

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΟΧΙΑΚΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΤΩΝ
ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂ ΑΠΟ ΕΔΑΦΙΚΟ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΩΝ
ΕΛΑΙΩΝΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΙΣΤΟΚΛΗΣ Γ. ΤΣΟΚΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Δρ. ΚΑΡΑΤΖΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ , ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ (ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ)

Δρ. ΝΙΚΟΛΑΪΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ , ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Δρ. ΚΟΥΡΓΙΑΛΛΑΣ ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ

ΧΑΝΙΑ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2015

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο Winston Churchill κάποτε είχε πει για τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο “The era of procrastination, of half measures, of soothing and baffling expedients of delay are coming to a close. In its place, we are entering a period of consequences.” Ότι δηλαδή η περίοδος της αναβλητικότητας, των ημίμετρων και των καθυστερήσεων τελειώνει και ξεκινά η περίοδος των συνεπειών. Η περίοδος αυτή λοιπόν έφτασε και στα περιβαλλοντικά ζητήματα, με τις συνέπειες των ανθρώπινων πράξεων του περασμένου κυρίως αιώνα να δημιουργούν σημαντικά και διογκούμενα προβλήματα όπως η κλιματική αλλαγή, η ρύπανση των θαλασσών και του πόσιμου νερού, η αποψίλωση των δασών και άλλα πολλά. Όμως έφτασε και η εποχή της κατανόησης των προβλημάτων, του στοχασμού για τα αίτια και της αναζήτησης λύσεων.

Η κλιματική αλλαγή είναι ένα παγκόσμιο ζήτημα που απασχολεί τη διεθνή κοινότητα έντονα τις τελευταίες δεκαετίες. Ειδικότερα η Ευρωπαϊκή Ένωση από τη δημιουργία της έδειξε ιδιαίτερη ανησυχία τόσο για τους λόγους που επιταχύνουν την κλιματική αλλαγή όσο και για τους τρόπους με τους οποίους θα μπορούσε αρχικά να επιβραδυνθεί και εν συνεχεία να αντιστραφεί η πορεία της. Στις αναζητήσεις αυτές σημαίνοντα ρόλο κατείχαν τα λεγόμενα αέρια του θερμοκηπίου και ειδικότερα το CO₂. Ξεκίνησε η συστηματική καταγραφή των πηγών παραγωγής του αερίου αρχικά από τα εμφανή όπως η καύση ορυκτών στη βιομηχανία ή στις μεταφορές και έφτασε ως τις αγροτικές εκμεταλλεύσεις.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μελετηθεί η εποχική διακύμανση των τιμών του CO₂ σε καλλιεργήσιμο έδαφος και συγκεκριμένα σε καλλιέργειες ελαιοδέντρων. Η καλλιέργεια της ελιάς συναντάται κατά κόρον στη λεκάνη της Μεσογείου και καλύπτει μεγάλο μέρος των καλλιεργήσιμων εδαφών της Ελλάδας. Στο κείμενο της παρούσας εργασίας παρουσιάζεται το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής, τα αέρια του θερμοκηπίου, το CO₂ ως αέριο του θερμοκηπίου αλλά και η σχέση του CO₂ με τις αγροτικές εκμεταλλεύσεις και συγκριμένα με την ελαιοκαλλιέργεια.

Η εργασία αυτή στηρίχθηκε σε πραγματικές μετρήσεις πεδίου που διενεργήθηκαν, από τον συγγραφέα, το διάστημα Ιανουαρίου- Νοεμβρίου 2014 σε αγροτική περιοχή (αρδευόμενος ελαιώνας) του Ν. Χανίων ιδιοκτησίας του Ινστιτούτου Ελιάς Υποτροπικών Φυτών και Αμπέλου (ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ). Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας γίνεται αναλυτική περιγραφή της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τις μετρήσεις αυτές καθώς και των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία τους.

Όπως αναφέρθηκε κύριος παράγοντας μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας είναι οι εκπομπές του CO₂ από το υπέδαφος αρδευόμενου ελαιώνα. Παρόλα αυτά διενεργήθηκαν μετρήσεις τόσο της μεταβολής της θερμοκρασίας του εδάφους όσο και της εδαφικής υγρασίας του ελαιώνα, με σκοπό τη σύγκρισή τους με τις εκπομπές CO₂ και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Για την χρονική περίοδο μελέτης, οι

μεταβολές των τιμών των παραπάνω παραγόντων συγκρίθηκαν με τα αντίστοιχα μετεωρολογικά στοιχεία της περιοχής μελέτης.

Η στατιστική επεξεργασία των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των προγραμμάτων Microsoft Office Excel και IBM SPSS statistic analysis 19. Εξετάστηκαν όλοι οι παράγοντες τόσο μόνοι τους όσο και συνδυαστικά. Η μελέτη κατέληξε σε χρήσιμα συμπεράσματα, που αναγράφονται στο σχετικό κεφάλαιο, για τις τιμές των εκπομπών CO₂ στη διάρκεια του χρόνου καθώς και για την εξάρτησή τους από άλλους περιβαλλοντικούς κυρίως παράγοντες.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες για όλους εκείνους τους ανθρώπους που συνέδραμαν την προσπάθειά μου τους τελευταίους μήνες για την εκπόνηση της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή, Δρ. Καρατζά Γεώργιο πρωτίστως για την τιμή που μου έκανε με την ανάθεση Διπλωματικής Εργασίας υπό την επίβλεψή του αλλά και για τις συμβουλές του και τις παρατηρήσεις του. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Δρ. Κουργιαλά Νεκτάριο για τη σημαντική βοήθειά του και την αгаστή συνεργασία του σε όλα τα στάδια της εργασίας. Από τις μετρήσεις μέχρι την επεξεργασία των δεδομένων και την συγγραφή της, η καθοδήγηση του και οι καίριες παρεμβάσεις του συνέβαλαν τα μέγιστα στο τελικό αποτέλεσμα. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή, Δρ. Νικολαΐδη Νικόλαο για τη συμμετοχή του στην επιτροπή αξιολόγησης της παρούσας εργασίας καθώς και για την παραχώρηση του εξοπλισμού μέτρησης του CO₂.

Ευχαριστώ θερμά τη διεύθυνση του ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΓΕΩΡΓΙΚΟΥ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ – ΔΗΜΗΤΡΑ - Ινστιτούτο Ελιάς Υποτροπικών Φυτών και Αμπέλου, και ειδικότερα το Εργαστήριο Ελαιοκομίας και τον διευθυντή του Δρ. Κουμπούρη Γεώργιο για τη συνεργασία τους και την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν κατά την περίοδο των μετρήσεων που λάμβαναν χώρα σε ελαιώνα του Ινστιτούτου.

Επιπροσθέτως, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και συμφοιτητές μου για την υποστήριξη και τις συμβουλές τους και ιδιαίτερα την κα. Ζάρα Διδώ για τις σημαντικές συμβουλές της στο στάδιο της συγγραφής.

Τέλος ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου για την υποστήριξη, ηθική και υλική, και τον αδελφό μου Κωνσταντίνο για τη βοήθειά του στις επαγγελματικές μας υποχρεώσεις που μου έδωσε τη δυνατότητα να εργαστώ απρόσκοπτα για την εκπόνηση της εργασίας ειδικά μετά τον Νοέμβριο του 2014.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	11
1.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	11
1.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ	13
1.4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ - ΔΡΑΣΗ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ.....	14
1.5 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ.....	15
1.6 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ CO ₂	17
1.6.1 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	20
1.6.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ CO ₂ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ	21
1.7 ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΕΛΑΙΟΔΕΝΤΡΩΝ	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	25
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ.....	25
2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	25
2.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	26
2.2.1 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO ₂ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	26
2.2.1.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	27
2.2.1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ CO ₂ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ.....	30
2.2.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	31
2.2.2.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ	32
2.2.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	33
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	34

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	34
3.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	34
3.1.1 MICROSOFT OFFICE EXCEL	34
3.1.2 IBM SPSS STATISTIC ANALYSIS.....	36
3.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ	46
3.2.1 MICROSOFT OFFICE EXCEL	46
3.2.1.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ CO ₂ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	49
3.2.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ	53
3.2.1.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	56
3.2.1.4 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΑ-ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ	57
3.2.2 IBM SPSS 19 STATISTIC ANALYSIS.....	63
3.2.2.1 F test	64
3.2.2.2 Tukey's HSD (honest significant difference) test.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	71
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	71
Βιβλιογραφία	74

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Ανάλυση της διασποράς της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα (Τσούτσος, 2012)	12
Εικόνα 2 Απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου(Τσούτσος 2012).....	12
Εικόνα 3 Η διακύμανση της θερμοκρασίας του πλανήτη στη διάρκεια 20000 χρόνων (http://www.ipcc.ch/).....	13
Εικόνα 4 Αποτύπωμα Άνθρακα (Carbon Footprint)	15
Εικόνα 5. Διακύμανση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τα τελευταία 2000 χρόνια (www.ipcc.ch)	16
Εικόνα 6. Απεικόνιση των βασικών χαρακτηριστικών των αερίων του θερμοκηπίου (Ewings, 2007).....	16
Εικόνα 7. Διακύμανση των αερίων του θερμοκηπίου τα τελευταία 30 χρόνια (www.esrl.noaa.gov/)	17
Εικόνα 8. Μόριο Διοξειδίου του Άνθρακα (Βαλαβανίδη και Ευσταθίου, 2014)	17
Εικόνα 9. Κύκλος του άνθρακα - φυσικής προέλευσης (http://www.britannica.com/).	19
Εικόνα 10. Κυκλος του Άνθρακα - βιολογικής προέλευσης	19
Εικόνα 11. Ισοζύγιο CO ₂ στην ατμόσφαιρα(IPCC AR4).....	20
Εικόνα 12. Καταμερισμός των γαιών παγκοσμίως (Pausian, 1997).....	21
Εικόνα 13. Παραγωγή CO ₂ από μικροοργανισμούς με διαφορετική αρχική περιεκτικότητα γλυκόζης στην οργανική ύλη (Anderson and Domsch, 1986).	23
Εικόνα 14. Χωρική απεικόνιση - οριοθέτηση του μελετούμενου ελαιώνα μέσω του Google earth	25
Εικόνα 15. Κάτοψη του πειραματικού τεμαχίου. Με πράσινο αναπαριστώνται τα ελαιόδεντρα, με μοβ οι οχτώ δακτύλιοι για τις μετρήσεις CO ₂ , με μπλε τα σημεία μέτρησης της εδαφικής υγρασίας και με μπλε γραμμές το δίκτυο άρδευσης.....	27
Εικόνα 16. LI-6400XT Portable Photosynthesis System με το εξάρτημα soil CO ₂ flux chamber	29
Εικόνα 17. Καμπύλη αποτελεσμάτων της συσκευής LI-6400XT.....	29
Εικόνα 18. Μέτρηση συγκέντρωσης εκπομπών CO ₂ και θερμοκρασίας εδάφους.....	30

Εικόνα 19. PR2 Soil Moisture Profile Probe	32
Εικόνα 20. Μέτρηση εδαφικής υγρασίας.....	33
Εικόνα 21. Υπολογιστικό φύλλο excel για την καταγραφή των εκπομπών CO ₂ από το εδαφικό υπόστρωμα καθώς και της εδαφικής θερμοκρασίας.....	34
Εικόνα 22.Υπολογιστικό φύλλο Excel για την εδαφική υγρασία σε αρδευόμενο τμήμα	35
Εικόνα 23. Υπολογιστικό φύλλο Excel για την εδαφική υγρασία σε μη αρδευόμενο τμήμα	35
Εικόνα 24. Απεικόνιση του data editor του SPSS για την εισαγωγή των δεδομένων των εκπομπών CO ₂	37
Εικόνα 25. Απεικόνιση του data editor του SPSS για την εισαγωγή των δεδομένων της θερμοκρασίας εδάφους	38
Εικόνα 26 Απεικόνιση του data editor του SPSS για την εισαγωγή των δεδομένων της εδαφικής υγρασίας.....	39
Εικόνα 27. Φόρμα χαρακτηριστικών των μεταβλητών του SPSS.....	40
Εικόνα 28. Επιλογή κατάλληλου στατιστικού μοντέλου από το menu του SPSS.	41
Εικόνα 29. Καθορισμός των μεταβλητών που εξετάζονται σε εξαρτημένες και σταθερές.	42
Εικόνα 30. Επιλογή των Post Hoc tests, στην προκειμένη περίπτωση LSD, Tukey HSD και Tukey's-b	43
Εικόνα 31. Επιλογή των παραγόντων που θα εξεταστούν και μαρκάρισμα της επιλογής του τρόπου προβολής των αποτελεσμάτων.....	44
Εικόνα 32. Διακύμανση της τιμής του CO ₂ σε μη αρδευόμενο έδαφος.....	50
Εικόνα 33 Διακύμανση της θερμοκρασίας εδάφους σε μη αρδευόμενο έδαφος	51
Εικόνα 34. Διακύμανση της τιμής του CO ₂ σε αρδευόμενο έδαφος.	52
Εικόνα 35. Διακύμανση θερμοκρασίας εδάφους σε αρδευόμενα εδάφη.	53
Εικόνα 36. Διακύμανση της τιμής εδαφικής υγρασίας για τα τέσσερα βάθη μετρήσεων 10cm,20cm,30cm,40cm, σε αρδευόμενο έδαφος	55
Εικόνα 37. Διακύμανση της τιμής εδαφικής υγρασίας για τα τέσσερα βάθη μετρήσεων 10cm,20cm,30cm,40cm, σε μη αρδευόμενο έδαφος.....	55

Εικόνα 38. Διακύμανση της μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα	56
Εικόνα 39. Διακύμανση μηνιαίας βροχόπτωσης.....	57
Εικόνα 40. Σύγκριση τιμών CO ₂ και θερμοκρασίας εδάφους σε μη αρδευόμενο έδαφος	58
Εικόνα 41. Σύγκριση τιμών CO ₂ και θερμοκρασίας εδάφους σε μη αρδευόμενο έδαφος.....	59
Εικόνα 42. Σύγκριση βροχόπτωσης με τις τιμές CO ₂ για αρδευόμενο ή μη αρδευόμενο έδαφος.....	60
Εικόνα 43. Σύγκριση της μηνιαίας βροχόπτωσης με την εδαφική υγρασία για τα τέσσερα διαφορετικά βάθη μέτρησης της υγρασίας σε αρδευόμενο έδαφος.....	61
Εικόνα 44 Σύγκριση της μηνιαίας βροχόπτωσης με την εδαφική υγρασία για τα τέσσερα διαφορετικά βάθη μέτρησης της υγρασίας σε μη αρδευόμενο έδαφος.....	62
Εικόνα 45 Σύγκριση της διακύμανσης του CO ₂ flux με την εδαφική υγρασία για τα τέσσερα διαφορετικά βάθη μέτρησης της υγρασίας σε αρδευόμενο έδαφος.....	62
Εικόνα 46 Σύγκριση της διακύμανσης του CO ₂ flux με την εδαφική υγρασία για τα τέσσερα διαφορετικά βάθη μέτρησης της υγρασίας σε μη αρδευόμενο έδαφος.....	63
Εικόνα 47 Ιστόγραμμα της εδαφικής υγρασίας ως προς τα διάφορα βάθη. Με προσδιορισμό του σφάλματος (standard error) και αποτύπωση της στατιστικής διαφοράς που προκύπτει από το Tukey HSD.....	68
Εικόνα 48 Εποχική διακύμανση του CO ₂ με καταγραφή του σφάλματος (standard error) και σήμανση με τους στατιστικούς συντελεστές.....	69
Εικόνα 49 Εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας εδάφους με καταγραφή του σφάλματος (standard error) και σήμανση με τους στατιστικούς συντελεστές.....	70

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Τεχνικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του PR2 Soil Moisture Profile Probe	32
Πίνακας 2. Τιμές των μέσων όρων των μετρήσεων CO ₂ και θερμοκρασίας εδάφους για κάθε μέτρηση που πραγματοποιήθηκε, διαχωρισμένες σε αρδευόμενα και μη αρδευόμενα εδάφη.	47
Πίνακας 3. Τιμές των μέσων όρων της εδαφικής υγρασίας διαχωρισμένες σε αρδευόμενα και μη εδάφη για τα 4 βάθη που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις.....	48
Πίνακας 4. Μετεωρολογικά δεδομένα.....	49
Πίνακας 5. Τιμές για τον αριθμό F και το Sig. όπως προκύπτουν από το SPSS για το CO ₂	64
Πίνακας 6 Τιμές για τον αριθμό F και το Sig. όπως προκύπτουν από το SPSS για τη θερμοκρασία εδάφους.	65
Πίνακας 7. Τιμές για τον αριθμό F και το Sig. όπως προκύπτουν από το SPSS για την εδαφική υγρασία.	66
Πίνακας 8. Η σημαντική διαφορά των παραγόντων της εδαφικής υγρασίας ανά βάθος μέτρησης για τα αρδευόμενα ή μη εδάφη με τη χρήση του Tukey test.	67
Πίνακας 9 Η σημαντική διαφορά των παραγόντων του CO ₂ ανά οικόπεδο μέτρησης για τα αρδευόμενα ή μη εδάφη με τη χρήση του Tukey test.	68
Πίνακας 10 Η σημαντική διαφορά των παραγόντων της θερμοκρασίας εδάφους ανά οικόπεδο μέτρησης για τα αρδευόμενα ή μη εδάφη με τη χρήση του Tukey test. ...	70

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

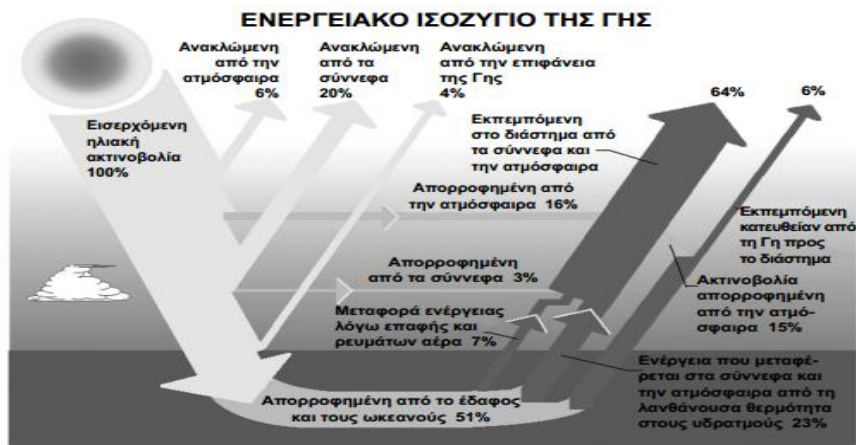
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της εποχικής διακύμανσης των εκπομπών CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα αρδευόμενης καλλιέργειας ελαιόδεντρων. Ακόμα επιχειρείται η εξαγωγή συμπερασμάτων για την επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων όπως η θερμοκρασία και υγρασία του εδάφους αλλά και η θερμοκρασία αέρος και η βροχόπτωση στην μεταβολή των τιμών της εκπομπής CO₂.

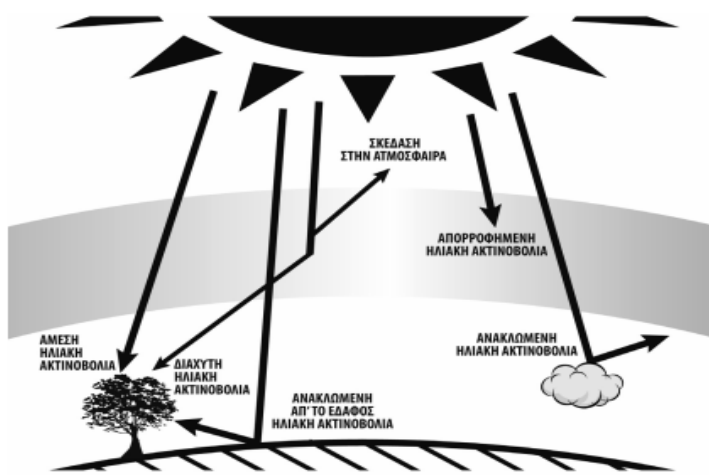
1.2 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Φαινόμενο του θερμοκηπίου ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία η ηλιακή ακτινοβολία εγκλωβίζεται στο εσωτερικό της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα την αύξηση της συνολικής θερμοκρασίας του πλανήτη. Συγκεκριμένα η ηλιακή ακτινοβολία αφού εισέλθει στην ατμόσφαιρα αλληλεπιδρά με τα αέρια που την αποτελούν μέσω των μηχανισμών της απορρόφησης, της ανάκλασης και της ελαστικής σκέδασης. Τα κύρια αέρια που λαμβάνουν μέρος στις παραπάνω διαδικασίες είναι το οξυγόνο O₂, το όζον O₃, οι υδρατμοί, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), το μεθάνιο (CH₄) το υποξείδιο του αζώτου (N₂O) και οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) που αποτελούν και τα βασικά αέρια της ατμόσφαιρας. Μέσω των μηχανισμών της απορρόφησης, της ανάκλασης και της σκέδασης η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας ελαττώνεται και η επιφάνεια δέχεται λιγότερη ακτινοβολία σε σχέση με αυτήν που εισήλθε αρχικά στην ατμόσφαιρα (<http://www.britannica.com/>).. Οι τρεις αυτοί μηχανισμοί δρουν ταυτόχρονα και συνδυαστικά με την απορρόφηση να μειώνει την ένταση συγκεκριμένων μηκών κύματος της ακτινοβολίας μέσω της απορρόφησής της από τα μόρια των αερίων (χαρακτηριστικό μ.κ. για κάθε αέριο), την ανάκλαση να επιστρέφει εκτός ατμόσφαιρας ποσά ακτινοβολίας ανεξαρτήτως μήκους κύματος και την ελαστική σκέδαση να πραγματοποιεί ταυτόχρονα εκτροπή πορείας της ακτινοβολίας όπως και απορρόφηση μέρους της (μέσω των ηλεκτρονίων) και επανεκπομπή της σε διαφορετικά μήκη κύματος (Εικόνα 1). Το αποτέλεσμα όλης της παραπάνω διαδικασίας είναι ότι η μέση τιμή (με ανώτερες τιμές) της πυκνότητας της ηλιακής ισχύος στο έδαφος υπολογίζεται σε 1150 W/m² τη στιγμή που στα όρια της ατμόσφαιρας η ηλιακή σταθερά φθάνει τα 1370 W/m² (Τσούτσος, 2012).



Εικόνα 1 Ανάλυση της διασποράς της ηλιακής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα (Τσούτσος, 2012)

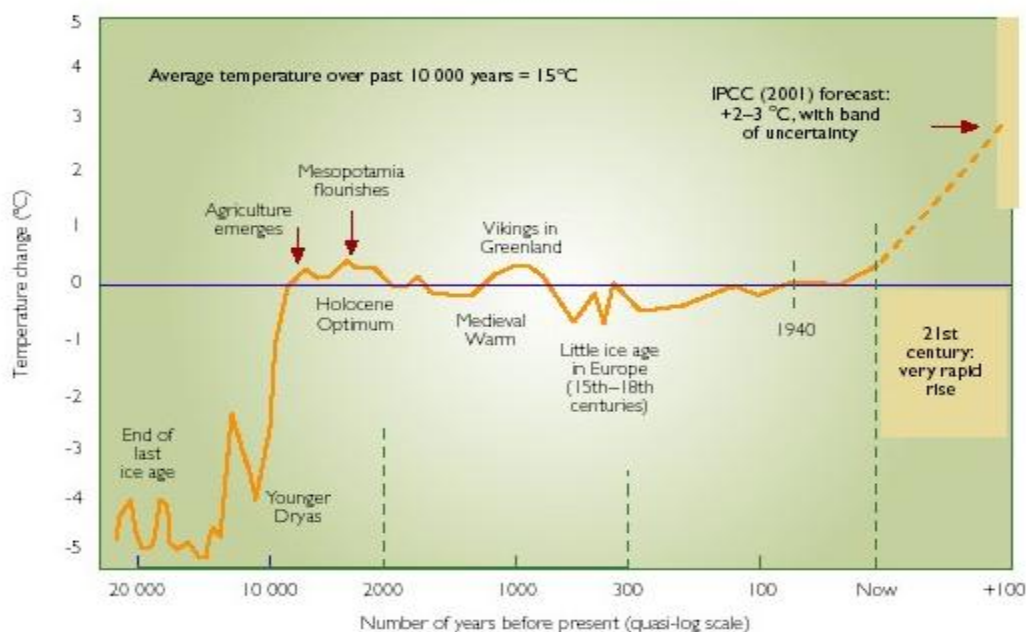
Μέσω της σύνθετης διαδικασίας αλληλεπίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα ένα σημαντικό τμήμα της φθάνει στην επιφάνεια της Γης όπου ξεκινά ένας νέος κύκλος διεργασιών. Στο έδαφος και στους ωκεανούς το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας απορροφάται (μόλις το 4% γυρίζει στην ατμόσφαιρα μέσω ανάκλασης), με συνακόλουθο αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του εδάφους (14°C μέση τιμή) και την εκπομπή από αυτό θερμικής ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος. Αυτή η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπει το έδαφος απορροφάται σχεδόν εξολοκλήρου από την ατμόσφαιρα χωρίς να διαφεύγουν σημαντικά ποσά θερμότητας στο διάστημα και επανεκπέμπεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός σύνθετου ενεργειακού ισοζυγίου ατμόσφαιρας και εδάφους που τροφοδοτείται συνεχώς μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας και αποτελεί πρακτικά μια «παγίδα» ενέργειας. Η κατακράτηση της θερμικής ακτινοβολίας αυξάνει τη θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης κατά 40°C σε σχέση με τη θερμοκρασία που θα επικρατούσε χωρίς την ύπαρξη της ατμόσφαιρας και δημιουργεί το φαινόμενο του θερμοκηπίου (Εικόνα 2) (Τσούτσος, 2012)



Εικόνα 2 Απεικόνιση του φαινομένου του θερμοκηπίου(Τσούτσος 2012)

1.3 ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου, όπως αναλύθηκε, είναι ο φυσικός μηχανισμός ρύθμισης της θερμοκρασίας του πλανήτη και άρα της ύπαρξης του όπως τον γνωρίζουμε σήμερα. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια ο όρος αυτός έχει λάβει αρνητική χροιά και συνδέεται άμεσα με την κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση του πλανήτη. Όχι άδικα το φαινόμενο του θερμοκηπίου αποτελεί έναν εκ των βασικών παραγόντων της κλιματικής αλλαγής και αυτό διότι η αύξηση των συγκεντρώσεων των αερίων του θερμοκηπίου λόγω της ανθρωπογενούς δραστηριότητας είναι εξαιρετικά σημαντική τα τελευταία 150 και πλέον χρόνια. Τα αέρια αυτά είναι κατά κύριο λόγο το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 , το μεθάνιο CH_4 το υποξείδιο του αζώτου N_2O και οι χλωροφθοράνθρακες CFC (ένα σύνολο αερίων που περιέχουν φθόριο, χλώριο, βρώμιο (<http://www.ipcc.ch/>) Εικόνα 3. Όσο αυξάνονται τα συγκεκριμένα αέρια συγκρατούν μεγαλύτερα ποσά θερμικής ενέργειας στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας με αποτέλεσμα τη σταδιακή άνοδο της θερμοκρασίας που με τη σειρά της έχει οδηγήσει στην υπερθέρμανση του πλανήτη (Global Warming) όπως χαρακτηρίστηκε φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (<http://epa.gov/climatechange/>)



Εικόνα 3 Η διακύμανση της θερμοκρασίας του πλανήτη στη διάρκεια 20000 χρόνων (<http://www.ipcc.ch/>).

Η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη οδηγεί στη λεγόμενη κλιματική αλλαγή (climate change) που συντελείτε ήδη και τις τελευταίες δεκαετίες έχει ενταθεί σημαντικά. Για την ακρίβεια η κλιματική αλλαγή αποτελεί και αυτή μια φυσική διαδικασία του πλανήτη που εναλλάσσει θερμές με ψυχρές περιόδους, μόνο που στην προκειμένη περίπτωση η εναλλαγή αυτή έχει εντατικοποιηθεί λόγω της ανθρωπίνης παρέμβασης και έτσι πολλές φορές συναντάται ο όρος ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή (anthropogenic climate change) <http://www.ipcc.ch/>. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι πολυεπίπεδες και συναντώνται σε όλο το φάσμα των

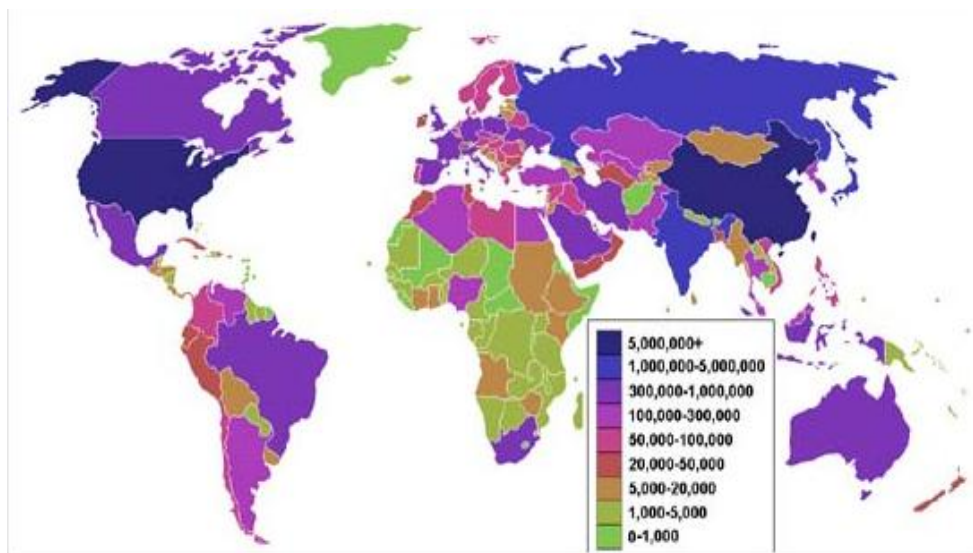
δραστηριοτήτων του ανθρώπου από την υγεία ως την οικονομία. Επίσης, δημιουργούν σημαντικό αντίκτυπο στο περιβάλλον και σε κάθε έμβιο οργανισμό καθώς τα οικοσυστήματα μεταβάλλονται ταχύτατα (λιώσιμο πάγων, άνοδος της στάθμης της θάλασσας, ερημοποίηση περιοχών, αύξηση της συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων, γενικότερη αλλαγή κλιματολογικών συνθηκών) και οι φυσικοί μηχανισμοί επαναφοράς και προσαρμοστικότητας τίθενται υπό σκληρή δοκιμασία (<http://www.giss.nasa.gov/>).

1.4 ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ - ΔΡΑΣΗ ΔΙΕΘΝΟΥΣ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑΣ

Στο πλαίσιο της αντιμετώπισης του φαινομένου, αφού πρώτα κατέστη σαφής η σπουδαιότητα του, η διεθνής κοινότητα κινητοποιήθηκε και ξεκίνησε έναν έντονο και πολυετή διάλογο μέσω διεθνών διασκέψεων που διαρκεί μέχρι σήμερα και έχει ως ορόσημα τις εξής ημερομηνίες:

1. Συνδιάσκεψη του Ρίο 1992. Μια πρώτη απόπειρα να αναλυθεί το πρόβλημα και να ξεκινήσει η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου χωρίς όμως σαφείς στόχους και χρονοδιαγράμματα.
2. Πρωτόκολλο του Κυότο 1997. Συγκεκριμενοποίηση στόχων και χρονοδιαγραμμάτων με ένα εξαιρετικά φιλόδοξο πρόγραμμα μείωσης εκπομπών σε έξι συγκεκριμένα αέρια του θερμοκηπίου. Πρακτικά τορπιλίστηκε από τους βασικούς ρυπαντές που είτε δεν το υιοθέτησαν εξ αρχής είτε δεν το εφήρμοσαν ποτέ (ΗΠΑ, Κίνα, Ινδία, Αραβικά Κράτη).
3. Διάσκεψη της Κοπενχάγης 2009. Υψηλές προσδοκίες για επαναβεβαίωση και βελτίωση του πρωτοκόλλου του Κυότο που τελικά διαψευστήκαν αφού δεν κατέληξε σε καμία δεσμευτική συμφωνία.
4. Διασκεψη του Κανκουν 2010. Στα θετικά του η δημιουργία Ταμείου για το Περιβάλλον και η έναρξη της συζήτησης για την περίοδο μετά το Πρωτόκολλο του Κυότο. www.ypoka.gr

Στην παρακάτω εικόνα εμφανίζονται οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα για κάθε χώρα, το λεγόμενο και Αποτύπωμα του Άνθρακα (carbon footprint). Η αποτύπωση του προβλήματος είναι ξεκάθαρη και εμφανής καθώς και οι πολιτικές που ακολούθησε κάθε χώρα ακόμα και μετά το Πρωτόκολλο του Κυότο (Εικόνα 4).

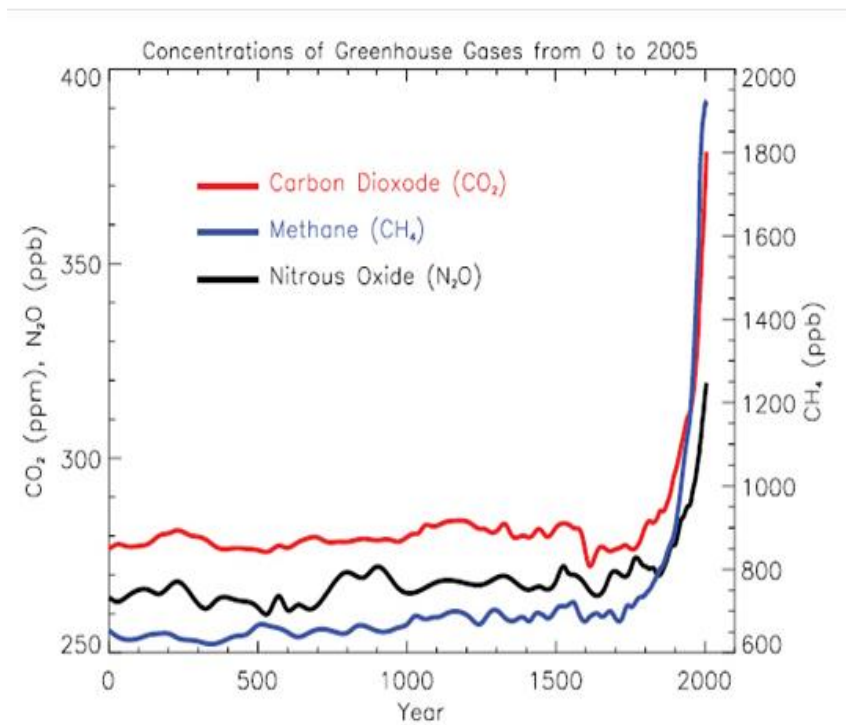


Εικόνα 4 Αποτύπωμα Άνθρακα (Carbon Footprint)

Το νέο πλαίσιο αναμένεται να συζητηθεί εκτενώς στη διάσκεψη του Παρισιού το 2015 όπου θα συγκεκριμενοποιηθούν και οι στόχοι μείωσης των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και η λήψη πρόσθετων δράσεων. (<http://unfccc.int/2860.php>)

1.5 ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΑΕΡΙΩΝ ΤΟΥ ΘΕΡΜΟΚΗΠΙΟΥ

Τα αέρια του θερμοκηπίου όπως αναφέρθηκε και παραπάνω και όπως με σαφήνεια διατυπώνεται στο Πρωτόκολλο του Κυότο αποτελούν την πηγή της διόγκωσης του φαινομένου του θερμοκηπίου και της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Η πλειοψηφία τους συναντάται στη φύση, με εξαίρεση τους χλωροφθοράνθρακες. Όμως για τις σημερινές τους συγκεντρώσεις και την τεράστια αύξησή τους από το 1750 και μετά σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η ανθρώπινη δραστηριότητα. Πιο συγκεκριμένα, η καύση ορυκτών και γενικότερα η βιομηχανία, η εκτεταμένη χρήση λιπασμάτων στις καλλιέργειες και η κτηνοτροφία (λόγω της αυξανόμενης κατανάλωσης κρέατος και γαλακτοκομικών προϊόντων) αποτελούν ανθρωπογενείς παράγοντες της αύξησης των αερίων αυτών. Στη διάρκεια των τελευταίων 260 ετών και ιδιαίτερα μετά την έκρηξη της βιομηχανικής επανάστασης οι εκπομπές των συγκεκριμένων αερίων πολλαπλασιάστηκαν ενώ δημιουργήθηκαν και αέρια που αποδείχθηκαν πολύ πιο επικίνδυνα όπως οι χλωροφθοράνθρακες που ευθύνονται και για την ελάττωση της ζώνης του όζοντος (Ewings, 2007). Αυτό γίνεται απολύτως εμφανές στην Εικόνα 5 όπου παρατηρείται η διαχρονική εξέλιξη της συγκέντρωσης των κυριότερων αερίων του θερμοκηπίου με τη μορφή διαγράμματος



Εικόνα 5. Διακύμανση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου τα τελευταία 2000 χρόνια (www.ipcc.ch)

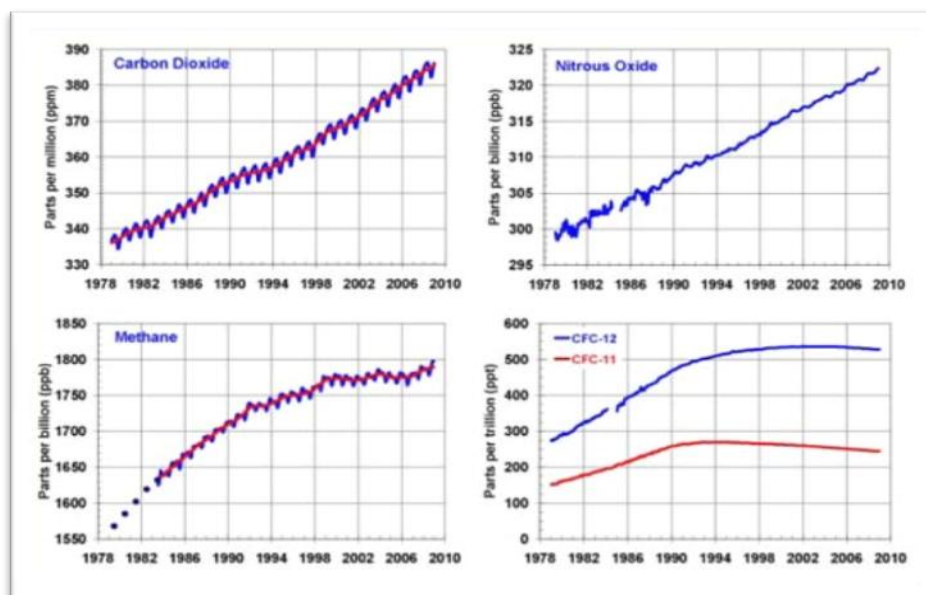
Τα αέρια του θερμοκηπίου κατηγοριοποιούνται με βάση την ικανότητα τους να παγιδεύουν θερμότητα στην ατμόσφαιρα. Στα πλαίσια αυτής της κατηγοριοποίησης έχει δημιουργηθεί σχετικός κατάλογος όπου συγκρίνεται η ικανότητα παγίδευσης θερμότητας στην ατμόσφαιρα για κάθε αερίου σε σχέση με αυτήν του διοξειδίου του άνθρακα CO_2 , που αποτελεί και το πιο κοινό αέριο του θερμοκηπίου που συναντάται στην ατμόσφαιρα. Επίσης συγκρίνεται και ο χρόνος που παραμένει κάθε αέριο στην ατμόσφαιρα πριν διαλυθεί. Αυτή η διάκριση αποτελεί το Δυναμικό Θέρμανσης του Πλανήτη (Global Warming Potential) GWP. Παρακάτω φαίνονται οι ενδεικτικές τιμές των βασικών αερίων του θερμοκηπίου με βάση το GWP (Εικόνα 6).

MAIN GREENHOUSE GASES						
Greenhouse Gas	Chemical Formula	Pre-Industrial Concentration	Concentration in 2005	Atmospheric Life (years)	Anthropogenic Sources	Global Warming Potential (GWP)
Carbon-dioxide	CO_2	280 ppm	379 ppm	Variable	Fossil Fuel Combustion Land Use Conversion Cement Production	1
Methane	CH_4	700 ppb	1774 ppb	12	Fossil Fuel Rice Paddies Landfill Waste Livestock	21
Nitrous oxide	N_2O	275 ppb	319 ppb	114	Fertilisers Combustion Industrial Processes	310

Εικόνα 6. Απεικόνιση των βασικών χαρακτηριστικών των αερίων του θερμοκηπίου (Ewings, 2007)

Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα το διοξείδιο του άνθρακα παρότι δεν είναι το αέριο με τη μεγαλύτερη ικανότητα παγίδευσης θερμότητας θεωρείται ίσως το σημαντικότερο ανάμεσα στα υπόλοιπα σημαντικά αέρια αφού συναντάται σε πολύ

μεγάλες συγκεντρώσεις και συνεχώς αυξάνεται. Η αύξησή του, όπως και των υπολοίπων, είναι θεαματική ακόμα και τα τελευταία 35 χρόνια που το πρόβλημα είχε εντοπιστεί και ξεκινούσαν οι δράσεις καταπολέμησης του. Χαρακτηριστική είναι η παρακάτω Εικόνα 7 που απεικονίζει την ένταση με την οποία αυξάνονται οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για τα σημαντικότερα αέρια του θερμοκηπίου.

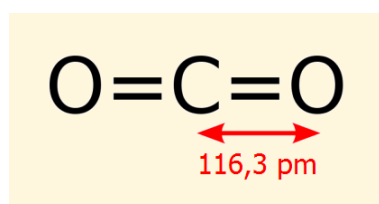


Εικόνα 7. Διακύμανση των αερίων του θερμοκηπίου τα τελευταία 30 χρόνια (www.esrl.noaa.gov/.)

Η αύξηση της συγκέντρωσης ειδικά στο διοξείδιο του άνθρακα CO₂ αγγίζει το 20% ενώ ακολουθεί με σημαντική αύξηση τόσο το μεθάνιο CH₄ όσο και το υποξείδιο του νατρίου N₂O σχετική σταθεροποίηση και κάμψη εμφανίζουν οι χλωροφθοράνθρακες CFC που πρακτικά έχουν απαγορευτεί από το 1989 και μετά λόγω των επιπτώσεων που έχουν στο στρώμα του όζοντος, τη θέση τους κατέλαβαν άλλα αέρια όπως υδροφθοράνθρακες (HFCs), υπερφθοράνθρακες (PFCs) και εξαφθοριούχο θείο (SF₆) τα οποία αν και ανιχνεύονται σε χαμηλές συγκεντρώσεις είναι εξαιρετικά επιζήμια στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.6 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ CO₂

Το διοξείδιο του άνθρακα CO₂ αποτελεί το σημαντικότερο εκ των αερίων του θερμοκηπίου αφού η συγκέντρωση του στην ατμόσφαιρα είναι σημαντικά μεγαλύτερα από τα υπόλοιπα. Από χημικής άποψης το CO₂ είναι μια απλή ένωση τριών μορίων, δύο μορίων οξυγόνου και ενός μορίου άνθρακα με ομοιοπολικό δεσμό σε γραμμική διεύθυνση (Εικόνα 8) (Βαλαβανίδης και Ευσταθίου, 2014).

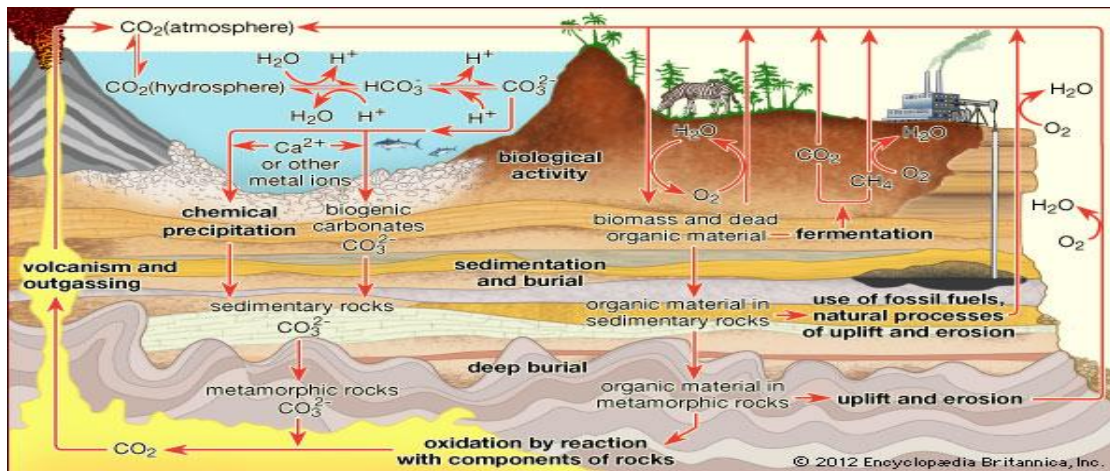


Εικόνα 8. Μόριο Διοξειδίου του Άνθρακα (Βαλαβανίδης και Ευσταθίου, 2014)

Ωστόσο το διοξείδιο αποτελεί μian ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα ένωση αφού εμφανίζει τόσο πολλαπλές πηγές προέλευσης όσο και πολλαπλές χρήσεις. Ακόμα σημαντικό θεωρείτε ότι το διοξείδιο του άνθρακα είναι ένα από τα ακρογωνιαία αέρια της ατμόσφαιρας της Γης και από τους βασικούς συντελεστές της δημιουργίας των σημερινών συνθηκών στον πλανήτη (Βαλαβανίδης και Ευσταθίου, 2014).

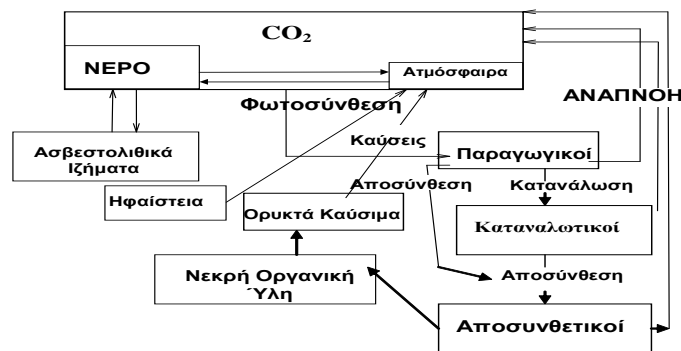
Η ύπαρξη του διοξειδίου του άνθρακα στη Γήινη ατμόσφαιρα τοποθετείται ευθύς εξαρχής από τη δημιουργία της. Μάλιστα την περίοδο αυτή το CO₂ αποτελούσε το κυρίαρχο σε ποσότητα άνθρακα εκ των αερίων της ατμόσφαιρας και λειτούργησε ως καύσιμο για την πύκνωση της οργανικής βιομάζας και του οξυγόνου. Ο ατμοσφαιρικός άνθρακας και το διοξείδιο του άνθρακα που αποτελεί την κύρια έκφρασή του μειώνονταν συνεχώς έως ότου σταθεροποιήθηκαν πριν αρκετές χιλιάδες χρόνια. Χαρακτηριστικό των όσων αναφέρθηκαν είναι το αποτέλεσμα ερευνών που έδειξε ότι η συγκέντρωση του CO₂ στην ατμόσφαιρα μειώθηκε δραστικά και πριν 500 εκατομμύρια χρόνια ήταν περίπου 7500 ppm, δηλ. περίπου 20 φορές υψηλότερη από ό,τι είναι στις σημερινές εποχές. Πριν 300 εκατομμύρια χρόνια η συγκέντρωση έφθασε τα 370 ppm, πριν 43 εκατομμύρια χρόνια ήταν 385 ppm και πριν 25 έως 9 εκατομ. χρόνια μειώθηκε ακόμη περισσότερο στα επίπεδα των 180-290 ppm (Earth's Early Atmosphere, 2011).

Η προέλευση του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα προέρχεται από δύο κύριες ομάδες, την ομάδα φυσικής προέλευσης και την ομάδα ανθρωπογενούς προέλευσης. Η πρώτη αποτελείται από όλες της πηγές διοξειδίου του άνθρακα που υπάρχουν στη φύση. Αυτές χωρίζονται σε γεωλογικές και βιολογικές, γεωλογικές είναι οι εκπομπές από τα ηφαίστεια και τους θερμούς πίδακες αερίων που προέρχονται από το εσωτερικό του πλανήτη. Οι εκπομπές αυτές ανατροφοδοτούνται μέσω μακροχρόνιων γεωλογικών διαδικασιών αφού το ανθρακικό οξύ που δημιουργείται από την αντίδραση του διοξειδίου του άνθρακα με το νερό των ωκεανών αντιδρά με τη σειρά του με το ασβέστιο (Ca) και δημιουργεί ασβεστολιθικά ιζήματα που καθιζάνουν στους πυθμένες των ωκεανών και μέσω της κίνησης (κυρίως της βύθισης) εμπλουτίζουν το ρευστό του μανδύα με διοξείδιο του άνθρακα (Εικόνα 9) (<http://www.britannica.com/>).



Εικόνα 9. Κύκλος του άνθρακα - φυσικής προέλευσης (<http://www.britannica.com/>).

Βιολογικές από την πλευρά τους ονομάζονται οι εκπομπές που προέρχονται από τη φωτοσύνθεση και την κυτταρική αναπνοή στα εδάφη και του ωκεανούς από όλους τους ζωντανούς οργανισμούς του πλανήτη. Συγκεκριμένα τόσο η χλωρίδα όσο και η πανίδα του πλανήτη, συνεπικουρούμενες από τους πάσης φύσεως μικροοργανισμούς είτε παράγουν είτε καταναλώνουν ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα, αφού για τη φωτοσύνθεση που μέσω αυτής παράγεται το οξυγόνο είναι απαραίτητη η κατανάλωση διοξειδίου του άνθρακα ενώ μέσω της αναπνοής και της αποικοδόμησης επιστρέφουν στην ατμόσφαιρα μεγάλες ποσότητες CO₂ δημιουργώντας έτσι έναν



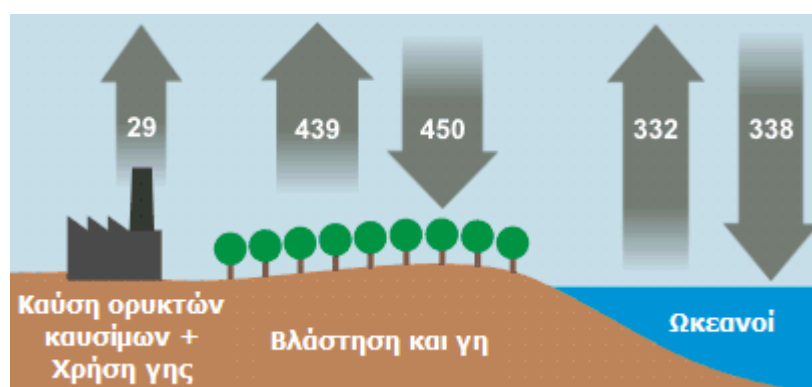
Εικόνα 10. Κύκλος του Άνθρακα - βιολογικής προέλευσης

αέριο κύκλο του άνθρακα της ατμόσφαιρα Εικόνα 10.

Στην πραγματικότητα το ισοζύγιο αυτό είναι ελαφρώς αρνητικό και οι ποσότητες του διοξειδίου θα έπρεπε συνεχώς να μειώνονται στην ατμόσφαιρα. Όμως με τη συνδρομή της δεύτερης κύριας πηγής διοξειδίου του άνθρακα, της ανθρωπογενούς δραστηριότητας, τα δεδομένα του ισοζυγίου ανατρέπονται. Ειδικότερα, η ανθρωπογενής δραστηριότητα με την καύση ορυκτών καυσίμων, κυρίως σε βιομηχανικές δραστηριότητες και μεταφορές αλλά και για τη λύση αστικών ζητημάτων, την εκτεταμένη γεωργία και κτηνοτροφία καθώς και τη συνεχιζόμενη αποψίλωση των δασών και υποβάθμιση των θαλασσών δημιουργεί συνθήκες τέτοιες που συντελούν στην συσσώρευση διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα με

συνακόλουθο αποτέλεσμα την διόγκωση του φαινομένου του θερμοκηπίου με όλες της δυσμενής συνέπειες που αναφέρονται στη σχετική παράγραφο.

Συγκεκριμένα αν και οι 29 γιγατόνοι ανθρωπογενούς CO₂ αποτελούν μικρό μόλις κλάσμα στο σύνολο των παραγόμενων 800 γιγατόνων CO₂ (κατ' εκτίμηση πάντοτε), είναι αυτοί που δημιουργούν ένα πλεόνασμα 12 γιγατόνων, που δεν απορροφάται από τους αποδέκτες και είναι υπεύθυνο για τη σταδιακή αύξηση του ατμοσφαιρικού CO₂ (Εικόνα 11).



Εικόνα 11. Ισοζύγιο CO₂ στην ατμόσφαιρα(IPCC AR4).

1.6.1 ΔΙΟΞΕΙΔΙΟ ΤΟΥ ΑΝΘΡΑΚΑ ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ

Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις καταλαμβάνουν ένα τεράστιο ποσοστό του πλανήτη, αφού μαζί με τα βοσκοτόπια και τα δάση για υλοτομία αγγίζουν το 46,6% της συνολικής χερσαίας έκτασης (Εικόνα 12) (FAO). Από το γεγονός αυτό και μόνο γίνεται αντιληπτό ότι οι πιθανές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου από αυτές τις εκτάσεις λόγω των εκμεταλλεύσεων που λαμβάνουν χώρα αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι του γενικότερου προβλήματος. Είναι γνωστό πως από τις αγροτικές καλλιέργειες και τις κτηνοτροφικές δραστηριότητες οι κύριες εκπομπές σε αέρια του θερμοκηπίου αφορούν το υποξείδιο του αζώτου N₂O και το μεθάνιο CH₄ που συνολικά συνεισφέρουν στο 20% του συνόλου των παραγόμενων αερίων του θερμοκηπίου. Παρά ταύτα και οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα είναι αρκετά υψηλές και αποτελούν το 3-6% των συνολικών εκπομπών άνθρακα στην ατμόσφαιρα (Pausian, 1997).

Activity	Area involved 10 ⁶ km ²	% of Earth's land surface
Human-modified land		
Cropland (mostly cultivated or plowed land = FAO's arable land and permanent crops)	16.7 ± 2.4	12.8 ± 1.8
Permanent meadows and pastures (mostly uncultivated)	33.5 ± 5.7	25.8 ± 4.3
Land area modified by deposition of eroded sediment	5.3 ± 2.0	4.1 ± 1.5
Land area modified by logging operations	2.4 ± 1.2	1.8 ± 0.9
Forest area (planted)	2.7	2.1
Subtotal agriculture and forestry	60.6 ± 6.5*	46.6 ± 5.0
Urban areas (including urban roads)	3.7 ± 1.0	2.8 ± 0.8
Rural housing and businesses	4.2 ± 1.4	3.2 ± 1.1
Highways and roads in rural areas	0.5 ± 0.1	0.4 ± 0.1
Reservoirs	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1
Railways	0.03	0.02
Mining and quarrying	0.4 +0.4/-0.1	0.3 +0.3/-0.1
Subtotal human infrastructure	9.0 ± 1.7	6.9 ± 1.3
Total land area modified by humans	69.6 ± 6.7	53.5 ± 5.1
Natural land (mostly)		
Forest area (natural but not necessarily virgin)	36.2 ± 2.9	27.8 ± 2.2
Other land (largely high mountains, tundra, and deserts, unsuitable for agriculture)	24.3	18.7
Total natural land	60.5	46.5
Total land area (exclusive of ice sheets)	130.1	100.0

Note: FAO—Food and Agriculture Organization of the United Nations.

*Apparent errors in some sums are due to accumulated round-off errors.

Εικόνα 12. Καταμερισμός των γαιών παγκοσμίως (Pausian, 1997).

Στις αγροτικές εκμεταλλεύσεις δημιουργείτε ένα ισοζύγιο του διοξειδίου του άνθρακα αφού έχουμε και την κατανάλωση και την παραγωγή του. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα στοιχεία των εκπομπών από τα εδάφη των καλλιεργειών, που οφείλονται τόσο στον προϋπάρχον άνθρακα του εδάφους όσο και στα είδη των καλλιεργειών και τις τεχνικές που ακολουθούνται. Μάλιστα συγκεκριμένα είδη καλλιεργειών δημιουργούν μεγαλύτερες του αναμενομένου εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από το έδαφος, αφού σύμφωνα με μελέτες (Eriksson 1991; Forsius 1996) το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα ξεπερνούσε το 10% των συνολικών εκπομπών των χωρών που μελετήθηκαν (Σουηδία, Φιλανδία) με την αγροτική γη να είναι κάτω του 10% των εκτάσεων (Kasimir and Klemedtsson, 1997).

1.6.2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΤΟΥ CO₂ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από το έδαφος αποτελούν το συνδυαστικό αποτέλεσμα δύο κύριων διαδικασιών: της παραγωγής CO₂ (κυρίως μέσω της αναπνοής των ριζών των φυτών και των μικροοργανισμών του εδάφους) και της μεταφοράς των αερίων δια μέσω του εδάφους με τον έλεγχο της κίνησης του CO₂ προς την ατμόσφαιρα και του O₂ αντίστροφα προς το έδαφος (Kutsch et al., 2009). Κάποιες άλλες μη βιολογικές διαδικασίες υπάρχουν και ενδυναμώνουν ή ελαττώνουν το δυναμικό του άνθρακα στο έδαφος αλλά δεν είναι ιδιαίτερα σημαντικές στο βαθμό τουλάχιστον που να επηρεάζουν τις εκπεμπόμενες ποσότητες CO₂ (αφορούν κυρίως κάποιες χημικές αντιδράσεις που πραγματοποιούνται καθώς και τη φυγή υδατανθράκων στα υπόγεια νερά). Τη μέγιστη συνεισφορά στην απόθεση άνθρακα στο έδαφος έχουν τα οργανικά υπολείμματα που βρίσκονται είτε στην επιφάνεια του εδάφους είτε στη ζώνη των ριζών καθώς επίσης και οι υδατάνθρακες (γλυκόζη κυρίως) που δημιουργούνται με τη φωτοσύνθεση στα φύλλα των φυτών και μεταφέρονται στις ρίζες (Anderson and Domsch, 1986). Φυσικά τόσο η παραγωγή CO₂ όσο και η μεταφορά του στο έδαφος επηρεάζονται από πολλούς περιβαλλοντολογικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία του εδάφους

αλλά και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του (ειδικά το πορώδες και η περιεκτικότητα του σε οργανικά υλικά). Άλλοι παράγοντες που έχουν μικρότερη επίδραση στις εκπομπές του CO₂ είναι τα είδη και η ποσότητα των μικροοργανισμών του εδάφους, το pH, η σχέση C/N στην οργανική ύλη, αλλά και στοιχεία όπως η ύπαρξη βαρέων μετάλλων, αντιβιοτικών και άλλων πηγών ρύπανσης στο έδαφος (Fang and Moncrieff, 1999).

Το CO₂ του εδάφους εντοπίζεται σε δύο φάσεις, την αέρια και την υγρή. Έτσι και η μεταφορά του μπορεί να περιγραφεί με ένα συνδυασμό των δύο αυτών φάσεων σε ένα ισοζύγιο μάζας (Fang and Moncrieff, 1999):

$$\frac{\theta C_T}{\theta t} = - \frac{\theta}{\theta z} (F_{dg} + F_{ag} + F_{dw} + F_{aw}) + S$$

F_{dg} : CO₂ flux από διασπορά και διάχυση αέριας φάσης

F_{dw} : CO₂ flux από διασπορά και διάχυση υγρής φάσης

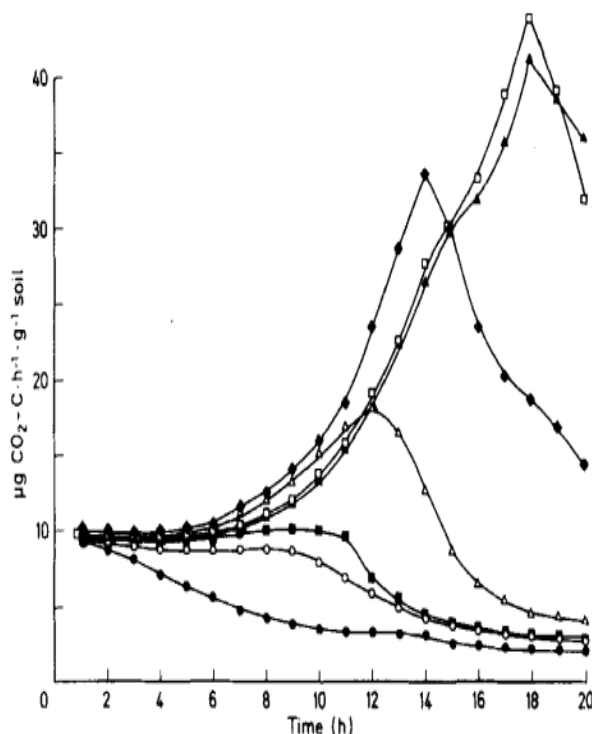
F_{ag} : CO₂ flux από διάδοση των αερίων

F_{aw} : CO₂ flux από την καθετη κίνηση του νερού

S : παραγωγή CO₂

C_T : συνολική συγκέντρωση του CO₂ και στις δύο φάσεις

Το έδαφος εμπεριέχει ποσότητες άνθρακα που αποθηκεύονται σε αυτό έχοντας διαφορετικές προελεύσεις. Την σημαντικότερη πηγή άνθρακα για το έδαφος αποτελούν τα φυτά διότι η περίσσεια διοξειδίου του άνθρακα από την αναπνοή τους μέσω του ριζικού συστήματος εισέρχεται στο έδαφος, συνηθέστερα με τη μορφή γλυκόζης, και καταναλώνεται από μικροοργανισμούς του εδάφους, επίσης πηγή άνθρακα για το έδαφος αποτελεί η αποικοδόμηση σε μεγάλους χρόνους της γερασμένης οργανικής ύλης των ίδιων των φυτών (Kutsch et al., 2009). Οι μικροοργανισμοί με τη σειρά τους μεταβολίζουν τη γλυκόζη που λαμβάνουν μέσω του ριζικού συστήματος και αναπαράγονται εκλύοντας ως παραπροϊόν το διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο σταδιακά απελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα. Το έδαφος δεν αποβάλλει όλη την ποσότητα του άνθρακα που προσλαμβάνει αφού παραμένει τόσο ένα κομμάτι το οποίο ονομάζεται αδρανής άνθρακας όσο και ένα άλλο που αντιδρά και σχηματίζει μεγαλύτερες και πιο σταθερές ενώσεις που μεταβολίζονται σε ιδιαίτερες συνθήκες και μετά από χρονοβόρες και περίπλοκες διαδικασίες από συγκεκριμένους μικροοργανισμούς (Anderson and Domsch, 1986). Η δράση των μικροοργανισμών επηρεάζεται σημαντικά από διάφορους παράγοντες φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς που σχετίζονται με τη σύσταση του εδάφους. Σύμφωνα με τους Anderson και Domsch (1986), η μικροβιακή δράση έχει άμεση συσχέτιση με τη θερμοκρασία και την υγρασία του εδάφους, καθώς επίσης με το pH και τα ένζυμα που βρίσκονται στο έδαφος. Η παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και από τα ποσά άνθρακα που περιέχει η παραγόμενη από τα φυτά γλυκόζη, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 13.



Εικόνα 13. Παραγωγή CO₂ από μικροοργανισμούς με διαφορετική αρχική περιεκτικότητα γλυκόζης στην οργανική ύλη (Anderson and Domsch, 1986).

Ο συνδυασμός όλων των παραπάνω παραγόντων καθορίζει το τελικό αποτέλεσμα. τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από το έδαφος καθώς και τις πιθανές διακυμάνσεις τους από τόπο σε τόπο και από εποχή σε εποχή.

1.7 ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ ΕΛΑΙΟΔΕΝΤΡΩΝ

Οι ελαιώνες είναι η συνηθέστερη καλλιέργεια καρποφόρου δέντρου στην περιοχή της Μεσογείου που καλύπτει μεγάλες εκτάσεις των χωρών της και κυρίως της Ισπανίας, της Ιταλίας, της Πορτογαλίας και της Ελλάδας. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης οι τέσσερις αυτές χώρες έχουν καλλιέργειες ελαιόδεντρων σε εκτάσεις $5,5 \times 10^6$ ha και προσφέρουν στο ευρωπαϊκό ΑΕΠ 2.250 εκατομμύρια ευρώ (Beaufoy, 2002). Είναι επίσης μια καλλιέργεια που επηρεάζεται σημαντικά από την ανθρώπινη δραστηριότητα καθώς οι διαφορετικές γεωργικές τεχνικές αποτυπώνεται τόσο στη φυσιολογία του δέντρου όσο και στο ισοζύγιο του άνθρακα της καλλιέργειας. Μάλιστα τέτοιου είδους καλλιέργειες είναι αδύνατο να μοντελοποιηθούν με πρότυπο τα δασικά οικοσυστήματα αφού έχουν εκ διαμέτρου αντίθετες παραμέτρους. Συγκεκριμένα τόσο ο ανταγωνισμός για ηλιακό φως όσο και αυτός για νερό, που κατά τους θερινούς μήνες σε ένα μεσογειακό δασικό οικοσύστημα είναι πολύ υψηλός, εκλείπουν από μια καλλιέργεια ελαιόδεντρων αφού τα δέντρα είναι χωροθετημένα έτσι ώστε να δέχονται όλα με άνεση το φως του ήλιου αλλά και τις περισσότερες φορές είναι αρδευόμενα. Ακόμα τα θρεπτικά συστατικά

δεν είναι περιορισμένα αλλά τροφοδοτούνται συνεχώς. Άρα τα παραπάνω δεδομένα δημιουργούν ένα ελκυστικό περιβάλλον για περαιτέρω έρευνα στον τομέα των εκπομπών CO₂ σε μεσογειακά οικοσυστήματα ελαιοδέντρων (Repullo-Ruibérriz de Torres et al., 2012).

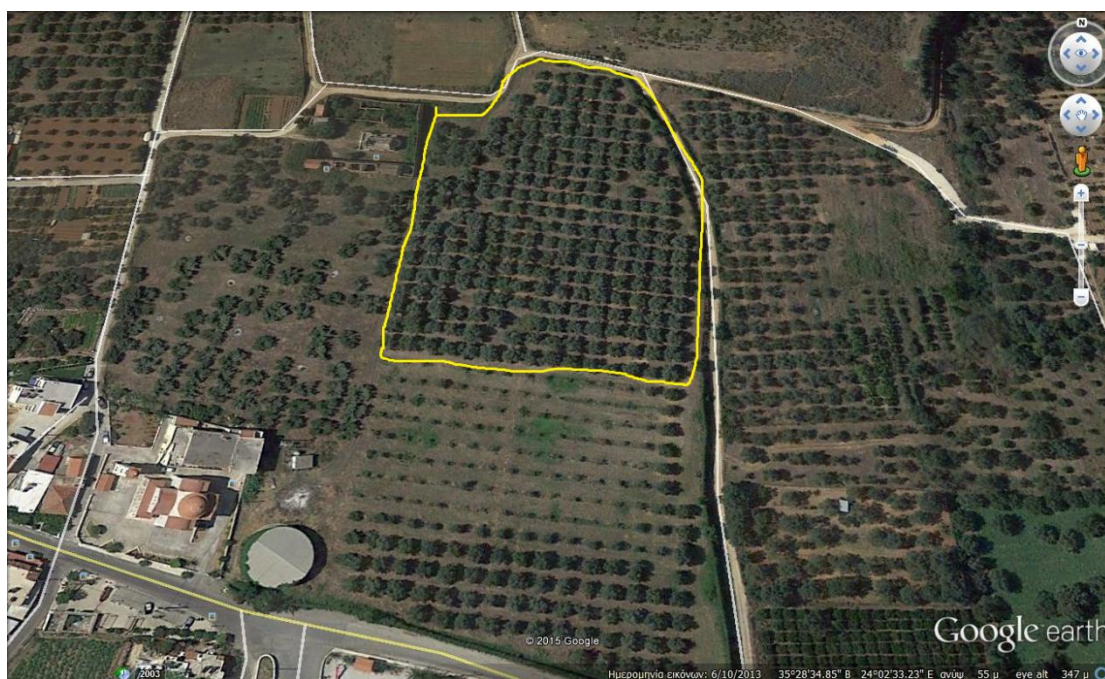
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Η παρούσα εργασία όπως αναφέρθηκε προηγουμένως στηρίζεται σε πραγματικές μετρήσεις που διενεργήθηκαν την περίοδο Ιανουαρίου - Νοεμβρίου 2014 σε αγροτεμάχιο με αρδευόμενα ελαιόδεντρα της περιοχής Νεροκούρου του δήμου Χανίων - Κρήτη. Σε αυτό το αγροτεμάχιο διενεργήθηκαν μετρήσεις της συγκέντρωσης CO₂ που εκπέμπεται από το εδαφικό υπόστρωμα καθώς επίσης και μετρήσεις τις εδαφικής υγρασίας και θερμοκρασίας. Οι μετρήσεις αυτές ήταν περιοδικές (κάθε τρεις εβδομάδες) και τα δεδομένα καταγράφονταν και στη συνέχεια επεξεργάζονταν κατάλληλα.

2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το πεδίο των μετρήσεων τοποθετείτε σε αγροτεμάχιο της περιοχής Νεροκούρου Χανίων που βρίσκεται υπό την αποκλειστική χρήση του Ινστιτούτου Ελιάς Υποτροπικών Φυτών και Αμπέλου (ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ). Η συγκεκριμένη τοποθεσία (35°28'34,85", 24°02'33,23") βρίσκεται στους πρόποδες του όρους Μαλάξα σε υψόμετρο περίπου 55m από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 14. Χωρική απεικόνιση - οριοθέτηση του μελετούμενου ελαιώνα μέσω του Google earth

Στο παρόν αγροτεμάχιο υπάρχει αποκλειστική καλλιέργεια ελιάς (ποικιλίας Καλαμών) και στο σύνολό του είναι καλυμμένο με ελαιόδεντρα (Εικόνα 14). Η χρήση της καλλιέργειας εξυπηρετεί εξολοκλήρου ερευνητικούς σκοπούς και η παρούσα εργασία αποτελεί τμήμα μιας εκ των πολλών ερευνών που πραγματοποιούνται από τον Ελληνικό Γεωργικό Οργανισμό διαχείρισης ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ (Ινστιτούτου Ελιάς Υποτροπικών Φυτών και Αμπέλου). Συγκεκριμένα, η

παρούσα διπλωματική εργασία έλαβε χώρα στα πλαίσια του ερευνητικού έργου OLIVE CLIMA - LIFE11 ENV/GR/000942.

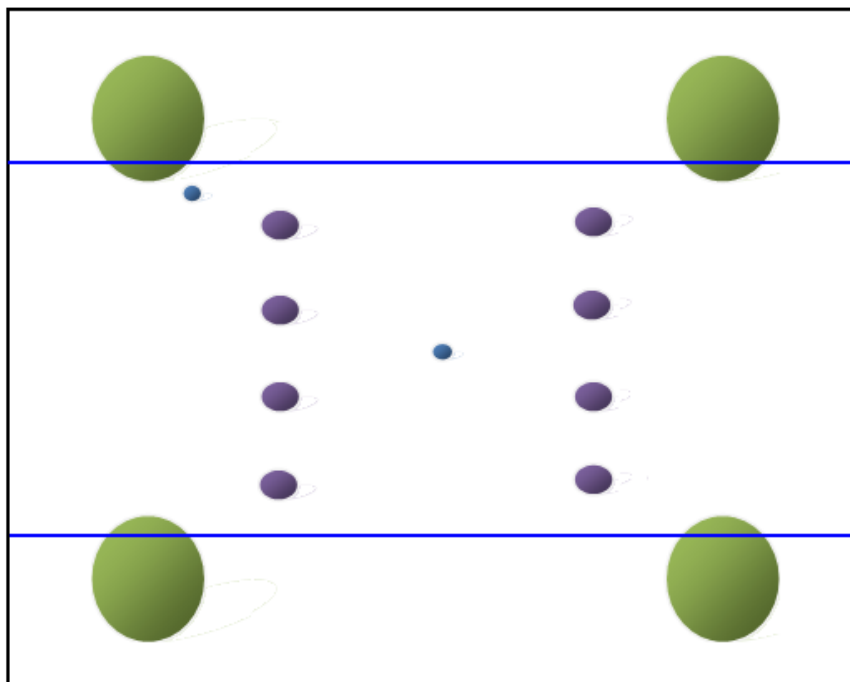
2.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι παράγοντες για τους οποίους πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στο πεδίο είναι η συγκέντρωση των εκπομπών CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα, η θερμοκρασία εδάφους και η υγρασία εδάφους σε τέσσερα διαφορετικά εδαφικά βάθη (10, 20, 30, 40 cm). Η μεθοδολογία των μετρήσεων αυτών διαφέρει, όπως διαφέρει και η περιοδικότητα τους. Για τον λόγο αυτό θα γίνει ένας διαχωρισμός σε δύο επιμέρους διαδικασίες μετρήσεων, μια πρώτη που αφορά τη συγκέντρωση των εκπομπών CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα και τη θερμοκρασία εδάφους και μια δεύτερη που αφορά την εδαφική υγρασία.

2.2.1 ΜΕΤΡΗΣΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΩΝ CO₂ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η συγκέντρωση των εκπομπών CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα και η θερμοκρασία εδάφους μετρούνταν με περιοδικότητα τριών εβδομάδων (μεταξύ 20-23 ημερών συνήθως). Η μέτρηση αυτή γινόταν με τη βοήθεια του κατάλληλου επιστημονικού εξοπλισμού και συγκεκριμένα με τη χρήση της συσκευής LI-6400XT και soil CO₂ flux chamber της εταιρείας Li-cor, η οποία ανήκει στην Σχολή Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Επίσης για τη διενέργεια των μετρήσεων υπήρξε και ειδική διαμόρφωση του αγροτεμαχίου. Συγκεκριμένα έγινε επιλογή τριών διαφορετικών περιοχών (πειραματικών τεμαχίων) εντός του αγροτεμαχίου στις οποίες έλαβε χώρα η συγκεκριμένη έρευνα – μετρήσεις. Έτσι επιλέχθηκαν τρία πειραματικά τεμάχια (plots) τα οποία οριοθετήθηκαν με στόχο να εμπεριέχουν τέσσερα διαφορετικά ελαιόδεντρα το καθένα. Προκειμένου να γίνουν εφικτές οι μετρήσεις των εκπομπών CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα με τη χρήση της συσκευής LI-6400XT, σε κάθε πειραματικό τεμάχιο τοποθετήθηκαν οχτώ βοηθητικού πλαστικοί δακτύλιοι (rings) (ύψους 6 cm και διαμέτρου 10 cm) οι οποίοι ενσωματώνονταν στο εδαφικό υπόστρωμα σε βάθος 2cm. Σε αυτούς τους βοηθητικούς δακτυλίους στην συνέχεια προσαρμοζόταν η συσκευή μέτρησης των εκπομπών CO₂. Οι βοηθητικοί αυτοί δακτύλιοι ήταν τοποθετημένοι κατοπτρικά σε δύο παράλληλες ευθείες εκατέρωθεν της νοητής ευθείας που διέρχεται από το κέντρο του κάθε πειραματικού τεμαχίου και είναι κάθετες στις συστοιχίες των δέντρων. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλιζόταν αφενός η ομοιογένεια του πεδίου ελέγχου και αφετέρου το ζητούμενο της μελέτης, να βρίσκονται δηλαδή τέσσερις δακτύλιοι πλησίον των δέντρων και του αρδευτικού δικτύου και άλλοι τέσσερις πλησίον του κέντρου τμήματος του πειραματικού τεμαχίου όπου δεν υπάρχει αρδευτικό δίκτυο. Αυτός ο διαχωρισμός αποτελεί ζητούμενο γιατί τα σημεία ελέγχου κοντά στα ελαιόδεντρα θεωρούνται αρδευόμενα ενώ τα άλλα σημεία μη αρδευόμενα. Για τη θερμοκρασίας του εδάφους δεν ήταν απαραίτητη κάποια προπαρασκευαστική δραστηριότητα αφού το θερμόμετρο που ήταν προσαρμοσμένο στη συσκευή μετρήσεων των εκπομπών CO₂

είχε τη δυνατότητα να διεισδύει εντός του εδάφους με σχετική ευκολία και να καταγράφει την εδαφική θερμοκρασία (Εικόνα 15).



Εικόνα 15. Κάτοψη του πειραματικού τεμαχίου. Με πράσινο αναπαριστώνται τα ελαιόδεντρα, με μοβ οι οχτώ δακτύλιοι για τις μετρήσεις CO₂, με μπλε τα σημεία μέτρησης της εδαφικής υγρασίας και με μπλε γραμμές το δίκτυο άρδευσης.

2.2.1.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω για την μέτρηση της συγκέντρωσης των εκπομπών CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε η συσκευή LI-6400XT με την προσθήκη του soil CO₂ flux chamber της εταιρίας LI COR (Εικόνα 16).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συσκευής LI-6400XT διαχωρίζονται σε επιμέρους τμήματα του οργάνου όπως ο αναλυτής του CO₂ (CO₂ analyzer), ο αναλυτής H₂O (H₂O analyzer), η θερμοκρασία (temperature), η ροή αέρα (air flow), η πίεση (pressure) και η κονσόλα του συστήματος (system console).

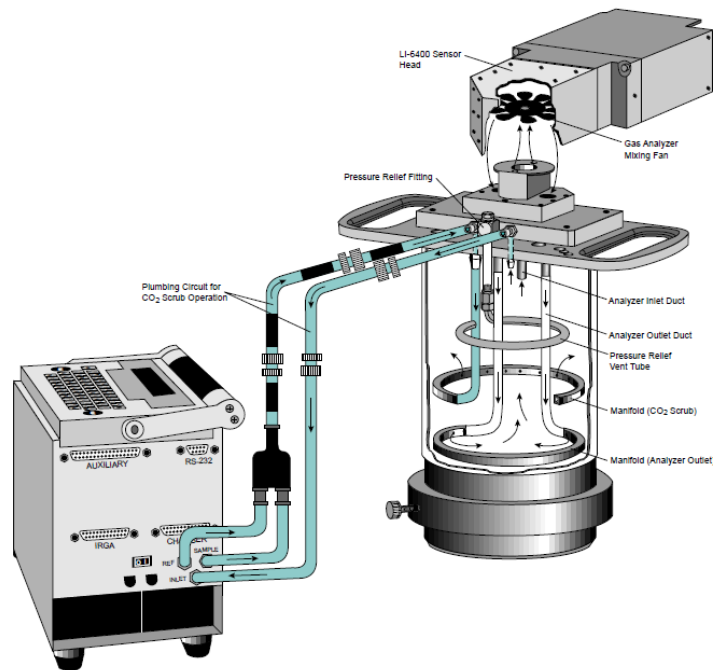
Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα επιμέρους χαρακτηριστικά του αναλυτή CO₂:

- Τύπος (Type): αναλυτής αερίων απόλυτης ανοιχτής διαδρομής υπέρυθρης ακτινοβολίας χωρίς διάχυση (Absolute, open path, non-dispersive infrared gas analyzer)
- Εύρος (Range): 0-3100 $\mu\text{mol mol}^{-1}$
- Εύρος συχνотήτων (Bandwidth): 10 Hz
- Ήχος σήματος-ακρίβεια (Signal Noise-precision):
- Σήμα ενός δευτερόλεπτου στα 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$
- Peak-to-peak: 0.3 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ /0.8 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ max

- RMS: 0.07 $\mu\text{mol mol}^{-1}$
- 4-δευτερόλεπτα μέσο σήμα
- Peak-to-peak: 0.2 $\mu\text{mol mol}^{-1}$
- RMS: 0.04 $\mu\text{mol mol}^{-1}$
- Ακρίβεια (Accuracy):Μέγιστη απόκλιση (Max deviation): $\pm 5 \mu\text{mol mol}^{-1}$ from 0 to
- 1500 $\mu\text{mol mol}^{-1} \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$ from 1500 to 3000 $\mu\text{mol mol}^{-1}$
- Αισθητήρας Sensor: Στερεάς κατάστασης. Ελάχιστη ευαισθησία στην κίνηση
- Ευαισθησία προσανατολισμού(Orientation Sensitivity): $\leq \pm 1 \mu\text{mol mol}^{-1}$ στα 350 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ από οποιονδήποτε προσανατολισμό.

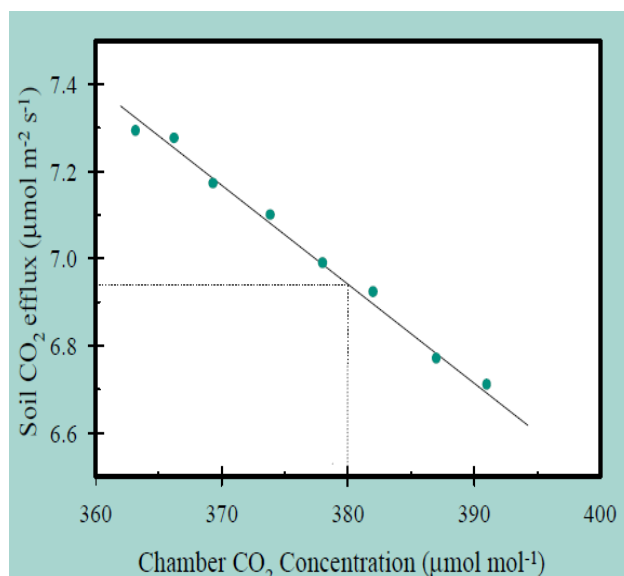
Όσον αφορά το εξάρτημα soil CO₂ flux chamber, παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα επιμέρους χαρακτηριστικά του:

- Όγκος συστήματος(System Volume): 991 cm³ (εισαγωγή μηδενικού βάθους).
- Περιοχή εκτιθέμενου εδάφους (Soil Area Exposed): 71.6 cm² (11.1 in.²).
- Διάμετρος(Diameter): 9.55 cm (3.76 in.).
- Θερμόμετρο εδαφικής θερμοκρασίας(Soil Temperature Probe (Type E)):
 - Εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος: 0 έως 50 °C.
 - Εύρος θερμοκρασίας εδάφους: $\pm 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ από το εύρος θερμοκρασίας περιβάλλοντος
 - Ακρίβεια θερμοκρασίας εδάφους: $\pm 1.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 0 έως 50 °C.
- Εύρος Θερμοκρασίας λειτουργίας Θερμόμετρο Αέρα (Operating Temperature Range): 0 °C έως 50 °C
- Τύπος αισθητήρα (Sensor Type): Θερμίστορ τριών συρμάτων (3-wire thermistor)
- Ακρίβεια (Accuracy): Μέγιστο σφάλμα $< \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Τυπικό σφάλμα (Typical Error): $< \pm 0.25 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Διαστάσεις(Size): 16.50 H X 19.80 W X 10.20 D cm. (6.5 X 7.8 X 4.0").
- Βάρος(Weight): 1.8 kg (3.75 lb).



Εικόνα 16. LI-6400XT Portable Photosynthesis System με το εξάρτημα soil CO₂ flux chamber

Η τελική τιμή της εκπομπής CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα (soil CO₂ efflux) δίνεται από τη συσχέτισή της με τη συγκέντρωση CO₂ στο θαλάμο της συσκευής. Συγκεκριμένα το λογισμικό υπολογίζει συνεχώς τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα και δημιουργεί μια γραμμική σχέση με το soil CO₂ efflux έως ότου εξαλείψει τα σφάλματα. Τελικά καταλήγει στη βέλτιστη τιμή κατά το λογισμικό την οποία και εμφανίζει (Εικόνα 17).



Εικόνα 17. Καμπύλη αποτελεσμάτων της συσκευής LI-6400XT

2.2.1.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ CO₂ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στο σύνολο των μετρήσεων ήταν συγκεκριμένη και αμετάβλητη. Μετά τη συναρμολόγηση και ενεργοποίηση της συσκευής το ειδικό εξάρτημα που εφαρμόζει στους σχετικούς δακτύλιους τοποθετούνταν χειροκίνητα στον πρώτο κατά σειρά δακτύλιο του πρώτου πειραματικού τεμαχίου ενώ ταυτόχρονα σε κοντινή απόσταση τοποθετούνταν και το εδαφικό θερμόμετρο (Εικόνα 18).



Εικόνα 18. Μέτρηση συγκέντρωσης εκπομπών CO₂ και θερμοκρασίας εδάφους.

Στην οθόνη του μηχανήματος από τις ενδείξεις που αναγράφονται τρεις είναι αυτές που εμπλέκονται με τη μέτρηση, η συγκέντρωση του CO₂ σε $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (πάνω αριστερά) το EFFLUX σε $\text{g}/\text{m}^2\text{h}$ και η θερμοκρασία εδάφους σε βαθμούς κελσίου °C (κάτω αριστερά). Από τη στιγμή που τοποθετείτε ο θάλαμος (soil CO₂ flux chamber) της συσκευής μέτρησης του CO₂ στον βοηθητικό δακτύλιο η τιμή της συγκέντρωσης του CO₂ αρχίζει να αυξάνει και αφού ξεπεράσει το όριο των $420 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (που έχει τεθεί κατά την διαδικασία βαθμονόμησης του οργάνου) ενεργοποιείται χειροκίνητα με την κατάλληλη πληκτρολόγηση εντολών η διαδικασία της μέτρησης. Αρχικά η συσκευή αντλεί αέρα μέσω του ειδικού στομίου του θαλάμου (soil CO₂ flux chamber) έως ότου η ένδειξη της συγκέντρωσης να φτάσει χαμηλότερα του $380 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Στη συνέχεια ξεκινά η ποσοτικοποίηση του EFFLUX με τιμές μεταβαλλόμενες για μερικά δευτερόλεπτα και τελικά το μηχάνημα προσδιορίζει την τιμή του EFFLUX μέσω ενός τελικού υπολογισμού (computing final) και την εμφανίζει στην οθόνη με τη συνοδεία ενός χαρακτηριστικού ήχου. Η τιμή αυτή καταγράφεται τόσο στη μνήμη του μηχανήματος όσο και χειρόγραφα στο έντυπο μετρήσεων για μεγαλύτερη ασφάλεια. Ταυτόχρονα καταγράφεται στο έντυπο και η τιμή της εδαφικής θερμοκρασίας τη συγκεκριμένη στιγμή με βάση τη σχετική ένδειξη του οργάνου. Ο μέσος χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η μέτρηση σε κάθε δακτύλιο ανέρχεται σε 5 λεπτά, διαφέρει όμως σημαντικά όταν μεταβάλλονται οι κλιματολογικές συνθήκες. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκε μείωση του χρόνου σε συνθήκες υψηλής υγρασίας και αύξηση του σε συνθήκες ξηρασίας. Στη συνέχεια το όργανο μεταφέρεται στον επόμενο δακτύλιο όπου ακολουθείτε η ίδια ακριβώς διαδικασία. Συνολικά λαμβάνονται 24 τιμές EFFLUX και θερμοκρασίας από τα τρία πειραματικά τεμάχια για να ολοκληρωθεί επιτυχώς η μέτρηση.

2.2.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Η μέτρηση της υγρασίας του εδάφους πραγματοποιούνταν σε μηνιαία βάση και για τα τρία πειραματικά τεμάχια που επιλέχθηκαν για τις μετρήσεις του CO₂ και της εδαφικής θερμοκρασίας. Για να είναι δυνατή η λήψη τιμών της υγρασίας έγινε περεταίρω τροποποίηση των πειραματικών τεμαχίων ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή του εξοπλισμού καταγραφής της εδαφικής υγρασίας PR2 Soil Moisture Profile Probe της εταιρείας Delta-T Devices. Συγκεκριμένα, σε κάθε ένα από τα τρία πειραματικά τεμάχια τοποθετήθηκαν βοηθητικοί κυλινδρικοί σωλήνες διαμέτρου 3cm, και μήκους 40cm. Οι βοηθητικοί αυτοί σωλήνες τοποθετήθηκαν κάθετα στο εδαφικό προφίλ, όπου στο πάνω μέρος τους (έκτος του εδάφους) τοποθετείτε ανοιγόμενο κάλυμμα που απέτρεπε την εισροή όμβριων ή επιφανειακών υδάτων στο εσωτερικό του σωλήνα και ταυτόχρονα επέτρεπε τη γρήγορη και απλή τοποθέτηση του εξοπλισμού μέτρησης στο εσωτερικό του βοηθητικού σωλήνα. Η μέτρηση της υγρασία γινόταν σε δύο σημεία του κάθε πειραματικού τεμαχίου ένα κοντά πλησίον κάποιου δέντρο και κοντά στο αρδευτικό δίκτυο και ένα στο μέσον του πειραματικού τεμαχίου και μακριά από το αρδευτικό δίκτυο. Για καθένα από τα σημεία αυτά λαμβάνονταν τιμές εδαφικής υγρασίας σε τέσσερα διαφορετικά βάθη 10cm, 20cm, 30cm και 40cm, αντίστοιχα. Έτσι στο σύνολο των τριών πειραματικών τεμαχίων τοποθετήθηκαν έξι σωλήνες, τρεις κοντά στα δέντρα (αρδευτικό δίκτυο) και τρεις στο μέσον των πειραματικών τεμαχίων, και συνολικά λαμβάνονταν 24 τιμές εδαφικής υγρασίας έξι για κάθε διαφορετικό βάθος.

2.2.2.1 ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για τη διενέργεια των μετρήσεων της εδαφικής υγρασίας ήταν το PR2 Soil Moisture Profile Probe (Εικόνα 19) της εταιρείας Delta-T Devices. Το βασικό μέλος της συγκεκριμένης συσκευής είναι ένας πλαστικός σωλήνας (καθετήρας) διαμέτρου περίπου 25mm που σε τέσσερα διαφορετικά σημεία έχει μεταλλικά δαχτυλίδια που λειτουργούν ως αισθητήρες. Τη στιγμή της μέτρησης και με την βοήθεια του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου αναγνωρίζεται η τάση συνεχούς ρεύματος (ηλεκτρική αγωγιμότητα) που δημιουργείται σε κάθε δακτύλιο και στη συνέχεια μετατρέπεται σε ποσοστό εδαφικής υγρασίας μέσω της βαθμονόμησης που είναι ρυθμισμένο το μηχάνημα.



Εικόνα 19. PR2 Soil Moisture Profile Probe

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα επιμέρους τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου μέτρησης της εδαφικής υγρασίας (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Τεχνικά και κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του PR2 Soil Moisture Profile Probe

Μέτρηση	Κατ' όγκο περιεκτικότητα εδάφους ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ or % vol.).
Εύρος	0-1 m^3/m^3
Ακρίβεια	$\pm 0,04 \text{ m}^3/\text{m}^3$ για 0-40 °C
Σφάλματα αλατότητας	50-400 mS/m
Όγκος εδάφους	Κάθετα: Ευαισθησία 95% εντός ± 50 χιλιοστών του άνω
Περιβάλλον	-20 έως 60 °C (πλήρης ακρίβεια 0-40°C)
Σταθεροποίηση	Πλήρης ακρίβειας επιτυγχάνεται μέσα 1s από την έναρξη
Ενεργειακές απαιτήσεις	Ελάχιστη: 5.5V DC με καλώδιο 2m, 7.0V με 100m.
καλώδιο	Μέγιστο μήκος 100m. 8- πύρινης διαλογής
Υλικά κατασκευής	25,4 χιλιοστά πολυανθρακικό σωλήνα με ζεύγη των
Μέγεθος	750mm
Βάρος	0.6kg

2.2.2.2 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

Η διαδικασία μέτρησης της υγρασίας βασίζεται σχεδόν αποκλειστικά στον εξοπλισμό, ξεκινώντας με την ενεργοποίησή του και πληκτρολογώντας μια συγκεκριμένη εντολή προκειμένου να ενεργοποιηθούν οι αισθητήρες του, ο εξοπλισμός τοποθετείται εντός του βοηθητικού σωλήνα αφού πρώτα αφαιρεθεί το προστατευτικό κάλυμμα και στην συνέχεια εμφανίζεται η τιμή της μέτρησης (εδαφική υγρασία) για το πρώτο εδαφικό βάθος των 10cm. Στη συνέχεια λαμβάνονται χειροκίνητα οι τιμές των υπόλοιπων βαθών (20,30, και 40 cm) με απλό πάτημα του κατάλληλου πλήκτρου. Οι τιμές αυτές καταγράφονται χειρόγραφα σε ειδικό έντυπο καταγραφής της υγρασίας. Στην συνέχεια, το μηχάνημα αποσύρεται από τον βοηθητικό σωλήνα στον οποίο και τοποθετείτε το προστατευτικό κάλυμμα στην κορυφή του. Η μέτρηση συνεχίζει στο επόμενο σημείο με ακριβώς την ίδια διαδικασία έως ότου ολοκληρωθούν και οι έξι σωλήνες και συνολικά ληφθούν εικοσιτέσσερις τιμές εδαφικής υγρασίας (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. Μέτρηση εδαφικής υγρασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.1 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων χωρίζεται σε δύο μέρη. Το πρώτο μέρος αφορά την καταγραφή των αποτελεσμάτων σε υπολογιστικά φύλλα του Microsoft Office Excel και τη δημιουργία συγκεκριμένων διαγραμμάτων που απεικονίζουν το σύνολο των μετρήσεων. Το δεύτερο μέρος αφορά τη στατιστική επεξεργασία με τη χρήση του λογισμικού SPSS της εταιρίας IBM με σκοπό την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τη στατιστική σημαντικότητα των παραγόντων που εξετάστηκαν.

3.1.1 MICROSOFT OFFICE EXCEL

Στο συγκεκριμένο πρόγραμμα πραγματοποιήθηκε το μεγαλύτερο τμήμα της επεξεργασίας των μετρήσεων. Η χρήση του ήταν πολύπλευρη, αφού πέραν της επεξεργασίας στα υπολογιστικά φύλλα του excel γινόταν η καταχώρηση των χειρόγραφων καταγραφών των μετρήσεων από το πεδίο και η αποθήκευσή τους. Η βασική παράμετρος που χρειαζόταν να υπολογιστεί με τη βοήθεια του excel ήταν η μέση τιμή του κάθε παράγοντα σε κάθε μέτρηση. Για το λόγο αυτό δημιουργήθηκαν πρότυπα υπολογιστικά φύλλα τα οποία αξιοποιώντας τις δυνατότητες του προγράμματος ταυτόχρονα με την καταχώρηση των μετρήσεων υπολόγιζαν και τη μέση τιμή του εκάστοτε παράγοντα. Ένα πρότυπο τέτοιο φύλλο φαίνεται ακριβώς στην Εικόνα 21.

Control	Plot_Ring	EFFLUX	Tsoil_C		Plot_Ring	EFFLUX	Tsoil_C		Plot_Ring	EFFLUX	Tsoil_C
irrigated	1_1	3,92	13,87		2_1	2,87	13,37		3_1	5,95	13,90
irrigated	1_4	4,02	13,54		2_4	4,59	14,24		3_4	7,15	14,09
irrigated	1_5	5,05	13,89		2_5	6,77	14,28		3_5	6,04	14,17
irrigated	1_8	4,34	14,03		2_8	6,56	14,25		3_8	7,78	14,03
M.O		4,33	13,83			5,20	14,04			6,73	14,05
no_irrigated	1_2	4,13	13,62		2_2	3,04	13,06		3_2	5,88	13,03
no_irrigated	1_3	4,72	13,88		2_3	3,96	13,02		3_3	5,98	13,86
no_irrigated	1_6	3,32	14,21		2_6	2,92	13,76		3_6	6,22	13,52
no_irrigated	1_7	4,87	14,23		2_7	2,87	13,74		3_7	6,12	14,12
M.O		4,26	13,99			3,20	13,40			6,05	13,63

Εικόνα 21. Υπολογιστικό φύλλο excel για την καταγραφή των εκπομπών CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα καθώς και της εδαφικής θερμοκρασίας.

Αρχικά πληκτρολογούνται οι μετρήσεις όπως καταγράφηκαν από τη συσκευή στο πεδίο. Όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στην εικόνα διατηρείτε ο βασικός διαχωρισμός που υπάρχει σε όλη την εργασία και αφορά τα αρδευόμενα ή μη αρδευόμενα τμήματα

εδάφους στα οποία πραγματοποιούνται μετρήσεις. Με τον όρο irrigated τιτλοδοτούνται τα αρδευόμενα τμήματα ενώ με τον όρο no_irrigated τα μη αρδευόμενα τμήματα. Ο όρος Control αφορά τον τύπο της καλλιέργειας που όπως αναφέρθηκε εξετάστηκε μια κλασσικού τύπου καλλιέργεια ενώ ο πρώτος αριθμός του όρου Plot_Ring αφορά την αρίθμηση του πειραματικού τεμαχίου και ο δεύτερος τον αριθμό του δακτύλιου (1-8) του καθενός από τα τρία μελετούμενα πειραματικά τεμάχια στο οποίο γίνεται κάθε φορά η μέτρηση των εκπομπών CO₂, όπως αυτή περιγράφεται σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Ανάλογο υπολογιστικό φύλλο δημιουργήθηκε και για την εδαφική υγρασία όπως διακρίνεται στις Εικόνα 22 και Εικόνα 23. Οι μετρήσεις της υγρασίας πληκτρολογούνται στο υπολογιστικό φύλλο του excel σε σχέση με τον πραγματοποιούνται κοντά στο δέντρο (αρδευτικό δίκτυο) ή στο κέντρο του πειραματικού τεμαχίου. Με τον όρο under the tree συμβολίζονταν οι μετρήσεις στα σημεία των πειραματικών τεμαχίων που ήταν κοντά στα δέντρα ενώ με τον όρο intermediate συμβολίζονταν οι μετρήσεις στα σημεία που βρίσκονταν στο μέσον του πειραματικού τεμαχίου. Και στην περίπτωση της εδαφικής υγρασίας με την καταχώρηση των μετρήσεων υπολογιζόταν η μέση τιμή για κάθε βάθος μέτρησης και για κάθε ξεχωριστή ημερομηνία.

		soil depth			
		10 cm	20 cm	30cm	40cm
1_control	under the tree	0,30	0,30	0,31	0,33
2_control	under the tree	0,23	0,24	0,26	0,32
3_control	under the tree	0,00	0,00	0,00	0,00
Control_under the tree		0,2	0,2	0,2	0,2

Εικόνα 22. Υπολογιστικό φύλλο Excel για την εδαφική υγρασία σε αρδευόμενο τμήμα

		soil depth			
		10 cm	20 cm	30cm	40cm
1_control	intermediate	0,18	0,20	0,27	0,36
2_control	intermediate	0,13	0,18	0,21	0,24
3_control	intermediate	0,11	0,19	0,27	0,31
Control_intermediate		0,1	0,2	0,2	0,3

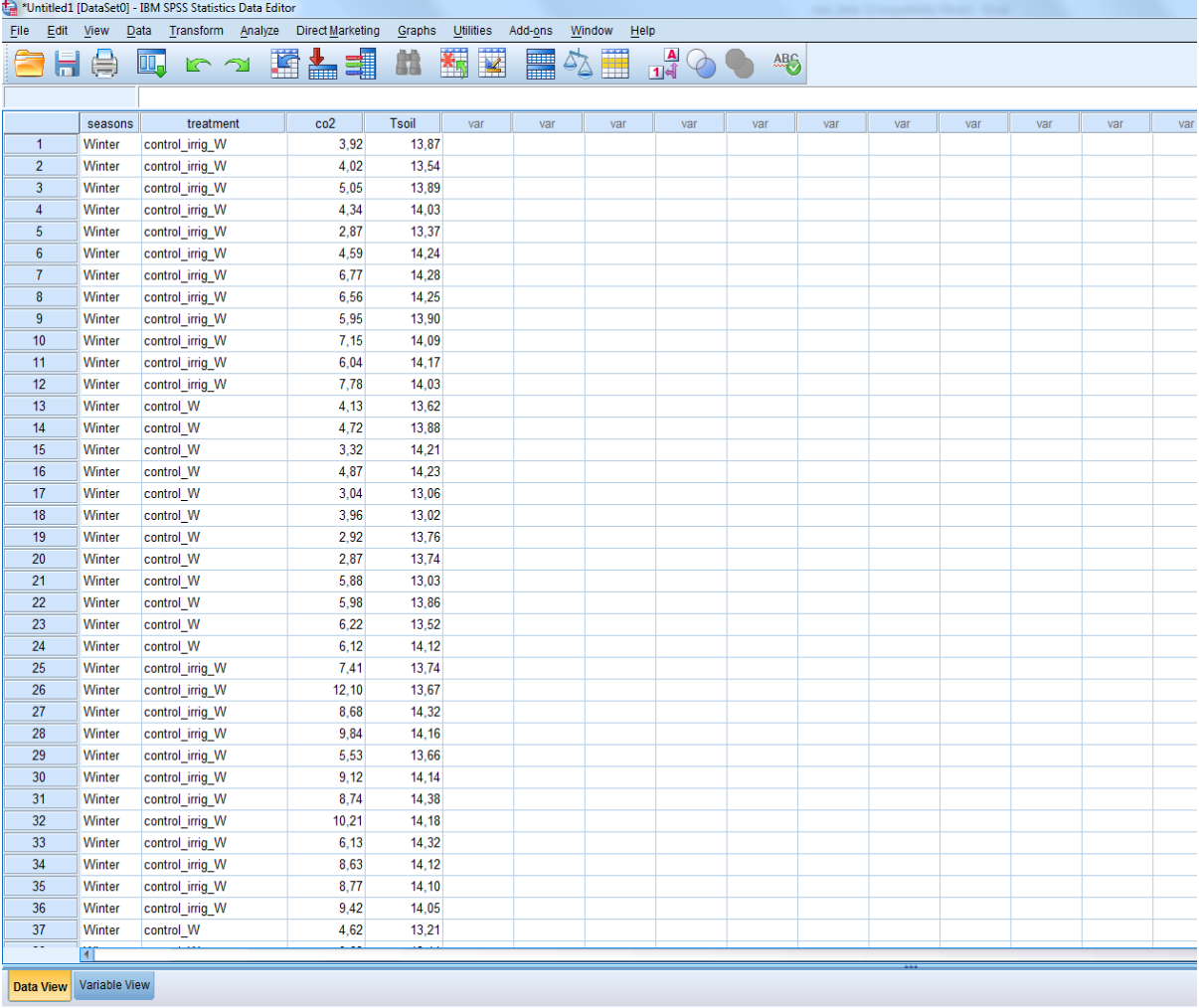
Εικόνα 23. Υπολογιστικό φύλλο Excel για την εδαφική υγρασία σε μη αρδευόμενο τμήμα

Με τον τρόπο αυτό δημιουργήθηκαν έντεκα αρχεία Microsoft Office Excel με τις μετρήσεις που διενεργήθηκαν και με υπολογισμένες τις μέσες τιμές των υπό εξέταση παραμέτρων, CO₂, εδαφικής θερμοκρασία και υγρασία εδάφους, με την βοήθεια των οποίων καταρτίστηκαν συγκεντρωτικοί πίνακες με την συνολική απεικόνιση των μετρήσεων στο πέρας του χρόνου.

3.1.2 IBM SPSS STATISTIC ANALYSIS

Η στατιστική ανάλυση με τη χρήση του λογισμικού SPSS πραγματοποιήθηκε για να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη στατιστική σημασία των υπό εξέταση παραγόντων αλλά και για τη μεταξύ τους συσχέτιση. Χρησιμοποιήθηκε ένα γραμμικό πολυπαραγοντικό στατιστικό μοντέλο με post hoc ανάλυση και συγκεκριμένα LSD (Fisher's least significant difference), Tukey και Tukey's B tests.

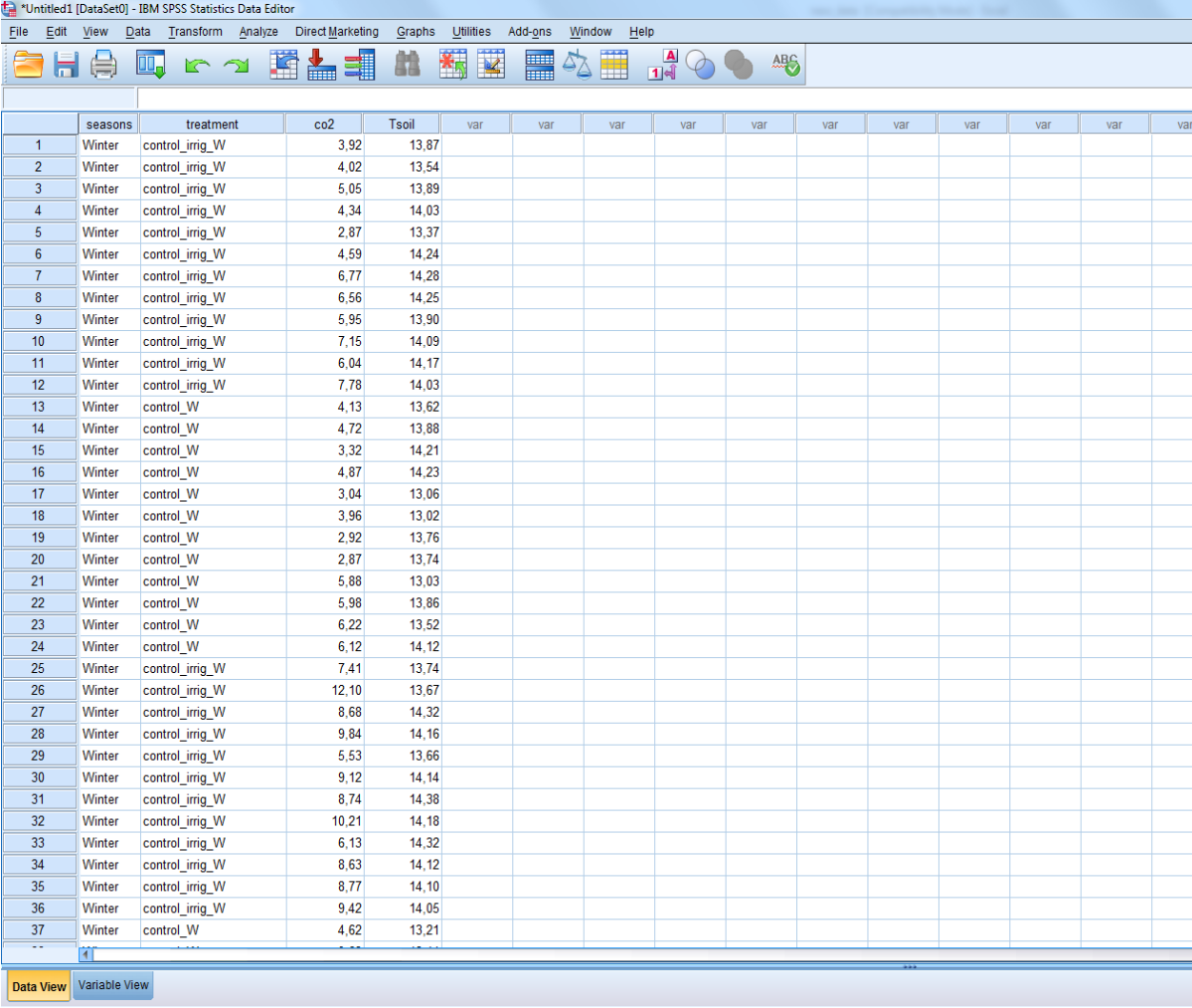
Αρχικά εισάγονται χειροκίνητα στο πρόγραμμα τα δεδομένα που προορίζονται για στατιστική επεξεργασία. Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάστηκαν η συσχέτιση μεταξύ παραγόντων όπως του CO₂ efflux, της θερμοκρασίας εδάφους, της υγρασίας εδάφους καθώς και μετεωρολογικών παραμέτρων. Το CO₂, όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα, αναλύθηκε στατιστικά σε σχέση με τις εποχές του χρόνου (seasons) καθώς επίσης σε σχέση με το αν το σημείο μέτρησης θεωρείτε αρδευόμενο (irrigated) ή μη (Εικόνα 24)



	seasons	treatment	co2	Tsoil	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	Winter	control_irrig_W	3,92	13,87											
2	Winter	control_irrig_W	4,02	13,54											
3	Winter	control_irrig_W	5,05	13,89											
4	Winter	control_irrig_W	4,34	14,03											
5	Winter	control_irrig_W	2,87	13,37											
6	Winter	control_irrig_W	4,59	14,24											
7	Winter	control_irrig_W	6,77	14,28											
8	Winter	control_irrig_W	6,56	14,25											
9	Winter	control_irrig_W	5,95	13,90											
10	Winter	control_irrig_W	7,15	14,09											
11	Winter	control_irrig_W	6,04	14,17											
12	Winter	control_irrig_W	7,78	14,03											
13	Winter	control_W	4,13	13,62											
14	Winter	control_W	4,72	13,88											
15	Winter	control_W	3,32	14,21											
16	Winter	control_W	4,87	14,23											
17	Winter	control_W	3,04	13,06											
18	Winter	control_W	3,96	13,02											
19	Winter	control_W	2,92	13,76											
20	Winter	control_W	2,87	13,74											
21	Winter	control_W	5,88	13,03											
22	Winter	control_W	5,98	13,86											
23	Winter	control_W	6,22	13,52											
24	Winter	control_W	6,12	14,12											
25	Winter	control_irrig_W	7,41	13,74											
26	Winter	control_irrig_W	12,10	13,67											
27	Winter	control_irrig_W	8,68	14,32											
28	Winter	control_irrig_W	9,84	14,16											
29	Winter	control_irrig_W	5,53	13,66											
30	Winter	control_irrig_W	9,12	14,14											
31	Winter	control_irrig_W	8,74	14,38											
32	Winter	control_irrig_W	10,21	14,18											
33	Winter	control_irrig_W	6,13	14,32											
34	Winter	control_irrig_W	8,63	14,12											
35	Winter	control_irrig_W	8,77	14,10											
36	Winter	control_irrig_W	9,42	14,05											
37	Winter	control_W	4,62	13,21											

Εικόνα 24. Απεικόνιση του data editor του SPSS για την εισαγωγή των δεδομένων των εκπομπών CO₂

Τα ίδια ακριβώς κριτήρια εξετάστηκαν και για τη θερμοκρασία του εδάφους όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί. Η θερμοκρασία (Tsoil) συσχετίζεται με τις εποχές του χρόνου (seasons) και το αν το σημείο μέτρησης είναι πλησίον του αρδευτικού δικτύου ή όχι. (Εικόνα 25).



	seasons	treatment	co2	Tsoil	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	Winter	control_irrig_W	3,92	13,87										
2	Winter	control_irrig_W	4,02	13,54										
3	Winter	control_irrig_W	5,05	13,89										
4	Winter	control_irrig_W	4,34	14,03										
5	Winter	control_irrig_W	2,87	13,37										
6	Winter	control_irrig_W	4,59	14,24										
7	Winter	control_irrig_W	6,77	14,28										
8	Winter	control_irrig_W	6,56	14,25										
9	Winter	control_irrig_W	5,95	13,90										
10	Winter	control_irrig_W	7,15	14,09										
11	Winter	control_irrig_W	6,04	14,17										
12	Winter	control_irrig_W	7,78	14,03										
13	Winter	control_W	4,13	13,62										
14	Winter	control_W	4,72	13,88										
15	Winter	control_W	3,32	14,21										
16	Winter	control_W	4,87	14,23										
17	Winter	control_W	3,04	13,06										
18	Winter	control_W	3,96	13,02										
19	Winter	control_W	2,92	13,76										
20	Winter	control_W	2,87	13,74										
21	Winter	control_W	5,88	13,03										
22	Winter	control_W	5,98	13,86										
23	Winter	control_W	6,22	13,52										
24	Winter	control_W	6,12	14,12										
25	Winter	control_irrig_W	7,41	13,74										
26	Winter	control_irrig_W	12,10	13,67										
27	Winter	control_irrig_W	8,68	14,32										
28	Winter	control_irrig_W	9,84	14,16										
29	Winter	control_irrig_W	5,53	13,66										
30	Winter	control_irrig_W	9,12	14,14										
31	Winter	control_irrig_W	8,74	14,38										
32	Winter	control_irrig_W	10,21	14,18										
33	Winter	control_irrig_W	6,13	14,32										
34	Winter	control_irrig_W	8,63	14,12										
35	Winter	control_irrig_W	8,77	14,10										
36	Winter	control_irrig_W	9,42	14,05										
37	Winter	control_W	4,62	13,21										

Εικόνα 25. Απεικόνιση του data editor του SPSS για την εισαγωγή των δεδομένων της θερμοκρασίας εδάφους

Για την εδαφική υγρασία (soil humidity) εκτός της εποχιακής διαφοροποίησης (seasons) και της διαφοροποίησης σε αρδευόμενες και μη αρδευόμενες μετρήσεις πραγματοποιήθηκε επιπλέον διαχωρισμός ανάλογα με τα εδαφικά βάθη της μέτρησης 10cm, 20cm, 30cm, και 40cm, αντίστοιχα με τους αντίστοιχους συμβολισμούς [A,B,C, και D] (Εικόνα 26).

	seasons	treatment	humidity	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	winter	control_inig_A	33,30															
2	winter	control_inig_A	20,80															
3	winter	control_inig_A	,00															
4	winter	control_inig_B	30,80															
5	winter	control_inig_B	25,60															
6	winter	control_inig_B	,00															
7	winter	control_inig_C	32,10															
8	winter	control_inig_C	27,20															
9	winter	control_inig_C	,00															
10	winter	control_inig_D	31,30															
11	winter	control_inig_D	32,80															
12	winter	control_inig_D	,00															
13	winter	control_A	10,40															
14	winter	control_A	11,70															
15	winter	control_A	10,60															
16	winter	control_B	20,80															
17	winter	control_B	17,80															
18	winter	control_B	27,30															
19	winter	control_C	28,20															
20	winter	control_C	18,80															
21	winter	control_C	30,80															
22	winter	control_D	29,80															
23	winter	control_D	21,40															
24	winter	control_D	32,00															
25	winter	control_inig_A	30,00															
26	winter	control_inig_A	22,60															
27	winter	control_inig_A	,00															
28	winter	control_inig_B	30,20															
29	winter	control_inig_B	24,00															
30	winter	control_inig_B	,00															
31	winter	control_inig_C	30,50															
32	winter	control_inig_C	26,00															
33	winter	control_inig_C	,00															
34	winter	control_inig_D	33,00															
35	winter	control_inig_D	31,60															
36	winter	control_inig_D	,00															
37	winter	control_A	18,40															

Εικόνα 26 Απεικόνιση του data editor του SPSS για την εισαγωγή των δεδομένων της εδαφικής υγρασίας.

Ταυτόχρονα με την εισαγωγή των δεδομένων ρυθμίζεται και τα χαρακτηριστικά της κάθε στήλης ως προς τον τύπο, την έκταση αλλά και τον τρόπο υπολογισμού της (Εικόνα 27).

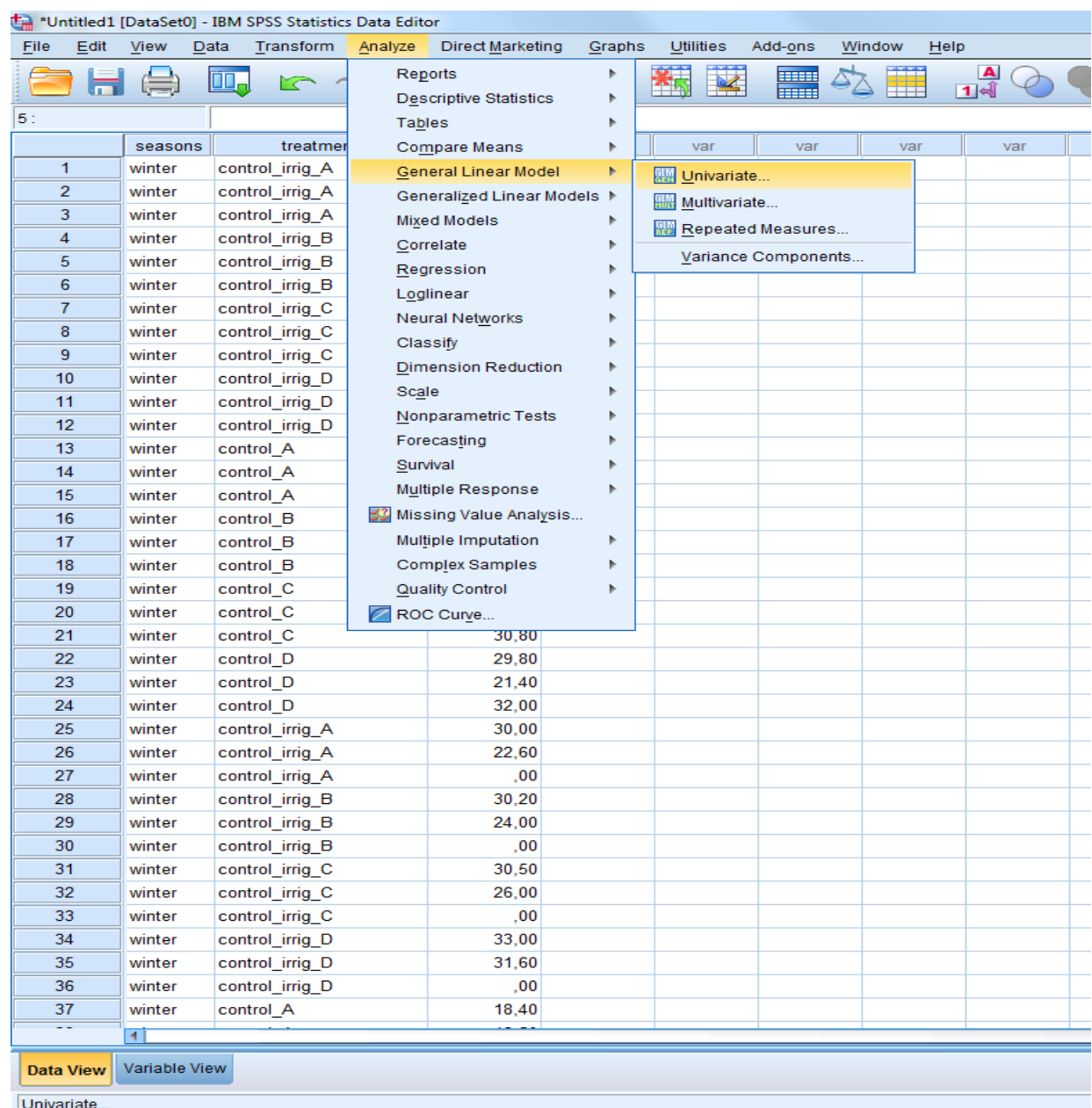
File Edit View Data Transform Analyze Direct Marketing Graphs Utilities Add-ons Window Help											
	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1	seasons	String	6	0		None	None	6	Left	Nominal	Input
2	treatment	String	16	0		None	None	16	Left	Nominal	Input
3	humidity	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale	Input
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											

Data View
Variable View

Εικόνα 27. Φόρμα χαρακτηριστικών των μεταβλητών του SPSS

Η συνέχεια της επεξεργασίας είναι κοινή για όλους τους παράγοντες που εξετάστηκαν. Έτσι τόσο για τις εκπομπές CO₂ και την εδαφική θερμοκρασία όσο και για την εδαφική υγρασία ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφεται παρακάτω.

Μετά την ολοκλήρωση της εισαγωγής των δεδομένων και τη ρύθμιση των γενικών χαρακτηριστικών των στηλών ξεκινά η διαδικασία επιλογής του κατάλληλου στατιστικού μοντέλου και παραμετροποίησης του. Όπως έχει ήδη αναφερθεί και φαίνεται χαρακτηριστικά στην παρακάτω εικόνα η ανάλυση που επιλέγεται ακολουθεί ένα γενικό γραμμικό μοντέλο πολυπαραγοντικού τύπου (Εικόνα 28). Αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό δίνει τη δυνατότητα να εξεταστεί η σχέση περισσότερων των δύο παραγόντων με μια εξαρτημένη μεταβλητή.



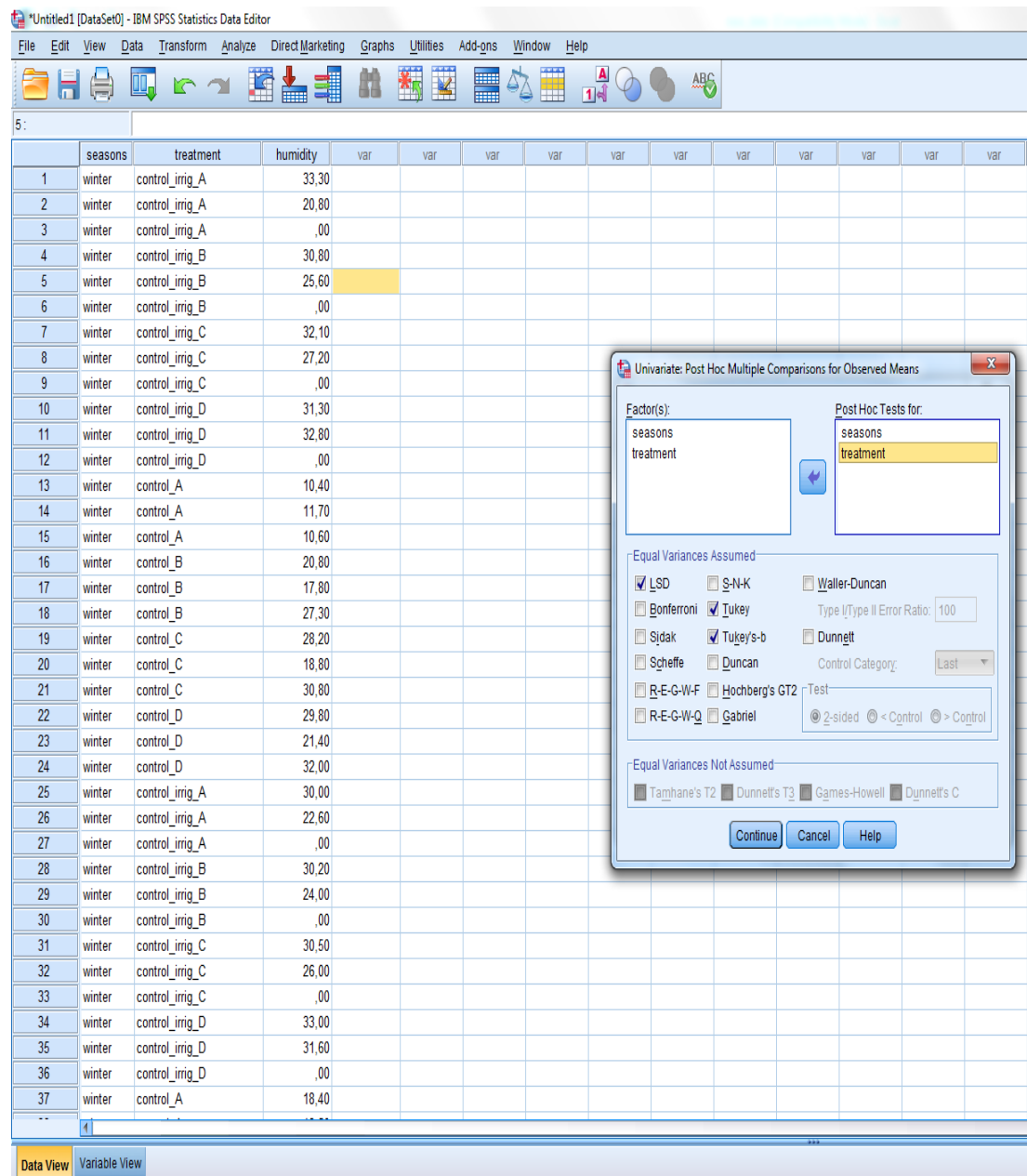
Εικόνα 28. Επιλογή κατάλληλου στατιστικού μοντέλου από το menu του SPSS.

Στη συνέχεια καθορίζονται ποιες μεταβλητές αποτελούν τους σταθερούς παράγοντες και ποιά μεταβλητή αποτελεί την εξαρτημένη μεταβλητή. Στις τρεις αυτές διαδικασίες, δηλαδή την επεξεργασία των εκπομπών CO₂, της εδαφικής θερμοκρασίας και της εδαφικής υγρασίας, επιλέγουμε ως εξαρτημένη μεταβλητή κάθε φορά τον προς εξέταση παράγοντα (Εικόνα 29). Ενώ ως σταθεροί παράγοντες επιλέγονται για την περίπτωση των εκπομπών CO₂ και της εδαφικής θερμοκρασίας η εποχή διεξαγωγής των μετρήσεων και το αν το σημείο είναι αρδευόμενο ή μη. Αντίθετα, στην περίπτωση της εδαφικής υγρασίας όπως εξηγήθηκε και παραπάνω, πέρα της εποχής ο έτερος σταθερός παράγοντας είναι το συνδυαστικό κριτήριο του βάθους και του αρδευόμενου ή μη σημείου.

The screenshot shows the IBM SPSS Statistics Data Editor interface. The main window displays a dataset with the following columns: seasons, treatment, humidity, and several empty columns labeled 'var'. The data is organized into rows, with the first row (row 1) showing 'winter' for seasons, 'control_irrig_A' for treatment, and '33,30' for humidity. The second row (row 2) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_A' for treatment, and '20,80' for humidity. The third row (row 3) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_A' for treatment, and ',00' for humidity. The fourth row (row 4) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_B' for treatment, and '30,80' for humidity. The fifth row (row 5) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_B' for treatment, and '25,60' for humidity. The sixth row (row 6) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_B' for treatment, and ',00' for humidity. The seventh row (row 7) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_C' for treatment, and '32,10' for humidity. The eighth row (row 8) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_C' for treatment, and '27,20' for humidity. The ninth row (row 9) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_C' for treatment, and ',00' for humidity. The tenth row (row 10) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_D' for treatment, and '31,30' for humidity. The eleventh row (row 11) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_D' for treatment, and '32,80' for humidity. The twelfth row (row 12) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_D' for treatment, and ',00' for humidity. The thirteenth row (row 13) shows 'winter' for seasons, 'control_A' for treatment, and '10,40' for humidity. The fourteenth row (row 14) shows 'winter' for seasons, 'control_A' for treatment, and '11,70' for humidity. The fifteenth row (row 15) shows 'winter' for seasons, 'control_A' for treatment, and '10,60' for humidity. The sixteenth row (row 16) shows 'winter' for seasons, 'control_B' for treatment, and '20,80' for humidity. The seventeenth row (row 17) shows 'winter' for seasons, 'control_B' for treatment, and '17,80' for humidity. The eighteenth row (row 18) shows 'winter' for seasons, 'control_B' for treatment, and '27,30' for humidity. The nineteenth row (row 19) shows 'winter' for seasons, 'control_C' for treatment, and '28,20' for humidity. The twentieth row (row 20) shows 'winter' for seasons, 'control_C' for treatment, and '18,80' for humidity. The twenty-first row (row 21) shows 'winter' for seasons, 'control_C' for treatment, and '30,80' for humidity. The twenty-second row (row 22) shows 'winter' for seasons, 'control_D' for treatment, and '29,80' for humidity. The twenty-third row (row 23) shows 'winter' for seasons, 'control_D' for treatment, and '21,40' for humidity. The twenty-fourth row (row 24) shows 'winter' for seasons, 'control_D' for treatment, and '32,00' for humidity. The twenty-fifth row (row 25) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_A' for treatment, and '30,00' for humidity. The twenty-sixth row (row 26) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_A' for treatment, and '22,60' for humidity. The twenty-seventh row (row 27) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_A' for treatment, and ',00' for humidity. The twenty-eighth row (row 28) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_B' for treatment, and '30,20' for humidity. The twenty-ninth row (row 29) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_B' for treatment, and '24,00' for humidity. The thirtieth row (row 30) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_B' for treatment, and ',00' for humidity. The thirty-first row (row 31) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_C' for treatment, and '30,50' for humidity. The thirty-second row (row 32) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_C' for treatment, and '26,00' for humidity. The thirty-third row (row 33) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_C' for treatment, and ',00' for humidity. The thirty-fourth row (row 34) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_D' for treatment, and '33,00' for humidity. The thirty-fifth row (row 35) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_D' for treatment, and '31,60' for humidity. The thirty-sixth row (row 36) shows 'winter' for seasons, 'control_irrig_D' for treatment, and ',00' for humidity. The thirty-seventh row (row 37) shows 'winter' for seasons, 'control_A' for treatment, and '18,40' for humidity. The Univariate dialog box is open, showing 'humidity' as the dependent variable and 'seasons' and 'treatment' as fixed factors. The dialog box also includes options for Random Factor(s), Covariate(s), and WLS Weight.

Εικόνα 29. Καθορισμός των μεταβλητών που εξετάζονται σε εξαρτημένες και σταθερές.

Το επόμενο βήμα στην παραμετροποίηση του στατιστικού μοντέλου είναι η επιλογή των post hoc tests επιλέγοντας τα με τον κέρσορα εμφανίζεται το σχετικό παράθυρο διαλόγου. Στη συνέχεια επιλέγονται οι μεταβλητές που θα εξεταστούν, στην προκειμένη περίπτωση επιλέγονται και οι δύο σταθεροί παράγοντες, ακολούθως επιλέγονται οι στατιστικές εξισώσεις (tests) που θα χρησιμοποιηθούν (Εικόνα 30). Σε αυτή την επεξεργασία επιλέχθηκαν οι σχέσεις LSD (Fisher's least significant difference), Tukey HSD και Tukey's B tests.



Εικόνα 30. Επιλογή των Post Hoc tests, στην προκειμένη περίπτωση LSD, Tukey HSD και Tukey's-b

Τελευταίο βήμα της παραμετροποίησης αποτελεί η επιλογή των βασικών ρυθμίσεων του μοντέλου μέσω της επιλογής "options" όπου επιλέγεται η επεξεργασία τόσο των δύο σταθερών παραγόντων όσο και του γινομένου τους. Ακόμα επιλέγεται η ένδειξη "Descriptive statistics" με την οποία η παρουσίαση των αποτελεσμάτων πραγματοποιείται με περιγραφικό τρόπο (Εικόνα 31).

The screenshot shows the IBM SPSS Statistics Data Editor with a dataset named 'Untitled1 [DataSet0]'. The dataset has columns for 'seasons', 'treatment', and 'humidity', followed by several empty columns labeled 'var'. The data is organized into rows, with the first 10 rows showing 'winter' and 'control' treatments, and the next 10 rows showing 'winter' and 'control' treatments. The 'humidity' column contains numerical values ranging from 0.00 to 33.30. The 'Univariate: Options' dialog box is open, showing the 'Estimated Marginal Means' section. In this section, the 'Factor(s) and Factor Interactions' list includes '(OVERALL)', 'seasons', 'treatment', and 'seasons*treatment'. The 'Display Means for:' list includes '(OVERALL)', 'seasons', 'treatment', and 'seasons*treatment'. The 'Compare main effects' checkbox is checked. The 'Confidence interval adjustment' is set to 'LSD(none)'. In the 'Display' section, the 'Descriptive statistics' checkbox is checked, and the 'Homogeneity tests' checkbox is unchecked. The 'Significance level' is set to .05, and the 'Confidence intervals are 95.0 %' checkbox is checked. The 'Continue' button is highlighted.

	seasons	treatment	humidity	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	winter	control_irrig_A	33,30													
2	winter	control_irrig_A	20,80													
3	winter	control_irrig_A	,00													
4	winter	control_irrig_B	30,80													
5	winter	control_irrig_B	25,60													
6	winter	control_irrig_B	,00													
7	winter	control_irrig_C	32,10													
8	winter	control_irrig_C	27,20													
9	winter	control_irrig_C	,00													
10	winter	control_irrig_D	31,30													
11	winter	control_irrig_D	32,80													
12	winter	control_irrig_D	,00													
13	winter	control_A	10,40													
14	winter	control_A	11,70													
15	winter	control_A	10,60													
16	winter	control_B	20,80													
17	winter	control_B	17,80													
18	winter	control_B	27,30													
19	winter	control_C	28,20													
20	winter	control_C	18,80													
21	winter	control_C	30,80													
22	winter	control_D	29,80													
23	winter	control_D	21,40													
24	winter	control_D	32,00													
25	winter	control_irrig_A	30,00													
26	winter	control_irrig_A	22,60													
27	winter	control_irrig_A	,00													
28	winter	control_irrig_B	30,20													
29	winter	control_irrig_B	24,00													
30	winter	control_irrig_B	,00													
31	winter	control_irrig_C	30,50													
32	winter	control_irrig_C	26,00													
33	winter	control_irrig_C	,00													
34	winter	control_irrig_D	33,00													
35	winter	control_irrig_D	31,60													
36	winter	control_irrig_D	,00													
37	winter	control_A	18,40													

Εικόνα 31. Επιλογή των παραγόντων που θα εξεταστούν και μαρκάρισμα της επιλογής του τρόπου προβολής των αποτελεσμάτων.

Μετά την ολοκλήρωση της παραμετροποίησης επιλέγεται με τον κέρσορα το πεδίο "OK" και ξεκινά η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων από το πρόγραμμα. Ο χρόνος απόκρισης του προγράμματος και εμφάνισης των αποτελεσμάτων έχει άμεση σχέση με τον όγκο των δεδομένων που έχουν εισαχθεί. Στην προκειμένη περίπτωση η επεξεργασία διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα. Τα αποτελέσματα εξάγονται σε διαφορετικό αρχείο με τη μορφή πινάκων και περιέχουν αναλυτικές πληροφορίες για τον τρόπο υπολογισμού αλλά και την αναλυτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

3.2 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΚΑΙ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Το παρόν κεφάλαιο αφορά την παρουσίαση και τον σχολιασμό των αποτελεσμάτων που προήλθαν από την επεξεργασία των μετρήσεων. Χωρίζεται σε δύο μέρη με κριτήριο το πρόγραμμα με το οποίο έγινε η επεξεργασία και έτσι δημιουργείτε ένα κομμάτι που αφορά τα αποτελέσματα που εξήχθησαν με την χρήση του Microsoft Office Excel και ένα δεύτερο που αναλύει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας με το IBM SPSS statistic analysis.

3.2.1 MICROSOFT OFFICE EXCEL

Η επεξεργασία με το Microsoft Office Excel όπως αναλύθηκε εκτενώς στο αντίστοιχο κεφάλαιο αφορά κυρίως την συσχέτιση των μέσων τιμών των προς εξέταση παραγόντων και τη δημιουργία διαγραμμάτων μεταξύ των παραγόντων αυτών με σκοπό τη σχηματική αποτύπωση τόσο των χαρακτηριστικών του κάθε παράγοντα όσο και της μεταξύ τους αλληλεπίδρασης.

Για τον λόγο αυτό σχηματίστηκαν πίνακες με τις μέσες τιμές των στοιχείων για τα οποία λαμβάνονταν μετρήσεις, δηλαδή το CO₂, η θερμοκρασία εδάφους και η εδαφική υγρασία σε διάφορα βάθη. Στη συνέχεια ανάλογοι πίνακες σχηματίστηκαν και για τα μετεωρολογικά δεδομένα που παρέχονταν μέσω μετεωρολογικού σταθμού (που βρίσκεται πλησίον της περιοχής μελέτης) και συγκεκριμένα για τη θερμοκρασία αέρα και την βροχόπτωση.

Οι πίνακες αυτοί όπως διαμορφώθηκαν παρατίθενται ακολούθως.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μέσες τιμές που προέκυψαν από την επεξεργασία των δεδομένων του CO₂ flux και της θερμοκρασία εδάφους ανά ημερομηνία μέτρησης (11 συνολικά μετρήσεις). Ο βασικός διαχωρισμός των μετρήσεων που ακολουθείτε σε όλη τη μελέτη εμφανίζεται και στον παρακάτω πίνακα με τα αρδευόμενα να διαχωρίζονται από τα μη αρδευόμενα σημεία - περιοχές. Με τα στοιχεία του πίνακα 2 δημιουργήθηκαν διαγράμματα των δεδομένων συναρτήσει του χρόνου για αρδευόμενα και μη σημεία των πειραματικών τεμαχίων.

Πίνακας 2. Τιμές των μέσων όρων των μετρήσεων CO₂ και θερμοκρασίας εδάφους για κάθε μέτρηση που πραγματοποιήθηκε, διαχωρισμένες σε αρδευόμενα και μη αρδευόμενα σημεία των πειραματικών τεμαχίων.

ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ			ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ		
ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	CO2 FLUX	T εδάφους (°C)	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	CO2 FLUX	T εδάφους (°C)
22/1/2014	5,42	13,97	22/1/2014	4,50	13,67
13/2/2014	8,72	14,07	13/2/2014	7,11	13,56
8/4/2014	6,10	16,41	8/4/2014	5,73	16,62
8/5/2014	2,57	21,06	8/5/2014	2,29	22,00
8/6/2014	1,76	24,52	8/6/2014	3,25	27,50
8/7/2014	2,35	28,89	8/7/2014	1,50	32,51
25/8/2014	3,40	31,12	25/8/2014	1,25	32,48
20/9/2014	2,13	29,35	20/9/2014	0,89	28,15
10/10/2014	8,96	22,41	10/10/2014	9,85	21,89
4/11/2014	6,54	18,43	4/11/2014	8,94	18,05
27/11/2014	5,08	16,74	27/11/2014	4,09	16,30

Στον Πίνακα 3 έχουν καταχωρηθεί οι μέσες τιμές των μετρήσεων εδαφικής υγρασίας που διενεργήθηκαν. Ο πίνακας αυτός έχει έναν βασικό διαχωρισμό ανάμεσα στα σημεία μέτρησης που βρίσκονταν κοντά στις ρίζες των δέντρων και άρα κοντά στο αρδευόμενο τμήμα του πειραματικού τεμαχίου και στα σημεία που βρίσκονταν στο κέντρο του πειραματικού τεμαχίου δηλαδή στο μη αρδευόμενο τμήμα του. Ακόμα τα δεδομένα διαχωρίζονται από το χαρακτηριστικό βάθος που λαμβάνεται η μέτρηση και φυσικά καταγράφονται με την χρονολογική σειρά που διενεργήθηκαν οι μετρήσεις.

Πίνακας 3. Τιμές των μέσων όρων της εδαφικής υγρασίας διαχωρισμένες σε αρδευόμενα και μη εδάφη για τα 4 βάθη που πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις.

ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ									
ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ (UNDER THE TREE)					ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ (INTERMEDIATE)				
ΗΜΕΡ/ΝΙΑ	ΒΑΘΟΣ				ΗΜΕΡ/ΝΙΑ	ΒΑΘΟΣ			
	10cm	20cm	30cm	40cm		10cm	20cm	30cm	40cm
28/1/2014	27,05%	28,20%	29,65%	32,05%	28/1/2014	14,70%	16,70%	20,76%	23,60%
26/2/2014	26,30%	27,10%	28,25%	32,30%	26/2/2014	14,70%	16,70%	20,76%	23,60%
28/3/2014	23,15%	20,95%	24,15%	30,65%	28/3/2014	18,58%	20,45%	22,67%	27,27%
4/5/2014	3,10%	6,30%	13,27%	14,90%	4/5/2014	2,30%	6,07%	13,57%	15,33%
6/6/2014	6,60%	13,25%	16,00%	20,93%	6/6/2014	3,20%	10,87%	17,10%	20,20%
5/7/2014	5,55%	12,20%	14,20%	19,10%	5/7/2014	2,60%	10,33%	15,80%	17,53%
28/7/2014	8,00%	11,57%	20,60%	24,03%	28/7/2014	2,77%	11,03%	17,37%	20,37%
5/9/2014	0,00%	7,73%	15,70%	22,30%	5/9/2014	0,00%	9,10%	13,17%	19,20%
5/10/2014	1,97%	9,70%	18,33%	23,43%	5/10/2014	0,67%	10,83%	16,53%	19,43%
3/11/2014	10,03%	24,23%	26,53%	32,40%	3/11/2014	8,67%	22,93%	26,30%	33,40%

Στη συνέχεια με τη βοήθεια των υπολογιστικών φύλλων του excel υπολογίστηκε η μέση μηνιαία θερμοκρασία καθώς και η συνολική μηνιαία βροχόπτωση σε (mm). Έτσι στον παρακάτω πίνακα εισάχθηκαν οι μήνες που παρακολουθούνταν τα δεδομένα καθώς και οι τιμές που υπολογίστηκαν. Ο Πίνακας 4 περιγράφει το αποτέλεσμα της επεξεργασίας των δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού όσο αφορά τη μέση θερμοκρασία αέρα και το ύψος βροχής ανά μήνα.

Πίνακας 4. Μετεωρολογικά δεδομένα

ΜΗΝΕΣ	ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΑΕΡΑ (°C)	ΜΗΝΙΑΙΑ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ (SUM) (mm)
Ιαν-14	13,3	47
Φεβ-14	13,1	77,4
Μαρ-14	13,7	38,4
Απρ-14	16,14	34,40
Μαϊ-14	19,17	2,60
Ιουν-14	23,17	2,80
Ιουλ-14	25,45	0,00
Αυγ-14	25,59	0,00
Σεπ-14	23,38	9,60
Οκτ-14	18,30	33,00
Νοε-14	14,87	2,20

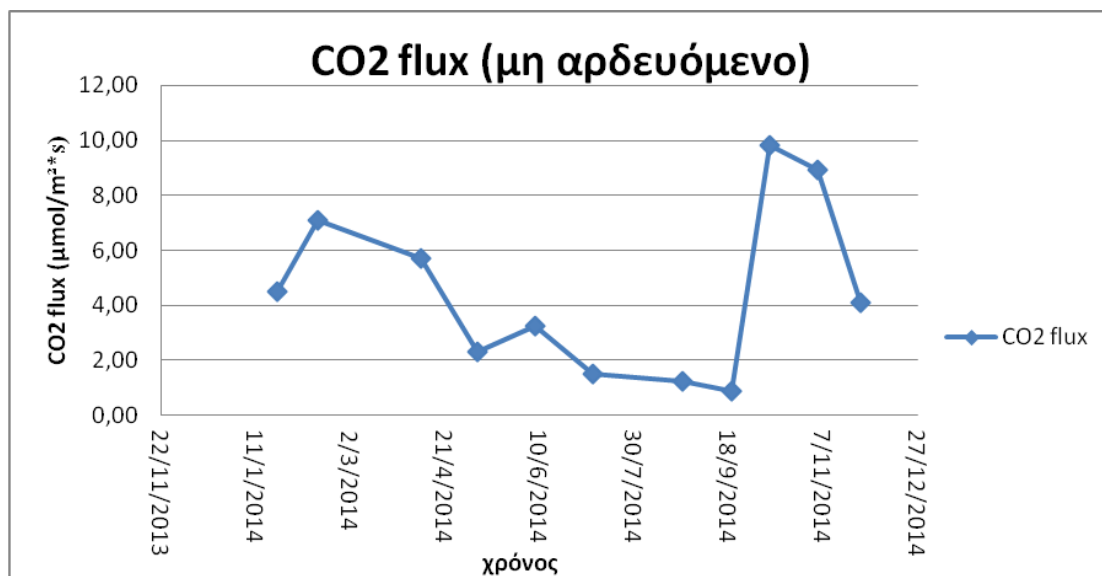
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω οι πίνακες 2,3,4 σχηματίστηκαν προκειμένου να δημιουργηθούν τα κατάλληλα διαγράμματα των δεδομένων τα οποία απεικονίζουν τα αποτελέσματα της μελέτης και βοηθούν στην εξαγωγή ιδιαίτερα χρήσιμων συμπερασμάτων. Τα συμπεράσματα αυτά είναι δυνατόν να προκύψουν τόσο από την παρατήρηση του κάθε διαγράμματος μεμονωμένα όσο και από τη σύγκριση δύο ή περισσότερων γραφημάτων με παρεμφερή δεδομένα. Για την καλύτερη απεικόνιση των αποτελεσμάτων της μελέτης δημιουργήθηκαν συνολικά δεκατρία διαγράμματα με την χρήση του Microsoft Office Excel, κάποια από αυτά μάλιστα είναι σύνθετα συνδυάζοντας περισσότερους του ενός παράγοντες ενώ κάποια άλλα παρουσιάζονται ομαδοποιημένα για καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων.

3.2.1.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ CO₂ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Η πρώτη ομάδα διαγραμμάτων σχετίζεται με τον Πίνακα 2 και αποτελείται από τέσσερα διαγράμματα τις Εικόνα 32, Εικόνα 33, Εικόνα 34, Εικόνα 35. Τα διαγράμματα αυτά απεικονίζουν τη διακύμανση του CO₂ flux και της θερμοκρασίας του εδάφους κατά τη χρονική περίοδο διεξαγωγής των μετρήσεων. Τα γραφήματα

αυτά όπως και ο Πίνακας 2 χωρίζονται σε δεδομένα που προέρχονται από αρδευόμενα και μη αρδευόμενα τμήματα του πειραματικού τεμαχίου.

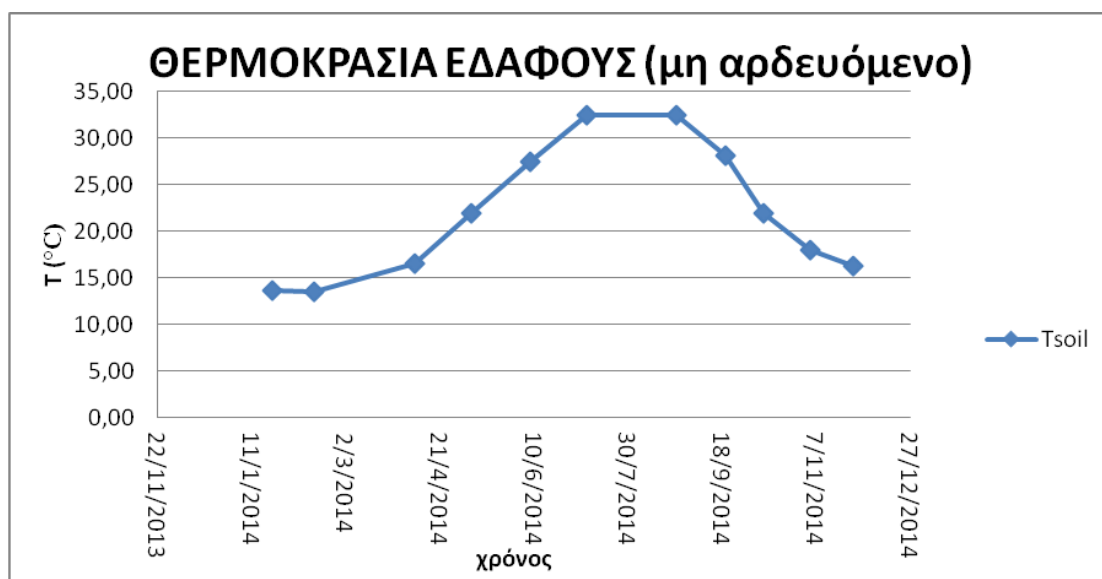
Συγκεκριμένα η Εικόνα 32 απεικονίζει τη διακύμανση της συγκέντρωσης του CO₂ flux σε μη αρδευόμενο τμήμα για τη χρονική περίοδο Ιανουαρίου 2014 - Νοεμβρίου 2014 και η Εικόνα 33 έχει την ανάλογη διακύμανση για τη θερμοκρασία εδάφους. Οι Εικόνα 34 και Εικόνα 35 απεικονίζουν τις διακυμάνσεις του CO₂ flux (εικ.34) και της θερμοκρασίας εδάφους (εικ.35) για αρδευόμενα τμήματα του πειραματικού τεμαχίου και πάντα για την ίδια χρονική περίοδο.



Εικόνα 32. Διακύμανση της τιμής του CO₂ σε μη αρδευόμενο έδαφος

Στο παραπάνω γράφημα (Εικόνα 32) παρατηρείτε η μεταβολή του CO₂ flux στη διάρκεια του έτους. Το πρώτο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου γραφήματος αφορά την αισθητή μείωση των τιμών του τους θερινούς μήνες. Η απότομη αύξηση που παρατηρείτε στην περίοδο Σεπτεμβρίου- Νοεμβρίου οφείλεται στις πρώτες βροχές του φθινοπώρου και θα εξηγηθεί καλύτερα σε παρακάτω γράφημα που συσχετίζει τα δύο μεγέθη. Ακόμα από το πρώτο γράφημα αρχίζει να φαίνεται η μεγάλη εξάρτηση του CO₂ flux από τις κλιματολογικές συνθήκες με σαφέστατες μεταβολές ανάλογα με τις εποχές. Αξίζει να σημειωθεί η πολύ σημαντική αύξηση των τιμών του CO₂ flux μετά τις ραγδαίες βροχοπτώσεις του Οκτωβρίου με τους φυσικούς μηχανισμούς του εδάφους να επαναφέρουν το CO₂ flux σε τιμές ανάλογες της υπόλοιπης φθινοπωρινής - χειμερινής περιόδου μέσα σε διάστημα ενός μήνα.

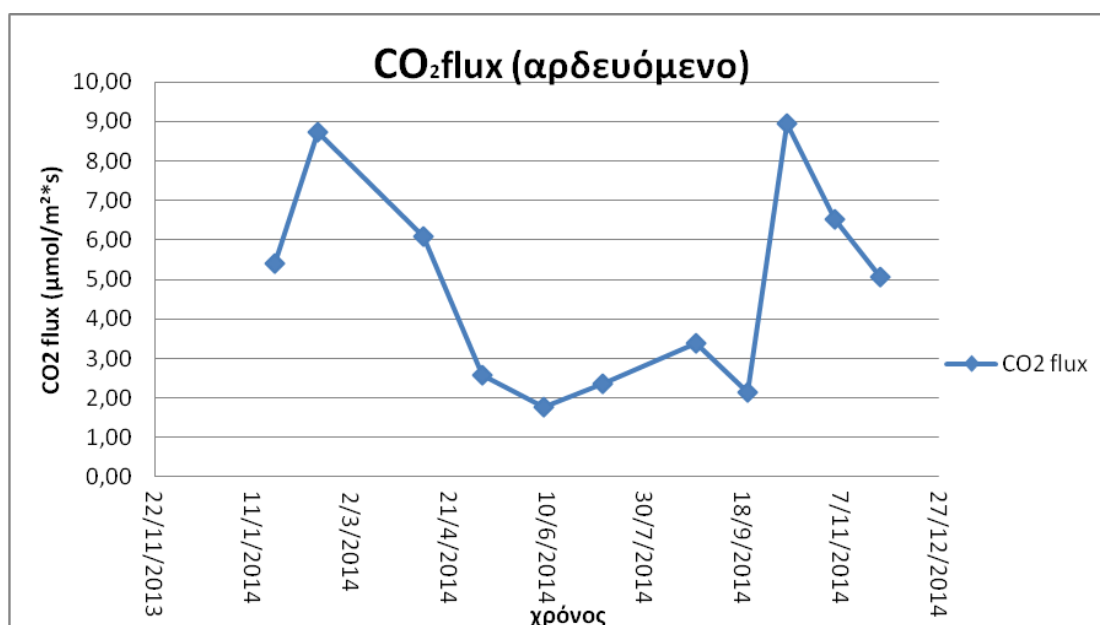
Η Εικόνα 33 όπως προαναφέρθηκε απεικονίζει τη διακύμανση της θερμοκρασίας του εδάφους στα μη αρδευόμενα τμήματα των μετρήσεων τους μήνες Ιανουάριος-Νοέμβριος 2014. Όπως αναμενόταν η θερμοκρασία εδάφους μετά από μια σχετική σταθερότητα μεταξύ Ιανουαρίου και Μαρτίου παρουσιάζει σταδιακή άνοδο από τον Απρίλιο με τον ρυθμό της ανόδου να αυξάνει τους μήνες Μάιο και Ιούνιο. Ακολουθεί μια δεύτερη σταθεροποίηση στο υψηλότερο επίπεδο τιμής τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο και στις αρχές Σεπτεμβρίου ξεκινά η σταδιακή αποκλιμάκωση της θερμοκρασίας μέχρι τα τέλη Νοεμβρίου που εμφανίζει τάσης σταθεροποίησης. Οι τιμές που καταγράφονται μπορούν να χαρακτηριστούν λογικές με δεδομένες τις τυπικές κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής των Χανίων.



Εικόνα 33 Διακύμανση της θερμοκρασίας εδάφους σε μη αρδευόμενο έδαφος

Μια πρώτη σύγκρισή των γραφημάτων Εικόνα 32 και Εικόνα 33 οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η άνοδος της θερμοκρασίας επηρεάζει πτωτικά την τιμή του CO₂ flux χωρίς όμως να διακρίνεται αρχικά κάποια αναλογική μεταβολή των τιμών. Χαρακτηριστικό της θερμοκρασίας εδάφους είναι η σχετικά ομαλή και ομοιόμορφη διακύμανση που παρουσιάζει στη διάρκεια του χρόνου σε αντίθεση με τις απότομες μεταβολές της τιμής του CO₂ flux με αποκορύφωμα την αύξηση του Οκτωβρίου.

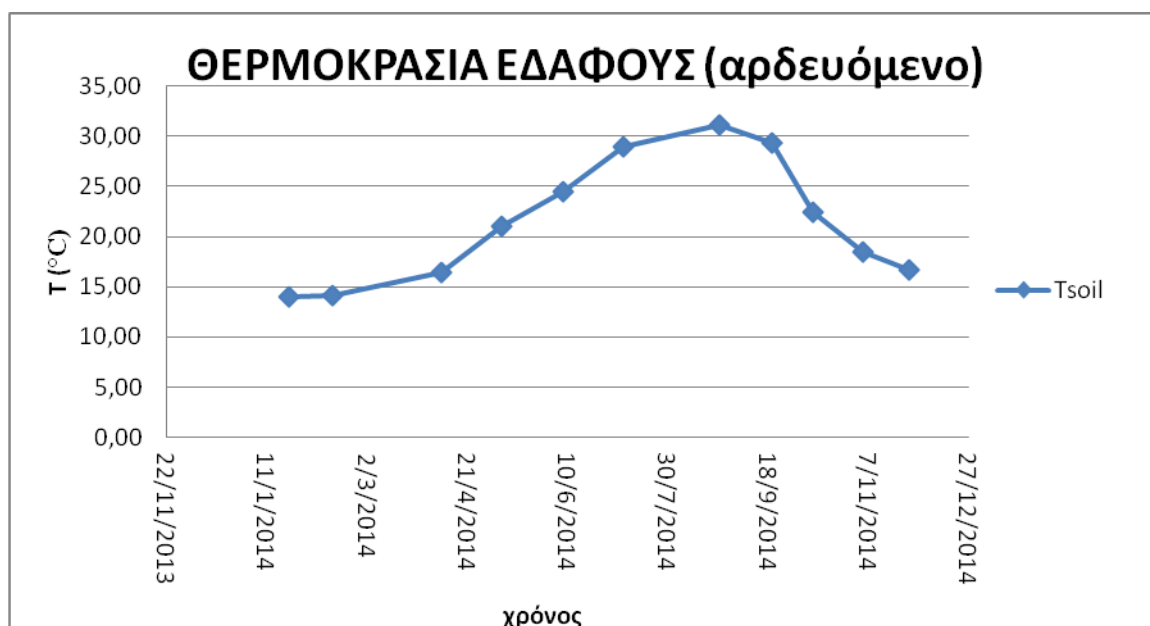
Στα παρακάτω δυο γραφήματα περιγράφεται οι μεταβολές των μελετούμενων παραμέτρων στο αρδευόμενο τμήμα του πειραματικού τεμαχίου. Στην Εικόνα 34 παρατίθεται η διακύμανση της τιμής του CO₂ flux πάντα για το χρονικό διάστημα των μετρήσεων (1/14-11/14). Στο διάγραμμα αυτό παρατηρείτε η μείωση των τιμών τους θερινούς μήνες. Συγκεκριμένα, ενώ το διάστημα Ιανουάριος-Απρίλιος 2014 οι όποιες μεταβολές είναι μικρές και συγκεντρώνονται σε αρκετά υψηλές τιμές, από τον Απρίλιο και μετά παρατηρείτε αποκλιμάκωση σε αισθητά χαμηλότερες τιμές CO₂ flux. Εμφανής είναι η ραγδαία αύξηση τον μήνα Οκτώβριο και η μετέπειτα αποκλιμάκωση της τιμής μέχρι το τέλος Νοεμβρίου όπως ακριβώς συνέβη και για το μη αρδευόμενο τμήμα. Ένα πρώτο σχόλιο που προκύπτει συγκρίνοντας τα γραφήματα των Εικόνα 32 και Εικόνα 34 είναι αφενός η εμφανής ομοιότητα των μεταβολών ανά χρονική περίοδο, δηλαδή ακριβώς στα ίδια χρονικά σημεία εμφανίζεται αύξηση ή μείωση της τιμής του CO₂ flux, αφετέρου είναι εξίσου προφανές ότι οι μέσες και οι ελάχιστες τιμές του CO₂ flux είναι σαφώς υψηλότερες στα αρδευόμενα τμήμα του πειραματικού τεμαχίου σε σχέση με τα μη αρδευόμενα τμήματα ενώ η μέγιστη τιμή CO₂ flux στην απότομη άνοδο του Οκτώβρη είναι σχεδόν ίδια και στις δυο περιπτώσεις κάτι που ίσως υποδηλώνει ένα είδος κατωφλίου - κορεσμού. Αυτό αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό συμπέρασμα για τη σχέση του CO₂ flux με εδαφικής υγρασία που θα τεκμηριωθεί καλύτερα στη συνέχεια.



Εικόνα 34. Διακύμανση της τιμής του CO₂ σε αρδευόμενο έδαφος.

Η Εικόνα 35 είναι το αντίστοιχο διάγραμμα της θερμοκρασίας εδάφους για τα αρδευόμενα τμήματα του πειραματικού τεμαχίου. Χαρακτηριστικά παρατηρείτε η σταδιακή άνοδος της θερμοκρασίας από τον Ιανουάριο ως τις αρχές Σεπτεμβρίου με τον ρυθμό να αυξάνει και σε αυτήν την περίπτωση από τον Απρίλιο και μετά. Μετά τα μέσα Σεπτεμβρίου υπάρχει αισθητή πτώση της θερμοκρασίας που συνεχίζεται ως το πέρας των μετρήσεων στο τέλος Νοεμβρίου. Στην περίπτωση της θερμοκρασίας αν συγκριθούν οι Εικόνα 33 και Εικόνα 35 τότε παρατηρείτε το εξής, αφενός έχουν

παρόμοιες γενικές μεταβολές, δηλαδή αυξάνεται η θερμοκρασία κατά τους θερινούς μήνες και μειώνεται εκ νέου κατά τη διάρκεια του φθινόπωρου, αφετέρου στην Εικόνα 35 δεν παρατηρείται η σταθεροποίηση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες $>30^{\circ}\text{C}$ που παρατηρείται στην Εικόνα 33 αλλά εμφανίζεται μια συνεχής αυξητική τάση μέχρι το υψηλότερο σημείο. Επίσης οι τιμές των θερινών θερμοκρασιών είναι αισθητά χαμηλότερες ενώ η αποκλιμάκωση (μείωση εδαφικής θερμοκρασίας) του Οκτωβρίου πραγματοποιείται με σαφώς ταχύτερο ρυθμό στην περίπτωση των αρδευόμενων τμημάτων. Τα στοιχεία αυτά καταδεικνύουν τον σημαντικό ρόλο της εδαφικής υγρασίας.



Εικόνα 35. Διακύμανση θερμοκρασίας εδάφους σε αρδευόμενα εδάφη.

Μια σύγκριση των εικόνων 34 και 35 που εμφανίζουν τις διακυμάνσεις της τιμής του CO_2 flux και της θερμοκρασίας του εδάφους για αρδευόμενα τμήματα επιβεβαιώνουν τα συμπεράσματα που εξήχθησαν από τη σύγκριση των εικόνων 32 και 33. Δηλαδή οι δύο αυτοί παράγοντες εμφανίζουν μια σαφέστατη συσχέτιση αφού η τιμή τους μεταβάλλεται ανοδικά για την εδαφική θερμοκρασία, και καθοδικά για το CO_2 flux, τις ίδιες ακριβώς περιόδους. Παρόλα αυτά οι μεταβολές αυτές δεν πραγματοποιούνται με τον ίδιο ρυθμό αφού και σε αυτήν την περίπτωση η διακύμανση της τιμής της εδαφικής θερμοκρασίας είναι πολύ πιο ομαλή.

3.2.1.2 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΔΑΦΙΚΗΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ

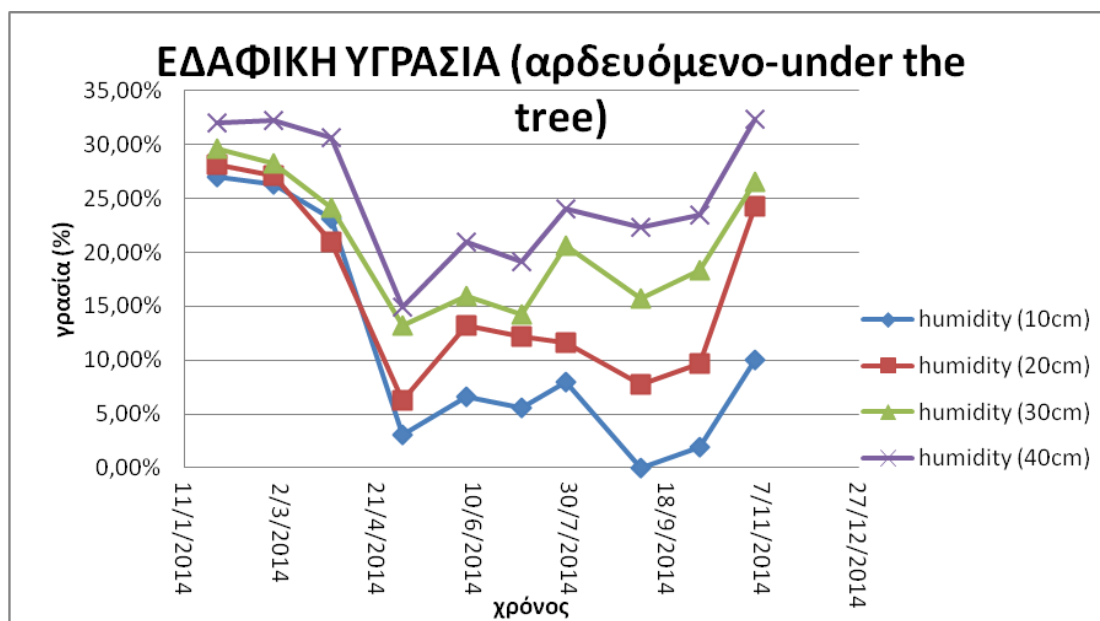
Ο τρίτος παράγοντας για τον οποίο διενεργήθηκαν μετρήσεις και εξετάζεται στην παρούσα μελέτη είναι η εδαφική υγρασία. Πιο συγκεκριμένα και με βάση τον Πίνακα 3 κατασκευάστηκαν δύο διαγράμματα η Εικόνα 36 και η Εικόνα 37, ένα για τις μετρήσεις της υγρασίας σε σημεία κοντά στις ρίζες του δέντρου (under the tree) και άρα στο αρδευόμενο τμήμα (Εικόνα 36) και ένα για τις τιμές στα μη αρδευόμενα τμήματα στο μέσον (intermediate) των πειραματικών τεμαχίων (Εικόνα 37). Σε κάθε

διάγραμμα αποτυπώνονται με χωριστές καμπύλες τα τέσσερα βάθη στα οποία διενεργήθηκε μέτρηση της εδαφικής υγρασίας.

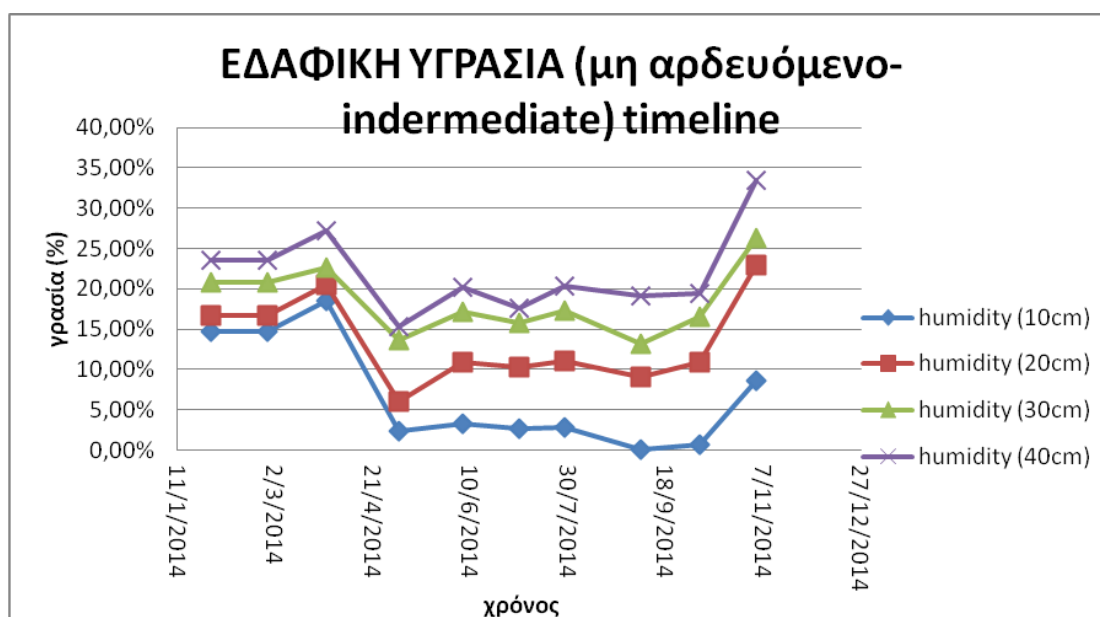
Η Εικόνα 36 που ακολουθεί αναφέρετε στις μετρήσεις της εδαφικής υγρασίας που διενεργήθηκαν το ίδιο χρονικό διάστημα με τους υπόλοιπους παράγοντες. Όπως φαίνεται και στο υπόμνημα του γραφήματος η γαλάζια καμπύλη αναφέρεται στην υγρασία στο εδαφικό βάθος των 10cm, η καφέ καμπύλη στο εδαφικό βάθος των 20cm, η πράσινη στο εδαφικό βάθος των 30cm και η μοβ στο εδαφικό βάθος των 40cm.

Στο αρδευόμενο κομμάτι τα αποτελέσματα του οποίου απεικονίζονται στο παρόν γράφημα παρατηρείται μια σχετική ισορροπία σε όλα τα βάθη κατά το πρώτο χρονικό διάστημα των μετρήσεων Ιανουάριος-Φεβρουάριος και σταδιακή πτώση του ποσοστού υγρασία τους θερινούς μήνες. Ακόμα από τον Απρίλιο και μετά είναι εμφανής ο διαχωρισμός στα ποσοστά των τεσσάρων βαθών με τα 40 cm να έχουν συνεχώς τα μεγαλύτερα ποσοστά και να μειώνεται όσο προχωρά προς την επιφάνεια του εδάφους. Τέλος εμφανής είναι και η άνοδος που παρατηρείται μετά τον Σεπτέμβριο.

Η Εικόνα 37 αφορά τα μη αρδευόμενα τμήματα και παρουσιάζει παρόμοια γενική εικόνα με την Εικόνα 36 αλλά και αρκετές σοβαρές διαφοροποιήσεις. Οι χρωματικές απεικονίσεις και σχεδιαστικά σύμβολα των καμπυλών παραμένουν τα ίδια. Στο γράφημα αυτό από τον Ιανουάριο ως τον Απρίλιο παρατηρείτε μια σχετική σταθερότητα του ποσοστού εδαφικής υγρασίας με τα επιμέρους ποσοστά των βαθών να είναι σχετικά κοντά μεταξύ τους αλλά χωρίς να ταυτίζονται σε κανένα σημείο. Μετά των Απρίλιο και μέχρι τον Μάιο υπάρχει μια ραγδαία πτώση των ποσοστών που σταθεροποιούνται στα τέλη Μαΐου και ως τις αρχές του Οκτωβρίου παραμένουν στα ίδια επίπεδα με ελάχιστες διακυμάνσεις. Τον Οκτώβριο και ως το πέρας των μετρήσεων παρατηρείτε αύξηση του ποσοστού της εδαφικής υγρασίας ως απόρροια των πρώτων βροχοπτώσεων. Σε όλη τη χρονική περίοδο των μετρήσεων η καμπύλη εδαφικής υγρασίας με τις υψηλότερες τιμές είναι αυτή των 40 cm και ακολουθούν με μικρότερα ποσοστά αυτή των 30cm, των 20 cm και των 10cm, δηλαδή το ποσοστό εδαφικής υγρασίας αυξάνει με το βάθος. Τέλος αξίζει να επισημανθεί ότι τα ποσοστά εδαφικής υγρασίας στα μη αρδευόμενα τμήματα είναι σαφώς μικρότερα από τα αρδευόμενα ειδικά κατά τους θερινούς μήνες για όλα τα βάθη των μετρήσεων.



Εικόνα 36. Διακύμανση της τιμής εδαφικής υγρασίας για τα τέσσερα βάθη μετρήσεων 10cm,20cm,30cm,40cm, σε αρδευόμενο έδαφος



Εικόνα 37. Διακύμανση της τιμής εδαφικής υγρασίας για τα τέσσερα βάθη μετρήσεων 10cm,20cm,30cm,40cm, σε μη αρδευόμενο έδαφος

Μια πρώτη συσχέτιση των Εικόνα 32, Εικόνα 33, Εικόνα 37 που αφορούν τους παράγοντες CO₂ flux, εδαφική θερμοκρασία και υγρασία εδάφους για τα μη αρδευόμενα τμήματα καταδεικνύει σημαντική ομοιότητα των καμπυλών της εδαφικής υγρασίας με την καμπύλη μεταβολής των τιμών του CO₂ flux τόσο ως προς τις ημερομηνίες όσο και ως προς τους ρυθμούς διακύμανσης. Αντίθετα η θερμοκρασία εδάφους αφενός εμφανίζει μια αλληλεπίδραση με τους άλλους δύο παράγοντες αλλά σε εντελώς διαφορετικό μοτίβο, αφού έχει αντίστροφες και ηπιότερες μεταβολές από την εδαφική υγρασία και τις εκπομπές CO₂ flux. Ανάλογα

είναι τα συμπεράσματα και για τις Εικόνα 34, Εικόνα 35, Εικόνα 36 που αφορούν τα αρδευόμενα τμήματα των πειραματικών τεμαχίων.

3.2.1.3 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα μετεωρολογικά δεδομένα του Πίνακα 4 χρησιμοποιήθηκαν με σκοπό τη δημιουργία αρχικά δύο γραφημάτων, ένα της μηνιαίας θερμοκρασία αέρα Εικόνα 38 και ένα της μηνιαίας αθροιστικής βροχόπτωσης (Εικόνα 39) προκειμένου να αυξηθούν οι παράγοντες με τους οποίους θα συγκριθούν τα βασικά δεδομένα της μελέτης δηλαδή το CO₂ flux, η θερμοκρασία εδάφους και η εδαφική υγρασία.

Στην Εικόνα 38 απεικονίζεται η διακύμανση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα. Φαίνεται χαρακτηριστικά η σταδιακή αύξηση της τους μήνες Μάρτιο - Ιούνιο, η σταθεροποίηση τους θερινούς μήνες και η αποκλιμάκωση της από τον Σεπτέμβριο και μέχρι τον Νοέμβριο. Παρατηρείται ακόμα πως σε σύγκριση με τη θερμοκρασία εδάφους υπάρχει απόκλιση τους θερινούς μήνες (σχετικά μικρότερες θερμοκρασίες εδάφους σε σχέση με τις αντίστοιχες του αέρα) σε αντίθεση με τους χειμερινούς που τα νούμερα είναι πολύ πιο κοντινά. Αυτό δείχνει ότι τους θερινούς μήνες οι υψηλές θερμοκρασίες του αέρα επηρεάζουν σε μικρότερο βαθμό τις αντίστοιχες εδαφικές, σε αντίθεση με τους χειμερινούς μήνες που τόσο η αέρια θερμοκρασία όσο και αυτή του εδάφους έχουν παρόμοια διακύμανση.

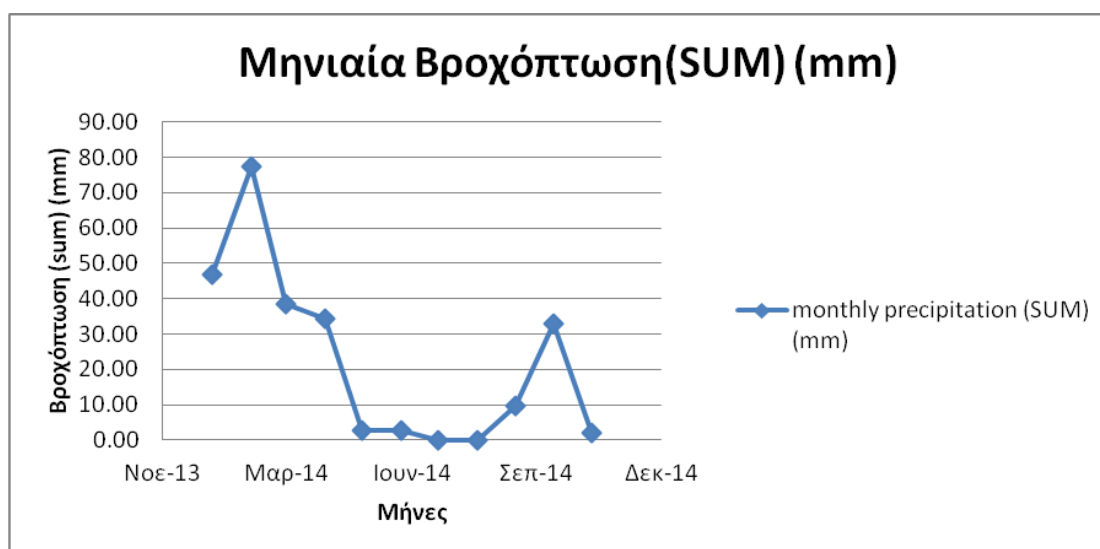


Εικόνα 38. Διακύμανση της μηνιαίας θερμοκρασίας αέρα

Το δεύτερο από τα μετεωρολογικά δεδομένα που εξετάστηκαν είναι η μηνιαία αθροιστική βροχόπτωση μετρούμενη σε mm. Αυτός ο παράγοντας αποτελεί τον σημαντικότερο ίσως από αυτούς που επηρεάζουν τις τιμές των εκπομπών CO₂ flux από το εδαφικό υπόστρωμα και ταυτόχρονα εξηγεί και τις διακυμάνσεις των υπολοίπων μεγεθών. Στην Εικόνα 39 περιγράφεται η διακύμανση της βροχόπτωσης

τους μήνες Ιανουάριο- Νοέμβριο 2014. Αρχικά παρουσιάζονται έντονες βροχοπτώσεις οι οποίες στη συνέχεια εξασθενούν τον Μάιο και σχεδόν εκμηδενίζονται κατά τους θερινούς μήνες. Τον Σεπτέμβριο επανεμφανίζονται οι βροχοπτώσεις σε μικρά μεγέθη ενώ τον Οκτώβριο είναι εμφανής η τεράστια αύξηση του και ενώ ο Νοέμβρης του 2014 δεν είχε σχεδόν καθόλου βροχοπτώσεις.

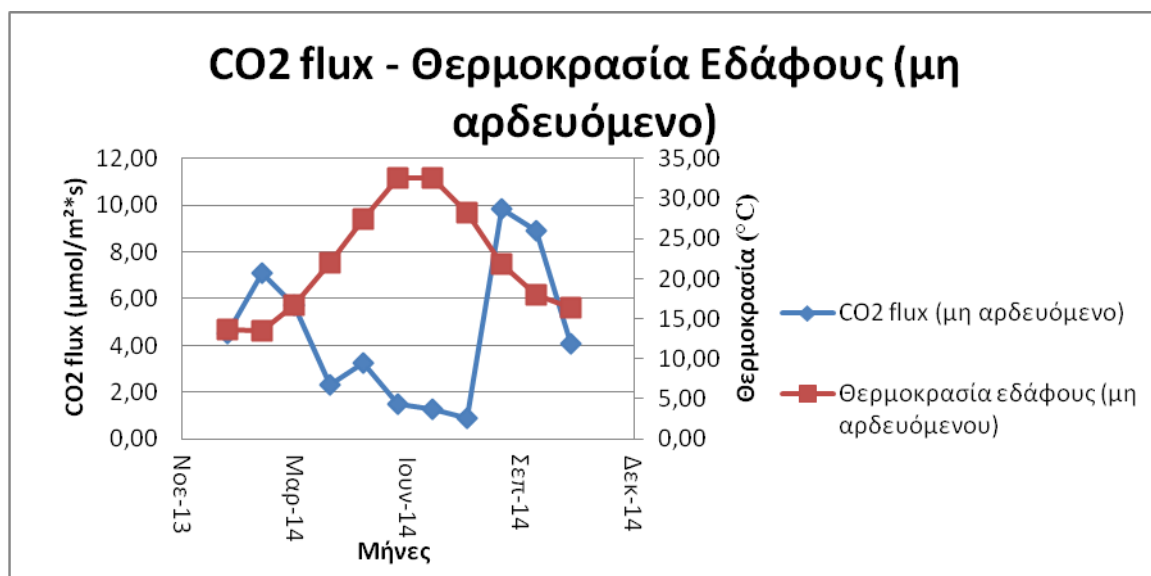
Το σχήμα αυτό αποτυπώνει ουσιαστικά τον λόγο των ακραίων αλλαγών στις τιμές των εκπομπών CO₂ flux από το εδαφικό υπόστρωμα. Αυτό θα γίνει πιο εμφανές στα επόμενα συγκριτικά διαγράμματα όπου αναδεικνύεται ο ιδιαίτερος ρόλος της εδαφικής υγρασίας και κατά επέκταση των βροχοπτώσεων ή/και των αρδεύσεων ως προς την διακύμανση των τιμών των εκπομπών CO₂ flux από το εδαφικό υπόστρωμα.



Εικόνα 39. Διακύμανση μηνιαίας βροχόπτωσης

3.2.1.4 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΑ-ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

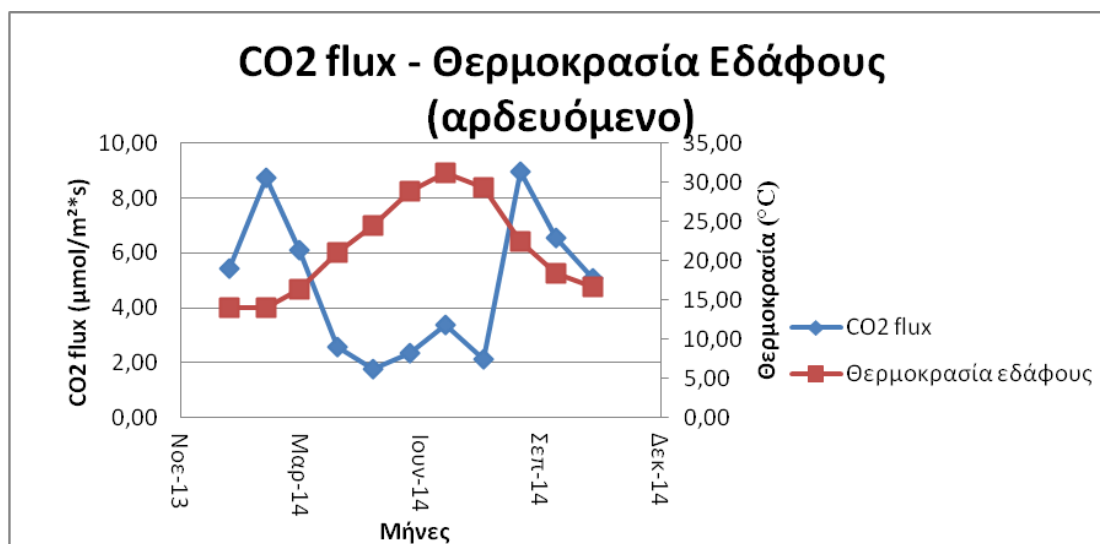
Πέρα από τα απλά διαγράμματα που σχηματιστήκαν και σχολιάστηκαν παραπάνω κρίθηκε αναγκαίο να δημιουργηθούν και πέντε συνολικά συνδυαστικά γραφήματα όπου το καθένα συγκρίνει δύο από τους παράγοντες που αναλύθηκαν παραπάνω. Τα γραφήματα αυτά κατασκευάστηκαν με τη βοήθεια των Πίνακας 2, Πίνακας 3 και Πίνακας 4. Αναλυτικότερα, τα διαγράμματα των Εικόνα 40 και Εικόνα 41 συγκρίνουν το CO₂ flux με τη θερμοκρασία εδάφους για αρδευόμενα και μη αρδευόμενα τμήματα του πειραματικού τεμαχίου.



Εικόνα 40. Σύγκριση τιμών CO₂ και θερμοκρασίας εδάφους σε μη αρδευόμενο έδαφος

Στην Εικόνα 40 με την μπλε καμπύλη απεικονίζεται η διακύμανση του CO₂ flux ενώ με την καφέ η θερμοκρασία του εδάφους. Το γράφημα αφορά μη αρδευόμενα τμήματα και ουσιαστικά επιβεβαιώνει την παρατήρηση που προήλθε από τη σύγκρισή των μεμονωμένων διαγραμμάτων των δύο παραγόντων. Ότι δηλαδή η τιμή του CO₂ flux έχει μια σχέση αντίστροφη με τη θερμοκρασία εδάφους χωρίς όμως η αλλαγές της θερμοκρασίας να επιφέρουν βίαιες μεταβολές στις τιμές του CO₂ flux. Αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτό από το τμήμα των καμπύλων για τις χρονικές περιόδους Ιανουαρίου-Μαρτίου και Σεπτεμβρίου - Νοεμβρίου όπου η τιμή του CO₂ flux μεταβάλλετε βίαια τόσο ανοδικά όσο και καθοδικά ενώ αντίστοιχα η θερμοκρασία μειώνεται σχεδόν με σταθερό ρυθμό σε όλη τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου.

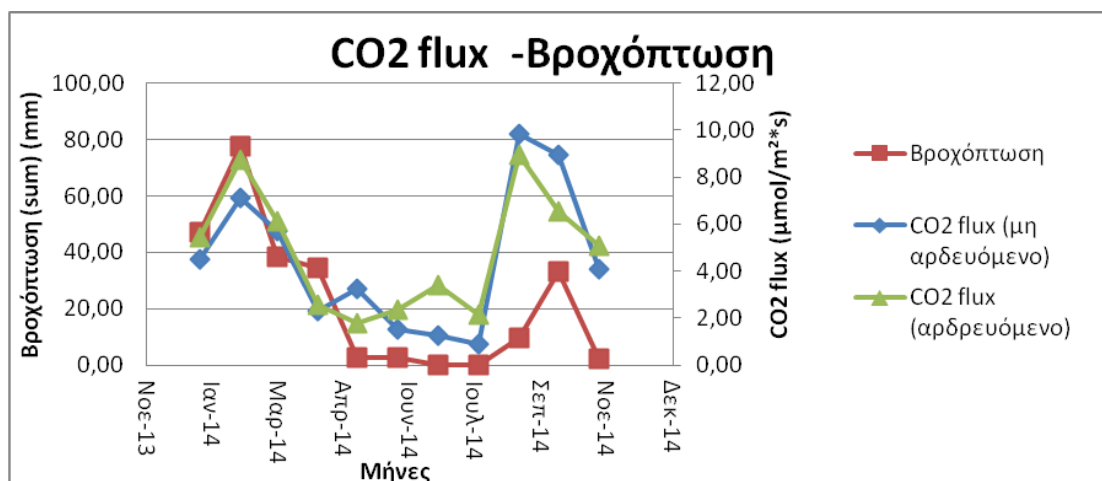
Η Εικόνα 41 απεικονίζει τις τιμές του CO₂ flux σε σύγκριση με τη θερμοκρασία εδάφους για τα αρδευόμενα τμήματα. Τα αρδευόμενα τμήματα λόγω της άρδευσης παρουσιάζουν ακόμα μικρότερες επιρροές τις τιμές του CO₂ flux από τη θερμοκρασία του εδάφους. Μάλιστα η θερμοκρασία είναι αυτή που επηρεάζεται σημαντικά αφού δείχνει ακόμα ομαλότερη μεταβολή από ότι στα μη αρδευόμενα. Ο γενικός κανόνας ακολουθείτε και σε αυτήν την περίπτωση με το CO₂ flux να μειώνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία και αντίστροφα, χωρίς βέβαια πάλι να είναι δυνατό να συσχετιστεί ο ρυθμός μεταβολής τους.



Εικόνα 41. Σύγκριση τιμών CO₂ και θερμοκρασίας εδάφους σε μη αρδευόμενο έδαφος

Στην Εικόνα 42 συγκρίνονται οι μεταβολές του CO₂ flux με τη βροχόπτωση. Το συγκεκριμένο γράφημα κατασκευάστηκε με τον συνδυασμό δεδομένων από τον Πίνακα 2 και Πίνακα 3 και σε αυτό εμφανίζονται τρεις καμπύλες. Με το καφέ χρώμα απεικονίζεται η διακύμανση της βροχόπτωσης, με το μπλε του CO₂ flux για μη αρδευόμενα τμήματα και με το πράσινο του CO₂ flux για αρδευόμενα τμήματα.

Η Εικόνα 42 επιβεβαιώνει την αρχική παρατήρηση που αφορούσε την σπουδαιότητα της βροχόπτωσης και την επίδρασή της στην τιμή του CO₂ flux. Παρατηρείται ταύτιση των καμπυλών αφού με την αύξηση των βροχοπτώσεων περίοδος Ιανουαρίου - Απριλίου και περίοδος Σεπτεμβρίου-Οκτωβρίου αυξάνεται και η τιμή του CO₂ flux είτε αφορά αρδευόμενα είτε μη αρδευόμενα τμήματα. Στις ξηρές περιόδους Μάιο με Αύγουστο που οι βροχοπτώσεις τείνουν στο μηδέν παρατηρείτε αντίστοιχη μείωση της τιμής του CO₂ flux με την διαφορά να έγκειται στο γεγονός της διατήρησης υψηλότερων τιμών CO₂ flux για τα αρδευόμενα τμήματα από τα μη αρδευόμενα. Χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου γραφήματος αποτελεί η ανταπόκριση που δείχνει να έχει ο παράγοντας CO₂ flux, που αποτελεί και τον κύριο παράγοντα της μελέτης, στις μεταβολές της βροχόπτωσης αφού ακολουθεί τις βίαιες μεταπτώσεις της σχεδόν με όμοιο ρυθμό.



Εικόνα 42. Σύγκριση βροχόπτωσης με τις τιμές CO₂ για αρδευόμενο ή μη αρδευόμενο έδαφος.

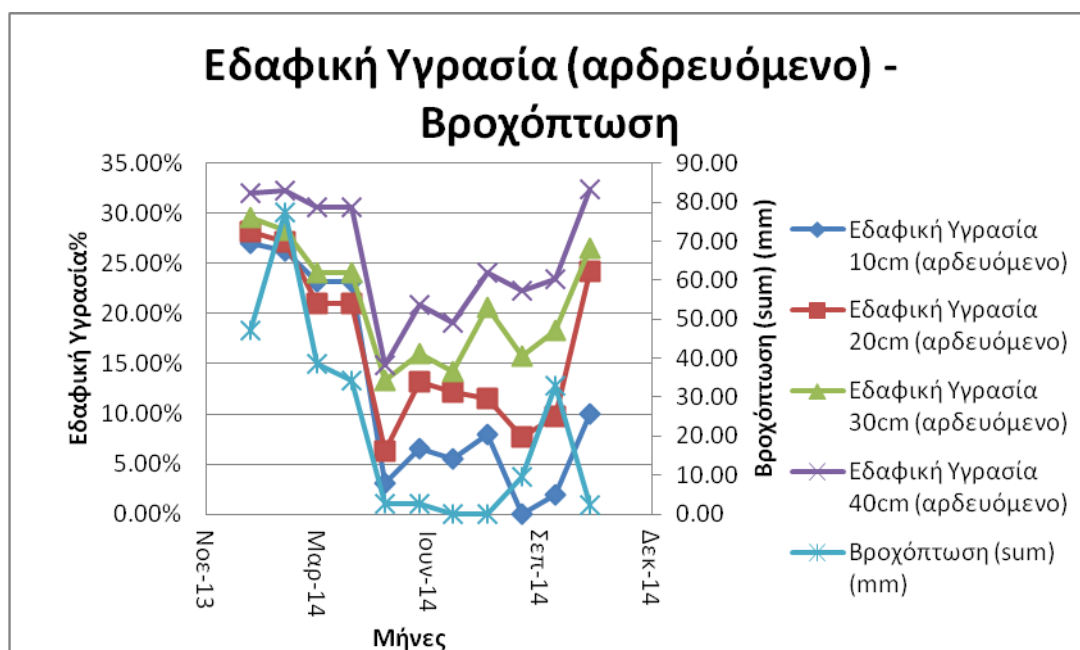
Οι Εικόνα 43 και Εικόνα 44 απεικονίζουν την συσχέτιση της βροχόπτωσης με την εδαφική υγρασία για αρδευόμενα ή μη τμήματα και για όλα τα μετρούμενα βάθη. Συγκεκριμένα και στα δύο γραφήματα απεικονίζονται τέσσερις καμπύλες που αντιστοιχούν στα τέσσερα μετρούμε βάθη 10cm, 20cm, 30cm, και 40cm της εδαφικής υγρασίας. Με μπλε χρώμα απεικονίζεται η χαρακτηριστική καμπύλη της υγρασίας στα 10 cm, με καφέ στα 20 cm, με πράσινο στο 30cm και με μοβ στα 40cm. Με γαλάζιο χρώμα απεικονίζεται η καμπύλη της βροχόπτωσης με την οποία και συγκρίνονται οι τέσσερις καμπύλες της εδαφικής υγρασίας.

Για την Εικόνα 43 που ακολουθεί και που απεικονίζει τη σύγκριση των καμπυλών της υγρασίας και της βροχόπτωσης σε αρδευόμενα τμήματα παρατηρείτε το εξής φαινόμενο ενώ στο διάστημα Απριλίου - Μαΐου η εδαφική υγρασία ακολουθεί πτωτική πορεία ανάλογη με αυτή της βροχόπτωσης στο επόμενο διάστημα των θερινών μηνών η υγρασία του εδάφους όχι μόνο κρατά τιμές αλλά παρατηρούνται και αυξομειώσεις ειδικά στα μεγαλύτερα βάθη. Ακόμα η υγρασία καθυστερεί λίγο στο να ανεβάσει τα ποσοστά της μετά τις βροχοπτώσεις του φθινοπώρου ενώ εμφανίζεται να διατηρεί εξαιρετικά υψηλά ποσοστά τον μήνα Νοέμβριο παρά το γεγονός της έλλειψης των βροχοπτώσεων.

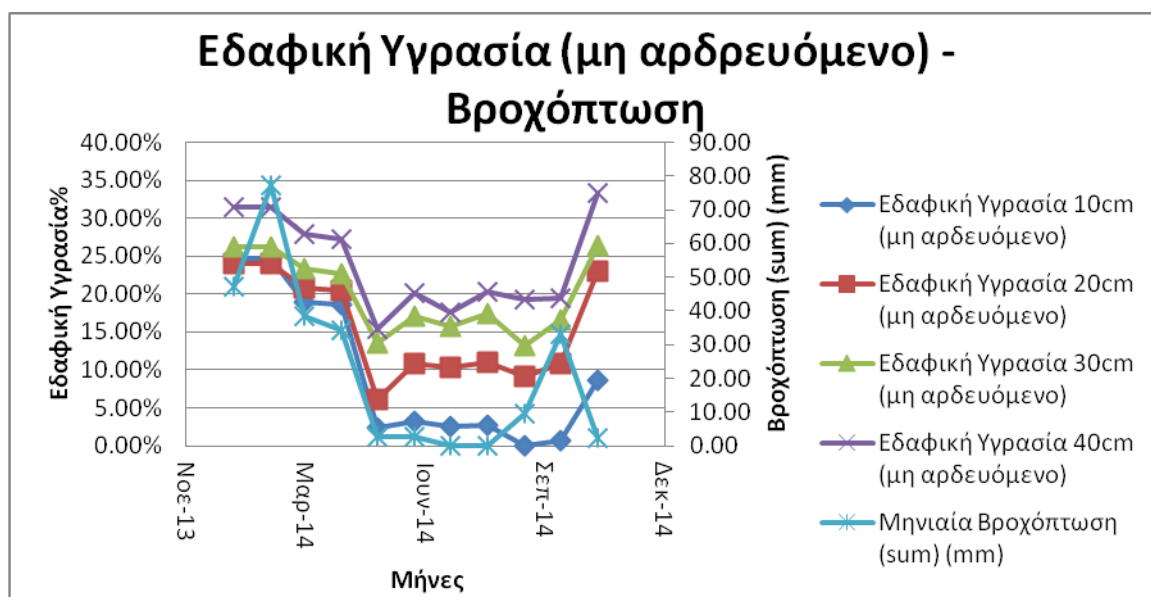
Η διακύμανση αυτή της εδαφικής υγρασίας και οι διαφορές της από την αντίστοιχη της βροχόπτωση μπορεί να εξηγηθεί. Αρχικά μιλάμε για αρδευόμενο τμήμα και άρα ακόμα και τους ξηρούς μήνες το έδαφος δέχεται ποσότητες νερού μέσω της άρδευσης και έτσι καταφέρνει να διατηρεί τα ποσοστά εδαφικής υγρασίας υψηλά ειδικά στα μεγαλύτερα βάθη που επηρεάζονται λιγότερο από τις κλιματολογικές συνθήκες. Ακόμα παρά τις έντονες βροχοπτώσεις του Οκτωβρίου παρατηρείται μια χρονική καθυστέρηση στην εμφάνιση της ανόδου των ποσοστών της υγρασίας, η οποία εμφανίζεται τον Νοέμβριο μήνα που δεν έχουμε σημαντικά ύψη βροχής. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως τις ιδιότητες του εδάφους που διατηρεί υψηλά ποσοστά

υγρασίας για αρκετό διάστημα μετά το πέρας των βροχοπτώσεων, συνεπικουρούμενο από τις κλιματολογικές συνθήκες και κυρίως τη σχετικά χαμηλή θερμοκρασία.

Αντίθετα στην Εικόνα 44 που αφορά τα μη αρδευόμενα τμήματα οι καμπύλες διακύμανσης της υγρασίας ακολουθούν σε μεγαλύτερο βαθμό τη διακύμανση της βροχόπτωσης. Παρατηρείτε μια ισορροπία των μεταβολών της υγρασίας και της βροχόπτωσης από τον Απρίλιο ως τον Σεπτέμβριο και η μοναδική ανωμαλία εντοπίζεται στο τμήμα Οκτωβρίου- Νοεμβρίου με τις σφοδρές βροχοπτώσεις και την μετέπειτα σχετική ανομβρία.



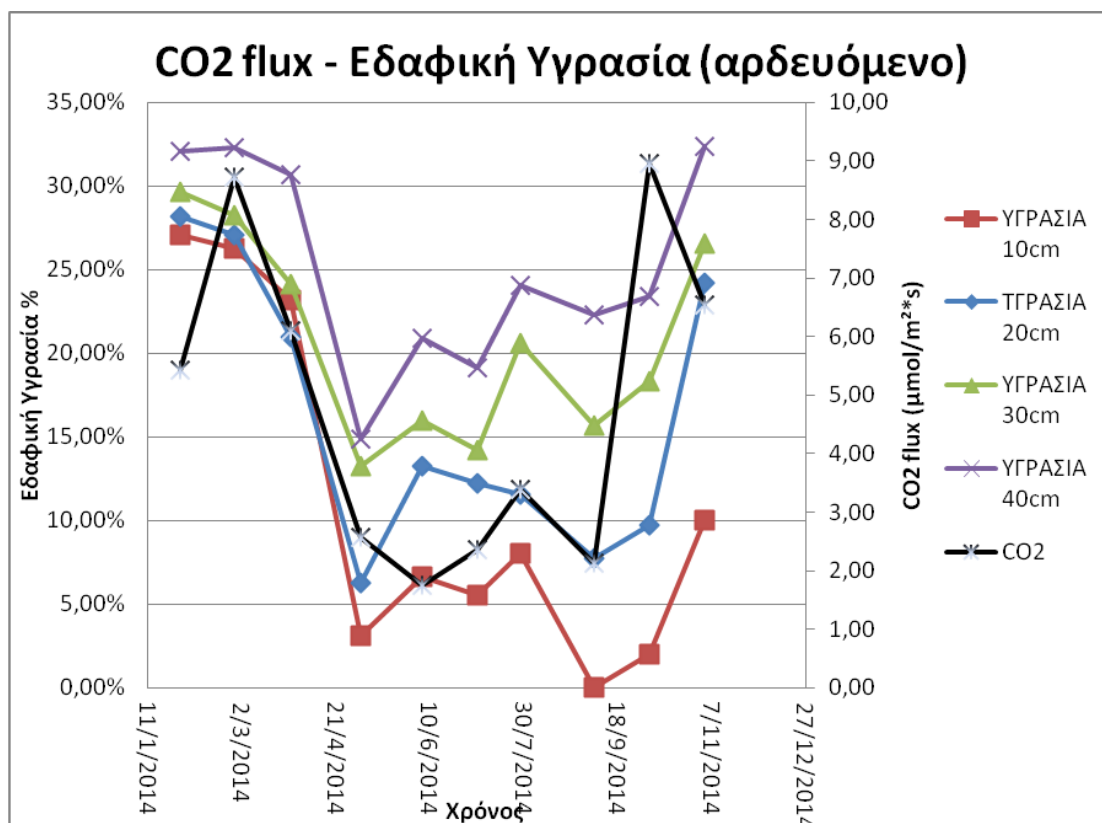
Εικόνα 43. Σύγκριση της μηνιαίας βροχόπτωσης με την εδαφική υγρασία για τα τέσσερα διαφορετικά βάθη μέτρησης της υγρασίας σε αρδευόμενο έδαφος.



Εικόνα 44 Σύγκριση της μηνιαίας βροχόπτωσης με την εδαφική υγρασία για τα τέσσερα διαφορετικά βάθη μέτρησης της υγρασίας σε μη αρδευόμενο έδαφος.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα διαγράμματα σύγκρισης του CO₂ flux με την εδαφική υγρασία που απεικονίζονται στις Εικόνα 45 (αρδευόμενο έδαφος) και Εικόνα 46 (μη αρδευόμενο έδαφος). Συγκεκριμένα παρατηρείται μια μερική ταύτιση των καμπυλών της εδαφικής υγρασίας με τις καμπύλες του CO₂, με σαφείς όμως διαφορές σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους.

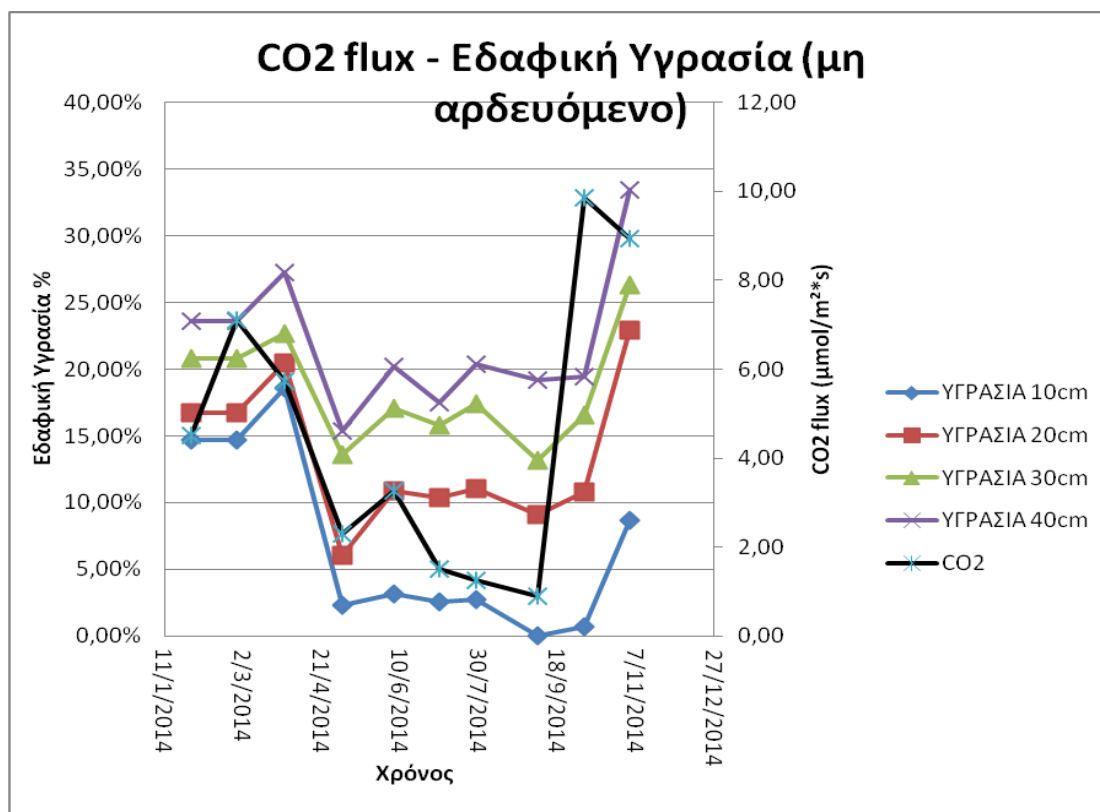
Η Εικόνα 45 περιγράφει τη σχέση της εδαφικής υγρασίας με την διακύμανση των εκπομπών CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα για αρδευόμενο έδαφος. Αποτυπώνονται οι καμπύλες της εδαφικής υγρασίας και για τα τέσσερα βάθη μετρήσεων των 10cm, 20cm, 30cm, και 40cm, καθώς και η καμπύλη των εκπομπών CO₂. Παρατηρείται ότι οι εναλλαγές στις τιμές του CO₂ και της εδαφικής υγρασίας ακολουθούν παρόμοια πορεία όσον αφορά την εποχική διακύμανση αφού ξεκινούν με υψηλές τιμές τον χειμώνα και ακολουθεί συνεχής πτώση την άνοιξη. Το καλοκαίρι παρατηρείται μια σταθεροποίηση σε χαμηλές τιμές με μικρές μεταβολές, ενώ το φθινόπωρο υπάρχει ραγδαία αύξηση στην τιμή των εκπομπών CO₂ flux και η ανάλογη αλλά ομαλότερη άνοδος των ποσοστών της εδαφικής υγρασίας.



Εικόνα 45 Σύγκριση της διακύμανσης του CO₂ flux με την εδαφική υγρασία για τα τέσσερα διαφορετικά βάθη μέτρησης της υγρασίας σε αρδευόμενο έδαφος.

Στο διάγραμμα της διακύμανσης των εκπομπών CO₂ flux με την εδαφική υγρασία για μη αρδευόμενο έδαφος παρατηρείται ακόμα μεγαλύτερη ομοιότητα στις μεταβολές των δύο παραγόντων στη διάρκεια του έτους. Το σύνολο των καμπυλών ξεκινά από σταθερά αυξημένες τιμές τους χειμερινούς μήνες, οι οποίες μειώνονται την άνοιξη

για να σταθεροποιηθούν σε χαμηλά το καλοκαίρι και να αυξηθούν εκ νέου το φθινόπωρο. Αυτή η ομοιότητα των μεταβολών ίσως οφείλεται στο γεγονός πως στην περίπτωση του μη αρδευόμενου τμήματος τόσο το CO₂ όσο και η υγρασία επηρεάζονται μόνο από τις κλιματολογικές συνθήκες και δε δέχονται καμιά εξωτερική παρέμβαση.



Εικόνα 46 Σύγκριση της διακύμανσης του CO₂ flux με την εδαφική υγρασία για τα τέσσερα διαφορετικά βάθη μέτρησης της υγρασίας σε μη αρδευόμενο έδαφος.

3.2.2 IBM SPSS 19 STATISTIC ANALYSIS

Το δεύτερο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία των δεδομένων είναι το IBM SPSS 19 statistic analysis. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα, ανάλογα με τα πεδία που χρησιμοποιούνται και τις εντολές που δίδονται, έχει τη δυνατότητα να πραγματοποιήσει όλα τα είδη των στατιστικών αναλύσεων που ενδέχεται να απαιτηθούν. Στην προκειμένη περίπτωση τα δεδομένα αναλύθηκαν με ένα γραμμικό πολυπαραγοντικό στατιστικό μοντέλο με post hoc. Με την διαδικασία της στατιστικής ανάλυσης όπως αυτή παρουσιάζεται στη σχετική παράγραφο, επεξεργάστηκαν τα δεδομένα των μετρήσεων εκπομπών CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα, θερμοκρασίας εδάφους και εδαφικής υγρασίας. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αυτής θα παρουσιαστούν σε δύο στάδια. Αρχικά τα αποτελέσματα των Ftests των τριών παραγόντων και στη συνέχεια τα αποτελέσματα του ελέγχου του βαθμού στατιστικής σημαντικότητας με το Tukey HSD test.

3.2.2.1 F test

Το Ftest είναι το αποτέλεσμα της LSD ανάλυσης που χρησιμοποιεί η ανάλυση διακύμανσης (ANOVA). Η ανάλυση της διακύμανσης (ANalysis Of VAriance – ANOVA) είναι μία στατιστική μέθοδος με την οποία η μεταβλητότητα που υπάρχει σ' ένα σύνολο δεδομένων διασπάται στις επιμέρους συνιστώσες της με στόχο την κατανόηση της σημαντικότητας των διαφορετικών πηγών προέλευσής της. Η ανάλυση της διακύμανσης (ANOVA) προβάλλεται σε πίνακα με σημαντικότερες στήλες την τιμή του αριθμού F και το Sig. που υποδηλώνει τη στατιστική σημαντικότητα. Η σύγκριση μεταξύ της διακύμανσης μεταξύ των παραγόντων με την τυχαία διακύμανση γίνεται με το F-test που προκύπτει από το πίνακα της ANOVA. Αν η μέση διακύμανση μεταξύ των παραγόντων είναι μεγαλύτερη από την μέση τυχαία διακύμανση, τότε οι διαφορές μεταξύ των μελετούμενων παραγόντων δεν είναι τυχαίες (είναι πραγματικές). Σε αυτή την περίπτωση, η τιμή του F-test γίνεται μεγαλύτερη του 1.

Στην περίπτωση μας ακολουθούμε το έλεγχο στατιστικής σημαντικότητας F λόγου του ότι οι μετρήσεις μας είναι ανεξάρτητες, ακολουθούν κανονική κατανομή και υπάρχει ομοιογένεια διασποράς. Στα πλαίσια της ανάλυσης διακύμανσης (ANOVA) η στήλη Sig. το βαθμό στατιστικής σημαντικότητας. Συγκεκριμένα, οι υπό εξέταση παράγοντες συμβολίζονται με *, **, *** ανάλογα του στατιστικά σημαντικού τους ρόλου. Το * σημαίνει μερικώς σημαντική στατιστική διαφορά και ισχύει όταν $0,01 < \text{Sig.} < 0,05$. Το σύμβολο ** αντιπροσωπεύει τη σημαντική στατιστική διαφορά και ισχύει για Sig. μεταξύ του 0,01 και του 0,001 και τέλος ο συμβολισμός *** δίνεται σε παράγοντες με Sig. $< 0,001$ και υποδηλώνει την πολύ σημαντική στατιστική διαφορά.

Στον Πίνακα 5 παρουσιάζονται ο έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας των εκπομπών CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα σε σχέση με την εποχή, με την άρδευση ή όχι, καθώς επίσης και με τον συνδυασμό αυτών,

Πίνακας 5. Τιμές για τον αριθμό F και το Sig. όπως προκύπτουν από το SPSS για το CO₂

	F	Sig.
ΕΠΟΧΗ	60.686	.000
ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ Ή ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ	2.371	.125
ΕΠΟΧΗ × ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ Ή ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ	3.794	.000

Παρατηρώντας τη στήλη του Sig. γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ημερομηνία της μέτρησης (εποχιακή διακύμανση) δημιουργεί πολύ σημαντική στατιστική διαφορά αφού $\text{Sig.} = .000 < 0,001$. Αντίστοιχη είναι και η στατιστική διαφορά που προκύπτει από τον συνδυασμό των παραγόντων της ημερομηνίας και του αρδευόμενου ή μη τμήματος. Ο παράγοντας αρδευόμενο ή μη αρδευόμενο αν εξεταστεί μεμονωμένα δεν εμφανίζει κάποια σημαντική στατιστική διαφορά αφού το $\text{Sig.} = 0.125 > 0.05$ που είναι το κρίσιμο σημείο για την σημαντικότητα των παραγόντων. Αυτό πιθανών υποδηλώνει πως και η στατιστική διαφορά του γινομένου ημερομηνίας με αρδευόμενο ή μη τμήμα οφείλετε κυρίως στον παράγοντα της ημερομηνίας (εποχιακή διακύμανση) και λιγότερο σε αυτόν της άρδευσης.

Άρα ο συμβολισμός των παραγόντων ως προς το βαθμό στατιστικής σημαντικότητας θα είναι:

- Εποχή***
- Άρδευση ή μη
- Εποχή \times Άρδευση ή μη ***

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται ο έλεγχος της στατιστικής σημαντικότητας των τιμών της θερμοκρασίας εδάφους α σε σχέση με την εποχή, με την άρδευση ή όχι, καθώς επίσης και με τον συνδυασμό αυτών.

Πίνακας 6 Τιμές για τον αριθμό F και το Sig. όπως προκύπτουν από το SPSS για τη θερμοκρασία εδάφους.

	F	Sig.
ΕΠΟΧΗ	152.844	.000
ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ Ή ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ	2.525	.113
ΕΠΟΧΗ \times ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ Ή ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ	2.018	.032

Με βάση τους συντελεστές και τους συμβολισμούς που αναλύθηκαν και για τη θερμοκρασία εδάφους η μεταβλητή με τη μεγαλύτερη σημαντική διαφορά είναι η ημερομηνία αφού το $\text{Sig.} = .000 < 0,001$ και χαρακτηρίζεται ως πολύ σημαντική. Επίσης, και σε αυτήν την περίπτωση το αρδευόμενο ή μη τμήμα του εδάφους δεν εμφανίζει στατιστικά σημαντική διαφορά με $\text{Sig.} = 0,113 > 0,05$. Από την αλληλεπίδραση των δύο μεταβλητών για την θερμοκρασία εδάφους, προκύπτει

Sig.=0,032<0,05 αλλά και μεγαλύτερο του 0,01 άρα η αλληλεπίδραση των μεταβλητών χαρακτηρίζεται ως μερικώς σημαντική διαφορά.

Άρα ο συμβολισμός των παραγόντων ως προς το βαθμό στατιστικής σημαντικότητας θα είναι:

- Εποχή***
- Άρδευση ή μη
- Εποχή × Άρδευση ή μη *

Η εδαφική υγρασία όπως έχει αναφερθεί διαφέρει μερικώς από τους δύο άλλους παράγοντες. Δηλαδή προκειμένου να γίνει ο έλεγχος στατιστικής σημαντικότητας ακολουθείτε η ίδια διαδικασία και παράγονται αποτελέσματα με τον ίδιο τρόπο αλλά η δεύτερη μεταβλητή που εξετάζεται σε αυτήν, πέρα της ημερομηνίας διεξαγωγής των μετρήσεων (εποχή), είναι ο συνδυασμός του βάθους μέτρησης με το αν βρίσκεται σε αρδευόμενο ή μη αρδευόμενο τμήμα. Η δεύτερη αυτή μεταβλητή συμβολίζεται με τον όρο «ΘΕΣΗ» στον πίνακα 7 των αποτελεσμάτων του SPSS.

Πίνακας 7. Τιμές για τον αριθμό F και το Sig. όπως προκύπτουν από το SPSS για την εδαφική υγρασία.

	F	Sig.
ΕΠΟΧΗ	9.173	.000
ΘΕΣΗ	19.816	.000
ΕΠΟΧΗ × ΘΕΣΗ	.391	1.000

Η ανάγνωση των αποτελεσμάτων γίνεται με τον ίδιο τρόπο και όπως φαίνεται και στον πίνακα η ημερομηνία και η θέση παρουσιάζουν πολύ σημαντική διαφορά αφού έχουν Sig.=,000<0,001. Ενώ αντίθετα η αλληλεπίδρασή τους τους δεν παρουσιάζει καμία σημαντική διαφορά αφού έχει Sig.=1,000>0,05.

Άρα ο συμβολισμός των παραγόντων ως προς το βαθμό στατιστικής σημαντικότητας θα είναι:

- Εποχή***
- Θέση***
- Εποχή × Θέση

3.2.2.2 Tukey's HSD (honest significant difference) test

Το Tukey's HSD είναι μια στατιστική ανάλυση που χρησιμοποιείτε είτε μόνη της είτε σε συνδυασμό με post hoc ANOVA για να εξακριβωθεί η σημαντική διαφορά μεταξύ των παραγόντων που εξετάζονται. Τα αποτελέσματα μετά την επεξεργασία με το SPSS παρουσιάζονται σε πίνακα και κάθε εξεταζόμενος παράγοντας λαμβάνει μία ή περισσότερες στατιστικές κατηγορίες.

Οι κατηγορίες αυτές συμβολίζονται με τους χαρακτήρες a,b,c,d,e. Η εγγύτητα των κατηγοριών με βάση τον πίνακα του στατιστικού μοντέλου εμφανίζει τη στατιστική διαφορά των παραγόντων. Δηλαδή, αν δύο παράγοντες λαμβάνουν τη σήμανση a και οι δύο τότε δεν έχουν σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ τους όπως επίσης και στην περίπτωση που σηματοδοτούνται με a και ab δηλαδή υπάρχει μεταξύ τους κοινώς παράγοντας, ενώ σε περιπτώσεις όπου ο ένας επισημαίνεται με a και ο άλλος με b,c ή οποιοδήποτε άλλο γράμμα τότε υπάρχει σημαντική στατιστική διαφορά ανάμεσα στους παράγοντες.

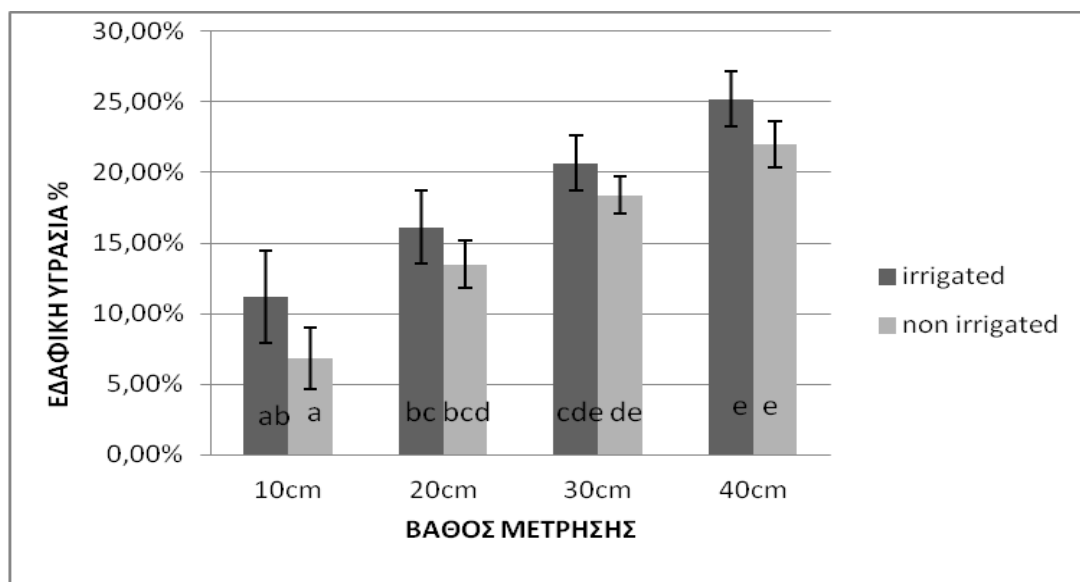
Ο Πίνακας 8 που ακολουθεί προκύπτει από τον πίνακα αποτελεσμάτων του SPSS. Φαίνονται οι συντελεστές για την εδαφική υγρασία ανά βάθος μέτρηση και με τη διάκριση των αρδευόμενων ή μη τμημάτων του πειραματικού τεμαχίου. Παρατηρείται ότι ως προς τη διάκριση του αρδευόμενου ή μη για το ίδιο βάθος μέτρησης δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές αφού στα βάθη 10cm, 20cm και 30cm το αρδευόμενο τμήμα έχει μικρή σημαντική διαφορά ενώ για τα 40cm δεν εμφανίζεται καμία σημαντική διαφορά. Αν εξεταστεί μεμονωμένα το αρδευόμενο ή το μη αρδευόμενο ανά διαφορετικό βάθος, παρατηρείται μικρή σημαντική διαφορά από το ένα βάθος στο αμέσως επόμενο άλλα αρκετά ως πολύ σημαντική διαφορά όταν η σύγκριση συμβεί ανάμεσα σε βάθη με μεγαλύτερη διαφορά των 10cm.

Πίνακας 8. Η σημαντική διαφορά των παραγόντων της εδαφικής υγρασίας ανά βάθος μέτρησης για τα αρδευόμενα ή μη εδάφη με τη χρήση του Tukey HSD test.

ΕΔΑΦΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ		
ΒΑΘΟΣ	ΕΙΔΟΣ ΕΛΑΦΟΥΣ	
	ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ	ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ
10cm	ab	a
20cm	bc	bcd
30cm	cde	de
40cm	e	e

Στην παρακάτω Εικόνα 47 διακρίνονται οι μέσες τιμές της εδαφικής υγρασίας ανά βάθος μέτρησης για αρδευόμενο (irrigated) και μη αρδευόμενο έδαφος (non irrigated) με την προσμέτρηση του σφάλματος (standard error) καθώς και τη σήμανση με τους συντελεστές για την στατιστικά σημαντική διαφορά όπως αυτοί προέκυψαν από την ανάλυση με το στατιστικό πρόγραμμα SPSS. Η εικόνα επιβεβαιώνει τον Πίνακα 8 καθώς είναι εμφανές ότι οι διαφορές ανάμεσα σε αρδευόμενο ή μη αρδευόμενο

τμήμα εδάφους για το ίδιο βάθος μέτρησης είναι υπαρκτές όπως και οι διαφορές από το ένα βάθος μέτρησης στο αμέσως επόμενο ή προηγούμενο. Αλλά η διαφορά μεταξύ βαθών που διαφέρουν περισσότερα από 10cm τόσο για αρδευόμενα όσο και για μη αρδευόμενα εδάφη είναι αρκετά σημαντική.



Εικόνα 47 Ιστόγραμμα της εδαφικής υγρασίας ως προς τα διάφορα βάθη. Με προσδιορισμό του σφάλματος (standard error) και αποτύπωση της στατιστικής διαφοράς που προκύπτει από το Tukey HSD

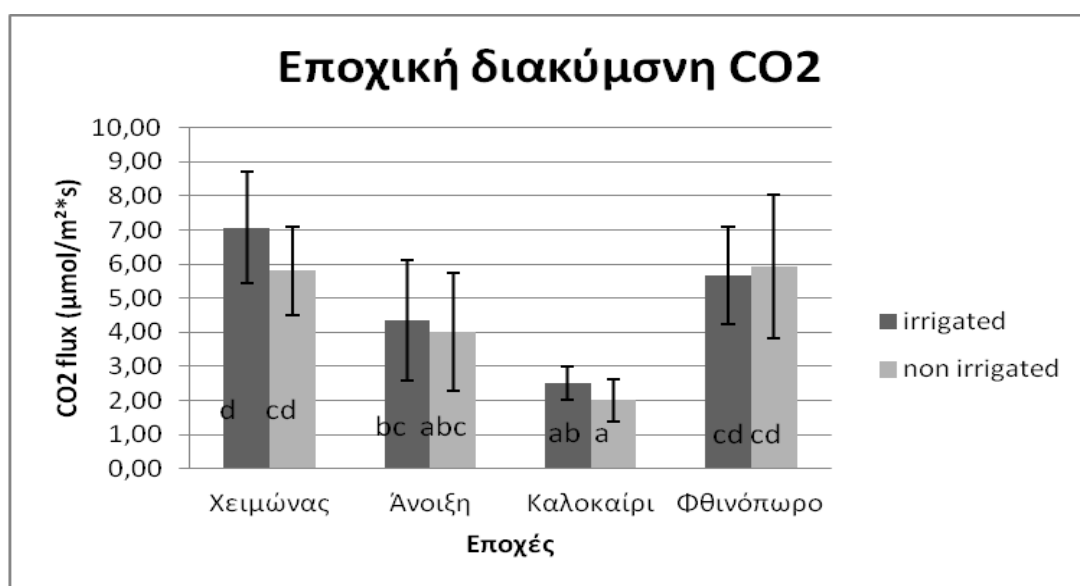
Ο Πίνακας 9 παρουσιάζει τους συντελεστές a,b,c,d για τις στατιστικά σημαντικές διαφορές των εκπομπών CO₂ στη διάρκεια του έτους. Ο διαχωρισμός είναι εποχικός καθώς και με βάση την άρδευση ή όχι του κάθε εδάφους. Παρατηρείται ότι για όλες τις εποχές του χρόνου οι σημαντικές διαφορές ανάμεσα σε αρδευόμενο ή μη αρδευόμενο έδαφος είναι μικρές. Αντίθετα οι διαφορές από εποχή σε εποχή μπορούν να χαρακτηριστούν σημαντικές και ως πολύ σημαντικές.

Πίνακας 9 Η σημαντική διαφορά των παραγόντων του CO₂ ανά εποχή για τα αρδευόμενα ή μη εδάφη με τη χρήση του Tukey HSD test.

Εκπομπές CO ₂ από το εδαφικό υπόστρωμα		
ΕΠΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	
	ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ	ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ
Χειμώνας	d	cd
Άνοιξη	bc	abc
Καλοκαίρι	ab	a
Φθινόπωρο	cd	cd

Η Εικόνα 48 αποτελεί τη διαγραμματική απεικόνιση της εποχικής διακύμανσης των εκπομπών CO₂ με καταγεγραμμένο το σφάλμα (standard error) και με σήμανση των ράβδων με τους αντίστοιχους στατιστικούς συντελεστές. Με βάση το διάγραμμα αυτό γίνεται σαφές πως η εποχή είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει την διακύμανση των εκπομπών CO₂. Είναι εμφανής η διαφοροποίηση από εποχή σε

εποχή ενώ αντίστοιχα ο διαχωρισμός του αρδευόμενου ή μη αρδευόμενου δε δημιουργεί σημαντικές διαφορές στις τιμές του CO₂. Παρατηρείται η εμφάνιση δύο περιόδων μια χειμερινής που εντάσσονται ο χειμώνας και το φθινόπωρο και μιας εαρινής που περιλαμβάνει τις εποχές της άνοιξης και του καλοκαιριού. Η μεταφορά από τη μία εποχή κάθε περιόδου στην άλλη δηλαδή από το φθινόπωρο στο χειμώνα και από την άνοιξη στο καλοκαίρι εμφανίζει μια μικρή διαφορά τόσο στις τιμές όσο και με βάση τους συντελεστές και μπορεί να χαρακτηριστεί στατιστικά ως μερικώς σημαντική διαφορά. Αντίθετα η διαφορά ανάμεσα σε εποχές διαφορετικών περιόδων όπως η μετάβαση από τον χειμώνα στην άνοιξη και από το καλοκαίρι στο φθινόπωρο εμφανίζει σημαντικές διαφορές και μπορεί να χαρακτηριστεί στατιστικά ως πολύ σημαντική διαφορά.



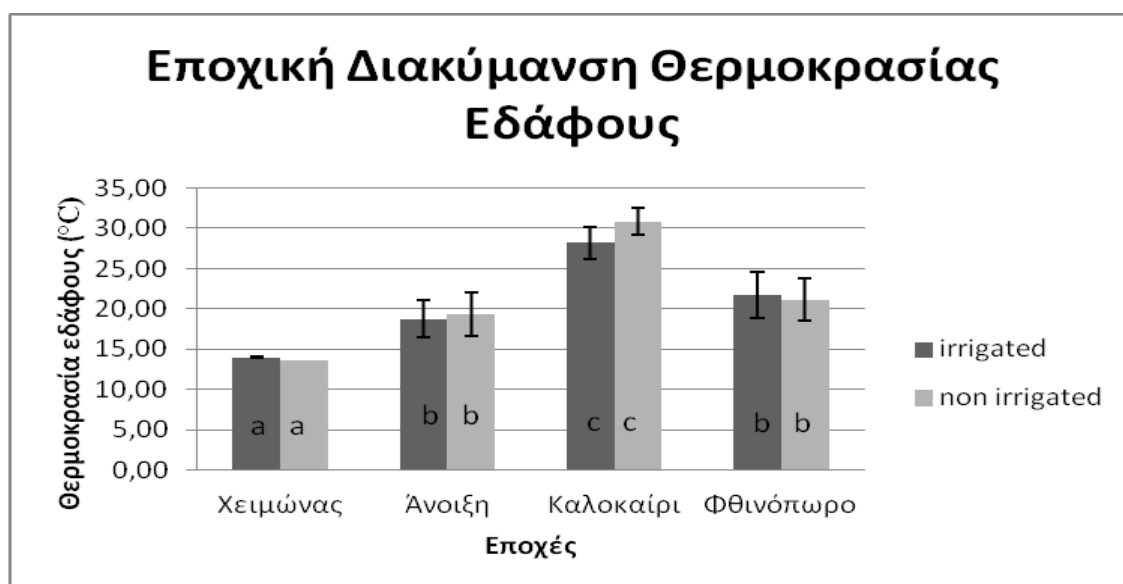
Εικόνα 48 Εποχική διακύμανση του CO₂ με καταγραφή του σφάλματος (standard error) και σήμανση με τους στατιστικούς συντελεστές.

Ο Πίνακας 10 εμφανίζει τους συντελεστές της στατιστικά σημαντικής διαφοράς με χρήση της μεθόδου Tukey HSD για τη θερμοκρασία εδάφους. Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν για την επεξεργασία ήταν οι εποχές του χρόνου καθώς και ο διαχωρισμός των σημείων δειγματοληψίας σε αρδευόμενα ή μη αρδευόμενα. Οι συντελεστές που προέκυψαν φανερώουν σημαντική διαφορά μόνο για τον εποχικό διαχωρισμό αφού στην ίδια εποχή του χρόνου σε όλες τις περιπτώσεις είναι ταυτόσημοι τόσο στο αρδευόμενο όσο και στο μη αρδευόμενο τμήμα. Αντίθετα σε σχέση με την ροή των εποχών στον χρόνο εμφανίζονται στατιστικά σημαντικές διαφορές. Ομοιότητα εμφανίζουν οι συντελεστές της άνοιξης και του φθινοπώρου αλλά η μετάβαση από τη μία εποχή στην άλλη εμπεριέχει τον χειμώνα και το καλοκαίρι που εμφανίζουν σημαντικές διαφορές.

Πίνακας 10 Η σημαντική διαφορά των παραγόντων της θερμοκρασίας εδάφους ανά εποχή για τα αρδευόμενα ή μη εδάφη με τη χρήση του Tukey HSD test.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΑΦΟΥΣ		
ΕΠΟΧΗ	ΕΙΔΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ	
	ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ	ΜΗ ΑΡΔΕΥΟΜΕΝΟ
Χειμώνας	a	a
Άνοιξη	b	b
Καλοκαίρι	c	c
Φθινόπωρο	b	b

Η Εικόνα 49 εμφανίζει το διάγραμμα της εποχικής διακύμανσης της θερμοκρασίας εδάφους με καταγραφή του σφάλματος (standard error) και σήμανση με τους συντελεστές που προκύπτουν από τη στατιστική επεξεργασία. Με το παρακάτω διάγραμμα επιβεβαιώνεται ο Πίνακας 10 αφού εμφανίζονται ελάχιστες διαφορές στις τιμές της θερμοκρασίας από αρδευόμενο σε μη αρδευόμενο για την ίδια εποχή και η διαφοροποίηση των τιμών αφορά αποκλειστικά την εποχική εναλλαγή. Έτσι παρατηρείτε σημαντική διαφορά σε κάθε αλλαγή εποχής, από χειμώνα σε άνοιξη, από άνοιξη σε καλοκαίρι και από καλοκαίρι σε φθινόπωρο.



Εικόνα 49 Εποχική διακύμανση της θερμοκρασίας εδάφους με καταγραφή του σφάλματος (standard error) και σήμανση με τους στατιστικούς συντελεστές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας διενεργήθηκαν μετρήσεις εκπομπής CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα αρδευόμενων ελαιοδέντρων από τον Ιανουάριο έως τον Νοέμβριο του 2014. Μετρήθηκαν τρία μεγέθη, οι εκπομπές CO₂, η θερμοκρασία εδάφους και η εδαφική υγρασία. Ακόμα μελετήθηκαν η θερμοκρασία αέρα και η βροχόπτωση με δεδομένα που πάρθηκαν από γειτονικό μετεωρολογικό σταθμό. Η επεξεργασία τους πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του Microsoft Office Excel και του IBM SPSS statistic analysis 19 με σκοπό την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων κυρίως για τη συμπεριφορά των εκπομπών του CO₂ σε σχέση με το χρόνο, την εποχιακή διακύμανση και σε σχέση με τους λοιπούς περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Διαπιστώθηκε ότι :

- Κατά το χρονικό διάστημα των μετρήσεων που περιλάμβαναν σχεδόν ένα ημερολογιακό έτος, η διακύμανση των εκπομπών CO₂ το εδαφικό υπόστρωμα αρδευόμενων ελαιοδέντρων είχε σαφής μεταβολές από εποχή σε εποχή του έτους. Όπως φαίνεται και στα σχετικά διαγράμματα Εικόνα 32 και Εικόνα 34 τόσο στην περίπτωση του αρδευόμενου εδάφους όσο και στο μη αρδευόμενο παρατηρείτε πανομοιότυπη μεταβολή στις εκπομπές CO₂ από υψηλές τιμές τον χειμώνα σε μείωση την άνοιξη , περαιτέρω εξασθένιση το καλοκαίρι και εκ νέου αύξηση το φθινόπωρο. Αυτό διαπιστώνεται και από τα LSD test με την παράμετρο της ημερομηνία (εποχή) να παρουσιάζει πολύ σημαντική στατιστική διαφορά.
- Η σύγκριση των εκπομπών CO₂ με την εδαφική θερμοκρασία εμφανίζει αλληλεπίδραση μεταξύ των δύο παραγόντων με τις τιμές του CO₂ να φθίνουν όσο η θερμοκρασία αυξάνεται. Η σχέση αυτή δεν εμφανίζει κάποια αναλογικότητα αφού ο ρυθμός μεταβολής των δύο παραγόντων διαφέρει πολύ, με τις μεταβολές του CO₂ να είναι πολύ πιο έντονες από αυτές τις θερμοκρασίας.
- Οι τιμές των εκπομπών CO₂ για τα αρδευόμενα εδάφη ήταν σημαντικά υψηλότερες από τις αντίστοιχες των μη αρδευόμενων. Ιδιαίτερα σε περιόδους με χαμηλές ως μηδενικές βροχοπτώσεις οι διαφορές στις τιμές των εκπομπών CO₂ μεταξύ αρδευόμενων και μη αρδευόμενων εδαφών λάμβαναν τις μέγιστες τιμές τους.

- Η θερμοκρασία εδάφους στα αρδευόμενα τμήματα του πειραματικού τεμαχίου είχε ομαλότερες μεταβολές σε σχέση με τη θερμοκρασία εδάφους στα μη αρδευόμενα τμήματα. Αυτό πιθανών οφείλεται στην αυξημένη υγρασία του εδάφους στις αρδευόμενες περιοχές που συντηρούσε και ελαφρώς χαμηλότερες θερμοκρασίες, αλλά και στη σκίαση από τα ελαιόδεντρα αφού τα αρδευόμενα τμήματα των πειραματικών τεμαχίων βρίσκονται κοντά στον κορμό του δέντρου ενώ τα μη αρδευόμενα βρίσκονται προς το μέσον των πειραματικών τεμαχίων και η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει ανεμπόδιστη.
- Η εδαφική υγρασία στα αρδευόμενα τμήματα έχει μια σχετική ισορροπία στα ποσοστά της ανεξαρτήτως βάθους μέτρησης τους χειμερινούς μήνες, με ελαφρώς ανώτερα ποσοστά στο βαθύτερο σημείο των 40cm. Αντίθετα τους θερινούς μήνες είναι εμφανής οι διαφορές ανάμεσα στα βάθη με ελαττωμένα ποσοστά στα μικρότερα βάθη. Πιθανώς αυτό δικαιολογείται από το γεγονός της επίδρασης των κλιματολογικών συνθηκών (θερμοκρασία αέρα, εδάφους, ηλιακή ακτινοβολία) στα ανώτερα στρώματα του εδάφους.
- Η μεγάλη διαφορά στις τιμές της εδαφικής υγρασίας σε αρδευόμενα ή μη τμήματα του πειραματικού τεμαχίου, ιδιαίτερα του θερινούς μήνες πού οι τιμές της υγρασίας για τα μη αρδευόμενα εμφανίζουν ραγδαία πτώση, λόγω των κλιματολογικών συνθηκών και της έλλειψης πηγής νερού.
- Η μεγάλη ομοιότητα των καμπυλών της εδαφικής υγρασίας με την καμπύλη της τιμής των εκπομπών CO₂ τόσο ως προς τις ημερολογιακές μεταβολές όσο και ως προς τους ρυθμούς διακύμανσης.
- Υπάρχει ταύτιση των καμπυλών της βροχόπτωσης με τις καμπύλες των εκπομπών CO₂ είτε αφορά αρδευόμενο είτε μη αρδευόμενο τμήμα του πειραματικού τεμαχίου. Η συγκεκριμένη παρατήρηση βεβαιώνεται και εμπειρικά αφού κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων η απόκριση του οργάνου μέτρησης ήταν θεαματικά γρήγορη όταν είχε προηγηθεί βροχόπτωση. Αυτό οφείλετε στο ότι οι τιμές των εκπομπών CO₂ αμέσως μετά τις βροχοπτώσεις αυξάνονταν με ταχυστάτους ρυθμούς, κάτι που μπορεί να εξηγηθεί από τον πολλαπλασιασμό της μικροβιακής δραστηριότητας στο έδαφος λόγω κατάλληλων συνθηκών επώασης και ίσως από την ύπαρξη οργανικού άνθρακα στο εδαφικό υπόστρωμα που αντιδρούν με το νερό της βροχής και εκλύουν περισσότερα CO₂.
- Σημαντική αναλογία στις μεταβολές της υγρασίας με τη βροχόπτωση. Με την εδαφική υγρασία όμως να πραγματοποιεί ηπιότερες μεταβολές και να διατηρεί τα ποσοστά της ακόμα και σε ξηρές περιόδους στα μεγάλα εδαφικά βάθη. Αυτό συμβαίνει λόγω της ικανότητας του εδάφους να συγκρατεί το νερό και να κρατά με τον τρόπο αυτό και τα ποσοστά της εδαφικής υγρασίας σε υψηλά επίπεδα.

- Με βάση την ανάλυση του SPSS ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει τα μεγέθη των εκπομπών CO₂ από το εδαφικό υπόστρωμα ελαιώνων είναι η ημερολογιακή – εποχιακή διακύμανση, ενώ τα μεγέθη της εδαφικής υγρασίας επηρεάζονται σημαντικά από τη θέση μέτρησης (αρδευόμενο ή όχι έδαφος).

Βιβλιογραφία

1. Tognetti R., Sebastiani L., Vitagliano C., Raschi A. and Minocci A., 2001. Responses of two olive tree (*Olea europaea* L.) cultivars to elevated CO₂ concentration in the field. *Photosynthetica*, 39:403-410
2. Ball B.C., Crichton I., Horgan G.W., 2008. Dynamics of upward and downward N₂O and CO₂ fluxes in ploughed or no-tilled soils in relation to water-filled pore space, compaction and crop presence. *Soil & Tillage Research*, 101:20-30
3. Nardino M., Rernice F., Rossi F., Georgiadis T., Facini O., Motisi A. and Drago A., 2013. Annual and monthly carbon balance in an intensively managed Mediterranean olive orchard. *Photosynthetica* 51:63-74
4. Gomez J.A., Giraldez J. V., Pastor M., Fereres E. ,1999. Effects of tillage method on soil physical properties, infiltration and yield in an olive orchard. *Soil and Tillage Research*, 52:167-175
5. Testi L., Orgaz F., Villalobos F., 2008. Carbon exchange and water use efficiency of growing, irrigated olive orchard. *Environmental and Experimental Botany* 63:168-177
6. Kasimir-Klemetsson A., Berglund K., Martikainen P., Silvola J. & Oenema O., 1997. Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management* 13:245-250
7. Benitez E., Nogales R., Campos M., Ruano F., 2006. Biochemical variability of olive orchard soils under different management systems. *Applied Soil Ecology* 32:221-231
8. Paustian K., Andren O., Janzen H.H., Lal R., Smith P., Tian G., Tiessen H., Van Noordwijk M. & Woomer P.L., 1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. *Soil Use and Management* 13:230-244
9. Fang C., Moncrieff J.B. ,1999. A model for soil CO₂ production and transport 1: Model development. *Agricultural and Forest Meteorology* 95:225-236
10. Anderson T., Domsch K.H. ,1986. Carbon assimilation and microbial activity in soil. *Z.Pflanzenernaehr. Bodenk.* 149:457-468
11. Kutsch W.L., Bahn M. and Heinemeyer A., 2009. Soil carbon relations: an overview. Published by Cambridge University Press. © Cambridge University Press.
12. Pumpanen, J. Longdoz B. and Kutsch W.L ,2009. Field measurements of soil respiration: principles and constraints, potentials and limitations of different

methods. Published by Cambridge University Press. © Cambridge University Press.

13. Repullo-Ruibérriz de Torres M. A., Carbonell-Bojollo R., Alcántara-Braña C., Rodríguez-Lizana A. and Ordóñez-Fernández R., 2012. Carbon sequestration potential of residues of different types of cover crops in olive groves under Mediterranean climate. Spanish Journal of Agricultural Research 2012 10(3), 649-661
14. Davidson, E.A., Janssens, I.A., 2006 Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. Nature 440, 165-173
15. Βαλαβανίδης Α. και Ευσταθίου Κ., 2014. CO₂: Η ένωση του μήνα (http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_carbonmonoxide.htm).
16. Τσούτσος, Θ., 2008. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Πολυτεχνείο Κρήτης.
17. Earth's Early Atmosphere. (n.d.).
18. <http://epa.gov/climatechange/>.
19. <http://unfccc.int/2860.php>.
20. <http://www.britannica.com/>.
21. <http://www.giss.nasa.gov/>.
22. <http://www.ipcc.ch/>.
23. <http://www.global-greenhouse-warming.com/>
24. <http://www.csiro.au/>
25. <http://www.ypeka.gr/>