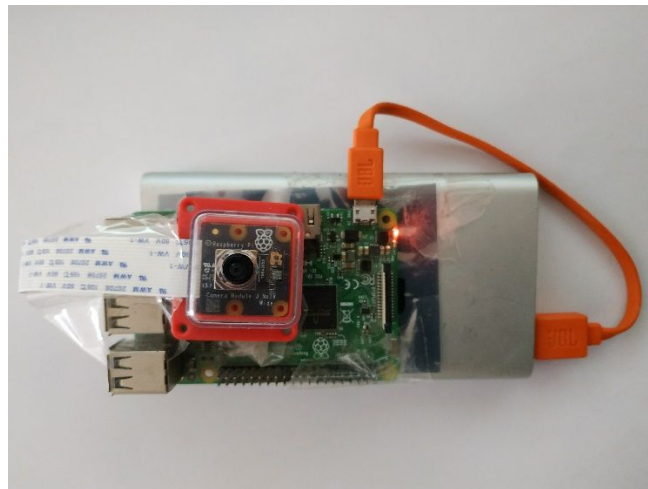


ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Μελέτη και υλοποίηση συστήματος παρακολούθησης της
βλάστησης»



Φοιτητής

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΛΙΑΜΟΣ

52207m

Επιβλέπων

Δρ. Κυριάκος Τσιακμάκης

Οκτώβριος 2024

Μελέτη και υλοποίηση συστήματος παρακολούθησης της βλάστησης

Κωδικός: 23302

Φοιτητής: Λιάμος Δημήτριος

Εισηγητής: Δρ Κυριάκος Τσιακμάκης

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 31-10-2023

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 30-09-2024

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή **Λιάμου Δημήτριου** που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία αφορά τη χρήση της τεχνολογίας Raspberry Pi και της κάμερας NoIR για την παρακολούθηση και εκτίμηση της βλάστησης σε γεωργικές καλλιέργειες μέσω του δείκτη NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Στο πλαίσιο της εργασίας, οι εικόνες θα καταγράφονται από την κάμερα Raspberry και θα αποστέλλονται σε έναν Python Server μέσω ενός API. Τα δεδομένα θα αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων MySQL και θα είναι προσβάσιμα μέσω μιας ιστοσελίδας. Ο χρήστης θα μπορεί να προβάλει τις εικόνες και να επιλέγει τον τρόπο ανάλυσης.

Η χρήση του δείκτη NDVI επιτρέπει την αξιολόγηση της υγείας και της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας της καλλιέργειας. Η εικόνα θα επεξεργάζεται για να αναδεικνύει τις περιοχές με υψηλή και χαμηλή βλάστηση, προσφέροντας χρήσιμες πληροφορίες στους παραγωγούς για τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την άρδευση, τη λίπανση και την εφαρμογή γεωργικών πρακτικών. Σκοπός της εργασίας είναι να παρέχει μια ολοκληρωμένη μέθοδο ανάλυσης της καλλιέργειας, βοηθώντας όχι μόνο στην εκτίμηση της κατάστασης της βλάστησης, αλλά και στην εξαγωγή δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε άλλες εφαρμογές, όπως η πρόγνωση απόδοσης των καλλιεργειών και η διαχείριση των γεωργικών εκτάσεων. Η εργασία αυτή συνδυάζει τεχνολογίες αιχμής όπως η ανάλυση εικόνας, οι μικροελεγκτές και οι βάσεις δεδομένων, παρέχοντας πρακτικές λύσεις για την υποστήριξη της γεωργίας ακριβείας.

«Study and Implementation of a Vegetation Monitoring System»

Abstract

This work concerns the use of Raspberry Pi technology and the NoIR camera to monitor and estimate the vegetation in agricultural crops through the NDVI index (Normalized Difference Vegetation Index). As part of the work, images will be captured by the Raspberry camera and sent to a Python Server via an API. The data will be stored in a MySQL database and will be accessible through a web page. The user will be able to view the images and choose the analysis mode.

The use of the NDVI index allows the assessment of crop health and photosynthetic activity. The image will be processed to highlight areas of high and low vegetation, offering useful information to growers for making decisions about irrigation, fertilization and agricultural practices. The purpose of the work is to provide a comprehensive crop analysis method, helping not only to estimate the vegetation status, but also to extract data that can be used in other applications, such as crop yield forecasting and farmland management. This work combines cutting-edge technologies such as image analysis, microcontrollers and databases, providing practical solutions to support precision agriculture.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή ευγνωμοσύνη μου προς τους γονείς μου και την κοπέλα μου για την αμέριστη υποστήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου, καθώς και τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κυριάκο Τσιακμάκη για την πολύτιμη καθοδήγησή του, τις επιστημονικές συμβουλές του, και τη συμβολή του στην ανάπτυξη του συστήματος.

Περιεχόμενα

Περίληψη	iv
Abstract	v
Ευχαριστίες	vi
Περιεχόμενα	vii
Κατάλογος Σχημάτων	viii
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	9
1.1 Εισαγωγή.....	9
1.2 Δομή της εργασίας	10
Κεφάλαιο 2ο: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	12
2.1 Εισαγωγή.....	12
2.2 Συσκευές μέτρησης.....	19
Κεφάλαιο 3ο: Λογισμικό και Υλικό.....	22
3.1 Λογισμικό.....	22
3.1.1 Γλώσσα προγραμματισμού Python	22
3.2 Υλικό.....	32
Κεφάλαιο 4ο: Το σύστημα εκτίμησης του δείκτη NDVI.....	38
4.1 Τι είναι το NDVI;.....	38
4.2 Τι είναι το GNDVI;.....	41
4.3 Εφαρμογές GNDVI.....	44
4.4 Η πειραματική διάταξη	48
4.5 Αλγόριθμοι Υπολογισμού, Πειραματικές Μετρήσεις και Ανάλυση.....	49
4.5.1 Μέθοδος 1 - με Κανονικοποίηση σε μη greyscale εικόνα	49
4.5.2 Μέθοδος 2 - με Προσομοίωση του Πράσινου Καναλιού σε greyscale εικόνα	55
4.5.3 Ιστόγραμμα και box plot για τις τιμές του GNDVI	59
4.5.4 Ιστόγραμμα και box plot για τις τιμές του GNDVI	63
4.5.5 Heat map για τις περιοχές υψηλού GNDVI	68
4.5.6 3D γράφημα του GNDVI.....	70
4.5.7 Διάφορα δείγματα	73
4.6 Η εφαρμογή IoT.....	80

4.6.1	Κώδικας στο Raspberry.....	81
4.6.2	Κώδικας στο Server.....	84
Κεφάλαιο 5ο:	Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης.....	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		94

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 3.1:	Raspberry Pi Camera Module NoIR 3 Wide.....	35
Εικόνα 4.1:	Ανάκλαση σε φύλλο	39
Εικόνα 4.2:	Παράδειγμα NDVI	40
Εικόνα 4.3:	Απορρόφηση Χλωροφύλλης α και β	46
Εικόνα 4.4:	Πειραματική Διάταξη	49
Εικόνα 4.5:	Φωτογραφία Δείγμα 1 – με μπλε φίλτρο	52
Εικόνα 4.6:	Τελική εικόνα με το κανονικοποιημένο GNDVI (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο) – μέθοδος 1	53
Εικόνα 4.7:	Τελική εικόνα με μέθοδο 2 (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο).....	59
Εικόνα 4.8:	Ιστόγραμμα των τιμών GNDI (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο)	62
Εικόνα 4.9:	Box Plot των τιμών GNDI (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο)	63
Εικόνα 4.10:	Ποσοστό Περιοχών με Υψηλό και Χαμηλό GNDVI.....	67
Εικόνα 4.11:	Χωρικός Εντοπισμός Περιοχών Μειωμένης Απόδοσης (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο). 67	
Εικόνα 4.12:	Heat map για τις περιοχές υψηλού GNDVI (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο)	70
Εικόνα 4.13:	3D γράφημα του GNDVI (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο)	73
Εικόνα 4.14:	Δείγμα 2 - (χωρίς μπλε φίλτρο).....	76
Εικόνα 4.15:	Δείγμα 3 - (χωρίς μπλε φίλτρο).....	78
Εικόνα 4.16:	Το Σύστημα μέτρησης του GNDVI, ανάλυσης και διαχείρισης.....	80

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η αγροτική παραγωγή βρίσκεται στο επίκεντρο της διατροφικής ασφάλειας και της βιώσιμης ανάπτυξης. Η διαρκής αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, σε συνδυασμό με τις κλιματικές αλλαγές, έχει καταστήσει απαραίτητη τη βελτίωση των γεωργικών πρακτικών για την αύξηση της παραγωγικότητας, ενώ παράλληλα μειώνεται η επίπτωση στο περιβάλλον. Στην προσπάθεια αυτή, η έννοια της Γεωργίας Ακριβείας έχει αναδειχθεί ως μία από τις πιο σημαντικές καινοτομίες, χρησιμοποιώντας τεχνολογίες αιχμής για την καλύτερη παρακολούθηση και διαχείριση των καλλιεργειών.

Η γεωργία ακριβείας επιδιώκει να βελτιώσει τη διαχείριση των πόρων, όπως το νερό, τα λιπάσματα και τα φυτοφάρμακα, με στόχο τη μείωση του κόστους και την αύξηση της απόδοσης. Η τεχνολογία έχει παίξει σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση αυτής της προσέγγισης, με την ανάπτυξη νέων συστημάτων που επιτρέπουν την καταγραφή και την ανάλυση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Οι μικροελεγκτές, οι αισθητήρες και οι κάμερες είναι μερικά από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται σήμερα για τη συλλογή πληροφοριών από τα χωράφια, επιτρέποντας τη λεπτομερή αξιολόγηση της υγείας των καλλιεργειών.

Ένα από τα βασικά εργαλεία για την παρακολούθηση της υγείας των φυτών είναι η τηλεπισκόπηση (remote sensing), η οποία χρησιμοποιεί εικόνες που συλλέγονται είτε από δορυφόρους είτε από συστήματα εδάφους για να μετρηθεί η αλληλεπίδραση του φωτός με τα φυτά. Μέσω της τηλεπισκόπησης, οι γεωργοί μπορούν να παρακολουθούν την ανάπτυξη των φυτών, να εντοπίζουν προβλήματα σε πρώιμο στάδιο, και να προσαρμόζουν τις πρακτικές τους. Στη συγκεκριμένη κατεύθυνση, οι δείκτες βλάστησης, όπως ο NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), παίζουν καθοριστικό ρόλο.

Ένας σημαντικός τομέας στη γεωργία ακριβείας αφορά την αποδοτική χρήση χημικών ουσιών στα αγροτικά πεδία. Έχουν γίνει προσπάθειες για τη μείωση της χρήσης αυτών των ουσιών, με στόχο τη μείωση του κόστους και την ελαχιστοποίηση των χημικών υπολειμμάτων στα τελικά αγροτικά προϊόντα. Η πρόταση βασίζεται σε έναν αλγόριθμο κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης διαφοράς (NDVI) για τον εντοπισμό των ακριβών σημείων που απαιτούν χημικές προσθήκες. Με αυτές τις πληροφορίες, ένα αυτοματοποιημένο σύστημα ελέγχου ψεκασμού μπορεί να εφαρμόζει με ακρίβεια τα χημικά στις καλλιέργειες. Το σύστημα έχει σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί με χαμηλού κόστους εξοπλισμό, απαιτώντας έναν αποδοτικό αλγόριθμο NDVI. Πειράματα που πραγματοποιήθηκαν

χρησιμοποιώντας το Raspberry Pi 3 ως ενσωματωμένο υλικό απέδειξαν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα του αλγόριθμου.

Η ενσωμάτωση του αλγορίθμου GNDVI σε ένα ενσωματωμένο σύστημα χαμηλού κόστους αποτελεί σημαντική πρόοδο για τις εφαρμογές γεωργίας ακριβείας. Ο εξοπλισμός που επιλέχθηκε λόγω του χαμηλού κόστους και της δυνατότητας ενσωμάτωσης σε μικρές συσκευές καθιστά την τεχνολογία αυτή προσβάσιμη ακόμα και σε μικρότερες γεωργικές επιχειρήσεις. Η αρχιτεκτονική του συστήματος περιλαμβάνει τη χρήση μιας κάμερας Raspberry Pi NoIR, η οποία αποτελεί το κύριο μέρος της συσκευής και συλλέγει δεδομένα από το πεδίο σε πραγματικό χρόνο. Αυτά τα δεδομένα επεξεργάζονται στη συνέχεια από τον αλγόριθμο GNDVI, επιτρέποντας την ανάλυση της υγείας των καλλιεργειών και την εφαρμογή των χημικών σε περιοχές που απαιτούνται.

Η επιλογή του Raspberry Pi 3 ως κεντρική μονάδα επεξεργασίας αποτελεί στρατηγική απόφαση που βασίζεται στην ανάγκη για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και επαρκή υπολογιστική ισχύ για την επεξεργασία εικόνας σε πραγματικό χρόνο. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων έδειξαν ότι ο αλγόριθμος GNDVI μπορεί να εκτελεστεί με αποδοτικότητα, με χαμηλή χρήση CPU και μνήμης, ακόμα και σε συνθήκες όπου οι εικόνες έχουν καλή ανάλυση. Αυτό καθιστά το σύστημα κατάλληλο για ευρεία χρήση σε γεωργικές εφαρμογές, όπου η ακρίβεια και η αποτελεσματικότητα είναι κρίσιμες.

Οι δοκιμές πεδίου με το προτεινόμενο σύστημα σε πραγματικές συνθήκες, δεν συγκρίθηκαν με ένα ακριβό εργαλείο που παρέχει τιμές GNDVI. Απλά μέσω αυτής της τιμής πραγματοποιείται μια εκτίμηση της υγείας ενός μέρος της καλλιέργειας.

Ο κύριος στόχος αυτής της εργασίας είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός αυτοματοποιημένου συστήματος ψεκασμού χημικών ουσιών στη γεωργία, το οποίο βασίζεται σε χαμηλού κόστους ενσωματωμένο εξοπλισμό και τον αλγόριθμο κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης διαφοράς (GNDVI). Το σύστημα αυτό έχει ως σκοπό την ακριβή και αποδοτική εφαρμογή χημικών στις καλλιέργειες, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος και τα υπολείμματα χημικών στα τελικά αγροτικά προϊόντα. Με τη χρήση του Raspberry Pi 3 ως κεντρική μονάδα επεξεργασίας και μιας κάμερας Raspberry Pi NoIR για τη συλλογή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, το προτεινόμενο σύστημα επιτρέπει την ανάλυση της υγείας των καλλιεργειών και την εφαρμογή χημικών μόνο στις περιοχές που πραγματικά χρειάζονται παρέμβαση

1.2 Δομή της εργασίας

Η παρούσα εργασία είναι διαρθρωμένη σε έξι κεφάλαια, κάθε ένα εκ των οποίων συμβάλλει στην ανάπτυξη και κατανόηση του προτεινόμενου συστήματος παρακολούθησης της βλάστησης:

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Παρουσιάζεται το γενικό πλαίσιο και οι στόχοι της εργασίας, καθώς και η συνεισφορά της στον τομέα της γεωργίας ακριβείας.

Κεφάλαιο 2: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Περιγράφεται το υπάρχον θεωρητικό και τεχνολογικό υπόβαθρο που αφορά συστήματα παρακολούθησης καλλιεργειών, δείκτες βλάστησης, και σχετικές τεχνολογίες, όπως το Raspberry Pi και η τηλεπισκόπηση.

Κεφάλαιο 3: Τεχνολογία και Εργαλεία

Παρουσιάζονται οι τεχνολογίες και τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν, όπως το Raspberry Pi, οι αισθητήρες, και οι γλώσσες προγραμματισμού, καθώς και το υλικό και λογισμικό που απαιτήθηκε για την ανάπτυξη του συστήματος.

Κεφάλαιο 4: Ανάπτυξη του Συστήματος Παρακολούθησης

Εξετάζεται η διαδικασία σχεδίασης και υλοποίησης του συστήματος. Περιγράφονται τα επιμέρους συστατικά του, η σύνδεση των αισθητήρων και η χρήση του δείκτη NDVI για την εκτίμηση της βλάστησης. Περιλαμβάνονται εικόνες και διαγράμματα για την κατανόηση της εφαρμογής και της αρχιτεκτονικής του συστήματος.

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα και Προτάσεις Βελτίωσης

Αναλύονται τα συμπεράσματα της εργασίας και δίνονται προτάσεις για τη μελλοντική βελτίωση του συστήματος, με έμφαση στην ενίσχυση της ακρίβειας και της λειτουργικότητας.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Περιλαμβάνονται τα βασικά ευρήματα της εργασίας, η αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας του συστήματος, και η σημασία της εφαρμογής της τεχνολογίας αυτής για τη γεωργία ακριβείας.

Κεφάλαιο 2ο: Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Αυτή η διπλωματική ακολούθησε ένα μικρό οδηγό από την εργασία με τίτλο "Proposal for an Embedded System Architecture Using a GNDVI Algorithm to Support UAV-Based Agrochemical Spraying" των Maik Basso και άλλων, όπου παρουσιάζεται η σχεδίαση και η υλοποίηση μιας αρχιτεκτονικής ενσωματωμένου συστήματος για την υποστήριξη ψεκασμού αγροχημικών μέσω μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAVs). Το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο βασισμένο στον δείκτη GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) για την ανίχνευση των περιοχών που χρειάζονται ψεκασμό, παρέχοντας τη δυνατότητα στοχευμένης και αποτελεσματικής εφαρμογής αγροχημικών. Η χρήση του δείκτη GNDVI εξασφαλίζει την ακριβή αξιολόγηση της υγείας της βλάστησης, καθοδηγώντας το UAV να επεμβαίνει μόνο σε περιοχές όπου απαιτείται χημική παρέμβαση, με αποτέλεσμα τη μείωση της σπατάλης πόρων και την ελαχιστοποίηση της επίπτωσης στο περιβάλλον.

Η πρόταση επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ενός οικονομικά προσιτού συστήματος που χρησιμοποιεί το Raspberry Pi 3 ως την κεντρική μονάδα επεξεργασίας. Το Raspberry Pi 3 επιτρέπει την ενσωμάτωση των απαραίτητων υπολογισμών σε πραγματικό χρόνο, καθιστώντας δυνατή την ανάλυση των δεδομένων σε πτήση. Η αρχιτεκτονική του συστήματος περιλαμβάνει τη χρήση μιας κάμερας NoIR για τη λήψη εικόνων σε ορατό και κοντινό υπέρυθρο φάσμα, οι οποίες επεξεργάζονται με τον αλγόριθμο GNDVI για να αξιολογηθεί η φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών. Ο αλγόριθμος ενσωματώνεται στο σύστημα για να λαμβάνονται αποφάσεις σε πραγματικό χρόνο σχετικά με την εφαρμογή αγροχημικών, με στόχο την ακριβή και στοχευμένη διαχείριση των καλλιεργειών.

Η εργασία αναδεικνύει τα πλεονεκτήματα των UAVs στη γεωργία ακριβείας, συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους εφαρμογής αγροχημικών. Η χρήση UAVs προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία, μειωμένο κόστος και ελαχιστοποιεί τους κινδύνους που σχετίζονται με τη χρήση επανδρωμένων αεροσκαφών. Επιπλέον, τα UAVs επιτρέπουν την πιο λεπτομερή παρακολούθηση της καλλιέργειας και την άμεση επέμβαση στις περιοχές που εμφανίζουν πρόβλημα, παρέχοντας δεδομένα που μπορούν να αναλυθούν σε βάθος χρόνου.

Το σύστημα που παρουσιάζεται στην εργασία αυτή σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε με στόχο να είναι ελαφρύ και ενεργειακά αποδοτικό, προκειμένου να μπορεί να τοποθετηθεί σε μικρά UAVs. Τα πειράματα που διεξήχθησαν έδειξαν ότι η αρχιτεκτονική αυτή μπορεί να ανταποκριθεί στις ανάγκες του ψεκασμού αγροχημικών, ενώ η χρήση του GNDVI αποδείχθηκε αποτελεσματική για την εντόπιση των περιοχών που απαιτούν παρέμβαση. Το σύστημα έχει τη δυνατότητα να επεκταθεί και να υποστηρίξει επιπλέον αλγόριθμους ανάλυσης εικόνας, αυξάνοντας έτσι τη λειτουργικότητά του και παρέχοντας περισσότερες δυνατότητες για την υποστήριξη της γεωργίας ακριβείας.

Η εργασία προτείνει μια προσαρμόσιμη και προσιτή λύση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενσωμάτωση εξειδικευμένων αλγορίθμων ανάλυσης εικόνας σε UAVs, προσφέροντας ένα ισχυρό εργαλείο στους γεωργούς για την αποτελεσματική διαχείριση των καλλιεργειών τους. Η χρήση τέτοιων τεχνολογιών μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της αποδοτικότητας των καλλιεργειών, στη μείωση του κόστους και στην προστασία του περιβάλλοντος μέσω της στοχευμένης χρήσης αγροχημικών.[1]

Στην εργασία με τίτλο "Dynamics of the Indices NDVI and GNDVI in a Rice Growing in Its Reproduction Phase from Multi-spectral Aerial Images Taken by Drones", οι συγγραφείς μελετούν τη δυναμική των δεικτών NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) και GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) σε καλλιέργεια ρυζιού κατά τη φάση αναπαραγωγής. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με τη χρήση πολυφασματικών αεροφωτογραφιών που λήφθηκαν με drones, εξετάζοντας την ικανότητα των δεικτών αυτών να απεικονίζουν τις διαφορές στην ανάπτυξη και την υγεία της καλλιέργειας ρυζιού σε διάφορες χρονικές στιγμές.

Ο δείκτης NDVI χρησιμοποιείται ευρέως στη γεωργία ακριβείας για την αξιολόγηση της υγείας των φυτών, καθώς συνδυάζει τις ανακλάσεις του κοντινού υπέρυθρου (NIR) και του κόκκινου φωτός, προσδιορίζοντας την πυκνότητα της βλάστησης και τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα. Ο GNDVI αποτελεί μια παραλλαγή του NDVI που αντικαθιστά το κόκκινο φως με το πράσινο, επιτρέποντας έτσι την καλύτερη αξιολόγηση της χλωροφύλλης των φυτών, ειδικά σε καλλιέργειες με έντονη πράσινη βλάστηση, όπως το ρύζι. Στη συγκεκριμένη εργασία, εξετάζεται πώς οι δείκτες αυτοί αντιδρούν σε διάφορες συνθήκες καλλιέργειας κατά τη φάση αναπαραγωγής, ώστε να προσδιοριστεί η βέλτιστη μέθοδος για τη διαχείριση της καλλιέργειας.

Η χρήση πολυφασματικών εικόνων ληφθείσες με drones αποτελεί μια σύγχρονη προσέγγιση για τη γεωργία ακριβείας, προσφέροντας υψηλή χωρική και φασματική ανάλυση, που είναι απαραίτητη για την ακριβή παρακολούθηση της καλλιέργειας. Οι συγγραφείς αξιολογούν τις μεταβολές στους δείκτες NDVI και GNDVI καθ' όλη τη φάση της αναπαραγωγής του ρυζιού, αναδεικνύοντας τη σημασία της χρήσης των δεικτών αυτών για την έγκαιρη διάγνωση στρεσογόνων συνθηκών και τη λήψη κατάλληλων αποφάσεων διαχείρισης.

Από τη βιβλιογραφική επισκόπηση προκύπτει ότι οι δείκτες NDVI και GNDVI έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε γεωργικές εφαρμογές για την παρακολούθηση της βλάστησης και της υγείας των φυτών. Ο NDVI έχει το πλεονέκτημα της αξιολόγησης της συνολικής κατάστασης της βλάστησης, ενώ ο GNDVI θεωρείται καλύτερος στην εκτίμηση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη, καθώς το πράσινο φως αλληλεπιδρά διαφορετικά με τα φύλλα των φυτών σε σχέση με το κόκκινο. Οι συγγραφείς αναλύουν επίσης τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε δείκτη για την καλλιέργεια ρυζιού, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός των δύο μπορεί να παρέχει μια πιο πλήρη εικόνα της υγείας και της κατάστασης της καλλιέργειας.

Η εργασία αυτή αποτελεί ένα σημαντικό βήμα για την ανάπτυξη και την εφαρμογή τεχνικών γεωργίας ακριβείας σε καλλιέργειες ρυζιού, επιδεικνύοντας τη σημασία της συνεχούς παρακολούθησης της καλλιέργειας με τη χρήση αεροφωτογραφιών και τη δυναμική ανάλυση των δεικτών βλάστησης. Η βιβλιογραφική ανασκόπηση δείχνει ότι οι δείκτες βλάστησης που προέρχονται από πολυφασματικές εικόνες μπορούν να προσφέρουν αξιόπιστα και χρήσιμα δεδομένα για τη διαχείριση της καλλιέργειας, βοηθώντας τους παραγωγούς να εντοπίζουν προβλήματα σε πρώιμο στάδιο και να βελτιστοποιούν τις καλλιεργητικές πρακτικές τους.[2]

Στην εργασία με τίτλο "Mixed Model Estimation of Rice Yield Based on NDVI and GNDVI Using a Satellite Image", οι συγγραφείς παρουσιάζουν ένα μοντέλο εκτίμησης της απόδοσης της καλλιέργειας ρυζιού βασισμένο σε δεδομένα από δορυφορικές εικόνες. Η εργασία εστιάζει στη χρήση μικτών μοντέλων που ενσωματώνουν τους δείκτες NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) και GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), προκειμένου να προσδιοριστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της καλλιέργειας και να εκτιμηθεί με ακρίβεια η τελική παραγωγή.

Οι δορυφορικές εικόνες προσφέρουν τη δυνατότητα συνεχούς παρακολούθησης των καλλιεργειών σε ευρεία κλίμακα, εξασφαλίζοντας σημαντική πληροφόρηση για την υγεία των φυτών και την αναπτυξιακή τους πορεία. Στην εργασία αυτή, χρησιμοποιούνται δεδομένα από πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες, ώστε να υπολογιστούν οι δείκτες NDVI και GNDVI κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου του ρυζιού. Αυτοί οι δείκτες χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση της απόδοσης των καλλιεργειών με την εφαρμογή μικτών μοντέλων, τα οποία λαμβάνουν υπόψη και παραλλαγές που οφείλονται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Το μικτό μοντέλο που χρησιμοποιείται σε αυτή την εργασία συνδυάζει τις πληροφορίες από τους δύο δείκτες για να κατασκευάσει μια πιο ακριβή πρόβλεψη της απόδοσης των καλλιεργειών. Ο NDVI προσδιορίζει την γενική υγεία της βλάστησης, ενώ ο GNDVI επιτρέπει την καλύτερη εκτίμηση της περιεκτικότητας σε χλωροφύλλη. Η χρήση του μικτού μοντέλου παρέχει ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τη χρήση μεμονωμένων δεικτών, καθώς βελτιώνει την ακρίβεια της πρόγνωσης και λαμβάνει υπόψη και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των περιβαλλοντικών παραγόντων.

Τα αποτελέσματα της εργασίας δείχνουν ότι το μικτό μοντέλο που βασίζεται σε δεδομένα NDVI και GNDVI μπορεί να εκτιμήσει με μεγάλη ακρίβεια την απόδοση της καλλιέργειας ρυζιού. Οι συγγραφείς καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι ο συνδυασμός των δύο δεικτών σε ένα ενιαίο μοντέλο προσφέρει μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της καλλιέργειας, μειώνοντας τα σφάλματα στην πρόβλεψη. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για την υποστήριξη των γεωργών στη λήψη αποφάσεων σχετικά με τις καλλιεργητικές πρακτικές και τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης των πόρων τους.

Η εφαρμογή των μικτών μοντέλων με χρήση δορυφορικών εικόνων και δεικτών βλάστησης όπως ο NDVI και ο GNDVI αναδεικνύεται ως μια αποτελεσματική μέθοδος για την πρόγνωση της

παραγωγικότητας και μπορεί να αποτελέσει σημαντικό βοήθημα στη γεωργία ακριβείας, επιτρέποντας στους παραγωγούς να προσαρμόζουν τις πρακτικές τους και να μεγιστοποιούν την απόδοση της καλλιέργειας τους.[3]

Στην εργασία με τίτλο "New Vegetation Index and Its Application in Estimating Leaf Area Index of Rice" των Wang Fu-min και συνεργατών, προτείνεται ένας νέος δείκτης βλάστησης για την εκτίμηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) στην καλλιέργεια ρυζιού. Στόχος της μελέτης ήταν η βελτίωση της ακρίβειας της εκτίμησης του LAI μέσω της ανάπτυξης νέων δεικτών βλάστησης, αντικαθιστώντας το παραδοσιακό κόκκινο κανάλι του NDVI με διάφορους συνδυασμούς των καναλιών κόκκινου, πράσινου και μπλε.

Η μελέτη επικεντρώθηκε στη χρήση του δείκτη GNDVI (Green NDVI) και ενός νέου δείκτη GBNDVI (Green-Blue NDVI) για την εκτίμηση του LAI του ρυζιού. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο GNDVI και ο GBNDVI είχαν καλύτερη συσχέτιση με το LAI σε σχέση με το παραδοσιακό NDVI. Συγκεκριμένα, οι δείκτες αυτοί ήταν πιο αποτελεσματικοί στην εκτίμηση του LAI όταν ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας ξεπερνούσε το όριο του 3, το οποίο αποτελεί σημείο κορεσμού για το NDVI.

Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε βασίστηκε στη συλλογή ανακλάσεων από το θόλο της καλλιέργειας ρυζιού, σε διαφορετικές φάσεις της ανάπτυξης, με τη χρήση φασματοραδιόμετρου. Τα δεδομένα ανακλάσεων από τα κανάλια του κόκκινου, πράσινου και μπλε χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργηθούν διάφοροι νέοι δείκτες βλάστησης, και ακολούθησε ανάλυση της ευαισθησίας αυτών των δεικτών σε αλλαγές του LAI. Ο GNDVI και ο GBNDVI παρουσίασαν ανώτερη απόδοση, ιδίως σε ευρύτερες τιμές LAI, σε σύγκριση με τους άλλους δείκτες.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι δείκτες GNDVI και GBNDVI υπερτερούν του NDVI για την εκτίμηση του LAI στην καλλιέργεια ρυζιού, ιδίως όταν το LAI υπερβαίνει την τιμή του 3, που αποτελεί το σημείο κορεσμού του NDVI. Οι νέοι δείκτες προσφέρουν καλύτερη ακρίβεια και είναι πιο ευαίσθητοι σε αλλαγές της φυλλικής επιφάνειας, γεγονός που τους καθιστά κατάλληλους για χρήση σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας. Ωστόσο, οι συγγραφείς επισημαίνουν την ανάγκη για περαιτέρω μελέτες και πειράματα σε διαφορετικές συνθήκες, προκειμένου να επαληθευτεί η αποτελεσματικότητα των δεικτών αυτών σε άλλες καλλιέργειες και περιβάλλοντα.[4]

Στην εργασία με τίτλο "Comparative Assessment of UAV and Sentinel-2 NDVI and GNDVI for Preliminary Diagnosis of Habitat Conditions in Burunge Wildlife Management Area, Tanzania" των Mangewa L.J. και συνεργατών, συγκρίνονται οι δυνατότητες των δεικτών NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) και GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) που

προκύπτουν από εικόνες μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV) και δορυφορικές εικόνες Sentinel-2 για την αρχική διάγνωση της κατάστασης των ενδιαιτημάτων στην περιοχή Burunge της Τανζανίας.

Η μελέτη αυτή χρησιμοποίησε δεδομένα από πολυφασματικούς αισθητήρες προσαρμοσμένους σε UAV και από δορυφορικές εικόνες Sentinel-2 που λήφθηκαν κατά την περίοδο Φεβρουαρίου-Μαρτίου 2020. Τα δεδομένα αυτά αναλύθηκαν με τη χρήση περιγραφικών στατιστικών και γραμμικών μοντέλων σε R-software. Στόχος ήταν να εξεταστούν οι διαφορές και η ευαισθησία των δύο μεθόδων στη διάγνωση της κατάστασης των ενδιαιτημάτων, η οποία κατηγοριοποιήθηκε σε τέσσερις τάξεις: πολύ καλή, καλή, φτωχή και πολύ φτωχή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι δείκτες που προέκυψαν από τις εικόνες UAV είχαν μεγαλύτερη ευαισθησία και μπορούσαν να παρέχουν πιο ακριβή και λεπτομερή δεδομένα σχετικά με την κατάσταση των ενδιαιτημάτων σε σχέση με τις δορυφορικές εικόνες Sentinel-2.

Συγκεκριμένα, οι χάρτες που δημιουργήθηκαν με χρήση των δεικτών NDVI και GNDVI από τα UAV έδειξαν περισσότερες λεπτομέρειες σε όλες τις τάξεις της κατάστασης του ενδιαιτηματος, ενώ οι αντίστοιχοι χάρτες από το Sentinel-2 έδειχναν λιγότερες διαφορές, κυρίως λόγω της χαμηλότερης ανάλυσης των δορυφορικών εικόνων. Επιπλέον, τα γραμμικά μοντέλα έδειξαν ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ των δύο πλατφορμών ($p < 0.001$), παρόλο που οι διαφορές οφείλονταν κυρίως στη χωρική ανάλυση και σε δευτερεύουσες ατμοσφαιρικές επιδράσεις.

Τα αποτελέσματα της μελέτης έδειξαν ότι οι δείκτες NDVI και GNDVI που προκύπτουν από τις εικόνες UAV είναι πιο ευαίσθητοι και ικανοί να παρέχουν ακριβή προκαταρκτικά δεδομένα για την κατάσταση των ενδιαιτημάτων σε σχέση με τις εικόνες Sentinel-2. Αυτό καθιστά τα UAV πιο αποτελεσματικά για την ανίχνευση περιβαλλοντικών προβλημάτων σε πρώιμο στάδιο, γεγονός που μπορεί να βοηθήσει στη λήψη κατάλληλων μέτρων διαχείρισης για τη βελτίωση της ποιότητας των ενδιαιτημάτων και την καλύτερη προστασία της άγριας ζωής στην περιοχή Burunge. Οι συγγραφείς προτείνουν τη διενέργεια περαιτέρω μελετών με χρήση άλλων δεικτών βλάστησης για να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητά τους σε διαφορετικά είδη τοπίου.[5]

Στην εργασία με τίτλο "Evaluation of Green, Red, and Near Infrared Bands for Predicting Winter Wheat Biomass, Nitrogen Uptake, and Final Grain Yield" των S. M. Moges, W. R. Raun, R. W. Mullen, K. W. Freeman, G. V. Johnson και J. B. Solie, παρουσιάζεται μια μελέτη για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των φασματικών ζωνών του πράσινου, του κόκκινου, και του κοντινού υπέρυθρου (NIR) για την πρόβλεψη της βιομάζας, της απορρόφησης αζώτου και της τελικής παραγωγής σιταριού. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε τέσσερις πειραματικές τοποθεσίες στην Οκλαχόμα κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου 2001-2002.

Η μελέτη επικεντρώθηκε στη σύγκριση του RNDVI (Red Normalized Difference Vegetation Index) και του GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) για την πρόβλεψη της βιομάζας, της

απορρόφησης αζώτου και της τελικής απόδοσης του σιταριού. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης του σιταριού (Feekes στάδιο 4, 6 και 10) με τη χρήση φασματόμετρου που μέτρησε τις ανακλάσεις στις ζώνες του πράσινου, του κόκκινου και του NIR. Η χρήση των δεικτών NDVI και GNDVI χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογηθεί η απόδοση του σιταριού και η απορρόφηση αζώτου.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο RNDVI είχε καλύτερη συσχέτιση με τη βιομάζα κατά τα αρχικά στάδια ανάπτυξης σε σύγκριση με τον GNDVI, με τον RNDVI να παρουσιάζει ισχυρότερη συσχέτιση στο Feekes στάδιο 4 ($r^2 = 0.78$) σε σχέση με τον GNDVI ($r^2 = 0.62$). Ωστόσο, στα μεταγενέστερα στάδια, η διαφορά στη συσχέτιση των δύο δεικτών μειώθηκε, με τον GNDVI να δείχνει υψηλότερη ευαισθησία στην απορρόφηση αζώτου του σιταριού. Επιπλέον, και οι δύο δείκτες παρουσίασαν ισχυρή συσχέτιση με την τελική απόδοση του κόκκου και την απορρόφηση αζώτου του κόκκου, υποδεικνύοντας ότι τόσο ο RNDVI όσο και ο GNDVI είναι αξιόπιστοι δείκτες για την εκτίμηση της απόδοσης του σιταριού.

Τα συμπεράσματα της μελέτης δείχνουν ότι δεν υπήρχε σαφές πλεονέκτημα μεταξύ των δεικτών RNDVI και GNDVI για την πρόβλεψη της βιομάζας, της απορρόφησης αζώτου και της τελικής απόδοσης του σιταριού. Και οι δύο δείκτες παρουσίασαν ισχυρή συσχέτιση με τις μεταβλητές αυτές, με τον RNDVI να είναι πιο αποδοτικός στην πρόβλεψη της βιομάζας σε αρχικά στάδια ανάπτυξης, ενώ ο GNDVI έδειξε ισχυρότερη συσχέτιση με την απορρόφηση αζώτου και την τελική παραγωγή. Οι συγγραφείς καταλήγουν στο ότι η χρήση οποιουδήποτε από τους δύο δείκτες είναι επαρκής για την πρόβλεψη των μελετώμενων παραμέτρων, ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας και τις ανάγκες της μελέτης.[6]

Στην εργασία με τίτλο "UAV-based multispectral vegetation indices for assessing the interactive effects of water and nitrogen in irrigated horticultural crops production under tropical sub-humid conditions: A case of African eggplant" των Paul Reuben Mwinuka και συνεργατών, εξετάζεται η χρήση δεικτών βλάστησης που προκύπτουν από πολυφασματικές εικόνες UAV για την αξιολόγηση της επίδρασης του νερού και του αζώτου στην καλλιέργεια της μελιτζάνας. Ο στόχος της μελέτης ήταν να κατανοηθεί η αλληλεπίδραση του νερού και του αζώτου στη διαχείριση των καλλιεργειών και να βελτιστοποιηθεί η χρήση τους.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε με σχεδιασμό διαχωρισμένων πειραματικών επιπέδων, με την άρδευση ως κύριο παράγοντα και το άζωτο ως υποπαράγοντα. Οι μελιτζάνες ποτίστηκαν με άρδευση στο 100%, 80% ή 60% των απαιτήσεων νερού και έλαβαν άζωτο στο 100%, 75%, 50% ή 0% των απαιτήσεων τους. Οι δείκτες βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ο GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), ο NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), και ο OSAVI (Optimized Soil Adjusted Vegetation Index). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο GNDVI ήταν καλύτερος για τη διάκριση των διαφορών στην περιεκτικότητα των φύλλων σε άζωτο, ενώ ο TDVI (Transformed Difference

Vegetation Index) ήταν πιο κατάλληλος για την εκτίμηση της περιεκτικότητας σε υγρασία κατά το στάδιο της βλαστικής ανάπτυξης.

Η μελέτη ανέδειξε επίσης την ανάγκη συνδυασμού των δεικτών GNDVI, NDVI, και OSAVI για την αξιολόγηση της αλληλεπίδρασης του νερού και του αζώτου, καθώς καθένας από τους δείκτες ήταν ικανός να ανιχνεύσει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της καλλιέργειας αλλά όχι όλα. Αυτό υποδεικνύει την ανάγκη για ανάπτυξη δέντρων αποφάσεων που θα στηρίζονται σε πολλαπλούς δείκτες για την καλύτερη αξιολόγηση της απόδοσης της καλλιέργειας και την πρόγνωση της παραγωγής.

Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι οι δείκτες GNDVI, NDVI, και OSAVI έχουν τη δυνατότητα να αξιολογήσουν την αλληλεπίδραση του νερού και του αζώτου στις καλλιέργειες μελιτζάνας υπό υποτροπικές συνθήκες. Η χρήση των δεικτών αυτών μπορεί να συμβάλει στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης του νερού και του αζώτου, βελτιώνοντας την απόδοση των καλλιεργειών και μειώνοντας τις επιπτώσεις από περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η ανάπτυξη δέντρων αποφάσεων που ενσωματώνουν τους παραπάνω δείκτες μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποτελεσματική διαχείριση των καλλιεργειών και την πρόβλεψη της τελικής παραγωγής.[7]

Στην εργασία με τίτλο "Remote Sensing of Yields: Application of UAV Imagery-Derived NDVI for Estimating Maize Vigor and Yields in Complex Farming Systems in Sub-Saharan Africa" των Ibrahim Wahab, Ola Hall και Magnus Jirström, εξετάζεται η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης με τη χρήση μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAVs) για την εκτίμηση της ζωτικότητας και της παραγωγής καλαμποκιού σε πολύπλοκα γεωργικά συστήματα στη Υποσαχάρια Αφρική (SSA). Η μελέτη επικεντρώνεται στη χρήση του δείκτη GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), ο οποίος προκύπτει από πολυφασματικές εικόνες UAV, για την εκτίμηση της κατάστασης των καλλιεργειών καλαμποκιού.

Οι συγγραφείς χρησιμοποίησαν ένα UAV τύπου quadcopter, εξοπλισμένο με δύο κάμερες καταναλωτικού τύπου, εκ των οποίων η μία τροποποιήθηκε για να συλλαμβάνει εικόνες στο κοντινό υπέρυθρο (NIR). Οι εικόνες συλλέχθηκαν σε διάφορα στάδια ανάπτυξης της καλλιέργειας, και η ανάλυσή τους έδειξε ότι ο GNDVI που προέκυψε από το UAV είχε καλύτερη συσχέτιση με τη ζωτικότητα και την παραγωγή καλαμποκιού σε σχέση με άλλες μεθόδους, όπως οι μετρήσεις με το SPAD.

Η μελέτη χρησιμοποίησε ένα UAV τύπου quadcopter, το οποίο πέταξε πάνω από αγροτεμάχια σε ύψος 100 μέτρων, εξοπλισμένο με δύο κάμερες καταναλωτικού τύπου, μία εκ των οποίων ήταν τροποποιημένη για τη λήψη εικόνων στο κοντινό υπέρυθρο (NIR). Σκοπός ήταν να συγκριθεί η ακρίβεια του δείκτη GNDVI που προκύπτει από εικόνες UAV σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους, όπως οι μετρήσεις SPAD. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ο GNDVI που προέρχεται από εικόνες UAV αποτελεί καλύτερο δείκτη της υγείας της καλλιέργειας και της απόδοσής της, καθώς παρουσίασε

ισχυρή συσχέτιση με τις αποδόσεις του αραβοσίτου, με τιμές $r = 0.372$ και $r = 0.393$ για τον μέσο και τον μέγιστο GNDVI αντίστοιχα περίπου πέντε εβδομάδες μετά τη σπορά, σε σύγκριση με τις μετρήσεις SPAD ($r = 0.259$).

Η εργασία αυτή καταδεικνύει τη χρησιμότητα των δεικτών βλάστησης που προκύπτουν από εικόνες UAV στην αξιολόγηση της κατάστασης των καλλιεργειών και της εκτίμησης της παραγωγικότητας, ακόμα και σε πολύπλοκα συστήματα μικρών αγροτικών εκμεταλλεύσεων. Ο GNDVI από εικόνες UAV αποδείχθηκε πιο αξιόπιστος και έγκαιρος δείκτης, ιδίως σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους εκτίμησης της υγείας των καλλιεργειών, καθώς δίνει αποτελέσματα από νωρίς, προσφέροντας τη δυνατότητα στους αγρότες να λάβουν διορθωτικά μέτρα για τη βελτίωση της τελικής παραγωγής.

Τα αποτελέσματα της εργασίας έδειξαν ότι ο δείκτης GNDVI που προκύπτει από εικόνες UAV αποτελεί μια χρήσιμη και αποτελεσματική μέθοδο για την εκτίμηση της υγείας της καλλιέργειας αραβοσίτου και των αποδόσεων της, συγκρινόμενος με παραδοσιακές μεθόδους όπως οι μετρήσεις SPAD. Η χρήση του UAV προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα όσον αφορά τη χωρική ανάλυση και την ταχύτητα συλλογής δεδομένων, καθιστώντας τη συγκεκριμένη τεχνική ιδιαίτερα κατάλληλη για τις ανάγκες των μικρών αγροτικών εκμεταλλεύσεων στην Υποσαχάρια Αφρική. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι ο GNDVI από UAV μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο υποστήριξης για τους αγρότες, συμβάλλοντας στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για τη βελτίωση της παραγωγής τους. [8]

2.2 Συσκευές μέτρησης

Ο GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) υπολογίζεται από τις φασματικές ανακλάσεις του φωτός στο πράσινο και το κοντινό υπέρυθρο (NIR) φάσμα, επομένως για να μετρηθεί απαιτούνται συσκευές ή αισθητήρες που μπορούν να καταγράψουν αυτές τις πληροφορίες. Υπάρχουν διάφορες συσκευές και τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση του GNDVI, και οι πιο κοινές κατηγορίες περιλαμβάνουν:

Φασματόμετρα και Πολυφασματικοί Αισθητήρες

- Φασματόμετρα: Είναι εξειδικευμένες συσκευές που καταγράφουν την αντανάκλαση του φωτός σε πολλά διαφορετικά φάσματα. Τα φασματόμετρα χειρός, όπως τα μοντέλα από εταιρείες όπως η Spectra Vista ή η FieldSpec, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη συλλογή των απαραίτητων δεδομένων για τον υπολογισμό του GNDVI.
- Πολυφασματικοί Αισθητήρες: Αυτοί οι αισθητήρες έχουν τη δυνατότητα να καταγράφουν δεδομένα από πολλαπλά φάσματα φωτός. Κάποιες δημοφιλείς επιλογές περιλαμβάνουν τους

αισθητήρες MicaSense RedEdge ή Parrot Sequoia, οι οποίοι είναι πολυφασματικοί και μπορούν να καταγράψουν πράσινο, κόκκινο, κόκκινο-άκρο και NIR. Αυτοί οι αισθητήρες είναι κατάλληλοι για χρήση με UAV και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του GNDVI.

FieldSpec Spectroradiometer από την ASD (Malvern Panalytical): FieldSpec

MicaSense RedEdge: MicaSense RedEdge

UAV (Drones) με Πολυφασματικές Κάμερες

- UAV (Drones): Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (drones) εξοπλισμένα με πολυφασματικές κάμερες είναι πολύ δημοφιλή για την καταγραφή εικόνων που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των δεικτών βλάστησης όπως ο GNDVI. Πολυφασματικές κάμερες όπως η MicaSense Altum ή η Parrot Sequoia μπορούν να τοποθετηθούν σε drones και να καταγράψουν εικόνες σε πράσινο και NIR, τα οποία είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό του GNDVI.

MicaSense Altum κάμερα για drones: MicaSense Altum

Parrot Sequoia κάμερα: Parrot Sequoia

Σταθεροί Αισθητήρες Εδάφους

- Σταθμοί Αισθητήρων Εδάφους: Υπάρχουν επίσης αισθητήρες που εγκαθίστανται μόνιμα σε πεδία για τη συνεχή καταγραφή φασματικών δεδομένων. Τέτοιοι αισθητήρες μπορεί να είναι συνδεδεμένοι σε αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς ή συστήματα παρακολούθησης καλλιεργειών, και καταγράφουν τις ανακλάσεις του πράσινου και του κοντινού υπέρυθρου για την εκτίμηση του GNDVI.

Cropscan MSR φασματικός αισθητήρας: Cropscan MSR

Φορητές Συσκευές Μέτρησης

- Υπάρχουν επίσης φορητές συσκευές και αισθητήρες, όπως τα φασματόμετρα χειρός (π.χ. GreenSeeker), τα οποία καταγράφουν πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο και υπολογίζουν δείκτες βλάστησης όπως ο GNDVI και ο NDVI. Αυτές οι συσκευές είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για την γρήγορη εκτίμηση της υγείας των φυτών στο πεδίο χωρίς την ανάγκη επεξεργασίας εικόνων.

Trimble GreenSeeker φορητή συσκευή: GreenSeeker

Δορυφορικές Εικόνες

- Αν και δεν πρόκειται για συσκευή μέτρησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί άμεσα από τον χρήστη, οι δορυφορικές εικόνες που συλλέγονται από δορυφόρους όπως ο Sentinel-2 του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA) ή οι δορυφόροι Landsat μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό του GNDVI. Οι δορυφορικές εικόνες προσφέρουν δεδομένα σε πράσινο και NIR φάσμα, τα οποία είναι κατάλληλα για την εκτίμηση του δείκτη.

Sentinel-2 (ESA Copernicus Program): Sentinel-2 Data Hub

Landsat από τη NASA/USGS: USGS Landsat

Κεφάλαιο 3ο: Λογισμικό και Υλικό

3.1 Λογισμικό

3.1.1 Γλώσσα προγραμματισμού Python

Η Python είναι μία από τις πιο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού σήμερα, γνωστή για την απλότητα και την ευελιξία της, γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για ευρύ φάσμα εφαρμογών, από ανάπτυξη λογισμικού έως ανάλυση δεδομένων και αυτοματισμούς. Στο πεδίο της γεωργίας ακριβείας, και ειδικότερα σε συστήματα όπως το Raspberry Pi, η Python αποτελεί το βασικό εργαλείο για την υλοποίηση εφαρμογών που σχετίζονται με την παρακολούθηση και τη διαχείριση καλλιεργειών.

Η Python είναι μια γλώσσα υψηλού επιπέδου, δυναμική και ευρέως χρησιμοποιούμενη για την ανάπτυξη εφαρμογών που αφορούν επεξεργασία δεδομένων, ανάλυση εικόνας, αυτοματισμούς και αλληλεπίδραση με εξωτερικές συσκευές. Η ευκολία μάθησής της, η εκτεταμένη βιβλιοθήκη λειτουργιών και η μεγάλη κοινότητα υποστήριξης είναι από τους λόγους που έχει γίνει τόσο δημοφιλής.

Η Python υποστηρίζει διάφορες βιβλιοθήκες που διευκολύνουν την ανάπτυξη εφαρμογών ανάλυσης δεδομένων και την επεξεργασία εικόνας, όπως οι NumPy, OpenCV, Pandas και Matplotlib. Επίσης, διαθέτει εξειδικευμένες βιβλιοθήκες για τον έλεγχο εξωτερικών συσκευών, όπως η RPi.GPIO, που είναι απαραίτητη για τη διαχείριση των GPIO pins του Raspberry Pi.

Το Raspberry Pi είναι ένας μικρός, οικονομικός υπολογιστής που χρησιμοποιείται ευρέως για εκπαιδευτικούς σκοπούς, έργα αυτοματισμού, ρομποτική και εφαρμογές γεωργίας ακριβείας. Το Raspberry Pi χρησιμοποιεί λειτουργικό σύστημα βασισμένο στο Linux και υποστηρίζει την εκτέλεση διαφόρων γλωσσών προγραμματισμού, με την Python να είναι η πιο δημοφιλής και συνιστώμενη.

Μερικά από τα βασικά πλεονεκτήματα της Python για το Raspberry Pi είναι:

1. Ευκολία Εγκατάστασης και Χρήσης: Η Python είναι προεγκατεστημένη στο λειτουργικό σύστημα Raspberry Pi OS, γεγονός που την καθιστά εύκολη στη χρήση από το πρώτο κιόλας βήμα.
2. Διαχείριση Εξωτερικών Συσκευών: Η βιβλιοθήκη RPi.GPIO επιτρέπει στον χρήστη να συνδέει και να διαχειρίζεται αισθητήρες, κάμερες και άλλες συσκευές που συνδέονται με τα GPIO pins του Raspberry Pi. Αυτό καθιστά δυνατή την αλληλεπίδραση με το φυσικό περιβάλλον, όπως η καταγραφή δεδομένων από αισθητήρες για τον έλεγχο της καλλιέργειας.

3. Υποστήριξη Ανάλυσης Εικόνας: Το Raspberry Pi μπορεί να συνδυαστεί με την κάμερα Pi Camera Module και να χρησιμοποιηθεί για την καταγραφή εικόνων που θα αναλυθούν με Python και τη βιβλιοθήκη OpenCV. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική για εφαρμογές όπως ο υπολογισμός των δεικτών βλάστησης, όπως ο NDVI και ο GNDVI, που συμβάλλουν στη γεωργία ακριβείας.
4. Ευέλικτος και Ισχυρός Προγραμματισμός: Η Python παρέχει εργαλεία που επιτρέπουν τη διαχείριση συστημάτων, την ανάλυση δεδομένων και τη δικτύωση, τα οποία είναι κρίσιμα για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων εφαρμογών διαχείρισης δεδομένων και ελέγχου καλλιεργειών.

Οι εφαρμογές Python που αναπτύσσονται για το Raspberry Pi έχουν μεγάλο φάσμα χρήσεων, όπως:

- Αυτόματη Καταγραφή Δεδομένων: Η Python μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη προγραμμάτων που καταγράφουν αυτόματα δεδομένα από αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας και φωτός, και αποθηκεύουν τα δεδομένα αυτά σε τοπική βάση ή απομακρυσμένο διακομιστή.
- Ανάλυση Εικόνας για Εκτίμηση Βλάστησης: Με τη χρήση βιβλιοθηκών όπως η OpenCV, η Python επιτρέπει την ανάλυση εικόνας από κάμερα Raspberry Pi NoIR για τον υπολογισμό δεικτών όπως ο NDVI και ο GNDVI, που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της υγείας των φυτών και της φωτοσυνθετικής τους δραστηριότητας.
- Απομακρυσμένη Διαχείριση και Δικτύωση: Μέσω του Flask ή άλλων frameworks, η Python μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη web εφαρμογών που επιτρέπουν την απομακρυσμένη παρακολούθηση των δεδομένων από αισθητήρες ή την απομακρυσμένη διαχείριση του συστήματος.

Η Python αποτελεί αναπόσπαστο εργαλείο για την ανάπτυξη εφαρμογών με το Raspberry Pi, λόγω της ευκολίας χρήσης της, της ευελιξίας της, και της μεγάλης γκάμας βιβλιοθηκών που υποστηρίζουν τη διαχείριση εξωτερικών συσκευών και την ανάλυση δεδομένων. Η χρήση της Python σε συνδυασμό με το Raspberry Pi επιτρέπει την ανάπτυξη ολοκληρωμένων λύσεων για εφαρμογές γεωργίας ακριβείας, αυτοματισμούς, και ανάλυση εικόνας, συμβάλλοντας έτσι στην τεχνολογική καινοτομία και στη βελτίωση της αποδοτικότητας των καλλιεργειών.[9]

3.1.1.1 API και Server Python

Στην εποχή της ψηφιακής πληροφορίας, η ανάγκη για αποδοτική επικοινωνία μεταξύ εφαρμογών και υπηρεσιών είναι επιτακτική. Ένας βασικός τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτή η επικοινωνία είναι μέσω των API (Application Programming Interface), τα οποία επιτρέπουν την ανταλλαγή δεδομένων

μεταξύ διαφορετικών εφαρμογών και συσκευών. Στο πλαίσιο εφαρμογών που αφορούν τη γεωργία ακριβείας, η χρήση ενός Python Server σε συνδυασμό με API είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη συλλογή, επεξεργασία, και αποθήκευση δεδομένων.

Τι είναι το API;

Το API είναι μια διεπαφή που επιτρέπει σε διαφορετικά προγράμματα να επικοινωνούν μεταξύ τους και να ανταλλάσσουν δεδομένα. Σε μια γεωργική εφαρμογή, το API μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συνδεθούν οι αισθητήρες και οι κάμερες που καταγράφουν δεδομένα με ένα κεντρικό σύστημα επεξεργασίας. Το API μπορεί να λάβει δεδομένα από μια συσκευή και να τα αποστείλει σε έναν διακομιστή (server), ο οποίος θα τα επεξεργαστεί και θα τα αποθηκεύσει σε βάση δεδομένων.

Python Server: Flask και FastAPI

Η γλώσσα Python παρέχει ισχυρά εργαλεία για την ανάπτυξη web servers και API, με δημοφιλείς επιλογές να είναι τα frameworks Flask και FastAPI. Οι Python servers αυτοί είναι εύκολοι στη χρήση και προσφέρουν μεγάλη ευελιξία για την ανάπτυξη RESTful API, τα οποία επιτρέπουν τη συλλογή και την επεξεργασία δεδομένων από το πεδίο.

- **Flask:** Το Flask είναι ένα μικρό και εύλεκτο framework για τη δημιουργία web εφαρμογών και API. Είναι απλό στη χρήση και προσφέρει μια καθαρή προσέγγιση για την ανάπτυξη εφαρμογών που απαιτούν διαχείριση αιτήσεων HTTP. Το Flask είναι ιδιαίτερα δημοφιλές για μικρές και μεσαίες εφαρμογές, καθώς επιτρέπει την εύκολη ενσωμάτωση κώδικα που διαχειρίζεται αισθητήρες, συσκευές και δεδομένα.
- **FastAPI:** Το FastAPI είναι ένα πιο σύγχρονο framework που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη API και προσφέρει υψηλή απόδοση και ταχύτητα. Είναι γνωστό για την ευκολία στη χρήση του και την εξαιρετική υποστήριξη για τεκμηρίωση API. Το FastAPI αξιοποιεί το asyncio για να υποστηρίξει ασύγχρονες λειτουργίες, καθιστώντας το ιδανικό για την επεξεργασία μεγάλου όγκου αιτήσεων, όπως αυτές που προέρχονται από διάφορους αισθητήρες ή συσκευές.

Εφαρμογές Python Server και API στη Γεωργία Ακριβείας

Η χρήση ενός Python Server με API μπορεί να επιτρέψει την αποστολή και λήψη δεδομένων από διάφορες πηγές, όπως αισθητήρες ή κάμερες, καθιστώντας δυνατή την επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Ακολουθούν μερικές εφαρμογές:

1. Συλλογή και Αποθήκευση Δεδομένων

- Τα δεδομένα από αισθητήρες θερμοκρασίας, υγρασίας ή κάμερες που καταγράφουν την κατάσταση της καλλιέργειας μπορούν να αποστέλλονται σε πραγματικό χρόνο σε έναν Python Server μέσω ενός API. Ο διακομιστής μπορεί να επεξεργάζεται αυτά τα δεδομένα και να τα αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων, όπως MySQL ή PostgreSQL.

2. Ανάλυση Δεδομένων και Εκτίμηση Βλάστησης

- Ο διακομιστής που είναι αναπτυγμένος σε Python μπορεί να χρησιμοποιήσει βιβλιοθήκες όπως NumPy και OpenCV για να αναλύσει δεδομένα από εικόνες και να υπολογίσει δείκτες βλάστησης, όπως ο NDVI και ο GNDVI. Αυτή η ανάλυση επιτρέπει την παρακολούθηση της υγείας της καλλιέργειας και την έγκαιρη ανίχνευση προβλημάτων.

3. Αλληλεπίδραση με Τρίτες Εφαρμογές

- Μέσω των API, ο Python Server μπορεί να παρέχει δεδομένα σε άλλες εφαρμογές ή χρήστες, όπως εφαρμογές κινητών ή web εφαρμογές για την παρακολούθηση της καλλιέργειας. Με τη χρήση RESTful API, τα δεδομένα που συλλέγονται μπορούν να παρουσιαστούν σε πραγματικό χρόνο στους χρήστες, βοηθώντας τους να λάβουν καλύτερες αποφάσεις.

4. Ασύγχρονη Επεξεργασία και Αυτοματισμοί

- Η χρήση API επιτρέπει την ασύγχρονη επεξεργασία των αιτήσεων, που είναι χρήσιμη όταν υπάρχουν πολλαπλές συσκευές που στέλνουν δεδομένα ταυτόχρονα. Αυτό επιτρέπει στον διακομιστή να επεξεργάζεται δεδομένα από διάφορες πηγές χωρίς καθυστέρηση.

Παράδειγμα Χρήσης Python Server API με Flask

```
from flask import Flask, request, jsonify
import sqlite3

app = Flask(__name__)

# Endpoint για να λαμβάνουμε δεδομένα από αισθητήρες
@app.route('/api/sensor_data', methods=['POST'])
def receive_sensor_data():
    data = request.json
    temperature = data.get('temperature')
    humidity = data.get('humidity')
```

```

# Αποθήκευση δεδομένων σε βάση SQLite
conn = sqlite3.connect('sensor_data.db')
cursor = conn.cursor()
cursor.execute("INSERT INTO sensor_data (temperature, humidity) VALUES (?, ?)", (temperature, humidity))
conn.commit()
conn.close()

return jsonify({'message': 'Data received successfully!'})

if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True)

```

Έχουμε δημιουργήσει ένα API το οποίο δέχεται δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας μέσω μιας POST αίτησης. Τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μια βάση δεδομένων SQL για μελλοντική ανάλυση.

Η χρήση Python Server και API είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ανάπτυξη σύγχρονων εφαρμογών παρακολούθησης και διαχείρισης καλλιεργειών, ειδικά όταν αυτές συνδυάζονται με συσκευές όπως το Raspberry Pi και αισθητήρες πεδίου. Με την ευκολία ανάπτυξης και τις ισχυρές δυνατότητες επεξεργασίας δεδομένων, τα Python frameworks όπως το Flask παρέχουν όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την αποδοτική συλλογή, ανάλυση και αποθήκευση δεδομένων, συμβάλλοντας στη βελτίωση της γεωργίας ακριβείας και στην πιο αποδοτική χρήση των πόρων.[10]

3.1.1.2 Flask και Python

Το Flask είναι ένα από τα πιο δημοφιλή και ευέλικτα frameworks για την ανάπτυξη web εφαρμογών και RESTful API στην Python. Είναι ένα "micro" framework, που σημαίνει ότι είναι ελαφρύ και απλό, αλλά μπορεί να επεκταθεί εύκολα με πρόσθετες βιβλιοθήκες και εργαλεία, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής. Το Flask συνδυάζει την ευκολία της Python με τη δύναμη της ανάπτυξης web, καθιστώντας το ιδανικό εργαλείο για την υλοποίηση διαδικτυακών εφαρμογών και συστημάτων backend.

Εισαγωγή στο Flask

Το Flask δημιουργήθηκε από τον Armin Ronacher και παρουσιάστηκε το 2010 ως ένα ελαφρύ και επεκτάσιμο framework για την ανάπτυξη web εφαρμογών. Είναι γραμμένο σε Python και επιτρέπει στους προγραμματιστές να δημιουργούν εφαρμογές εύκολα και γρήγορα, προσφέροντας την ευελιξία να επιλέξουν τις βιβλιοθήκες και τα εργαλεία που χρειάζονται για το έργο τους.

Σε αντίθεση με άλλα, πιο "βαριά" frameworks, όπως το Django, το Flask δεν περιέχει πολλά προεγκατεστημένα εργαλεία και λειτουργίες, αλλά επιτρέπει στον προγραμματιστή να επιλέξει μόνο τα απαραίτητα. Αυτή η ευελιξία καθιστά το Flask ιδανικό για μικρές και μεσαίες εφαρμογές, αλλά μπορεί να επεκταθεί για να καλύψει τις ανάγκες και πιο περίπλοκων έργων.

Χαρακτηριστικά του Flask

Ελαφρύ και Επεκτάσιμο: Το Flask είναι ένα "micro" framework, πράγμα που σημαίνει ότι περιλαμβάνει μόνο τα απαραίτητα εργαλεία και επιτρέπει την εύκολη προσαρμογή με πρόσθετες βιβλιοθήκες.

Υποστήριξη για RESTful API: Το Flask είναι ιδανικό για τη δημιουργία RESTful API που επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ διαφόρων εφαρμογών. Αυτό το καθιστά εξαιρετικό για την υλοποίηση εφαρμογών όπου απαιτείται ανταλλαγή δεδομένων, όπως στην περίπτωση εφαρμογών γεωργίας ακριβείας ή IoT.

Ευκολία Χρήσης: Το Flask χρησιμοποιεί μια απλή και διαισθητική δομή αρχείων που διευκολύνει τον προγραμματισμό, ακόμη και για νέους χρήστες της Python.

Υποστήριξη Τεκμηρίωσης και Εκτεταμένη Κοινότητα: Το Flask διαθέτει εκτενή τεκμηρίωση και μια μεγάλη κοινότητα χρηστών, η οποία είναι πάντα διαθέσιμη για να παρέχει βοήθεια σε νέους προγραμματιστές.

Βασικές Έννοιες του Flask

Routing: Το Flask επιτρέπει τον ορισμό διαδρομών (routes) που αντιστοιχούν σε διαφορετικά URL της εφαρμογής. Αυτό επιτρέπει στους προγραμματιστές να καθορίσουν ποια λειτουργία ή δεδομένα θα επιστραφούν όταν γίνει πρόσβαση σε μια συγκεκριμένη διαδρομή.

```
from flask import Flask

app = Flask(__name__)

@app.route('/')
def home():
    return "Hello, Flask!"

if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True)
```

Στο παραπάνω παράδειγμα, ορίζεται μια βασική διαδρομή που επιστρέφει το μήνυμα "Hello, Flask!" όταν κάποιος επισκεφτεί την κεντρική σελίδα της εφαρμογής.

Template Rendering: Το Flask υποστηρίζει τη χρήση προτύπων για την απόδοση HTML σελίδων. Αυτό γίνεται μέσω του εργαλείου Jinja2, το οποίο επιτρέπει τη δυναμική δημιουργία HTML σελίδων με δεδομένα από την εφαρμογή.

```
from flask import Flask, render_template

app = Flask(__name__)

@app.route('/hello/<name>')
def hello(name):
    return render_template('hello.html', name=name)

if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True)
```

Flask και RESTful API

Η ανάπτυξη RESTful API είναι από τις πιο συνηθισμένες χρήσεις του Flask, ειδικά για εφαρμογές που περιλαμβάνουν την επικοινωνία μεταξύ συσκευών ή την αποστολή δεδομένων σε έναν διακομιστή. Για παράδειγμα, ένα Flask API μπορεί να δέχεται δεδομένα από αισθητήρες που είναι συνδεδεμένοι σε ένα Raspberry Pi και να τα αποθηκεύει σε μια βάση δεδομένων για ανάλυση.

```
from flask import Flask, request, jsonify

app = Flask(__name__)

data_store = []

@app.route('/api/data', methods=['POST'])
def add_data():
    data = request.get_json()
    data_store.append(data)
    return jsonify({'message': 'Data added successfully!'})

if __name__ == '__main__':
    app.run(debug=True)
```

ορίζουμε μια διαδρομή που δέχεται POST αιτήσεις για την αποθήκευση δεδομένων που στέλνονται από μια εξωτερική πηγή. Αυτή η προσέγγιση είναι εξαιρετική για εφαρμογές IoT ή γεωργίας ακριβείας όπου τα δεδομένα από αισθητήρες ή κάμερες πρέπει να αποθηκεύονται σε πραγματικό χρόνο για μελλοντική ανάλυση.

Επεκτασιμότητα του Flask

Το Flask μπορεί να συνδυαστεί με πολλές άλλες βιβλιοθήκες και τεχνολογίες για την επέκταση των δυνατοτήτων του. Κάποιες συχνά χρησιμοποιούμενες βιβλιοθήκες είναι οι:

Flask-SQLAlchemy: Για την αλληλεπίδραση με βάσεις δεδομένων SQL.

Flask-RESTful: Για τη διευκόλυνση της ανάπτυξης REST API με ένα πιο δομημένο τρόπο.

Flask-SocketIO: Για την υποστήριξη αλληλεπίδρασης σε πραγματικό χρόνο, χρησιμοποιώντας web sockets.

Συμβολή του Flask στις Εφαρμογές Γεωργίας Ακριβείας και IoT

Το Flask αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την ανάπτυξη εφαρμογών που περιλαμβάνουν τη συλλογή, την επεξεργασία και την παρουσίαση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Στο πλαίσιο της γεωργίας ακριβείας, το Flask επιτρέπει τη δημιουργία διακομιστών που συλλέγουν δεδομένα από αισθητήρες, αποθηκεύουν τα δεδομένα σε βάσεις δεδομένων και τα παρουσιάζουν σε διαχειριστές ή αγρότες μέσω web διεπαφής. Αυτό βοηθά στη λήψη γρήγορων και τεκμηριωμένων αποφάσεων για την καλύτερη διαχείριση των καλλιεργειών.

Το Flask αποτελεί μία από τις πιο ισχυρές και ευέλικτες επιλογές για την ανάπτυξη web εφαρμογών και API στην Python. Η ελαφριά φύση του, σε συνδυασμό με την ευκολία χρήσης και την ευελιξία, το καθιστά κατάλληλο για μια πληθώρα εφαρμογών, από μικρές προσωπικές εφαρμογές μέχρι σύνθετα συστήματα IoT και γεωργίας ακριβείας. Με την υποστήριξη που προσφέρει για την εύκολη σύνδεση συσκευών και την αλληλεπίδραση με βάσεις δεδομένων, το Flask είναι ιδανικό για έργα που απαιτούν γρήγορη ανάπτυξη και ευελιξία.[11]

3.1.1.3 MySQL και Python

Η MySQL είναι ένα από τα πιο δημοφιλή συστήματα διαχείρισης σχεσιακών βάσεων δεδομένων (RDBMS), το οποίο χρησιμοποιείται ευρέως για την αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων. Όταν πρόκειται για την ανάπτυξη εφαρμογών με τη γλώσσα Python, η MySQL προσφέρει ισχυρά εργαλεία για την αποθήκευση δεδομένων που προέρχονται από εφαρμογές, συσκευές IoT, ή αναλύσεις δεδομένων. Ο συνδυασμός Python και MySQL αποτελεί έναν εξαιρετικό τρόπο για την ανάπτυξη

εφαρμογών που απαιτούν αποθήκευση, ανάλυση και ανάκτηση δεδομένων, με την Python να λειτουργεί ως διεπαφή με την βάση δεδομένων.

Η Python μπορεί να συνδεθεί εύκολα με την MySQL μέσω διαφόρων βιβλιοθηκών, με τις πιο δημοφιλείς να είναι η MySQL Connector και η SQLAlchemy. Αυτές οι βιβλιοθήκες προσφέρουν ένα σύνολο εργαλείων που επιτρέπουν την εκτέλεση ερωτημάτων και τη διαχείριση δεδομένων με εύκολο και αποδοτικό τρόπο.

1. MySQL Connector: Είναι η επίσημη βιβλιοθήκη της MySQL για Python, η οποία παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για τη σύνδεση και την εκτέλεση ερωτημάτων σε μια MySQL βάση δεδομένων.
2. SQLAlchemy: Είναι μια βιβλιοθήκη ORM (Object Relational Mapping), που επιτρέπει την αλληλεπίδραση με την βάση δεδομένων μέσω αντικειμένων Python, καθιστώντας τον κώδικα πιο καθαρό και εύκολο στη συντήρηση.

Για να χρησιμοποιήσουμε τη βιβλιοθήκη MySQL Connector, πρέπει πρώτα να την εγκαταστήσουμε με την εντολή:

```
pip install mysql-connector-python
```

Παρακάτω βλέπουμε πώς μπορούμε να συνδεθούμε σε μια MySQL βάση δεδομένων, να δημιουργήσουμε έναν πίνακα και να εκτελέσουμε μερικές λειτουργίες εισαγωγής και ανάκτησης δεδομένων:

```
import mysql.connector

# Σύνδεση στη MySQL βάση δεδομένων
conn = mysql.connector.connect(
    host="localhost",
    user="your_username",
    password="your_password",
    database="your_database"
)

cursor = conn.cursor()

# Δημιουργία πίνακα
cursor.execute("""
CREATE TABLE IF NOT EXISTS sensors_data (
    id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
```

```

    sensor_name VARCHAR(255),
    value FLOAT,
    timestamp DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP
)
"""

# Εισαγωγή δεδομένων
sensor_name = "Temperature Sensor"
value = 23.5

insert_query = "INSERT INTO sensors_data (sensor_name, value) VALUES (%s, %s)"
cursor.execute(insert_query, (sensor_name, value))
conn.commit()

# Ανάκτηση δεδομένων
cursor.execute("SELECT * FROM sensors_data")
rows = cursor.fetchall()

for row in rows:
    print(row)

# Κλείσιμο της σύνδεσης
cursor.close()
conn.close()

```

Πλεονεκτήματα Χρήσης MySQL με Python

Η χρήση της MySQL με τη Python προσφέρει αρκετά πλεονεκτήματα για την ανάπτυξη εφαρμογών που απαιτούν αποθήκευση δεδομένων, όπως:

- ✓ **Επεκτασιμότητα και Αξιοπιστία:** Η MySQL είναι ένα αξιόπιστο και επεκτάσιμο RDBMS, το οποίο μπορεί να χειριστεί μεγάλα σύνολα δεδομένων, διασφαλίζοντας την αποδοτική αποθήκευση και διαχείρισή τους.
- ✓ **Εύκολη Ενσωμάτωση με Python:** Με τη βοήθεια βιβλιοθηκών όπως το MySQL Connector και το SQLAlchemy, η σύνδεση της Python με τη MySQL γίνεται εύκολη και ευέλικτη, επιτρέποντας την εκτέλεση SQL ερωτημάτων ή τη χρήση αντικειμενοστραφών μοντέλων.
- ✓ **Επεξεργασία Δεδομένων σε Πραγματικό Χρόνο:** Η Python, σε συνδυασμό με την MySQL, επιτρέπει τη συλλογή και αποθήκευση δεδομένων από εξωτερικούς αισθητήρες ή εφαρμογές

σε πραγματικό χρόνο. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας, όπου τα δεδομένα πρέπει να αποθηκεύονται για μελλοντική ανάλυση και λήψη αποφάσεων.

Η MySQL σε συνδυασμό με τη Python αποτελεί μια ισχυρή και ευέλικτη λύση για την αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων. Με εργαλεία όπως ο MySQL Connector και το SQLAlchemy, η διαδικασία ανάπτυξης γίνεται ευκολότερη, ενώ παράλληλα εξασφαλίζεται η αξιοπιστία και η επεκτασιμότητα των εφαρμογών. Η δυνατότητα αποθήκευσης και ανάλυσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη εφαρμογών, ειδικά σε τομείς όπως η γεωργία ακριβείας και το Internet of Things (IoT), όπου απαιτείται γρήγορη και τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων.[12]

3.2 Υλικό

3.2.1.1 Raspberry Pi 3

Το Raspberry Pi 3 είναι ένας μικρός, προσιτός και ευέλικτος υπολογιστής, σχεδιασμένος για εκπαιδευτική χρήση, καθώς και για πλήθος εφαρμογών στους τομείς του αυτοματισμού, της ρομποτικής, και των Internet of Things (IoT). Η τρίτη έκδοση του Raspberry Pi προσφέρει βελτιωμένες δυνατότητες σε σχέση με τους προκατόχους του, όπως μεγαλύτερη ταχύτητα επεξεργασίας, ενσωματωμένη συνδεσιμότητα Wi-Fi και Bluetooth, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές σε πραγματικό χρόνο.

Το Raspberry Pi αναπτύχθηκε από το Raspberry Pi Foundation, με έδρα στο Ηνωμένο Βασίλειο, και παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 2012. Ο αρχικός στόχος της ανάπτυξής του ήταν να προωθήσει τη διδασκαλία προγραμματισμού και υπολογιστικής στους νέους, δίνοντας τους τη δυνατότητα να έχουν πρόσβαση σε έναν οικονομικά προσιτό υπολογιστή που να επιτρέπει τη δημιουργία και τον πειραματισμό με διάφορες τεχνολογίες. Το Raspberry Pi 3, το οποίο κυκλοφόρησε το 2016, προσφέρει σημαντικά αναβαθμισμένες δυνατότητες και έχει διευρύνει τη χρήση του σε πολλές εφαρμογές, τόσο για εκπαιδευτικούς σκοπούς όσο και για επαγγελματικά έργα.

Χαρακτηριστικά του Raspberry Pi 3

Το Raspberry Pi 3 διαθέτει ισχυρότερη επεξεργαστική ισχύ και καλύτερη συνδεσιμότητα από τις προηγούμενες εκδόσεις. Τα κύρια χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν:

- **Επεξεργαστής:** Το Raspberry Pi 3 χρησιμοποιεί τον Broadcom BCM2837, έναν τετραπύρηνo επεξεργαστή ARM Cortex-A53 χρονισμένο στα 1.2GHz. Αυτό το χαρακτηριστικό το καθιστά περίπου 10 φορές πιο γρήγορο από το αρχικό Raspberry Pi.

- **Μνήμη:** Διαθέτει 1GB RAM LPDDR2, επαρκές για τη λειτουργία λειτουργικών συστημάτων Linux και την εκτέλεση διαφόρων εφαρμογών.
- **Συνδεσιμότητα:** Το Raspberry Pi 3 ενσωματώνει δυνατότητες Wi-Fi 802.11n και Bluetooth 4.1. Αυτή η ενσωματωμένη συνδεσιμότητα καθιστά εύκολη τη σύνδεση του Raspberry Pi στο διαδίκτυο και σε άλλες συσκευές, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές IoT.
- **Θύρες:** Περιλαμβάνει τέσσερις θύρες USB 2.0, μια θύρα HDMI, μια θύρα Ethernet, και έναν 40-pin GPIO. Οι θύρες GPIO επιτρέπουν τη σύνδεση με εξωτερικές συσκευές και αισθητήρες, καθιστώντας το Raspberry Pi ιδανικό για έργα αυτοματισμού.
- **Λειτουργικό Σύστημα:** Το Raspberry Pi 3 τρέχει το Raspberry Pi OS (παλαιότερα γνωστό ως Raspbian), το οποίο βασίζεται σε Linux. Μπορεί επίσης να τρέξει άλλες διανομές Linux, καθώς και λειτουργικά συστήματα όπως το Windows 10 IoT Core.

Χρήσεις και Εφαρμογές του Raspberry Pi 3

Η ευελιξία και οι δυνατότητες του Raspberry Pi 3 το καθιστούν κατάλληλο για πλήθος εφαρμογών:

1. **Εκπαιδευτικά Έργα:** Το Raspberry Pi 3 είναι ιδιαίτερα δημοφιλές στους τομείς της εκπαίδευσης και της διδασκαλίας προγραμματισμού. Η απλότητά του και η δυνατότητα σύνδεσης σε πληκτρολόγιο, οθόνη και ποντίκι επιτρέπουν τη χρήση του ως υπολογιστή για εκμάθηση προγραμματισμού σε γλώσσες όπως η Python και η Scratch.
2. **Αυτοματισμοί και Έξυπνες Συσκευές:** Το Raspberry Pi 3 χρησιμοποιείται σε έργα αυτοματισμού σπιτιού και έξυπνων συσκευών. Μπορεί να συνδεθεί με αισθητήρες για την παρακολούθηση παραμέτρων όπως θερμοκρασία, υγρασία και κίνηση, επιτρέποντας τη δημιουργία αυτοματοποιημένων λύσεων για την παρακολούθηση και διαχείριση των συσκευών στο σπίτι.
3. **Internet of Things (IoT):** Χάρη στις ενσωματωμένες δυνατότητες Wi-Fi και Bluetooth, το Raspberry Pi 3 είναι ιδανικό για εφαρμογές IoT. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κόμβος για τη συλλογή δεδομένων από άλλες συσκευές και τη μεταφορά τους σε κεντρικούς διακομιστές για περαιτέρω ανάλυση.
4. **Ανάλυση Δεδομένων και Γεωργία Ακριβείας:** Το Raspberry Pi 3 χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές γεωργίας ακριβείας για την παρακολούθηση των καλλιεργειών. Σε συνδυασμό με κάμερες όπως η Raspberry Pi NoIR Camera και αισθητήρες, μπορεί να συλλέξει δεδομένα σχετικά με την υγεία των φυτών και το περιβάλλον. Η γλώσσα προγραμματισμού Python, που υποστηρίζεται από το Raspberry Pi, επιτρέπει την εύκολη ανάλυση αυτών των δεδομένων.

5. Μικροί Διακομιστές και Δίκτυα: Το Raspberry Pi 3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μικρός διακομιστής (server) για να φιλοξενήσει ιστοσελίδες, να λειτουργήσει ως VPN server ή να διαχειριστεί άλλες υπηρεσίες. Λόγω της μικρής του κατανάλωσης και της προσιτής τιμής, είναι ιδανικό για χρήση σε περιβάλλοντα που δεν απαιτούν μεγάλες υπολογιστικές δυνατότητες.

Εφαρμογές του Raspberry Pi 3 σε Γεωργία Ακριβείας

Η γεωργία ακριβείας απαιτεί τη συνεχή παρακολούθηση παραμέτρων όπως η υγρασία, η θερμοκρασία, και η κατάσταση της βλάστησης. Το Raspberry Pi 3 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως κεντρικός ελεγκτής σε ένα τέτοιο σύστημα, λαμβάνοντας δεδομένα από αισθητήρες και κάμερες και αποστέλλοντάς τα σε έναν διακομιστή για ανάλυση. Με τη χρήση της Python και βιβλιοθηκών όπως η RPi.GPIO, το Raspberry Pi μπορεί να προγραμματιστεί για να αλληλεπιδρά με τους αισθητήρες και να αποθηκεύει τα δεδομένα σε μια βάση MySQL ή να τα αναλύει σε πραγματικό χρόνο. [13]

3.2.1.2 Camera Module NOIR 3 Wide

Η Raspberry Pi Camera Module NoIR 3 Wide είναι ένα νέο και ισχυρό εργαλείο που προορίζεται για έργα που απαιτούν λήψη εικόνων υψηλής ανάλυσης, ειδικά σε εφαρμογές που σχετίζονται με την παρακολούθηση της βλάστησης, τη φωτομετρία και την ανάλυση περιβάλλοντος. Η NoIR έκδοση της κάμερας, η οποία δεν διαθέτει υπέρυθρο φίλτρο, επιτρέπει τη λήψη του κοντινού υπέρυθρου (NIR) φωτός, καθιστώντας την ιδανική για εφαρμογές που σχετίζονται με την ανάλυση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών. Η ευρυγώνια (wide) έκδοση προσφέρει μεγαλύτερο πεδίο θέασης, δίνοντας τη δυνατότητα λήψης περισσότερων δεδομένων από μια μόνο εικόνα, γεγονός που βελτιώνει την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα στην παρακολούθηση καλλιεργειών.



Εικόνα 3.1: Raspberry Pi Camera Module NoIR 3 Wide

[https://thePIhut.com/cdn/shop/files/raspberry-pi-camera-module-3-noir-raspberry-pi-sc0875-43251885965507_1000x.jpg?v=1727496126]

Raspberry Pi Camera Module NoIR 3 Wide: Χαρακτηριστικά και Δυνατότητες

Η Raspberry Pi Camera Module NoIR 3 Wide είναι η τελευταία έκδοση της σειράς κάμερων Raspberry Pi NoIR και προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις στην ποιότητα εικόνας και τη λειτουργικότητα. Τα κύρια χαρακτηριστικά της κάμερας περιλαμβάνουν:

- ✓ **Υψηλή Ανάλυση:** Η κάμερα διαθέτει ανάλυση 12 megapixels, προσφέροντας υψηλής ποιότητας εικόνες με εξαιρετική λεπτομέρεια. Η υψηλή ανάλυση είναι σημαντική για εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια στην ανάλυση της εικόνας, όπως η γεωργία ακριβείας και η ανίχνευση ασθενειών στα φυτά.
- ✓ **Χωρίς Υπέρυθρο Φίλτρο (NoIR):** Η έκδοση NoIR της κάμερας δεν διαθέτει φίλτρο υπέρυθρου, επιτρέποντας την καταγραφή του κοντινού υπέρυθρου (NIR) φωτός. Αυτή η δυνατότητα είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάλυση της βλάστησης και την εκτίμηση της υγείας των φυτών μέσω δεικτών βλάστησης, όπως ο NDVI και ο GNDVI.
- ✓ **Ευρυγώνιος Φακός:** Η κάμερα NoIR 3 Wide διαθέτει ευρυγώνιο φακό, επιτρέποντας την κάλυψη μεγαλύτερου πεδίου θέασης. Αυτό είναι σημαντικό για εφαρμογές παρακολούθησης, καθώς επιτρέπει την καταγραφή μεγαλύτερης περιοχής, με αποτέλεσμα να χρειάζονται λιγότερες λήψεις για την κάλυψη μιας καλλιέργειας.
- ✓ **Συμβατότητα με Raspberry Pi:** Η κάμερα είναι πλήρως συμβατή με όλες τις εκδόσεις του Raspberry Pi, καθιστώντας την ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλό κόστος και ευκολία στην ανάπτυξη.
- ✓ **Υποστήριξη Εφαρμογών OpenCV:** Η κάμερα μπορεί να συνεργαστεί με την Python και το OpenCV για την επεξεργασία εικόνας και την ανάλυση δεδομένων, επιτρέποντας την αυτοματοποιημένη ανάλυση εικόνων.

Εφαρμογές της Raspberry Pi Camera Module NoIR 3 Wide στη Γεωργία

Η χρήση της Raspberry Pi Camera Module NoIR 3 Wide στη γεωργία ακριβείας προσφέρει πολλές δυνατότητες για την παρακολούθηση των καλλιεργειών και τη λήψη δεδομένων που βοηθούν τους γεωργούς στη λήψη αποφάσεων. Η κάμερα αυτή είναι ιδανική για εφαρμογές όπως η εκτίμηση της υγείας των φυτών, η ανίχνευση ασθενειών και η παρακολούθηση της ανάπτυξης της καλλιέργειας.

Υπολογισμός Δεικτών Βλάστησης (NDVI και GNDVI)

Οι δείκτες βλάστησης όπως ο NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) και ο GNDVI (Green NDVI) χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της υγείας των φυτών και την παρακολούθηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Η NoIR κάμερα μπορεί να καταγράψει το κοντινό υπέρυθρο (NIR) φως, το οποίο, σε συνδυασμό με το πράσινο ή το κόκκινο φως, επιτρέπει τον υπολογισμό των δεικτών αυτών. Οι εικόνες που λαμβάνονται με την κάμερα μπορούν να αναλυθούν με τη χρήση της Python και της βιβλιοθήκης OpenCV για τον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης, παρέχοντας πληροφορίες σχετικά με την υγεία των φυτών και την ανάγκη για παρεμβάσεις όπως η άρδευση ή η λίπανση.

Ανίχνευση Ασθενειών και Παρακολούθηση της Υγείας των Καλλιεργειών

Η NoIR 3 Wide κάμερα επιτρέπει την παρακολούθηση των καλλιεργειών και την ανίχνευση αλλαγών στο χρώμα και την ανακλαστικότητα των φύλλων, που μπορούν να υποδεικνύουν την παρουσία ασθενειών ή έλλειψη θρεπτικών στοιχείων. Με τη χρήση ευρυγώνιου φακού, η κάμερα μπορεί να καλύψει μεγάλη περιοχή και να παρέχει λεπτομερείς εικόνες που αναλύονται με λογισμικό ανάλυσης εικόνας. Αυτή η διαδικασία μπορεί να αυτοματοποιηθεί με τη χρήση αλγορίθμων μηχανικής μάθησης, βοηθώντας τους γεωργούς να εντοπίσουν προβλήματα σε πρώιμο στάδιο και να λάβουν διορθωτικά μέτρα.

Αυτόματη Παρακολούθηση της Ανάπτυξης των Καλλιεργειών

Η ευρυγώνια κάμερα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της ανάπτυξης των φυτών κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Η κάμερα καταγράφει εικόνες σε τακτά χρονικά διαστήματα, και οι εικόνες αυτές αποθηκεύονται και αναλύονται για να μετρηθούν οι αλλαγές στην

κάλυψη των φύλλων ή τη συνολική βλάστηση. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση των φυτών και την εκτίμηση της ανάπτυξης της καλλιέργειας χωρίς την ανάγκη επίσκεψης στο χωράφι.

Καταγραφή Δεδομένων για Ανάλυση και Πρόβλεψη

Οι εικόνες που λαμβάνονται με την NoIR 3 Wide κάμερα μπορούν να αποθηκευτούν και να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση και την πρόβλεψη αποδόσεων. Για παράδειγμα, με τη χρήση μοντέλων μηχανικής μάθησης και δεδομένων από δείκτες βλάστησης, οι γεωργοί μπορούν να εκτιμήσουν την απόδοση της καλλιέργειας και να βελτιστοποιήσουν τη διαχείριση των πόρων, όπως η χρήση λιπασμάτων και νερού.

Συμβολή της Raspberry Pi Camera Module NoIR 3 Wide στη Γεωργία Ακριβείας

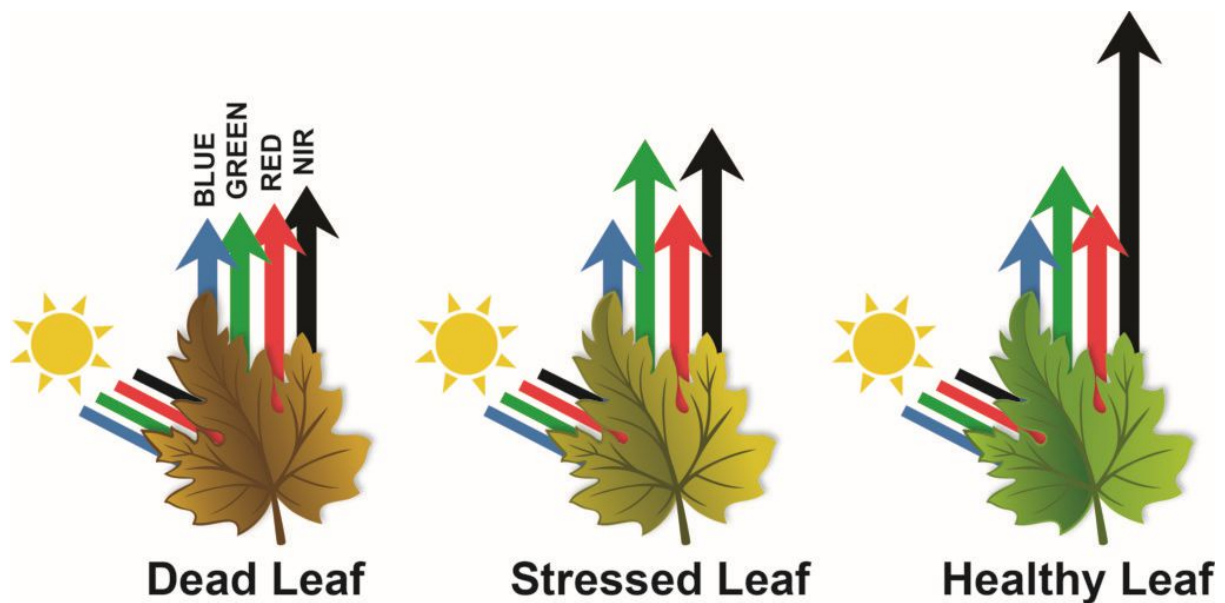
Η χρήση της Raspberry Pi Camera Module NoIR 3 Wide στην γεωργία ακριβείας αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την επίτευξη αποτελεσματικότερης και αποδοτικότερης καλλιέργειας. Η δυνατότητα λήψης υπέρυθρων εικόνων παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών, ενώ η ευρυγώνια λήψη επιτρέπει την κάλυψη μεγαλύτερης περιοχής με μικρότερο κόστος και λιγότερο εξοπλισμό. Με τη χρήση της κάμερας αυτής, οι γεωργοί μπορούν να ανιχνεύουν προβλήματα σε πρώιμο στάδιο και να λαμβάνουν διορθωτικά μέτρα, βελτιώνοντας την παραγωγικότητα και μειώνοντας το κόστος παραγωγής.[14-15]

Κεφάλαιο 4ο: Το σύστημα εκτίμησης του δείκτη NDVI

4.1 Τι είναι το NDVI;

Το NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται ευρέως στην παρατήρηση του εδάφους για την αξιολόγηση της βλάστησης και της υγείας των φυτών. Είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται ευρέως στη γεωργία, την περιβαλλοντική επιστήμη και την απομακρυσμένη παρατήρηση για την εκτίμηση της υγείας και της βλάστησης σε φυτά. Αναλύει τις διαφορές στην αντανάκλαση του φωτός από τα φυτά, αξιοποιώντας τις διαφορές στις φασματικές περιοχές του φωτός που απορροφάται και ανακλάται. Σχεδιάστηκε για να βοηθά στην ανίχνευση της πράσινης βιομάζας και της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτών. Ουσιαστικά, είναι ένα εργαλείο που αξιοποιεί δεδομένα από δορυφόρους ή άλλα συστήματα τηλεπισκόπησης για να καθορίσει πόσο "πράσινο" είναι ένα σημείο στην επιφάνεια της Γης.

Ο δείκτης αυτός βασίζεται στο φάσμα του ορατού και του υπέρυθρου φωτός, με έμφαση στο γεγονός ότι **τα υγιή φυτά αντανακλούν περισσότερο κοντινό υπέρυθρο φως (NIR) και απορροφούν περισσότερο κόκκινο φως**. Έτσι, το NDVI μάς δίνει έναν τρόπο να μετράμε αυτή τη διαφορά και να υπολογίζουμε την υγεία της βλάστησης σε μια περιοχή. Η τιμή του NDVI κυμαίνεται από -1 έως +1. Τιμές κοντά στο +1 υποδεικνύουν υγιή βλάστηση, ενώ τιμές κοντά στο -1 ή το 0 υποδηλώνουν περιοχές με νερό, αστικό ιστό ή έδαφος χωρίς βλάστηση.



Εικόνα 4.1: Ανάκλαση σε φύλλο

[<https://midopt.com/wp-content/uploads/2017/09/Leaves-Reflectance-cmyk-1024x511.jpg>]

Η κύρια αρχή πίσω από το NDVI είναι ότι οι υγιείς φυτικές περιοχές απορροφούν το κόκκινο φως και ανακλούν το κοντινό υπέρυθρο φως. Όταν τα φυτά είναι σε καλή κατάσταση, η αντανάκλαση τους στο NIR είναι μεγαλύτερη από το RED. Αντίθετα, τα νεκρά ή άρρωστα φυτά έχουν μειωμένη αντανάκλαση στο NIR.

Η αξία του NDVI κυμαίνεται από -1 έως 1:

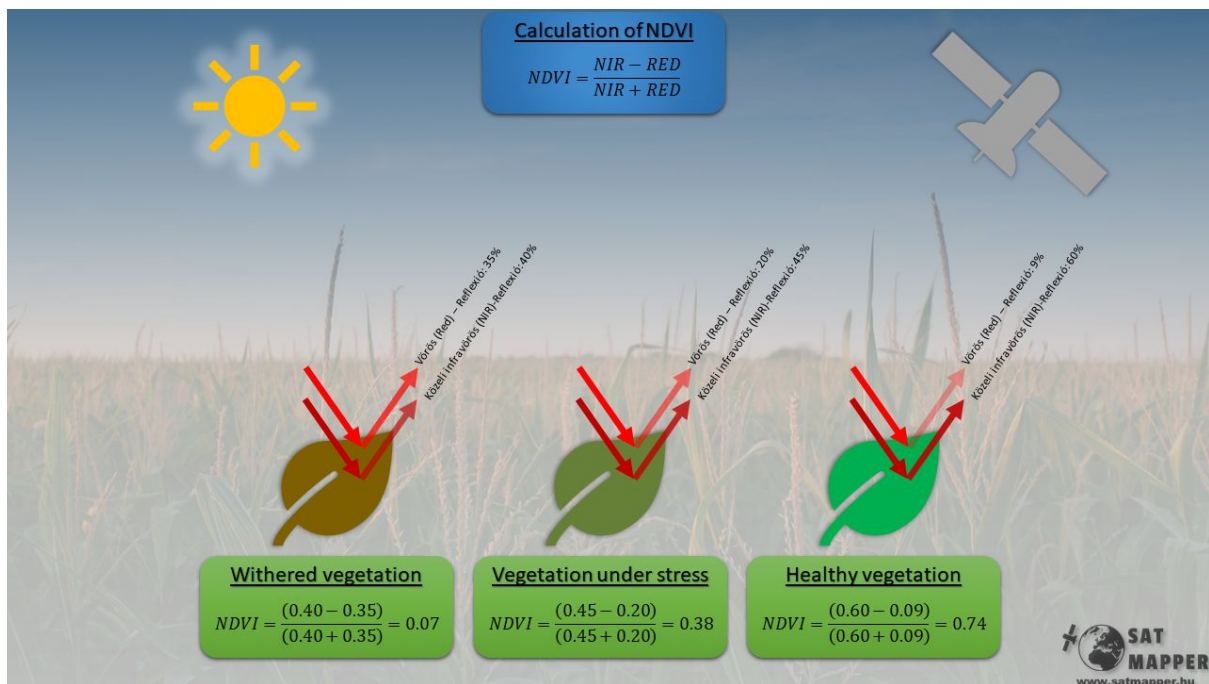
- **0.2 έως 0.5:** Μέτρια βλάστηση (χαμηλή πυκνότητα).
- **0.5 έως 0.7:** Πλούσια βλάστηση (υγιή φυτά).
- **0.7 έως 1:** Πολύ πλούσια βλάστηση (τροπικά δάση).

Ο τύπος για τον υπολογισμό του NDVI είναι ο εξής:

Όπου:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (\text{Εξ. 4.1})$$

- NIR: Η αντανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα. Τα υγιή φυτά αντανακλούν πολύ NIR, γεγονός που αυξάνει την τιμή του NDVI.
- RED: Η αντανάκλαση στο κόκκινο φάσμα. Τα φυτά απορροφούν το κόκκινο φως, επομένως οι τιμές του RED είναι χαμηλές για υγιή φυτά.



Εικόνα 4.2: Παράδειγμα NDVI

[https://www.satmapper.hu/wp-content/uploads/2021/05/NDVI_info_EN.png]

Η εξίσωση NDVI είναι κανονικοποιημένη, που σημαίνει ότι η τιμή του κυμαίνεται μεταξύ -1 και 1. Οι τιμές κοντά στο 0 υποδηλώνουν απουσία βλάστησης, ενώ οι θετικές τιμές υποδηλώνουν αυξανόμενη βλάστηση.

Η βασική ιδέα πίσω από αυτόν τον τύπο είναι η αντίθεση μεταξύ του κόκκινου φωτός που απορροφάται από τη χλωροφύλλη και του υπέρυθρου φωτός που αντανακλάται από τη δομή των φύλλων. Όταν τα φυτά είναι υγιή και γεμάτα χλωροφύλλη, απορροφούν περισσότερο κόκκινο φως και αντανακλούν περισσότερο κοντινό υπέρυθρο. Αυτή η διαφορά ανάκλασης μεταξύ των δύο φασμάτων είναι η βάση για τον υπολογισμό του NDVI.

Μπορούμε να δώσουμε και μια άλλη ερμηνεία των αποτελεσμάτων:

- **NDVI \approx +1:** Υψηλή φυτοκάλυψη, πολύ υγιή φυτά.
- **NDVI \approx 0:** Περιοχές χωρίς βλάστηση ή με νεκρή βλάστηση.
- **NDVI < 0:** Μη φυτικές επιφάνειες όπως νερό, πέτρες ή χιόνι.

Αυτό το μέγεθος είναι εξαιρετικά χρήσιμο σε εφαρμογές όπως η παρακολούθηση της γεωργίας, η απογραφή των δασών, αλλά και η εκτίμηση της περιβαλλοντικής υγείας σε ευρύτερες περιοχές. Το NDVI μπορεί επίσης να

εφαρμοστεί για την παρακολούθηση αλλαγών στη βλάστηση μέσα στον χρόνο, κάτι που το καθιστά σημαντικό εργαλείο για τους επιστήμονες και τους περιβαλλοντολόγους.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε τις εξής τιμές:

- NIR=0.8
- RED=0.2

Η υπολογισμένη τιμή NDVI θα είναι:

$$NDVI=(0.8-0.2)/(0.8+0.2)= 0.6/1.0=0.6$$

Αυτή η τιμή υποδηλώνει ότι η βλάστηση είναι πλούσια στην περιοχή που αναλύθηκε. [16-19]

4.2 Τι είναι το GNDVI;

Το GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται στην απομακρυσμένη παρατήρηση και τη γεωργία για την εκτίμηση της υγείας της βλάστησης, εστιάζοντας κυρίως στη σχέση ανάμεσα στο πράσινο φως και το κοντινό υπέρυθρο (NIR). Είναι μια παραλλαγή του NDVI και έχει σχεδιαστεί για να προσφέρει καλύτερη ευαισθησία στις αλλαγές της βλάστησης, ειδικά σε περιπτώσεις όπου η πυκνότητα της βλάστησης είναι υψηλή ή όταν οι συνθήκες φωτισμού είναι υποδεέστερες.

Ο GNDVI υπολογίζεται με τη χρήση του πράσινου φωτός αντί για το κόκκινο φως, το οποίο μπορεί να προσφέρει σημαντικά στοιχεία σχετικά με την κατάσταση των φυτών, καθώς η απορρόφηση του πράσινου φωτός από τα φυτά μπορεί να είναι πιο αντιπροσωπευτική της φωτοσύνθεσης και της γενικής υγείας τους.

Η μαθηματική σχέση για τον υπολογισμό του GNDVI είναι η εξής:

$$GNDVI = \frac{(NIR - GREEN)}{(NIR + GREEN)} \quad (Εξ. 4.2)$$

Όπου:

- NIR: Η αντανάκλαση στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα.
- GREEN: Η αντανάκλαση στο πράσινο φάσμα.

Η χρήση του πράσινου φωτός αντί του κόκκινου επιτρέπει στον GNDVI να αναδείξει τις υγιείς **περιοχές** βλάστησης πιο αποτελεσματικά. Τα υγιή φυτά ανακλούν υψηλότερα επίπεδα στο NIR και χαμηλότερα στο πράσινο, γεγονός που οδηγεί σε υψηλές τιμές GNDVI.

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε τις εξής τιμές:

- NIR=0.85
- GREEN=0.35

Η υπολογισμένη τιμή GNDVI θα είναι:

$$\text{GNDVI} = (0.85 - 0.35) / (0.85 + 0.35) = 0.50 / 1.20 \approx 0.42$$

Αυτή η τιμή υποδηλώνει ότι η βλάστηση είναι σε καλή κατάσταση.

Ενώ το NDVI χρησιμοποιεί το κόκκινο φως και το NIR για τον υπολογισμό του, ο GNDVI επιλέγει το πράσινο φως αντί του κόκκινου. Αυτή η αλλαγή μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιοχές όπου οι φυτικές κοινότητες είναι πυκνές, καθώς μπορεί να αποδώσει πιο ακριβείς τιμές για την υγεία της βλάστησης, ιδίως σε καλλιέργειες που έχουν **έντονη πράσινη χρωστική**. [20-22]

Η διαφοροποίηση μεταξύ NDVI και GNDVI και η χρησιμότητα του GNDVI σε πυκνές φυτικές κοινότητες βασίζεται σε επιστημονικές παρατηρήσεις και δεδομένα σχετικά με την απορρόφηση και αντανάκλαση του φωτός από τα φυτά.[23]

Για να αποδείξουμε ότι ο **GNDVI** (Green Normalized Difference Vegetation Index) μπορεί να αποδώσει πιο ακριβείς τιμές για την υγεία της βλάστησης, ειδικά σε πυκνές φυτικές κοινότητες, θα πρέπει να εξετάσουμε τη φυσική βάση της διαφοράς που προκύπτει από τη χρήση του πράσινου φάσματος αντί του κόκκινου.

Τα φυτά, ιδιαίτερα όταν είναι υγιή και πυκνά, έχουν την ικανότητα να απορροφούν τόσο κόκκινο όσο και πράσινο φως μέσω της χλωροφύλλης τους. **Σε πολύ πυκνές περιοχές, η απορρόφηση του κόκκινου φωτός από τη χλωροφύλλη μπορεί να είναι τόσο έντονη, που το NDVI μπορεί να μην καταγράφει σωστά την πραγματική διακύμανση της βιομάζας.** Το πράσινο φως, από την άλλη, απορροφάται σε μικρότερο βαθμό, και η αντανάκλαση του πράσινου φωτός μπορεί να προσφέρει έναν πιο ακριβή υπολογισμό για περιοχές με έντονη βλάστηση.

Γιατί το GNDVI μπορεί να είναι πιο ακριβές;

1. **Μειωμένη κορεσμός σε πυκνές φυτικές κοινότητες:** Σε πυκνές περιοχές, όπου η απορρόφηση του κόκκινου φάσματος από τη χλωροφύλλη είναι πολύ υψηλή, το NDVI τείνει να κορεστεί, με αποτέλεσμα να μην καταγράφει σωστά την υγεία της βλάστησης. Η χρήση του πράσινου φάσματος μέσω του GNDVI μπορεί να μειώσει αυτό το πρόβλημα, καθώς το πράσινο φως απορροφάται λιγότερο έντονα, δίνοντας έτσι μεγαλύτερη δυναμική στις μετρήσεις.
2. **Βελτίωση της ακρίβειας σε καλλιέργειες με έντονο πράσινο:** Ο GNDVI μπορεί να είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε καλλιέργειες όπου η πράσινη χρωστική ουσία (χλωροφύλλη) είναι πιο έντονη. Σε αυτές τις καλλιέργειες, η αντανάκλαση του πράσινου φάσματος είναι πιο αντιπροσωπευτική της συνολικής φωτοσυνθετικής δραστηριότητας.

Πολλές μελέτες που έχουν ερευνήσει τις διαφορές μεταξύ NDVI και GNDVI δείχνουν ότι ο GNDVI προσφέρει μεγαλύτερη ευαισθησία σε μεταβολές της χλωροφύλλης, ειδικά σε φυτά με έντονη βλάστηση και σε καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι και το ρύζι. [24]

Μια μελέτη από τους Gitelson και Merzlyak έδειξε ότι ο GNDVI παρουσιάζει καλύτερη συσχέτιση με την περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη σε σύγκριση με τον NDVI, ιδιαίτερα σε πυκνές φυτικές κοινότητες όπου η απορρόφηση του κόκκινου φωτός είναι κορεσμένη.

Σε πυκνές περιοχές: η ανάκλαση στο κόκκινο φάσμα είναι πολύ μικρή (δηλαδή, το **RED** είναι σχεδόν μηδενικό), ενώ η ανάκλαση στο πράσινο φάσμα παραμένει σημαντικά υψηλότερη.

Ας υποθέσουμε ότι για μια πολύ πυκνή περιοχή:

- Το **NIR** είναι υψηλό, όπως συνήθως συμβαίνει στα υγιή φυτά, καθώς αντανακλούν μεγάλο μέρος του κοντινού υπέρυθρου φωτός.
- Το **RED** είναι πολύ χαμηλό (π.χ., $RED \approx 0.05$), επειδή απορροφάται σχεδόν όλο από τη χλωροφύλλη.
- Το **GREEN** είναι υψηλότερο από το RED, αλλά εξακολουθεί να είναι χαμηλότερο από το NIR (π.χ., $GREEN \approx 0.3$).

Υπολογισμός του NDVI: 0.88

Εδώ, βλέπουμε ότι το NDVI είναι κοντά στο ανώτατο όριο, κάτι που σημαίνει ότι ο δείκτης "κορένεται" και δεν διαφοροποιεί καλά τις τιμές σε ακόμα πυκνότερες περιοχές.

Υπολογισμός του GNDVI: 0.45

Η τιμή του GNDVI είναι χαμηλότερη και παρέχει μεγαλύτερη δυναμική για διαφορές στη βλάστηση, καθώς το πράσινο φως δεν απορροφάται πλήρως από τη χλωροφύλλη, επιτρέποντας μεγαλύτερη ευαισθησία στον υπολογισμό της φυτοκάλυψης.

Από τα παραπάνω μαθηματικά, φαίνεται πως το **NDVI** "κορένεται" (δηλαδή πλησιάζει τη μέγιστη τιμή του) όταν το **RED** είναι πολύ χαμηλό, ενώ το **GNDVI** διατηρεί μεγαλύτερη δυναμική στις τιμές του, καθώς το **GREEN** απορροφάται λιγότερο από τη χλωροφύλλη. Αυτή η διαφοροποίηση καθιστά το GNDVI πιο κατάλληλο για την ανάλυση πυκνών φυτικών περιοχών.

4.3 Εφαρμογές GNDVI

Το **GNDVI** χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές που σχετίζονται με την παρακολούθηση της βλάστησης και της υγείας των φυτών, καθώς η ευαισθησία του στον εντοπισμό της χλωροφύλλης το καθιστά πολύτιμο εργαλείο για διάφορους τομείς.

1. Παρακολούθηση Γεωργικών Καλλιεργειών

Το **GNDVI** είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην παρακολούθηση της υγείας των γεωργικών καλλιεργειών, όπου η μέτρηση της χλωροφύλλης μπορεί να αποκαλύψει πληροφορίες για το επίπεδο της φωτοσύνθεσης και τη γενική κατάσταση της καλλιέργειας. Οι γεωργοί μπορούν να χρησιμοποιούν το GNDVI για να προσδιορίσουν πότε οι καλλιέργειες τους χρειάζονται περισσότερο νερό ή λίπασμα και να λάβουν αποφάσεις σχετικά με τον χρόνο συγκομιδής.

Σε καλλιέργειες καλαμποκιού και ρυζιού, όπου η πράσινη χρωστική είναι έντονη, το GNDVI παρέχει πιο ακριβείς μετρήσεις σε σύγκριση με το NDVI. [27]

2. Ανίχνευση Στρες στα Φυτά

Το **GNDVI** χρησιμοποιείται επίσης για την ανίχνευση της πίεσης που μπορεί να υφίστανται τα φυτά λόγω έλλειψης νερού, θρεπτικών συστατικών ή επιθέσεων από παράσιτα. Δεδομένου ότι το GNDVI αποτυπώνει αλλαγές στα επίπεδα της χλωροφύλλης, μπορεί να ανιχνεύσει νωρίτερα το στρες των φυτών σε σχέση με άλλους δείκτες.

Μελέτες δείχνουν ότι το GNDVI είναι πιο ευαίσθητο στις αλλαγές χλωροφύλλης λόγω στρες νερού σε σχέση με το NDVI, γεγονός που το καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο για την παρακολούθηση ξηρασίας [25].

3. Παρακολούθηση Δασικών Περιοχών

Το **GNDVI** μπορεί να εφαρμοστεί και στην παρακολούθηση της υγείας των δασών, ειδικά σε περιοχές με πυκνή βλάστηση. Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της κατάστασης της βιομάζας, του βαθμού της φωτοσύνθεσης, αλλά και των αλλαγών που μπορεί να προκύψουν λόγω φυσικών φαινομένων, όπως οι πυρκαγιές ή η αποδάσωση.

Το **GNDVI** έχει χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της βιομάζας στα δάση της Αμαζονίας και για την ανάλυση των επιπτώσεων της αποδάσωσης [26].

4. Εφαρμογές στη Γεωργία Ακριβείας

Η γεωργία ακριβείας βασίζεται σε τεχνολογίες τηλεπισκόπησης και δορυφορικών δεδομένων για την παρακολούθηση και βελτιστοποίηση της διαχείρισης των καλλιεργειών. Το **GNDVI** χρησιμοποιείται για τη χαρτογράφηση της υγείας των καλλιεργειών σε ευρεία κλίμακα και βοηθά τους γεωργούς να λαμβάνουν δεδομένα σχετικά με την εφαρμογή λιπασμάτων ή την άρδευση.

Σε καλλιέργειες σιταριού, το **GNDVI** χρησιμοποιήθηκε για την πρόβλεψη της απόδοσης των καλλιεργειών με μεγαλύτερη ακρίβεια σε σχέση με το **NDVI** [28].

Ποια μέθοδο χρησιμοποιήσαμε αρχικά

Στην εργασία αυτή αρχικά ακολουθήσαμε την μέθοδο που αναφέρεται από τον **Maik Basso etc (2019)** [1] όπως αναφέρεται στο **Section 3**.

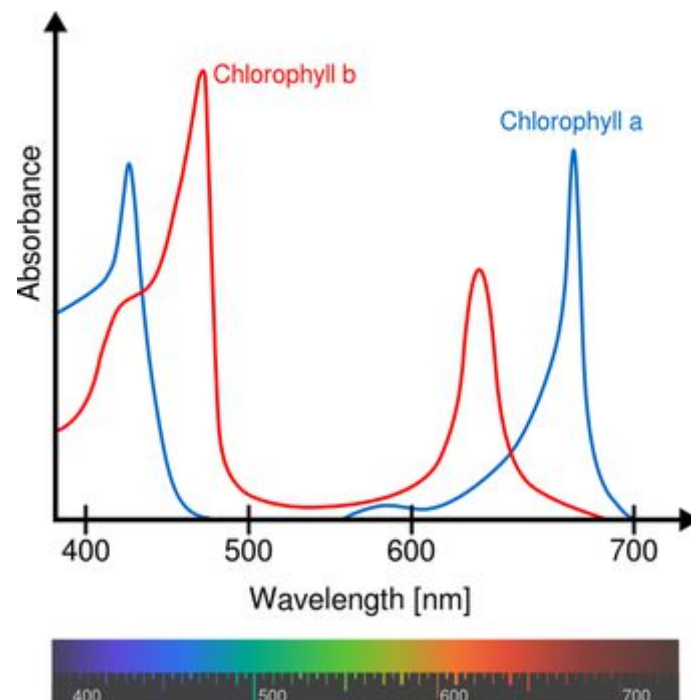
Η κάμερα Raspberry Pi NOIR V3 που χρησιμοποιείται για την καταγραφή των βίντεο έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με μια κοινή κάμερα RGB, χωρίς το υπέρυθρο φίλτρο, το οποίο επιτρέπει τη λήψη του υπέρυθρου καναλιού. Για τη σωστή καταγραφή υπέρυθρων εικόνων, το μπλε φίλτρο τζελ (Roscolux #2007 Storago Blue) τοποθετήθηκε μπροστά από την υπέρυθρη κάμερα. Το μπλε φίλτρο τζελ, σε συνδυασμό με την κάμερα Pi Noir, επιτρέπει την παρακολούθηση της υγείας των πράσινων φυτών, χρησιμοποιώντας τους δείκτες **GNDVI** και **NDVI**. [29]

Γιατί αυτό το μπλε φίλτρο?

Τα περισσότερα φύλλα έρχονται σε διάφορες αποχρώσεις του πράσινου. Αυτό οφείλεται σε χρωστικές ουσίες που ονομάζονται χλωροφύλλη. Το όνομα προέρχεται από τις ελληνικές λέξεις *chloros* (πράσινο)

και *phyllon* (φύλλο). Υπάρχουν έξι τύποι χλωροφύλλης στη φύση. Οι δύο κύριοι τύποι στα φυτά είναι η χλωροφύλλη α και η χλωροφύλλη β . [30]

Η χλωροφύλλη α απορροφά περισσότερο το ιώδες και το πορτοκαλί φως. Η χλωροφύλλη β απορροφά κυρίως το μπλε και το κίτρινο φως. Και οι δύο απορροφούν επίσης φως άλλων μηκών κύματος με μικρότερη ένταση. Ωστόσο, κανένα από αυτά δεν απορροφά το πράσινο, έτσι το φύλλο φαίνεται πράσινο επειδή αυτό το φως αντανακλάται στα μάτια μας αντί να απορροφηθεί από το φύλλο.



Εικόνα 4.3: Απορρόφηση Χλωροφύλλης α και β

[<https://www.mpsd.mpg.de/151607/original-1550060994.webp?t=eyJ3aWR0aCI6MzQxLCJmaWxlX2V4dGVuc2lvdil6IndlYnAiLCJxdWFsaXR5Ijo4NiwiY2JqX2lkIjoxNTE2MDd9--aa3874fe66d7a4aba1c62deb52ce882d8f88087f>]

Γενικά και τα δύο είδη χλωροφύλλης απορροφούν το μπλε και το κόκκινο φως, αλλά όχι το πράσινο ή το υπέρυθρο.

Χωρίς το μπλε φίλτρο

Όταν δεν υπάρχει μπλε φίλτρο, τα τρία κανάλια αντιπροσωπεύουν:

- **Κανάλι του NIR** (κόκκινο κανάλι): Καταγράφει την ένταση του κοντινού υπέρυθρου φωτός.
- **Κανάλι του πράσινου** (πράσινο κανάλι): Καταγράφει την ένταση του πράσινου φωτός.

- **Κανάλι του μπλε** (μπλε κανάλι): Καταγράφει την ένταση του μπλε φωτός.

Παράδειγμα τιμών για ένα pixel:

- NIR (κόκκινο): 153
- Πράσινο: 174
- Μπλε: 155

Με το μπλε φίλτρο τζελ

Όταν **υπάρχει το μπλε φίλτρο τζελ**, οι τιμές των pixels αλλάζουν ως εξής:

- **Κανάλι του NIR** (κόκκινο κανάλι): Παραμένει το ίδιο και συνεχίζει να καταγράφει την ένταση του κοντινού υπέρυθρου φωτός.
- **Κανάλι του πράσινου** (πράσινο κανάλι): Παραμένει επίσης το ίδιο, συνεχίζοντας να καταγράφει την ένταση του πράσινου φωτός.
- **Κανάλι του μπλε** (μπλε κανάλι): Το μπλε φως μπλοκάρεται και αντικαθίσταται από πληροφορίες του NIR. Συνεπώς, η τιμή στο μπλε κανάλι αντιπροσωπεύει την ένταση του NIR αντί για το μπλε φως.

Παράδειγμα τιμών για το ίδιο pixel με το μπλε φίλτρο:

- NIR (κόκκινο): 153
- Πράσινο: 174
- NIR (μπλε): Παρόμοιο με το κόκκινο κανάλι, π.χ., 153

Μπορούμε να χρησιμοποιούμε το μπλε φίλτρο για να καταγράψουμε περισσότερο NIR

Όταν τοποθετούμε το μπλε φίλτρο:

- Το **μπλε φως μπλοκάρεται**.
- Το μπλε κανάλι τώρα καταγράφει **κυρίως NIR**, αντί για μπλε φως.

Αυτό σημαίνει ότι αντί να έχουμε ένα μπλε κανάλι που περιέχει περιττές πληροφορίες για το μπλε φως, έχουμε δύο κανάλια που καταγράφουν NIR (το κόκκινο και το μπλε). Αυτό μας δίνει μια πιο σαφή εικόνα για το NIR φως, το οποίο είναι κρίσιμο για τον υπολογισμό της υγείας των φυτών.

Το βίντεο που καταγράφεται από την υπέρυθρη κάμερα Raspberry Pi NoIR αποτελείται από διαδοχικά καρέ ή εικόνες, τα οποία προσομοιώνουν την αίσθηση της κίνησης. Κάθε καταγεγραμμένο καρέ αποτελείται από κανάλια που αντιστοιχούν στο μπλε και πράσινο ορατό φάσμα φωτός, καθώς και στο

κοντινό υπέρυθρο (NIR). Ο αισθητήρας καταγράφει την εικόνα, λαμβάνοντας την ένταση του φωτός για τα αντίστοιχα κανάλια φάσματος την ίδια χρονική στιγμή t .

Το καταγεγραμμένο καρέ αναπαρίσταται από έναν πίνακα με μέγιστο πλάτος W και ύψος H , με την αρχή του συστήματος συντεταγμένων στην επάνω αριστερή γωνία του καρτεσιανού επιπέδου. Η συνάρτηση $f(x, y)$ επιστρέφει το εικονοστοιχείο (pixel) στις συντεταγμένες x και y , και η f είναι η τιμή πλάτους που καθορίζει την ποσότητα φωτός σε εκείνο το σημείο της ψηφιακής εικόνας. Το εικονοστοιχείο, που αναπαρίσταται είναι η μικρότερη οντότητα που συνθέτει μια εικόνα. Στο σύστημα κάμερας υπέρυθρων Raspberry Pi, ένα εικονοστοιχείο αναπαρίσταται από έναν διάνυσμα στο R^3 , όπου κάθε θέση αντιστοιχεί στην τιμή έντασης φωτός στα κανάλια του NIR, του πράσινου και του μπλε, αντίστοιχα. Κάθε κανάλι αναπαρίσταται από 8 bits, όπου η τιμή κυμαίνεται από 0 (η χαμηλότερη ένταση φωτός) έως 255 (η υψηλότερη ένταση φωτός) για εκείνο το σημείο.

4.4 Η πειραματική διάταξη

Η πειραματική διάταξη με χρήση του Raspberry Pi 3 και του Camera Module NoIR Wide φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 4.4 περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

1. **Raspberry Pi 3:** Χρησιμοποιείται ως ο υπολογιστής που εκτελεί τον κώδικα για τη λήψη και επεξεργασία των εικόνων. Είναι ένας μικρού μεγέθους υπολογιστής που παρέχει επαρκή υπολογιστική ισχύ για αυτή την εφαρμογή.
2. **Camera Module NoIR Wide:** Το NoIR (No InfraRed filter) camera module του Raspberry Pi είναι εξοπλισμένο με έναν ευρυγώνιο φακό και δεν έχει φίλτρο υπέρυθρου, κάτι που επιτρέπει τη λήψη εικόνων και στο ορατό αλλά και στο υπέρυθρο φάσμα. Αυτό το χαρακτηριστικό το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές όπως η ανάλυση βλάστησης με NDVI, καθώς μπορεί να συλλάβει και τη διαφορά στην αντανάκλαση του φωτός μεταξύ των υγιών και των μη υγιών φυτών.
3. **Σύνδεση:**
 - ο Το Camera Module συνδέεται απευθείας στο Raspberry Pi μέσω της θύρας κάμερας (CSI interface). Η τροφοδοσία παρέχεται από το Raspberry Pi.
4. **Power Bank** για την τροφοδοσία των συσκευών για φορητή λειτουργία.



Εικόνα 4.4: Πειραματική Διάταξη

Η Python χρησιμοποιείται μια γλώσσα προγραμματισμού όπως η Python για την ανάπτυξη κώδικα που επικοινωνεί με την κάμερα, λαμβάνει εικόνες και επεξεργάζεται τα δεδομένα και τα αποστέλλει στον server.

Πείραμα:

- Το Raspberry Pi, με συνδεδεμένη την κάμερα NoIR Wide, τοποθετείται σε σημείο με καλό οπτικό πεδίο προς την καλλιέργεια ή την περιοχή μελέτης.
- Λαμβάνονται εικόνες σε τακτά χρονικά διαστήματα, και μέσω του λογισμικού αναλύονται οι εικόνες για τη δημιουργία του NDVI δείκτη.
- Οι εικόνες μπορούν να αποστέλλονται σε έναν server για περαιτέρω επεξεργασία και αποθήκευση.

4.5 Αλγόριθμοι Υπολογισμού, Πειραματικές Μετρήσεις και Ανάλυση

4.5.1 Μέθοδος 1 - με Κανονικοποίηση σε μη greyscale εικόνα

Στο παρακάτω πραγματοποιούμε εκτίμηση της βλάστησης σε εικόνα που προέρχεται από μια κάμερα Raspberry Pi NoIR. Η διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. Φόρτωση και Ενίσχυση Ευκρίνειας:

- Φορτώνουμε την εικόνα που έχει ληφθεί με την κάμερα Raspberry Pi NoIR.

- Η ευκρίνεια της εικόνας μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας τεχνικές ενίσχυσης ευκρίνειας. Στο συγκεκριμένο κώδικα, η ενίσχυση ευκρίνειας έχει σχολιαστεί, αλλά μπορεί να ενεργοποιηθεί για να βελτιώσει την ποιότητα της εικόνας και να μειώσει τη θολότητα.

2. Μετατροπή της Εικόνας και Διαχωρισμός Καναλιών:

- Μετατρέπουμε την εικόνα σε πίνακα NumPy για να διευκολυνθεί ο χειρισμός των καναλιών RGB.
- Διαχωρίζουμε τα κανάλια της εικόνας: το κόκκινο κανάλι (R) αντιστοιχεί στο NIR (κοντινό υπέρυθρο φως) και το πράσινο κανάλι (G) αντιπροσωπεύει το πράσινο φως.

3. Ενίσχυση της Διαφοράς των Καναλιών:

- Ενισχύουμε τη διαφορά μεταξύ των καναλιών NIR και Green, αυξάνοντας την ένταση του καναλιού NIR και μειώνοντας την ένταση του καναλιού Green.
- Αυτή η ενίσχυση της διαφοράς βοηθά να γίνουν πιο εμφανείς οι διαφορές στην ανάκλαση του φωτός μεταξύ των υγιών και των μη υγιών φυτών, γεγονός που διευκολύνει την περαιτέρω ανάλυση.

4. Κανονικοποίηση Καναλιών:

- Κανονικοποιούμε τα κανάλια NIR και Green στο εύρος $[0, 1]$ για να εξασφαλίσουμε ομοιόμορφη κλίμακα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας.

5. Υπολογισμός του GNDVI:

- Υπολογίζουμε τον GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index), ο οποίος είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της υγείας της βλάστησης.
- Ο GNDVI υπολογίζεται με τη διαφορά του καναλιού NIR και του πράσινου καναλιού, διαιρούμενη με το άθροισμα των δύο καναλιών. Έχει προστεθεί ένας μικρός όρος (ϵ) για να αποφευχθεί η διαίρεση με το μηδέν.

6. Απεικόνιση του Αποτελέσματος:

- Η τελική εικόνα του GNDVI απεικονίζεται με χρωματική κλίμακα (RdYlGn), όπου οι διαφορές είναι ευδιάκριτες με βάση τα χρώματα. Οι υψηλές τιμές GNDVI (πιο πράσινες περιοχές) δείχνουν έντονη φυτική ανάπτυξη, ενώ οι χαμηλές τιμές (κίτρινες ή κόκκινες περιοχές) δείχνουν μη υγιή ή μη υπάρχουσα βλάστηση.

Ο σκοπός αυτής της ανάλυσης είναι η αξιολόγηση της βλάστησης, εντοπίζοντας περιοχές όπου η βλάστηση είναι υγιής και αναπτύσσεται, αλλά και περιοχές που ενδέχεται να χρειάζονται προσοχή ή

παρέμβαση, όπως βελτίωση της άρδευσης. Αυτή η προσέγγιση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στη γεωργία ακριβείας για την καλύτερη διαχείριση των πόρων.

```
from PIL import Image, ImageEnhance, ImageFilter

import numpy as np

import matplotlib.pyplot as plt

# Φόρτωσε την εικόνα από την Raspberry Pi NoIR

image_path = 'plants/photo_20240922-111113.jpg' # Αντικατάστησε με το πραγματικό μονοπάτι της εικόνας
image = Image.open(image_path)

# Ενίσχυση της ευκρίνειας της εικόνας

sharpness_enhancer = ImageEnhance.Sharpness(image)

image_sharp = sharpness_enhancer.enhance(4.0) # Αυξάνει την ευκρίνεια κατά 100%

# Εναλλακτικά, μπορείς να χρησιμοποιήσεις φίλτρο για να μειώσεις τη θολότητα

image_sharp = image.filter(ImageFilter.SHARPEN)

# Μετατροπή της εικόνας σε πίνακα NumPy για εύκολο χειρισμό

image_np = np.array(image)

# Διαχωρισμός των καναλιών (R, G, B) - Το R είναι το NIR, το G είναι το πράσινο φως

nir_channel = image_np[:, :, 0] # Κόκκινο κανάλι - NIR

green_channel = image_np[:, :, 1] # Πράσινο κανάλι - Green

# Ενίσχυση των καναλιών για να αυξήσουμε τη διαφορά

nir_channel = nir_channel * 2 # Ενίσχυση του καναλιού NIR

green_channel = green_channel * 0.5 # Μείωση του καναλιού Green

# Συνάρτηση για κανονικοποίηση καναλιών στο εύρος [0, 1]

def normalize_channel(channel):

    return (channel - np.min(channel)) / (np.max(channel) - np.min(channel) + 1e-7)
```

```

# Κανονικοποίηση των καναλιών NIR και Green
nir_normalized = normalize_channel(nir_channel)
green_normalized = normalize_channel(green_channel)

# Υπολογισμός του GNDVI με τα κανονικοποιημένα κανάλια
epsilon = 1e-7 # Για να αποφύγουμε διαίρεση με το 0
gndvi = -(nir_normalized - green_normalized) / (nir_normalized + green_normalized + epsilon)

# Εμφάνιση του αποτελέσματος του GNDVI
plt.imshow(gndvi, cmap='RdYlGn') # Χρωματική κλίμακα για να φαίνονται οι διαφορές
plt.colorbar()
plt.title('Normalized GNDVI Image')
plt.show()

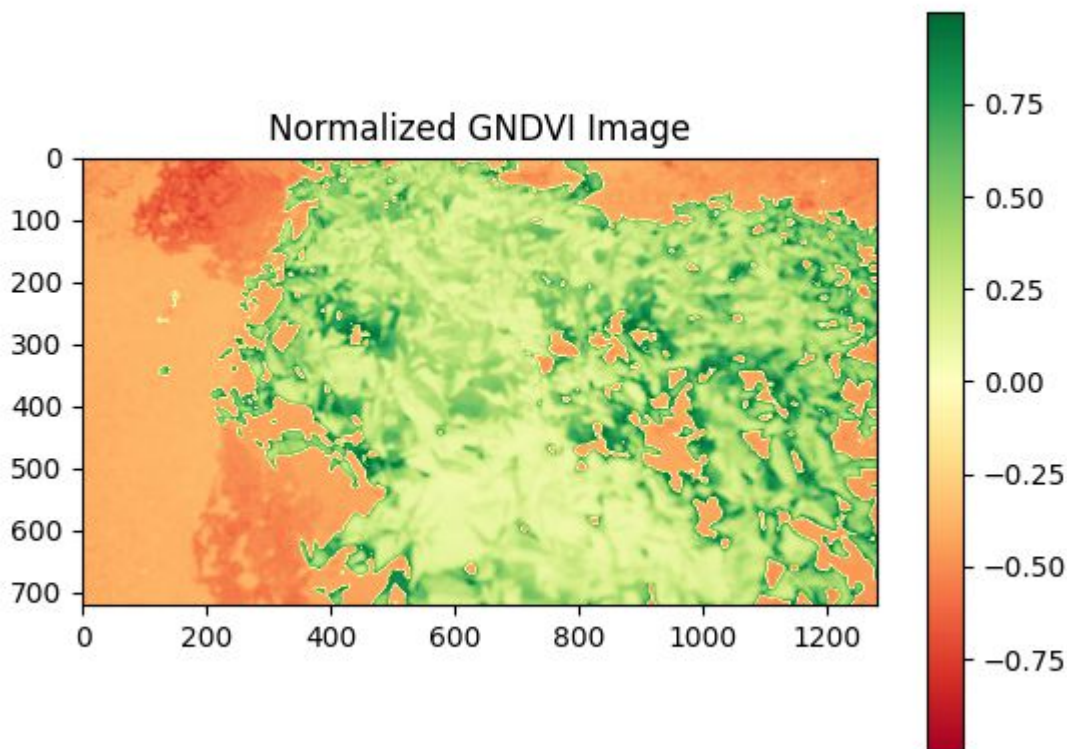
```

Η εικόνα που χρησιμοποιήθηκε είναι η Εικόνα 4.5.



Εικόνα 4.5: Φωτογραφία Δείγμα 1 – με μπλε φίλτρο

Η τελική εικόνα με το κανονικοποιημένο GNDVI παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.6.



Εικόνα 4.6: Τελική εικόνα με το κανονικοποιημένο GNDVI (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο) – μέθοδος 1

Η Εικόνα 4.6 οποία απεικονίζει τον δείκτη GNDVI, μας δίνει πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση της βλάστησης. Περιοχές που είναι έντονα πράσινες δείχνουν ότι τα φυτά έχουν καλή φωτοσυνθετική δραστηριότητα και υγεία. Η διαφορά μεταξύ των δύο εικόνων υποδεικνύει πώς η επεξεργασία δεδομένων (όπως ο GNDVI) μπορεί να ενισχύσει την ανάλυση της βλάστησης και να βοηθήσει στη λήψη αποφάσεων στη γεωργία ακριβείας.

Παρακάτω είναι η Python συνάρτηση που για τον υπολογισμό του ποσοστού της περιοχής με υψηλό GNDVI από μια εικόνα:

```
from PIL import Image
import numpy as np

def calculate_high_gndvi_percentage(image_path, nir_multiplier=2, green_multiplier=0.5, high_gndvi_threshold=0.3):
    # Φόρτωσε την εικόνα από την Raspberry Pi NoIR
    image = Image.open(image_path)
```

```

# Μετατροπή της εικόνας σε πίνακα NumPy για εύκολο χειρισμό
image_np = np.array(image)

# Διαχωρισμός των καναλιών (R, G, B) - Το R είναι το NIR, το G είναι το πράσινο φως
nir_channel = image_np[:, :, 0] # Κόκκινο κανάλι - NIR
green_channel = image_np[:, :, 1] # Πράσινο κανάλι - Green

# Ενίσχυση των καναλιών για να αυξήσουμε τη διαφορά
nir_channel = nir_channel * nir_multiplier # Ενίσχυση του καναλιού NIR
green_channel = green_channel * green_multiplier # Μείωση του καναλιού Green

# Συνάρτηση για κανονικοποίηση καναλιών στο εύρος [0, 1]
def normalize_channel(channel):
    return (channel - np.min(channel)) / (np.max(channel) - np.min(channel) + 1e-7)

# Κανονικοποίηση των καναλιών NIR και Green
nir_normalized = normalize_channel(nir_channel)
green_normalized = normalize_channel(green_channel)

# Υπολογισμός του GNDVI με τα κανονικοποιημένα κανάλια
epsilon = 1e-7 # Για να αποφύγουμε διαίρεση με το 0
gndvi = -(nir_normalized - green_normalized) / (nir_normalized + green_normalized + epsilon)

# Υπολογισμός του ποσοστού του υψηλού GNDVI
high_gndvi_percentage = np.sum(gndvi >= high_gndvi_threshold) / gndvi.size * 100

return high_gndvi_percentage

# Παράδειγμα χρήσης της συνάρτησης
image_path = 'plants/photo_20240922-111113.jpg' # Αντικατάστησε με το πραγματικό μονοπάτι της εικόνας
percentage = calculate_high_gndvi_percentage(image_path)

```

```
print(f"Το ποσοστό της περιοχής με υψηλό GNDVI είναι: {percentage:.2f}%")
```

Αποτέλεσμα:

Το ποσοστό της περιοχής με υψηλό GNDVI είναι: 33.26%

4.5.2 Μέθοδος 2 - με Προσομοίωση του Πράσινου Καναλιού σε greyscale εικόνα

```
import numpy as np
import cv2
import matplotlib.pyplot as plt

# Φόρτωσε την εικόνα σε αποχρώσεις του γκρι
image_path = 'plants/photo_20240922-111113.jpg'
image = cv2.imread(image_path, cv2.IMREAD_GRAYSCALE)

# Λάβε το ύψος και το πλάτος της εικόνας
H, W = image.shape
a = 200
# image = image[a:H-a, a:W-a] # Αν θες να κόψεις τις άκρες της εικόνας (εδώ σχολιασμένο)

# Ενημέρωση διαστάσεων μετά το κόψιμο
H, W = image.shape

# Εκτίμηση του πράσινου καναλιού (προσομοίωση)
green_band = image * 0.5 # Παράδειγμα προσαρμογής για να προσομοιώσουμε το πράσινο κανάλι

# Υπολογισμός του GNDVI
def calculate_gndvi(nir_band, green_band):
    nir_band = nir_band.astype(float)
    green_band = green_band.astype(float)
    gndvi = (nir_band - green_band) / (nir_band + green_band + 1e-10)
    return gndvi

nir_band = image # Χρήση της εικόνας ως κανάλι NIR
gndvi = calculate_gndvi(nir_band, green_band)
```

```

# Αποθήκευση των δεδομένων του GNDVI σε αρχείο txt
gndvi_txt_path = image_path + '_gndvi_data.txt'
np.savetxt(gndvi_txt_path, gndvi, fmt="%.20f")

# Υπολογισμός του μέσου GNDVI
lower_percentile = np.percentile(gndvi, 5) # Κατώτατο 5ο ποσοστιαίο
upper_percentile = np.percentile(gndvi, 95) # Ανώτατο 95ο ποσοστιαίο

# Φιλτράρισμα των τιμών του GNDVI για τον υπολογισμό του μέσου όρου
filtered_gndvi = gndvi[(gndvi > lower_percentile) & (gndvi < upper_percentile)]
gndvi_avg = np.mean(filtered_gndvi)

# Ορισμός ορίου για περιοχές με χαμηλό GNDVI (π.χ., 90% του μέσου GNDVI)
low_gndvi_threshold = gndvi_avg
print(f"Όριο χαμηλού GNDVI = {low_gndvi_threshold}")

# Δημιουργία μάσκας για περιοχές με χαμηλό GNDVI
low_gndvi_mask = gndvi < low_gndvi_threshold

# Εκτύπωση πληροφοριών σχετικά με τις περιοχές χαμηλού GNDVI
num_low_gndvi_pixels = np.sum(low_gndvi_mask)
print(f"Αριθμός pixels με χαμηλό GNDVI: {num_low_gndvi_pixels}")
print(f"Ποσοστό περιοχής με χαμηλό GNDVI: {100 * num_low_gndvi_pixels / (H * W):.2f}%")

# Δημιουργία της εικόνας επισήμανσης με σωστές διαστάσεις
highlighted_image = np.zeros((H, W, 3), dtype=np.uint8) # Δημιουργία έγχρωμης εικόνας με 3 κανάλια
highlighted_image[:, :, 1] = (gndvi * 255).astype(np.uint8) # Το πράσινο κανάλι για το GNDVI
highlighted_image[low_gndvi_mask] = [255, 150, 0] # Κόκκινο χρώμα για περιοχές με χαμηλό GNDVI

# Εμφάνιση της εικόνας επισήμανσης
plt.imshow(highlighted_image)
plt.title('Επισήμανση περιοχών με χαμηλό GNDVI')
plt.show()

# Αποθήκευση της εικόνας επισήμανσης
highlighted_image_path = image_path + '_colored.png'
cv2.imwrite(highlighted_image_path, highlighted_image)

```

Περιγραφή του Κώδικα:

1. Φόρτωση της εικόνας:

- Φορτώνουμε την εικόνα σε αποχρώσεις του γκρι (cv2.IMREAD_GRAYSCALE) από την κάμερα NoIR.

2. Εκτίμηση του πράσινου καναλιού:

- Για την προσομοίωση του πράσινου καναλιού, μειώνουμε την ένταση του καναλιού NIR στο 50%.

3. Υπολογισμός του GNDVI:

- Υπολογίζουμε τον δείκτη GNDVI με χρήση της συνάρτησης $(nir_band - green_band) / (nir_band + green_band + 1e-10)$.

4. Αποθήκευση του GNDVI:

- Αποθηκεύουμε τα δεδομένα του GNDVI σε αρχείο .txt.

5. Υπολογισμός του μέσου GNDVI:

- Φιλτράρουμε τις ακραίες τιμές (5% κάτω και πάνω) για να υπολογίσουμε τον μέσο όρο GNDVI.

6. Δημιουργία μάσκας και επισήμανση περιοχών χαμηλού GNDVI:

- Ορίζουμε ένα όριο για τις περιοχές με χαμηλό GNDVI και δημιουργούμε μια μάσκα που επισημαίνει αυτές τις περιοχές με κόκκινο χρώμα.

7. Αποθήκευση και εμφάνιση της εικόνας επισήμανσης:

- Η τελική εικόνα αποθηκεύεται και εμφανίζεται, με τις περιοχές χαμηλού GNDVI να είναι χρωματισμένες κόκκινες για να ξεχωρίζουν.

Η επιλογή του αλγορίθμου για την ανάλυση της εικόνας και τον υπολογισμό του GNDVI βασίζεται στην ανάγκη παρακολούθησης και εκτίμησης της υγείας της βλάστησης. Ακολουθούν οι βασικοί λόγοι που καθοδήγησαν αυτή την επιλογή:

Χρήση του Δείκτη GNDVI

Ο δείκτης GNDVI (Green Normalized Difference Vegetation Index) είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους δείκτες που χρησιμοποιούνται στη γεωργία ακριβείας για την αξιολόγηση της υγείας των φυτών. Ο GNDVI χρησιμοποιεί το κοντινό υπέρυθρο (NIR) και το πράσινο φως για τον υπολογισμό της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Τα υγιή φυτά απορροφούν το πράσινο φως και

αντανακλούν το NIR, γεγονός που καθιστά τον δείκτη αυτό εξαιρετικά χρήσιμο για την εκτίμηση της υγείας των φυτών.

Σκοπός της Ανάλυσης Εικόνας

Ο στόχος είναι να εντοπιστούν οι περιοχές με χαμηλή φωτοσυνθετική δραστηριότητα και να ενισχυθούν οι διαφορές μεταξύ υγιών και προβληματικών περιοχών. Αυτή η ανάλυση βοηθά στη λήψη αποφάσεων που σχετίζονται με την εφαρμογή λιπασμάτων ή την άρδευση, κάτι που είναι κρίσιμο για τη βελτίωση της αποδοτικότητας και της απόδοσης των καλλιεργειών.

Προσομοίωση του Πράσινου Καναλιού

Η εικόνα που λαμβάνεται από την κάμερα Raspberry Pi NoIR δεν περιέχει άμεσα πληροφορίες σχετικά με το πράσινο φως, καθώς είναι κυρίως ευαίσθητη στο υπέρυθρο φάσμα. Για αυτόν τον λόγο, προσομοιώνεται το πράσινο κανάλι, μειώνοντας την ένταση του αρχικού καναλιού κατά 50%. Αυτή η προσέγγιση παρέχει μια εκτίμηση του πράσινου καναλιού, καθιστώντας δυνατή την εκτέλεση του υπολογισμού GNDVI με τα δεδομένα που είναι διαθέσιμα.

Υπολογισμός του GNDVI

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί τη σχέση:

$$GNDVI = \frac{NIR - Green}{NIR + Green + \epsilon}$$

όπου το ϵ είναι ένας μικρός αριθμός για να αποφεύγουμε τη διαίρεση με το μηδέν. Ο δείκτης αυτός μας επιτρέπει να εντοπίσουμε περιοχές με χαμηλή βλάστηση (χαμηλό GNDVI) και περιοχές με έντονη βλάστηση (υψηλό GNDVI). Η απεικόνιση του δείκτη μας βοηθά να κατανοήσουμε πού υπάρχει πρόβλημα στη βλάστηση.

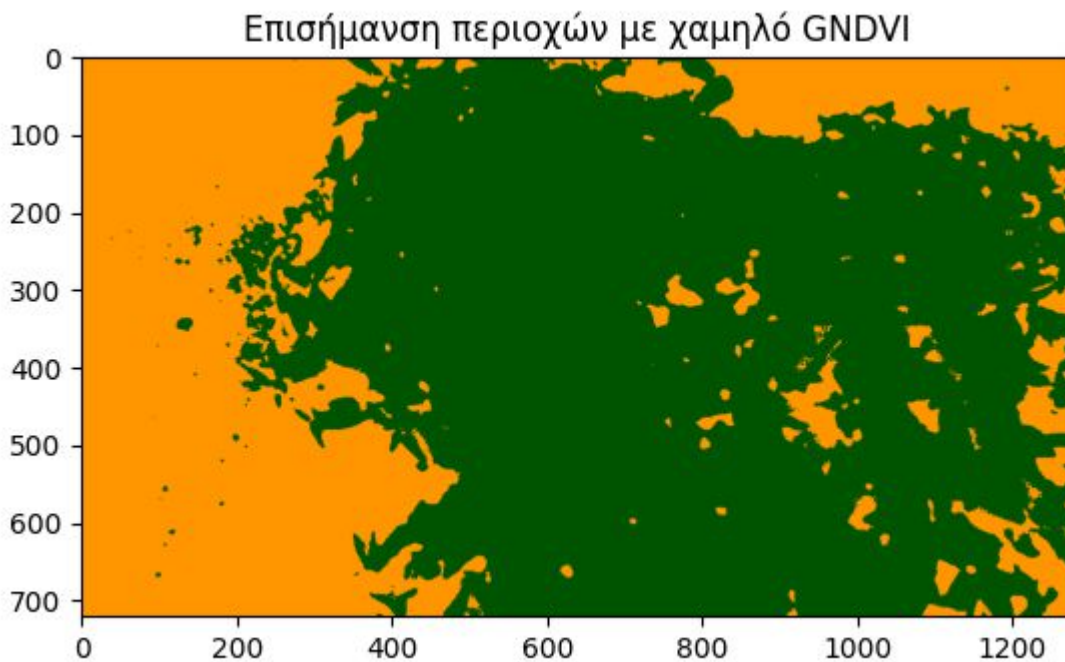
Αποθήκευση Δεδομένων και Επισήμανση Περιοχών Χαμηλού GNDVI

Η αποθήκευση των δεδομένων του GNDVI επιτρέπει τη διαχρονική μελέτη της βλάστησης σε συγκεκριμένες περιοχές. Επιπλέον, η δημιουργία μιας μάσκας για τις περιοχές με χαμηλό GNDVI διευκολύνει την απεικόνιση και την εντοπισμό των προβληματικών σημείων. Αυτές οι περιοχές επισημαίνονται με κόκκινο χρώμα στην εικόνα, ώστε να μπορούν εύκολα να αναγνωριστούν και να γίνουν οι κατάλληλες ενέργειες για τη βελτίωση της υγείας των φυτών.

Φιλτράρισμα Ακραίων Τιμών

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων, χρησιμοποιείται φιλτράρισμα του GNDVI, με την αφαίρεση των τιμών στα ανώτατα και κατώτατα ποσοστά (5% και 95%). Αυτό βοηθά στην εξάλειψη των ακραίων τιμών που ενδέχεται να προκαλούνται από θόρυβο ή μη χαρακτηριστικά στοιχεία, όπως σκιές ή άλλες επιδράσεις, και επιτρέπει την ακριβέστερη εκτίμηση.

Το αποτέλεσμα του κώδικα παρουσιάζεται στην Εικόνα



Εικόνα 4.7: Τελική εικόνα με μέθοδο 2 (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο)

Με αποτελέσματα

Όριο χαμηλού GNDVI = 0.333333333333146

Αριθμός pixels με χαμηλό GNDVI: 329210

Ποσοστό περιοχής με χαμηλό GNDVI: 35.72%

4.5.3 Ιστόγραμμα και box plot για τις τιμές του GNDVI

Παρατίθεται ο κώδικας Python για ένα ιστόγραμμα και ένα box plot για τις τιμές του GNDVI:

```
from PIL import Image
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Φόρτωσε την εικόνα από την Raspberry Pi NoIR
```

```

image_path = 'plants/photo_20240922-111113.jpg' # Αντικατάστησε με το πραγματικό μονοπάτι της εικόνας
image = Image.open(image_path)

# Μετατροπή της εικόνας σε πίνακα NumPy για εύκολο χειρισμό
image_np = np.array(image)

# Διαχωρισμός των καναλιών (R, G, B) - Το R είναι το NIR, το G είναι το πράσινο φως
nir_channel = image_np[:, :, 0] # Κόκκινο κανάλι - NIR
green_channel = image_np[:, :, 1] # Πράσινο κανάλι - Green

# Ενίσχυση των καναλιών για να αυξήσουμε τη διαφορά
nir_channel = nir_channel * 2 # Ενίσχυση του καναλιού NIR
green_channel = green_channel * 0.5 # Μείωση του καναλιού Green

# Συνάρτηση για κανονικοποίηση καναλιών στο εύρος [0, 1]
def normalize_channel(channel):
    return (channel - np.min(channel)) / (np.max(channel) - np.min(channel) + 1e-7)

# Κανονικοποίηση των καναλιών NIR και Green
nir_normalized = normalize_channel(nir_channel)
green_normalized = normalize_channel(green_channel)

# Υπολογισμός του GNDVI με τα κανονικοποιημένα κανάλια
epsilon = 1e-7 # Για να αποφύγουμε διαίρεση με το 0
gndvi = -(nir_normalized - green_normalized) / (nir_normalized + green_normalized + epsilon)

# Ιστόγραμμα του GNDVI
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.hist(gndvi.flatten(), bins=50, color='green', alpha=0.7, edgecolor='black')
plt.xlabel('Τιμή GNDVI')
plt.ylabel('Συχνότητα')
plt.title('Ιστόγραμμα των τιμών GNDVI')

```

```

plt.grid(axis='y', linestyle='--', alpha=0.7)

plt.show()

# Box Plot του GNDVI
plt.figure(figsize=(6, 8))
plt.boxplot(gndvi.flatten(), patch_artist=True, boxprops=dict(facecolor='lightgreen'))
plt.ylabel('Τιμή GNDVI')
plt.title('Box Plot των τιμών GNDVI')
plt.grid(axis='y', linestyle='--', alpha=0.7)

plt.show()

```

Περιγραφή του Κώδικα:

1. Φόρτωση και Προεπεξεργασία της Εικόνας:

- Φόρτωσε την εικόνα από την κάμερα NoIR χρησιμοποιώντας την PIL.
- Διαχώρισε τα κανάλια της εικόνας: το κόκκινο κανάλι (nir_channel) χρησιμοποιείται ως το κοντινό υπέρυθρο (NIR) και το πράσινο κανάλι (green_channel) ως πράσινο φως.

2. Κανονικοποίηση και Υπολογισμός GNDVI:

- Κανονικοποίησε τα κανάλια στο εύρος [0, 1] για να εξασφαλιστεί ομοιογένεια κατά τον υπολογισμό.
- Υπολόγισε τον δείκτη GNDVI για να εξάγεις τις τιμές που δείχνουν την υγεία της βλάστησης.

3. Δημιουργία Γραφημάτων:

- **Ιστόγραμμα** (plt.hist()): Δείχνει τη συχνότητα εμφάνισης των τιμών GNDVI.
- **Box Plot** (plt.boxplot()): Παρουσιάζει την κατανομή των τιμών GNDVI, τα τεταρτημόρια, και τις ακραίες τιμές.

Τα παραπάνω γραφήματα παρέχουν σημαντική πληροφορία για την κατανομή των τιμών του GNDVI:

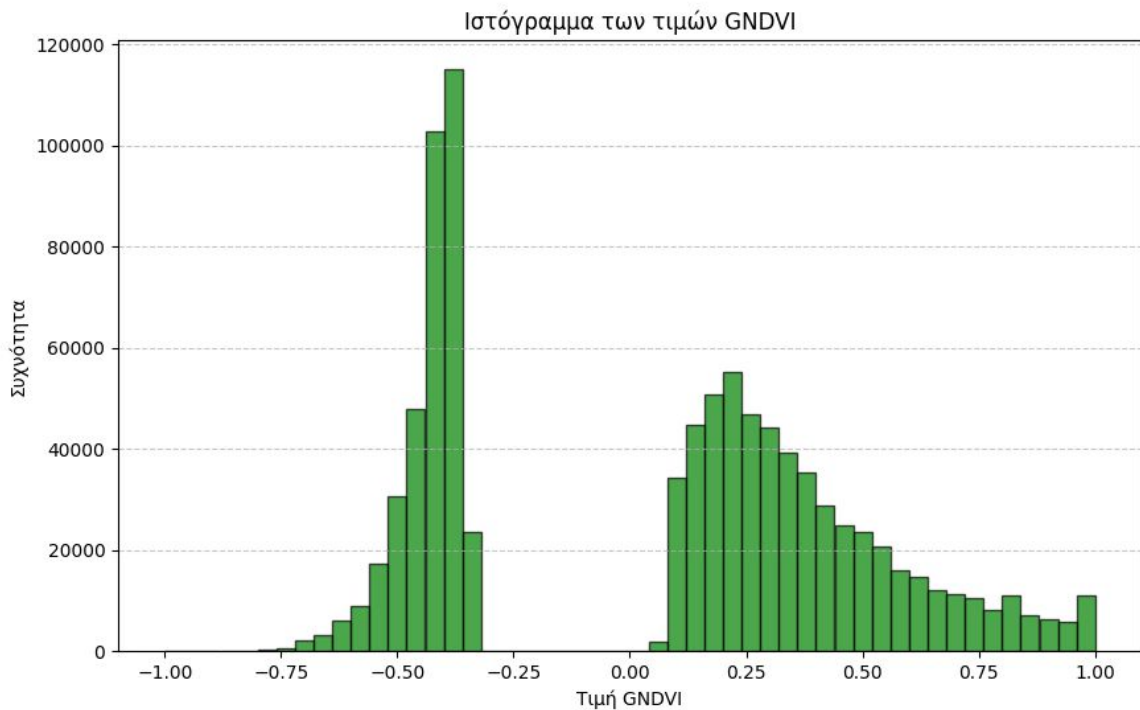
1. Ιστόγραμμα GNDVI:

- Το ιστόγραμμα δείχνει τη συχνότητα εμφάνισης των τιμών του GNDVI στην εικόνα.

- Παρατηρούμε δύο κορυφές, μία κοντά στις αρνητικές τιμές (γύρω στο -0.5) και μία στην περιοχή των θετικών τιμών. Αυτές οι κορυφές μπορεί να αντιπροσωπεύουν διαφορετικές κατηγορίες φυτών ή περιοχές με χαμηλή και υψηλή βλάστηση.

2. Box Plot GNDVI:

- Το box plot παρουσιάζει την κατανομή των τιμών GNDVI.
- Ο κόκκινος κεντρικός δείκτης δείχνει τη διάμεσο (median), ενώ το κουτί περιέχει το 50% των δεδομένων (1ο και 3ο τεταρτημόριο).
- Το εύρος των τιμών φτάνει από περίπου -1 έως 1, με τις περισσότερες τιμές να βρίσκονται μεταξύ -0.25 και 0.5, δείχνοντας τη γενική κατανομή της βλάστησης.



Εικόνα 4.8: Ιστόγραμμα των τιμών GNDI (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο)



Εικόνα 4.9: Box Plot των τιμών GNDVI (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο)

4.5.4 Ιστόγραμμα και box plot για τις τιμές του GNDVI

Ο παρακάτω κώδικας περιλαμβάνει:

1. **Ποσοστό Περιοχών με Υψηλό και Χαμηλό GNDVI:** Δημιουργία διαγράμματος πίτας για να παρουσιάσεις το ποσοστό της περιοχής που ανήκει σε υψηλό, μέτριο και χαμηλό GNDVI.
2. **Χωρικός Εντοπισμός Περιοχών Μειωμένης Απόδοσης:** Δημιουργία μιας εικόνας που επισημαίνει τις περιοχές με χαμηλό GNDVI, ώστε να εντοπιστούν οι περιοχές που πιθανώς χρειάζονται παρέμβαση.

```
from PIL import Image
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Φόρτωσε την εικόνα από την Raspberry Pi NoIR
```

```

image_path = 'plants/photo_20240922-111113.jpg' # Αντικατάστησε με το πραγματικό μονοπάτι της εικόνας
image = Image.open(image_path)

# Μετατροπή της εικόνας σε πίνακα NumPy για εύκολο χειρισμό
image_np = np.array(image)

# Διαχωρισμός των καναλιών (R, G, B) - Το R είναι το NIR, το G είναι το πράσινο φως
nir_channel = image_np[:, :, 0] # Κόκκινο κανάλι - NIR
green_channel = image_np[:, :, 1] # Πράσινο κανάλι - Green

# Ενίσχυση των καναλιών για να αυξήσουμε τη διαφορά
nir_channel = nir_channel * 2 # Ενίσχυση του καναλιού NIR
green_channel = green_channel * 0.5 # Μείωση του καναλιού Green

# Συνάρτηση για κανονικοποίηση καναλιών στο εύρος [0, 1]
def normalize_channel(channel):
    return (channel - np.min(channel)) / (np.max(channel) - np.min(channel) + 1e-7)

# Κανονικοποίηση των καναλιών NIR και Green
nir_normalized = normalize_channel(nir_channel)
green_normalized = normalize_channel(green_channel)

# Υπολογισμός του GNDVI με τα κανονικοποιημένα κανάλια
epsilon = 1e-7 # Για να αποφύγουμε διαίρεση με το 0
gndvi = -(nir_normalized - green_normalized) / (nir_normalized + green_normalized + epsilon)

# Καθορισμός ορίων για υψηλό, μέτριο και χαμηλό GNDVI
high_threshold = 0.5
low_threshold = -0.5

# Δημιουργία μάσκας για υψηλό, μέτριο και χαμηλό GNDVI
high_gndvi_mask = gndvi >= high_threshold

```

```

low_gndvi_mask = gndvi <= low_threshold

medium_gndvi_mask = (gndvi > low_threshold) & (gndvi < high_threshold)

# Υπολογισμός ποσοστών για κάθε κατηγορία GNDVI
total_pixels = gndvi.size

high_percentage = np.sum(high_gndvi_mask) / total_pixels * 100
medium_percentage = np.sum(medium_gndvi_mask) / total_pixels * 100
low_percentage = np.sum(low_gndvi_mask) / total_pixels * 100

# Δημιουργία διαγράμματος πίτας για την κατανομή των περιοχών GNDVI
labels = ['Υψηλό GNDVI', 'Μέτριο GNDVI', 'Χαμηλό GNDVI']
sizes = [high_percentage, medium_percentage, low_percentage]
colors = ['green', 'yellow', 'red']

plt.figure(figsize=(8, 8))
plt.pie(sizes, labels=labels, colors=colors, autopct='%1.1f%%', startangle=140, wedgeprops={'edgecolor': 'black'})
plt.title('Ποσοστό Περιοχών με Υψηλό, Μέτριο και Χαμηλό GNDVI')
plt.show()

# Δημιουργία εικόνας επισήμανσης των περιοχών με χαμηλό GNDVI
highlighted_image = np.zeros((gndvi.shape[0], gndvi.shape[1], 3), dtype=np.uint8)
highlighted_image[:, :, 1] = (gndvi * 255).astype(np.uint8) # Χρησιμοποίηση του πράσινου καναλιού για GNDVI
highlighted_image[low_gndvi_mask] = [255, 0, 0] # Χρωματισμός κόκκινο για περιοχές με χαμηλό GNDVI

# Εμφάνιση της εικόνας με τις περιοχές χαμηλού GNDVI
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.imshow(highlighted_image)
plt.title('Χωρικός Εντοπισμός Περιοχών με Χαμηλό GNDVI')
plt.axis('off')
plt.show()

# Αποθήκευση της εικόνας με τις περιοχές χαμηλού GNDVI

```

```
highlighted_image_path = image_path + '_highlighted_low_gndvi.png'  
Image.fromarray(highlighted_image).save(highlighted_image_path)
```

Περιγραφή του Κώδικα:

1. Καθορισμός Ορίων GNDVI:

- Καθορίζουμε τα όρια για τον χαρακτηρισμό των περιοχών σε υψηλό, μέτριο και χαμηλό GNDVI:
 - `high_threshold = 0.5`: Υψηλό GNDVI για τιμές μεγαλύτερες ή ίσες με 0.5.
 - `low_threshold = -0.5`: Χαμηλό GNDVI για τιμές μικρότερες ή ίσες με -0.5.
 - Οι ενδιάμεσες τιμές θεωρούνται "μέτριο" GNDVI.

2. Ποσοστό Περιοχών GNDVI:

- Υπολογίζουμε τα ποσοστά των περιοχών που ανήκουν σε υψηλό, μέτριο και χαμηλό επίπεδο GNDVI.
- Δημιουργούμε ένα **διάγραμμα πίτας** για να οπτικοποιήσουμε τα ποσοστά των περιοχών GNDVI.

3. Χωρικός Εντοπισμός Περιοχών με Χαμηλό GNDVI:

- Δημιουργούμε μια νέα εικόνα που επισημαίνει τις περιοχές με χαμηλό GNDVI με κόκκινο χρώμα.
- Εμφανίζουμε την εικόνα χρησιμοποιώντας το `matplotlib`.

4. Αποθήκευση της Εικόνας Επισήμανσης:

- Η εικόνα που επισημαίνει τις περιοχές με χαμηλό GNDVI αποθηκεύεται με όνομα που περιλαμβάνει `_highlighted_low_gndvi.png`.

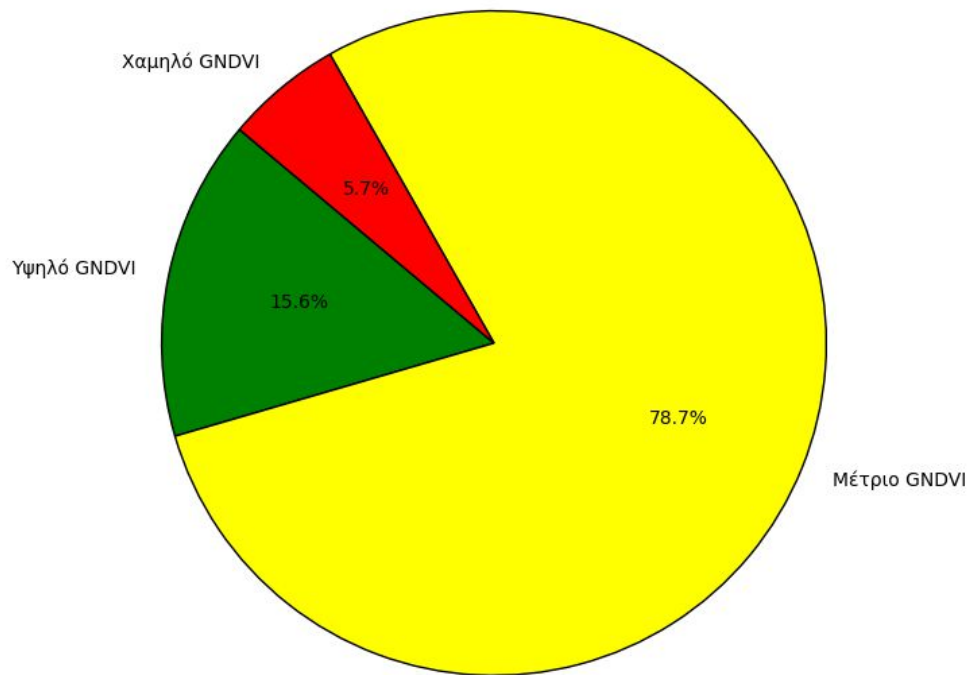
```
# Καθορισμός ορίων για υψηλό, μέτριο και χαμηλό GNDVI
```

```
high_threshold = 0.5
```

```
low_threshold = -0.5
```

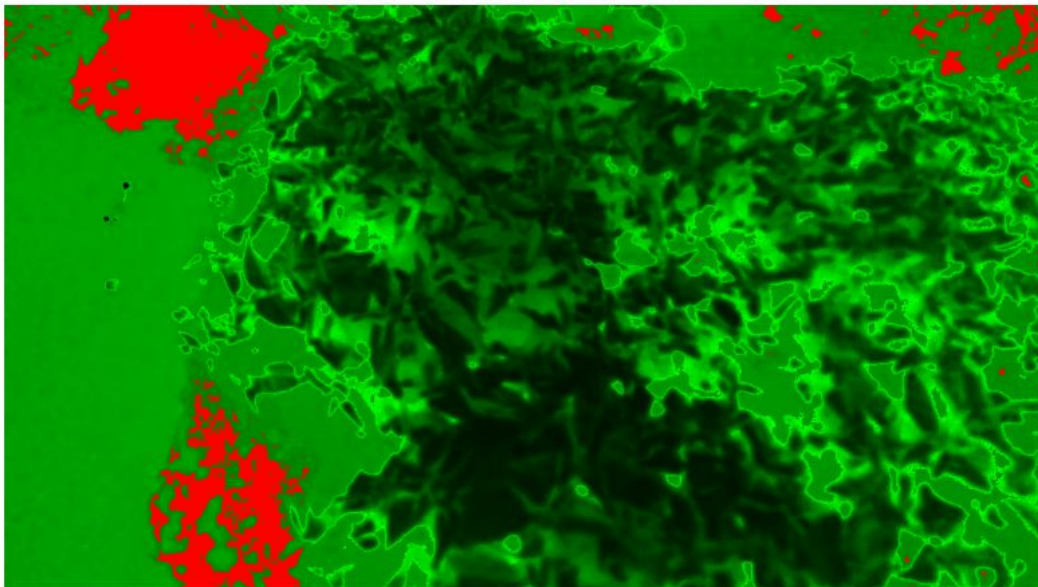
```
ψ
```

Ποσοστό Περιοχών με Υψηλό, Μέτριο και Χαμηλό GNDVI



Εικόνα 4.10: Ποσοστό Περιοχών με Υψηλό και Χαμηλό GNDVI

Χωρικός Εντοπισμός Περιοχών με Χαμηλό GNDVI



Εικόνα 4.11: Χωρικός Εντοπισμός Περιοχών Μειωμένης Απόδοσης (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο)

4.5.5 Heat map για τις περιοχές υψηλού GNDVI

Δημιουργία heat map για τις περιοχές υψηλού GNDVI, με τη βιβλιοθήκη matplotlib και τη συνάρτηση imshow() με μια κατάλληλη χρωματική κλίμακα. Το heat map θα απεικονίσει την ένταση των τιμών GNDVI, δίνοντας έμφαση στις περιοχές με υψηλό GNDVI.

Παρακάτω παρατίθεται ο κώδικας για τη δημιουργία heat map:

```
from PIL import Image
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# Φόρτωσε την εικόνα από την Raspberry Pi NoIR
image_path = 'plants/photo_20240922-111113.jpg' # Αντικατάστησε με το πραγματικό μονοπάτι της εικόνας
image = Image.open(image_path)

# Μετατροπή της εικόνας σε πίνακα NumPy για εύκολο χειρισμό
image_np = np.array(image)

# Διαχωρισμός των καναλιών (R, G, B) - Το R είναι το NIR, το G είναι το πράσινο φως
nir_channel = image_np[:, :, 0] # Κόκκινο κανάλι - NIR
green_channel = image_np[:, :, 1] # Πράσινο κανάλι - Green

# Ενίσχυση των καναλιών για να αυξήσουμε τη διαφορά
nir_channel = nir_channel * 2 # Ενίσχυση του καναλιού NIR
green_channel = green_channel * 0.5 # Μείωση του καναλιού Green

# Συνάρτηση για κανονικοποίηση καναλιών στο εύρος [0, 1]
def normalize_channel(channel):
    return (channel - np.min(channel)) / (np.max(channel) - np.min(channel) + 1e-7)

# Κανονικοποίηση των καναλιών NIR και Green
nir_normalized = normalize_channel(nir_channel)
green_normalized = normalize_channel(green_channel)
```

```

# Υπολογισμός του GNDVI με τα κανονικοποιημένα κανάλια
epsilon = 1e-7 # Για να αποφύγουμε διαίρεση με το 0
gndvi = -(nir_normalized - green_normalized) / (nir_normalized + green_normalized + epsilon)

# Καθορισμός ορίου για υψηλό GNDVI
high_threshold = 0

# Δημιουργία μάσκας για υψηλό GNDVI
high_gndvi_mask = gndvi >= high_threshold

# Δημιουργία heat map για περιοχές υψηλού GNDVI
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.imshow(high_gndvi_mask, cmap='hot', interpolation='nearest')
plt.title('Heat Map Περιοχών Υψηλού GNDVI')
plt.colorbar(label='Ένταση')
plt.axis('off')
plt.show()

```

Περιγραφή του Κώδικα:

1. Υπολογισμός του GNDVI:

- Υπολογίζουμε τον δείκτη GNDVI με βάση το κανάλι NIR και το κανάλι Green, τα οποία έχουν υποστεί ενίσχυση για καλύτερη διάκριση.

2. Δημιουργία Μάσκας για Υψηλό GNDVI:

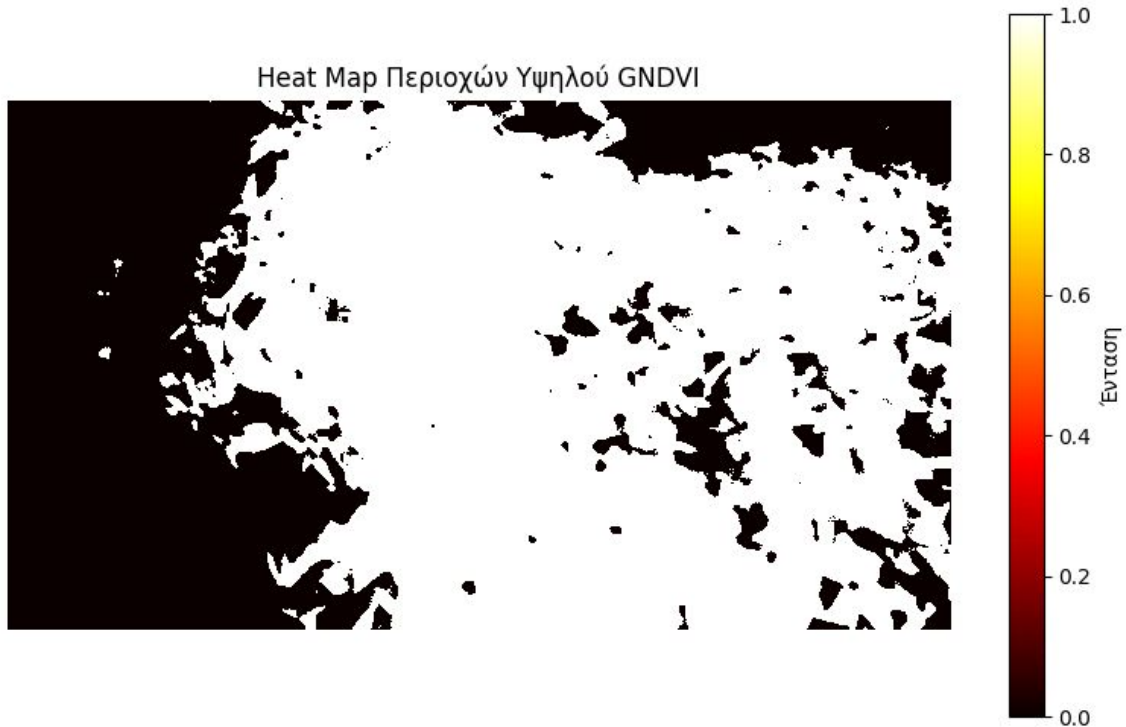
- Ορίζουμε το `high_threshold = 0.5` για να δημιουργήσουμε μια μάσκα (`high_gndvi_mask`) που περιέχει τιμές `True` για τα σημεία με GNDVI πάνω από αυτό το όριο. Αυτή η μάσκα αναδεικνύει τις περιοχές με υψηλή φυτική δραστηριότητα.

3. Δημιουργία Heat Map:

- Χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση `plt.imshow()` με την κλίμακα `cmap='hot'` για να δημιουργήσουμε το heat map των περιοχών με υψηλό GNDVI.
- Το heat map δείχνει με χρώματα τις περιοχές που έχουν υψηλό GNDVI, βοηθώντας στον εντοπισμό των σημείων με την πιο έντονη φυτική ανάπτυξη.

- Η `colorbar()` προστίθεται για να παρέχει μια αναφορά στην ένταση του GNDVI.

Και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 4.12: Heat map για τις περιοχές υψηλού GNDVI (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο)

4.5.6 3D γράφημα του GNDVI

3D γράφημα του GNDVI, με τη βιβλιοθήκη `matplotlib` και τη συνάρτηση `plot_surface()` από το πακέτο `Axes3D`. Το 3D γράφημα είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για να δείξεις την κατανομή των τιμών GNDVI στον χώρο και να δώσεις μια καλύτερη οπτική για την ανάλυση της βλάστησης.

Παρακάτω παρατίθεται ο κώδικας για τη δημιουργία ενός 3D γραφήματος του GNDVI:

```
from PIL import Image  
  
import numpy as np  
  
import matplotlib.pyplot as plt
```

```

from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Φόρτωσε την εικόνα από την Raspberry Pi NoIR
image_path = 'plants/photo_20240922-111113.jpg' # Αντικατάστησε με το πραγματικό μονοπάτι της εικόνας
image = Image.open(image_path)

# Μετατροπή της εικόνας σε πίνακα NumPy για εύκολο χειρισμό
image_np = np.array(image)

# Διαχωρισμός των καναλιών (R, G, B) - Το R είναι το NIR, το G είναι το πράσινο φως
nir_channel = image_np[:, :, 0] # Κόκκινο κανάλι - NIR
green_channel = image_np[:, :, 1] # Πράσινο κανάλι - Green

# Ενίσχυση των καναλιών για να αυξήσουμε τη διαφορά
nir_channel = nir_channel * 2 # Ενίσχυση του καναλιού NIR
green_channel = green_channel * 0.5 # Μείωση του καναλιού Green

# Συνάρτηση για κανονικοποίηση καναλιών στο εύρος [0, 1]
def normalize_channel(channel):
    return (channel - np.min(channel)) / (np.max(channel) - np.min(channel) + 1e-7)

# Κανονικοποίηση των καναλιών NIR και Green
nir_normalized = normalize_channel(nir_channel)
green_normalized = normalize_channel(green_channel)

# Υπολογισμός του GNDVI με τα κανονικοποιημένα κανάλια
epsilon = 1e-7 # Για να αποφύγουμε διαίρεση με το 0
gndvi = -(nir_normalized - green_normalized) / (nir_normalized + green_normalized + epsilon)

# Δημιουργία 3D γραφήματος του GNDVI
x = np.arange(gndvi.shape[1])
y = np.arange(gndvi.shape[0])

```

```
x, y = np.meshgrid(x, y)

fig = plt.figure(figsize=(12, 8))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.plot_surface(x, y, gndvi, cmap='viridis', edgecolor='none')
ax.set_title('3D Γράφημα του GNDVI')
ax.set_xlabel('Άξονας X (Πλάτος Εικόνας)')
ax.set_ylabel('Άξονας Y (Ύψος Εικόνας)')
ax.set_zlabel('Τιμή GNDVI')
plt.show()
```

1. Υπολογισμός του GNDVI:

- Υπολογίζεται το GNDVI χρησιμοποιώντας το κανάλι NIR και το κανάλι Green, αφού προηγουμένως τα έχουμε κανονικοποιήσει.

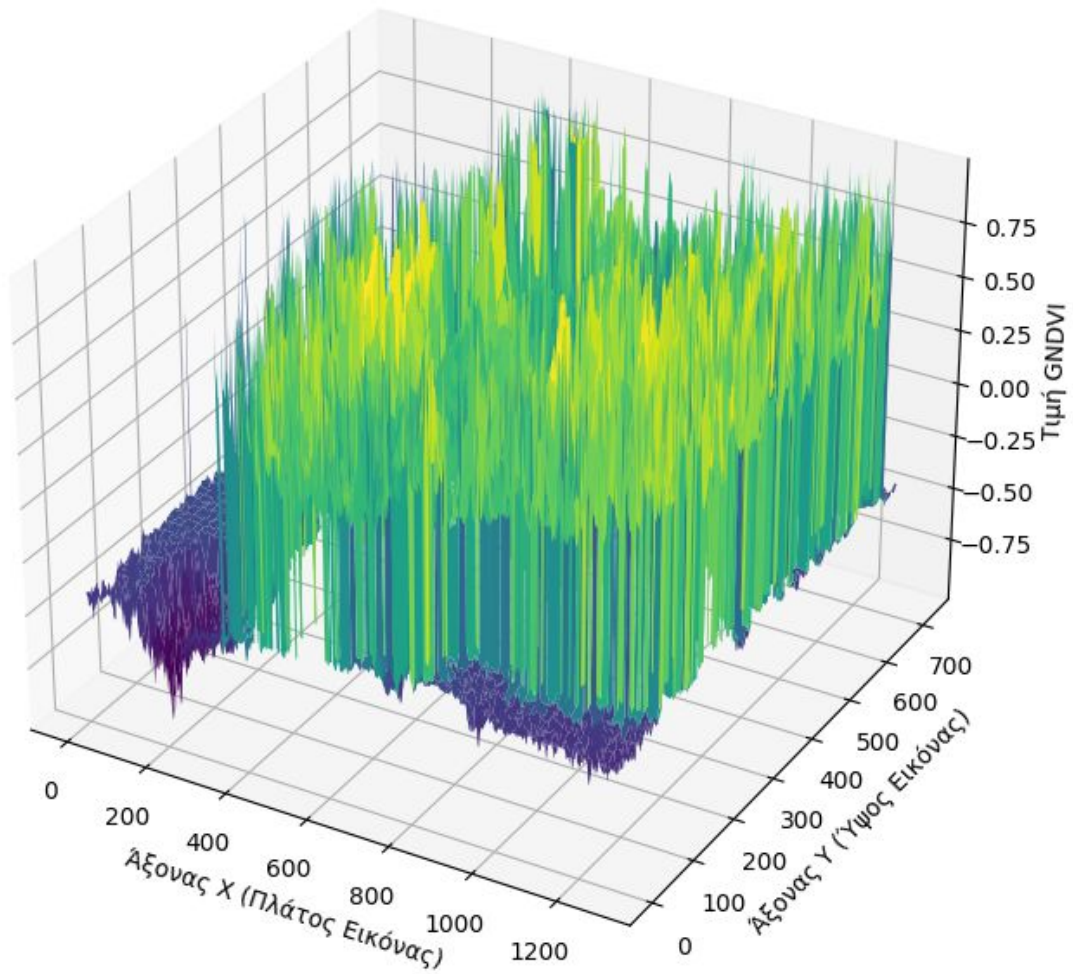
2. Δημιουργία 3D Γραφήματος:

- Για να δημιουργηθεί ένα 3D γράφημα του GNDVI, χρησιμοποιούμε τη συνάρτηση `meshgrid()` για να δημιουργήσουμε τις συντεταγμένες `x` και `y`.
- Με τη χρήση της `plot_surface()` από την `mpl_toolkits.mplot3d`, δημιουργούμε την επιφάνεια του GNDVI με χρωματική κλίμακα (`cmap='viridis'`) για να αναδειχθούν οι διαφορές στις τιμές.
- Οι άξονες `x` και `y` αντιπροσωπεύουν τις συντεταγμένες της εικόνας (πλάτος και ύψος), ενώ ο άξονας `z` αντιπροσωπεύει τις τιμές του GNDVI.

Το 3D γράφημα θα σε βοηθήσει να δώσεις μια τρισδιάστατη προοπτική των διαφορών στην ένταση της βλάστησης, επιτρέποντάς σου να εντοπίσεις περιοχές με υψηλή ή χαμηλή φυτική δραστηριότητα πιο εύκολα.

Και το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα:

3D Γράφημα του GNDVI



Εικόνα 4.13: 3D γράφημα του GNDVI (Δείγμα 1 με μπλε φίλτρο)

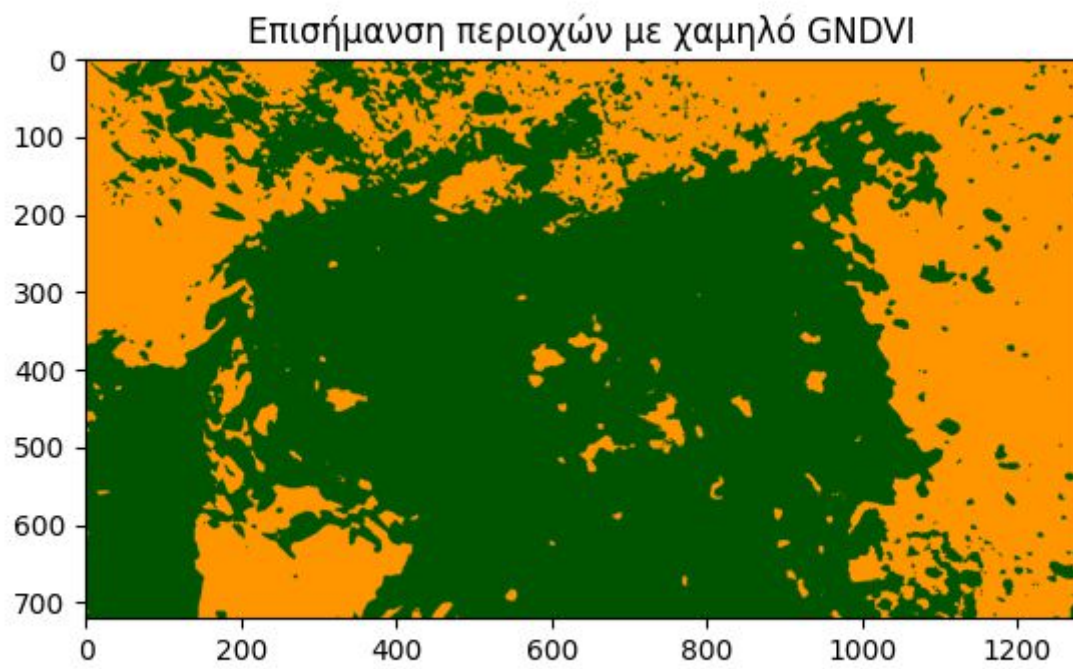
4.5.7 Διάφορα δείγματα

4.5.7.1 Δείγμα 2

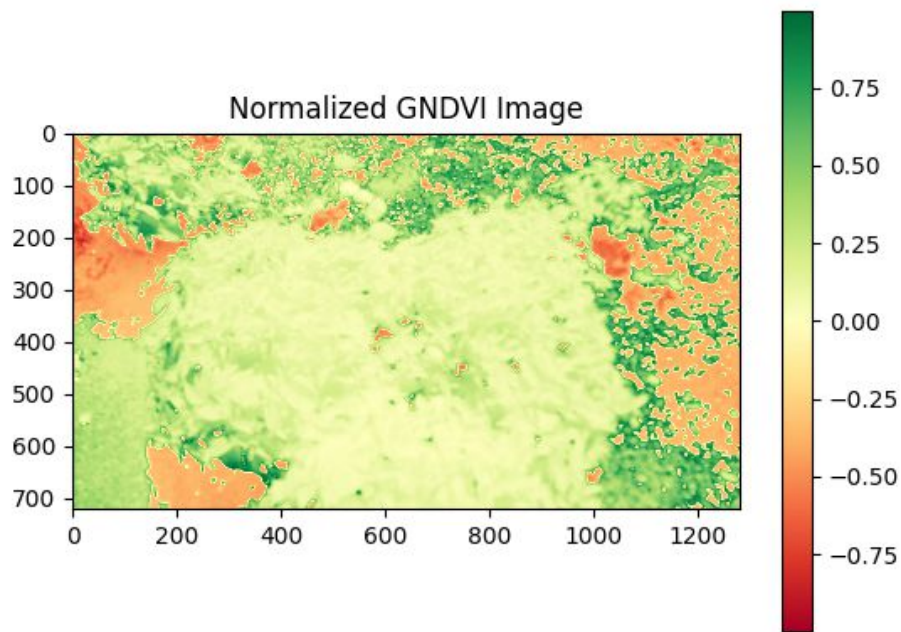
Αυτό το δείγμα είναι σε κοντινή απόσταση 0.5 μέτρα χωρίς χρήση μπλε φίλτρο.



(α)

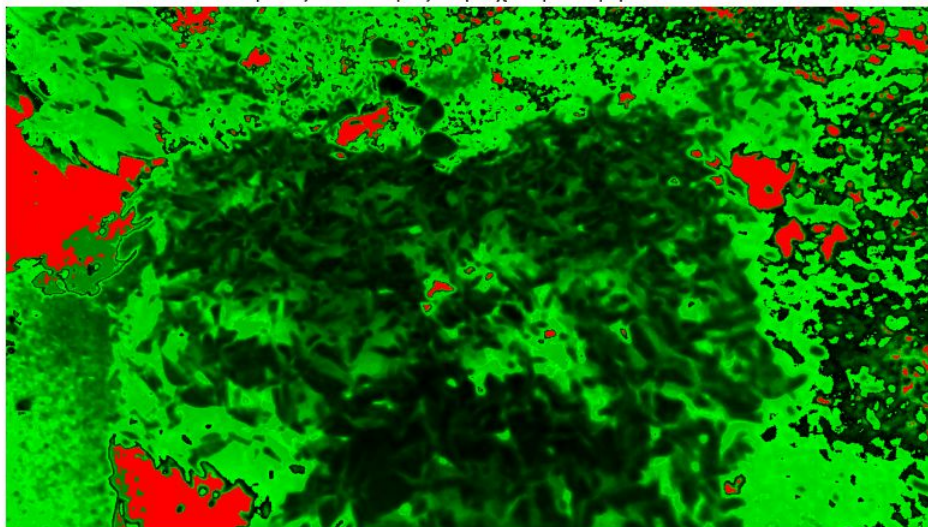


(β)



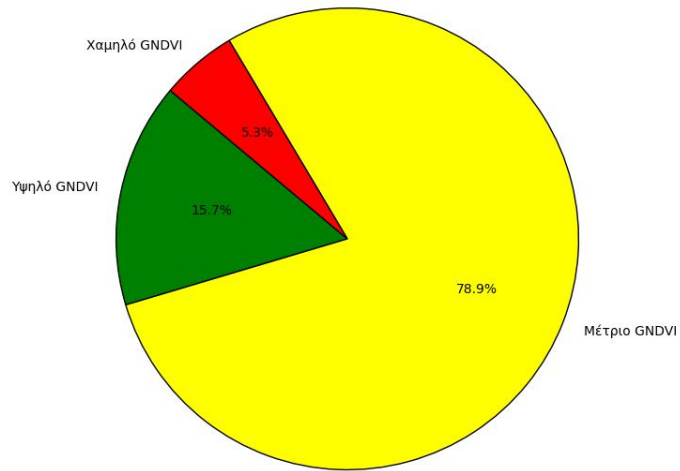
(γ)

Χωρικός Εντοπισμός Περιοχών με Χαμηλό GNDVI



(δ)

Ποσοστό Περιοχών με Υψηλό, Μέτριο και Χαμηλό GNDVI



(ε)

Εικόνα 4.14: Δείγμα 2 - (χωρίς μπλε φίλτρο)

Με αποτελέσματα:

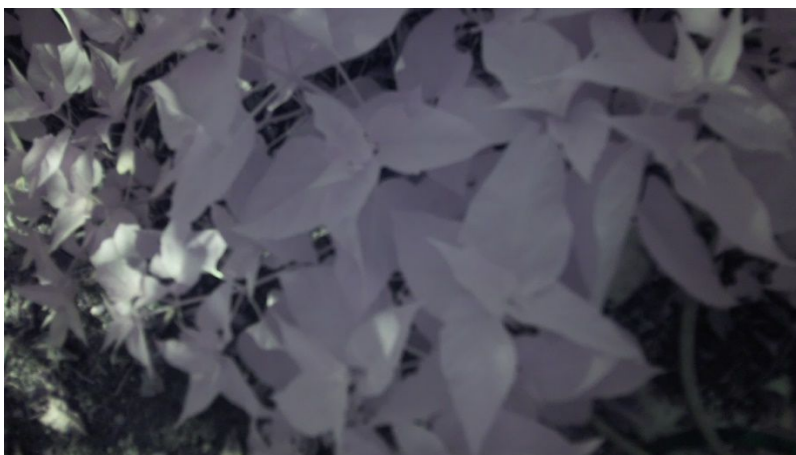
Όριο χαμηλού GNDVI = 0.333333333332003

Αριθμός pixels με χαμηλό GNDVI: 360219

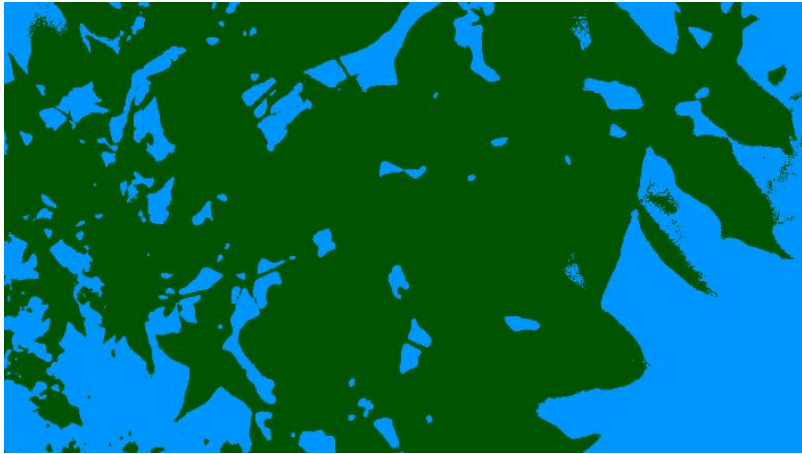
Ποσοστό περιοχής με χαμηλό GNDVI: 39.09%

4.5.7.2 Δείγμα 3

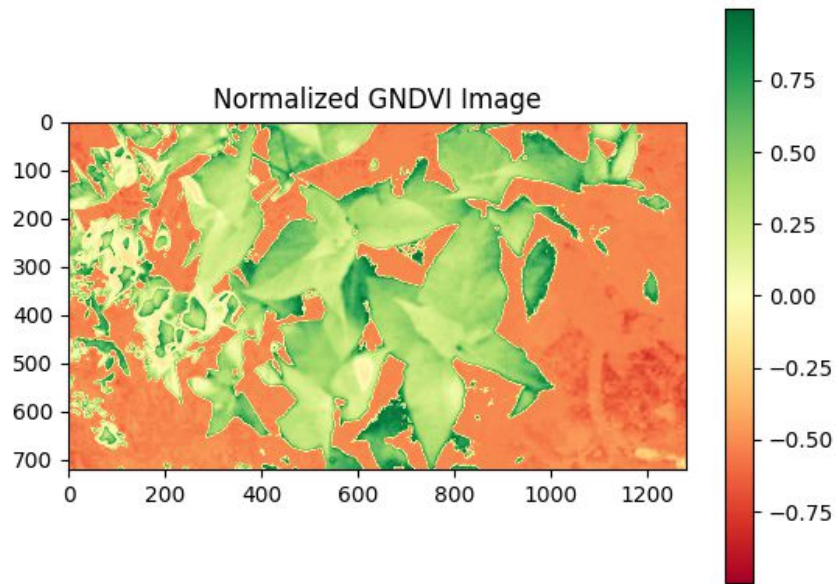
Αυτό το δείγμα είναι σε κοντινή απόσταση 0.5 μέτρα χωρίς χρήση μπλε φίλτρο.



(α)



(β)



(γ)

Χωρικός Εντοπισμός Περιοχών με Χαμηλό GNDVI



(δ)

Εικόνα 4.15: Δείγμα 3 - (χωρίς μπλε φίλτρο)

Με αποτελέσματα

Όριο χαμηλού GNDVI = 0.3333333333329939

Αριθμός pixels με χαμηλό GNDVI: 280548

Ποσοστό περιοχής με χαμηλό GNDVI: 30.44%

4.5.7.3 Συμπεράσματα

Ακολουθεί σύνοψη και σύγκριση των αποτελεσμάτων για τα τρία δείγματα:

1. Συγκριτική Ανάλυση των Δειγμάτων

Τα τρία δείγματα έχουν εξεταστεί με βάση τον δείκτη GNDVI, ο οποίος μας δίνει πληροφορίες για την υγεία της βλάστησης. Η ανάλυση περιλαμβάνει τον υπολογισμό των περιοχών με υψηλό και χαμηλό GNDVI.

Δείγμα 1 (με μπλε φίλτρο)

- Όριο χαμηλού GNDVI: **0.3333**
- Αριθμός pixels με χαμηλό GNDVI: **329,210**
- Ποσοστό περιοχής με χαμηλό GNDVI: **35.72%**

Δείγμα 2 (χωρίς μπλε φίλτρο)

- Όριο χαμηλού GNDVI: **0.3333**
- Αριθμός pixels με χαμηλό GNDVI: **360,219**
- Ποσοστό περιοχής με χαμηλό GNDVI: **39.09%**

Δείγμα 3 (χωρίς μπλε φίλτρο)

- Όριο χαμηλού GNDVI: **0.3333**
- Αριθμός pixels με χαμηλό GNDVI: **280,548**
- Ποσοστό περιοχής με χαμηλό GNDVI: **30.44%**

Συμπεράσματα και Συγκρίσεις

Επίδραση του Μπλε Φίλτρου:

- Το δείγμα 1 χρησιμοποιεί μπλε φίλτρο, ενώ τα δείγματα 2 και 3 όχι. Η χρήση του μπλε φίλτρου φαίνεται να επηρεάζει τα αποτελέσματα του GNDVI, με το δείγμα 1 να έχει χαμηλότερο ποσοστό περιοχής με χαμηλό GNDVI από το δείγμα 2. Αυτό πιθανόν οφείλεται στην καλύτερη διάκριση των φασματικών πληροφοριών που προσφέρει το φίλτρο.

Διαφορές στην Κατάσταση της Βλάστησης:

- Το **Δείγμα 2** έχει το υψηλότερο ποσοστό περιοχής με χαμηλό GNDVI (39.09%), κάτι που υποδηλώνει χαμηλότερη φωτοσυνθετική δραστηριότητα σε σύγκριση με τα άλλα δύο δείγματα.
- Το **Δείγμα 3** έχει το χαμηλότερο ποσοστό περιοχής με χαμηλό GNDVI (30.44%), κάτι που υποδηλώνει καλύτερη κατάσταση της βλάστησης σε σχέση με τα υπόλοιπα δείγματα.

Επιδράσεις από Απόσταση και Συνθήκες:

- Τα δείγματα 2 και 3 λαμβάνονται από την ίδια απόσταση (0.5 μέτρα) χωρίς μπλε φίλτρο. Οι διαφορές μεταξύ των δύο δειγμάτων μπορεί να οφείλονται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως η ένταση του φωτισμού ή η διαφορετική κατανομή των φυτών στις λήψεις.

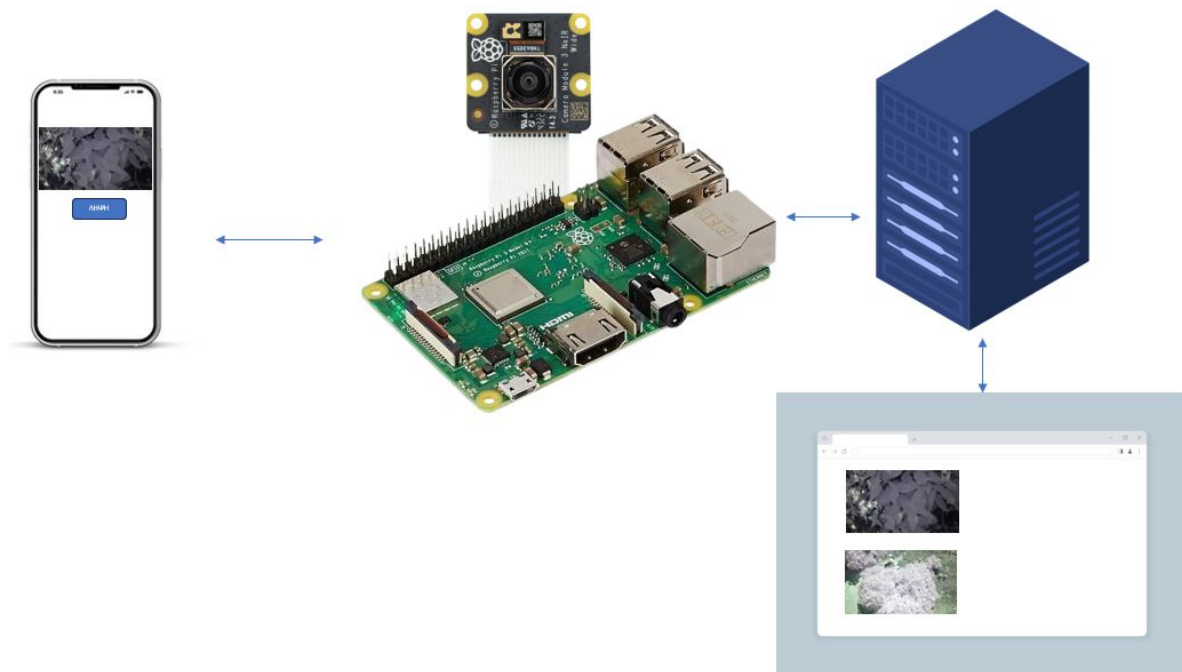
Σύγκριση Περιοχών με Χαμηλό GNDVI:

- Το **Δείγμα 1** με το μπλε φίλτρο έχει ποσοστό περιοχής με χαμηλό GNDVI στο **35.72%**, κάτι που το τοποθετεί ανάμεσα στα άλλα δύο δείγματα. Αυτό υποδηλώνει ότι η χρήση

του μπλε φίλτρου προσφέρει καλύτερη απομόνωση των υγιών περιοχών, πιθανόν λόγω της βελτιωμένης διάκρισης του φάσματος.

4.6 Η εφαρμογή IoT

Στο παρακάτω σχηματικό φαίνεται το σύστημα.



Εικόνα 4.16: Το Σύστημα μέτρησης του GNDVI, ανάλυσης και διαχείρισης

Παρακάτω παρουσιάζονται οι βασικές λειτουργίες

οι βασικές λειτουργίες του συστήματος φαίνεται να είναι οι εξής:

1. **Διασύνδεση με Κινητή Συσκευή:** Υπάρχει server στο Raspberry ώστε να μπαίνουμε από κινητή συσκευή η οποία επικοινωνεί με το Raspberry Pi, μέσω της οποίας ο χρήστης μπορεί να δίνει εντολή στο Raspberry για λήψη φωτογραφίας από την κάμερα την οποία λαμβάνουμε στο κινητό και την προβάλλουμε.
2. **Καταγραφή Εικόνας με Κάμερα Raspberry Pi:** Το Raspberry Pi είναι συνδεδεμένο με μία κάμερα, η οποία μπορεί να καταγράψει εικόνες από τη φυσική τοποθεσία.

3. **Αποστολή Δεδομένων στον Διακομιστή:** Το Raspberry Pi, αφού καταγράψει την εικόνα, αποστέλλει τα δεδομένα σε έναν διακομιστή (server) για αποθήκευση και περαιτέρω επεξεργασία.
4. **Απεικόνιση Δεδομένων σε Ιστοσελίδα:** Οι εικόνες που έχουν αποθηκευτεί στον διακομιστή προβάλλονται σε μία ιστοσελίδα, η οποία πιθανώς παρέχει δυνατότητες ανάλυσης ή παρακολούθησης των δεδομένων.
5. **Η ανάλυση των εικόνων μπορεί να πραγματοποιηθεί στο Raspberry ή στο server.**

4.6.1 Κώδικας στο Raspberry

```
#!/usr/bin/env python3

from flask import Flask, render_template, send_from_directory, request, url_for

from picamera2 import Picamera2

from time import strftime

import os

import requests # Χρήση για αποστολή φωτογραφίας στον server

app = Flask(__name__)

picam2 = Picamera2()

# Ο φάκελος όπου θα αποθηκεύονται οι φωτογραφίες

PHOTO_DIR = "/home/liamos/Desktop/camera"

# Η διεύθυνση του server όπου θα στέλνουμε τις φωτογραφίες

SERVER_URL = "http://www.liamos.gr/upload"

@app.route("/")

def index():

    # Παρουσίαση της αρχικής σελίδας, με πιθανή εμφάνιση της τελευταίας ληφθείσας φωτογραφίας

    image_name = request.args.get('image_name')

    return render_template('index.html', image_name=image_name)

@app.route('/capture')
```

```

def capture():

    # Λήψη τρέχουσας ημερομηνίας και ώρας για να ονοματίσουμε τη φωτογραφία
    timestamp = strftime("%Y%m%d-%H%M%S")

    image_name = f"photo_{timestamp}.jpg"
    image_path = os.path.join(PHOTO_DIR, image_name)

    # Ορισμός των διαστάσεων εικόνας και άλλων ρυθμίσεων
    config = picam2.create_still_configuration(main={"size": (1280, 720)})
    picam2.configure(config)

    # Ενεργοποίηση της κάμερας
    picam2.start()
    picam2.capture_file(image_path) # Λήψη και αποθήκευση της φωτογραφίας
    picam2.stop()

    # Αποστολή της φωτογραφίας στον server
    with open(image_path, 'rb') as image_file:
        files = {'file': image_file} # Δημιουργία του payload για το αίτημα POST
        try:
            response = requests.post(SERVER_URL, files=files) # Αποστολή της φωτογραφίας στον server
            if response.status_code == 200:
                print("Η φωτογραφία στάλθηκε επιτυχώς στον server.")
            else:
                print(f"Σφάλμα κατά την αποστολή της φωτογραφίας: {response.status_code}")
        except Exception as e:
            print(f"Σφάλμα κατά την αποστολή της φωτογραφίας: {e}")

    return render_template('index.html', image_name=image_name)

@app.route('/photos/<filename>')
def photos(filename):

    # Αποστολή φωτογραφίας για να μπορεί να προβληθεί από τον browser

```

```
return send_from_directory(PHOTO_DIR, filename)

if __name__ == '__main__':
    # Εκκίνηση του Flask server
    app.run(host='0.0.0.0', port=5000)
```

Περιγραφή του Κώδικα:

1. Αρχικές Εισαγωγές και Ρυθμίσεις:

- Χρησιμοποιούμε βιβλιοθήκες όπως flask για τον server, picamera2 για τον έλεγχο της κάμερας και os για τη διαχείριση αρχείων.
- Προστέθηκε η βιβλιοθήκη requests για να μπορούμε να στείλουμε HTTP αιτήματα στον server.

2. Διαμόρφωση της Κάμερας:

- Ορίζουμε τον φάκελο όπου θα αποθηκεύονται οι φωτογραφίες (PHOTO_DIR).
- Ορίζουμε τη διεύθυνση του server (SERVER_URL) όπου θα στέλνονται οι φωτογραφίες.

3. Λειτουργία Αρχικής Σελίδας (index):

- Η λειτουργία / εμφανίζει την αρχική σελίδα και, αν υπάρχει, την τελευταία φωτογραφία που τραβήξαμε.

4. Λήψη Φωτογραφίας (/capture):

- Δημιουργούμε ένα όνομα για τη φωτογραφία βασισμένο στην τρέχουσα ημερομηνία και ώρα.
- Ορίζουμε τη διαμόρφωση της κάμερας και ξεκινάμε τη λήψη.
- Αποθηκεύουμε τη φωτογραφία στον φάκελο που έχει οριστεί (PHOTO_DIR).
- Αποστολή φωτογραφίας στον server:
 - Χρησιμοποιούμε requests.post() για να στείλουμε τη φωτογραφία στον server www.liamos.gr.
 - Αν το αίτημα είναι επιτυχές, τυπώνουμε επιτυχία. Αν υπάρξει κάποιο σφάλμα, τυπώνουμε το μήνυμα σφάλματος.

5. Εμφάνιση Φωτογραφίας (/photos/<filename>):

- Η λειτουργία αυτή επιτρέπει την προβολή μιας συγκεκριμένης φωτογραφίας από τον φάκελο.

6. Εκκίνηση Flask Server:

- Ο server ξεκινά στη διεύθυνση 0.0.0.0 και στην πόρτα 5000, κάτι που επιτρέπει την πρόσβαση από οποιαδήποτε συσκευή στο ίδιο δίκτυο.

4.6.2 Κώδικας στο Server

```
from flask import Flask, render_template, request, redirect, url_for, session, flash, send_from_directory

import mysql.connector

from werkzeug.utils import secure_filename

from werkzeug.security import generate_password_hash, check_password_hash

import os

app = Flask(__name__)

app.secret_key = 'asvbdkf5dsfd34sfd23key' # Μυστικό κλειδί για διαχείριση των sessions

UPLOAD_FOLDER = 'uploaded_photos'

app.config['UPLOAD_FOLDER'] = UPLOAD_FOLDER

# Δημιουργία φακέλου για τις φωτογραφίες αν δεν υπάρχει

if not os.path.exists(UPLOAD_FOLDER):

    os.makedirs(UPLOAD_FOLDER)

# Στοιχεία σύνδεσης με MySQL

DB_CONFIG = {

    'user': 'root',

    'password': 'liamos123',

    'host': 'localhost',

    'database': 'gndvi_database'

}
```

```

# Συνάρτηση για σύνδεση στη βάση δεδομένων

def get_db_connection():

    conn = mysql.connector.connect(**DB_CONFIG)

    return conn

# Αρχική σελίδα - Σελίδα login

@app.route('/', methods=['GET', 'POST'])

def login():

    if request.method == 'POST':

        username = request.form['username']

        password = request.form['password']

        conn = get_db_connection()

        cursor = conn.cursor(dictionary=True)

        cursor.execute('SELECT * FROM users WHERE username = %s', (username,))

        user = cursor.fetchone()

        conn.close()

        if user and check_password_hash(user['password'], password):

            session['user_id'] = user['id']

            session['username'] = user['username']

            return redirect(url_for('dashboard'))

        else:

            flash('Λάθος όνομα χρήστη ή κωδικός πρόσβασης.')

    return render_template('login.html')

# Σελίδα εγγραφής χρήστη

@app.route('/register', methods=['GET', 'POST'])

def register():

    if request.method == 'POST':

        username = request.form['username']

```

```

password = request.form['password']

hashed_password = generate_password_hash(password)

try:

    conn = get_db_connection()

    cursor = conn.cursor()

    cursor.execute('INSERT INTO users (username, password) VALUES (%s, %s)', (username, hashed_password))

    conn.commit()

    conn.close()

    flash('Εγγραφή επιτυχής. Παρακαλώ συνδεθείτε.')

    return redirect(url_for('login'))

except mysql.connector.IntegrityError:

    flash('Το όνομα χρήστη υπάρχει ήδη. Επιλέξτε άλλο.')

return render_template('register.html')

# Σελίδα προβολής φωτογραφιών (Dashboard)

@app.route('/dashboard')
def dashboard():

    if 'user_id' not in session:

        return redirect(url_for('login'))

    user_id = session['user_id']

    conn = get_db_connection()

    cursor = conn.cursor(dictionary=True)

    cursor.execute('SELECT * FROM photos WHERE user_id = %s', (user_id,))

    photos = cursor.fetchall()

    conn.close()

    return render_template('dashboard.html', photos=photos, username=session['username'])

# Αποστολή φωτογραφίας

```

```

@app.route('/upload', methods=['POST'])
def upload():
    if 'user_id' not in session:
        return redirect(url_for('login'))

    if 'file' not in request.files:
        flash('Δεν επιλέξατε κάποιο αρχείο.')
        return redirect(url_for('dashboard'))

    file = request.files['file']

    if file.filename == '':
        flash('Δεν επιλέξατε κάποιο αρχείο.')
        return redirect(url_for('dashboard'))

    if file:
        filename = secure_filename(file.filename)
        file_path = os.path.join(app.config['UPLOAD_FOLDER'], filename)
        file.save(file_path)

        # Αποθήκευση της φωτογραφίας στη βάση δεδομένων
        user_id = session['user_id']
        conn = get_db_connection()
        cursor = conn.cursor()
        cursor.execute('INSERT INTO photos (user_id, filename) VALUES (%s, %s)', (user_id, filename))
        conn.commit()
        conn.close()

        flash('Η φωτογραφία ανέβηκε επιτυχώς.')
        return redirect(url_for('dashboard'))

# Προβολή συγκεκριμένης φωτογραφίας
@app.route('/photos/<filename>')

```

```
def photos(filename):  
  
    return send_from_directory(app.config['UPLOAD_FOLDER'], filename)  
  
if __name__ == '__main__':  
  
    # Εκκίνηση του Flask server  
  
    app.run(host='0.0.0.0', port=5000)
```

Περιγραφή του Κώδικα:

1. Σύνδεση με MySQL:

- Χρησιμοποιούμε `mysql.connector` για να συνδεθούμε με τη MySQL βάση δεδομένων.
- Τα στοιχεία σύνδεσης (`DB_CONFIG`) περιλαμβάνουν τον `user`, `password`, `host`, και `database`.

2. Αλλαγές στη Βάση Δεδομένων:

- Ο κώδικας τροποποιήθηκε ώστε να δημιουργεί τις απαραίτητες συνδέσεις με τη βάση MySQL κάθε φορά που απαιτείται. Αυτό γίνεται μέσω της συνάρτησης `get_db_connection()`.

3. Σελίδα Εγγραφής και Σύνδεσης Χρηστών:

- Χρησιμοποιείται το `generate_password_hash()` για την αποθήκευση των κωδικών πρόσβασης σε hashed μορφή και το `check_password_hash()` για την επαλήθευση.
- Αν κατά την εγγραφή το όνομα χρήστη υπάρχει ήδη, εμφανίζεται μήνυμα λάθους.

4. Προβολή και Αποθήκευση Φωτογραφιών:

- Οι φωτογραφίες αποθηκεύονται τοπικά στον φάκελο `uploaded_photos` και η αναφορά τους καταγράφεται στη MySQL βάση δεδομένων.
- Κάθε φωτογραφία που ανεβαίνει συνδέεται με τον χρήστη που την ανέβασε μέσω του `user_id`.

4.6.2.1 Η βάση στον Server

Η βάση μας είναι:

```
CREATE DATABASE gndvi_database;
```

```

USE gndvi_database;

CREATE TABLE users (
    id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
    username VARCHAR(50) UNIQUE NOT NULL,
    password VARCHAR(255) NOT NULL
);

CREATE TABLE photos (
    id INT AUTO_INCREMENT PRIMARY KEY,
    user_id INT NOT NULL,
    filename VARCHAR(255) NOT NULL,
    timestamp DATETIME DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
    FOREIGN KEY (user_id) REFERENCES users(id)
);

```

Η βάση δεδομένων είναι σχεδιασμένη για να υποστηρίξει ένα σύστημα διαχείρισης χρηστών και φωτογραφιών που συλλέγονται μέσω του συστήματος NDVI. Χρησιμοποιούμε τη MySQL για να αποθηκεύουμε τόσο τα δεδομένα των χρηστών όσο και τις φωτογραφίες που αυτοί ανεβάζουν.

Βάση Δεδομένων: gndvi_database

Η βάση δεδομένων ονομάζεται gndvi_database και περιλαμβάνει δύο κύριους πίνακες:

1. Πίνακας users: Αποθηκεύει πληροφορίες για τους χρήστες του συστήματος.
2. Πίνακας photos: Αποθηκεύει πληροφορίες για τις φωτογραφίες που ανεβάζουν οι χρήστες.
 - Πίνακες και Δομή
 - Πίνακας users

Ο πίνακας users αποθηκεύει τα στοιχεία των χρηστών που μπορούν να συνδεθούν στο σύστημα.

- id (INT, PRIMARY KEY, AUTO_INCREMENT):
 - Αυτό το πεδίο είναι ο μοναδικός αναγνωριστικός αριθμός για κάθε χρήστη.
 - Είναι η κύρια κλειδα του πίνακα και αυξάνεται αυτόματα.
- username (VARCHAR(50), UNIQUE, NOT NULL):

- Το όνομα χρήστη που επιλέγεται από τον κάθε χρήστη.
- Είναι μοναδικό για κάθε χρήστη και δεν μπορεί να είναι κενό (NOT NULL).
- password (VARCHAR(255), NOT NULL):
 - Το πεδίο αυτό αποθηκεύει το hashed password του χρήστη, για λόγους ασφάλειας.
 - Το password αποθηκεύεται σε hashed μορφή, και δεν μπορεί να είναι κενό (NOT NULL).

Ο πίνακας users είναι υπεύθυνος για την ταυτοποίηση και ασφάλεια των χρηστών του συστήματος.

- Πίνακας photos

Ο πίνακας photos αποθηκεύει πληροφορίες για τις φωτογραφίες που ανεβάζουν οι χρήστες.

- id (INT, PRIMARY KEY, AUTO_INCREMENT):
 - Είναι ο μοναδικός αναγνωριστικός αριθμός για κάθε φωτογραφία.
 - Είναι η κύρια κλειδα του πίνακα και αυξάνεται αυτόματα.
- user_id (INT, NOT NULL):
 - Αυτό το πεδίο αποθηκεύει τον αναγνωριστικό αριθμό του χρήστη που ανέβασε τη φωτογραφία.
 - Είναι ένας ξένος κλειδάριθμος (foreign key) που αναφέρεται στον πίνακα users.
 - Συσχετίζει κάθε φωτογραφία με τον χρήστη που την ανέβασε.
- filename (VARCHAR(255), NOT NULL):
 - Το όνομα του αρχείου που αποθηκεύεται τοπικά στον server.
 - Περιέχει τη διαδρομή του αρχείου και το όνομά του.
- timestamp (DATETIME, DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP):
 - Καταγράφει την ημερομηνία και ώρα που η φωτογραφία ανέβηκε στον server.
 - Το πεδίο αυτό είναι προεπιλεγμένο (DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP), το οποίο σημαίνει ότι καταγράφεται αυτόματα η ώρα όταν η φωτογραφία αποθηκεύεται.

Ο πίνακας photos αποθηκεύει πληροφορίες για κάθε φωτογραφία και τη συνδέει με έναν χρήστη, επιτρέποντας έτσι την διαχείριση φωτογραφιών σε επίπεδο χρήστη.

- Σχέσεις Μεταξύ Πινάκων

Υπάρχει μια σχέση 1-Προς-Πολλά μεταξύ των πινάκων users και photos:

- Κάθε χρήστης μπορεί να ανεβάσει πολλές φωτογραφίες.

- Κάθε φωτογραφία σχετίζεται με έναν συγκεκριμένο χρήστη μέσω του πεδίου `user_id`.

Η χρήση του `user_id` ως ξένος κλειδάριθμος (foreign key) στον πίνακα `photos` βοηθάει στη διατήρηση της ακεραιότητας των δεδομένων. Αν, για παράδειγμα, ένας χρήστης διαγραφεί από τον πίνακα `users`, οι φωτογραφίες του μπορούν να διαγραφούν ή να διαχειριστούν κατάλληλα.

Περιγραφή Λειτουργίας Βάσης

1. Εγγραφή Χρήστη:

- Όταν ένας χρήστης εγγράφεται, οι πληροφορίες του αποθηκεύονται στον πίνακα `users`.
- Τα passwords αποθηκεύονται σε hashed μορφή για ασφάλεια.

2. Σύνδεση Χρήστη:

- Ο χρήστης εισάγει το όνομα χρήστη και τον κωδικό πρόσβασης.
- Ο server ελέγχει τα στοιχεία στον πίνακα `users` για να επικυρώσει την ταυτότητα του χρήστη.

3. Αποστολή Φωτογραφίας:

- Όταν ένας συνδεδεμένος χρήστης ανεβάζει μια φωτογραφία, αυτή αποθηκεύεται τοπικά στον server και η αναφορά της καταγράφεται στον πίνακα `photos`.
- Το filename της φωτογραφίας, καθώς και το `user_id` του χρήστη που την ανέβασε, καταχωρούνται στον πίνακα `photos`.

4. Προβολή Φωτογραφιών:

- Κάθε συνδεδεμένος χρήστης μπορεί να δει μόνο τις φωτογραφίες που έχει ανεβάσει, αφού οι φωτογραφίες φιλτράρονται βάσει του `user_id` από τον πίνακα `photos`.

- Χρησιμότητα της Βάσης
- Η βάση δεδομένων παρέχει μια συστηματική και ασφαλή αποθήκευση των χρηστών και των φωτογραφιών που ανεβάζουν.
- Με τη χρήση MySQL, οι πληροφορίες αποθηκεύονται με δυνατότητα επεκτασιμότητας και αποδοτικής διαχείρισης μεγάλου όγκου δεδομένων.
- Η ασφάλεια διασφαλίζεται μέσω του hashing των κωδικών πρόσβασης και της χρήσης foreign keys για τη συσχέτιση των φωτογραφιών με τους χρήστες.

Αυτός ο σχεδιασμός της βάσης παρέχει επαρκή ασφάλεια, αποδοτικότητα, και ευκολία στη διαχείριση δεδομένων, ενώ διευκολύνει τη συντήρηση και την αναβάθμιση του συστήματος.

Κεφάλαιο 5ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στη μελέτη και την ανάπτυξη ενός συστήματος παρακολούθησης της βλάστησης με τη χρήση τεχνολογιών αιχμής όπως το Raspberry Pi, η κάμερα NoIR, και ο δείκτης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Το σύστημα υλοποιήθηκε με στόχο την παροχή εργαλείων ακριβείας για την παρακολούθηση και εκτίμηση της κατάστασης της καλλιέργειας, προκειμένου να βοηθήσει τους παραγωγούς στη λήψη πιο ενημερωμένων και αποτελεσματικών αποφάσεων.

Τα κύρια ευρήματα και τα συμπεράσματα της εργασίας είναι τα εξής:

1. **Τεχνολογία και Καινοτομία:** Η χρήση του Raspberry Pi, σε συνδυασμό με την κάμερα NoIR και το λογισμικό Python, επέδειξε ότι είναι εφικτό να δημιουργηθεί ένα σύστημα παρακολούθησης χαμηλού κόστους, το οποίο να είναι ικανό να συλλέγει δεδομένα και να τα επεξεργάζεται σε πραγματικό χρόνο. Αυτό καθιστά την τεχνολογία προσβάσιμη ακόμα και για μικρούς παραγωγούς που επιθυμούν να εφαρμόσουν γεωργία ακριβείας.
2. **Ο δείκτης NDVI ως εργαλείο εκτίμησης της βλάστησης:** Ο NDVI αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματικός για την αξιολόγηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας της καλλιέργειας. Μέσω της ανάλυσης των εικόνων που καταγράφονται από την κάμερα Raspberry Pi, οι παραγωγοί έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν περιοχές με υψηλή ή χαμηλή βλάστηση, γεγονός που τους βοηθά στη βελτίωση της διαχείρισης των καλλιεργειών τους.
3. **Οικονομικά Αποδοτική Λύση:** Το σύστημα που παρουσιάστηκε είναι οικονομικά αποδοτικό και μπορεί να εφαρμοστεί σε μικρές και μεγάλες γεωργικές εκμεταλλεύσεις. Οι πειραματικές δοκιμές απέδειξαν ότι η λύση αυτή μπορεί να προσφέρει παρόμοια απόδοση με ακριβότερα συστήματα, κάνοντας την τεχνολογία προσιτή και αποτελεσματική για όλους τους παραγωγούς.
4. **Ενσωμάτωση δεδομένων και αυτοματοποίηση:** Η χρήση ενός Python server και η διασύνδεση μέσω API επέτρεψαν τη συλλογή, αποθήκευση, και ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει στους χρήστες να αποκτούν άμεση πρόσβαση στις πληροφορίες και να παρακολουθούν την κατάσταση της καλλιέργειας χωρίς καθυστερήσεις, συμβάλλοντας έτσι στην ταχύτερη και ακριβέστερη λήψη αποφάσεων.
5. **Προοπτικές και Μελλοντική Έρευνα:** Η εφαρμογή της τεχνολογίας αυτής στην πράξη επιβεβαίωσε την ανάγκη για περαιτέρω βελτιώσεις και ανάπτυξη. Η προσθήκη επιπλέον δεικτών, όπως ο GNDVI, καθώς και η ενσωμάτωση συστημάτων αυτοματισμού για την άμεση εφαρμογή γεωργικών πρακτικών βάσει των δεδομένων που συλλέγονται, θα μπορούσαν να βελτιώσουν σημαντικά τη λειτουργικότητα και την αποδοτικότητα του συστήματος. Επίσης, η

χρήση πιο ισχυρών μικροεπεξεργαστών και η ανάπτυξη πιο αποδοτικών αλγορίθμων ανάλυσης θα μπορούσαν να προσδώσουν στο σύστημα νέες δυνατότητες.

Η εργασία αυτή κατέδειξε ότι η τεχνολογία μπορεί να διαδραματίσει κρίσιμο ρόλο στη βελτίωση της γεωργίας ακριβείας. Το σύστημα που αναπτύχθηκε αποτελεί ένα πρώτο βήμα προς την κατεύθυνση αυτή, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη λύση παρακολούθησης της βλάστησης σε πραγματικό χρόνο, με την ευελξία και την αποδοτικότητα που απαιτούν οι σύγχρονες γεωργικές πρακτικές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Basso, M., Stocchero, D., Ventura Bayan Henriques, R., Vian, A. L., Bredemeier, C., Konzen, A. A., & Pignaton de Freitas, E. (2019). Proposal for an embedded system architecture using a GNDVI algorithm to support UAV-based agrochemical spraying. *Sensors*, 19(24), 5397.
- [2] García Cárdenas, D. A., Ramón Valencia, J. A., Alzate Velásquez, D. F., & Palacios Gonzalez, J. R. (2018, November). Dynamics of the indices NDVI and GNDVI in a rice growing in its reproduction phase from multi-spectral aerial images taken by drones. In *International Conference of ICT for Adapting Agriculture to Climate Change* (pp. 106-119). Cham: Springer International Publishing.
- [3] Yawata, K., Yamamoto, T., Hashimoto, N., Ishida, R., & Yoshikawa, H. (2019, October). Mixed model estimation of rice yield based on NDVI and GNDVI using a satellite image. In *Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXI* (Vol. 11149, pp. 380-385). SPIE.
- [4] Wang, F. M., Huang, J. F., Tang, Y. L., & Wang, X. Z. (2007). New vegetation index and its application in estimating leaf area index of rice. *Rice Science*, 14(3), 195-203.
- [5] Mangewa, L. J., Ndakidemi, P. A., Alward, R. D., Kija, H. K., Bukombe, J. K., Nasolwa, E. R., & Munishi, L. K. (2022). Comparative assessment of UAV and sentinel-2 NDVI and GNDVI for preliminary diagnosis of habitat conditions in Burunge wildlife management area, Tanzania. *Earth*, 3(3), 769-787.
- [6] Moges, S. M., Raun, W. R., Mullen, R. W., Freeman, K. W., Johnson, G. V., & Solie, J. B. (2005). Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. *Journal of Plant Nutrition*, 27(8), 1431-1441.
- [7] Mwinuka, P. R., Mourice, S. K., Mbungu, W. B., Mbilinyi, B. P., Tumbo, S. D., & Schmitter, P. (2022). UAV-based multispectral vegetation indices for assessing the interactive effects of water and nitrogen in irrigated horticultural crops production under tropical sub-humid conditions: A case of African eggplant. *Agricultural Water Management*, 266, 107516.
- [8] Wahab, I., Hall, O., & Jirstrom, M. (2018). Remote sensing of yields: Application of UAV imagery-derived NDVI for estimating maize vigor and yields in complex farming systems in sub-Saharan Africa. *Drones*, 2(3), 28.
- [9] Raspberry Pi Foundation, "Programming with Python on Raspberry Pi," [Raspberrypi.org](https://www.raspberrypi.org).
- [10] Miguel Grinberg, "Flask Web Development: Developing Web Applications with Python," O'Reilly Media, 2018.
- [11] Flask Official Documentation, "Flask - A micro web framework," [Flask.palletsprojects.com](https://flask.palletsprojects.com).

- [12] MySQL Documentation, "Connector/Python Developer Guide," dev.mysql.com.
- [13] Raspberry Pi Foundation, "Raspberry Pi 3 Model B Specifications," Raspberrypi.org.
- [14] Raspberry Pi Camera Module 3. Available: <https://www.raspberrypi.com/products/camera-module-3/>
- [15] Jones, G., et al. "Utilizing Raspberry Pi and NoIR Camera Module for Precision Agriculture in Monitoring Crop Health Using Vegetation Indices." *Journal of Agricultural Research and Technology*, 2021.
- [16] Rouse, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., & Jacot, R. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. In *Proceedings of the 3rd ERTS Symposium* (Vol. 1, pp. 309-317).
- [17] Tucker, C. J. (1979). Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
- [18] Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., & Aalen, A. M. (2011). Using the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Assess the Impact of Climate Change on Ecosystems. *Global Change Biology*, 17(4), 1820-1831.
- [19] Huete, A. R., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., & Gao, X. (2002). Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 195-213.
- [20] Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1994). Spectral Reflectance Measurements and Absorption of Chlorophyll in Leaves: An Evaluation of the Indexes of Vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 47(1), 36-45.
- [21] Zhang, Y., & Huang, W. (2016). Application of GNDVI in Assessing Vegetation Growth and Health. *Journal of Applied Remote Sensing*, 10(1), 1-14.
- [22] Pizarro, J., & Gonzalez, R. (2010). The Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) for Vegetation Monitoring. In *Proceedings of the 8th International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment*, 1-7.
- [23] Agricultural Multisensor Drone Camera System Applications. Available: <https://spectraldevices.com/products/agricultural-multisensor-drone-camera-system-applications>
- [24] Auravant, "Vegetation Indices and their Interpretation: NDVI, GNDVI, MSAVI2, NDRE, and NDWI," <https://www.auravant.com/en/articles/precision-agriculture/vegetation-indices-and-their-interpretation-ndvi-gndvi-msavi2-ndre-and-ndwi/>
- [25] Gitelson, A. A., & Merzlyak, M. N. (1996). Signature analysis of leaf reflectance spectra: Algorithm development for remote sensing of chlorophyll. *Journal of Plant Physiology*, 148(3-4), 494-500.

- [26] Huete, A., Justice, C., & Liu, H. (1994). Development of vegetation and soil indices for MODIS-EOS. *Remote Sensing of Environment*, 49(3), 224-234.
- [27] Ma, B. L., Dwyer, L. M., & Costa, C. (2003). Validation of a green leaf area index (GLAI) model for corn based on image sensing. *Canadian Journal of Plant Science*, 83(3), 523-529.
- [28] Shanahan, J. F., Schepers, J. S., Francis, D. D., Varvel, G. E., Wilhelm, W. W., Tringe, J. M., ... & Shapiro, C. A. (2001). Use of remote sensing imagery to estimate corn grain yield. *Agronomy Journal*, 93(3), 583-589.
- [29] Raspberry Pi Foundation, "What's that blue thing doing here?" Available: <https://www.raspberrypi.com/news/whats-that-blue-thing-doing-here/>
- [30] Chlorophyll Analysis. Available: <https://www.mpsd.mpg.de/17628/2015-04-chlorophyll-rubio>