

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ – ΑΓΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ – ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ &
ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ ΓΙΑ
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΡΓΙΑΣ
ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΕ ΚΑΣΤΑΝΙΕΣ
(*Castanea sativa*)**

—

**IRRIGATION SCHEDULING &
MODELLING FOR PRECISION
AGRICULTURE PURPOSES IN
CHESTNUT TREES (*Castanea sativa*)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Γ. ΛΙΑΚΟΣ
ΣΥΓΓΡΑΦΩΝ ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ Χ. ΝΑΣΙΑΡΑΣ
ΛΑΡΙΣΑ, ΜΑΪΟΣ 2024**

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Σχολή Γεωπονικών Επιστημών
Τμήμα Γεωπονίας – Αγροτεχνολογίας

**«Προγραμματισμός & Μοντελοποίηση Άρδευσης για Εφαρμογές
Γεωργίας Ακριβείας σε Καστανιές (*Castanea sativa*)»**

—

**«Irrigation Scheduling & Modelling for Precision Agriculture
Purposes in Chestnut Trees (*Castanea sativa*) »**

Επιβλέπων Καθηγητής: Βασίλειος Γ. Λιάκος

Φοιτητής: Ιωάννης Χ. Νασιάρας

Λάρισα, Μάιος 2024

Μέλη Εξεταστικής – Συμβουλευτικής Τριμελούς Επιτροπής:

- I. **Λιάκος Βασίλειος** (Επιβλέπων – Υπεύθυνος): Επίκουρος Καθηγητής Γεωργίας Ακριβείας, Τμήμα Γεωπονίας – Αγροτεχνολογίας (Τ.Γ.Α.), Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (Π.Θ.)
- II. **Αλαμανής Νικόλαος** (Μέλος): Επίκουρος Καθηγητής Γεωτεχνικής Μηχανικής, Τμήμα Γεωπονίας – Αγροτεχνολογίας (Τ.Γ.Α.), Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (Π.Θ.)
- III. **Βύρλας Παναγιώτης** (Μέλος): Αναπληρωτής Καθηγητής Αρδευτικής Μηχανικής, Τμήμα Γεωπονίας – Αγροτεχνολογίας (Τ.Γ.Α.), Σχολή Γεωπονικών Επιστημών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας (Π.Θ.)

Βεβαιώνω ότι εγώ, ο Ιωάννης Χ. Νασιάρας, είμαι ο συγγραφέας αυτής της πτυχιακής διατριβής – εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον «Οδηγό Συγγραφής & Παρουσίασης Επιστημονικών Μελετών» (2020) του Τμήματος Γεωπονίας – Αγροτεχνολογίας (Τ.Γ.Α.) της Σχολής Γεωπονικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Π.Θ.)

Copyrights © ΝΑΣΙΑΡΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας διατριβής – εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται ρητά η πηγή προέλευσης.

Ευχαριστίες

Τον πατέρα, την μητέρα και τους παππούδες μου, που μου έδωσαν τον σκοπό και τα μέσα για όλα στην ζωή καθώς και την αγάπη μου για την αγροτιά και την γεωπονία.

Τους Δρ. Βασίλη Λιάκο, Δρ. Παναγιώτη Βύρλα, Δρ. Νίκο Αλαμανή, Δρ. Παναγιώτη Ηλιόπουλο, Δρ. Αλέξανδρο Παπαχατζή, και κ. Ζήση Τσιρόπουλο που με βοήθησαν στην σύνταξη και στην ανάπτυξη του όλου έργου.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	- 4 -
Πίνακας Εικόνων.....	- 13 -
Πίνακας Χαρτών	- 14 -
Πίνακας Διαγραμμάτων.....	- 15 -
Εισαγωγή.....	- 16 -
Περίληψη	- 17 -
Abstract.....	- 17 -
Λέξεις – Κλειδιά	- 17 -
Keywords	- 17 -
Α΄: Βιβλιογραφικό – Θεωρητικό Μέρος.....	- 18 -
I.: Βοτανική Ταξινόμηση.....	- 18 -
1.: Βλαστικός Κύκλος & Ημεροβαθμοί Καστανιάς.....	- 18 -
Ημεροβαθμοί (Growing Degree-Days, °D) & Ψυχομονάδες (Chilling Points, CP) -	19
-	
II.: Καλλιεργητικά Στοιχεία	- 20 -
III.: Πολλαπλασιασμός – Φύτευση.....	- 21 -
1.: Τρόποι Πολλαπλασιασμού.....	- 21 -
2.: Προετοιμασία Πριν την Φύτευση	- 21 -
3.: Αποστάσεις Φύτευσης	- 22 -
IV.: Εδαφοκλιματικές Απαιτήσεις	- 22 -
1.: Κλιματικές Απαιτήσεις	- 22 -
2.: Εδαφικές Απαιτήσεις	- 22 -
V.: Άρδευση	- 23 -
1.: Άρδευτικές Απαιτήσεις & Αντοχή στην Ξηρασία.....	- 23 -
2.: Τρόποι Εφαρμογής Άρδευσης	- 23 -
VI.: Λίπανση	- 23 -
1.: Λιπαντικές Απαιτήσεις & Είδη Λιπασμάτων	- 23 -
2.: Δόσεις Λίπανσης.....	- 24 -
VII.: Κλάδεμα.....	- 24 -
1.: Γενικά Στοιχεία	- 24 -
2.: Κλάδεμα Διαμόρφωσης	- 24 -
3.: Κλάδεμα Καρποφορίας/ Ανανέωσης.....	- 24 -
VIII.: Φυτοπαθολογία – Νοσολογία	- 24 -
1.: Παρασιτικό Έλκος της Καστανιάς (<i>Cryphonectria parasitica</i>)	- 24 -
Παθογόνο Αίτιο.....	- 24 -

Συμπτωματολογία	25 -
Διασπορά – Επιδημιολογία	26 -
Μέσα, Μέθοδοι & Τρόποι Αντιμετώπισης	26 -
2.: Μελάνωση της Καστανιάς (<i>Phytophthora campivora</i>)	27 -
Παθογόνο Αίτιο.....	27 -
Συμπτωματολογία	27 -
Διασπορά – Επιδημιολογία	27 -
Μέσα, Μέθοδοι & Τρόποι Αντιμετώπισης	28 -
3.: Φαιά Σήψη της Καστανιάς (<i>Gnomoniopsis smithogilvyi</i>)	28 -
Παθογόνο Αίτιο.....	28 -
Συμπτωματολογία	28 -
Διασπορά – Επιδημιολογία	29 -
Μέσα, Μέθοδοι & Τρόποι Αντιμετώπισης	30 -
IX.: Εντομολογικές Προσβολές.....	33 -
1.: Σφήκα της Καστανιάς (<i>Dryocosmus kuriphilus</i> Yasumatsu)	33 -
Αφετηρία & Εξάπλωση.....	33 -
Συμπτωματολογία & Επίδραση επί των Δένδρων	33 -
Μέσα, Μέθοδοι & Τρόποι Αντιμετώπισης	34 -
X.: Συγκομιδή – Μηχανική Συγκομιδή.....	35 -
1.: Εποχή – Χρόνος Συγκομιδής	35 -
2.: Τρόποι Συγκομιδής	35 -
3.: Προβλήματα των Παραδοσιακών Μεθόδων Σήμερα & Ανάγκη Εκμηχάνισης	36 -
XI.: Μετασυλλεκτικοί Χειρισμοί – Συντήρηση	37 -
1.: Λόγοι που Καθιστούν Αναγκαία την Συντήρηση	37 -
2.: Μέθοδοι, Συνθήκες & Υλικά Συντήρησης	38 -
B΄: Ερευνητικό – Πειραματικό Μέρος.....	39 -
I.: Περίληψη	39 -
1.: Τοποθεσία & Ημερομηνία Διεξαγωγής Πειράματος	39 -
2.: Συνοπτική Περιγραφή Διαδικασιών	39 -
II.: Υλικά/ Εργαλεία Πειράματος	40 -
1.: Σταθμός Βάσης	41 -
2.: Μετεωρολογικός Σταθμός	42 -
3.: Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους	43 -
4.: Μετρητής Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας EM38 – Mk. 2.....	44 -
5.: Λογισμικό/ Πρόγραμμα «ArcMap ver. 10.8.1» της ESRI.....	44 -

6.: Android Εφαρμογή «My GPS Coordinates ver. 5.21 (296) » της Android Apps & Tools.....	- 44 -
7.: Πρόγραμμα «Climate Engine.org» με Δεδομένα Από ECMWF ERA5 (AgERA5) -	45
II.: Επιστημονικές Μέθοδοι	- 45 -
1.: Εξατμισοδιαπνοή Καλλιεργειών [Evapotranspiration (ET)]	- 45 -
Αγρομετεωρολογικοί Παράγοντες	- 46 -
Μέθοδοι Υπολογισμού.....	- 47 -
FAO – 56 Penman – Monteith (1998).....	- 47 -
FAO – 56 Penman – Monteith (1998) με Ελλιπή Δεδομένα	- 47 -
Hargreaves – Samani (1985).....	- 48 -
Συντελεστής Καλλιέργειας (Crop Coefficient).....	- 48 -
2.: Χαρτογράφηση Φαινόμενης/ Φαινομενικής Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας με Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή	- 50 -
3.: Ελλειμματική Άρδευση [Deficit Irrigation (DI)]	- 51 -
Ορισμός.....	- 51 -
Στόχοι & Σκοποί	- 51 -
Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού Καλλιεργειών [Water Use Efficiency (WUE)].....	- 51 -
Πλεονεκτήματα της Ελλειμματικής Άρδευσης [Deficit Irrigation (DI)]	- 51 -
5.: Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης [Normalised Difference Vegetation Index (NDVI)]	- 52 -
Ορισμός.....	- 52 -
Ερμηνεία Δείκτη	- 52 -
Μηχανισμός Λειτουργίας.....	- 53 -
6.: Αποτελεσματικότητα & Ομοιομορφία Άρδευσης	- 54 -
Αποτελεσματικότητα Άρδευσης	- 54 -
Ομοιομορφία Άρδευσης.....	- 54 -
Ομοιομορφία Κατανομής [Distribution Uniformity (DU)]	- 55 -
Συντελεστής Ομοιομορφίας Christiansen [Christiansen’s Coefficient of Uniformity (CCU) (CU)]	- 57 -
III.: Αποτελέσματα – Συμπεράσματα.....	- 58 -
1.: Χαρτογράφηση.....	- 58 -
2.: Ομοιομορφία Άρδευσης.....	- 67 -
3.: Εξατμισοδιαπνοή – Κλιματικές Συνθήκες.....	- 68 -
Γ’: Βιβλιογραφία – Βιβλιογραφικές Πηγές.....	- 71 -

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Ετήσιος Βλαστικός Κύκλος της Καστανιάς (Δήμος Κίσσαμου, 2023) (Freitas et al., 2021)	- 13 -
Εικόνα 2: Κομμένος Κλάδος Καστανιάς Έπειτα από Κλάδεμα	- 19 -
Εικόνα 3: Συμπτώματα Παρασιτικού Έλκους της Καστανιάς (www.iek-tripol.ark.sch.gr, 2023)	- 20 -
Εικόνα 4: Συμπτώματα της Μελάνωσης της Καστανιάς	- 22 -
Εικόνα 5: Ενήλικο Άτομο - Ακμαίο Σφήκας της Καστανιάς (www.wikipedia.org, 2023) -	28 -
Εικόνα 6: Κηκίδες που Προκλήθηκαν από την Δράση της Σφήκας της Καστανιάς (Αγροτικός Συνεταιρισμός - Ένωση Αγρινίου, 2023).....	- 29 -
Εικόνα 7: Παραδοσιακή Συγκομιδή Καστάνων (www.iefimerida.gr, 2023).....	- 31 -
Εικόνα 8: Μηχανική Συγκομιδή Κάστανων (www.mirmidones.gr, 2023).....	- 32 -
Εικόνα 9: Συλλεγμένα Κάστανα σε Κλούβες Επενδυμένες με Πλαστικό Φύλλο ώστε να Περιοριστούν οι Απώλειες σε Υγρασία, άρα και σε Βάρος, κατά την Αποθήκευση (www.iefimerida.gr, 2023).....	- 33 -
Εικόνα 10: Σταθμός Βάσης (www.agenso.gr, 2023).....	- 36 -
Εικόνα 11: Μετεωρολογικός Σταθμός (www.agenso.gr, 2023)	- 37 -
Εικόνα 12: Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους (www.agenso.gr, 2023)	- 38 -
Εικόνα 13: Μετρητής Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας EM38 – Mk. 2 (Geomatrix Earth Science Ltd.).....	- 39 -
Εικόνα 14: Αρχή Λειτουργίας της Μέτρησης Φαινόμενης/ Φαινομενικής Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας με Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή (University of New England)	- 45 -

Πίνακας Χαρτών

Χάρτης 1: Χάρτης της Πανελλαδικής Έκτασης Οπορώων Καστανιάς το Έτος 2007 (ΥΠ.Α.Α.Τ. – www.minagric.gr , 2007).....	- 15 -
Χάρτης 2.: Χάρτης Συνολικής Ποσότητας Παραγωγής Αγρού.....	- 54 -
Χάρτης 3.: Χάρτης Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (ΦΗΑ) Αγρού.....	- 55 -
Χάρτης 4.: Χάρτης Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (ΦΗΑ) - Συνολικής Ποσότητας Κάθε Δείγματος.....	- 56 -
Χάρτης 5.: Χάρτης Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (ΦΗΑ) - Συνολικής Ποσότητας Κάθε Κατηγορίας Ανά Δείγμα.....	- 57 -
Χάρτης 6.: Χάρτης Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (ΦΗΑ) - Συνολικού Αριθμού Τεμαχίων Κάθε Κατηγορίας Ανά Δείγμα	- 58 -
Χάρτης 7.: Χάρτης Συνολικής Ποσότητας Παραγωγής - Συνολικής Ποσότητας Κάθε Δείγματος	- 59 -
Χάρτης 8.: Χάρτης Συνολικής Παραγωγής - Ποσότητας Κάθε Κατηγορίας Ανά Δείγμα .-	- 60 -
Χάρτης 9.: Χάρτης Συνολικής Παραγωγής - Συνολικού Αριθμού Τεμαχίων Κάθε Κατηγορίας Ανά Δείγμα	- 61 -

Πίνακας Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Η Καμπύλη Εξατμισοδιαπνοής Αναφοράς (ET0) για την Τοποθεσία του Αγρού για την Περίοδο (28/4/2023 – 31/10/2023)	- 63 -
Διάγραμμα 2.: Η Συσσώρευση Ημεροβαθμών Ανά Ημέρα την Περίοδο (28/4/2023 - 31/10/2023)	- 64 -
Διάγραμμα 3.: Η Συσσώρευση Ημεροβαθμών την Περίοδο (28/4/2023 - 31/10/2023).....	- 65 -

Εισαγωγή

Η καστανιά (*Castanea sativa*) είναι δενδροκομική καλλιέργεια η οποία αποτελεί πηγή εισοδήματος για πολλούς παραγωγούς της Ευρώπης και δη της Ελλάδος, ειδικά σε ορεινές, φτωχές περιοχές. Φύεται σε αγρούς που συχνά είναι ακατάλληλοι για άλλες καλλιέργειες λόγω της μορφολογίας του εδάφους και επειδή απαιτεί υψόμετρο τουλάχιστον 250m από το επίπεδο της θάλασσας για να αναπτυχθεί. Με λίγα λόγια, κάνει οικονομικά βιώσιμη την αξιοποίηση/ εκμετάλλευση αγρών που είναι ακατάλληλοι για άλλες καλλιέργειες.

Όπως και σε πολλές άλλες καλλιέργειες της ελληνικής επικράτειας και της Μεσογείου γενικότερα, από τους κύριους περιοριστικούς παράγοντες διακρίνουμε την άρδευση. Το γεγονός ότι αυτή απαιτείται τους θερινούς μήνες, τότε που το νερό σπανίζει, καθιστά ανάγκη την εύρεση του βέλτιστου αρδευτικού πρωτοκόλλου. Αν αναλογιστούμε μάλιστα την κλιματική κρίση η οποία κάνει το νερό ακόμη πολυτιμότερο και πως πλέον οι παραγωγοί, στην Ελλάδα τουλάχιστον, αντλούν το απαραίτητο νερό από όλο και μεγαλύτερα βάθη, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους παραγωγής λόγω της χρήσης ενέργειας από τις αντλίες, τότε συνειδητοποιούμε την επιτακτικότητα της ανάγκης αυτής. Πράγματι, εάν παρατηρήσει κανείς την πορεία του πρωτογενούς τομέα τα τελευταία χρόνια, ειδικά μετά την ρωσική εισβολή στην Ουκρανία (24^η Φεβρουαρίου του έτους 2022), εξαιτίας της οποίας το κόστος ενέργειας και παραγωγής αυξήθηκαν κατακόρυφα, θα δει πως αυτή είναι κακή και πως άμεσα χρειάζονται μέτρα για την εξυγίανσή του. Η διένεξη Ισραήλ – Παλαιστίνης (7^η Οκτωβρίου του έτους 2023) έκανε τις συνθήκες χειρότερες.

Ένα πρώτο βήμα προς την εξυγίανσή του είναι η ορθολογικότερη άρδευση και χρήση νερού, κάτι που θα μειώσει αρκετά το κόστος. Ειδικά στην καστανιά, ο αντίκτυπος θα είναι μεγαλύτερος καθώς, όπως προαναφέραμε, η καλλιέργειά συνιστά πηγή εισοδήματος σε φτωχές περιοχές. Πέραν των οικονομικών οφελών όμως, έχουμε και περιβαλλοντικά όπως την συντήρηση των υπόγειων υδροφορέων, τον περιορισμό της εισχώρησης του υφάλμυρου νερού στην στεριά, την εξοικονόμηση γλυκού νερού κ.ά.

Κάτι επιπλέον που μπορεί να γίνει επίσης είναι η εφαρμογή μεθόδων γεωργίας ακριβείας. Βασιζόμενη στην ορθολογική, βιώσιμη διαχείριση πόρων και στην μελέτη της παραλλακτικότητας των αγρών, δύναται να βοηθήσει σημαντικά στην εισροή πόρων στη γεωργία. Ένας τέτοιος πόρος είναι και το αρδευτικό νερό. Το να εισαχθεί σιγά σιγά αυτή η μέθοδος και στην χώρα μας θα συνιστούσε την απόκτηση ενός εργαλείου που θα βοηθά στο να γίνουν ανταγωνιστικότερα, άρα και βιωσιμότερα, τα ελληνικά αγροτικά προϊόντα.

Όπως φαίνεται παρακάτω στον χάρτη της *Εικόνας 2.*, η περιοχή του Δήμου Αγιάς είναι από τις παραγωγικότερες σε κάστανα στην Ελλάδα περιοχές, οπότε και η έρευνα αυτήν, λαμβάνοντας υπόψιν τις συνθήκες ακριβώς εκείνου του μέρους, είναι όσο κοντά γίνεται στον παραγωγό.

Περίληψη

Σκοπός τούτης της μελέτης είναι η εύρεση του βέλτιστου τρόπου/ πρωτοκόλλου άρδευσης βάσει των συνθηκών στην περιοχή της Αγιάς και ειδικότερα του Πρινιά, όπου και πραγματοποιήθηκαν τα πειράματα, οι μετρήσεις, η καταγραφή και η συλλογή των δεδομένων. Στόχος της επίσης είναι και η ανάδειξη μεθόδων γεωργίας ακριβείας, οι οποίες μπορούν να βοηθήσουν στον καλύτερο στρατηγικό σχεδιασμό των αγροτικών εκμεταλλεύσεων και των πλάνων τους. Συνοπτικά:

- I. Συσχέτιση κλιματικών – μετεωρολογικών συνθηκών με την παραγωγή και εξαγωγή καμπύλης Kc για τον αγρό. Παρατηρήθηκε έλλειψη βιβλιογραφίας επί των αντικειμένων, εξήχθησαν καμπύλες ET₀, GDDs.
- II. Συσχέτιση φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας με την παραγωγή, ποιοτική και ποσοτική, κάστανων: Δεν παρατηρήθηκε αξιοσημείωτη συσχέτιση
- III. Συσχέτιση συντελεστή ομοιομορφίας άρδευσης Christiansen με τα άνωθεν και εξαγωγή συμπερασμάτων για την αποδοτικότητα άρδευσης του συγκεκριμένου αγρού. Παρατηρήθηκε πολύ ικανοποιητική ομοιομορφία άρδευσης στον αγρό.

Abstract

The purpose of this study is to find the best irrigation method/ protocol based on the conditions in Agia and Prinia, where the experiments, measurements, recording, and data collection were carried out. Its aim is also to highlight precision farming methods, which can help in better strategic planning of agricultural holdings and their plans. In summary:

- I. Correlation of climate-meteorological conditions with production and export of Kc curve for the field. Absence of scientific research and publications regarding these topics was noticed. Also, ET₀ and GDDs curves were made.
- II. Correlation of apparent electrical conductivity with the production, qualitative and quantitative, of chestnuts. No significant correlation was found.
- III. Correlating Christiansen's coefficient of irrigation uniformity with the above and drawing conclusions about the irrigation efficiency of the specific field. Very high irrigation uniformity was observed on the field.

Λέξεις – Κλειδιά

Καστανιά, Άρδευση Ακριβείας, Γεωργία Ακριβείας, Εξατμισοδιαπνοή (ET), Ημεροβαθμοί (GDDs)

Keywords

Chestnut tree, Precision Irrigation, Precision Agriculture, Evapotranspiration (ET), Growing Degree Days (GDDs)

Α': Βιβλιογραφικό – Θεωρητικό Μέρος

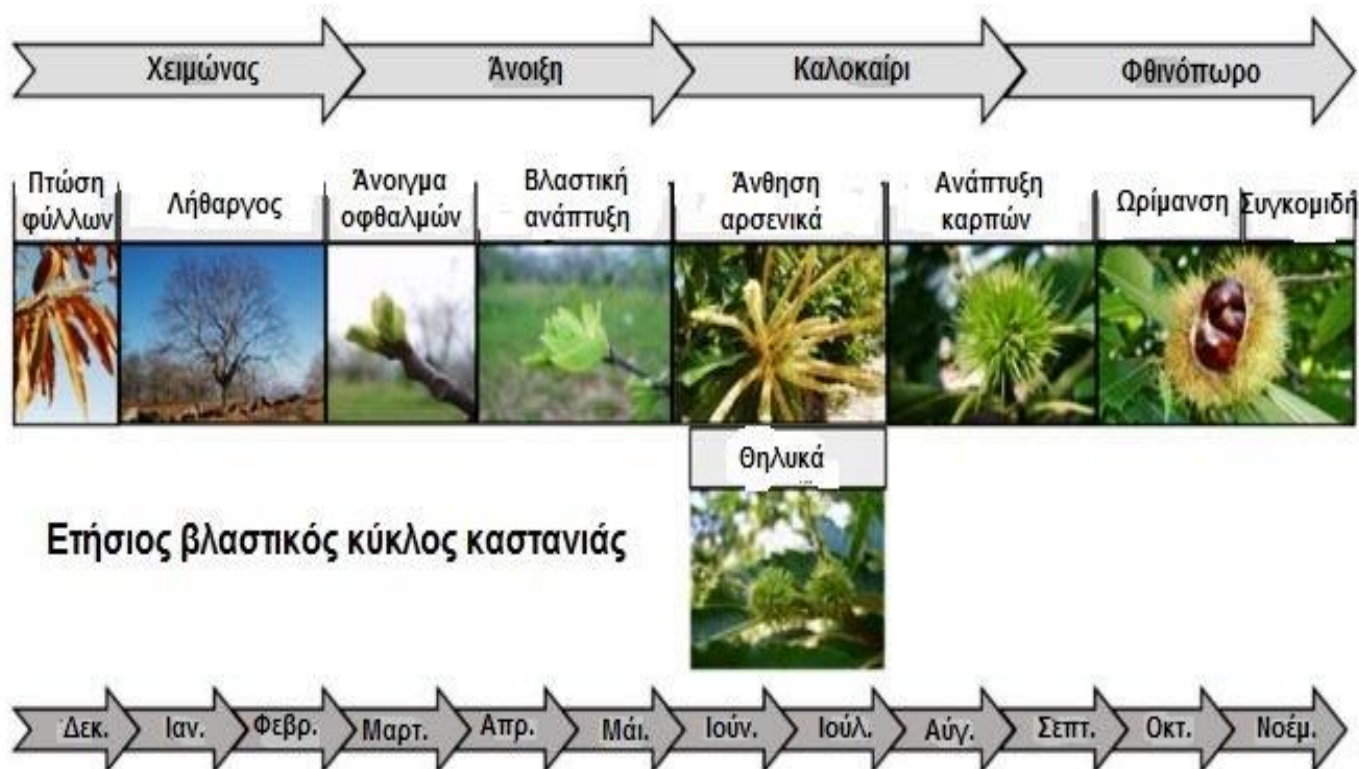
Πριν ξεκινήσει η ανάλυση, η περιγραφή και η επεξήγηση της έρευνας – πειράματος, πρέπει να μελετηθεί η βιβλιογραφία και η θεωρία που υπάρχει για την καλλιέργεια της καστανιάς γενικά, έστω και σε βασικό επίπεδο. Και τούτο διότι το να έχει κάποιος σφαιρική και ολιστική άποψη των πραγμάτων, τον βοηθά στο να καταλάβει καλύτερα το τι και το γιατί μελετά και ερευνά ένα αντικείμενο. Παρακάτω ακολουθεί η βασική βιβλιογραφική ανασκόπηση και ανάλυση σχετικά με τις καλλιεργητικές πρακτικές και την βιολογία της καστανιάς (Εικόνα 1.).

I.: Βοτανική Ταξινόμηση

- I. **Βασίλειο:** Φυτά (Plantae)
- II. **Συνομοταξία:** Αγγειόσπερμα (Magnoliophyta)
- III. **Ομοταξία:** Δικοτυλήδονα (Magnoliopsida)
- IV. **Τάξη:** Φηγώδη (Fagales)
- V. **Οικογένεια:** Φηγοειδή (Fagaceae)
- VI. **Γένος:** Καστανέα (Castanea)
- VII. **Είδος:** Καστανέα η γλυκιά (*Castanea sativa*)

(Τσιντσιράκου, 2014 σ. 13)

1.: Βλαστικός Κύκλος & Ημεροβαθμοί Καστανιάς



Εικόνα 1: Ετήσιος Βλαστικός Κύκλος της Καστανιάς (Δήμος Κίσσαμου, 2023) (Freitas et al., 2021)

Ο βλαστικός κύκλος εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες, την ανάπτυξη των φυτών και τις καλλιεργητικές πρακτικές. Στις περιοχές της Νότιας Ευρώπης, τα στάδια του κύκλου έχουν ως εξής:

- I. Άνοιγμα οφθαλμών: Συνήθως τον Απρίλιο

- II. Ανθοφορία: Ιούνιο – Ιούλιο
- III. Καρπόδεση και ωρίμανση: Αύγουστο – Οκτώβριο
- IV. Λήθαργος (Η αδυναμία έναρξης ανάπτυξης από μεριστώματα και άλλα όργανα και κύτταρα): Δεκέμβριο – Φεβρουάριο

(Freitas et al., 2021)

Όσον αφορά τον αναπαραγωγικό κύκλο, το είδος της καστανιάς είναι μονόοικο στο επίπεδο της ανθοφορίας και τα θηλυκά και αρσενικά άνθη βρίσκονται σε ταξιανθίες που ονομάζονται ίουλοι. Όσον αφορά την ταξιανθία, οι καστανιές είναι ανδρομονόοικες, γιατί έχουν δύο τύπους ίουλων, τους μονοφυλόφιλους αρσενικούς και τους αμφιφυλόφιλους. (Freitas et al., 2021)

Ημεροβαθμοί (Growing Degree-Days, °D) & Ψυχομονάδες (Chilling Points, CP)

Δεδομένου ότι οι ημεροβαθμοί (°D) είναι το άθροισμα της θερμοκρασίας με θερμοκρασία βάσης 6°C, είναι γενικά αποδεκτό ότι οι περιοχές καστανιάς πρέπει να έχουν θερμοκρασία που να επιτρέπει την συσσώρευση (1.900 – 2.400)°D μεταξύ Μαΐου – Οκτωβρίου. (Freitas et al., 2021)

Τα δένδρα εύκρατων κλιμάτων, όπως οι καστανιές, απαιτούν συχνά σχετικά δροσερούς χειμώνες για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις ψύξης κατά τη διάρκεια του χειμερινού λήθαργου, γεγονός που επιτρέπει τη σωστή φυσιολογική και φαινολογική ανάπτυξη, όπως η ανάπτυξη οφθαλμών, η ανθοφορία, η καρπόδεση και η ωρίμανση. Η συσσωρευμένη έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες επιτρέπει στα φυτά να ρυθμίσουν σωστά την ανάπτυξη της ταξιανθίας όταν εμφανίζονται υψηλότερες θερμοκρασίες την Άνοιξη. Η καστανιά σχετίζεται με μέτρια συσσώρευση ψύξης (>90 CP). Στη συνέχεια, η συσσώρευση θερμοκρασίας λειτουργεί ως ενισχυτής της φαινολογίας των δέντρων, ρυθμίζοντας την απελευθέρωση από την περίοδο ενδο-λήθαργου μετά τη συσσώρευση επαρκών ψυχομονάδων (Chilling Points, CP) κατά τη διάρκεια του Χειμώνα και την απελευθέρωση από την περίοδο λήθαργου, η διάρκεια της οποίας εξαρτάται από τις μονάδες εξαναγκασμού που συσσωρεύονται από τέλος του ενδο-λήθαργου έως το στάδιο της ανθοφορίας. Για παράδειγμα, ο χρόνος ανάπτυξης οφθαλμών εξαρτάται από την έκθεση σε ψυχρές θερμοκρασίες (ψύξη) για την απελευθέρωση από τον λήθαργο, ακολουθούμενες από βέλτιστες θερμοκρασίες για την προώθηση της ανάπτυξης των φυτών την Άνοιξη. (Freitas et al., 2021)

Π.: Καλλιεργητικά Στοιχεία



*Χάρτης 1: Χάρτης της Πανελλαδικής Έκτασης Οπορώνων Καστανιάς το Έτος 2007
(ΥΠ.Α.Α.Τ. – www.minagric.gr, 2007)*

Η Ελλάδα μαζί με την Κίνα, Τουρκία, Κορέα, Ιταλία, Ιαπωνία, Ισπανία, Πορτογαλία, Γαλλία και Αλβανία παράγουν σημαντικές ποσότητες κάστανων, με την εγχώρια παραγωγή να παρουσιάζει μία σταθερή ανοδική πορεία. Η εγχώρια αλλά και διεθνής αγορά είναι ελλειμματική σε κάστανο. Έτσι η καστανιά παρουσιάζει ιδιαίτερο οικονομικό ενδιαφέρον για τις ορεινές και ημιορεινές περιοχές της Ελλάδας. Το καλλιεργούμενο αυτό είδος καταλαμβάνει έκταση στην Ελλάδα 10.000 εκτάρια ως καστανοπερίβολα – εντατική καλλιέργεια καστανιάς (Χάρτης 1.). Η καλλιέργεια της καστανιάς στις ορεινές περιοχές θεωρείται από τις πιο αποδοτικές καλλιέργειες για

τους παραγωγούς αυτών των περιοχών που μειονεκτούν σχετικά με τις εύφορες και πεδινές περιοχές. (Γκουντάρας, 2012)

Το βάθος του ενεργού ριζοστρώματος της καστανιάς είναι περίπου 0,5m. Σαν δένδρο έχει πασσαλώδες ριζικό σύστημα και οι βαθύτερες ρίζες φτάνουν σε μεγάλο βάθος, 0,457m και κάτω. Εντούτοις, το στρώμα (ενεργό ριζόστρωμα) στο οποίο γίνεται η πρόσληψη θρεπτικών (θρέψη) και νερού βρίσκεται στα (0,203 – 0,305)m, το οποίο και έχει αξία και ενδιαφέρον για την γεωργική παραγωγή. (Anagnostakis, 2014) (Washington Chestnut Company, 2010)

III.: Πολλαπλασιασμός – Φύτευση

1.: Τρόποι Πολλαπλασιασμού

Η καστανιά πολλαπλασιάζεται εγγενώς με σπόρο και αγενώς με μοσχεύματα, καταβολάδες, παραφυάδες και μεριστωματικά. Ο εγγενής τρόπος πολλαπλασιασμού στην καστανιά χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή υποκειμένων. Δεν προτιμάται όμως, διότι τα χαρακτηριστικά των μητρικών φυτών δεν κληρονομούνται πιστά και οι απόγονοι παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλομορφία. (Τσιντσιράκου, 2014) (Γκουντάρας, 2012)

2.: Προετοιμασία Πριν την Φύτευση

Πριν την φύτευση, είναι αναγκαία η διακοπή του λήθαργου του εμβρύου. Για αυτό, και για την εξασφάλιση ομοιόμορφης βλαστικότητας πρέπει τα κάστανα να δεχτούν την επίδραση υγρής ψύξης (0 – 2)°C επί (1 – 2) μήνες μέσα σε υγρό υπόστρωμα. Μόλις ωριμάσουν, συλλέγονται και φυτεύονται αμέσως το Φθινόπωρο σε ελαφρύ, πλούσιο σε οργανική ουσία και καλά στραγγιζόμενο έδαφος ή συντηρούνται για (1 – 2) μήνες σε υγρό μέρος και θερμοκρασία (0 – 2)°C προκειμένου να φυτευτούν την Άνοιξη. Προτιμάται να φυτεύονται νωρίς την Άνοιξη, όταν το έδαφος είναι ελαφρά ζεστό και δουλεύεται καλά. Στο φυτώριο αυτό γίνεται σε αποστάσεις 1m μεταξύ των γραμμών και 0,15m επί της γραμμής, σε βάθος (0,05 – 0,075)m ή στο τριπλάσιο της διαμέτρου του κάστανου. (Γκουντάρας, 2012)

Η κατεργασία του εδάφους πριν τη φύτευση καθίσταται απαραίτητη αφού συνδράμει στη δημιουργία απαραίτητων συνθηκών για τη φύτευση και την αρχική ανάπτυξη της καλλιέργειας και τέλος διευκολύνει τις καλλιεργητικές φροντίδες και τη συγκομιδή. Το έδαφος που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση του καστανεώνα οργώνεται σε βάθος (0,3 – 0,4)m για:

- I. Αντιμετώπιση των ζιζανίων
- II. Απομάκρυνση των φυτικών υπολειμμάτων των προηγούμενων καλλιεργειών
- III. Βελτίωση της δομής του εδάφους
- IV. Καλύτερη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος

Η προετοιμασία του εδάφους γίνεται συνήθως Καλοκαίρι ή τέλη Φθινοπώρου, μετά την πτώση των φύλλων, έως και τις αρχές της Άνοιξης. Η φύτευση πρέπει να γίνεται με ευνοϊκές καιρικές και εδαφικές συνθήκες. Εποχή φύτευσης των δενδρυλλίων: Νοέμβριος – αρχές Άνοιξης. (Τσιντσιράκου, 2014)

3.: Αποστάσεις Φύτευσης

Αποστάσεις φύτευσης στην καστανιά είναι 6x6 m αλλά και πιο αραιές, έως (10x10)m και (10x12)m. Δεν μπορεί να φυτευτεί σε αποστάσεις <6m. Πολλά δένδρα κοντά μεταξύ τους δημιουργούν υπερβολική σκίαση στα χαμηλότερα κλαδιά με αποτέλεσμα την αρνητική επίδραση στην περαιτέρω ανάπτυξη των δέντρων και την ποιοτική και ποσοτική υποβάθμιση της παραγωγής. (Τσιντσιράκου, 2014, σ. 21)

IV.: Εδαφοκλιματικές Απαιτήσεις

1.: Κλιματικές Απαιτήσεις

Η καστανιά προσαρμόζεται άριστα σε περιοχές της εύκρατης ζώνης και στην Ελλάδα καλλιεργείται σε ορεινές – ημιορεινές περιοχές (>500m). Προτιμά υγρά και ελαφρώς ψυχρά κλίματα με μέση ετήσια θερμοκρασία (8 – 15)°C και μέσο ετήσιο ύψος βροχόπτωσης $\geq 700\text{mm}$. Αντέχει μέγιστες θερμοκρασίες (27 – 31)°C και προσαρμόζεται στο περιβάλλον με μηνιαίες μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες >10°C, για τουλάχιστον 6 μήνες. Ωστόσο, η βλάστηση της γύρης συμβαίνει μόνο όταν οι θερμοκρασίες φτάσουν τους (27 – 30)°C. Επίσης, παρουσιάζει ανθεκτικότητα στο ψύχος του Χειμώνα κατά την περίοδο του λήθαργου, ακόμη και σε θερμοκρασίες κοντά στους -16°C. Οι πρώιμοι εαρινοί παγετοί όμως ζημιώνουν τη νεαρή βλάστηση, ενώ οι όψιμοι παγετοί προκαλούν πάγωμα των ανθών, αργά την Άνοιξη, με αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής. (Τσιντσιράκου, 2014) (Γκουντάρας, 2012) (Freitas et al., 2021)

Από άποψη προσανατολισμού, οι Νότιες – Νοτιοανατολικές (N – NA) θέσεις σε χαμηλά υψόμετρα κυρίως, πρέπει να αποφεύγονται, διότι ευνοούν την πρώιμη βλάστηση, η οποία είναι ευαίσθητη στον εαρινό παγετό και στα ηλιακά εγκαύματα των κορμών και των κλαδιών το Καλοκαίρι. Η Βόρεια – Βορειοανατολική (B – BA) έκθεση που διατηρεί τις θερμοκρασίες σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, χωρίς πολλές αυξομειώσεις κατά τη διάρκεια του Καλοκαιριού είναι η προτιμότερη. Η καλλιέργεια απαιτεί αρκετό ηλιακό φως, καθώς αντέχει μερική μόνο σκίαση. Η καλύτερη θερμοκρασία για την ωρίμανση του καρπού είναι (25 – 30)°C. (Τσιντσιράκου, 2014) (Γκουντάρας, 2012)

Όσον αφορά τους ανέμους, αυτοί δεν προκαλούν προβλήματα σε δένδρα μεγάλης ηλικίας, παρά μόνον σε νεαρά δενδρύλλια κατά την περίοδο σχηματισμού της νέας βλάστησης και της έκπτυξης των ταξιανθιών. (Τσιντσιράκου, 2014) (Γκουντάρας, 2012)

2.: Εδαφικές Απαιτήσεις

Τα εδάφη στα οποία αναπτύσσεται καλά είναι όξινα, αμμώδη – πηλώδη, βαθιά και καλά στραγγιζόμενα. Τα βαριά, ασβεστώδη και κακώς στραγγιζόμενα είναι ακατάλληλα για την καλλιέργεια της καστανιάς, καθώς έχουν σημαντική επίδραση στην εξάπλωση της μελάνωσης (βλέπε υποενότητα 2.: Μελάνωση της Καστανιάς (*Phytophthora campivora*)). Τα ρηχά ή βαριά εδάφη δεν είναι ικανοποιητικά για την καλλιέργεια της καστανιάς. Το pH του εδάφους, είναι καλό να κυμαίνεται μεταξύ (5 – 6,5). Αν το pH είναι <5, τότε εφαρμόζεται Ca στο έδαφος. Αντιθέτως, αν το pH είναι >6,5 η καλλιέργεια γίνεται οικονομικά ασύμφορη καθώς η μείωση του εδαφικού pH με S είναι υπερβολικά ακριβή. Η ιδανικότερη κλίση εδάφους για τη συστηματική καλλιέργεια της καστανιάς είναι μικρή για τη διευκόλυνση της εισόδου και τη χρήση των γεωργικών μηχανημάτων και φυσικά την καλή στράγγιση. Αυτά με μεγάλη κλίση δημιουργούν προβλήματα, όχι μόνο στη συγκομιδή των κάστανων, αλλά και στο ίδιο

το έδαφος, καθώς διαβρώνεται και δύσκολα αποθηκεύει μεγάλες ποσότητες νερού. (Τσιντσιράκου, 2014) (Γκουντάρας, 2012)

V.: Άρδευση

1.: Αρδευτικές Απαιτήσεις & Αντοχή στην Ξηρασία

Σε περιοχές που η μέση ετήσια βροχόπτωση δεν επαρκεί να καλύψει τις υδατικές της ανάγκες, δηλαδή όταν τιμή είναι <700mm και οι θερινές βροχές ελάχιστες, χρειάζεται να πραγματοποιούμε ποτίσματα. Ειδικότερα, τα πρώτα χρόνια μετά την εγκατάσταση αυτά απαιτούνται τακτικά τόσο κατά τη διάρκεια της βλάστησης, όσο και κατά το Καλοκαίρι για να μην επιβραδυνθεί η επιμήκυνση των νεαρών βλαστών. Τα νεαρά δενδρύλλια είναι πολύ δύσκολο να εγκατασταθούν χωρίς την παροχή αρδευτικού νερού, καθώς δεν μπορούν να ανεχθούν την ξηρασία. Μέγιστη αντοχή στην ξηρασία έχουν τα δέντρα που έχουν αναπτυχθεί από εμβολιασμό σποριόφυτων τα οποία αναπτύχθηκαν απευθείας στην τελική τους θέση στον αγρό, χωρίς μεταφύτευση δηλαδή. (Γκουντάρας, 2012) (Τσιντσιράκου, 2014)

Τα δένδρα που βρίσκονται σε πλήρη παραγωγικότητα, για να μπορέσουν να δώσουν υψηλή παραγωγή και ποιότητα καρπών, θα χρειαστούν πότισμα, ειδικότερα προς τα τέλη Καλοκαιριού με αρχές Φθινοπώρου. Πρέπει να αρχίζει από την καρπόδεση τον Ιούνιο, να συνεχίζεται το Καλοκαίρι και να εντατικοποιείται κατά την περίοδο αύξησης του μεγέθους των καρπών, τότε δηλαδή που διαμορφώνεται το τελικό τους μέγεθος και οι ανάγκες της καστανιάς σε νερό είναι υψηλές (Αύγουστος – Σεπτέμβριος). Η απουσία νερού, ιδιαίτερα σε περιόδους με λίγες βροχοπτώσεις, έχει ως αποτέλεσμα τη μειωμένη παραγωγή και το μικρό μέγεθος του καρπού. Παρόλα αυτά η καστανιά είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στην ξηρασία. Η υπερβολική άρδευση ωστόσο μπορεί να οδηγήσει σε σχίσσιμο των καρπών και άρα σε εμπορική υποβάθμιση του προϊόντος. Επίσης, η άρδευση της καστανιάς συμβάλλει μόνον στην αύξηση του μεγέθους του καρπού και όχι στη μεταβολή του αριθμού των καρπών. (Γκουντάρας, 2012) (Τσιντσιράκου, 2014)

2.: Τρόποι Εφαρμογής Άρδευσης

Ως τρόποι άρδευσης, συνιστώνται η στάγδην άρδευση και οι μικροεκτοξευτές (Microsprinklers). Η κατάκλιση πρέπει να αποφεύγεται, διότι συμβάλλει στην μετάδοση ασθενειών, όπως αυτήν της μελάνωσης. (Γκουντάρας, 2012) (Τσιντσιράκου, 2014)

VI.: Λίπανση

1.: Λιπαντικές Απαιτήσεις & Είδη Λιπασμάτων

Η λίπανση στην καστανιά εφαρμόζεται για την επίτευξη ισόρροπης βλάστησης και ανθοφορίας-καρποφορίας. Η καστανιά έχει ανάγκη από εδάφη πλούσια σε οργανική ουσία και ανόργανα στοιχεία. Η ποσότητα και το είδος των λιπασμάτων που εφαρμόζονται γίνεται με βάση τον τύπο και το pH του εδάφους, το στάδιο ανάπτυξης των δέντρων, και την περιεκτικότητα του εδάφους σε ανόργανα στοιχεία. Η καστανιά είναι ιδιαίτερα απαιτητική σε άζωτο. Η αζωτούχος λίπανση εφαρμόζεται συνήθως σε τρεις περιόδους, ώστε να επαρκεί για τις ανάγκες του φυτού. (Τσιντσιράκου, 2014)

2.: Δόσεις Λίπανσης

Η πρώτη εφαρμογή γίνεται στα τέλη Μαρτίου με αρχές Απριλίου, για καλή βλάστηση και για την εξέλιξη των ανθικών καταβολών και η δεύτερη στα τέλη Μαΐου. (Τσιντσιράκου, 2014)

VII.: Κλάδεμα

1.: Γενικά Στοιχεία

Το κλάδεμα της καστανιάς αποτελεί μια σημαντική εργασία στην καλλιέργειά της. Γίνεται κυρίως για να βελτιωθεί ο φωτισμός και ο αερισμός στην κόμη του δέντρου και να αυξηθεί το μέγεθος του καρπού με την ανανέωση του καρποφόρου ξύλου. Διακρίνονται δύο ειδών κλαδέματα, το διαμόρφωσης και το καρποφορίας/ ανανέωσης. (Τσιντσιράκου, 2014) (Γκουντάρας, 2012)

2.: Κλάδεμα Διαμόρφωσης

Εφαρμόζεται στα πρώτα χρόνια της καλλιέργειας. Αποσκοπεί στην ταχύτερη ανάπτυξή τους, στη γρήγορη είσοδό τους στην καρποφορία και στη διευκόλυνση των καλλιεργητικών εργασιών. Το σχήμα διαμόρφωσης που κυρίως συναντάται είναι το κυπελλοειδές που αποτελείται από 3 – 4 πλάγιους βραχίονες. Σε συνδυασμό με άλλες καλλιεργητικές φροντίδες και κατάλληλη λίπανση εξασφαλίζει γρήγορη είσοδο του δέντρου στην καρποφορία και σταθερά υψηλή παραγωγή. (Τσιντσιράκου, 2014) (Γκουντάρας, 2012)

3.: Κλάδεμα Καρποφορίας/ Ανανέωσης

Εφαρμόζεται σε παραγωγικά δέντρα καστανιάς. Πραγματοποιείται κάθε χρόνο και αποσκοπεί στη διατήρηση του σχήματος του δέντρου, στον καλό αερισμό και φωτισμό της κόμης, στην αφαίρεση νεκρών και προσβεβλημένων βλαστών και στην ανανέωση του καρποφόρου ξύλου (Εικόνα 2.). (Τσιντσιράκου, 2014) (Γκουντάρας, 2012)



Εικόνα 2: Κομμένος Κλάδος Καστανιάς Έπειτα από Κλάδεμα

VIII.: Φυτοπαθολογία – Νοσολογία

1.: Παρασιτικό Έλκος της Καστανιάς (*Cryphonectria parasitica*)

Παθογόνο Αίτιο

Αποτελεί από τις σπουδαιότερες ασθένειες της καστανιάς, τόσο πανελλαδικώς όσο και παγκοσμίως. Οφείλεται στον μύκητα *Cryphonectria parasitica* ή *Endothia parasitica* που ανήκει στους ασκομύκητες. Η πρώτη παρατήρηση στην Ευρώπη χρονολογείται από το 1938, όταν βρέθηκε στην Γένοβα στην Ιταλία.

Συμπτωματολογία

Συμπτώματα αυτής παρατηρούνται στον κορμό και στους κλάδους του δένδρου, ενώ οι καρποί, τα φύλλα, οι ρίζες και τα άνθη μένουν απρόσβλητα (Εικόνα 3.). (Γραβάνης, 2018 σ. 144 – 146)

Στους νεαρούς βλαστούς:

- I. Κιτρινέρυθρα ή πορτοκαλόχρωμα – καστανέρυθρα έλκη τα οποία είναι κυκλικά – ελλειψοειδή και αργότερα επιμηκύνονται επί του άξονα του βλαστού
- II. Νέκρωση φλοιού και καμβίου η οποία εκτείνεται ως το ξύλο στην περιοχή του έλκους. Λόγω αυτής, το έλκος βυθίζεται και περιβάλλεται από υπερυψωμένη και ρυτιδωμένη παρυφή.
- III. Αποφλοιώση τμημάτων της προαναφερθείσας ρυτιδωμένης επιφάνειας του έλκους.
- IV. Σε περίπτωση που δεν νεκρωθεί το κάμβιο στην προσβεβλημένη περιοχή, παράγονται νέα στρώματα φλοιού, εξόγκωση της περιοχής και ρωγμές επί αυτής.

(Γραβάνης, 2018, σ. 145)

Στους κλάδους μεγαλύτερης ηλικίας:

- I. Εμφανίζονται επιμήκεις σχισμές που μεγεθύνονται και μετατρέπονται σε τυπικό έλκος, όπου και παρατηρείται κιτρινέρυθρη αλλοίωση των ιστών εσωτερικά. Επί των ελκών αυτών φαίνεται πορτοκαλόχρωμη – καστανέρυθρη πολυστιγμία, οι καρποφορίες του παθογόνου δηλαδή.
- II. Εάν αναστηλωθεί ο φλοιός στο έλκος, παρατηρείται λευκή μυκηλιακή πλάκα η οποία εν συνεχεία γίνεται υποκίτρινη.
- III. Τα έλκη συνενώνονται και περιβάλλουν τον κλάδο. Ως αποτέλεσμα τα φύλλα στην άκρη του κιτρινίζουν, ξηραίνονται και εν τέλει πέφτουν (ξήρανση, φυλλόπτωση), ενώ όλος ο κλάδος τελικά ξηραίνεται. Ορισμένες φορές όμως τα φύλλα δεν πέφτουν αλλά παραμένουν ξηραμένα επί του κλάδου και έτσι διακρίνονται από το υπόλοιπο υγιές, πράσινο φύλλωμα.
- IV. Προσκολλημένα, αποξηραμένα φύλλα κατά την διάρκεια της φυσιολογικής αποφύλλωσης του Χειμώνα.
- V. Ανάπτυξη πολλών λαίμαργων βλαστών υπό του έλκους ή παραφυάδων σε περίπτωση ξήρανσης του δένδρου.

(Γραβάνης, 2018 σ, 145)

Εικόνα 3: Συμπτώματα Παρασιτικού Έλκους της Καστανιάς (www.iek-tripol.ark.sch.gr, 2023)



Διασπορά – Επιδημιολογία

Η ασθένεια διαδίδεται μέσω μολυσμάτων που ξεκινούν από μολυσμένα φυτά. Τον ρόλο μολυσμάτων έχουν τα πυκνιδιοσπόρια των αγενών καρποφοριών του παθογόνου και τα ασκοσπόρια των εγγενών. Τα πρώτα μεταφέρονται με το βρόχινο νερό, ενώ τα δεύτερα με τον άνεμο. Αυτά, για να ξεκινήσουν την μόλυνση, εισχωρούν στο δένδρο μέσω μικροπληγών προκαλούμενες από:

- I. Ξυλοφάγα έντομα
- II. Χαλαζόπτωση
- III. Μηχανική θραύση κλάδου

Μετά από έναν μήνα περίπου ξεκινά η αναπαραγωγή της ασθένειας, ο σχηματισμός πυκνιδίων και η εμφάνιση πολυστιγμίας δηλαδή. Αυτήν όμως εξελίσσεται βραδέως, τόσο μάλιστα που μπορεί να περάσει και δεκαετία από την εμφάνιση των πρώτων συμπτωμάτων μέχρι και την γενίκευση αυτών. (Γραβάνης, 2018 σ. 146 – 147)

Μέσα, Μέθοδοι & Τρόποι Αντιμετώπισης

Για την καταπολέμηση του παρασιτικού έλκους, πρέπει να:

- I. Καταστρέφονται ολοσχερώς οι κηλίδες των προσβεβλημένων δένδρων
- II. Επισημαίνονται εγκαίρως τα αρχικώς προσβεβλημένα δένδρα
- III. Επιθεωρούνται συστηματικά τα περιβόλια
- IV. Εφαρμόζεται βιολογική καταπολέμηση με την χρήση σκευασμάτων βασιζόμενων στην δράση των ιών του γένους *Hypovirus* ή *Cryphonectria hypovirus*. Τοποθετούνται πέριξ των ελκών.

(Γραβάνης, 2018 σ. 147 – 148)

2.: Μελάνωση της Καστανιάς (*Phytophthora campivora*)

Παθογόνο Αίτιο

Προκαλείται από τον μύκητα *Phytophthora campivora*.

Συμπτωματολογία

Ασθένεια των ριζών η οποία παρουσιάζεται με μία σειρά συμπτωμάτων (Εικόνα 4.) όπως προοδευτική ξήρανση τμημάτων του δέντρου (φύλλα, βλαστοί), ημιπληγία και αποπληξία. Το τυπικό σύμπτωμά της είναι παρουσία νεκρώσεων στη βάση του κορμού



Εικόνα 4: Συμπτώματα της Μελάνωσης της Καστανιάς

και στο λαιμό του δέντρου, με ακανόνιστο σχήμα και με εκροή μελανού υγρού (λόγω της οξείδωσης των τανινών με το σίδηρο), και γι' αυτό αποκαλείται μελάνωση. Παρατηρείται δέντρα τα οποία είναι προσβεβλημένα με το μύκητα να συγκρατούν τα αχάινια προσκολλημένα στα κλαδιά κατά τη διάρκεια του χειμώνα και, όταν ξεραθούν οι περισσότερες από τις κύριες ρίζες, τα φύλλα της κόμης μαραίνονται και συστρέφονται. Αν προσβολή είναι γρήγορη τότε τα δέντρα παθαίνουν αποπληξία, και τα φύλλα παραμένουν στο δέντρο ξηραμένα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αν όμως προσβολή προχωρεί αργά, τότε τα συμπτώματα στην 39 κόμη του δέντρου εκδηλώνονται με κιτρίνισμα των φύλλων και αποξήρανση μερικών μόνο κλαδιών που τροφοδοτούνται από την προσβληθείσα ρίζα. Αποτέλεσμα της προσβολής είναι καταστροφή των ριζών και επομένως ξήρανση κλάδων ολόκληρου του δέντρου. (Γκουντάρας, 2012)

Διασπορά – Επιδημιολογία

Μέσω της μετακίνησης του με το επιφανειακό νερό, προσβάλλει τις ρίζες, τον λαιμό και την βάση κορμού εισχωρώντας κυρίως από πληγές που προκαλούνται από μηχανικά αίτια. Τα μολύσματα αυτής της ασθένειας εμφανίζονται κυρίως σε βαριά αργιλώδη εδάφη που έχουν περίσσεια υγρασίας και που είναι ξηρά κατά τη διάρκεια του Καλοκαιριού. Γενικά, η υγρασία του εδάφους, η μικρή περιεκτικότητα του εδάφους σε θρεπτικά στοιχεία και η εκτός ζώνης εξάπλωση της καλλιέργειας της

καστανιάς αποτελούν σημαντικούς παράγοντες για την ανάπτυξη και εξάπλωση της ασθένειας. (Γκουντάρας, 2012)

Μέσα, Μέθοδοι & Τρόποι Αντιμετώπισης

Η αντιμετώπιση μπορεί να είναι προληπτική με αποφυγή άρδευσης με κατάκλιση και αυλάκια, περιορισμό εργασιών που δημιουργούν πληγές στο ριζικό σύστημα και χρήση ανθεκτικών υποκειμένων. (Γκουντάρας 2012)

Κατασταλτικά, σε περίπτωση εγκατάστασης του παθογόνου στον αγρό δηλαδή, πλέον υπάρχουν χημικά σκευάσματα τα οποία έχουν διασυστηματική δράση σε σχέση με το παρελθόν που δεν υπήρχαν, δηλαδή σκευάσματα τα οποία από το φύλλωμα εισέρχονται μέσα στο φυτό και φτάνουν μέχρι και τις ρίζες, καταπολεμώντας το παθογόνο και αυξάνοντας την ανθεκτικότητα του ίδιου του φυτού έναντι της ασθένειας. Επίσης, προτείνεται έκθεση των προσβεβλημένων τμημάτων στο φως και επάλειψη αυτών με πάστα θειικού χαλκού 10%, λίπανση με αμμωνιακό άζωτο που καταστρέφει τα ζωοσπόρια, ριζοπότισμα και ψεκασμός με φωσφονικές ενώσεις (εμπορικό όνομα διασυστηματικού μυκητοκτόνου Alliette). Όπως και χρησιμοποίηση διαφόρων ανταγωνιστικών μυκήτων (π.χ. διάφορα είδη ενδότροφων μυκόρριζων). κυριότερη μέθοδος όμως αντιμετώπισης της ασθένειας είναι προληπτική, δηλαδή χρήση ανθεκτικών υβριδίων καστανιάς, τα οποία προέρχονται από διασταύρωση Ιαπωνικής με Ευρωπαϊκή καστανιά (*Castanea crenata* * *Castanea sativa*). (Γκουντάρας 2012)

3.: Φαιά Σήψη της Καστανιάς (*Gnomoniopsis smithogilvyi*)

Παθογόνο Αίτιο

Η ασθένεια αυτή προκαλείται από τον μύκητα *Gnomoniopsis smithogilvyi*, ο οποίος ανήκει στους Ασκομύκητες (Ascomycetes)

Το 2012, περιεγράφηκαν δύο είδη, το *Gnomoniopsis smithogilvyi* και το *Gnomoniopsis castaneae* ως παθογόνοι παράγοντες της φαιάς σήψης του κάστανου στην Αυστραλία και την Ευρώπη. Συγκριτική μορφολογική ανάλυση και φυλογενετική ανάλυση πέντε δεικτών του ITS, TEF1-a, β-τουμπουλίνη, MS204 και FG1093 επιβεβαιώνουν ότι και τα δύο ονόματα αναφέρονται στο ίδιο είδος και η διερεύνηση των ακριβών ημερομηνιών δημοσίευσής τους δείχνει ότι το *Gnomoniopsis smithogilvyi* έχει προτεραιότητα επί του *Gnomoniopsis castaneae*. (Shuttleworth et al., 2015)

Συμπτώματολογία

Τα συμπτώματα της σήψης του κάστανου εκδηλώνονται ως ανοιχτόχρωμες, κανονικές και σκουρόχρωμες καφέ κηλίδες – έλκη που εμφανίζονται στο ενδοσπέρμιο και το έμβρυο της καστανιάς, μέσα στον καρπό της δηλαδή. Έτσι ξεχωρίζουν από τα υγιή κάστανα, τα οποία έχουν κρεμώδη ανοιχτοκίτρινη όψη, με πολύ σφιχτό ενδοσπέρμιο και εμβρυϊκό ιστό. Η ασθένεια συχνά δεν είναι ορατή εξωτερικά, αποδεικνύοντας πρόκληση για τους καλλιεργητές και τους καταναλωτές. Τα συμπτώματα της νόσου εμφανίζονται κυρίως μετά τη συγκομιδή. Ωστόσο, παρατηρήσεις από καλλιεργητές δείχνουν ότι τα κάστανα μπορεί να επηρεαστούν όταν εξακολουθούν να είναι κολλημένα πάνω στο δέντρο. (Guest, 2012 σ. 5)

Διασπορά – Επιδημιολογία

Ως πηγές μόλυνσης αναφέρονται οι πληγές που προκαλούνται από μηχανικούς τραυματισμούς ή κλάδεμα. Πηγή μόλυνσης είναι και τα ασκοσπόρια που απελευθερώνονται από τα διαχειμάζοντα περιθήκια κατά τη διάρκεια του Χειμώνα και μολύνουν τα άνθη. (Guest, 2012 σ. 5 – 6)

Οι βροχοπτώσεις κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας αυξάνουν την συχνότητα εμφάνισης. Αυτό οφείλεται στη μόλυνση των ανθέων της καστανιάς από τα σπόρια του μύκητα που μεταδίδονται κυρίως με την βροχόπτωση. Η κρίσιμη περίοδος της δεκτικότητας των λουλουδιών σε σπόρια είναι 10 ημέρες αμέσως μετά τις πρώτες 7 ημέρες της ανθοφορίας δηλαδή 8^η – 17^η ημέρα ανθοφορίας. Θεωρείται πως υπάρχει σύνδεση μεταξύ κακής επικονίασης, παραμορφωμένων κάστανων και φαιάς σήψης. Καταπόνηση υγρασίας κατά την περίοδο της συγκομιδής ως παράγοντας προτάθηκε επίσης η πρόκληση καθυστερημένης αποκοπής γρέζινων και κάστανων. (Guest, 2012 σ. 5 – 6)

Είναι ενδόφυτος μύκητας του αναπαραγωγικού συστήματος και των φυτικών ιστών, για αυτό και επηρεάζονται περισσότερο οι καρποί. Αποτελεί επίσης τον λόγο που το συγκεκριμένο είδος καταπολεμάται τόσο δύσκολα, καθώς τα συμβατικά μυκητοκτόνα δεν μπορούν να έρθουν σε επαφή με τον μύκητα, βρίσκεται μέσα στο φυτό αυτός. (Mudasir Ahmad Dar & Mahendra Rai, 2015)

Εμφανίζεται ως σαπρόβιος σε νεκρά τμήματα καστανιάς. Πιο συγκεκριμένα στα εξής:

- I. Νεκροί κλάδοι
- II. Κλάδοι προσκολλημένοι στο φυτό
- III. Ξεχειμωνιασμένα νεκρά φύλλα
- IV. Νεκρά χόρτα – αγριάδα
- V. Φλοιούς καστώνων

Ενδόφυτος εμφανίζεται ασυμπτωματικά σε άνθη, φύλλα και μίσχους της καστανιάς. Παρόμοια με άλλα μέλη των Gnomoniaceae, είδη των Gnomoniopsis υπάρχουν επίσης ως ενδοφυτικά σε υγιή φυτά – ξενιστές. Τρία είδη του γένους (*Gnomoniopsis smithogilyyi*, *Gnomoniopsis castanea* -που απεδείχθη πως ταυτίζονται- και *Gnomoniopsis tamietti*) έχουν απομονωθεί από καστανιές μέχρι τώρα. Το *Gnomoniopsis castanea* και το *Gnomoniopsis tamietti* συνδέονται με τη σήψη των ξηρών καρπών και προκαλούν ασθένειες όταν εμβολιάζονται τεχνητά σε φρούτα ή λουλούδια. (Shuttleworth et al., 2015) (Mudasir Ahmad Dar & Mahendra Rai, 2015)

Ο κύκλος της μόλυνσης στην καστανιά ξεκινά όταν το τελειόμορφο του μύκητα απελευθερώνει ασκοσπόρια που στη συνέχεια μολύνουν τα θηλυκά άνθη τα οποία και συνεχίζουν την διαδικασία της μόλυνσης. Μετά τη μόλυνση, τα συμπτώματα εμφανίζονται κυρίως μετασυλλεκτικά ενώ τα κάστανα βρίσκονται σε αποθήκευση ή εκτίθενται στα ράφια των καταστημάτων. Ωστόσο, τα σάπια κάστανα μπορούν επίσης να βρεθούν ενώ είναι ακόμα προσκολλημένα στα δέντρα. Λόγω της σοβαρής υποβάθμισης της ποιότητας του κάστανου μετά τη συγκομιδή, οι περισσότερες στρατηγικές για την αντιμετώπιση της σήψης του κάστανου έχουν επικεντρωθεί στον έλεγχο του μύκητα μετά τη συγκομιδή. (Silva – Campos et al., 2022)

Μέσα, Μέθοδοι & Τρόποι Αντιμετώπισης

Μερικά από τα μέτρα που χρησιμοποιούνται συνήθως από τους καλλιεργητές μετά τη συγκομιδή για τον έλεγχο αυτής και άλλων μυκητολογικών ασθενειών είναι η απολύμανση των κάστανων με απολυμαντικό και μυκητοκτόνα κατά την ταξινόμηση, διαλογή και την επιλογή των ξηρών καρπών.

Η διαλογή επίπλευσης είναι μια μέθοδος που αναπτύχθηκε στη Νέα Ζηλανδία και χρησιμοποιείται ώστε να διαχωρίσουν τα σάπια κάστανα από τα υγιή. Αρχή της είναι το εάν ο καρπός επιπλέει ή βυθίζεται στο νερό. Έτσι, τα κάστανα τοποθετούνται εντός δεξαμενής γεμάτης με νερό. Έπειτα, γίνεται η παρατήρηση. Αν τα κάστανα επιπλέουν, θεωρούνται σάπια. Αν βυθίζονται στον πυθμένα της δεξαμενής, θεωρούνται υγιή. Τα σάπια συνήθως απορρίπτονται ή πωλούνται σε χαμηλότερη τιμή. Προς το παρόν δεν είναι γνωστό πόσο αποτελεσματική είναι αυτή η μέθοδος στον διαχωρισμό των σάπιων από τα υγιή. (Guest, 2012 σ. 6)

Άλλες εναλλακτικές λύσεις που παρουσίασαν σημαντική μείωση στον αριθμό των άρρωστων κάστανων σε αποθήκευση είναι η κατεργασία με ενζυμικά παράγωγα *Trichoderma harzianum* κατά τη διάρκεια εμβάπτισης σε ζεστό νερό. Επίσης, το αέριο όζον μείωσε σημαντικά την ανάπτυξη του μύκητα *in vitro* επίσης, υποδηλώνοντας ότι εφαρμόζεται αυτό αέριο στα κάστανα μετά τη συγκομιδή θα μπορούσε να βοηθήσει στην επέκταση του ράφι τους. (Silva – Campos et al., 2022)

Η χρήση μυκητοκτόνων σε οπωρώνες κάστανων παραμένει βασικό εργαλείο για την ολοκληρωμένη διαχείριση των φυτικών ασθενειών. Ωστόσο, λίγα είναι γνωστά για την αποτελεσματικότητά τους στον έλεγχο του συγκεκριμένου μύκητα σε παραγωγικές φυτείες καστανιάς. Οι περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τη χρήση μυκητοκτόνων προέρχονται από *ad hoc* δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν από καλλιεργητές και αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν από ενώσεις παραγωγών κάστανου. Πρόσφατα, μια τεχνική έκθεση έδειξε ότι μια σειρά από μυκητοκτόνα δραστικά συστατικά, συμπεριλαμβανομένης της διφαινοκοναζόλης, της cyprodinil, της φουδιοξονίλης και της πυρακλостροβίνης, ελέγχεται αποτελεσματικά η βλάστηση κονιδίων και ανάπτυξη μυκηλίων σε *in vitro* συνθήκες. Τέτοια μυκητοκτόνα έχουν επίσης αποτελεσματικό έλεγχο άλλων μυκητολογικών παθογόνων καλλιεργειών, συμπεριλαμβανομένων των *Botrytis cinerea* και *Penicillium expansum*. Παρόλα αυτά, χρησιμοποιώντας αυτά ή άλλα μυκητοκτόνα ως διαφυλλικές εφαρμογές για τον έλεγχο του *Gnomoniopsis smithogilnyi* σε οπωρώνες κάστανων δεν έχει ακόμη αναφερθεί. Πράγματι, υπάρχει έλλειψη επαρκώς σχεδιασμένων και εκτελούμενων πειραματικών δοκιμών που έχουν αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα των μυκητοκτόνων για τον έλεγχο της καστανιάς σήψης. Ως αποτέλεσμα, η αυστραλιανή βιομηχανία κάστανου δεν έχει αποτελεσματικές εναλλακτικές λύσεις για τη διαχείριση αυτής της ασθένειας στον οπωρώνα. Επιπλέον, αν και περιορισμένος αριθμός μυκητοκτόνων χρησιμοποιούνται στην τοπική καλλιέργεια κάστανου, κανένα από αυτά δεν είναι εγγεγραμμένο για τον ειδικό έλεγχο του. (Silva – Campos et al., 2022)

Πίνακας 1: Τα Χημικά Φυτοπροστατευτικά Σκευάσματα που Χρησιμοποιήθηκαν και Ερευνήθηκαν στα Πειράματα Μαζί με τις Δοσολογίες και Άλλες Πληροφορίες (Silva - Campos et al., 2022)

Εμπορική Ονομασία Σκευάσματος	Κατασκευάστρια Εταιρεία Σκευάσματος	Δραστική Χημική Ουσία	Χημική Ομάδα Δραστικής Ουσίας	Αρχή Λειτουργίας Σκευάσματος
Cabrio®	BASF	Pyraclostrobin	Methoxy-carbamates	C. respiration Complex III: Cytochrome bc1 at Qo site (cyt b gene)
Octave® WP	FMC	Prochloraz	Imidazoles	Sterol biosynthesis in membranes C14-demethylase in sterol biosynthesis (erg11/cyp51)
Rural® Liquid	FMC	Iprodione	Dicarbomixides	Signal transduction MAP/Histidine-Kinase in osmotic signal transduction (os-1, Daf1)
Scholar® SC	Syngenta	Fludioxonil	Phenylpyrroles	Signal transduction MAP/Histidine-Kinase in osmotic signal transduction (os-2, HOG1)
Score®	Syngenta	Difenoconazole	Triazoles	Sterol biosynthesis in membranes C14-demethylase in sterol biosynthesis (erg11/cyp51)
Switch®	Syngenta	Cyprodinil + Fludioxonil	Anilino-pyrimidines + Phenylpyrroles	Amino acids and protein synthesis Methionine biosynthesis (cgs gene)

Εμπορική Ονομασία Σκευάσματος	Κατασκευάστρια Εταιρεία Σκευάσματος	Δραστική Χημική Ουσία	Χημική Ομάδα Δραστικής Ουσίας	Αρχή Λειτουργίας Σκευάσματος
				(proposed target)
Cabrio® + Score®	- (Πειραματικό Μείγμα)	Pyraclostrobin + Difenoconazole	Anilino-pyrimidines + Phenylpyrroles	Amino acids and protein synthesis Methionine biosynthesis (cgs gene) (proposed target)

Βάσει της έρευνάς τους, οι (Silva – Campos et al., 2022) συμπεραίνουν τα εξής:

- I. Οι δραστικές ουσίες pyraclostrobin και difenoconazole (Σκευάσματα Cabrio και Score αντίστοιχα) ήταν τα αποτελεσματικότερα μυκητοκτόνα όλων στον έλεγχο της βλάστησης των κονιδίων και της ανάπτυξης των μυκηλίων, αντίστοιχα.
- II. Το μείγμα δραστικών ουσιών pyraclostrobin και difenoconazole (Σκευάσματα Cabrio και Score σε δοσολογία 100μg/mL και 125μg/mL αντίστοιχα) αποδείχθηκε αποτελεσματικότερο των μεμονομένων εφαρμογών αυτών των μυκητοκτόνων, κάτι που υποδηλώνει την πιθανή ύπαρξη συνεργιστικής δράσης μεταξύ των σκευασμάτων. Επιπλέον, το μείγμα αυτών και τα δύο μυκητοκτόνα έτειναν να μειώνουν το ποσοστό των μολυσμένων στιγμάτων, στύλων στα άνθη και κατ' επέκτασιν καρπών.
- III. Η δραστική ουσία pyraclostrobin ήταν πολύ αποτελεσματική στην αναστολή της βλάστησης των κονιδίων, σε όλες τις συγκεντρώσεις - δοσολογίες που δοκιμάστηκαν μάλιστα.

ΙΧ.: Εντομολογικές Προσβολές

1.: Σφήκα της Καστανιάς (*Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu)

Αφετηρία & Εξάπλωση



*Εικόνα 5: Ενήλικο Άτομο - Ακμαίο Σφήκας της Καστανιάς
(www.wikipedia.org, 2023)*

Ιθαγενές έντομο της Κίνας (Εικόνα 5.), έχει εισβάλει και εξαπλωθεί σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Αρχικά εμφανίστηκε στην Ιαπωνία το 1941 και έπειτα στην Κορέα το 1958. Στην Ευρώπη εντοπίστηκε για πρώτη φορά το 2002 στην Ιταλία. Η παρουσία του εντόμου στην Ελλάδα εντοπίστηκε για πρώτη φορά το 2014 στην Πιερία. Ο κύριος τρόπος εξάπλωσης του εντόμου σε μεγάλες αποστάσεις είναι μέσω της μετακίνησης φυτών προς φύτευση (νεαρά δενδρύλλια). Σε μικρές αποστάσεις εξαπλώνεται με ενεργή πτήση των ενηλίκων. (ΥΠ.Α.Α.Τ., 2015) (Emilie Demard et al., 2018) (Mojca Rot et al., 2016) (Alberto Alma et al., 2008)

Συμπτωματολογία & Επίδραση επί των Δένδρων

Χαρακτηριστικά συμπτώματα της προσβολής αποτελούν οι κηκίδες (Εικόνα 6.) σε νεαρά φύλλα, βλαστούς και οφθαλμούς. Στο αρχικό τους στάδιο το Καλοκαίρι δεν είναι ορατές και γίνονται αντιληπτές την επόμενη Άνοιξη. Αρχικώς έχουν κοκκινωπό χρώμα ενώ αργότερα αποκτούν πράσινο χρώμα. Μετά την έξοδο των ενηλίκων εμφανίζουν οπές (Οπές εξόδου) και αρχίζουν να σκουραίνουν. (ΥΠ.Α.Α.Τ., 2015) (Emilie Demard et al., 2018)

Τα ενήλικα εμφανίζονται εξερχόμενα από τις κηκίδες περίπου στα μέσα Ιουνίου – τέλος Ιουλίου και ωτοκοούν στους οφθαλμούς των νεαρών βλαστών των δένδρων. (“Σφήκα καστανιάς: Πώς θα εντοπίσετε τις προσβολές – Η αντιμετώπιση”) Η εκκόλαψη των προνυμφών πραγματοποιείται τέλη Ιουλίου – τέλη Αυγούστου. Οι νέες κηκίδες γίνονται εμφανείς από τον επόμενο Μάρτιο. Η ανάπτυξη της προνύμφης συνεχίζεται την επόμενη Άνοιξη, όπου και είναι πλέον ορατές οι κηκίδες. Το έντομο συνεχίζει την ανάπτυξή του μέχρι τις αρχές του θέρους όπου και εξέρχονται τα ενήλικα. (“Η Σφήκα της καστανιάς (*Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu)”) (ΥΠ.Α.Α.Τ., 2015) (Emilie Demard et al., 2018)



Συμπτώματα προσβολών (Κηκίδες)

Εικόνα 6: Κηκίδες που Προκλήθηκαν από την Δράση της Σφήκας της Καστανιάς (Αγροτικός Συνεταιρισμός - Ένωση Αγρινίου, 2023)

Αποτέλεσμα της εντομολογικής προσβολής είναι η μείωση παραγωγής κάστανων κατά (60 – 85)%, μείωση της ανάπτυξης και τελικά εξασθένιση των δένδρων. Στα αρχικά στάδια (Τέλη Καλοκαιριού – αρχές Φθινοπώρου) η προσβολή είναι δύσκολο να εντοπιστεί αφού μπορεί να ανιχνευθεί μόνο με εργαστηριακό έλεγχο των οφθαλμών. Αντιθέτως την Άνοιξη τα σημεία προσβολής είναι πολύ ευδιάκριτα. (ΥΠ.Α.Α.Τ., 2015) (Emilie Demard et al., 2018)

Μέσα, Μέθοδοι & Τρόποι Αντιμετώπισης

Εξαιτίας της βιολογίας του εντόμου, αλλά και άλλων παραγόντων, η αποκλειστική χρήση χημικών έχει περιορισμένα αποτελέσματα. Η εφαρμογή ψεκασμών φυλλώματος (όπου είναι δυνατή) κατά την περίοδο της εμφάνισης των ενηλίκων μπορεί να παρέχει κάποιου είδους προστασία. Η εφαρμογή ψεκασμών εναντίον των κηκίδων δεν εγγυάται την καταπολέμησή του. Στη χώρα μας δεν υπάρχουν εγκεκριμένα σκευάσματα για τον συγκεκριμένο εχθρό. Ειδικότερα σε καστανεώνες μεγάλης ηλικίας είναι πρακτικά αδύνατη η αντιμετώπιση των εντόμων. Σε νεαρούς καστανεώνες προτείνεται η μηχανική αφαίρεση και καταστροφή των κηκίδων πριν την έξοδο των ενηλίκων (από άνοιξη μέχρι αρχές καλοκαιριού). Μετά την έξοδο των ενηλίκων η αφαίρεση και καταστροφή των κηκίδων δεν εξυπηρετεί σε τίποτα. Βασικό στοιχείο για την πρόληψη της εξάπλωσης του σε νέες περιοχές είναι η αποφυγή της μεταφοράς του εντόμου με τις διάφορες ανθρωπογενείς δραστηριότητες όπως π.χ. τα μολυσμένα δενδρύλλια/εμβόλια. Ως μόνιμη και αποτελεσματική αντιμετώπιση του εντόμου θεωρείται η βιολογική καταπολέμηση με τη χρήση του παρασιτοειδούς εντόμου *Torymus sinensis*. Αυτό είναι ένα univoltine, ειδικό παρασιτοειδές ξενιστή, φαινολογικά συγχρονισμένο και μορφολογικά προσαρμοσμένο στο *Dryocosmus kuriphilus*. Έχει καλή ικανότητα διασποράς, συσσωρεύει πληθυσμούς γρήγορα και

ελέγχει αποτελεσματικά το παράσιτο ήδη λίγα χρόνια μετά την απελευθέρωση. (ΥΠ.Α.Α.Τ., 2015) (Emilie Demard et al., 2018) (Mojca Rot et al., 2016) (Alberto Alma et al., 2008)

Χ.: Συγκομιδή – Μηχανική Συγκομιδή

1.: Εποχή – Χρόνος Συγκομιδής

Οι καρποί συγκομίζονται από το έδαφος, ώριμοι το Φθινόπωρο (Αρχές Σεπτεμβρίου – τέλη Νοεμβρίου), όταν το εχινώδες περίβλημα σχιστεί, περιεκτικότητά τους σε υγρασία προσεγγίσει το 50% και όταν το χρώμα της ουλής του καρπού μετατραπεί από λευκό σε καστανόξανθο. (Γκουντάρας, 2012 σ. 30)

2.: Τρόποι Συγκομιδής

Στην Ελλάδα η συγκομιδή πραγματοποιείται σχεδόν αποκλειστικά με μεθόδους παραδοσιακές. Τα δένδρα δηλαδή τινάζονται, ραβδίζονται ή απλώς αφήνονται να ρίξουν μόνα τους τους καρπούς στο έδαφος και έτσι να συλλεχθούν από εκεί από τους εργάτες με το χέρι. Όσοι καρποί είναι σε χαμηλό ύψος πάνω στο δένδρο συγκομίζονται κατευθείαν από εκεί. Πρέπει να συγκομίζονται κάθε ημέρα την περίοδο της μαζικής πτώσης τους, εξ αιτίας της φθαρτότητας των καρπών αφενός, και των απωλειών, αφετέρου, από άγρια ζώα όπως οι αγριόχοιροι. Δεν στρώνεται κάλυμμα ή δίχτυ στο έδαφος, εν αντιθέσει με άλλα ακρόδρυα λόγω των σκουπιδιών που θα κατέληγαν εκεί (φύλλα, χώμα, πέτρες, τζούνες). Αυτές οι μέθοδοι είναι εντούτοις μειονεκτικές σε σχέση με άλλες διότι:

- I. Έχουν μικρή ταχύτητα εργασίας
- II. Η εργασία είναι κουραστική
- III. Είναι πιθανή η καταστροφή ημιμόνιμων καρποφόρων οργάνων
- IV. Έχει υψηλό κόστος λόγω των ημερομισθίων των εργατών

(Γκουντάρας, 2012 σ. 30) (Τσατσαρέλης, 2003 σ. 583 – 584) (Βασιλακάκης, 2018 σ. 171 – 173)

3.: Προβλήματα των Παραδοσιακών Μεθόδων Σήμερα & Ανάγκη Εκμηχάνισης



*Εικόνα 7: Παραδοσιακή Συγκομιδή Καστάνων
(www.iefimerida.gr, 2023)*

Το υψηλό κόστος των εργατικών μάλιστα αποτελεί κρίσιμο ζήτημα του ελληνικού πρωτογενούς τομέα διότι αποτελεί, μαζί με την ενέργεια (καύσιμα, ρεύμα) από τους μεγαλύτερους λόγους που τα ελληνικά αγροτικά προϊόντα είναι ακριβότερα από ξένα αντίστοιχα (Εικόνα 7.).

Οι σύγχρονες μέθοδοι μηχανικής συγκομιδής βασίζονται αρκετά στους δονητές, καθώς οι καρποί των ακροδρύων και δη της καστανιάς είναι ανθεκτικοί στις κρούσεις. Στο εξωτερικό μάλιστα, σχεδόν εξ ολοκλήρου βασίζονται στη συγκομιδή με δονητές. Αυτοί δονούν τα φυτά και κάνουν έτσι τους ώριμους καρπούς να πέσουν στο έδαφος, εξοικονομώντας έτσι χρόνο καθώς ο παραγωγός δεν περιμένει να πέσουν αυτοί φυσικά. Έπειτα, οι πεσμένοι καρποί συλλέγονται από το έδαφος με απορροφητήρες ή μηχανικούς συλλέκτες (Εικόνα 8.). Στρώνοντας καλύμματα επιταχύνεται η διαδικασία και γίνεται αποδοτικότερη. Προϋποθέσεις για την εφαρμογή μηχανικής συγκομιδής είναι:

- I. Μικρές κλίσεις εδάφους
- II. Κατάλληλη προετοιμασία εδάφους
- III. Ομοιόμορφη ωρίμανση καρπών
- IV. Χρήση μηχανημάτων με αρκετά μεγάλο βάρος

(Γκουντάρας, 2012 σ. 30), (Τσατσαρέλης, 2003 σ. 584)



Εικόνα 8: Μηχανική Συγκομιδή Κάστανων (www.mirmidones.gr, 2023)

XI.: Μετασυλλεκτικοί Χειρισμοί – Συντήρηση

1.: Λόγοι που Καθιστούν Αναγκαία την Συντήρηση

Λόγω της υψηλής περιεκτικότητας των καρπών σε νερό και υδατάνθρακες, συχνά έχουμε προσβολή των καρπών από μύκητες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα κάστανα προσβάλλονται από μύκητες που ευνοούνται από τις κακές συνθήκες που επικράτησαν κατά τη συγκομιδή (υγρασία, προσβολές από έντομα, σχίσιμο καρπών), από τις συνθήκες που επικράτησαν κατά την αποθήκευση. (Γκουντάρας, 2012 σ. 30 – 31)

2.: Μέθοδοι, Συνθήκες & Υλικά Συντήρησης



Εικόνα 9: Συλλεγμένα Κάστανα σε Κλούβες Επενδυμένες με Πλαστικό Φύλλο ώστε να Περιοριστούν οι Απώλειες σε Υγρασία, άρα και σε Βάρος, κατά την Αποθήκευση (www.iefimerida.gr, 2023)

Οι καρποί της καστανιάς συνήθως συντηρούνται τοποθετημένα σε διάτρητους σάκους πολυαιθυλενίου (PE) σε θερμοκρασία 0°C και σχετική υγρασία (RH) (85 – 90)% (Εικόνα 9.). Συσκευασμένα σε ημιδιαπερατή μεμβράνη, τροποποιημένη ατμόσφαιρα (10% διοξείδιο του άνθρακα – 10% οξυγόνο) σε θερμοκρασία 0°C συντηρούνται για διάστημα έξι μηνών. Εάν τα επίπεδα οξυγόνου πέσουν κάτω από 2% ευνοείται η αναερόβια αναπνοή και έχουμε υποβάθμιση ποιότητας καρπού. Η χαμηλή σχετική υγρασία προκαλεί απώλεια νερού του καρπού και συρρίκνωση. Αποφλοιωμένα και συσκευασμένα σε ημιδιαπερατή μεμβράνη στους 4°C διατηρούνται για τρεις μήνες. (Γκουντάρας 2012, σ. 31) (Βασιλακάκης, 2018 σ. 321 – 323)

Μπορούν επίσης να διατηρηθούν σε ψυγείο περίπου 6 μήνες εφόσον βέβαια δεν προσβληθούν από μύκητες. Επίσης, τα νωπά κάστανα μπορούν να συντηρηθούν σε οικιακό ψυγείο (4,5°C) επί 8 εβδομάδες, εφόσον δεν προσβληθούν από μύκητες. Εάν όμως οι καρποί αφυδατωθούν (μειώνουμε στο 10% υγρασία την υγρασία του σπόρου), τότε μπορούν να συντηρηθούν έως ένα έτος. Στην πορεία εφυγραίνονται εάν εμβάπτιστούν σε νερό εκτεθούν σε ατμό για 30 λεπτά της ώρας. Εμβάπτιση επί μία ώρα σε νερό θερμοκρασίας 60°C εμποδίζει την ανάπτυξη μυκήτων και τη σήψη των κάστανων χωρίς να επηρεάζεται ποιότητα τους. (Γκουντάρας, 2012 σ. 31) (Βασιλακάκης, 2006)

Β': Ερευνητικό – Πειραματικό Μέρος

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται οι τρόποι, οι μέθοδοι και τα εργαλεία που αξιοποιήθηκαν κατά την διάρκεια του πειράματος.

I.: Περίληψη

1.: Τοποθεσία & Ημερομηνία Διεξαγωγής Πειράματος

Το πείραμα έλαβε χώρα σε αγρό ευρισκόμενο στον Πρινιά, οικισμός του Δήμου Αγιάς, λίγα χιλιόμετρα μακριά από την Λάρισα (**39,642885°N 22,725115°E**) και σε μέσο υψόμετρο 253m από το επίπεδο της θάλασσας. Στον εν λόγω αγρό υπάρχουν εγκαταστάσεις στάγδην άρδευσης (σταλάκτες, σταλακτηφόροι αγωγοί κ.ά.) Η μελέτη διήρκησε από την Παρασκευή 28^η Απριλίου του έτους 2023 έως και το Σάββατο 28^η Οκτωβρίου του ίδιου έτους (**28/4/2023 – 28/10/2023**). Επιλέχθηκε αυτήν η περίοδος ώστε να γίνεται να μελετηθεί η καλλιέργεια από την στιγμή που η κασταριά αρχίζει να ανθίζει έως και το τέλος της συγκομιδής των κάστανων. Έχουμε έτσι συνολική εικόνα της συμπεριφοράς της σε σχέση με το κλίμα.

2.: Συνοπτική Περιγραφή Διαδικασιών

Αρχικά, την Παρασκευή 28^η Απριλίου του έτους 2023 (**28/4/2023**) ξεκίνησε η ταυτόχρονη εγκατάσταση του σταθμού βάσης, του μετεωρολογικού σταθμού και του αισθητήρα υγρασίας εδάφους στον υπό μελέτη αγρό. Την ίδια ημέρα ξεκίνησε η καταγραφή κλιματικών, μετεωρολογικών και εδαφολογικών δεδομένων από τα προαναφερθέντα συστήματα.

Έπειτα, ξανά την **28/4/2023**, πραγματοποιήθηκε η συλλογή δεδομένων φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας των υπό εξέταση σειρών του καστανώνα με το εξάρτημα *EM38 – Mk. 2*. Πραγματοποιήθηκε προχωρώντας πεζοί στον χώρο του πειράματος και ενώ αυτό κατέγραφε τα απαραίτητα δεδομένα.

Ύστερα, την Κυριακή 13^η Αυγούστου του έτους 2023 (**13/8/2023**) και την Κυριακή 20^η Αυγούστου του ίδιου έτους (**20/8/2023**) έγινε η συλλογή δεδομένων που απαιτούνταν για την εκτίμηση του συντελεστή ομοιομορφίας άρδευσης *Christiansen*. Αυτή έγινε χρησιμοποιώντας:

- I. Ογκομετρικό κύλινδρο
- II. Δοχείο
- III. Χρονόμετρο
- IV. Μικρό φυτό

Με το μικρό φυτό ανοιγόταν ένας μικρός λάκκος κάτω από τους σταλακτήρες των δένδρων ώστε όταν τοποθετούνταν το άδειο δοχείο, αυτό να μην επηρέαζε την θέση τους και άρα τις μετρήσεις μας. Ύστερα τοποθετούνταν το προαναφερθέν δοχείο στον λάκκο. Την ίδια στιγμή, με το χρονόμετρο μετρούνταν η πάροδος είκοσι δευτερολέπτων (20"). Όταν αυτά περνούσαν, απομακρυνόταν αμέσως το δοχείο από τον λάκκο. Τέλος, αδειάζονταν το περιεχόμενο νερό του στον ογκομετρικό κύλινδρο, παρατηρούνταν και καταγραφόταν ο συλλεχθείς όγκος νερού για πλήθος ενδεικτικού δείγματος σταλακτών.

Στο τέλος έγιναν συνολικά, στο μελετηθέν τμήμα, τέσσερις συγκομιδές, καθώς δεν ήταν ταυτόχρονα όλα τα κάστανα έτοιμα να συγκομιστούν. Αυτές πραγματοποιήθηκαν τις εξής ημερομηνίες:

- I. Τρίτη 10^η Οκτωβρίου 2023 (10/10/2023)
- II. Παρασκευή 13^η Οκτωβρίου 2023 (13/10/2023)
- III. Κυριακή 15^η Οκτωβρίου 2023 (15/10/2023)
- IV. Σάββατο 21^η Οκτωβρίου 2023 (21/10/2023)

Οι συγκομιδές έγιναν χειρωνακτικά, με παραδοσιακούς τρόπους. Οι εργάτες συνέλλεγαν τα κάστανα από το έδαφος και τα τοποθετούσαν στα δοχεία. Με μέθοδο που αναλύουμε παρακάτω, υπολογίστηκε πως κατά μέσο όρο, ένα δοχείο ζυγίζει 24,76kg. Εκμεταλλευόμενοι αυτό, αφήνονταν τα δοχεία στον αγρό εκεί όπου γέμιζαν. Ύστερα με την βοήθεια της εφαρμογής “*My GPS Coordinates*”, καταγράφονταν ο αριθμός και οι γεωγραφικές συντεταγμένες των δοχείων. Έτσι μπορούσαμε να γνωρίζουμε τα παραγωγικότερα και τα λιγότερο παραγωγικά σημεία του αγρού.

Η καταγραφή των δεδομένων παραγωγής έγινε ως εξής:

Αρχικά ζυγίζονταν ορισμένα δοχεία γεμάτα με κάστανα μεμονωμένα, ένα δοχείο την φορά δηλαδή. Έπειτα αφαιρούνταν το βάρος των δοχείων από το μεικτό ώστε να προκύψει το καθαρό (Μεικτό Βάρος = Καθαρό Βάρος – Βάρος Συσκευασίας). Κατόπιν υπολογίστηκε ο μέσος όρος των καθαρών βαρών (Μέσος Όρος Καθαρού Βάρους = Άθροισμα Καθαρών Βαρών / Σύνολο Δοχείων). Ο μέσος όρος γεμάτου δοχείου έτσι υπολογίστηκε στα 24,76kg. Άρα ένα δοχείο μισό γεμάτο είχε μάζα: $(24,76 / 2 = 12,38\text{kg})$

Καθ’ όλην την διάρκεια της συγκομιδής επίσης, ελήφθησαν τυχαία δείγματα κάστανων από τυχαίες θέσεις στον αγρό. Σκοπός της δειγματοληψίας αυτής ήταν η εκτίμηση της παραγωγής όχι μόνον από άποψη ποσότητας, αλλά και από άποψη ποιότητας. Μελετήθηκε δηλαδή το εμπορικό μέγεθος και η ποιότητα των κάστανων.

II.: Υλικά/ Εργαλεία Πειράματος

Καθώς το πείραμα έχει να κάνει με άρδευση ακριβείας, τον υπολογισμό εξατμισοδιαπνοής και την δημιουργία γραφήματος για την Kc στην καλλιέργεια της καστανιάς, χρειαζόντουσαν οπωσδήποτε όργανα μέτρησης των παραγόντων που επηρεάζουν την άρδευση και την evapotranspiration. Τα όργανα αυτά τα προμήθευσε η **AGENSO S.A.** (AGricultural & ENvironmental SOlutions). Τα δεδομένα και τα αποτελέσματα των μετρήσεών τους ήταν διαθέσιμα μέσω της πλατφόρμας/ εφαρμογής τους για κινητά ονόματι **ardeusi.gr**.

Αξιοποιήθηκαν εντούτοις και όργανα που δε σχετίζονται με τα παραπάνω, όπως π.χ. όργανα μέτρησης την φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Χρειάστηκε η λήψη τέτοιων δεδομένων διότι δείχνουν την ποιότητα του αρδευτικού νερού που παρέχουμε στα φυτά, κάτι που φυσικά επηρεάζει την υγεία και την παραγωγή τους, άρα και τις παραμέτρους του πειράματος.

1.: Σταθμός Βάσης



Εικόνα 10: Σταθμός Βάσης (www.agenso.gr, 2023)

Με σύνδεση 4G/3G/GPRS, σύστημα GNSS/GPS, επαναφορτιζόμενη μπαταρία, φωτοβολταϊκό πάνελ και οθόνη προβολής μετρήσεων (Εικόνα 10.). (agenso.gr, 2023) (ardeusi.gr, 2023)

2.: Μετεωρολογικός Σταθμός



Εικόνα 11: Μετεωρολογικός Σταθμός (www.agenso.gr, 2023)

Με αισθητήρες μεγάλης ακρίβειας (Εικόνα 11.) για τον προσδιορισμό των παραμέτρων που επιδρούν στην άρδευση όπως:

- I. **Θερμοκρασία**
- II. **Υγρασία**
- III. **Βροχοπτώσεις**
- IV. **Ταχύτητα ανέμου**
- V. **Κατεύθυνση ανέμου**
- VI. **Ριπή ανέμου**
- VII. **Δείκτης υπεριώδους ακτινοβολίας (UV)**
- VIII. **Βαρομετρική πίεση**
- IX. **Σημείο δρόσου**
- X. **Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας**

Τα δεδομένα αυτά ενημερώνονται σε πραγματικό χρόνο (agenso.gr, 2023) (ardeusi.gr, 2023)

3.: Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους



Εικόνα 12: Αισθητήρας Υγρασίας Εδάφους (www.agenso.gr, 2023)

Για τον υπολογισμό της πραγματικά αποθηκευμένης στο έδαφος ποσότητας νερού (Εικόνα 12.) με αισθητήρα ακρίβειας $\pm 0,03 \text{ m}^3/\text{m}^3$. (agenso.gr, 2023) (ardeusi.gr, 2023)

4.: Μετρητής Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας EM38 – Mk. 2



Εικόνα 13: Μετρητής Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας EM38 – Mk. 2 (Geomatrix Earth Science Ltd.)

Η συσκευή αυτή αποτελείται από 2 δίπολα – πηνία που απέχουν μεταξύ τους (0,5 – 1)cm (Εικόνα 13.). Το ένα, ο πομπός, δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και το άλλο, ο δέκτης, λαμβάνει και μετρά το αντίστοιχο πεδίο που δημιουργεί το εισερχόμενο στο έδαφος ηλεκτρικό ρεύμα. Πραγματοποιούμε έτσι μετρήσεις σε βάθος εδάφους (0,75 – 1,5)m. (Geomatrix Earth Science Ltd.) (σ. 29 – 30) (Schneider et al., 2014 σ. 373 – 378) (Schneider, 2023)

5.: Λογισμικό/ Πρόγραμμα «ArcMap ver. 10.8.1» της ESRI

Για την απεικόνιση και την χαρτογράφηση δεδομένων (GIS), χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό αυτό. Μεταφέροντας δεδομένα από αρχεία excel σε αυτήν, εύκολα, γρήγορα και κυρίως αποτελεσματικά, γινόταν να προβληθούν τα δεδομένα ηλεκτρικής αγωγιμότητας και παραγωγής κάστανων σε απλούς και ευανάγνωστους χάρτες.

6.: Android Εφαρμογή «My GPS Coordinates ver. 5.21 (296) » της Android Apps & Tools

Για την συλλογή και λήψη γεωγραφικών συντεταγμένων και δεδομένων χρησιμοποιήθηκε αυτήν η εφαρμογή. Γινόταν λήψη φωτογραφίας μέσω της συσκευής. Έπειτα η εφαρμογή ανέγραφε σε κείμενο επί της φωτογραφίας τις συντεταγμένες του σημείου. Αυτή αξιοποιεί δεδομένα παρεχόμενα από τα G.N.S.S. (Global Navigation Satellite System):

- I. WGS84
- II. G.P.S. (Global Positioning System)

7.: Πρόγραμμα «Climate Engine.org» με Δεδομένα Από ECMWF ERA5 (AgERA5)

Τα εργαλεία Climate Engine χρησιμοποιούν το Google Earth Engine για επεξεργασία κατ' απαίτηση δορυφορικών και κλιματικών δεδομένων σε ένα πρόγραμμα περιήγησης ιστού και διαθέτουν χαρτογράφηση κατ' απαίτηση συνόλων δεδομένων περιβαλλοντικής παρακολούθησης, όπως τηλεπισκόπηση και πλέγματος μετεωρολογικές παρατηρήσεις. Με πλήρως προσαρμόσιμες αναλύσεις, η εφαρμογή Climate Engine επιτρέπει στον χρήστη να παράγει χάρτες και περιλήψεις χρονοσειρών από αυτά τα σύνολα δεδομένων. (climateengine.org, 2023)

Για τις ανάγκες του πειράματος, το dataset που χρησιμοποιήθηκε ήταν αυτό του ECMWF ERA5 (AgERA5 ή ERA5 AG). Αυτό το σύνολο δεδομένων παρέχει καθημερινά επιφανειακά μετεωρολογικά δεδομένα από το 1979 έως και σήμερα για τη γεωργία και τις αγροοικολογικές μελέτες. Αυτό το σύνολο δεδομένων βασίζεται στα ωριαία δεδομένα ECMWF ERA5 σε επίπεδο επιφάνειας και αναφέρεται ως AgERA5. Η απόκτηση και η προεπεξεργασία των αρχικών δεδομένων ERA5 είναι μια πολύπλοκη και εξειδικευμένη εργασία. Παρέχοντας το σύνολο δεδομένων AgERA5, οι χρήστες απαλλάσσονται από αυτήν την εργασία και μπορούν να ξεκινήσουν άμεσα με ουσιαστικές πληροφορίες για τις αναλύσεις και τη μοντελοποίησή τους. Για το σκοπό αυτό, οι μεταβλητές που παρέχονται σε αυτό το σύνολο δεδομένων ταιριάζουν με τις ανάγκες δεδομένων των περισσότερων γεωργικών και αγροοικολογικών μοντέλων. ([Copernicus Climate Change Service \(C3S\)](https://climate.copernicus.eu), 2017), (climateengine.org, 2023), (cds.climate.copernicus.eu, 2023)

Τα δεδομένα συγκεντρώνονται σε καθημερινά χρονικά βήματα στην τοπική ζώνη ώρας και διορθώνονται προς μια ακριβέστερη τοπογραφία σε χωρική ανάλυση $0,1^\circ$. Η διόρθωση στο πλέγμα $0,1^\circ$ πραγματοποιήθηκε με την εφαρμογή εξισώσεων παλινδρόμησης πλέγματος και μεταβλητής στο σύνολο δεδομένων ERA5 που παρεμβάλλεται σε πλέγμα $0,1^\circ$. Οι εξισώσεις εκπαιδεύτηκαν στο επιχειρησιακό ατμοσφαιρικό μοντέλο υψηλής ανάλυσης του ECMWF (HRES) σε ανάλυση $0,1^\circ$. Με αυτόν τον τρόπο τα δεδομένα συντονίζονται στην πιο ακριβή τοπογραφία, το πιο ακριβές μοτίβο χρήσης γης και την καλύτερη οριοθέτηση ξηράς – θαλάσσης του μοντέλου ECMWF HRES. ([Copernicus Climate Change Service \(C3S\)](https://climate.copernicus.eu), 2017), (climateengine.org, 2023), (cds.climate.copernicus.eu, 2023)

Τα δεδομένα παράγονται για λογαριασμό της Υπηρεσίας Κλιματικής Αλλαγής Copernicus. ([Copernicus Climate Change Service \(C3S\)](https://climate.copernicus.eu), 2017), (climateengine.org, 2023), (cds.climate.copernicus.eu, 2023)

II.: Επιστημονικές Μέθοδοι

1.: Εξατμισοδιαπνοή Καλλιεργειών [Evapotranspiration (ET)]

Εξατμισοδιαπνοή καλλιέργειας ορίζεται η διαδικασία με την οποία το νερό μεταφέρεται στην ατμόσφαιρα μέσω της *εξάτμισης* (*evaporation*) του από τις διάφορες επιφάνειες του αγρού, όπως το έδαφος και τα φύλλα, όταν αυτά είναι υγρά και μέσω της *διαπνοής* (*transpiration*) των καλλιεργούμενων φυτών. Αντιπροσωπεύει επίσης την ποσότητα του απωλεσθέντος αυτού νερού. Αποτελεί σημαντικότατο δείκτη για τις καλλιέργειες και την άρδυσή τους, καθώς μετρά την αναγκαία ποσότητα νερού που αυτές απαιτούν. (Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, 2014 σ. 279 – 281)

Ουσιαστικά είναι το νερό που χρησιμοποιείται για τη φυτική παραγωγή. Αυτός είναι ένας συνδυασμός νερού που χάνεται από την εξάτμιση από την επιφάνεια του εδάφους και τη διαπνοή από το φυτό, που συμβαίνει ταυτόχρονα. Εκτός από τη μοντελοποίηση, η διάκριση μεταξύ των δύο διαδικασιών είναι δύσκολη. (English, 1990) (Geerts et al., 2009)

Επηρεάζεται από δύο κατηγορίες παραγόντων:

- I. Τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας, όπως το φύλλωμά της το οποίο επηρεάζει το ποσοστό εδαφοκάλυψης
- II. Τις εξής μετεωρολογικές μεταβλητές:
 1. Θερμοκρασία ατμόσφαιρας: Όσο υψηλότερη είναι, τόσο υψηλότερος είναι και ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής
 2. Υγρασία ατμόσφαιρας – Πίεση υδρατμών: Με αύξησή της, η εξατμισοδιαπνοή μειώνεται
 3. Ταχύτητα ανέμου: Υψηλές ταχύτητες ανέμου συνεπάγονται υψηλή ET
 4. Ηλιακή ακτινοβολία: Όσο αυξάνεται, τόσο μεγαλώνει και ο ρυθμός εξατμισοδιαπνοής

(Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, 2014 σ. 282)

Αγρομετεωρολογικοί Παράγοντες

Πως ακριβώς όμως επηρεάζουν οι μετεωρολογικοί παράγοντες την ροή του νερού στις καλλιέργειες και γιατί;

Η θερμοκρασία και η υγρασία της ατμόσφαιρας επηρεάζουν με παρόμοιο τρόπο την ET. Έχουμε ένα σύστημα, νερό (υγρή φάση) και αέρας (αέρια φάση). Μεταξύ τους υπάρχει συνεχής αμφίδρομη ροή μορίων νερού. Από την Χημεία είναι γνωστό πως, όταν ένα σύστημα θερμαίνεται τα μόρια γίνονται κινητικότερα και οι αντιδράσεις ταχύτερα. Έτσι γίνεται και με την εξάτμιση του νερού, αν την θεωρήσουμε σαν αντίδραση. Έτσι γίνεται και με την υγρασία, η οποία μεταβάλλει τις συγκεντρώσεις των «αντιδρώντων» και που με την σειρά τους επηρεάζουν την ροή. Όσο μικρότερη είναι η συγκέντρωση νερού στον αέρα (αέρια φάση), τόσο αυξάνεται η ροή από την υγρή φάση προς αυτόν και αντίστροφα. Όταν είναι ίσες οι ροές αυτές μεταξύ τους, μιλάμε για ισορροπία και κορεσμό του συστήματος, δηλαδή για 100% υγρασία. (Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, 2014 σ. 283 – 285)

Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου, πρέπει να αναφερθεί πως **οι μετρήσεις, τόσο για αυτήν όσο και για τον υπολογισμό της ET συνολικά, γίνονται στα 2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους του αγρού**. Αυτό γίνεται διότι με την μεταβολή του υψόμετρου επηρεάζονται όλες οι προαναφερθείσες μετεωρολογικές μεταβλητές, ειδικά η ταχύτητα του ανέμου. Έτσι, επειδή ακριβώς στην επιφάνειά του (0m) το έδαφος είναι φυτοκαλυμμένο και άρα η ταχύτητα του ανέμου σχεδόν 0m/s (μηδενικό επίπεδο), ορίστηκαν τα 2m ως σημείο αναφοράς. (Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, 2014 σ. 287)

Τέλος, η ηλιακή ακτινοβολία έχει τον ρόλο του δότη ενέργειας στην όλη διαδικασία. Η εξάτμιση, για να πραγματοποιηθεί απαιτεί θερμική ενέργεια η οποία παρέχεται από τον Ήλιο στην προκειμένη περίπτωση. Αυτή ονομάζεται **εξωγήινη ακτινοβολία (Extraterrestrial radiation)**. Όμως, δεν φτάνει στο έδαφος όλη αυτή η ακτινοβολία.

Νέφη/ Σύννεφα, σκόνη, άλλα σωματίδια, καπνός και τα αέρια που απορροφούν ακτινοβολία, περιορίζουν το φως που εν τέλει φτάνει στην επιφάνεια της Γης. Ακόμη κι εκεί όμως υπάρχουν απώλειες, κυρίως λόγω της αντανάκλασης από τα αντικείμενα – στοιχεία του περιβάλλοντος. Έτσι, μικρό ποσό της συνολικής επιδρά στα φυτά, άρα και στην διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής. (Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, 2014 σ. 288 – 292)

Μέθοδοι Υπολογισμού

Αν και υπάρχουν άμεσες μέθοδοι μέτρησης της εξατμισοδιαπνοής, συνήθως χρησιμοποιούνται οι έμμεσες/ μαθηματικές μέθοδοι, οι οποίες απαιτούν τον ορισμό μιας καλλιέργειας ως καλλιέργειας αναφοράς. Παρατίθενται παρακάτω οι τρόποι με τους οποίους υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή.

FAO – 56 Penman – Monteith (1998)

$$ET0 = [0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot (900 / (T + 273)) \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)] / [\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)]$$

όπου:

- **ET0** = Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm/ημέρα)
- **0,408** = Σταθερά μετατροπής ακτινοβολίας (MJ/m² ανά ημέρα) σε ισοδύναμο ύψος εξατμιζόμενου νερού (mm/ημέρα) (MJ/m² ανά ημέρα -> mm/ημέρα)
- **Δ** = Κλίση της καμπύλης στην σχέση πίεσης κορεσμού υδρατμών – θερμοκρασίας (kPa/.C)
- **Rn** = Καθαρή ακτινοβολία (MJ/m² ανά ημέρα)
- **G** = Κατακόρυφη ροή ενέργειας από το έδαφος που μετατρέπεται σε λανθάνουσα θερμική ενέργεια (MJ/m² ανά ημέρα)
- **γ** = Ψυχομετρική σταθερά (kPa/.C)
- **900** = Συντελεστής καλλιέργειας αναφοράς
- **T** = Μέση ημερήσια θερμοκρασία (.C)
- **0,34** = Συντελεστής ταχύτητας ανέμου για την καλλιέργεια αναφοράς
- **U2** = Μέση ταχύτητα ανέμου σε ύψος 2m από την εδαφική επιφάνεια (m/s)
- **es** = Πίεση κορεσμού υδρατμών (kPa)
- **ea** = Πραγματική πίεση υδρατμών (kPa)
- **(es-ea)** = Έλλειμμα πίεσης κορεσμένων υδρατμών

(Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, 2014 σ. 307 – 308)

FAO – 56 Penman – Monteith (1998) με Ελλιπή Δεδομένα

Είναι όμοια με την FAO – 56 Penman – Monteith (1998) μόνον που αντί για δεδομένα καθαρής ακτινοβολίας (Rn), δίνονται δεδομένα προσπίπτουσας ακτινοβολίας (Rs). Η τελευταία υπολογίζεται ως εξής:

$$Rs = kRs \cdot Ra \cdot \sqrt{T_{max} - T_{min}}$$

όπου:

- **Rs** = Προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (MJ/m² ανά ημέρα)
- **kRs** = Συντελεστής προσαρμογής, ο οποίος έχει τιμές από 0,16 – 0,19 (.C⁻ (-0,5)). 0,16 έχει σε ορεινές περιοχές και 0,19 σε παραθαλάσσιες
- **Tmax** = Μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (.C)

- **Tmin** = Ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία(.C)

Έτσι, σύμφωνα με τα παραπάνω, η FAO – 56 Penman – Monteith (1998) μετατρέπεται ως εξής:

$$ET0 = [0,408 \cdot \Delta \cdot (R_s - G) + \gamma \cdot (900 / (T + 273)) \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)] / [\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)]$$

(Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, 2014 σ. 308 – 309)

Hargreaves – Samani (1985)

Χρησιμοποιείται μόνον για τον υπολογισμό ημερήσιας εξατμισοδιαπνοής αναφοράς και απαιτεί δεδομένα μέγιστης και ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας. Μας εξυπηρετεί όταν λείπουν δεδομένα δύσκολα στην συλλογή, όπως ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου και υγρασία. Ο μαθηματικός της τύπος είναι:

$$ET0 = 0,0023 \cdot 0,408 \cdot R_a \cdot (T_{mean} + 17,8) \cdot [(T_{max} - T_{min})^{0,5}]$$

όπου:

- **ET0** = Εξατμισοδιαπνοή αναφοράς (mm/ημέρα)
- **0,408** = Σταθερά μετατροπής ακτινοβολίας (MJ/m² ανά ημέρα) σε ισοδύναμο ύψος εξατμιζόμενου νερού (mm/ημέρα) (MJ/m² ανά ημέρα -> mm/ημέρα)
- **Ra** = Εξωγήινη ηλιακή ακτινοβολία (MJ/m² ανά ημέρα)
- **Tmean** = Μέση ημερήσια θερμοκρασία (.C)
- **Tmax** = Μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (.C)
- **Tmin** = Ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (.C)

(Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος, 2014 σ. 309)

Συντελεστής Καλλιέργειας (Crop Coefficient)

Το Kc είναι ο συντελεστής καλλιέργειας για μια δεδομένη καλλιέργεια και συνήθως προσδιορίζεται πειραματικά. Οι τιμές Kc αντιπροσωπεύουν τις ολοκληρωμένες επιδράσεις από:

- I. Τις αλλαγές στην φυλλική επιφάνεια
- II. Το ύψος του φυτού
- III. Τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας
- IV. Την μέθοδο άρδευσης
- V. Το ρυθμό ανάπτυξης της καλλιέργειας
- VI. Την ημερομηνία φύτευσης
- VII. Τον βαθμό κάλυψης του θόλου
- VIII. Την αντοχή του θόλου
- IX. Τις συνθήκες του εδάφους και του κλίματος
- X. Τις πρακτικές διαχείρισης

(Irmak, 2008)

Κάθε καλλιέργεια θα έχει ένα σύνολο συγκεκριμένων καλλιεργητικών συντελεστών και θα προβλέπει διαφορετική χρήση νερού για διαφορετικές καλλιέργειες για διαφορετικά στάδια ανάπτυξης. (Irmak, 2008)

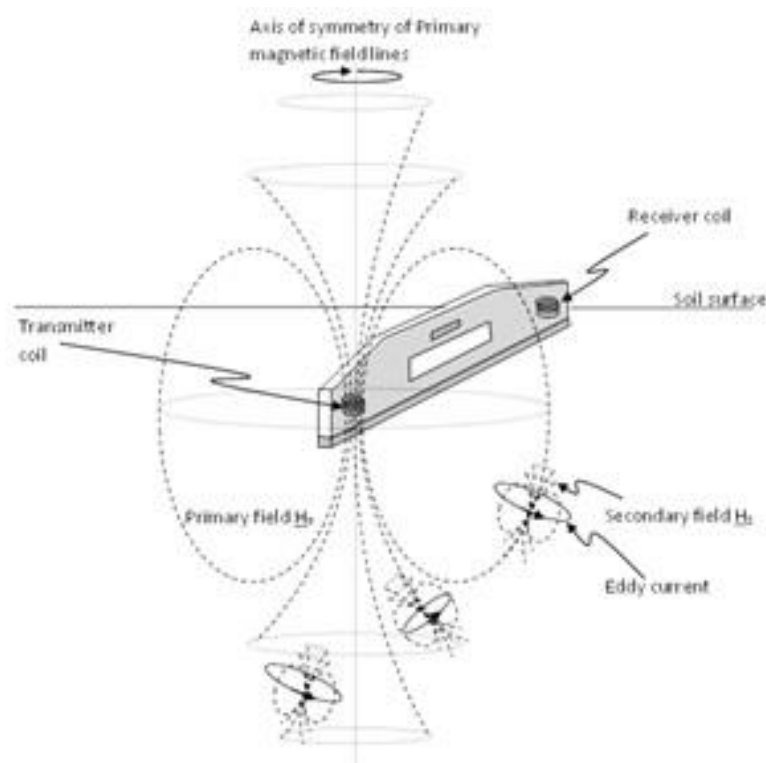
Οι αλλαγές στη βλάστηση και την κάλυψη του εδάφους σημαίνουν ότι ο συντελεστής καλλιέργειας K_c ποικίλλει κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Οι τάσεις σε K_c κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου αντιπροσωπεύονται από την καμπύλη του συντελεστή καλλιέργειας. Απαιτούνται μόνο τρεις τιμές για το K_c για την περιγραφή και την κατασκευή της καμπύλης του συντελεστή καλλιέργειας:

- I. Κατά το αρχικό στάδιο ($K_{c \cdot initial}$)
- II. Κατά το στάδιο της μέσης περιόδου ($K_{c \cdot mid}$)
- III. Κατά το τέλος του σταδίου της τελευταίας σεζόν ($K_{c \cdot end}$)

(Upadhyay et al., 2017)

Οι συντελεστές καλλιέργειας ενσωματώνουν τα αποτελέσματα τόσο της διαπνοής όσο και της εξάτμισης με την πάροδο του χρόνου. Τα αποτελέσματα της ενσωμάτωσης με την πάροδο του χρόνου αντιπροσωπεύουν μια μέση συχνότητα διαβροχής για μια «τυποποιημένη» καλλιέργεια υπό τυπικές συνθήκες καλλιέργειας σε αρδευόμενο περιβάλλον. Οι τιμές για K_c κατά τα αρχικά στάδια και τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας υπόκεινται στις επιπτώσεις μεγάλων διακυμάνσεων στις συχνότητες διαβροχής, επομένως πρέπει πάντα να γίνονται βελτιώσεις της τιμής που χρησιμοποιείται για το $K_{c \cdot initial}$. Για συχνή διαβροχή, όπως πότισμα με καταιονισμό υψηλής συχνότητας ή βροχόπτωση, οι τιμές για το $K_{c \cdot initial}$ μπορεί να αυξηθούν σημαντικά. (Upadhyay et al., 2017)

2.: Χαρτογράφηση Φαινόμενης/ Φαινομενικής Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας με Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή



Εικόνα 14: Αρχή Λειτουργίας της Μέτρησης Φαινόμενης/ Φαινομενικής Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας με Ηλεκτρομαγνητική Επαγωγή (University of New England)

Φαινόμενη/ Φαινομενική ηλεκτρική αγωγιμότητα ορίζεται η ικανότητα ενός διαλύματος (αρδευτικό νερό και έδαφος) να επιτρέπει την ροή ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από την μάζα του. Χρειάζεται να την γνωρίζουμε στην γεωργία διότι βοηθά στην:

- I. Εύρεση υφής του εδάφους
- II. Πρόβλεψη της παραγωγής
- III. Στοχευμένη δειγματοληψία εδάφους
- IV. Πληροφόρηση των θρεπτικών αναγκών των φυτών

(Λιάκος, 2013)

Η μέτρηση μέσω ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής βασίζεται στην επίδραση του εδάφους σε κάποιο μαγνητικό πεδίο (Εικόνα 14.). Όπως αναφέραμε και στην περιγραφή του EM38 – Mk. 2, υπάρχουν 2 πηνία που δημιουργούν και μετρούν ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.

(Geomatrix Earth Science Ltd.) (Λιάκος, 2013) (Schneider et al., 2014 σ. 373 – 378)
(Schneider, 2023)

Για τις ανάγκες του πειράματος λοιπόν, χρειάστηκε η χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του αγρού. Αυτό διότι μελετιέται η συσχέτιση και η επίδραση της στην παραγωγή κάστανων. Έτσι, πεζοπορήθηκαν οι σειρές δένδρων του πειράματος κρατώντας τον EM38, ενώ αυτός κατέγραφε τις τιμές στον αγρό.

3.: Ελλειμματική Άρδευση [Deficit Irrigation (DI)]

Ορισμός

Η ελλειμματική άρδευση είναι μια στρατηγική βελτιστοποίησης της καλλιεργητικής τεχνικής. Σε αυτήν, το νερό εφαρμόζεται κατά τη διάρκεια των ευαίσθητων στην ξηρασία σταδίων ανάπτυξης μιας καλλιέργειας. Εκτός αυτών των περιόδων, η άρδευση είναι περιορισμένη ή και περιττή, εάν οι βροχοπτώσεις παρέχουν μια ελάχιστη ποσότητα νερού. Η συνολική εφαρμογή άρδευσης δεν είναι ανάλογη με τις απαιτήσεις άρδευσης σε όλο τον κύκλο της καλλιέργειας.

Στόχοι & Σκοποί

Ενώ αυτό αναπόφευκτα οδηγεί σε στρες ξηρασίας στα φυτά και κατά συνέπεια σε απώλεια παραγωγής, η ελλειμματική άρδευση μεγιστοποιεί την απόδοση αξιοποίησης του νερού άρδευσης, που είναι ο κύριος περιοριστικός παράγοντας. Με άλλα λόγια, η ελλειμματική άρδευση στοχεύει στη σταθεροποίηση των αποδόσεων και στην επίτευξη της μέγιστης οικονομίας του νερού των καλλιεργειών παρά στη μέγιστη απόδοση. (English, 1990) (Geerts et al., 2009)

Αποδοτικότητα Χρήσης Νερού Καλλιεργειών [Water Use Efficiency (WUE)]

Στην Deficit Irrigation, σημαντικός παράγοντας είναι και η παραγωγικότητα του νερού των καλλιεργειών (WP) ή η αποδοτικότητα χρήσης νερού (WUE). Αυτή εκφράζεται σε kg/m^3 και είναι ένας όρος απόδοσης, ο οποίος εκφράζει την ποσότητα του εμπορεύσιμου προϊόντος (π.χ. kg κάστανων) σε σχέση με την ποσότητα εισροών που απαιτείται για την παραγωγή αυτής της παραγωγής (m^3 νερού). (English, 1990) (Geerts et al., 2009)

Δεδομένου ότι η αντοχή στην ξηρασία ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με τον γονότυπο και το φαινολογικό στάδιο, η ελλειμματική άρδευση απαιτεί ακριβή γνώση της απόκρισης της καλλιέργειας στην καταπόνηση ξηρασίας για κάθε ένα από τα στάδια ανάπτυξης. (Geerts et al., 2009)

Επιπλέον, η σωστή εφαρμογή της απαιτεί μια ενδελεχή αξιολόγηση του οικονομικού αντίκτυπου της μείωσης της απόδοσης που προκαλείται από το στρες ξηρασίας. Σε περιοχές όπου το νερό είναι ο πιο περιοριστικός παράγοντας, η μεγιστοποίηση της οικονομίας νερού μπορεί να είναι οικονομικά πιο κερδοφόρα για τον αγρότη από τη μεγιστοποίηση των αποδόσεων. Για παράδειγμα, το νερό που εξοικονομείται με αυτήν την μέθοδο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άρδευση περισσότερων εκτάσεων (στο ίδιο αγρόκτημα ή στην κοινότητα του χρήστη νερού), το οποίο – δεδομένου του υψηλού κόστους ευκαιρίας του νερού – μπορεί να αντισταθμίσει σε μεγάλο βαθμό την οικονομική απώλεια λόγω μείωσης της απόδοσης. (English 1990) (Geerts et al., 2009)

Πλεονεκτήματα της Ελλειμματικής Άρδευσης [Deficit Irrigation (DI)]

- I. Μεγιστοποιεί την παραγωγικότητα του νερού, γενικά με επαρκή ποιότητα συγκομιδής.
- II. Επιτρέπει οικονομικό σχεδιασμό και σταθερό εισόδημα λόγω σταθεροποίησης της συγκομιδής σε σύγκριση με την καλλιέργεια βροχής.
- III. Μειώνει τον κίνδυνο ορισμένων ασθενειών που συνδέονται με την υψηλή υγρασία (π.χ. μυκητολογικές) σε σύγκριση με την πλήρη άρδευση

- IV. Μειώνει την απώλεια θρεπτικών ουσιών με την έκπλυση της ζώνης της ρίζας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη ποιότητα των υπόγειων υδάτων και χαμηλότερες ανάγκες σε λίπανση
- V. Βελτιώνει τον έλεγχο της ημερομηνίας σποράς και της διάρκειας της καλλιεργητικής περιόδου ανεξάρτητα από την έναρξη της περιόδου των βροχών και ως εκ τούτου βελτιώνει τον αγροτικό σχεδιασμό.

(Mustafa Ünlü et al., 2006) (R.K. Pandey et al., 2000) (Geerts et al., 2008)

Εάν οι καλλιέργειες έχουν ορισμένες φαινολογικές φάσεις στις οποίες είναι ανεκτικές στο υδατικό στρες, η ελλειμματική άρδευση μπορεί να αυξήσει την αναλογία απόδοσης σε σχέση με την κατανάλωση νερού της καλλιέργειας (εξατμισοδιαπνοή) είτε μειώνοντας την απώλεια νερού από μη παραγωγική εξάτμιση είτε αυξάνοντας το ποσοστό εμπορεύσιμης απόδοσης στην πλήρως παραγόμενη βιομάζα (δείκτης συγκομιδής) είτε με την αποφυγή κακών συνθηκών στον αγρό κατά την ανάπτυξη της καλλιέργειας, όπως η συσσώρευση νερού στο ριζικό στρώμα, παράσιτα, ασθένειες κ.λπ. (Geerts et al., 2009) (Steduto et al., 2005) (Steduto et al, 2007)

Ο πειραματισμός στον αγρό είναι απαραίτητος για τη σωστή εφαρμογή του DI για μια συγκεκριμένη καλλιέργεια σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Επιπλέον, η προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου του εδάφους και της σχετικής ανάπτυξης των καλλιεργειών (μοντελοποίηση παραγωγικότητας του νερού των καλλιεργειών) μπορεί να είναι ένα πολύτιμο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων. Με τη συνδυαστική προσομοίωση των επιδράσεων διαφορετικών παραγόντων που επηρεάζουν (κλίμα, έδαφος, διαχείριση, χαρακτηριστικά καλλιεργειών) στη φυτική παραγωγή, τα μοντέλα επιτρέπουν:

- I. Να κατανοήσουν καλύτερα τον μηχανισμό πίσω από τη βελτιωμένη απόδοση χρήσης του νερού
- II. Να προγραμματίσουν τις απαραίτητες εφαρμογές άρδευσης κατά τη διάρκεια της ευαίσθητα στην ξηρασία στάδια ανάπτυξης καλλιεργειών, λαμβάνοντας υπόψη την πιθανή μεταβλητότητα του κλίματος
- III. Δοκιμή στρατηγικών DI συγκεκριμένων καλλιεργειών σε νέες περιοχές
- IV. Διερεύνηση των επιπτώσεων μελλοντικών κλιματικών σεναρίων ή σεναρίων αλλαγών πρακτικών διαχείρισης στη φυτική παραγωγή.

5.: Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης [Normalised Difference Vegetation Index (NDVI)]

Ορισμός

Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI) είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέτρηση για την ποσοτικοποίηση της υγείας και της πυκνότητας της βλάστησης χρησιμοποιώντας δεδομένα αισθητήρων. Υπολογίζεται από φασματομετρικά δεδομένα σε δύο συγκεκριμένες ζώνες: το ερυθρό και το εγγύς υπέρυθρο (NIR). Τα φασματομετρικά δεδομένα προέρχονται συνήθως από απομακρυσμένους αισθητήρες, όπως δορυφόρους ή drones. (Weier & Herring, 2000)

Ερμηνεία Δείκτη

Η μέτρηση είναι δημοφιλής στη βιομηχανία λόγω της ακρίβειάς της. Έχει υψηλή συσχέτιση με την πραγματική κατάσταση της βλάστησης στο έδαφος. Ο δείκτης είναι εύκολο να ερμηνευτεί: Το NDVI θα είναι μια τιμή μεταξύ -1 και +1 (-1 - +1). Μια

περιοχή που δεν αναπτύσσεται τίποτα σε αυτήν θα έχει τιμή δείκτη μηδέν (0). Το NDVI θα αυξηθεί ανάλογα με την ανάπτυξη της βλάστησης. Μια περιοχή με πυκνή, υγιή βλάστηση θα έχει τιμή ίση με ένα (+1). Τιμές NDVI μικρότερες από 0 (<0) υποδηλώνουν έλλειψη ξηρής γης. Ένας ωκεανός θα δώσει τιμή μείον ένα (-1). (Weier & Herring, 2000)

Μηχανισμός Λειτουργίας

Τα ζωντανά πράσινα φυτά απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία στη φασματική περιοχή της φωτοσυνθετικά ενεργής ακτινοβολίας (PAR), την οποία χρησιμοποιούν ως πηγή ενέργειας στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Τα κύτταρα των φύλλων έχουν επίσης εξελιχθεί για να εκπέμπουν εκ νέου ηλιακή ακτινοβολία στην φασματική περιοχή του εγγύς υπέρυθρου (η οποία μεταφέρει περίπου το ήμισυ της συνολικής εισερχόμενης ηλιακής ενέργειας), επειδή η ενέργεια φωτονίων σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από περίπου 700nm είναι πολύ μεγάλη για να συνθέσει οργανικά μόρια. Μια ισχυρή απορρόφηση σε αυτά τα μήκη κύματος θα είχε ως αποτέλεσμα την υπερθέρμανση του φυτού και πιθανώς την καταστροφή των ιστών. Ως εκ τούτου, τα ζωντανά πράσινα φυτά εμφανίζονται σχετικά σκούρα στο PAR και σχετικά φωτεινά στο εγγύς υπέρυθρο (NIR). Αντίθετα, άλλα στοιχεία του περιβάλλοντος, όπως τα σύννεφα και το χιόνι, τείνουν να είναι μάλλον φωτεινά στο ερυθρό (καθώς και άλλα ορατά μήκη κύματος) και αρκετά σκοτεινά στο εγγύς υπέρυθρο (NIR). Η χρωστική ουσία στα φύλλα των φυτών, η χλωροφύλλη, απορροφά έντονα το ορατό φως (400 – 700)nm για χρήση στη φωτοσύνθεση. Η κυτταρική δομή των φύλλων, από την άλλη πλευρά, αντανακλά έντονα το εγγύς υπέρυθρο φως (NIR) (700 – 1100)nm. Έτσι, όσο περισσότερα φύλλα έχει ένα φυτό, τόσο περισσότερο επηρεάζονται αυτά τα μήκη κύματος φωτός. (Gates & David M., 1980, σ. 611)

Το NDVI υπολογίζεται από αυτές τις μεμονωμένες μετρήσεις με τον εξής μαθηματικό τύπο:

$$NDVI = \{[(NIR) - (RED)] / [(NIR) + (RED)]\}$$

όπου:

το ερυθρό (RED) και το εγγύς υπέρυθρο (NIR) αντιπροσωπεύουν τις μετρήσεις φασματικής ανάκλασης που αποκτήθηκαν στις περιοχές του ερυθρού (ορατού) και του εγγύς υπέρυθρου, αντίστοιχα. Αυτές οι φασματικές ανακλάσεις είναι οι ίδιες αναλογίες της ανακλώμενης ακτινοβολίας προς την εισερχόμενη ακτινοβολία σε κάθε φασματική ζώνη ξεχωριστά, επομένως παίρνουν τιμές μεταξύ 0 και 1. Με βάση το σχεδιασμό, το ίδιο το NDVI κυμαίνεται μεταξύ -1 και +1. (NASA Earth Observatory, 2000)

Το NDVI είναι λειτουργικά, αλλά όχι γραμμικά, ισοδύναμο με την απλή αναλογία υπέρυθρων/κόκκινων (NIR/VIS). Το πλεονέκτημα του NDVI έναντι μιας απλής αναλογίας υπέρυθρων/κόκκινων περιορίζεται γενικά σε οποιαδήποτε πιθανή γραμμικότητα της λειτουργικής του σχέσης με τις ιδιότητες της βλάστησης (π.χ. βιομάζα). Ο απλός λόγος (σε αντίθεση με το NDVI) είναι πάντα θετικός, το οποίο μπορεί να έχει πρακτικά πλεονεκτήματα, αλλά έχει επίσης μαθηματικά άπειρο εύρος (0 έως άπειρο), το οποίο μπορεί να είναι ένα πρακτικό μειονέκτημα σε σύγκριση με το NDVI. Επίσης, από αυτή την άποψη, σημειώστε ότι ο όρος VIS στον αριθμητή του NDVI κλιμακώνει μόνο το αποτέλεσμα, δημιουργώντας έτσι αρνητικές τιμές. Το

NDVI είναι λειτουργικά και γραμμικά ισοδύναμο με τον λόγο $NIR / (NIR+VIS)$, ο οποίος κυμαίνεται από 0 έως 1 και επομένως δεν είναι ποτέ αρνητικός ούτε απεριόριστος σε εύρος. Αλλά η πιο σημαντική έννοια στην κατανόηση του αλγεβρικού τύπου NDVI είναι ότι, παρά το όνομά του, είναι ένας μετασχηματισμός μιας φασματικής αναλογίας (NIR/VIS) και δεν έχει λειτουργική σχέση με μια φασματική διαφορά ($NIR-VIS$). (Crippen, 1990, σ. 34, 71 – 73)

Γενικά, εάν υπάρχει πολύ μεγαλύτερη ανακλώμενη ακτινοβολία σε μήκη κύματος κοντά στο υπέρυθρο παρά σε ορατά μήκη κύματος, τότε η βλάστηση σε αυτό το εικονοστοιχείο είναι πιθανό να είναι πυκνή και μπορεί να περιέχει κάποιο είδος δάσους. Μεταγενέστερες εργασίες έδειξαν ότι το NDVI σχετίζεται άμεσα με τη φωτοσυνθετική ικανότητα και ως εκ τούτου την απορρόφηση ενέργειας των θόλων των φυτών. Αν και ο δείκτης μπορεί να λάβει αρνητικές τιμές, ακόμη και σε πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές ο NDVI έχει συνήθως μια (μικρή) θετική τιμή. (P.J. Sellers, 1985, σ. 6, 1335 – 1372), (P.J. Sellers et al., 1995, σ. 33, 481 – 486)

6.: Αποτελεσματικότητα & Ομοιομορφία Άρδευσης

Αποτελεσματικότητα Άρδευσης

Η αποτελεσματικότητα της άρδευσης [Irrigation Efficiency (IE)] αποτελεί μέτρο της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιείται ωφέλιμα από τα φυτά, οπότε και μελετάται όταν ερευνούμε εξοικονόμηση νερού άρδευσης. Ονομάζεται διαφορετικά και ωφέλιμο νερό. Έχουμε ωφέλιμη χρήση όταν τα φυτά το αξιοποιούν έτσι ώστε να επιτελούν τον επιζητούμενο σκοπό (ανάπτυξη, εμφάνιση κοκ), απομάκρυνση αλάτων, προστασία από παγετό κ.ά. Αντιθέτως, μη ωφέλιμη χρήση του νερού έχουμε όταν το νερό δεν αξιοποιείται από τα φυτά αλλά χάνεται από την καλλιέργεια. Τέτοιες περιπτώσεις είναι η εξάτμιση κατά την εφαρμογή, η επιφανειακή απορροή και η στράγγιση κάτω από το ενεργό ριζόστρωμα (νερό/ στράγγιση βαρύτητας). (Τσιρογιάννης, 2015)

Η εκτίμηση της αποτελεσματικότητας ενός δικτύου άρδευσης αποτελεί πρόκληση, καθώς ακόμη δεν υπάρχει μία κοινά αποδεκτή προσέγγιση υπολογισμού της. Πάραυτα, μίαν απλή έκφραση της αποτελεσματικότητας είναι ο λόγος της ποσότητας του νερού που χρησιμοποιείται από τα φυτά ως προς την ποσότητα του νερού που εφαρμόζεται:

$$\text{Eusefulness} = (\text{Wuseful} / \text{Wdelivered}) * 100\%$$

όπου:

Eusefulness: Αποτελεσματικότητα χρήσης νερού

Wuseful: Ποσότητα νερού που χρησιμοποιείται ωφέλιμα

Wdelivered: Ποσότητα νερού που μεταφέρεται στην αρδευόμενη περιοχή

(Τσιρογιάννης, 2015)

Ομοιομορφία Άρδευσης

Με δεδομένο ένα καλά συντηρημένο δίκτυο (χωρίς διαρροές) για τη διατήρηση υψηλής αποτελεσματικότητας εφαρμογής είναι αναγκαία η ομοιόμορφη κατανομή του νερού στην περιοχή που αρδεύεται. Αυτό προκύπτει από το γεγονός ότι η ομοιόμορφη κατανομή του νερού ελαττώνει τις απώλειες μέσω στράγγισης ή επιφανειακής απορροής στα τμήματα της περιοχής που δέχονται περισσότερο από το απαιτούμενο

νερό και αυξάνει την παραγωγικότητα των φυτών στα τμήματα που δέχονται λιγότερο από το απαιτούμενο νερό. (Τσιρογιάννης, 2015)

Η ομοιομορφία κατανομής του νερού δεν δύναται να ταυτιστεί με την αποτελεσματικότητα, απλά δίνει μία αίσθηση της πιθανής αποτελεσματικότητας του συστήματος σε περίπτωση που γίνεται καλή διαχείριση. Με άλλα λόγια: η αποτελεσματικότητα κυμαίνεται στο ίδιο επίπεδο τάξης μεγέθους με την ομοιομορφία κατανομής. (Τσιρογιάννης, 2015)

Ομοιομορφία Κατανομής [Distribution Uniformity (DU)]

Η ομοιομορφία κατανομής ή DU στην άρδευση είναι ένα μέτρο του πόσο ομοιόμορφα εφαρμόζεται το νερό στην περιοχή που αρδεύεται, εκφραζόμενη συνήθως ως ποσοστό και δεν πρέπει να συγχέεται με την απόδοση. Συχνά υπολογίζεται κατά την εκτέλεση ενός ελέγχου άρδευσης. Η DU δεν πρέπει να συγχέεται με τον συντελεστή ομοιομορφίας Christiansen [Christiansen's Coefficient of Uniformity (CCU) (CU)] που συχνά προτιμάται για την περιγραφή της απόδοσης των υπερυψωμένων συστημάτων υπό πίεση. (Burt et al., 1999)

Η συνηθέστερη εφαρμογή μέτρησης της DU είναι η DU χαμηλότερου τετάρτου (25%) εκφρασμένο ως DU_{lq}, η οποία είναι ένα μέτρο του μέσου όρου του χαμηλότερου τετάρτου των δειγμάτων, διαιρούμενο με το μέσο όρο όλων των δειγμάτων εκφρασμένο ως ποσοστό. Όσο υψηλότερο είναι το DU_{lq}, τόσο πιο ομοιόμορφη είναι η κάλυψη της περιοχής που μετρήθηκε. Εάν όλα τα δείγματα είναι ίσα, το DU_{lq} είναι 1 ή 100%. Δεν υπάρχει καθολική τιμή του DU_{lq} για ικανοποιητική απόδοση συστήματος. Μια τιμή >0,80 ή 80% θεωρείται πάνω από το μέσο όρο. (Burt et al., 1999)

Ο μαθηματικός τύπος για τον υπολογισμό της ομοιομορφίας κατανομής είναι:

$$DU = DU_{lq} / Q_{av}$$

όπου:

DU_{lq}: Μέσος όρος του χαμηλότερου τετάρτου (25%) των δειγμάτων

Q_{av}: Μέσος όρος των ποσοτήτων όλων των δειγμάτων

Η ομοιομορφία κατανομής μπορεί να είναι χρήσιμη ως αφετηρία για τον προγραμματισμό της άρδευσης. Για παράδειγμα, ένας γεωργός μπορεί να θέλει να εφαρμόσει τουλάχιστον 1in νερού στην περιοχή που ποτίζεται. Εάν η ομοιομορφία DU ήταν 75% (0,75), τότε η συνολική ποσότητα που θα εφαρμοστεί είναι η επιθυμητή ποσότητα νερού, διαιρούμενη με την DU. Σε αυτή την περίπτωση, η απαιτούμενη άρδευση θα ήταν 1,33in νερού, έτσι ώστε μόνο μια πολύ μικρή περιοχή να δέχεται λιγότερο από 1in. Όσο χαμηλότερη είναι η DU, τόσο λιγότερο ομοιόμορφη είναι η κατανομή στο επίπεδο συλλογής δεδομένων και τόσο περισσότερο νερό μπορεί να χρειαστεί για την κάλυψη της ελάχιστης απαίτησης. (Burt et al., 1999)

Οι λεκάνες απορροής χρησιμοποιούνται συνήθως για τον προσδιορισμό του DU του σταλάκτη και πρέπει να υπενθυμιστεί ότι η συλλογή δεδομένων πραγματοποιείται συχνότερα πάνω από το ενεργό ριζόστρωμα όπου λαμβάνει χώρα συνήθως η πρόσληψη ουσιών και θρέψη των φυτών. Πολλοί παράγοντες μπορεί να επηρεάσουν την

κατανομή ή την ανακατανομή του νερού μεταξύ του επιπέδου της λεκάνης απορροής και του ενεργού ριζοστρώματος όπως:

- I. Κλίση/ Ανάγλυφο εδάφους
- II. Θόλος φυτών
- III. Αχυρόστρωμα
- IV. Σάπια φύλλα
- V. Ρυθμός διήθησης
- VI. Σύσταση εδάφους
- VII. Ενεργό ριζόστρωμα

Ο τύπος του εδάφους και ο ριζικός ορίζοντας μπορεί να ακυρώσουν την ανάγκη για σταλάκτες υψηλής ομοιομορφίας κατανομής. Πρέπει επίσης να τονιστεί πως η χαμηλή DU_{Iq} δεν εγγυάται αναποτελεσματικότητα, ούτε η υψηλή DU_{Iq} εγγυάται αποδοτικότητα. (Burt et al., 1999)

Οι κατηγοριοποίηση/ κατάταξη των δεδομένων ομοιομορφίας και των αρδευτικών συστημάτων, τουλάχιστον σε υδροπονικές εφαρμογές, είναι η εξής:

- **Εξαιρετική** ($>0,9$ ή $>90\%$)
- **Καλή** [($0,8$ ή 80%) – ($0,9$ ή 90%)]
- **Μέτρια** [($0,7$ ή 70%) – ($0,8$ ή 80%)]
- **Κακή** ($<0,7$ ή $<70\%$)

Ειδικά στα υδροπονικά συστήματα, στόχος είναι να **$DU > 0,95$ ή 95%**

(New South Wales Department of Primary Industries & Horticulture Australia Ltd., 2009 σ. 1)

Υπάρχουν μερικά πράγματα που βελτιώνουν την ομοιομορφία της διανομής:

- I. Ξέπλυμα σωλήνων και πλευρικών σωλήνων μία φορά την εβδομάδα, κύριων και δευτερευουσών γραμμών άρδευσης κάθε μήνα
- II. Καθαρισμός και συντήρηση φίλτρων
- III. Χρήση καθαριστικών (όπως ξέπλυμα με οξύ) για αφαίρεση βακτηριακών και μεταλλικών αποφράξεων
- IV. Αποφυγή υψομετρικών διαφορών στο υδροπονικό σύστημα
- V. Έλεγχος πίεσης του νερού μεταξύ των emitter
- VI. Έλεγχος ικανότητας άντλησης της αντλίας (Να είναι σωστή για το μέγεθος του αρδευτικού τμήματος)

(New South Wales Department of Primary Industries & Horticulture Australia Ltd., 2009 σ. 1)

Μια εναλλακτική λύση είναι ο συντελεστής ομοιομορφίας του Christiansen [Christiansen's Coefficient of Uniformity (CCU) (CU)], που ορίζεται ως το μέσο βάθος του νερού άρδευσης που εφαρμόζεται μείον τη μέση απόλυτη απόκλιση από αυτήν την ποσότητα, όλα διαιρούμενα με τη μέση ποσότητα που εφαρμόζεται. (Burt et al., 1999)

Συντελεστής Ομοιομορφίας Christiansen [Christiansen's Coefficient of Uniformity (CCU) (CU)]

Στις περισσότερες αναφορές οι δείκτες αφορούν μετρήσεις εισροών στην επιφάνεια της έκτασης που αρδεύεται (μέτρηση με δοχεία συλλογής). Όμως μετά την είσοδο του νερού στο έδαφος γίνεται ανακατανομή του – εξαρτάται από τον τύπο του εδάφους – η οποία οδηγεί σε διαφορετική τιμή της ομοιομορφίας στο ριζόστρωμα (μέτρηση με όργανα εκτίμησης εδαφικής υγρασίας). Παίρνει τιμές οποιεσδήποτε τιμές μεταξύ (0 – 1), (0 – 100)% και ο μαθηματικός του τύπος είναι:

$$CCU = 1 - [(\sum |V_i - V|) / Q_{av}]$$

όπου:

V_i: Όγκος νερού στο δοχείο συλλογής i

Q_{av}: Μέσος όγκος νερού σε όλα τα δοχεία

(Τσιρογιάννης, 2015)

Βάσει των τιμών CCU που προκύπτουν μετά την εφαρμογή του μαθηματικού τύπου, γίνεται να καταταχθούν και να ερμηνευτούν τα δεδομένα και το σύστημα άρδευσης στις εξής κλάσεις ποιότητας ομοιομορφίας. Εφαρμόζεται είτε σε υπολογισμούς *Christiansen* είτε *Heerman & Hein*

- **Εξαιρετική (>0,9 ή >90%)**: Δεν απαιτούνται αλλαγές
- **Καλή [(0,85 ή 85%) – (0,9 ή 90%)]**: Δεν απαιτούνται αλλαγές, εκτός εάν είναι εμφανής η προβληματική περιοχή
- **Μέτρια [(0,8 ή 80%) – 0,85 ή 85%)]**: Δεν χρειάζονται βελτιώσεις, αλλά το σύστημα θα πρέπει να παρακολουθείται στενά
- **Κακή (<0,8 ή <80%)**: Απαιτούνται βελτιώσεις, ιδιαίτερα εάν πρόκειται να εγχυθούν χημικά, όπως εντομοκτόνα ή λιπάσματα

(Harrison & Perry, 2013 σ. 4)

Πρέπει επίσης να αναφερθεί πως, ειδικά όταν εξετάζονται αρδευτικά συστήματα καταιονισμού – μικροκαταιονισμού, η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να είναι <2,24m/s ώστε να ληφθούν αντιπροσωπευτικά δεδομένα. Εάν αυτή έχει τιμές >4,47m/s, αντενδείκνυται έντονα η διεξαγωγή δειγματοληψιών.

(Harrison & Perry, 2013 σ. 4)

Πίνακας 2: Πιθανές Αιτίες Κακής Ομοιομορφίας Άρδευσης & Μέτρα Διόρθωσής τους (Harrison & Perry, 2013)

Πιθανές Αιτίες Κακής Ομοιομορφίας	Μέτρα Διόρθωσης
Βουλωμένα ακροφύσια – σταλάκτες	Αφαίρεση και καθαρισμός των ακροφυσίων – σταλακτών
Μη περιστροφή των εκτοξευτήρων	Επισκευή εκτοξευτήρων ή/ και αύξηση πίεσης
Ανεπαρκής πίεση συστήματος*	Αύξηση πίεσης
Υψομετρικές διαφορές	Προσθήκη ρυθμιστών πίεσης
Καταιωνιστήρας σε λάθος σειρά*	Καθοδήγηση και σωστή εγκατάσταση εκτοξευτών από τον κατασκευαστή
Το τελικό ακροφύσιο είναι απορρυθμισμένο	Ρύθμιση των παύσεων στο τελικό ακροφύσιο
Λάθος τελικό ακροφύσιο*	Αντικατάσταση τελικού ακροφυσίου
Φθαρμένα ακροφύσια	Αντικατάσταση ακροφυσίων καταιωνιστήρων
Υπερβολική ταχύτητα ανέμου κατά τις δειγματοληψίες (>4,47m/s)	Έλεγχος ομοιομορφίας και δειγματοληψία όταν υπάρχει χαμηλή ταχύτητα ανέμου (<2,24m/s)
Υπερβολικό νερό στο δοχείο δειγματοληψίας	Έλεγχος για διαρροή στο σωλήνα ή γλείψιμο του νερού επί αυτού

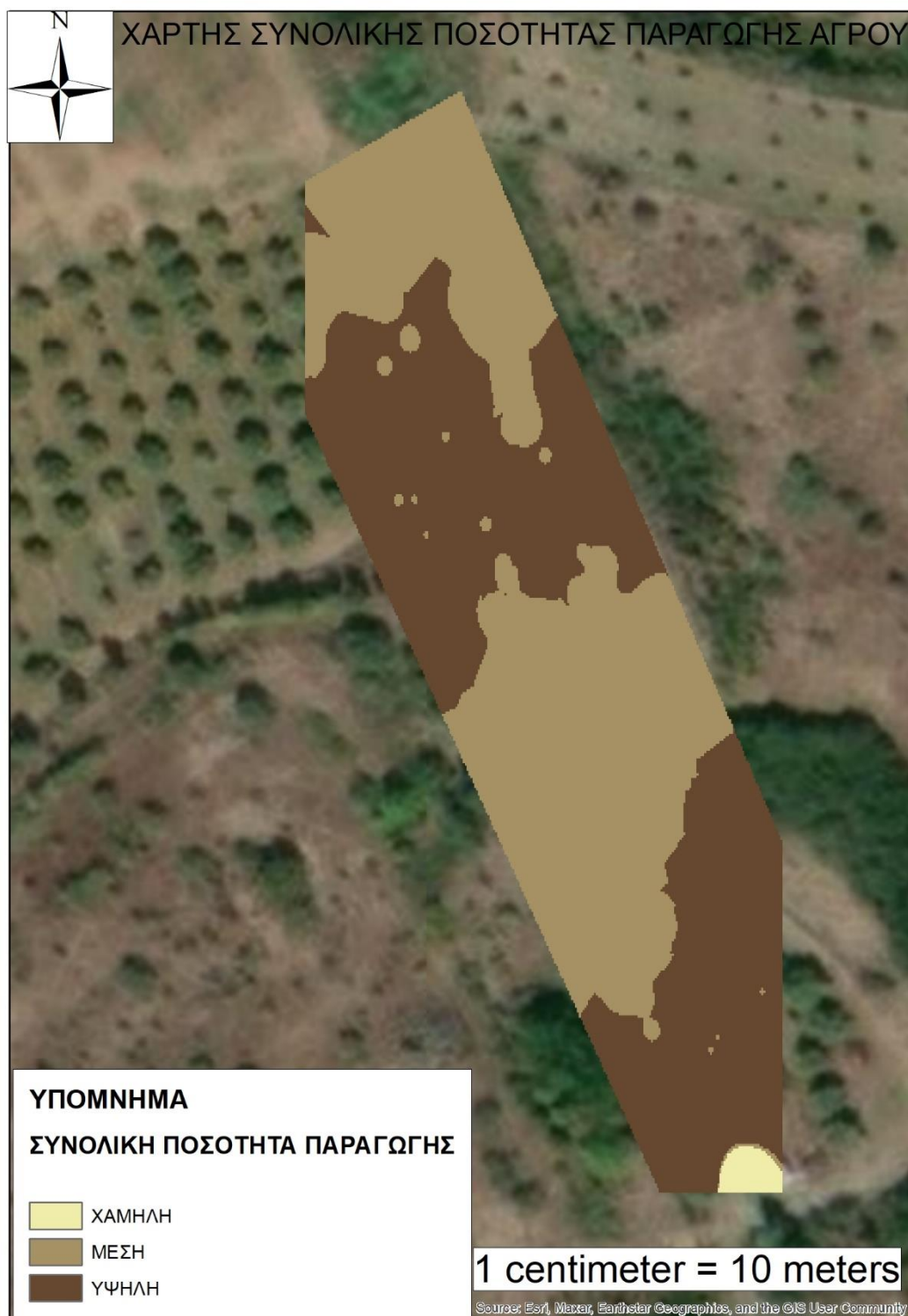
*Χρειάζεται επικοινωνία με τον αντιπρόσωπο της κατασκευάστριας εταιρείας – αντιπροσωπείας

(Harrison & Perry, 2013 σ. 4)

III.: Αποτελέσματα – Συμπεράσματα

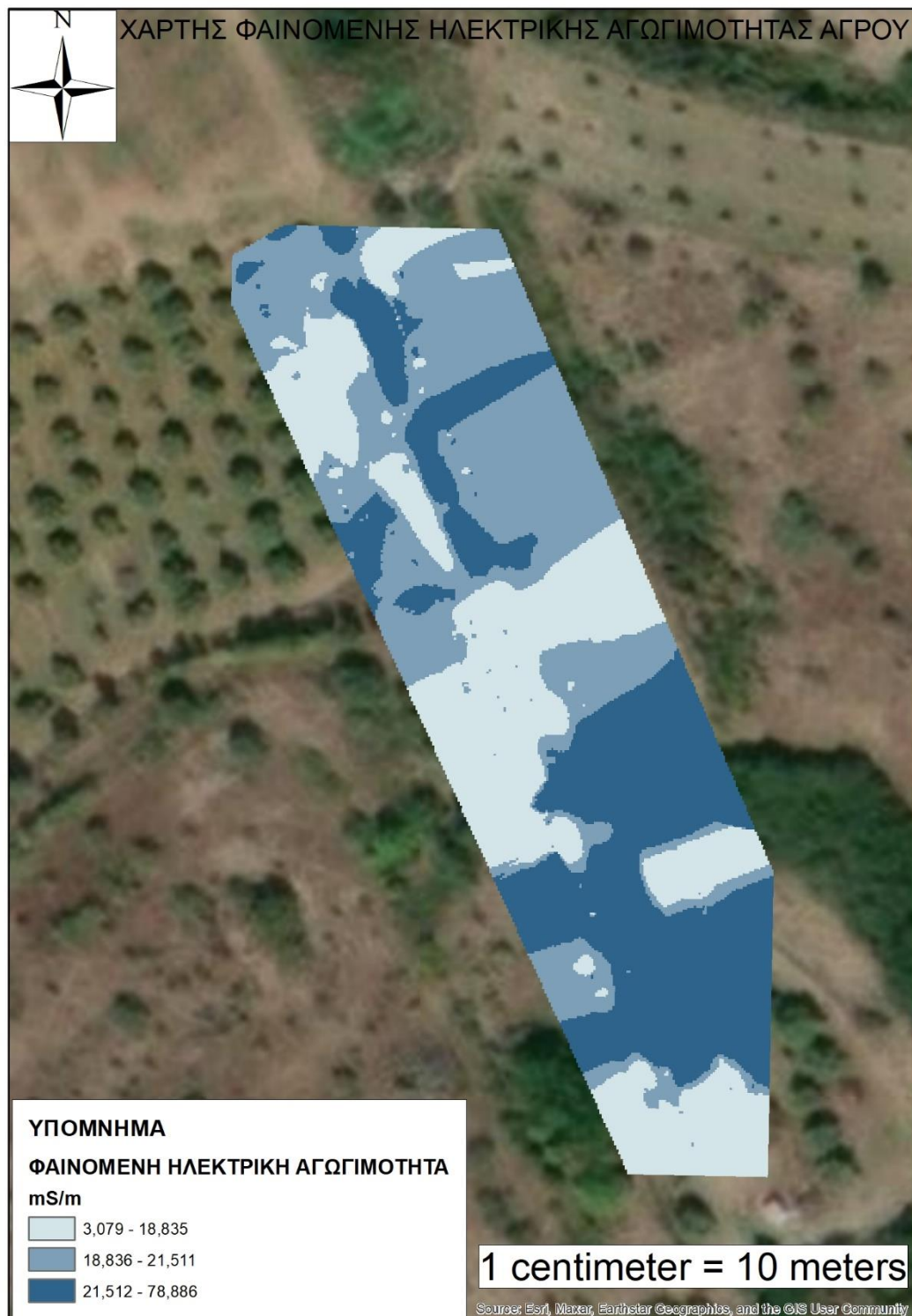
1.: Χαρτογράφηση

Αρχικά παρουσιάζεται η παραλλακτικότητα της ποσότητας παραγωγής του αγρού. Όσο σκουρότερο το χρώμα, τόσο υψηλότερη η ποσότητα παραγωγής (Χάρτης 2.)



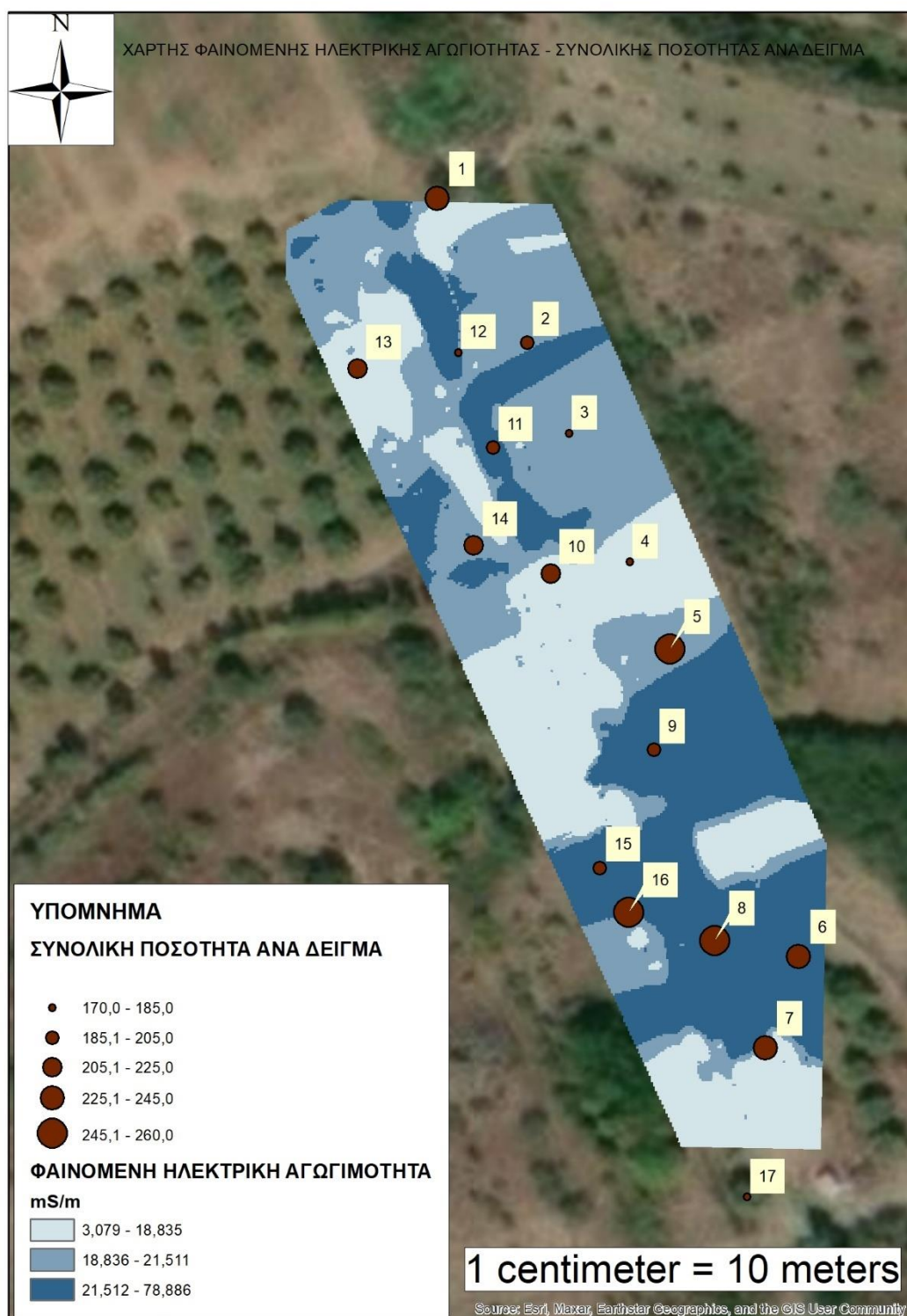
Χάρτης 2.: Χάρτης Συνολικής Ποσότητας Παραγωγής Αγρού

Παρουσιάζεται παρακάτω (Χάρτης 3.) η παραλλακτικότητα της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ΦΗΑ) στον αγρό. Κι εδώ, όσο σκουρότερο το χρώμα, τόσο υψηλότερη η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.



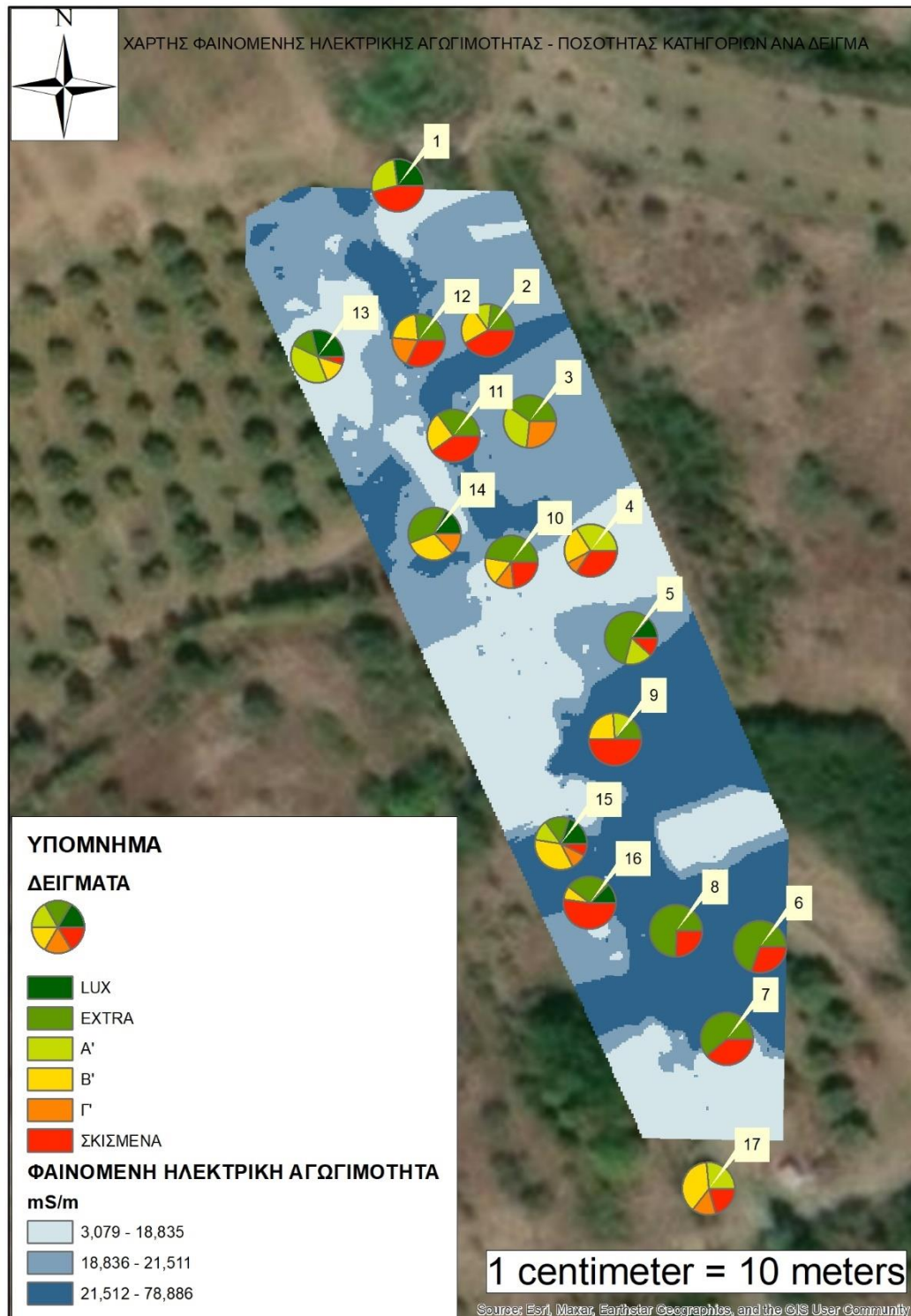
Χάρτης 3.: Χάρτης Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (ΦΗΑ) Αγρού

Έπειτα, ο χάρτης φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας παρατίθεται μαζί με τις συνολικές ποσότητες του κάθε δείγματος (Χάρτης 4.). Όσο μεγαλύτερη η κουκκίδα, τόσο μεγαλύτερη και η ποσότητα.



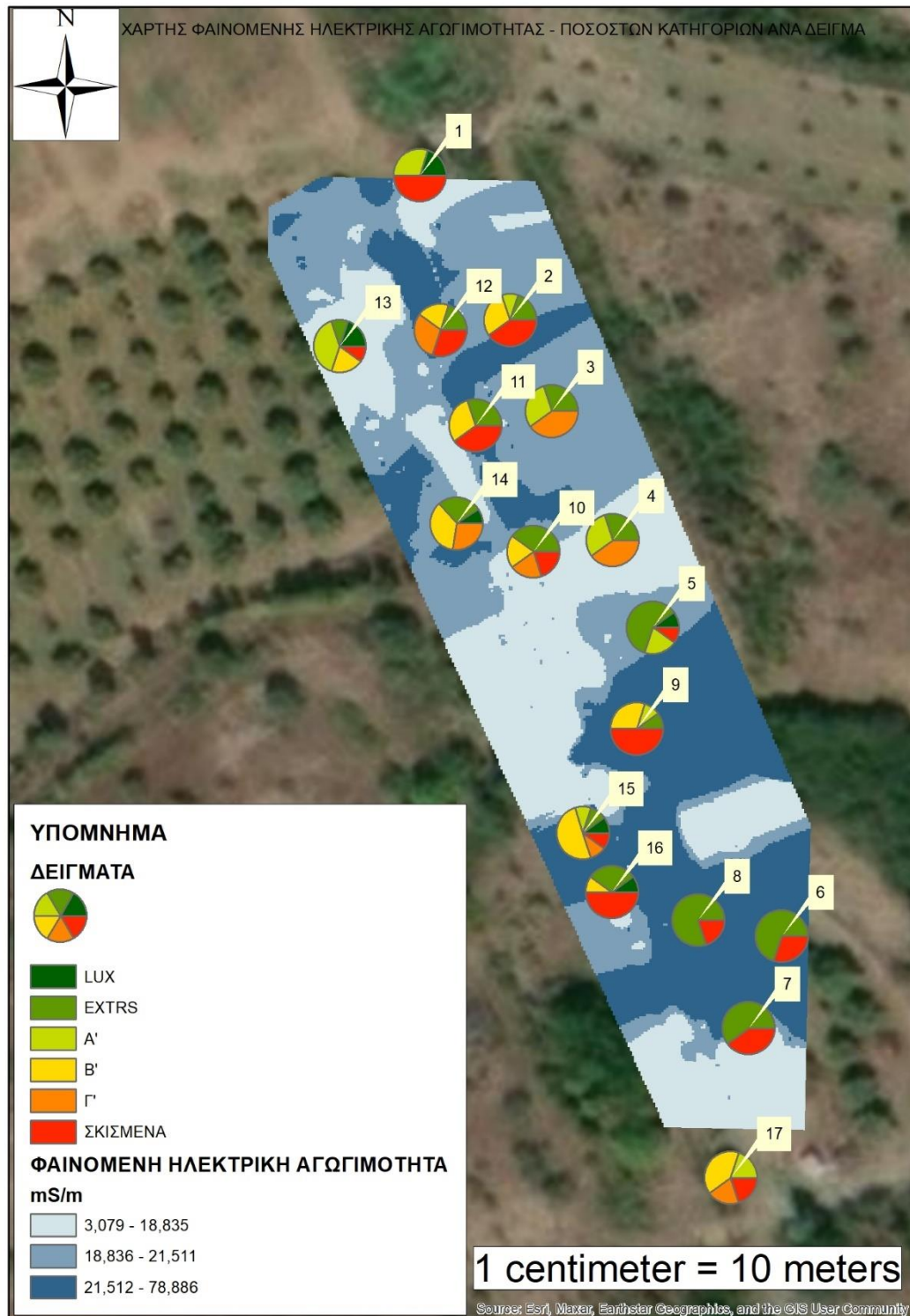
Χάρτης 4.: Χάρτης Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (ΦΗΑ) - Συνολικής Ποσότητας Κάθε Δείγματος

Κατόπιν, προβάλλεται η ΦΗΑ μαζί με την ποσότητα/ μάζα της κάθε κατηγορίας ξεχωριστά (Χάρτης 5.). Οι πράσινες αποχρώσεις δηλώνουν μεγάλους καρπούς, οι κόκκινες μικρούς.



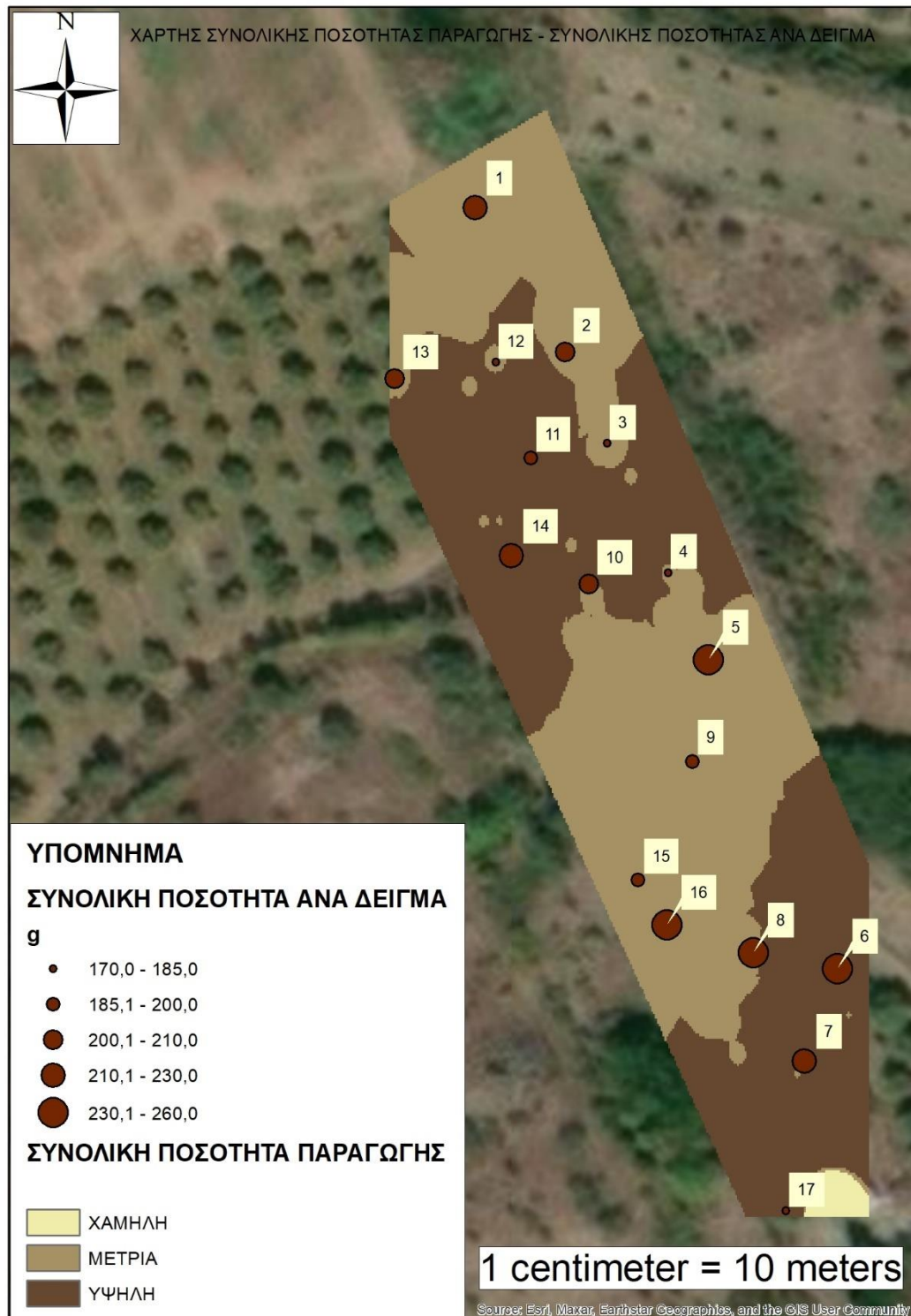
Χάρτης 5.: Χάρτης Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (ΦΗΑ) - Συνολικής Πόσοτητας Κάθε Κατηγορίας Ανά Δείγμα

Στο τέλος, η ΦΗΑ αναπαρίσταται μαζί με τον αριθμό τεμαχίων της κάθε κατηγορίας ανά δείγμα (Χάρτης 6.). Τα χρώματα έχουν την ίδια σημασία με παραπάνω.



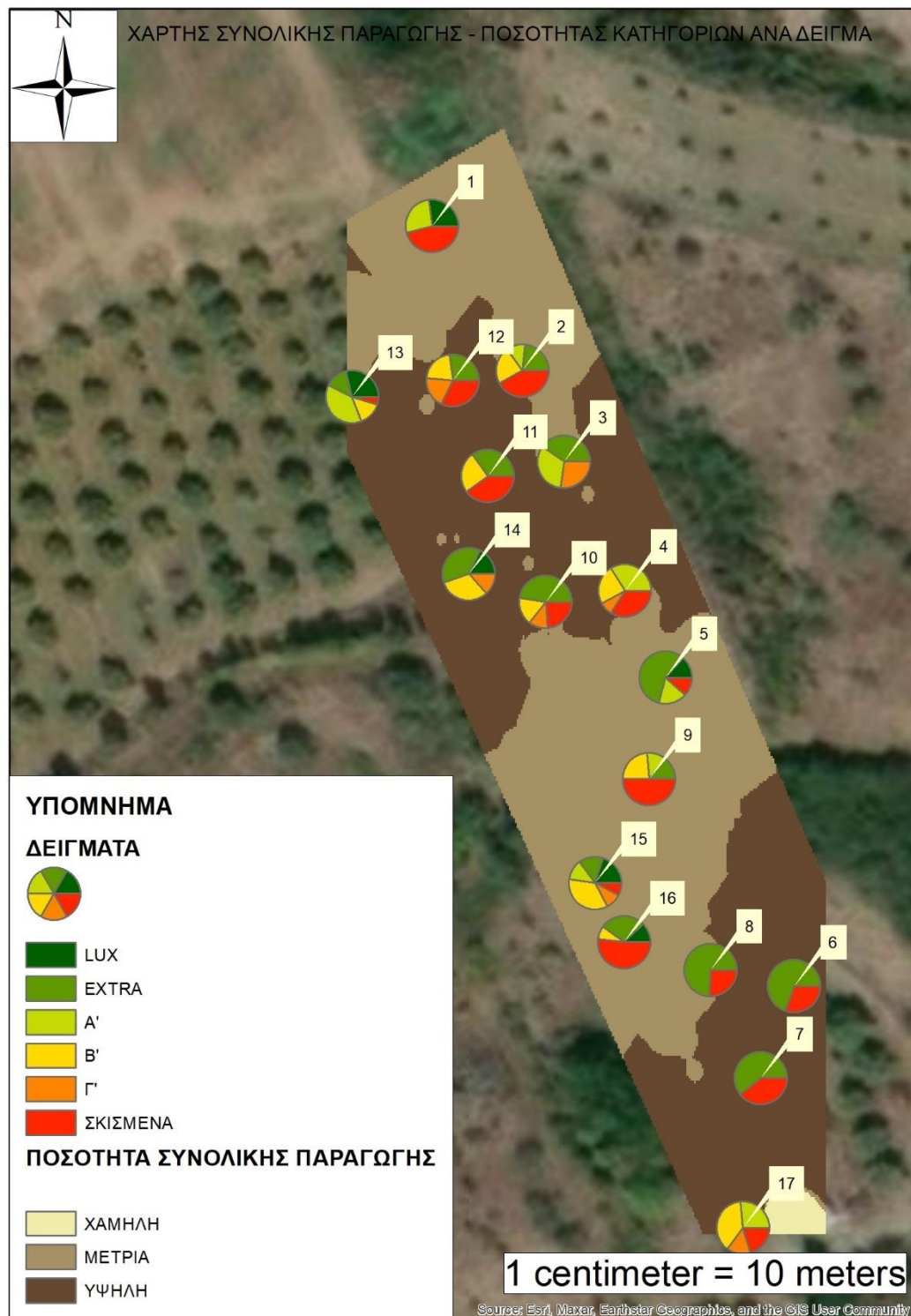
Χάρτης 6.: Χάρτης Φαινόμενης Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας (ΦΗΑ) - Συνολικού Αριθμού Τεμαχίων Κάθε Κατηγορίας Ανά Δείγμα

Αντίστοιχα γίνονται οι αναπαραστάσεις για την μεταβλητή της συνολικής ποσότητας παραγωγής. Αρχικά παρατίθεται αυτή με την συνολική ποσότητα κάθε δείγματος (Χάρτης 7.). Πάλι, όσο μεγαλύτερη η κουκκίδα, τόσο μεγαλύτερη η ποσότητα/ μάζα κάθε δείγματος.



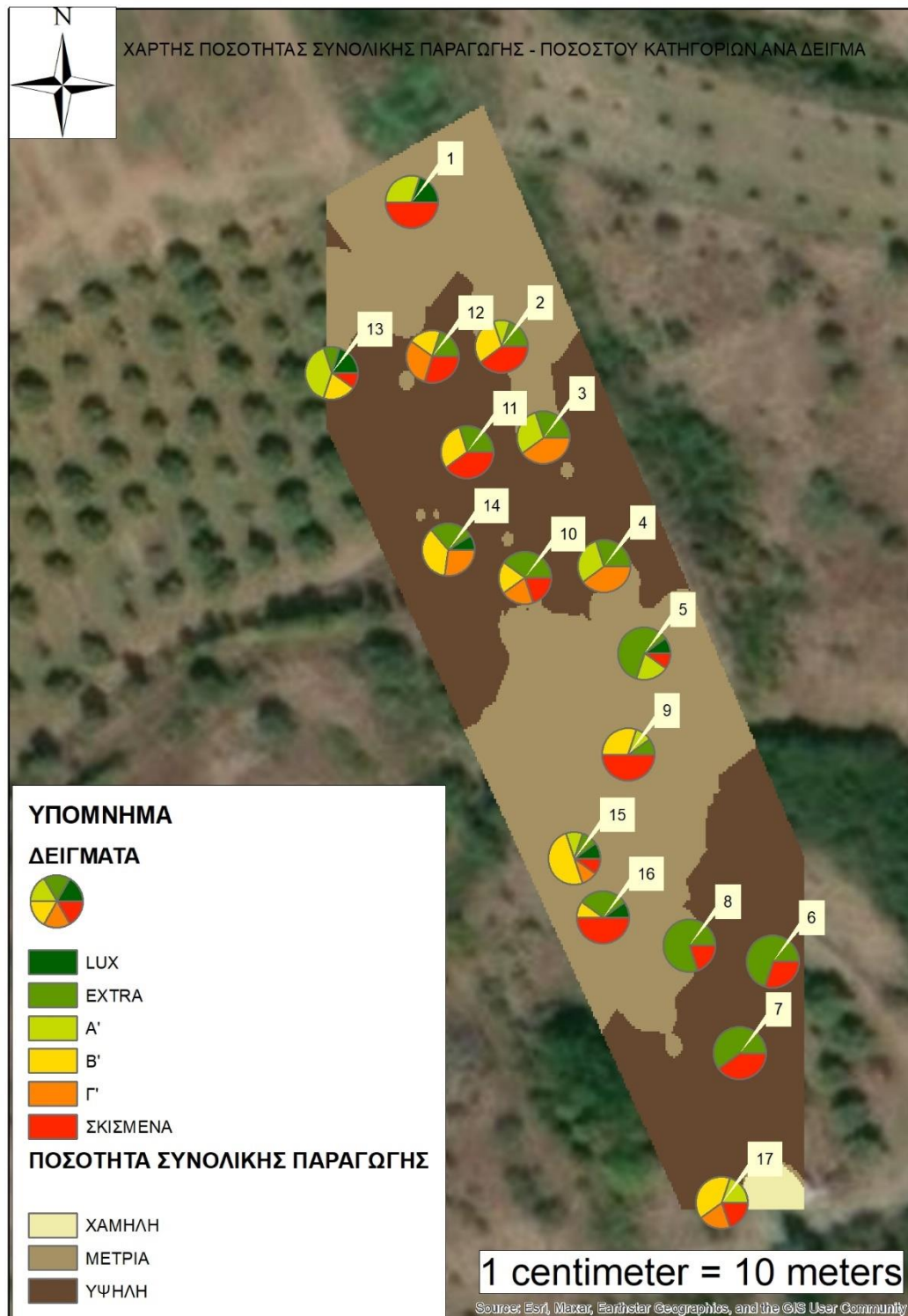
Χάρτης 7.: Χάρτης Συνολικής Ποσότητας Παραγωγής - Συνολικής Ποσότητας Κάθε Δείγματος

Ακολουθεί η αναπαράσταση της συνολικής παραγωγής μαζί με την ποσότητα/ μάζα ανά δείγμα (Χάρτης 8.). Τα χρώματα πράσινο – κόκκινο στις πίτες έχουν την ίδια σημασία με αυτά των (Χάρτης 5.) και (Χάρτης 6.).



Χάρτης 8.: Χάρτης Συνολικής Παραγωγής - Ποσότητας Κάθε Κατηγορίας Ανά Δείγμα

Στο τέλος συγκρίνονται η συνολική παραγωγή αγρού με τον αριθμό τεμαχίων ανά δείγμα (Χάρτης 9.).



Χάρτης 9.: Χάρτης Συνολικής Παραγωγής - Συνολικού Αριθμού Τεμαχίων Κάθε Κατηγορίας Ανά Δείγμα

Πίνακας 3.: Στατιστική Ανάλυση SPSS (Pearson Correlation) των Μετρηθέντων Μεταβλητών (ΦΗΑ – Ποσότητα και Ποιότητα Παραγωγής)

Συσχετίσεις									
	Συνολική Ποσότητα Παραγωγής	Συνολική Μάζα Δείγματος	Μάζα Σκισμένων	Μάζα Κατ. Lux	Μάζα Κατ. Extra	Μάζα Κατ. Α'	Μάζα Κατ. Β'	Μάζα Κατ. Γ'	ΦΗΑ
Συνολική Ποσότητα Παραγωγής	1,000	0,076	0,020	-0,239	0,240	-0,131	-0,122	-0,076	0,040
Συνολική Μάζα Δείγματος	0,076	1,000	0,273	0,322	.725 **	-0,324	-.611 **	-.584 *	0,209
Μάζα Σκισμένων	0,020	0,273	1,000	-0,183	-0,010	-0,300	-0,243	-.624 **	0,088
Μάζα Κατ. Lux	-0,239	0,322	-0,183	1,000	-0,264	0,433	-0,034	-0,194	-0,031
Μάζα Κατ. Extra	0,240	.725 **	-0,010	-0,264	1,000	-.558 *	-.585 *	-0,224	0,231
Μάζα Κατ. Α'	-0,131	-0,324	-0,300	0,433	-.558 *	1,000	-0,076	0,065	-0,363
Μάζα Κατ. Β'	-0,122	-.611 **	-0,243	-0,034	-.585 *	-0,076	1,000	0,275	0,099
Μάζα Κατ. Γ'	-0,076	-.584 *	-.624 **	-0,194	-0,224	0,065	0,275	1,000	-0,184
ΦΗΑ	0,040	0,209	0,088	-0,031	0,231	-0,363	0,099	-0,184	1,000

**Σημαντική συσχέτιση στην τάξη του 0,01 (2-tailed)

*Σημαντική συσχέτιση στην τάξη του 0,05 (2-tailed)

Από τους παραπάνω χάρτες και πίνακες προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- I. Υπάρχει ανάγκη εισαγωγής yield monitoring στην παραγωγική διαδικασία της καστανιάς
- II. Δεν υπάρχει αξιοσημείωτη συσχέτιση φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ΦΗΑ) – παραγωγής (ποιότητα και ποσότητα)
- III. Οι μικρότεροι καρποί συνεπάγονται λιγότερους σκισμένους. Αυτό, αναλόγως και τις τιμές της αγοράς σημαίνει και αυξημένο εισόδημα. (Οι καρποί σκίζουν ευκολότερα όταν δέχονται υπερβολική λίπανση και άρδευση τα δένδρα)

2.: Ομοιομορφία Άρδευσης

Χρησιμοποιώντας τον τύπο που παρατίθεται παραπάνω για τον υπολογισμό του συντελεστή ομοιομορφίας Christiansen [$CCU = 1 - [(\sum |V_i - V|) / (\sum V_i)]$] μαζί με τα δεδομένα που συνελέχθησαν, υπολογίστηκε πως στο χωράφι που μελετήθηκε υπάρχει: $CCU = 0,94799 \sim 0,948$ ή $94,799\% \sim 94,8\% > 90\%$. Η τιμή αυτή, βάσει των παραπάνω δεδομένων (Harrison & Perry, 2013), δείχνει πως υπάρχει εξαιρετική ομοιομορφία στην άρδευση και ότι δεν απαιτούνται αλλαγές στο αρδευτικό σύστημα, εντούτοις είναι υπαρκτό ένα μικρό περιθώριο βελτίωσης.

Χρησιμοποιώντας και τον μαθηματικό τύπο υπολογισμού της **ομοιομορφίας κατανομής** ($DU = DU_{Iq} / Q_{av}$), μαζί με τα ίδια δεδομένα, **υπολογίστηκε πως $DU = 0,92968 \sim 0,9297$ ή $92,968\% \sim 92,97\% > 0,9$ ή 90%** . Η συγκεκριμένη τιμή, βάσει των παραπάνω δεδομένων (New South Wales Department of Primary Industries & Horticulture Australia Ltd., 2009) δείχνει συμπεράσματα παρόμοια με τα παραπάνω, υπάρχει δηλαδή εξαιρετική ομοιομορφία άρδευσης. Όμως μεγαλώνει λίγο το περιθώριο βελτίωσης που υπάρχει.

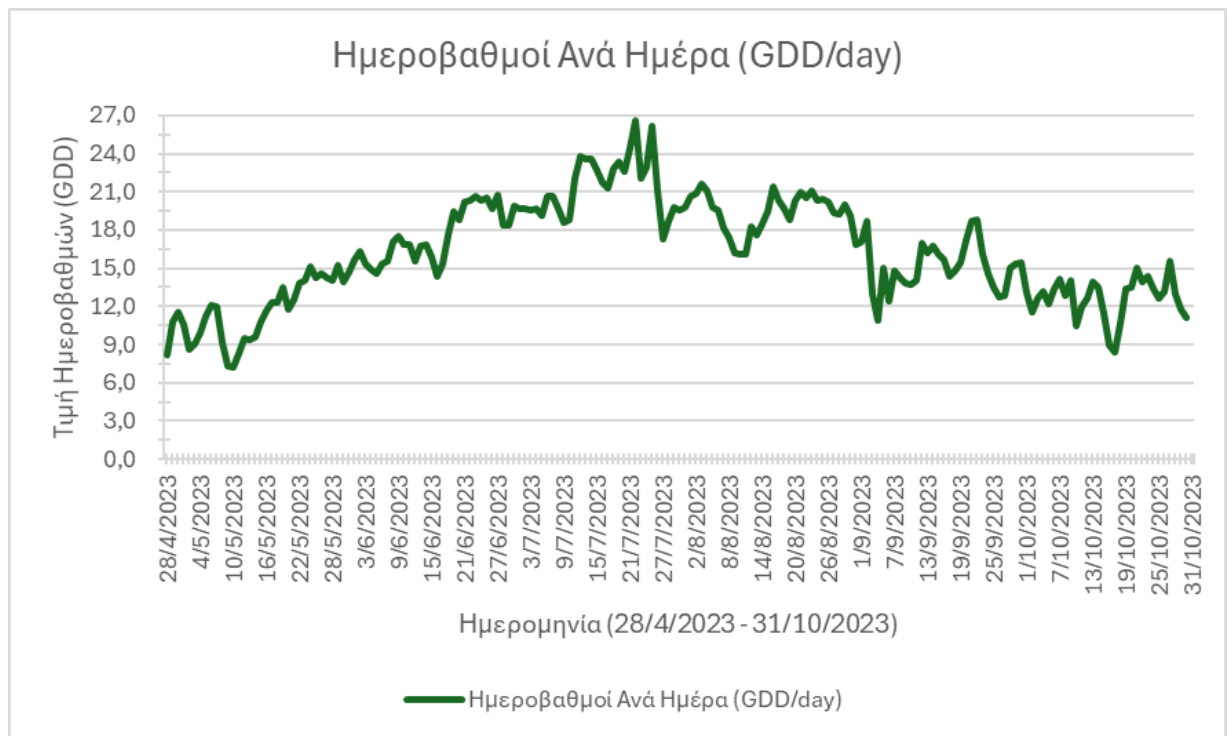
3.: Εξατμισοδιαπνοή – Κλιματικές Συνθήκες



Διάγραμμα 1: Η Καμπύλη Εξατμισοδιαπνοής Αναφοράς (ET0) για την Τοποθεσία του Αγρού για την Περίοδο (28/4/2023 – 31/10/2023)

Στο (Διάγραμμα 1.) φαίνεται η καμπύλη της ET0 που προέκυψε από τις μετρήσεις μας. Παρατηρείται μίαν απότομη πτώση της στις αρχές Σεπτεμβρίου 2023, όταν και συνέβη το ακραίο πλημμυρικό επεισόδιο της καταιγίδας Daniel.

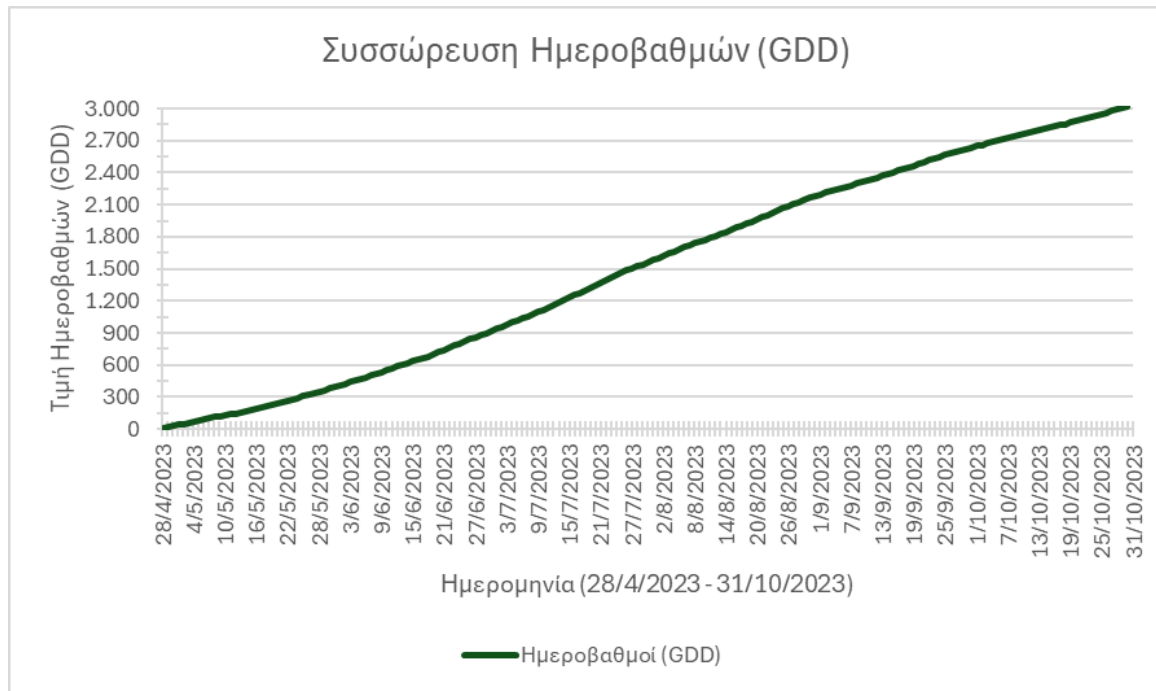
Καταγράφηκαν και οι ημεροβαθμοί που σωρευόντουσαν ανά ημέρα σε όλην την πειραματική περίοδο (Διάγραμμα 2.) Πάλι διαφαίνεται η επίδραση της καταιγίδας Daniel.



Διάγραμμα 2.: Η Συσσώρευση Ημεροβαθμών Ανά Ημέρα την Περίοδο (28/4/2023 - 31/10/2023)

Στο τελευταίο διάγραμμα (Διάγραμμα 3.) αποτυπώνεται αθροιστικά η συσσώρευση των ημεροβαθμών. Ενώ οι (Freitas et al., 2021) βρίσκουν πως αρκεί η συσσώρευση 1900 – 2400 ημεροβαθμών, στο παρόν πείραμα παρατηρήθηκε η συσσώρευση ακόμη

και 2700 GDDs μέχρι το τέλος της συγκομιδής, κάτι που δείχνει ότι χρήζει περαιτέρω επιστημονικής διερεύνησης το αντικείμενο.



Διάγραμμα 3.: Η Συσσώρευση Ημεροβαθμών την Περίοδο (28/4/2023 - 31/10/2023)

Γ': Βιβλιογραφία – Βιβλιογραφικές Πηγές

1. Ιωάννης Γκουντάρας (2012): «*Στοιχεία Φυσιολογίας Φύλλου & Καρπού Καστανιάς*»
2. Ιωάννα Τσιντσιράκου (2014): «*Εφαρμογή Αειφόρου Λίπανσης σε Εντατική Καλλιέργεια Καστανιάς*»
3. www.agro.kissamos.gr/post/135 (Δήμος Κίσσαμου)
4. Freitas et. al (2021): «*Influence of Climate Change on Chestnut Trees: A Review*» Plants
5. Sandra Anagnostakis (2014): «*Planting & Caring for Chestnut Trees*» The Connecticut Agricultural Experiment Station
6. Washington Chestnut Company (2010): «*Chestnut Root Zones*»
7. Φώτιος Γραβάνης (2018): «*Ειδική Φυτοπαθολογία – Νοσολογία Καλλιεργούμενων Φυτών*» (σ. 144 – 148)
8. Shuttleworth et al. (2015): «*The chestnut pathogen Gnomoniopsis smithogilvyi (Gnomoniaceae, Diaporthales) & Its Synonyms*», Mycotaxon
9. Mudasir Ahmad Dar & Mahendra Rai (2015): «*Gnomoniopsis smithogilvyi, A Canker Causing Pathogen on Castanea sativa: First Report*», Mycosphere (σ. 327 – 336)
10. Silva – Campos et al. (2022): «*Fungicide Control of Gnomoniopsis smithogilvyi, Causal Agent of Chestnut Rot in Australia*», Springer, Australasian Plant Pathology (2022) (σ. 483 – 494)
11. Guest (2012): «*Biology & Management of Nut Pot of Chestnut*», University of Sydney
12. Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης & Τροφίμων (ΥΠ.Α.Α.Τ.), Μπενάκειο Φυτοπαθολογικό Ινστιτούτο (2015): «*Η Σφήκα της Καστανιάς*»
13. Emilie Demard, Ronald Cave (2018): «*Dryocosmus kuriphilus Yasumatsu*»
14. Mojca Rot et al. (2016): «*Biological Control of Invasive Dryocosmus kuriphilus with Introduced Parasitoid Torymus sinensis in Croatia, Slovenia & Hungary*»
15. Alberto Alma, Giovanni Bosio, Seiichi Moriya (2008): «*Rearing, Release & Settlement Prospect in Italy of Torymus sinensis, the Biological Control Agent of the Chestnut Gall Wasp Dryocosmus kuriphilus*»
16. Κωνσταντίνος Τσατσαρέλης (2003): «*Μηχανική Συγκομιδή Γεωργικών Προϊόντων*» (σ. 583 – 584)
17. Μιλτιάδης Βασιλακάκης (2018): «*Μετασλλεκτική Φυσιολογία – Μεταχείριση Οπωροκηπευτικών & Τεχνολογία*» (σ. 171 – 173, 321 – 323)
18. Παπαμιχαήλ & Μπαμπατζιμόπουλος (2014): «*Εφαρμοσμένη Γεωργική Υδραυλική*», Εκδόσεις Ζήτη (σ. 279 – 520)
19. Geomatrix Earth Science Ltd. (2023): «*EM38MK2*»
20. Βασίλειος Λιάκος (2013): «*Εφαρμογή Νέων Τεχνολογιών στην Διαχείριση Οπωρώνων Μηλιάς*» σελίδα 26 – 30
21. Schneider (2023): «*The Potential Use of the EM38 for Soil Water Measurements*»
22. Schneider et al. (2014): «*Apparent electrical conductivity (ECa) as a surrogate for neutron probe counts to measure soil moisture content in heavy clay soils (Vertosols)*» (Soil Research, 52 σ. 373 – 378)

23. Marshall English (1990): «*Deficit Irrigation I: Analytical Framework*» (σ. 399 – 412)
24. Sam Geerts, Dirk Raes (2009): «*Deficit Irrigation as an On-Farm Strategy to Maximize Crop Water Productivity in Dry Areas*»
25. Mustafa Ünlü et al. (2006): «*Trickle & Sprinkler Irrigation of Potato Solanum tuberosum in the Middle Anatolian Region in Turkey*»
26. R.K. Pandey et al. (2000): «*Deficit Irrigation & Nitrogen Effects on Maize in a Sahelian Environment II. Shoot Growth, Nitrogen Uptake & Water Extraction*»
27. Sam Geerts, Dirk Raes et al. (2008): «*Indicators to Quantify the Flexible Phenology of Quinoa (Chenopodium quinoa) in Response to Drought Stress*»
28. Pasquale Steduto et al. (2007): «*On the Conservative Behaviour of Biomass Water Productivity*»
29. Pasquale Steduto et al. (2005): «*Resource Use Efficiency of Field-Grown Sunflower, Sorghum, Wheat & Chickpea II. Water Use Efficiency & Comparison with Radiation Use Efficiency*»
30. S. Irmak (2008): «*Encyclopaedia of Ecology*» (σ. 1432 – 1438)
31. Alka Upadhyay et al. (2017): «*Planning & Evaluation of Irrigation Projects*»
32. www.agenso.gr (2023)
33. www.ardeusi.gr (2023)
34. www.climateengine.org (2023)
35. Copernicus Climate Change Service (C3S) (2017): «*A5 Ag: Agrometeorological Indicators from 1979 to Present Derived from Reanalysis*» Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS)
36. www.cds.climate.copernicus.eu (2023)
37. John Weier & David Herring (2000): «*Measuring Vegetation (NDVI & EVI)*»
38. Gates & David M. (1980): «*Biophysical Ecology*» (σ. 611)
39. NASA Earth Observatory (2000): «*Measuring Vegetation*»
40. R.E. Crippen (1990): «*Calculating the Vegetation Index Faster*» (σ. 34, 71 – 73)
41. P.J. Sellers (1985): «*Canopy Reflectance, Photosynthesis & Transpiration*» (σ. 6, 1335 – 1372)
42. P.J. Sellers et al. (1995): «*The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes*» (σ. 33, 481 – 486)
43. Burt et al. (1999): «*Drip & Micro Irrigation for Trees, Vines & Row Crops*» (σ. 13 – 26)
44. Ιωάννης Τσιρογιάννης (2015): «*Αρδεύσεις – Στραγγίσεις Έργων Πρασίνου*»
45. New South Wales Department of Primary Industries & Horticulture Australia Ltd. (2009): «*Preventing Pests & Diseases in the Greenhouse: Distribution Uniformity of Irrigation*»
46. Harrison & Perry (2013): «*Evaluating & Interpreting Application Uniformity of Center Pivot Irrigation Systems*», University of Georgia, (σ. 1 – 4)