



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
UNIVERSITY OF WEST ATTICA

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΡΟΦΙΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΟΙΝΟΥ ΑΜΠΕΛΟΥ ΚΑΙ ΠΟΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΜΠΕΛΟΥΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ
ΣΤΟΝ ΑΤΤΙΚΟ ΑΜΠΕΛΩΝΑ**

Σοφία Μουσέτη

A.M.: 13210

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΗΛΙΑΣ ΚΟΡΚΑΣ

ΑΘΗΝΑ 2021

Διασαφήσεις εξεταστικής επιτροπής

Οι υπογράφοντες δηλώνουμε ότι έχουμε εξετάσει τη διπλωματική εργασία με τίτλο «ΑΜΠΕΛΟΥΡΓΙΑ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΑΤΤΙΚΟ ΑΜΠΕΛΩΝΑ» που παρουσιάστηκε από την **ΣΟΦΙΑ ΜΟΥΣΕΤΗ** και βεβαιώνουμε ότι γίνεται δεκτή.

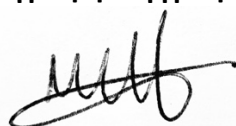
| | |
|---|--|
| Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα Καθηγητή (1^ο Μέλους Επιτροπής) | |
| Ψηφιακή Υπογραφή Καθηγητή (2^ο Μέλους Επιτροπής) | |
| Ψηφιακή Υπογραφή Καθηγητή (3^ο Μέλους Επιτροπής) | |

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη **Μουσέτη Σοφία** του **Χρήστου**, με αριθμό μητρώου **13210** φοιτητής/τρια του **Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, της Σχολής Επιστήμων Τροφίμων του Τμήματος Επιστημών Οίνου Αμπέλου και Ποτών**, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Όνοματεπώνυμο & Υπογραφή Συγγραφέα Πτυχιακής Εργασίας



Μουσέτη Σοφία

Περίληψη

Δεδομένου ότι ένας αμπελώνας έχει εκτιμώμενη διάρκεια ζωής 20-40 ετών, οι αποφάσεις που λαμβάνονται κατά την φύτευσή του και την μετέπειτα πορεία του είναι ζωτικής σημασίας για τη βιωσιμότητά και την παραγωγικότητά του στο μέλλον. Η τρέχουσα μελέτη δείχνει ότι ο χαρακτηρισμός και η περιγραφή του προφίλ του εδάφους είναι απαραίτητα για τον καθορισμό συγκεκριμένων περιοχών διαχείρισης σε έναν αμπελώνα. Η χρήση του ECa ως μη επεμβατικής τεχνικής μπορεί να παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για τη χωροθέτηση αμπελώνων με αποδεκτό κόστος και μέτρια εξειδικευμένη τεχνογνωσία. Η μελέτη περιλαμβάνει μετρήσεις που ελήφθησαν το καλοκαίρι του 2019 σε παραγωγικό αμπελώνα οινοποιήσιμων σταφυλιών στα Μεσόγεια Αττικής.

Λέξεις κλειδιά: αμπελουργία ακριβείας, ψηφιακή γεωργία, ηλεκτρική αγωγιμότητα, χαρτογράφηση παραγωγής, εδαφικές ιδιότητες αμπελώνων

Abstract

Since a vineyard has an estimated lifespan of 20-40 years, the decisions made during its planting and its subsequent course are vital to its viability and productivity in the future. The current study shows that the characterization and description of the soil profile are necessary to define specific management areas in a vineyard. The use of ECa as a non-invasive technique can provide useful information for the location of vineyards at an acceptable cost and moderately specialized know-how. The study includes measurements taken in the summer of 2019 in a productive vineyard of wine grapes in the Mediterranean of Attica.

Keywords: precision viticulture, digital agriculture, electrical conductivity, production mapping, vineyard soil properties

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας την διενέργεια και την συγγραφή της διατριβής αυτής, θα ήθελα να εκφράσω της ευγνωμοσύνη μου στους ανθρώπους που βρέθηκαν δίπλα μου κατά την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών και αποτέλεσαν έμπνευση για τη συνέχιση της έρευνας.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω στον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Ηλία Κόρκα για την πολύτιμη καθοδήγηση του κατά την διάρκεια των σπουδών μου, όπως και για την επίβλεψη και διόρθωση της παρούσας μελέτης. Επίσης, ευχαριστώ πολύ τον κ. Βασίλη Παναγιώτου, αμπελουργό και οινοπαραγωγό στα Μεσόγεια της Αττικής, ο οποίος διέθεσε τους αμπελώνες του για την ερευνητική δραστηριότητα της παρούσας μελέτης και πρόσφερε απλόχερα όλες τις απαιτούμενες πληροφορίες για την σωστότερη μελέτη των αμπελοτεμαχίων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Σπύρο Φουντά από το Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών για την πολύτιμη καθοδήγησή του και για την διάθεση του απαιτούμενου εξειδικευμένου εξοπλισμού προκειμένου να γίνουν οι επιτόπιες μετρήσεις, όπως επίσης και τον συνεργάτη μου γεωπόνο Κωνσταντίνο Γριβάκη, διπλωματούχου πιλότου drone, για την έμπρακτη συμβολή του στην πειραματική διαδικασία.

Κατάλογος εικόνων

| | | |
|-----------|--|----|
| Εικόνα 1 | Οι δύο τοποθεσίες στις οποίες βρίσκονται οι επιλεγμένοι αμπελώνες | 39 |
| Εικόνα 2 | Τοποθεσία 1: Φύτευση με λευκές ποικιλίες (Ασύρτικο, Μαλαγουζιά, Μοσχάτο κλπ) | 39 |
| Εικόνα 3 | Η κλίση σε αυτή την τοποθεσία είναι σχεδόν μηδενική ενώ περιμετρικά υπάρχουν άλλες καλλιέργειες | 40 |
| Εικόνα 4 | Τοποθεσία 2(ΠΟΥΣΙ): Φύτευση με διάφορες ποικιλίες (Ασύρτικο, Σαββατιανό, Merlot, Cabernet Sauvignon) | 40 |
| Εικόνα 5 | Είναι εμφανής η κλίση του αμπελώνα στην περιχή που είναι φυτεμένες οι κόκκινες ποικιλίες | 41 |
| Εικόνα 6 | Περιμετρικά του αμπελώνα υπάρχουν οικισμοί..... | 41 |
| Εικόνα 7 | Ο αισθητήρας EM της Geonics | 43 |
| Εικόνα 8 | Η πολυφασματική κάμερα Parrot Sequoia | 44 |
| Εικόνα 9 | Πτήση με το drone στην τοποθεσία 1 | 44 |
| Εικόνα 10 | Πτήση με το drone στην τοποθεσία Πούσι | 45 |
| Εικόνα 11 | Τα σημεία δειγματοληψίας με το EM (τοποθεσία 1)..... | 46 |
| Εικόνα 12 | Τα σημεία δειγματοληψίας με το EM (τοποθεσία 1) και το περίγραμμα του αγρού | 46 |
| Εικόνα 13 | Η ηλεκτρική αγωγιμότητα όπως προέκυψε μετά την χωρική παρεμβολή IDW | 47 |
| Εικόνα 14 | Τα σημεία δειγματοληψίας με το EM (τοποθεσία Πούσι)..... | 47 |
| Εικόνα 15 | Τα σημεία δειγματοληψίας με το EM (τοποθεσία Πούσι) και το περίγραμμα του καθενός από τα 3 τμήματα | 48 |
| Εικόνα 16 | Η ηλεκτρική αγωγιμότητα όπως προέκυψε μετά την χωρική παρεμβολή IDW | 48 |
| Εικόνα 17 | Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο τμήμα με την κλίση (ποικιλίες Merlot και Cab. Sauvignon) | 49 |
| Εικόνα 18 | Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο τμήμα με το Ασύρτικο..... | 49 |
| Εικόνα 19 | Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο τμήμα με το Σαββατιανό..... | 50 |
| Εικόνα 20 | Τα σημεία δειγματοληψίας σύμφωνα με το σχέδιο πτήσης (Τοποθεσία 1) | 51 |
| Εικόνα 21 | Η εξαγωγή του νέφους σημείων για τον ορθομοσασικό χάρτη (Τοποθεσία 1)..... | 52 |
| Εικόνα 22 | Ο χάρτης του δείκτη βλάστησης NDVI (Τοποθεσία 1) | 52 |
| Εικόνα 23 | Τα σημεία δειγματοληψίας σύμφωνα με το σχέδιο πτήσης (Τοποθεσία. 2) | 53 |
| Εικόνα 24 | Η εξαγωγή του νέφους σημείων για τον ορθομοσασικό χάρτη (Τοποθεσία 2)..... | 53 |
| Εικόνα 25 | Ο χάρτης του δείκτη βλάστησης NDVI (Τοποθεσία 2) | 54 |

Κατάλογος σχημάτων

| | | |
|---------|--|----|
| Σχήμα 1 | Η δομή μιας βασικής πλατφόρμας έξυπνων αντικειμένων | 3 |
| Σχήμα 2 | Απεικόνιση των 3 βασικών συστατικών μερών του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού θέσης (Global Positioning System). | 6 |
| Σχήμα 3 | Τεχνικές προσδιορισμού θέσης (i) Differential GPS και (ii) RTK GPS | 7 |
| Σχήμα 4 | Τα βασικά συστατικά από τα οποία αποτελείται ένα Γεωπληροφοριακό Σύστημα (GIS) | 8 |
| Σχήμα 5 | Απεικόνιση φασματικών ζωνών | 10 |
| Σχήμα 6 | Οι πιθανές αλληλεπιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα, το έδαφος και τα φυτά | 14 |
| Σχήμα 7 | Η φασματική απόκριση ανάλογα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας | 16 |
| Σχήμα 9 | Ένας χάρτης εφαρμογής με επτά ορισμένες ζώνες. Ο πίνακας περιέχει δεδομένα από αναλύσεις εδάφους και δείχνει πώς αυτές συνδέονται με τις ζώνες | 29 |

| | | |
|----------|--|----|
| Σχήμα 10 | Χάρτης εφαρμογής αζωτούχου λιπάσματος για μια καλλιέργεια βαμβακιού. Τα διαφορετικά χρώματα αντιπροσωπεύουν διαφορετικές δόσεις λιπάσματος. | 30 |
| Σχήμα 11 | Παράδειγμα ενός συστήματος εφαρμογής μεταβλητών δόσεων υγρού λιπάσματος με βάση αισθητήρες..... | 32 |

Κατάλογος Πινάκων

| | | |
|-----------|--|----|
| Πίνακας 1 | Κατηγορίες ηλεκτρομαγνητικού φάσματος | 11 |
| Πίνακας 2 | Βασικοί δείκτες βλάστησης, χρήσιμοι στην μεταβλητή λίπανση | 17 |
| Πίνακας 3 | Βασικές διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων μεταβλητών μεταχειρίσεων..... | 33 |
| Πίνακας 4 | Συνολική έκταση σε αμπελοκαλλιέργεια (σε. στρ.) στην Ελλάδα μεταξύ 2013-2017 Πηγή FAO..... | 34 |

Συντομογραφίες

- ΓΑ – Γεωργία Ακριβείας
- DGPS – Differential Global Positioning System
- ESA – European Space Agency
- ECa – Electrical Conductivity
- FAO – Food and Agriculture Organization
- GIS – Geographic Information System
- GNSS – Global Navigation Satellite System
- GPS – Global Positioning System
- IoT – Internet of Things
- MVP – Minimum Viable Product
- PA – Precision Agriculture
- PNM – Precision Nitrogen Management
- RTK – Real Time Kinematic
- TIR – Thermal Infra Red
- UAV – Unmanned Aerial Vehicle
- VHR – Very High Resolution
- VI – Vegetation Index
- VIS-NIR – Visual-Near Infra Red
- VRA – Variable Rate Application

Περιεχόμενα

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | Γεωργία ακριβείας | 1 |
| 1.1 | Εισαγωγή..... | 1 |
| 1.1.1 | Ορισμός και στόχος της γεωργίας ακριβείας..... | 1 |
| 1.1.2 | Έξυπνη γεωργία | 2 |
| 1.1.3 | Η γεωργία στην Ελλάδα..... | 4 |
| 1.1.4 | Δυσκολίες υιοθέτησης της γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα..... | 4 |
| 1.2 | Τεχνολογίες της Γεωργίας Ακριβείας..... | 5 |
| 1.2.1 | Παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (GNSS) | 5 |
| 1.2.1.1 | Διαφορικό GPS (Differential GPS - DGPS) | 6 |
| 1.2.1.2 | Real Time Kinematic (RTK) GPS | 7 |
| 1.2.2 | Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information System) | 7 |
| 1.2.2.1 | Χρήση GIS για Γεωργία Ακριβείας..... | 9 |
| 1.2.3 | Τηλεπισκόπηση..... | 10 |
| 1.2.3.1 | Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα | 10 |
| 1.2.3.2 | Δομή πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων | 12 |
| 1.2.3.3 | Οι εφαρμογές τηλεπισκόπησης στη γεωργία | 13 |
| 1.2.3.4 | Πλεονεκτήματα τηλεπισκόπησης στην γεωργία ακριβείας | 18 |
| 1.2.4 | Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας | 19 |
| 1.2.4.1 | Σημασία Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας..... | 20 |
| 1.2.4.2 | Πως εφαρμόζεται η Ηλεκτρική αγωγιμότητα στη Γεωργία Ακριβείας..... | 21 |
| 1.2.4.3 | Μέθοδοι μέτρησης..... | 22 |
| 1.2.5 | Εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις | 23 |
| 1.2.5.1 | Μέθοδοι εφαρμογής λιπάσματος μεταβλητού ρυθμού | 25 |
| 1.2.5.2 | Ζώνες διαχείρισης | 25 |
| 1.2.5.3 | Μεταβλητές μεταχειρίσεις με βάση χάρτες | 27 |
| 1.2.5.4 | Τι είναι ο χάρτης εφαρμογής | 28 |
| 1.2.5.5 | Δημιουργία του χάρτη εφαρμογής | 29 |
| 1.2.5.6 | Μεταβλητές μεταχειρίσεις βάσει αισθητήρων | 31 |
| 2 | Αμπελουργία ακριβείας..... | 34 |
| 2.1 | Αμπελουργία στην Ελλάδα | 34 |
| 2.1.2 | Καλλιεργούμενες εκτάσεις και οικονομική σημασία..... | 34 |
| 2.2 | Η σημασία της αμπελουργίας ακριβείας..... | 34 |
| 2.3 | Η σημασία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους στην αμπελουργία | 35 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3 | Σκοπός της παρούσας μελέτης..... | 37 |
| 4 | Υλικά και μέθοδοι..... | 39 |
| 4.1 | Ο αμπελώνας που μελετήθηκε..... | 39 |
| 4.2 | Όργανα και μετρήσεις..... | 42 |
| 4.2.1 | Ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους με το EM..... | 42 |
| 4.2.2 | Πολυφασματικές εικόνες με κάμερα Sequioa τοποθετημένη σε drone..... | 43 |
| 4.3 | Μεθοδολογία για την εξαγωγή χάρτη ηλεκτρικής αγωγιμότητας..... | 45 |
| 4.4 | Μεθοδολογία για την εξαγωγή χάρτη του δείκτη NDVI..... | 51 |
| 5 | Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης του συστήματος..... | 55 |
| 6 | Βιβλιογραφία..... | 57 |
| | Ξενόγλωσση..... | 57 |
| | Ελληνόγλωσση..... | 58 |

1 Γεωργία ακριβείας

Εισαγωγή

Σύμφωνα με την πρόσφατη έκθεση του FAO, ο παγκόσμιος πληθυσμός θα ξεπεράσει τα 9,0 δισεκατομμύρια άτομα έως το έτος 2050 (FAO, 2009). Προκειμένου να καλυφθεί η προβλεπόμενη παγκόσμια ζήτηση για τρόφιμα, ζωοτροφές, ίνες και καύσιμα, θα πρέπει να ξεπεραστούν πολλές προκλήσεις για να επιτευχθεί το επίπεδο της γεωργικής αποδοτικότητας έως το 2050. Κατά τη διάρκεια του προηγούμενου αιώνα, πολλοί παράγοντες συντέλεσαν στην αύξηση του ρυθμού της αγροτικής παραγωγής, όπως η έντονη μηχανοποίηση, η βελτίωση της γενετικής και η αυξημένη χρήση πόρων. Αυτή η αύξηση της παραγωγής παρ' όλ' αυτά προκάλεσε την υπερπροσφορά διαφόρων αγροτικών εισροών, σχετικών με την άρδευση, τις θρεπτικές ουσίες αλλά και τα φυτοφάρμακα. Αυτή η αύξηση είχε πολλές αρνητικές συνέπειες και οδήγησε σε εξάντληση των εδαφών, σε πολλές περιπτώσεις λειψυδρία, αποψίλωση των δασών αλλά και υψηλά επίπεδα εκπομπών αερίων θερμοκηπίου. Αυτή τη στιγμή, η γεωργική παραγωγή εκμεταλλεύεται πάνω από το 70% του διαθέσιμου νερού και απαιτεί τεράστιες ποσότητες κατανάλωσης χημικών παρασκευασμάτων, καθιστώντας την μη βιώσιμη. Ως εκ τούτου, η βιωσιμότητα στη γεωργία είναι απαραίτητη που καθίσταται ανάγκη όχι μόνο λόγω της έλλειψης φυσικών πόρων και της αύξησης του πληθυσμού, αλλά και για την αυξανόμενη προσοχή που αξίζει στην ευημερία και τον πράσινο τρόπο ζωής. Η αγροτική παραγωγή οφείλει να δώσει λύσεις σε προηγούμενες και νέες προκλήσεις συνδυάζοντας γνώσεις από διαφορετικούς κλάδους, όπως της τεχνολογίας και της πληροφορικής.

1.1.1 Ορισμός και στόχος της γεωργίας ακριβείας

Με τον όρο Γεωργία Ακριβείας - ΓΑ (Precision Agriculture - PA) ορίζουμε τη διαχείριση της χωρικής και χρονικής διαφοροποίησης των αγρών προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα των αγροκτημάτων και/ή να επιτευχθεί μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον από την μη ορθολογική χρήση των εισροών (Γέμος κ.ά., 2002). Ο σκοπός της γεωργίας ακριβείας είναι

1. Η επιλογή των καλύτερων γεωργικών πρακτικών, σε σχέση με τις καλλιεργητικές ανάγκες των αγρών.
2. Η μείωση της υπέρμετρης χρήσης χημικών και γεωργικών μηχανημάτων.
3. Η ελαχιστοποίηση των αρνητικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
4. Η εξοικονόμηση ενέργειας.
5. Να συμβάλλει στην αύξηση της ποιότητας της παραγωγής, φροντίζοντας παράλληλα και την οικονομική βιωσιμότητα των καλλιεργητών.

Στην αρχή της ΓΑ έδωσε μεγάλη σημασία στα Παγκόσμια Δορυφορικά Συστήματα Πλοήγησης (Global Navigation Satellite System - GNSS) και στην δυνατότητά τους να καταγράφουν και να ποσοτικοποιούν τη χωρική μεταβλητότητα των εδαών. Η δεύτερη δεκαετία επικεντρώθηκε στην αυτοματοποίηση των τρακτέρ και των μηχανημάτων και στην ανάπτυξη τεχνολογιών που θα επέτρεπαν την ακριβή διαχείριση των εισροών, όπως τα θρεπτικά συστατικά των καλλιεργειών. Στην τρέχουσα περίοδο, παρατηρείται μεγάλη αύξηση των συγκεντρωμένων γεωργικών δεδομένων που χαρακτηρίζονται γεωγραφικά μέσω από μια σειράς αισθητήρων και συσκευών ανίχνευσης. Ως εκ τούτου, η επιτυχία των μελλοντικών γεωργικών πρακτικών, δηλαδή της παραγωγής, της αποδοτικότητας και της βιωσιμότητας, θα βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στην «καλλιέργεια των δεδομένων» όπως και στην «καλλιέργεια της γης».

Η τεχνολογία των πληροφοριών πρέπει να συνδέεται άρρηκτα με τον αγροτικό κόσμο προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της γεωργίας ακριβείας. Η ποικιλία φυτών, τα μεταβλητά χαρακτηριστικά του αγρού, οι διάφορες τεχνολογικές λύσεις, οι περιφερειακές υποδομές και τα κίνητρα και οι προθέσεις του γεωργού μπορεί να είναι βασικοί παράγοντες για τη διαχείριση της ακρίβειας σε μια αγροτική εκμετάλλευση.

1.1.2 Έξυπνη γεωργία

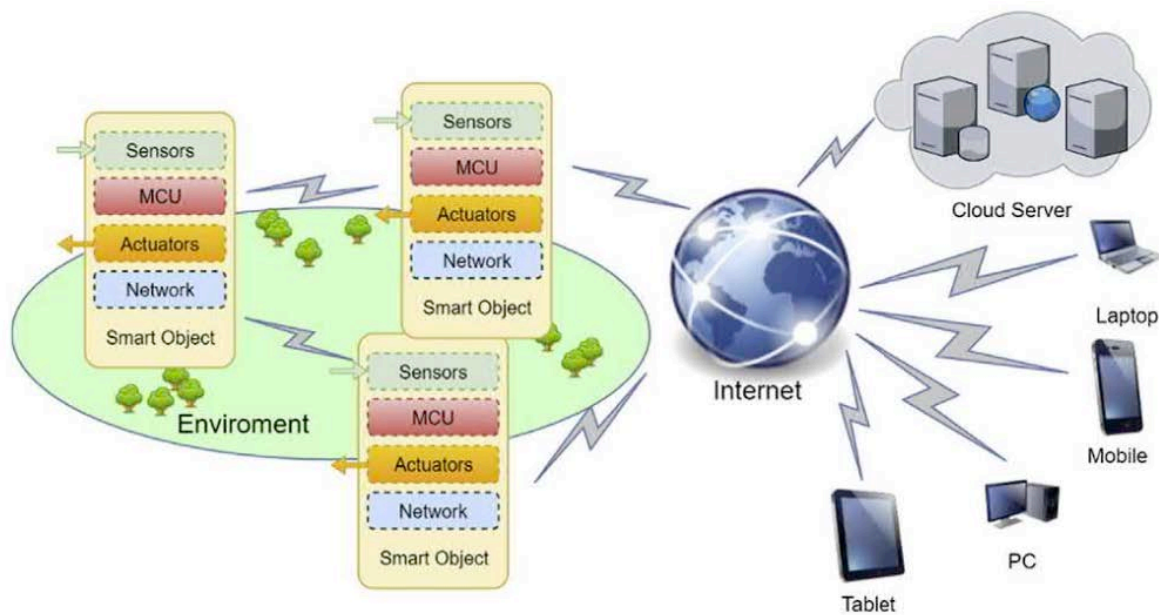
Η έξυπνη γεωργία αποτελεί την επόμενη φάση της γεωργίας ακριβείας και εστιάζει στο Διαδίκτυο των πραγμάτων (Internet of Things - IoT¹). Αυτός ο όρος επινοήθηκε από τον Kevin Ashton² το 1999 και αντιπροσωπεύει δεδομένα που συλλέγονται από αντικείμενα ή «πράγματα» (π.χ. συσκευές, εργαλεία, αισθητήρες) και υποβάλλονται σε επεξεργασία μεμονωμένα ή μαζί με αλγόριθμους που συσχετίζουν τις πληροφορίες για να βοηθήσουν τους χρήστες να λάβουν αποφάσεις όχι μόνο με βάση τη θέση, όπως είναι στη γεωργία ακριβείας, αλλά και σε δεδομένα που έχουν ενισχυθεί από την αντίληψη του περιβάλλοντος και την μεταβολή των διαφόρων καταστάσεων, οι οποίες ενεργοποιούνται από γεγονότα σε πραγματικό χρόνο (Wolfert et al., 2017).

Η τεχνολογική εξέλιξη στη γεωργία είναι αρκετά ευμετάβλητη (Pivoto et al., 2017), κι εκφράζεται πολύ διαφορετικά σε κάθε χώρα. Σε κάποιες περιοχές γίνεται να εισαχθεί εύκολα μια εφαρμογή έξυπνης γεωργίας αν οι αγρότες εργάζονται ήδη με βασικές τεχνολογίες, όπως συστήματα μεταβλητών δόσεων ή έχουν ήδη αισθητήρες εγκατεστημένους ώστε να παρακολουθούν σημαντικές μεταβλητές στις καλλιέργειές τους. Αντίθετα, η πλειοψηφία των αγροτών πρέπει να εισαγάγει την καινοτομία στα μηχανήματά τους, διαδικασία η οποία απαιτεί χρόνο γιατί πρώτα απ' όλα πρέπει να ξεκινήσουν εισάγοντας όλες τις βασικές τεχνολογίες και πάνω απ' όλα επειδή

1 https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things

2 <https://blog.avast.com/kevin-ashton-named-the-internet-of-things>

αλλάζει ριζικά τον τρόπο εργασίας. Σε μια κουλτούρα που βασίζεται στην παράδοση, είναι δύσκολο να εισαχθεί μια αλλαγή, επομένως είναι απαραίτητο όχι μόνο οι εταιρείες να μιλούν για έξυπνη γεωργία στους αγρότες αλλά και σε όλους τους δημόσιους και ιδιωτικούς φορείς, τις ενώσεις αγροτών, στα πανεπιστήμια και στους συμβούλους, να τους προβάλλουν τα πλεονεκτήματα των νέων τεχνολογιών και να το παρουσιάζουν ως τον καλύτερο τρόπο για τη μείωση του κόστους και της ρύπανσης και την αύξηση της ποιότητας της παραγωγής.



Σχήμα 1 Η δομή μιας βασικής πλατφόρμας έξυπνων αντικειμένων

Η προσέγγιση της έξυπνης καλλιέργειας βασίζεται στη συλλογή δεδομένων από διαφορετικές πηγές με όσο το δυνατόν πιο αυτόματο τρόπο, διότι είναι δυνατή η απόκτηση τεράστιου όγκου δεδομένων (τα λεγόμενα Big Data³) χωρίς μεγάλες προσπάθειες από τον αγρότη (Wolfert et al., 2018). Τα δεδομένα που συλλέγονται σε αυτό το πλαίσιο συνήθως εξάγονται σε κάποια υποδομή υπολογιστικού σύννεφου (cloud⁴) από κάποιον υπολογιστή που είναι ενσωματωμένος στο τρακτέρ, αλλά και από διάφορα είδη αισθητήρων εγκατεστημένων στον αγρό, είτε σε μικρή απόσταση ή από απομακρυσμένες πολυφασματικές κάμερες, μετεωρολογικούς σταθμούς κ.λπ. Μετά από την αυτόματη συλλογή δεδομένων, εκτελείται μια προεπεξεργασία και κάποιες βασικές προσαρμογές πριν τα δεδομένα παραδοθούν στις προαναφερθείσες πλατφόρμες υποδομής cloud. Με αυτή την πληροφορία, γεωργικοί σύμβουλοι μπορούν να αναλύσουν τις μεταβλητές και να εξάγουν συμπεράσματα χρήσιμα στους αγρότες. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Ahmad και Mahdi. 2018), αλλά κάθε πλατφόρμα IoT, ακόμα κι αν είναι εξαιρετικά ακριβής, δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει αυτόματα χωρίς την επίβλεψη των γεωπόνων και την

³ https://www.sas.com/en_us/insights/big-data/what-is-big-data.html

⁴ <https://www.ibm.com/cloud/learn/cloud-computing>

τελική έγκριση και αναθεώρηση του αγρότη. Η έξυπνη γεωργία, για πρώτη φορά, επιτρέπει τη συμμετοχή όλων των παραγόντων: αγρότη, γεωπόνο, σύμβουλο παρόχους υλικών και μηχανικών ή τεχνολογικών λύσεων, όσο και λοιπούς εμπλεκόμενους φορείς, για τη συλλογή όλων των πιθανών δεδομένων από το χωράφι και για να βοηθήσει τον αγρότη να λάβει τις σωστές αποφάσεις.

Πλέον στις μέρες μας, υπάρχουν αμέτρητες περιπτώσεις χρήσης των λύσεων που προφέρει η έξυπνη γεωργία, πχ χρήση δορυφορικών εικόνων για χαρτογράφηση καλλιέργειας, στρατηγική χαρτών εφαρμογής λίπανσης, έξυπνες προσεγγίσεις στην άρδευση και τη χρήση διαφόρων αισθητήρων. Είναι πλέον πολύ εύκολο να ανακτηθούν δεδομένα μέσω εγγύτητας ή μέσω τηλεπισκόπησης, με συνέπεια να παρατηρείται αύξηση της λίπανσης μεταβλητού ρυθμού, της ζιζανιοκτονίας και της σποράς με ακριβείς μεθόδους, καθώς και της άρδευσης ακριβείας.

1.1.3 Η γεωργία στην Ελλάδα

Σήμερα, σχεδόν 5 εκατομμύρια εκτάρια χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα για γεωργικούς σκοπούς, ενώ υπάρχουν σχεδόν 700.000 εκμεταλλεύσεις που απασχολούν περισσότερα από 460.000 άτομα (Ευρωπαϊκή Ένωση, 2018α). Περισσότερο από το 10% του ελληνικού εργατικού δυναμικού απασχολείται στον πρωτογενή τομέα με την μέση καλλιεργητική μονάδα να ανέρχεται στα 6,8 εκτάρια. Οι περισσότερες ελληνικές εκμεταλλεύσεις έχουν οικονομικό προϋπολογισμό μικρότερο από 15.000€, το 80% των κατόχων είναι άνω των 45 ετών και σχεδόν το 55% των εκμεταλλεύσεων έχουν πρόσβαση σε ευρυζωνική σύνδεση στο Διαδίκτυο. Επιπλέον, πάνω από το 60% του ενεργού πληθυσμού στην γεωργία είναι χαμηλού εκπαιδευτικού επιπέδου. Οι πιο αξιοσημείωτες καλλιέργειες για την Ελλάδα είναι το σιτάρι, τα αμύγδαλα, οι πορτοκαλιές, οι ελιές, τα σταφύλια και το βαμβάκι (Ελληνική Δημοκρατία, 2018).

1.1.4 Δυσκολίες υιοθέτησης της γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα

Πολλές μελέτες έχουν δείξει τους παράγοντες που επηρεάζουν την υιοθέτηση τεχνολογιών και μεθόδων γεωργίας ακριβείας. Συγκεκριμένα, οι Daberkow και McBride (2003) διαπίστωσαν ότι η εκπαίδευση των χειριστών, η γνώση των υπολογιστών και το μέγεθος της εκμετάλλευσης συμβάλλουν θετικά στην υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας μετά από έρευνα σε περισσότερες από 8400 εκμεταλλεύσεις στις Ηνωμένες Πολιτείες, εκπροσωπώντας 2 εκατομμύρια ανθρώπους. Ωστόσο, υπάρχει διαφορετικό ποσοστό υιοθέτησης μεταξύ των χωρών. Το επίπεδο εκπαίδευσης και η καινοτομία του αγρότη αποτελούν τους πιο αξιοσημείωτους παράγοντες στην υιοθέτηση τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας. Η γεωργική παραγωγή στην Ελλάδα εξαρτάται από πολλές μεταβλητές που δυσκολεύουν την υιοθέτηση της γεωργίας ακριβείας όπως (α) το χαμηλό εκπαιδευτικό επίπεδο των αγροτών, (β) το υψηλό ποσοστό των πολύ ηλικιωμένων κατόχων

γεωργικών εκμεταλλεύσεων, (γ) η χαμηλή χρήση ευρυζωνικών συνδέσεων σε αγροτικές περιοχές και (δ) η περιορισμένη υποστήριξη από τους παρόχους τεχνολογίας.

Οι πρώτες μελέτες για την εφαρμογή μεθόδων και τεχνολογιών γεωργίας ακριβείας στην Ελλάδα έχουν μεγάλες προοπτικές λόγω της υψηλής χωρικής και χρονικής μεταβλητότητας που παρατηρείται στο εδάφους, στον καιρό, στις αποδόσεις και στις παραμέτρους ποιότητας. Πλέον πολλοί Έλληνες αγρότες ενδιαφέρονται για τα οφέλη που μπορεί να προσφέρει η γεωργία ακριβείας αναφορικά με την εξοικονόμηση κόστους, την απόδοση των καλλιεργειών, την ποιότητα τους και τα περιβαλλοντικά οφέλη και πολλοί υιοθετούν τεχνολογίες γεωργίας ακριβείας (Anastasiou et al., 2017b). Οι Barnes et al. (2019) διαπίστωσαν ότι μόνο το 13,5% σε ένα δείγμα 200 Ελλήνων αγροτών δήλωσε ότι χρησιμοποιούν εξοπλισμό μεταβλητού ρυθμού, ενώ το 51% δεν χρησιμοποιεί εξοπλισμό γεωργίας ακριβείας και το υπόλοιπο (35,5%) δήλωσε ότι χρησιμοποιεί μόνο συστήματα καθοδήγησης μηχανών.

Τεχνολογίες της Γεωργίας Ακριβείας

1.1.5 Παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (GNSS)

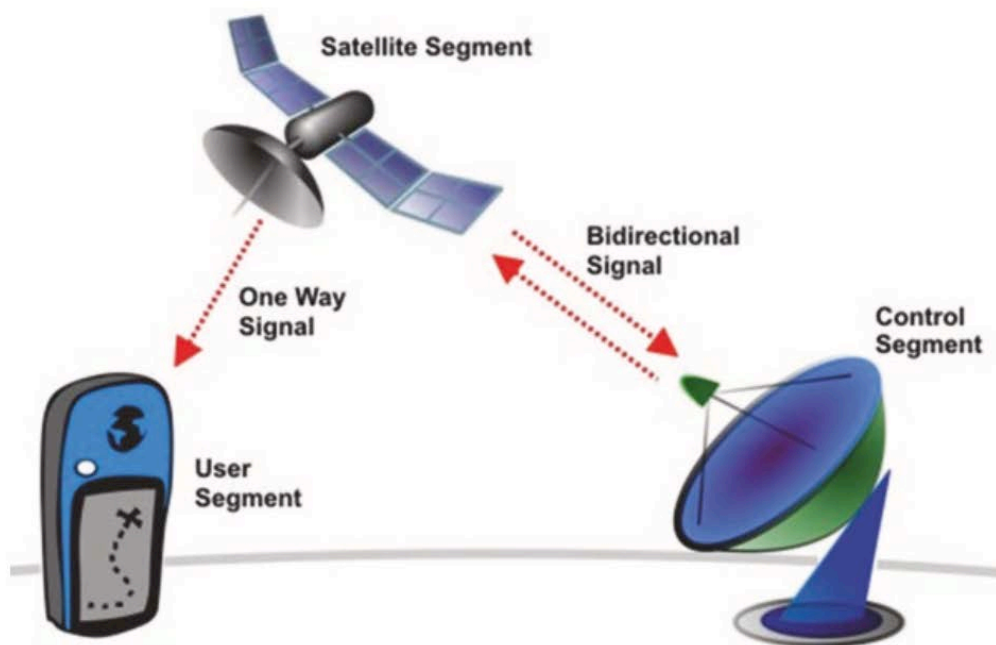
Ορίζουμε τον δορυφορικό εντοπισμό θέσης εννοώντας τον προσδιορισμό των απολύτων αλλά και των σχετικών ζευγών συντεταγμένων μέσω της ανάλυσης μετρήσεων προς ή από τεχνητούς δορυφόρους. Ο εντοπισμός της γεωγραφικής θέσης βασίζεται στη μέτρηση της συχνότητας του δορυφορικού σήματος με τη βοήθεια το φαινομένου Doppler. Το 1975 υπό την αιγίδα της αεροπορίας των ΗΠΑ, δημιουργήθηκε ένα σύστημα ικανού προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για στρατιωτικούς σκοπούς. Συνολικά σήμερα υπάρχουν τέσσερα GNSS, εκ των οποίων τα δύο είναι πλήρους επιχειρησιακής ικανότητας (Full Operational Capability – FOC), ενώ τα άλλα δύο βρίσκονται ακόμα στο αρχικό τους στάδιο. Τα τέσσερα GNSS αποτελούνται από το Αμερικάνικο GPS, το Ρωσικό GLONASS, το Κινεζικό GOMPASS/BEIDOU και το Ευρωπαϊκό GALILEO.

Οι δορυφόροι του GPS βρίσκονται σε σταθερή τροχιά σε ύψος 20.000 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της γης, σε δεδομένα σημεία. Στον καθένα δορυφόρο υπάρχει ένα ατομικό ρολόι ακρίβειας με το οποίο στέλνει ένα κωδικοποιημένο ηλεκτρομαγνητικό σήμα, το οποίο λαμβάνεται από τους δέκτες GPS που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης και χρησιμοποιείται για τον ακριβή υπολογισμό της γεωγραφικής θέσης του δέκτη. Το σήμα που εκπέμπεται από κάθε δορυφόρο περιέχει πληροφορίες για την ταυτότητα του δορυφόρου και την ακριβή χρονική στιγμή που έγινε εκπομπή. Αυτά τα σήματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός και μπορούν να ληφθούν από οποιονδήποτε δέκτη GPS. Ο δέκτης GPS λαμβάνει τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα από τους δορυφόρους και κατόπιν υπολογίζει τη χρονική διαφορά, την οποία και αξιοποιεί για να εκτιμήσει

την απόσταση του από κάθε δορυφόρο. Αρκεί να δεχτεί σήματα από τρεις τουλάχιστον δορυφόρους, προκειμένου να κάνει γεωμετρική ανάλυση και να καθορίσει τη γεωγραφική του θέση στην επιφάνεια της γης, που εκφράζεται σε γεωγραφικό μήκος και γεωγραφικό πλάτος. Όταν λαμβάνει σήματα και από τέταρτο δορυφόρο μπορεί να υπολογίσει και το υψόμετρο στο οποίο βρίσκεται. Τα σφάλματα του δορυφορικού ρολογιού, οι παρεμβολές της ατμόσφαιρας και η καθυστέρηση της διάδοσης του σήματος είναι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια του εντοπισμού της θέσης.

1.1.5.1 Διαφορικό GPS (Differential GPS - DGPS)

Για μεγαλύτερη ακρίβεια (περίπου 15 cm), η VRA απαιτεί διαφορικό GPS (DGPS), το οποίο είναι ουσιαστικά βελτιωμένο GPS. Το διαφορικό DGPS, χρησιμοποιεί τα σήματα από εγκατεστημένους επίγειους δέκτες για να διορθώσει το σφάλμα που υπάρχει, με βελτιωμένη ακρίβεια 30cm-1m. Τα πιο γνωστά συστήματα που χρησιμοποιούν δορυφόρους για εκπομπή διόρθωσης του σφάλματος αντί για σταθμούς εδάφους, με τα πιο γνωστά από αυτά να είναι τα: EGNOS (Ευρώπη), WAAS (USA), SDMC (Ρωσία), και για γεωργικές εφαρμογές το Starfire (JohnDeere). Οι κεραίες DGPS χρησιμοποιούνται πολύ στην γεωργία ακριβείας, παρόλο που έχουν πολύ υψηλό κόστος (περίπου 1500 ευρώ).



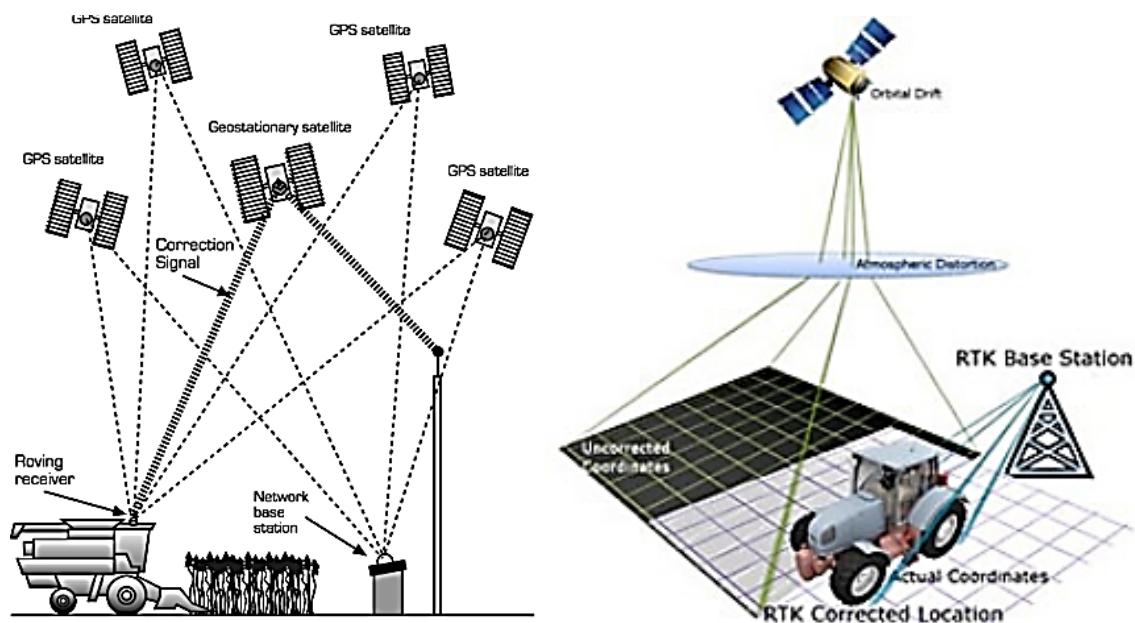
Σχήμα 2. Απεικόνιση των 3 βασικών συστατικών μερών του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού θέσης (Global Positioning System).

1.1.5.2 Real Time Kinematic (RTK) GPS

Μερικές φορές, εργασίες όπως VRA ή ο σχεδιασμός ψηφιακών μοντέλων ανύψωσης απαιτούν ακόμη μεγαλύτερη ακρίβεια. Τα συστήματα RTK έχουν ακρίβεια 1 cm η οποία επιτυγχάνεται με τη χρήση δύο κεραιών. Η μία κεραία αποτελεί τον σταθμός βάσης και η δεύτερη κεραία (rover) τοποθετείται σε ένα όχημα. Οι δύο κεραιές συνδέονται μεταξύ τους ασύρματα και ο σταθμός βάσης μεταδίδει τη φάση του σήματος που παρατηρεί και στέλνει τις πληροφορίες στο rover, το οποίο με τη σειρά του συγκρίνει τις πληροφορίες με τη φάση που παρατηρεί. Τα συστήματα RTK είναι τα πιο ακριβή, και λόγω της υψηλής τεχνολογίας και τα πιο ακριβά συστήματα σε κόστος.

1.1.2 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information System)

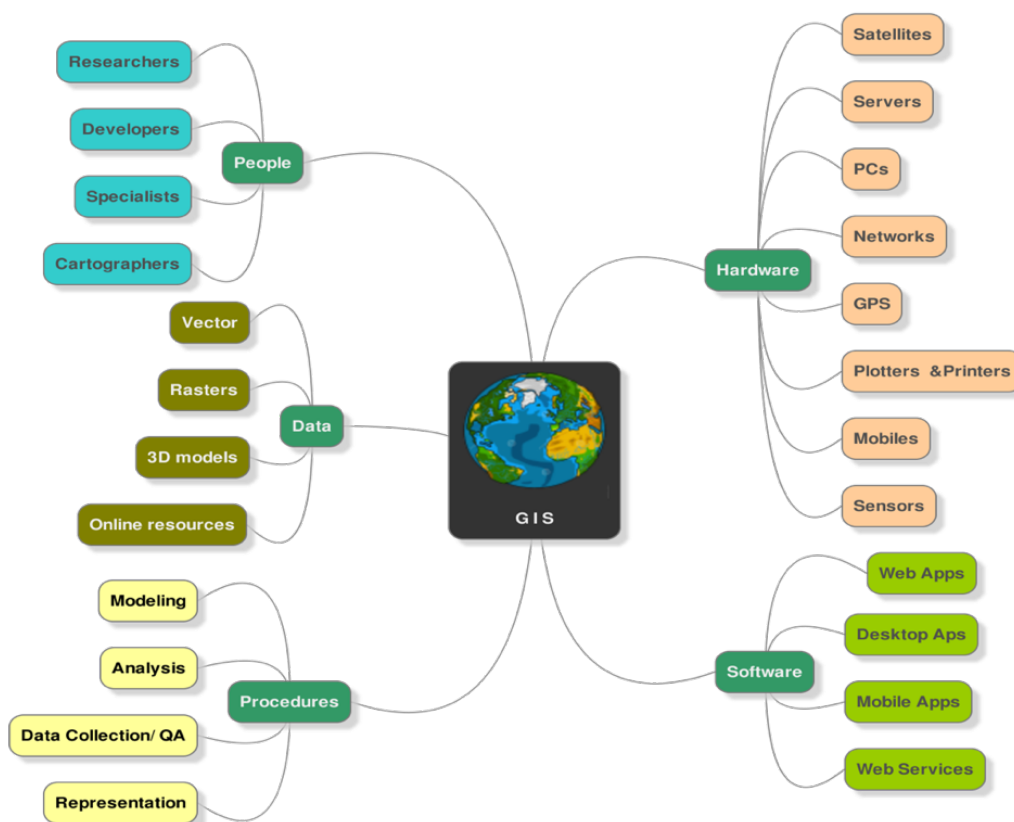
Σε ένα σύστημα Γεωργίας Ακριβείας οι πληροφορίες που έχουν σχέση με τον αγρό, αντιστοιχίζονται με αριθμούς περιγράφοντας μετρήσεις μεγεθών, όπως επιτόπιες μετρήσεις, εφαρμογή εισροών με μεταβλητή δόση κοκ. Οι πληροφορίες με χρήση του GPS, συμπληρώνονται και από το γεωγραφικό στίγμα των αντίστοιχων σημείων του αγρού όπου βρίσκονται. Λόγω του τεράστιου όγκου πληροφοριών απαιτείται η χρήση κάποιου λογισμικού για την επεξεργασία τους. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών είναι λογισμικά με τα οποία οι πληροφορίες οργανώνονται, αναλύονται και επεξεργάζονται. Οι πληροφορίες απεικονίζονται ως ψηφιακοί χάρτες του αγρού εφόσον έχουν προηγουμένως προσδιοριστεί γεωγραφικά με GPS. Υπάρχουν διάφορα εργαλεία προς χρήση σε ένα GIS όπως στατιστικές αναλύσεις, προσομοιώσεις και άλλες αναλυτικές μέθοδοι, οι οποίες βοηθούν στην εξαγωγή συμπερασμάτων και στη λήψη αποφάσεων. Συνήθως συνδυάζονται και με βάσεις δεδομένων οι οποίες που συνδέονται με το GIS και τα εργαλεία του για το χειρισμό τους.



Σχήμα 3 Τεχνικές προσδιορισμού θέσης (i) Differential GPS και (ii) RTK GPS

Αριστερά: Σύστημα διαφορικού καθολικού εντοπισμού θέσης (GPS). **Δεξιά:** Κινηματικό σύστημα σε πραγματικό χρόνο.

Σε ένα σύστημα GIS μπορούμε να εισάγουμε πληροφορίες σχετικά με την αγροτική παραγωγή όπως ο όγκος της παραγωγής, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, η περιεκτικότητα του εδάφους σε θρεπτικά συστατικά κ.ο.κ. Επιπρόσθετα, μπορούμε να εισάγουμε διάφορες μετρήσεις (πχ εντομολογικές, ζιζάνια στις καλλιέργειες), ή επιπλέον πληροφορίες όπως ένας χάρτης των σημείων δειγματοληψίας εδάφους. Αναλύοντας τα παραπάνω δεδομένα μπορούμε να οδηγηθούμε στο να ταυτοποιήσουμε παραγόντες που επιδρούν αρνητικά στην παραγωγή και να τα διορθώσουμε πχ εφαρμόζοντας μια εισροή με μεταβλητή δόση.



Σχήμα 4 Τα βασικά συστατικά από τα οποία αποτελείται ένα Γεωπληροφοριακό Σύστημα (GIS)

Ένα GIS λογισμικό συνήθως έχει τα παρακάτω στοιχεία:

1. Σύστημα εισαγωγής χωρικών δεδομένων με το οποίο εισάγουμε πληροφορίες προερχόμενες από χάρτες, δορυφορικές εικόνες, πολυφασματικές φωτογραφίες κ.α.
2. Σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης βάσης δεδομένων
3. Σύστημα εμφάνισης δεδομένων για τα στοιχεία που εμφανίζονται ή καταχωρούνται όπως πίνακες, χάρτες και σχήματα που εμφανίζονται στην οθόνη ή καταχωρούνται στη μνήμη του υπολογιστή.

4. Σύστημα ανάλυσης δεδομένων με τα εργαλεία για την αφαίρεση λαθών από τα δεδομένα, τον υπολογισμό επιφανειών, περιμέτρων, την αλλαγή κλίμακας χαρτών, τη γεωστατιστική ανάλυση των δεδομένων.
5. Σύστημα αλληλεπίδρασης και επικοινωνίας με τους χρήστες που περιλαμβάνει διάφορα μενού εντολών.

Σ' ένα γεωπληροφοριακό σύστημα μπορούμε να μοντελοποιήσουμε και να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα με 2 τρόπους: α) σε μορφή διανύσματος ή vector, όπου αφορά συνήθως τα συνεχή δεδομένα δηλαδή σημεία, γραμμές και πολύγωνα, και β) με μορφή κυψελίδων ή raster. Τα διανυσματικά δεδομένα συνήθως συγκεντρώνονται με της δειγματοληψία, ενώ τα δεδομένα κυψελίδων συλλέγονται με αισθητήρες.

1.1.2.1 Χρήση GIS για Γεωργία Ακριβείας

Οι χάρτες δείχνουν την παραλλακτικότητα ενός μετρούμενου μεγέθους στον αγρό. Για τη δημιουργία των χαρτών συνήθως ακολουθούμε τα εξής βήματα:

- Εισάγουμε το περίγραμμα του αγρού
- Εισάγουμε δεδομένα από μεταβλητές του αγρού
- Δημιουργούμε μια συνεχή επιφάνεια με τη χωρική παρεμβολή
- Επιλέγουμε στυλ και χρωμάτα για το χάρτη
- Εξαγωγή του χάρτη σε αρχείο και μορφή που διαβάζεται εύκολα από άλλα υπολογιστικά συστήματα

Οι πληροφορίες σχετικά με την κάθε καλλιεργήσιμη έκταση συνήθως εισάγονται σε επίπεδα (data layers) που ακολούθως τα συνδυάζουμε και λαμβάνουμε αποφάσεις για την καταλληλότερη διαχείριση του αγρού. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι οι εξής:

- Περίγραμμα του αγρού
- Χάρτης εδαφικών τύπων
- Σημεία δειγματοληψίας
- Χάρτες θρεπτικών στοιχείων
- Πληθυσμός ζιζανίων
- Χάρτης στράγγισης
- Χάρτης παραγωγής

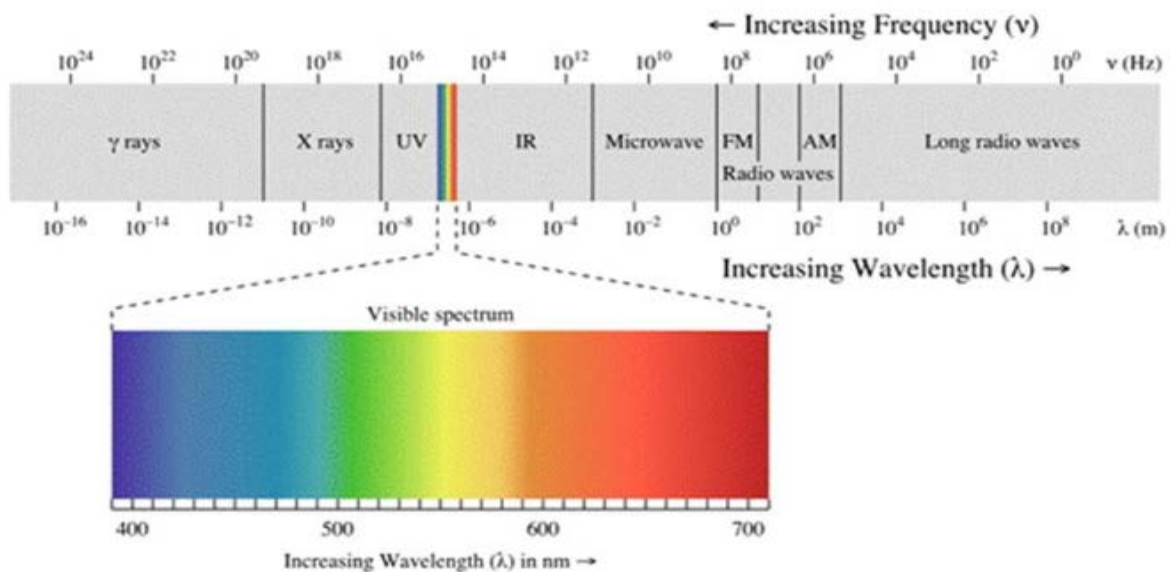
Τα GIS στη Γεωργία Ακριβείας χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση αγροτεμαχίων, που συλλέγονται από ποικίλες πηγές, από επίγειους αισθητήρες έως δορυφορικές εικόνες. Αυτά περιλαμβάνουν:

- Την δυνατότητα που δίνουν για την πρόβλεψη της παραγωγής.
- Την χρήση των διάφορων εισροών με πιο αποτελεσματικό τρόπο που έχει σαν συνέπεια την μείωση του κόστους.
- Τον προγραμματισμό της συγκομιδής σύμφωνα με ποιοτικά χαρακτηριστικά, με στόχο την βελτίωση του εισοδήματος του παραγωγού.
- Την διασφάλιση της ποιότητας σύμφωνα με διάφορα πρωτόκολλα (ISO, HACCP).
- Την αποδοτική και γρήγορη διαχείριση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων.

1.1.3 Τηλεπισκόπηση

1.1.3.1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Οι αισθητήρες που είναι ενσωματωμένοι πάνω στους δορυφόρους καταγράφουν την ακτινοβολία η οποία προέρχεται από την γη σε διαφορετικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Το Η/Μ φάσμα έχει ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών μηκών κύματος, από τα οποία μόνον ένα μικρό εύρος μηκών κυμάτων καταλαμβάνει το ορατό φασμά, 400-700nm.



Σχήμα 5 Απεικόνιση φασματικών ζωνών

Μία πιο συγκεκριμένη κλίμακα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος παρουσιάζεται στον Πίνακα 1. Το εκάστοτε μήκος κύματος ορίζεται ως η απόσταση από την κορυφή ενός κύματος έως την επόμενη και συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα λ. Μερικά χρήσιμα μήκη κύματος είναι α) το NIR και SWIR γνωστά και ως Ανακλώμενα υπέρυθρα (Reflected Infrared) β) τα MWIR and LWIR είναι γνωστά ως θερμικά υπέρυθρα (Thermal Infrared) γ) η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από τον ήλιο ξεκινά από τις γάμα (γ) και χ (X) ακτίνες με μήκη κύματος περίπου της τάξης των εκατοστών

του μικρόμετρου δ) το ορατό μήκος κύματος και ε) στα μήκη κύματος που λειτουργούν το ραδιόφωνο και η τηλεόραση με μήκος κύματος ως μερικά χιλιόμετρα.

Πίνακας 1 Κατηγορίες ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

| Κατηγορίες ηλ/κού φάσματος | Κατηγορίες φασματικών ζωνών | Μήκος κύματος(λ) |
|--|---|-------------------------------------|
| Ράδιο-κύματα | | 10cm έως 10km. |
| Μικροκύματα | | 1mm έως 1m |
| Υπέρυθρα μικροκύματα | Εγγύς υπέρυθρα μήκη κύματος Near Infrared, NIR): | από 0.7 έως 1.5μm. |
| | Υπέρυθρα μικρά μήκη κύματος (Short Wavelength Infrared, SWIR | από 1.5 έως 3μm. |
| | Υπέρυθρα μεσαία μήκη κύματος (Mid Wavelength Infrared, MWIR) | από 3 έως 8μm. 21 |
| | Υπέρυθρα μεγάλα μήκη κύματος (Long Wavelength Infrared, LWIR) | από 8 έως 15μm |
| | Υπέρυθρα απομακρυσμένα μήκη κύματος (Far Infrared, FIR) | με μεγαλύτερο μήκος κύματος από15μm |
| Ορατά μήκη κύματος 400 -700nm | Ζώνη του κόκκινου | 610 - 700nm |
| | Πορτοκαλί | 590 - 610nm. |
| | Κίτρινο | 570 - 590nm. |
| | Πράσινο | 500 - 570nm. |
| | Μπλε | 450 - 500nm. |
| | Απόχρωση του μπλε (indigo) | 430 - 450nm. |
| | Βιολετί | 400 - 430nm. |
| | Υπεριώδες | από 3 έως 400nm. |
| Ακτίνες X και των ακτίνες Γάμμα (Gamma Rays) | Ακτίνες X και ακτίνες Γάμμα (Gamma Rays). | |

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία φτάνοντας σε μία επιφάνεια μπορεί να ανακλαστεί, να διαχυθεί ή και να απορροφηθεί και να μεταδοθεί στη συνέχεια σε κάποιο άλλο μέσο. Επειδή ανιχνεύεται μόνον αφού αντιδράσει με κάποιο υλικό σώμα, οι αισθητήρες δέχονται ηλεκτρομαγνητική ενέργεια η οποία δεν έρχεται απευθείας από τον ήλιο, αλλά αφού ανακλαστεί, διαχυθεί και μεταδοθεί αφού απορροφηθεί από άλλα υλικά μέσα όπως την επιφάνεια γης, υδάτινες επιφάνειες, σύννεφα, ατμόσφαιρα, κ.ο.κ.. Ο ήλιος είναι η κύρια πηγή μετάδοσης της Η/Μ ακτινοβολίας, ωστόσο υπάρχουν και πολλές τεχνητές πηγές μετάδοσης όπως τα κινητά τηλέφωνα, οι τηλεοράσεις παλιού τύπου, οι φούρνοι μικροκυμάτων μέχρι και οι ηλεκτρικοί λαμπτήρες, κ.ά.

Τα αντικείμενα στην που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης, αντιδρούν διαφορετικά στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και εμφανίζονται φωτεινότερα ή σκοτεινότερα ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που προσπίπτει σε αυτά. Η τηλεπισκόπηση βασίζεται στην κατανομή της ακτινοβολίας η οποία εκπέμπει ή ανακλά κάθε σώμα σε διάφορα μήκη κύματος και είναι τυπική της φυσικής κατάστασης και της χημικής του σύστασης, τη λεγόμενη φασματική

υπογραφή. Η φασματική υπογραφή χαρακτηρίζει κάθε σώμα ή χημική ένωση και επιτρέπει να διακρίνεται το χιόνι από το νερό, την βλάστηση από το έδαφος, τους διάφορους τύπους πετρωμάτων, τις διάφορες ενώσεις τόσο στην ατμόσφαιρα όσο και στη θάλασσα (Lo, 1986).

1.1.3.2 Δομή πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων

Μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα αποτελείται από πολλές εικόνες της ίδιας περιοχής της επιφάνειας της γης καταγεγραμμένες την ίδια χρονική στιγμή αλλά σε διαφορετικό μήκος κύματος. Μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα αποτελείται από τόσες επιμέρους εικόνες όσες και τα μήκη κύματος που καταγράφει. Η ίδια περιοχή την ίδια χρονική στιγμή και οι εικόνες αυτές είναι απολύτως υπερθέσιμες μεταξύ τους εννοώντας ότι κάθε pixel απεικονίζει την ίδια περιοχή σε διαφορετικά μήκη κύματος, με διαφορετική φωτεινή ένταση. Κάθε μονοφασματική εικόνα αποτελείται από μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα και ονομάζεται φασματικό κανάλι ή φασματική ζώνη. Έτσι, έχουμε εικόνες ακριβώς της ίδιας περιοχής καταγεγραμμένες την ίδια χρονική στιγμή αλλά στις διαφορετικές περιοχές τους.

Η ποιότητα που παρουσιάζουν οι δορυφορικές εικόνες εξαρτάται κατά πολύ από τις ιδιότητες των φασματόμετρων που έχουν οι δορυφόροι. Οι βασικές ιδιότητες που περιγράφουν μια δορυφορική εικόνα ορίζονται και σαν την διακριτική ικανότητα του αισθητήρα που έχει ο κάθε δορυφόρος.

A. Η χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution)

Χωρική διακριτική ικανότητα, λέμε την ικανότητα ενός συστήματος να διακρίνει δυο αντικείμενα που βρίσκονται πολύ κοντά. Ποσοτικά ισούται με τη μικρότερη απόσταση που μπορούν να έχουν, ώστε οι διαστάσεις τους να διακρίνονται χωριστά και καθαρά ή το εναλλακτικά ως το ελάχιστο δυνατό μέγεθος που πρέπει να έχει ένα αντικείμενο για να μπορεί να ανιχνευτεί.

B. Η φασματική διακριτική ικανότητα (spectral resolution)

Η φασματική διακριτική ικανότητα, προσδιορίζει την ικανότητα του αισθητήρα να διακρίνει τις πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ των μηκών κύματος. Κατά αυτό τον τρόπο, ένας αισθητήρας με υψηλή φασματική ανάλυση, έχει τη δυνατότητα να ξεχωρίζει καλύτερα τις φασματικές περιοχές και να καταγράφει μικρότερα διαστήματα, μεταξύ των μηκών κύματος (Levin, 1999)

Γ. Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (radiometric resolution)

Είναι ο αριθμός των διαφορετικών σταθμών της έντασης της ακτινοβολίας που μπορεί να καταγράψει ο συγκεκριμένος αισθητήρας του εκάστοτε δορυφόρου). Αφορά τον αριθμό των bits που έχει η τιμή του κάθε εικονοστοιχείου, γράφεται στο δυαδικό σύστημα και αντιστοιχίζεται με συγκεκριμένο ασκέραιο στο δεκαδικό σύστημα.

Δ. Η χρονική διακριτική ικανότητα (temporal resolution)

Η χρονική διακριτική ικανότητα αφορά τη συχνότητα λήψης εικόνων αναφορικά με την ίδια περιοχή. Σε ένα δορυφορικό σύστημα συνήθως είναι κάποιων ημέρες ή ωρες όταν πρόκειται για αστερισμό δορυφορικού συστήματος, προκειμένου να μπορέσει να αποτυπώσει την ίδια γεωγραφική περιοχή με την ίδια γωνία παρατήρησης, απόλυτη χρονική διακριτική ικανότητα. Για μεγαλύτερη αξιοπιστία των δεδομένων από μια διαχρονική ανάλυση, θα πρέπει:

- Οι εικόνες να λαμβάνονται την ίδια περίπου ώρα της ημέρας, προκειμένου να εξαλείφονται οι ημερήσιες διαφορές της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς τις περισσότερες φορές προκαλούν διαφοροποιήσεις των ιδιοτήτων ανάκλασης κάθε αντικειμένου.
- Οι εικόνες να λαμβάνονται την ίδια περίοδο μέσα στον χρόνο, προκειμένου να μειώνονται οι διαφοροποιήσεις που έχουν τα διάφορα επιφανειακά χαρακτηριστικά από φαινολογική άποψη (Παρχαρίδης,2015)

1.1.3.3 Οι εφαρμογές τηλεπισκόπησης στη γεωργία

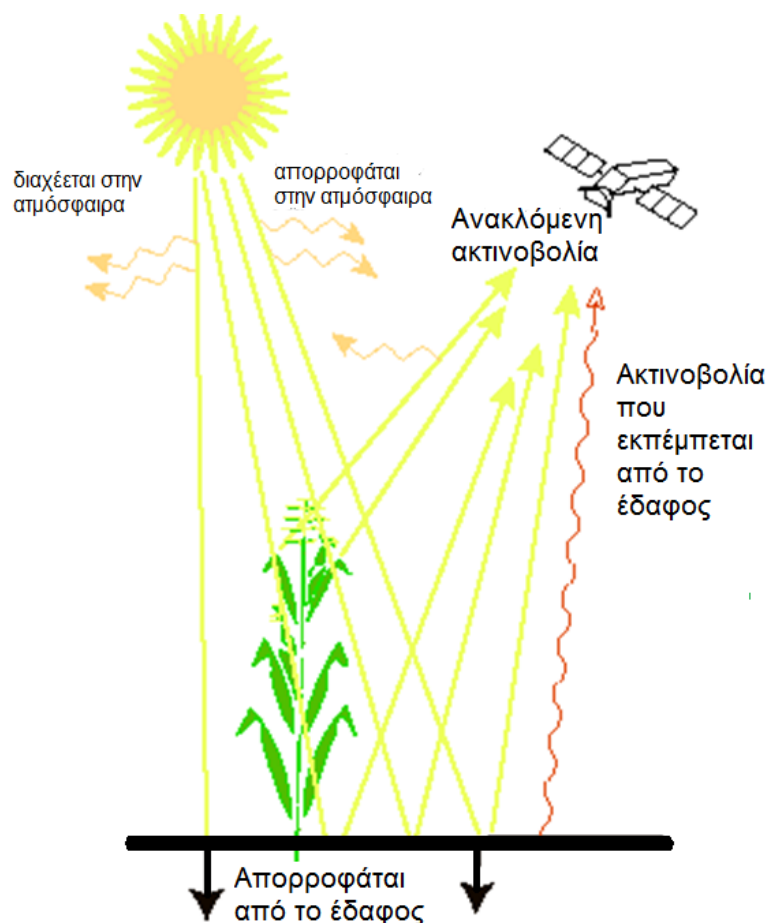
Οι εφαρμογές τηλεπισκόπησης στη γεωργία βασίζονται στην αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με το έδαφος ή το φυτικό υλικό. Η τηλεπισκόπηση επιτρέπει τη μέτρηση των χαρακτηριστικών του εδάφους, από μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα, αεροπλάνα ή δορυφόρους από μεγάλη απόσταση που μπορεί να κυμαίνεται από μερικά μέτρα έως πολλά χιλιόμετρα από τον στόχο. Εκτός από την ανάκλαση, τη μετάδοση και την απορρόφηση, τα φύλλα των φυτών μπορούν να εκπέμπουν ενέργεια με φθορισμό (Apostol et al., 2003) ή θερμικές εκπομπές. Χρησιμοποιούμε την τηλεπισκόπησης ώστε να παρακολουθήσουμε την ανάπτυξη μιας καλλιέργειας που μπορεί να διαπιστωθεί από πολύ γνωστούς δείκτες: δείκτης βλάστησης ομαλοποιημένης διαφοράς (NDVI), δείκτης εμβαδού φυλλώματος (LAI), βιομάζα, πυκνότητα καλλιέργειας, εκτίμηση δυνητικής απόδοσης, ανίχνευση και χαρτογράφηση βιοτικών (έντομα, ζιζάνια και ασθένειες) και αβιοτικές καταπονήσεις (π.χ. πίεση νερού, άζωτο (N), φωσφόρος (P) και κάλιο (K) και έλλειψη οργανικής ύλης (OM) και αλατότητα).

Τα χαρακτηριστικά μιας καλλιέργειας που συνήθως μελετάμε με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης είναι:

- Η χωρική θέση ενός
- Το υψόμετρο
- Το χρώμα
- Η φασματική συμπεριφορά της χλωροφύλλης

- Η βιομάζα
- Το ποσοστό υγρασίας της βλάστησης.
- Το ποσοστό υγρασίας του εδάφους.
- Η θερμοκρασία.
- Το σχήμα και το μέγεθος που έχουν τα διάφορα στοιχεία

Για να αποκτήσουμε τα δεδομένα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πλατφόρμες όπως αεροσκάφη, δορυφόρους, μπαλόνια, διαστημικά λεωφορεία, κ.λπ. εντός ή επί των οποίων υπάρχουν αισθητήρες για τη συλλογή των διάφορων τύπων δεδομένων. Σαν αισθητήρες μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εναέριες φωτογραφικές μηχανές και μη φωτογραφικά μέσα, όπως ραδιόμετρα, οπτικούς σαρωτές, ραντάρ, κ.λπ. Πιο χαρακτηριστικά και διαδεδομένα είναι τα στοιχεία που προέρχονται από ανιχνευτές που βρίσκονται εγκατεστημένοι πάνω σε δορυφόρους (Δορυφορική Τηλεπισκόπηση).



Σχήμα 6 Οι πιθανές αλληλεπιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα, το έδαφος και τα φυτά

Η τηλεπισκόπηση προσφέρει τη δυνατότητα απόκτησης πληροφοριών σχετικά με μια περιοχή παρατηρώντας την από απόσταση. Αρκετοί αισθητήρες απεικόνισης χρησιμοποιούνται για την απόκτηση δεδομένων ενώ βρίσκονται σε διάφορες πλατφόρμες, όπως δορυφόροι, αεροπλάνα ή UAV. Τα UAV συλλαμβάνουν δεδομένα από απόσταση 2 έως 100 m (ανάλογα με τους τοπικούς κανονισμούς πτήσης), ενώ η δορυφορική ανίχνευση συλλέγει δεδομένα από αρκετές εκατοντάδες χιλιόμετρα πάνω από την καλλιέργεια. Οι αισθητήρες καλύπτουν τα εξής μέρη του φάσματος: ορατά (VIS), υπέρυθρα (IR), θερμικά και μικροκυματικά. Συνήθως αφορούν την απόκτηση εικόνων από μια ζώνη (π.χ. θερμικών ή μικροκυμάτων), πολυφασματικών εικόνων με πολλές ζώνες στο ορατό και σχεδόν υπέρυθρο (VIS-NIR) ή υπερφασματικές εικόνες με δεκάδες ή εκατοντάδες ζώνες στο VIS-NIR.

Η χρήση τηλεπισκόπησης έχει και κάποιους περιορισμούς όπως για παράδειγμα ότι η συλλογή δεδομένων στο έδαφος περιορίζεται στα άνω στρώματα του εδάφους και η παρουσία κάλυψης καλλιέργειας ενδεχομένως να εμποδίζει τη σωστή συλλογή σαφών εικόνων ή φασματικών δεδομένων στο έδαφος, ενώ και η χωρική ανάλυση επηρεάζει την περιοχή του μικρότερου εικονοστοιχείου (pixel) που μπορούμε να αναγνωρίσουμε. Όση βελτιώνεται η χωρική ανάλυση, τόσο μειώνεται η περιοχή του μικρότερου εικονοστοιχείου ενώ παράλληλα η ομοιογένεια των χαρακτηριστικών του εδάφους ή της καλλιέργειας μέσα σε αυτό το εικονοστοιχείο αυξάνεται. Μεγάλα εικονοστοιχεία με αυξημένη ετερογένεια στα χαρακτηριστικά του εδάφους ή του φυτού συνήθως προκύπτουν από κακή χωρική ανάλυση. Τέλος, η διαθεσιμότητα εικόνων τηλεπισκόπησης από δορυφορικές και εναέριας πλατφόρμες συχνά περιορίζεται σοβαρά από την κάλυψη από τα σύννεφα.

Συνήθως σε εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας, οι συχνότερα χρησιμοποιούμενες χωρικές αναλύσεις είναι αυτές που διατίθενται από δορυφόρους πολύ υψηλής ή UAV, που επιτρέπουν τη χαρτογράφηση της χωρικής μεταβλητότητας σε ένα πεδίο. 1999, Δεδομένα σε χωρική ανάλυση καλύτερη από 1m διατίθενται από διάφορους δορυφόρους VHR, όπως Quickbird⁵, GeoEye-1⁶, WorldView⁷ 1, 2 και 3. Οι σειρές δορυφόρων της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (ESA⁸) Sentinel⁹ προσφέρουν πιο χονδροειδείς εικόνες ανάλυσης ξεκινώντας από 10 μέτρα, οι οποίες μπορεί να μην είναι χρήσιμες για την καταγραφή της χωρικής μεταβλητότητας των περισσότερων πεδίων. Η χαρτογράφηση με αεροπλάνα δεν συνηθίζεται στις εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας

⁵ <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/quickbird/>

⁶ <https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/geoeeye-1/>

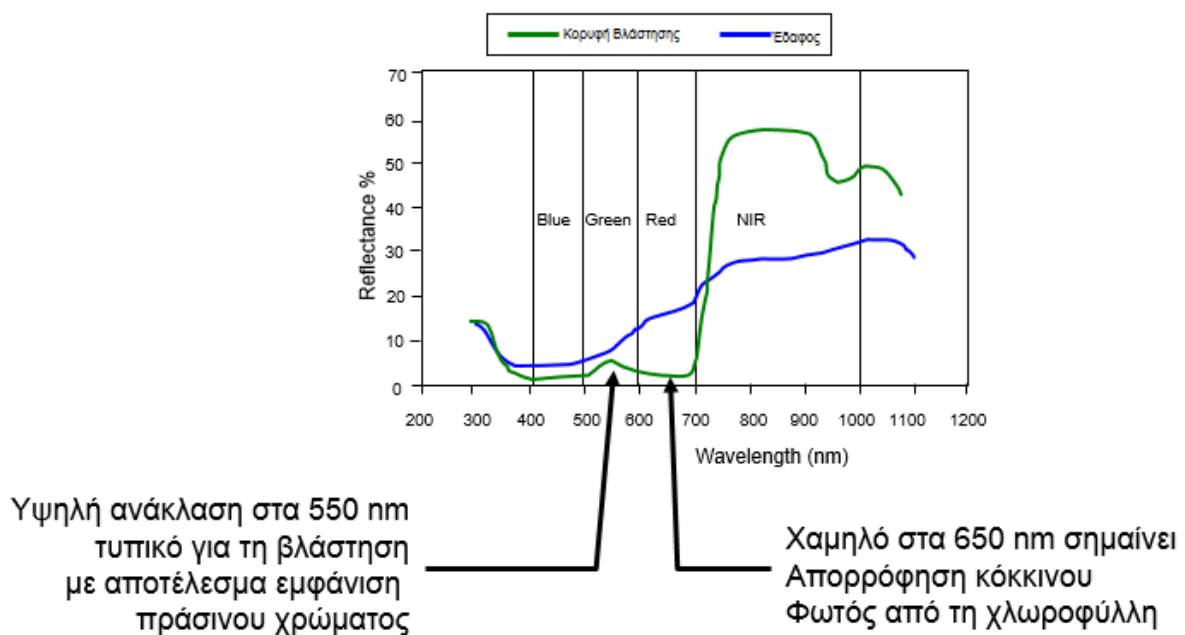
⁷ <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

⁸ <https://www.esa.int/>

⁹ <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/home>

επειδή δεν είναι τόσο αποδοτικές οικονομικά, επεξεργάσιμες και εύκολα διαθέσιμες όσο οι δορυφορικές.

Το πράσινο, το κόκκινο και το κοντινό υπέρυθρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, είναι τα πιο κοινά μήκη κύματος που χρησιμοποιούμε στις εφαρμογές παρακολούθησης καλλιεργειών. Η χλωροφύλλη απορροφά την κόκκινη και μπλε ακτινοβολία και αντανακλά το πράσινο. Η κυτταρική δομή των φύλλων και η δομή του πράσινου υφυλλώματος κυριαρχούν στην ανακλαστικότητα του κοντινού υπέρυθρου, με την υγιή άφθονη βλάστηση να παράγει υψηλή ανακλαστικότητα. Σε ιδανικές συνθήκες η ανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο και ακτινοβολία που ανακλάται στο κόκκινο θα μπορούσαν να ποσοτικοποιηθούν ώστε να είμαστε σε θέση να εκτιμούμε την ανάπτυξη των φυτών, την ποσότητα της βιομάζας της βλάστησης ή ακόμη και την κατάσταση της υγείας των φυτών. Διάφοροι παράγοντες όμως (π.χ. ατμοσφαιρικές συνθήκες, η δομή, η ετερογένεια της βλάστησης κ.λπ.), δεν μας επιτρέπουν να κάνουμε έναν ακριβή ποσοτικό προσδιορισμό για την παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης.



Σχήμα 7 Η φασματική απόκριση ανάλογα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας

Χρησιμοποιούμε δείκτες βλάστησης (Vegetation Indices - VIs), όπως τον NDVI και τον βελτιωμένο δείκτη βλάστησης (EVI) προκειμένου να λύσουμε αντίστοιχα προβλήματα, δεδομένου ότι συνδυάζουν δύο ή περισσότερες ζώνες σε μία μόνο εξίσωση ώστε να γίνεται πιο ακριβής περιγραφή, παρακολούθηση και ποσοτικοποίηση της κατάστασης της βλάστησης. Η θερμική υπέρυθη ακτινοβολία (TIR) χρησιμοποιείται συχνά ώστε να εντοπίζουμε τις διακυμάνσεις λόγω αβιοτικού στρες (π.χ. έλλειμμα νερού) ή και του βιοτικού στρες (π.χ. μυκητιασικών παθήσεων). Στις

περιπτώσεις όμως όπου υπάρχει επίμονο κάλυμμα νέφους, δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οπτικούς και θερμικούς αισθητήρων, επομένων χρησιμοποιούμε ραντάρ συνθετικού διαφράγματος το οποίο δεν επηρεάζεται από τον ήλιο, το νέφος, την ομίχλη και τη βροχή. Κατά συνέπεια θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε ένα ευρύτερο φάσμα καιρικών συνθηκών ώστε να λαμβάνει δεδομένα κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας. Κάποιοι βασικοί δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιούνται κατά κόρον στην γεωργία ακριβείας, όπως και κάποιοι πιο ειδικοί σχετικοί με την μεταβλητή λίπανση, παρουσιάζονται στον παρακάτω Πίνακα 2.

Πίνακας 2 Βασικοί δείκτες βλάστησης, χρήσιμοι στην μεταβλητή λίπανση

| | |
|---|--|
| <p>Enhanced Vegetation Index (EVI)</p> $EVI = 2.5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1)}$ | <p>Αναπτύχθηκε αρχικά για χρήση με δεδομένα MODIS¹⁰ ως βελτίωση έναντι του NDVI βελτιστοποιώντας το σήμα βλάστησης σε περιοχές με υψηλό δείκτη περιοχής φύλλων (LAI). Χρησιμοποιείται σε περιοχές με υψηλό LAI όπου το NDVI συνήθως δείχνει κορεσμό. Χρησιμοποιεί την ανάκλαση στο μπλε για να κάνει διόρθωση σημάτων φόντου εδάφους και για τη μείωση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων, συμπεριλαμβανομένης της σκέδασης αερολύματος. Οι τιμές EVI πρέπει να κυμαίνονται από 0 έως 1 για τα ρixel που απεικονίζουν βλάστηση. Χαρακτηριστικά με έντονη φωτεινότητα όπως σύννεφα και λευκά κτίρια, καθώς και σκοτεινά χαρακτηριστικά όπως το νερό, μπορούν να οδηγήσουν σε ανώμαλες τιμές ρixel σε μια εικόνα EVI.</p> |
| <p>Leaf Area Index (LAI)</p> $LAI = (3.618 * EVI - 0.118)$ | <p>Χρησιμοποιείται συχνά για την εκτίμηση της επιφάνειας που καλύπτει το φύλλωμα αλλά και για την πρόβλεψη της ανάπτυξης και της απόδοσης των καλλιεργειών εν γένει. Υψηλές τιμές LAI κυμαίνονται συνήθως εμεταξύ 0 και 3,5. Όταν όμως η εικόνα έχει σύννεφα και άλλα φωτεινά χαρακτηριστικά που παράγουν κορεσμένα ρixel, οι τιμές του δείκτη ξεπερνάνε το 3,5. Ιδανικά οφείλουμε να αποκόπτουμε τα σύννεφα και τα φωτεινά χαρακτηριστικά που υπάρχουν στην εικόνα πριν τη δημιουργία μια εικόνας LAI.</p> |
| <p>Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)</p> $NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$ | <p>Αυτός ο δείκτης είναι ένα μέτρο υγιούς, πράσινης βλάστησης. Ο συνδυασμός της κανονικοποιημένης διαφοράς της διαμόρφωσης και της χρήσης των υψηλότερων περιοχών απορρόφησης και ανάκλασης της χλωροφύλλης, το καθιστά ισχυρό σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών. Συχνά παρουσιάζει κορεσμό όπου παρατηρείται πυκνή βλάστηση, ειδικά όταν αυξάνεται ο LAI. Οι τιμές του κυμαίνονται από -1 έως 1, ενώ η πράσινη βλάστηση δίνει τιμές μεταξύ 0,2 έως 0,8.</p> |

¹⁰ <https://eos.com/find-satellite/modis-mcd43a4/>

| | |
|--|---|
| <p>Normalized Difference Red Edge index (NDRE)</p> $NDRE = \frac{R_{NIR} - R_{EDGE}}{R_{NIR} + R_{EDGE}}$ | <p>Δείκτης που μπορεί να διατυπωθεί μόνο όταν ο αισθητήρας ανιχνεύει και την κόκκινη ζώνη. Παρουσιάζει ευαισθησία α)στην περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη στα φύλλα (πόσο πράσινο εμφανίζεται ένα φύλλο), β)σ τη μεταβλητότητα στην περιοχή των φύλλων και γ)τις επιπτώσεις στο έδαφος. Υψηλότερα επίπεδα περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη φύλλων μπορούν να διαπιστωθούν από υψηλές τιμές NDR. Οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται συνήθως στο έδαφος, τα ανθυγιεινά φυτά έχουν ενδιάμεσες τιμές ενώ τα υγιή φυτά παρουσιάζουν τις υψηλότερες τιμές. Ενδείκνυται η χρήση του NDRE εάν ενδιαφέρει η χαρτογράφηση της μεταβλητότητας στις απαιτήσεις λιπασμάτων ή στο η περιεκτικότητα αζώτου στο φύλλωμα, και όχι απαραίτητα η διαθεσιμότητα αζώτου στο έδαφος.</p> |
| <p>Normalized Difference Nitrogen Index (NDNI)</p> $NDNI = \frac{\log\left(\frac{1}{\rho_{1510}}\right) - \log\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)}{\log\left(\frac{1}{\rho_{1510}}\right) + \log\left(\frac{1}{\rho_{1680}}\right)}$ | <p>Είναι ιδανικός για να εκτιμά τις σχετικές ποσότητες αζώτου που μπορεί να περιέχονται στο φύλλωμα. Η συγκέντρωση αζώτου φύλλων και η βιομάζα φυλλώματος συνδυάζονται στην περιοχή 1510 nm για την πρόβλεψη της συνολικής περιεκτικότητας του φυλλώματος σε άζωτο. Αυτή συγκρίνεται με την ανακλαστικότητα αναφοράς στα 1680 nm, η οποία ιδανικά θα πρέπει να περιέχει ένα παρόμοιο σήμα λόγω της βιομάζας φυλλώματος, αφαιρώντας την επίδραση από την απορρόφησης αζώτου. Το NDNI είναι πειραματικό, αλλά δείχνει έντονη ευαισθησία στην αλλαγή της κατάστασης του αζώτου όταν το φύλλωμα είναι πράσινο (όχι γηρασμένο) και κλειστό στην αρχιτεκτονική.</p> |

1.1.3.4 Πλεονεκτήματα τηλεπισκόπησης στην γεωργία ακριβείας

Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις έχουν οδηγήσει σε αυξημένη υιοθέτηση των UAV στις γεωργικές εφαρμογές η οποία δικαιολογείται καθώς προσφέρουν α) μεγάλη χωρική ακρίβεια (συνήθως μερικά εκατοστά), β) είναι διαθέσιμα κατ' απαίτηση και γ) υπάρχει δυνατότητα λήψης δεδομένων ακόμα και σε συνθήκες συννεφιάς (έστω και με χαμηλή ραδιομετρική ποιότητα). Οι πιο συνηθισμένες πλατφόρμες που χρησιμοποιούνται είναι πολυτροχικά ελικόπτερα ικανά για κάθετη απογείωση και προσγείωση ενώ η δυνατότητα αιώρησης πάνω από έναν στόχο, συντελεί στην ελαχιστοποίηση του θολώματος. Μικρά αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας χρησιμοποιούνται συχνότερα, τα οποία μη έχοντας απαίτηση για απογείωση και προσγείωση, διευκολύνουν τη διαδικασία σε δύσβατες αγροτικές περιοχές. Έχουν επίσης δυνατότητα για μεγαλύτερης διάρκειας πτήσης με συνέπεια να καλύπτουν μεγαλύτερη έκταση με μια μόνο πτήση, καθώς είναι πιο ενεργειακά αποδοτικά από τα ελικόπτερα πολλαπλών τροχών. Ωστόσο τα UAV έχουν κάποια μειονεκτήματα, σε σχέση με τις δορυφορικές εικόνες: α) περιορισμένη γεωγραφική κάλυψη, β)

μικρό ωφέλιμο φορτίο που περιορίζει την ποιότητα των αισθητήρων και γ) ειδική νομοθεσία που συχνά μπορεί να εμποδίσει την πτήση σε ορισμένες περιοχές για διάφορους λόγους.

Αρκετοί αισθητήρες μπορούν να τοποθετηθούν σε πλατφόρμες UAV, δηλαδή κάμερες RedGreenBlue (RGB), πολυφασματικοί αισθητήρες, υπερφασματικοί αισθητήρες και LiDAR¹¹. Οι πολυφασματικές κάμερες διαθέτουν ένα ευρύ φάσμα χωρικών διαστάσεων και διάφορων συνδυασμών ζωνών, παρέχονται συνήθως ως έτοιμες για χρήση και έχουν χαμηλό κόστος. Καλύπτουν τα μέρη του ορατού και κοντινού υπέρυρου φάσματος σε ευρείες και πολλές φορές επικαλυπτόμενες ζώνες. Μικρού βάρους σαρωτές λέιζερ ή LiDAR έχουν αναπτυχθεί πρόσφατα για UAV και είναι σε θέση να ανακατασκευάσουν τον τρισδιάστατο (3D) χώρο για αστικές μελέτες, μεταλλευτικές εκμεταλλεύσεις και δασικές εκτάσεις. Σαν βασική λειτουργία, ένα LiDAR μετρά την απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και του στόχου, μετρώντας στην ουσία το χρόνο που περνά μεταξύ της εκπομπής παλμών λέιζερ και της επιστροφής στον δέκτη. Κατόπιν πολλαπλασιάζεται αυτή η διαφορά με την ταχύτητα του φωτός και διαιρείται διά δύο για να υπολογιστεί η διπλή απόσταση που διανύει το σήμα.

1.1.4 Χαρτογράφηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας

Το μέγεθος ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η ικανότητα ενός διαλύματος να άγει τον ηλεκτρισμό κι έχει μονάδα μέτρησης τα mmho /cm ή ανά m ή decisiemens /m. Το αντίθετο μέγεθος της αγωγιμότητας είναι η αντίσταση στη ροή του ηλεκτρισμού και μετριέται σε ohms.

Στο έδαφος, η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται όσο αυξάνει η περιεκτικότητα σε άλατα, όμως η συγκέντρωση (%) σε άλατα σε ένα διάλυμα εξαρτάται ταυτόχρονα από την ποσότητα του νερού δηλαδή την υγρασία του εδάφους. Επιπρόσθετα πρέπει να ληφθεί υπόψιν στον συνδυασμό της υγρασίας του εδάφους και της αλατότητας, και η επίδραση της αγωγιμότητας του εδάφους στην υλική υπόστασή του. Επομένως, συνεπάγεται ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι ένας συνδυασμός συγκέντρωσης αλάτων, υγρασίας εδάφους και δομής εδάφους. Πιο συγκεκριμένα, οι Rhoades et al. εξέφρασαν μαθηματικά αυτή τη σχέση ως εξής:

$$EC = c \times ECa \times W + S$$

Όπου:

C: συντελεστής μετάδοσης ένδειξης

ECa: Αγωγιμότητα νερού του εδάφους, εξαρτάται από την περιεκτικότητα των αλάτων W:

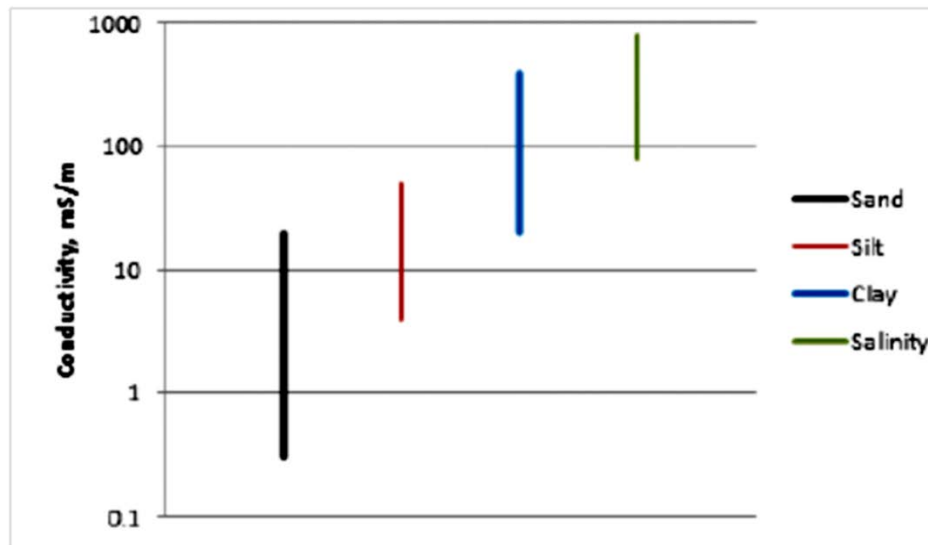
Περιεκτικότητα νερού του εδάφους

W ECa: Πραγματική συγκέντρωση αλάτων στην ανάλογη παρουσία νερού.

S: Αγωγιμότητα εδάφους.

¹¹ <https://en.wikipedia.org/wiki/Lidar>

Σχετικά με την ηλεκτρική αγωγιμότητα και την αγωγιμότητα του εδάφους (S), η σχέση ρίζεται από την υφή του εδάφους, τη θερμοκρασία και το πορώδες του εδάφους (Σχήμα 8).



Σχήμα 8 Συμπεριφορά ηλεκτρικής αγωγιμότητας ανάλογα με την υφή του εδάφους (Barbosa and Overstreet, undated - <https://www.lsuagcenter.com/>).

Όσον αφορά τη σύστασή του εδάφους, η περιεκτικότητα του σε άργιλο, είναι ανάλογη με το πόσο καλός αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος είναι, ενώ όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του εδάφους, επιδρά σημαντικά και σε μεγαλύτερη αγωγιμότητα του εδάφους (Revil et al, 1998). Τέλος, όσο μεγαλύτερο το πορώδες του έδαφος, τόσο μεγαλύτερη και η ηλεκτρική αγωγιμότητά του (Grisso, 2009). Η ηλεκτρική αγωγιμότητα αφορά την ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων στο έδαφος κι επίσης με την οργανική ουσία εφόσον υψηλές τιμές σε αυτά τα δύο μεγέθη συνεπάγονται υψηλές ενδείξεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Τα εδάφη, ανάλογα με την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορούν να χαρακτηριστούν α) εδάφη με έντονη αλατότητα, β) εδάφη με μέτρια αλατότητα, γ) εδάφη με ελαφριά αλατότητα, δ) εδάφη με ελάχιστη αλατότητα και ε) εδάφη με καθόλου αλατότητα.

1.1.4.1 Σημασία Ηλεκτρικής Αγωγιμότητας

Συμπεραίνουμε ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα αποτελεί μια είδους ταυτότητα του εδάφους, εφόσον έχοντας αυτήν την πληροφορία, μπορούμε να έχουμε μια πρώτη ένδειξη για

- Την συγκέντρωση των αλάτων, τα οποία έχουν ανάλογη πορεία με ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- Το πορώδες του εδάφους, το οποίο έχει ανάλογη πορεία με ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- Τη θερμοκρασία του εδάφους, η οποία έχει πορεία ανάλογη με ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- Την υφή του εδάφους, το οποίο έχει ανάλογη πορεία με τη συγκέντρωσης σε άργιλο σε σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

- Την ποσότητα της οργανικής ουσίας, έμμεση εκτίμηση με βάση την πορεία pH του πορώδους ή κάποιου στοιχείου όπως το ασβέστιο.
- Την οξύτητα του εδάφους (pH), η οποία έχει πορεία ανάλογη ή αντιστρόφως ανάλογη με την ηλεκτρική αγωγιμότητα ανάλογα με τη συγκέντρωση των ιόντων.
- Της ικανότητας ανταλλαγής κατιόντων, έχει ανάλογη σχέση με ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- Της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό, εφόσον έχει ανάλογη σχέση με ηλεκτρική αγωγιμότητα, με το νερό να είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού.

Εφόσον οι περισσότεροι προαναφερθέντες παράγοντες, επηρεάζουν την παραγωγή μιας καλλιέργειας, συμπεραίνουμε ότι η ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι μια έμμεση ένδειξη επίδρασης στην παραγωγικότητα.

1.1.4.2 Πως εφαρμόζεται η Ηλεκτρική αγωγιμότητα στη Γεωργία Ακριβείας

Πολλές εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας μπορούν να συσχετιστούν με την ηλεκτρική αγωγιμότητα:

1. Στοχευόμενη Δειγματοληψία: Στη γεωργία ακριβείας είναι προτιμότερο τα δείγματά μας να είναι κατηγοριοποιημένα όταν τα συλλέγουμε, ως προς ένα μέγεθος, για καλύτερη ισοκατανομή. Στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε την επίδραση κάποιων παραγόντων όπως pH την λίπανση, την άρδευση κλπ σε ένα σημαντικό μέγεθος όπως pH την απόδοση, συχνά υπάρχει αλληλεπίδραση με τον παράγοντα συσχέτισης το οποίο μπορεί να παρουσιάσει στατιστικά σημαντικές διαφορές.
2. Βέλτιστη εγκατάσταση μιας καλλιέργειας. Για παράδειγμα έχει αποδειχτεί ότι στην περίπτωση του καλαμποκιού αν ο σπόρος τοποθετηθεί στο ιδανικό βάθος και σε σωστή δοσολογία, αυτό θα έχει σημαντική επίδραση στα έσοδα, ενώ για να υπολογίσουμε το βάθος του ριζοστρώματος μπορούμε να μετρήσουμε την ηλεκτρική αγωγιμότητα.
3. Εγκατάσταση συστήματος αποστράγγισης και εύρεση βέλτιστης μεθόδου και διάρκειας της άρδευσης ανάλογα την υγρασία που υπάρχει στο έδαφος.
4. Μεταβλητότητα σε δόσεις ζιζανιοκτόνων. Πολλά προϊόντα αναφέρουν ότι η δόση διαφοροποιείται ανάλογα με τις τιμές οργανικής ουσίας και υφής εδάφους.
5. Μεταβλητή δόση λιπάσματος. Έχει αποδειχτεί ότι υπάρχουν συσχετίσεις μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και της έκλυσης στοιχείων, συνεπώς είναι δυνατόν να γίνουν ζώνες εφαρμογών μεταβλητής δόσης λιπάσματος.
6. Σε πολλά πειράματα εφαρμογών γεωργίας ακριβείας μετράμε την επίδραση διάφορων παραγόντων όπως εναλλακτικές δόσεις λιπάσματος και σπόρων, κατά συνέπεια, ένα χάρτης της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πιθανά θα χρησίμευε για να διαπιστώσουμε την μεταβολή

και των άλλων στοιχείω προκειμένου να γίνεται ένας ολιστικός σχεδιασμός της εφαρμογής των διαφόρων παραγόντων.

7. Δημιουργία εθνικών χαρτών εδαφικών χαρακτηριστικών.
8. Προσδιορισμός της αλατότητας των εδαφών και τρόπους προσαρμοσμένης της διαχείρισής τους.
9. Εύρεση πιθανής ρύπανση εδαφών μέσω της συσχέτισης στοιχείων και ηλεκτρικής αγωγιμότητας, Seifi et al. (2010).
10. Αντιμετώπιση της έντονης συμπίεσης του εδάφους και του αδιαπέραστου ορίζοντα στο έδαφος. Η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και ιδανικά η χαρτογράφησης της, πιθανότατα είναι το πιο συμφέρον οικονομικά εργαλείο για την πρόβλεψη και την βέλτιστη διαχείριση περιοχών με εδάφη που τείνουν να εμφανίσουν το φαινόμενο.

Υπάρχουν διάφορες αλληλεπιδράσεις με τα είδη των αισθητήρων που χρησιμοποιούμε για την εκτίμηση εδαφικών παραμέτρων:

- Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ή ηλεκτρική
- Ραδιοκύματα ή οπτική που σχετίζεται με την απορρόφηση/ανάκλιση του εδάφους
- Η μηχανική που σχετίζεται με το πως επιδρούν οι διάφορες δυνάμεις σε όργανα.
- Η ηλεκτροχημική μέσω της οποίας μπορούμε να εκτιμήσουμε ιόντα
- Η ακουστική και το πως αλληλεπιδρούν οι ήχοι με τις εδαφικές ιδιότητες.

Συμπεραίνουμε ότι εφαρμογές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας πιθανόν είναι ένα πολύ σημαντικό εργαλείο για να εκτιμήσουμε τις εδαφικές ιδιότητες καθώς είναι άκρως λειτουργική και δοκιμασμένη ενώ παράλληλα παρουσιάζει μεγάλη συσχέτιση με πολλές παραμέτρους της καλλιέργειας.

1.1.4.3 Μέθοδοι μέτρησης

Υπάρχουν δύο διαφορετικές τεχνολογίες αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας α) οι αισθητήρες επαφής και β) οι αισθητήρες χωρίς επαφή. Υπάρχουν διάφορα μοντέλα στην αγορά που εκτελούν μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας σε μονό βάθος ή σε δύο διαφορετικά βάθη. Οι αισθητήρες επαφής πρέπει να έχουν επαφή με το έδαφος για να ολοκληρωθεί η μέτρηση ενώ συνήθως, χρησιμοποιούνται δύο έως τρία ζεύγη ψαλιδιού. Ένα ζευγάρι παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα στο έδαφος ενώ οι άλλοι μετρούν την πτώση τάσης μεταξύ τους και χρησιμοποιούν αυτήν την πτώση για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Οι αισθητήρες επαφής συνήθως μετρούν την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους σε δύο διαφορετικά βάθη, ρηχά (1 πόδια) και βαθιά (3 πόδια).

Οι αισθητήρες ηλεκτρικής αγωγιμότητας χωρίς επαφή λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής κατά την οποία ένας ηλεκτρομαγνητικός επαγωγικός αισθητήρας δεν χρειάζεται να έρχεται σε απευθείας επαφή με το έδαφος και βασίζεται στη μέτρηση της αλλαγής στην αμοιβαία αντίσταση μεταξύ ενός ζεύγους πηνίων πάνω ή πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Τα περισσότερα όργανα ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής αποτελούνται από δύο ή περισσότερα σύνολα ηλεκτρικών πηνίων συνδεδεμένων μεταξύ τους και διαχωρίζονται από μια σταθερή απόσταση. Το πηνίο πομπού (πρωτεύον πεδίο) χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ηλεκτρομαγνητικού πεδίου σε συγκεκριμένη συχνότητα και είναι αυτό που προκαλεί τη ροή ηλεκτρικών ρευμάτων σε αγώγιμα υλικά στην επιφάνεια που είναι κάτω απ' το έδαφος. Η υπόγεια ροή των ρευμάτων, των επονομαζόμενων ρευμάτων διόδου, δημιουργεί ένα δευτερεύον μαγνητικό πεδίο, το οποίο ανιχνεύεται από το πηνίο δέκτη ενώ το μέγεθος του δευτερεύοντος πεδίου που ανιχνεύεται από τον δέκτη εξαρτάται από τον τύπο και τη διανομή αγώγιμου υλικού στην υποεπιφάνεια.

1.1.5 Εφαρμογή εισροών με μεταβλητές δόσεις

Η εφαρμογή μεταβλητής δόσης (Variable Rate Application - VRA) αποτελεί μια ελκυστική τεχνολογία που μπορεί αποδεδειγμένα να συμβάλλει στην προσπάθεια των αγροτών να βρουν εναλλακτικούς τρόπους για να μειώσουν το κόστος παραγωγής τους. Ταυτόχρονα, η τεχνολογία VRA έχει αναπτυχθεί ταχύτατα, συνειδητοποιώντας τον απαραίτητο εξοπλισμό για την εφαρμογή του (κεραίες GPS, ελεγκτές, ηλεκτρονικά και εργαλεία). Παρ' όλ' αυτά η τεχνολογία VRA έχει το μειονέκτημα του υψηλού κόστους εξοπλισμού, το οποίο την καθιστά τεχνολογία από την οποία μόνο οι μεγάλοι γεωργοί μπορούν να επωφεληθούν βραχυπρόθεσμα. Για τους μικρούς και μεσαίους αγρότες, θα μπορούσε να διατίθεται ευρύτερα από προγράμματα επιδότησης και / ή πολιτικές επιδότησης απόκτησης εξοπλισμού VRA. Με αυτόν τον τρόπο, η εκπαίδευση των αγροτών θα γινόταν αναγκαστικά ώστε να εξοικειωθούν με τα πολλών συστήματα VRA που εισέρχονται στην αγορά συχνά χωρίς κατάλληλη τεχνική υποστήριξη.

Οι αγρότες που χρησιμοποιούν εφαρμογή μεταβλητής λίπανσης τείνουν να αυξάνουν την αποδοτικότητα της χρήσης εισροών επειδή εφαρμόζουν αποκλειστικά όπου και όποτε χρειάζεται, την ποσότητα που απαιτείται για τις καλλιέργειες. Σε αυτό έχουν συμβάλλει κατά πολύ και οι ενεργοί οπτικοί αισθητήρες καλλιέργειας και εδάφους οι οποίοι χρησιμοποιούνται για διαφορετικές γεωργικές δραστηριότητες κι έχουν επιτρέψει στους αγρότες να λειτουργούν κατά τη διάρκεια της νύχτας, εξοικονομώντας έτσι πολύ χρόνο. Σημαντικά οφέλη παρατηρούνται και σχετικά με το περιβάλλον, εφόσον υπάρχει μείωση στα χημικά πρόσθετα που απελευθερώνονται στον αέρα και στα υπόγεια ύδατα, στις λίμνες και στα ποτάμια με έκπλυση και απορροή. Τέλος, ο

συνδυασμός της τεχνολογίας VRA με την αυτόνομη οδήγηση οχημάτων έχει αποδειχτεί ότι δύναται να ελαχιστοποιήσει τη συμπίεση του εδάφους μέσα σε έναν αγρό καθώς οι ελκυστήρες μπορούν να περνάνε από τα ίδια αυλάκια σε κάθε καλλιεργητική περίοδο.

Οι περισσότεροι αγρότες έχουν κάποια στιγμή ασκήσει μια μορφή εφαρμογής μεταβλητής δόσης VRA ακόμα και με ένα συμβατικό ψεκαστήρα ο οποίος συνήθως εφαρμόζει μια χημική ουσία που αναμιγνύεται σε μια δεξαμενή με κάποιον φορέα το οποίο συνήθως είναι νερό, χρησιμοποιώντας ακροφύσια ψεκασμού και μια βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης για να παρέχει την επιθυμητή ογκομετρική εφαρμογή του μίγματος ψεκασμού στην εκάστοτε συγκεκριμένη ταχύτητα του οχήματος. Κάθε φορά που αλλάζει η πίεση έκρηξης ή η ταχύτητα του οχήματος από την βαθμονομημένη, το αποτέλεσμα είναι να αλλάζει ο ρυθμός εφαρμογής από τον προγραμματισμένο ρυθμό.

Τα συστήματα εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις αποτελούνται από:

- Τους αισθητήρες (sensors)
- Τους ελεγκτές (controllers)
- Τους ενεργοποιητές (actuators)

Οι ιδιότητες των φυτών και του εδάφους που μπορούν να καταγραφούν από τους αισθητήρες είναι οι εξής:

- Οργανική ουσία
- Περιεκτικότητα σε νερό
- Ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας από τα φυτά
- Περιεκτικότητα θρεπτικών στοιχείων

Το 2^ο συστατικό, που είναι οι ελεγκτές αφορά συσκευές οι οποίες έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τον ρυθμό εφαρμογής των εισροών ενόσω το προσαρτημένο μηχάνημα κινείται μέσα στον αγρό. Το καταφέρνουν μέσω μικροεπεξεργαστών που χρησιμοποιούν για να διαβάζουν τα δεδομένα που λαμβάνουν από τους αισθητήρες και να κατόπιν να υπολογίζουν την δόση εφαρμογής με βάση αποθηκευμένους αλγόριθμους.

Τέλος, οι ενεργοποιητές είναι συσκευές που λαμβάνουν ηλεκτρικά, πνευματικά ή υδραυλικά σήματα από τους ελεγκτές και αντιδρούν σε αυτά προκειμένου να μεταβάλλουν την εκάστοτε ποσότητα του προϊόντος που πρέπει να εφαρμοστεί στον αγρό. Η αντίδραση του ενεργοποιητή σε πολλές περιπτώσεις προκαλεί κινήσεις αξόνων ή κινητήρων οι οποίες μετατρέπονται σε άνοιγμα ή κλείσιμο μιας θύρας, ή να προκαλέσει αλλαγή ταχύτητας ροής κλπ.

Ανάλογα με το προϊόν που εφαρμόζεται κάθε φορά, χωρίζουμε τα συστήματα εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις σε τρεις τύπους:

- Σπόροι
- Στερεά χημικά
- Υγρά χημικά

1.1.5.1 Μέθοδοι εφαρμογής λιπάσματος μεταβλητού ρυθμού

Υπάρχει μια ποικιλία τεχνολογιών VRA που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ή χωρίς σύστημα GPS.

Υπάρχουν 2 βασικές τεχνολογίες για την εφαρμογή λιπάσματος μεταβλητού ρυθμού:

1. **Η VRA βάσει χάρτη** κατά την οποία ο ρυθμός εφαρμογής στην ουσία προσαρμόζεται βάσει ενός ψηφιακού χάρτη, ο οποίος ονομάζεται χάρτης. Καθώς ο εφαρμοστής κινείται μέσω του πεδίου, διαβάζει τη θέση πεδίου από έναν δέκτη GPS και ταυτόχρονα έναν χάρτη εφαρμογής του επιθυμητού ρυθμού, και κατά συνέπεια αλλάζει τη συγκέντρωση της εισόδου.
2. **Η VRA που βασίζεται σε αισθητήρες** δεν απαιτεί χάρτη ή σύστημα εντοπισμού θέσης καθώς η μέτρηση των ιδιοτήτων του εδάφους ή τα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας γίνεται από τους αισθητήρες του εφαρμογέα "εν κινήσει". Με βάση αυτήν τη ροή πληροφοριών σε πραγματικό χρόνο, υπάρχει ένα σύστημα ελέγχου το οποίο υπολογίζει εκείνη τη στιγμή τις ανάγκες εισόδου του εδάφους ή των φυτών και άμεσα μεταφέρει τις πληροφορίες σε έναν ελεγκτή, ο οποίος εφαρμόζει την αντίστοιχη είσοδο στη θέση που μετριέται από τον αισθητήρα.

Και οι δύο μέθοδοι έχουν αξιολογημένα πλεονεκτήματα αλλά και κάποιους περιορισμούς, εφαρμόζονται κατά περίπτωση και ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε καλλιέργειας.

1.1.5.2 Ζώνες διαχείρισης

Η βάση ενός συστήματος Γεωργίας Ακριβείας είναι η διαμόρφωση στον αγρό ζωνών διαχείρισης που έχουν στόχο την εφαρμογή των εισροών με μεταβλητές δόσεις. Σαν ζώνη διαχείρισης (Management Zone - MZ) ορίζεται κάθε επιμέρους υποπεριοχή ενός αγρού που έχει σχετικά ομοιογενή χαρακτηριστικά εδάφους ή παράγοντες που μπορεί να περιορίζουν την απόδοση, και που ταυτόχρονα μπορούν να έχουν ομοιόμορφη διαχείριση. Η δημιουργία ζωνών διαχείρισης με βάση τοπογραφικά στοιχεία και εδαφικές ιδιότητες συχνά συλλαμβάνει την παραλλακτικότητα στην παραγωγή λόγω της διαφοροποίησης σε διαθέσιμο για τα φυτά νερό και επομένως στο δυναμικό παραγωγής. Για να ορίσουμε κάθε φορά τον ακριβή αριθμό ζωνών παραγωγής πρέπει να λάβουμε υπόψιν μας τις ιδιαιτερότητες κάθε έτους που επηρεάζουν τις καιρικές συνθήκες και το είδος της καλλιέργειας εφόσον ο βασικός σκοπός που χρησιμοποιούμε τις ζώνες διαχείρισης είναι για να διαπιστώσουμε ομοιογενείς περιοχές στο χωράφι. Για τη δημιουργία των ζωνών διαχείρισης χρησιμοποιούνται διάφορες πληροφορίες όπως φαίνεται παρακάτω:

- Αεροφωτογραφίες
- Δορυφορικές εικόνες του αγρού
- Περίγραμμα
- Τοπογραφικοί χάρτες
- Εδαφικοί χάρτες
- Χάρτες προηγούμενης παραγωγής
- Αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες του αγρού με βλάστηση
- Δείκτες βλάστησης
- Εδαφολογικές αναλύσεις
- Ανωμαλίες του χωραφιού
- Εντομολογικές ροσβολές

Επίσης μπορεί να αξιοποιηθούν ιστορικά στοιχεία του αγρού:

- Θέσεις δρόμων και κτισμάτων
- Χάρτες κυκλοφορίας οχημάτων
- Λίπανση από παλιότερες χρονιές
- Αρδευτικό σύστημα
- Περιοχές με μεγάλη υγρασία
- Περιοχές με διάβρωση

Το ελάχιστο μέγεθος των ζωνών διαχείρισης καθορίζεται από το πως ο παραγωγός διαφοροποιεί τις εισροές καθώς εξαρτάται πρωτίστως από το είδος και το μέγεθος του εξοπλισμού που χρησιμοποιεί.

Ο ακριβής αριθμός των διαφορετικών ζωνών διαχείρισης εξαρτάται από:

- Την παραλλακτικότητα του αγρού
- Το μέγεθος του αγρού
- Τη δυνατότητα που έχει ο παραγωγός να εφαρμόσει μεταβλητές εισροές

Προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαχείριση των ζωνών, αρκεί η χωρική πληροφορία να εισαχθεί σε κάποιο πακέτο GIS και να προσαρμοστεί στα όρια του αγρού. Οι γνώσεις των γεωργών και τα δεδομένα απόδοσης είναι επίσης εξαιρετικά εργαλεία για τη δημιουργία ζωνών διαχείρισης. Όταν δημιουργούνται χάρτες ζώνης, σε κάθε ζώνη εντός του πεδίου εκχωρείται αντίστοιχα ένας κωδικός αυτόματα ένας αριθμός οποίος αντιστοιχεί σε κάθε ζώνη.

Οι ζώνες διαχείρισης πρέπει να έχουν:

- Σταθερότητα στο χρόνο

- Ευκολία στην οριοθέτηση
- Συσχέτιση με την παραγωγή
- Χαμηλό κόστος δημιουργίας

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας της οριοθέτησης των ζωνών διαχείρισης. Αυτά περιλαμβάνουν το μέτρο της μείωσης της διακύμανσης σε κάθε ζώνη διαχείρισης, ή αναφορικά με την μεταβαλλόμενη δόση λιπάσματος, η αποδοτικότητα που υπολογίζεται με ανάλυση κόστους-οφέλους με βάση το χρησιμοποιούμενο λίπασμα εισόδου και την αποκτηθείσα απόδοση. Συνηθίζεται, να μην αλλάζουν οι ζώνες διαχείρισης κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής περιόδου, ωστόσο ενώ πολλές εδαφικές ιδιότητες είναι αρκετά σταθερές με την πάροδο του χρόνου, υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι καλλιέργειες μπορεί περιορίζονται με διαφορετικούς τρόπους στην ίδια τοποθεσία για παράδειγμα μετεωρολογικά περιστατικά αλλά και διαφορετική αγρονομική διαχείριση. Η πρόσφατη έρευνα υποδηλώνει ότι πρέπει να εφαρμοστεί μια δυναμική προσέγγιση για την αντιμετώπιση της μεταβλητότητας τόσο εντός όσο και μεταξύ των εποχών.

1.1.5.3 Μεταβλητές μεταχειρίσεις με βάση χάρτες

Στην εφαρμογή εισροών μεταβαλλόμενου ρυθμού με χάρτες, βασικό ρόλο παίζει η πληροφορία που υπάρχει σε έναν χάρτη για να προσαρμοστεί η δόση της εισροής ενώ η δόση εφαρμογής μπορεί να είναι ο όγκος ή το βάρος στη μονάδα της επιφάνειας της μεταβλητές εισροής.

Παρόλο οι δύο μέθοδοι VRA βάσει χάρτη και βάσει αισθητήρων είναι πολλές ομοιότητες, η απόφαση σχετικά με τους ρυθμούς εισόδου για την πρώτη λαμβάνεται πολύ πριν από την εφαρμογή της μεταβλητής δόσης, βάσει συνταγογραφούμενων χαρτών. Με τη χρήση ενός δέκτη GPS, ο ρυθμός εφαρμογής αλλάζει όσο ο εφαρμοστής κινείται μέσα στον αγρό, φροντίζοντας να συγχρονίζει συνεχώς τη θέση του χάρτη εφαρμογής με την πραγματική θέση του εφαρμοστή σε αντίθεση, με τη VRA που βασίζεται σε αισθητήρες και η απόφαση για τους ρυθμούς εισόδου λαμβάνεται σε πραγματικό χρόνο βάσει των μετρήσεων του αισθητήρα. Οι χάρτες εφαρμογής που απαιτούνται είναι αρχεία ψηφιακών δεδομένων που εξάγονται σε διάφορες μορφές και καθορίζουν την ποσότητα της εισόδου που θα εφαρμοστεί σε κάθε τοποθεσία στον αγρό. Οι ρυθμοί εισόδου καθορίζονται από διάφορες ιδιότητες του εδάφους και της καλλιέργειας μετρούμενες με παραδοσιακή ανάλυση ή με αισθητήρες για τον προσδιορισμό α) του τύπου εδάφους, β) του χρώματος και της υφής του εδάφους, γ) της ποικιλίας εδάφους, δ) της φαινομενικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας (ECa), ε) των δεικτών βλάστησης, ζ) του δείκτη φυλλώματος (Leaf Area Index), ε) την απόδοση της σοδειάς και πολλές άλλες πληροφορίες που επηρεάζουν τις καλλιέργειες και είναι συγκεκριμένες για την τοποθεσία.

1.1.5.4 Τι είναι ο χάρτης εφαρμογής

Ο όρος χάρτης εφαρμογής (prescription map) αναφέρεται σε ηλεκτρονικούς χάρτες του αγρού που καθορίζουν περιοχές - ζώνες του χωραφιού και τη δόση της εφαρμογής σε κάθε περιοχή. Χρησιμοποιείται προκειμένου να καθοδηγήσει τον ελεγκτή του μηχανήματος εφαρμογής μεταβλητών δόσεων να εφαρμόσει τις επιθυμητές δόσεις στο χωράφι. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα αρχείο το οποίο έχει τις συντεταγμένες των σημείων του χωραφιού και ποσότητες της εισροής που πρέπει να εφαρμοστούν. Για τον καθορισμό ζωνών για εφαρμογή των μεταβλητών εισροών μπορούμε να βασιστούμε σε ένα στοιχείο ή σε περισσότερα, συνήθως βασίζονται σε δεδομένα που σχετίζονται με:

1. Τον τύπο εδάφους, το χρώμα, τη δομή του, την τοπογραφία ή την ηλεκτρική αγωγιμότητα.
2. Χάρτες που απεικονίζουν την περιεκτικότητα σε θρεπτικά στοιχεία κι έχουν προκύψει από αναλύσεις εδάφους.
3. Αισθητήρες που ανιχνεύουν την εδαφική υγρασία
4. Την φασματική ανάλυση ανακλώμενου φωτός
5. Την αντίσταση στην εδαφική κατεργασία
6. Εικόνες τηλεπισκόπησης ή χάρτες που απεικονίζουν δείκτες βλάστησης του αγρού ή του εδάφους
7. Τις παρατηρήσεις του καλλιεργητή ή του γεωπόνου-συμβούλου του αγρότη στο (πχ διασπορά ζιζανίων, περιοχές με χαμηλή παραγωγή).
8. Χάρτες της παραγωγής προηγούμενων ετών και επομένως, που υποδεικνύουν τα στοιχεία που έχουν αφαιρεθεί ή άλλα στοιχεία, όπως υπολείμματα, κλαδιά κλπ
9. Πληροφορίες πάσης φύσεως

Ένας χάρτης εφαρμογής ενημερώνει τον ελεγκτή πόσα προϊόντα πρέπει να εφαρμόσει με βάση την τοποθεσία του εξοπλισμού στο πεδίο. Οι συνταγές δεν είναι εικόνες, αλλά αρχεία και οι τιμές επιλέγονται για κάθε ζώνη ενώ αντιστοιχούν μοναδικά με ένα ζεύγος συντεταγμένων βασικά μια συντεταγμένη GPS με λίπασμα ή/και ρυθμό σποράς που σχετίζεται με αυτό.

Το αρχείο με τα στοιχεία του χάρτη συνήθως είναι σε μορφή που να διαβάζεται από τον Η/Υ και ταυτόχρονα από τους ελεγκτές που είναι προσαρτημένοι πάνω στο μηχάνημα. Όπως επίσης πρέπει να υπάρχει η πληροφορία για το ποιος υπολογιστής ή / και ελεγκτής θα χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ενός χάρτη συνταγών στην κατάλληλη μορφή καθώς τα αρχεία συνταγών είναι ειδικά για τον τύπο του ελεγκτή που χρησιμοποιείται. Ταυτόχρονα προσοχή πρέπει να δίνεται και στους περιορισμούς του εξοπλισμού αλλά και το πλάτος της εφαρμογής. Ορισμένοι ελεγκτές, όπως οι

ελεγκτές John Deere¹², απαιτούν να συμπεριληφθεί ένα αρχείο ορίου του πεδίου εκτός από τον χάρτη συνταγών.



Σχήμα 8 Ένας χάρτης εφαρμογής με επτά ορισμένες ζώνες. Ο πίνακας περιέχει δεδομένα από αναλύσεις εδάφους και δείχνει πώς αυτές συνδέονται με τις ζώνες

1.1.5.5 Δημιουργία του χάρτη εφαρμογής

Τα περισσότερα πακέτα γεωργικών GIS μπορούν να δημιουργήσουν χάρτες εφαρμογής σε πολλές μορφές. Πρώτο βήμα είναι να οριοθετηθούν οι ζώνες και μπορεί να ολοκληρωθεί χρησιμοποιώντας διάφορες μεθόδους, όπου συνήθως η χωρική φόρμα εισάγεται σ' ένα πακέτο GIS ώστε να κοπεί στην περιφέρεια του αγρού, πάντα με την επίβλεψη του παραγωγού του οποίου γνώσεις αλλά και τα δεδομένα απόδοσης συντελούν σημαντικά εργαλεία.

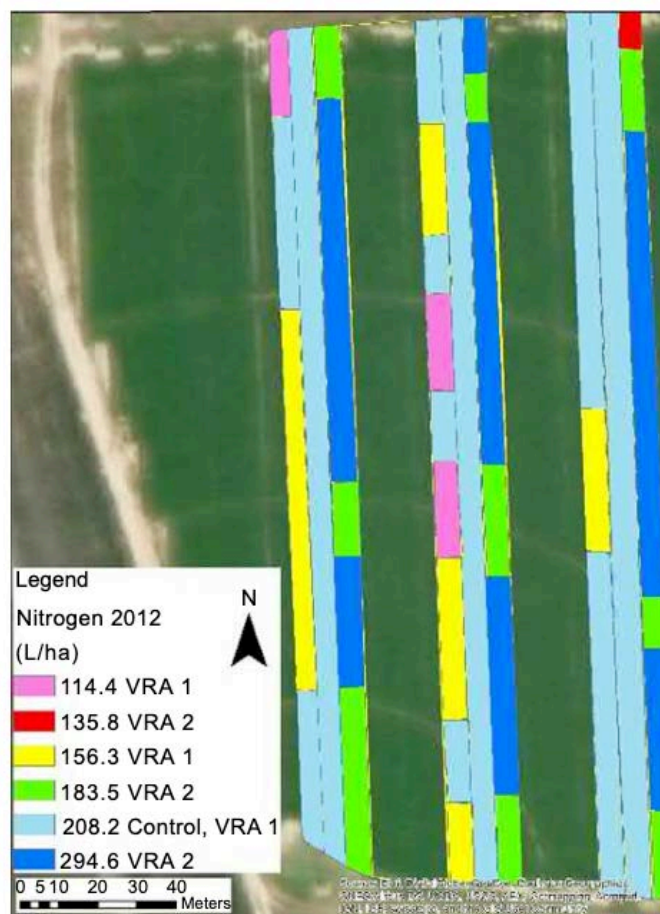
Κατά τη δημιουργία του χάρτη, σε κάθε ζώνη εντός του πεδίου εκχωρείται αυτόματα ένας αριθμός, μερικές φορές αναφέρεται ως χαρακτηριστικό ID, ο οποίος αντιστοιχεί στη δειγματοληψία πλέγματος. Ο αγρός έχει ήδη χωριστεί σε πλέγματα, χρησιμοποιώντας κάποιο λογισμικό τα οποία είναι συνήθως αυθαίρετα και δεν αντιπροσωπεύουν κάποια προηγούμενη ή τρέχουσα γνώση του πεδίου. Σε κάθε πλέγμα εκχωρείται ένας αριθμός, ώστε το πακέτο GIS να συνδέσει τα αποτελέσματα των δοκιμών εδάφους με τη γεωγραφική θέση ενώ την ίδια σύμβαση ονομασίας ακολουθούν και τα δεδομένα ανάλυσης εδάφους όταν επιστρέφονται από το εργαστήριο ώστε πάλι το GIS να ταιριάζει με τα δεδομένα στην κατάλληλη ζώνη. Ένα σύστημα εντοπισμού θέσης χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της δειγματοληψίας για την καταγραφή της θέσης των σημείων δειγματοληψίας στο χωράφι, το οποίο πρέπει να συμφωνεί ή να είναι ίδιο με το σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί κατά την εφαρμογή των καθορισμένων ποσοστών θρεπτικών ουσιών στις κατάλληλες περιοχές του αγρού.

Πολλοί έξυπνοι αισθητήρες είναι στη διάθεση των αγροτών σήμερα, για παράδειγμα αισθητήρες υγρασίας του εδάφους, αισθητήρες που καταγράφουν την αλατότητα του εδάφους, την ανύψωση

¹² <https://www.deere.com/en/index.html>

του τοπίου και τη σφριγηλότητα των φυτών, οι οποίοι διατίθεται σε προσιτές τιμές, και έχουν βοηθήσει τους αγρότες να κατανοήσουν την πιθανή μεταβλητότητα των ιδιοτήτων πεδίου. Μόλις συλλεχθούν, τα δεδομένα μπορούν να εισαχθούν σε ένα Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) ή και ένα στατιστικό λογισμικό ώστε να χαραχθούν οι ζώνες μεταχείρισης. Για τη διαχείριση της πολυπαραγοντικής φύσης των δεδομένων, διάφορες στατιστικές τεχνικές μπορούν να εφαρμοστούν όπως η ανάλυση των βασικών συστατικών, η μέθοδος ομαδοποίησης (π.χ., k-means clustering) και οι πολυπαραγοντικές γεωστατιστικές τεχνικές.

Η μέθοδος που βασίζεται στο χάρτη χρησιμοποιεί χάρτες αντικειμένων που έχουν μετρηθεί προηγουμένως και μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας διάφορες στρατηγικές. Οι αγρότες και οι γεωπόνοι έχουν στη διάθεσή τους πολλές στρατηγικές για ποικίλες εισροές με βάση α) τον τύπο του εδάφους, β) το χρώμα και την υφή του εδάφους, γ) την τοπογραφία (υψηλό έδαφος, χαμηλό έδαφος), δ) την απόδοση της καλλιέργειας, ε) δεδομένα εντοπισμού πεδίου, στ) δορυφορικές εικόνες και πολλές άλλες πηγές πληροφοριών που μπορεί να είναι συγκεκριμένες για κάθε καλλιέργεια και τοποθεσία.



Σχήμα 9 Χάρτης εφαρμογής αζωτούχου λιπάσματος για μια καλλιέργεια βαμβακιού. Τα διαφορετικά χρώματα αντιπροσωπεύουν διαφορετικές δόσεις λιπάσματος.

Για παράδειγμα, για την ανάπτυξη ενός χάρτη εφαρμογής μεταβλητής δόσης λιπάσματος σε έναν συγκεκριμένο αγρό, η μέθοδος που βασίζεται στον χάρτη θα μπορούσε να περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

- Πραγματοποίηση συστηματικής δειγματοληψίας εδάφους (και εργαστηριακή ανάλυση) για το αγρό.
- Δημιουργία συγκεκριμένων χαρτών για τις θρεπτικές ιδιότητες του εδάφους που ενδιαφέρουν τον παραγωγό για την εκάστοτε καλλιέργεια.
- Χρήση ενός αλγορίθμου για την ανάπτυξη ενός χάρτη συνταγών θρεπτικών συστατικών για συγκεκριμένη τοποθεσία
- Χρήση του χάρτη εφαρμογής για τον έλεγχο ενός εφαρμογέα μεταβλητού ρυθμού λιπάσματος.

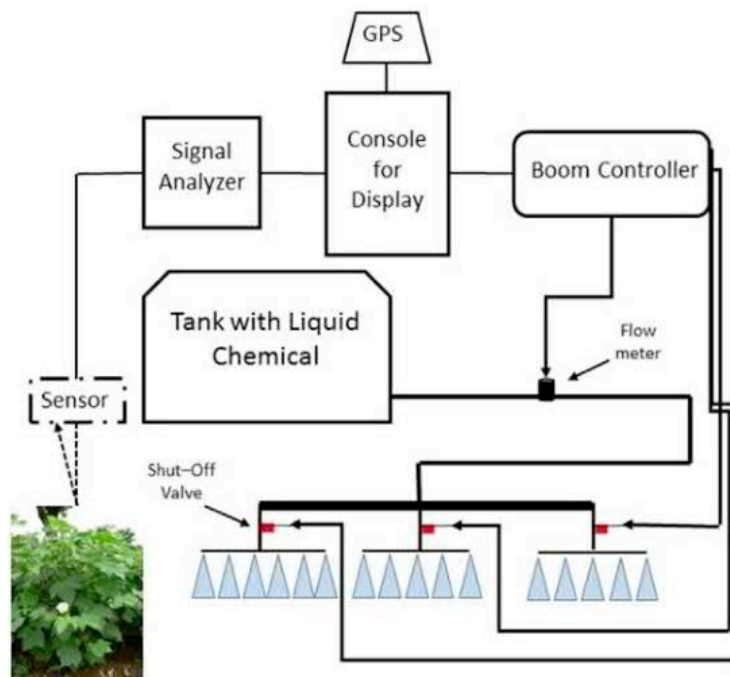
1.1.5.6 Μεταβλητές μεταχειρίσεις βάσει αισθητήρων

Η μέθοδος που βασίζεται σε αισθητήρες παρέχει τη δυνατότητα μεταβολής του ρυθμού εφαρμογής των εισόδων χωρίς προηγούμενη χαρτογράφηση ή συλλογή δεδομένων, αντιθέτως χρησιμοποιεί δεδομένα από αισθητήρες που δουλεύουν σε πραγματικό χρόνο (real time) οι οποίοι μετρούν τις επιθυμητές ιδιότητες - συνήθως ιδιότητες εδάφους ή χαρακτηριστικά καλλιέργειας - ενώ το σύστημα βρίσκεται εν κινήσει στον αγρό (on-the-go).

Στη συνέχεια, οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται από ένα τέτοιο σύστημα υποβάλλονται σε επεξεργασία και χρησιμοποιούνται αμέσως για τον έλεγχο ενός εφαρμοστή μεταβλητού ρυθμού ενώ είναι σημαντικό οι αισθητήρες να παρέχουν δεδομένα με μεγάλη ταχύτητα στον ελεγκτή προκειμένου να υπάρχει διαφοροποίηση σε μικρές ζώνες του χωραφιού.

Το πλεονέκτημα του VRA που βασίζεται σε αισθητήρες έναντι του παραδοσιακού VRA είναι ότι δεν απαιτεί τη δημιουργία, χάρτη ούτε χρήση κεραιών Global Positioning System (GPS), ούτε απαιτεί εκτεταμένη ανάλυση πριν από την εφαρμογή δόσεων μεταβλητού ρυθμού, παρόλο που εάν τα δεδομένα των αισθητήρων καταγράφονται και εντοπίζονται γεωγραφικά, μπορούν και αυτά να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή χαρτών. Έτσι, οι αγρότες που μπορούν να ενσωματώσουν εφαρμογή μεταβλητών δόσεων συνδυαστικά με τις 2 μεθόδους, μπορούν να επωφεληθούν από την προσωρινή μνήμη των αποθηκευμένων δεδομένων εφαρμογής και των φυσικών συντεταγμένων. Το Σχήμα 11 παρουσιάζει ένα παράδειγμα εφαρμογής εισόδου υγρού με βάση έναν αισθητήρα. Ο αισθητήρας μετρά την τιμή της ανάκλασης και στέλνει το σήμα στην κονσόλα η οποία χειρίζεται σε πραγματικό χρόνο το σήμα του αισθητήρα και στέλνει τις πληροφορίες στον ελεγκτή της μπούμας.

Με τη σειρά του, ο ελεγκτής της μπούμας προσαρμόζει τα ακροφύσια χρησιμοποιώντας μια αντλία, έναν μετρητή ροής, έναν ελεγκτή ροής και βαλβίδες απενεργοποίησης.



Σχήμα 10 Παράδειγμα ενός συστήματος εφαρμογής μεταβλητών δόσεων υγρού λιπάσματος με βάση αισθητήρες

Σχετικά με τα μειονεκτήματα του συστήματος με βάση τους αισθητήρες, το πιο συνηθισμένο είναι η δυσκολία στη ρύθμιση των λειτουργιών απόκρισης, δηλαδή λειτουργιών που σχετίζονται με το δείκτη αισθητήρα και το ρυθμό εισόδου, καθώς επίσης και ότι οι εφαρμοστές πρέπει να αλλάζουν τους ρυθμούς πολύ γρήγορα, επειδή ο ρυθμός εισόδου ποικίλλει σε πραγματικό χρόνο. Η απαιτούμενη χρονική περίοδος για την αλλαγή των ποσοστών των εφαρμογών, που ονομάζεται χρόνος καθυστέρησης, είναι συνήθως μεγαλύτερη από 3 δευτερόλεπτα. Ωστόσο, αυτή η απόσταση σύνδεσης μεταξύ αισθητήρα και ενεργοποιητή είναι πολύ μεγάλη. Σε αντίθεση με τα συστήματα που βασίζονται σε αισθητήρες, οι χάρτες εφαρμογής επιτρέπουν στους χρήστες να δημιουργούν προοδευτικά βάσεις δεδομένων οι οποίες μπορεί να φανούν χρήσιμες μελλοντικά για μια σειρά αποφάσεων διαχείρισης και να χρησιμοποιούν συνδυαστικά και άλλες πηγές πληροφορίας στη διαδικασία διαμόρφωσης χαρτών. Ωστόσο η εφαρμογή βάσει χάρτη απαιτεί περισσότερο χρόνο, για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων αλλά και για τη δημιουργία των ίδιων των χαρτών, όπως και μεγαλύτερη εξειδίκευση του δημιουργού. Η VRA που βασίζεται σε αισθητήρες δεν απαιτεί να αναλύονται τα δεδομένα πριν την εφαρμογή, καθιστώντας την πολύ γρήγορη, ενώ οι αισθητήρες παράγουν υψηλότερης ποιότητας δεδομένα από τις παραδοσιακές μεθόδους δειγματοληψίας, παρόλο που τελικά η ακρίβεια και η επιτυχία της εφαρμογής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις

ιδιότητες και τις λειτουργίες του αισθητήρα που προβλέπουν την επίδραση μιας ή περισσότερων ιδιοτήτων πεδίου στην απόδοση και την ποιότητα της καλλιέργειας.

Πίνακας 3 Βασικές διαφορές μεταξύ των δύο μεθόδων μεταβλητών μεταχειρίσεων

| Παράμετρος | Βάσει χάρτη | Βάσει αισθητήρων |
|--------------------------------------|--|---|
| Μεθοδολογία | Δειγματοληψία εδάφους > εργαστηριακές αναλύσεις > εξειδικευμένοι χάρτες > εφαρμογή με διανομέα μεταβλητού ρυθμού | Αισθητήρες πραγματικού χρόνου > υπολογισμός με βάση την ανάδραση > εφαρμογή με διανομέα μεταβλητού ρυθμού |
| GPS/DGPS | Απαιτείται | Όχι απαραίτητο |
| Εργαστηριακή ανάλυση (χώμα και φύτα) | Απαιτείται | Όχι απαραίτητη |
| Χαρτογράφηση | Απαιτείται | Όχι απαραίτητη |
| Απαίτηση χρόνου | Μεγάλη | Μικρή |
| Εφαρμογή | Δύσκολη | Εύκολη |
| Σχετικότητα | Σε αναπτυσσομένες χώρες | Σε αναπτυγμένες χώρες |

2 Αμπελουργία ακριβείας

2.1 Αμπελουργία στην Ελλάδα

2.1.2 Καλλιεργούμενες εκτάσεις και οικονομική σημασία

Ως τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, η έκταση των ελληνικών αμπελώνων, έφτανε τα 3.000.000 στρέμματα με μία σταδιακή αλλά σημαντική μείωση αργότερα. Τα αμερικάνικα υποκείμενα, που εγκαταστάθηκαν για την αντιμετώπιση της φυλλοξήρας δεν ήταν αρκετά και πολύ συχνά η χαμηλή αποδοτικότητα δρούσε σαν αποτρεπτικός παράγοντες για τους αμπελουργούς οι οποίοι την εγκατέλειπαν καθώς δεν είχαν οικονομικό συμφέρον. Μετά την περίοδο του Εμφυλίου πολλοί αμπελώνες εγκαταλείφθηκαν και με την στροφή προς τους αστικούς ιστούς. Ωστόσο η αμπελοκαλλιέργεια παραμένει μια από τις πιο βασικές καλλιέργειες της Ελλάδας και η παραγωγή, επεξεργασία, μεταποίηση και εμπορία των αμπελουργικών προϊόντων είναι από τις σημαντικότερες δραστηριότητες της αγροτικής παραγωγής.

Πίνακας 4 Συνολική έκταση σε αμπελοκαλλιέργεια (σε. στρ.) στην Ελλάδα μεταξύ 2013-2017 Πηγή FAO

| Έτος | Συνολική καλλιεργούμενη έκταση με αμπέλια στην Ελλάδα |
|------|---|
| 2013 | 735.140 |
| 2014 | 625.210 |
| 2015 | 1.098.200 |
| 2016 | 974.700 |
| 2017 | 1.018.000 |

2.2 Η σημασία της αμπελουργίας ακριβείας

Η επίτευξη υψηλών προτύπων ποιότητας οίνων, γίνεται υψίστης σημασίας στο σύγχρονο αμπελουργικό κόσμο με αποτέλεσμα η αμπελουργία να ανανεώνεται και να αναθεωρείται διαρκώς, προκειμένου να μεγιστοποιείται η ποιότητα και η βιωσιμότητα, με μείωση της χρήσης των εισροών όπως ενέργεια, λιπάσματα και χημικά σκευάσματα, με ταυτόχρονη μείωση του κόστους και διασφάλιση της βιωσιμότητας του περιβάλλοντος. Η Αμπελουργία ακριβείας ξεκίνησε στην Αυστραλία και στις ΗΠΑ (Καλιφόρνια) το 1999 σε αμπελώνες με μηχανική συγκομιδή και κατόπιν ακολούθησε η Γαλλία, η Ισπανία, η Χιλή, η Νότια Αφρική, και η Νέα Ζηλανδία.

Είναι δεδομένο ότι σε έναν αμπελώνα η απόδοση διαφέρει σημαντικά και αυτό συχνά επηρεάζει την ποιότητα του αμπελιού και του οίνου και η αμπελουργία ακριβείας επιτρέπει την ποσοτικοποίηση και τον ακριβή εντοπισμό της μεταβλητότητας, δίνοντας ευκαιρίες στον παραγωγό

να χρησιμοποιήσει εναλλακτικές λύσεις. Προκειμένου να εφαρμοστεί ολοκληρωμένο σύστημα αμπελουργίας ακριβείας, είναι αναγκαίο να καταγραφούν δεδομένα κατά την διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου πχ αναλύσεις εδάφους, αναλύσεις οίνου, μετεωρολογικά δεδομένα αλλά και καιρικά φαινόμενα, αριθμό παθογόνων μικροοργανισμών κ.ο.κ. Μετά την καταγραφή των δεδομένων ακολουθεί η ανάλυση τους, καθορίζονται οι ζώνες διαχείρισης που απεικονίζουν παρόμοια εδαφολογικά, οινολογικά ή αγρονομικά δεδομένα.

2.3 Η σημασία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους στην αμπελουργία

Η κατάσταση των φυτικών υδάτων είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες που επηρεάζουν τη φυσιολογία της αμπέλου και είναι καθοριστικός παράγοντας της χημείας των σταφυλιών. Όταν η διαθεσιμότητα του εδάφους δεν μπορεί να καλύψει πλήρως τις ανάγκες ανάπτυξης και ανάπτυξης των φυτών, γίνεται αβιοτικός στρεσογόνος παράγοντας των φυτών. Πολλές φυσιολογικές διεργασίες επηρεάζονται όταν τα φυτά υφίστανται πίεση νερού. Για τα αμπέλια συγκεκριμένα, η έλλειψη του νερού αποδείχθηκε ότι επηρεάζει την ανάπτυξη του φυλλώματος, το μικροκλίμα του φυλλώματος, την απόδοση και τη σύνθεση των σταφυλιών, καθώς μειώνει τη στοματική αγωγιμότητα των φύλλων και την καθαρή αφομοίωση άνθρακα, οδηγώντας σε μείωση της φωτοσυνθετικής παραγωγής. Έχει διαπιστωθεί ότι το υδατικό στρες μπορεί να ελεγχθεί σε ένα ήπιο έως μέτριο εύρος στις ερυθρές ποικιλίες, με διάφορες αγρονομικές πρακτικές. Αυτό μπορεί να έχει ευεργετικές επιδράσεις στη χημεία των σταφυλιών, επειδή υδατικό στρες θα καταστέλλει την βλαστική ανάπτυξη της αμπέλου ως ανταγωνιστική διαδικασία για τον περιορισμό των φωτοσυνθετικών πόρων.

Σε έναν αμπελώνα, υπό την ίδια κλιματική κατάσταση, οι διεργασίες που αφορούν στο σύστημα έδαφος-φυτό και το σύστημα ατμόσφαιρας επηρεάζονται αυστηρά από τη χωρική μεταβλητότητα του εδάφους, κατά συνέπεια οδηγούμαστε σε χωρική μεταβλητότητα στην υδατική κατάσταση των φυτών αλλά και στη σύνθεση των σταφυλιών. Πολύ σημαντικό ρόλο παίζει και η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) (ή η αμοιβαία ηλεκτρική αντίσταση) η οποία έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση πολλών μεταβλητών εδάφους καθώς δρα ως συνάρτηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων του εδάφους, όπως υφή εδάφους, περιεκτικότητα σε υγρασία, συγκέντρωση διαλυμένης ουσίας και θερμοκρασία.

Η ικανότητα εκτίμησης των ιδιοτήτων του εδάφους και της κατάστασης του νερού των φυτών πιο γρήγορα με την εγγύηση της εγγύτητας είναι ευεργετική στους εμπορικούς αμπελώνες, επειδή μπορεί να παρέχει τη δυνατότητα παρακολούθησης και διαχείρισης της χωρικής μεταβλητότητας στο έδαφος με ανταπόκριση, γεγονός που μπορεί να ελαχιστοποιήσει περαιτέρω τις διακυμάνσεις

στην τελική σύνθεση μούρων και τη χημεία του κρασιού. Επιπλέον, λόγω της σημασίας της κατάστασης του νερού των φυτών στη χημεία των σταφυλιών, είναι δυνατό να αξιολογηθεί η χημική σύνθεση του μούρου μόλις προσδιοριστεί η σχέση μεταξύ των ηλεκτρομαγνητικών ιδιοτήτων του εδάφους και της κατάστασης του φυτικού νερού.

Για τις ποικιλίες κρασιού, οι φλαβονοειδείς ενώσεις αποτελούν την πιο άφθονη κατηγορία δευτερογενών μεταβολιτών των σταφυλιών και είναι πολύ σημαντικές για τον προσδιορισμό των οργανοληπτικών ιδιοτήτων στο κρασί, όπως το χρώμα, η γεύση, η στοματική αίσθηση και επίσης η δυνατότητα παλαίωσης. Η βιοσύνθεση αυτών των ενώσεων ανταποκρίνεται στην κατάσταση του νερού των φυτών, όπου η μέτρια πίεση του νερού συνήθως είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της βιοσύνθεσης των φλαβονοειδών. Το διαχειριζόμενο υδατικό στρες μπορεί να συμβάλει σε υψηλότερη αναλογία τρι-υδροξυλιωμένων έναντι δι-υδροξυλιωμένων φλαβονοειδών λόγω της αναπροσαρμογής των φλαβονοειδών 30 50-υδροξυλάσες (F30 50 H) (Castellarin et al., 2007b), η οποία θα ενίσχυε τη σταθερότητα της ένωσης κατά της υποβάθμισης (Liu et al., 2018).

Με βάση την καταγεγραμμένη μεταβλητότητα στους αμπελώνες, η ζωνοποίηση του αμπελώνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ελαχιστοποίηση της μεταβλητότητας μεταξύ ζωνών που συνδυάζονται με στοχευμένες αγρονομικές πρακτικές. Η επιλεκτική συγκομιδή είναι ένα παράδειγμα αυτών των πρακτικών όταν τα φρούτα συλλέγονται διαφορετικά ή διαχωρίζονται σε διάφορες παρτίδες πριν από τη ζύμωση για την παραγωγή κρασιού με διαφορετικές κατατάξεις ή χαρακτηριστικά (Bramley et al., 2011b; Priori et al., 2019). Αυτή η προσέγγιση μπορεί να συνδυάσει τα μεταβλητά στάδια ωρίμανσης που μπορεί να συμβούν εντός του αμπελώνα, όπου τα σχετικά άγουρα φρούτα θα προσδίδουν άγουρα χαρακτηριστικά στα τελικά κρασιά. Η μεταβλητότητα στην παραγωγικότητα και τη σύνθεση των σταφυλιών είναι αναπόφευκτη σε ένα πολύπλοκο σύστημα όπως είναι ένας αμπελώνας, ωστόσο είναι σημαντικό να μπορούμε να την ελαχιστοποιούμε τη μεταβλητότητα ώστε να εξασφαλίζουμε την ίδια σχετικά ωριμότητα για την επιλογή του τρύγου και η επιλεκτική συγκομιδή μπορεί να παρέχει έναν άμεσο τρόπο για να ικανοποιηθεί αυτός ο σκοπός.

3 Σκοπός της παρούσας μελέτης

Οι ιδιότητες του εδάφους ποικίλλουν σημαντικά τόσο στο χώρο όσο και στο χρόνο λόγω περιφερειακών διαφορών όπως το κλίμα, η τοπογραφία, η βλάστηση και το μητρικό υλικό. Είναι δεδομένο ότι μια μεγάλη πρόκληση για τους αμπελοπαραγωγούς είναι η διαχείριση της μεταβλητότητας του εδάφους, άρα είναι σημαντικό ο κάθε παραγωγός να μπορεί να χαρακτηρίσει το έδαφος της καλλιέργειάς του ώστε να κατανοεί τις επιπτώσεις που έχουν οι επιλογές του ως προς τη διαχείριση της γης στα χαρακτηριστικά του εδάφους και τη βελτιστοποίηση της αποδοτικότητας των πόρων. Παρ' όλα αυτά, η χωροθέτηση των αμπελώνων επικεντρώθηκε κυρίως στις περιφερειακές κλίμακες ή στις κλίμακες Ονομασίας Προέλευσης (ΠΟΠ, ΠΓΕ κλπ). Ωστόσο, απαιτείται μια λεπτομερής ανάλυση σε επίπεδο οικοπέδου για την εκτίμηση της μεταβλητότητας εντός του αμπελώνα και, κατά συνέπεια, τη διευκόλυνση της διαχείρισης συγκεκριμένης τοποθεσίας. Πολλοί δίνουν μεγάλη αξία στις συγκεκριμένες τοποθεσίες διαχείρισης για την αύξηση της αποτελεσματικότητας στη χρήση γεωργικών εισροών (λιπάσματα, άρδευση, ψεκασμός κ.λπ.). οπότε, η περιγραφή της χωρικής μεταβλητότητας των ιδιοτήτων του εδάφους μέσω χαρτών που λαμβάνονται με χωρική παρεμβολή θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη. Δυστυχώς, η δειγματοληψία εδάφους απαιτεί χρόνο κι έχει κόστος, άρα δεν είναι πάντα εύλογο να ληφθεί μια κατάλληλη ποσότητα δεδομένων για τη λήψη αυτών των χαρτών.

Οι αισθητήρες ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής μπορεί να προσφέρουν χρήσιμες πληροφορίες σχετικά με τη χωρική μεταβλητότητα ορισμένων ιδιοτήτων εδάφους μέσα σ' έναν αγρό. Σημαντικές φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους, όπως αλατότητα, περιεκτικότητα σε άργιλο, ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων, οργανική ύλη και περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους μπορούν να προσδιοριστούν από την μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους (ECa) που μετρείται χρησιμοποιώντας γεωφυσικές ιδιότητες, ενώ σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιείται ως υποκατάστατο μέγεθος της υφής του εδάφους και της περιεκτικότητας σε άργιλο. Πολλοί έχουν χαρακτηρίσει αμπελώνες χρησιμοποιώντας μετρήσεις ECa. Μια πρόσφατη μελέτη σε έναν αμπελώνα από τη ΒΔ Ισπανία έδειξε ότι οι μετρήσεις ECa βελτίωσαν τις προβλέψεις για την περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους, το δυναμικό του βλαστικού νερού και τη σύνθεση σταφυλιών (συνολικά διαλυτά στερεά και pH), υποδηλώνοντας τη χρησιμότητα αυτών των μετρήσεων για τον καθορισμό ζωνών εντός του αμπελώνα που είναι ευαίσθητα σε διαχειρίσεις για συγκεκριμένους ισότοπους. Ωστόσο, αυτοί οι χαρακτηρισμοί αναφέρονται σε εγκατεστημένους ή παλιούς αμπελώνες, ενώ οι νέες καλλιέργειες συχνά προσπερνώνται παρά το γεγονός ότι η διαχείριση ενός αμπελώνα στα αρχικά στάδια της φύτευσης, είναι κρίσιμη για την επίτευξη μιας ομοιογενούς

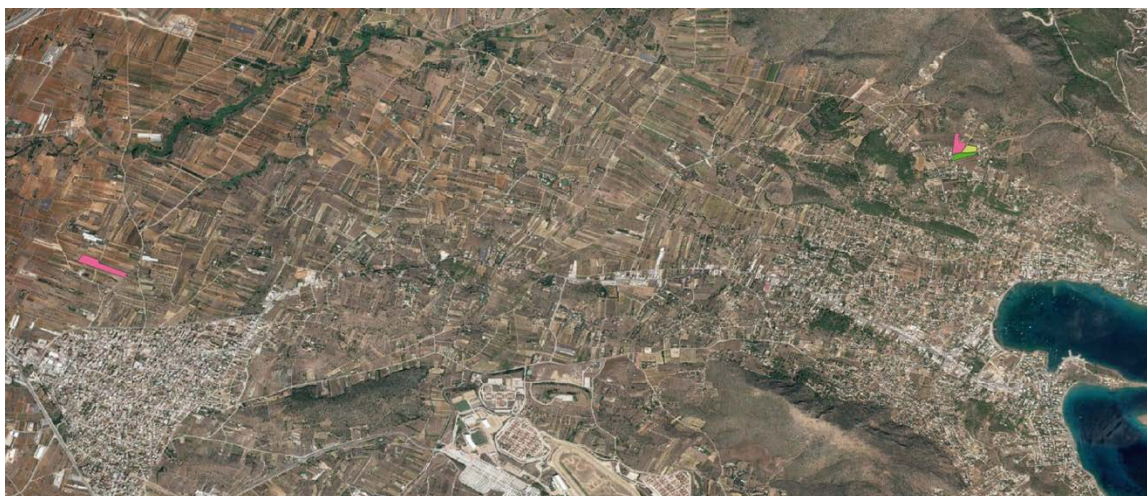
ανάπτυξης σε όλο το χωράφι. Αυτό το αποτέλεσμα συνδέεται με τη γονιμότητα του εδάφους και τη διατροφή των φυτών.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο στόχος της τρέχουσας εργασίας είναι να γίνει μια πρωταρχική διερεύνηση του εδάφους των επιλεγμένων αμπελοτεμαχίων, σε σχέση με την ηλεκτρική αγωγιμότητά του εδάφους. Επίσης γίνεται μια πρώτη απεικόνιση της κατάστασης των αμπελώνων με χρήση πολυφασματικού υπέρυγιου αισθητήρα και η επιδιώκεται η αντιστοίχιση των δεδομένων.

4 Υλικά και μέθοδοι

4.1 Ο αμπελώνας που μελετήθηκε

Η πειραματική διαδικασία διεξήχθη το έτος 2019, σε αμπελώνα στα Μεσόγεια Αττικής σε 2 διαφορετικές θέσεις με διαφορετικές ποικιλίες φύτευσης. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 1. Το ένα αμπελοτεμάχιο στην θέση Πούσι (δεξιά), βρίσκεται πλησιέστερα στη θάλασσα στην περιοχή του Πόρτο Ραφτη, ενώ το άλλο κοντά στο Μαρκόπουλο. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε ήταν ευγενική προσφορά του Τμήματος Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανολογίας του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.



Εικόνα 1 Οι δύο τοποθεσίες στις οποίες βρίσκονται οι επιλεγμένοι αμπελώνες

Στις Εικόνες 2 και 3 φαίνεται η τοποθεσία 1 στο Μαρκόπουλο, η οποία έχει σχεδόν μηδενική κλίση και αποτελείται από φύτευση διάφορων λευκών ποικιλιών, με πρέμνα ηλικίας περίπου 15-20 ετών.



Εικόνα 2 Τοποθεσία 1: Φύτευση με λευκές ποικιλίες (Ασύρτικο, Μαλαγουζιά, Μοσχάτο κλπ)



Εικόνα 3 Η κλίση σε αυτή την τοποθεσία είναι σχεδόν μηδενική ενώ περιμετρικά υπάρχουν άλλες καλλιέργειες

Στις Εικόνες 4, 5 και 6, στην τοποθεσία 2 (Πούσι), υπάρχει μεγαλύτερη ποικιλομορφία όσον αφορά τις διαφορετικές κλίσεις και οι ποικιλίες εναλλάσσονται στα διαφορετικά τεμάχια. Η τοποθεσία αυτή βρίσκεται πλησίον κατοικημένης περιοχής.



Εικόνα 4 Τοποθεσία 2(ΠΟΥΣΙ): Φύτευση με διάφορες ποικιλίες (Ασύρτικο, Σαββατιανό, Merlot, Cabernet Sauvignon)



Εικόνα 5 Είναι εμφανής η κλίση του αμπελώνα στην περιοχή που είναι φυτεμένες οι κόκκινες ποικιλίες



Εικόνα 6 Περιμετρικά του αμπελώνα υπάρχουν οικισμοί

4.2 Όργανα και μετρήσεις

4.2.1 Ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους με το EM

Υπάρχει μια σειρά διαδικασιών για τη μέτρηση του ECA του εδάφους σε κλίμακα πεδίου με τη βασικότερη μέθοδος αυτή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Η χρήση αυτής της διαδικασίας έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια: γενικά επιτυγχάνεται εξαιρετική ανάλυση της αγωγιμότητας, αποφεύγονται προβλήματα που σχετίζονται με τη διείσδυση του εδάφους και αυξάνεται σημαντικά η ευκολία και η ταχύτητα με την οποία μπορούν να συγκεντρωθούν πολλές μετρήσεις στο πεδίο.

Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος μετρητής αγωγιμότητας ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής για γεωργικούς σκοπούς είναι το EM-38(EM38 RT, Geonics LTD, Ontario Canada), με ανίχνευση με GPS λόγω της ευκολίας χρήσης και του λειτουργικού βάθους μέτρησης. Το EM38 τοποθετείται στην οριζόντια διαμόρφωση πηνίου, όπου η αποτελεσματική ανίχνευση σήματος ($\pm 70\%$ της απόκρισης) είναι από 0,75 m, ή στην διαμόρφωση κάθετου πηνίου με αποτελεσματικό βάθος ανίχνευσης σήματος 1,5 m, με αυτά τα βάθη να αντιστοιχούν γενικά στο βάθος της ζώνης ριζοβολίας σταφυλιών. Καθώς ο αισθητήρας κινείται σε μικρή απόσταση από το έδαφος γίνεται λήψη των τιμών και παράλληλα μέσω σύνδεσης με GPS αποθηκεύονται γεωδαιμμένες.

Το ECa μπορεί να επηρεαστεί από πλήθος φυσικών και χημικών παραγόντων: το πορώδες, την περιεκτικότητα σε πηλό και την ορυκτολογία του, τη θερμοκρασία και τη φάση του νερού που διατηρείται στους πόρους, εκτός από την περιεκτικότητα σε υγρασία και τη συγκέντρωση αλάτων. Οι μετρήσεις επίσης επηρεάζονται από α) τη σύνθεση των κολλοειδών του εδάφους, β) το βάθος έως τα στρώματα πλούσια σε πηλό, γ) το βάθος στα υπόγεια ύδατα και δ) τη πυκνότητα των ριζών. Μια ειδοποιός διαφορά από άλλες ετήσιες καλλιέργειες είναι ότι τα ριζικά συστήματα της αμπέλου μπορούν να φτάσουν σε βάθη που μπορεί μερικές φορές να υπερβαίνουν εκείνο των δυνατοτήτων ανίχνευσης του EM38.

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας EM38 της εταιρείας Geonics προκειμένου να γίνει χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του πειραματικού αμπελώνα. Η αγωγιμότητα του εδάφους μετρήθηκε ενώ το όργανο ήταν αναρτημένο στους ώμους και κατόπιν με τα πόδια διάσχιση του αμπελώνα κάθετα μεταξύ των γραμμών, ενώ το DGPS κατέγραφε μία τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας ανά δευτερόλεπτο. Ο μέσος όρος των τιμών ηλεκτρικής αγωγιμότητας υπολογίστηκε με το λογισμικό QGIS 3.6. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 2 Ιουλίου 2019.

Η γεωστατική παρεμβολή των ιδιοτήτων του εδάφους πάνω από τον πειραματικό αμπελώνα πραγματοποιήθηκε με τη χρήση της μεθόδου παρεμβολής IDW (Inverse Distance Weighted).



Εικόνα 7 Ο αισθητήρας EM της Geonics

4.2.2 Πολυφασματικές εικόνες με κάμερα Sequoia τοποθετημένη σε drone

Η Parrot Sequoia είναι μια πολυφασματική κάμερα, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη γεωργία ακριβείας, σχεδιασμένη για χρήση με όλους τους τύπους drone. Με τους δύο αισθητήρες, τον πολυφασματικό και τον ήλιο, η Sequoia μπορεί να συμβάλλει στην ανάλυση της ζωτικότητας των φυτών συλλαμβάνοντας την ποσότητα φωτός που απορροφούν και αντανακλούν. Αυτά τα έξυπνα δεδομένα επιτρέπουν στους αγρότες να βελτιστοποιήσουν τις πρακτικές που εφαρμόζουν στις καλλιέργειές τους, συμπεριλαμβανομένου της ακρίβειας στην εφαρμογή λιπασμάτων.

Καταγράφει πληροφορίες για την υγεία των φυτών, και με αυτόν τον τρόπο η Sequoia δίνει τη δυνατότητα στους αγρότες να αναλάβουν δράση σε ζώνες διαχείρισης. Η βελτιστοποίηση της χρήσης λιπάσματος μεταβάλλοντας τις ποσότητες ανάλογα με τις ανάγκες, μειώνοντας τη χρήση φυτοφαρμάκου μόνο στα οικόπεδα που το απαιτούν και η ανάλυση της συμπεριφοράς των φυτών μετά την άρδευση είναι όλα τα οφέλη που λαμβάνονται μέσω του αισθητήρα Parrot Sequoia.



Εικόνα 8 Η πολυφασματική κάμερα Parrot Sequoia

Με τη μορφή της μίνι-κάμερας, ο πολυφασματικός αισθητήρας Parrot Sequoia μπορεί να ενσωματωθεί σε όλα τα drones, τόσο multi-rotor όσο και σταθερά πτερούγια, ενώ πολύ εύκολα συνδέεται σε υπολογιστή, smartphone ή tablet, με συνδέσεις Wi-Fi ή USB ώστε να καθιστούν τα δεδομένα του προσβάσιμα σε όλες τις συσκευές.

Μια πτήση πραγματοποιήθηκε, στις 3 Ιουλίου 2019, στο ανοιχτό πεδίο, προκειμένου να επιβεβαιωθούν οι μετρήσεις σχετικά με τους δείκτες ζωηρότητας της καλλιέργειας.



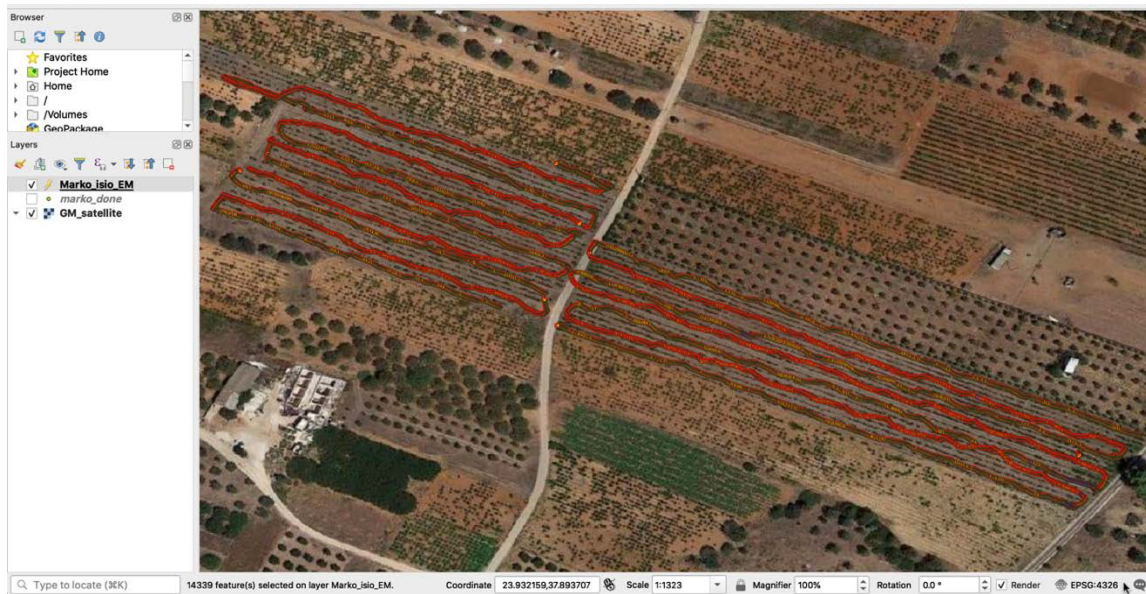
Εικόνα 9 Πτήση με το drone στην τοποθεσία 1



Εικόνα 10 Πτήση με το drone στην τοποθεσία Πούσι

4.3 Μεθοδολογία για την εξαγωγή χάρτη ηλεκτρικής αγωγιμότητας

1. Εισαγωγή των δεδομένων στο QGIS.
2. Χρήση των δεδομένων (αρχεία πίνακα) για τη δημιουργία ενός διανυσματικού αρχείου με τα δεδομένα κάθε μέτρησης.
3. Δημιουργία των ορίων για το πεδίο των μετρήσεων, δημιουργώντας ένα νέο διανυσματικό αρχείο πολυγώνου.
4. Φιλτράρισμα των δεδομένων για πιθανά ακραία σημεία.
5. Εκτέλεση παρεμβολής δεδομένων χρησιμοποιώντας το διανυσματικό αρχείο που δημιουργήθηκε, για τη δημιουργία μιας σταθερής επιφάνειας τιμών δεδομένων (αρχείο raster), χρησιμοποιώντας το αρχείο ορίων του βήματος 3.
6. Χρήση του raster αρχείου που δημιουργήθηκε για τη δημιουργία ενός χάρτη πλέγματος βάσει του αρχείου πλέγματος.
7. Προσαρμογή του χάρτη εφαρμόζοντας διαφορετικές μεθόδους ταξινόμησης και οπτικοποίησης.



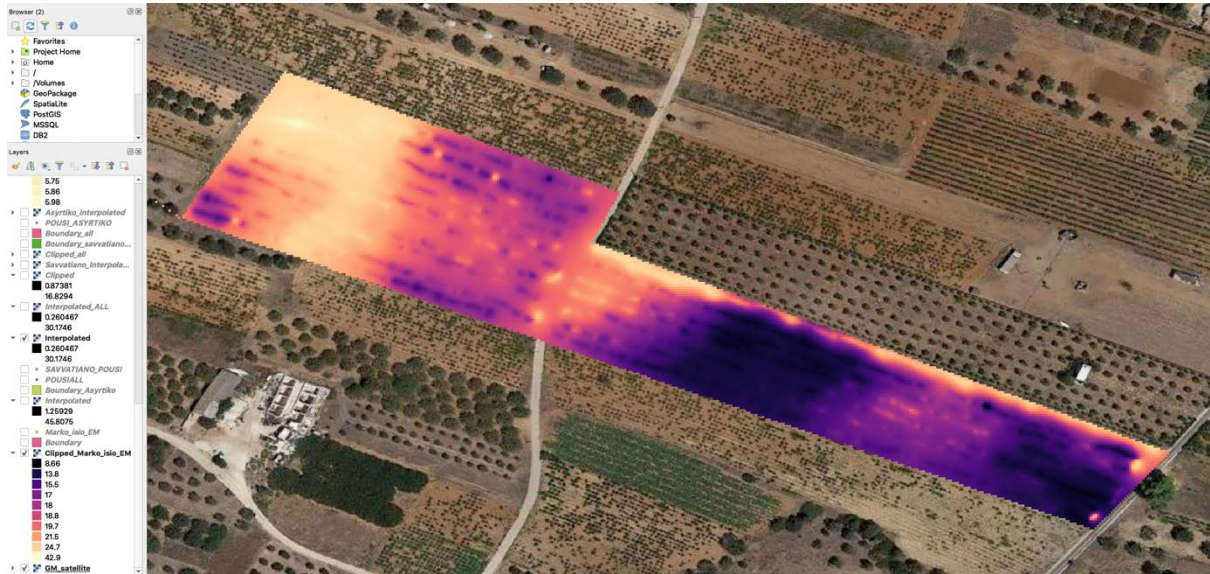
Εικόνα 11 Τα σημεία δειγματοληψίας με το EM (τοποθεσία 1)



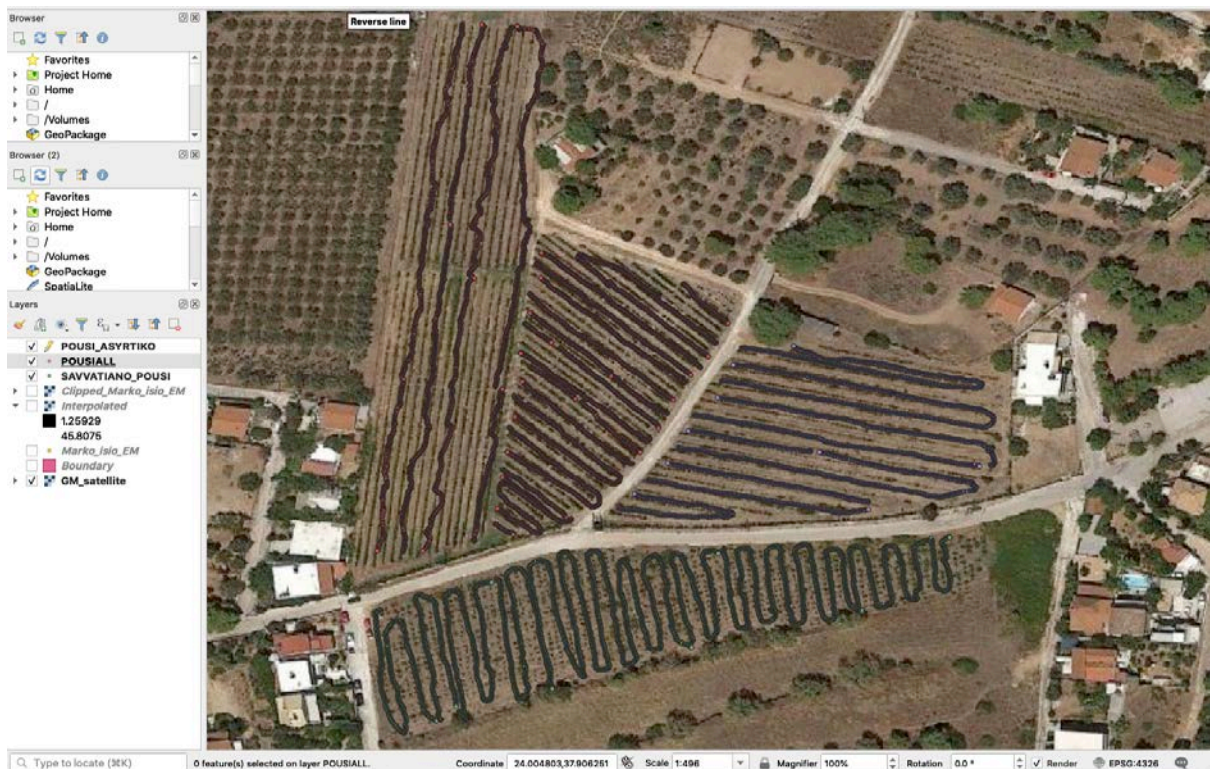
Εικόνα 12 Τα σημεία δειγματοληψίας με το EM (τοποθεσία 1) και το περίγραμμα του αγρού

Στην Εικόνα 13 προκύπτει ο χάρτης ηλεκτρ. αγωγιμότητας και φαίνονται οι διαφορετικές περιοχές που διαμορφώνονται με τιμές από 8.66 έως 42.9, παρουσιάζοντας ένα αρκετά μεγάλο εύρος. Όπως φαίνεται η αγωγιμότητα είναι μεγαλύτερη στο άνω μέρος του αγρού όπως και κοντά στην περίμετρο, πιθανότατα λόγω εγγύτητας με μεταλλικά υλικά στην περίμετρο.

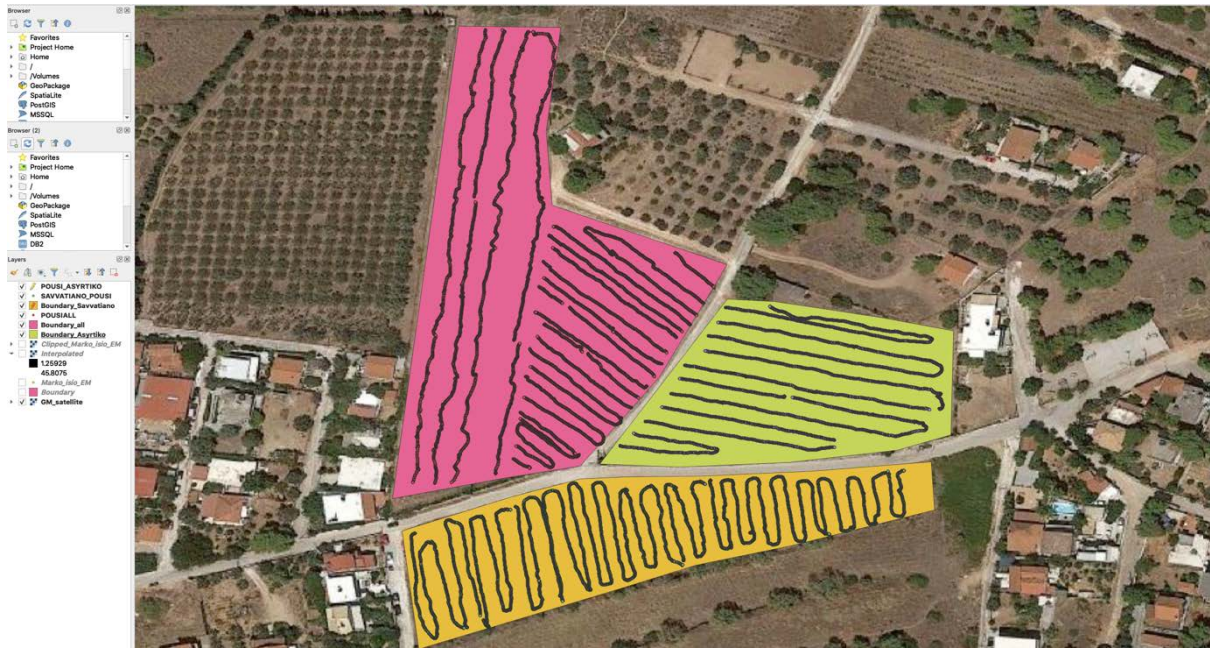
Όσον αφορά την τοποθεσία 2, στη θέση Πούσι, στις επόμενες εικόνες φαίνονται, τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εξαγωγή των χαρτών ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Δεδομένου ότι στην τοποθεσία αυτή υπήρχε μεγαλύτερη ποικιλομορφία, τα αμπελοτεμάχια χωρίστηκαν σε 3 τμήματα και επαναλήφθηκε η χωρική παρεμβολή 3 φορές.



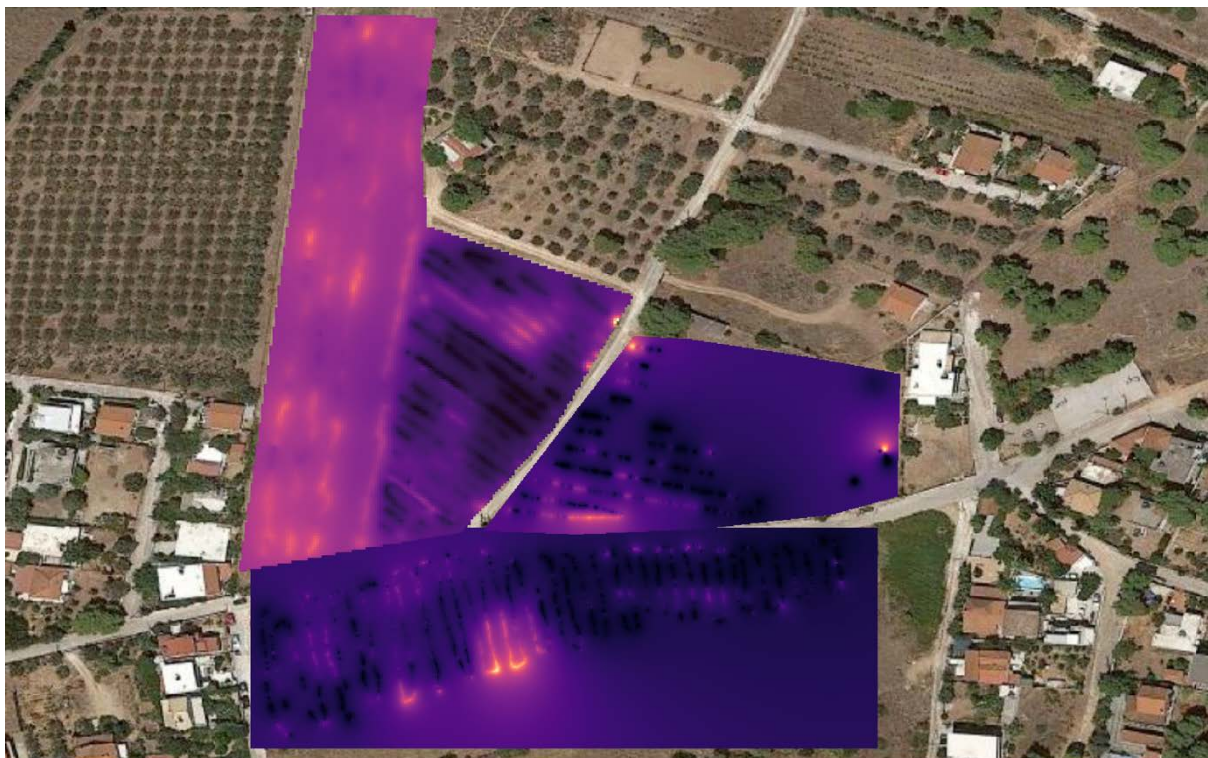
Εικόνα 13 Η ηλεκτρική αγωγιμότητα όπως προέκυψε μετά την χωρική παρεμβολή IDW



Εικόνα 14 Τα σημεία δειγματοληψίας με το EM (τοποθεσία Πούσι)

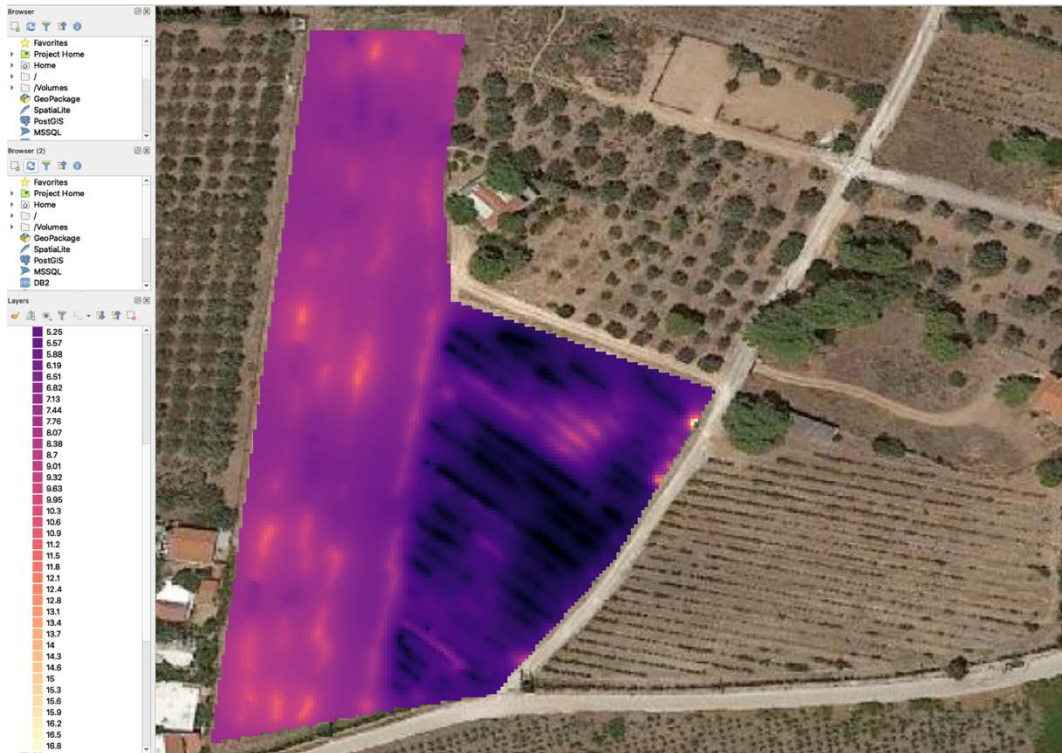


Εικόνα 15 Τα σημεία δειγματοληψίας με το EM (τοποθεσία Πούσι) και το περίγραμμα του καθενός από τα 3 τμήματα



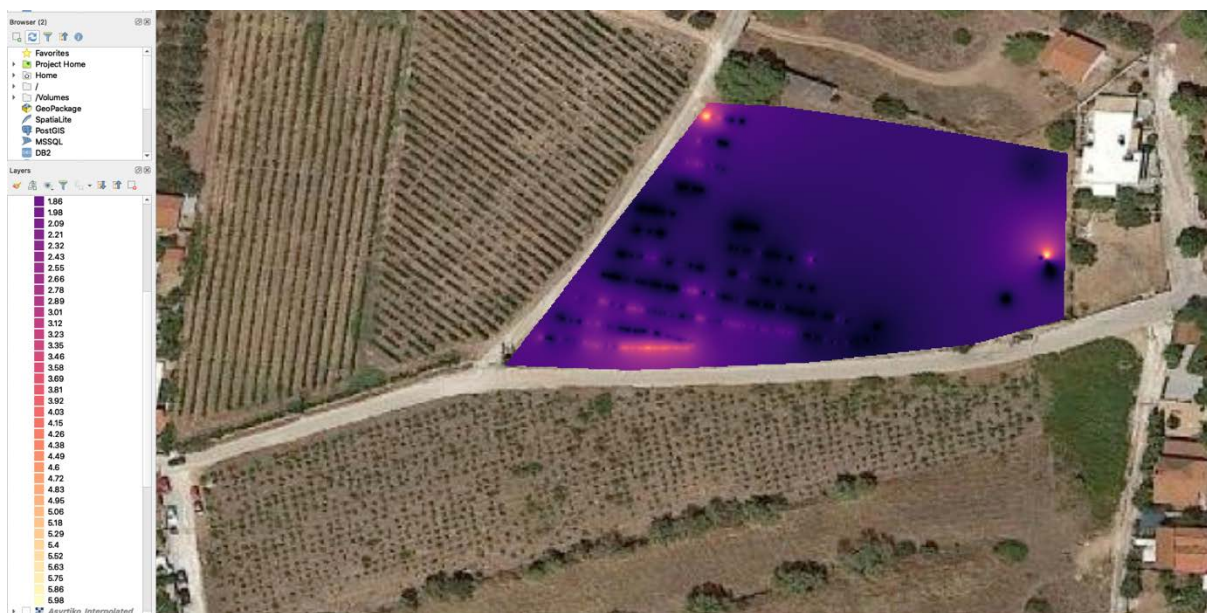
Εικόνα 16 Η ηλεκτρική αγωγιμότητα όπως προέκυψε μετά την χωρική παρεμβολή IDW

Στην εικόνα 17 φαίνεται ο χάρτης ηλεκτρ. αγωγιμότητας στο κεκλιμένο τμήμα του αγρού με εύρος τιμών 5.25 – 16.8 με μια κανονικοποιημένη διασπορά, και μια εμαφανή διαφορά μεταξύ του Merlot και του Carbernet Sauvignon.

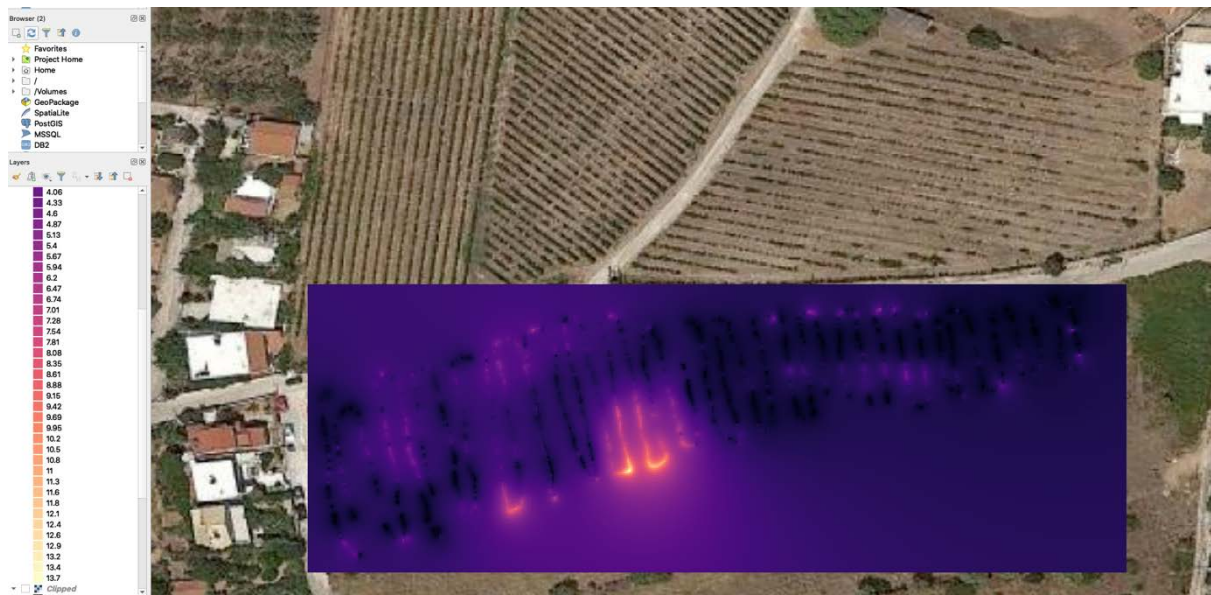


Εικόνα 17 Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο τμήμα με την κλίση (ποικιλίες Merlot και Cab. Sauvignon)

Στην Εικόνα 18 φαίνεται ο χάρτης ηλεκτρ. αγωγιμότητας στο τμήμα του αγρού που είναι φυτεμένο με Ασύρτικο με εύρος τιμών 1.86 – 5.98. Σε μεγάλο μέρος αυτού του τεμαχίου, οι μετρήσεις είχαν αρνητική τιμή και δεν λήφθησαν υπόψιν, όπως φαίνεται και από την Εικόνα, κάτι που επιβεβαιωνόταν και από την επιτόπια μαρτυρία, όπου το τμήμα αυτό παρουσιαζόταν φτωχό, αβαθές και ως εκ τούτου αραιοφυτεμένο.



Εικόνα 18 Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο τμήμα με το Ασύρτικο.



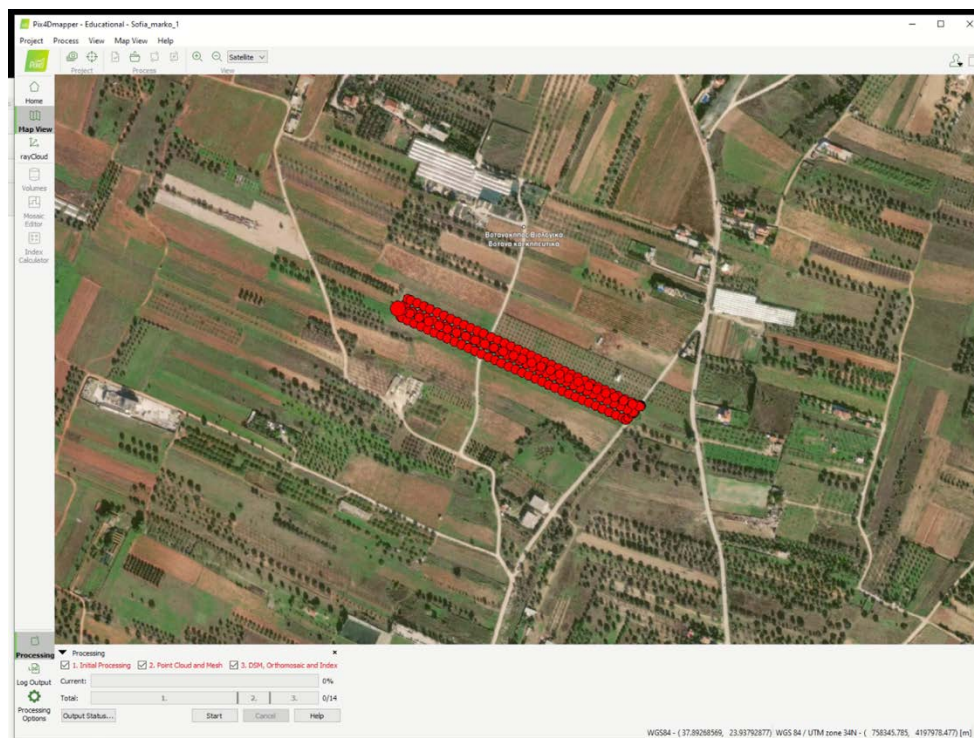
Εικόνα 19 Η ηλεκτρική αγωγιμότητα στο τμήμα με το Σαββατιανό.

Στην Εικόνα 19 φαίνεται ο χάρτης ηλεκτρ. αγωγιμότητας στο τμήμα του αγρού που είναι φυτεμένο με Σαββατιανό με εύρος τιμών 4.06– 13.7.

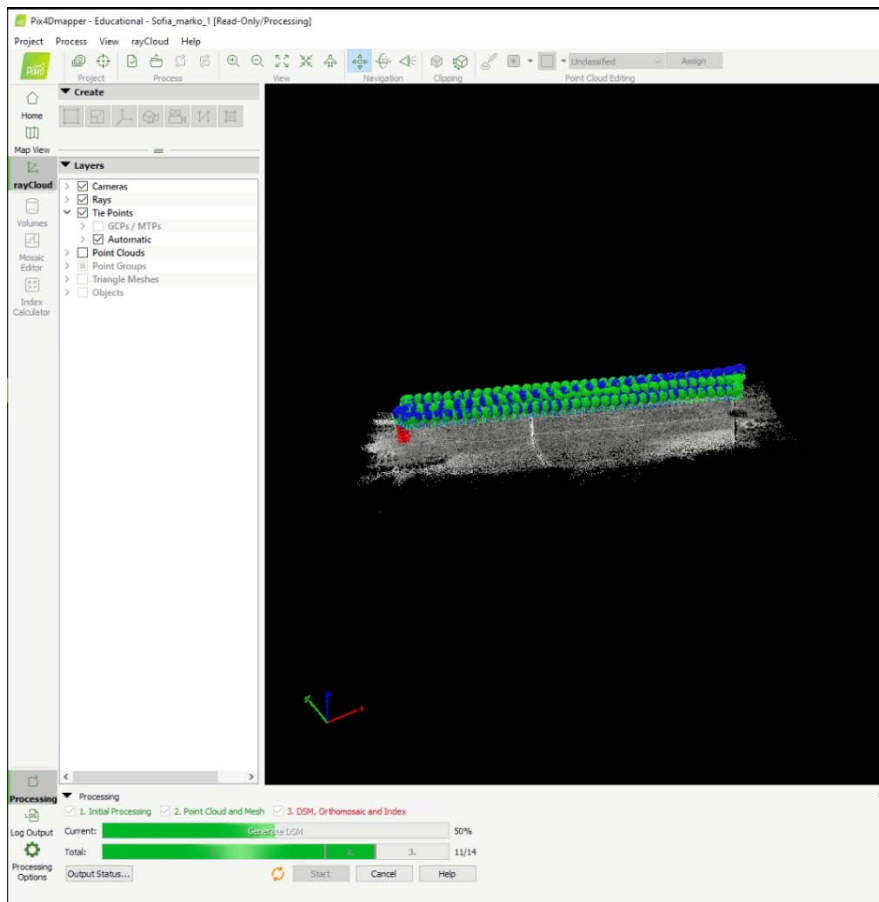
4.4 Μεθοδολογία για την εξαγωγή χάρτη του δείκτη NDVI

1. Εισαγωγή δεδομένων στο QGIS.
2. Χρήση των αρχείων ράστερ για τη δημιουργία νέων στρώματων ράστερ με τους αντίστοιχους δείκτες βλάστησης σε αυτά.
3. Κλιπ στα αρχεία ευρετηρίου βλάστησης raster στα όρια του πεδίου / περιοχής ενδιαφέροντος.
4. Κατασκευή ένα στρώμα πλέγματος ανάλυσης 10x10 μέτρων με τις στατιστικές τιμές

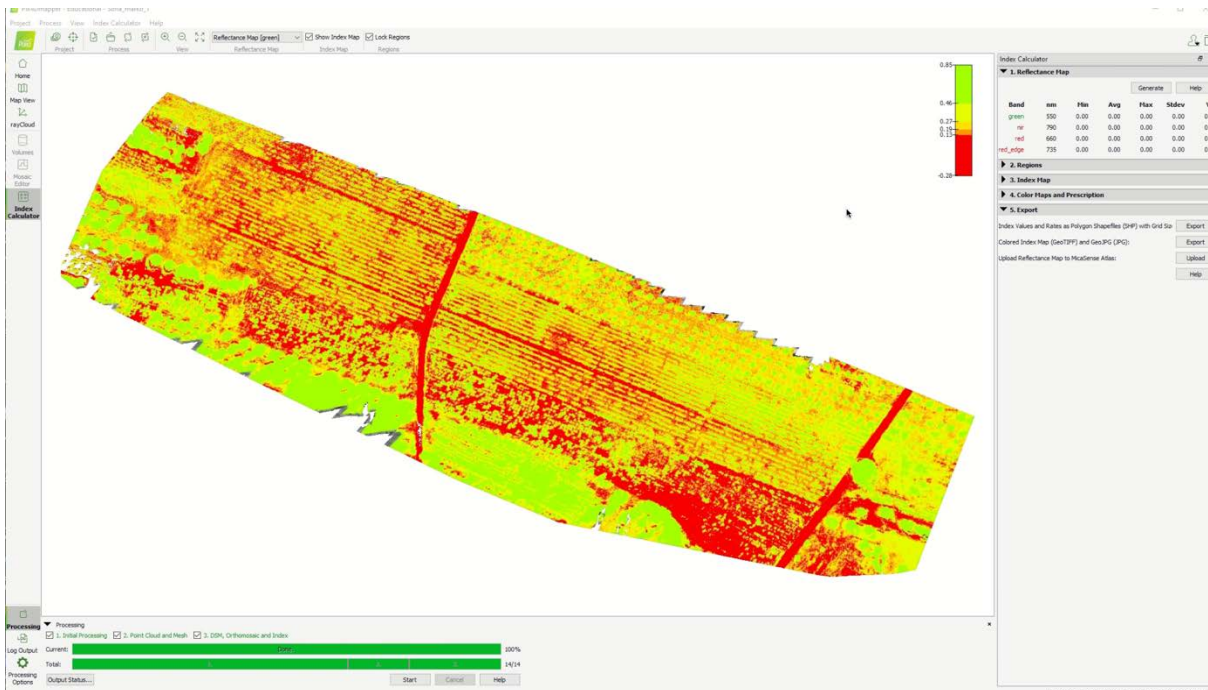
Για την κατασκευή των χαρτών χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Pix4D, σύμφωνα με το οποίο γίνεται αυτόματα η ανάγνωση των εικόνων που λήφθηκαν από την υπερφασματική κάμερα, κατόπιν δημιουργείται το λεγόμενο Point Cloud, προκειμένου να προκύψει ο ορθομωσαϊκός χάρτης και στο τέλος να γίνει η εξαγωγή του δείκτη βλάστησης NDVI.



Εικόνα 20 Τα σημεία δειγματοληψίας σύμφωνα με το σχέδιο πτήσης (Τοποθεσία 1)



Εικόνα 21 Η εξαγωγή του νέφους σημείων για τον ορθομοσαικό χάρτη (Τοποθεσία 1)

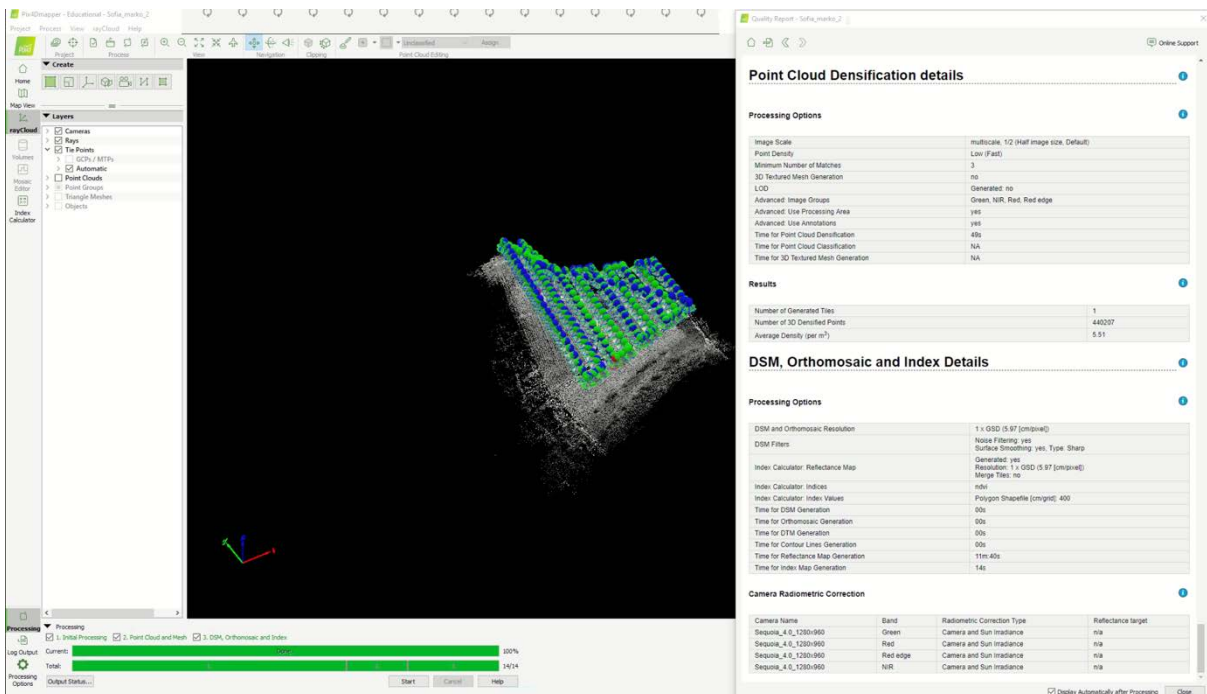


Εικόνα 22 Ο χάρτης του δείκτη βλάστησης NDVI (Τοποθεσία 1)

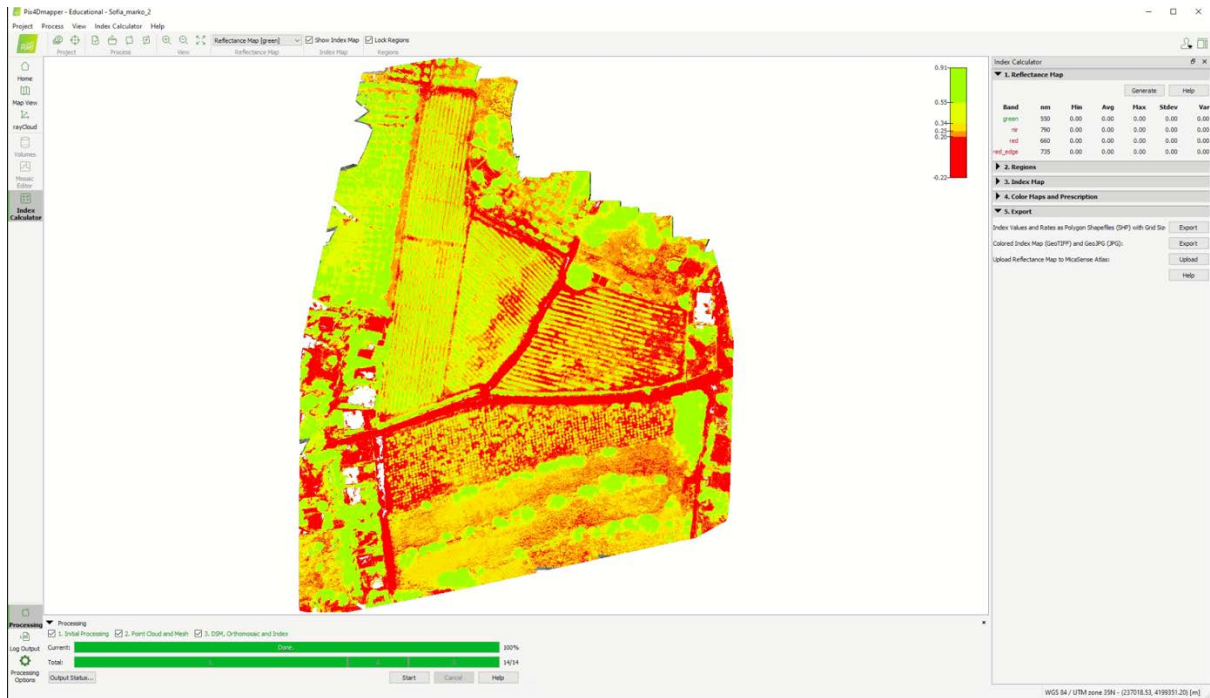
Στην Εικόνα 22 φαίνεται ο χάρτης του δείκτη βλάστησης NDVI, για την τοποθεσία 1 με τιμές από 0,46 έως 0,85, όπως προκύπτει και από τη χρωματική απεικόνιση, όπου και εμφανίζονται οι περιοχές με πιο έντονη και πυκνή βλάστηση.



Εικόνα 23 Τα σημεία δειγματοληψίας σύμφωνα με το σχέδιο πτήσης (Τοποθεσία. 2)



Εικόνα 24 Εικόνα 34 Η εξαγωγή του νέφους σημείων για τον ορθομοσαικό χάρτη (Τοποθεσία 2)



Εικόνα 25 Ο χάρτης του δείκτη βλάστησης NDVI (Τοποθεσία 2)

Από τον χάρτη του δείκτη βλάστησης φαίνεται η πυκνότητα φύτευσης και η ζωηρότητα της καλλιέργειας ανά τμήμα και ανά ποικιλία. Η διαφοροποίηση φαίνεται να συμφωνεί και με τους χάρτες ηλεκτρικής αγωγιμότητας που προηγήθηκαν.

5 Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης του συστήματος

Στην αμπελουργία, η μέτρηση του ECa για την εκτίμηση των παραμέτρων της έκφρασης που καθορίζουν την παραγωγικότητα του αμπελώνα είναι ακόμα στην αρχή της, παρόλο που έχει δοκιμαστεί ήδη σε αμπελουργικές περιοχές της Γαλλίας και της Νέας Ζηλανδίας. Τα πρωτόκολλα για τη χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας στους αμπελώνες ως εργαλείο για την εφαρμογή της αμπελουργίας ακριβείας, επικεντρώνονται στην αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων της μεθόδου για την εξήγηση της χωρικής μεταβλητότητας της υγρασίας του εδάφους, της γονιμότητας και της υφής, τα οποία σχετίζονται να αποδώσει.

Η χρήση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχει καθιερωθεί ως μια καλή μέθοδος για την ανίχνευση χωρικής διακύμανσης στις χημικές και φυσικές ιδιότητες των ανέπαφων εδαφών και για τη χαρτογράφηση τέτοιων παραγόντων. Τα πρότυπα αποστράγγισης άρδευσης, η συμπίεση και η περιεκτικότητα σε άμμο και άργιλο είναι παραδείγματα τέτοιων φυσικών ιδιοτήτων. Η της ηλεκτρική αγωγιμότητα είναι η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον υπολογισμό της αλατότητας του εδάφους σε καλλιεργημένο έδαφος υπό άρδευση ενώ παράλληλα έχει χρησιμοποιηθεί σε αγροτικές καλλιέργειες για να χαρακτηρίσει μια ποικιλία ιδιοτήτων εδάφους εκτός από την αλατότητα, όπως είδαμε σε προηγούμενες ενότητες.

Συνολικά, ο αμπελώνας που μελετήθηκε έδειξε χαμηλή μία μεγάλη διακύμανση όσον αφορά την ηλεκτρική αγωγιμότητα των εδαφών, οπότε πρέπει να εφαρμόζονται διαφορετικά οι καλλιεργητικές πρακτικές ανάλογα με τις ζώνες που ορίζονται από τους χάρτες που λαμβάνονται στην τρέχουσα μελέτη. Πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ισορροπίες μεταξύ ανταγωνιστικών θρεπτικών συστατικών, καθώς επίσης και ότι οι πραγματικοί τομείς άρδευσης ενδεχομένως να μην συμπίπτουν πάντα με τη χωρική μεταβλητότητα που ανιχνεύεται για την ικανότητα συγκράτησης των εδαφικών υδάτων και το ECa, συνεπώς, οι ιδιοκτήτες αμπελώνων πρέπει να κάνουν προσαρμογές προκειμένου να πραγματοποιήσουν μια αποτελεσματική άρδευση (ή λίπανση), λαμβάνοντας υπόψη τη μεταβλητότητα που εντοπίστηκε στο σχέδιο μελέτης.

Το αντικείμενο της παρούσας έρευνας είναι η αξιοποίηση των πρακτικών της Γ.Α. για την καταγραφή της χωρικής παραλλακτικότητας του αγροτεμαχίου. Παρακάτω, προτείνεται μια σειρά βελτιώσεων σύμφωνα με τις οποίες το σύστημα θα μπορούσε να γίνει ακόμα περισσότερο επεκτάσιμο και έγκυρο όσον αφορά τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα. Η επέκταση της έρευνας θα μπορούσε να εμπλουτιστεί με την προσθήκη και άλλων παραγόντων που δύναται να επηρεάσουν την απόδοση της καλλιέργειας. Αναλυτικότερα θα μπορούσε να γίνει:

1. Χρήση δεδομένων εδαφολογικών αναλύσεων. Η μεταβλητότητα της μηχανικής σύστασης, της οργανικής ουσίας, αλατότητας, περιεκτικότητας σε νερό είναι πιθανόν να προκαλεί την

αντίστοιχη μεταβλητότητα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας αλλά και της κατάστασης βλάστησης.

2. Συνδυασμός με τα δεδομένα της παραγωγής της τρέχουσας χρονιάς, με δημιουργία χαρτών παραγωγής από όλα τα τμήματα των επιλεγμένων τοποθεσιών προκειμένου να διαπιστωθεί αν αντιστοιχεί με τους χάρτες που παρουσιάστηκαν
3. Χρήση μετεωρολογικών δεδομένων για την εξήγηση της παραλλακτικότητας. Το κλίμα είναι ένας σημαντικός παράγοντας που έχει επίδραση στην παραγωγή και η καταγραφή κλιματικών δεδομένων σίγουρα θα δώσει κάποιες εξηγήσεις για την παραλλακτικότητα στην παραγωγή που παρουσιάζει ο συγκεκριμένος οπωρώνας
4. Ζωνοποίηση και εφαρμογή μεταβλητών εισροών. Η έρευνα μπορεί να συνεχιστεί για να μελετηθούν τα μακροχρόνια αποτελέσματα της εφαρμογής εισροών με μεταβλητές δόσεις.
5. Έρευνα και δορυφορικών δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων στην πρόβλεψη παραγωγής. Ο δορυφόρος Sentinel 2 έχει εκτοξευθεί πρόσφατα και η αξιοποίηση των δορυφορικών εικόνων είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Η χρήση των δορυφορικών εικόνων και πιο συγκεκριμένα των δεικτών βλάστησης θα μπορούσε να συμβάλουν καθοριστικά στον κλάδο της Αμπελουργίας Ακριβείας ως μια αστείρευτη πηγή πληροφοριών για την παρακολούθηση της καλλιέργειας
6. Μία επιπλέον πρόκληση για τους διάφορους αισθητήρες, είναι ότι το NDVI έχει βρεθεί να δείχνει κορεσμό σε συνθήκες μέσης έως υψηλής βιομάζας και επομένως μπορεί να μην είναι ο καταλληλότερος για την πρόβλεψη της κατάστασης της καλλιέργειας. Μελέτη περισσότερων δεικτών είναι απαραίτητη και ιδανικά πιο εξειδικευμένων για τους αμπελώνες.
7. Είναι σημαντικό να υπάρχει πλήρες ιστορικό του αγρού που δοκιμάζεται το σύστημα και ο αμπελοπαραγωγός να είναι παρών στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων, δίνοντας τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπου χρειάζεται. Υπάρχουν φορές όπου ενδείξει για λιγότερο έντονη βλάστηση, προειδοποιούν για σειρά προβλημάτων, όπως στασιμότητα νερού ή υπερβολική αποστράγγιση, οπότε είναι πολύ σημαντικό στο σύστημα λήψης αποφάσεων να εισαχθούν και όλες οι άλλες παράμετροι, που θα επηρεάσουν την δημιουργία των τελικών αποφάσεων.
8. Τέλος, σημαντικό είναι να σημειώσουμε την απειρία των αγροτών αλλά και την απροθυμία χρήσης τέτοιων δεδομένων. Εφόσον, τα καλύτερα αποτελέσματα λαμβάνονται μετά από 2-3 χρόνια λόγω της απόκτησης εμπιστοσύνης με τη χρήση των οργάνων και των μετρήσεων, είναι σημαντικό η δοκιμή ενός τέτοιου συστήματος να επαναλαμβάνεται τουλάχιστον για 3 καλλιεργητικές περιόδους, προκειμένου να εξασφαλίζεται η εμπιστοσύνη και η συμμετοχή του παραγωγού.

6 Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση

- Ahmad L., Mahdi S.S. (2018) Decision Support System for Precision Farming. In: Satellite Farming. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03448-1_13
- Aubert, B.A., Schroeder, A., Grimaudo, J., 2012., IT as enabler of sustainable farming: an empirical analysis of farmers' adoption decision of precision agriculture technology. *Decis. Support Syst.* 54 (1), 510e520.
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Tsiropoulos, Z., Vangeyte, J., van der Wal, T., Soto-Embodas, I., Gómez-Barbero, M., Pedersen, S.M., 2017b. Smart farming technologies description, taxonomy and economic impact, precision agriculture, technology and economics perspectives, pp. 21e77. <https://doi:10.1007/978-3-319-68715-5>.
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Wal, T., Soto, I., et al., 2017a. Precision agriculture technologies positively contributing to GHG emissions mitigation, farm productivity and economics. *Sustainability* 9, 1339.
- Barnes A.P., Soto I., Eorya V., Beck B., Balafoutis A., Sánchez B., Vangeyte J., Fountas S., van der Wal T., Gómez-Barberob M. 2019, Exploring the adoption of precision agricultural technologies: A cross regional study of EU farmers, *Land Use Policy*, Volume 80, January 2019, Pages 163-174
- Bramley, R. a. (2004). Understanding variability in winegrape production systems 1. Within vineyard variation in yield over several vintages. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10: 32-45.
- Bramley, R. P. (2005). Generating benefits from Precision Viticulture through selective harvesting. Upsala, Sweden, : 5th European Conference on Precision Agriculture, Upsala, Sweden, pp 891-898. .
- Bramley, R.G.V., Proffitt, A.P.B., Hinze, C. J., Pearse, B. and Hamilton, R.P., 2005. Generating benefits from Precision Viticulture through selective harvesting. 5th European Conference on Precision Agriculture, Upsala, Sweden, pp 891-898.
- European Union, 2018a. Farm Economy Focus: Greece. https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/food-farming-fisheries/farming/documents/fadn-fef-grc_en.pdf.
- European Union, 2018b. Rural Areas and the Primary Sector in the EU. <https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/statistics/facts-figures/eu-rural-areas-primary-sector.pdf>.
- European Union, 2018c. Statistical Factsheet: Greece. https://ec.europa.eu/agriculture/sites/agriculture/files/statistics/factsheets/pdf/el_en.pdf.
- European Union, 2017. Agriculture, Forestry and Fishery Statistics: 2017 Edition. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/8538823/KS-FK-17-001-EN-N.pdf>.
- Heege, H.J. Precision in Crop Farming: Site Specific Concepts and Sensing Methods: Applications and Results; Springer Science and Business Media: Dordrecht, The Netherlands, 2013. [CrossRef]
- Johnson, C.K.; Mortensen, D.A.; Wienhold, B.J.; Shanahan, J.F.; Doran, J.W. Site-specific management zones based on soil electrical conductivity in a semiarid cropping system. *Agron. J.* 2003, 95, 303–315. [CrossRef]
- Khosla, R., 2010. Precision agriculture: challenges and opportunities in a flat world. In: 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. 1e6 August 2010, Brisbane, Australia. Available online at: <https://www.iuss.org/19th%20WCSS/Symposium/pdf/0779.pdf>.
- Liakos, V.; Smith, E.; Fountas, S.; Nanos, G.; Kalfountzos, D.; Gemtos, T. On-Farm Evaluation of Variable Rate Fertiliser Applications Using Yield-Based Mathematical Formulae in a Greek Apple Orchard. *Int. J.*
- Long, T.B., Blok, V., Coninx, I., 2016. Barriers to the adoption and diffusion of technological innovations for climate- smart agriculture in Europe: evidence from The Netherlands, France, Switzerland and Italy. *J. Clean. Prod.* 112, 9e21.

- Lorenz, O.A. and Maynard, D.N. (1988) Knott's Handbook for Vegetable Growers. 3rd Edition, Jhon Wiley & Sons, Inc., Hoboken, 456 p.
- Mueller, T.G., Hartsock, N.J., Stombaugh, T.S., Shearer, S.A., Cornelius, P.L. and Barnhise, R.I. 2003. Soil electrical conductivity map variability in limestone soil overlain by loess. *Agronomy Journal* 95, 496–507.
- Mulla, D., 2013. Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. *Biosyst. Eng.* 114, 358e371.
- Ortega, R.A., Esser, A. and Santibanez, O., 2003. Spatial variability of wine grape yield and quality in Chilean vineyards: economic and environmental impacts. 4th European Conference on Precision griculture, Berlin, Germany, pp. 499-506 Pelletier, G. a. (1999). Development of a tomato load/yield monitor. *Computers and Electronics in Agriculture*, 23: 103-107.
- Pivoto, D., Waquil, P.D., Talamini, E., Finocchio, C.P.S., Dalla Corte, V.F., de Vargas Mores, G., 2018. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Inf. Process. Agric.* 5 (1), 21e32.
- Shibusawa, S., 2002. Precision farming approaches to small-farm agriculture. *Agro-Chemica. Rep.* 2 (4), 13e20.
- Westervelt, J. D. and H. F. Reetz. "GIS in Site-Specific Agriculture." Interstate Publishers, Inc. (2000): 64.
- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., Bogaardt, M.J., 2017. Big data in smart farming review. *Agric. Syst.* 153, 69e80.

Ελληνόγλωσση

- Αγγελοπούλου Α., Blackmore S., Φουντάς Σ., Γέμος Θ. και Νάνος Γ., 2007. Μελέτη χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας παραγωγής και ποιότητας σε οπωρώνες μηλιάς. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, 18-20 Οκτωβρίου, Λάρισα.
- Καρυδάς, Χ. Γ. (Οκτώβριος 2000). Γεωργία Ακριβείας: Περιγραφή της μεθόδου - Υφιστάμενη κατάσταση και προοπτικές. 2ο Ειδικό Συνέδριο Πληροφοριακών Συστημάτων στη Γεωργία. Χανιά.
- Παντέλης, Α. Γ., Σαββαΐδης, Π. Δ., Υφαντής, Ι. Μ. και Δούκας, Ι. Δ., 2004. Γεωδαιτικά όργανα
Συλαΐος, Ν., Γήτας, Ι., Συλλαΐος, Γ., (2007). Εισαγωγή στα γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και στην Τηλεπισκόπηση. Εκδόσεις Γιαχούδη, Θεσσαλονίκη.
- Τάνος Α., Αγγελοπούλου Α., Φουντάς Σ., Γέμπος Θ., Νάνος Γ. και Χατζινίκος Α., 2007. Ζώνες διαχείρισης βάση χαρτών παραγωγής, ποιοτικών χαρακτηριστικών και ηλεκτρικής αγωγιμότητας. 5ο Πανελλήνιο Συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, 18-20 Οκτωβρίου, Λάρισα.
- Τσίρος, Ε., (2006). Ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) και άλλοι Δείκτες στην Παρακολούθηση της Υδρολογικής Ξηρασίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος
- Φουντάς, Σ., Γέμος, Θ., (2015). Γεωργία Ακριβείας. Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, Αθήνα