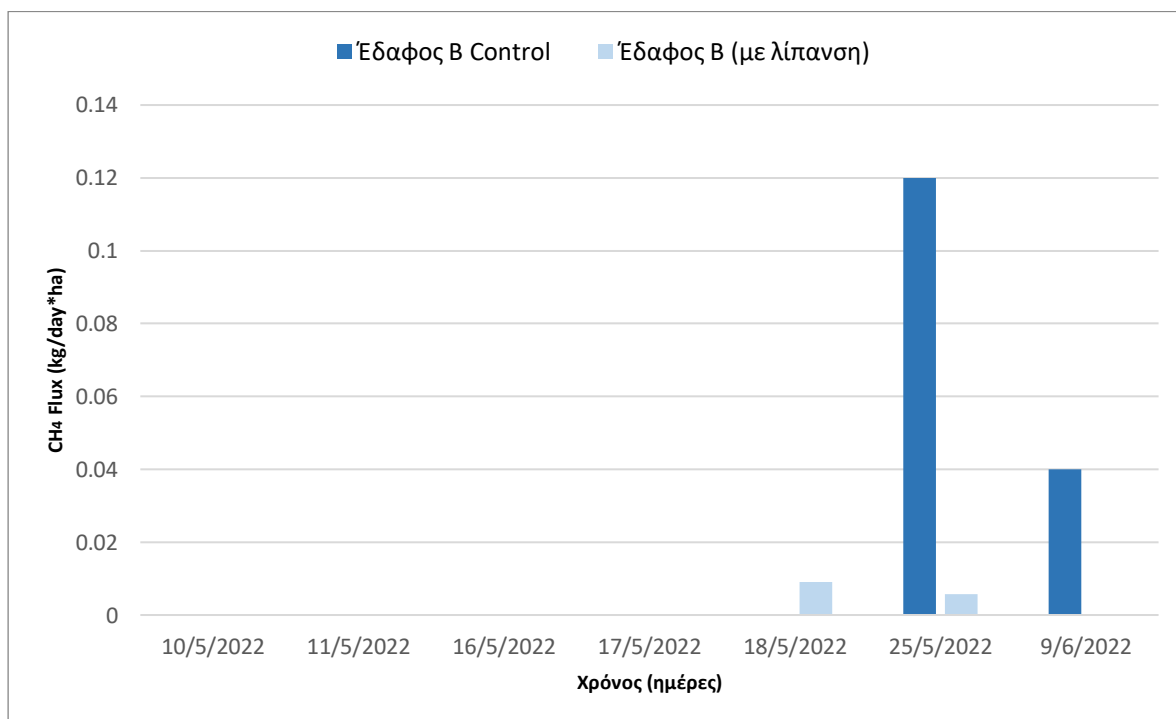
Γράφημα 14: Μεταβολή της ροής N_2O συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 15** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής NH_3 στο έδαφος B συναρτήσει του χρόνου. Η πρώτη μέτρηση έδειξε πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Η επόμενη μέτρηση (μία (1) ημέρα μετά) έδειξε αύξηση της ροής ($0.11 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Μία εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και της NH_3 . Παρατηρήθηκε μείωση της ροής NH_3 από τα control ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$), ενώ παρατηρήθηκε μεγάλη αύξηση των εκπομπών από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση ($0.35 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Την επόμενη ημέρα παρατηρήθηκαν σταθερές εκπομπές από τα control ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$) και μείωση των εκπομπών από τα εδάφη με λίπανση ($0.10 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Μια ημέρα αργότερα οι εκπομπές από τα control ήταν χαμηλές ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$) και από τα εδάφη με λίπανση μειωμένες ($0.05 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας σταθερές εκπομπές από τα control ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$) και μείωση των εκπομπών από τα εδάφη με λίπανση ($0.001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν σταθερή ροή από τα control και μείωση των εκπομπών από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα). Η μέση τιμή εκπομπής NH_3 από τα control υπολογίστηκε ίση με $0.02 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $0.10 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με $0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και η μέγιστη $0.35 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$.



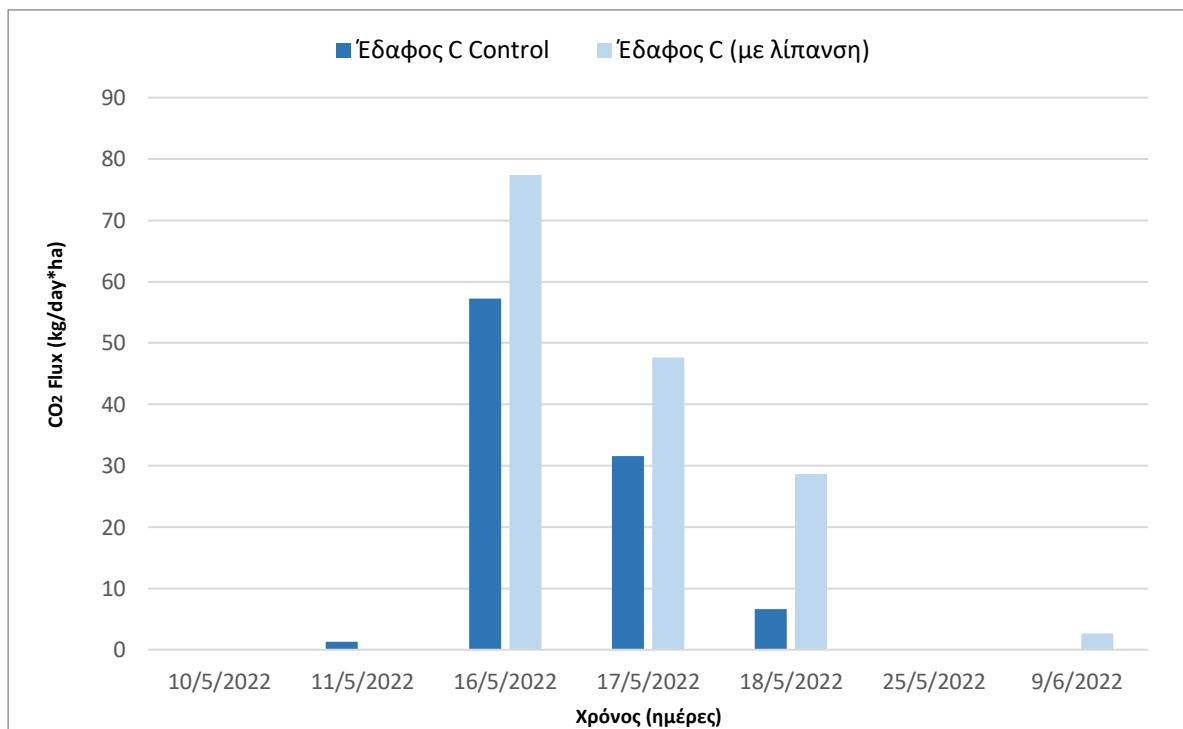
Γράφημα 15: Μεταβολή της ροής NH_3 συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 16** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής CH₄ στο έδαφος B συναρτήσει του χρόνου. Οι αρχικές δύο (2) μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης CH₄ (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Μετά από μία εβδομάδα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και NH₃. Παρατηρήθηκαν σταθερές εκπομπές από τα control και τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$**). Οι επόμενες δύο (2) μετρήσεις έδειξαν, επίσης, σταθερή ροή από τα control και από τα εδάφη με λίπανση (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας αυξήσεις της ροής για τα control (**0.12 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$**) και για τα εδάφη με λίπανση (**0.01 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$**). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση της ροής από τα control (**0.04 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$**) και από τα εδάφη με λίπανση (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$**). Η μέση τιμή εκπομπής CH₄ από τα control υπολογίστηκε ίση με 0.02 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση 0.003 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και η μέγιστη 0.12 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$.



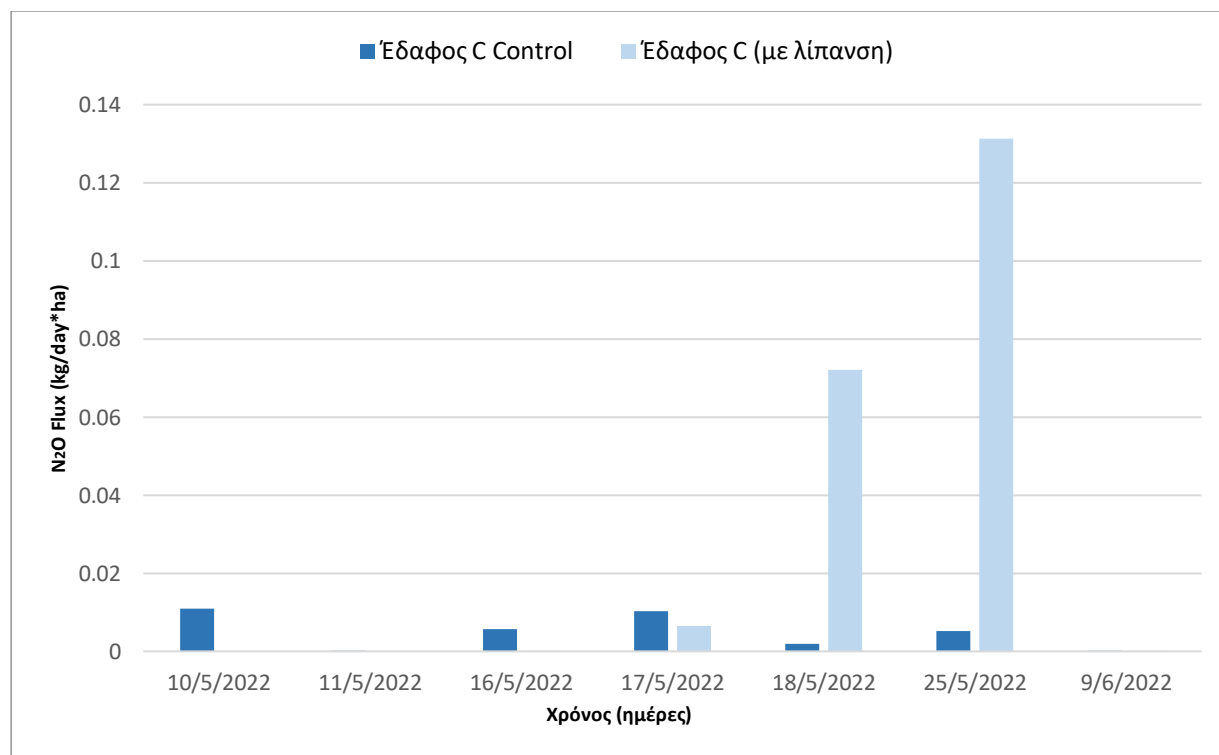
Γράφημα 16: Μεταβολή της ροής CH₄ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 17** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής CO₂ στο έδαφος C συναρτήσει του χρόνου. Οι αρχικές δύο (2) μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης (**0.07 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 1.40 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Μία εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και NH₃. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των εκπομπών στα control και στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση (**57.20 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 77.30 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ αντίστοιχα**). Την επόμενη ημέρα παρατηρήθηκε μείωση της ροής στα control και στα εδάφη με λίπανση (**31.6 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, 47.6 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ αντίστοιχα**). Μια ημέρα αργότερα παρατηρήθηκε περαιτέρω μείωση των εκπομπών για όλες τις παρεμβάσεις (**6.60 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 28.7 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας περαιτέρω μείωση των εκπομπών στα control και στα εδάφη που είχαν υποστεί λίπανση (**0.01 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 0.02 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση των εκπομπών από τα control και αύξηση των εκπομπών από τα εδάφη με λίπανση (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 2.71 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Η μέση τιμή εκπομπής CO₂ από τα control υπολογίστηκε ίση με 13.8 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση 31.3 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και η μέγιστη 77.3 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$.



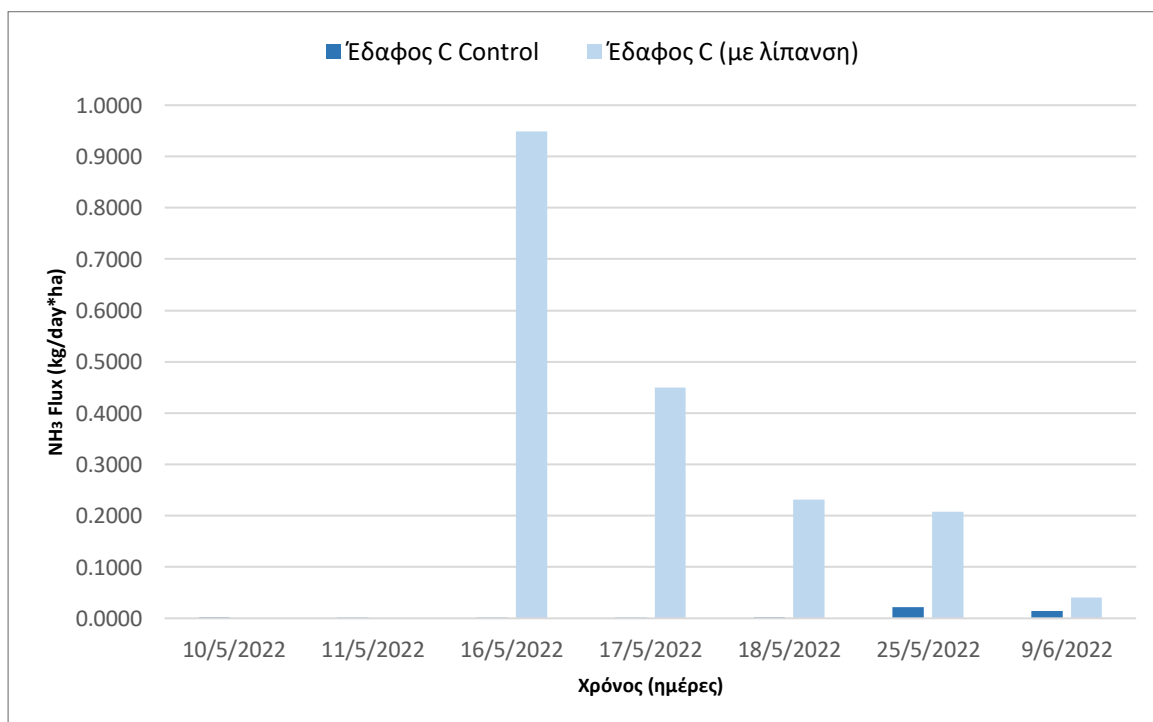
Γράφημα 17: Μεταβολή της ροής CO₂ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 18** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής N_2O στο έδαφος C συναρτήσει του χρόνου. Η πρώτη μέτρηση έδειξε πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης ($0.011 \frac{kg}{day*ha}$). Η επόμενη μέτρηση (μία (1) ημέρα μετά) έδειξε μειωμένη έκλυση ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$). Μετά από μία εβδομάδα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εκπομπές αυξήθηκαν στα control και παρέμειναν σταθερές στα εδάφη με λίπανση ($0.006 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.0001 \frac{kg}{day*ha}$, **αντίστοιχα**). Την επόμενη ημέρα, οι εκπομπές αυξήθηκαν στα control και στα εδάφη με λίπανση ($0.01 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.007 \frac{kg}{day*ha}$, **αντίστοιχα**). Μια ημέρα αργότερα οι εκπομπές από τα control μειώθηκαν και οι εκπομπές από τα εδάφη με λίπανση αυξήθηκαν ($0.002 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.07 \frac{kg}{day*ha}$, **αντίστοιχα**). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας αυξημένες εκπομπές στα control και στα εδάφη με λίπανση ($0.005 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.13 \frac{kg}{day*ha}$, **αντίστοιχα**). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν μείωση των εκπομπών για τα control και για τα εδάφη με λίπανση ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.0001 \frac{kg}{day*ha}$, **αντίστοιχα**). Η μέση τιμή εκπομπής N_2O από τα control υπολογίστηκε ίση με $0.005 \frac{kg}{day*ha}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $0.04 \frac{kg}{day*ha}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με $0.0001 \frac{kg}{day*ha}$ και η μέγιστη $0.13 \frac{kg}{day*ha}$.



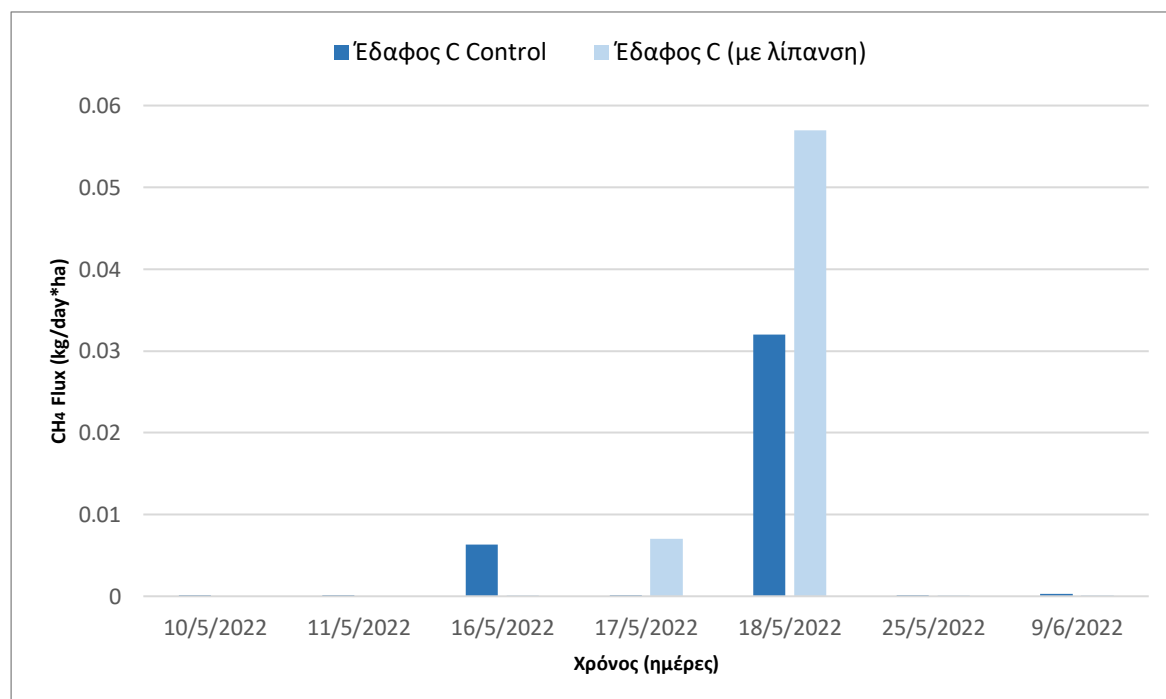
Γράφημα 18: Μεταβολή της ροής N_2O συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 19** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής NH_3 στο έδαφος C συναρτήσει του χρόνου. Η πρώτη μέτρηση έδειξε πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης ($0.002 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Η επόμενη μέτρηση (μία (1) ημέρα μετά) έδειξε μείωση των εκπομπών NH_3 ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Μία εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση των αερίων του θερμοκηπίου και της NH_3 . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εκπομπές NH_3 από τα control ήταν σταθερές, ενώ οι εκπομπές από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση αυξήθηκαν ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.95 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα). Την επόμενη ημέρα οι εκπομπές NH_3 από τα control ήταν σταθερές, ενώ από τα εδάφη με λίπανση μειώθηκαν ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.45 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Μια ημέρα αργότερα παρατηρήθηκε ότι οι εκπομπές από τα control αυξήθηκαν και μειώθηκαν περαιτέρω στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση ($0.002 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.23 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας ότι η ποσότητα NH_3 που απελευθερώθηκε από τα control αυξήθηκε, ενώ από τα εδάφη με λίπανση μειώθηκε ($0.23 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.21 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Παρατηρήθηκε μείωση της ροής NH_3 για όλες τις παρεμβάσεις ($0.014 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.04 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα). Η μέση τιμή εκπομπής NH_3 από τα control υπολογίστηκε ίση με $0.006 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $0.29 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με $0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και η μέγιστη $0.95 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$.



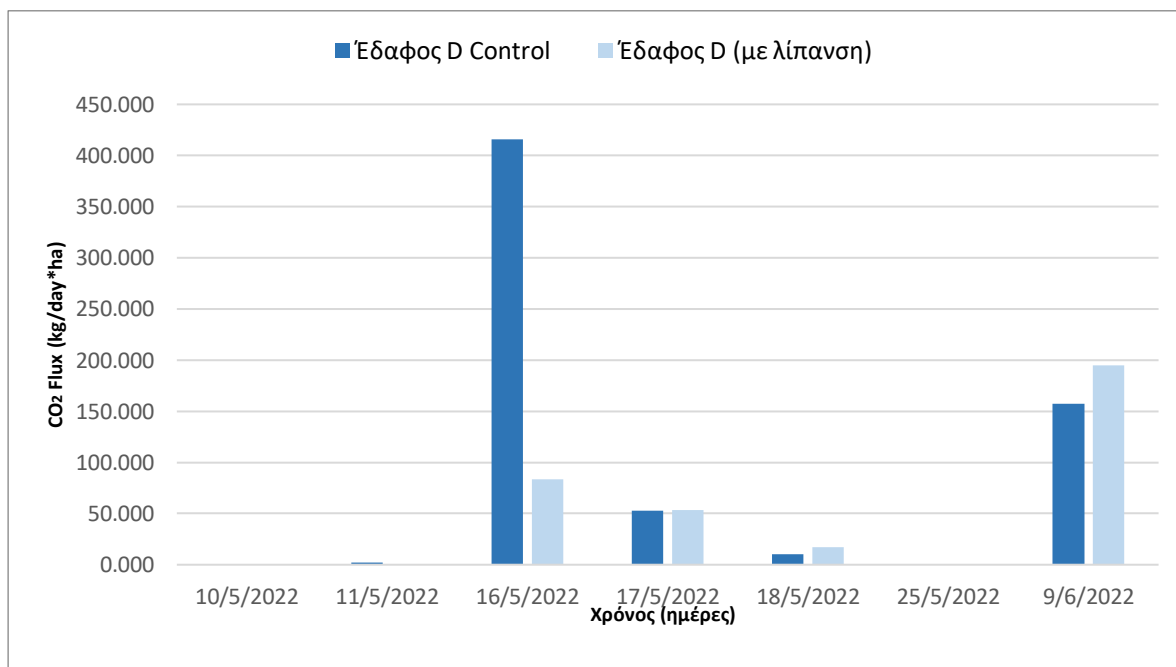
Γράφημα 19: Μεταβολή της ροής NH_3 συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 20** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής CH₄ στο έδαφος C συναρτήσει του χρόνου. Οι αρχικές δύο (2) μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης CH₄ (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα**). Μία εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση των αερίων του θερμοκηπίου και NH₃. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση των εκπομπών στα control και σταθερές εκπομπές από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση (**0.006 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα**). Την επόμενη ημέρα οι εκπομπές CH₄ από τα control παρέμειναν σταθερές, ενώ παρατηρήθηκαν αυξημένες ροές από τα εδάφη με λίπανση (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και 0.007 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα**). Την επόμενη ημέρα παρατηρήθηκαν αυξημένες ροές από τα control και από τα εδάφη με λίπανση (**0.03 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και 0.06 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα**). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας μείωση των εκπομπών για όλες τις παρεμβάσεις (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα**). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Παρατηρήθηκε αύξηση των εκπομπών από τα control και σταθερές εκπομπές από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση (**0.0003 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$**). Η μέση τιμή εκπομπής CH₄ από τα control υπολογίστηκε ίση με 0.006 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση 0.01 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και η μέγιστη 0.06 $\frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$.



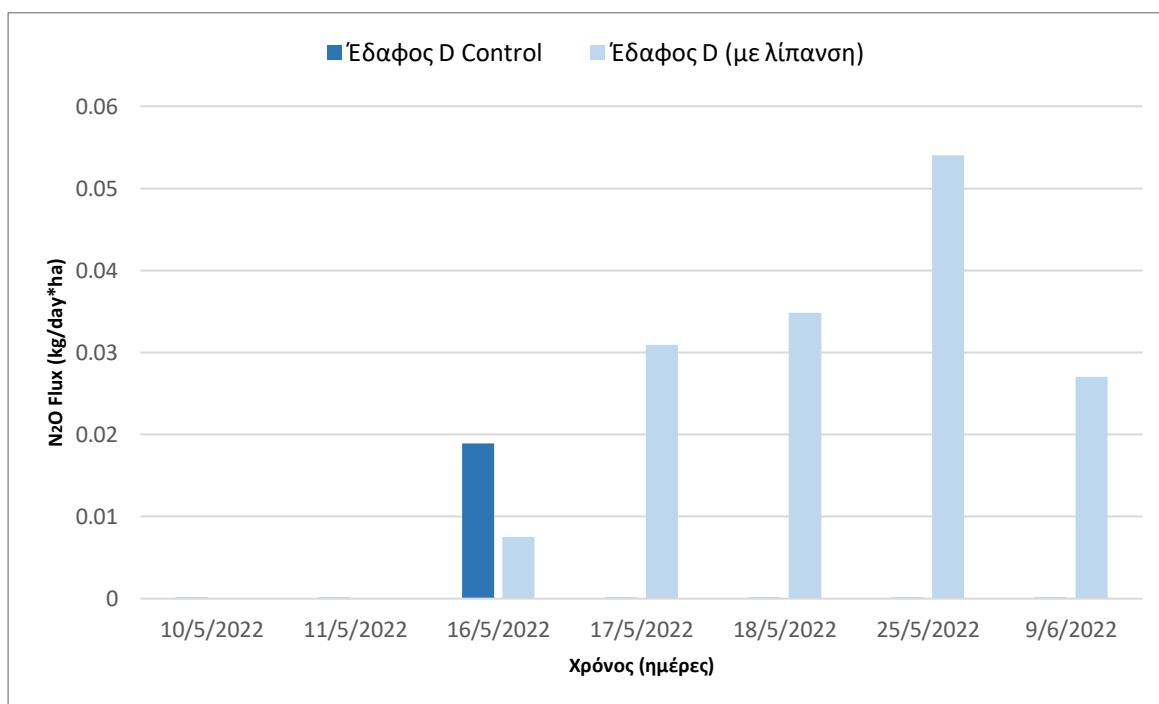
Γράφημα 20: Μεταβολή της ροής CH₄ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 21** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής CO₂ στο έδαφος D συναρτήσει του χρόνου. Οι αρχικές δύο (2) μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης (**0.09 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$ και 1.83 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$, αντίστοιχα**). Μετά από μία εβδομάδα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση των αερίων του θερμοκηπίου και της NH₃. Παρατηρήθηκε αύξηση τη ροής από τα control και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση (**416 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$ και 83.5 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$, αντίστοιχα**). Την επόμενη ημέρα παρατηρήθηκε μείωση των εκπομπών από τα control και από τα εδάφη με λίπανση (**53.1 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$ και 53.5 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$, αντίστοιχα**). Μια ημέρα αργότερα οι εκπομπές μειώθηκαν περαιτέρω στα control και στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση (**10.3 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$ και 16.9 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$, αντίστοιχα**). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας περαιτέρω μείωση των εκπομπών από τα control και από τα εδάφη με λίπανση (**0.003 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$ και 0.02 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$, αντίστοιχα**). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Παρατηρήθηκαν αυξημένες εκπομπές από τα control και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση (**157.5 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$ και 195.1 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$, αντίστοιχα**). Η μέση τιμή εκπομπής CO₂ από τα control υπολογίστηκε ίση με 91.3 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση 69.8 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με 0.003 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$ και η μέγιστη 416 $\frac{\text{kg}}{\text{day}\cdot\text{ha}}$.



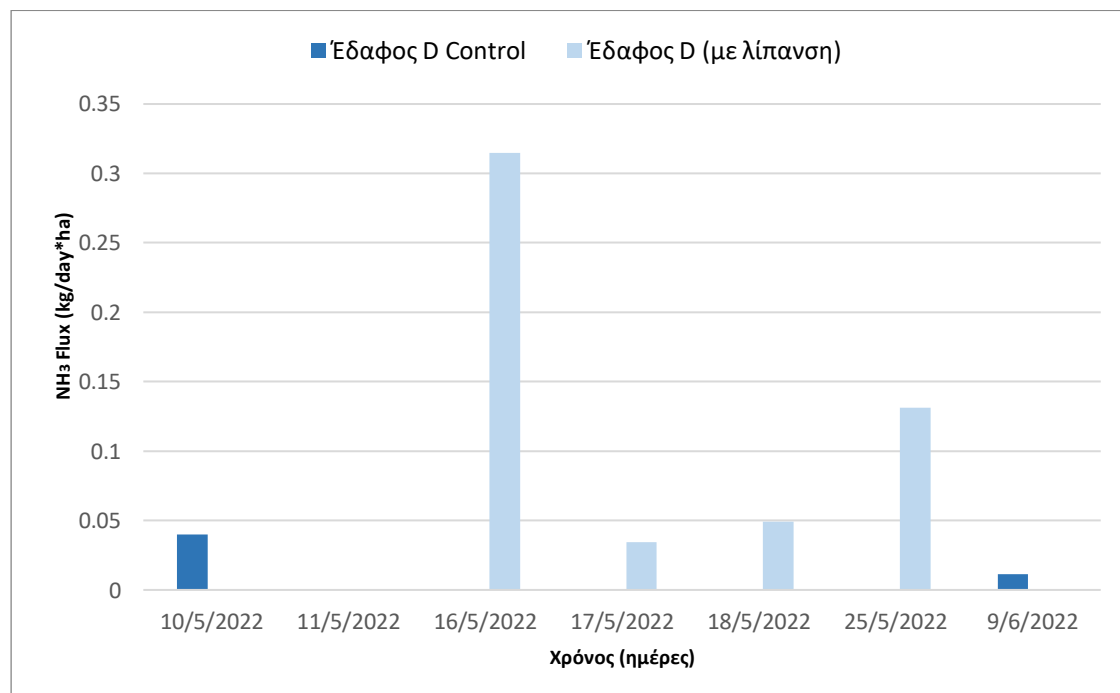
Γράφημα 21: Μεταβολή της ροής CO₂ συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 22** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής N_2O στο έδαφος D συναρτήσει του χρόνου. Η πρώτη μέτρηση έδειξε πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$). Στην επόμενη μέτρηση (μία (1) ημέρα μετά) παρατηρήθηκε σταθερή ροή ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$). Μια εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση των αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 . Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση της ροής στα control και στα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση ($0.02 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.008 \frac{kg}{day*ha}$). Την επόμενη ημέρα, οι ροές από τα control μειώθηκαν και οι ροές από τα εδάφη με λίπανση αυξήθηκαν ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.031 \frac{kg}{day*ha}$). Μια ημέρα αργότερα παρατηρήθηκε σταθερή ροή από τα control και αυξημένες εκπομπές από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.004 \frac{kg}{day*ha}$, αντίστοιχα). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας ότι η ροή από τα control παρέμεινε σταθερή, ενώ παρατηρήθηκαν αυξημένες εκπομπές από τα εδάφη με λίπανση ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.054 \frac{kg}{day*ha}$). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Παρατηρήθηκε ότι η ροή από τα control παρέμεινε σταθερή και η ροή από τα εδάφη που είχαν υποστεί λίπανση μειώθηκε ($0.0001 \frac{kg}{day*ha}$ και $0.027 \frac{kg}{day*ha}$, αντίστοιχα). Η μέση τιμή εκπομπής N_2O από τα control υπολογίστηκε ίση με $0.003 \frac{kg}{day*ha}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $0.03 \frac{kg}{day*ha}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με $0.0001 \frac{kg}{day*ha}$ και η μέγιστη $0.05 \frac{kg}{day*ha}$.



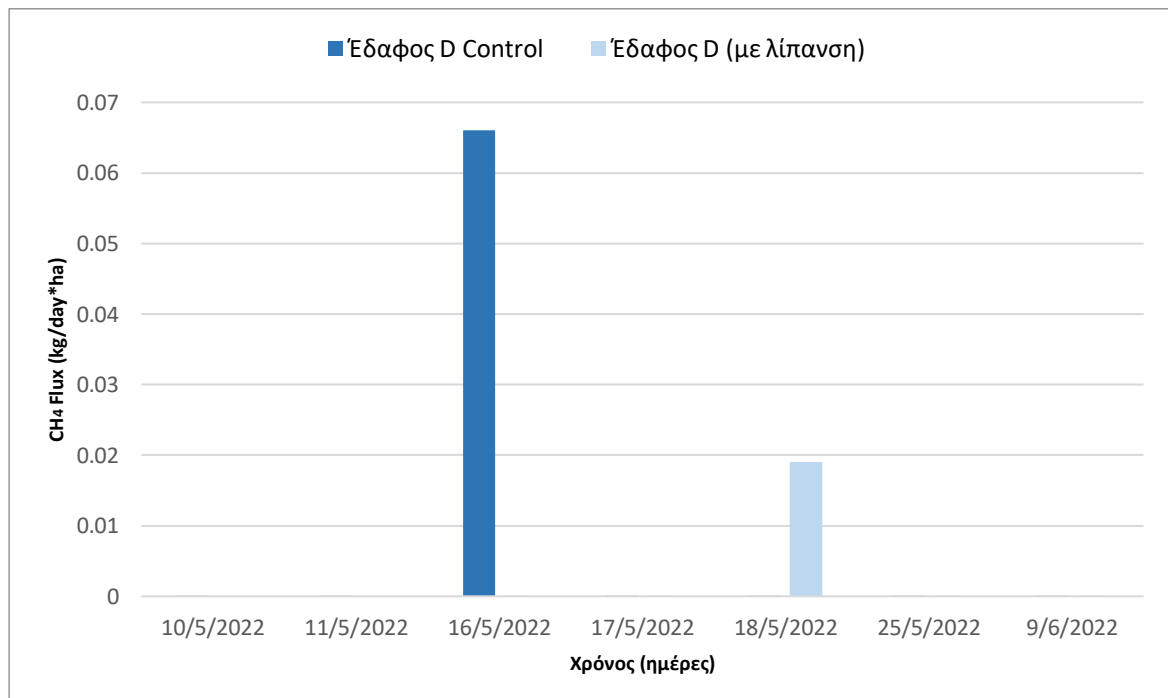
Γράφημα 22: Μεταβολή της ροής N_2O συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 23** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής NH_3 στο έδαφος D συναρτήσει του χρόνου. Η πρώτη μέτρηση έδειξε πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης ($0.04 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Η επόμενη μέτρηση (μία (1) ημέρα μετά) έδειξε σταθερή ροή ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$). Μία εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στην έκλυση αερίων του θερμοκηπίου και της NH_3 . Παρατηρήθηκαν σταθερές ροές NH_3 από τα control και αυξημένες εκπομπές από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.32 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα). Την επόμενη ημέρα παρατηρήθηκαν σταθερές εκπομπές από τα control και μειωμένες εκπομπές από τα εδάφη με λίπανση ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.034 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα). Μία ημέρα αργότερα, παρατηρήθηκαν σταθερές εκπομπές από τα control και αυξημένες εκπομπές από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.050 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας ότι η ροή από τα control παρέμεινε σταθερή, ενώ παρατηρήθηκαν αυξημένες εκπομπές από τα εδάφη με λίπανση ($0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.13 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν αύξηση του ρυθμού ροής από τα control και μείωση του ρυθμού ροής από τα εδάφη στα οποία εφαρμόστηκε λίπανση ($0.011 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και $0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, αντίστοιχα). Η μέση τιμή εκπομπής NH_3 από τα control υπολογίστηκε ίση με $0.007 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση $0.11 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με $0.0001 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ και η μέγιστη $0.32 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$.



Γράφημα 23: Μεταβολή της ροής NH_3 συναρτήσει του χρόνου

Το **γράφημα 24** συνοψίζει τις μεταβολές της ροής CH₄ στο έδαφος D συναρτήσει του χρόνου. Οι αρχικές δύο (2) μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλό ρυθμό έκλυσης CH₄ (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Μία εβδομάδα αργότερα, σε μέρος των εδαφών εφαρμόστηκε λίπανση, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH₃. Παρατηρήθηκε αύξηση της ροής από τα control, ενώ η ροή από τα εδάφη με λίπανση παρέμεινε σταθερή (**0.066 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Την επόμενη ημέρα παρατηρήθηκε μείωση των εκπομπών από τα control και σταθερή ροή από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Στην επόμενη μέτρηση (μια (1) ημέρα αργότερα) παρατηρήθηκε σταθερή ροή από τα control και αυξημένες εκπομπές από τα εδάφη με λίπανση (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 0.019 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Οι μετρήσεις συνεχίστηκαν μια εβδομάδα μετά παρατηρώντας σταθερή ροή CH₄ από τα control και μείωση της ροής από τα εδάφη με λίπανση (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Τέλος, τα εδάφη παρέμειναν ξηρά για δύο εβδομάδες και αφού προστέθηκε ποσότητα νερού έγιναν οι τελικές μετρήσεις. Τα αποτελέσματα έδειξαν σταθερή ροή από τα control και από τα εδάφη με λίπανση (**0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, αντίστοιχα**). Η μέση τιμή εκπομπής CH₄ από τα control υπολογίστηκε ίση με 0.001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και από τα εδάφη που εφαρμόστηκε λίπανση 0.004 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$. Η ελάχιστη μέτρηση ισούται με 0.0001 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ και η μέγιστη 0.066 $\frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$.

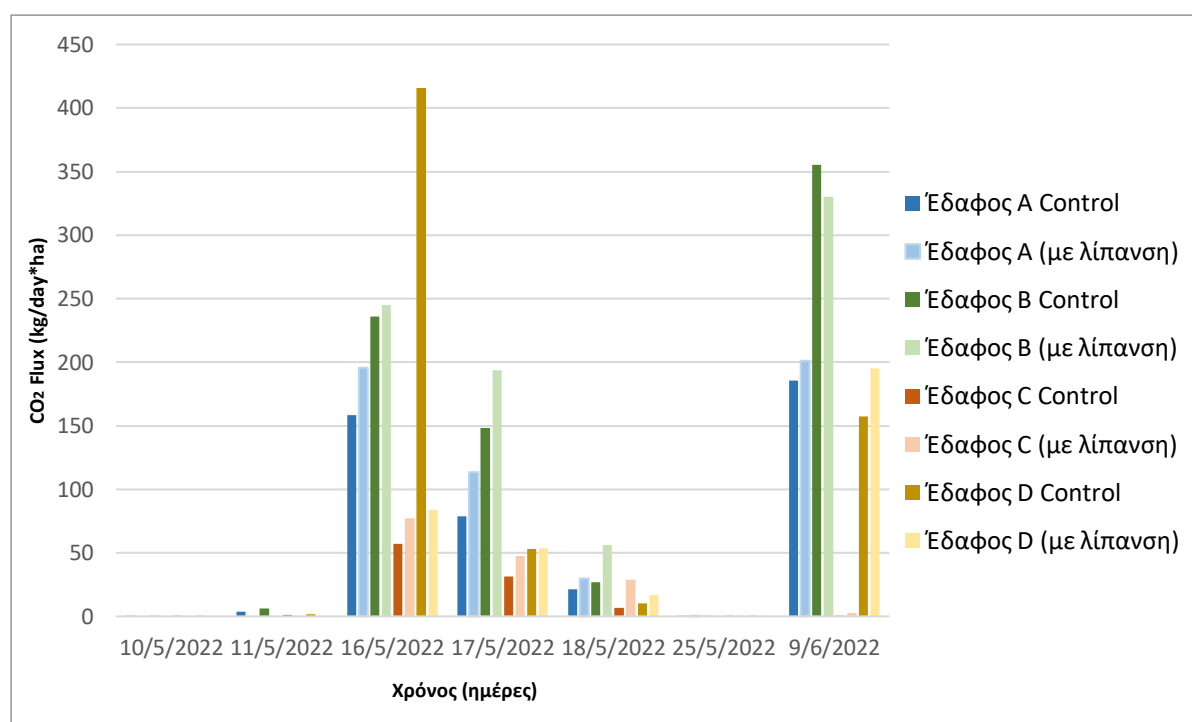


Γράφημα 24: Μεταβολή της ροής CH₄ συναρτήσει του χρόνου

3.3 Εκπομπή Αερίων Θερμοκηπίου και Αμμωνίας από το Έδαφος- Συγκεντρωτικά

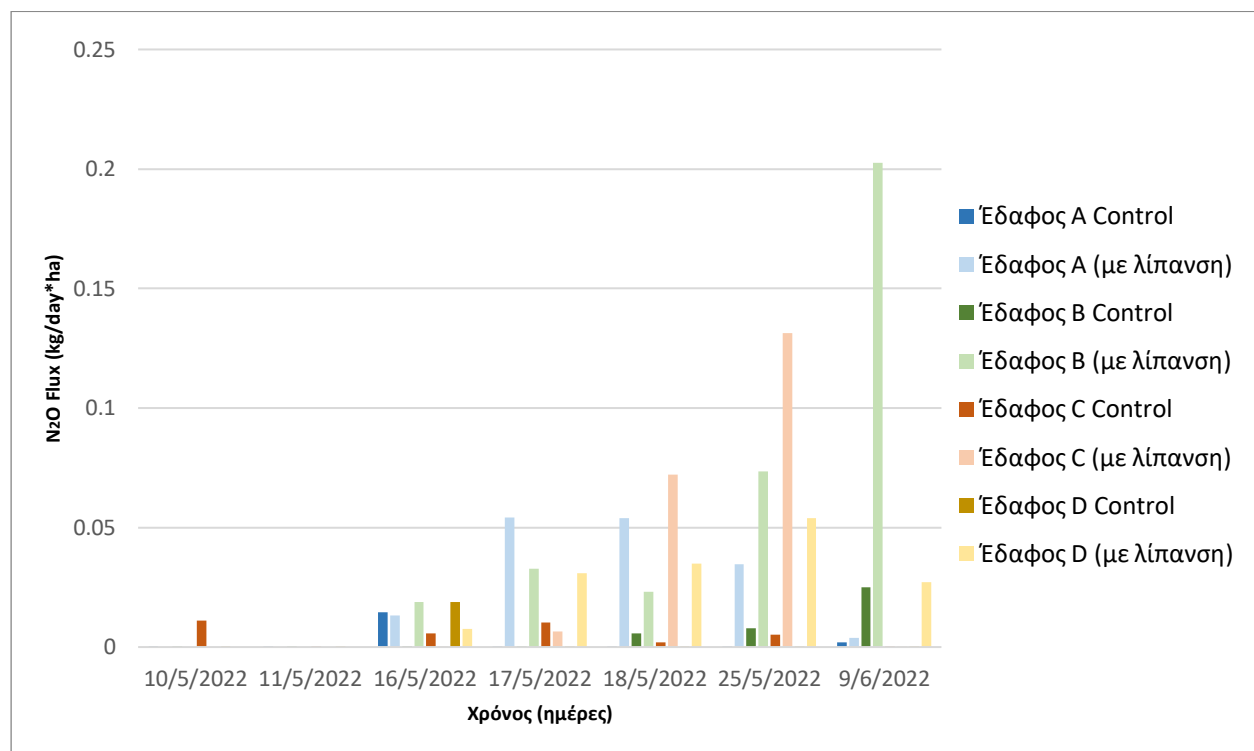
Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται πληροφορία σχετικά με το ρυθμό έκλυσης των αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και της NH_3 συγκεντρωτικά για το σύνολο των εδαφών που μελετήθηκαν.

Στο **γράφημα 25** παρουσιάζεται η συνολική ροή CO_2 ως συνάρτηση του χρόνου για το σύνολο των εδαφών που μελετήθηκαν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει διακύμανση στις εκπομπές CO_2 . Οι αρχικές μετρήσεις έδειξαν χαμηλές εκπομπές, ωστόσο παρατηρήθηκε αύξηση των εκπομπών CO_2 συναρτήσει του χρόνου. Οι εκπομπές κυμαίνονταν από μηδενικές έως $400 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, όπως φαίνεται παρακάτω.



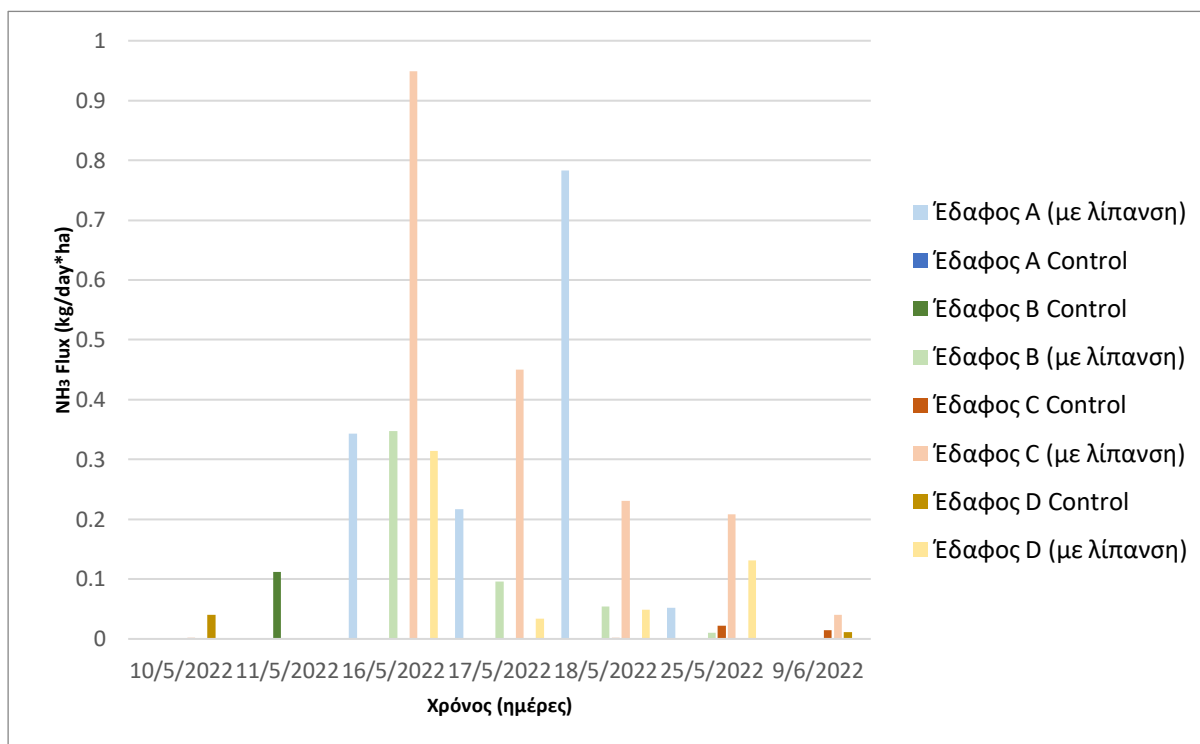
Γράφημα 25: Μεταβολή της ροής CO_2

Στο **γράφημα 26** παρουσιάζεται η συνολική ροή N_2O ως συνάρτηση του χρόνου για το σύνολο των εδαφών που μελετήθηκαν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει διακύμανση στις εκπομπές N_2O . Οι αρχικές μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλούς ρυθμούς απελευθέρωσης N_2O από τα εδάφη, ωστόσο παρατηρήθηκε μια αλλαγή και αύξηση των εκπομπών συναρτήσει του χρόνου, η οποία είναι φανερή κυρίως στα εδάφη που είχαν υποστεί λίπανση. Οι εκπομπές κυμαίνονταν από μηδενικές έως $0.2 \frac{kg}{day*ha}$, όπως φαίνεται παρακάτω.



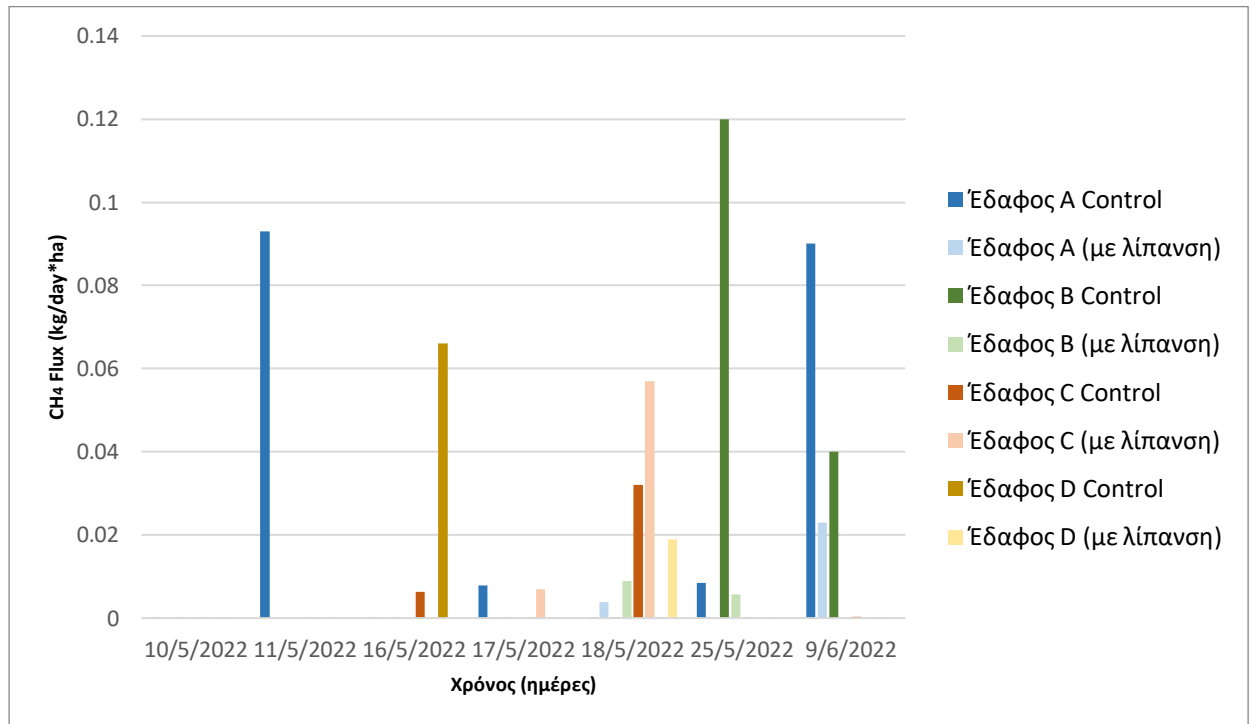
Γράφημα 26: Μεταβολή της ροής N_2O

Στο **γράφημα 27** παρουσιάζεται η συνολική ροή NH_3 σε συνάρτηση με το χρόνο για το σύνολο των εδαφών που μελετήθηκαν. Οι αρχικές μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλό ρυθμό απελευθέρωσης NH_3 από την πλειονότητα των εδαφών, ωστόσο συναρτήσει του χρόνου υπήρξε αλλαγή και αύξηση των εκπομπών, η οποία ήταν ιδιαίτερα φανερή στα εδάφη που είχαν υποστεί λίπανση. Οι εκπομπές κυμαίνονταν από μηδενικές έως $0.95 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, όπως φαίνεται παρακάτω.



Γράφημα 27: Μεταβολή της ροής NH_3

Στο **γράφημα 28** παρουσιάζεται η συνολική ροή CH₄ ως συνάρτηση του χρόνου για το σύνολο των εδαφών που μελετήθηκαν. Οι αρχικές μετρήσεις έδειξαν πολύ χαμηλό ρυθμό απελευθέρωσης CH₄ από όλα τα εδάφη, αλλά παρατηρήθηκε μερική αύξηση στις εκπομπές συναρτήσει του χρόνου. Οι εκπομπές κυμαίνονταν από μηδενικές έως $0.12 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, όπως φαίνεται παρακάτω.



Γράφημα 28: Μεταβολή της ροής του CH₄

4. Συζήτηση

Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από τη γεωργία προέρχονται από διάφορες πηγές και δραστηριότητες. Οι σημαντικότερες εκπομπές είναι οι εκπομπές CO_2 , N_2O και CH_4 . Για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου από τη γεωργία μπορούν να ληφθούν μέτρα, όπως η συσσώρευση οργανικού υλικού στο έδαφος. Η συσσώρευση οργανικού υλικού στο έδαφος αποτελεί μια αποτελεσματική πρακτική για τη βελτίωση της ποιότητας του εδάφους και την αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος. Τα τελευταία χρόνια, η δημιουργία συνθηκών για τη συσσώρευση οργανικού υλικού στο έδαφος μέσω της εφαρμογής κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης του εδάφους έχει καταστεί παγκόσμια προτεραιότητα. Το οργανικό υλικό του εδάφους (Soil Organic Matter) αποτελεί σημαντικό στοιχείο για τη διατήρηση της υγείας του εδάφους και την παροχή θρεπτικών στοιχείων στα φυτά. Επιπλέον, είναι απαραίτητο για τη βελτίωση της δομής του εδάφους, τη διατήρηση της υγρασίας και την αποθήκευση θρεπτικών ουσιών. Ωστόσο, παραμένει ασαφές αν και σε ποιο βαθμό η αύξηση του οργανικού υλικού στο έδαφος, πέραν συγκεκριμένων ορίων, αναστρέφει τη θετική αυτή επίδραση, μέσω της αυξημένης έκλυσης άλλων αερίων, όπως N_2O , CH_4 και NH_3 .

Το αντικείμενο προς μελέτη της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η περαιτέρω κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ της οργανικής ύλης του εδάφους και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 . Οι στόχοι μέσω της εφαρμογής κατάλληλων πρακτικών διαχείρισης για τη συσσώρευση οργανικού υλικού στο έδαφος, είναι η ανάσχεση της αύξησης της θερμοκρασίας του πλανήτη και η βελτίωση της γονιμότητας των εδαφών και κατ' επέκταση της πρωτογενούς παραγωγής για τη διασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας. Σκοπός της μελέτης ήταν να διερευνηθούν και να παρατηρηθούν οι επιδράσεις του εδαφικού οργανικού υλικού στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 . Επιπλέον, διερευνήθηκαν η επίδραση της εφαρμογής λίπανσης και της εδαφικής υγρασίας στις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 .

Αρχικά, μελετήθηκαν οι συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στο έδαφος σε συνάρτηση με το χρόνο. Οι συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ παρουσίασαν διακυμάνσεις και παρατηρήθηκαν ορισμένες υψηλές συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$. Οι υψηλές αυτές συγκεντρώσεις προκύπτουν από την ανοργανοποίηση και συχνή νιτροποίηση του N στο έδαφος. Η πλειονότητα των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ παρουσίασε μείωση συναρτήσει του χρόνου, ενώ οι συγκεντρώσεις $\text{NO}_3^- - \text{N}$ παρουσίασαν αύξηση. Αυτό επιβεβαιώνεται στη βιβλιογραφία, καθώς το $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ μετατρέπεται γρήγορα σε $\text{NO}_3^- - \text{N}$ μέσω της διαδικασίας της νιτροποίησης. Επίσης, οι συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στο έδαφος παρουσίασαν απότομη αύξηση μετά την εφαρμογή λίπανσης, όπως ήταν αναμενόμενο, καθώς η προσθήκη N στο έδαφος αυξάνει το υπόστρωμα NH_4^+ . Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις $\text{NO}_3^- - \text{N}$ αυξήθηκαν σημαντικά δύο εβδομάδες μετά την εφαρμογή λίπανσης λόγω της διαδικασίας της νιτροποίησης, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Η νιτροποίηση μπορεί να επηρεαστεί από πολλούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και η περιεκτικότητα σε οξυγόνο, ωστόσο μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά από την έλλειψη οξυγόνου ή από την ανταγωνιστική παρουσία άλλων μικροοργανισμών. Με βάση τα αποτελέσματα, δεν παρατηρήθηκε κανένας παράγοντας που να επηρέασε αρνητικά τη διαδικασία της νιτροποίησης, καθώς οι συνθήκες εδαφικής υγρασίας ήταν καλές και

επικρατούσαν κυρίως αερόβιες συνθήκες. Ωστόσο η κατανόηση της μικροβιακής κοινότητας στο έδαφος θα επέτρεπε μια αναλυτικότερη αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Ο βιοχημικός κύκλος του N και η διαδικασία της νιτροποίησης αναλύονται περαιτέρω στο κεφάλαιο 1.6 στην εισαγωγή της εργασίας.

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, λόγω της σημαντικότητας των εκπομπών CO₂ από το έδαφος, στην παρούσα μελέτη διερευνήθηκαν οι εκπομπές CO₂ από το έδαφος σε συνάρτηση με το χρόνο. Οι εκπομπές CO₂ μεταβάλλονται σε συνάρτηση με το χρόνο, καθώς εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Η βιβλιογραφία αναφέρει ότι το CO₂ παράγεται υπό αερόβιες συνθήκες ανάλογα με τη συγκέντρωση της οργανικής ύλης του εδάφους. Παρατηρήθηκε εύρος εκπομπών από τα εδάφη, με υψηλότερες εκπομπές από εδάφη με υψηλότερες συγκεντρώσεις οργανικού υλικού και χαμηλότερες εκπομπές από εδάφη με χαμηλότερες συγκεντρώσεις οργανικού υλικού, επιβεβαιώνοντας τη βιβλιογραφία. Οι συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ήταν αερόβιες ευνοώντας την παραγωγή CO₂ από το έδαφος. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, το CO₂ απελευθερώνεται εντονότερα από το έδαφος υπό εναλλασσόμενες υγρές και ξηρές συνθήκες, μέσω της εδαφικής αναπνοής και της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Πράγματι, παρατηρήθηκε αύξηση των εκπομπών CO₂ όταν η υγρασία του εδάφους ήταν υψηλή, ιδίως μετά από περιόδους χαμηλής υγρασίας, αλλά η επίδραση αυτή δεν παρατηρήθηκε συνολικά. Ένας πιθανός λόγος για τις χαμηλές εκπομπές CO₂ σε συνθήκες υψηλής εδαφικής υγρασίας θα μπορούσε να είναι η διαρροή αερίου από το θάλαμο μέτρησης είτε η επικράτηση αναερόβιων συνθηκών. Όσον αφορά τις τυπικές τιμές απελευθέρωσης CO₂ από τα εδάφη, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, έχει βρεθεί ότι κυμαίνονται από 0 μέχρι $31 \frac{\text{Gg}}{\text{year*ha}}$. [17] Οι τιμές των εκπομπών CO₂ σε συνάρτηση με το χρόνο στην παρούσα μελέτη βρέθηκε ότι κυμαίνονται από 0 έως $420 \frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, δηλαδή από 0 έως $0.15 \frac{\text{Gg}}{\text{year*ha}}$. Κατά μέσο όρο, οι εκπομπές υπολογίστηκε ότι κυμαίνονται από $82 \frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$ έως $133 \frac{\text{kg}}{\text{day*ha}}$, δηλαδή $0.03 \frac{\text{Gg}}{\text{year*ha}}$ έως $0.05 \frac{\text{Gg}}{\text{year*ha}}$. Επομένως, κατά μέσο όρο οι εκπομπές CO₂ από τα εδάφη ήταν χαμηλές. Η βιβλιογραφία που αφορά τις εκπομπές CO₂ από το έδαφος, αναλύεται περαιτέρω στην ενότητα 1.2.1 στην εισαγωγή.

Επίσης κατά τη διάρκεια της μελέτης διερευνήθηκαν οι εκπομπές N₂O από το έδαφος σε συνάρτηση με το χρόνο. Το N₂O παράγεται στο έδαφος, κυρίως, μέσω των διεργασιών της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης. Αυτές οι εκπομπές μπορεί να αυξηθούν λόγω γεωργικών πρακτικών, όπως η εφαρμογή λίπανσης. Σύμφωνα με τον Baggs (2008) τέσσερις (4) είναι οι κύριες βιολογικές διεργασίες που παράγουν N₂O, συμπεριλαμβανομένης της νιτροποίησης και της απονιτροποίησης. [6] Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι κυρίως η διαδικασία της νιτροποίησης φαίνεται να συνέβαλε στην παραγωγή N₂O, ενώ η διαδικασία της απονιτροποίησης φαίνεται να συνέβαλε σε μικρότερο βαθμό. Οι αερόβιες συνθήκες αποτέλεσαν σημαντικό παράγοντα για τη νιτροποίηση, με τη διαθεσιμότητα του εδαφικού νερού, να σχετίζεται στενά με τις συνθήκες που επικρατούν. Πράγματι τα αποτελέσματα έδειξαν ότι τα εδάφη που είχαν υποστεί λίπανση παρουσίασαν υψηλότερες εκπομπές N₂O, σε αντίθεση με τα εδάφη ελέγχου που παρουσίασαν σχεδόν μηδενικές εκπομπές. Με βάση τη βιβλιογραφία η εφαρμογή λίπανσης μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση

NO₂⁻, αποτελώντας σημαντικό παράγοντα παραγωγής N₂O (Venterea et al., 2015; Heil et al., 2016- Breuillin-Sessoms et al., 2017- Giguere et al., 2017). [7] Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η μέγιστη παραγωγή N₂O παρατηρείται από εδάφη που έχει εφαρμοστεί λίπανση υπό υγρές συνθήκες, ιδίως εδάφη πλούσια σε οργανική ύλη. Επίσης, σε πολλές μελέτες, η εδαφική υγρασία έχει θεωρηθεί ως ο μοναδικός παράγοντας που ελέγχει τις εκπομπές N₂O κατά την εφαρμογή N, επηρεάζοντας τις εκπομπές N₂O στην ατμόσφαιρα (Guo, Drury, Yang, Daniel Reynolds, & Fan, 2014). [6] Πράγματι οι μέγιστες εκπομπές παρατηρήθηκαν από εδάφη τα οποία είχαν υποστεί λίπανση, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, υπό συνθήκες υψηλής εδαφικής υγρασίας, συμπεραίνοντας ότι η υψηλή υγρασία στο έδαφος φαίνεται να επηρέασε τις εκπομπές N₂O σε συνδυασμό με την εφαρμογή λίπανσης. Όσον αφορά τη διαφορετική συγκέντρωση οργανικού υλικού, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία έχει βρεθεί ότι οι αλλαγές στις δεξαμενές του εδαφικού οργανικού C μπορεί να επηρεάσουν την ανοργανοποίηση του υπάρχοντος οργανικού υλικού και τη ροή αερίων του θερμοκηπίου, όπως του N₂O (Schlesinger, 1999- Fontaine et al., 2004- Li et al., 2005). [11] Επίσης μελέτες έχουν αναφέρει ότι ο οργανικός C στο έδαφος έχει θετική συσχέτιση στις εκπομπές N₂O (Figueiredo, Enrich-Prast, & Rütting, 2016). [5] Η πλειονότητα των εκπομπών ήταν χαμηλές, ωστόσο, παρατηρήθηκαν αυξημένες εκπομπές, οι οποίες πιθανών να οφείλονται στην υψηλότερη συγκέντρωση οργανικού υλικού. Ωστόσο αυξημένες εκπομπές από εδάφη με χαμηλή συγκέντρωση οργανικού υλικού πιθανώς να οφείλονται σε συσσώρευση αερίου μέσα στο θάλαμο. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι εκπομπές σε συνάρτηση με το χρόνο κυμαίνονταν από 0 έως $0.2 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, δηλαδή από 0 έως $73 \frac{\text{kg}}{\text{year} \cdot \text{ha}}$ και οι τυπικές τιμές απελευθέρωσης N₂O από το έδαφος, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, έχει βρεθεί ότι κυμαίνονται από 0 μέχρι $183 \frac{\text{kg}}{\text{year} \cdot \text{ha}}$, με τις μέγιστες τιμές να εμφανίζονται από εδάφη που έχουν υποστεί βόσκηση. [17]. Επιπλέον, κατά μέσο όρο οι εκπομπές N₂O από τα εδάφη βρέθηκαν χαμηλές, με το εύρος τους να κυμαίνεται από $0.015 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ έως $0.032 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, δηλαδή από $5.5 \frac{\text{kg}}{\text{year} \cdot \text{ha}}$ έως $11.6 \frac{\text{kg}}{\text{year} \cdot \text{ha}}$. Μελέτες για τις εκπομπές N₂O έχουν επισημάνει ότι οι ξαφνικές αλλαγές στη θερμοκρασία και την υγρασία του εδάφους μπορούν να οδηγήσουν σε ξαφνικές αυξήσεις των εκπομπών κατά τάξεις μεγέθους πάνω από τη μέση εποχιακή ροή (Parkin & Kaspar, 2006- Scanlon & Kiely, 2003). Το φαινόμενο αυτό ορίστηκε για πρώτη φορά ως «θερμές στιγμές» από τους McClain et. al (2003) ως ο δυσανάλογα υψηλός ρυθμός απόκρισης σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα. [6] Ωστόσο, το συγκεκριμένο φαινόμενο δεν φαίνεται να παρατηρήθηκε. Οι παράγοντες που φαίνεται κυρίως να επηρέασαν τις εκπομπές N₂O από το έδαφος ήταν η υψηλή εδαφική υγρασία σε συνδυασμό με την εφαρμογή λίπανσης και τη διεργασία της νιτροποίησης.

Επιπλέον διερευνήθηκαν οι εκπομπές NH₃ από το έδαφος σε συνάρτηση με το χρόνο. Η απώλεια N από το έδαφος υπό μορφή NH₃ αποτελεί μια από τις κυριότερες μορφές διαφυγής του N προς την ατμόσφαιρα. Οι εκπομπές NH₃ από τα εδάφη που είχαν υποστεί λίπανση παρουσίασαν υψηλότερες εκπομπές NH₃, σε σύγκριση με τα εδάφη ελέγχου τα οποία στην πλειονότητα τους παρουσίασαν μηδενικές εκπομπές. Στην πλειοψηφία των εδαφών, οι μέγιστες εκπομπές NH₃ μετρήθηκαν μετά την εφαρμογή λίπανσης, επιβεβαιώνοντας τη σχέση της χρήσης αζωτούχων λιπασμάτων με τις εκπομπές NH₃, που αναφέρεται στη βιβλιογραφία. Με

βάση μελέτες, τα ποσοστά εκπομπών NH_3 αυξάνονται από τις γεωργικές δραστηριότητες και αντιπροσωπεύουν το 80-90% των ανθρωπογενών εκπομπών, καθώς η αυξημένη χρήση αζωτούχων λιπασμάτων, τόσο σε παγκόσμιο όσο και σε τοπικό επίπεδο, οδηγούν σε εκπομπές NH_3 . Επιπλέον, οι υψηλές συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ στο έδαφος λόγω της εφαρμογής λίπανσης αποτέλεσαν παράγοντα που επηρέασε τις εκπομπές, επιβεβαιώνοντας τη βιβλιογραφία, η οποία αναφέρει ότι οι ρυθμοί $\text{NH}_4^+ / \text{NH}_3$ αποτελούν σημαντικό έλεγχο του ρυθμού και της έκτασης της νιτροποίησης (Norton, 2008; Grant et al., 2016), επηρεάζοντας τις εκπομπές NH_3 . [7]

Οι εκπομπές σε συνάρτηση με το χρόνο κυμαίνονταν από 0 έως $0.95 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, ενώ κατά μέσο όρο οι εκπομπές βρέθηκε ότι κυμαίνονται από $0.05 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ έως $0.12 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, με τη βιβλιογραφία να αναφέρει ότι οι εκπομπές NH_3 κυμαίνονται ανάλογα με τη διαχείριση του εδάφους. Οι υψηλότερες συγκεντρώσεις οργανικού υλικού πιθανώς να συνέβαλαν στις διαφορές αυτές, όπως αναφέρεται στη βιβλιογραφία ότι η εφαρμογή του εδαφικού C μπορεί δυνητικά να αυξήσει τις εκπομπές NH_3 . Ωστόσο αυξημένες εκπομπές από εδάφη με χαμηλή συγκέντρωση οργανικού υλικού πιθανώς να οφείλονται σε συσσώρευση αερίου μέσα στο θάλαμο. Ο κύριος παράγοντας που φαίνεται να καθόρισε τις εκπομπές NH_3 από το έδαφος είναι η εφαρμογή λίπανσης. Οι μικροβιακές κοινότητες του εδάφους και το pH, που δεν έχουν διερευνηθεί, θα αποτελούσαν σημαντικούς παράγοντες για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων. Η βιβλιογραφία αναλύεται περαιτέρω στα κεφάλαια 1.2.4 και 1.6.

Τέλος διερευνήθηκαν οι εκπομπές CH_4 από το έδαφος. Το CH_4 παράγεται από το έδαφος ως τελικό προϊόν της αναερόβιας αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, αλλά οξειδώνεται σε CO_2 από μεθανοτροφικά βακτήρια υπό αερόβιες συνθήκες. Η διεργασία της μεθανογένεσης είναι μία αναερόβια διεργασία, καθώς λαμβάνει χώρα απουσία οξυγόνου και σε αναερόβιες συνθήκες πραγματοποιείται η παραγωγή του. Οι εκπομπές σε συνάρτηση με το χρόνο κυμαίνονταν από 0 έως $0.12 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, ενώ κατά μέσο όρο οι εκπομπές από τα εδάφη κυμαίνονταν από $0.008 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$ έως $0.02 \frac{\text{kg}}{\text{day} \cdot \text{ha}}$, με τη βιβλιογραφία να αναφέρει ότι οι εκπομπές CH_4 κυμαίνονται ανάλογα με τη διαχείριση του εδάφους. Η πλειονότητα των εκπομπών CH_4 ήταν μηδενικές, ενώ παρατηρήθηκαν αυξημένες συγκεντρώσεις στις οποίες πιθανώς να συνέβαλε η αυξημένη συγκέντρωση οργανικού υλικού στο έδαφος, καθώς στη βιβλιογραφία αναφέρεται ότι το CH_4 αποτελεί τελικό προϊόν αναερόβιας αποσύνθεσης της οργανικής ύλης. Ωστόσο, οι εκπομπές από τα εδάφη αναμενόταν να είναι μικρότερες, καθώς οι εκπομπές από τα γεωργικά εδάφη είναι πολύ μικρές, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. [18] Επομένως, η παρατηρούμενη αύξηση των εκπομπών θα μπορούσε να οφείλεται σε συσσώρευση αερίων στο θάλαμο. Η βιβλιογραφία για τις εκπομπές CH_4 αναλύεται περαιτέρω στο κεφάλαιο 1.2.3.

Συγκεντρωτικά, παρατηρήθηκε ότι υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ του οργανικού υλικού του εδάφους και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ των εκπομπών από τα εδάφη, λόγω της διαφορετικής συγκέντρωσης οργανικού υλικού, αλλά κατά μέσο όρο οι εκπομπές αερίων θερμοκηπίου και NH_3 βρέθηκαν χαμηλές. Συνοψίζοντας, δεν παρατηρήθηκαν αυξημένες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 τέτοιες ώστε να αναστρέφουν τα θετικά αποτελέσματα που προσφέρει η συσσώρευση οργανικού υλικού στο

έδαφος, με αποτέλεσμα να αποτελεί μια κατάλληλη πρακτική για την αντιμετώπιση των παγκοσμίων προκλήσεων.

5. Συμπεράσματα

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η περαιτέρω κατανόηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του οργανικού υλικού του εδάφους και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 . Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ του οργανικού υλικού του εδάφους και των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 , καθώς κατά τη διάρκεια της αποσύνθεσης του οργανικού υλικού απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα CO_2 και CH_4 . Όσον αφορά τις εκπομπές N_2O και NH_3 , η αυξημένη συγκέντρωση οργανικού υλικού στο έδαφος φαίνεται να συνέβαλε σε μερική αύξηση των εκπομπών τους. Ωστόσο, συνολικά οι εκπομπές ήταν χαμηλές, σε σύγκριση με τη βιβλιογραφία και δεν παρατηρήθηκαν αυξημένες εκπομπές, οι οποίες να αναστρέφουν τις θετικές επιδράσεις της υψηλής συγκέντρωσης οργανικού υλικού στο έδαφος, με αποτέλεσμα η δημιουργία συνθηκών που ευνοούν τη συσσώρευση οργανικού υλικού στο έδαφος να αποτελεί κατάλληλο μέτρο για την αντιμετώπιση των παγκόσμιων προκλήσεων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι διαφορετικές συγκεντρώσεις οργανικού υλικού στο έδαφος συνέβαλλαν σημαντικά στις διακυμάνσεις των εκπομπών CO_2 . Επιπλέον, η εδαφική υγρασία μέσω της εδαφικής αναπνοής και της αποσύνθεσης της οργανικής ύλης, αποτέλεσαν καθοριστικό παράγοντα των εκπομπών CO_2 . Επίσης, διαπιστώθηκε ότι η εφαρμογή λίπανσης, η διαδικασία της νιτροποίησης και τα υψηλά επίπεδα εδαφικής υγρασίας αποτέλεσαν τους καθοριστικούς παράγοντες παραγωγής N_2O από το έδαφος. Όσον αφορά τις εκπομπές NH_3 επηρεάστηκαν κυρίως από την εφαρμογή λίπανσης. Η πλειονότητα των εκπομπών CH_4 ήταν μικρές, πέραν ορισμένων εκπομπών οι οποίες βρέθηκαν υψηλότερες από τις αναμενόμενες λόγω της συμβολής της αυξημένης συγκέντρωσης οργανικού υλικού στο έδαφος και της επικράτησης αναερόβιων συνθηκών είτε πιθανής συσσώρευσης αερίων μέσα στο θάλαμο. Τα αποτελέσματα έδειξαν, επίσης, ότι η εφαρμογή λίπανσης αυξάνει σημαντικά τις συγκεντρώσεις $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ στο έδαφος.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την ανάλυση των συγκεντρώσεων $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ και $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ήταν η τροποποιημένη μέθοδος των Hood et.al (2010). Για τη μέτρηση των ροών αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 χρησιμοποιήθηκε ο αναλυτής Gasmet 4015. Συνολικά, η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε είναι προσιτή και αποτελεσματική. Η υλοποίηση της μπορεί να είναι σχετικά χρονοβόρα, αλλά αυτό εξαρτάται από το μέγεθος του εδάφους προς ανάλυση ή μέτρηση, αντίστοιχα.

Στη συγκεκριμένη πειραματική διάταξη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος του στατικού θαλάμου για τη δυναμική μέτρηση των αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 . Εκτός από τον στατικό θάλαμο που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πειραματική διάταξη, υπάρχουν πολλές παραλλαγές και δυνατότητες για τη διάταξη του πειραματικού θαλάμου. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η χρήση θαλάμου κυκλικού βρόχου.

Συμπερασματικά, οι γεωργικές δραστηριότητες αποτελούν πηγή εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα που παράγονται ως αποτέλεσμα των

βιολογικών διεργασιών στο έδαφος. Οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και NH_3 από τα εδάφη εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες. Η εδαφική αναπνοή και οι ρυθμοί νιτροποίησης, καθώς και η εφαρμογή λίπανσης, η συγκέντρωση οργανικού υλικού, οι διαδικασίες διάβρωσης του εδάφους και οι αλλαγές στη χρήση γης είναι παράγοντες που επηρεάζουν τις εκπομπές. Τέλος, μια ολοκληρωμένη εικόνα της μικροβιακής κοινότητας του εδάφους και του pH, θα επέτρεπε μια πιο ολοκληρωμένη σύγκριση των αποτελεσμάτων για πιθανή μελλοντική έρευνα.

6. Βιβλιογραφία

- [1] Smith, P., Calvin, K., Nkem, J., Campbell, D., Cherubini, F., Grassi, G., ... & Arneeth, A. (2020). Which practices co-deliver food security, climate change mitigation and adaptation, and combat land degradation and desertification? *Global Change Biology*, 26(3), 1532-1575
- [2] Bossio, D. A., Cook-Patton, S. C., Ellis, P. W., Fargione, J., Sanderman, J., Smith, P., ... & Griscom, B. W. (2020). The role of soil carbon in natural climate solutions. *Nature Sustainability*, 3(5), 391-398. Sun, W., Canadell, J. G., Yu, L., Yu, L., Zhang, W., Smith, P., ... & Huang, Y. (2020).
- [3] Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture. *Global Change Biology*, 26(6), 3325-3335.
- [4] Smith, P., Adams, J., Beerling, D. J., Beringer, T., Calvin, K. V., Fuss, S., ... & Keesstra, S. (2019). Impacts of land-based greenhouse gas removal options on ecosystem services and the United Nations sustainable development goals. *Annu. Rev. Environ. Resour*, 44, 255-286.
- [5] Shang, Z., Zhou, F., Smith, P., Saikawa, E., Ciais, P., Chang, J., ... & Sabbatini, S. (2019). Weakened growth of cropland-N₂O emissions in China associated with nationwide policy interventions. *Global change biology*, 25(11), 3706-3719.
- [6] Barrat, H. A., Evans, J., Chadwick, D. R., Clark, I. M., Le Cocq, K., & M Cardenas, L. (2021). The impact of drought and rewetting on N₂O emissions from soil in temperate and Mediterranean climates. *European Journal of Soil Science*, 72(6), 2504-2516.
- [7] Norton, J., & Ouyang, Y. (2019). Controls and adaptive management of nitrification in agricultural soils. *Frontiers in microbiology*, 10, 1931.
- [8] Velthof, G. L., & Rietra, R. P. J. J. (2018). *Nitrous oxide emission from agricultural soils* (No. 2921). Wageningen Environmental Research.
- [9] Rahman, M. (2013). Carbon dioxide emission from soil. *Agricultural Research*, 2(2), 132-139.
- [10] AGRICULTUREVICTORIA- What is soil? - <https://agriculture.vic.gov.au/farm-management/soil/what-is-soil>
- [11] Mitchell, E., Scheer, C., Rowlings, D. W., Conant, R. T., Cotrufo, M. F., van Delden, L., & Grace, P. R. (2016). The influence of above-ground residue input and incorporation on GHG fluxes and stable SOM formation in a sandy soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 101, 104-113.
- [12] Greenhouse gas flux measurement - Guide Gasmeter
- [13] Conrad, R. (2020). Methane production in soil environments—anaerobic biogeochemistry and microbial life between flooding and desiccation. *Microorganisms*, 8(6), 881.
- [14] Six, J., Conant, R. T., Paul, E. A., & Paustian, K. (2002). Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and soil*, 241, 155-176.

[15] Emmerling, C., Krein, A., & Junk, J. (2020). Meta-analysis of strategies to reduce NH₃ emissions from slurries in European agriculture and consequences for greenhouse gas emissions. *Agronomy*, 10(11), 1633.

[16] ΥΠΕΚΑ, 2015: Κλιματική Αλλαγή: Διεθνείς Διαπραγματεύσεις: Πρωτόκολλο του Κιότο. <http://ypeka.gr>

[17] Muñoz, C., Paulino, L., Monreal, C., & Zagal, E. (2010). Greenhouse gas (CO₂ and N₂O) emissions from soils: a review. *Chilean journal of agricultural research*, 70(3), 485-497.

[18] ΤΖΟΒΛΑ, Ε. Μ. (2019). Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατανάλωση κρέατος στην Ελλάδα.

7. Παραρτήματα

7.1 Παράρτημα Εικόνων





7.2 Παράρτημα Διαγραμμάτων

