



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ - ΑΓΡΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Παρακολούθηση Καλλιέργειας Βαμβακιού με
Χρήση Τηλεπισκόπησης
Cotton Crop Monitoring Using Remote Sensing**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ
ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ

Ζαΐμη Ευθαλία ΑΜ: 2619113

Τριμελής Επιτροπή: Λιάκος Βασίλειος (Επιβλέπων)

Παπαχατζής Αλέξανδρος

Αλαμανής Νικόλαος

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Πρόλογος.....	2
Εισαγωγή.....	3
1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση	5
1.1 Κεφάλαιο Πρώτο: Το Βαμβάκι	5
1.1.1 Γενικά Χαρακτηριστικά.....	5
1.1.2 Ανάπτυξη	5
1.1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την τελική απόδοση και ποιότητα της καλλιέργειας του βαμβακιού	7
1.2 Κεφάλαιο Δεύτερο: Γεωργία Ακριβείας.....	16
1.3 Κεφάλαιο Τρίτο: Τηλεπισκόπηση.....	19
1.3.1 Δείκτης NDVI	19
1.3.2 Δείκτης EVI.....	24
1.3.3 Δείκτης NDWI	27
1.3.4 Δείκτης SAVI	29
2. Πειραματικό	31
2.1 Περίληψη.....	31
2.1 Abstract	32
2.2 Εισαγωγή	33
2.3 Υλικά και Μέθοδοι	34
2.3.1 Περιοχή Μελέτης	34
2.3.2 Συλλογή Δεδομένων.....	35
2.3.3 Μεθοδολογία	37
2.4 Αποτελέσματα	53
2.4.1. Climate Engine.....	53
2.4.2 CropSat – Δείκτη NDVI.....	61
2.5 Συζήτηση.....	87
3. Βιβλιογραφία.....	90

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κύριε Λιάκο Βασίλειος που μου ενέθεσε αυτό το ενδιαφέρον θέμα και όλη την καθοδήγηση του για την συγγραφή της πτυχιακής.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα δύο μέλη της επιτροπής τον κ. Παπαχατζή Αλέξανδρος και τον κ. Αλαμανή Νικόλαος για την βοήθεια τους για την εκπλήρωση της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αστάρα Απόστολο που μας επέτρεψε να χρησιμοποιήσουμε το αγροτεμάχιο του για την έρευνα της πτυχιακής εργασίας.

Πρόλογος

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού των τελευταίων δεκαετιών μπορεί να οδηγήσει σε πιθανή επισιτιστική κρίση. Η μείωση αυτής της κρίσης μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση νέων τεχνολογιών. Πολλοί πιστεύουν ότι η χρήση της γεωργίας ακριβείας μπορεί να δώσει οικονομικές αποδοτικά λύσεις που θα βοηθήσουν στην αύξηση της παραγωγής με την ταυτόχρονη διατήρηση ή και βελτίωση της ποιότητας των γεωργικών προϊόντων. Η ερευνητική μελέτη είναι χωρισμένη σε δύο τμήματα. Το πρώτο τμήμα είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση. Η ανασκόπηση αναφέρεται στην καλλιέργεια βαμβακιού. Συγκεκριμένα αναλύει τα γενικά χαρακτηριστικά του, τα στάδια ανάπτυξης και τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του (εδαφικοί, κλιματικοί, καλλιεργητικές πρακτικές, ανάσχεση, πότισμα, λίπανση, γενετικοί και φυτοπροστασία). Μετά αναλύετε ο ορισμός και σκοπός της γεωργίας ακριβείας αλλά και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της. Στο τελευταίο μέρος της βιβλιογραφικής ανασκόπησης αναλύετε η γενική μεθοδολογία της που χρησιμοποιήθηκε για τον ερευνητικό σκοπό της μελέτης, συγκεκριμένα των εργαλείων της τηλεπισκόπησης για την εφαρμογή της γεωργίας ακριβείας. Πρωταρχικά δίνετε ο ορισμός της τηλεπισκόπησης, η χρησιμότητα της και οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την ευρωστία και υγρασία των φυτών. Το δεύτερο τμήμα της μελέτης είναι η ανάλυση του πειράματος που πραγματοποιήθηκε στο αγροτεμάχιο μελέτης. Περιλαμβάνει μια μικρή εισαγωγή του προβλήματος του πειράματος, την μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε και τα αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα περιλαμβάνουν τις εικόνες και τα διαγράμματα που παραλήφθηκαν από τις δύο εφαρμογές που χρησιμοποιήθηκαν. Επιπλέον, περιλαμβάνει και τη συζήτηση όπου αναλύονται οι παρατηρήσεις και τα μοτίβα που παρατηρήθηκαν στα αποτελέσματα. Σε συνδυασμό με τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση της καλλιέργειας μας και τα αποτελέσματα παρεντίθενται σε κάποια σημαντικά συμπεράσματα για την αξιοποίηση της μεθοδολογίας από αγρότες.

Εισαγωγή

Ο πληθυσμός του πλανήτη μας έχει ξεπεράσει τα οχτώ δισεκατομμύρια. Η νέα πληθυσμιακή πραγματικότητα δημιουργεί σοβαρό ζήτημα όσο αφορά τη δυνατότητα της γεωργικής παραγωγής να μπορέσει να ανταποκριθεί. Επιπλέον, στην εποχή που ζούμε η κοινωνία μας εξελίσσεται συνεχώς και με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνονται αντίστοιχα και οι απαιτήσεις του ανθρώπου. Ένας τομέας που πρέπει να ανταποκριθεί σε αυτές τις νέες απαιτήσεις είναι της γεωργίας, και συγκεκριμένα όσον αφορά την παραγωγή διάφορων προϊόντων, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Με την εξέλιξη των εργαλείων παρακολούθησης και των μεθόδων παραγωγής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην γεωργία υπάρχουν και οι ανάλογες απαιτήσεις για την βελτίωση του τελικού αποτελέσματος της παραγωγής. Συγκεκριμένα έρευνες επικεντρώθηκαν στην αύξηση της ποσότητας της παραγωγής του προϊόντος, στη διατήρηση ή και βελτίωση της ποιότητας του καθώς και στη καλύτερη τιμή του (οικονομικά αποδοτικότερή). Συνεπώς για να ανταποκριθούμε στις νέες ανάγκες του πλανήτη, είναι απαραίτητο να δημιουργηθούν μέθοδοι που χρησιμοποιούν αυτές τις νέες και καινοτόμες τεχνολογίες και στην συνέχεια οι σύγχρονοι αγρότες να είναι ενημερωμένοι για αυτές τις μεθόδους αλλά και παράλληλα να ξέρουν να τις χρησιμοποιούν σωστά. Η μέθοδος που επιλέξαμε εμείς ανήκει στο κομμάτι της γεωργίας ακριβείας και συγκεκριμένα με την αξιοποίηση των μεθόδων της τηλεπισκόπησης. Η τηλεπισκόπηση είναι ένα εργαλείο που διευκολύνει την αντιμετώπιση των προβλημάτων παραγωγής που μπορεί να αντιμετωπίσει ένας αγρότης. Εμείς θέλαμε να επικεντρωθούμε στην αξιολόγηση της χρησιμότητας των διάφορων δεικτών τηλεπισκόπησης, και συγκεκριμένα τους NDVI, EVI, NDWI και SAVI, για την βέλτιστη εφαρμογή της γεωργίας ακρίβειας. Μια από τις πιο σημαντικές δυσκολίες που μπορεί να έρθει αντιμέτωπος ένας αγρότης, κατά την περίοδο ανάπτυξης της καλλιέργειας, είναι να μπορέσει να εντοπίσει τα φυτά στο αγροτεμάχιο του, τα οποία δεν είναι εύρωστα και στην συνέχεια τον λόγο που οφείλεται αυτό (έλλειψη υγρασίας ή θρεπτικών συστατικών). Η λύση του προβλήματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση δορυφορικών εικόνων και δεικτών για τον εντοπισμό σημείων του αγροτεμαχίου που πρέπει να πραγματοποιηθούν διαφορετικές πρακτικές (περισσότερη άρδευση, μεγαλύτερη δοσολογία λιπασμάτων) για τη καλύτερη ανάπτυξη των φυτών. Όταν δεν λύνεται

έγκαιρα το συγκεκριμένο πρόβλημα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της παραγωγής αλλά και της ποιότητας του προϊόντος. Με τη συγκεκριμένη μελέτη ο στόχος μας είναι να πειραματιστούμε με την χρησιμότητα των διαφόρων δεικτών πάνω στην καλλιέργεια του βαμβακιού, η οποία είναι μια από τις πιο συχνά καλλιεργούμενες καλλιέργειες στην χώρα μας. Τέλος, ο σκοπός της ερευνητικής μελέτης είναι να βγάλουμε συμπεράσματα για την χρησιμότητα των δεικτών που βασίζονται σε δορυφορικές εικόνες και κατά πόσο μπορούν να βοηθήσουν τον αγρότη στον εντοπισμό προβληματικών σημείων στο αγροτεμάχιο για να μπορέσει να αυξήσει την παραγωγή και να βελτιώσει την ποιότητα του βαμβακιού.

1. Βιβλιογραφική Επισκόπηση

1.1 Κεφάλαιο Πρώτο: Το Βαμβάκι

1.1.1 Γενικά Χαρακτηριστικά

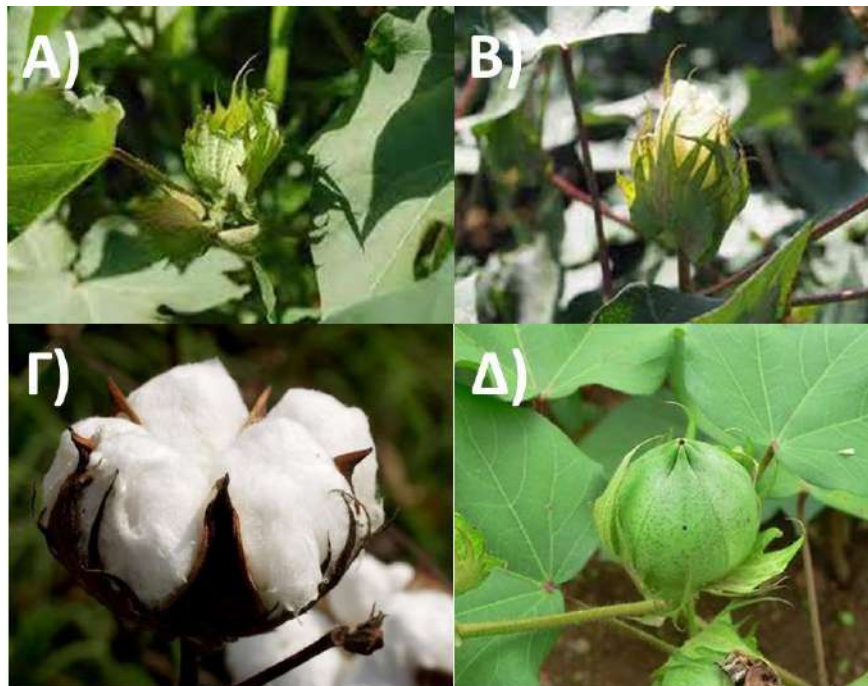
Το Βαμβάκι (*Gossypium hirsutum* L.) είναι ένα ετήσιο – βιομηχανικό φυτό. Αποτελεί το σημαντικότερο αγροβιομηχανικό προϊόν της Ελλάδας και θεωρείται η μεγαλύτερη κλωστική καλλιέργεια παγκοσμίως. Στην Ελλάδα, η παραγωγή της πραγματοποιείται κυρίως στα διαμερίσματα Θεσσαλίας, Μακεδονίας και Θράκης, σε εκτάσεις πάνω από 3.000.000 στρέμματα. Το μέρος του φυτού που συγκομίζεται είναι το σύσπορο, το οποίο αποτελείται από τους σπόρους και τις ίνες. Αυτά τα δύο «συστατικά» του βαμβακιού, μετά τη συγκομιδή διαχωρίζονται. Οι ίνες του βαμβακιού προορίζονται για την κλωστοϋφαντουργία, ενώ οι σπόροι παρόλο που αποτελούν υποπροϊόν του βαμβακιού, αποτελούν πλούσια πηγή λαδιού και προορίζονται για χρήση και στις ζωοτροφές. Με την αύξηση στην χρήση λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων στις καλλιέργειες έχει παρατηρηθεί ότι οι αποδόσεις του βαμβακιού έχουν τριπλασιαστεί τα τελευταία 50 χρόνια. Σήμερα, οι παραγωγές μπορεί να φτάσουν έως και τα 500 – 600 kg /στρέμμα (Khan, κ.α., 2020).

1.1.2 Ανάπτυξη

Τα στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού είναι τα παρακάτω (Εικόνα 1) (Tsaliki, κ.α., 2023):

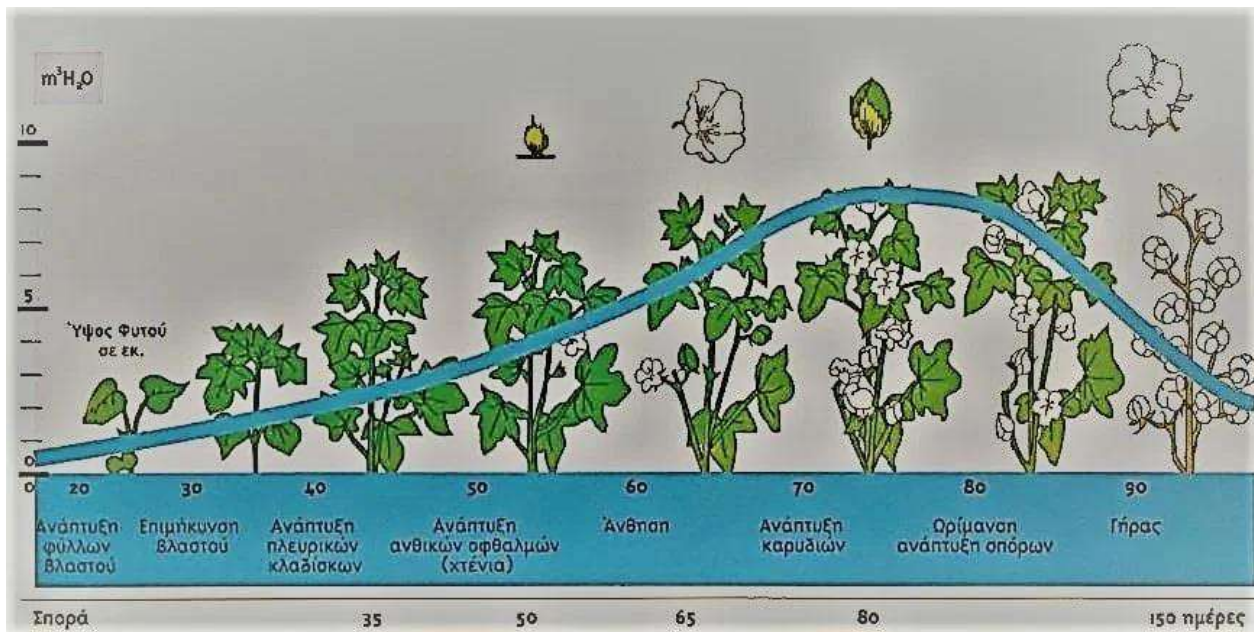
- Σπορά / Φύτρωμα: Η σπορά γίνεται τον Απρίλιο. Οι σπόροι πρέπει να έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά: α) πιστοποιημένοι, β) καλής ποιότητας, γ) υψηλής βλαστικότητας και δ) απολυμασμένοι. Εκτός από τα παραπάνω χαρακτηριστικά για να είναι επιτυχής το φύτρωμα απαιτείται επαρκή υγρασία και καλό αερισμό του χώματος στον αγρό, καθώς και η θερμοκρασία του εδάφους να είναι πάνω από 15 ° C. Το συγκεκριμένο στάδιο διαρκεί 5-11 ημέρες.
- Πρώτη ανάπτυξη: Διαρκεί περίπου 45 ημέρες από το φύτρωμα του σπόρου μέχρι την εμφάνιση των χτενιών.
- Προ-άνθηση: Ξεκινάει από το τέλος του προηγούμενου σταδίου, δηλαδή την εμφάνιση των χτενιών και κρατάει μέχρι την εμφάνιση του πρώτου λουλουδιού. Διαρκεί περίπου 20-25 ημέρες.

- **Ανθοφορία – Καρποφορία:** Είναι η παραγωγική περίοδος, η οποία ξεκινάει από το άνοιγμα του καρυδιού και τελειώνει μέχρι να αποκτήσει το τελικό του μέγεθος. Αυτή η περίοδος διαρκεί περίπου 45 ημέρες και είναι η πιο κρίσιμη, γιατί το φυτό έχει τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε θρεπτικά συστατικά, κατάλληλες καιρικές συνθήκες και νερό.



Εικόνα 1: Α) και Β) Χτένια βαμβακιού, Γ) Ανοιχτό καρύδι βαμβακιού, Δ) Κλειστό καρύδι βαμβακιού (Πηγή: : <https://hca.org.gr/pdf/kalyvas-omilia.pdf>, <https://www.agronews.gr/georgikes-proeidopoiiseis/193296/ta-eos-20-imeron-karudia-eupathi-prosvolis-apo-tis-vromouses/>, <https://humofert.gr/advice/epaggelmaties/epikaira-themata/25-i-humofert-avete-einai-mia-elliniki-etaireia-4.html>).

- **Ωρίμανση:** Διαρκεί περίπου 45 ημέρες μέχρι την τελική ωρίμανση του καρυδιού.
- **Συγκομιδή:** Η επιτυχία της συγκομιδής εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, την κατάσταση της καλλιέργειας ως προς την ομοιομορφία ωρίμανσης του φυτού, τα ζιζάνια, την μέθοδο συγκομιδής που θα χρησιμοποιηθεί καθώς και από τον τρόπο συγκομιδής. Η συγκομιδή γίνεται συνήθως στο τέλος του Αυγούστου και στις αρχές Σεπτεμβρίου.



Εικόνα 2: Στάδια ανάπτυξης βαμβακιού (Πηγή: <https://agravia.gr/anaqkes-se-nero-sto-vamvaki/>)

1.1.3 Παράγοντες που επηρεάζουν την τελική απόδοση και ποιότητα της καλλιέργειας του βαμβακιού

1.1.1.1 Εδαφικές Συνθήκες

Το βαμβάκι μπορεί και προσαρμόζεται σε διάφορους τύπους εδαφών εφόσον είναι καλά αποστραγγισμένο. Ωστόσο, για την επίτευξη υψηλών αποδόσεων το βαμβάκι προτιμά εδάφη μεσαίας σύστασης, μέσης-υψηλής γονιμότητας, μέτριας συγκέντρωσης αζώτου και φωσφόρου και ικανοποιητικής συγκράτησης νερού και αέρα. Τα πιο κατάλληλα εδάφη για την καλλιέργεια του βαμβακιού θεωρούνται τα αμμοπηλώδη (SL) έως τα αργιλωπηλώδη (CL). Συνεπώς, θα πρέπει να αποφεύγονται τόσο τα βαριά εδάφη με μικρή ικανότητα στράγγισης όσο και τα ελαφριά αμμώδη εδάφη με μικρή ικανότητα συγκράτησης του νερού. Το pH θα πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 6-7,6 ώστε να εξασφαλίζεται η άριστη παροχή όλων των απαραίτητων θρεπτικών στοιχείων για την ανάπτυξη του. Σε περιπτώσεις που το έδαφος έχει υψηλό pH, μπορεί να παρατηρηθεί δέσμευση φωσφόρου από το έδαφος με αποτέλεσμα να μη μπορούν οι ρίζες να απορροφήσουν το φώσφορο, ενώ όταν το έδαφος έχει χαμηλό pH μπορούν να παρατηρηθούν τοξικότητες ιχνοστοιχείων.

Επιπλέον, οι καλύτερες αποδόσεις επιτυγχάνονται σε εδάφη που είναι πλούσια σε ανθρακικό ασβέστιο και έχουν μια μικρή κλίση που βοηθάει στην καλύτερη αποστράγγιση του νερού. Τέλος με τη προσθήκη νιτρικού ασβεστίου, σε εδάφη με υψηλή περιεκτικότητα χλωριούχου νατρίου παρατηρείτε βελτίωση της ανάπτυξης των φυτών έως και 80% (Kalivas και Kollias, 2001).

Ακόμα και αν το βαμβάκι θεωρείται φυτό με καλή ανοχή σε αλατούχα εδάφη, στα πρώτα στάδια της ανάπτυξής του, δηλαδή από τη σπορά/φύτρωμα του σπόρου μέχρι και τη πρώτη ανάπτυξη, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο στην υψηλή αλατότητα που έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργεί προβλήματα για την καλή ανάπτυξη του φυτού. Ωστόσο, έχουμε την δυνατότητα να αποφύγουμε αυτά τα πιθανά προβλήματα με το να προσδιορίσουμε την περιεκτικότητα αλατότητας στο χωράφι μας. Το πρώτο βήμα είναι να ανιχνεύσουμε την αλατότητα με την μέτρηση της ECe – ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εδάφους. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με το ιστορικό του χωραφιού, όσο αφορά την συσσώρευση επιφανειακών νερών, αν το αρδευτικό νερό είναι πλούσιο σε άλατα, από τα εμφανή συμπτώματα στην επιφάνεια του εδάφους υπό τη μορφή λεπτής επιφανειακής κρούστας, κλπ. Αν διαπιστωθεί πρόβλημα για να το καταπολεμήσουμε, χρησιμοποιούμε λιπάσματα από τη σπορά μέχρι και το σχηματισμό των πρώτων φύλλων του βαμβακιού (2-4 πραγματικά φύλλα). Η λίπανση κατά το χρονικό αυτό διάστημα θα βοηθήσει στη γρήγορη ανάπτυξη των φυτών (Kalivas και Kollias, 2001).

1.1.1.2 Κλιματικές Συνθήκες

Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν σημαντικά την διαδικασία της ανάπτυξης του βαμβακιού είναι η θερμοκρασία. Είναι ένα φυτό θερμών κλιμάτων, το οποίο χρειάζεται μια μακρά περίοδο χωρίς παγετό, ζέστη και άφθονη ηλιοφάνεια. Δηλαδή, προτιμά το ζεστό και υγρό κλίμα. Η ελάχιστη θερμοκρασία για ικανοποιητική ανάπτυξη, θεωρείται μεταξύ 13-15 °C, ενώ η άριστη θερμοκρασία για τη φυσιολογική ανάπτυξη και την επίτευξη των υψηλών αποδόσεων είναι μεταξύ 32–34°C. Θερμοκρασίες πολύ μεγαλύτερες από 37 °C δεν είναι επιθυμητές. Ωστόσο, το φυτό του βαμβακιού μπορεί να επιβιώσει και σε θερμοκρασίες έως 43°C για σύντομους περιόδους χωρίς μεγάλη ζημιά, αλλά αυτό εξαρτάται κυρίως και από τα επίπεδα υγρασίας.

Μια κρίσιμη περίοδος, θεωρείται αυτή της σποράς-φυτρώματος, όπου πρέπει να επικρατούν στο έδαφος ευνοϊκές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Η θερμοκρασία του εδάφους θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 15°C με την άριστη μεταξύ 20-30°C, ενώ η υγρασία θα πρέπει να είναι επαρκής και όχι υπερβολική ώστε να επιτρέπει στο σπόρο την κατάλληλη απορρόφηση του νερού. Εάν υπάρχει κάποια απότομη αλλαγή αυτών των συνθηκών τότε υπάρχει πιθανότητα αποτυχίας της εγκατάστασης της καλλιέργειας του βαμβακιού. Επιπλέον, πρέπει να επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες κατά την περίοδο ανθοφορίας-καρποφορίας. Κατά την περίοδο της ωρίμανσης (περίοδο καλοκαιριού) – συγκομιδής (περίοδο φθινοπώρου) δεν είναι επιθυμητός ο βροχερός καιρός με χαμηλές θερμοκρασίες, διότι εμποδίζουν την ωρίμανση και το άνοιγμα των καρυδιών, οψιμίζουν την παραγωγή, ευνοούν τις προσβολές από μύκητες και έντομα και υποβαθμίζουν την ποιότητα του σύσπορου. Στα στάδια αυτά επιδρούν θετικά ο αίθριος καιρός με υψηλές θερμοκρασίες, ο καλός αερισμός με ξηρούς ανέμους και η υψηλή γονιμότητα του εδάφους (Kalivas και Kollias, 2001).

1.1.1.3 Καλλιεργητικές Πρακτικές

Βασική προϋπόθεση για να έχει απόδοση η καλλιέργεια του βαμβακιού είναι η διατήρηση και η αύξηση της γονιμότητας του εδάφους. Για να το επιτύχουμε αυτό θα πρέπει να πραγματοποιούνται κάποιες εδαφικές κατεργασίες πριν την ενσωμάτωση της καλλιέργειας στο αγροτεμάχιο. Προτού εφαρμόσουμε κάποια πρακτική στο χωράφι μας θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν το είδος της προηγούμενης καλλιέργειας για να μπορέσει να προσδιοριστεί η επίδρασή της στη διαθεσιμότητα των θρεπτικών στοιχείων του εδάφους. Ακολουθεί η κατεργασία του εδάφους και η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής καλλιέργειας που έχουν ουσιαστική επίδραση στην ανάπτυξη του βαμβακιού και θα πρέπει να επιλέγονται οι πρακτικές εκείνες που επιφέρουν πρωίμηση της καλλιέργειας. Η προετοιμασία του εδάφους ξεκινά κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου, μετά τη συγκομιδή, κάνοντας ένα σωστό όργωμα, σε βάθος περίπου 35 εκατοστά. Με αυτόν τον τρόπο ενσωματώνεται ό,τι έχει απομείνει από τα φυτά της καλλιέργειας στο έδαφος, κάτι που βελτιώνει την σύσταση του εδάφους με την αποσύνθεσή τους. Στα τέλη του χειμώνα, γίνεται έλεγχος για ζιζάνια

και όργωμα ξανά του χωραφιού, ώστε να προετοιμάσει το χώμα για την επόμενη παραγωγή (Kalivas και Kollias, 2001).

1.1.1.4 Ανάσχεση (σταμάτημα) της Υπερβολικής Ανάπτυξης

Όταν η καλλιέργεια μας αποκτά υπερβολικό ύψος είναι απαραίτητη η εφαρμογή ανασχετικών μεθόδων για το σταμάτημα της ανάπτυξης των φυτών. Στην περίπτωση που παραλειφθεί ή καθυστερήσει η εφαρμογή της έχει ως αποτέλεσμα την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη, που οψιμίζει και μειώνει την παραγωγή. Η λύση είναι η έγκαιρη πρώτη επέμβαση, όταν τα φυτά είναι ακόμα μικρά, περίπου 40-50 εκατοστά. Αν αργήσει η επέμβαση, η πιθανότητα επιτυχίας είναι πολύ μικρή και παράλληλα θα στοιχίσει και ακριβότερα, αφού θα απαιτηθούν πολύ μεγαλύτερες δόσεις ανασχετικών. Μετά την πρώτη επέμβαση, και ανάλογα με τον καιρό και την εμφάνιση της βαμβακοφυτείας, μπορεί να χρειαστεί δεύτερη ή και τρίτη εφαρμογή. Πρέπει να σημειωθεί ότι η εφαρμογή των ανασχετικών προκαλούν συμπτώματα δίψας στα φυτά και επομένως θα χρειαστούν πότισμα νωρίτερα, από ότι θα χρειάζονταν χωρίς την εφαρμογή τους. Η εφαρμογή άρδευσης και το πότε, εξαρτάται από το χωράφι και τις καιρικές συνθήκες. Πάντως πρέπει να αναφερθεί ότι δεν συνιστάται το άμεσο πότισμα μετά την ανάσχεση.

Τέλος, η χρήση φυτορρυθμιστικών ουσιών (αναστολείς βλάστησης, ωριμαντικά, αποφυλλωτικά) στο βαμβάκι είναι μια συνηθισμένη πρακτική και η επιλογή τους καθορίζεται από τον τρόπο δράσης τους και το στάδιο ανάπτυξης του φυτού (Kalivas και Kollias, 2001).

1.1.1.5 Πότισμα

Μία από τις σημαντικότερες καλλιεργητικές επεμβάσεις είναι το πότισμα. Για την εξασφάλιση της ισορροπίας μεταξύ βλαστικής ανάπτυξης και καρποφορίας είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται τις κατάλληλες χρονικές στιγμές και με σωστή ποσότητα. Το βαμβάκι είναι μια καλλιέργεια που στη χώρα μας αποκλειστικά αρδεύεται. Η διαχείριση του νερού κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε στάδιο ανάπτυξης, τη σύσταση του εδάφους (τύπος, ιστορικό), τον τρόπο άρδευσης, το γενότυπο που επιλέγεται (ποικιλία), το στάδιο ανάπτυξης των φυτών και τον τρόπο λίπανσης. Η επιλογή του χρόνου ποτίσματος στις περιπτώσεις αυτές καθορίζεται από τον τύπο

του εδάφους του χωραφιού και το ιστορικό του. Παράλληλα, πολύ σημαντικό ρόλο παίζει επίσης η καλλιεργούμενη ποικιλία, καθώς η κάθε μια έχει τις δικές της απαιτήσεις. Για παράδειγμα, οι πρώιμες ποικιλίες με φτωχότερο ριζικό σύστημα σε σχέση με τις οψιμότερες, χρειάζονται νωρίτερα και συχνότερα πότισμα. Πρόωρα ποτίσματα οδηγούν σε ανεπιθύμητη, υπερβολική βλαστική ανάπτυξη και οψίμηση της παραγωγής, ενώ η καθυστέρησή τους προκαλεί μείωση ή σταμάτημα της ανάπτυξης αλλά και πτώση χτενιών και καρυδιών. Και στις δύο περιπτώσεις έχουμε μείωση της παραγωγής και υποβάθμιση της ποιότητας του καρπού. Συνεπώς, είναι σημαντικό να ξεχωρίζει ο παραγωγός πότε θέλει πότισμα το χωράφι (Ermanis, κ.α, 2021, Falkenberg, κ.α., 2007).

Σύμφωνα με τα φαινολογικά στάδια ανάπτυξης του βαμβακιού οι απαιτήσεις του σε νερό είναι περιορισμένες και συνήθως καλύπτονται από τη διαθέσιμη υγρασία του εδάφους μέχρι το φυτό να σχηματίσει τα πρώτα του χτένια. Την περίοδο της σποράς και όταν οι κλιματικές συνθήκες είναι τέτοιες που προκαλούν ξήρανση του εδάφους, υπάρχει μεγάλος κίνδυνος αποτυχίας του φυτρώματος. Το πρόβλημα αυτό αποφεύγεται με την εφαρμογή ποτίσματος για να βοηθήσει το φύτεμα του βαμβακιού. Την περίοδο της ανθοφορίας (Ιούλιος – Αύγουστος) οι ανάγκες σε νερό προοδευτικά αυξάνονται και κορυφώνονται όταν εμφανίζονται τα πρώτα ανοιχτά καρύδια. Τέλος, προχωρώντας προς την ωρίμανση των καρυδιών οι ανάγκες σε νερό αρχίζουν πάλι να περιορίζονται (Kountios, κ.α., 2023).

Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελούν τα ποτίσματα κατά το στάδιο του φυτρώματος. Χρειάζεται προσοχή στη δόση του νερού και στην λήψη απόφασης για την επανάληψή της. Η ποσότητα του νερού πρέπει να είναι τόση όση χρειάζεται για να δώσει στο έδαφος την αναγκαία για την βλάστηση του σπόρου υγρασία, χωρίς να δημιουργεί συνθήκες υπερβολικής υγρασίας, οι οποίες είναι πολύ επικίνδυνες για εκδήλωση σηψιρριζιών. Επίσης, υπάρχει αυξημένος κίνδυνος δημιουργίας σκληρού επιφανειακού φυτοχώματος (έντονης κρούστας στην επιφάνεια τους εδάφους), όταν χρησιμοποιείται πολυμπέκ στα ποτίσματα φυτρώματος. Για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα πρέπει να χρησιμοποιούνται μικρότερα μπέκ και η ποσότητα του νερού να είναι περιορισμένη. Δηλαδή πριν την σπορά προτιμάται να γίνουν 2 ποτίσματα με μικρότερη ποσότητα νερού με το μπέκ παρά ένα πότισμα με μεγαλύτερη ποσότητα

νερού. Σε κάθε άλλη περίπτωση το πότισμα μετά τη σπορά είναι προτιμότερο (Ermanis, κ.α., 2021).

Τέλος, κατά την διάρκεια του ποτίσματος είναι απαραίτητο να πραγματοποιείται καλή διαχείριση και αποφυγή σπατάλης του αρδευτικού νερού. Για τη μείωση της νιτρορρύπανσης, πρέπει να προσέχουμε η δόση του αρδευτικού νερού σε κάθε πότισμα να είναι τόση, όση μπορεί να συγκρατήσει το έδαφος, ώστε να αποτρέπονται η απορροή ή η βαθιά διήθηση που ρυπαίνουν με νιτρικά τα νερά. Σε χωράφια με κλίση μεγαλύτερη από 6%, επιβάλλεται η στάγδην άρδευση (Gemtos, κ.α, 2002).

1.1.1.6 Λίπανση

Το βαμβάκι πολλές φορές παρουσιάζει δυσκολία στην αφομοίωση θρεπτικών συστατικών, συνεπώς ο προσεκτικός σχεδιασμός της λίπανσής του, είναι αναγκαίος. Προτού εφαρμοστεί λίπανση στην παραγωγή θα πρέπει να προηγηθεί η διαδικασία της εδαφολογικής ανάλυσης του εδάφους για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η σωστή λίπανση. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης, εφαρμόζεται στο βαμβάκι κατάλληλη δοσολογία της ποσότητας της βασικής και επιφανειακής λίπανσης. Η βασική λίπανση στοχεύει στην παροχή σημαντικής ποσότητας αζώτου (N) από τη σπορά έως την εμφάνιση των πρώτων χτενιών. Μέσω αυτής εξασφαλίζεται η υγιή βλαστική ανάπτυξη και εύρωστη φυλλική επιφάνεια, ειδικά όταν αυτή βρίσκεται και σε σταθεροποιημένη μορφή, με μειωμένες απώλειες. Επιπλέον, εστιάζει στον επαρκή εφοδιασμό φωσφόρου (P_2O_5), όπου συμβάλλει στην ανάπτυξη ενός ισχυρού ριζικού συστήματος. Τέλος, έμφαση δίνεται και στην εξασφάλιση της επάρκειας καλίου (K_2O), που ακολουθεί παρόμοιους ρυθμούς αφομοίωσης με το άζωτο, με μόνη διαφορά ότι οι απαιτήσεις του αυξάνονται στα στάδια γεμίσματος και ωρίμανσης των καρυδιών. Εκτός από τον εφοδιασμό των τριών βασικών στοιχείων για την σωστή θρέψη της καλλιέργειας, η βασική λίπανση καλύπτει τις απαιτήσεις και στα μικρό-θρεπτικά στοιχεία, ασβεστίου (CaO), βορίου (B), ψευδαργύρου (Zn) και θείου (S), στα αρχικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας. Ο σκοπός του είναι να συμβάλλουν στο ομαλό φύτρωμα και στην ενίσχυση της υπέργειας και υπόγειας ανάπτυξης του φυτού (Miley και Oosternuis, 1990).

Η επιφανειακή λίπανση εφαρμόζεται για την κάλυψη των απαιτήσεων της καλλιέργειας σε άζωτο (N) στο φαινολογικό στάδιο, δηλαδή πριν ή κατά την πρώτη

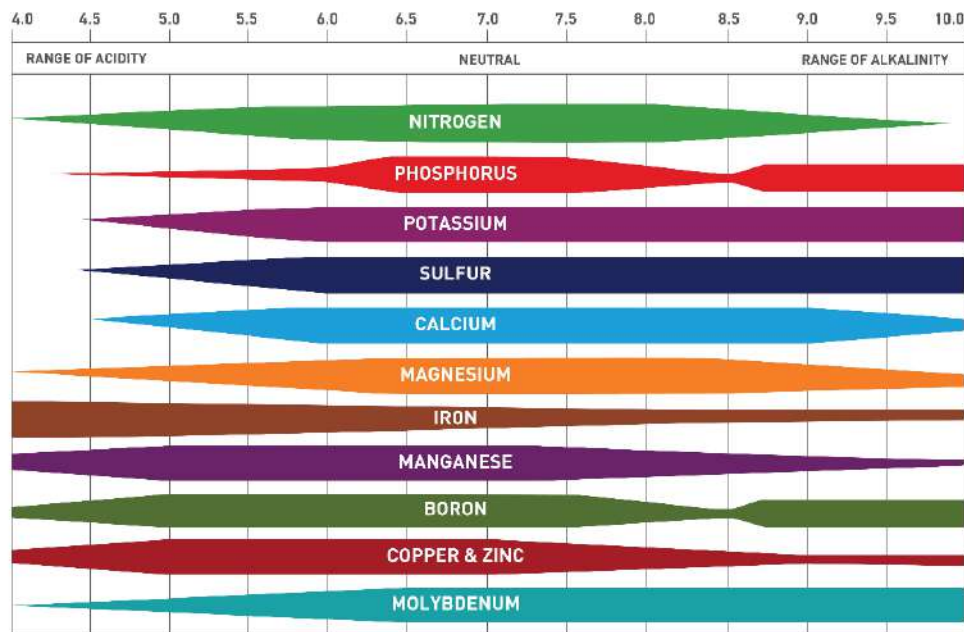
εμφάνιση των χτενιών. Μπορεί να γίνει με δύο τρόπους: α) είτε μέσω του λιπασματοδιανομέα, κατά μήκος της γραμμής σποράς, β) είτε μέσω της υδρολίπανσης στην περίπτωση αρδευόμενων εκτάσεων. Αυτή η προσθήκη αζώτου διαρκεί έως την εμφάνιση των πρώτων καρυδιών, με αποτέλεσμα να συνιστάται η χρήση παρεμποδισμένων λιπασμάτων αζώτου στις ξηρικές καλλιέργειες και η επανάληψη εφαρμογής του στην υδρολίπανση. Κατά την περίοδο ανάπτυξης των ινών, προστίθεται κάλιο διότι συμβάλει στην εξισορρόπηση φορτίου – βλάστησης. Παράλληλα, με την προσθήκη ασβεστίου (CaO) επιτυγχάνεται η διαμόρφωση καλής ποιότητας της ίνας. Με τις σωστές επιφανειακές εφαρμογές λίπανσης, εξασφαλίζεται: α) η ενισχυμένη ευρωστία, φυλλική επιφάνεια, φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών, β) η ορμονική ισορροπία, γ) η αύξηση αριθμού καρυδιών ανά φυτό και δ) το μεγαλύτερο γέμισμα, βάρος καρυδιών με αυξημένη ποιότητα ίνας. Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι κάθε ένα από τα παραπάνω θρεπτικά στοιχεία, διαδραματίζει το ρόλο του στην φυσιολογική ανάπτυξη του βαμβακιού και εφαρμόζεται με συγκεκριμένη πρακτική και σε συγκεκριμένα στάδια.

Σε κρίσιμα στάδια ανάπτυξης, όπως είναι η σπορά/φύτρωμα και συγκεκριμένα τη φάση 2 – 4 φύλλων υπάρχει έντονο αβιοτικό stress λόγω χαμηλών θερμοκρασιών. Συνιστάται η χρήση διαφυλλικών ειδικών σκευασμάτων θρέψης και βιοδιέγερσης όπως είναι φωσφορούχοι και ισορροπημένοι τύποι, ιχνοστοιχεία βορίου και μολυβδαινίου, σκευάσματα με στόχο την εξισορρόπηση ορμονικής ισορροπίας κ.α. Για την έναρξη – πλήρης ανθοφορία και στη καρπόδεση, τα προϊόντα εξειδικευμένων ιχνοστοιχείων και βιοδιεγερτικών σκευασμάτων, μπορούν να εφαρμοστούν και με τη μέθοδο της υδρολίπανσης. Μετά τη συγκομιδή, ένα μέρος της βιομάζας του φυτού ενσωματώνεται στο έδαφος, καλύπτοντας ένα ποσοστό των θρεπτικών συστατικών που αφαιρείται (Polychronaki, κ.α., 2012).

Στην περίπτωση που δεν έχει πραγματοποιηθεί εδαφολογική ανάλυση, προτείνεται μία γενική λίπανση που θα δώσει στο έδαφος άζωτο σε μεγαλύτερη αναλογία, συγκεκριμένα 10-12 μονάδες, φωσφόρο 5-6 μονάδες και κάλιο 5-6 μονάδες. Για την εφαρμογή αυτών των μονάδων, χρησιμοποιούνται τα σύνθετα λιπάσματα 20-10-10, 18-8-8, 18-9-6 και άλλα παρόμοια που έχουν αναλογία αζώτου, φωσφόρου και καλίου περίπου 2-1-1 και σε ποσότητα 40-60 κιλών / στρέμμα (Βλάχος, 2004, Θέριος,

2021). Από την συγκεκριμένη αυτή ποσότητα μικρό μέρος της εφαρμόζεται στη σπορά γραμμικά. Η υπόλοιπη, μεγαλύτερη ποσότητα, θα πρέπει να εφαρμοστεί στο τελευταίο σκαλιστήρι, δηλαδή στα τέλη Ιουνίου, ώστε να είναι κοντά και να είναι διαθέσιμο την εποχή των μεγάλων απαιτήσεων της καλλιέργειας, το οποίο κυμαίνεται από τις αρχές Αυγούστου και μετά. Σε αυτήν την περίοδο το βαμβάκι καταναλώνει το 70% περίπου του αζώτου, φωσφόρου και καλίου (Setatou και Simonis, 1995) .

Συνεπώς, για την εξασφάλιση υψηλού κέρδους του παραγωγού, την παραγωγή υψηλών ποιοτικά αγροτικών προϊόντων και παράλληλα τη διατήρηση των εδαφικών πόρων είναι απαραίτητη η εφαρμογή ορθολογικής λίπανσης. Η ορθολογική λίπανση εκτιμάται πάντα σε σχέση με: α) Αναμενόμενη απόδοση, β) Χαρακτηριστικά εδάφους, γ) Πυκνότητα φύτευσης, δ) Συνθήκες περιβάλλοντος, ε) Στάδιο ανάπτυξης, ζ) Καλλιεργητική διάρκεια και η) Ποικιλία. Με χρήση των 3 βασικών πυλώνων – πρακτικών της λίπανσης, των βασικών, επιφανειακών και ειδικών διαφυλλικών εφαρμογών, μπορούμε με αειφόρο τρόπο να εξασφαλίσουμε τόσο υψηλές αποδόσεις και ποιότητα, όσο και την αναπλήρωση της ποσότητας των θρεπτικών συστατικών.



Εικόνα 3: Η σχέση του εδαφικού pH και της διαθεσιμότητας των θρεπτικών στοιχείων (Πηγή: <https://www.goldenharvestseeds.com/agronomy/articles/high-ph-level-corn-response>).

1.1.1.7 Φυτοπροστασία

Ο επιτυχημένος έλεγχος των ζιζανίων διασφαλίζει ότι τα φυτά του βαμβακιού θα αναπτυχθούν στον αγρό χωρίς ανταγωνισμό και επομένως χωρίς δυσμενείς επιδράσεις στην τελική τους απόδοση. Το ίδιο ισχύει και για τα έντομα ή τις ασθένειες που προσβάλλουν την καλλιέργεια. Η επιτυχημένη διαχείριση όλων των παραπάνω θα πρέπει να στηρίζεται στην αναγνώριση των ζιζανίων, εντόμων, ασθενειών ώστε να γίνει η επιλογή του καταλληλότερου φυτοπροστατευτικού προϊόντος (Paramichail, κ.α., 2002).

1.2 Κεφάλαιο Δεύτερο: Γεωργία Ακριβείας

Κάθε αγροτεμάχιο και καλλιέργεια διαθέτει τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Συνεπώς, απαιτούν στοχευμένη εφαρμογή λίπανσης και άρδευσης. Με τη χρήση της γεωργίας ακριβείας έχουμε τη δυνατότητα να συλλέξουμε, να επεξεργαστούμε και να αναλύσουμε τα συγκεκριμένα δεδομένα και στη συνέχεια να εφαρμόσουμε τις κατάλληλες τεχνικές σε συνδυασμό με τις έξυπνες μηχανές, οι οποίες θα ανταποκρίνονται στις ανάγκες της καλλιέργειας μας που μεταβάλλονται χώρο-χρονικά. Άρα, ως ορισμό η γεωργία ακριβείας (Precision Agriculture) είναι μια στρατηγική διαχείριση, η οποία αποτελείται από μια σειρά από διαδικασίες και χώρο-χρονικές αναλύσεις δεδομένων που συνδυάζει πολλές πληροφορίες μαζί για να βοηθήσει την λήψη αποφάσεων λαμβάνοντας υπόψιν την παραλλακτικότητα του χώρου. Είναι μια νέα μέθοδο γεωργικής πρακτικής, η οποία βρίσκεται στον κλάδο της έξυπνης γεωργίας και χρησιμοποιεί την πληροφορία με σαφήνεια προσδιορισμένη ως προς το χώρο και το χρόνο με σκοπό την βελτίωση της απόδοσης, της παραγωγικότητας, της ποιότητας του κέρδους και της αειφορίας της πρωτογενούς παραγωγής, όσο και στην μείωση των αρνητικών επιπτώσεων στο περιβάλλον. Για να μπορέσει να πραγματοποιηθεί η σωστή και πλήρης χρήση της είναι καλό οι παραγωγοί και οι επαγγελματίες του συγκεκριμένου κλάδου να κατέχουν τις κατάλληλες γνώσεις σχετικά με τις σύγχρονες τεχνολογίες που προσφέρει η αγορά (Zhang, κ.α., 2002, Petrovic, κ.α., 2024).

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα της γεωργίας ακριβείας είναι τα ακόλουθα (Brisco, κ.α., 2014, Shishodia, κ.α., 2020):

- Μείωση του αριθμού των περασμάτων, δηλαδή διαδρομών που εκτελεί ο αγρότης με ένα γεωργικό μηχάνημα κατά την κατεργασία του εδάφους. Ως αποτέλεσμα αξιοποιείται πιο αποδοτικά ο χρόνος του παραγωγού ή του ανθρώπινου δυναμικού ενώ την ίδια στιγμή μειώνονται τα έξοδα και διατηρείται η δομή του καλλιεργούμενου εδάφους.
- Δυνατότητα λειτουργίας σε συνθήκες χαμηλής ορατότητας ή τη νύχτα.
- Βελτίωση του βιοτικού επιπέδου.

- Στοχευμένη εφαρμογή και αποδοτική χρήση των εισροών της γεωργικής εκμετάλλευσης, όπως σπόροι, λιπάσματα και φυτοφάρμακα, μέσω της χρήσης διαφορετικών ποσοτήτων ανά περίπτωση προσαρμοσμένων στις ανάγκες-απαιτήσεις του κάθε χωραφιού ή μέρος αυτού που γίνεται η εφαρμογή (τμηματικός έλεγχος).
- Έγκαιρη και ακριβής επέμβαση με τη βοήθεια ειδικού λογισμικού, το οποίο παρέχει συμβουλές στον αγρότη.
- Ιχνηλασιμότητα των εργασιών και των προϊόντων που πραγματοποιήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν από τον παραγωγό (χωράφι) μέχρι τον καταναλωτή.
- Μετριασμός των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τις γεωργικές δραστηριότητες και
- Χρήση πληθώρα τεχνολογιών και εφαρμογών.

Η γεωργία ακριβείας βασίζεται σε τεχνολογίες και μέσα ικανά να καταγράψουν με ακρίβεια την υπάρχουσα κατάσταση στον αγρό, στη συνέχεια να διαχειριστούν τη συγκεντρωμένη πληροφορία και δεδομένα και στο τέλος να εφαρμόσουν τις εισροές έτσι, ώστε να καλύπτουν τις ανάγκες κάθε σημείου και χρονικής στιγμής ξεχωριστά. Στις τεχνολογίες που χρησιμοποιεί συμπεριλαμβάνονται (Lange, κ.α., 2021, Shafi, κ.α., 2019):

- Συστήματα και μηχανισμοί καταγραφής δεδομένων, όπως χάρτες αποδόσεων, εργαστηριακές αναλύσεις, τηλεπισκόπηση, συστήματα εντοπισμού θέσης και αισθητήρες.
- Συστήματα διαχείρισης και απόδοσης αποτελεσμάτων, όπως Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών - Γ.Σ.Π. και Έμπειρα συστήματα και
- Συστήματα μεταβαλλόμενης εφαρμογής (της ροής ή του είδους), όπως λιπασματοδιανομείς, σπορείς, ψεκαστήρες, κ.ά.

Σε αντίθεση με τις συμβατικές μεθόδους αγροτικής παραγωγής, όπου οι εισροές παρέχονται ενιαία στον αγρό, θεωρώντας ότι υπάρχει μια αποδεκτή ομοιογένεια στις εδαφολογικές ιδιότητες και τη γονιμότητα του εδάφους, την εδαφική υγρασία, τους

πληθυσμούς των ζιζανίων και των εντόμων, και τα χαρακτηριστικά των φυτών, η γεωργία ακριβείας διαχειρίζεται τον αγρό σε διαχειριστικές ζώνες που εμφανίζουν μια σχετική ομοιομορφία που ανταποκρίνεται περισσότερο στην πραγματικότητα. Με τη γεωργία ακριβείας διαχειριζόμαστε αποτελεσματικότερα την τοπική παραλλακτικότητα ενός αγρού με στόχο (Perdersen και Lind, 2017):

- Την αύξηση της απόδοσης της παραγωγής.
- Τη βελτίωση της ποιότητας των προϊόντων.
- Την ορθολογική και αποτελεσματικότερη χρήση των χημικών εισροών.
- Τη μείωση κατανάλωσης της ενέργειας.
- Την προστασία του εδάφους και των υπογείων υδάτων.

1.3 Κεφάλαιο Τρίτο: Τηλεπισκόπηση

Στη διεθνή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος *remote sensing*, ο οποίος έχει μεταφραστεί στα ελληνικά επακριβώς σε τηλεανίχνευση, αλλά έχει επικρατεί ο όρος τηλεπισκόπηση. Σύμφωνα με τον αρχικό ορισμό, η έννοια της τηλεπισκόπησης μπορεί να συμπεριλάβει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, τεχνικών ή και φυσιολογικών λειτουργιών. Σήμερα με το όρο «τηλεπισκόπηση» εννοούμε «την επιστήμη και την τεχνολογία παρατήρησης και μελέτης των χαρακτηριστικών και φαινομένων της γήινης επιφάνειας από απόσταση, βάσει της αλληλεπίδρασης των υλικών που βρίσκονται επάνω σε αυτή με βάση την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία» (Campbell και Wignne, 2011). Για την υλοποίηση της, αξιοποιούνται τεχνολογικοί αισθητήρες/ψηφιακοί σαρωτές που εδράζονται σε δορυφόρους ή αεροσκάφη για τον εντοπισμό και την ταξινόμηση αντικειμένων στη Γη. Μπορεί να περιλαμβάνει την επιφάνεια της γης, την ατμόσφαιρα και τους ωκεανούς, με βάση τα μεταδιδόμενα σήματα, χρησιμοποιώντας τη πιο κοινή την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και συνέχεια την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα. Διακρίνεται σε «ενεργητική» τηλεπισκόπηση, όταν εκπέμπεται σήμα από δορυφόρο ή αεροσκάφος στο αντικείμενο και η ανάκλασή του ανιχνεύεται από τον αισθητήρα, και «παθητική» τηλεπισκόπηση, όταν η αντανάκλαση του ηλιακού φωτός ανιχνεύεται από τον αισθητήρα. Ένα διαστημικό όχημα μπορεί να μεταφέρει περισσότερους από ένα ανιχνευτές, αυτό έχει ως αποτέλεσμα πολλές φορές να προκαλείται σύγχυση μεταξύ οχήματος και σαρωτή. Για παράδειγμα ο δορυφόρος Terra μεταφέρει, μεταξύ άλλων, τον ανιχνευτή ASTER και τον ανιχνευτή MODIS. Όταν αναφερόμαστε στα δεδομένα που μεταδίδονται στη γη, συνήθως τα διακρίνουμε με βάση τον ανιχνευτή, έτσι λοιπόν μιλάμε για δορυφορική εικόνα ASTER και όχι για δορυφορική εικόνα TERRA (McCoy, 2005, Naval Gund, κ.α., 2007, Rustamov, κ.α., 2018, Showengerdt, 2017).

1.3.1 Δείκτης NDVI

Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) είναι ένας από τους πιο κοινούς και συχνά χρησιμοποιούμενους δείκτες βλάστησης στην τηλεπισκόπηση από την δεκαετία του 1970 κι έπειτα. Με την συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας αλλά και την εύκολη πρόσβαση εικόνων τηλεπισκόπησης από δορυφόρους και UAV, όλο και περισσότεροι

άνθρωποι υιοθετούν το NDVI στις καθημερινές δραστηριότητες τους, πέρα από τη χρήση του στο πεδίο της επιστήμης. Μεταξύ των τυπικών δεικτών φασματικής βλάστησης, ο NDVI είναι ένας από τους πιο κατάλληλους για την παρακολούθηση της δυναμικής ανάπτυξης των καλλιεργειών από απόσταση, καθώς μετρά τη φωτοσυνθετικά ενεργή βιομάζα στα φυτά. Με άλλα λόγια, αναλύει τις τηλεπισκοπικές μετρήσεις και εκτιμά κατά πόσο η περιοχή μελέτης καλύπτεται από βλάστηση ή όχι (Huang, κ.α., 2020).

Αυτό το πραγματοποιεί με τη χρήση της τεχνικής επεξεργασίας πολυφασματικών τηλεπισκοπικών εικόνων, με τον συνδυασμό διάφορων καναλιών δεδομένων, με στόχο να εξάγει τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται σε μια δορυφορική εικόνα. Ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά που εξάγουμε από τις δορυφορικές εικόνες είναι η βλάστηση, η οποία είναι ένας από τους πιο σημαντικούς βιοφυσικούς δείκτες για τη διάβρωση του εδάφους. Οι δείκτες βλάστησης βοηθούν στην κατανομή της βλάστησης και του εδάφους με βάση τα χαρακτηριστικά πρότυπα ανάκλασης της πράσινης βλάστησης αλλά είναι και χρήσιμοι στην πρόβλεψη φυσικών καταστροφών.

Για να μπορέσει να εφαρμόσει την παραπάνω τεχνική, εκμεταλλεύεται την αντίθεση των χαρακτηριστικών δύο ζωνών ενός πολυφασματικού συνόλου δεδομένων raster. Συγκεκριμένα:

- Την απορρόφηση χρωστικών ουσιών χλωροφύλλης στη κόκκινη ζώνη (Red) και
- Την υψηλή ανακλαστικότητα του φυτικού υλικού στην υπέρυθρη ζώνη (NIR).

Η λειτουργία του NDVI βασίζεται στη μαθηματική σύγκριση της ποσότητας του απορροφούμενου ορατού κόκκινου φωτός και του ανακλώμενου κοντινού υπέρυθρου φωτός, διότι η χρωστική ουσία χλωροφύλλης σε ένα υγιές φυτό απορροφά το μεγαλύτερο μέρος του ορατού κόκκινου φωτός, ενώ η κυτταρική δομή ενός φυτού αντανακλά το μεγαλύτερο μέρος του εγγύς υπέρυθρου φωτός. Συνεπώς, η υψηλή φωτοσυνθετική δραστηριότητα, που συνήθως συνδέεται με τη πυκνή βλάστηση, θα έχει λιγότερη ανάκλαση στη κόκκινη ζώνη και μεγαλύτερη ανάκλαση στην εγγύς υπέρυθρη ζώνη.

Σύμφωνα με τα παραπάνω ο NDVI υπολογίζεται λαμβάνοντας μια αναλογία μεταξύ της διαφοράς ανάκλασης από τις ζώνες NIR και κόκκινου και του αθροίσματος της ανάκλασης από τις ζώνες NIR και κόκκινου.

Η εξίσωση είναι η ακόλουθη:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Όπου:

-Το NIR είναι φως κοντά στο υπέρυθρο και

-Το Red είναι η απόκριση στις κόκκινες (ή ορατές) ζώνες .

Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται από -1 έως 1. Οι αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε περιοχές με υδάτινες επιφάνειες, ανθρωπογενείς κατασκευές, βράχους, σύννεφα ή χιόνι. Το γυμνό έδαφος συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 0,1-0,2 και τα φυτά έχουν πάντα θετικές τιμές μεταξύ 0,2 και 1. Η υγιής, πυκνή κόμη βλάστησης παίρνει τιμές πάνω από 0,6 και η αραιή βλάστηση είναι μεταξύ 0,2 και 0,4. Ωστόσο, οι τιμές είναι ενδεικτικές και θα πρέπει πάντα να λαμβάνεται υπόψη η εποχή, ο τύπος του φυτού και οι περιφερειακές ιδιαιτερότητες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, οι τιμές NDVI μεταξύ 0,2 και 0,4 αντιστοιχούν σε περιοχές με αραιή βλάστηση. Η μέτρια βλάστηση τείνει να κυμαίνεται μεταξύ 0,4 και 0,6 και οτιδήποτε πάνω από 0,6 δείχνει την υψηλότερη δυνατή πυκνότητα πράσινων φύλλων.

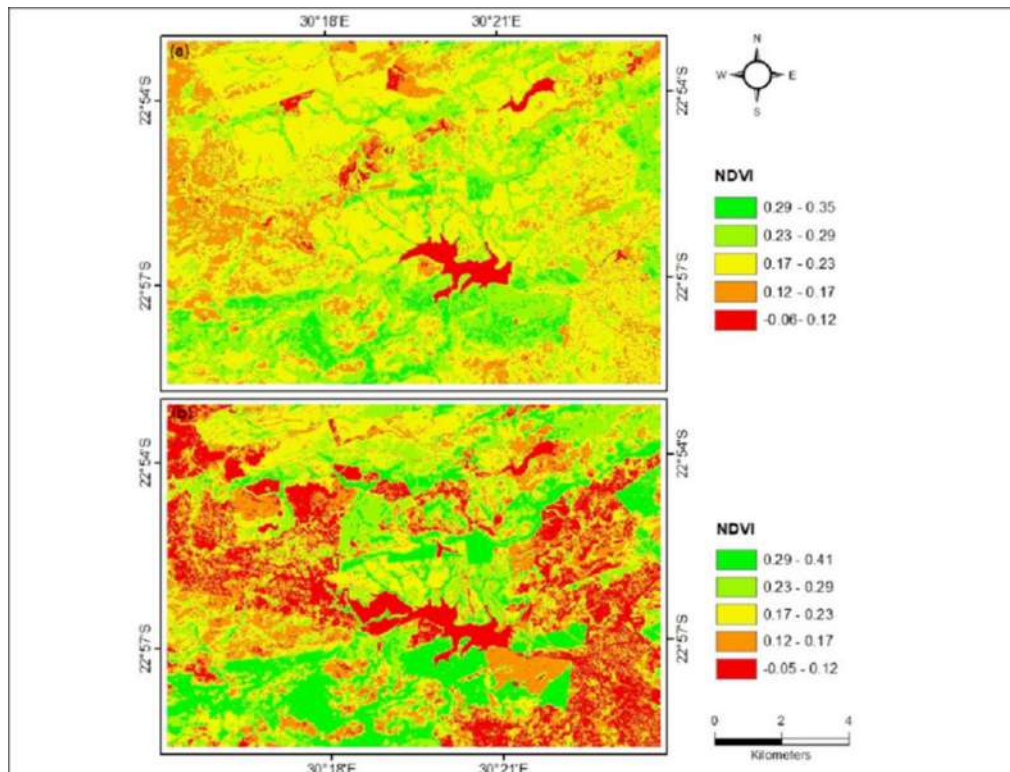
Ο συγκεκριμένος δείκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου, εκτός από τις περιπτώσεις που η βλάστηση είναι πολύ σπάνια, με αποτέλεσμα η φασματική του ανάκλαση να είναι πολύ χαμηλή. Οι τιμές NDVI είναι πιο ακριβείς στη μέση της σεζόν στο στάδιο της ενεργούς ανάπτυξης των καλλιεργειών, συνεπώς προτείνεται κατά τα ενεργά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας, για να πετύχουμε τη μέγιστη ακρίβεια.

Τα οφέλη που μας προσφέρει ο δείκτης NDVI είναι ότι βοηθά στη διαφοροποίηση της βλάστησης από άλλους τύπους κάλυψης Γης (τεχνητή) και στο προσδιορισμό της συνολικής κατάστασής της. Επιτρέπει το καθορισμό και την απεικόνιση περιοχών με βλάστηση στο χάρτη καθώς και τον εντοπισμό μη φυσιολογικών αλλαγών κατά την ανάπτυξη του φυτού. Επίσης, οι τιμές του δείκτη έχουν υψηλή συσχέτιση με την

απόδοση των καλλιεργειών, που σημαίνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών και την πρόβλεψη της μελλοντικής απόδοσης (Huang, κ.α., 2020).

Ωστόσο, το πρόβλημα που προκύπτει με την χρήση του δείκτη NDVI κατά τη μέτρηση της πυκνότητας της βλάστησης είναι ότι μπορεί να κορεστεί σε υψηλές ποσότητες πράσινης βιομάζας. Δηλαδή, μπορεί να εμφανίζει ίδιες μετρήσεις NDVI για χαμηλή και πολύ υψηλή πυκνότητα βλάστησης. Συνήθως, τα αποτελέσματα NDVI παρουσιάζονται ως χρωματικός χάρτης, όπου κάθε χρώμα αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο εύρος τιμών. Δεν υπάρχει συγκεκριμένη χρωματική παλέτα, ωστόσο τα περισσότερα λογισμικά χρησιμοποιούν τη "κόκκινο-πράσινο", που σημαίνει ότι οι κόκκινες πορτοκαλοκίτρινες αποχρώσεις δείχνουν γυμνό έδαφος ή νεκρή/αραιή βλάστηση και όλες οι αποχρώσεις του πράσινου είναι σημάδι κανονικής έως πυκνής βλάστησης (Huang, κ.α., 2020).

Οι τιμές NDVI που λαμβάνονται με δορυφορικά δεδομένα με υψηλή χρονική ανάλυση (π.χ., MODIS) έχουν ισχυρή συσχέτιση με τα φαινολογικά στάδια της καλλιέργειας (ανάδυση, ωριμότητα, συγκομιδή). Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί, όπως για παράδειγμα, κατά τα πρώιμα στάδια της ανάπτυξης των καλλιεργειών, όταν η πράσινη φυλλική επιφάνεια είναι μικρή, τα αποτελέσματα του NDVI είναι πολύ ευαίσθητα στις επιδράσεις του υποβάθρου του εδάφους. Το NDVI μπορεί επίσης να κορεστεί σε μεταγενέστερα στάδια, όταν οι καλλιέργειες φτάσουν στο κλείσιμο της κόμης, και να παράγει ανακριβή αποτελέσματα. Κάθε τύπος καλλιέργειας έχει διαφορετική δομή κόμης, στάδια ανάπτυξης και απαιτεί συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες για να αναπτυχθεί σωστά. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν τις ιδιότητες ανάκλασης της καλλιέργειας και, ως εκ τούτου, παράγουν διαφορετικές τιμές NDVI σε διάφορους τύπους καλλιεργειών.



Εικόνα 4: Ο δείκτης NDVI σε δύο διαφορετικές χρονικές περιόδους (Πηγή:

https://www.researchgate.net/figure/The-Normalised-Difference-Vegetation-Index-NDVI-values-of-a-2017-and-b-2007_fig6_353556490).

Κατά τον υπολογισμό της τιμής NDVI υπάρχουν παράγοντες που το επηρεάζουν. Αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

- **Ατμοσφαιρικές επιδράσεις:** Η πραγματική σύνθεση της ατμόσφαιρας (ιδίως όσον αφορά τους υδρατμούς και τα αερολύματα) μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις μετρήσεις που γίνονται στο διάστημα.
- **Σύννεφα:** Τα οπτικά παχιά σύννεφα μπορεί να είναι αρκετά αισθητά στις δορυφορικές εικόνες. Ωστόσο, τα λεπτά σύννεφα ή τα μικρά σύννεφα με τυπικές γραμμικές διαστάσεις μικρότερες από τη διάμετρο της περιοχής που πραγματικά δειγματολήφθηκε από τους αισθητήρες, μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά τις μετρήσεις. Επίσης και οι σκιές του σύννεφου σε περιοχές που φαίνονται καθαρές μπορεί να επηρεάσουν τις τιμές NDVI και να οδηγήσουν σε παρερμηνείες. αυτά τα προβλήματα ελαχιστοποιούνται με το σχηματισμό σύνθετων εικόνων από καθημερινές ή σχεδόν καθημερινές εικόνες.

- Επιδράσεις στο έδαφος: Τα εδάφη τείνουν να σκουραίνουν όταν είναι υγρά, έτσι ώστε η ανάκλασή τους να είναι άμεσα σε συνάρτηση της περιεκτικότητας τους σε νερό. Εάν η φασματική απόκριση στην υγρασία δεν είναι ακριβώς η ίδια στις δύο φασματικές ζώνες, το NDVI μιας περιοχής μπορεί να φαίνεται ότι αλλάζει ως αποτέλεσμα των αλλαγών της υγρασίας του εδάφους (κατακρήμνιση ή εξάτμιση).
- Ανισότροπα φαινόμενα: Όλες οι επιφάνειες (φυσικές ή ανθρωπογενείς) αντανακλούν το φως διαφορετικά σε διαφορετικές κατευθύνσεις και αυτή η μορφή ανισοτροπίας είναι γενικά φασματικά εξαρτημένη, ακόμα κι αν η γενική τάση μπορεί να είναι παρόμοια σε αυτές τις δύο φασματικές ζώνες. Ως αποτέλεσμα, η τιμή του δείκτη NDVI μπορεί να εξαρτάται από τη συγκεκριμένη ανισοτροπία του στόχου και από τη γωνιακή γεωμετρία του φωτισμού και της παρατήρησης τη στιγμή των μετρήσεων.

Παρά τους πολλούς πιθανούς ενοχλητικούς παράγοντες που υπάρχουν για το δείκτη NDVI, παραμένει ένα πολύτιμο εργαλείο ποσοτικής παρακολούθησης της βλάστησης, όταν η φωτοσυνθετική ικανότητα της επιφάνειας του εδάφους πρέπει να μελετηθεί στην κατάλληλη χωρική κλίμακα για διάφορα φαινόμενα.

1.3.2 Δείκτης EVI

Ο Δείκτης Ενισχυμένης Βλάστησης (Enhanced Vegetation Index - EVI) είναι ένας προηγμένος δείκτης βλάστησης που έχει υψηλότερη ευαισθησία στη βιομάζα, το ατμοσφαιρικό υπόβαθρο και την κατάσταση του εδάφους σε σχέση με άλλους δείκτες βλάστησης (Jiang, κ.α., 2008). Θεωρείται ως η τροποποιημένη έκδοση του NDVI με υψηλή δυνατότητα παρακολούθησης της βλάστησης και με δυνατότητα διόρθωσης όλων των εξωτερικών θορύβων. Ο δείκτης βλάστησης υπολογίζεται από τη διμερή ανάκλαση της επιφάνειας που δεν έχει καλυφτεί από σύννεφα, καπνό, αερολύματα, νερό, σκιές νεφών κ.λπ.

Το EVI χρησιμοποιεί την Blue, Red και NIR ζώνη. Ενσωματώνει μια τιμή "L" για την προσαρμογή στο φόντο του θόλου, τις τιμές "C" ως συντελεστές για την ατμοσφαιρική αντίσταση και τις τιμές από την μπλε ζώνη (B). Οι συγκεκριμένες βελτιώσεις επιτρέπουν τον υπολογισμό του δείκτη ως αναλογία μεταξύ των τιμών

Red και NIR, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν τον θόρυβο του περιβάλλοντος, τον ατμοσφαιρικό θόρυβο και τον κορεσμό στις περισσότερες περιπτώσεις.

Η εξίσωση του EVI είναι η ακόλουθη:

$$EVI = G * (NIR - Red) / (NIR + C1 * Red - C2 * Blue + L)$$

Όπου:

-το NIR (υπέρυθρο), το Red (κόκκινη ζώνη) και το Blue (μπλε ζώνη) είναι επιφανειακές ανακλάσεις διορθωμένες ατμοσφαιρικά και μερικώς διορθωμένες από την ατμόσφαιρα.

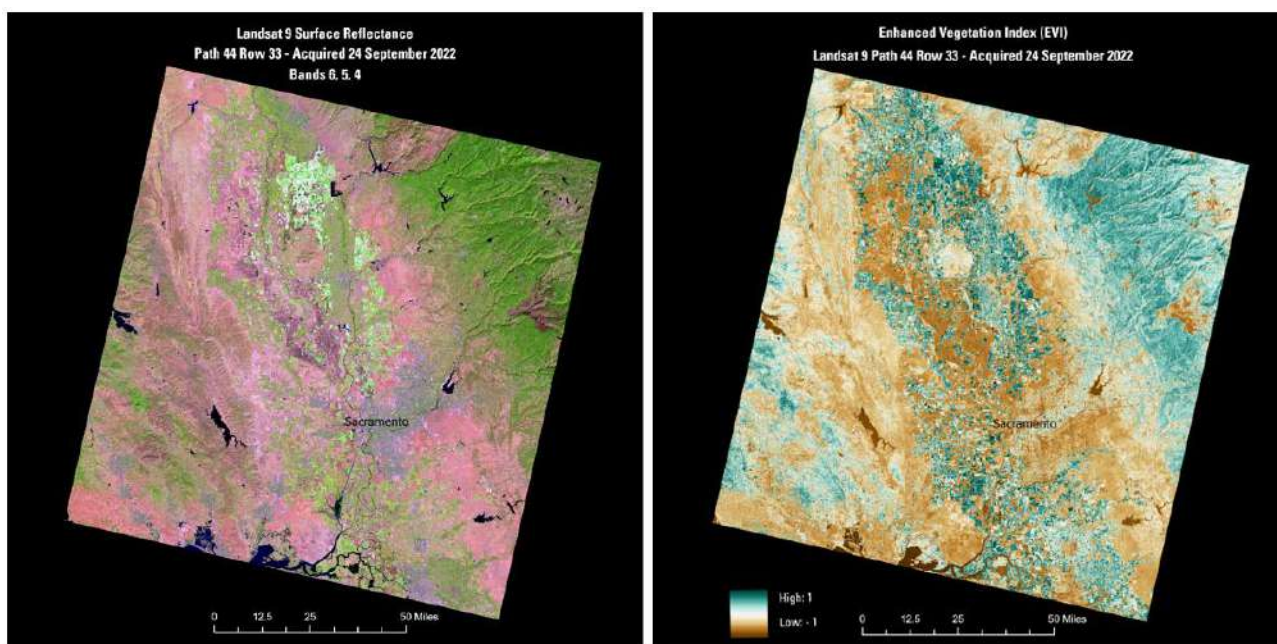
-το L είναι η ρύθμιση του φόντου του θόλου που αντιμετωπίζει τη μη γραμμική, διαφορική μεταφορά NIR και την κόκκινη ακτινοβολία μέσω ενός θόλου

-το C1 , C2 είναι οι συντελεστές του όρου αντίστασης αερολύματος, ο οποίος χρησιμοποιεί την μπλε ζώνη για να διορθώσει τις επιρροές αεροζόλ στην κόκκινη ζώνη και

-το G είναι ένας κλιμακωτό εργαλείο ευκολίας για να πέσει ο δείκτης μεταξύ -1 και 1.

Για καλύτερη βαθμονόμηση γενικής χρήσης του EVI οι συνήθεις τιμές των συντελεστών είναι: L=1, C 1 = 6, C 2 = 7,5 και G = 2,5.

Η τιμή του EVI κυμαίνεται από 0 έως 1. Όταν η τιμή μας είναι πιο κοντά στο 1 αντιπροσωπεύει υγιή βλάστηση και όταν η τιμή μας είναι πιο κοντά στο 0 αντιπροσωπεύει ανθυγιεινή βλάστηση. Πρόσφατα, το EVI έχει αποδειχθεί από την επιστημονική κοινότητα ως μια αποτελεσματική τεχνική για την ανίχνευση της αλλαγής της βλάστησης και την εξαγωγή των βιοφυσικών χαρακτηριστικών του θόλου μιας συγκεκριμένης περιοχής. Τα φωτεινά χαρακτηριστικά όπως τα σύννεφα και τα λευκά κτίρια, μαζί με τα σκοτεινά χαρακτηριστικά όπως το νερό, μπορούν να οδηγήσουν σε μη φυσιολογικές τιμές pixel σε μια εικόνα EVI (Gurung, κ.α., 2009).



Εικόνα 5 α) Η δορυφορική εικόνα landsat (δεξιά) και β) Ο δείκτης EVI (αριστερά):
(Πηγή: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-enhanced-vegetation-index>).

Το EVI είναι παρόμοιο με τον δείκτη κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI) και τα δυο χρησιμοποιούνται για την ποσοτικοποίηση της πρασινάδας της βλάστησης. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες διαφορές μεταξύ των δυο. Οι διαφορές είναι οι ακόλουθες (Matsushita, κ.α., 2007):

- Ο NDVI είναι ευαίσθητος στη χλωροφύλλη ενώ ο EVI ανταποκρίνεται περισσότερο στις δομικές παραλλαγές του θόλου, συμπεριλαμβανομένου του δείκτη επιφάνειας φύλλων (LAI), του τύπου θόλου, της φυσιολογίας των φυτών και της αρχιτεκτονικής του θόλου.
- Ο NDVI είναι πιο ευαίσθητος σε ορισμένες ατμοσφαιρικές συνθήκες, στον θόρυβο του περιβάλλοντος θόλου και είναι πιο ευαίσθητος σε περιοχές με πυκνή βλάστηση ενώ ο δείκτης EVI έχει την ικανότητα να τα διορθώσει αυτές τις αδυναμίες του NDVI.
- Μια άλλη διαφορά μεταξύ του NDVI και του EVI είναι ότι η παρουσία χιονιού έχει ως αποτέλεσμα το NDVI να παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές, ενώ το EVI να παρουσιάζει υψηλότερες τιμές.
- Τέλος, το EVI δεν παθαίνει κορεσμό ενώ αυτό είναι ένα από τα συνήθη προβλήματα στο NDVI.

Ακόμα και αν υπάρχουν αυτές οι διαφορές μεταξύ τους, αυτοί οι δύο δείκτες βλάστησης αλληλοσυμπληρώνονται και χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα σε παγκόσμιες μελέτες βλάστησης για να βελτιώνουν την ανίχνευση των αλλαγών βλάστησης και την εξαγωγή βιοφυσικών παραμέτρων του θόλου.

1.3.3 Δείκτης NDWI

Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Νερού (NDWI) είναι μια σχετικά νέα μέθοδος που προτάθηκε από τον McFeeters το 1996 με αρχικό σκοπό να περιγράψει τα υδάτινα σώματα ανοικτής επιφάνειας και να εκτιμήσει τη θολότητα τους σε ψηφιακές εικόνες τηλεπισκόπησης, μετριάζοντας την ανάκλαση της κάλυψης του εδάφους και της βλάστησης της Γης. Δηλαδή, μέσω αυτού του δείκτη τονίζονται τα χαρακτηριστικά ανοιχτού νερού σε μια δορυφορική εικόνα, επιτρέποντας σε ένα υδάτινο σώμα να το «ξεχωρίσει» από το έδαφος και τη βλάστηση. Σήμερα χρησιμοποιείται και για την ανίχνευση και παρακολούθηση μικρών αλλαγών στην περιεκτικότητα σε νερό της βλάστησης (Gao, 1996).

Ο υπολογισμός του δείκτη NDWI πραγματοποιείται με το συνδυασμό των φασματικών ζωνών GREEN (ορατό πράσινο) και NIR (κοντινό υπέρυθρο), που του επιτρέπει να ανιχνεύει διακριτικές αλλαγές στην περιεκτικότητα των υδάτινων σωμάτων σε νερό. Επιπλέον, αξιοποιώντας αυτές τις φασματικές ζώνες το NDWI έχει τη δυνατότητα να ενισχύσει την ανίχνευση των υδάτινων σωμάτων εξαλείφοντας παράλληλα την παρουσία εδάφους και χαρακτηριστικά της επίγειας βλάστησης σε μια δορυφορική εικόνα (Gao, 1996, Xu, 2007).

Τα ορατά πράσινα μήκη κύματος μεγιστοποιούν την τυπική ανάκλαση της επιφάνειας του νερού. Τα μήκη κύματος κοντά στο υπέρυθρο μεγιστοποιούν την υψηλή ανάκλαση της χερσαίας βλάστησης και των χαρακτηριστικών του εδάφους, ενώ ελαχιστοποιούν τη χαμηλή ανάκλαση των υδάτινων χαρακτηριστικών. Τα θετικά αποτέλεσμα της εξίσωσης NDWI αντιστοιχούν σε υδάτινα χαρακτηριστικά και τα αρνητικά ή μηδενικά αντιστοιχούν στο έδαφος και στη χερσαία βλάστηση (Gao, 1996, Xu, 2007).

Η εξίσωση είναι η ακόλουθη:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

Όπου:

-Το NIR είναι φως κοντά στον υπέρυθρο και

-Το Green είναι η απόκριση στις πράσινες (ή ορατές) ζώνες.

Τα δεδομένα που εξάγονται από μια δορυφορική εικόνα χρησιμοποιώντας το δείκτη NDWI οπτικοποιούνται ως χάρτες χρησιμοποιώντας μια παλέτα χρωμάτων και γραφήματα για να δείξουν πως οι τιμές αλλάζουν με την πάροδο του χρόνου ως καμπύλη. Σε έναν χάρτη, οι υψηλότερες τιμές που πλησιάζουν το +1 εμφανίζονται συνήθως μπλε και αντιστοιχούν είτε σε υψηλή περιεκτικότητα σε νερό είτε σε επιφάνεια νερού, ενώ οι χαμηλότερες τιμές μέχρι το -1 είναι ενδεικτικές ενδείξεις των συνθηκών ξηρασίας, εκτός εάν η περιοχή είναι μια μη υδατική επιφάνεια. Άρα, οι τιμές των υδάτινων σωμάτων είναι μεγαλύτερες από 0,5. Ωστόσο, η βλάστηση έχει πολύ μικρότερες τιμές, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη διάκριση της βλάστησης από τα υδάτινα σώματα ευκολότερα (Szabo, κ.α., 2016).

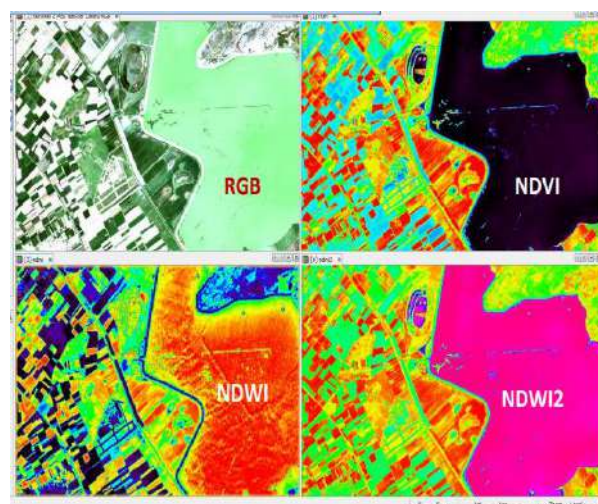
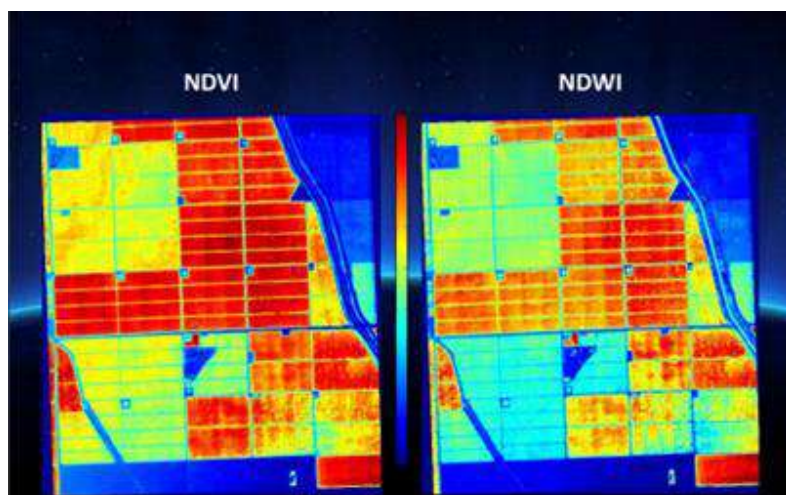
Οι τιμές NDWI αντιστοιχούν στις ακόλουθες τύπους περιοχής γης (Szabo, κ.α., 2016):

Τύπος Περιοχής	Τιμές NDWI
Επιφάνεια Νερού	0,2 – 1
Πλημμύρες/Υγρασία	0,0 – 0,2
Μέτρια Ξηρασία/Μη Υδάτινες Επιφάνειες	-0,3 – 0,0
Ξηρασία/Μη Υδάτινες Επιφάνειες	-1 – -0,3

Τα πλεονεκτήματα αυτού του δείκτη είναι η υψηλή ανάλυση και καλή χωρική κάλυψη σε όλα τα εδάφη. Ωστόσο, το μειονέκτημα του δείκτη είναι η ευαισθησία του σε κτισμένες κατασκευές, που έχει ως αποτέλεσμα να οδηγήσει στην υπερεκτίμηση των υδάτινων σωμάτων. Παράλληλα, παρουσιάζει δυσκολία να διακρίνει την αιτία του stress του φυτού. Όταν οι κλιματικές συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές η περίοδος καταγραφής δορυφορικών δεδομένων είναι σύντομη (Gao, 1996).

Ο δείκτης NDWI εφαρμόζεται κάθε φορά που υπάρχει ανάγκη να εντοπιστεί ένα υδάτινο σώμα, να σχεδιαστεί το περίγραμμά του στον χάρτη και να

παρακολουθηθούν οι αλλαγές σε παράγοντες του όπως η διαύγειά ή η ξηρασία, που επηρεάζει τη γεωργία και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέθοδος ανίχνευσης του stress. Πέρα από το ορατό φάσμα προς το υπέρυθρο, το νερό δεν αντανακλά σχεδόν καθόλου φως. Το NDWI κάνει χρήση αυτής της ιδιότητας για την επιτυχή περιγραφή των υδάτινων σωμάτων στον χάρτη και την παρακολούθηση της θολότητας του νερού (Gao, 1996).



**Εικόνα 6α (δεξιά) και 6β (αριστερά) : Οι εικόνες παρουσιάζουν τα διαφορετικά
σήματα που μπορούν αναγνωρίσουν οι δείκτες NDVI και NDWI και τα οποία
απεικονίζουν με διαφορετικά χρώματα (Πηγή:**

<http://archive.eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/SGEA265/04%20-%20CE%94%CE%B5%CE%AF%CE%BA%CF%84%CE%B5%CF%82%20%CE%B2%CE%BB%CE%AC%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%83%CE%B7%CF%82.pdf>).

1.3.4 Δείκτης SAVI

Ο Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης (Soil-adjusted Vegetation Index - SAVI) δημιουργήθηκε από τον Huete με σκοπό να ελαχιστοποιήσει την επίδραση της φωτεινότητας του εδάφους, καθώς βρέθηκε να είναι πολύ πιο ευαίσθητος ο NDVI στις επιπτώσεις του εδάφους (χρώμα εδάφους, υγρασία του εδάφους, μεταβλητότητα εδάφους μεταξύ των περιοχών, κ.λπ.) σε συνθήκες έλλειψης κάλυψης από βλάστηση. Ο δείκτης προέκυψε με την προσθήκη ενός συντελεστή προσαρμογής εδάφους L στην εξίσωση του NDVI για να διορθώσει τις επιπτώσεις του

εδάφους που τείνουν να επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Παρατηρείται η συχνή χρήση του σε ξηρές περιοχές όπου η φυτική κάλυψη είναι χαμηλή (Gilabert, κ.α., 2002, Huete, 1998, , Qi, κ.α., 1994, Rondeaux, κ.α., 1996).

Η εξίσωση του SAVI είναι η ακόλουθη:

$$\text{SAVI} = \text{NIR} - \text{Red} / (\text{NIR} + \text{Red} + L) * (1 + L)$$

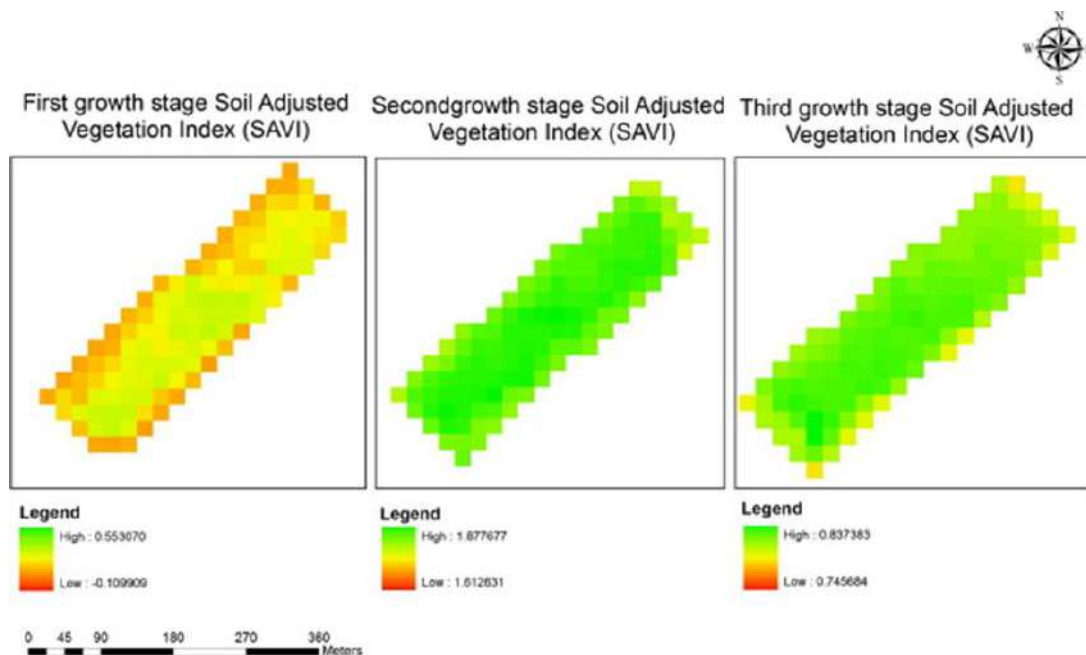
Όπου:

-Το NIR είναι φως κοντά στον υπέρυθρο

-Το RED είναι η απόκριση στις κόκκινες (ή ορατές) ζώνες και

-ο συντελεστής L είναι ένας συντελεστής διόρθωσης και η τιμή του εξαρτάται από την κάλυψη της βλάστησης.

Ο δείκτης αυτός παίρνει τιμές μεταξύ -1,0 και 1,0. Ωστόσο, η τιμή του συντελεστή L ποικίλλει ανάλογα με την ποσότητα της πράσινης φυτικής κάλυψης. Για παράδειγμα, σε περιοχές με πυκνή βλάστηση η τιμή του συντελεστή L είναι ίση με 0.25, σε περιοχές με μέτρια βλάστηση ο συντελεστής L είναι ίσο με 0.5, σε περιοχές χωρίς βλάστηση το L=1 και σε περιοχές με πολύ υψηλή βλάστηση το L=0 (που ισοδυναμεί με τη μέθοδο NDVI) (Huete, 1988, <https://eos.com/blog/vegetation-indices/#savi>).



Εικόνα 7: Η εικόνα παρουσιάζει τα διαφορετικά σήματα που αναγνωρίζει ο δείκτης SAVI σε τρία διαφορετικά στάδια ανάπτυξης μιας καλλιέργειας. (Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Soil-Adjusted-Vegetation-Index-SAVI-for-growth-stages_fig1_236761471).

2. Πειραματικό

2.1 Περίληψη

Το αντικείμενο του πειράματός μας είναι η παρακολούθηση της καλλιέργειας του βαμβακιού με τη χρήση της τηλεπισκόπησης για την εφαρμογή της γεωργίας ακρίβειας. Με άλλα λόγια η μεθοδολογία μας είναι η παρακολούθηση των φυτών της καλλιέργειας μας στο αγροτεμάχιο από απόσταση με τη χρήση δορυφορικών εικόνων. Για το προσδιορισμό της κατάστασης των φυτών της καλλιέργειας μας χρησιμοποιήσαμε 4 δείκτες. Οι δείκτες δίνουν πληροφορίες εάν η ανάπτυξη των φυτών πραγματοποιείται φυσιολογικά (εύρωστα φυτά) και ταυτόχρονα μας επιτρέπει να εντοπίσουμε ποια είναι η αιτία του συγκεκριμένου προβλήματος που εμφανίζεται. Ο πρώτος δείκτης που χρησιμοποιήσαμε είναι ο NDVI, ο οποίος μας δείχνει τον βαθμό ευρωστίας της καλλιέργειας. Ο EVI (δεύτερος), ο οποίος μας δείχνει και αυτός τον βαθμό ευρωστίας αλλά με υψηλότερη ακρίβεια σε σχέση με τον NDVI. Ο NDWI (τρίτος), ο οποίος δείχνει τη ποσότητα νερού που υπάρχει στο

φύλλωμα του κάθε φυτού και τέλος ο δείκτης SAVI (τέταρτος), ο οποίος είναι μια παραλλαγή του δείκτη NDVI. Τα αποτελέσματα στα οποία καταλήξαμε βασίζονται σε δορυφορικές εικόνες και διαγράμματα για τους τέσσερις δείκτες από την εφαρμογή Climate Engine καθώς και δορυφορικές εικόνες μόνο για τον δείκτη NDVI από την εφαρμογή CropSat. Για την συλλογή αυτών των εικόνων και διαγραμμάτων για το αγροτεμάχιο μας επισκεφτήκαμε την ιστοσελίδα της κάθε εφαρμογής και εισήγαμε τις απαραίτητες πληροφορίες που ζητούσε. Με την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων από την εφαρμογή Climate Engine προσδιορίσαμε τον μέσο όρο του βαθμού ευρωστίας (δείκτες NDVI, EVI, SAVI) και της ποσότητας υγρασίας (δείκτης NDWI) της καλλιέργειας μας κατά την περίοδο ανάπτυξης του 2023. Παράλληλα, με τα διαγράμματα της συγκεκριμένης εφαρμογής παρακολουθήσαμε τα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας για να μπορέσουμε να διαπιστώσουμε αν εμφανίστηκε κάποιο πρόβλημα κατά την ανάπτυξη των φυτών βαμβακιού στο αγροτεμάχιο. Τέλος, η ανάλυση των δορυφορικών εικόνων της εφαρμογής του CropSat μας επέτρεψε να παρακολουθήσουμε την αλλαγή ευρωστίας σε κάθε σημείο της καλλιέργειας καθόλη την περίοδο ανάπτυξης με σκοπό να προσδιορίσουμε την αιτία μη ευρωστίας φυτών αλλά και ταυτόχρονα να βρούμε λύσεις βασισμένες στην γεωργία ακρίβειας.

2.1 Abstract

The objective of our experiment is to monitor cotton crop using remote sensing for the application of precision agriculture. In simple words our methodology is to monitor the crop plants under field conditions remotely by using satellite images. To determine the condition of the plants of our crop 4 indicators were used. Indicators give information if the growth of the plants is normal (healthy plants) and at the same time it allows us to identify what is the cause of the specific problem. The first index we used was the NDVI, which shows the degree of vigor of the crop. The EVI (the second index), which also shows us the degree of plant vigor but with higher precision than NDVI. The NDWI (the third index), which shows the amount of water present in the foliage of each plant and finally the SAVI (the fourth index), which is a variation of the NDVI index. Our results were based on satellite images and diagrams for all four indicators from the Climate Engine application as well as satellite images for only the NDVI index from the CropSat application. To collect these images and diagrams for our

study plot we visited each application's website and entered the necessary requested information by the application. By analyzing the satellite images from the Climate Engine application, we determined the average degree of vigor (NDVI, EVI, SAVI indices) and the amount of moisture (NDWI Index) of our crop during the 2023 growing season. At the same time, with the diagrams of the specific application, we monitored the stages of crop development to be able to determine if any problem occurred during the development of the cotton plants in the study plot. Finally, the analysis of the satellite images of the CropSat application allowed us to monitor the change of vigor at every point of the crop field and throughout the growing season in order to determine the cause of the reduced vigor of the plants and at the same time to find solutions based on precision agriculture.

2.2 Εισαγωγή

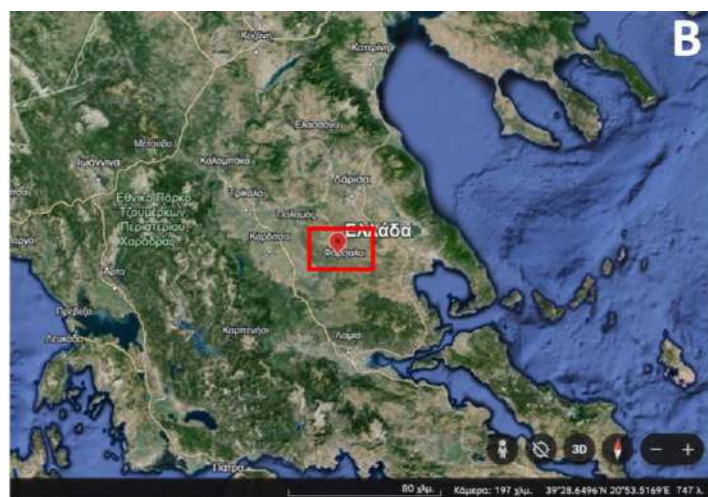
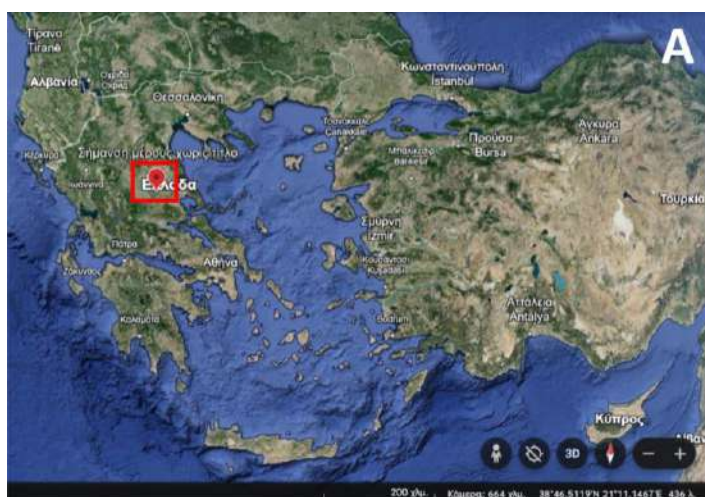
Με την συνεχή αύξηση του πληθυσμού και των αντίστοιχων αναγκών του σε τροφή η γεωργία ακριβείας θεωρείται πλέον ως απαραίτητο εργαλείο για την αειφόρο γεωργία. Η γεωργία ακριβείας αναφέρεται στην στοχευμένη εφαρμογή εισροών με τον συνδυασμό έξυπνων τεχνολογιών. Έχει τη δυνατότητα να συνδυαστεί και με άλλους μεθόδους με στόχο την υψηλή παραγωγικότητα. Κάποια παραδείγματα αυτών των μεθόδων είναι η δημιουργία ζωνών διαχείρισης, η τηλεπισκόπηση, κτλ. Στο κομμάτι της τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούμε δείκτες βλάστησης. Οι πιο κοινοί που τους αναφέραμε και παραπάνω είναι NDVI, NDWI, EVI και SAVI. Οι δείκτες NDVI, NDWI, EVI και SAVI, μέσω δορυφορικών εικόνων, μας δείχνουν την κατάσταση για συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του αγροτεμαχίου. Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω οι δείκτες NDVI και EVI απεικονίζουν τον βαθμό ευρωστίας του φυτού μας, ο NDWI απεικονίζει την υγρασία που υπάρχει στο φύλλωμα του φυτού και ο SAVI απεικονίζει την κατάσταση του εδάφους. Μέσω αυτών των τεσσάρων δεικτών στο πείραμα μας θέλαμε να παρακολουθήσουμε την κατάσταση της καλλιέργειας και του χωραφιού καθ' όλη τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Η καλλιέργεια στην οποία πραγματοποιήθηκε η έρευνα μας είναι το βαμβάκι και συγκεκριμένα η ποικιλία scarlet. Ο λόγος που επιλέξαμε το συγκεκριμένο είδος βαμβακιού είναι η περιοχή. Η Θεσσαλία και συγκεκριμένα τα αγροτεμάχια γύρω από τα Φάρσαλα

διαθέτουν τις κατάλληλες εδαφοκλιματικές συνθήκες για την ανάπτυξη της καλλιέργειας του βαμβακιού.

2.3 Υλικά και Μέθοδοι

2.3.1 Περιοχή Μελέτης

Η χώρα όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα είναι η Ελλάδα, και συγκεκριμένα στην περιφέρεια της Θεσσαλίας (Εικόνα 8). Το πειραματικό αγροτεμάχιο (Συντεταγμένες: Βορειοδυτικά: $39^{\circ}20.988'6''\text{N}$ $22^{\circ}20.8961'\text{E}$, Βορειοανατολικά: $39^{\circ}21.0714'\text{N}$ $22^{\circ}20.9108'\text{E}$, Νοτιοδυτικά: $39^{\circ}20.8703'\text{N}$ $22^{\circ}20.8295'\text{E}$, Νοτιοανατολικά: $39^{\circ}20.8683'\text{N}$ $22^{\circ}20.9025'\text{E}$) (Υψόμετρο: 123-126 μ.) είναι κοντά στα Φάρσαλα και συγκεκριμένα δίπλα στο χωριό του Μεγάλου Ευύδριου (Εικόνα 8). Βάμβaki καλλιεργείται στο πειραματικό μας αγροτεμάχιο. Η ποικιλία του βαμβακιού μας ήταν η Scarlet.





Εικόνα 8: Περιοχή μελέτης του πειράματος Α) Στον Ελλαδικό χώρο, Β) Στην Περιφέρεια της Θεσσαλίας, Γ) Σε σχέση με τη πόλη των Φαρσάλων, Χωριό: Μεγάλο Ευύδριο, Δ) Κοντινή εικόνα του χωραφιού που πραγματοποιήθηκε το πείραμα (Πηγή: Google Earth).

2.3.2 Συλλογή Δεδομένων

Λάβαμε τα δεδομένα για τις αναλύσεις μέσω της χρήσης δύο εφαρμογών (app), το Climate Engine και το CropSat.

Το climate engine είναι ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων που συγκεντρώνει δεδομένα σχετικά με το κλίμα και τη τηλεπισκόπηση με στόχο ο χρήστης να έχει τη δυνατότητα να τα εξερευνήσει και να τα αναλύσει για να απαντήσει διάφορα περιβαλλοντικά ή γεωργικά ερωτήματα. Για την επεξεργασία δορυφορικών και κλιματικών δεδομένων το Climate Engine χρησιμοποιεί το Google Earth ως υπόβαθρο. Επιπλέον, για την χαρτογράφηση δεδομένων περιβαλλοντικής παρακολούθησης χρησιμοποιεί την τηλεπισκόπηση και το πλέγμα μετεωρολογικών παρατηρήσεων. Οι χρήστες με τα συγκεκριμένα δεδομένα από την εφαρμογή μπορούν να δημιουργήσουν χάρτες και περιλήψεις χρονοσειρών. Επιπλέον, παρέχει πρόσβαση στην οπτικοποίηση, ανάλυση και λήψη συνόλων δεδομένων γεωσκόπησης χωρίς την ανάγκη της κωδικοποίησης. Έχοντας την ικανότητα να ξεπερνά τους υπολογιστικούς περιορισμούς των μεγάλων δεδομένων, λόγω αξιοποίησης τεχνολογιών cloud, μας παρέχει πληροφορίες που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για παρακολούθηση σε πραγματικό χρόνο αλλά και σε πιο εξειδικευμένα ερευνητικά πλαίσια. Ακόμα, παρέχει τη δυνατότητα απλής λήψης ή κοινής χρήσης αποτελεσμάτων σε άλλους χρήστες. Η εφαρμογή είναι

πλήρως προσαρμόσιμη για χωρικές και χρονικές αναλύσεις. Οι μετρήσεις που είναι διαθέσιμες για επεξεργασία περιλαμβάνουν ένα ολοκληρωμένο σύνολο μεταβλητών που παρέχουν δείκτες έγκαιρης προειδοποίησης για τις κλιματικές επιπτώσεις, όπως η ξηρασία, οι πυρκαγιές, το οικολογικό στρες και την γεωργική παραγωγή. Συνεπώς οι λειτουργίες της εφαρμογής Climate Engine είναι οι ακόλουθες (Huntington, κ.α., 2017):

- **Απεικόνιση**: Διαθέτει πρόσβαση για οπτικοποίηση και αλληλεπίδραση με σύνολα δεδομένων παρατήρησης της Γης εν κινήσει στο πρόγραμμα περιήγησής σας, χωρίς να απαιτείται πρόσθετο λογισμικό.
- **Ανάλυση**: Δημιουργεί γραφήματα με στόχο την συμπύκνωση των αριθμών εν κινήσει. Οι τύποι γραφικών περιλήψεων περιλαμβάνουν γραφικές παραστάσεις χρονοσειρών, γραφικές παραστάσεις χρονοσειρών δύο μεταβλητών, συνοπτικές γραφικές παραστάσεις χρονοσειρών και διαγράμματα διασποράς δύο μεταβλητών. Οι πρόσθετες δυνατότητες περιλαμβάνουν τη δοκιμή σημασίας στη χαρτογράφηση και τη χαρτογράφηση.
- **Εξαγωγή**: Μπορούμε να εξαγάγουμε δεδομένα ράστερ ως εικόνες TIFF, PNG και JPEG και παράλληλα να εξαγάγουμε δεδομένα χρονοσειρών ως πίνακες δεδομένων CSV και XLSX, ώστε να μεταφέρουμε τα δεδομένα μας σε GIS, στατιστικά λογισμικά και άλλα.
- **Κοινή Χρήση**: Κάθε χάρτης και γράφημα που δημιουργείτε στην εφαρμογή Climate Engine μπορεί εύκολα να κοινοποιηθεί, δημιουργώντας έναν σύντομο σύνδεσμο. Οι σύνδεσμοι αυτοί είναι μοναδικοί που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να επιτρέψουν στους συναδέλφους, τους φίλους ή τους ίδιους στο μέλλον να έχουν πρόσβαση στα δεδομένα μας αργότερα και ταυτόχρονα να αυξήσουν την αναπαραγωγικότητα της ανάλυσής μας.

Το CropSat μας διαθέτει δορυφορικές εικόνες για να οπτικοποιήσουμε την παραλλαγή των καλλιεργειών στα χωράφια σας. Οι νέες εικόνες συνήθως προστίθενται μόλις γίνουν διαθέσιμες κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Επιπλέον, μας δίνει τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε εύκολα χάρτες παραλλαγών και αρχεία συνταγών για να μπορέσουμε να ελέγξουμε τον ρυθμό

εφαρμογής του λιπασματοδιανομέα ή του ψεκαστήρα σας (Lundstrom και Lindblom, 2018).

2.3.3 Μεθοδολογία

2.3.3.1 *Climate Engine – Λήψη Εικόνων και Γραφημάτων των Επιλεγμένων Δεικτών*

2.3.3.1.1 Climate Engine – Δορυφορικές Εικόνες

Ακολουθούν τα βήματα για την λήψη των δορυφορικών εικόνων και γραφημάτων για κάθε επιθυμητό δείκτη:

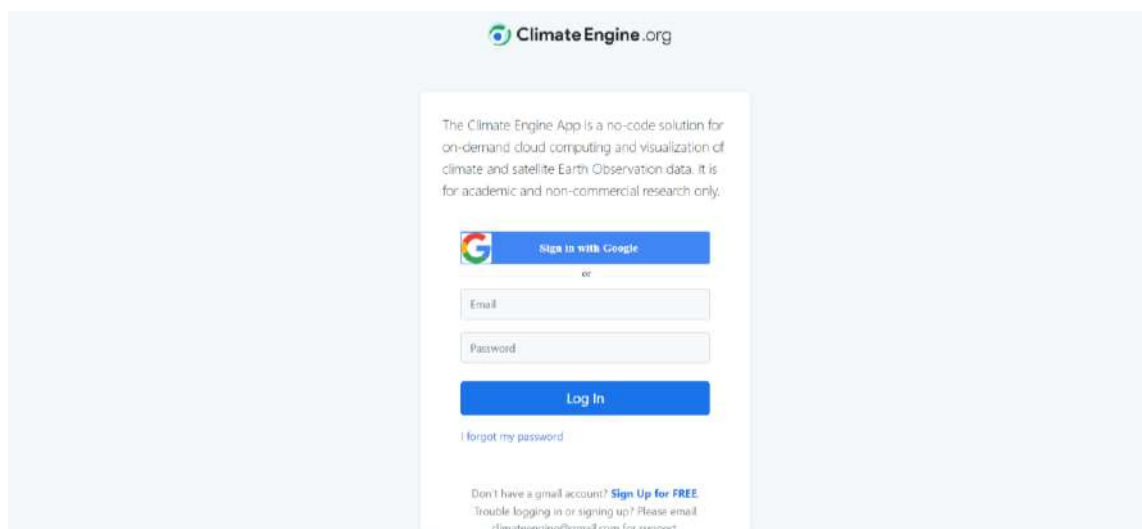
Πρώτο βήμα: Επισκεφτήκαμε την ιστοσελίδα του Climate Engine (<https://www.climateengine.org/>) (Εικόνα 9).



Εικόνα 9: Η αρχική ιστοσελίδα του Climate Engine (Πηγή:

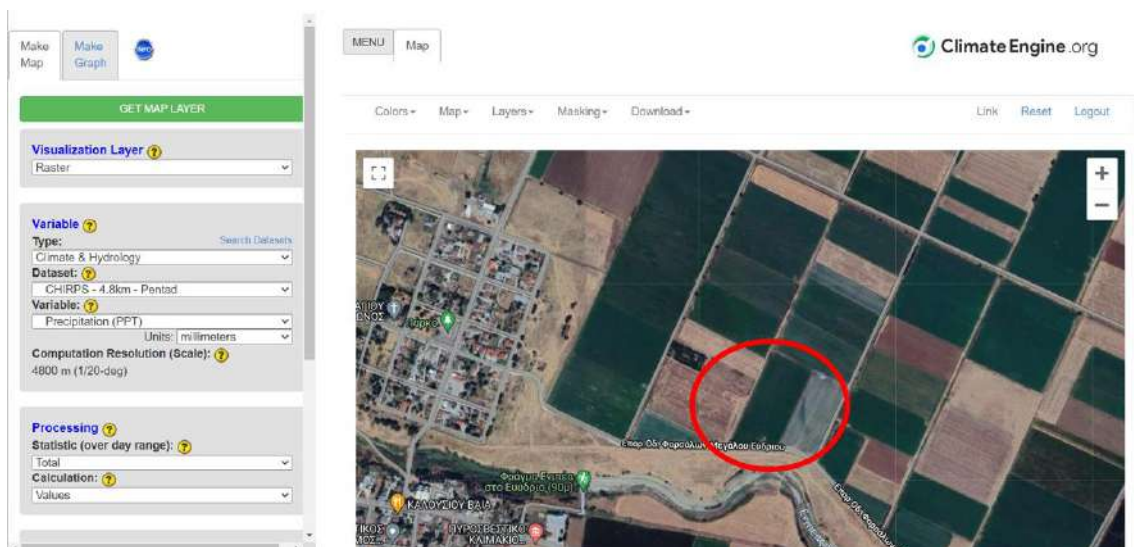
<https://www.climateengine.org/>).

Δεύτερο βήμα: Δημιουργήσαμε λογαριασμό στο Climate Engine (Εικόνα 10).



Εικόνα 10: Η σελίδα δημιουργίας λογαριασμού στο *Climate Engine* (Πηγή: <https://app.climateengine.org/login>).

Τρίτο βήμα: Εντοπίσαμε το αγροτεμάχιο μας στο χάρτη που διαθέτει η εφαρμογή του Climate Engine (Εικόνα 11). Το αγροτεμάχιο μας στην Εικόνα 11 περικλείεται από έναν κόκκινο κύκλο.



Εικόνα 11: Εντοπισμός του αγροτεμαχίου μας στο χάρτη του *Climate Engine*.

Επιδεικνύεται μέσα στον κόκκινο κύκλο (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

Στην παρακάτω εικόνα (Εικόνα 12) αναγράφουμε τις ακριβείς συντεταγμένες του αγροτεμαχίου μας. Οι συντεταγμένες στις τέσσερις γωνίες του αγροτεμαχίου μας είναι: Βορειοδυτικά ($39^{\circ}20.988'6''\text{N}$ $22^{\circ}20.8961'\text{E}$), Βορειοανατολικά ($39^{\circ}21.0714'\text{N}$ $22^{\circ}20.9108'\text{E}$), Νοτιοδυτικά ($39^{\circ}20.8703'\text{N}$ $22^{\circ}20.8295'\text{E}$) και Νοτιοανατολικά ($39^{\circ}20.8683'\text{N}$ $22^{\circ}20.9025'\text{E}$).



Εικόνα 12: Οι συντεταγμένες των γωνιών του αγροτεμαχίου μας. Τα άσπρα βελάκια που απεικονίζουν σε ποια γωνία αντιστοιχεί οι συγκεκριμένες συντεταγμένες (Πηγή:

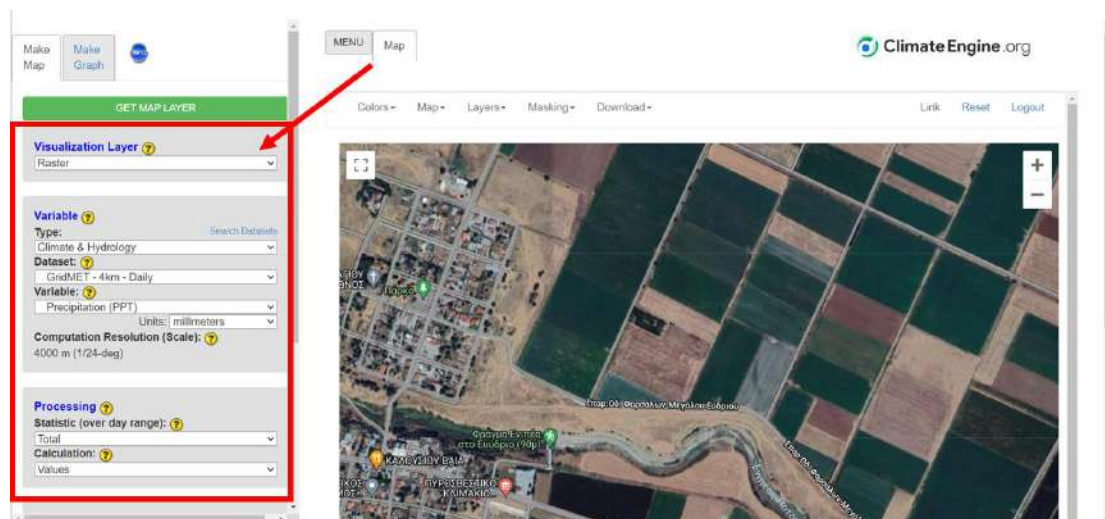
<https://earth.google.com/web/@39.34915065,22.34677254,125.15271912a,378.13935822d,73.6136149y,357.05221512h,0t,0r>).

Τέταρτο βήμα: Πραγματοποιήθηκε η επιλογή επιθυμητών χαρακτηριστικών από τον πίνακα που μας διαθέτει η εφαρμογή του Climate Engine (Εικόνα 13 και 14). Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά είναι στον Πίνακα 1.

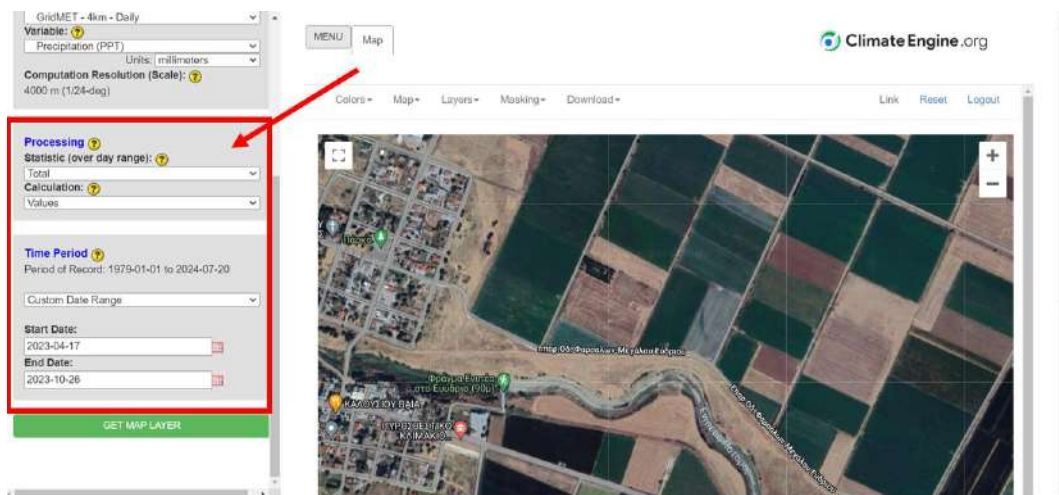
Πίνακας 1. Επιλογή επιθυμητών χαρακτηριστικών. Στην αριστερή στήλη είναι το χαρακτηριστικό και στην δεξιά στήλη είναι η επιλογή μας.

Visualization Layer	Raster
Variable	
Type:	Remote Sensing
Dataset:	Sentinel 2 SR – 10m – 5day

Variable:	NDVI (Vegetation Index)
Computation Resolution (Scale):	10m
Processing	
Statistic (over day range):	Mean
Calculation:	Values
Time Period	
Custom Date Range	Start Date: 2023-04-17
	End Date: 2023-10-26

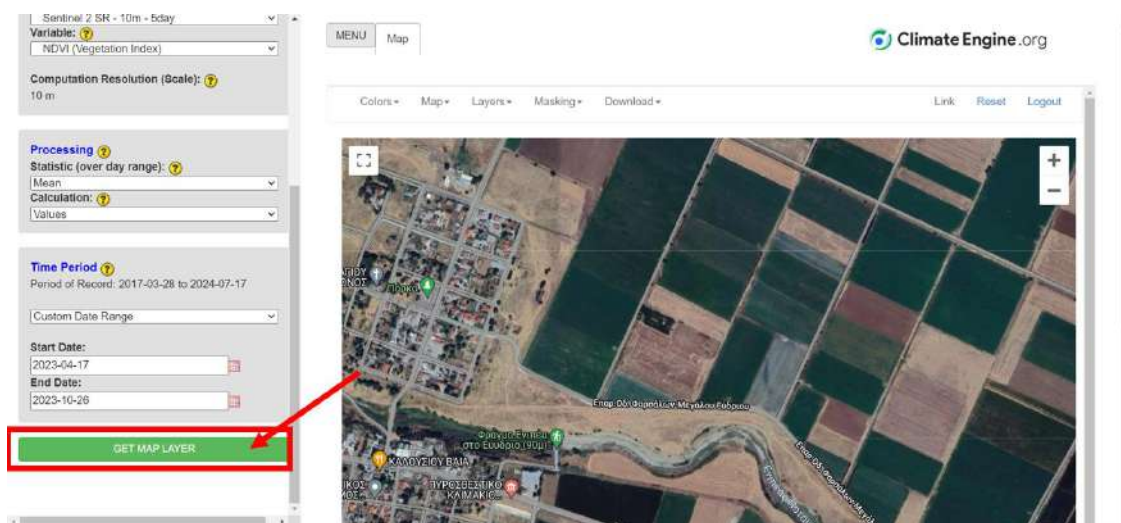


Εικόνα 13: Πίνακας διαλογής χαρακτηριστικών του Climate Engine. Επιδεικνύονται οι τρεις πρώτοι πίνακες με ένα κόκκινο τετράγωνο και βελάκι (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).



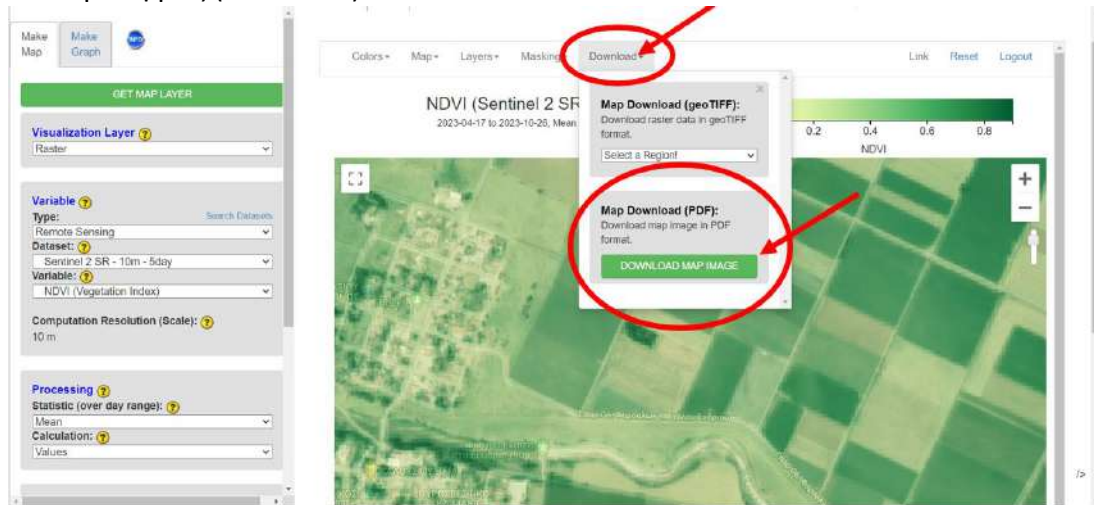
Εικόνα 14: Πίνακας διαλογής χαρακτηριστικών του Climate Engine. Επιδεικνύονται οι δύο τελευταίοι πίνακες με ένα κόκκινο τετράγωνο και βελάκι (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

Πέμπτο βήμα: Επιλέξαμε το «GET MAP LAYER» με αποτέλεσμα μπορέσαμε και λάβαμε την δορυφορική εικόνα του δείκτη NDVI (Εικόνα 15).



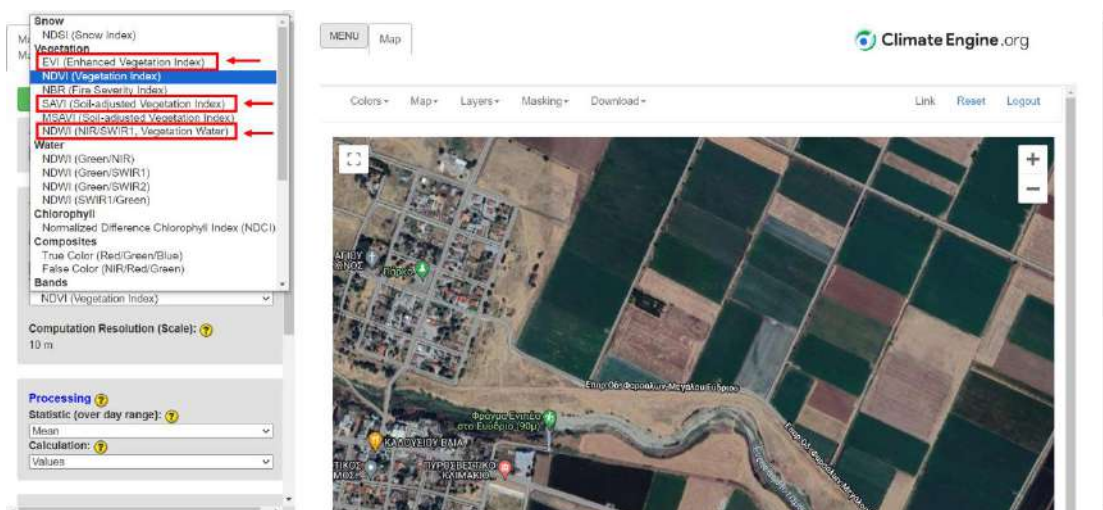
Εικόνα 15: Η τοποθεσία του «GET MAP LAYER» στην εφαρμογή. Το κόκκινο τετράγωνο και βελάκι απεικονίζουν που ακριβώς βρίσκεται στην εφαρμογή (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

Έκτο και τελευταίο βήμα: Με την παραλαβή της εικόνας, η εφαρμογή του Climate Engine μας επιτρέπει να κατεβάσουμε και να αποθηκεύσουμε την εικόνα στον υπολογιστή μας (Εικόνα 16).



Εικόνα 16: Η τοποθεσία του «download» στην εφαρμογή και η επιλογή του «Map Download (PDF)» . Επιδεικνύονται με δύο κόκκινους κύκλους και βελάνια (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

Την ίδια διαδικασία την εφαρμόζουμε στους υπόλοιπους τρεις δείκτες (NDWI, EVI και SAVI). Αυτό γίνεται με τη επιλογή του δείκτη που θέλουμε από το «Variable» (Εικόνα 17).

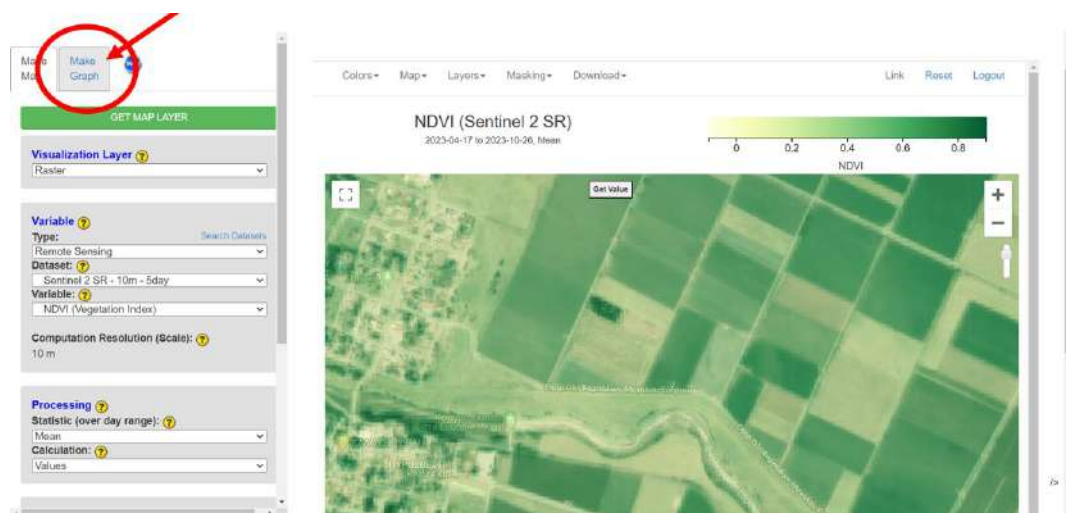


Εικόνα 17: Η τοποθεσία που βρίσκεται η επιλογή των υπόλοιπων δεικτών (NDWI, EVI, SAVI). Τα κόκκινα τετράγωνα και βελάνια απεικονίζουν ακριβώς που βρίσκονται στην εφαρμογή (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

2.3.3.1.2 Climate Engine - Γραφήματα

Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία για τη δημιουργία των γραφημάτων για κάθε δείκτη. Συνεπώς, σαν

Πρώτο βήμα: Επιλέγουμε το «Make Graph» (Εικόνα 18).



Εικόνα 18: Η τοποθεσία του «Make Graph» στην εφαρμογή του Cmate Engine.

Επιδεικνύεται με ένα κόκκινο κύκλο και βελάκι (Πηγή:

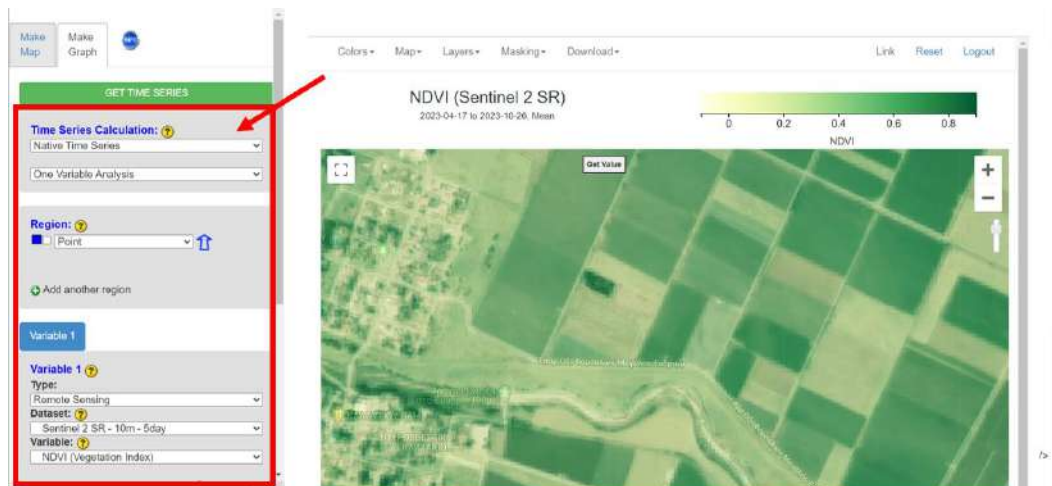
<https://app.climateengine.org/climateEngine>).

Δεύτερο βήμα: Πραγματοποιήθηκε η επιλογή επιθυμητών χαρακτηριστικών από τον πίνακα που μας διαθέτει η εφαρμογή του Climate Engine (Εικόνα 19 και 20). Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά είναι στον Πίνακα 2.

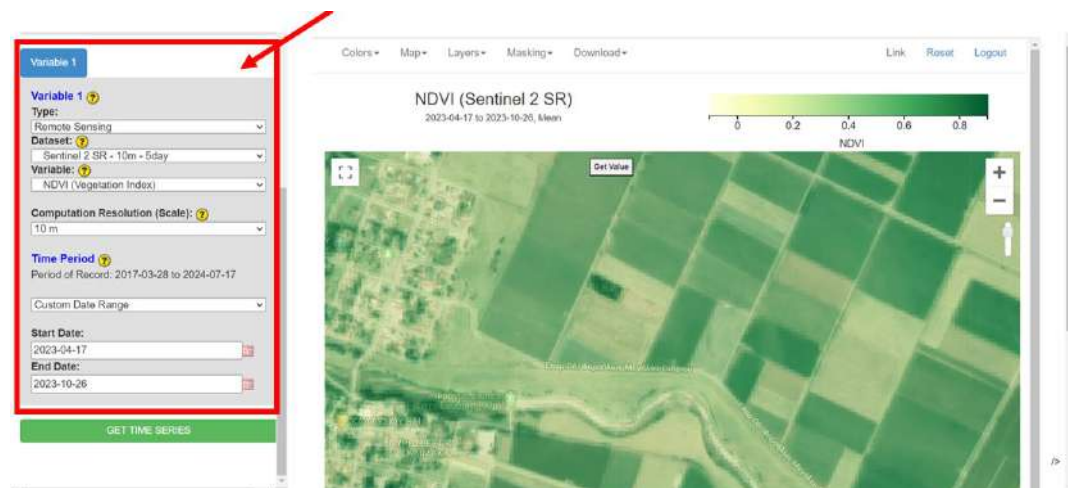
Πίνακας 2. Στην αριστερή στήλη είναι το χαρακτηριστικό και στην δεξιά στήλη είναι η επιλογή μας.

Time Series Calculation:	Native Time Series
	One Variable Analysis
Region:	Polygon
Variable 1	
Type:	Remote Sensing
Dataset:	Sentinel 2 SR – 10m – 5day
Variable:	NDVI (Vegetation Index)

Computation Resolution (Scale):	10m
Time Period	
Custom Date Range	Start Date: 2023-04-17
	End Date: 2023-10-26

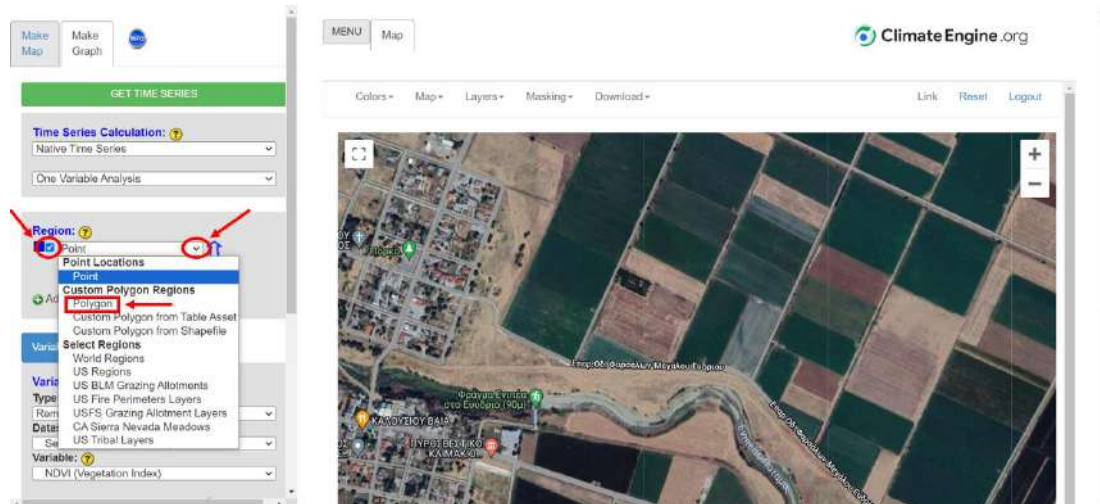


Εικόνα 19: Πίνακας διαλογής χαρακτηριστικών του Climate Engine. Επιδεικνύονται οι δύο πρώτοι πίνακες με ένα κόκκινο τετράγωνο και βελάκι (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).



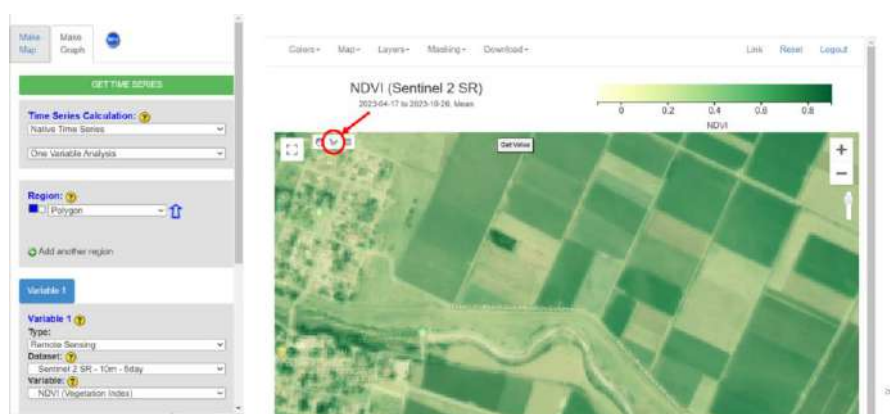
Εικόνα 20: Πίνακας διαλογής χαρακτηριστικών του Climate Engine. Επιδεικνύονται οι δύο τελευταίοι πίνακες με ένα κόκκινο τετράγωνο και βελάκι (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

Τρίτο βήμα: Επιλέγουμε το Region, το οποίο διαθέτει μια σειρά από τρόπους σχηματισμού στο χάρτη. Αυτά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: Point Locations, Custom Polygon Regions και Select Regions. Εμείς επιλέξαμε το polygon από την κατηγορία Custom Polygon Regions, για να προσδιορίσουμε ακριβώς την τοποθεσία του αγροτεμαχίου μας (Εικόνα 21).

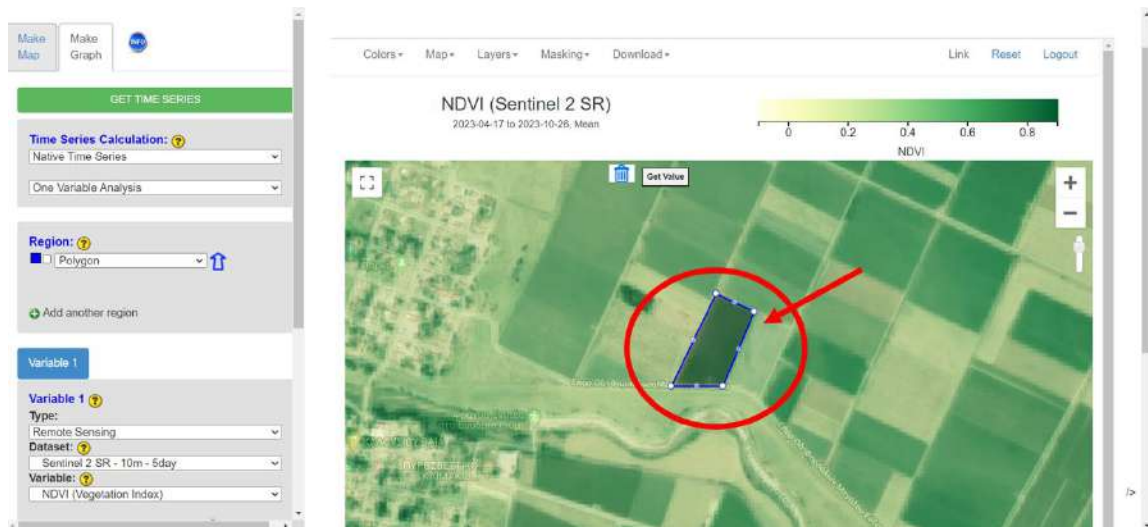


Εικόνα 21: Επιλογή τρόπου προσδιορισμού τοποθεσίας του αγροτεμαχίου μας και ο προσδιορισμός της θέσης τους στην εφαρμογή. Επιδεικνύεται με την χρήση κόκκινων κύκλων, τετραγώνων και βελάκια (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

Τέταρτο βήμα: Σχηματίσαμε το πολύγωνο πάνω στο αγροτεμάχιο μας με τη χρήση ενός των τριών εργαλείων που διαθέτει η εφαρμογή του Climate Engine. Εμείς επιλέξαμε για το σχηματισμό το μεσαίο (Εικόνα 22 και 23).

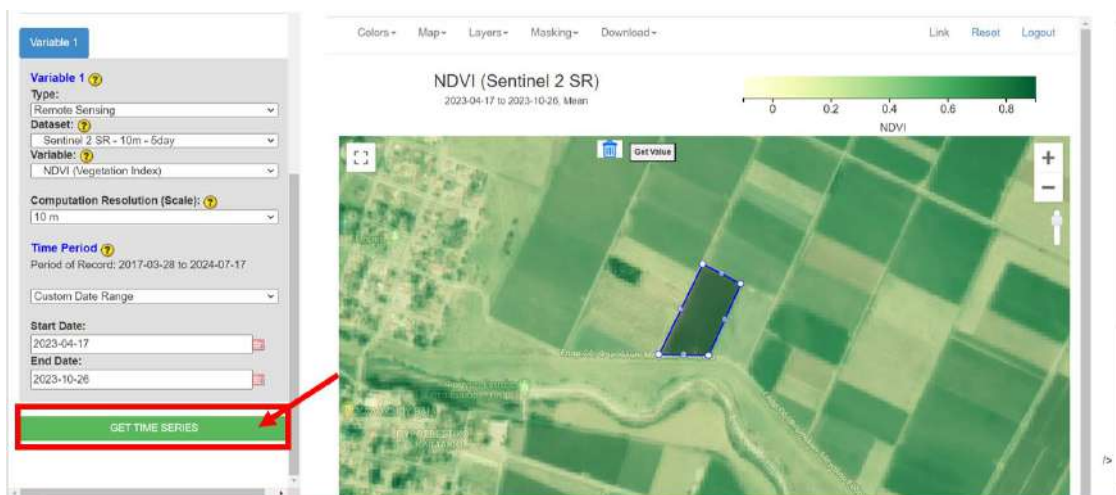


Εικόνα 22: Το εργαλείο που χρησιμοποιούμε για το σχηματισμό του πολύγωνου. Επιδεικνύεται με κόκκινο κύκλο και βελάκι (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).



Εικόνα 23: Το σχήμα που σχηματίσαμε πάνω στο αγρόκτημα μας. Προσδιορίζεται η τοποθεσία του στην εφαρμογή με τη χρήση ενός κόκκινου κύκλου και βελάκι (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

Πέμπτο βήμα: Επιβεβαιώνουμε το σχήμα που έχουμε δημιουργήσει καλύπτει πλήρως το αγροτεμάχιο μας και με το «GET TIME SERIES» για να πάρουμε το γράφημα του δείκτη που επιλέξαμε, όπου σε αυτή την περίπτωση είναι ο NDVI (Εικόνα 24).



Εικόνα 24: Η τοποθεσία του «GET TIME SERIES» στην εφαρμογή του Climate Engine. Επιδεικνύεται με ένα κόκκινο κύκλο και βελάκι (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

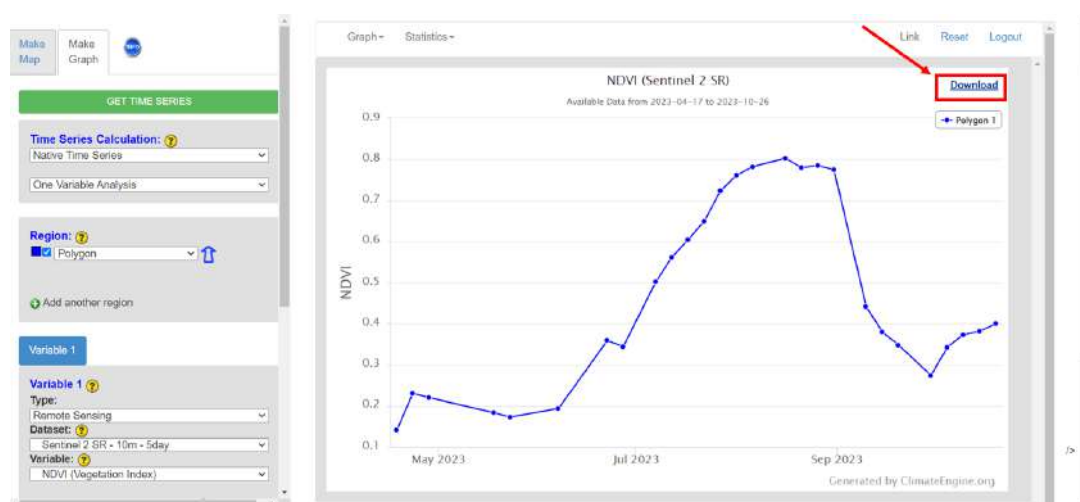
Έκτο και τελευταίο βήμα: Παίρνουμε το γράφημα του δείκτη NDVI και η εφαρμογή μας δίνει τη δυνατότητα να κατεβάσουμε το γράφημα. Επιπλέον, μας δίνει 6 επιλογές

για να διαλέξουμε σε τι μορφή επιθυμούμε να το κατεβάσουμε (PNG image, JPEG image, PDF image, SVG vector image, CVS και XLS). Εμείς επιλέξαμε την μορφή PDF (Εικόνα 25).

Το χρονικό διάστημα των διαγραμμάτων που κατεβάσαμε ήταν από τις 17/04/2023 μέχρι τις 26/10/2023. Το Climate Engine είχε δεδομένα για 27 ημέρες. Τις συγκεκριμένες ημερομηνίες μπορούμε να τις δούμε στον ακόλουθο Πίνακα 3:

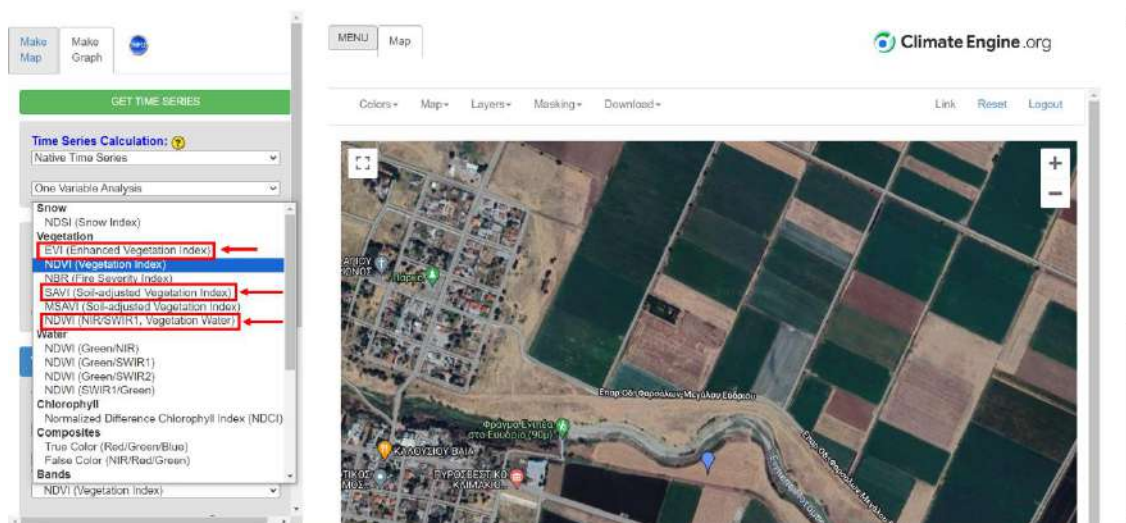
Πίνακα 3: Οι ακόλουθες ημερομηνίες είχαν διαθέσιμες εικόνες στην εφαρμογή Climate Engine για το χρονικό διάστημα της μελέτης μας (17/04/23 με 26/10/23).

18/04/2023	12/07/2023	31/08/2023
23/04/2023	17/07/2023	10/09/2023
28/04/2023	22/07/2023	15/09/2023
18/05/2023	27/07/2023	20/09/2023
23/05/2023	01/08/2023	30/09/2023
07/06/2023	06/08/2023	05/10/2023
22/06/2023	16/08/2023	10/10/2023
27/06/2023	21/08/2023	15/10/2023
07/07/2023	26/08/2023	20/10/2023



Εικόνα 25: Το γράφημα του NDVI και η τοποθεσία του download. Προσδιορίζεται στην εφαρμογή με τη χρήση ενός κόκκινου τετράγωνου και βελάκι (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

Την ίδια διαδικασία πραγματοποιούμε για τους υπόλοιπους τρεις δείκτες (NDWI, EVI και SAVI). Αυτό που αλλάζουμε από τα δεδομένα είναι τον δείκτη από το «Variable» (Εικόνα 26).

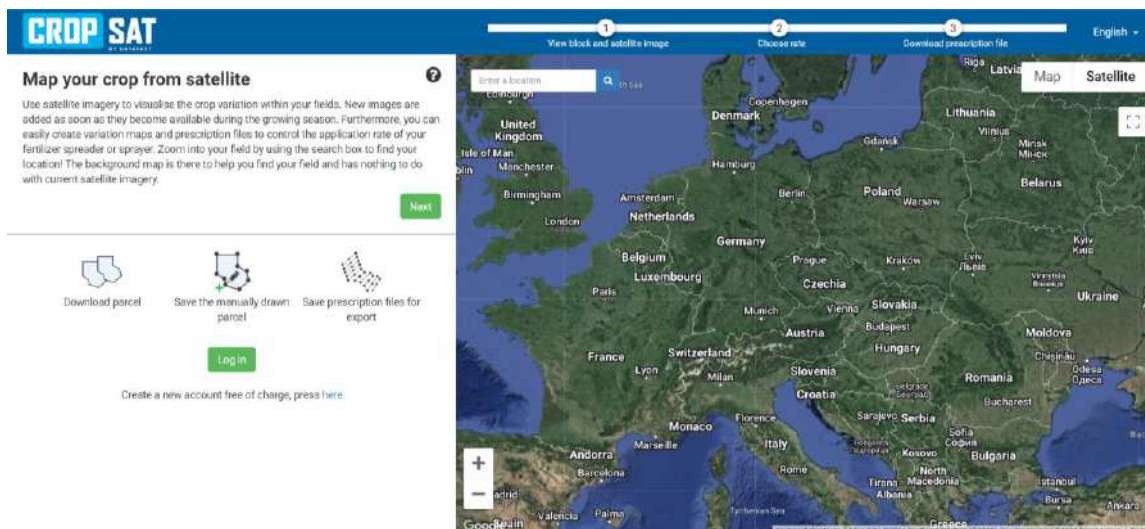


Εικόνα 26: Η τοποθεσία που βρίσκεται η επιλογή των υπόλοιπων δεικτών. Τα κόκκινα τετράγωνα και βελόνες απεικονίζουν ακριβώς που βρίσκονται (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

2.3.3.2 CropSat

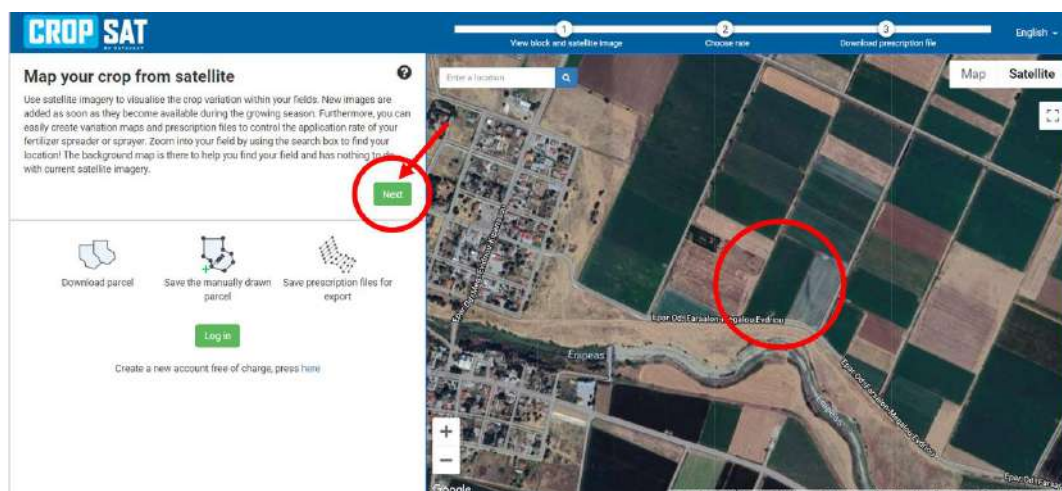
Ακολουθούν τα βήματα για την λήψη των δορυφορικών εικόνων για τον δείκτη NDVI από την εφαρμογή CropSat:

Πρώτο βήμα: Επισκεφτήκαμε την ιστοσελίδα του CropSat (<https://cropsat.com/>) (Εικόνα 27).



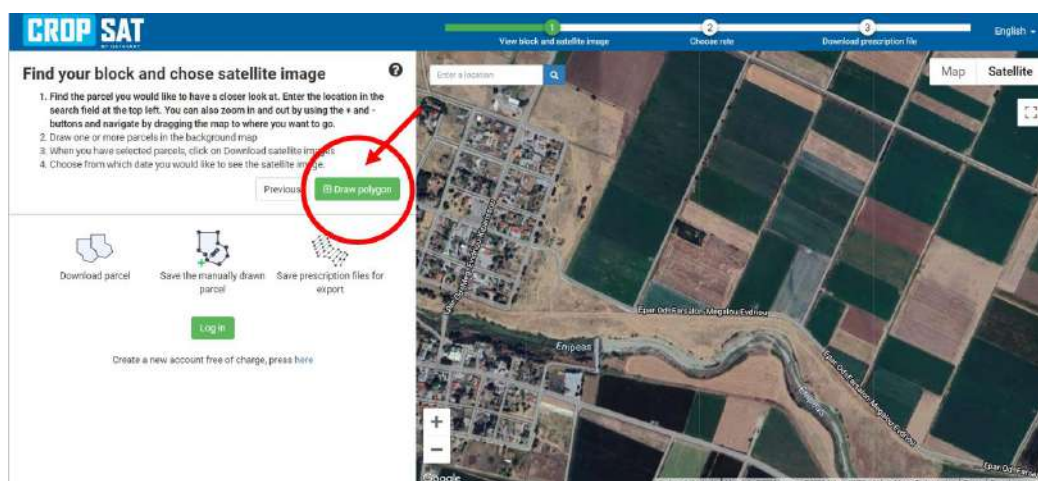
Εικόνα 27: Η αρχική ιστοσελίδα της εφαρμογής CropSat (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Δεύτερο βήμα: Εντοπίσαμε τη τοποθεσία του αγροτεμαχίου μας στο χάρτη που διαθέτει η εφαρμογή CropSat και στη συνέχεια επιλέγουμε το «Next» το οποίο σηματοδοτεί την εφαρμογή ότι είναι έτοιμο για το επόμενο βήμα (Εικόνα 28).



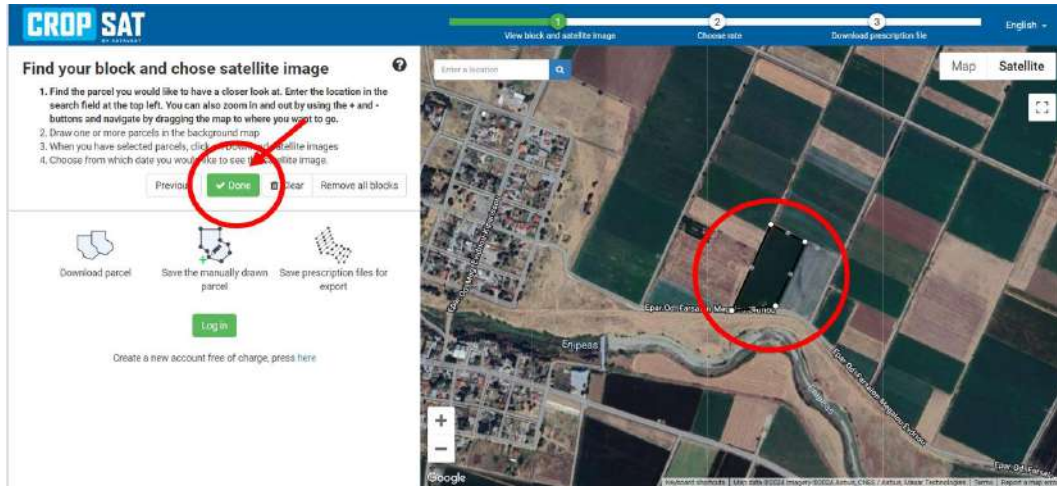
Εικόνα 28: Εντοπισμός του αγροτεμαχίου μας στην εφαρμογής και η επιλογή του «Next». Επιδεικνύονται με τη χρήση κόκκινων κύκλων και βελάκι(Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Τρίτο βήμα: Ακολουθεί η επιλογή του «Draw polygon» το οποίο μας επιτρέπει να σχεδιάσουμε ένα πολύγωνο με ακρίβεια πάνω στο αγροτεμάχιο μας (Εικόνα 29).



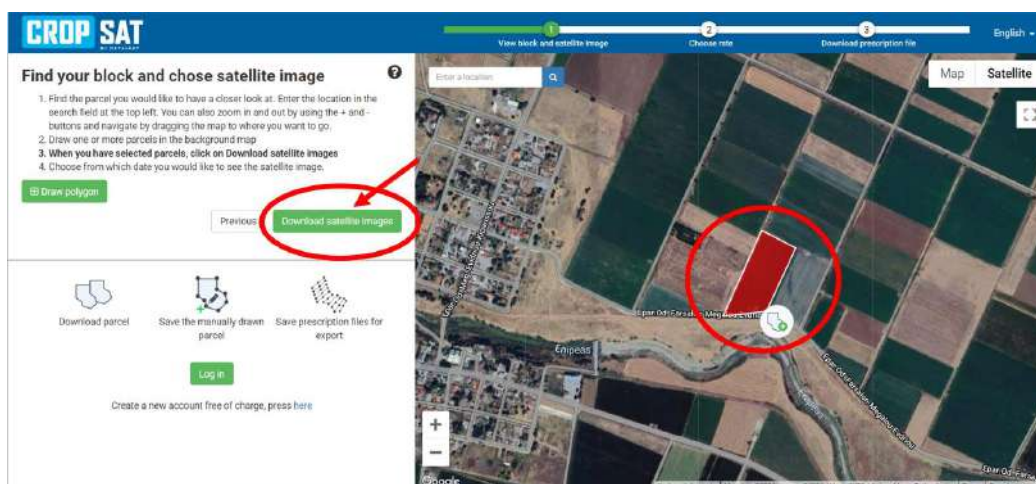
Εικόνα 29: Επιλογή «Draw polygon» για τον σχηματισμό του πολυγώνου, το οποίο είναι περικυκλωμένο με ένα κόκκινο κύκλο και βελάκι (Πηγή: <https://cropsat.com/>)

Τέταρτο βήμα: Με την ολοκλήρωση του σχεδιασμού του πολυγώνου για τον προσδιορισμό της τοποθεσίας του αγροτεμαχίου μας επιλέγουμε το «Done» για να σηματοδοτήσει στην εφαρμογή ότι είναι έτοιμο (Εικόνα 30).



Εικόνα 30: Ολοκλήρωση σχεδίου και επιλογή «Done». Η τοποθεσία του στην εφαρμογή προσδιορίζεται με την χρήση κόκκινου κύκλου και βελάκι (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Πέμπτο βήμα: Ακολουθεί η επιλογή του «Download satellite images» με το οποίο ενημερώνουμε την εφαρμογή ότι όλα τα απαραίτητα στοιχεία και βήματα έχουν πραγματοποιηθεί για να μπορέσουμε να κατεβάσουμε τις επιθυμητές δορυφορικές εικόνες. (Εικόνα 31).



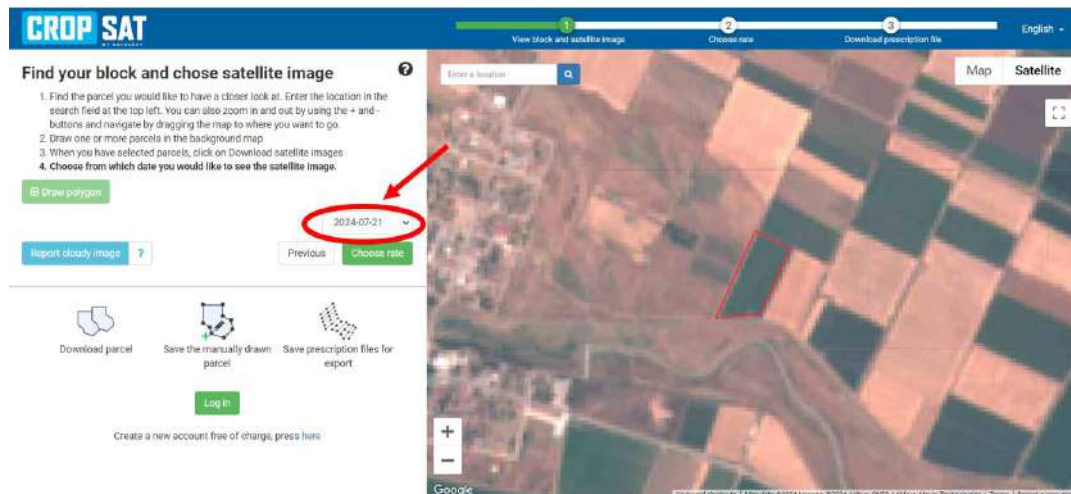
Εικόνα 31: Επιλογή «Download satellite images». Η τοποθεσία του στην εφαρμογή προσδιορίζεται με τη χρήση κόκκινου κύκλου και βελόνη (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Έκτο και τελευταίο βήμα: Επιλέξαμε μια επιθυμητή ημερομηνία και μετά κατεβάσαμε τον δείκτη για τη συγκεκριμένη ημερομηνία. (Εικόνα 32). Η παραπάνω διαδικασία (βήματα: 1-6) πραγματοποιήθηκε και για τις 26 ημερομηνίες που επιλέξαμε και κατεβάσαμε αντίστοιχα για κάθε ημερομηνία τον δείκτη. Οι 26 επιθυμητές ημερομηνίες που επιλέξαμε είναι στον Πίνακα 3:

Πίνακα 4. Οι ακόλουθες ημερομηνίες είχαν διαθέσιμες εικόνες στην εφαρμογή CropSat για το χρονικό διάστημα της μελέτης μας (17/04/23 με 26/10/23).

18/04/23	17/07/23	21/08/23	5/10/23
23/04/23	22/07/23	26/08/23	10/10/23
28/04/23	27/07/23	31/08/23	15/10/23
18/05/23	1/08/23	10/09/23	20/10/23
22/06/23	6/08/23	15/09/23	30/10/23
7/07/23	11/08/23	20/09/23	

12/07/23	16/08/23	30/09/23
----------	----------	----------



Εικόνα 32: Η τοποθεσία για την επιλογή επιθυμητών ημερομηνιών.

Προσδιορίζεται με τη χρήση κόκκινου κύκλου και βελάκι (Πηγή:

<https://cropsat.com/>).

2.4 Αποτελέσματα

2.4.1. Climate Engine

2.4.1.1 Climate Engine – Δορυφορικές Εικόνες

2.4.1.1.1 Δείκτης NDVI

Στην εικόνα (Εικόνα 33) έχουμε τον μέσο όρο του δείκτη NDVI για τη χρονική περίοδο 17/04/23 με 26/10/23. Από την εικόνα παρατηρούμε ότι οι περισσότερες τιμές κυμαίνονται από 0.4 με 0.6.



Εικόνα 33: Δορυφορική εικόνα του δείκτη NDVI. Περίοδος μελέτης: 17/04/23 με 26/04/23. Το κόκκινο πολύγωνο επιδεικνύει το αγροτεμάχιο μας (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

2.4.1.1.2 Δείκτης EVI

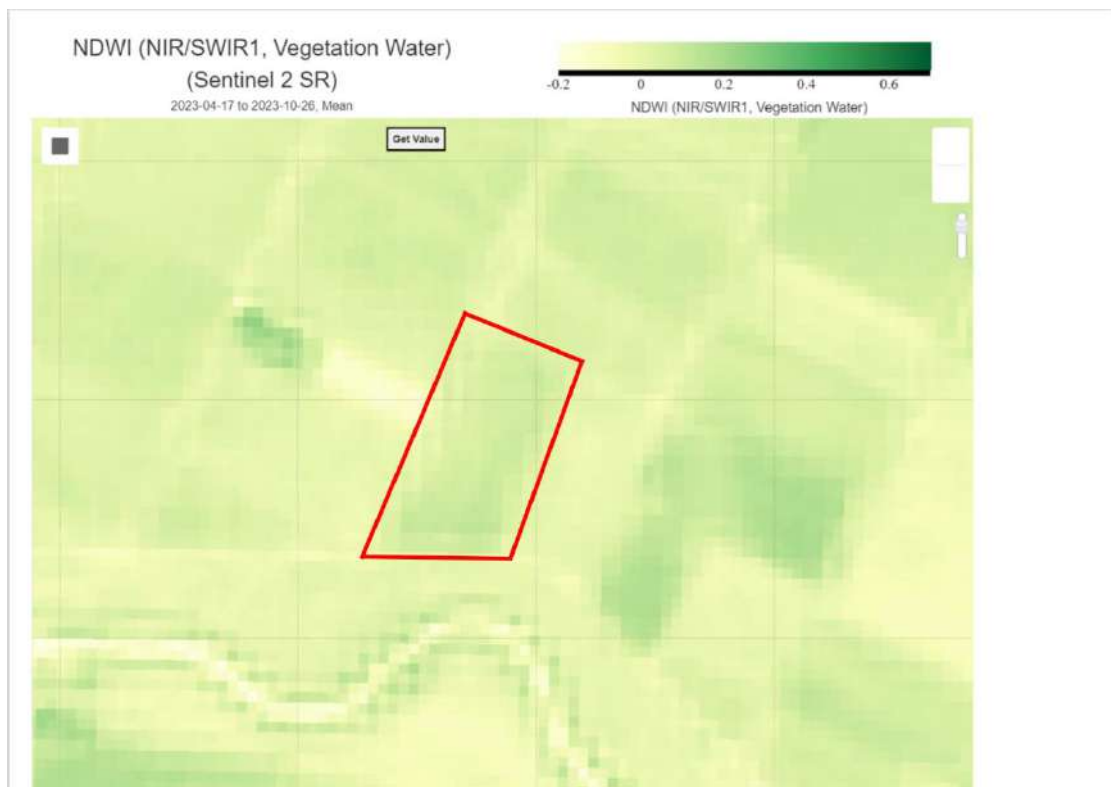
Στην εικόνα (Εικόνα 34) έχουμε τον μέσο όρο του δείκτη EVI για τη χρονική περίοδο 17/04/23 με 26/10/23. Από την εικόνα παρατηρούμε ότι οι περισσότερες τιμές κυμαίνονται από 0.2 με 0.4.



Εικόνα 34: Δορυφορική εικόνα του δείκτη EVI. Περίοδος μελέτης: 17/04/23 με 26/10/23. Το κόκκινο πολύγωνο επιδεικνύει το αγροτεμάχιο μας (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

2.4.1.1.3 Δείκτης NDWI

Στην εικόνα (Εικόνα 35) έχουμε το μέσο όρο του δείκτη NDWI για τη χρονική περίοδο 17/04/23 με 26/10/23. Από την εικόνα παρατηρούμε ότι οι τιμές κυμαίνονται από -0.2 με 0.



Εικόνα 35: Δορυφορική εικόνα του δείκτη NDWI. Περίοδος μελέτης: 17/04/23 με 26/10/23. Το κόκκινο πολύγωνο επιδεικνύει το αγροτεμάχιο μας (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

2.4.1.1.4 Δείκτης SAVI

Στην εικόνα (Εικόνα 36) έχουμε το μέσο όρο του δείκτη SAVI για τη χρονική περίοδο 17/04/23 με 26/10/23. Από την εικόνα παρατηρούμε ότι οι τιμές κυμαίνονται από 0.2 με 0.4.

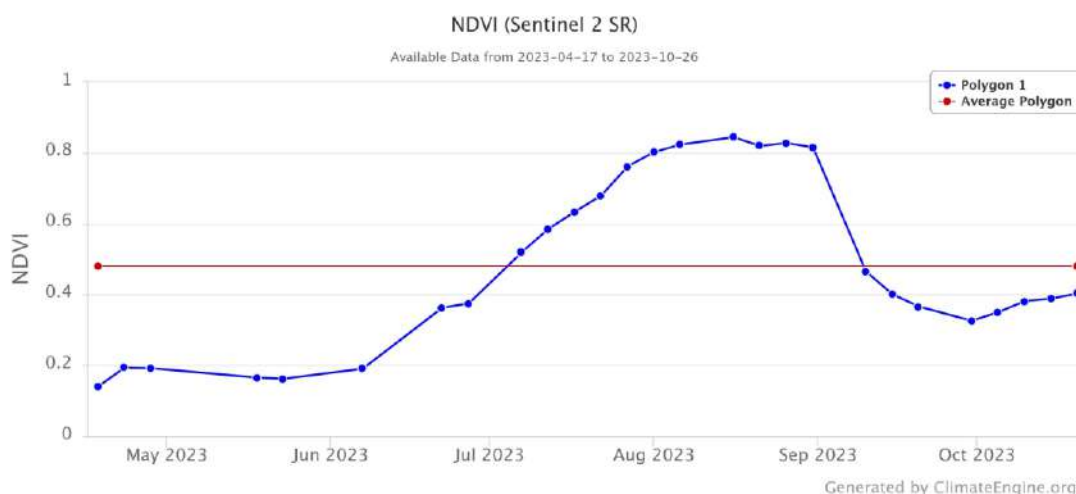


Εικόνα 36: Δορυφορική εικόνα του δείκτη SAVI. Περίοδος μελέτης: 17/04/23 με 26/10/23. Το κόκκινο πολύγωνο επιδεικνύει το αγροτεμάχιο μας (Πηγή: <https://app.climateengine.org/climateEngine>).

2.4.1.2 Climate Engine – Γραφήματα

2.4.1.2.1 Δείκτης NDVI

Στην εικόνα (Εικόνα 37) βλέπουμε το γράφημα για τη περίοδο μελέτης 17/04/23 με 26/10/23. Η τιμή του δείκτη NDVI βρέθηκε για τις 27 διαθέσιμες μετρήσεις. Η μπλε γραμμή υποδεικνύει την αλλαγή της τιμής του δείκτη για την περίοδο μελέτης. Τα μπλε σημεία υποδεικνύουν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή (ημερομηνία) που πραγματοποιήθηκε η κάθε μέτρηση (λήψη δορυφορικής εικόνας). Η κόκκινη γραμμή δείχνει τη μέση τιμή του δείκτη. Από το γράφημα παρατηρούμε ότι οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στην αρχή του γραφήματος συγκεκριμένα το Μάιο και Ιούνιο και στο τέλος του γραφήματος συγκεκριμένα το Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Ενώ οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται τον Ιούλιο και Αύγουστο.



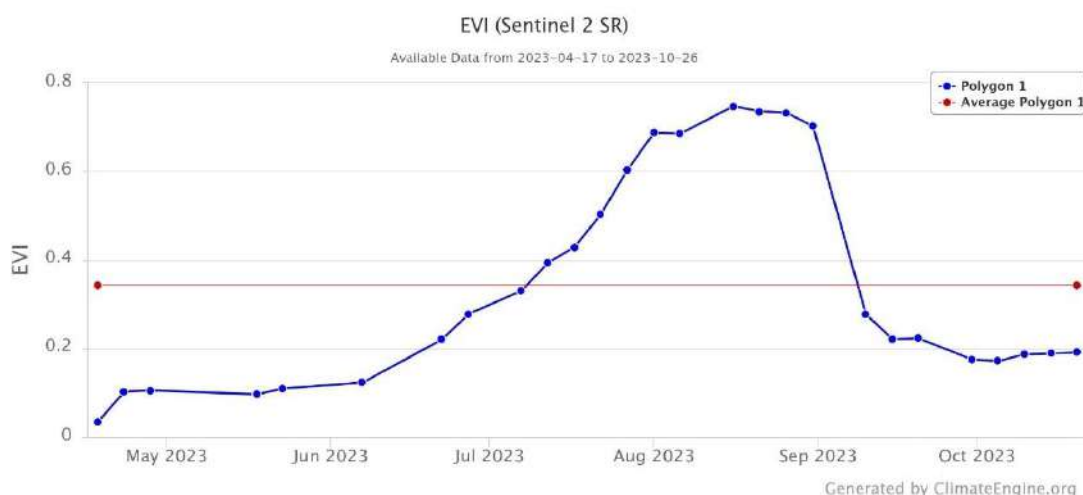
Εικόνα 37: Γράφημα του δείκτη NDVI. Περίοδος μελέτης: 17/04/23 με 26/10/23. Η μπλε γραμμή δείχνει την διακύμανση του δείκτη για τη περίοδο μελέτης. Τα μπλε σημεία συμβολίζουν την ημέρα που είχαμε διαθέσιμη εικόνα. Ενώ η κόκκινη γραμμή δείχνει τη μέση τιμή (Πηγή:

<https://app.climateengine.org/climateEngine>).

2.4.1.2.2 Δείκτης EVI

Στην εικόνα (Εικόνα 38) βλέπουμε το γράφημα για τη περίοδο μελέτης 17/04/23 με 26/10/23. Η τιμή του δείκτη EVI βρέθηκε για τις 27 διαθέσιμες μετρήσεις. Η μπλε γραμμή υποδεικνύει την αλλαγή της τιμής του δείκτη. Τα μπλε σημεία υποδεικνύουν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή (ημερομηνία) που πραγματοποιήθηκε η κάθε

μέτρηση (λήψη δορυφορικής εικόνας). Η κόκκινη γραμμή δείχνει τη μέση τιμή του δείκτη. Από το γράφημα παρατηρούμε ότι οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στην αρχή του γραφήματος συγκεκριμένα το Μάιο και Ιούνιο και στο τέλος του γραφήματος συγκεκριμένα το Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Ενώ οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται τον Ιούλιο και Αύγουστο.

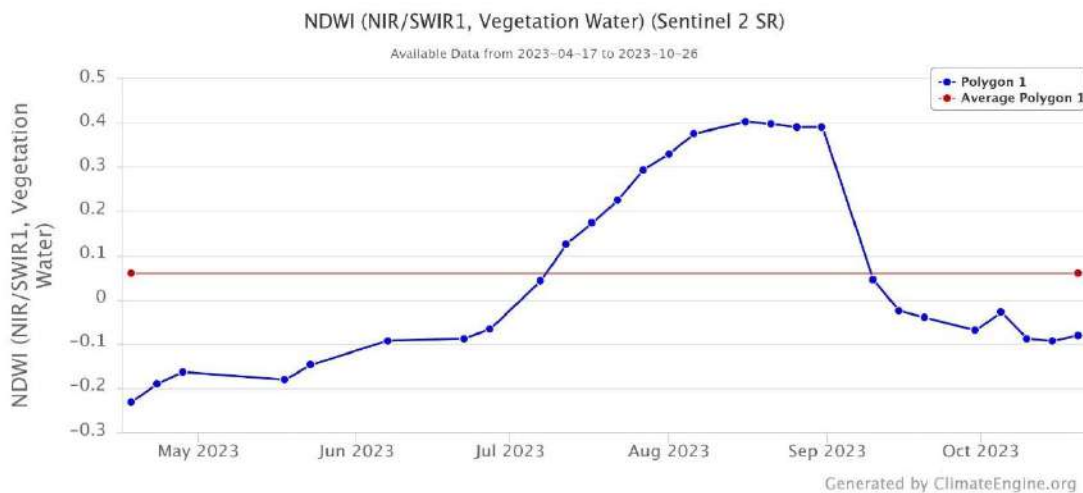


Εικόνα 38: Γράφημα του δείκτη EVI. Περίοδος μελέτης: 17/04/23 με 26/10/23. Η μπλε γραμμή δείχνει την διακύμανση του δείκτη για τη περίοδο μελέτης. Τα μπλε σημεία συμβολίζουν την ημέρα που είχαμε διαθέσιμη εικόνα. Ενώ η κόκκινη γραμμή δείχνει τη μέση τιμή (Πηγή:

<https://app.climateengine.org/climateEngine>).

2.4.1.2.3 Δείκτης NDWI

Στην εικόνα (Εικόνα 39) βλέπουμε το γράφημα για τη περίοδο μελέτης 17/04/23 με 26/10/23. Η τιμή του δείκτη NDWI βρέθηκε για τις 27 διαθέσιμες μετρήσεις. Η μπλε γραμμή υποδεικνύει την αλλαγή της τιμής του δείκτη. Τα μπλε σημεία υποδεικνύουν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή (ημερομηνία) που πραγματοποιήθηκε η κάθε μέτρηση (λήψη δορυφορικής εικόνας). Η κόκκινη γραμμή δείχνει τη μέση τιμή του δείκτη. Από το γράφημα παρατηρούμε ότι οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στην αρχή του γραφήματος συγκεκριμένα το Μάιο και Ιούνιο και στο τέλος του γραφήματος συγκεκριμένα το Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Ενώ οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται τον Ιουλίου και Αύγουστο.



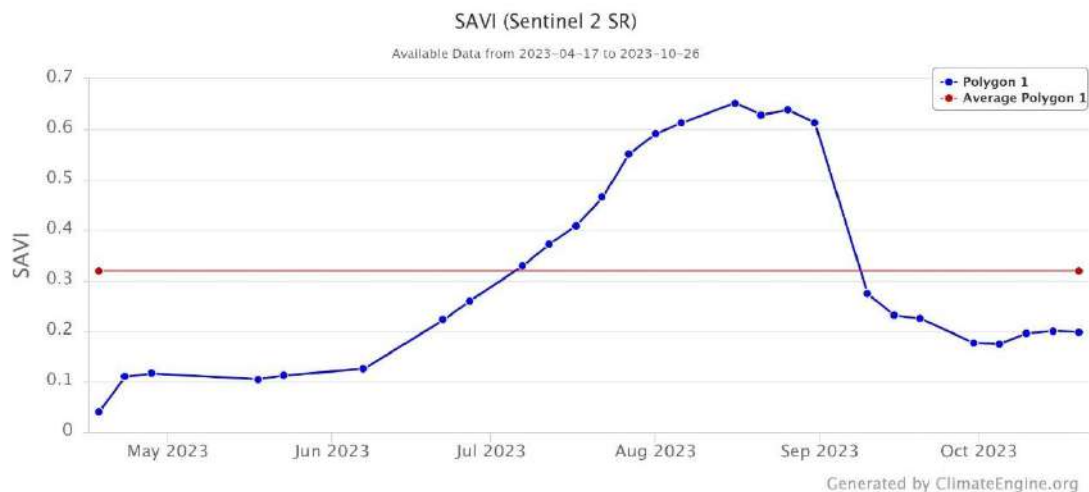
Εικόνα 39: Γράφημα του δείκτη NDWI. Περίοδος μελέτης: 17/04/23 με 26/10/23.

Η μπλε γραμμή δείχνει την διακύμανση του δείκτη για τη περίοδο μελέτης. Τα μπλε σημεία συμβολίζουν την ημέρα που είχαμε διαθέσιμη εικόνα. Ενώ η κόκκινη γραμμή δείχνει τη μέση τιμή (Πηγή:

<https://app.climateengine.org/climateEngine>).

2.4.1.2.4 Δείκτης SAVI

Στην εικόνα (Εικόνα 40) βλέπουμε το γράφημα για τη περίοδο μελέτης 17/04/23 με 26/10/23. Η τιμή του δείκτη SAVI βρέθηκε για τις 27 διαθέσιμες μετρήσεις. Η μπλε γραμμή υποδεικνύει την αλλαγή της τιμής του δείκτη. Τα μπλε σημεία υποδεικνύουν τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή (ημερομηνία) που πραγματοποιήθηκε η κάθε μέτρηση (λήψη δορυφορικής εικόνας). Η κόκκινη γραμμή δείχνει τη μέση τιμή του δείκτη. Από το γράφημα παρατηρούμε ότι οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται στην αρχή του γραφήματος συγκεκριμένα το Μάιο και Ιούνιο και στο τέλος του γραφήματος συγκεκριμένα το Σεπτέμβριο και Οκτώβριο. Ενώ οι υψηλότερες τιμές εμφανίζονται τον Ιούλιο και Αύγουστο.



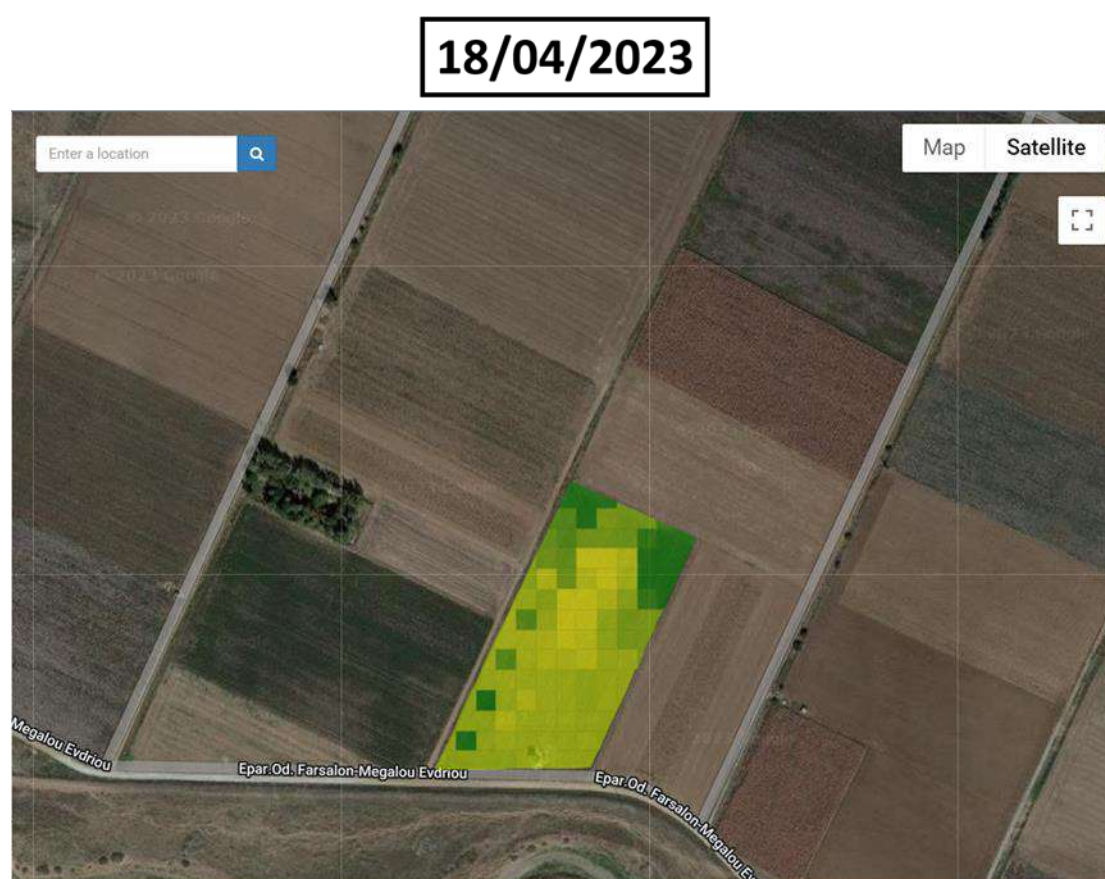
Εικόνα 40: Γράφημα του δείκτη SAVI. Περίοδος μελέτης: 17/04/23 με 26/10/23. Η μπλε γραμμή δείχνει την διακύμανση του δείκτη για τη περίοδο μελέτης. Τα μπλε σημεία συμβολίζουν την ημέρα που είχαμε διαθέσιμη εικόνα. Ενώ η κόκκινη γραμμή δείχνει τη μέση τιμή (Πηγή:

<https://app.climateengine.org/climateEngine>).

2.4.2 CropSat – Δείκτη NDVI

Παρακάτω παρατίθεται ο δείκτης NDVI για την χρονική περίοδο: 18/04/23 με 30/10/23. Συνολικά έχουμε 26 δορυφορικές εικόνες με τον δείκτη NDVI. Είναι οι ημερομηνίες που είχε διαθέσιμες η εφαρμογή CropSat με δορυφορικές εικόνες. Όσο αφορά τον δείκτη NDVI όσο πιο έντονο το πράσινο χρώμα τόσο πλησιάζει στην μέγιστη τιμή 1. Ενώ όσο πιο κίτρινο τόσο περισσότερο πλησιάζει στο 0. Η τιμή 1 (έντονο πράσινο) υποδηλώνει ευρωστία βλάστησης και το 0 (κίτρινο) υποδηλώνει μη υγιή βλάστηση. Κάθε τετράγωνο που είναι χρωματισμένο έχει διαστάσεις 10x10.

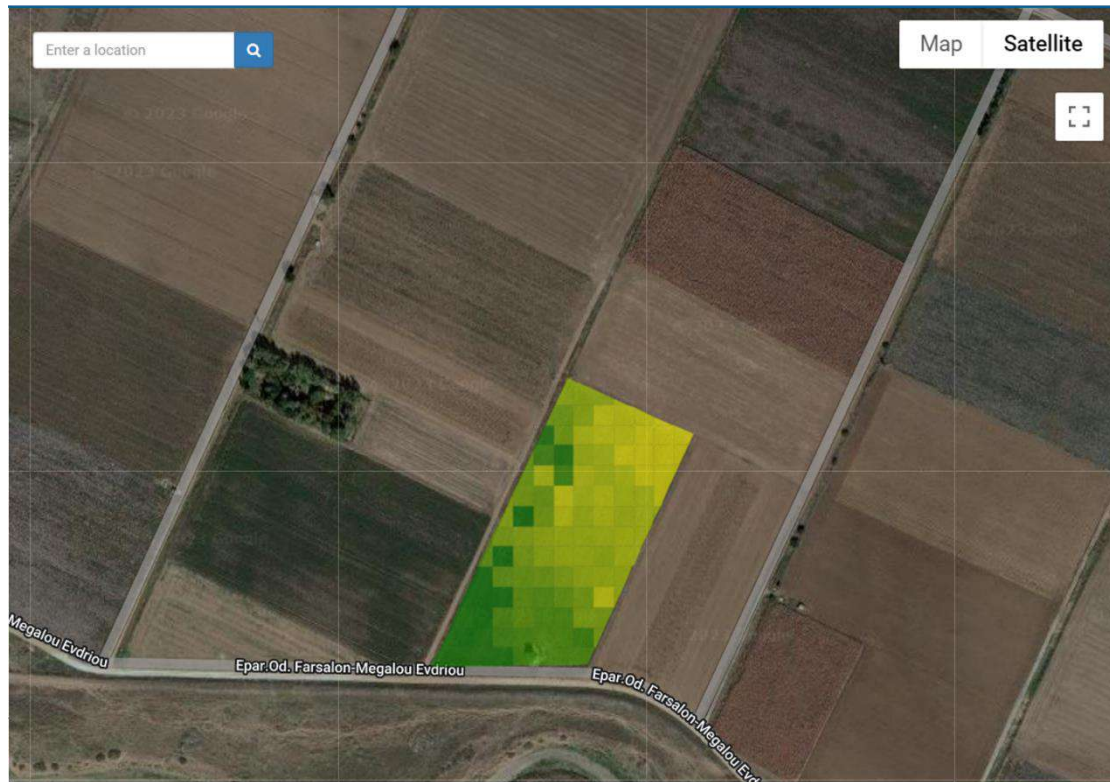
Στη εικόνα (Εικόνα 41) παρατηρούμε ότι υπερτερεί το κίτρινο με ανοιχτό πράσινα. Μόνο ένα σημείο του αγροτεμαχίου είναι πράσινο, συγκεκριμένα η κορυφή του αγροτεμαχίου βορειοανατολικά και δύο σημεία νοτιοδυτικά.



Εικόνα 41: Ο δείκτης NDVI στις 18/04/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 42) παρατηρούμε ότι υπερτερεί το κίτρινο βορειοανατολικά του αγροτεμαχίου. Επιπλέον, βλέπουμε ότι υπάρχει ένα πράσινο κομμάτι νοτιοδυτικά.

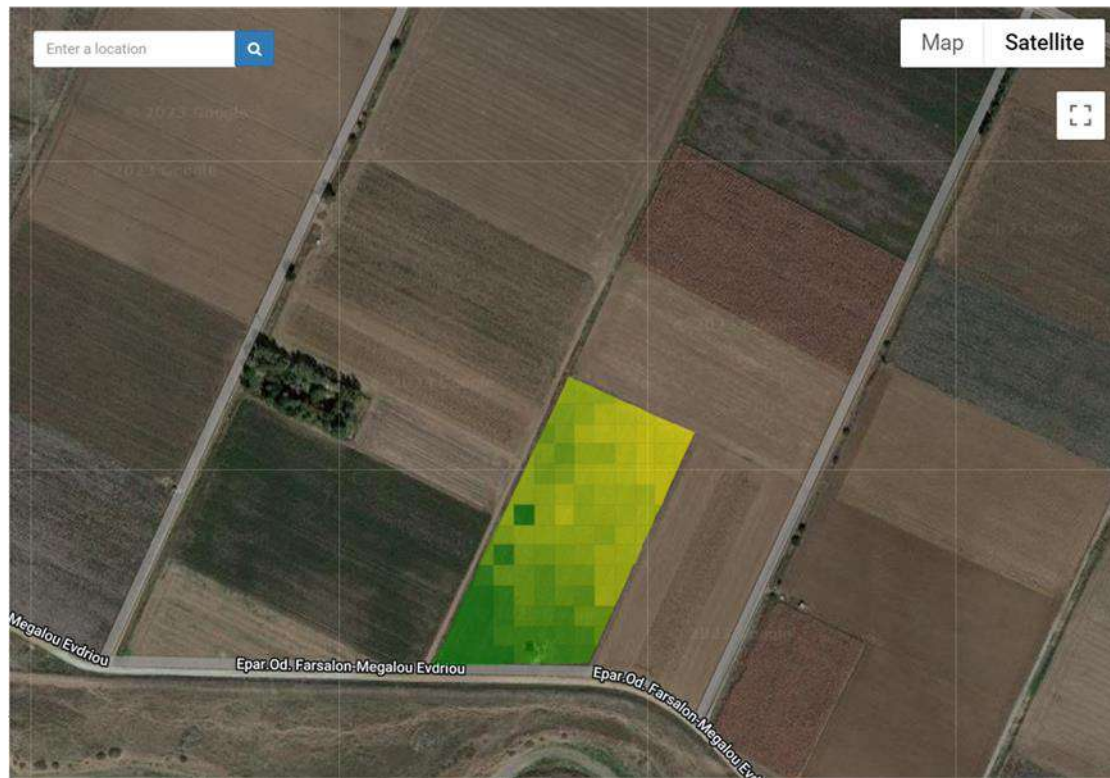
23/04/2023



Εικόνα 42: Ο δείκτης NDVI στις 23/04/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 43) παρατηρούμε πάλι ότι υπερισχύει το κίτρινο χρώμα βόρεια του αγροτεμαχίου μας και νότια έχει ένα πράσινο κομμάτι.

28/04/2023



Εικόνα 43: Ο δείκτης NDVI στις 28/04/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 44) βλέπουμε ότι υπάρχει μόνο το κίτρινο χρώμα εκτός από τέσσερα σημεία δυτικά του αγροτεμαχίου.

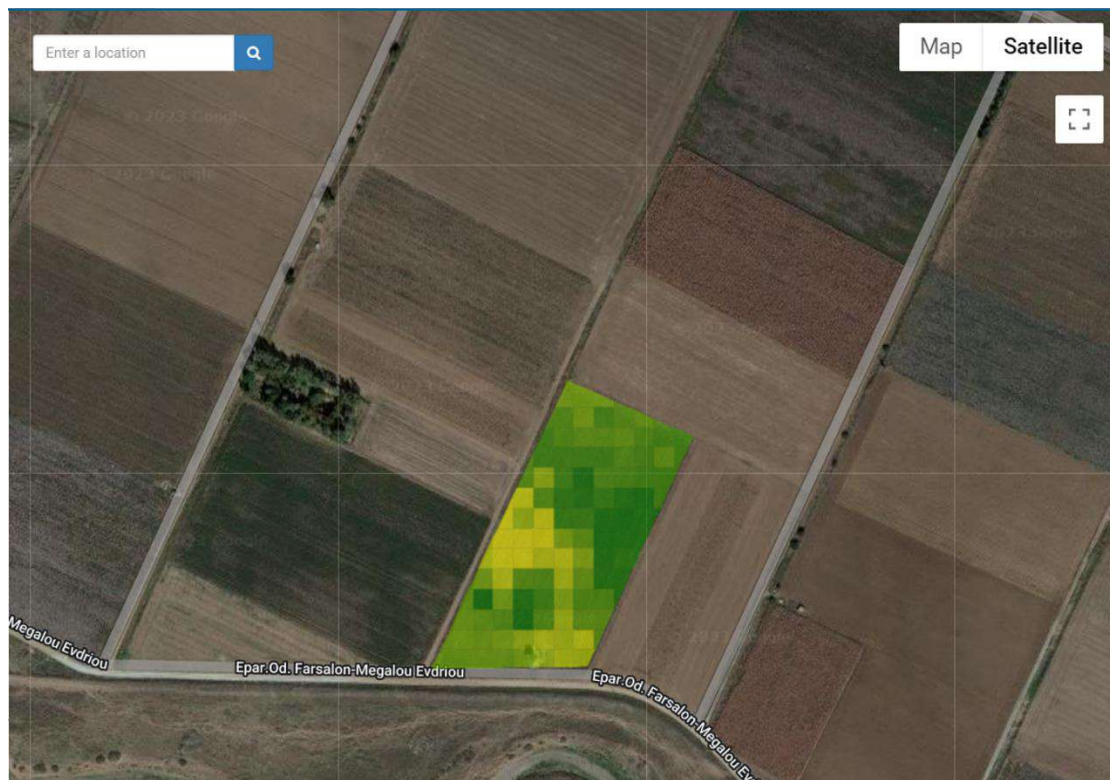
18/05/2023



Εικόνα 44: Ο δείκτης NDVI στις 18/05/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 45) παρατηρούμε ότι υπερτερεί το ανοιχτό πράσινο με πράσινο χρώμα στο αγροτεμάχιο μας. Από το μέσο και κάτω του αγροτεμαχίου βλέπουμε δύο μεγάλα κίτρινα σημεία. Το ένα βορειοδυτικά και το άλλο νοτιοανατολικά. Ανάμεσα σε αυτά τα δύο σημεία υπάρχει μια πράσινη περιοχή ενώ το υπόλοιπο νότια είναι ανοιχτό πράσινο.

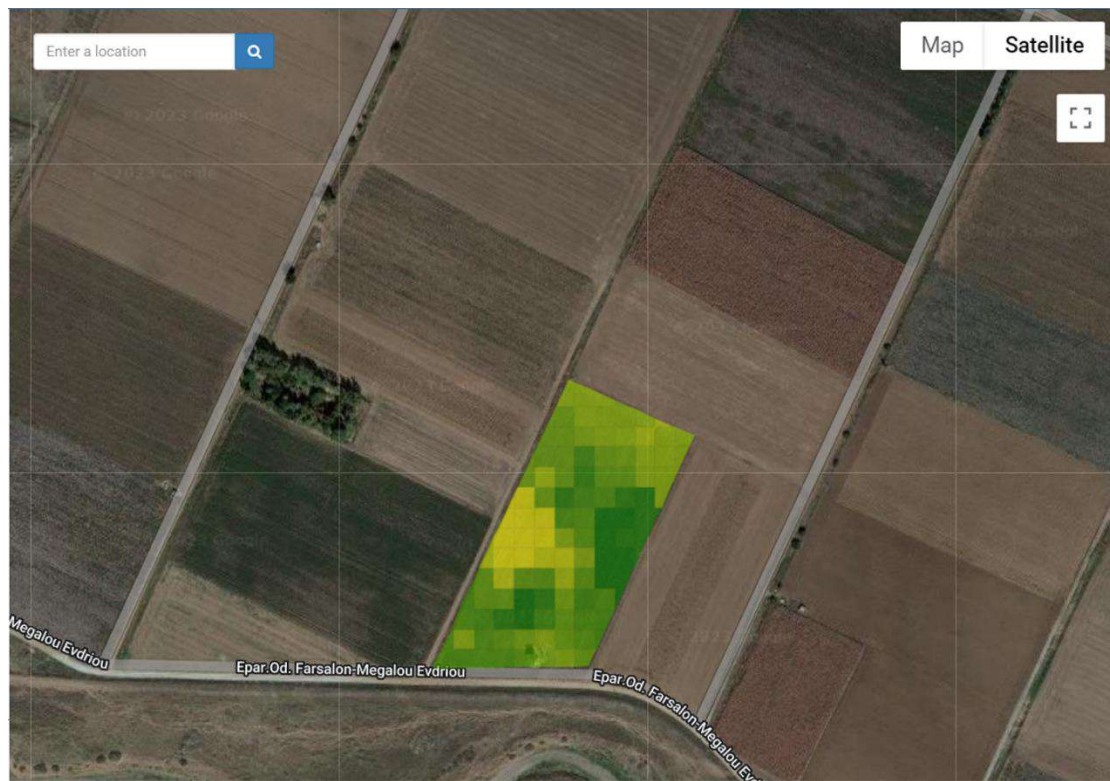
22/06/2023



Εικόνα 45: Ο δείκτης NDVI στις 22/06/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 46) βλέπουμε ότι βόρεια και νότια υπερτερεί το ανοιχτό πράσινο. Στο κέντρο του αγροτεμαχίου μας ανατολικά έχουμε μια πράσινη περιοχή ενώ δυτικά είναι κίτρινη. Επιπλέον, πάνω και κάτω από την κίτρινη περιοχή βλέπουμε δύο μικρά πράσινα σημεία.

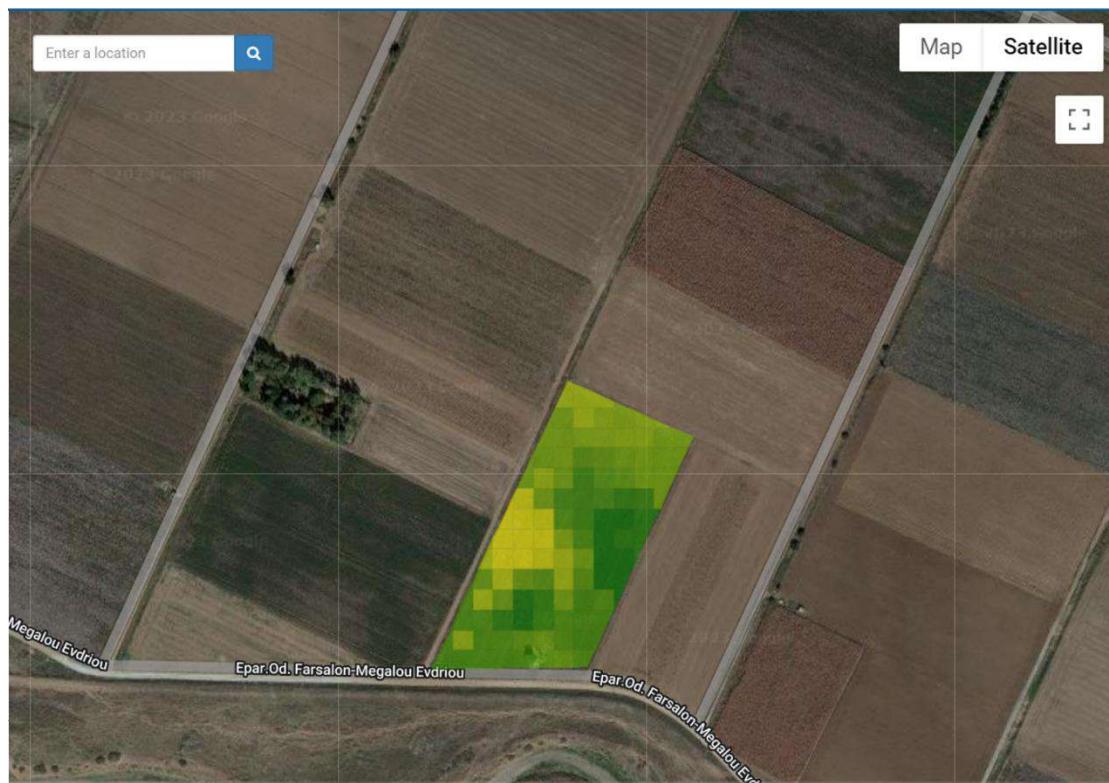
07/07/2023



Εικόνα 46: Ο δείκτης NDVI στις 7/07/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 47) παρατηρούμε τα ίδια μοτίβα που είδαμε στην προηγούμενη εικόνα (Εικόνα 46). Με μόνη διαφορά η αργή επέκταση του κίτρινου χρώματος προς τα νοτιοδυτικά.

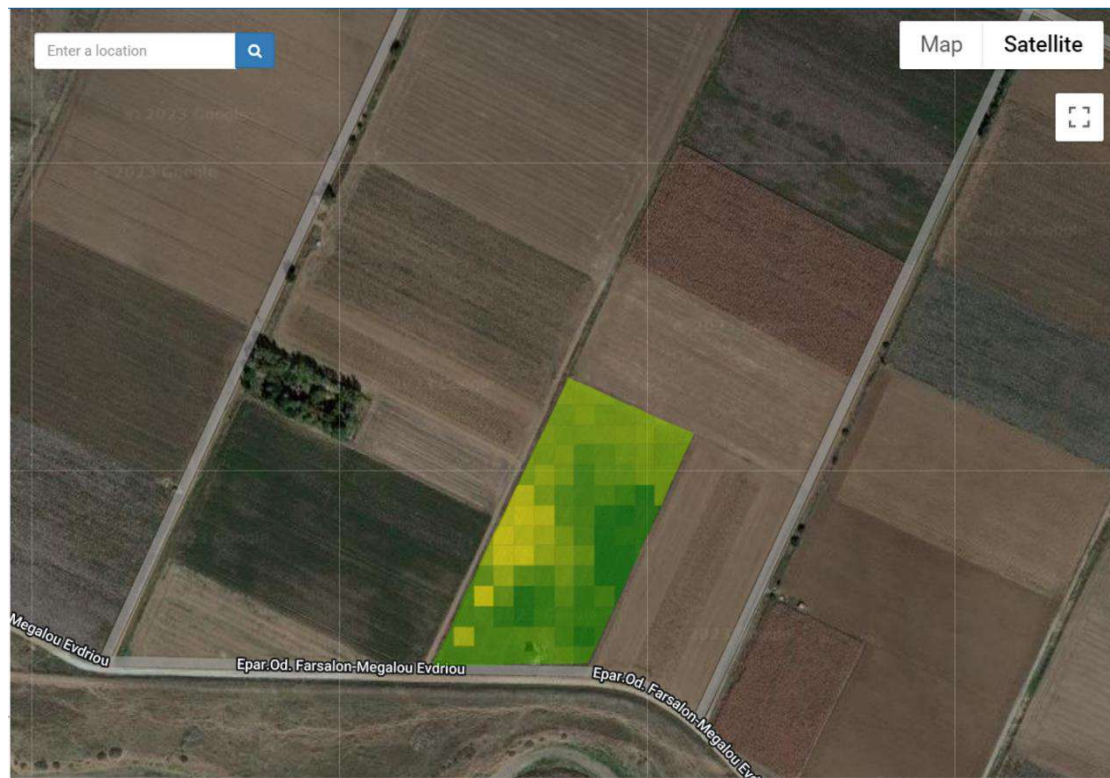
12/07/2023



Εικόνα 47: Ο δείκτης NDVI στις 12/07/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 48) παρατηρούμε τα ίδια μοτίβα που είδαμε στις προηγούμενες εικόνες (Εικόνα 46 και 47). Με μόνη διαφορά φαίνεται πιο έντονη η εξάπλωση του κίτρινου χρώματος νοτιοδυτικά.

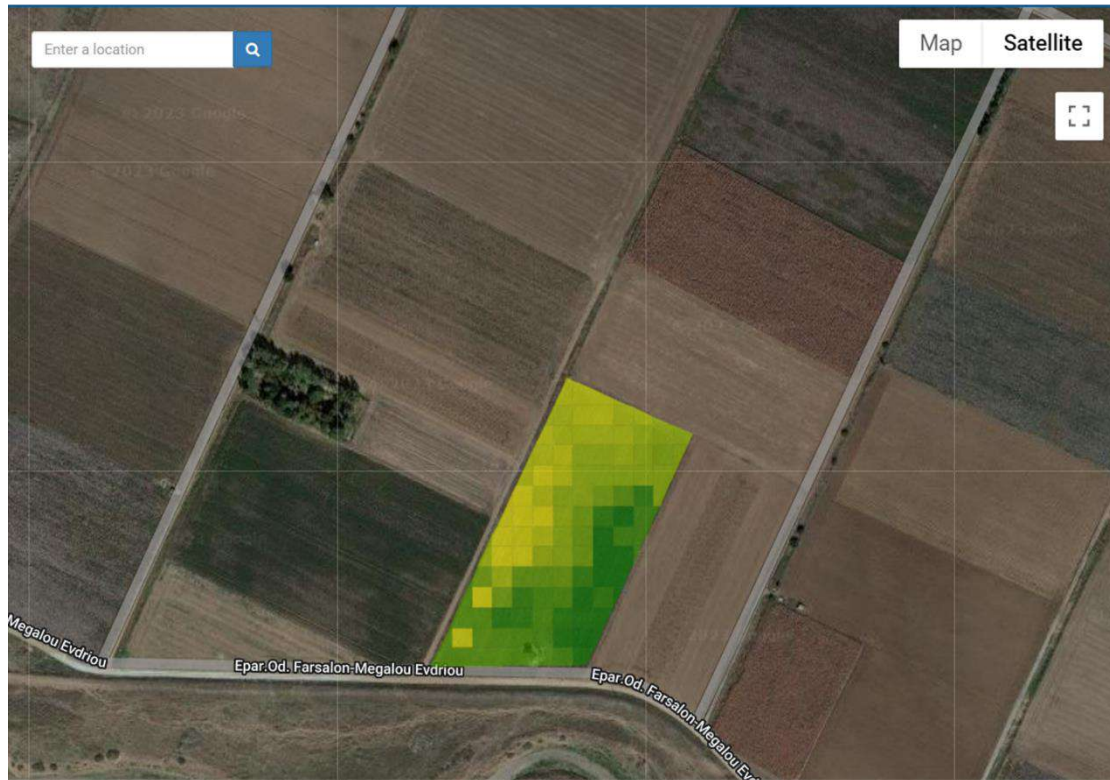
17/07/2023



Εικόνα 48: Ο δείκτης NDVI στις 17/07/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 49) παρατηρούμε την δραστική αλλαγή του βόρειου τμήματος του αγροτεμαχίου από ανοιχτό πράσινο σε κίτρινο χρώμα. Επιπλέον, έχει επεκταθεί νότια και κεντρικά. Ωστόσο υπάρχει ανατολικά ένα τμήμα που επικρατεί πράσινο χρώμα.

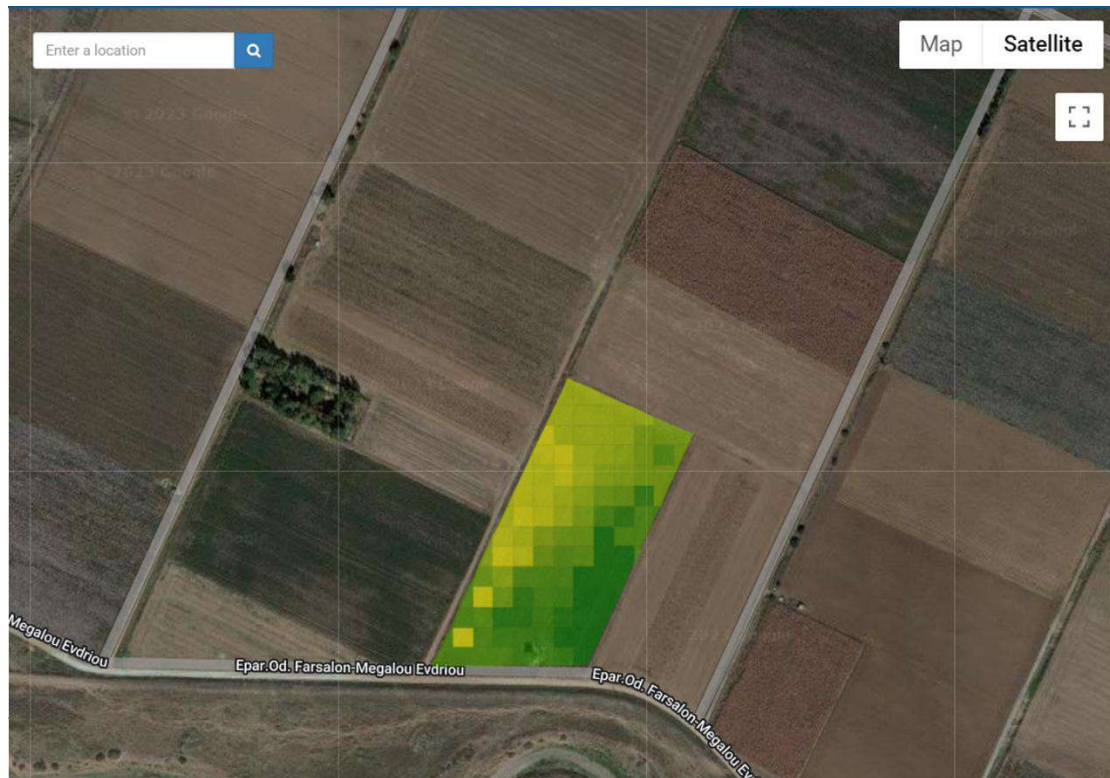
22/07/2023



Εικόνα 49: Ο δείκτης NDVI στις 22/07/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 50) δε παρατηρούμε κάποια δραστική αλλαγή από την τελευταία εικόνα (Εικόνα 49).

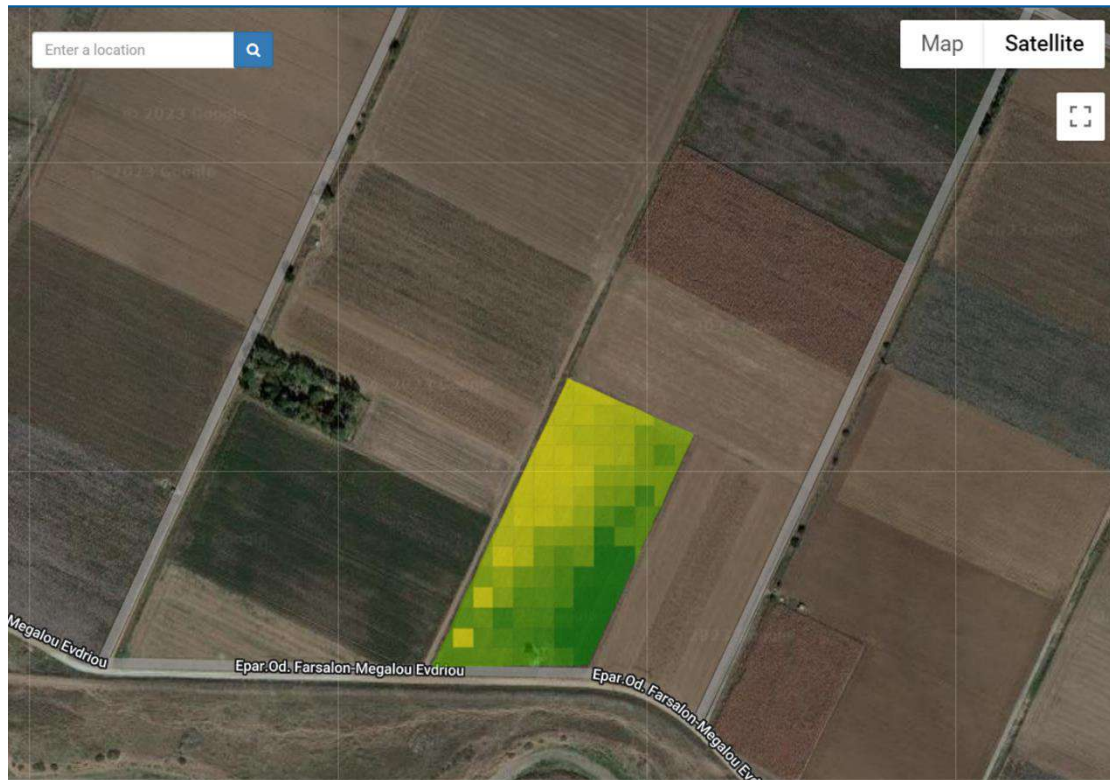
27/07/2023



Εικόνα 50: Ο δείκτης NDVI στις 27/07/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 51) η μόνη αλλαγή που παρατηρούμε βρίσκεται βορειοδυτικά. Φαίνεται πιο έντονα το κίτρινα χρώμα.

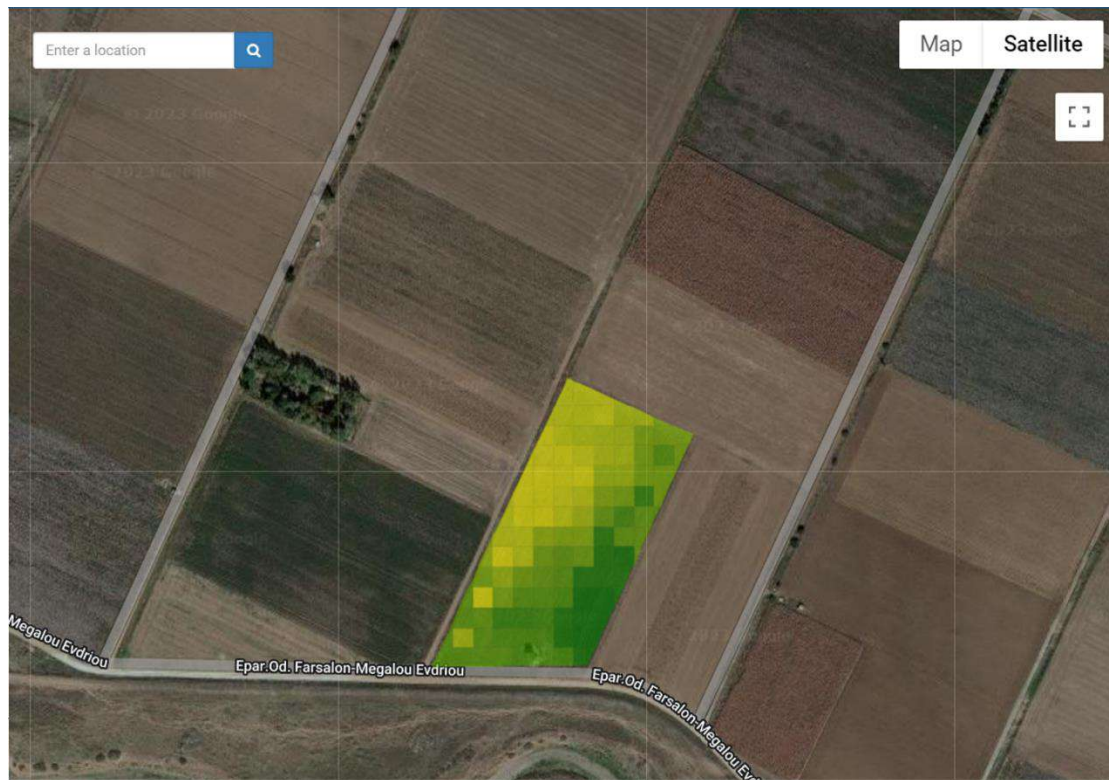
01/08/2023



Εικόνα 51: Ο δείκτης NDVI στις 1/08/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 52) δε παρατηρούμε κάποια δραστική αλλαγή από την τελευταία εικόνα (Εικόνα 51).

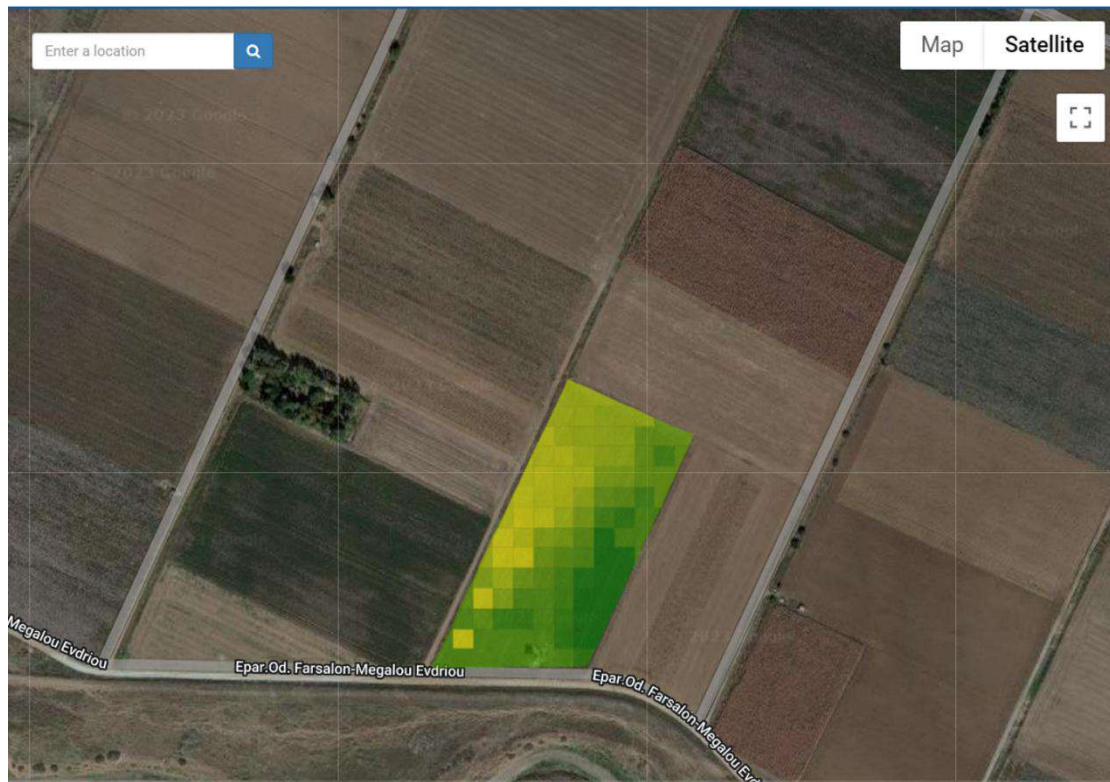
06/08/2023



Εικόνα 52: Ο δείκτης NDVI στις 6/08/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 53) η μόνη αλλαγή που παρατηρούμε είναι η ελαφρά αλλαγή του κίτρινου χρώματος στην κορυφή του αγροτεμαχίου βορειοδυτικά σε ανοιχτό πράσινο.

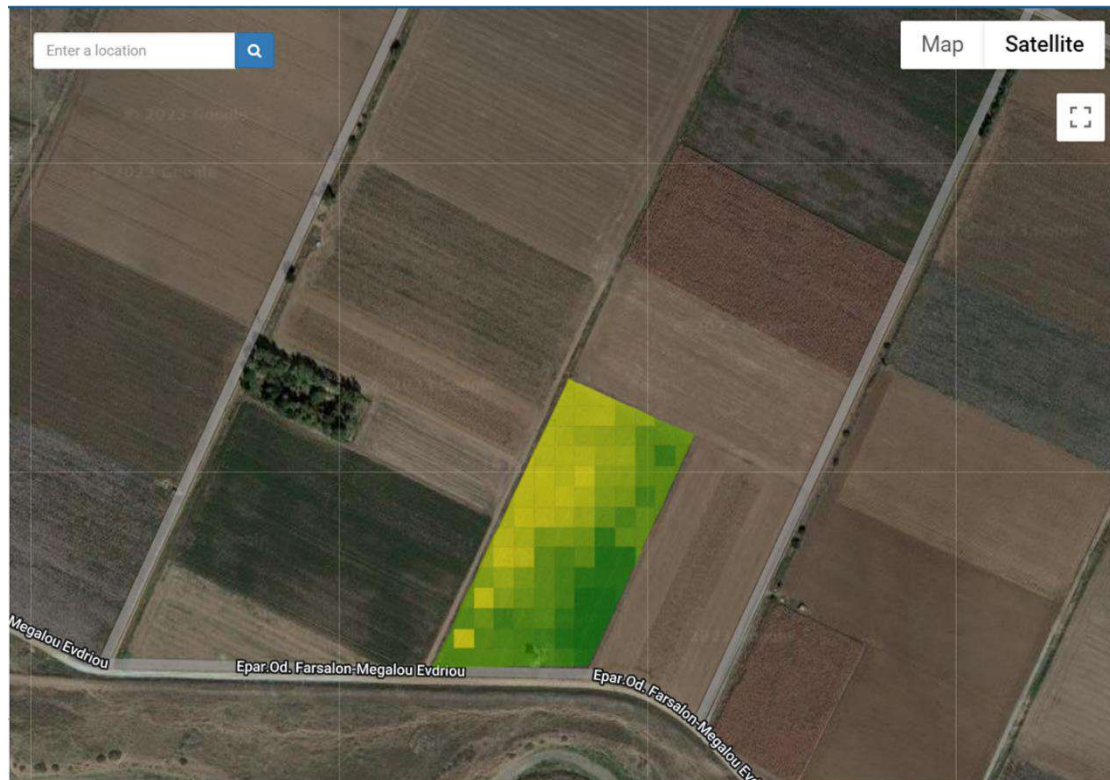
11/08/2023



Εικόνα 53: Ο δείκτης NDVI στις 11/08/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 54) βλέπουμε ότι η μικρή αλλαγή στην κορυφή του αγροτεμαχίου βορειοδυτικά επανήλθε στο κίτρινο χρώμα.

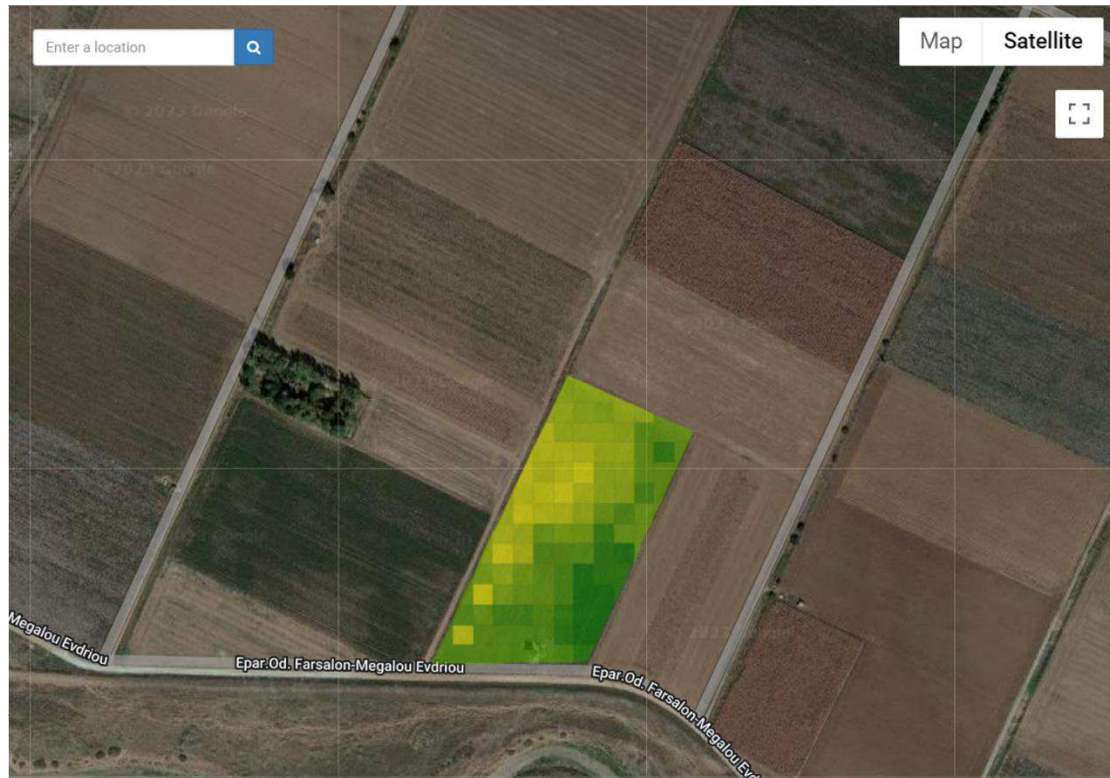
16/08/2023



Εικόνα 54: Ο δείκτης NDVI στις 16/08/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 55) παρατηρούμε πάλι την αλλαγή της κορυφής βορειοδυτικά από κίτρινο σε ανοιχτό πράσινο.

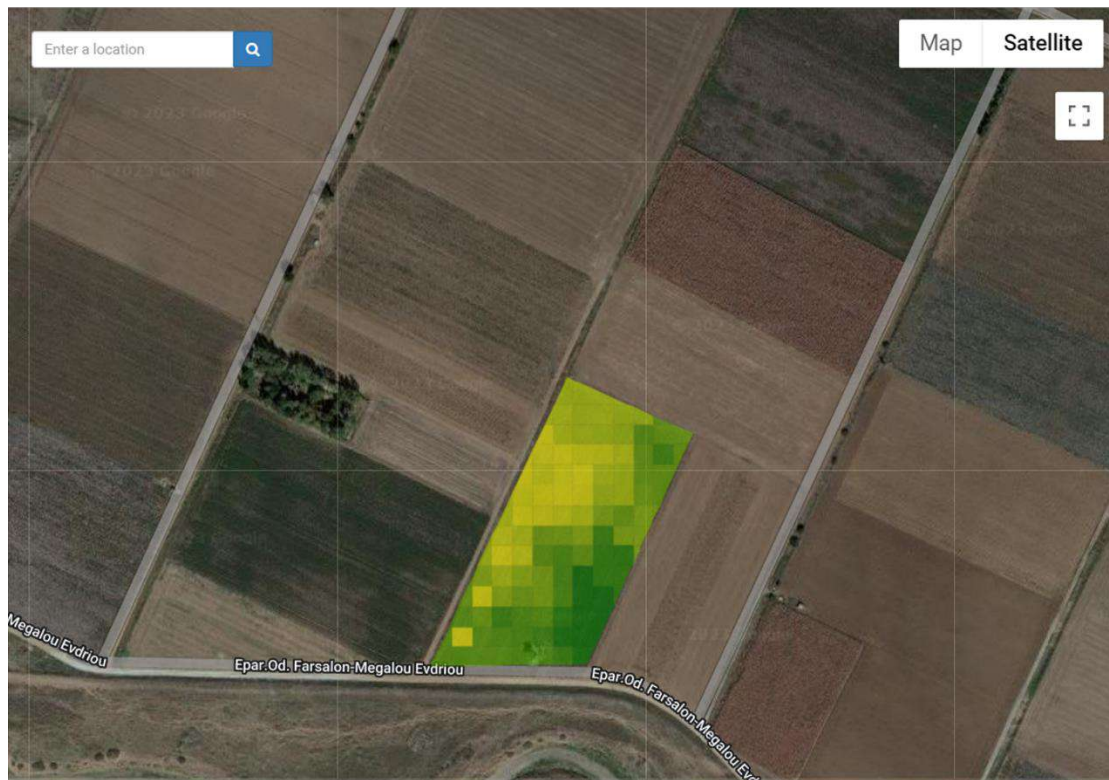
21/08/2023



Εικόνα 55: Ο δείκτης NDVI στις 21/08/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 56) δε βλέπουμε κάποια δραστική αλλαγή στο αγροτεμάχιο μας από τη τελευταία εικόνα (Εικόνα 55).

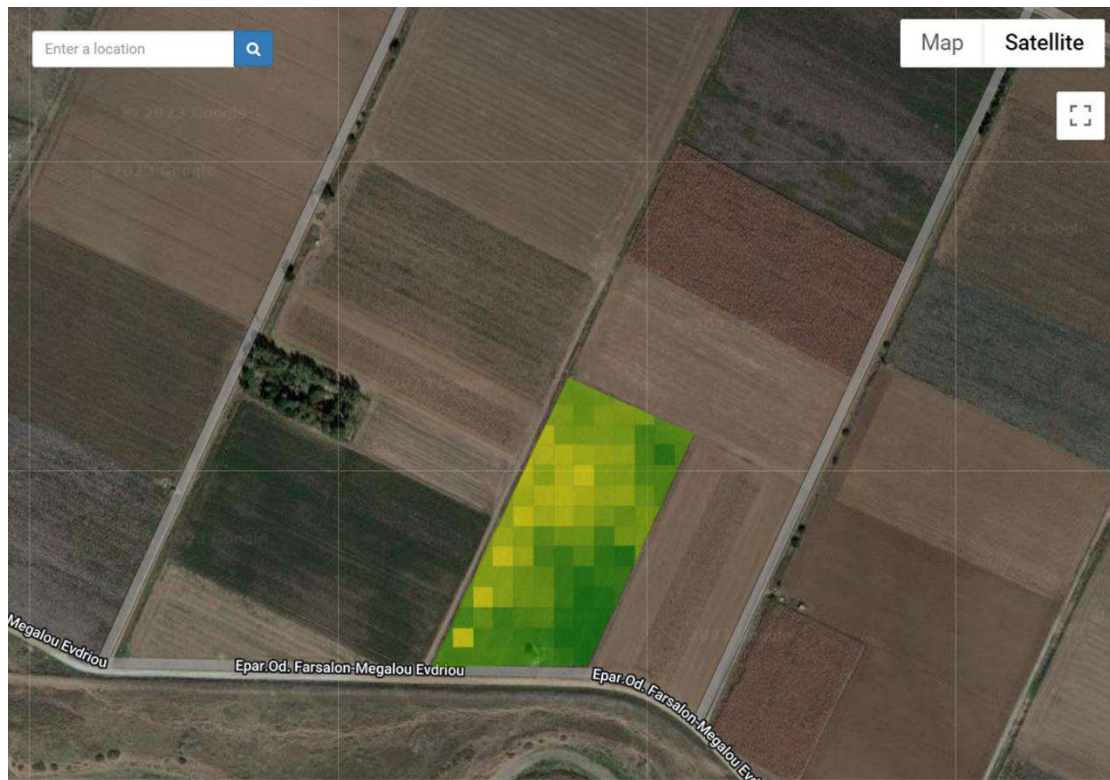
26/08/2023



Εικόνα 56: Ο δείκτης NDVI στις 26/08/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 57) παρατηρούμε την μικρή μείωση του κίτρινου χρώματος προς ανοιχτό πράσινο. Συγκεκριμένα πάνω και κάτω από το κύριο κίτρινο τμήμα.

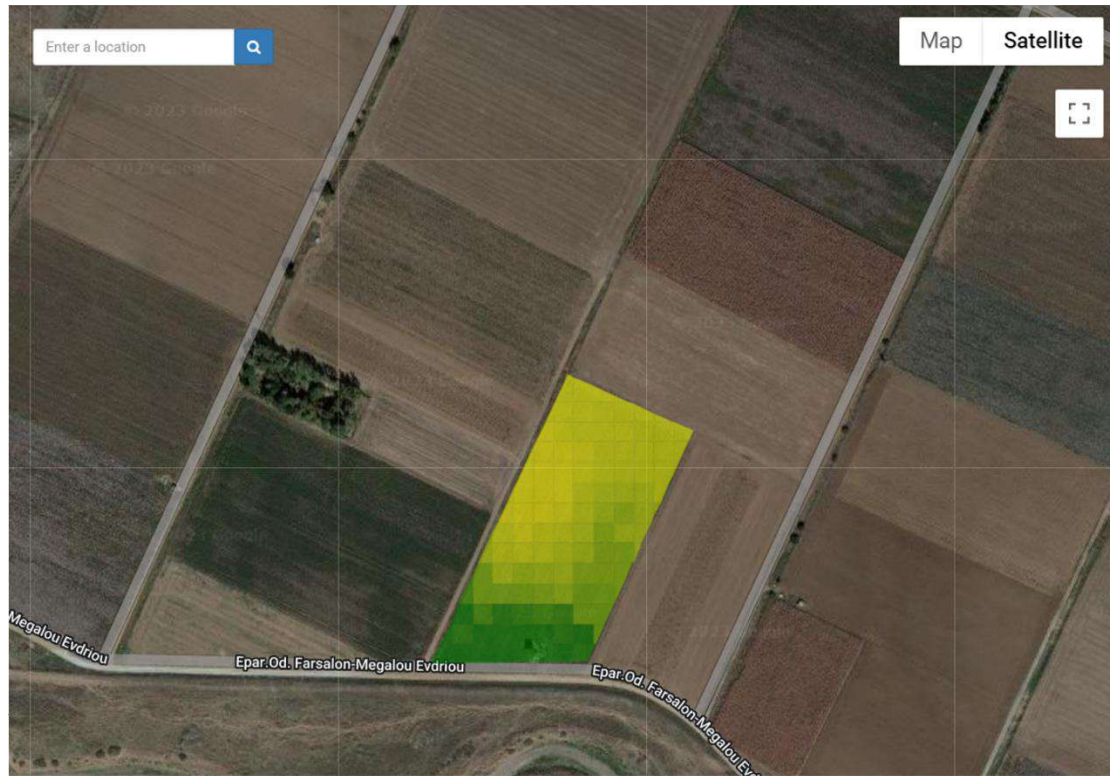
31/08/2023



Εικόνα 57: Ο δείκτης NDVI στις 31/08/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 58) παρατηρούμε την απότομη αλλαγή του αγροτεμαχίου μας. Τα 2/3 του αγροτεμαχίου έχει κίτρινο χρώμα προς τα πάνω βόρεια. Ενώ νότια το 1/3 είναι πράσινο.

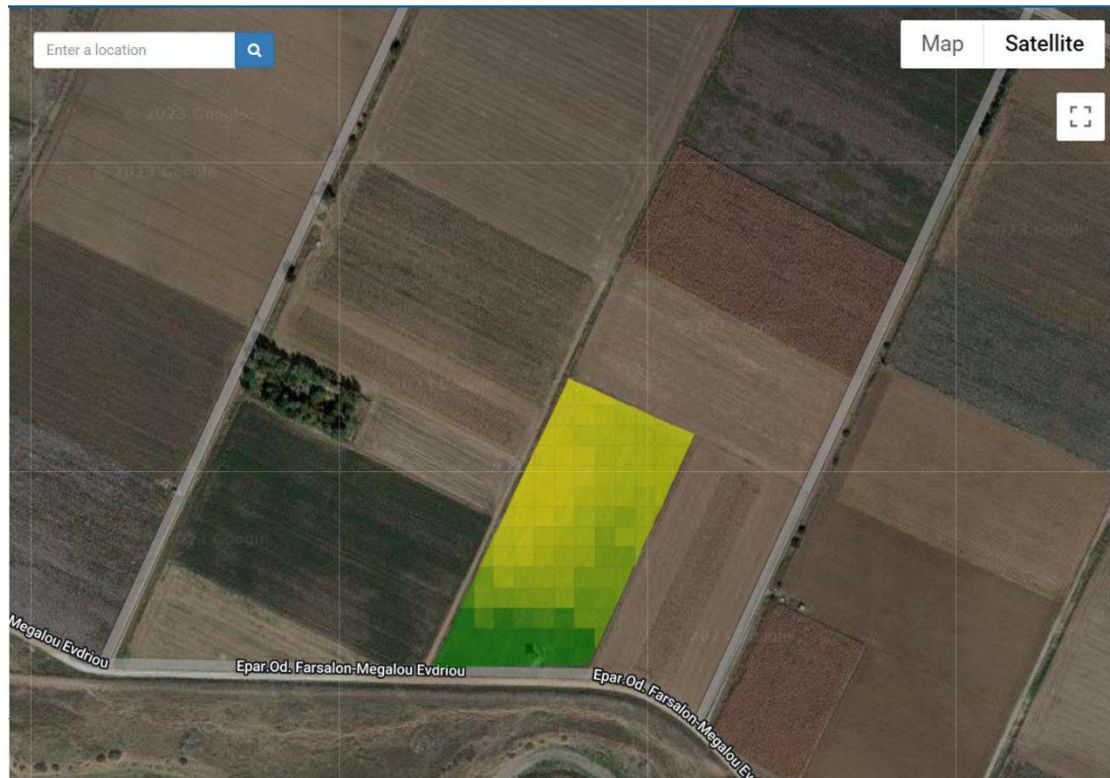
10/09/2023



Εικόνα 58: Ο δείκτης NDVI στις 10/09/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 59) δε παρατηρούμε κάποια αλλαγή από την τελευταία εικόνα (Εικόνα 58).

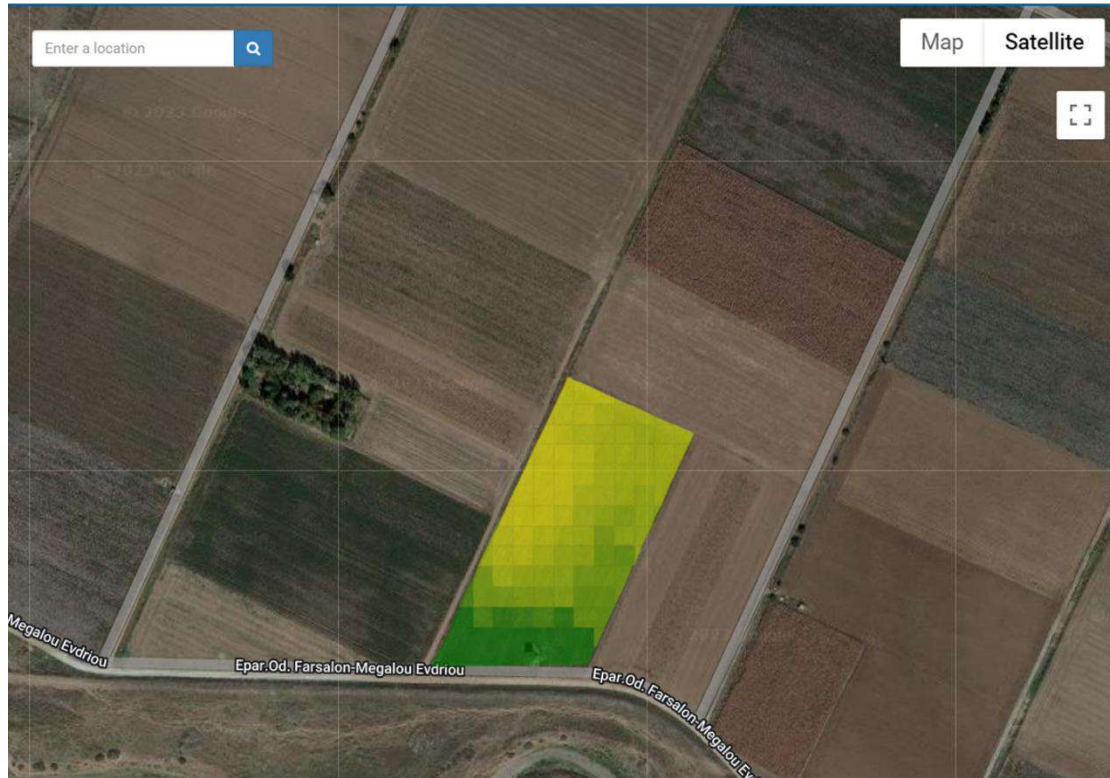
15/09/2023



Εικόνα 59: Ο δείκτης NDVI στις 15/09/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 60) η μόνη αλλαγή που παρατηρούμε είναι η μικρή αλλαγή του χρώματος από κίτρινο σε ανοιχτό πράσινο νοτιοανατολικά του αγροτεμαχίου μας.

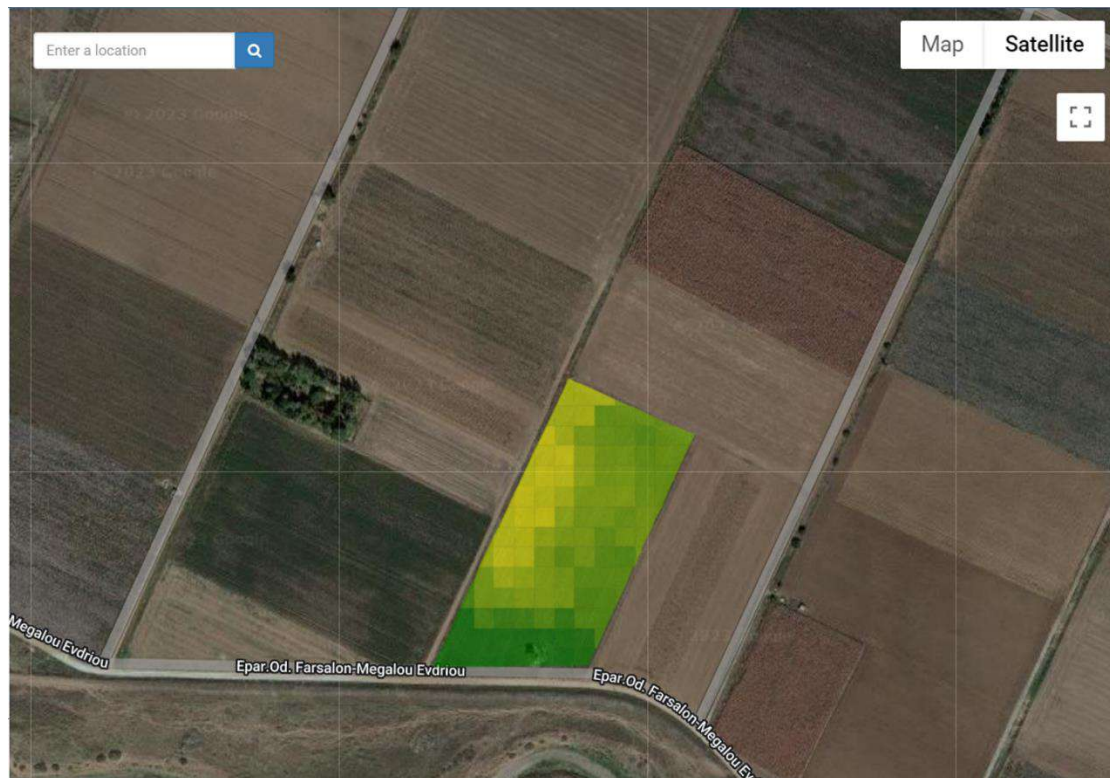
20/09/2023



Εικόνα 60: Ο δείκτης NDVI στις 20/09/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 61) παρατηρούμε την αλλαγή του χρώματος από κίτρινο σε ανοιχτό πράσινο ανατολικά του αγροτεμαχίου μας.

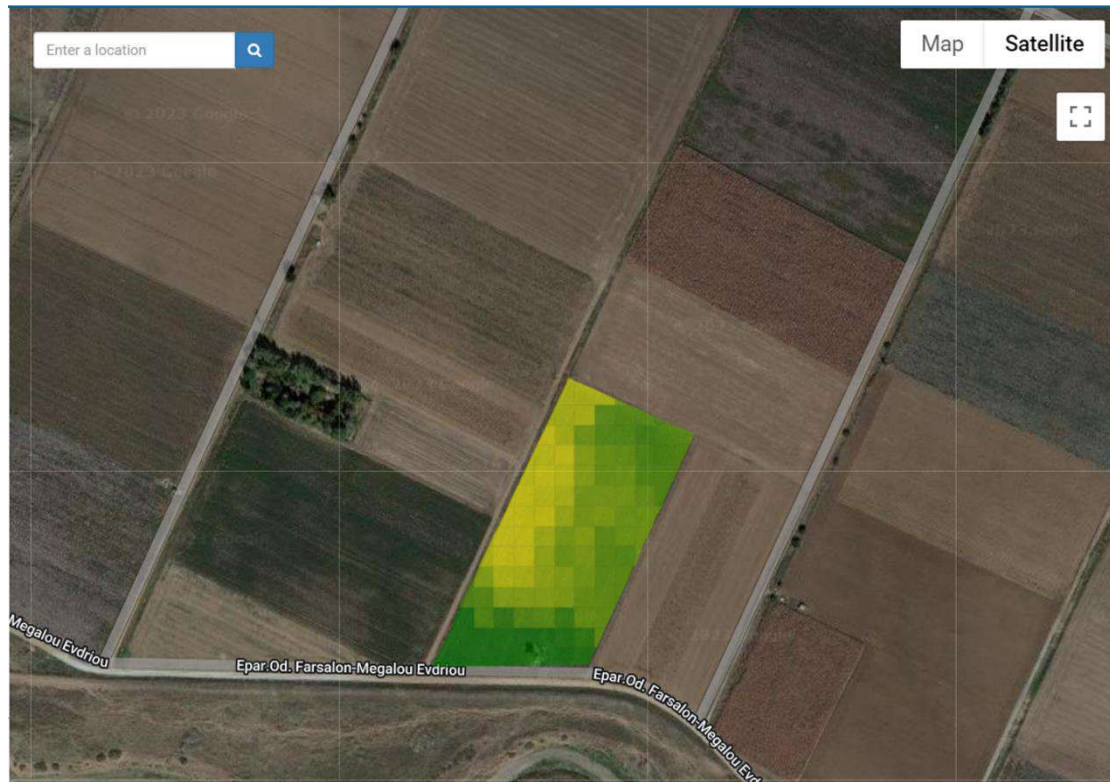
30/09/2023



Εικόνα 61: Ο δείκτης NDVI στις 30/09/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 62) βλέπουμε πιο έντονο το πράσινο χρώμα στη κορυφή νοτιοδυτικά του αγροτεμαχίου.

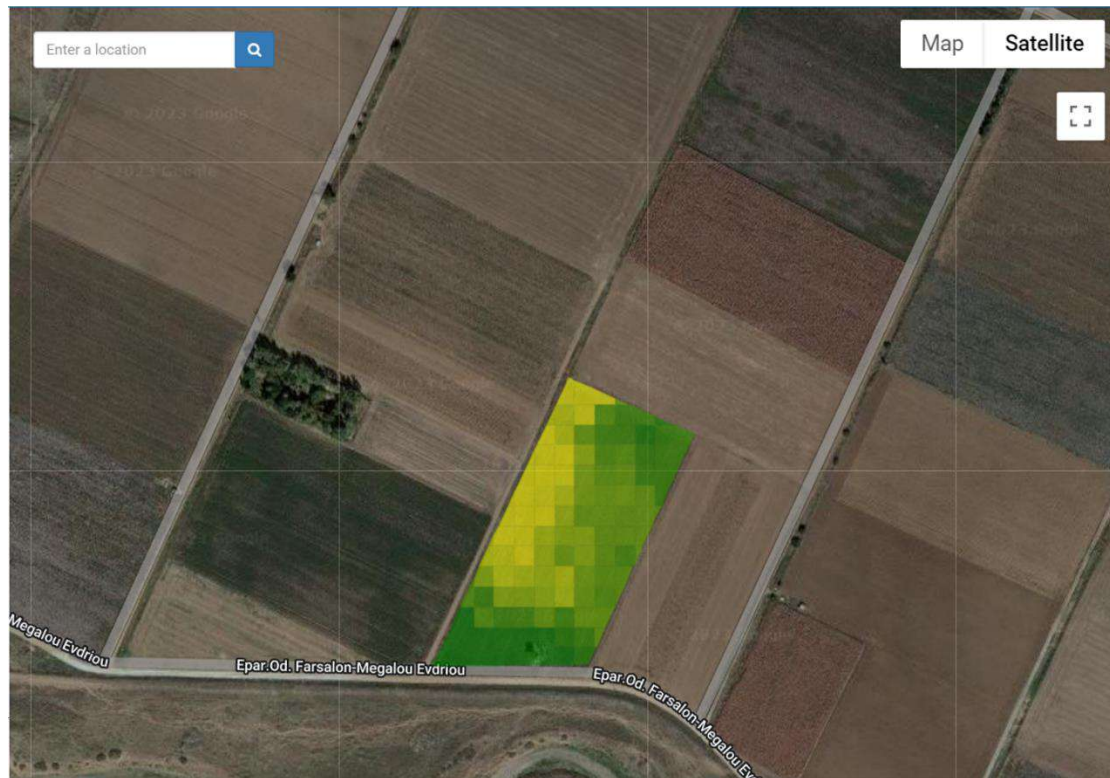
05/10/2023



Εικόνα 62: Ο δείκτης NDVI στις 5/10/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 63) βλέπουμε πράσινο χρώμα στην κορυφή νοτιοδυτικά. Επιπλέον, στο κέντρο προς δυτικά του αγροτεμαχίου βλέπουμε την αλλαγή του χρώματος από κίτρινο σε ανοιχτό πράσινο.

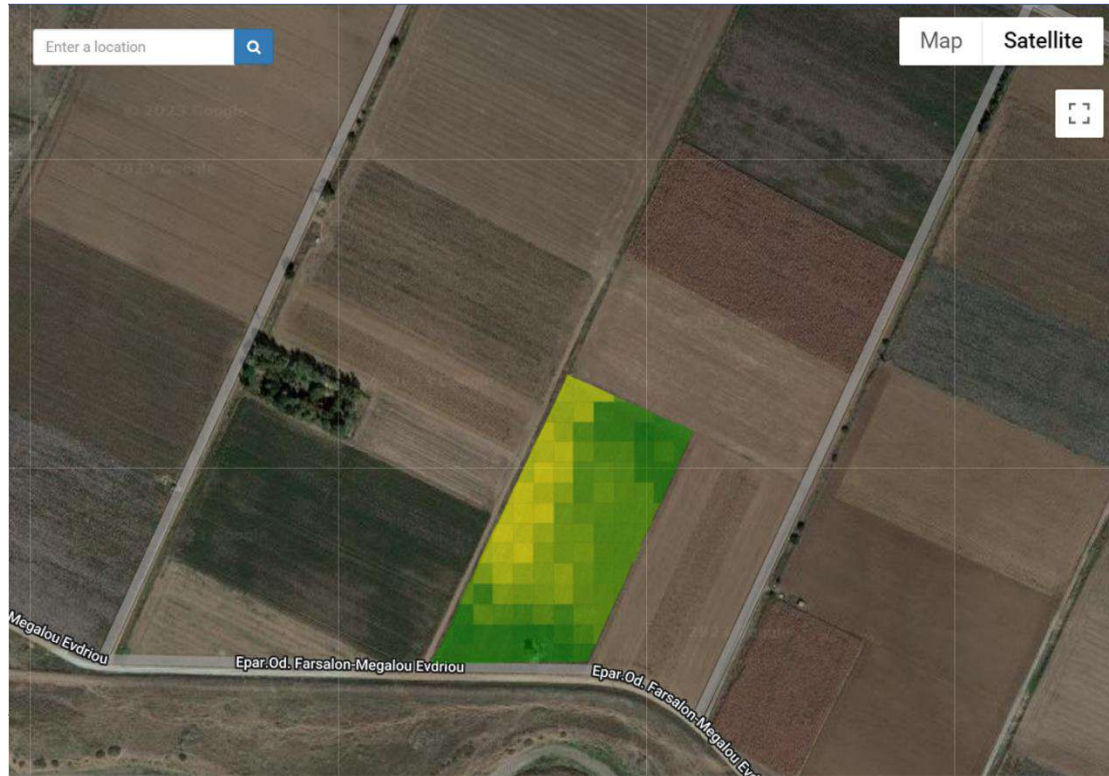
10/10/2023



Εικόνα 63: Ο δείκτης NDVI στις 10/10/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην Εικόνα 64 παρατηρούμε την σταθερή αλλαγή χρώματος στην νοτιοδυτική κορυφή σε σκούρο πράσινο και στο κέντρο σε πιο σκούρο πράσινο.

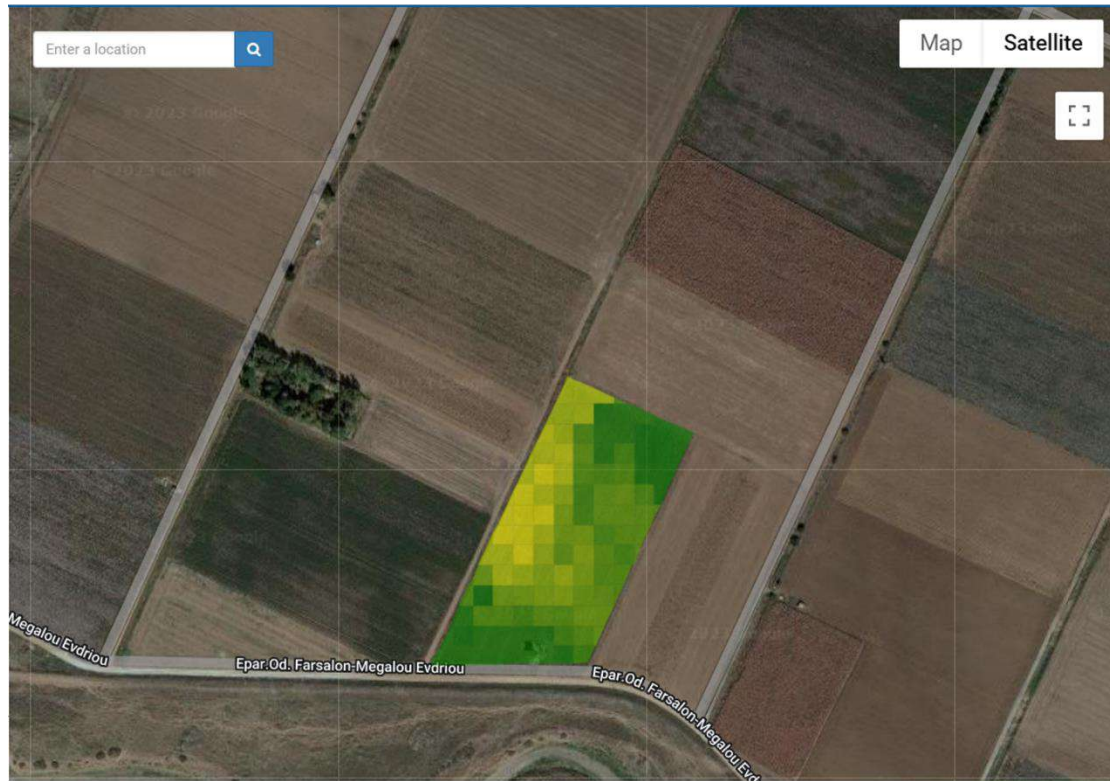
15/10/2023



Εικόνα 64: Ο δείκτης NDVI στις 15/10/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην εικόνα (Εικόνα 65) δε παρατηρούμε κάποια δραστική αλλαγή από την προηγούμενη εικόνα (Εικόνα 64).

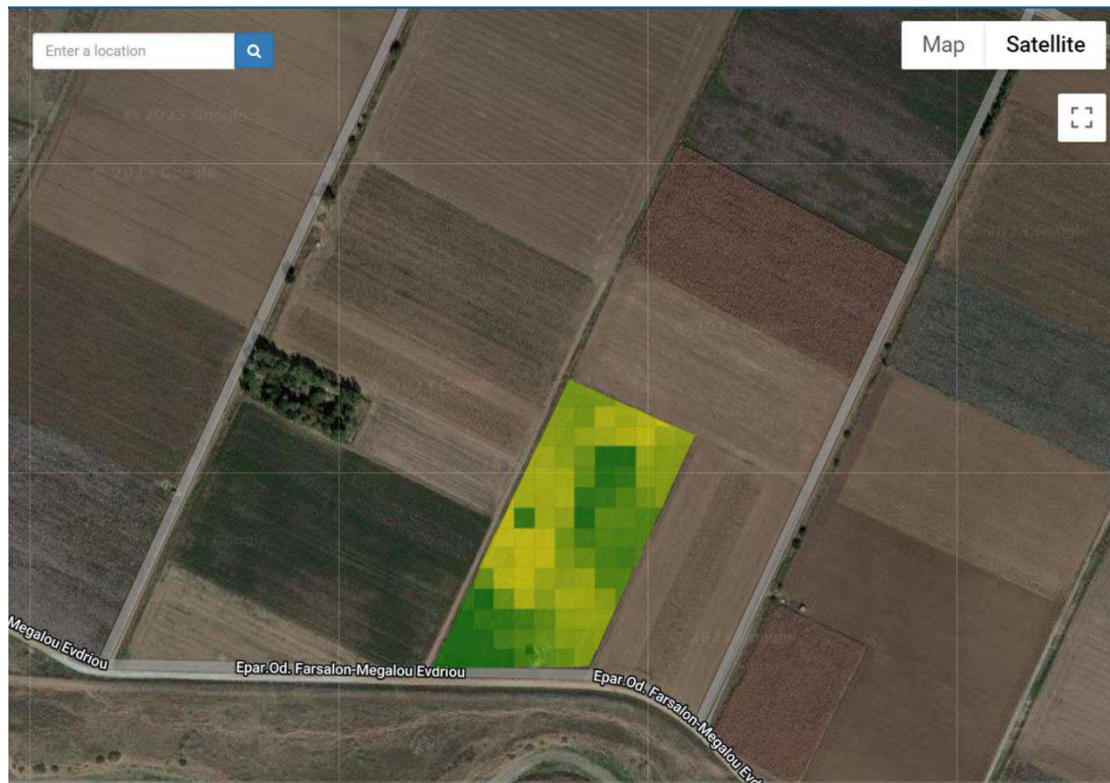
20/10/2023



Εικόνα 65: Ο δείκτης NDVI στις 20/10/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

Στην τελευταία εικόνα (Εικόνα 66) παρατηρούμε ότι υπερτερεί το κίτρινο χρώμα, συγκεκριμένα στην νοτιοδυτική κορυφή του αγροτεμαχίου ενώ στην προηγούμενη εικόνα (Εικόνα 65) ήταν σκούρο πράσινο. Επιπλέον, βλέπουμε ότι το κίτρινο χρώμα επεκτάθηκε στην νοτιοανατολική κορυφή του αγροτεμαχίου.

30/10/2023



Εικόνα 66: Ο δείκτης NDVI στις 30/10/23 (Πηγή: <https://cropsat.com/>).

2.5 Συζήτηση

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα με βάση την ανάλυση των εικόνων των δεικτών NDVI, EVI, NDWI και SAVI (Εικόνα 33, 34, 35 και 36) που λάβαμε από το Climate Engine καθώς και την βιβλιογραφία επισκόπηση μας για τους συγκεκριμένους δείκτες μας μπορούμε να συμπεραίνουμε ότι η βλάστηση του αγροτεμαχίου μας είναι μέτρια προς έντονη, δηλαδή υγιής (Brandao, κ.α., 2015, Gao, 1996, Gurung, κ.α., 2009, Liu, κ.α., 2015, Martins, κ.α., 2021, Meng, κ.α., 2017, Nagler, κ.α., 2013). Πιο συγκεκριμένα οι τιμές του δείκτη NDVI κυμαίνονται από 0.4 – 0.6, το οποίο υποδηλώνει μέτρια προς καλή ευρωστία. Οι τιμές του δείκτη EVI που κυμαίνονται από 0.2 – 0.4, υποδηλώνουν μέτρια ευρωστία και τέλος οι τιμές του δείκτη SAVI κυμαίνονται από 0.2 – 0.4 υποδηλώνουν μέτρια φυτική κάλυψη. Παράλληλα, η υγρασία που καλύπτει τη καλλιέργεια μας είναι μέτρια. Οι τιμές του NDWI κυμαίνονται από -0.2 – 0 και υποδηλώνουν μέτρια υγρασία σε κάθε φυτό. Μελετώντας διεξοδικά τις εικόνες των τεσσάρων δεικτών μπορούμε να προσδιορίσουμε χωρικά σημεία που δεν αναπτύχθηκε η βλάστηση εύρωστα και εκεί που δεν έχουμε αρκετή υγρασία στο φύλλωμα. Με τον εντοπισμό του σημείου ή των σημείων αυτών είναι πιο εύκολο να προσδιορίσουμε που μπορούμε να βοηθήσουμε με κάποιες πρακτικές για να βελτιωθεί η συνολική παραγωγικότητα του αγροτεμαχίου. Με αυτά τα δεδομένα, μπορούμε να τροποποιήσουμε τις πρακτικές που εφαρμόζουμε στην καλλιέργεια μας χρησιμοποιώντας τις αρχές της γεωργίας ακρίβειας. Συγκεκριμένα, οι πρακτικές που μπορούμε να προτείνουμε σχετίζονται με την άρδευση και τη λίπανση που πραγματοποιούμε στην καλλιέργεια μας (αύξηση τους σε συγκεκριμένα σημεία ή αλλαγή μεθόδου εφαρμογής) με τελικό στόχο τη μεγιστοποίηση της απόδοσης της καλλιέργειας και παράλληλα αύξηση οικονομικού οφέλους. Συνήθως στην Ελλάδα αρδεύουμε την ίδια ποσότητα νερού και την ίδια δοσολογία λιπασμάτων σε όλο το αγροτεμάχιο. Έναντι θετός με την γεωργία ακρίβειας με βάση τα δεδομένα μας (στην συγκεκριμένη περίπτωση δορυφορικά δεδομένα) μπορούμε να αποφασίζουμε ποια θα είναι η ποσότητα άρδευσης και η δασολογία λιπασμάτων για τα διάφορα σημεία του αγροτεμαχίου (Bwambale, κ.α., 2022, Radocaj, κ.α., 2022).

Με βάση τη χρονοσειρά δεδομένων (από τον Απρίλιο μέχρι τέλη Οκτωβρίου 2023) που μας δείχνουν τα διαγράμματα των δεικτών NDVI, EVI, NDWI και SAVI (Εικόνα 37,

38, 39 και 40) που παραλάβαμε από το Climate Engine μπορούμε να προσδιορίσουμε τα βασικά στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας μας (Baio, κ.α., 2018, Brandao, κ.α., 2015, Gao, 1996, Gurung, κ.α., 2009, Martins, κ.α., 2021, Meng, κ.α., 2017, Nagler, κ.α., 2013). Στο πρώτο διάγραμμα του δείκτη NDVI παρατηρούμε ότι στην αρχή και στο τέλος του διαγράμματος, συγκεκριμένα τους μήνες του Μαΐου και Ιουνίου καθώς και Σεπτεμβρίου και Οκτωβρίου αντίστοιχα, οι τιμές είναι κάτω από το μέσο όρο, το οποίο σημαίνει ότι δεν έχουμε πυκνή φυτοκάλυψη/βλάστηση στο αγροτεμάχιο μας. Συνεπώς, με αυτές τις τιμές συμπεραίνουμε ότι η καλλιέργεια μας βρίσκεται στην αρχή της βλαστικής περιόδου (Μάιο και Ιούνιο) όπου τα φυτά δεν έχουν αναπτυχθεί πλήρως και στο τέλος της καλλιεργητικής ανάπτυξης (Σεπτέμβριο και Οκτώβριο) που πραγματοποιείται η συγκομιδή της καλλιέργειας. Επίσης είναι χαρακτηριστικό ότι κατά την συγκομιδή (Σεπτέμβριο) είναι απότομη η μείωση της τιμής του NDVI από τη μια μέτρηση στην επόμενη. Στο μέσο του διαγράμματος, συγκεκριμένα τους μήνες του Ιουλίου και Αυγούστου, βλέπουμε οι τιμές να έχουν αυξηθεί και ξεπερνούν σημαντικά το μέσο όρο που σημαίνει πυκνή βλάστηση, κάτι το αναμενόμενο. Με αυτόν τον τρόπο καταλαβαίνουμε ότι η καλλιέργεια μας βρίσκεται στη μέγιστη παραγωγική περίοδο όπου έχουμε πυκνή φυτοκάλυψη/βλάστηση. Στα διαγράμματα των δεικτών EVI και SAVI παρατηρούμε παρόμοια μοτίβα με το διάγραμμα του δείκτη NDVI, άρα ισχύουν σε γενικές γραμμές οι ίδιες παρατηρήσεις. Ωστόσο, βλέπουμε ότι οι τιμές των διαγραμμάτων των δεικτών EVI και SAVI κυμαίνονται στο ίδιο εύρος ενώ ο NDVI παρουσιάζει πιο υψηλές τιμές. Εκτός από τον προσδιορισμό των σταδίων ανάπτυξης της καλλιέργειας μπορούμε να προσδιορίσουμε και τις περιόδους που πραγματοποιήθηκαν πιθανώς πιο έντονες αρδεύσεις ή βροχοπτώσεις σύμφωνα με την ανάλυση της χρονοσειράς του διαγράμματος του δείκτη NDWI. Στην αρχή και στο τέλος του διαγράμματος, συγκεκριμένα τους μήνες του Μαΐου και Ιουνίου αλλά και Σεπτεμβρίου και Οκτωβρίου αντίστοιχα, παρατηρούμε την ελάχιστη υγρασία (κάτω από μέσο όρο). Ενώ παρατηρούμε από τον Ιουλίου μέχρι τον Αυγούστο μια αύξηση της τιμής του δείκτη, η οποία ξεπερνά το μέσο όρο. Αυτό οφείλεται στις αρδεύσεις που πραγματοποιούσε ο παραγωγός. Συγκεκριμένα ο παραγωγός μας ενημέρωσε ότι οι αρδεύσεις πραγματοποιήθηκαν τους μήνες του Ιουλίου και Αυγούστου. Με αυτά τα δεδομένα των διαγραμμάτων μπορούμε να συμπεραίνουμε ποιο στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας είναι το πιο κρίσιμο κάθε χρονιά. Μπορούμε δηλαδή να

εφαρμόσουμε στη σωστή χρονική περίοδο διαφορετικές καλλιεργητικές πρακτικές π.χ. αλλαγές στις ποσότητες άρδευσης και λιπασμάτων, για να εξασφαλίσουμε την μέγιστη απόδοση της παραγωγής μας με οικονομικά αποδοτικό τρόπο (σωστή άρδευση και δασολογία λιπασμάτων για να πραγματοποιηθεί η μέγιστη ανάπτυξη της καλλιέργειας μας) (Bwambale, κ.α, 2022, Radocaj, κ.α., 2022).

Τέλος, με βάση τα αποτελέσματα που μας δείχνουν οι εικόνες (Εικόνα 41 - 66) του δείκτη NDVI που λάβαμε από το CropSat καθώς και τη βιβλιογραφία επισκόπηση για τον δείκτη συμπεραίνουμε ότι ο μέσος όρος της βλάστησης της καλλιέργειας τη χρονική περίοδο που επιλέξαμε εμείς (περίοδο ανάπτυξης 2023) είναι μέτρια (Gao, κ.α, 2012). Καθόλη τη διάρκεια της περιόδου παρατηρούμε κίτρινα και πράσινα σημεία στο αγροτεμάχιο μας αλλά συνήθως υπερτερούν τα κίτρινα. Επιπλέον, παρατηρούμε ότι τα κίτρινα σημεία με τη πάροδο του χρόνου αλλάζουν τοποθεσία πάνω στο αγροτεμάχιο μας. Με βάση την ανάλυση των παραπάνω δεδομένα μια πιθανή προτεινομένη διαχειριστική λύση του προβλήματος είναι να τροποποιήσουμε τη δοσολογία των καλλιεργητικών πρακτικών, συγκεκριμένα την δασολογία άρδευσης και λίπανσης (Bwambale, κ.α, 2022, Radocaj, κ.α., 2022). Συγκεκριμένα, θα μπορούσαμε να ρυθμίσουμε τη δόση σύμφωνα με τις διαφορετικές απαιτήσεις κάθε φυτού ώστε να λαμβάνει την απαραίτητη ποσότητα νερού ή λιπασμάτων που χρειάζεται. Με αυτές τις τροποποιήσεις στην διαχείριση θα μπορέσουμε να βελτιώσουμε την ευρωστία της βλάστησης, με αποτέλεσμα να υπερτερήσει το πράσινο χρώμα του δείκτη μας όπου θα σηματοδοτήσει και την βέλτιστη ευρωστία και υγεία του φυτού. Μεγαλύτερη ευρωστία θα βοηθήσει στην αύξηση της παραγωγής και την βελτίωση της ποιότητας του βαμβακιού που θα σημαίνει πιο οικονομικά αποδοτική παραγωγή για τον αγρότη.

3. Βιβλιογραφία

Ελληνική

Βλάχος Β. Άρδευση του βαμβακιού. Στο: Γεωργία κτηνοτροφία. Αφιέρωμα βαμβάκι. Εκδόσεις Αγρότυπος. Σελ. 22-24. 2004

Βλάχος Β. Λίπανση του βαμβακιού. Στο: Γεωργία κτηνοτροφία. Αφιέρωμα βαμβάκι. Εκδόσεις Αγρότυπος. Σελ. 25-27. 2004

Θεριός Ι.Ν. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Εκδόσεις Α.Σ., Γαρταγάνη. 2021

Αγγλική

Baio F.H.R., Neves D.C., Campos C.N.S., Teodoro P.E. Relationship between cotton productivity and variability of NDVI obtained by landsat images. *Agricultural Sciences*. 2018; 34(6): 197-205

Brandao Z.N., Sofiatti V., Bezerra J. RC., Ferreira G. B., Medeiros J.C. Spectral reflectance for growth and yield assessment of irrigated cotton. *Australian Journal of Crop Science*. 2015; 9(1): 75-84

Brisco B., Brown R.J., Hirose T., McNairn H., Staenz K. Precision Agriculture and the Role of Remote Sensing: A Review. *Canadian Journal of Remote Sensing*. 2014; 24(3):315-327. doi:10.1080/07038992.

Bwambale E., Abagale F.K., Anornu G.K. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. *Agricultural Water Management*. 2022; 260: 107324

Campbell J., Wynne R.H. Introduction to Remote Sensing, Fifth Edition. The Guilford Press; 2011.

Ermanis A., Gobbo S., Snider J.L., Virk G., Vellidis G. Defining physiological contributions to yield loss in response to irrigation in cotton. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2021; 207(2): 186–196
Falkenberg N.R., Piccinni G., Cothren J.T., Leskovar D.I., Rush C.M. Remote sensing of biotic and abiotic stress for irrigation

- management of cotton. *Agricultural Water Management*. 2007; 87(1):23-31. doi: 10.1016/200605021.
- Gao B. NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. 1996; 58(3):257-266. doi:10.1016/00344257000673.
- Gao F., Xu X., Wang J., Jin H., Yang H. Cotton yield estimation based on similarity analysis of time-series NDVI. Editorial Office of Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2012; 28: 148-153.
- Gemtos T.A, Alexandrou A., Pateras D. Soil Tillage, Irrigation and Fertilization Effects in Cotton Crop. The American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2002; 18(3): 269-276.
- Gilabert M.A., Gonzalez-Piqueras J., Garcia-Haro F.J., Melia J. A generalized soil-adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*. 2002; 82(2-3):303-310. doi:10.1016/00344257000482.
- Gurung R.B., Breidt F.J., Dutin A., Ogle S.M. Predicting Enhanced Vegetation Index (EVI) curves for ecosystem modeling applications. *Remote Sensing of Environment*. 2009; 113(10):2186-2193. doi:10.1016/200905015.
- Huang S., Tang L., Hupy J.P., Wang Y., Shao G. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*. 2020; 32:1-6.
- Huete A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing Of Environment*. 1988; 25(3):295-309. doi:10.1016/0034425790106.
- Huntington J.L., Hegewisch K.C., Daudert B., Morton C.G., Abatzoglou J.T., McEvoy D.J., Erickson T. Climate Engine: Cloud Computing and Visualization of Climate and Remote Sensing Data for Advanced Natural Resource Monitoring and Process Understanding. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2017; 98(11):2397-2410. doi:10.1175/15003241.
- Jiang Z., Huete A.R., Didan K., Miura T. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*. 2008; 112(10): 3833-3845.

- Kalivas D., Kollias V. Effects of soil, climate and cultivation techniques on cotton yield in Central Greece, using different statistical methods. *Agronomie*. 2001;21(1): 73-89. doi:10.1051/2001110.
- Khan M.A., Wahid A., Ahmad M., Tahir M.T., Ahmed M., Ahmad S., Hasanuzzaman M. World Cotton Production and Consumption: An Overview. Ahmad S., Hasanuzzaman M. (eds.) in: *Cotton Production and Uses, Agronomy, Crop Protection and Postharvest Technologies*. Springer, Singapore. 2020. Pp. 1-7.
- Kountios G., Chatzis I., Konstantinidis C., Tsiouni M., Kontogeorgos A., Papadavid G. Irrigation plan for cotton farm in Palamas, Karditsa prefecture, Thessaly, Greece. Ninth International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment. 2023. doi:10.1117/12.2682691
- Liu H., Meng L., Zhang X., Susan U., Ning D., Sun S. Estimation model of cotton yield with time series Landsat images. *Editorial Office of Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2015; 31: 215-220.
- Lundstrom C., Lindblom J. Considering farmers situated knowledge of using agricultural decision support systems (AgriDSS) to Foster farming practices: The case of CropSat. *Agricultural Systems*. 2018; 159: 9-20. doi:10.1016/201710004.
- Martins P.H.A., Baio F.H.R, Martins T.H.D., Fontoura J.V.P.F., Teodoro L.P.R., da Silva C.A.Jr., Teodoro P.E. Estimating spray application rates in cotton using multispectral vegetation indices obtained using an unmanned aerial vehicle. *Crop Protection*. 2021; 140: 105407.
- Matsushita B., Yang W., Chen J., Onda Y., Qiu G. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. *Remote Sensing of Natural Resources and the Environment*. 2007; 7(10): 2636-2652. doi:10.3390/7112636.
- McCoy R.M. *Field Methods in Remote Sensing*. The Guilford Press; 2005.
- Meng, L., Zhang, X. L., Liu, H., Guo, D., Yan, Y., Qin, L., & Pan, Y. Estimation of Cotton Yield Using the Reconstructed Time-Series Vegetation Index of Landsat Data.

- Canadian Journal of Remote Sensing. 2017; 43(3): 244–255.
<https://doi.org/10.1080/07038992.2017.1317206>
- Miley W.N., Oosterhuis D.M. Nitrogen Nutrition of Cotton: Practical Issues. American Society of Agronomy. 1990.
- Nagler PL, Glenn EP, Nguyen U, Scott RL, Doody T. Estimating Riparian and Agricultural Actual Evapotranspiration by Reference Evapotranspiration and MODIS Enhanced Vegetation Index. Remote Sensing. 2013; 5(8):3849-3871.
<https://doi.org/10.3390/rs5083849>
- Navalgund R.R., Jayaraman V., Roy R.S. Remote sensing applications: An overview. Current Science Association. 2007; 93(12): 1747-1766.
- Papamichail D., Eleftherohorinos I., Froud-Williams R., Gravanis F. Critical periods of weed competition in cotton in Greece. Phytoparasitica. 2002; 30: 105-111.
[doi:10.1007/2983976](https://doi.org/10.1007/2983976).
- Pedersen S.M., Lind K.M. Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives. Springer. 2017.
- Petrovic B., Bumbalek R., Zoubek T., Kunes R., Smutny L., Bartos P. Application of precision agriculture technologies in Central Europe-review. Journal of Agriculture and Food Research. 2024; 15: 101048. [doi:10.1016/2024101048](https://doi.org/10.1016/2024101048).
- Polychronaki E., Douma C., Giourga C., Loumou A. Assessing Nitrogen Fertilization Strategies in Winter Wheat and Cotton Crops in Northern Greece. Pedosphere. 2012; 22(5): 689-697
- Qi J., Chehbouni A., Huete A.R., Kerr Y.H., Sorooshian S. A modified soil adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment. 1994; 48(2): 119-126.
[doi:10.1016/0034425790134](https://doi.org/10.1016/0034425790134).
- Radocaj D., Jurisic M., Gasparovic M. The Role of Remote Sensing Data and Methods in a Modern Approach to Fertilization in Precision Agriculture. Remote Sensing. 2022; 14(3): 778

- Rondeaux G., Steven M., Baret F. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 1996; 55(2): 95-107. doi:10.1016/0034425700186.
- Rustamov R.B., Hasanova S., Zeynalova M.H. Multi-purposeful Application of Geospatial Data. IntechOpen; 2018.
- Setatou H.B., Simonis A.D. Effect of time and rate of nitrogen application on cotton. *Fertilizer Research*. 1995; 43: 49-53.
- Schowengerdt R.A. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*. Elsevier; 2007.
- Shafi U., Mumtaz R., Garcia-Nieto J., Hassan S.A., Zaidi S.A.R., Iqbal N. Precision Agriculture Techniques and Practices: From Consideration Applications. UAV-Based Applications in the Internet of Things (IoT). 2019; 19(17): 37-96. doi:10.3390/19173796.
- Sishodia R.P., Ray R.L, Singh S.K. Applications of Remote Sensing in Precision Agriculture: A Review. *Remote Sensing*. 2020; 12(19): 31-36. doi:10.3390/12193136.
- Szabo S., Gacsi Z., Balazs B. Specific Features of NDVI, NDWI and MNDWI as Reflected in Land Cover Categories. *Landscape and Environment*. 2016; 10(3-4): 194-202.
- Tsaliki E., Loison R., Kalivas A., Panoras I., Grigoriadis I., Traore A., Gurlot J.P. Cotton Cultivation in Greece under Sustainable Utilization of Inputs. *Sustainable Agriculture*. 2023; 16(1): 347. doi:10.3390/16010347.
- Xu H. Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*. 2007; 27(14): 3025-3033. doi:10.1080/01431160600589179.
- Zhang N., Wang M., Wang N. Precision agriculture-a worldwide overview. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2002; 36(2-3): 113-132. doi:10.1016/01681699000096.