

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**  
**ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΕΡΓΕΙΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ**  
**ΤΗΣ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΙΛΟΤΙΚΟΥ ΑΓΡΟΥ ΜΕ**  
**ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΚΛΗΡΟΥ ΣΙΤΟΥ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕ**  
**ΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

**Use of ground and aerial sensing for estimation of spatial and temporal variability on  
a winter wheat pilot field and correlations with final yield**

**Βασιλού Χαρίκλεια**

Επιβλέπων καθηγητής: Α. Κυπαρίσσης

Σεπτέμβριος 2020

Βόλος

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**  
**ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**

**ΧΡΗΣΗ ΕΠΙΓΕΙΩΝ ΚΑΙ ΥΠΕΡΓΕΙΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ**  
**ΤΗΣ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΗΣ ΠΑΡΑΛΛΑΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΠΙΛΟΤΙΚΟΥ ΑΓΡΟΥ ΜΕ**  
**ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΣΚΛΗΡΟΥ ΣΙΤΟΥ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΜΕ**  
**ΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ**

**Use of ground and aerial sensing for estimation of spatial and temporal variability on  
a winter wheat pilot field and correlations with final yield**

**Βασιλού Χαρίκλεια**

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

**Άρης Κυπαρίσσης** (επιβλέπων) Αναπληρωτής Καθηγητής, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

**Ευθυμία Λεβίζου** (μέλος) Επίκουρη Καθηγήτρια, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

**Χρήστος Καβαλάρης** (μέλος) Ε.ΔΙ.Π., Διδάκτωρ Γεωργικής Μηχανολογίας, Τμήμα Γεωπονίας Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

*Η εργασία αυτή είναι αφιερωμένη  
στη μητέρα μου με πολλή ευγνωμοσύνη.*

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του ΤΓΦΠΑΠ.

## **Ευχαριστίες**

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, αισθάνομαι την ανάγκη και την υποχρέωση να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους που με βοήθησαν με ουσιαστικό τρόπο κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Χρήστο Καβαλάρη για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε. Θα ήθελα επίσης, να ευχαριστήσω τον κ. Άρη Κυπαρίσση και την κα. Ευθυμία Λεβίζου, για τη συμμετοχή τους στην τριμελή εξεταστική επιτροπή.

Τέλος, ευχαριστώ πολύ την οικογένεια μου, ιδιαίτερα τη μητέρα μου, όπως και τους φίλους μου, για τη συνεχή και έμπρακτη στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	1
1. Εισαγωγή.....	3
1.1. Ιστορική αναδρομή .....	3
1.2. Τηλεπισκόπηση.....	4
1.3. Χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία .....	5
1.4. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία .....	6
1.4.1. Φασματική υπογραφή αντικειμένου .....	7
1.4.2. Φασματική συμπεριφορά της βλάστησης.....	8
1.5. Δείκτες βλάστησης.....	10
1.5.1. Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς – NDVI.....	10
1.5.2. Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Κόκκινης Ακμής – NDRE .....	11
1.5.3. Ορατός δείκτης ατμοσφαιρικής αντοχής-VARI.....	12
1.6. Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους.....	12
1.7. Αντίσταση του εδάφους στη διείδυση.....	14
1.8. Μηδενική κατεργασία ή ακατεργασία .....	16
1.9. Σιτάρι.....	17
2. Υλικά και μέθοδοι .....	20
2.1. Εγκατάσταση και φυτικό υλικό .....	20
2.2. Μηχανικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους .....	22
2.3. Μετρήσεις δεικτών βλάστησης.....	23
2.4. Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους.....	28
2.5. Μέτρηση της αντίστασης στη διείδυση εδάφους .....	29
2.6. Μέτρηση παραγωγής.....	31
2.7. Συσχετίσεις - Στατιστική ανάλυση .....	32
2.8. Μετεωρολογικά δεδομένα .....	33
3. Αποτελέσματα .....	35
3.1. Αναπτυξιακό στάδιο.....	35
3.2. Μηχανική σύσταση και χημικές ιδιότητες του εδάφους.....	37
3.2.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους .....	42

3.2.2. Αντίσταση στη διείσδυση .....	42
3.3. Δείκτες βλάστησης.....	46
3.3.1. NDVI από ενεργό αισθητήρα.....	46
3.3.2. Δεδομένα από drone .....	48
3.4. Απόδοση και ποιοτικά χαρακτηριστικά σπόρου.....	50
3.5. Συσχετίσεις .....	52
3.5.1. Έδαφος - παραγωγή.....	52
3.5.2. Δείκτες βλάστησης - Παραγωγή.....	56
3.5.3. Δείκτες βλάστησης – Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους.....	58
3.5.4. Δείκτες βλάστησης. Επίγειοι - υπέργειοι αισθητήρες .....	60
4. Συζήτηση.....	62
5. Συμπεράσματα.....	69
6. Βιβλιογραφία.....	71
7. Παράρτημα.....	74

## Περίληψη

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η αποτύπωση της παραλλακτικότητας α) διαφόρων φυσικοχημικών ιδιοτήτων του εδάφους και β) φυσιολογικών παραμέτρων (δείκτες βλάστησης) της καλλιέργειας του σκληρού σίτου με χρήση υπέργειων και επίγειων αισθητήρων, η διερεύνηση των μεταξύ τους συσχετίσεων και του τρόπου που επηρέασαν την τελική παραγωγή. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε έναν πιλοτικό αγρό ο οποίος περιλάμβανε τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις: i) ακατεργασία του εδάφους (no-tillage) με πρόωμη σπορά, ii) ακατεργασία του εδάφους με όψιμη σπορά και iii) συμβατική κατεργασία με όργωμα και όψιμη σπορά.

Οι παράμετροι που μετρήθηκαν ήταν οι δείκτες βλάστησης NDVI, NDRE και VARI, η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους και η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση. Επιπλέον, μετρήθηκαν με στοχευμένη δειγματοληψία ορισμένες χημικές ιδιότητες όπως το pH, η περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, τα ανταλλάξιμα κατιόντα κ.α. Η αποτύπωση των παραμέτρων έγινε με υπέργειους και επίγειους αισθητήρες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν 2 drone, ένα με ενσωματωμένη πολυφασματική κάμερα και ένα με απλή κάμερα RGB για τη μέτρηση των δεικτών βλάστησης, επίγειος ενεργός αισθητήρας χειρός τύπου Crop Circle για τη μέτρηση του NDVI, όργανο μέτρησης της φαινόμενης ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους τύπου EM38 και ηλεκτρονικό διεισδυσιόμετρο. Ο λόγος για τον οποίο θεωρήθηκε ορθότερο να καταγραφούν οι δείκτες βλάστησης με όσο το δυνατόν περισσότερα μέσα, είναι γιατί καθένα εξ' αυτών υπερέχει σε ορισμένα χαρακτηριστικά. Με τον επίγειο αισθητήρα, ήταν δυνατό να εξακριβωθεί η ποιότητα των τηλεπισκοπικών εικόνων από το drone, δεδομένου ότι η λήψη εικόνων από drone εμπεριέχει σφάλματα που προκύπτουν από τη γωνία λήψης της κάμερας, τη θέση του ηλίου και τις αλλοιώσεις από τους ίδιους τους φωτοαισθητήρες. Έτσι, συνδυαστικά τα δύο όργανα μπόρεσαν να αποδώσουν μία πιο ολοκληρωμένη εικόνα της παραλλακτικότητας των δεικτών. Τα δεδομένα από τις μετρήσεις αποτυπώθηκαν γεωχωρικά με το λογισμικό QGIS.

Από την ανάλυση των δεδομένων διαπιστώθηκαν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ ορισμένων παραμέτρων. Η παραγωγή εμφάνισε υψηλή αρνητική συσχέτιση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, η οποία με τη σειρά της αποδείχτηκε ότι οφείλονταν στην υψηλή αλατότητα του εδάφους, εξαιτίας υψηλής περιεκτικότητας νατρίου στο εδαφικό διάλυμα. Η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση έδειξε σημαντική θετική συσχέτιση με τη παραγωγή, γεγονός αξιοπερίεργο. Η αλατότητα επηρέασε όχι μόνο την τελική παραγωγή αλλά και όλη την πορεία της καλλιέργειας στα πρωτότερα στάδια. Πιο συγκεκριμένα,



διαπιστώθηκαν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ της ηλεκτρικής αγωγιμότητας και των δεικτών VARI και NDVI από τα drone.

Από την ανάλυση των δεδομένων διαπιστώθηκε ότι η πυκνότητα της δειγματοληψίας από τους επίγειους αισθητήρες ήταν ανεπαρκής για την αποτύπωση της πραγματικής εικόνας του αγρού κάτι που πετύχαιναν πολύ αποτελεσματικά οι υπέργειοι αισθητήρες στα drone. Ωστόσο, οι μετρήσεις δεν θα μπορούσαν πρακτικά να πραγματοποιηθούν πυκνότερα διότι είναι επίπονες και χρονοβόρες. Από την άλλη μεριά, μετρήσεις όπως η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους ή η αντίσταση στη διείσδυση δεν είναι δυνατόν να ληφθούν από υπέργεια μέσα. Τα drone όμως φαίνεται ότι παρέχουν σημαντικές δυνατότητες για αποτύπωση της φυσιολογικής κατάστασης της καλλιέργειας μέσω δεικτών βλάστησης. Η συσχέτιση των τιμών από τις κάμερες των drone με τις τιμές από τον επίγειο αισθητήρα Crop Circle ήταν σημαντική, αποδεικνύοντας την εγκυρότητα των εναέριων μετρήσεων. Οι τιμές των δεικτών βλάστησης που προέκυψαν τόσο από τον υπέργειο όσο και από τον επίγειο αισθητήρα, συμφωνούν με τα εποχικά πρότυπα της καλλιέργειας. Επιπλέον, οι δείκτες μπόρεσαν να αποτυπώσουν την καταπόνηση των φυτών λόγω καιρικών συνθηκών, καθώς και να προβλέψουν στο στάδιο της ανθοφορίας την κατεργασία με την μεγαλύτερη τελική παραγωγή (AKA2).

Όσον αφορά τη σύγκριση των τριών μεθόδων κατεργασίας προέκυψε πως η παραγωγή στις μεταχειρίσεις της ακατεργασίας ήταν μεγαλύτερη συγκριτικά με την συμβατική. Ωστόσο, δεν ήταν η κατεργασία η μόνη που επηρέασε το αποτέλεσμα της παραγωγής διότι η έντονη παραλλακτικότητα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, όπως αναφέρθηκε αποδείχτηκε πολύ σημαντικός παράγοντας για την ανάπτυξη της καλλιέργειας. Για το λόγο αυτό δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα για το βαθμό της επίδρασης της κατεργασίας του εδάφους.

**Λέξεις κλειδιά:** Τηλεπισκόπηση, δείκτες βλάστησης, NDVI, NDRE, VARI, ακατεργασία, ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους, αντίσταση στη διείσδυση του εδάφους.

## 1. Εισαγωγή

### 1.1. Ιστορική αναδρομή

Ο άνθρωπος ανέκαθεν είχε την περιέργεια και την επιθυμία να αντικρίσει τη Γη από ψηλά όπως τα πουλιά που έβλεπε να πετούν στον ουρανό. Η ιδέα μιας πτήσης και η θέαση των πόλεων, των κάμπων, των ποταμών και όλου του βιωματικού τότε κόσμου από ψηλά, διέγειρε τη φαντασία και οδήγησε τον άνθρωπο σε μία σειρά από εφευρέσεις που τον αποδέσμευσαν από την επίδραση της βαρύτητας, όπως τα αερόστατα. Ένας άνθρωπος το 1858, συνδύασε για πρώτη φορά την εναέρια πτήση και την αποτύπωση της πανοραμικής θέας με φωτογραφική μηχανή. Ήταν ο Γάλλος φωτογράφος πορτραίτων, ο Gaspard Felix Tournachon με το ψευδώνυμο Nadar. Ο Nadar είχε καταλάβει τη χρησιμότητα και την αξία της αεροφωτογραφίας και προέβλεψε την εφαρμογή της σε ποικίλους τομείς, όπως σε πλανητικές, κτηματολογικές και στρατηγικές έρευνες. Οι πτήσεις όμως με αερόστατα προκάλεσαν πολλά ατυχήματα και θανάτους στους αεροναύτες κι έτσι αξιοποιήθηκαν άλλα μέσα για την απαθανάτιση των πανοραμικών εικόνων, όπως συνθέσεις με χαρταετούς στους οποίους προσδένονταν φωτογραφικές μηχανές, ταχυδρομικά περιστέρια με φερόμενη ελαφριά κάμερα επί του στήθους και ανεμόπτερα. Όλα αυτά μέχρι τις αρχές του 1900 όπου αρχίσαν να κατασκευάζονται τα πρώτα αεροσκάφη. Έκτοτε η αεροφωτογραφία έθεσε την έννοια της τηλεπισκόπησης, στην οποία εισήχθησαν με την πάροδο των χρόνων και την εξέλιξη της τεχνολογίας και άλλα μέσα συλλογής και ανάλυσης δεδομένων, όπως τα ραντάρ, τα σόναρ και οι δορυφόροι. Πέραν των στρατιωτικών της χρήσεων, η τηλεπισκόπηση πέρασε στη υπηρεσία των απλών πολιτών με ποικίλες εφαρμογές, φτάνοντας μέχρι σήμερα, όπως τη γνωρίζουμε μέσα από τα GPS, τις μετεωρολογικές προβλέψεις καιρού, τις ακτινογραφίες κ.α. (Jensen 2016).

Εκτός των υπολοίπων χρήσεων, οι άνθρωποι αντιλήφθηκαν από πολύ νωρίς και την αξία της τηλεπισκόπησης στον κλάδο της γεωργίας. Σύμφωνα με τους Φουντά και Γέμτο (2015) η πρώτη χαρτογράφηση εδαφών έγινε με τη χρήση αεροφωτογραφιών το 1929. Οι περιοχές που απεικονίστηκαν στις φωτογραφίες χωρίστηκαν σε ζώνες αναλόγως το χρώμα του εδάφους. Η εξέλιξη της τεχνολογίας με την πάροδο των χρόνων έφερε στο προσκήνιο 131 νέα συστήματα φωτογράφισης, στα οποία μπορούσαν να προσαρμοστούν φίλτρα που επέτρεπαν μόνο σε ένα ορισμένο μήκος κύματος να εισέλθει στο φωτογραφικό φακό. Έτσι δόθηκε η δυνατότητα μελέτης της καταπόνησης των φυτών μέσω της φασματικής τους απόκρισης. Σήμερα αυτό γίνεται και με την βοήθεια των δορυφόρων καθώς και με αισθητήρες που μετρούν την ηλεκτρική αγωγιμότητα, την υγρασία, την οργανική ύλη κ.α.

## 1.2. Τηλεπισκόπηση

Τηλεπισκόπηση ή τηλεανίχνευση είναι η παρατήρηση φαινομένων ή αντικειμένων από απόσταση. Αποτελεί μια σύνθετη λέξη με πρώτο συνθετικό το επίρρημα τηλε- και δεύτερο συνθετικό το ρήμα επισκοπώ, που σημαίνει παρατηρώ από μακριά.

Ορίζεται ως η τέχνη και η επιστήμη της απόσπασης πληροφοριών που αφορούν ένα αντικείμενο χωρίς να επέλθει άμεση φυσική επαφή με αυτό (Jensen 2016). Η έννοια αυτή της παρατήρησης και της απόσπασης πληροφοριών συμπεριλαμβάνει τόσο φυσιολογικές λειτουργίες, όπως για παράδειγμα την ανθρώπινη όραση, όσο και τεχνητά μέσα. Γι' αυτό το λόγο, ο σύγχρονος ορισμός της τηλεπισκόπησης εξειδικεύεται και διατυπώνεται ως «η επιστήμη και η τεχνολογία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία» (el.wikipedia.org).

Η παρατήρηση της επιφάνειας της γης καθίσταται δυνατή μέσω της χρήσης τηλεπισκοπικών ανιχνευτών, δηλαδή ψηφιακών σαρωτών. Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία του Ηλίου προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης ενδεχομένως ένα μέρος της να ανακλάται πίσω στην ατμόσφαιρα, ένα άλλο να διαχέεται και ένα άλλο να απορροφάται και να μεταδίδεται στη συνέχεια σε άλλο μέσο. Ο ρόλος των ψηφιακών σαρωτών είναι να ανιχνεύουν αυτήν την ανάκλαση, διάχυση και μετάδοση κατόπιν απορρόφησης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από τις γήινες επιφάνειες και να τις μετατρέπουν σε ψηφιακή εικόνα. Θα πρέπει όμως να σημειωθεί, πως εξαιτίας της αντίδρασης της διαχεόμενης και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας με τα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας, οι σαρωτές καταγράφουν ένα μόνο μέρος αυτής.

Οι τηλεπισκοπικοί ανιχνευτές μπορεί να βρίσκονται εγκατεστημένοι σε τεχνητούς δορυφόρους οι οποίοι να κινούνται σε τροχιά γύρω από τη γη (δορυφορική τηλεπισκόπηση) ή σε αερομεταφερόμενα μέσα, για παράδειγμα αεροσκάφη, ελικόπτερα, drones ή ακόμη και σε επίγεια κινούμενα μέσα, όπως ο γεωργικός ελκυστήρας ή ένα αυτόνομο όχημα παρατήρησης.

Οι αισθητήρες-ανιχνευτές διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τους παθητικούς και τους ενεργητικούς. Οι παθητικοί αισθητήρες ανιχνεύουν την ακτινοβολία η οποία προέρχεται από εξωτερική πηγή, ενώ οι ενεργητικοί εκπέμπουν τη δική τους ακτινοβολία μέσω φωτεινής πηγής στις υπό εξέταση περιοχές ή επιφάνειες.

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και την παρακολούθηση βιοφυσικών χαρακτηριστικών και ανθρώπινων δραστηριοτήτων (Jensen 2016). Έχει ένα τόσο ευρύ φάσμα εφαρμογών που τα αποτελέσματά της συναντώνται τόσο στην καθημερινή μας ζωή ( π.χ. πρόγνωση καιρού, οριοθετήσεις κτηματολογίου κτλ.) όσο και σε πολύ εξειδικευμένα επιστημονικά πεδία όπως είναι η γεωργία.

### **1.3. Χρήση της τηλεπισκόπησης στη γεωργία**

Με την πάροδο των χρόνων και μέσα από συνεχείς βελτιώσεις και ανακαλύψεις νέων τεχνολογιών η επιστήμη της τηλεπισκόπησης κατάφερε να διεισδύσει στον κλάδο της γεωργίας, ως ένα σημαντικό μέσο παρακολούθησης με ποικίλες χρήσεις. Πλέον οι επιστήμονες χρησιμοποιώντας σύγχρονες μεθόδους τηλεπισκόπησης είναι σε θέση να αναγνωρίζουν τα είδη των καλλιεργειών μιας περιοχής, να μελετούν την κατάσταση υγείας των φυτών και πιθανές προσβολές από ασθένειες, να προβλέψουν την τελική παραγωγή, να χαρτογραφήσουν τα εδάφη με βάση την σύστασή τους, την αλατότητά τους και άλλα χαρακτηριστικά, καθώς και να μελετήσουν τις επιδράσεις των φυτοφαρμάκων (Φουντάς κ.α. 2015).

Συγκριτικά με τις μετρήσεις πεδίου η τηλεπισκόπηση κατέχει ορισμένα σημαντικά πλεονεκτήματα. Αρχικά, σε σχέση με τον όγκο των πληροφοριών τον οποίο παρέχει, το κόστος χρήσης της θεωρείται σχετικά χαμηλό και οι συγκεκριμένες πληροφορίες λαμβάνονται σε πολύ λιγότερο χρονικό διάστημα απ' ό,τι οι επίγειες μετρήσεις στον αγρό. Επιπλέον, καθιστά ικανή τη μέτρηση σε δυσπρόσιτες περιοχές ή περιοχές όπου με επίγειες μετρήσεις θα δαπανιούνταν περισσότερος χρόνος και χρήματα, ενώ επιτρέπει την συνεχή λήψη δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Στον αντίποδα, υπάρχουν ορισμένα μειονεκτήματα της χρήσης της τηλεπισκόπησης. Τα κυριότερα είναι η απαίτηση γνώσεων της χρήσης του ηλεκτρονικού εξοπλισμού και των διαφόρων λογισμικών, καθώς και το γεγονός πως η ποιότητα και η ορθότητα των δεδομένων εξαρτάται από παράγοντες του περιβάλλοντος, όπως τα σύννεφα και τη σκόνη της ατμόσφαιρας.

Η χρήση της τηλεπισκόπησης αδιαμφισβήτητα αποτελεί ένα σύγχρονο και χρήσιμο εργαλείο για την γεωργία. Μέσω της δυνατότητας που δίνει για μέτρηση της χωρικής και χρονικής παραλλακτικότητας των καλλιεργειών και του εδάφους, άνοιξε το δρόμο προς την ανάπτυξη νέων αειφόρων συστημάτων, όπως την γεωργία ακρίβειας. Στο σύστημα αυτό

αξιοποιούνται οι πληροφορίες που λαμβάνονται μέσω της τηλεπισκόπησης, των χαρτών απόδοσης και των επίγειων οργάνων μέτρησης με τον βέλτιστο τρόπο ώστε να μειώνονται στο ελάχιστο οι εισροές προς όφελος του παραγωγού και του περιβάλλοντος, επιτυγχάνοντας ταυτόχρονα υψηλές αποδόσεις στην τελική παραγωγή.

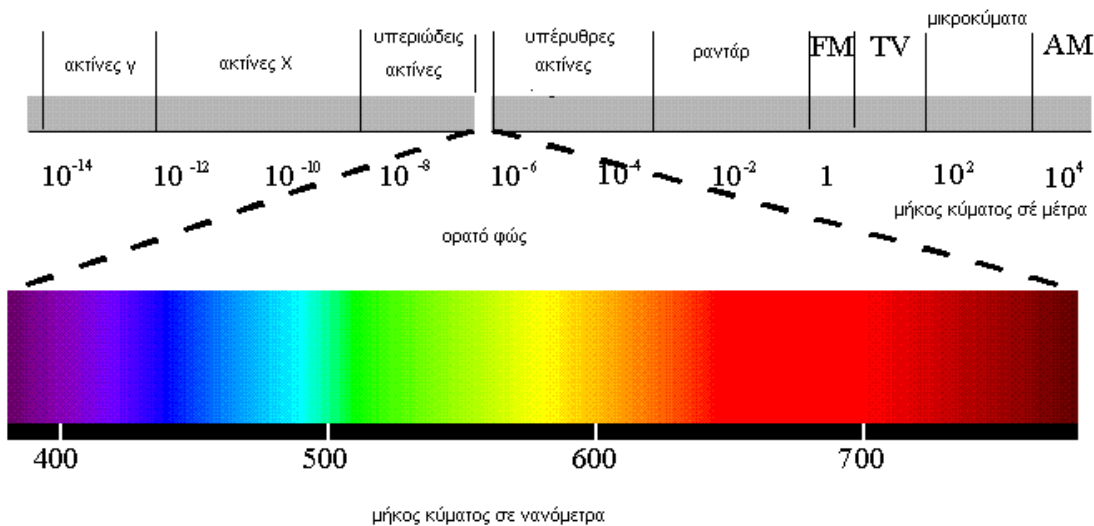
#### 1.4. Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Πρωταρχικό ενδιαφέρον στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης παρουσιάζει το φαινόμενο της μετάδοσης ενέργειας μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αναλόγως με την ενέργεια που μεταφέρει, τη συχνότητα και το μήκος των κυμάτων της, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζεται σε επιμέρους περιοχές, οι οποίες αποτελούν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Η ευρύτητα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εξαπλώνεται μεταξύ των κοσμικών ακτίνων, με μήκη κύματος σχεδόν όσο η διάμετρος του πυρήνα του ατόμου και των ραδιοκυμάτων, στα οποία το μήκος κύματος εκτείνεται σε μεγάλη περιοχή από ένα εκατοστό έως δεκάδες και εκατοντάδες μέτρα.

Πιο αναλυτικά, η κατηγοριοποίηση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος γίνεται ως εξής (Εικόνα 1, Περάκης κ.α. 2015):

- Ράδιο-κύματα με μήκος κύματος από 10 cm έως 10 km.
- Μικροκύματα με μήκος κύματος από 1 mm έως 1 m.
- Υπέρυθρα μικροκύματα με μήκος κύματος από 0.7 έως 300  $\mu\text{m}$ 
  - Εγγύς υπέρυθρα μήκη κύματος (Near Infrared, NIR): από 0.7 έως 1.5  $\mu\text{m}$ .
  - Υπέρυθρα μικρά μήκη κύματος (Short Wavelength Infrared, SWIR): από 1.5 έως 3  $\mu\text{m}$ .
  - Υπέρυθρα μεσαία μήκη κύματος (Mid Wavelength Infrared, MWIR): από 3 έως 8  $\mu\text{m}$ .
  - Υπέρυθρα μεγάλα μήκη κύματος (Long Wavelength Infrared, LWIR): από 8 έως 15  $\mu\text{m}$ .
  - Υπέρυθρα απομακρυσμένα μήκη κύματος (Far Infrared, FIR): >15  $\mu\text{m}$ .
- Ορατό φάσμα με μήκη κύματος από 400 nm έως περίπου 700 nm.
  - Ζώνη του κόκκινου : 610 – 700 nm.
  - Ζώνη του πορτοκαλί: 590 – 610 nm.
  - Ζώνη του κίτρινου: 570 – 590 nm.
  - Ζώνη του πράσινου: 500 – 570 nm.

- Ζώνη του μπλε: 430 – 500 nm.
- Ζώνη του βιολετί: 400 – 430 nm.
- Υπεριώδες με μήκη κύματος από 3 έως 400 nm.
- Ακτίνες X με μήκη κύματος από 10 nm έως 10 pm.
- Ακτίνες Γάμμα με μήκη κύματος από  $10^{-10}$  έως  $10^{-14}$  μm.

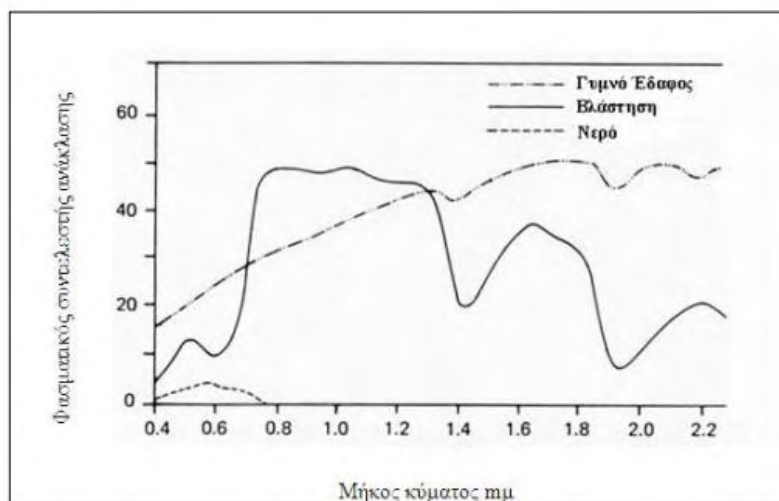


Εικόνα 1. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

#### 1.4.1. Φασματική υπογραφή αντικειμένου

Κάθε αντικείμενο λόγω των ιδιαίτερων φυσικών χαρακτηριστικών του και της ξεχωριστής σύστασής του, ανακλά ένα χαρακτηριστικό ποσό ακτινοβολίας στα διάφορα μήκη κύματος, το οποίο είναι μοναδικό. Σε μια τηλεπισκοπική παρατήρηση αυτό δίνει τη δυνατότητα διάκρισης ενός υλικού ή μίας επιφάνειας από μία άλλη, ενώ παράλληλα επιτρέπει την άντληση πληροφοριών σχετικά με το σχήμα, τις διαστάσεις, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του αντικειμένου. Μέσω του φαινομένου αυτού, προκύπτουν δύο βασικοί ορισμοί πάνω στους οποίους βασίστηκε η επιστήμη της τηλεπισκόπησης. Αυτοί είναι η φασματική απόκριση και η φασματική υπογραφή μιας επιφάνειας ή ενός φαινομένου. Φασματική απόκριση είναι ο τρόπος με τον οποίο κατανέμεται η ανακλώμενη ή η εκπεμπόμενη ακτινοβολία από μία επιφάνεια σε σχέση με το μήκος κύματος  $\lambda$ . Η μορφή της καμπύλης

της φασματικής απόκρισης σε σχέση με το μήκος κύματος ονομάζεται φασματική υπογραφή. Μία τέτοια επιφάνεια θα μπορούσε να είναι η βλάστηση τη Γης, το έδαφος, το νερό, τα μεταλλεύματα κτλ. (Σχήμα 1, Ιωακειμίδης 2012).



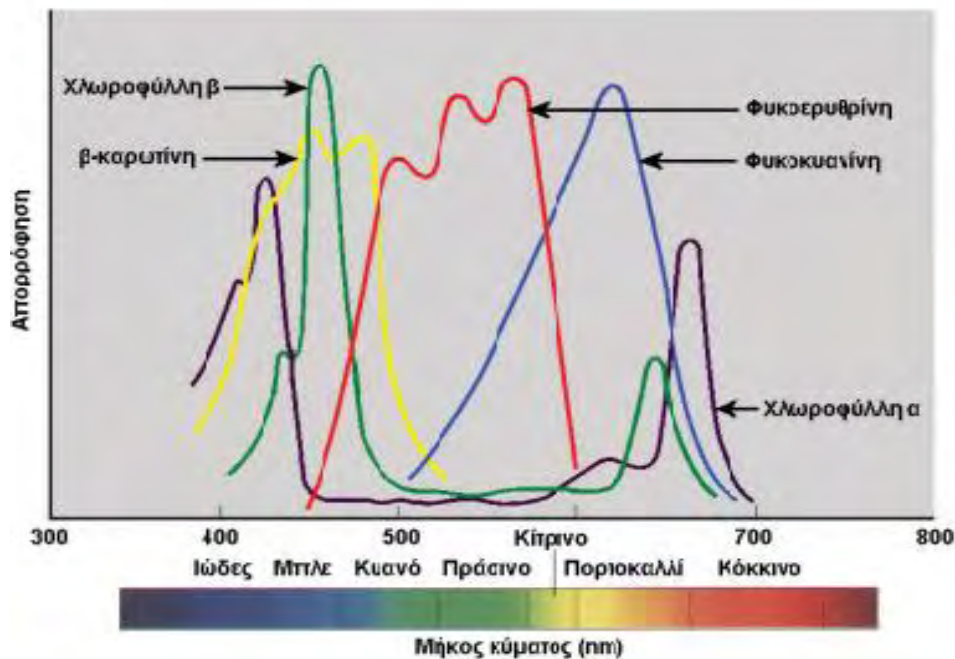
Σχήμα 1. Παράδειγμα φασματικής υπογραφής τριών στοιχείων.

#### 1.4.2. Φασματική συμπεριφορά της βλάστησης

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία καθώς προσπίπτει επάνω στην επιφάνεια της Γης αλληλεπιδρά με τη βλάστηση. Μάλιστα η ακτινοβολία που προέρχεται από τον Ήλιο αποτελεί μαζί με το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό, τα τρία βασικά συστατικά που συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση, μέσω της οποίας πραγματοποιείται η ανάπτυξη των φυτών. Κατά τη φωτοσύνθεση η ενέργεια του Ηλίου δεσμεύεται και αποθηκεύεται κυρίως μέσω της χλωροφύλλης, μιας φωτοδεσμωτικής ουσίας (χρωστική ουσία) που βρίσκεται στους χλωροπλάστες. Από όλο το ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δέχεται η χλωροφύλλη, απορροφά σε μεγάλο ποσοστό ένα μόνο μέρος του ορατού φάσματος, συγκεκριμένα το μπλε και το κόκκινο (Σχήμα 2). Αντιθέτως, δεν απορροφά σχεδόν καθόλου το πράσινο χρώμα, με αποτέλεσμα να ανακλάται σε μεγάλο ποσοστό. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο το ανθρώπινο μάτι σαν δέκτης αυτής της ανακλαστικότητας, αντιλαμβάνεται ως πράσινη την υγιή βλάστηση (Jensen 2016).

Στην περίπτωση που σε ένα φυτό έχει επέλθει μαρασμός ή υφίσταται κάποιου είδους καταπόνηση, η δράση της χλωροφύλλης μειώνεται ή σταματά. Έτσι, κυριαρχεί το κίτρινο χρώμα χάρη στις υπόλοιπες χρωστικές ουσίες των μεσοφυλλικών κυττάρων, όπως είναι το

β-καροτένιο, η φυκοερυθρίνη, η φυκοκυανίνη κτλ. Αυτό συμβαίνει διότι το β-καροτένιο απορροφά κυρίως στην μπλε περιοχή του φάσματος, η φυκοερυθρίνη απορροφά στην πράσινη περιοχή και η φυκοκυανίνη στην πράσινη και κόκκινη περιοχή (Σχήμα 2). Επομένως, όταν αυτές κυριαρχήσουν γίνεται αντιληπτό το χρώμα το οποίο δεν απορροφά έντονα καμία εξ αυτών, δηλαδή το κίτρινο χρώμα (Jensen 2016).

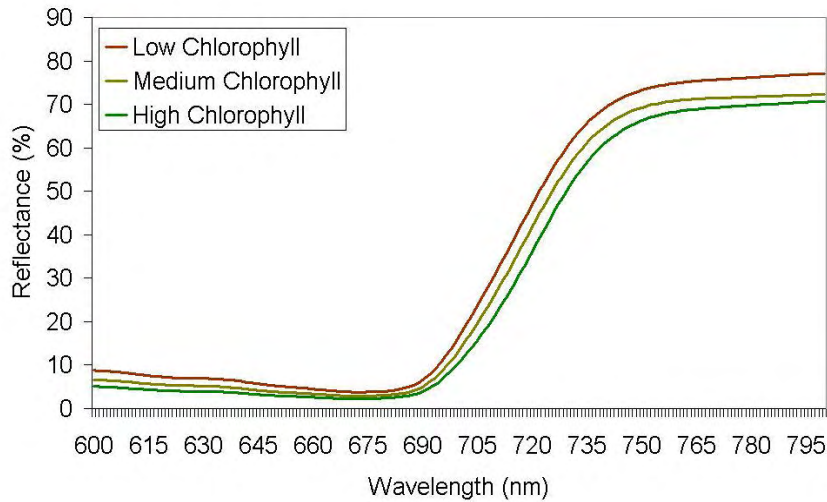


Σχήμα 2. Φάσματα απορρόφησης χρωστικών ουσιών του φυλλώματος

Πέραν όμως του ορατού, ένα υγιές πράσινο φύλλο ανακλά σε πολύ μεγάλο ποσοστό και το εγγύς υπέρυθρο τμήμα του φάσματος. Η ανακλαστικότητα του παρουσιάζει μία απότομη αύξηση κατά τη μετάβαση από το ορατό φάσμα στο εγγύς υπέρυθρο δημιουργώντας την λεγόμενη κόκκινη ακμή (Red Edge, Σχήμα 3). Αυτό το φαινόμενο οφείλεται στην εσωτερική σκέδαση της ακτινοβολίας κατά την αλληλεπίδρασή της με τα κυτταρικά τοιχώματα των κυττάρων του μεσόφυλλου, καθώς διασχίζει τους μεσοκυττάριους χώρους. Κάθε φύλλο ανακλά ένα ποσοστό της τάξεως του 40-60% της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας εξαιτίας του μεσόφυλλου, ενώ το υπόλοιπο 45-50% της ακτινοβολίας μεταδίδεται διαμέσου του φύλλου και ανακλάται ξανά από κατώτερα φύλλα (προσθετική ανακλαστικότητα). Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα πως όσο πιο πλούσια είναι μία υγιής βλάστηση, τόσο μεγαλύτερη θα είναι θεωρητικά και η ανακλαστικότητα στο υπέρυθρο. Τέλος, καθώς η βλάστηση βαίνει προς το στάδιο του μαρασμού, η τιμή της ανακλαστικότητας στο εγγύς υπέρυθρο μειώνεται (Jensen 2016). Αξίζει να σημειωθεί πως όσο περισσότερο αυξάνει η



περιεκτικότητα των φυτών σε υγρασία τόσο η ανακλαστικότητα σ' όλα τα μήκη κύματος μειώνεται (Φουντάς κ.α. 2015).



**Σχήμα 3.** Η κόκκινη ακμή στην μετάβαση από το ορατό προς το εγγύς υπέρυθρο φάσμα.

## 1.5. Δείκτες βλάστησης

Η σχέση μεταξύ των τιμών ανακλαστικότητας της βλάστησης σε διάφορες περιοχές του φάσματος οδήγησε στη δημιουργία αλγεβρικών τύπων, τους λεγόμενους δείκτες βλάστησης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την αποτίμηση διαφόρων παραμέτρων της βλάστησης.

### 1.5.1. Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς – NDVI

Ο δείκτης βλάστησης NDVI αποτελεί τον πιο πολυχρησιμοποιούμενο δείκτη παγκοσμίως. Σύμφωνα με την ελληνική κοινότητα δασολόγων, η έννοιά του βασίζεται στην ακόλουθη αρχή: «Εάν η ανακλώμενη ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο εξαιτίας της κυτταρικής δομής των φύλλων είναι πολύ περισσότερη από ό,τι στο ορατό φάσμα, τότε η φυτοκάλυψη του συγκεκριμένου εικονοστοιχείου είναι πολύ πιθανό να είναι πυκνή και να αποτελεί κάποιο είδος δάσους».

Εκφράζεται μέσα από την εξίσωση:

$$NDVI = (R_{nir} - R_{red}) / (R_{nir} + R_{red}), \text{όπου:}$$

$R_{nir}$  = η τιμή της ανακλαστικότητας στην περιοχή του εγγύς υπέρυθρου

$R_{red}$  = η τιμή της ανακλαστικότητας στην περιοχή του κόκκινου

Το εύρος τιμών του κυμαίνεται από -1.0 έως 1.0. Οι αρνητικές τιμές υποδηλώνουν επιφάνειες με έντονη ανακλαστικότητα στο ορατό φάσμα όπως το νερό, τον πάγο, το χιόνι ή τα νέφη. Η μηδενική τιμή έως και η τιμή 0.2 εμφανίζονται στο γυμνό χωρίς βλάστηση έδαφος και οι υψηλότερες τιμές υποδηλώνουν αύξηση της φυτοκάλυψης, με πυκνότερη εκείνη που πλησιάζει το 1.

Η χρησιμότητά του είναι μεγάλη διότι επιτρέπει την παρακολούθηση ετήσιων και εποχικών μεταβολών κατά την ανάπτυξη της βλάστησης. Λόγω των κανονικοποιημένων τιμών του, μειώνει πολλές μορφές πολλαπλασιαστικού θορύβου, όπως για παράδειγμα σκιές από νέφη, διαφορές έντασης φυσικού φωτός, κάποιες τοπογραφικές μεταβολές και ορισμένο βαθμό ατμοσφαιρικής εξασθένησης. Τέτοιες μεταβολές είναι φυσιολογικό να παρατηρούνται σε επαναλαμβανόμενες μετρήσεις κατά την πάροδο των ημερών και αποτελούν εμπόδιο στην εγκυρότητα των αποτελεσμάτων. Ως εργαλείο προσδιορισμού της βιομάζας ο δείκτης αυτός έχει και κάποια μειονεκτήματα. Αρχικά η κόκκινη περιοχή του φάσματος που χρησιμοποιεί απορροφάται έντονα από το ανώτατο μέρος του θόλου των φυτών, με αποτέλεσμα τα χαμηλότερα επίπεδα της κόμης να μη συμβάλλουν σημαντικά σε μία μέτρηση. Ωστόσο, παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία σε μεταβολές του υποβάθρου της φυτικής κόμης, για παράδειγμα σε μεταβολές του εδάφους που διακρίνονται μέσα από την κόμη. Όταν το υπόβαθρο είναι πιο σκούρο οι τιμές του NDVI τείνουν να αυξάνονται ιδιαίτερα. Επιπλέον, το δυναμικό του εύρος ευνοεί την εμφάνιση των διαφορών στις χαμηλές τιμές της βιομάζας, ενώ συμπίεζει τις υψηλές τιμές όταν πρόκειται για δασικές περιοχές (Jensen 2016).

### **1.5.2. Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Κόκκινης Ακμής – NDRE**

Μοιάζει αρκετά με τον δείκτη βλάστησης NDVI, με τη βασική διαφορά πως η κόκκινη ζώνη (Rred) που χρησιμοποιεί ο NDVI αντικαθίσταται από τη φασματική ζώνη της κόκκινης αιχμής (Rre), με τον τύπο να παίρνει τη μορφή:

$$NDRE = (Rnir - Rre) / (Rnir + Rre)$$

Αυτό λύνει το πρόβλημα της επιλεκτικής αναγνώρισης της ανακλαστικότητας μόνο των ανώτερων φύλλων κατά τη χρήση του NDVI, καθώς η ακτινοβολία Red Edge έχει τη δυνατότητα να διεισδύει μέχρι τα κατώτερα στρώματα των φύλλων. Επομένως ο δείκτης NDRE ενδείκνυται για μετρήσεις βιομάζας σε καλλιέργειες με πλούσια φυτική βλάστηση όπου η γλωφοφύλλη έχει συσσωρευθεί σε μεγάλες ποσότητες και ο NDVI σε αυτή την

περίπτωση κρίνεται ακατάλληλος εξαιτίας του «κορεσμού» του στην μέγιστη τιμή 1.0. (Earth Observing System). Το εύρος τιμών του δείκτη NDRE είναι επίσης από -1.0 έως 1.0.

### 1.5.3. Ορατός δείκτης ατμοσφαιρικής αντοχής-VARI

Ο δείκτης αυτός συγκριτικά με τους προαναφερθέντες, μετριέται μέσα από απλές RGB κάμερες και όχι πολυφασματικές. Το σημαντικό του πλεονέκτημα είναι η ελάχιστη ευαισθησία του στις ατμοσφαιρικές επιδράσεις, επιτρέποντας τον ποσοστιαίο υπολογισμό της βλάστησης με σφάλμα μικρότερο του 10%, σε ποικίλα περιβάλλοντα (Jensen 2016).

Εκφράζεται από τον τύπο:

$$VARI_{green} = (R_{green} - R_{red}) / (R_{green} + R_{red} - R_{blue})$$

Όπου,  $R_{green}$  = οι τιμές ανακλαστικότητας στην πράσινη περιοχή

$R_{red}$  = οι τιμές ανακλαστικότητας στην κόκκινη περιοχή

$R_{blue}$  = οι τιμές ανακλαστικότητας στην μπλε περιοχή

## 1.6. Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους

Σαν ένας γενικός ορισμός της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους θεωρείται η ικανότητά του να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα. Υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες οι οποίοι την επηρεάζουν με αποτέλεσμα να παρουσιάζει σε κάποια εδάφη υψηλές και σε κάποια χαμηλές τιμές. Η μηχανική σύσταση του εδάφους αποτελεί το βασικότερο εξ αυτών. Η άμμος εμφανίζει μικρή ηλεκτρική αγωγιμότητα, η ιλύς μέση και η άργιλος υψηλή (Grisso et al. 2009). Η συμπίεση του εδάφους, η περιεκτικότητά του σε νερό, η αλατότητα, καθώς και η ικανότητα ανταλλαγής κατιόντων αυξάνουν τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η οργανική ουσία του εδάφους, λόγω του ότι συγκρατεί πολλά ιόντα αυξάνει επίσης τις τιμές της. Η μεταβολή της θερμοκρασίας του εδάφους επηρεάζει τις τιμές της, με τρόπο που όταν βρίσκεται κάτω του μηδενός να μειώνεται σημαντικά ενώ σε τιμές άνω του μηδενός η κινητικότητα των αλάτων αυξάνει με τη θερμοκρασία με αποτέλεσμα να αυξάνει και η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Χάρης στην παραπάνω συμπεριφορά της οι μετρήσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας έχουν χρησιμοποιηθεί σε κλίμακες πεδίου για τη χαρτογράφηση της χωρικής διακύμανσης των

παραπάνω εδαφικών ιδιοτήτων, δηλαδή της αλατότητας του εδάφους, της περιεκτικότητας σε άργιλο, της περιεκτικότητας του εδαφικού ύδατος, της οργανικής ύλης κλπ. Πέραν των φυσικοχημικών ιδιοτήτων χρησιμοποιείται και για τον προσδιορισμό ορισμένων ανθρωπογενών επιδράσεων, όπως για τον υπολογισμό του κλάσματος διήθησης του νερού για την αποτύπωση προτύπων άρδευσης και αποστράγγισης και προτύπων συμπίεσης από γεωργικά μηχανήματα. (Corwin 2005)

Σαφώς αποτελεί μια γρήγορη, εύκολη και αξιόπιστη μέτρηση εδάφους και χρησιμοποιείται ευρέως στην έρευνα στη γεωργία ακριβείας για τον χωροχρονικό χαρακτηρισμό των εδαφικών και των ανθρωπογενών επιδράσεων που επηρεάζουν την απόδοση των καλλιεργειών.

Η τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά με την πάροδο του χρόνου (κυρίως εξαιτίας μεταβολών στην υγρασία τους εδάφους), αν όμως δεν υπάρξει σημαντική ανθρωπογενής επέμβαση, η γενική εικόνα της παραλλακτικότητας που εμφανίζει ένας αγρός, παραμένει η ίδια. Μπορεί δηλαδή να θεωρηθεί ένα είδος «ηλεκτρομαγνητικής υπογραφής» του εδάφους του αγρού κατ' αντιστοιχία με τη φασματική υπογραφή της βλάστησης. Ανθρωπογενείς παράγοντες οι οποίοι μπορούν να αλλάξουν δραστικά την τιμή της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι το βαθύ όργωμα, η χρήση αρδευτικού νερού με πολλά άλατα, η προσθήκη μεγάλης ποσότητας οργανικής ουσίας, η προσθήκη εδαφοβελτιωτικών και η μεταφορά εδάφους π.χ. λόγω ισοπέδωσης.

Όπως αναφέρθηκε, μία από τις πιθανές αιτίες για τις υψηλές τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι η αλατότητα του εδάφους. Σύμφωνα με τον Munns (2005) περίπου 800 εκτάρια καλλιεργήσιμης γης παγκοσμίως παρουσιάζουν πρόβλημα αλατότητας, η οποία περιορίζει τόσο την ανάπτυξη των φυτών όσο και την παραγωγή.

Με τον όρο αλατότητα εννοείται η υψηλή συγκέντρωση διαλυτών αλάτων, δηλαδή ανόργανων ιόντων, στο εδαφικό ή τεχνητό διάλυμα. Τα ανόργανα αυτά ιόντα είναι συνήθως το  $\text{Na}^+$  και το  $\text{Cl}^-$  και το  $\text{Ca}^{++}$ . Η υψηλή αλατότητα εμφανίζεται πολύ συχνά σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, λόγω της έντονης εξατμισοδιαπνοής συγκριτικά με τις βροχοπτώσεις των περιοχών αυτών, με αποτέλεσμα τη συσσώρευση αλάτων στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους. Αλατούχα εδάφη συναντώνται επιπλέον σε δέλτα ποταμών και παραθαλάσσιες περιοχές, σε περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλότερο υψομετρικά επίπεδο και καταλήγουν σε αυτές ύδατα επιφανειακής απορροής, σε αρδευόμενες περιοχές με κακής ποιότητας νερό

ή με φαινόμενα υπεράντλησης, καθώς και σε αγροτεμάχια με προβλήματα συμπίεσης και κακής αποστράγγισης (Τσιγκούλης 2014).

Τα καλλιεργούμενα φυτά που αναπτύσσονται σε αλατούχα εδάφη επιβαρύνονται σημαντικά. Λόγω του χαμηλότερου ωσμωτικού δυναμικού που δημιουργείται στο εδαφικό διάλυμα σε σχέση με το εσωτερικό της ρίζας, το φυτό δυσκολεύεται να προσλάβει νερό (Sheldon et al. 2004). Εκτός αυτού, τα ανόργανα ιόντα δημιουργούν τοξικότητα στους φυτικούς ιστούς και επιπλέον δημιουργείται ανισορροπία ιόντων ως αποτέλεσμα της μειωμένης πρόσληψης θρεπτικών συστατικών από το φυτό. Όλα αυτά οδηγούν στη μείωση του ρυθμού αύξησης και του τελικού μεγέθους των φυτών επηρεάζοντας σημαντικά την παραγωγή. Παρατηρείται πως αναστέλλεται περισσότερο η ανάπτυξη του υπέργειου τμήματος σε σχέση με το ριζικό σύστημα (Κοσμίδης 2004). Επίσης κάποια πειράματα έχουν δείξει πως η περιεκτικότητα των φυτών σε χλωροφύλλη μειώνεται όσο αυξάνεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα. Έτσι, ενδέχεται μέσω της χλωροφύλλης να μπορεί να εκτιμηθεί η κατάσταση των φυτών (Σταύρου 2018) με τη συμβολή τηλεπισκοπικών και επίγειων αισθητήρων.

Εκτός της άμεσης επίδρασης των αλάτων στα φυτά, παρατηρείται υποβάθμιση της δομής και του εδάφους. Τα εδαφικά σωματίδια διασκορπίζονται με αποτέλεσμα να αποδομούνται τα συσσωματώματα. Έτσι, καταστρέφονται οι πόροι του εδάφους, μειώνεται η κίνηση του νερού, του αέρα και των θρεπτικών και αυξάνεται η επιφανειακή απορροή και η διάβρωση (Σταύρου 2018).

### **1.7. Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση**

Η μέτρηση της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση (Penetration Resistance – PR) με ειδικά όργανα που ονομάζονται διεισδυσιόμετρα (Soil penetrometers) χρησιμοποιείται ευρέως στη γεωργία αλλά και στην εδαφομηχανική για την αποτύπωση της συμπίεσης του εδάφους. Το φαινόμενο της συμπίεσης του εδάφους αφορά την συμπύκνωση των σωματιδίων του εδάφους σε μικρότερο όγκο με αποτέλεσμα την μείωση του πορώδους του. Αποτελεί μια σοβαρή και ανεπιθύμητη μορφή υποβάθμισης του εδάφους που μπορεί να οδηγήσει σε διάβρωση και μείωση παραγωγής.

Τα εδάφη αποτελούνται από οργανική ύλη, ανόργανα σωματίδια εδάφους (αναλογία στερεών σωματιδίων άμμου, αργίλου και ιλύς) και κενά διαστήματα που εσωκλείουν αέρα και νερό. Το ποσοστό του όγκου του εδάφους που καταλαμβάνουν οι πόροι στους οποίους

βρίσκεται η υγρή και η αέρια φάση, αναφέρεται ως πορώδες εδάφους. Η συνδεσιμότητα των πόρων σε συνδυασμό με το μέγεθος και τον αριθμό τους, παίζουν κύριο ρόλο στην διείσδυση και την κίνηση νερού και θρεπτικών, καθώς και στην ικανότητα του εδάφους να συγκρατεί υγρασία.

Το πρόβλημα της συμπίεσης σε ένα αγροτεμάχιο επηρεάζει τόσο την καλλιέργεια, όσο και την ποιότητα του ίδιου του εδάφους με πολλούς και διαφόρους τρόπους. Αρχικά, η δύναμη συμπίεσης μπορεί να συνθλίψει τα αδρανή υλικά του εδάφους με αρνητικό αποτέλεσμα για τη δομή του. Ενδεχομένως να μειώσει το ρυθμό διείσδυσης του νερού στο έδαφος καθώς και την ταχύτητα εισόδου του στη ριζική ζώνη. Ως αποτέλεσμα, ο μειωμένος ρυθμός απορρόφησης και διήθησης του νερού μπορεί να δημιουργήσει επιφανειακή απορροή, επιφανειακή ρύπανση και διάβρωση του εδάφους. Το κυριότερο πρόβλημα όμως δημιουργείται στη ρίζα του φυτού. Καθώς οι πόροι συμπιέζονται και η δομή του εδάφους γίνεται πιο αδιαπέραστη, περιορίζεται η ανάπτυξη της ρίζας σε μικρό εύρος εδάφους, μειώνοντας έτσι την ικανότητα του φυτού να εξερευνά και να απορροφά θρεπτικά και νερό από διάφορα μέρη του υποστρώματος. Πέραν τούτου, το νερό που χρειάζεται η ρίζα να απορροφήσει καθώς και ο αέρας που απαιτείται για την σωστή ανάπτυξη και λειτουργία της μειώνονται. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η εμφάνιση αδύναμων φυτών που συχνά υποβάλλονται σε υδατική καταπόνηση, καθώς και η ανάπτυξη ασθενειών στις ρίζες με συνέπεια τη μείωση της τελικής απόδοσης (McKenzie 2010).

Οι τρόποι με τους οποίους εμφανίζεται το πρόβλημα της συμπίεσης είναι δύο. Ο πρώτος αφορά τη δημιουργία μιας σκληρής κρούστας στην επιφάνεια του εδάφους εξαιτίας της κρούσης των βροχοπτώσεων ή των σταγόνων άρδευσης. Η ενέργεια κρούσης έχει ως αποτέλεσμα την διάσπαση των αδρανών υλικών του εδάφους στην επιφάνειά του. Το θρυμματισμένο αυτό χώμα μπορεί να περιορίσει την διείσδυση του νερού λόγω πλήρωσης των πόρων και να εμποδίσει την εμφάνιση των καλλιεργειών μετά τη σπορά (McKenzie 2010). Το στρώμα αυτό περιορίζεται στην ανώτερη επιφάνεια του εδάφους.

Μια από τις κύριες αιτίες για την εμφάνιση συμπίεσης στα βαθύτερα στρώματα των γεωργικών εδαφών είναι σήμερα η χρήση των βαρέων γεωργικών μηχανημάτων. Οι γεωργικοί ελκυστήρες και τα άλλα βαριά γεωργικά μηχανήματα που μετακινούνται σήμερα αρκετές φορές μέσα στον αγρό κατά τη διάρκεια του έτους, ασκούν ισχυρές πιέσεις στο έδαφος με αποτέλεσμα να προκαλούν συμπίεση υποβαθμίζοντας τη δομή του. Χαρακτηριστική περίπτωση είναι η εμφάνιση ενός σκληρού αδιαπέραστου στρώματος εδάφους λίγο κάτω από το βάθος της καλλιέργειας, γνωστού και ως «Hard pan».

Δημιουργείται από τις επαναλαμβανόμενες κατεργασίες στο ίδιο βάθος εδάφους με το ίδιο μηχάνημα και λόγω του τεράστιου βάρους του γεωργικού εξοπλισμού. Εάν η κατεργασία του εδάφους γίνει κάτω από συνθήκες υψηλής υγρασίας ή εάν το έδαφος έχει υψηλή περιεκτικότητα σε άργιλο, τότε η συμπίεση αυξάνεται δραματικά. Το συμπιεσμένο στρώμα αποτελεί το κυριότερο εμπόδιο στη ανάπτυξη της ρίζας και στη διείσδυση του νερού μέσα στο έδαφος (McKenzie 2010).

Ένας κατάλληλος δείκτης για την αξιολόγηση των προβλημάτων συμπίεσης είναι η μέτρηση της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση (PR). Αποτελεί μία φυσική ιδιότητα του εδάφους, η οποία αντιπροσωπεύει τη συμπεριφορά και τις επιπτώσεις των διαφόρων εδαφικών ιδιοτήτων, όπως της πυκνότητας κατ' όγκο, της περιεκτικότητας σε υγρασία, του πορώδους και της διαπερατότητας, οι οποίες προκύπτουν από την κατανομή του μεγέθους των σωματιδίων, την δομή και την περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία (Medina et al. 2012).

Όπως αναφέρθηκε, η αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση μετράται με ειδικά όργανα που ονομάζονται διεισδυσίόμετρα ή διεισδυσίμετρα. Είναι όργανα που μετρούν τη δύναμη που ασκείται σε έναν αιχμηρό μεταλλικό κώνο στην άκρη μίας μεταλλικής ράβδου, καθώς αυτός διεισδύει στο εσωτερικό του εδάφους, προσομοιάζοντάς την κίνηση της ρίζας που προσπαθεί να διεισδύσει στο έδαφος. Καθώς ο κώνος διεισδύει στο έδαφος μετράται η αντίσταση της αιχμής του και η αντίσταση του πλευρικού του μανδύα (Καββαδάς 2005).

Η συμπίεση του εδάφους αποτελεί ένα σοβαρό αλλά όχι ανεπανόρθωτο πρόβλημα για τη γεωργία. Η χρήση εδαφοβελτιωτικών, όπως η κοπριά, μπορούν να βελτιώσουν και να ενισχύσουν την εδαφική δομή μειώνοντας τις αρνητικές συνέπειες του φαινομένου. Επιπλέον, η υιοθέτηση αειφόρων καλλιεργητικών μεθόδων, όπως η μηδενική κατεργασία εδάφους συμβάλλουν στην αντιμετώπιση του προβλήματος (McKenzie 2010)

### **1.8. Μηδενική κατεργασία ή ακατεργασία**

Η μηδενική κατεργασία ή απευθείας σπορά ή ακατεργασία είναι μια καλλιεργητική πρακτική κατά τη οποία δε διαταράσσεται καθόλου το έδαφος με όργωμα και βαθιά κατεργασία (Γέμος 2019). Αποτελεί μία σύγχρονη λύση για διάφορα προβλήματα υποβάθμισης των εδαφών όπως η διάβρωση και η συμπίεση. Σύμφωνα με τους Landers et al. (2013) η έκταση των μηδενικών κατεργασιών (γεωργία διατήρησης) στην Ευρώπη

ανέρχεται στα 1.35 εκατομμύρια εκτάρια, ενώ η παγκόσμια έκταση είναι περίπου 125 εκατομμύρια και αυξάνεται με ρυθμό 7 εκατομμυρίων εκτάρια ετησίως.

Η σπορά γίνεται απευθείας με διάνοιξη αυλακιών για την τοποθέτηση του σπόρου και η αντιμετώπιση των ζιζανίων γίνεται κυρίως με ζιζανιοκτόνα, αμειψισπορά και μηχανικά μέσα (Αγγελοπούλου 2004). Στην επιφάνεια του εδάφους παραμένουν μεγάλες ποσότητες φυτικών υπολειμμάτων από προηγούμενες καλλιέργειες, τα οποία αυξάνουν την οργανική ουσία του εδάφους, διατηρούν καλύτερα την εδαφική υγρασία και μειώνουν την επιφανειακή κρούστα λόγω της πρόσκρουσης του νερού επάνω τους. Πέραν τούτου, η αποσύνθεση της οργανικής ουσίας μειώνεται χάρις στην μικρότερη διατάραξη του εδάφους (Αγγελοπούλου 2004). Επιπλέον, η εξάλειψη της κατεργασίας με βαριά μηχανήματα αποτρέπει τη δημιουργία ενός «Hard pan» στο εσωτερικό του εδάφους. Ενδιαφέρον αποτελεί το γεγονός πως οι ρίζες που αποσυντίθενται στο εσωτερικό του εδάφους καθώς και η αυξημένη δραστηριότητα των γαιοσκωλήκων, δημιουργούν ένα δίκτυο στοών μέσω των οποίων κινείται ευκολότερα το νερό και ο αέρας. Με τον τρόπο αυτό βελτιώνεται η δομή του εδάφους, αποκτά μεγαλύτερη αντοχή και μειώνεται ο κίνδυνος για επιφανειακή απορροή και ρύπανση των επιφανειακών υδάτινων πόρων από λιπάσματα, φυτοπροστατευτικά κτλ. Επιπροσθέτως, λόγω της παύσης της κοπής και της αναμόχλευσης του εδάφους, αυξάνεται η βιοποικιλότητα του εδάφους με διάφορους οργανισμούς να αναπτύσσονται στο εσωτερικό του. Οι πληθυσμοί τους εμπλουτίζουν το έδαφος με περισσότερη οργανική ουσία, ανταγωνίζονται εχθρούς και ασθένειες των καλλιεργούμενων φυτών και συμβάλλουν στην ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων (Αγγελοπούλου 2004).

## 1.9. Σιτάρι

Το σκληρό σιτάρι (*Triticum spp.*) ανήκει στην οικογένεια των Αγρωστωδών (Gramineae) και είναι ένα δημητριακό που καλλιεργείται σε ευρεία κλίμακα παγκοσμίως αποτελώντας την κύρια πηγή υδατανθράκων για τον άνθρωπο. Τα κυριότερα είδη είναι το σκληρό (*Triticum durum*) και το μαλακό σιτάρι (*Triticum aestivum*). Το σκληρό σιτάρι χρησιμοποιείται για παραγωγή ζυμαρικών και ζαχαρωδών προϊόντων με κύριο προϊόν το σιμιγδάλι, ενώ το μαλακό κυρίως για την παρασκευή ψωμιού. Το σκληρό σιτάρι καλλιεργείται τόσο σε ξηρές και ημίξηρες περιοχές, όσο και σε υγρές και ύφυγρες περιοχές, με τις ημίξηρες να αποτελούν τον κύριο χώρο καλλιέργειας.



Τα φυτά του σιταριού αποτελούνται από έναν κυρίως βλαστό (στέλεχος) και έχουν τη δυνατότητα να παράγουν ένα ή περισσότερα αδέρφια. Κάθε στέλεχος φέρει 4 κόμβους από τους οποίους εκπύσσονται τα φύλλα λογχοειδούς μορφής. Στη κορυφή του στελέχους αναπτύσσεται μια ταξιανθία τύπου στάχυ, πάνω στην οποία αναπτύσσονται οι σπόροι του σιταριού. Η ρίζα του φυτού είναι θυσσανώδης και αναπτύσσεται σε βάθος κυρίως μέχρι 50 εκατοστά. Η δομή, η συμπίεση, η χημική σύσταση του εδάφους, η διαθεσιμότητα του νερού και των θρεπτικών στοιχείων είναι παράγοντες που επηρεάζουν καθοριστικά την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος. Το σιτάρι προτιμά τα βαθιά μέσης σύστασης μέχρι βαριά εδάφη με καλή στράγγιση.

Η ανάπτυξη του σιταριού διακρίνεται σε τρεις κυρίως φάσεις, τη **βλαστική**, την **αναπαραγωγική** και τη **φάση του γεμίσματος κόκκου**. Η διάρκεια των φάσεων καθορίζεται από την αλληλεπίδραση του γενοτύπου με το περιβάλλον. Η διαδοχή τους αναγνωρίζεται με βάση κάποια επιμέρους διακριτά στάδια ανάπτυξης τα οποία αναγνωρίζονται σχετικά εύκολα. Για παράδειγμα, η βλαστική φάση ξεκινά με τη σπορά και ολοκληρώνεται με την έναρξη των καταβολών των άνθων. Η αναπαραγωγική φάση ξεκινά με την έναρξη καταβολών των άνθων και ολοκληρώνεται με την άνθιση και η φάση γεμίσματος κόκκου ξεκινά με την άνθιση και ολοκληρώνεται με την ωρίμανση του σίτου (Παπακώστα-Τασοπούλου 2012). Για την αναγνώριση των διαφορετικών αναπτυξιακών σταδίων ορισμένοι επιστήμονες έχουν διαμορφώσει κλίμακες που βασίζονται στην αναγνώριση φυσιολογικών χαρακτηριστικών. Οι τρεις πιο γνωστές είναι οι κλίμακες Zadoks, Feekes και Haun, με τις δύο πρώτες να παρατίθενται στον Πίνακα1. Η πιο ευρέως διαδεδομένη ωστόσο θεωρείται η Zadoks.

Το σιτάρι είναι ένα φυτό το οποίο αφομοιώνει στους ιστούς του τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης και μεγάλο μέρος εξ αυτών μεταφέρεται στον σπόρο κατά το στάδιο του γεμίσματος του κόκκου. Η πορεία της καλλιέργειας από τα πρώτα στάδια του φυτρώματος μέχρι την τελική ωρίμανση του φυτού επηρεάζει καθοριστικά την τελική παραγωγή. Διαφορετικοί βιοτικοί και αβιοτικοί παράγοντες παρουσιάζουν διαφορετική σπουδαιότητα στα διάφορα στάδια ανάπτυξης του φυτού. Η διαθεσιμότητα για παράδειγμα του αζώτου είναι κρίσιμη για την πορεία του αδελφώματος αλλά και για την ανάπτυξη των βλαστών. Η επάρκεια νερού στο έδαφος κατά τα στάδια της ανάπτυξης του βλαστού και την άνθιση κρίνεται ιδιαίτερα κρίσιμη για τη τελική παραγωγή. Η συμπίεση του εδάφους αναστέλλει την ανάπτυξη της ρίζας και κατά συνέπεια την υποστήριξη του βλαστικού σταδίου. Η επικράτηση θερμών και ξηρών θερμοκρασιών κατά το γέμισμα του κόκκου μπορεί να

επιφέρει σημαντική μείωση στην τελική παραγωγή. Όλοι οι παραπάνω αλλά και πολλοί άλλοι παράγοντες αποτυπώνονται λίγο ή πολύ στη φυσιολογική ανάπτυξη του φυτού. Η καταγραφή παραμέτρων όπως οι δείκτες βλάστησης οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με τα φυσιολογικά χαρακτηριστικά της καλλιέργειας μπορούν να δώσουν ιδιαίτερα χρήσιμες πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση της φυτείας. Η πληροφορία αυτή σε συνδυασμό με πληροφορίες για το έδαφος και τον καιρό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της εξέλιξης της καλλιέργειας και ενδεχομένως την πρόβλεψη της τελικής παραγωγής από αντίστοιχα μοντέλα πρόβλεψης. Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να καταδείξει αυτές τις δυνατότητες διερευνώντας τις συσχετίσεις βλαστικών και εδαφικών παραμέτρων που λαμβάνονται από αισθητήρες που μπορούν να τοποθετηθούν σε επίγεια και εναέρια μέσα παρέχοντας με σχετική ευκολία ένα πλήθος διαφορετικών πληροφοριών.

**Πίνακας 1.** Κλίμακες βλαστικών σταδίων Feekes και Zadok.

<b>Feekes</b>	<b>Zadocks</b>	<b>Στάδια ανάπτυξης</b>	<b>Περιγραφή σταδίων ανάπτυξης</b>
1	<b>GS 15</b>	Ανάπτυξη σπορόφυτου	Πέμπτο φύλλο τουλάχιστον 50% τελικού μεγέθους
2	<b>GS 21</b>	Αδέλφωμα	Μόνο ο κύριος βλαστός
	<b>GS 22</b>		Κύριος βλαστός και δύο αδέρφια
3	<b>GS 23</b>		Κύριος βλαστός και τρία αδέρφια
4-5	<b>GS 31</b>	Επιμήκυνση βλαστού	Εμφάνιση πρώτου κόμβου
7	<b>GS 32</b>		Εμφάνιση δεύτερου κόμβου
10	<b>GS 45</b>	Φούσκωμα κολεού	Φουσκωμένος κολεός
	<b>GS 47</b>		Άνοιγμα θήκης στάχυ
10.1	<b>GS 51</b>	Έκπτυξη στάχυ	Έκπτυξη του πρώτου σταχυδίου
10.3	<b>GS 55</b>		Έκπτυξη του ½ του στάχυ
10.5	<b>GS 59</b>		Έκπτυξη ολόκληρου του στάχυ
10.5.2	<b>GS 65</b>	Ανθοφορία	Τα μισά λουλούδια ανθισμένα
10.5.3	<b>GS 69</b>		Ολοκλήρωση ανθοφορίας
10.5.4	<b>GS 71</b>	Στάδιο γάλακτος καρπού	Υδατώδης καρπός
	<b>GS 73</b>		Αρχή σταδίου γάλακτος
11.1	<b>GS 75</b>		Μέση σταδίου γάλακτος
	<b>GS 77</b>		Τέλος σταδίου γάλακτος
11.2	<b>GS 83</b>	Δημιουργία ζύμης καρπού	Στάδιο πρώιμης ζύμης
	<b>GS 85</b>		Στάδιο μαλακής ζύμης
	<b>GS 87</b>		Στάδιο σκληρής ζύμης, χάνεται το πράσινο χρώμα
	<b>GS 89</b>		Προσέγγιση φυσιολογικής ωρίμανσης
11.3	<b>GS 91</b>	Ωρίμανση	Σκλήρυνση κόκκου (δύσκολα σπάει με το νύχι)
11.4	<b>GS 92</b>		Ο σπόρος δεν σπάει με το νύχι, έτοιμο για θερισμό

## 2. Υλικά και μέθοδοι

### 2.1. Εγκατάσταση και φυτικό υλικό

Χρονικά το πείραμα πραγματοποιήθηκε στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου Νοέμβριος 2018 – Ιούνιος 2019 σε αγρό που βρίσκεται στην περιοχή Μόδεστος του νομού Λάρισας (Θεσσαλία, 39°34'52.13"N, 22°35'46.22"E) συνολικής έκτασης 67 στρεμμάτων. Ο πιλοτικός αγρός εγκαταστάθηκε στα 45 εξ αυτών που χωρίστηκαν σε τρεις κατά πλάτος ζώνες καλλιέργειας (Εικόνα 2).



Εικόνα 2. Οριοθέτηση πειραματικού αγρού.

Το μεσαίο τμήμα του τομέα ορίστηκε ως *Ακατεργασία 1* (ΑΚΑ1) με μέγεθος 18 στρεμμάτων. Σπάρθηκε στις 16 Νοεμβρίου 2018 με σκληρό σιτάρι, με τη σπαρτική μηχανή Kuhn SD liner 3000 του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Εικόνα 4). Η μέθοδος που ακολουθήθηκε ήταν η απευθείας σπορά, χωρίς δηλαδή να οργωθεί το χωράφι, διατηρώντας επί των γραμμών τα υπολείμματα της προηγούμενης καλλιέργειας βαμβακιού.

Το δεξί τμήμα ορίστηκε ως *Ακατεργασία 2* (ΑΚΑ2). Σπάρθηκε στις 6 Δεκεμβρίου 2018, μεταχειρίστηκε επίσης με τη μέθοδο της απευθείας σποράς, με την ίδια σπαρτική μηχανή, με διατήρηση των προηγούμενων υπολειμμάτων βαμβακιού στην επιφάνεια επί των γραμμών. Η έκτασή της ανέρχεται στα 15 στρέμματα.

Την ίδια χρονική στιγμή (6 Δεκεμβρίου 2018) σπάρθηκε και το αριστερό τμήμα του αγρού που ορίστηκε ως *Συμβατική* (SIM). Εξ' ορισμού μεταχειρίστηκε κατά τη συμβατική διαδικασία, με άροση και συμπληρωματική προετοιμασία της σποροκλίνης με μέσο καλλιεργητή. Η συγκεκριμένη μεταχείριση καταλαμβάνει τα υπόλοιπα 12 στρέμματα του πιλοτικού αγρού. Η σπορά της πραγματοποιήθηκε με συμβατική μηχανή γραμμικών καλλιεργειών. Η προηγούμενη καλλιέργεια σε αυτό το αγροτεμάχιο ήταν επίσης σιτάρι.

Το υπόλοιπο τμήμα του αγρού, δηλαδή τα 22 στρέμματα ανήκουν και αυτά στη συμβατική μεταχείριση. Στο τμήμα αυτό πραγματοποιήθηκαν κάποιες μετρήσεις ωστόσο οι μετρήσεις για τη σύγκριση των τριών μεταχειρίσεων περιορίστηκε στο προσημειωμένο τμήμα που φαίνεται στην Εικόνα 2.

Σε όλες τις μεταχειρίσεις η ποικιλία που σπάρθηκε ήταν η *Sveno* και η ποσότητα σπόρου που χρησιμοποιήθηκε ήταν 23 kg/στρέμμα. Όλες οι υπόλοιπες καλλιεργητικές φροντίδες ήταν ίδιες και στις τρεις μεταχειρίσεις.

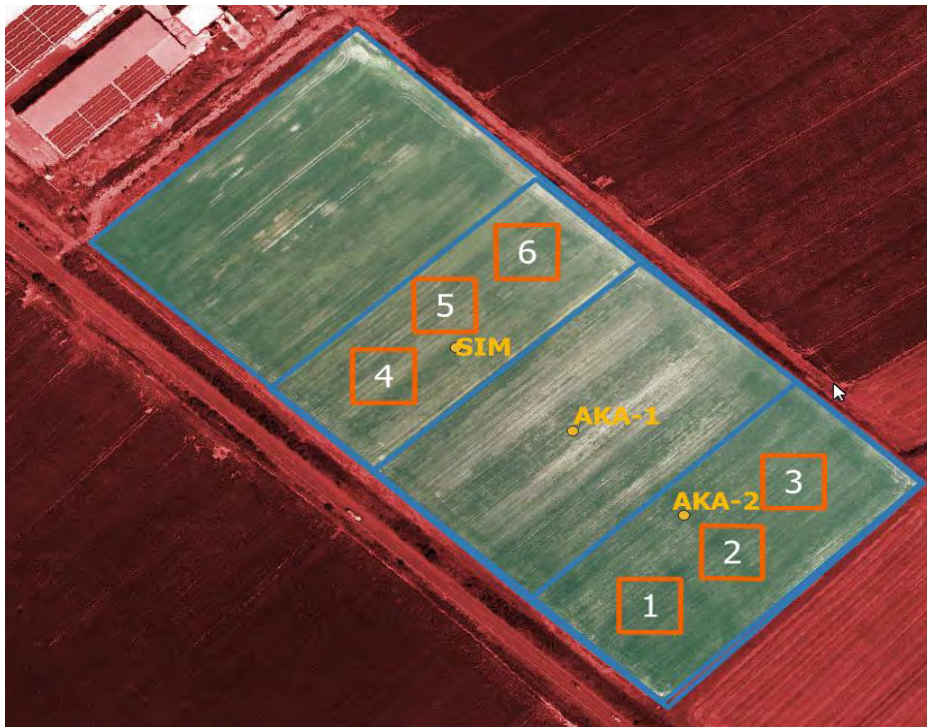
Στον Πίνακα2 αναφέρονται αναλυτικά οι προετοιμασίες εδάφους και οι λιπάνσεις:

**Πίνακας 2.** Προετοιμασία και λίπανση καλλιεργειών.

	<b>Συμβατική (Σ)</b>	<b>Ακαλλιέργεια 1 (ΑΚΑ1)</b>	<b>Ακαλλιέργεια 2 (ΑΚΑ2)</b>
Προηγούμενη καλλιέργεια	Σιτάρι	Βαμβάκι	Βαμβάκι
Προετοιμασία	Όργανο + καλλιεργητής	-	-
Βασική λίπανση			
Σπορά	6/12/2018, Ποικιλία <i>Sveno</i> , 23kg/στρέμμα	16/11/2018, Ποικιλία <i>Sveno</i> , 23kg/στρέμμα	6/12/2018, Ποικιλία <i>Sveno</i> , 23kg/στρέμμα
1 <sup>η</sup> Επιφανειακή λίπανση	20/2/2019, 40.0.0 - 20kg/στρ (8 μονάδες N)		
2 <sup>η</sup> Επιφανειακή λίπανση	8/3/2019, Nutrammon 33,5.0.0 - ΕΛΛΑΓΡΟΛΙΠ ΑΕΒΕ, 20kg/στρ (6,7 μονάδες N)		
Ζιζανιοκτονία	19/3/2019 Axial + Mustang		

Πέραν του διαχωρισμού των μεταχειρίσεων, οριοθετήθηκαν από 3 plots στην SIM και ΑΚΑ2 (6 συνολικά), για την πραγματοποίηση οικοφυσιολογικών μετρήσεων (Εικόνα 3). Οι διαστάσεις τους ήταν 30 X 30 m και τοποθετήθηκαν στο χώρο με τέτοια κατεύθυνση ώστε να συμπίπτουν με εικονοστοιχεία 10 X 10 m των δορυφορικών εικόνων Sentinel-2. Κάθε plot αντιστοιχεί συγκεκριμένα σε 9 εικονοστοιχεία. Όλες οι οριοθετήσεις του τομέα πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση GPS (Garmin, eTrex) και αποτυπώθηκαν σε Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών με τη χρήση του προγράμματος QGIS.

Τα αναπτυξιακά στάδια της καλλιέργειας καταγράφηκαν με βάση την κλίμακα Zadocks (Πίνακας 1).



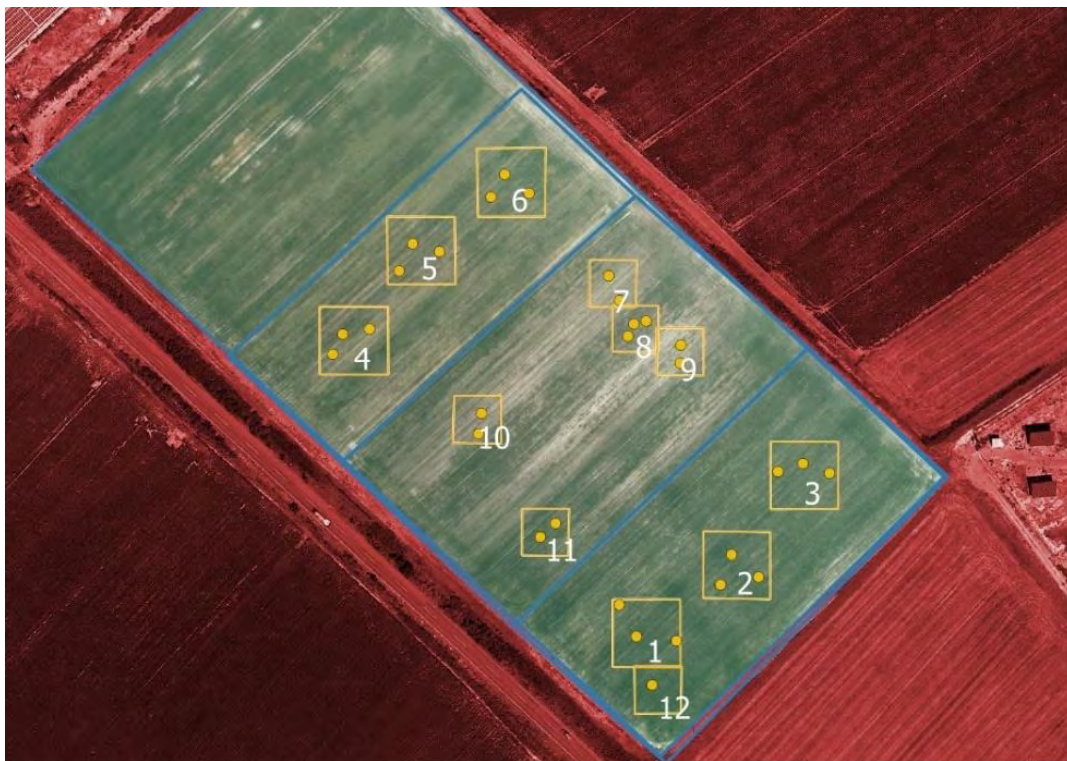
**Εικόνα 3.** Ο πειραματικός αγρός με τις τρεις διαφορετικές μεταχειρίσεις (SIM, AKA1, AKA2) και τα plots (1 – 6) που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη.



**Εικόνα 4.** Απ' ευθείας σπορά σίτου με την ειδική σπαρτική μηχανή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

## 2.2. Μηχανικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους

Για να προσδιοριστούν οι μηχανικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους ελήφθησαν στις 17/4/19 τρία τυχαία δείγματα εδάφους σε καθένα από τα plots 1-6 των μεταχειρίσεων SIM και ΑΚΑ2. Στην μεταχείριση ΑΚΑ1 διευθετήθηκαν άλλα 5 plots (7-11) με τρόπο ώστε να συμπίπτουν με γειτονικά εικονοστοιχεία του Sentinel και ελήφθησαν επίσης 3 δείγματα από το καθένα (Εικόνα 5). Το βάθος των δειγμάτων κυμαίνονταν από 0-30 cm και οι ακριβείς τους θέσεις αποτυπώθηκαν με GPS. Εν συνεχεία, τα τρία τυχαία δείγματα από κάθε plot ομογενοποιήθηκαν σε ένα και στάλθηκαν στο ΕΘΙΑΓΕ για ανάλυση ιδιοτήτων, όπως μηχανικής σύστασης, οργανικής ουσίας, pH, ηλεκτρικής αγωγιμότητας, ολικού και αμμωνιακού νιτρικού αζώτου, CaCO<sub>3</sub>, P, K, Na και Mn.



Εικόνα 5. Σημεία δειγματοληψίας του εδάφους από τα αριθμημένα plots.

### 2.3. Μετρήσεις δεικτών βλάστησης

Η καταγραφή των δεικτών βλάστησης έγινε με τη χρήση τόσο υπέργειων όσο και επίγειων αισθητήρων. Οι μετρήσεις με τους υπέργειους αισθητήρες πραγματοποιήθηκαν από το Εργαστήριο Γεωργικής Μηχανολογίας και δόθηκαν έπειτα από επεξεργασία για την πραγματοποίηση της χαρτογράφησης. Για τους υπέργειους αισθητήρες χρησιμοποιήθηκαν δύο μη επανδρωμένα αεροσκάφη (drones) με ενσωματωμένες κάμερες καταγραφής. Συγκεκριμένα έγινε χρήση των DGI Phantom 4 Pro και Parrot Bluegrass Fields. Ως επίγειος

αισθητήρας χρησιμοποιήθηκε το όργανο Crop Circle ACS-210 της εταιρείας Holland Scientific Ltd.

- **DGI Phantom 4 Pro.**

Το συγκεκριμένο drone (Εικόνα 6) διαθέτει κάμερα χρωματικού προτύπου RGB και χρησιμοποιούταν για την αποτύπωση ολόκληρου του πιλοτικού αγρού σε μία ενιαία φωτογραφία. Οι πτήσεις του πραγματοποιούνταν σε διαστήματα μιας ή δυο εβδομάδων από τις 6/12/18 έως τις 7/6/19, σε ύψος 320 m. Οι εικόνες που ελήφθησαν χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του δείκτη βλάστησης VARI.



**Εικόνα 6.** DGI Phantom 4 Pro.

- **Parrot Bluegrass Fields,**

Το drone (Εικόνα 7) είναι εξοπλισμένο με πολυφασματική κάμερα **Sequoia**. Η κάμερα αυτή διαθέτει 4 αισθητήρες οι οποίοι λαμβάνουν πληροφορίες από 4 φασματικά κανάλια:

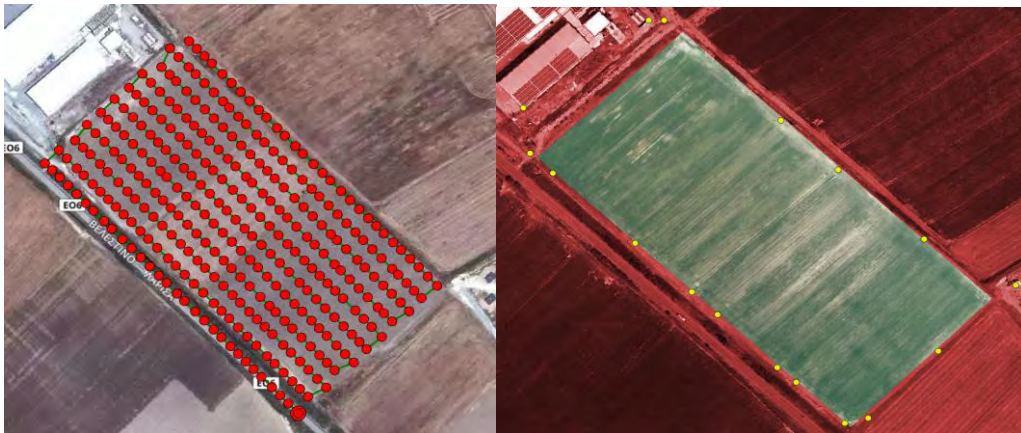
1. πράσινου μήκους κύματος 550 nm με εύρος 40 nm
2. κόκκινου μήκους κύματος 660 nm με εύρος 40 nm
3. κόκκινου άκρου 735 nm με εύρος 10 nm
4. εγγύς υπέρυθρου (NIR) 790 nm με εύρος 40 nm.



**Εικόνα 7.** Parrot Bluegrass Fields.

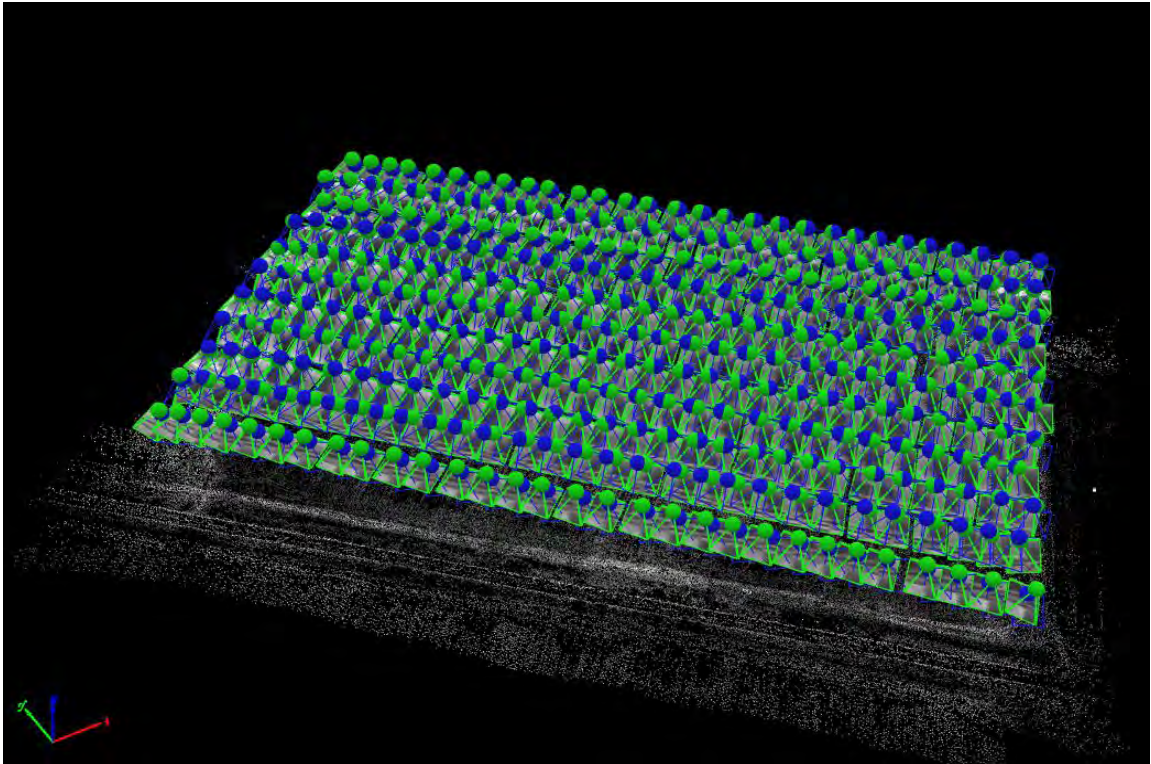
Διαθέτει επίσης αισθητήρα RGB για φωτογραφίες στο ορατό φάσμα καθώς και αισθητήρα ηλιοφάνειας για τη βαθμονόμηση των πολυφασματικών εικόνων ανάλογα με το φως του περιβάλλοντος. Με τον τρόπο αυτό καθιστά δυνατή τη σύγκριση φωτογραφιών που ελήφθησαν σε διαφορετικές ημέρες υπό διαφορετικές συνθήκες φυσικού φωτός. Η χρήση του **Parrot Bluegrass Fields** ξεκίνησε στις 18/3/19 όπου και αποκτήθηκε και συνεχίστηκε μέχρι τις 7/6/19 με μετρήσεις σε περιοδικά διαστήματα 10-15 ημερών. Οι πτήσεις πραγματοποιούνταν σε ύψος 65 m (Εικόνα 8) και η αλληλοεπικάλυψη των φωτογραφιών ήταν 80% (Εικόνα 9). Μέσω του προγράμματος **Pix4d Mapper**, επεξεργάστηκαν οι αεροφωτογραφίες της κάθε ημερομηνίας και δημιουργήθηκαν ορθοφωτοχάρτες ανακλαστικότητας. Στη συνέχεια εισήχθησαν στο πρόγραμμα QGIS ώστε να εκτιμηθούν οι δείκτες βλάστησης NDVI και NDRE.

Για την γεωαναφορά των εικόνων από τα drones τοποθετήθηκαν στον αγρό διακριτά σημεία επίγειας σήμανσης (Ground Control Points, GCPs) τα οποία αποτυπώνονταν στις αεροφωτογραφίες. Η γεωαναφορά έγινε με το λογισμικό QGIS.



**Εικόνα 8.** Σχέδιο πτήσης του drone Parrot Bluegrass (αριστερά) και επίγεια σημεία γεωαναφοράς (GCP) των εικόνων(δεξιά).





**Εικόνα 9.** Raycloud λήψεων του drone Parrot Bluegrass.

- **Crop Circle**

Για την καταγραφή δεδομένων από επίγειο αισθητήρα έγινε χρήση του χειροκίνητου οργάνου Crop Circle ACS-210 (Holand Scientific) (Εικόνα 10).



**Εικόνα 10.** Crop Circle ACS-210 (Holand Scientific).

Το εν λόγω όργανο ανιχνεύει την ανακλώμενη από το θόλο των φυτών ακτινοβολία με μία σειρά ευαίσθητων φωτοαισθητήρων οι οποίοι παρέχουν δυνατότητες ανίχνευσης του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου φάσματος της ακτινοβολίας. Χαρακτηρίζεται ως ενεργού τύπου όργανο, επειδή διαθέτει φωτεινή πηγή PolySource, η οποία εκπέμπει προς τα φυτά ταυτόχρονα ερυθρό (650 nm) και εγγύς υπέρυθρο (880 nm) φως. Διαθέτει μηχανισμό για να αναβοσβήνει γρήγορα πολλές φορές το δευτερόλεπτο, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο στους αισθητήρες να διακρίνουν το φωτεινό σήμα του οργάνου από αυτό του περιβάλλοντος. Έτσι, οι μετρήσεις κρίνονται ιδιαίτερα αξιόπιστες και ανεπηρέαστες από συνθήκες μεταβολής του φυσικού φωτισμού.

Το όργανο διαθέτει δικό του data logger που καταγράφει τις μετρήσεις και συνδέεται με φορητό GPS τσέπης, καταγράφοντας παράλληλα τις συντεταγμένες των μετρήσεων. Έτσι, καθίσταται δυνατή η χαρτογράφηση ενός αγρού. Η διαδρομή που ακολουθήθηκε στον αγρό ήταν γραμμική με βάδιση των πειραματικών τεμαχίων σε παράλληλα διαμήκη διαστήματα αποστάσεων περίπου 12 m (Εικόνα 11). Οι μετρήσεις του οργάνου είναι συνεχείς και επομένως η συχνότητά τους εξαρτάται από την ταχύτητα βάδισης. Υπολογίζεται ότι το όργανο λάμβανε μια μέτρηση κάθε 2-3 μέτρα κατά τη πορεία.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, ένας από τους λόγους που χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας του Crop Circle, ήταν για να εξακριβωθεί η ποιότητα των τηλεσκοπικών εικόνων από το drone, καθώς η λήψη εικόνων από drone εμπεριέχει προβλήματα ραδιομετρικής διόρθωσης των εικόνων που προκύπτουν από τη θέση του ηλίου, τη γωνία λήψης της κάμερας και τις αλλοιώσεις από τους ίδιους τους φωτοαισθητήρες (vigneting κλπ). Η μέτρηση από επίγειους αισθητήρες είναι απαλλαγμένη από τα παραπάνω προβλήματα. Όπως αναφέρθηκε, το όργανο Crop Circle, το οποίο ανιχνεύει στοχευμένα μήκη κύματος που αφορούν το δείκτη NDVI, λόγω του ότι παράγει δική του ακτινοβολία (ενεργός οπτικός αισθητήρας), δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος.

Χρήση του οργάνου έγινε σχεδόν σε κάθε ημερομηνία διεξαγωγής του πειράματος, για να αποτυπωθεί η παραλλακτικότητα της βλάστησης στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Συγκεκριμένα, οι μετρήσεις ξεκίνησαν από τις 12/12/18 και συνεχίστηκαν μέχρι τις 23/5/19. Στις ημερομηνίες αυτές οι μετρήσεις περιορίστηκαν μόνο στα plots. Από τις 18/3 και έπειτα (δηλαδή στις 3/4, 11/4, 17/4, 2/5, 8/5, 16/5, 23/5) οι μετρήσεις πραγματοποιούνταν και σε όλη την έκταση του αγρού. Από τα δεδομένα παρήχθησαν χάρτες του δείκτη βλάστηση NDVI για τις διάφορες ημερομηνίες και χρονοσειρές τόσο για τις τρεις μεταχειρίσεις όσο και για διαφορετικά plots.



**Εικόνα 11.** Αισθητήρας Crop Circle ACS-210 για αποτύπωση του δείκτη βλάστησης NDVI της καλλιέργειας (αριστερά) και πορεία της δειγματοληψίας στον αγρό (δεξιά).

#### **2.4. Μέτρηση ηλεκτρικής αγωγιμότητας εδάφους**

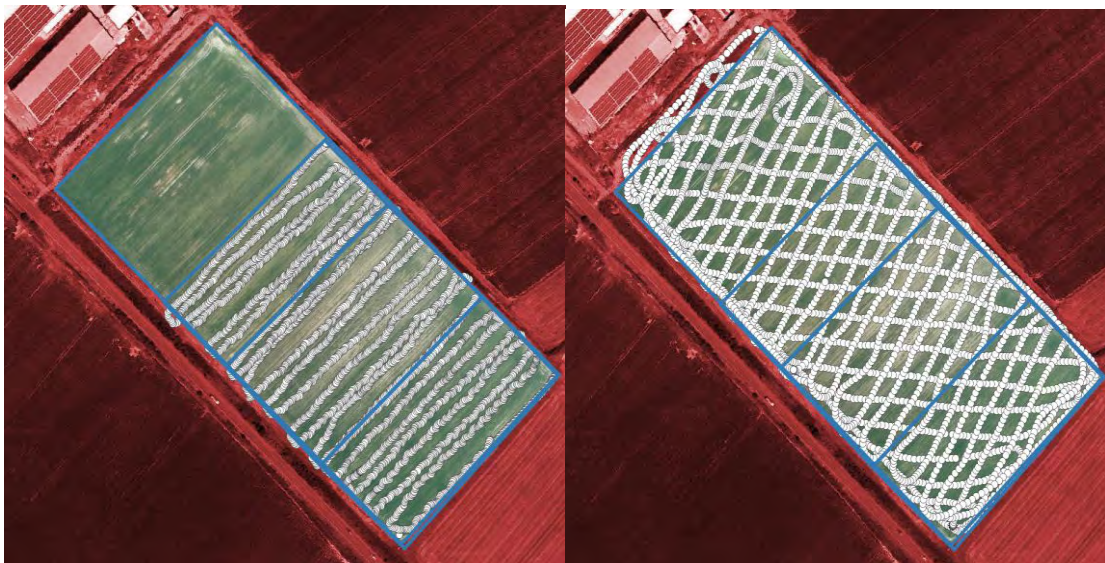
Η φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους μετρήθηκε με το όργανο EM-38 Geonics Ltd. Πρόκειται για μη επεμβατική μέτρηση με αισθητήρα ο οποίος δεν έρχεται σε επαφή με το έδαφος και λειτουργεί με την αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής (EMI). Αποτελείται από ένα πηνίο πομπού και ένα πηνίο δέκτη, τοποθετημένα στα αντίθετα άκρα της μονάδας, σε απόσταση ενός μέτρου το ένα από το άλλο. Ο πομπός παράγει ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο διοχετεύεται με τη μορφή κυμάτων μέσα στο έδαφος φτάνοντας μέχρι την άλλη πλευρά του οργάνου που βρίσκεται ο δέκτης. Η ικανότητα και η ευκολία μεταφοράς του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου μέσα στο έδαφος συσχετίζεται με τις ιδιότητες του εδάφους.

Μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 22/3/19 και στις 24/7/19 μετά τη συγκομιδή. Στην πρώτη ημερομηνία οι μετρήσεις περιορίστηκαν στα οριοθετημένα τμήματα των πειραματικών τεμαχίων. Έγιναν με βάδιση, με το όργανο τοποθετημένο σε κατακόρυφη θέση (βάθος καταγραφής μέχρι 1.5 m), σε διαμήκη εναλλάξ διαστήματα κατά μήκος του αγρού, αποστάσεων περίπου 15 m (Εικόνα 13). Οι μετρήσεις που καταγράφει το όργανο είναι διαρκείς και έτσι το πλήθος τους εξαρτήθηκε και σε αυτή την περίπτωση από την ταχύτητα διέλευσης. Στη δεύτερη ημερομηνία έγινε σάρωση ολόκληρης της επιφάνειας του αγρού με χρήση έλκθρου και οχήματος για τη μεταφορά του οργάνου (Εικόνα 12). Για την καταγραφή των συντεταγμένων των μετρήσεων το όργανο βρισκόταν συνεχώς συνδεδεμένο με ένα GPS τσέπης και στις δύο μετρήσεις. Πριν από κάθε χρήση βαθμονομήθηκε σύμφωνα με τις οδηγίες της εταιρίας.



**Εικόνα 12.** Μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους με το όργανο EM-38 με σάρωση του αγρού με έλκηθρο (μεγάλη εικόνα) και με βάδιση (ένθετη εικόνα).

Τα δεδομένα εισήχθησαν στο λογισμικό QGIS και αναλύθηκαν γεωχωρικά με παρεμβολή (interpolation) για τη δημιουργία χαρτών raster.



**Εικόνα 13.** Σάρωση του αγρού με το όργανο EM38 στις 22/3/19 (αριστερά) και στις 24/7/19 (δεξιά).

## 2.5. Μέτρηση της αντίστασης στη διείσδυση εδάφους

Για τη μέτρηση της αντίστασης διείσδυσης του εδάφους χρησιμοποιήθηκε το διεισδυσιόμετρο SP1000 (Findlay Irvine) (Εικόνα 14). Έχει βήμα καταγραφής ανά 1 cm

μέχρι 50 cm βάθος αλλά στο συγκεκριμένο αγροτεμάχιο η μέτρηση περιορίστηκε στα 40 cm λόγω της αυξημένης αντίστασης στα βαθύτερα στρώματα που δυσκόλευε ιδιαίτερα τη χειρωνακτική εργασία. Το όργανο ουσιαστικά καταγράφει το βάρος (σε μονάδες του μισού κιλού) που ασκεί το ανθρώπινο σώμα για τη διείσδυση του κώνου μέσα στο έδαφος. Το βάρος αυτό μπορεί να μεταφραστεί σε πίεση (μετρούμενη σε kPa) αν μετατραπεί σε δύναμη (kN) και ληφθούν υπόψιν και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κώνου.

Η διαδικασία είναι η εξής: Αρχικά οι μονάδες των μισών κιλών του βάρους μετατρέπονται σε Newton, πολλαπλασιάζοντας την εκάστοτε ένδειξη του οργάνου επί 9.81/2. Στη συνέχεια το αποτέλεσμα διαιρείται με την επιφάνεια βάσης του κώνου διείσδυσης που έχει διάμετρο 12.83 mm. Το αποτέλεσμα εκφράζεται σε Pascal και διαιρώντας με το 1000 μετατρέπεται σε kPa.



**Εικόνα 14.** Μέτρηση της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση με διεισδυσιόμετρο SP1000 (Findlay Irvine).

Οι πρώτες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 22/3. Πρόκειται για 14 κατά μέσο όρο σημειακές μετρήσεις ανά γραμμή πλάτους, με την κάθε γραμμή να διαφέρει από την αμέσως επόμενη 13 περίπου μέτρα. Οι μετρήσεις κάλυψαν ολόκληρη την έκταση του πιλοτικού αγρού και ανήλθαν περίπου στις 250 (Εικόνα 15). Ακολουθήθηκε η μεθοδολογία των ASABE Standards S313.3 FEB1999. Επιπλέον πραγματοποιήθηκαν 10 μετρήσεις σε τυχαία σημεία του κάθε plot από τις οποίες στη συνέχεια υπολογίστηκαν καμπύλες των μέσων όρων προοδευτικά με το βάθος. Οι ημερομηνίες που πάρθηκαν οι μετρήσεις αυτές ήταν: 22/3, 29/3, 11/4, 8/5.

Για τη γεωχωρική αποτύπωση της παραλλακτικότητας στον αγρό χρησιμοποιήθηκε και πάλι το πρόγραμμα QGIS. Πραγματοποιήθηκε παρεμβολή (interpolation) μεταξύ των μετρήσεων και δημιουργήθηκαν χάρτες της συμπίκνωσης του εδάφους για διαφορετικά βάθη.



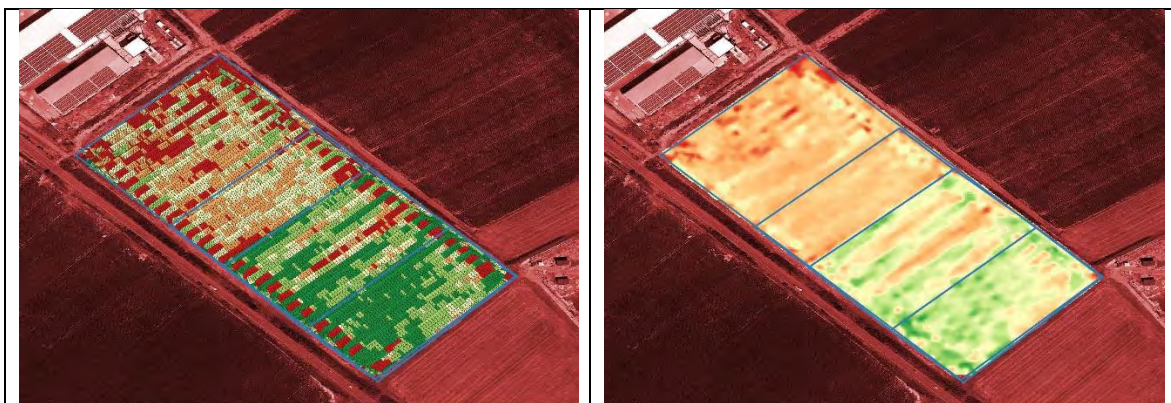
**Εικόνα 15.** Οι σημειακές μετρήσεις της αντίστασης στη διείσδυση του εδάφους.

## **2.6. Μέτρηση παραγωγής**

Τα αποτελέσματα της παραγωγής μετρήθηκαν στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας της Μεγγούδη (2020) και τα δεδομένα αξιοποιήθηκαν επίσης στην παρούσα μελέτη για τη διερεύνηση των συσχετίσεων. Η συγκομιδή πραγματοποιήθηκε στις 18/6/2019 με τη θεριζοαλωνιστική μηχανή John Deere S660i, η οποία έφερε αυτόματο σύστημα χαρτογράφησης της παραγωγής (Εικόνα 16). Τα δεδομένα της μηχανής παρέχονται από την John Deere υπό την μορφή χάρτη παραγωγής με χωρική ανάλυση περίπου 1.5 x 1 m (Εικόνα 17). Παράλληλα, και εκτός από τα δεδομένα της μηχανής, λήφθηκαν μετρήσεις επαλήθευσης ζυγίζοντας τα φορτηγά που μεταφέρουν την παραγωγή στα τρία τεμάχια ξεχωριστά. Τα στοιχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τη βαθμονόμηση των μετρήσεων του χάρτη της παραγωγής. Ο συντελεστής διόρθωσης υπολογίστηκε 1.15. Ο χάρτης παραγωγής αρχικά υπέστη επεξεργασία ώστε να αφαιρεθούν σφάλματα που προκύπτουν στην παραγωγή κυρίως εξαιτίας υστέρησης του αισθητήρα στα σημεία εισόδου και εξόδου της μηχανής (κεφαλάρια) και στη συνέχεια έγινε παρεμβολή των σημειακών μετρήσεων ώστε να δημιουργηθεί η εικόνα raster. Ο καθαρισμός των ανωμαλιών καθώς και η παρεμβολή έγιναν με τη χρήση του λογισμικού QGIS (Μεγγούδη 2020).



**Εικόνα 16.** Συγκομιδή του πιλοτικού αγρού με θεριζοαλωνιστική μηχανή John Deere S660i με σύστημα χαρτογράφησης της παραγωγής.



**Εικόνα 17.** Ο χάρτης παραγωγής με τα αρχικά δεδομένα (αριστερά) και μετά τον καθαρισμό και την παρεμβολή τους (δεξιά).

## 2.7. Συσχετίσεις - Στατιστική ανάλυση

Στον πιλοτικό αγρό που μελετήθηκε ελήφθησαν μια πληθώρα μετρήσεων από διαφορετικά σημεία και σε διαφορετική χωρική ανάλυση: στοχευμένες μετρήσεις στα προσημειωμένα plots, μετρήσεις από όλη την έκταση του αγρού (3 μεταχειρίσεις) με σημειακή δειγματοληψία από τυχαία και επομένως διαφορετικά σημεία κάθε φορά (π.χ. αντίσταση του εδάφους στη διείδυση, μετρήσεις με το crop circle), μετρήσεις της παραγωγής οι οποίες επίσης αποτυπώνονται σημειακά αλλά με μεγαλύτερη πυκνότητα (1x1.5 m) και μετρήσεις με υψηλή χωρική ανάλυση (10 περίπου εκατοστών) από τα drone. Για να είναι δυνατή η συσχέτιση μεταξύ όλων αυτών των παραμέτρων θα πρέπει οι τιμές να προέρχονται από τα

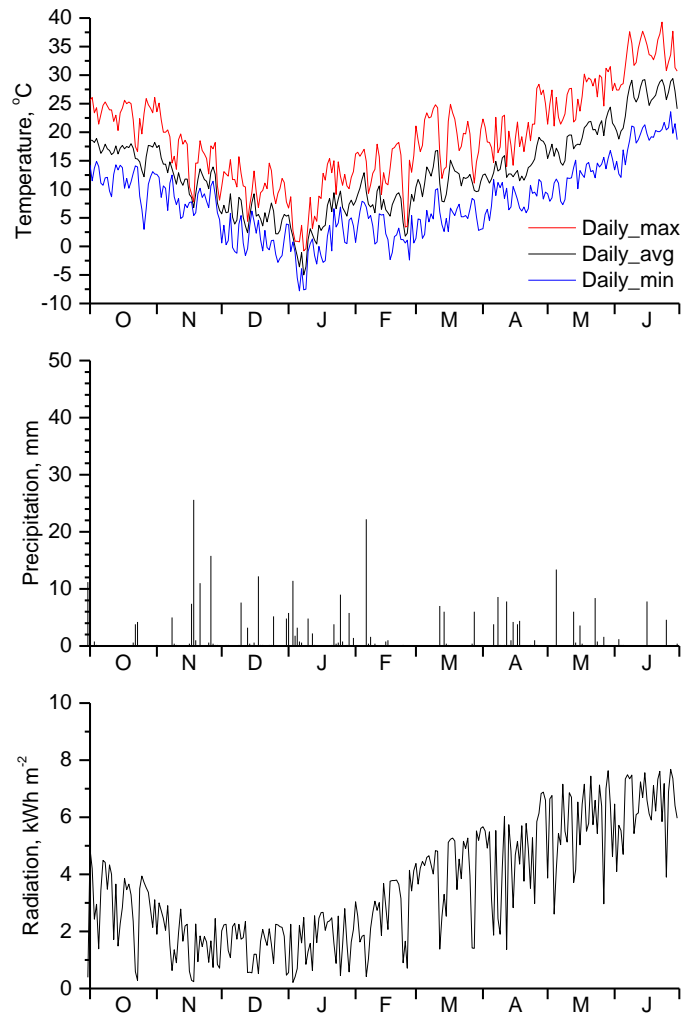
ίδια σημεία στον αγρό. Έτσι, για τις παραμέτρους που μετρήθηκαν σημειακά σε όλη την έκταση του αγρού πραγματοποιήθηκε παρεμβολή μεταξύ των σημειακών τιμών στο λογισμικό QGIS και αρχικά δημιουργήθηκαν raster με υψηλή ανάλυση από όλη την επιφάνεια. Στα raster αυτά, όπως και στα raster των εικόνων των drone πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια, πάλι με το λογισμικό QGIS επαναδειγματοληψία υπολογίζοντας τους μέσους όρους στο μέγεθος και τις θέσεις των εικονοστοιχείων (pixels) 10x10 m του δορυφόρου Sentinel-2. Η επιλογή των εικονοστοιχείων του Sentinel-2 ως κοινά σημεία αναφοράς εξυπηρετεί την συσχέτιση των παραμέτρων με παραμέτρους που μπορούν να προκύψουν από το δορυφόρο (δεν αφορά τη παρούσα μελέτη).

Όπου ήταν απαραίτητο, επιλέχθηκαν pixels του Sentinel-2 για την εξαγωγή τιμών που έπρεπε να συσχετιστούν με τις τιμές των στοχευμένων μετρήσεων (π.χ. συσχέτιση αποτελεσμάτων εδαφικών αναλύσεων με στοιχεία δεικτών βλάστησης από τα drone). Τέλος, για την ανίχνευση τυχόν στατιστικώς σημαντικών διαφορών μεταξύ των 3 μεταχειρίσεων πραγματοποιήθηκε ανάλυση της διακύμανσης (ANOVA) στο στατιστικό πακέτο SPSS.

## **2.8. Μετεωρολογικά δεδομένα**

Χρησιμοποιήθηκαν μετεωρολογικά δεδομένα όπως θερμοκρασία, βροχόπτωση, ακτινοβολία και ταχύτητα ανέμου (Σχήμα 4) από τον μετεωρολογικό σταθμό της Χάλκης του δικτύου meteo.gr του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (<https://www.meteo.gr/>), ο οποίος βρίσκεται σε απόσταση 6 km από το πειραματικό αγροτεμάχιο.

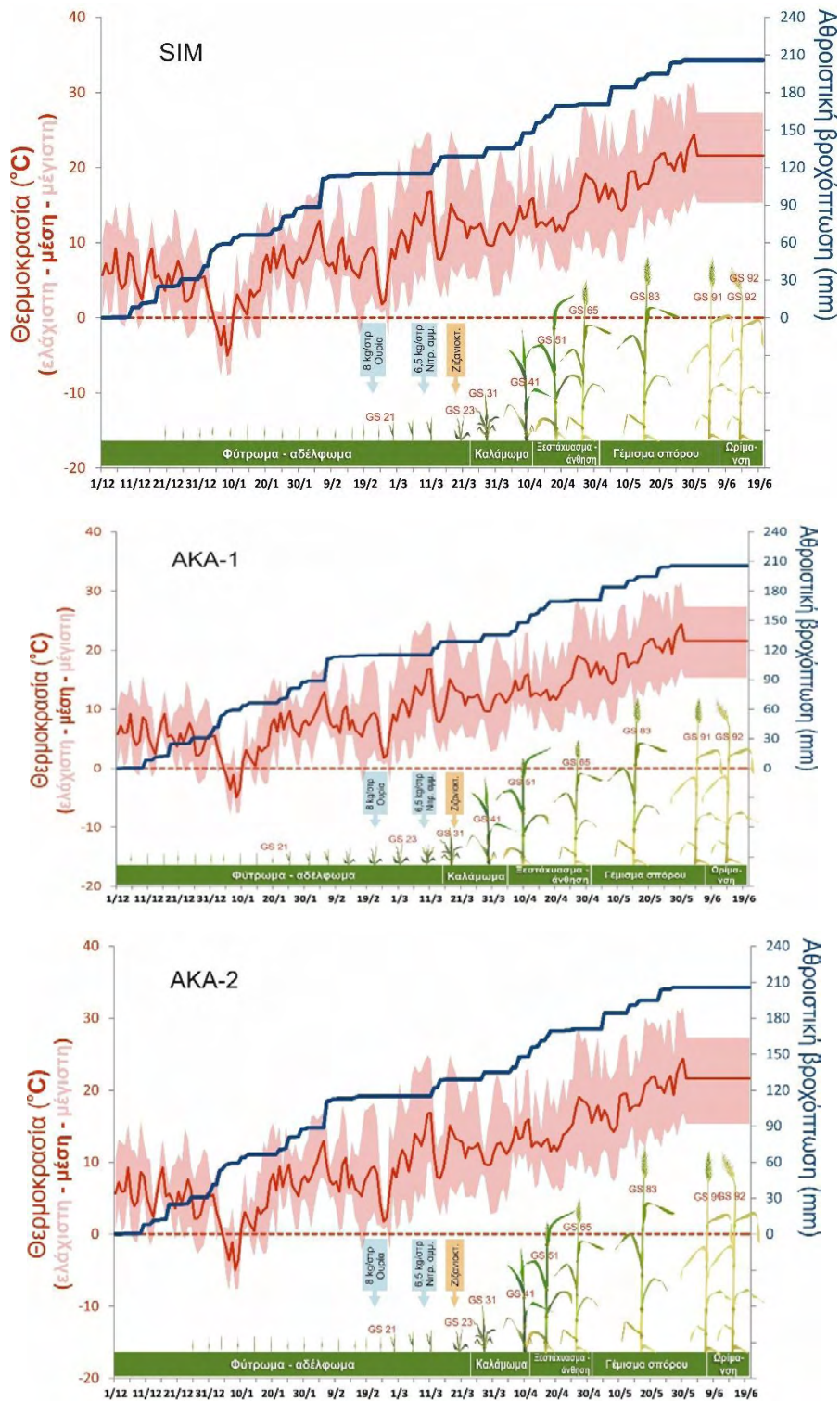




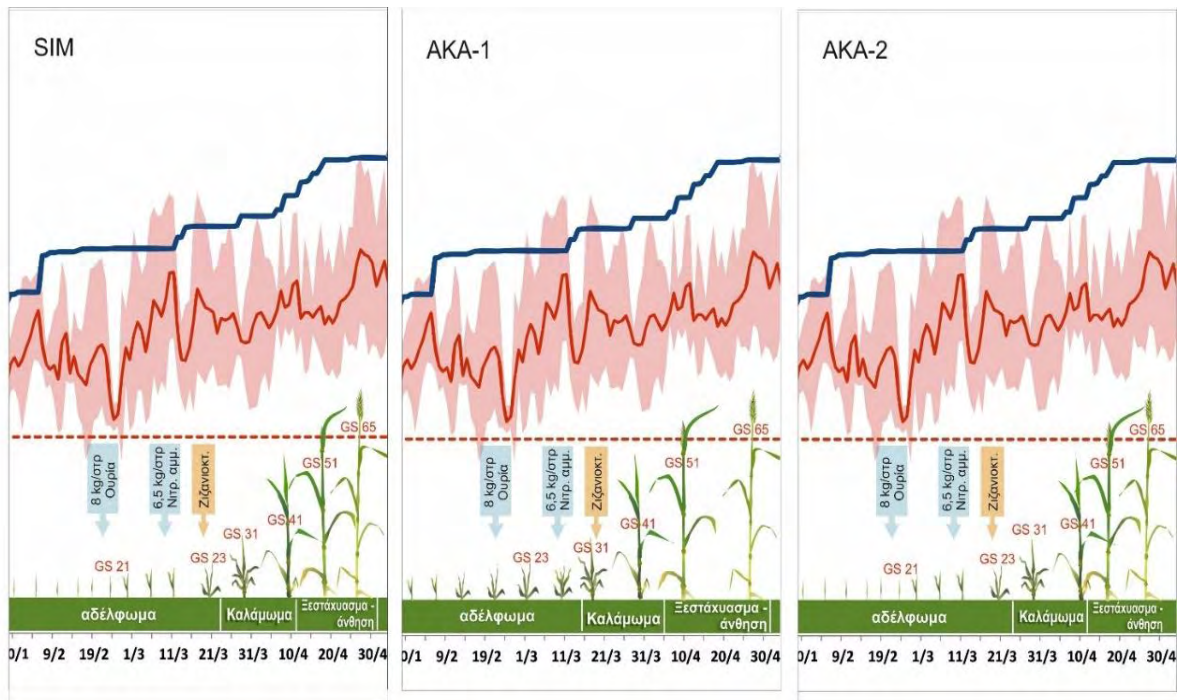
**Σχήμα 4.** Εποχιακή διακύμανση θερμοκρασίας, βροχόπτωσης και ακτινοβολίας στη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου Οκτώβρης 2018 – Ιούνιος 2019. Τα δεδομένα προέρχονται από το μετεωρολογικό σταθμό της Χάλκης του δικτύου meteo.gr.

### 3. Αποτελέσματα

#### 3.1. Αναπτυξιακό στάδιο



Σχήμα 5. Αναπτυξιακά στάδια της καλλιέργειας, μετεωρολογικά δεδομένα και καλλιεργητικές πρακτικές.



**Σχήμα 6.** Αναπτυξιακά στάδια της καλλιέργειας - εστίαση στην κρίσιμη περίοδο.

Στα Σχήματα 5 και 6 απεικονίζονται τα αναπτυξιακά στάδια της καλλιέργειας συνδυαστικά με τις μετεωρολογικές συνθήκες και τις καλλιεργητικές πρακτικές της εκάστοτε χρονικής περιόδου. Παρατηρώντας την καμπύλη της αθροιστικής βροχόπτωσης διακρίνεται μια περίοδος εκτεταμένης ανομβρίας από τις 6/2 έως τις 11/3. Οι αρνητικές συνέπειες αυτής της περιόδου επηρέασαν αναπτυξιακά την ΑΚΑ1, όντας πιο πρώιμη από τις άλλες δύο μεταχειρίσεις, καθώς κατά το διάστημα αυτό ολοκλήρωνε το στάδιο του αδελφώματος και έβαινε προς το κρίσιμο στάδιο της εμφάνισης του πρώτου κόμβου και της έναρξης της επιμήκυνσης του βλαστού. Κατά συνέπεια, ενώ μέχρι τα μέσα Μαρτίου προπορεύονταν σε σχέση με τις υπόλοιπες, τα φυτά καταπονήθηκαν και επιβραδύνθηκε η ανάπτυξή της. Εν αντιθέσει με την ΑΚΑ1, οι ΑΚΑ2 και SIM δεν επηρεάστηκαν σημαντικά καθώς κατά την εν λόγω περίοδο βρίσκονταν ακόμα στο στάδιο του αδελφώματος, η βλάστηση ήταν περιορισμένη και έτσι τα φυτά διέφυγαν τον κίνδυνο. Αποτέλεσμα όλων αυτών ήταν από τα τέλη Απριλίου και έπειτα να προηγείται αναπτυξιακά η SIM. Κάτι ακόμα που διαπιστώνεται είναι πως η εφαρμογή της πρώτης δόσης του επιφανειακού λιπάσματος στις 20/2/19 ήταν περιττή, λόγω της έλλειψης υγρασίας η οποία ανέστειλε τη διαλυτοποίηση του αζώτου. Αυτό είναι κάτι που επίσης εμπόδισε την ανάπτυξη της ΑΚΑ1 την περίοδο που τα φυτά της είχαν ανάγκη από άζωτο.

### 3.2. Μηχανική σύσταση και χημικές ιδιότητες του εδάφους

Στην Εικόνα 18 και στον Πίνακα 3 απεικονίζονται οι μηχανικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες βάθους 0-30 cm στις 17/4/19. Οι σημειακές μετρήσεις παρουσιάζονται επάνω στη χαρτογραφημένη απεικόνιση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για καλύτερη οπτική συσχέτιση των παραμέτρων.

Από τη μελέτη τους προκύπτουν τα εξής στοιχεία:

- 1) Η SIM παρουσιάζει υψηλότερη συγκέντρωση οργανικής ουσίας σε σχέση με τις άλλες δυο κατεργασίες, πράγμα το οποίο έρχεται σε αντίθεση με τα όσα αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία, δηλαδή πως η μηδενική κατεργασία αυξάνει την οργανική ύλη του εδάφους.
- 2) Η SIM παρουσιάζει περισσότερη γονιμότητα καθώς εμφανίζει υψηλά επίπεδα ολικού αζώτου, φωσφόρου, καλίου και μαγνησίου.
- 3) Οι μεταχειρίσεις της ακατεργασίας παρουσιάζουν σημαντική έλλειψη φωσφόρου. Αντιθέτως, η SIM παρουσιάζει ικανοποιητική συγκέντρωση φωσφόρου.
- 4) Οι υψηλές συγκεντρώσεις των ανταλλάξιμων κατιόντων  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$  και  $Na^+$  υποδηλώνουν αυξημένη αλατότητα εδάφους. Όπως διαπιστώνεται και παρακάτω, το pH και η συγκέντρωση  $Na^+$  εμφάνισαν υψηλή συσχέτιση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα. Για να διερευνηθεί εκτενέστερα η επίδραση του νατρίου υπολογίστηκε ο βαθμός αλκαλίωσης του εδάφους (ESP), ο οποίος εκφράζει την περιεκτικότητα σε νάτριο της ανταλλάξιμης φάσης ως ποσοστό της συνολικής περιεκτικότητας των κατιόντων (Μήτσιος 2001).

$$ESP = \frac{Na^+}{Na^+ + K^+ + Ca^{++} + Mg^{++}} 100$$

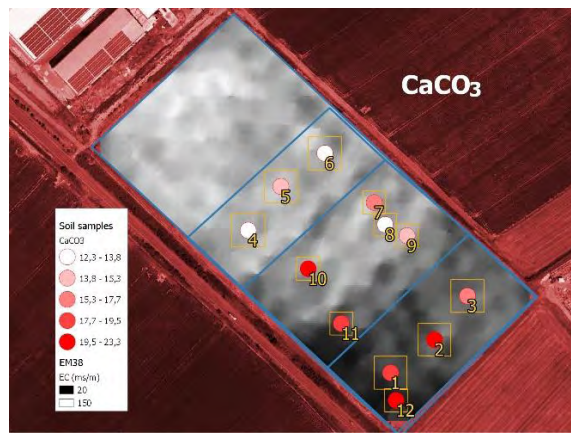
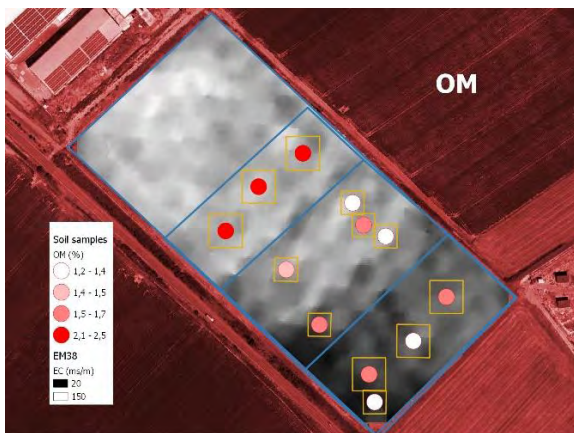
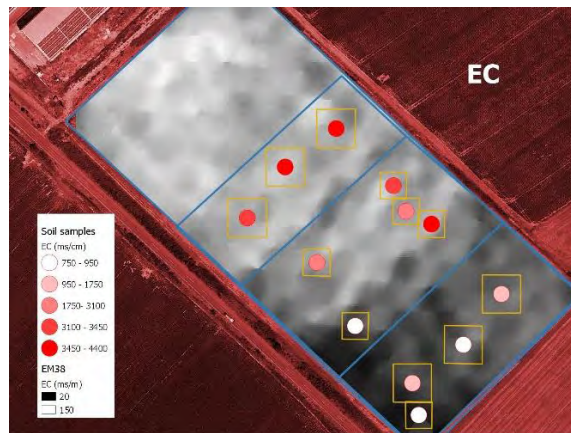
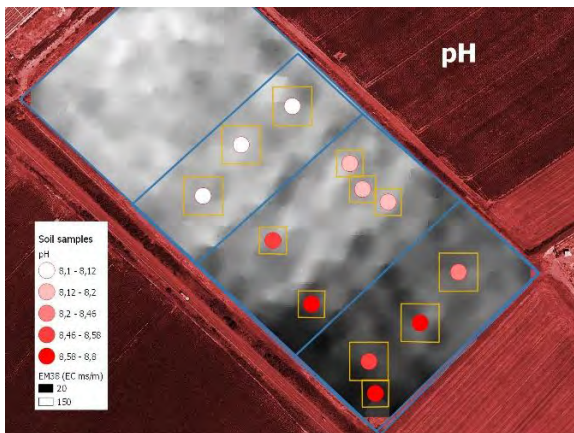
Η οριακή τιμή για τα νατριομένα εδάφη είναι  $ESP > 15\%$  η οποία ουσιαστικά είναι η οριακή τιμή του βαθμού κορεσμού του εδάφους με εναλλακτικό  $Na^+$ . Πέρα από την τιμή αυτή ξεκινούν προβλήματα όπως διασπορά της αργίλου του εδάφους και τοξικότητα του  $Na^+$  στα φυτά (gaiapedeia.gr). Όπως φαίνεται και στον Πίνακα 3, οι τιμές του ESP σε όλα τα δείγματα χαρακτηρίζονται πολύ υψηλές, επομένως είναι αυτό που επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την φαινόμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το συγκεκριμένο έδαφος λόγω του πολύ υψηλού ESP και της πολύ υψηλής EC χαρακτηρίζεται ως αλατούχο-νατριομένο.

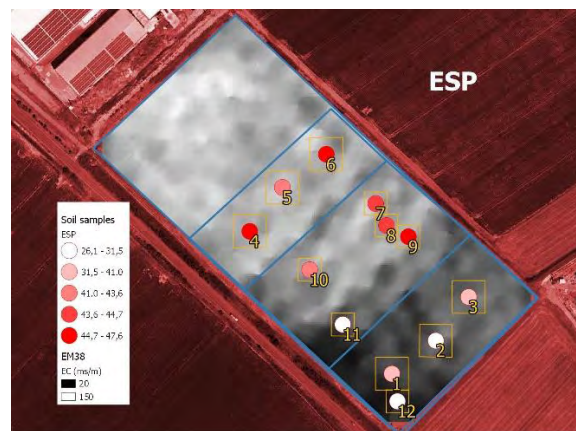
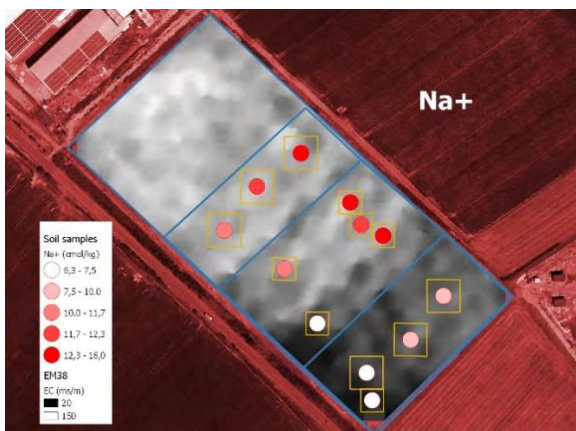
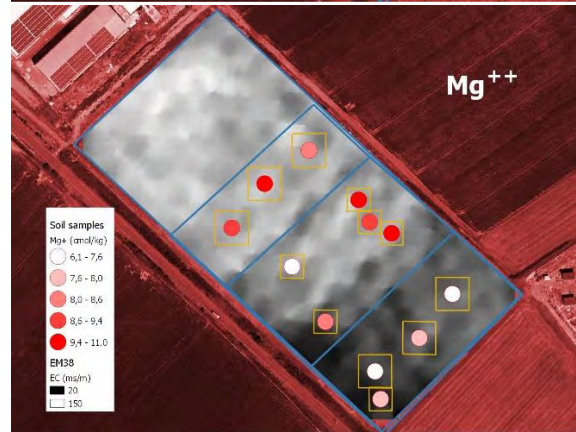
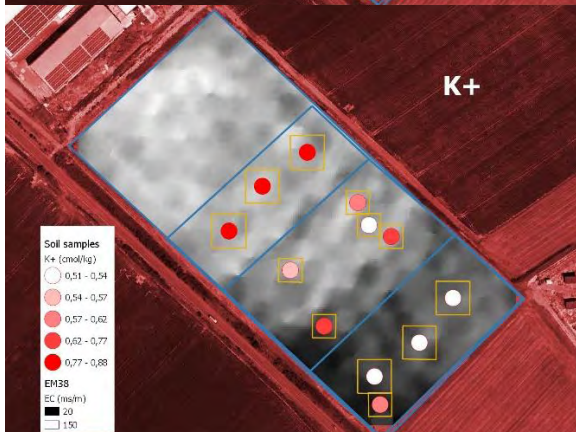
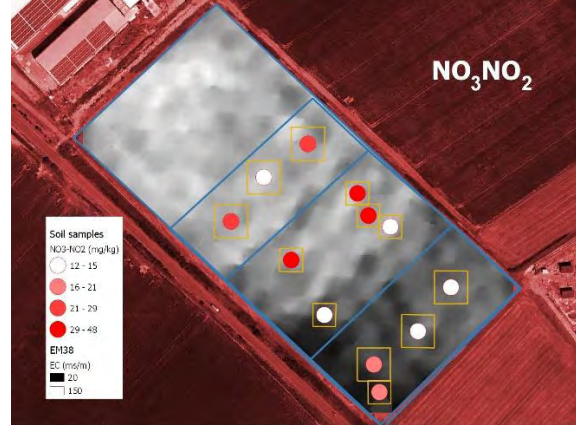
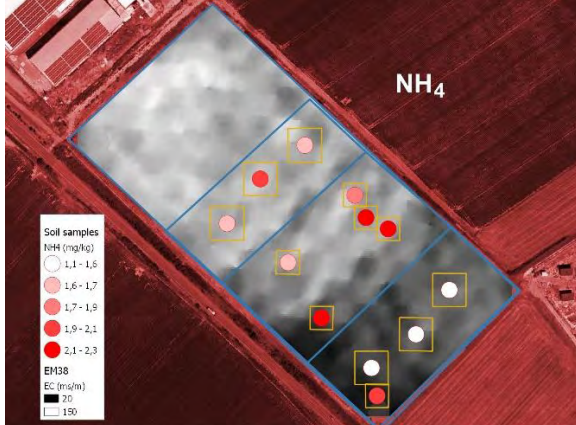
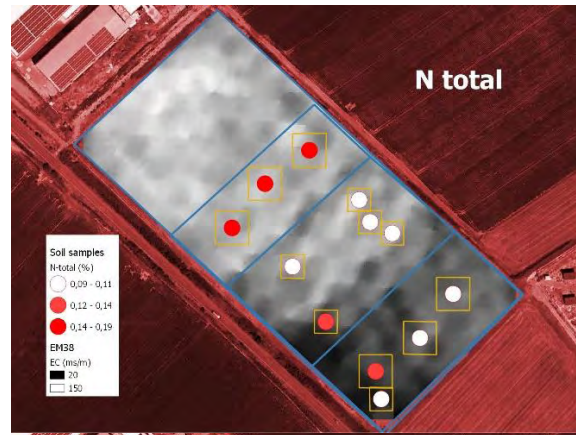
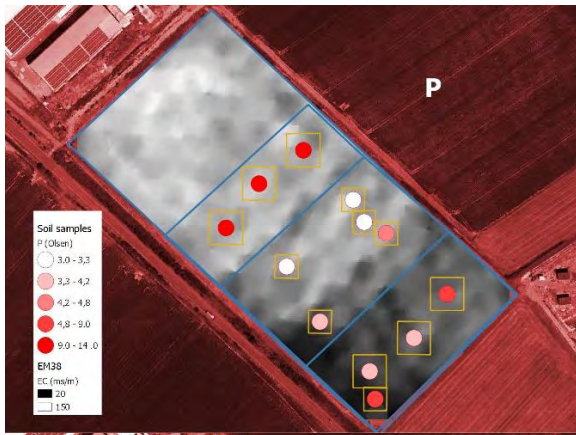
Αξιοσημείωτη όμως είναι και η υψηλή συγκέντρωση ανθρακικού ασβεστίου στα σημεία με χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα και υψηλό pH (ΑΚΑ2 και μισή ΑΚΑ1).

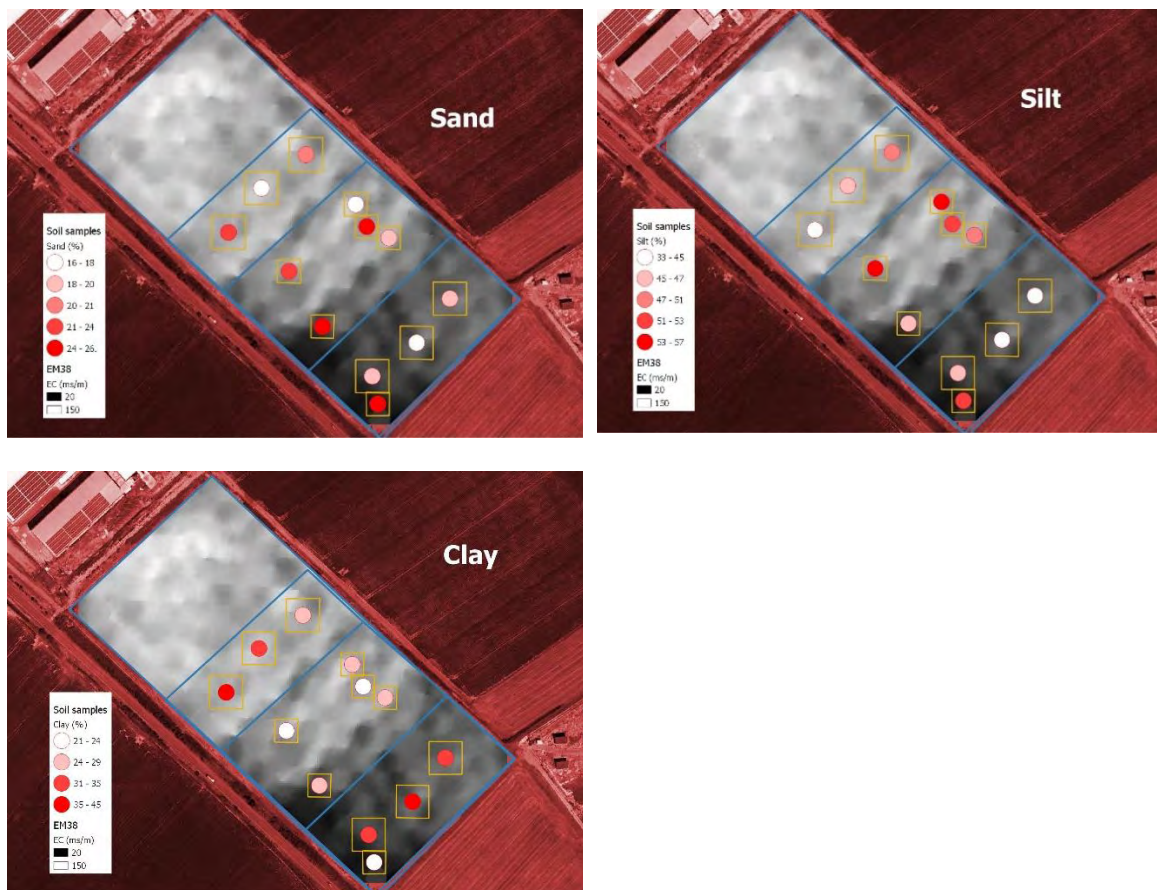
**Πίνακας 3.** Αποτελέσματα εδαφικών αναλύσεων

Όνομασία δείγματος	plot.4	plot.5	plot.6	plot.7	plot.8	plot.9	plot.10	plot.11	plot.1	plot.2	plot.3	plot.12
Μεταχείριση	SIM	SIM	SIM	ΑΚΑ-1	ΑΚΑ-1	ΑΚΑ-1	ΑΚΑ-1	ΑΚΑ-1	ΑΚΑ-2	ΑΚΑ-2	ΑΚΑ-2	ΑΚΑ-2
pH	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.5	8.6	8.5	8.7	8.4	8.8
EC (ms/cm)	3140	3520	3630	3230	3050	4390	1911	898	1061	920	1684	750
OM (%)	2.3	2.5	2.5	1.4	1.7	1.2	1.5	1.6	1.7	1.4	1.7	1.4
eq CaCO <sub>3</sub> (%)	12.3	13.9	13.4	16.1	13.7	14.8	19.6	18.9	18.5	21.2	16.5	23.3
P (Olsen) (mg/kg)	10.0	14.0	13.0	3.3	3.3	4.5	3.0	3.5	4.2	4.2	5.0	5.0
Total N (%)	0.14	0.16	0.19	0.11	0.11	0.11	0.09	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
NH <sub>4</sub> (mg/kg)	1.7	1.9	1.7	1.8	2.3	2.2	1.7	2.3	1.1	1.6	1.6	1.9
NO <sub>3</sub> NO <sub>2</sub> (mg/kg)	27	14	23	48	39	15	30	12	19	15	15	17
K <sup>+</sup> (cmol/kg)	0.8	0.88	0.83	0.59	0.52	0.64	0.56	0.65	0.51	0.54	0.54	0.59
Mg <sup>2+</sup> (cmol/kg)	4.2	4.2	5.0	10.0	14.0	13.0	3.3	3.3	4.5	3.0	3.5	5.0
Na <sup>+</sup> (cmol/kg)	4.2	4.2	5.0	10.0	14.0	13.0	3.3	3.3	4.5	3.0	3.5	5.0
ESP	44.7	42.3	46.1	44.4	44.6	47.6	41.6	29.8	34.0	30.8	40.6	26.1
sand (%)	22	18	21	16	26	20	22	24	20	18	20	24
silt (%)	33	47	51	55	53	51	57	47	47	39	45	53
clay (%)	45	35	29	29	21	29	21	29	33	43	35	23

Πολύ χαμηλή τιμή   Χαμηλή τιμή   Κανονική τιμή   Υψηλή τιμή   Πολύ υψηλή τιμή

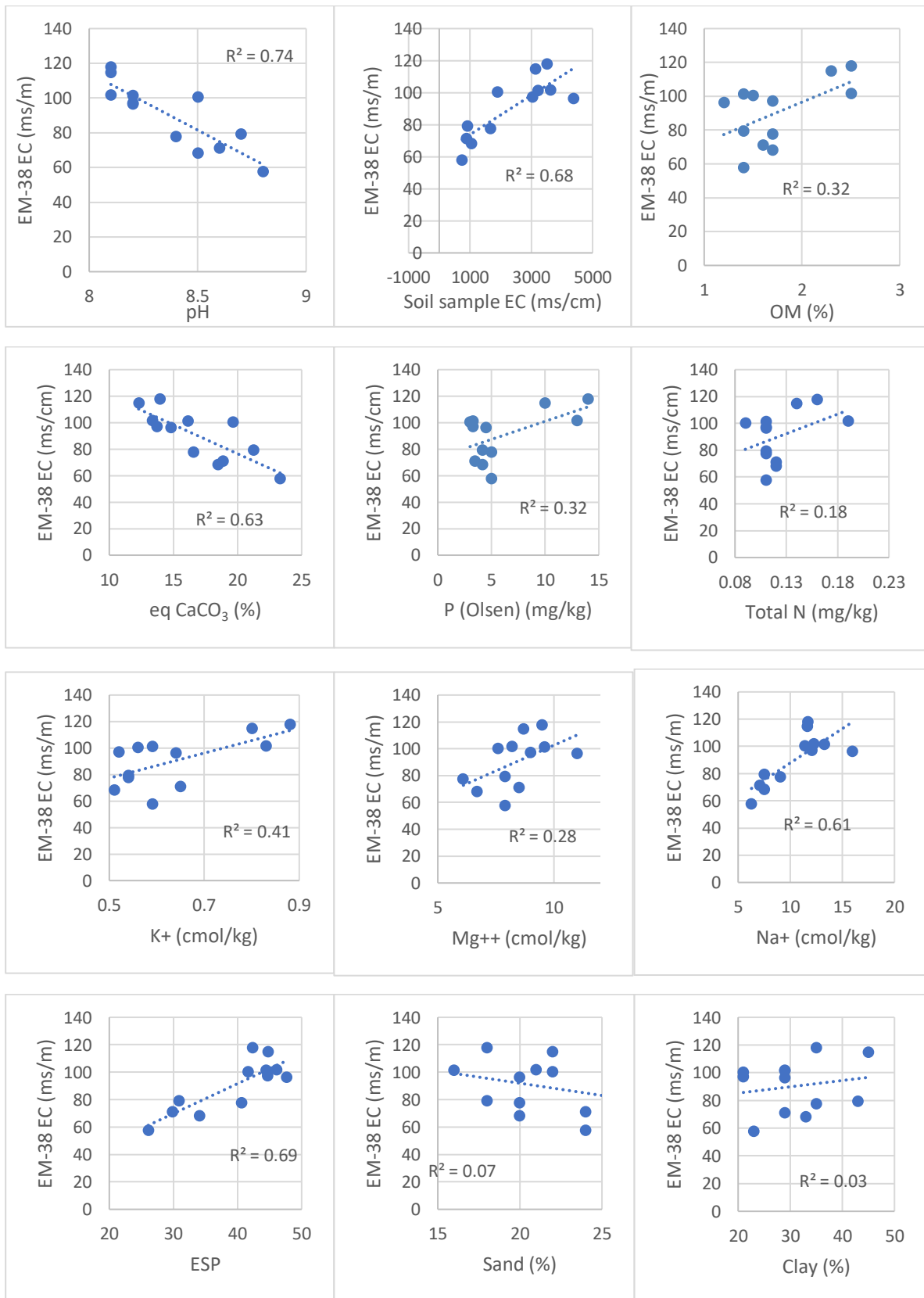






**Εικόνα 18.** Μηχανικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους στα σημεία δειγματοληψίας σε συνδυασμό με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους όπως μετρήθηκε με το όργανο EM-38 στα 12 plots (χάρτης υπόβαθρου).

Στο Σχήμα 7 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις των εδαφικών παραμέτρων με τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του οργάνου EM -38. Χαρακτηριστικές είναι οι ιδιαίτερα υψηλές αρνητικές συσχετίσεις των EC - pH και EC - CaCO<sub>3</sub> και οι ιδιαίτερα υψηλές θετικές συσχετίσεις των EC - K<sup>+</sup>, EC - Na<sup>+</sup> και EC - ESP. Ικανοποιητική συσχέτιση έχουν και οι τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας των εδαφικών αναλύσεων με τις τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μετρημένες με το όργανο EM -38.

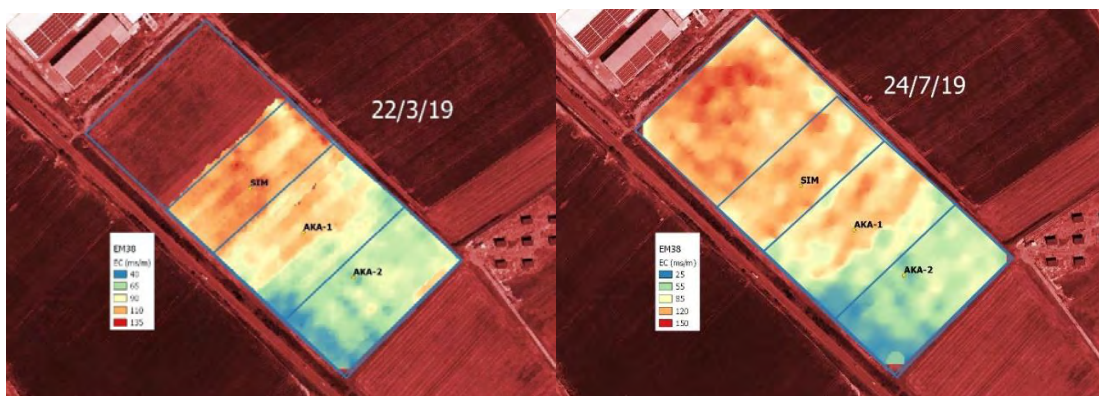


**Σχήμα 7.** Συσχετίσεις εδαφικών παραμέτρων από δειγματοληψία του εδάφους με μετρήσεις ηλεκτρικής αγωγιμότητας με το όργανο EM-38 (12 plots) .



### 3.2.1. Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους

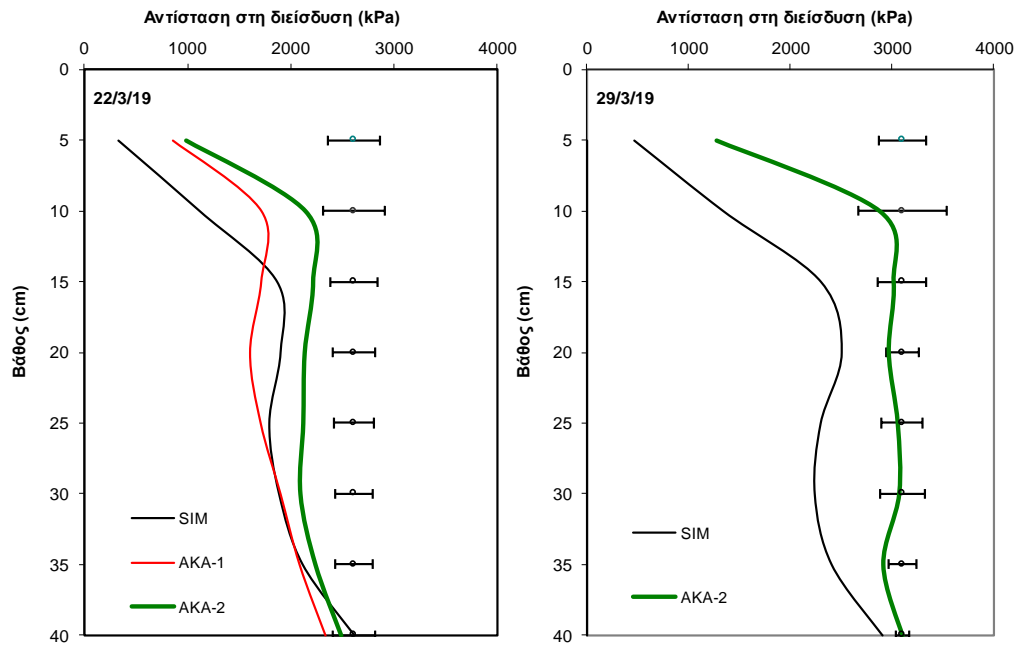
Το μοτίβο της ηλεκτρικής αγωγιμότητας δεν μεταβλήθηκε αισθητά στις δύο μετρήσεις, πράγμα το οποίο διαπιστώνεται από τη σύγκριση των χαρτών όπου αποτυπώνεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα EC των δύο ημερομηνιών (Εικόνα 19). Παρατηρείται πως η εν λόγω ιδιότητα εμφανίζεται με υψηλότερες τιμές στην SIM και στο μισό τμήμα της ΑΚΑ1 σε σχέση με την ΑΚΑ2 όπου οι τιμές της είναι χαμηλές. Το εύρος διακύμανσής της είναι ασυνήθιστα μεγάλο και εμφανίζει μεγάλη παραλλακτικότητα.



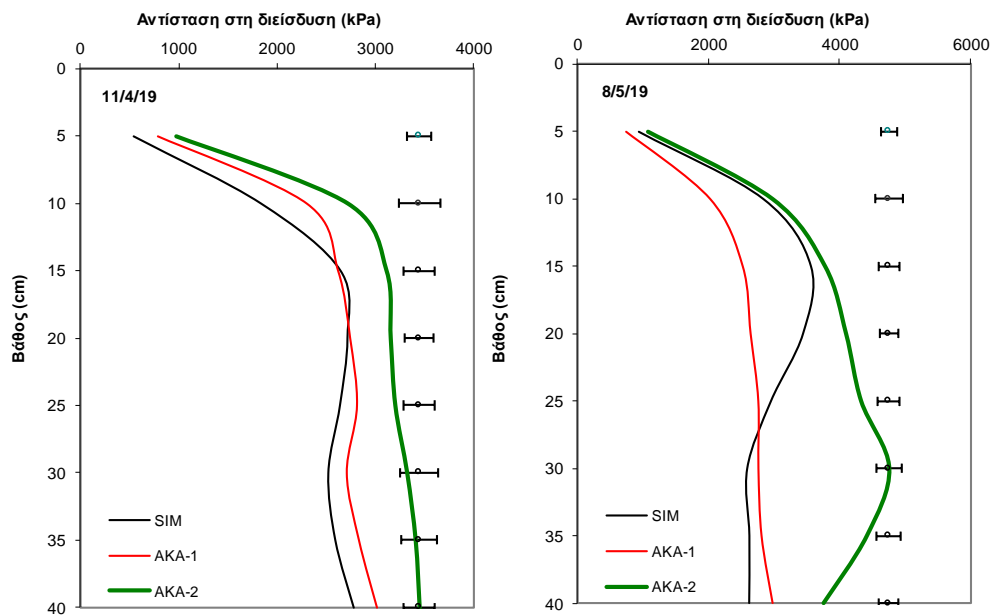
Εικόνα 19. Χάρτες της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους στις 22/3 και 24/7/19.

### 3.2.2. Αντίσταση στη διείσδυση

Στα Σχήματα 8 & 9 απεικονίζεται το προφίλ της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση με το βάθος για τέσσερις διαφορετικές ημερομηνίες δειγματοληψίας. Οι μετρήσεις αφορούν τα 6 plot (3 στη SIM και 3 στην ΑΚΑ2) και τα 5 σημεία δειγματοληψίας στην ΑΚΑ1. Στις 29/3/19 οι μετρήσεις στην ΑΚΑ1 λείπουν λόγω απώλειας των δεδομένων. Διαπιστώνεται ότι σε όλες τις μετρήσεις η ΑΚΑ2 παρουσιάζει αυξημένη αντίσταση στη διείσδυση γεγονός που υποδηλώνει αυξημένη συμπίκνωση. Μάλιστα η ΑΚΑ2 διαφέρει από την ΑΚΑ1 σε όλο το βάθος δειγματοληψίας.



**Σχήμα 8.** Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση στις 22/3 και 29/3/19 για τις τρεις μεταχειρίσεις. Οι οριζόντιες γραμμές υποδηλώνουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά LSD για P=0.05 (11 plots).



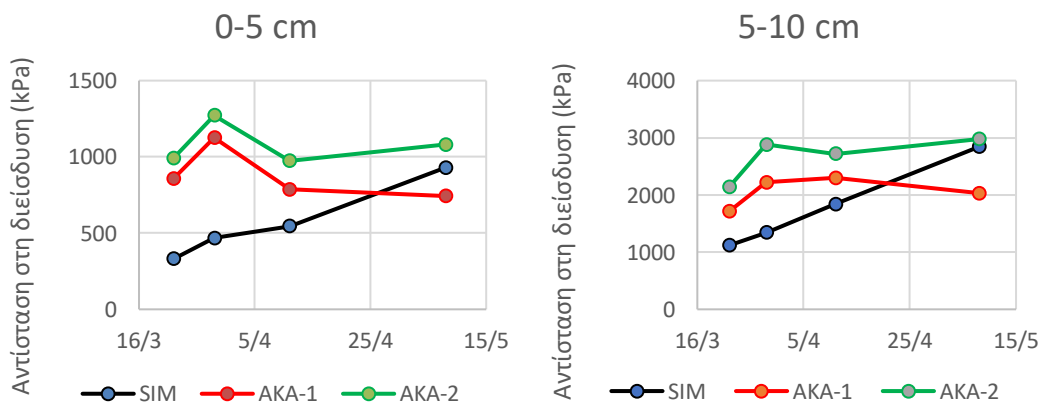
**Σχήμα 9.** Αντίσταση του εδάφους στη διείσδυση στις 11/4 και 8/5/19 για τις τρεις μεταχειρίσεις. Οι οριζόντιες γραμμές υποδηλώνουν την ελάχιστη σημαντική διαφορά LSD για P=0.05 (11 plots).

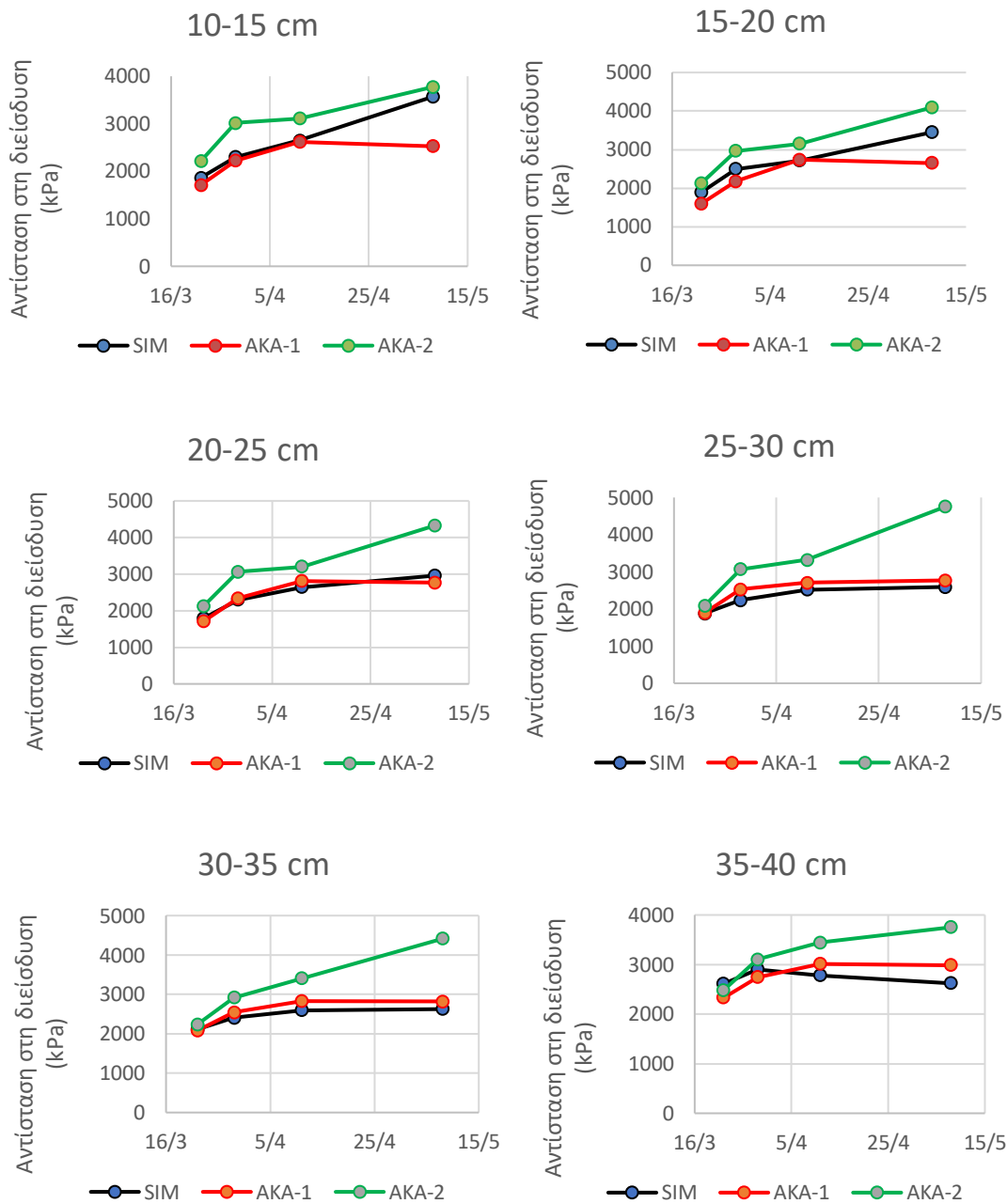
Η συμβατική κατεργασία (SIM) εμφανίζει τη χαμηλότερη συμπύκνωση προφανώς εξαιτίας της χαλαρωτικής επίδρασης των μηχανημάτων κατεργασίας. Παρότι η σπορά έγινε επίσης όψιμα, με υψηλή υγρασία, η χρήση μιας ελαφρύτερης σπαρτικής και η υπολειμματική επίδραση της κατεργασίας οδήγησαν σε ένα πιο χαλαρό έδαφος κυρίως μέχρι τα 15 εκατοστά. Από εκεί και πέρα όμως, η συμπύκνωση του εδάφους γίνεται ίση ή και υπερβαίνει την AKA1. Αυτό κατά πάσα πιθανότητα οφείλεται στη συμπίεση που

προκάλεσαν τα γεωργικά μηχανήματα κατά τη σπορά. Είναι γεγονός ότι η σπορά στην ΑΚΑ2 έγινε στις 6/12/18, 20 ημέρες αργότερα από την ΑΚΑ1 και αφού είχαν μεσολαβήσει βροχές που έκαναν το έδαφος πιο υγρό και πιο επιρρεπές στη συμπίεση. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το γεγονός ότι στην τελευταία μέτρηση, στις 8/5/19 η συμβατική κατεργασία εμφανίζει ιδιαίτερα υψηλή συμπύκνωση από τα 5 μέχρι τα 25 περίπου εκατοστά ενώ η συμπύκνωση της ΑΚΑ2 εκτοξεύεται στα 30 cm.

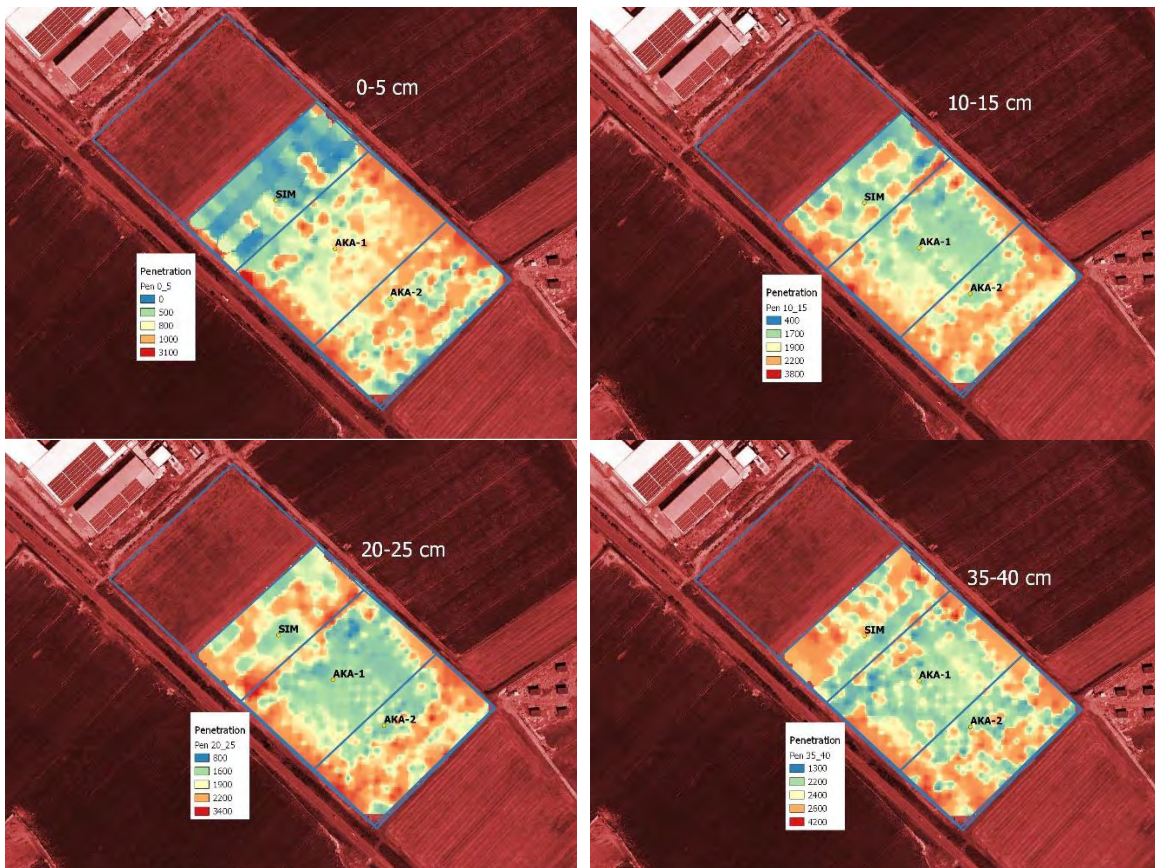
Στην Εικόνα 20 απεικονίζεται η χωρική παραλλακτικότητα της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση στον αγρό, για τις τρεις μεταχειρίσεις και για 4 ενδεικτικά βάθη (0-5 cm, 10-15 cm, 20-25 cm και 35-40 cm) του ριζοστρώματος. Οι χάρτες προέκυψαν από την καθολική σάρωση του αγρού στις 22/3. Όπως φαίνεται και στους χάρτες, είναι εμφανής η αυξημένη συμπίεση του εδάφους στα όρια του αγρού (κεφαλάρια) εξαιτίας της κίνησης των μηχανημάτων. Διακρίνεται επίσης η συμπίεση που προκλήθηκε στην ΑΚΑ2 τη στιγμή που η ΑΚΑ1 εμφανίζεται λιγότερο συμπιεσμένη μετά τα 10 cm βάθους. Τέλος, κάτω από το βάθος κατεργασίας (περίπου 25 cm) ανιχνεύεται σκληρός εδαφικός ορίζοντας στη συμβατική κατεργασία SIM.

Στο Σχήμα 10 παρουσιάζεται η χρονική εξέλιξη της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση ανά 5 cm βάθους. Και πάλι παρατηρείται η χαρακτηριστική αύξηση της συμπίεσης στη συμβατική κατεργασία προς το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, για τα πρώτα εκατοστά βάθους (βάθος οργώματος).





**Σχήμα 10.** Διαχρονική εξέλιξη της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση για διαφορετικά βάθη στις τρεις μεταχειρίσεις (καθολική σάρωση).

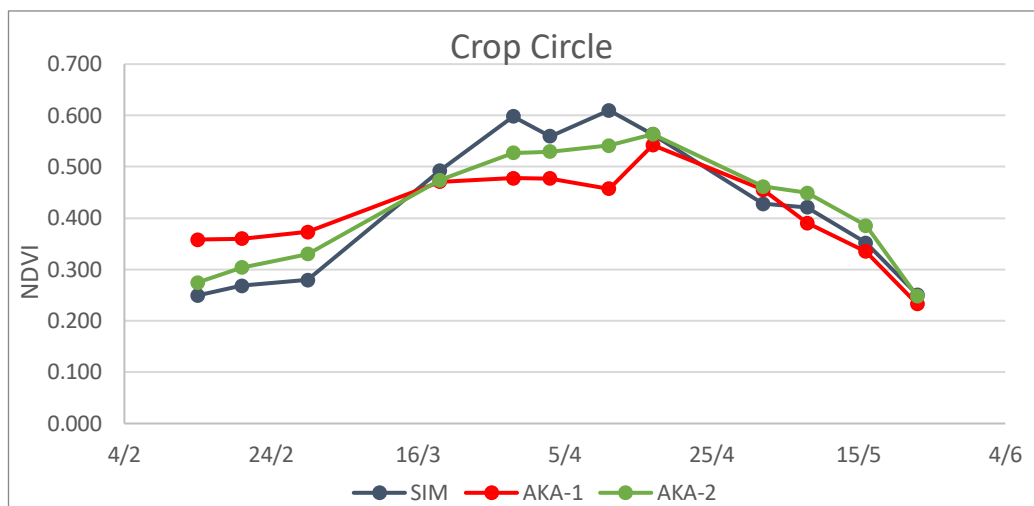


**Εικόνα 20.** Χάρτες της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση για τέσσερα επιλεγμένα βάθη του ριζοστρώματος. Μετρήσεις της 22/3/19.

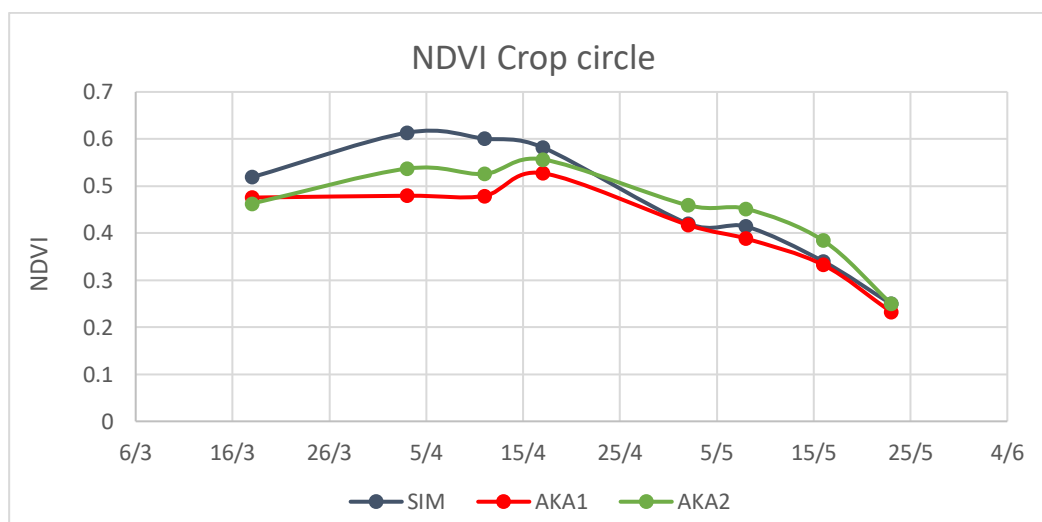
### 3.3. Δείκτες βλάστησης

#### 3.3.1. NDVI από ενεργό αισθητήρα

Στο Σχήμα 11 αποτυπώνεται η εξέλιξη του NDVI (μέσοι όροι μετρήσεων κάθε μεταχείρισης) όπως αυτή μετρήθηκε στα προσημειωμένα plots της SIM, AKA2 και AKA1 (Εικόνα 5). Μέχρι τα μέσα του Μαρτίου επιβεβαιώνεται και πάλι η υπεροχή της AKA1 εξαιτίας της πρωιμότερης σποράς. Μετά τα μέσα του Μαρτίου όμως υπερτερεί η SIM και διαπιστώνεται μια σαφής επιβράδυνση για την AKA1 εξαιτίας της υδατικής καταπόνησης που αναφέρθηκε προηγουμένως (αναπτυξιακά στάδια 3.1). Η καταπόνηση αυτή συνεχίζεται μέχρι τις 10 Απριλίου όπου παρατηρείται μια σημαντική ανάκαμψη με την εμφάνιση των βροχοπτώσεων. Αντίθετα όμως με την AKA1, η AKA2 δεν εμφανίζει σημάδια καταπόνησης. Αξιοσημείωτη είναι μια παροδική πτώση του NDVI στη SIM περίπου στις 5 Απριλίου καθώς και η τελική υπεροχή της AKA2 από τις 20/4 περίπου (ανθοφορία) και μέχρι τη συγκομιδή.



**Σχήμα 11.** Εποχική διακύμανση του δείκτη βλάστησης NDVI από τον ενεργό αισθητήρα Crop Circle για τις τρεις μεταχειρίσεις από μετρήσεις στα 12 plots.



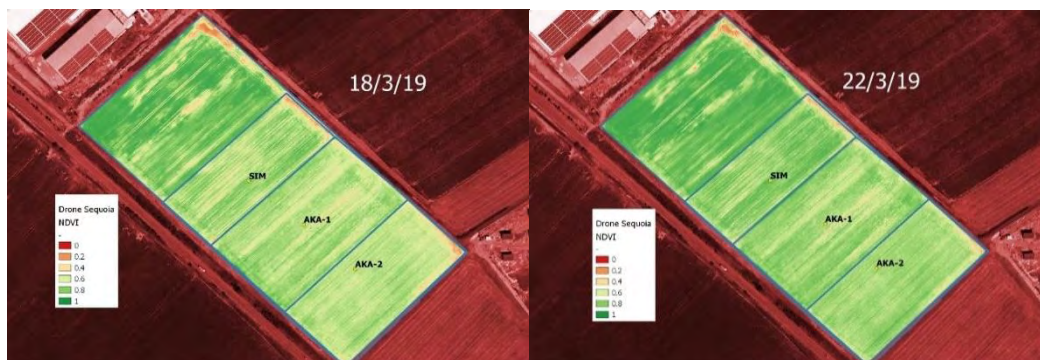
**Σχήμα 12.** Εποχική διακύμανση του δείκτη βλάστησης NDVI από τον ενεργό αισθητήρα Crop Circle για τις τρεις μεταχειρίσεις από μετρήσεις που έγιναν σε ολόκληρο το χωράφι.

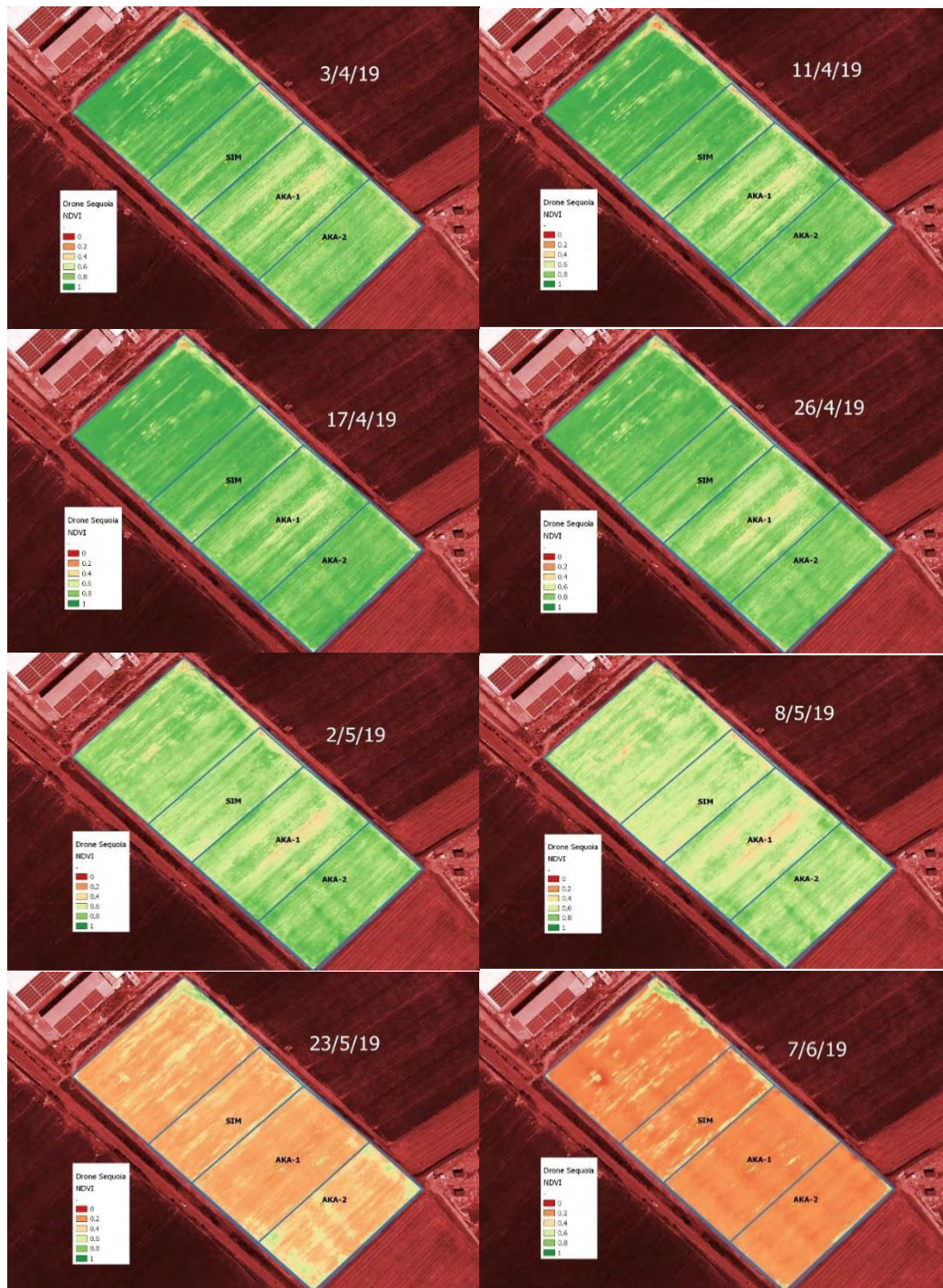
Στο Σχήμα 12 φαίνεται η εποχική διακύμανση των μέσων όρων των μετρήσεων του NDVI (ενεργού αισθητήρα) για τις τρεις μεταχειρίσεις, από τις 18/3 και έπειτα που οι μετρήσεις ξεκίνησαν να γίνονται σε όλο το αγροτεμάχιο. Η εικόνα του δε διαφέρει ουσιαστικά από το αντίστοιχο διάγραμμα των στοχευμένων μετρήσεων (Σχήμα 11). Και στα δύο διαγράμματα, οι μέγιστες τιμές εμφανίζονται κατά το βλαστικό στάδιο των φυτών. Η ΑΚΑ2 και σε αυτή την περίπτωση φαίνεται να υπερέχει από τις 20/4 (ανθοφορία) περίπου και μέχρι τη συγκομιδή.

### 3.3.2. Δεδομένα από drone

Η Εικόνα 21 παρουσιάζει χάρτες του δείκτη NDVI που προέκυψαν από τις εικόνες με την πολυφασματική κάμερα Sequoia του drone Parrot Bluegrass. Αφορούν το διάστημα από τις 18/3/19 έως τις 7/6/19. Αντίστοιχοι χάρτες προέκυψαν για το δείκτη NDRE και το δείκτη VARI (δεν παρουσιάζονται για εξοικονόμηση χώρου). Στο Σχήμα 13 παρουσιάζονται οι μέσοι όροι του NDVI, NDRE και VARI για την κάθε μεταχείριση ξεχωριστά και η εποχική τους διακύμανση. Αυτό που προκύπτει από την Εικόνα 21 και το Σχήμα 13 είναι πως η συμβατική κατεργασία υπερτερεί σε σχέση με τις άλλες δύο έως τις 26/4/19 (ανθοφορία) ενώ από εκεί και έπειτα και μέχρι τη συγκομιδή προηγείται η ΑΚΑ2. Η ΑΚΑ1 εμφανίζει σημαντικά μικρότερες τιμές το διάστημα 22/3 με 8/5/19. Δεν αποτυπώνεται όμως το διάστημα πριν από τις 18/3 όπου η ΑΚΑ1 υπερτερούσε σημαντικά των άλλων δύο. Ένα σημαντικό πρόβλημα στην ΑΚΑ1 ήταν οι δύο ζώνες χαμηλής βλάστησης που διακρίνονται στην Εικόνα 21.

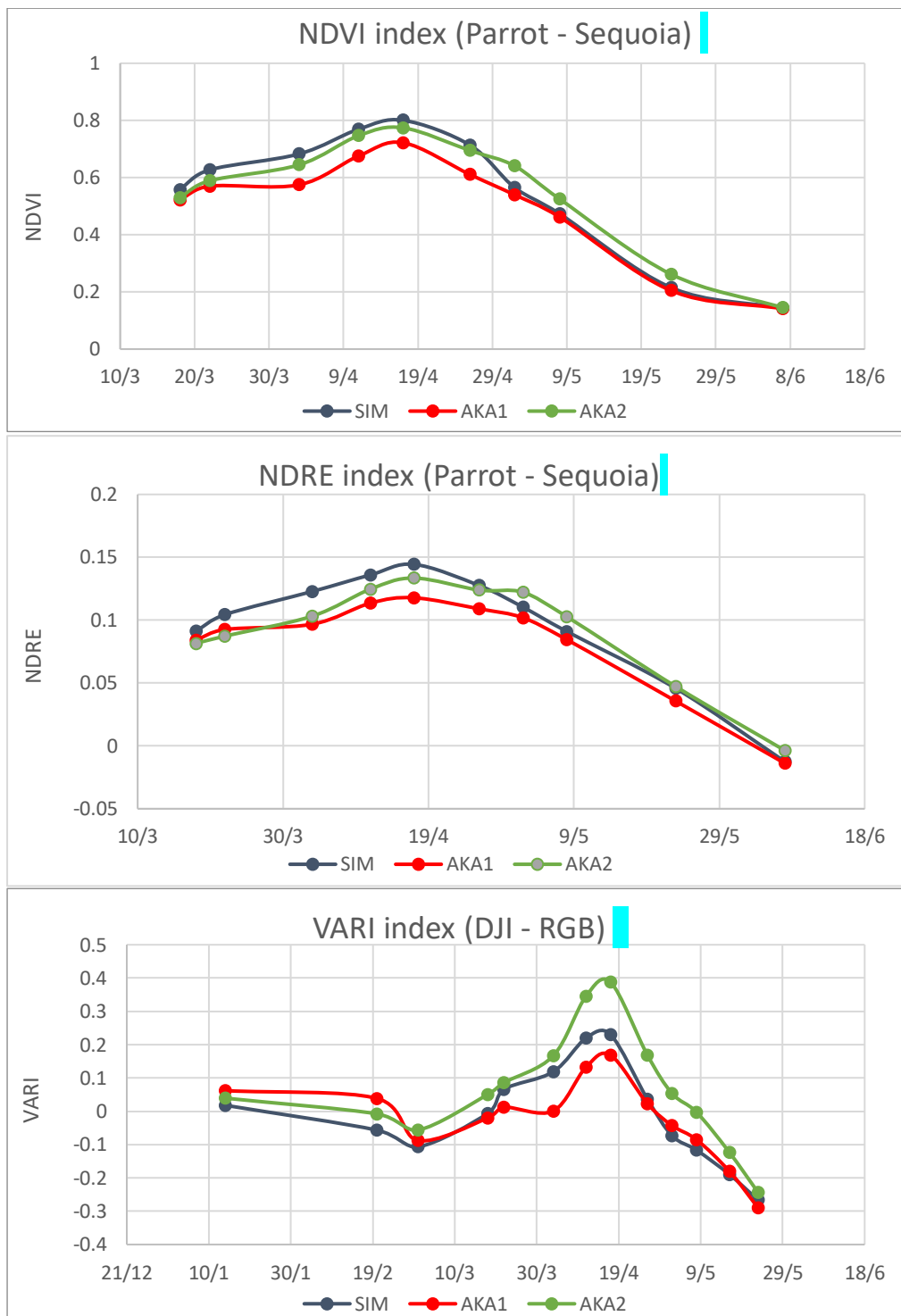
Εξετάζοντας τη χρονική διακύμανση των δεικτών βλάστησης παρατηρείται πως η μεταβολή τους ακολουθεί τα αναπτυξιακά στάδια του σιταριού. Και οι τρεις δείκτες εμφανίζουν μέγιστη τιμή κατά το στάδιο της έκπτυξης στάχυ και σταδιακά η τιμή μειώνεται καθώς το φυτό ωριμάζει και κιτρινίζει. Αξιοσημείωτη παρατήρηση αποτελεί πως οι δείκτες NDVI και NDRE από την πολυφασματική κάμερα Sequoia παρουσιάζουν τη συμβατική κατεργασία ως την πιο ανεπτυγμένη μέχρι τις 26/4 και μετά τη θέση της παίρνει η ΑΚΑ2 (για λόγους που αναφέρθηκαν), ενώ ο δείκτης VARI από την RGB κάμερα δείχνει την ΑΚΑ2 να προπορεύεται από πολύ νωρίτερα, συγκεκριμένα από τη 1/3 έως τη συγκομιδή και μάλιστα με πολύ μεγάλη διαφορά.





Εικόνα 21. NDVI από την πολυφασματική κάμερα Sequoia του drone Parrot Bluegrass.



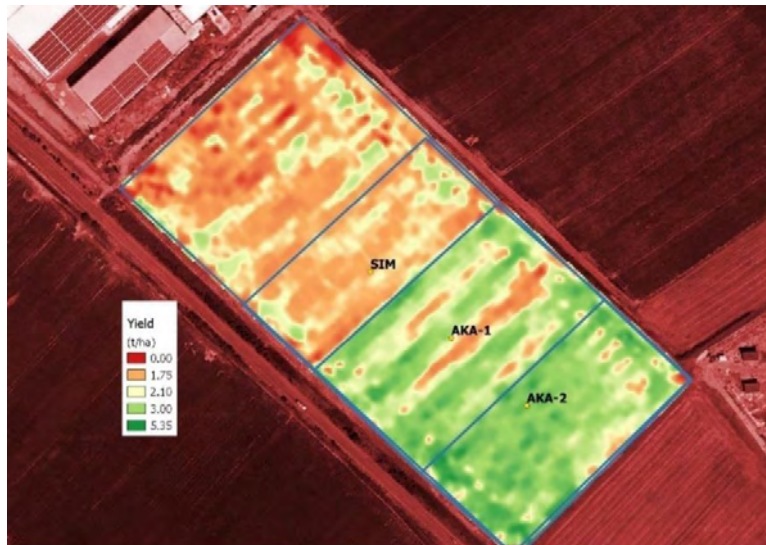


**Σχήμα 13.** Εποχική διακύμανση των δεικτών βλάστησης από δεδομένα drone για τις διαφορετικές μεταχειρίσεις.

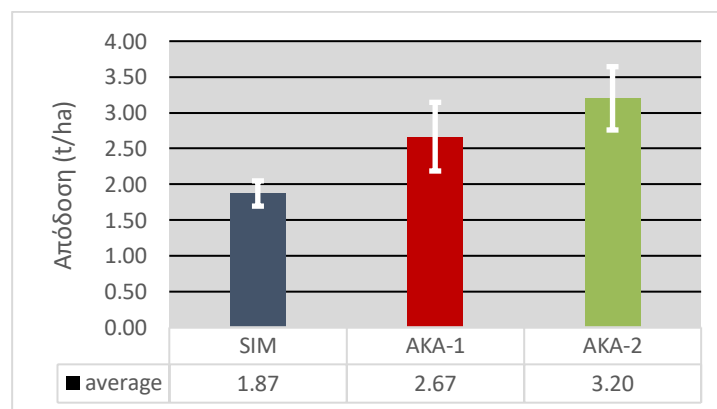
### 3.4. Απόδοση και ποιοτικά χαρακτηριστικά σπόρου

Στην Εικόνα 22 αποτυπώνεται ο χάρτης της παραγωγής έπειτα από καθαρισμό των σφαλμάτων μέτρησης της θεριζοαλωνιστικής και παρεμβολή μεταξύ των σημείων δειγματοληψίας. Στο Σχήμα 14 φαίνεται η μέση απόδοση για τις τρεις μεταχειρίσεις. Από τα γραφήματα προκύπτει

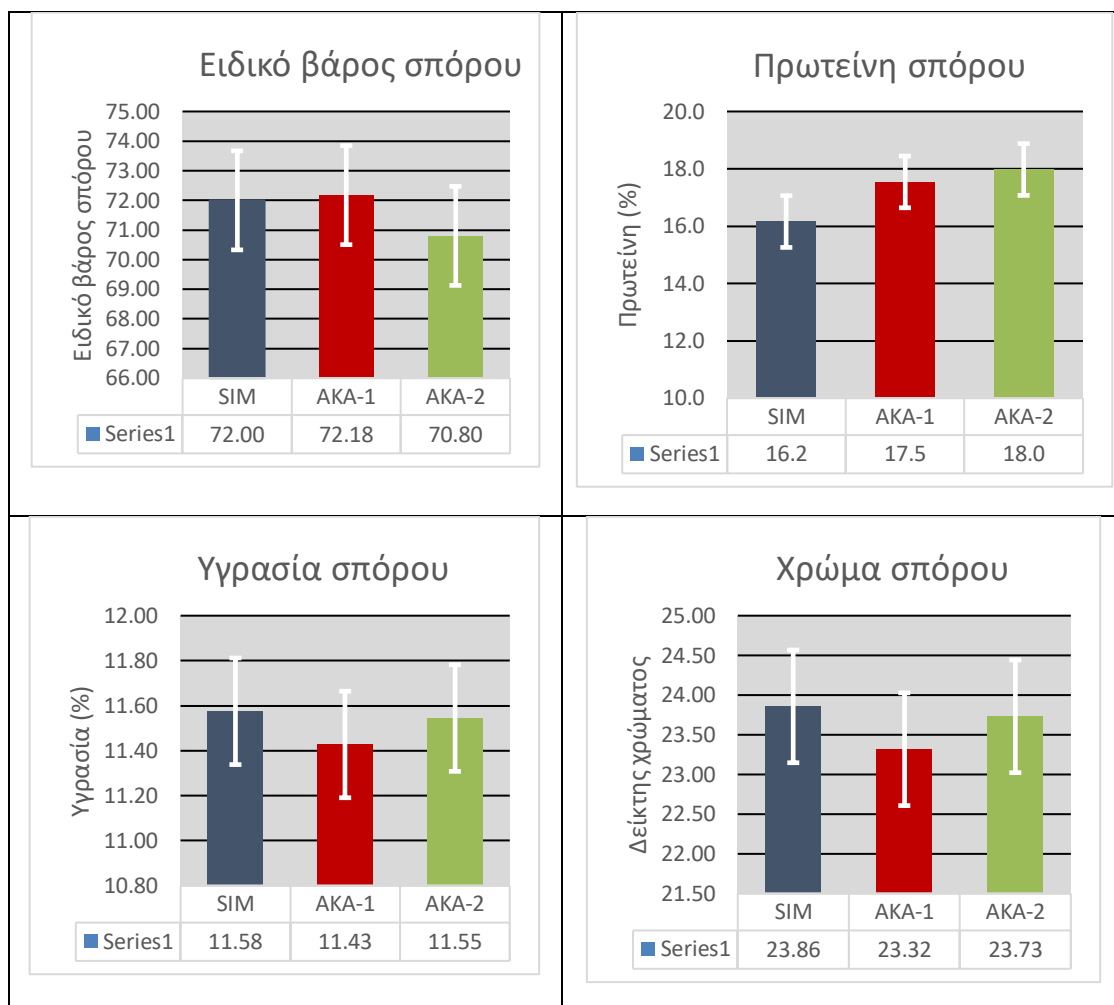
πως η μέθοδος της ακατεργασίας με όψιμη σπορά (ΑΚΑ2) έδωσε τη μεγαλύτερη παραγωγή με 3.20 t/ha ακολουθούμενη από την πρώιμη ακατεργασία (ΑΚΑ1) με 2.67 t/ha και τελευταία τη συμβατική μεταχείριση (SIM) με 1.87 t/ha. Σε σχέση με τη SIM, η ΑΚΑ1 έδωσε 42.4% υψηλότερη παραγωγή και η ΑΚΑ2 71.1% υψηλότερη. Στο χάρτη της παραγωγής είναι ξεκάθαρη η πτώση της απόδοσης κατά τη μετάβαση από την ακατεργασία στη συμβατική μέθοδο.



**Εικόνα 22.** Χάρτης της παραγωγής μετά από διόρθωση και γραμμική παρεμβολή.



**Σχήμα 14.** Σύγκριση της μέσης παραγωγής στα τρία πειραματικά τεμάχια.



**Σχήμα 15.** Ποιοτικά χαρακτηριστικά του σπόρου κατά τη συγκομιδή

Στο Σχήμα 15 απεικονίζονται τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του σπόρου. Η ΑΚΑ2 εμφάνισε ελαφρώς μικρότερο ειδικό βάρος σπόρου (μη στατιστικά σημαντικές διαφορές) αλλά σε σύγκριση με τη συμβατική κατεργασία (SIM), σημαντικά υψηλότερη πρωτεΐνη. Ενδιάμεσα επίπεδα πρωτεΐνης σημειώθηκαν στην ΑΚΑ1. Γενικά οι πρωτεΐνες κρίνονται υψηλές ενώ το μέσο βάρος του σπόρου είναι χαμηλό. Τέλος, δε διαπιστώθηκαν διαφορές μεταξύ των μεταχειρίσεων όσον αφορά την υγρασία και το χρώμα του σπόρου.

### 3.5. Συσχετίσεις

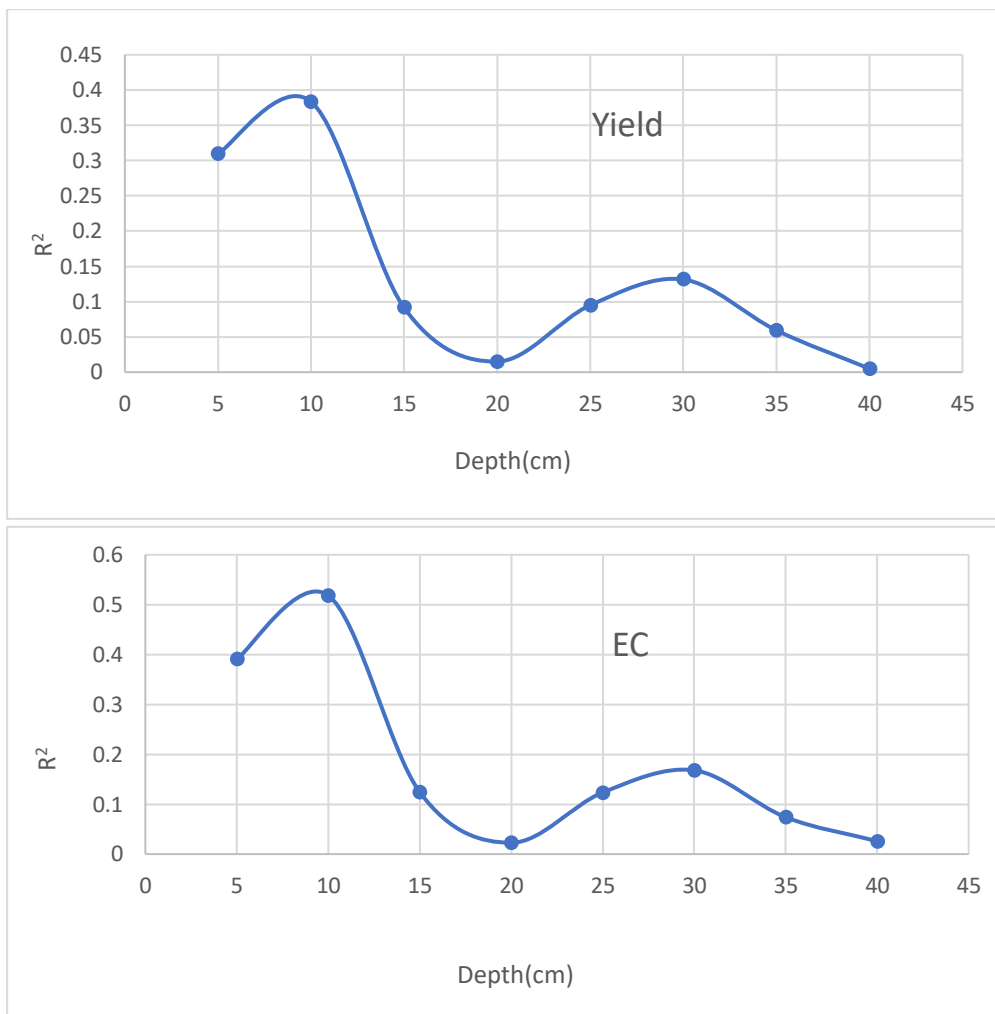
#### 3.5.1. Έδαφος - παραγωγή

Για τη διερεύνηση της επίδρασης του εδάφους στην παραγωγή έγινε δειγματοληψία στα 12 plots που μετρήθηκαν οι φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους (Εικόνα 5). Εν συνεχεία έγιναν συσχετίσεις μεταξύ των εδαφικών παραμέτρων και της παραγωγής στα αντίστοιχα

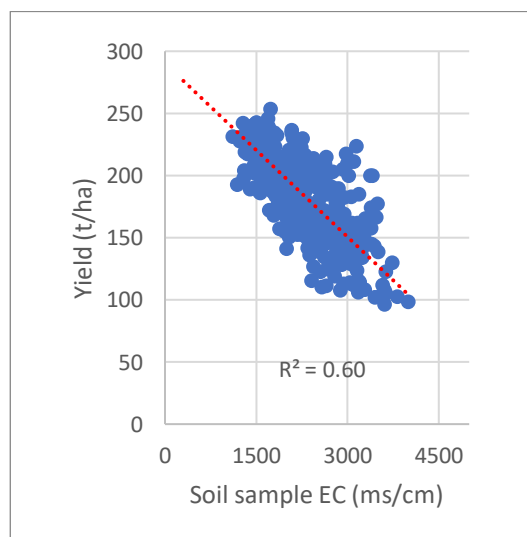
σημεία, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στο Σχήμα 18. Όπως διαπιστώνεται, οι παράμετροι που είχαν σημαντική επίδραση στην παραγωγή ήταν το pH ( $r^2=0.79$ ), η ηλεκτρική αγωγιμότητα ( $r^2 = 0.84$ ), το ανθρακικό ασβέστιο ( $r^2 = 0.69$ ) και η συγκέντρωση νατρίου ( $r^2 = 0.84$ ) και ιδίως ο βαθμός αλκαλίωσης ESP ( $r^2 = 0.80$ ). Η επίδραση του pH και του ανθρακικού ασβεστίου ήταν θετική ενώ η επίδραση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας, του νατρίου και της αλκαλίωσης αρνητική. Εκτός των άλλων, υπάρχει μεγάλη οπτική συσχέτιση μεταξύ του χάρτη της παραγωγής και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας.

Στο Σχήμα 19 απεικονίζεται η μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης  $r$  της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση με την απόδοση της καλλιέργειας και με εδαφικές παραμέτρους για τα 12 plots δειγματοληψίας. Διαπιστώθηκαν σημαντικές συσχετίσεις. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 19 a, η αυξημένη αντίσταση στη διείσδυση επέδρασε θετικά στην απόδοση της καλλιέργειας γεγονός που αντίκειται με τα ευρήματα στην βιβλιογραφία. Η υψηλότερη συσχέτιση βρέθηκε στα 10 και τα 30 cm. Στα Σχήματα 19 b και 19 c φαίνεται ότι η αντίσταση στη διείσδυση σχετίζεται αρνητικά με την ηλεκτρική αγωγιμότητα EC του εδάφους και το βαθμό αλκαλίωσης ESP με τις υψηλότερες τιμές  $r$  πάλι στα 10 και 30 cm. Αξιοσημείωτη είναι επίσης η συσχέτιση της οργανικής ουσίας του εδάφους με την αντίσταση στη διείσδυση (Σχήμα 19 d) όπου διαπιστώνεται μια ισχυρά αρνητική συσχέτιση στην ανώτερη επιφάνεια του εδάφους (0-10 cm) γεγονός που πιθανώς σχετίζεται με τη συσσώρευση οργανικής ύλης στη μέθοδο της ακατεργασίας.

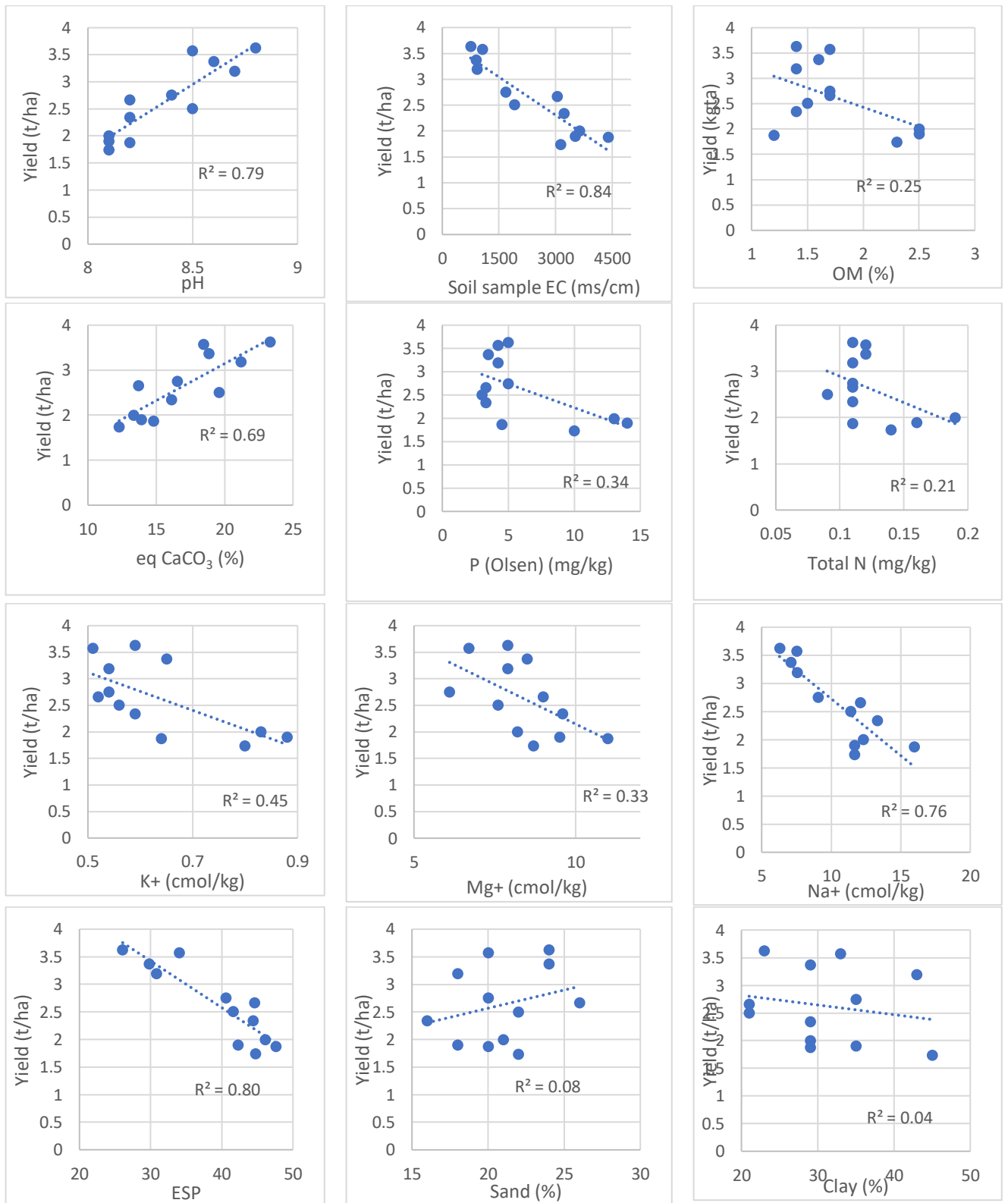
Όταν οι συσχετίσεις περιλαμβάνουν τιμές από ολόκληρο το πειραματικό τεμάχιο, τότε η γενική εικόνα αλλάζει και είτε δεν παρατηρούνται πια συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων ή οι συσχετίσεις γίνονται πολύ μικρότερες. Συγκεκριμένα, δεν παρατηρείται συσχέτιση μεταξύ της αντίστασης στη διείσδυση του εδάφους και της παραγωγής (Σχήμα 16), ενώ μεταξύ της αντίστασης στη διείσδυση και της EC παρατηρείται συσχέτιση μόνο στο βάθος 10 cm. Η συσχέτιση μεταξύ της παραγωγής και της EC μειώνεται, με το  $R^2$  να γίνεται ίσο με 0.6 (Σχήμα 17).



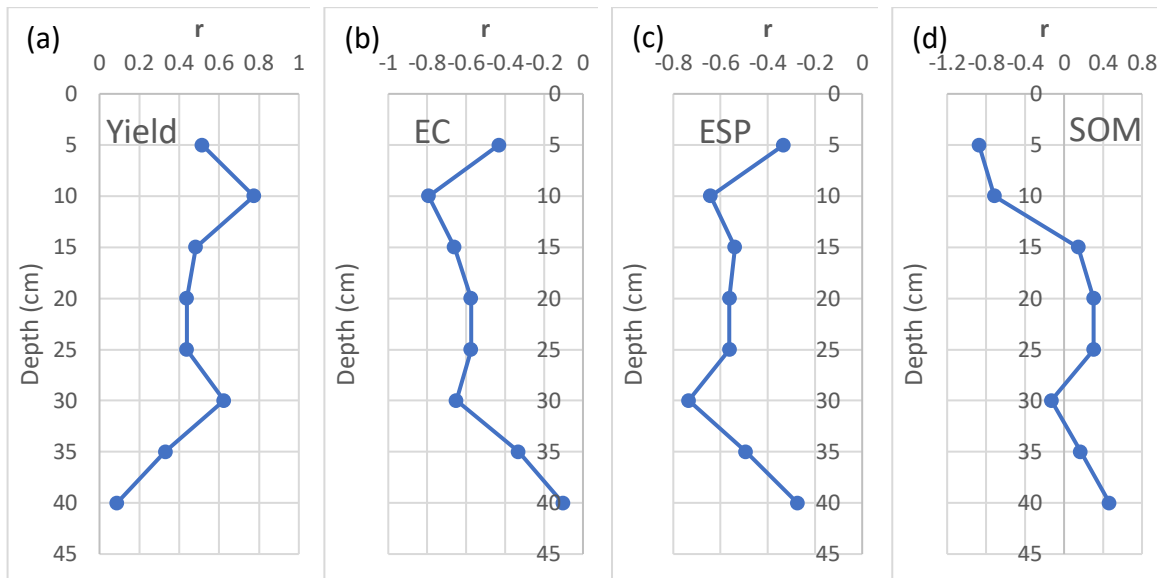
**Σχήμα 16.** Μεταβολή του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση με την απόδοση της καλλιέργειας και την EC από δειγματοληψία ολόκληρου του χωραφιού.



**Σχήμα 17.** Συσχέτιση παραγωγής και EC (EM-38) από δειγματοληψία ολόκληρου του χωραφιού.



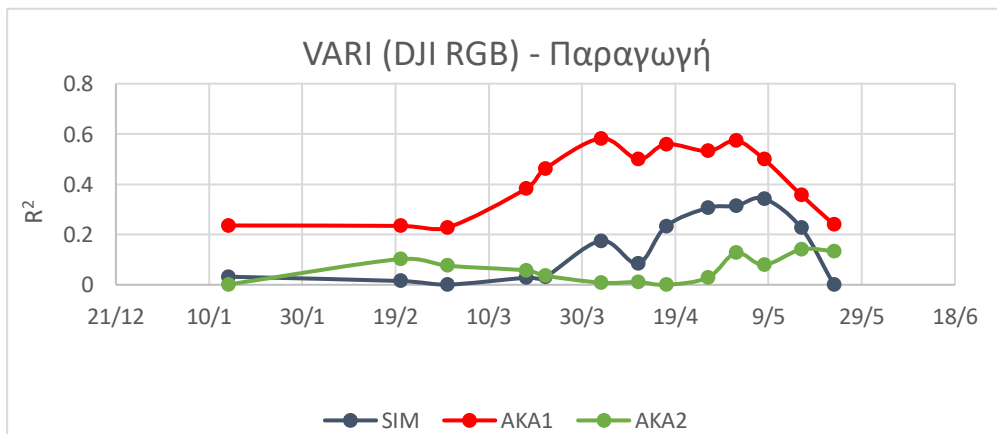
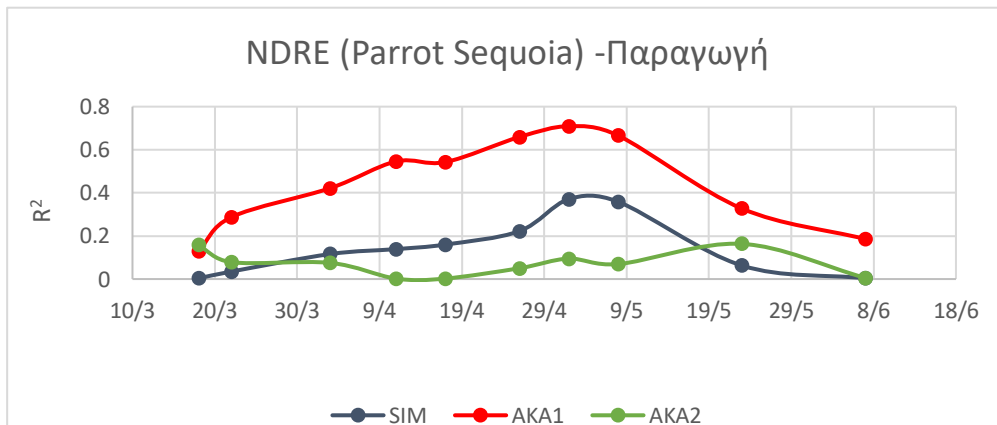
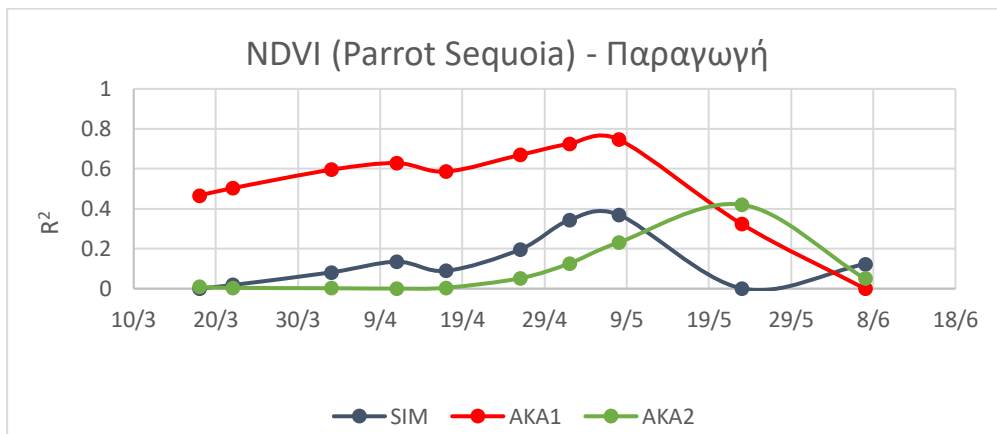
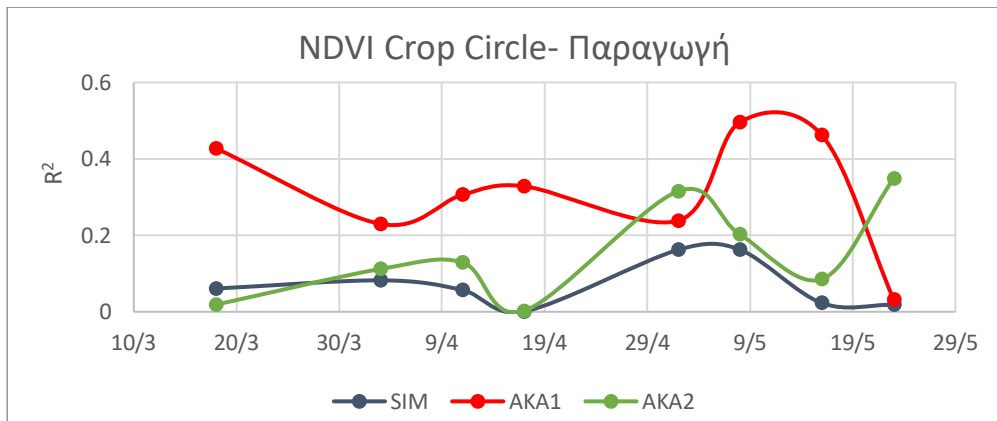
**Σχήμα 18.** Συσχετίσεις εδαφικών παραμέτρων με την τελική παραγωγή (12 plots).



**Σχήμα 19.** Μεταβολή του συντελεστή συσχέτισης  $r$  της αντίστασης του εδάφους στη διείσδυση με την απόδοση της καλλιέργειας και διάφορες εδαφικές παραμέτρους (12 plots).

### 3.5.2. Δείκτες βλάστησης - Παραγωγή

Από το Σχήμα 20 διαπιστώνεται πως από τις τρεις μεταχειρίσεις μόνο η ΑΚΑ1 παρουσιάζει συσχετίσεις ανάμεσα στην παραγωγή και στους δείκτες βλάστησης. Ο δείκτης NDVI του Crop Circle εμφάνισε συσχέτιση με την παραγωγή στην ΑΚΑ1 με πολύ πιο μικρή χρονική διάρκεια από τους δείκτες του drone, συγκεκριμένα από τις 9/5 έως περίπου τις 14/5 όπου τα φυτά διένυσαν το στάδιο γάλακτος καρπού και την αρχή της δημιουργίας ζύμης καρπού. Οι υπόλοιποι δείκτες εμφάνισαν συσχετίσεις με την παραγωγή σχεδόν καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου (εκτός των πολύ αρχικών και τελικών σταδίων). Ο NDVI του Parrot εμφάνισε την υψηλότερη συσχέτιση με την παραγωγή κατά το στάδιο γάλακτος καρπού, ο NDRE κατά την ανθοφορία και ο VARI κατά το στάδιο επιμήκυνσης του βλαστού-φούσκωμα κολεού και κατά την ανθοφορία.

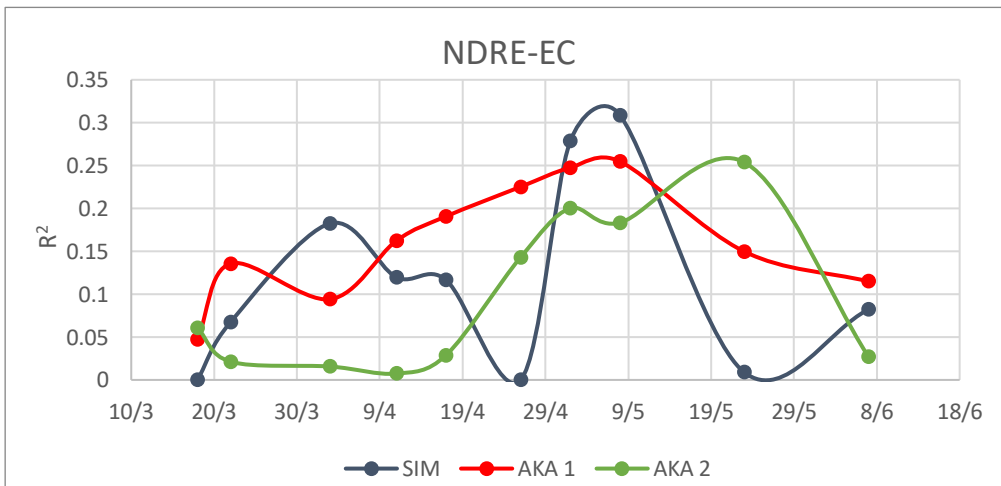
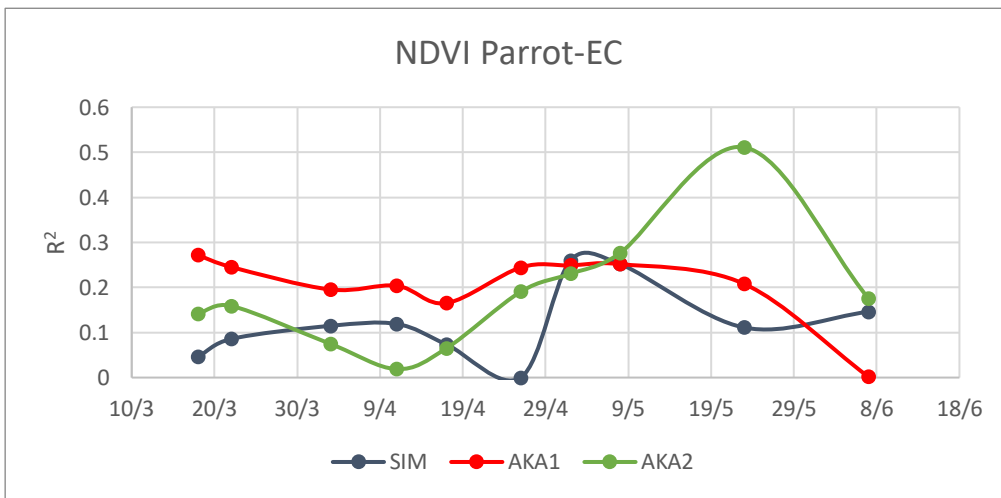
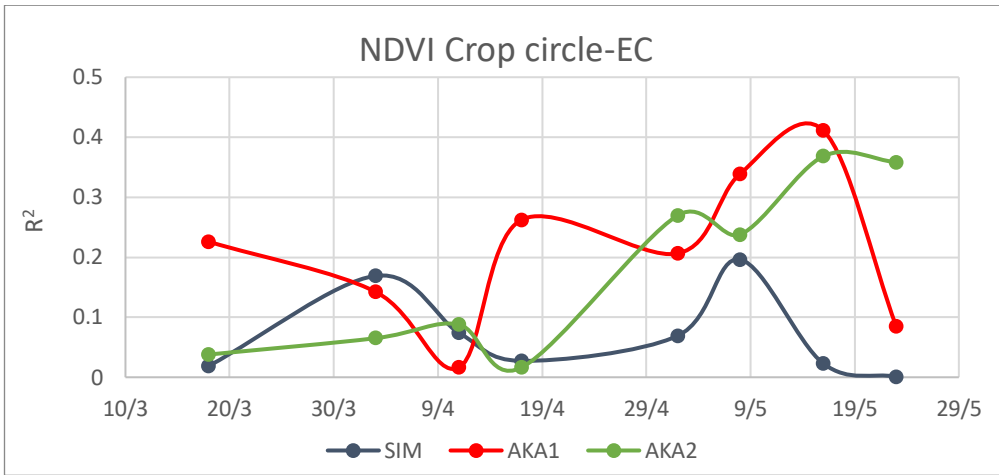


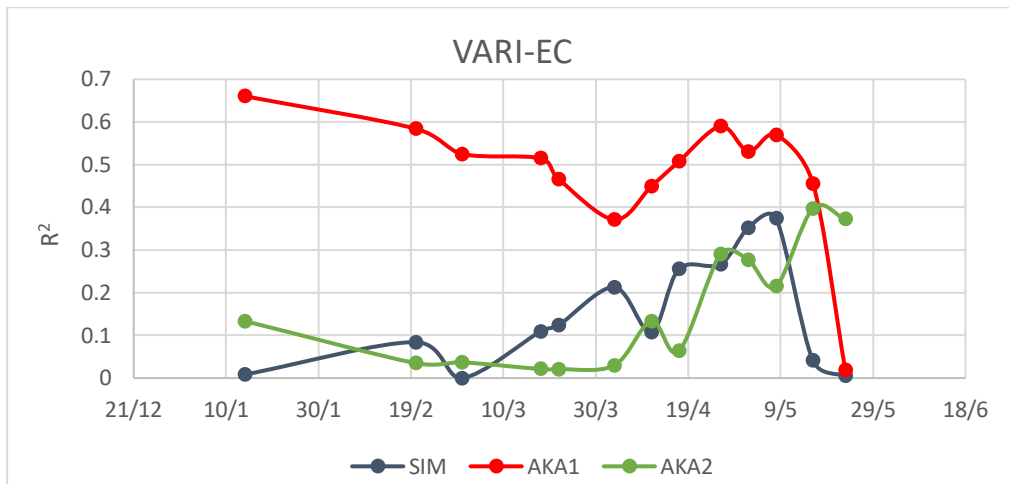


**Σχήμα 20.** Χρονική μεταβολή των συντελεστών προσδιορισμού  $R^2$  που προέκυψε από τις συσχετίσεις των δεικτών βλάστησης με την παραγωγή.

### **3.5.3. Δείκτες βλάστησης – Ηλεκτρική αγωγιμότητα εδάφους**

Όπως φαίνεται από το Σχήμα 21 παρουσιάστηκαν σημαντικές συσχετίσεις της ηλεκτρικής αγωγιμότητας με το δείκτη VARI και το δείκτη NDVI από το drone. Ο δείκτης VARI παρουσίασε σημαντική συσχέτιση από τα στάδια του αδελφώματος έως την εμφάνιση του πρώτου κόμβου (επιμήκυνση βλαστού) και αργότερα στο τέλος της έκπτυξης στάχυ, σε όλη την ανθοφορία έως την αρχή του σταδίου γάλακτος. Η περίοδος που μειώθηκε η συσχέτιση ήταν από τις 22/3 έως τις 17/4, την περίοδο δηλαδή των συχνών βροχοπτώσεων. Ο δείκτης NDVI από το drone Parrot εμφάνισε συσχέτιση μόνο στις 23/5 και μάλιστα στην ΑΚΑ2. Στις 23/5 σημειώθηκαν βροχοπτώσεις. Για τους άλλους δύο δείκτες (NDVI από το Crop Circle και NDRE από το Parrot) δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές συσχετίσεις με την ηλεκτρική αγωγιμότητα

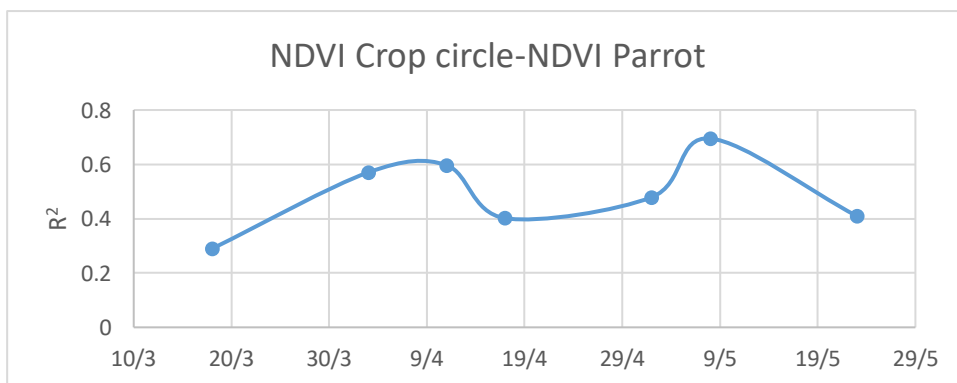




**Σχήμα 21.** Χρονική μεταβολή των συντελεστών προσδιορισμού  $R^2$  που προέκυψε από τις συσχετίσεις των δεικτών βλάστησης με την EC.

### 3.5.4. Δείκτες βλάστησης. Επίγειοι - υπέργειοι αισθητήρες

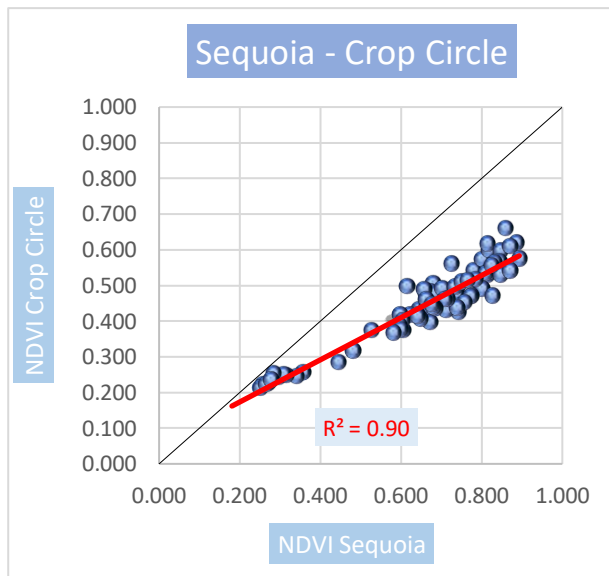
Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ένας από τους στόχους που μετρήθηκε η ανακλαστικότητα του θόλου της καλλιέργειας με τον επίγειο αισθητήρα του Crop Circle, ήταν να εξακριβωθεί η ποιότητα των τηλεσκοπικών εικόνων από το drone, δεδομένου ότι η λήψη εικόνων από drone εμπεριέχει προβλήματα ραδιομετρικής διόρθωσης των εικόνων που προκύπτουν από τη θέση του ηλίου, τη γωνία λήψης της κάμερας και τις αλλοιώσεις από τους ίδιους τους φωτοαισθητήρες (vigneting κλπ). Η μέτρηση από επίγειους αισθητήρες είναι απαλλαγμένη από τα παραπάνω προβλήματα. Το όργανο Crop Circle, το οποίο ανιχνεύει στοχευμένα μήκη κύματος που αφορούν το δείκτη NDVI και το οποίο παράγει δική του ακτινοβολία (ενεργός οπτικός αισθητήρας), δεν επηρεάζεται από τις συνθήκες του περιβάλλοντος.



**Σχήμα 22.** Χρονική μεταβολή του συντελεστή προσδιορισμού  $R^2$  που προέκυψε από τις συσχετίσεις του δείκτη βλάστησης του Crop circle και του Parrot από μετρήσεις ολόκληρου του αγρού (συνολικά για όλες τις μεταχειρίσεις).

Στο Σχήμα 22 συσχετίζονται οι δύο αυτοί αισθητήρες στις μετρήσεις που έγιναν σε όλη την έκταση του αγρού. Παρατηρείται συσχέτιση μόνο σε συγκεκριμένες ημερομηνίες, συγκεκριμένα από τις 30/3 έως περίπου τις 15/4 (βλαστικό στάδιο) και από τις 3/5 έως και τις 19/5 (τέλος ανθοφορίας έως στάδιο πρώιμης ζύμης).

Αντίθετα, αν η συσχέτιση γίνει στις μετρήσεις που αφορούν μόνο τα 12 plots, χρησιμοποιώντας τιμές από όλες τις ημερομηνίες, όπως φαίνεται στο Σχήμα 23, οι δύο αισθητήρες παρουσιάζουν μεν υψηλή συσχέτιση, δε δίνουν όμως τα ίδια αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, το όργανο Crop Circle δείχνει να υποεκτιμά το δείκτη NDVI στις ανώτερες τιμές της κλίμακας.



**Σχήμα 23.** Συσχετίσεις του δείκτη NDVI από τη κάμερα του drone με τον επίγειο ενεργό αισθητήρα από τις μετρήσεις των 12 plots.

#### 4. Συζήτηση

Στόχος αυτής της εργασίας ήταν η αποτύπωση της χωροχρονικής παραλλακτικότητας της καλλιέργειας σκληρού σίτου καθώς και η συσχέτιση των οικοφυσιολογικών παραμέτρων με την τελική παραγωγή. Όλα αυτά επιτεύχθηκαν μέσω της χρήσης επίγειων και υπέργειων αισθητήρων με σκοπό τη λήψη σύνθετων παραμετρικών πληροφοριών καθώς επίσης τη σύγκριση ομοίων παραμέτρων από διαφορετικούς αισθητήρες για την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων τους. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε πειραματικό αγροτεμάχιο, το οποίο περιλάμβανε τρεις διαφορετικές κατεργασίες εδάφους: 2 μεθόδους ακατεργασίας και μία συμβατική. Έτσι, ως παράλληλος στόχος τέθηκε και η διερεύνηση του τροπου που επέδρασαν οι καλλιεργητικές αυτές πρακτικές στην τελική παραγωγή.

Η ανάλυση της παραγωγής έδειξε ότι οι τρεις μεταχειρίσεις έδωσαν διαφορετικά αποτελέσματα αλλά τα στοιχεία αυτά επηρεάζονταν σημαντικά και από άλλες ιδιότητες του εδάφους. Οι δύο μεταχειρίσεις της ακατεργασίας είχαν τις μεγαλύτερες παραγωγές, με πρώτη την ΑΚΑ2. Η ΑΚΑ2 ενδεχομένως να απέδωσε περισσότερο λόγω της χημικής σύστασης του εδάφους της. Συγκεκριμένα, είχε την υψηλότερη συγκέντρωση ανθρακικού ασβεστίου, το οποίο συσχετίστηκε θετικά με την παραγωγή και εμφάνισε τις χαμηλότερες τιμές ηλεκτρικής αγωγιμότητας, η οποία συσχετίστηκε αρνητικά με την παραγωγή. Στην μεταχείριση ΑΚΑ1, διακρίθηκαν τρεις ζώνες χαμηλής παραγωγικότητας οι οποίες συμπίπτουν με τις περιοχές υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας, που αποδείχτηκε ότι οφείλονταν στην αλατότητα-νατρίωση του εδάφους. Η υψηλή αλατότητα προκάλεσε έντονο υδατικό στρες την περίοδο της ανομβρίας (6/2 – 11/3) με συνέπεια την επιβράδυνση του ρυθμού ανάπτυξης των φυτών. Αυτό που διαπιστώνεται είναι πως οι διαφορές στη παραγωγή μεταξύ των μεθόδων κατεργασίας δεν μπορούν να αποδοθούν ξεκάθαρα, μόνο στις μεθόδους αυτές.

Η αλατότητα του εδάφους επηρεάζει άμεσα την ηλεκτρική του αγωγιμότητα (Corwin 2005). Η παράμετρος που παρουσίασε την υψηλότερη (αρνητική) συσχέτιση με την παραγωγή ήταν η ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους. Οι Μαρκινός κ.α. (2003) επισήμαναν την σημασία της EC στην τελική παραγωγή λέγοντας πως οι τιμές της αποτελούν συνάρτηση ενός συνόλου παραμέτρων του εδάφους που επηρεάζουν την παραγωγή. Ως αποτέλεσμα, έκριναν πως η χαρτογράφηση της μπορεί να οδηγήσει στην ομαδοποίηση ζωνών που να ταιριάζουν με τις ζώνες της παραγωγής. Κάτι τέτοιο μπορεί να παρατηρηθεί σε αυτό το πείραμα αφού οι χάρτες της απόδοσης και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας είναι οπτικά παρόμοιοι. Κάτι άλλο που διαπιστώνεται είναι πως οι χάρτες της ηλεκτρικής αγωγιμότητας

που προέκυψαν από τις μετρήσεις των δύο ημερομηνιών δε φάνηκαν να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, γεγονός που επιβεβαιώνει πως η ηλεκτρική αγωγιμότητα, όντας ενδογενής παράμετρος, δε μεταβάλλεται σημαντικά με τον χρόνο εάν δε μεσολαβήσουν εξωγενείς επιδράσεις. Επίσης, η EC εμφάνισε ασυνήθιστα υψηλή και προοδευτική διακύμανση στον αγρό, με τις υψηλότερες τιμές της να εντοπίζονται στην πλευρά της συμβατικής κατεργασίας, τις ενδιάμεσες στην ΑΚΑ1 και τις χαμηλότερες στην ΑΚΑ2. Λόγω αυτής της παρατήρησης δεν μπόρεσε να διεξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα για την επίδραση των κατεργασιών στην παραγωγή, καθώς πιθανότατα την πραγματική εικόνα επισκίασε η υψηλή αλατότητα του εδάφους. Με μία σχετικά πιο ομοιόμορφη ηλεκτρική αγωγιμότητα στο αγροτεμάχιο τα αποτελέσματα των καλλιεργητικών πρακτικών θα ήταν πιο ξεκάθαρα. Παρ'όλ'αυτά, ο χάρτης της παραγωγής φάνηκε να διαφοροποιείται απότομα στα όρια της συμβατικής και της ΑΚΑ1, υποδεικνύοντας την ύπαρξη σημαντικών επιδράσεων και από την κατεργασία του εδάφους.

Η κυριότερη επίδραση της διαφορετικής κατεργασίας όπως ήταν αναμενόμενο, εκδηλώθηκε στη συμπίεση του εδάφους, κυρίως όμως στα πρώτα εκατοστά βάθους. Οι Rusu et al., ομοίως, το 2011 επισήμαναν την αυξημένη συμπίεση του εδάφους σε συστήματα μηδενικής ή ελάχιστης κατεργασίας κατά τα πρώτα χρόνια εφαρμογής, εντοπίζοντας διαφορές κυρίως στα πρώτα 18-20 cm. Στη μεταξύ τους σύγκριση οι ΑΚΑ1 και ΑΚΑ2 εμφανίστηκαν πιο συμπιεσμένες σε σχέση με τη συμβατική, με τη ΑΚΑ2 να παρουσιάζει τη μεγαλύτερη εξ' αυτών συμπίκνωση. Αυτό οφείλεται στο γεγονός πως η σπορά της πραγματοποιήθηκε 20 μέρες περίπου αργότερα από τη σπορά στην ΑΚΑ1 και αφού είχαν μεσολαβήσει σημαντικές βροχοπτώσεις που πρόσθεσαν υγρασία στο έδαφος και το έκαναν πιο ευάλωτο. Έτσι, το μεγάλο βάρος του ελκυστήρα και της σπαστικής μηχανής απευθείας σποράς, το οποίο συνολικά ξεπερνούσε τους 8 τόνους, συμπίεσε σε μεγάλο βαθμό το έδαφος και η συμπίκνωση παρέμεινε σχετικά σταθερή σε όλα τα βάθη μετρήσεων. Η Badalíková (2010) επισημαίνει πως όταν το έδαφος είναι υγρό, το πρώτο πέρασμα του μηχανήματος προκαλεί συμπίκνωση έως και 90%. Αντίθετα η ΑΚΑ1, μετά τα πρώτα 10 εκατοστά αυξημένης συμπίεσης, φαίνεται να γίνεται πιο χαλαρή, με συμπιεσμένα μόνο τα σημεία της περιφέρειας του αγρού (κεφαλάρια) όπου διέρχονται συχνότερα οι τροχοί των γεωργικών μηχανημάτων. Η παρουσία μιας πιο χαλαρής επιφάνειας στην ΑΚΑ1 σε σχέση με την ΑΚΑ2 είναι πιθανόν πλασματική και οφείλεται στην υψηλότερη συγκέντρωση αλάτων η οποία συγκρατεί υγρασία στο εσωτερικό του εδάφους και το καθιστά πιο εύκολο στη διείσδυση. Για να δοθεί ωστόσο μια εμπειριστατωμένη απάντηση στην πιο πάνω υπόθεση θα έπρεπε να είχε μετρηθεί η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους, μέτρηση η οποία δεν περιλαμβάνονταν στον

αρχικό σχεδιασμό της παρούσας μελέτης. Επιπλέον, η αυξημένη υγρασία ήταν ανώφελη για την καλλιέργεια διότι το νερό δεν μπορεί να απορροφηθεί από τα φυτά όταν εξαιτίας των αλάτων μειώνεται το οσμωτικό δυναμικό του εδαφικού διαλύματος (Sheldon et al. 2004). Επομένως, και πάλι δεν μπορεί να εξαχθεί ένα ασφαλές γενικό συμπέρασμα για το βαθμό συμπίεσης μεταξύ των διαφορετικών μεταχειρίσεων στον εν λόγω αγρό ο οποίος αποδείχτηκε ότι παρουσίαζε σημαντική παραλλακτικότητα στην αλατότητα. Μπορούν όμως να διατυπωθούν κάποιες πολύτιμες παρατηρήσεις. Η μέθοδος SIM, για παράδειγμα, αντίθετα με τις μεθόδους της ακατεργασίας, δεν εμφάνισε συμπίεση στα πρώτα 10 cm, εντοπίστηκε όμως σκληρός εδαφικός ορίζοντας (hard pan) περίπου στα 35 cm. Η εικόνα αυτή αφορούσε τις πρώτες ημέρες των μετρήσεων, ενώ στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου τα πράγματα αντιστράφηκαν. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 10, η χαλαρή δομή του εδάφους στη συμβατική κατεργασία ουσιαστικά καταρρέει κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, οδηγώντας σε μια επιφανειακή στοιβάδα συμπακνωμένη περισσότερο και από την ακατεργασία. Οι Castellini et al. (2019) επισήμαναν ομοίως πως οι επιδράσεις της άροσης, σε μία συμβατική κατεργασία, στις φυσικές ιδιότητες του εδάφους, εξαντλούνται κατά τη διάρκεια ενός ετήσιου ή διετούς κύκλου καλλιέργειας, καθώς το έδαφος συμπίεζεται σταδιακά εξαιτίας της βαρύτητας και των επιπτώσεων των σταγόνων της βροχής. Σε αυτό βέβαια, είναι πιθανό να έπαιξε για ακόμη μία φορά ρόλο και η υψηλή αλατότητα-νατρίωση, η οποία δημιουργεί διασπορά της αργίλου και καταστροφή των εδαφικών συσσωματωμάτων (Μήτσιος 2001). Αντίστοιχα, το ανθρακικό ασβέστιο που βρίσκεται σε μεγάλες ποσότητες στα σημεία με χαμηλή EC, δηλαδή στην ΑΚΑ2 και στη μισή ΑΚΑ1, βοηθά στην καλύτερη δομή του εδάφους και δημιουργεί συσσωματώματα (Walworth 2012). Παρ' όλα αυτά, θα μπορούσε να διατυπωθεί πως η ακατεργασία μπορεί να διατηρεί μία πιο σταθερή δομή εδάφους (περίπτωση ΑΚΑ1) αρκεί να αποφευχθούν επιδράσεις συμπίεσης όπως συνέβη στην ΑΚΑ2 οι οποίες είναι δύσκολο να διορθωθούν χωρίς κατεργασία. Οι Rusu et al. (2011) συμφωνούν πως η αρχική κατάσταση της συμπίεσης του εδάφους σε σύστημα μηδενικής ή μειωμένης κατεργασίας μειώνεται με την πάροδο του χρόνου και το έδαφος τείνει να αποκτήσει συγκεκριμένο τύπο πυκνότητας. Επιπλέον, οι Castellini et al. (2019) σε μακροχρόνιο σύστημα ακατεργασίας παρατήρησαν υψηλότερο αριθμό μικροπόρων οι οποίοι ήταν συνεχείς και καλύτερα διασυνδεδεμένοι, συγκριτικά με τη συμβατική κατεργασία, κάνοντας έτσι το έδαφος πιο αγωγίμο, ενώ παράλληλα παρουσίαζε καταλληλότερη αναλογία νερού και αέρα.

Όσον αφορά τη χημική σύσταση του εδάφους, η συμβατική κατεργασία φαίνεται να εμφανίζει ένα πιο γόνιμο ριζόστρωμα σε σχέση με τις δύο μεθόδους ακατεργασίας. Παρουσιάζει αυξημένη οργανική ουσία συγκριτικά με τις δυο ακατεργασίες, γεγονός που αντικείται στα ευρήματα της βιβλιογραφίας (Γέμος 2019, Sarkota T.B. et al. 2012, Mahboubi et al., 1993). Αυτό βέβαια μπορεί να δικαιολογηθεί αν ληφθεί υπόψιν ότι ήταν η πρώτη χρονιά εφαρμογής της ακατεργασίας, τα ευεργετικά οφέλη της οποία θέλουν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να φανερωθούν. Σε ένα μακροχρόνιο πείραμα σύγκρισης διαφορετικών κατεργασιών στο αγρόκτημα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, διαπιστώθηκε πως η διατήρηση υπολειμμάτων των καλλιεργειών σε συνδυασμό με τη μειωμένη κατεργασία του εδάφους αυξάνουν σημαντικά την οργανική ουσία μακροπρόθεσμα (Γέμος κ.α. 2013).

Πέραν της οργανικής ύλης η συμβατική μέθοδος εμφάνισε υψηλά επίπεδα ολικού αζώτου, φωσφόρου, καλίου και μαγνησίου. Εξετάζοντας όμως τις διαφορές υπό το πρίσμα της ηλεκτρικής αγωγιμότητας διαπιστώνεται ότι ενδεχομένως δε δημιούργησε η κατεργασία τις διαφορές αλλά η προϋπάρχουσα παραλλακτικότητα του εδάφους. Αξιοσημείωτο είναι και το γεγονός πως η αυξημένη γονιμότητά της έρχεται σε αντίθεση με την τελική της παραγωγή και είναι λογικό αφού εξαιτίας της υψηλής αλατότητας η αφθονία των θρεπτικών που διαθέτει δεν μπορεί να απορροφηθεί και να αξιοποιηθεί από τα φυτά. Τέλος, σημαντική είναι και η έλλειψη φωσφόρου που παρατηρείται στις δύο μεθόδους ακατεργασίας η οποία οφείλεται στη μη εφαρμογή βασικής λιπάνσεως. Αντιθέτως, η SIM παρουσιάζει ικανοποιητική συγκέντρωση φωσφόρου παρόλο που δεν εφαρμόστηκε ούτε σε αυτή βασική λίπανση. Η διαφορά αυτή πιθανότατα οφείλεται στη λιπαντική αγωγή των προηγούμενων καλλιεργειών.

Η ισχυρά αρνητική συσχέτιση της παραγωγής με την EC και ESP (Σχήμα 18) σημαίνει πως οι δύο αυτές παράμετροι επέδρασαν καθοριστικά στην τελική παραγωγή επισκιάζοντας τη σημασία της αντίστασης στη διείσδυση. Αρνητική συσχέτιση, επίσης, παρουσίασε η αντίσταση στη διείσδυση του εδάφους με την EC, γεγονός που συμφωνεί με το αποτέλεσμα πειράματος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας το 2011, κατά το οποίο συγκρίνονταν διάφορες κατεργασίες σε βάθος χρόνων (Καβαλάρης κ.α. 2013). Η χαμηλή αντίσταση στη διείσδυση στα σημεία με υψηλή EC ή ESP, όπως αναφέρθηκε, πιθανώς σχετίζεται με την αυξημένη συγκράτηση νερού, εξαιτίας των αλάτων. Τέλος, η ισχυρά αρνητική συσχέτιση της οργανικής ουσίας του εδάφους με την αντίσταση στη διείσδυση (Σχήμα 19d) στην ανώτερη επιφάνεια του εδάφους (0-10 cm), επιβεβαιώνει την ευεργετική επίδραση της οργανικής



ύλης στη δομή του. Οι Sapkota et al. (2012) σε πείραμα 15 χρόνων μηδενικής κατεργασίας συμπέραναν ότι ακατεργασία αύξησε την περιεκτικότητα σε οργανική ύλη στο ανώτερο στρώμα εδάφους 10 cm (3.31%) σε σύγκριση με τη συμβατική κατεργασία (2.19%).

Από τη μελέτη των αποτελεσμάτων των δεικτών βλάστησης διαπιστώνεται πως όλοι συμφωνούν με το εποχικό πρότυπο της καλλιέργειας, καθώς η κορύφωση των τιμών τους σημειώνεται κατά το βλαστικό στάδιο των φυτών. Το γεγονός αυτό βρίσκει σύμφωνο τον Αναστασίου (2014), ο οποίος τόνισε την επιρροή που ασκούν τα διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών στον δείκτη NDVI. Επιπλέον, οι δείκτες βλάστησης του drone αποτύπωσαν ικανοποιητικά την καταπόνηση των φυτών λόγω καιρικών συνθηκών, γεγονός που επίσης συμφωνεί με τον Αναστασίου (2014) ο οποίος διαπίστωσε την ικανότητα του NDVI να αποτυπώνει την επίδραση των καιρικών συνθηκών στην ευρωστία των φυτών. Αυτό αποδεικνύεται χαρακτηριστικά στα χρονοδιαγράμματα των δεικτών με την υπεροχή της συμβατικής έναντι της πρωιμότερης ΑΚΑ1 έπειτα από την υδατική καταπόνηση στη δεύτερη, αλλά και στην ισχυρά αρνητική συσχέτιση που παρουσίασε ο δείκτης VARI με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους (και πάλι μόνο στην ΑΚΑ1) τις περιόδους στις οποίες δεν σημειώθηκαν βροχές. Αντίθετα, την περίοδο των έντονων βροχοπτώσεων η συσχέτισή τους φαίνεται να διακόπτεται. Φαίνεται πως την περίοδο της ανομβρίας το ελάχιστο διαθέσιμο νερό στο εσωτερικό του εδάφους δεν μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες των φυτών λόγω της ποσότητας του και λόγω της έντονης αλατότητας που το καθιστούσε μη διαθέσιμο. Επομένως, η υψηλή EC, που συνδέεται με την αυξημένη αλατότητα, έφερε ως αποτέλεσμα χαμηλό δείκτη βλάστησης. Όταν όμως αυξήθηκε η υγρασία του εδάφους, τότε μειώθηκε κάπως η αρνητική επίπτωση της αλατότητας γιατί τα φυτά είχαν πλέον διαθέσιμο νερό για την κάλυψη των αναγκών τους, γεγονός που επηρέασε την βιομάζα τους και έγινε αισθητό από τον δείκτη βλάστησης.

Από τα αποτελέσματα των συσχετίσεων των δεικτών βλάστησης με την παραγωγή διαπιστώθηκε πως οι συσχετίσεις ήταν υψηλότερες για τα δεδομένα από την ΑΚΑ1 σε σχέση με τα δεδομένα από τις άλλες δύο μεταχειρίσεις (Σχήμα 20). Γενικότερα παρατηρείται πως οποιαδήποτε συσχέτιση κι αν εμφανίζεται, παρουσιάζεται μόνο στην συγκεκριμένη κατεργασία. Σε αυτό βοήθησε η μεγάλη παραλλακτικότητα που εμφάνισε η φυτοκάλυψη και η παραγωγή στην μεταχείριση ΑΚΑ1, η οποία επέτρεψε να γίνουν εμφανείς οι σχέσεις που συνδέουν τις δυο παραμέτρους. Αξιοσημείωτη είναι και η χρονική περίοδος όπου οι δείκτες παρουσιάζουν τις μέγιστες συσχετίσεις με την παραγωγή. Ο NDVI του Crop circle την εμφανίζει κατά το στάδιο γάλακτος και αρχής ζύμης καρπού, ο NDVI

του Parrot κατά το στάδιο γάλακτος, ο NDRE στο στάδιο της ανθοφορίας και ο VARI στην επιμήκυνση βλαστού-φούσκωμα κολεού και στην ανθοφορία. Αυτό μπορεί να εξηγείται σύμφωνα με την Παπακώστα - Τασσοπούλου (2012) από το γεγονός πως η αύξηση της απόδοσης του σίτου σε ξηροθερμικά περιβάλλοντα κατά την άνοιξη εξαρτάται από την ικανότητα του φυτού να μετακινεί περισσότερα προϊόντα φωτοσύνθεσης από τους βλαστούς προς τον καρπό. Αυτό το χαρακτηριστικό συνδέεται θετικά με την μεγαλύτερη βιομάζα κατά την άνθιση, η οποία θα εκφραστεί μέσα από ένα υψηλό δείκτη βλάστησης. Τα προϊόντα της φωτοσύνθεσης παράγονται πριν αλλά και μετά την άνθιση και έτσι μπορεί να δικαιολογηθεί η υψηλή συσχέτιση που παρατηρείται και στις ημερομηνίες που έπονται ή προηγούνται της ανθοφορίας.

Μία ακόμα σημαντική παρατήρηση αποτελεί το γεγονός πως όλοι οι δείκτες βλάστησης εκτός του VARI (Σχήμα 13), από την περίοδο της ανθοφορίας (22/4 - 2/5) και έπειτα, δείχνουν να υπερέχει η ΑΚΑ2 έως και την συγκομιδή. Η ΑΚΑ2 ήταν η κατεργασία που απέδωσε περισσότερο, επομένως την περίοδο της άνθισης οι δείκτες βλάστησης «προέβλεψαν» κατά κάποιον τρόπο με την υπεροχή τους ότι θα ήταν η κατεργασία με την υψηλότερη παραγωγή. Αυτό ενδεχομένως να σημαίνει πως όταν συγκρίνονται διαφορετικά οριοθετημένα τμήματα του ίδιου τομέα ως προς την τελική τους απόδοση, η μελέτη των δεικτών βλάστησης την περίοδο της ανθοφορίας και λίγο αργότερα μπορεί να προβλέψει ποιο τμήμα θα αποδώσει περισσότερο. Σε παρόμοιο συμπέρασμα κατέληξαν οι Καβαλάρης κ.α. (2019) σε πείραμα του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, όπου μέσω της μελέτης δεικτών βλάστησης από δεδομένα του δορυφόρου Sentinel-2 την περίοδο της ανθοφορίας έως το τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, κατάφεραν να εκτιμήσουν την απόδοση σκληρού σίτου με ακρίβεια περίπου 80%. Μία τόσο όψιμη πρόβλεψη βέβαια δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διορθωτικές ενέργειες μπορεί όμως να αξιοποιηθεί για την οργάνωση της συγκομιδής, της μεταφοράς, της αποθήκευσης κτλ.

Οι μετρήσεις του NDVI από το drone με τον NDVI από το Crop Circle παρουσίασαν υψηλή συσχέτιση αν και με απόκλιση μεταξύ των πραγματικών τιμών. Ενδεχομένως, οι γραμμικές διαδρομές που ακολουθήθηκαν με το crop circle για την καταγραφή των μετρήσεων να έπρεπε να είναι πιο πυκνές, για να αποτυπώσουν αποτελεσματικά την υψηλή παραλλακτικότητα στο συγκεκριμένο χωράφι. Πράγματι, εξετάζοντας τις συσχετίσεις των μετρήσεων και από τους υπόλοιπους επίγειους αισθητήρες (Διεσδυσιόμετρο, EM38) με την τελική παραγωγή, διαπιστώνεται πως για τις μετρήσεις που έγιναν σε όλο το αγρόκτημα δεν

εμφανίστηκαν συσχετίσεις ή οι συσχετίσεις ήταν πολύ μικρότερες συγκριτικά με εκείνες που προέκυψαν από τα δεδομένα στα προσημειωμένα plots. Αυτό αποδεικνύει την ανεπαρκή πυκνότητα της δειγματοληψίας για τον εν λόγω αγρό. Οι μετρήσεις που πάρθηκαν από τα plots αν και επίσης σημειακές, ήταν πυκνές και συγκεντρωμένες και για αυτό ικανές να αποτυπώσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την εικόνα στη συγκεκριμένη περιοχή. Αντίθετα, οι διάσπαρτες και πιο αραιές σημειακές μετρήσεις που λήφθηκαν σε ολόκληρο το αγροτεμάχιο αποδείχτηκαν ανεπαρκείς για την αποτύπωση της πραγματικής εικόνας με στατιστική παρεμβολή. Η λήψη για παράδειγμα μιας σημειακής μέτρησης με το διεισδυσιόμετρο μπορεί να έδειξε μια πολύ υψηλή αντίσταση του εδάφους σε κάποιο σημείο εξαιτίας της παρουσίας κάποιας πέτρας ή μια πολύ χαμηλή τιμή εξαιτίας κάποιας ρωγμής. Σε κάθε περίπτωση, η μέτρηση αυτή θα επηρεάσει και τις γειτονικές τιμές κατά τη διαδικασία της παρεμβολής δίνοντας μια πλασματική εικόνα για εκείνη τη περιοχή. Παρόμοια συμπεριφορά μπορεί να έχει και το όργανο crop circle αν τύχει να λάβει μέτρηση σε ένα σημείο που δεν υπάρχουν φυτά ή σε ένα σημείο που έτυχε να πέσει περισσότερος σπόρος. Επομένως, αν λαμβάνονταν πιο πυκνές μετρήσεις για την κάλυψη ολόκληρου του αγροτεμαχίου, θα μπορούσε να γίνει εμφανής ο τρόπος με τον οποίο η μία παράμετρος επηρεάζει την άλλη. Μία τέτοια προσέγγιση όμως είναι πρακτικά μη εφικτή διότι είναι επίπονη και χρονοβόρα. Λύση σε αυτό το πρόβλημα φαίνεται να δίνει η τηλεπισκόπηση με εναέρια μέσα (drones, αεροπλάνα, δορυφόροι).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί πως η χρήση πολλών αισθητήρων για την απεικόνιση και την χαρτογράφηση σημαντικών ιδιοτήτων του εδάφους, δίνει μία ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης και των προβλημάτων της καλλιέργειας η οποία δεν θα μπορούσε να αποτυπωθεί με τη χρήση ενός μόνο αισθητήρα. Έτσι, μέσα από αυτή την εργασία προτείνεται, σε συμφωνία με τους Scudiero et al. (2013), η συνδυαστική χρήση πολλών αισθητήρων για παροχή πληροφοριών που αντιπροσωπεύουν την χωρική μεταβλητότητα του τομέα.

## 5. Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας διατυπώνεται ότι:

- Η χρήση ποικίλων αισθητήρων για τον προσδιορισμό πολλών και διαφορετικών παραμέτρων της καλλιέργειας του σίτου και του εδάφους, καθώς και η αποτύπωση αυτών σε χάρτες με χρονική αλληλουχία, αποδεικνύεται ιδιαίτερα πολύτιμη για την ερμηνεία της αναπτυξιακής πορείας και την έγκαιρη αντιμετώπιση τυχόν προβλημάτων.
- Η καταπόνηση των καλλιεργειών λόγω καιρικών συνθηκών αποτυπώθηκε μέσα από τη χρονική διακύμανση των δεικτών βλάστησης.
- Στο στάδιο της ανθοφορίας και λίγες μέρες αργότερα οι δείκτες βλάστησης μπόρεσαν να προβλέψουν ποιο οριοθετημένο τμήμα του αγρού θα αποδώσει περισσότερο.
- Η παραγωγή εμφάνισε υψηλή αρνητική συσχέτιση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους η οποία με τη σειρά της αποδείχτηκε ότι σχετίζονταν άμεσα με την αλατότητα-νατρίωση του εδάφους εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης ιόντων νατρίου. Τα σημεία με υψηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα παρουσίασαν μειωμένη παραγωγή.
- Η παραγωγή εμφάνισε επίσης υψηλή συσχέτιση με την αντίσταση του εδάφους στη διείδυση αλλά η συσχέτιση παραδόξως ήταν θετική. Στα σημεία όπου σημειώθηκε υψηλή αντίσταση, καταγράφηκε και υψηλότερη παραγωγή. Η χαμηλή αντίσταση στη διείδυση όμως δεν οφείλονταν στη βελτιωμένη δομή του εδάφους αλλά στην παρουσία ιόντων νατρίου που συγκρατούσαν εδαφική υγρασία καθιστώντας τη διείδυση πιο εύκολη. Αυτό επιβεβαιώνεται από τη συσχέτιση που βρέθηκε μεταξύ της αντίστασης στη διείδυση και στην ηλεκτρική αγωγιμότητα.
- Η παραγωγή εμφάνισε υψηλή συσχέτιση με τους δείκτες βλάστησης NDVI, NDRE και VARI που προέκυψαν από τις εναέριας μετρήσεις με τα drone και η συσχέτιση αυτή ήταν μέγιστη κατά την βλαστική περίοδο. Μικρότερη συσχέτιση και σε πιο σύντομο χρονικό διάστημα εμφανίστηκε μεταξύ των μετρήσεων του NDVI από επίγειο αισθητήρα και της παραγωγής. Παρόλα αυτά, οι μετρήσεις του επίγειου και του υπέργειου αισθητήρα είχαν καλή συσχέτιση μεταξύ τους.
- Υπήρξε καλή συσχέτιση μεταξύ των μετρήσεων της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που προέκυψαν από εδαφικές αναλύσεις και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που προέκυψαν από τον επίγειο αισθητήρα EM-38.

- Ο δείκτης VARI ήταν ο μόνος που εμφάνισε σημαντική συσχέτιση με την ηλεκτρική αγωγιμότητα του εδάφους. Το χρονοδιάγραμμα των συσχετίσεων αποτύπωσε την καταπόνηση των φυτών λόγω υδατικής καταπόνησης.
- Η πυκνότητα των μετρήσεων με επίγειους σημειακούς αισθητήρες θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλη όταν αποτυπώνονται αγροί με υψηλή παραλλακτικότητα. Στην προκειμένη περίπτωση, η σάρωση σε παράλληλες διαδρομές αποστάσεων 10-15 m αποδείχτηκε ανεπαρκής για την ακριβή αποτύπωση της χωρικής παραλλακτικότητας.
- Από τις τρεις μεθόδους που συγκρίθηκαν στον αγρό, η μέθοδος της ακατεργασίας με όψιμη σπορά φάνηκε η πλέον παραγωγική με μια απόδοση της τάξης του 71% υψηλότερη από τη συμβατική. Ακολούθησε η πρώιμη μέθοδος της ακατεργασίας με βελτιωμένη απόδοση κατά 42%. Τα στοιχεία αυτά δεν μπορούν να θεωρηθούν απόλυτα εξαιτίας της χωρικής παραλλακτικότητας της αλατότητας που επισκίασε σε μεγάλο βαθμό την επίδραση της κατεργασίας. Παρόλα αυτά, στους χάρτες των δεικτών βλάστησης και της παραγωγής ήταν εμφανής μια απότομη μετάβαση από τη μια μέθοδο στην άλλη που μαρτυρά ότι οι κατεργασίες όντως είχαν επιρροή.
- Γενικότερα, η υψηλή αλατότητα που παρουσίασε ο αγρός σε συνδυασμό με τη μεγάλη παραλλακτικότητα αυτής, ήταν ένας ανασταλτικός παράγοντας στην διεξαγωγή πολλών συμπερασμάτων ως προς την σύγκριση των καλλιεργητικών πρακτικών. Με λίγα λόγια ο αγρός θα κρίνονταν ακατάλληλος για την εγκατάσταση του εν λόγω πειράματος αν αυτή η πληροφορία ήταν διαθέσιμη εξ' αρχής. Από την άλλη πλευρά, η παραλλακτικότητα του αγρού οδήγησε στην αποτύπωση ενός μεγάλου εύρους τιμών από τους διαφορετικούς αισθητήρες, γεγονός που βοήθησε στην ανάδειξη κάποιων σημαντικών συσχετίσεων.
- Τέλος, η χρήση ποικίλων αισθητήρων για τον προσδιορισμό πολλών και διαφορετικών παραμέτρων, η χαρτογράφηση αυτών, καθώς και η μεταξύ τους αλλά και με την παραγωγή συσχέτιση, μπόρεσαν να αποτυπώσουν πολύ ικανοποιητικά το βαθμό του προβλήματος της αλατότητας και της συμπίεσης, καθώς επίσης βοήθησαν στην απόκτηση μίας πιο ολοκληρωμένης εικόνας της κατάστασης και των αναγκών της καλλιέργειας. Η εικόνα αυτή δεν θα μπορούσε να αποκτηθεί με τη χρήση ενός μόνο αισθητήρα και γενικά χωρίς τη χρήση τηλεπισκοπικών μέσων, γεγονός που επισημαίνει για ακόμη μία φορά την αξία και την αναγκαιότητα της τηλεπισκόπησης στην γεωργία.

## 6. Βιβλιογραφία

### Ξενόγλωσση

ASABE Standard S313.3 FEB1999. Soil Cone Penetrometer

Badalíková B., 2010. Influence of Soil Tillage on Soil Compaction. DOI: 10.1007/978-3-642-03681-1\_2. In book: Soil Engineering ,pp.19-30

Castellini M., Fornaro F., Garofalo P., Giglio L., Rinaldi M., Ventrella D., Vitti C., Vonella A., 2019. Effects of No-Tillage and Conventional Tillage on Physical and Hydraulic Properties of Fine Textured Soils under Winter Wheat. Water · March 2019 DOI: 10.3390/w11030484

Corwin, D.L., 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. Computers and Electronics in Agriculture 46 (2005) 11–43., USA

Grisso R., Alley M., Wysor W.G., Holshouser D., Thomason W., 2009. Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity. Virginia Cooperative Extension. Virginia Cooperative Extension, publication 442-508

Earth Observing System., 2020 <https://eos.com/agriculture/ndre/>(Πρόσβαση στη 1 Οκτωβρίου 2020)

Landers J., Rass G., Freitas P., Basch G., González Sanchez E., Tabaglio V., Kassar A., Derpsch R., Friedrich T., 2013. Effects of Zero Tillage (No-Till) Conservation Agriculture on soil physical and biological properties and their contributions to sustainability. Geophysical Research Abstracts Vol. 15, EGU2013-11756-1, 2013 EGU General Assembly 2013

Mahboubi A., Lal R., 1993. Twenty-Eight Years of Tillage Effects on Two Soils in Ohio. Soil Science Society of America Journal. Division S-6—Soil & Water Management & Conservation

McKenzie R., 2010. Agricultural Soil Compaction: Causes and Management. Agriculture Research Division Alberta Agriculture and Rural Development, Lethbridge, Alberta

Medina C., Camacho-Tamayo J, Cortes C., 2012. Soil penetration resistance analysis by multivariate and geostatistical methods. Plant Soil (2012) 353:169–180

Munns R., 2005. Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist, 167: 645-663.

RUSU T., MORARU P., RANTA O., DROCAS I., BOGDAN I., POP A., SOPTERAN M., 2011. No-Tillage and Minimum Tillage – their Impact on Soil Compaction, Water Dynamics, Soil Temperature and Production on Wheat, Maize and Soybean Crop. Bulletin UASVM Agriculture, 68(1)/2011 Print ISSN 1843-5246; Electronic ISSN 1843-5386

Sapkota T.B., Mazzoncini M., Bàrberi P., Antichi D., Silvestri N., 2012. Fifteen years of no till increase soil organic matter, microbial biomass and arthropod diversity in cover crop-based arable cropping systems. Agronomy for Sustainable Development volume 32, pages 853–863.

Scudiero E., Teatini P., Corwin D., Deiana R., Berti A., Morari F., 2013. Delineation of site-specific management units in a saline region at the Venice Lagoon margin, Italy, using soil reflectance and apparent electrical conductivity. *Computers and Electronics in Agriculture* 99(2013)54-64.

Sheldon A., Menzies N., So Hwat-Bing, Dalal R., 2004. The effect of salinity on plant available water. Subsoil constraints in northern grain soils

Walworth J., 2012. Using Gypsum and Other Calcium Amendments in Southwestern Soils. University of Arizona. AZ1413

Wikipedia., 2020 <https://el.wikipedia.org/wiki/Τηλεπισκόπηση>. (Πρόσβαση στη 1 Οκτωβρίου 2020)

## Ελληνική

Αγγελοπούλου Α., 2004. Μακροχρόνια επίδραση πέντε μεθόδων κατεργασίας του εδάφους στο έδαφος και στην καλλιέργεια ζαχαρότευτλων. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Αναστασίου Ε., 2014. Μελέτη φαινοτυπικής παραλλακτικότητας με τη χρήση μεθόδων τηλεπισκόπησης στη φαινοτυπική αποτύπωση. Μεταπτυχιακή διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Γέμτος Θ.Α., 2019. Η ακαλλιέργεια ή ακατεργασία ή μηδέν κατεργασία: θετικά και αρνητικά. Ελευθερία. Δημοσίευση: 23 Δεκ 2019 22:00

Γέμτος Θ.Α., Καβαλάρης Χ., Καραμούτης Χ., Φουντάς Σ., 2013. Η εξέλιξη της οργανικής ουσίας στο έδαφος σε ένα μακροχρόνιο πείραμα σύγκρισης κατεργασιών εδάφους. Πρακτικά 8<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Βόλος, σελ.86-90

Ιωακειμίδης Σ., 2012. Τηλεπισκόπηση και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών σε δασικές εφαρμογές. Η περίπτωση του Σέιχ-Σου. Διπλωματική εργασία. ΑΠΘ, Βέροια.

Καβαδάς Μ., 2005. Στοιχεία εδαφομηχανικής. Εκδόσεις Ε.Μ. Πολυτεχνείου, σελ.1-10. <http://www.civil.ntua.gr/~kavvadas>

Καβαλάρης Χ., Καραμούτης Χ., Αναγνωστόπουλος Δ., Φουντάς Σ., Γέμτος Θ.Α., 2013. Συστηματική διερεύνηση της χρονικής διακύμανσης της αντίστασης του εδάφους στη διείδυση σε ένα μακροχρόνιο πείραμα κατεργασιών. Πρακτικά 8<sup>ου</sup> Εθνικού Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Βόλος, σελ. 7-11.

Καβαλάρης Χ., Ανατολίτης Κ., Κυπαρίσσης Α., 2019. Εκτίμηση παραγωγής σε καλλιέργεια σκληρού σίτου με χρήση δεικτών βλάστησης από τον δορυφόρο Sentinel-2.

Κοσμίδης Η., 2004. Επίδραση της αλατότητας από NaCl και της αζωτούχου λίπανσης στην απόδοση και στην χημική σύσταση του μαρουλιού. Πτυχιακή εργασία. Σχολή Γεωπονίας Τεχνολογίας Τεχνολογικό ίδρυμα Καλαμάτας, Καλαμάτα.

Μαρκινός Α., Γέμτος Θ.Α., Τούλιος Λ., Πατέρας Δ., Ζέβρα Γ., Παπαοικονόμου Μ., 2003. Γεωργία ακριβείας στο βαμβάκι: Συσχέτιση χαρτών παραγωγής και ηλεκτρικής

αγωγιμότητας. Πρακτικά 3<sup>ου</sup> Πανελληνίου Συνεδρίου Γεωργικής Μηχανικής, Θεσσαλονίκη, σελ. 222-229

Μεγγούδη Σ., 2020. Μετρήσεις αναπτυξιακών παραμέτρων και υδατικής κατάστασης σε καλλιέργεια σίτου για την ανάπτυξη μοντέλου πρόβλεψης της παραγωγής με τη χρήση δορυφορικών εικόνων Sentinel-2. Διπλωματική εργασία. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Μήτσιος Ι., 2001. Εδαφολογία. Εκδόσεις Zymel, Αθήνα.

Παπακώστα–Τασσοπούλου Δ., 2012. Ειδική Γεωργία σιτηρά και ψυχανθή. Εκδόσεις Σύγχρονη Παιδεία, Θεσσαλονίκη.

Περάκης Γ., Φαρασλής Ι., Μουσιάδης Α., 2015. Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες. Εκδόσεις Κάλλιπος.

Σταύρου Ν., 2018. Επίπτωση της αλατότητας στη χλωροφύλλη των φυτών τομάτας και αντιμετώπιση με βιολογικές τεχνικές. Διπλωματική Εργασία. Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά.

Τσιγκούλης Α., 2014. Μελέτη της επίδρασης της αλατότητας στην ανάπτυξη τριών ποικιλιών μαλακού σιταριού. Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Πελοποννήσου, Καλαμάτα.

Φουντάς Σ., Γέμτος Θ., 2015. Αισθητήρες για μέτρηση παραμέτρων εδάφους και καλλιεργειών. Εκδόσεις Κάλλιπος.

Φουντάς Σ., Γέμτος Θ., 2015. Γεωργία ακριβείας. Εκδόσεις Κάλλιπος.

Jensen J., 2016. Τηλεπισκόπηση περιβάλλοντος, μια προοπτική για τα φυσικά διαθέσιμα. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Ε.Μ.Π.

### **6.3.Χρήσιμοι σύνδεσμοι**

<https://www.dasodata.gr/index.php/el/202-ndvi>

<https://www.youtube.com/watch?v=mC2569EYxX0>

<https://www.yara.gr/threpsi-lipansi/lipansi-sitari/stadia-sitariou/>

<https://www.precisionhawk.com/agriculture/vegetation-indices>

[https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TGH222/Lecture\\_1\\_Ardeuseis\\_2019.pdf](https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TGH222/Lecture_1_Ardeuseis_2019.pdf)

[https://eo4society.esa.int/wp-content/uploads/2019/12/what\\_is\\_RS\\_GR.pdf](https://eo4society.esa.int/wp-content/uploads/2019/12/what_is_RS_GR.pdf)

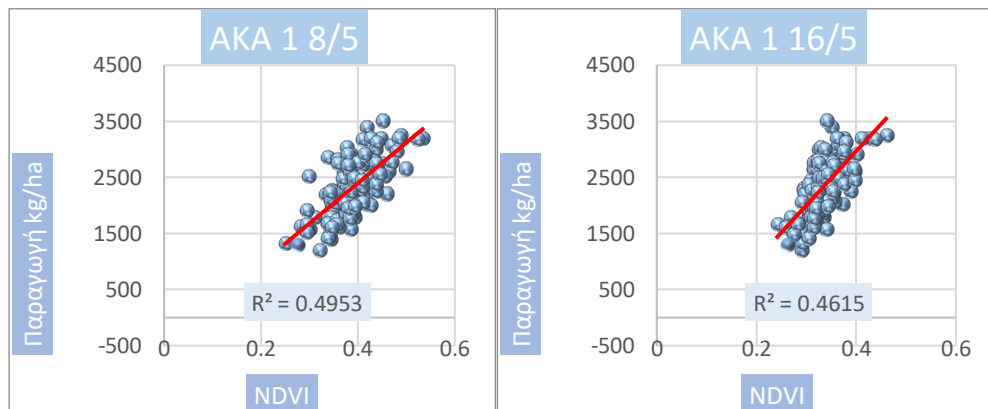
<https://seos-project.eu/agriculture/agriculture-c01-s02.gr.html>



## 7. Παράρτημα

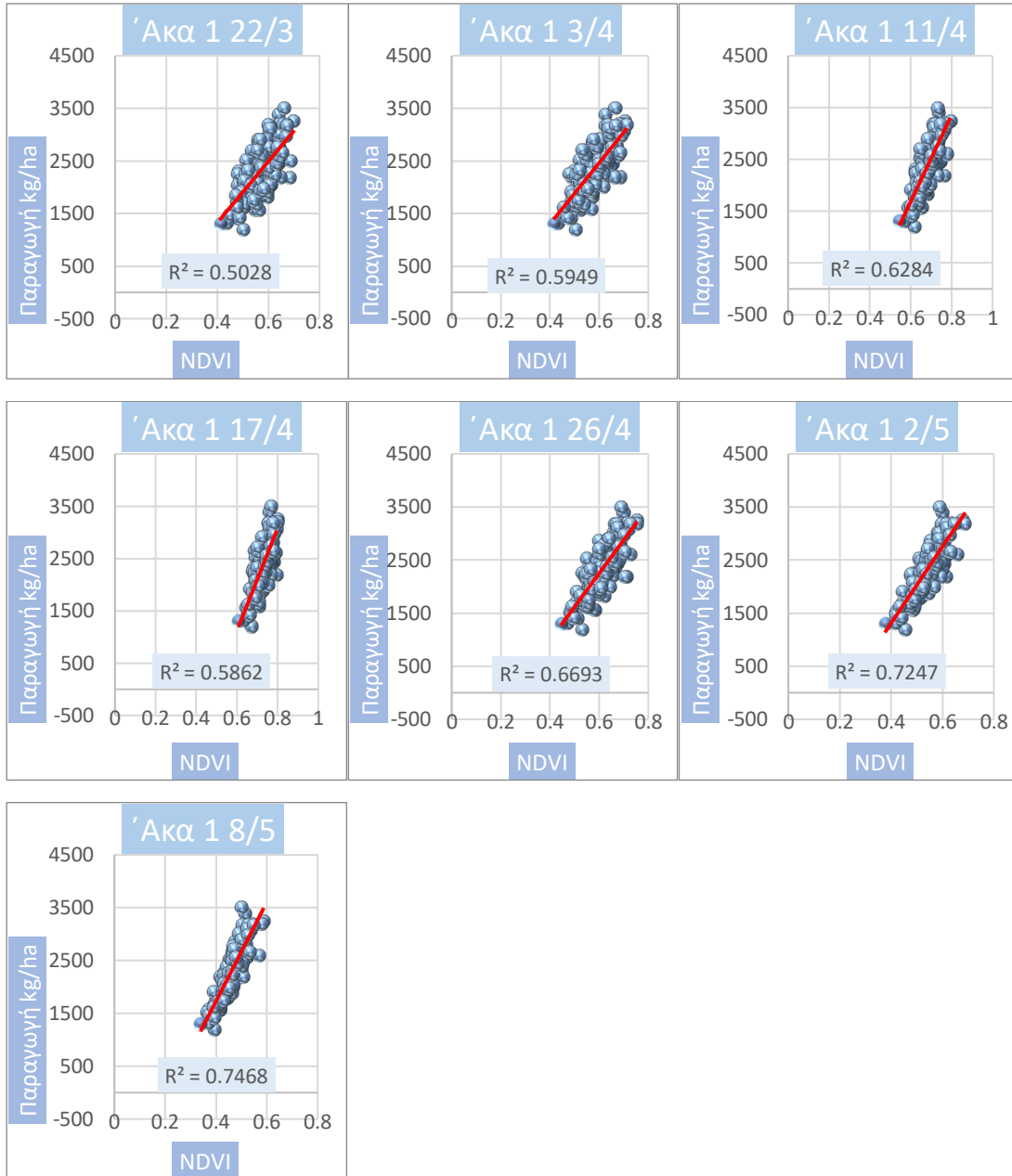
### Διαγράμματα σημαντικότερων συσχετίσεων

#### NDVI Crop circle -Παραγωγή



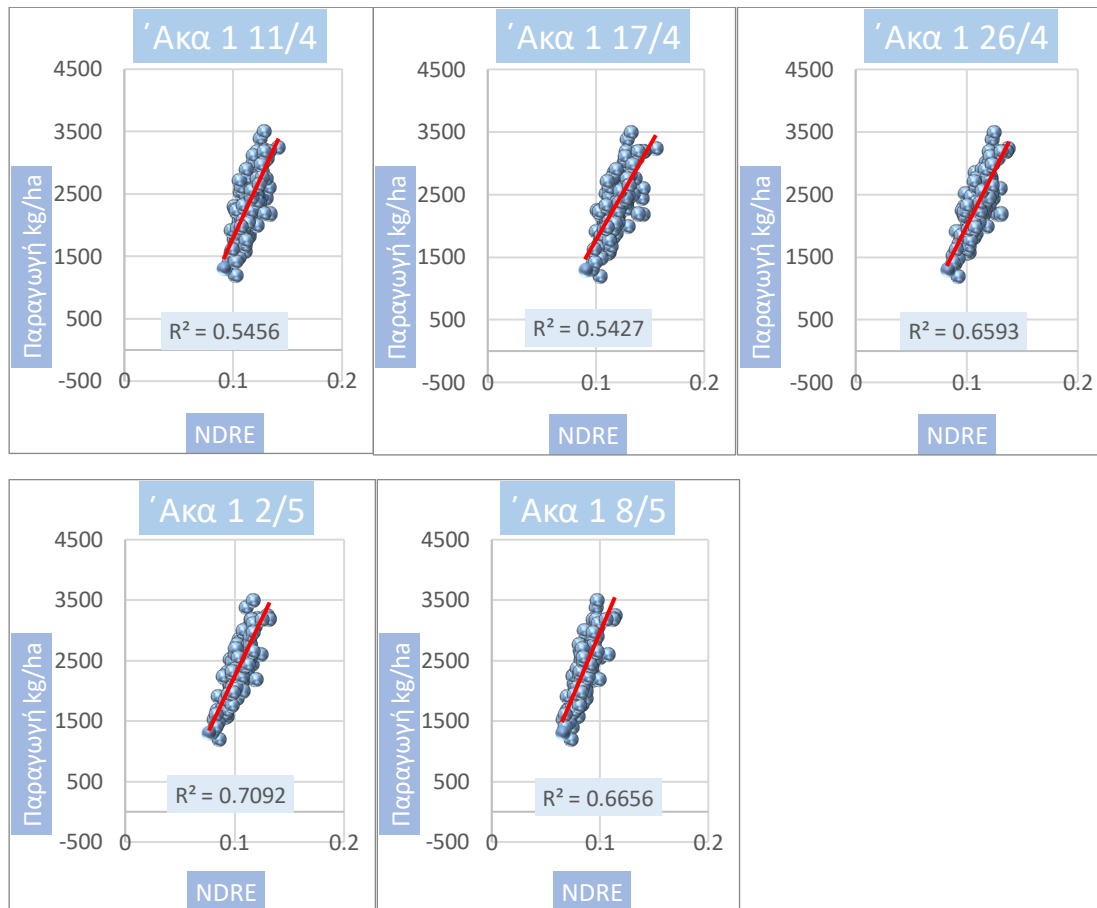
Σχήμα 24. Συσχέτιση της παραγωγής με το δείκτη βλάστησης NDVI του Crop Circle.

### NDVI Parrot- Παραγωγή



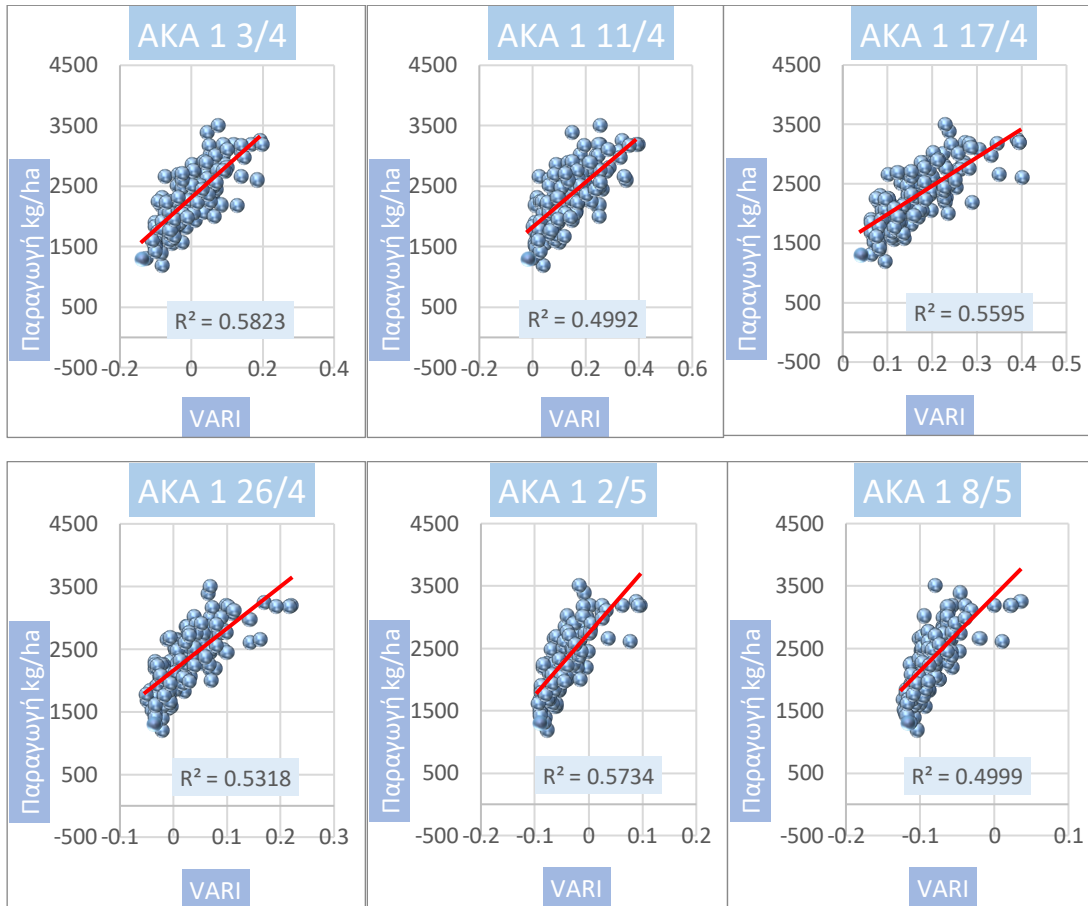
Σχήμα 25. Συσχέτιση της παραγωγής με το δείκτη βλάστησης NDVI του Parrot

## NDRE-Παραγωγή



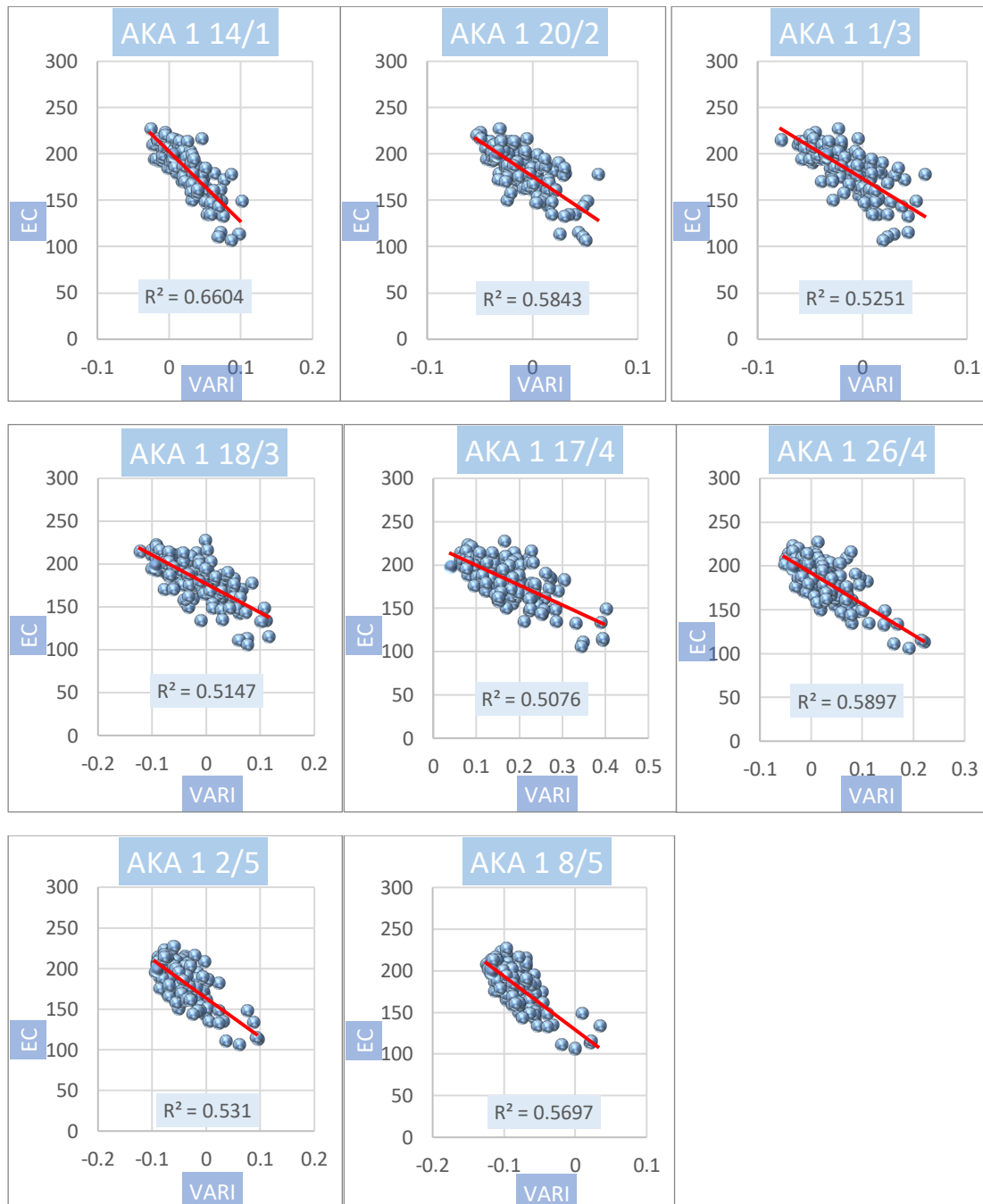
Σχήμα 26. Συσχέτιση της παραγωγής με το δείκτη βλάστησης NDRE.

## VARI – Παραγωγή



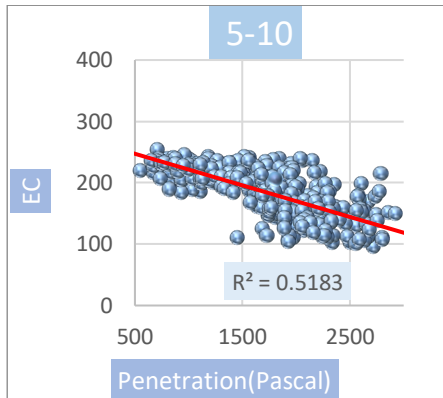
Σχήμα 27. Συσχέτιση της παραγωγής με το δείκτη βλάστησης VARI.

## Ηλεκτρική αγωγιμότητα -VARI



Σχήμα 28. Συσχέτιση ηλεκτρικής αγωγιμότητας με τον VARI.

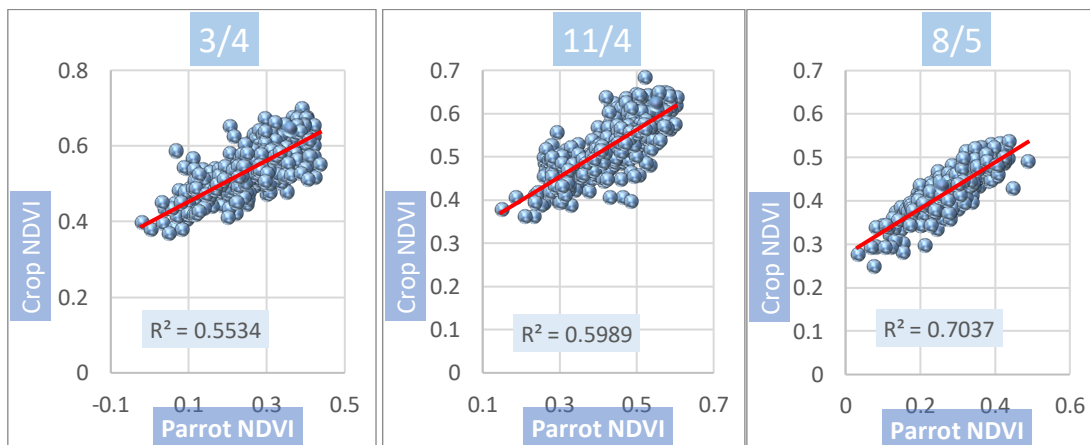
### Αντίσταση στη διείσδυση του εδάφους- ηλεκτρική αγωγιμότητα



**Σχήμα 29.** Συσχέτιση της αντίστασης στη διείσδυση του εδάφους με την EC για βάθος 5-10 cm από τις μετρήσεις ολόκληρου του αγρού.

.

### NDVI Crop circle- NDVI Parrot



**Σχήμα 30.** Συσχέτιση του NDVI του Crop circle με τον NDVI του Parrot συνολικά και στις τρεις καλλιέργειες από τις μετρήσεις ολόκληρου του τομέα.