

Μελέτη και ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων ανάπτυξης φυτών βασισμένων σε μη επανδρωμένα μέσα και μεθοδολογία μηχανικής μάθησης



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

Τίτλος: «Μελέτη και ανάπτυξη αυτοματοποιημένων συστημάτων ανάπτυξης φυτών βασισμένων σε μη επανδρωμένα μέσα και μεθοδολογία μηχανικής μάθησης».

Φοιτητής: ΠΙΣΑΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΑΜ: 50347329

Επιβλέπων Καθηγητής: ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΑΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΔΕΠ

Τόπος: ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2022



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
FACULTY OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING**

Diploma Thesis

Title: “Study and development of automated plant growth systems based on unmanned aerial vehicles (UAV) and machine learning method”.

**Student: PISARIS KONSTANTINOS
Registration Number: 50347329**

**Supervisor: PAPAGEORGAS PANAGIOTIS
Professor Ph.D.**

Location: ATHENS-EGALEO, JUNE 2022

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)	(Όνοματεπώνυμο), (βαθμίδα)
Παναγιώτης Παπαγέωργας Καθηγητής	Γεώργιος Βόκας Καθηγητής	Δημήτριος Πυρομάλης Επίκουρος Καθηγητής
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΠΙΣΑΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ,
ΣΕΠΤΕΒΡΙΟΣ, 2022**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/η κάτωθι υπογεγραμμένος/ηΠΙΣΑΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ.....
του...ΑΡΙΣΤΕΙΔΗ....., με αριθμό μητρώου ...50347329... φοιτητής/τρια του Πανεπιστημίου
Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Ο/Η Δηλών/ούσα

ΠΙΣΑΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ



Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε υπό την επίβλεψη του επιβλέποντα καθηγητή μου Κου Παπαγέωργα Παναγιώτη, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω, πρωτίστως, για την άμεση ανταπόκριση των αιτημάτων μου. Η συχνή στήριξη και η παρακολούθηση της εργασίας μου σε κάθε στάδιο της ήταν πάντα βοηθητική και αποτελεσματική.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κο. Πυρομάλη Δημήτριο, ο οποίος παράλληλα με τον επιβλέποντα καθηγητή μου, μου προσέφεραν απλόχερα τα κατάλληλα εργαλεία και τις γνώσεις τους, με σκοπό την επίλυση των όποιων ζητημάτων προέκυπταν κατά τη διάρκεια αυτής της εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την στήριξη που μου προσφέρουν όλο αυτό το διάστημα.

Περίληψη

Στη σημερινή εποχή, η τεχνολογία και οι νέες μέθοδοι καλλιέργειας που αναπτύσσονται συμβάλουν ολοένα και περισσότερο στις γεωργικές εφαρμογές. Σκοπός της διπλωματικής αυτής είναι η διερεύνηση των σημερινών τρόπων καλλιέργειας, δίνοντας έμφαση στην καλλιέργεια με drone. Πιο συγκεκριμένα, δοκιμάστηκε η λειτουργία του πολυφασματικού τετρακόπτερου σε πραγματικές συνθήκες, το οποίο με τις δυνατότητες που μας παρείχε ανέπτυξε μια άλλη πτυχή στον σύγχρονο τομέα της γεωργίας.

Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας, αρχικά, μελετήθηκαν οι σχετικές τεχνολογίες που έχουμε στα χέρια μας μέχρι σήμερα, αλλά και θεωρητικές βάσεις που εφαρμόστηκαν ως πυλώνας του έργου. Ειδικότερα υπάρχουν περιγραφές των σύγχρονων γεωργικών εφαρμογών, αλλά και των καινοτόμων μεθόδων αναδάσωσης. Για να επιτευχθεί το νευρωνικό μας μοντέλο, χρησιμοποιήθηκαν βασικά προγράμματα επεξεργασίας πληροφοριών που εξειδικεύονται σε γεωργικές αναλύσεις. Η ανάγκη για μεγαλύτερη ανάλυση του εδάφους μας οδήγησε στη χρήση ειδικού πολυφασματικού drone, εκτός από τις ήδη υπάρχουσες δορυφορικές λήψεις.

Λέξεις – κλειδιά

Μη επανδρωμένα οχήματα, πολυφασματικό τετρακόπτερο, γεωργία ακριβείας, φασματογραφία, αναδάσωση, καλλιέργεια, NDVI, GPS, GIS, νευρωνικό δίκτυο, μηχανική μάθηση.

Abstract

In our days, the technology and new cultivation methods that are developed, contribute more and more on the agricultural applications. The purpose of this search is to investigate the current cultivation methods, especially on the drone crop. More specifically, the operation of the multispectral quadcopter was tested in real conditions, which with the possibilities it provided us developed another aspect in the modern field of agriculture.

In the context of this work, initially, the relevant technologies that we have in our hands until today were studied, but also the theoretical bases that were applied as a pillar of the project. In particular there are descriptions of modern agricultural applications, but also of innovative reforestation methods. To achieve our neural model, basic information processing programs specialized in agricultural analysis were used. The need for greater resolution of the terrain led us to use a special multispectral drone, in addition to the already existing satellite images.

Keywords

Unmanned Vehicles, Multispectral Quadcopter, Precision Agriculture, Spectrography, Stirring, Cultivation, NDVI, GPS, GIS, Neural Network, Machine Learning

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	5
Περίληψη	6
Λέξεις – κλειδιά	6
Abstract	7
Keywords	7
Κατάλογος Πινάκων	10
Κατάλογος Εικόνων	11
Αλφαβητικό Ευρετήριο.....	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
Αντικείμενο της διπλωματικής.....	14
Σκοπός και στόχοι.....	15
Μεθοδολογία.....	15
Καινοτομία.....	16
Δομή.....	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : Εισαγωγή στην καλλιέργεια.....	17
1.1 Μέθοδοι καλλιέργειας – ιστορική αναδρομή	17
1.2 Γεωργία Ακριβείας.....	18
1.3 Συστήματα Χαρτογράφησης.....	19
1.3 Τηλεσκοπία	22
1.4 Φασματογραφία	23
1.5 Δείκτες βλάστησης.....	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Drones και UAV (Unmanned Aerial Vehicle).....	27
2.1 Συμβολή των drones στην σύγχρονη γεωργία	27
2.2 Δομή των drone.....	27
2.3 Τρόποι καλλιέργειας μέσω drones	29
2.3.1 Ανάλυση εδάφους.....	29
2.3.2 Φύτευση	30
2.3.3 Ψεκασμός- Λίπανση.....	30
2.4 : Ανατομία DJI - P4 Multispectral.....	30
2.4.1 Ανατομία	32
2.4.2 Πίνακας σχετικά με την ένδειξη στάθμης μπαταρίας.....	33
2.4.3 Κάμερα.....	34
2.4.4 Ανάλυση λειτουργίας RGB/ NDVI.....	35

2.4.5 Ενδεικτικές εικόνες που λήφθηκαν.....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Μηχανική Μάθηση και νευρωνικά δίκτυα .	39
3.1 Μηχανική μάθηση.....	39
3.2 Νευρωνικά δίκτυα.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Δορυφορική ανάλυση και πρόβλεψη βλάστησης σε μια περιοχή μελέτης.....	42
4.1 Δεδομένα δορυφόρου Sentinel 2.....	42
4.1.1 Φασματικές Ζώνες και Ανάλυση	43
4.1.2 SENTINEL-2 Ραδιομετρικές και χωρικές αναλύσεις.....	44
4.1.3 Χάρτες κάλυψης.....	47
4.1.4 Δείκτης NDVI	47
4.1.5 Υπολογισμός δείκτη NDVI.....	48
4.2 Εισαγωγή στο ArcMap :	49
4.2.1 Περιοχή Μελέτης (Study Area)	50
4.2.2 Μέθοδος Υλοποίησης στο ArcMap	51
4.3 Ανάλυση δεδομένων στο QGIS και πρόβλεψη μέσω MOLUSCE	52
4.3.1 Εισαγωγή στο MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation)	52
4.3.2 Μέθοδος πρόβλεψης εδάφους στο MOLUSCE.....	52
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:	59
Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές:.....	60

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1-1: Ομαδοποίηση φασματικών περιοχών.....	23
Πίνακας 2-1: : Προδιαγραφές του DJI.....	31
Πίνακας 2-2: Επίπεδα ενδείξεων μπαταρίας.....	34
Πίνακας 4-1 : Τα 13 επίπεδα φασμάτων που μας παρέχει ο sentinel -2	45
Πίνακας 4-2 : Ορισμός των κλάσεων σύμφωνα με την τιμή του NDVI στην περιοχής μελέτης..	49

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 0-1 : Δομικό διάγραμμα μεθοδολογίας του έργου.....	15
Εικόνα 1-1 : Άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά μέσο όρο , από το 1880 μέχρι σήμερα , σε βαθμούς Κελσίου[29].....	17
Εικόνα 1-2 : Ανάλυση των στρωμάτων εδάφους σύμφωνα με το σύστημα G.I.S [30].....	20
Εικόνα 1-3 : Ενδεικτική εικόνα αποστολής δεδομένων μέσω δορυφορικών συστημάτων (1) [31]	21
Εικόνα 1-4 : Ενδεικτική εικόνα αποστολής δεδομένων μέσω δορυφορικών συστημάτων (2) [32]	22
Εικόνα 1-5 : Απλοποιημένο μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεσκοπικών δεδομένων [3].....	23
Εικόνα 1-6 : Απεικόνιση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος[33].....	24
Εικόνα 1-7 : Απεικόνιση ορατού φάσματος [33].....	25
Εικόνα 2-1 : Βασικά μέρη drone[34].....	28
Εικόνα 2-2 : Προσομοίωση μιας σύγχρονης καλλιέργειας[35].....	29
Εικόνα 2-3 : Seed drone[36].....	30
Εικόνα 2-4 : Spraying drone[37].....	30
Εικόνα 2-5 : το P4 Multispectral[38].....	30
Εικόνα 2-6 : τα μέρη του P4 Multispectral[38].....	31
Εικόνα 2-7 : το τηλεχειριστήριο του P4 Multispectral[38].....	33
Εικόνα 2-8 : Γράφημα ηλεκτρομαγνητικού φάσματος[39].....	34
Εικόνα 2-9 : Οι 6 αισθητήρες του P4 Multispectral[38].....	34
Εικόνα 2-10 : Γράφημα ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εστιασμένο στο εγγύς υπέρυθρο εύρος του[40].....	34
Εικόνα 2-11 : Λήψη σε RGB και NDVI mode[40].....	35
Εικόνα 2-12 : Εικόνα NDVI επεξεργασμένη με το πρόγραμμα pix4d[41].....	36
Εικόνα 2-13: Ληφθέντες εικόνες από το DJI P4 Multispectral (Αριστερά σε NDVI mode δεξιά σε Gray mode).....	37
Εικόνα 2-14:Τυπικό περιβάλλον του προγράμματος DJI GS PRO [42].....	38
Εικόνα 3-1: Σχεδιαστικό μοντέλο νευρωνικού δικτύου[43].....	40
Εικόνα 3-2: Μαθηματικό μοντέλο νευρωνικού δικτύου [44].....	40
Εικόνα 4-1: Λήψη εικόνας από τον δορυφόρο Sentinel-2A σε μια περιοχή της Δανίας και της Σουηδίας (6 Αυγούστου 2015) [45].....	42
Εικόνα 4-2: Ο δορυφόρος Sentinel 2 [46].....	42
Εικόνα 4-3 : Απεικόνιση επίσημης ιστοσελίδας USGS [47].....	45
Εικόνα 4-4 : Δυνατές επιλογές που μας παρέχει το σύστημα USGS [47].....	45
Εικόνα 4-5 : Τυπικό περιβάλλον του προγράμματος ArcMap.....	49
Εικόνα 4-6 : Εικόνα DEM (Digital Elevation Model)	50
Εικόνα 4-7 : Παράθυρο αριθμητή raster στο ArcMap.....	51
Εικόνα 4-8 : Παράθυρα ορισμού επιπέδων NDVI στο ArcMap.....	51
Εικόνα 4-9 : Τυπικό περιβάλλον του προγράμματος MOLUSCE	52
Εικόνα 4-10 : Τυπικό περιβάλλον του προγράμματος QGIS.....	53
Εικόνα 4-11 : Παράθυρο επεξεργασίας παραμέτρων για το νευρωνικό δίκτυο.....	54
Εικόνα 4-12 : Πεδίο δεδομένων επαλήθευσης.....	55
Εικόνα 4-13 : Καμπύλη μάθησης νευρωνικού δικτύου.....	55
Εικόνα 4-14: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2016.....	56
Εικόνα 4-15: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2017.....	56

Εικόνα 4-16: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2018.....	56
Εικόνα 4-17: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2019.....	56
Εικόνα 4-18: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2020.....	57
Εικόνα 4-19: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2021.....	57
Εικόνα 4-20: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2022.....	57
Εικόνα 4-21: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2025.....	58

Αλφαβητικό Ευρετήριο

ANN: Artificial Neural Network.....	54
AVHRR: Advanced Very High-Resolution Radiometer.....	25
C.M.O.S: Complementary Metal-Oxide- Semiconductor.....	34
CNES: Central National d'études Spatiales.....	42
D.E.M: Digital Elevation Model.....	53
D.L.R: German Aerospace Center.....	42
E.R.O.S: Earth Resources Observation and Science center.....	43
E.S.A: European Space Agency.....	42
E.T.M: Enhanced Thematic Mapper.....	43
F.C.C: Federal Communications Commission.....	31
F.I.R: For Infrared Red.....	23
F.R.B: Federal Reserve Board.....	46
G.I.S: Geographic Information System.....	20
G.P.S.: Global Positioning System.....	20
L.E.D.: Light Emitting Diode.....	33
L.I.P.O: Lithium Polymer.....	31
L.R.: Logistic Regression.....	54
L.U.L.U: Land Use & Land Cover.....	52
M.C.E: Multi Criteria Evaluation.....	54
M.G.R.S.: Military Grid Reference System.....	46
M.I.R.: Mid Infrared Red.....	24
M.S.S: Maximum Signet Size.....	26
MOLUSCE: Modules for Land Use Change Simulations.....	52
M.P.: Mega Pixel.....	34
M.S.I: Multi Spectral Instrument.....	43
N.C.C.: Non-Commercial Operation.....	31
N.D.V.I: Normalized Difference Vegetation Index.....	26
N.D.W.I: Normalized Difference Water Index.....	25
N.I.R: Near Infrared Red.....	23
N.O.A.A: National Oceanic & Atmospheric Administration.....	25
O.L.I: Operational Land Imager.....	43
R.G.B: Red Green Blen.....	32
R.T.K.: Real Time Kinematic positioning.....	32
S.A.F.E: Standard Aculve Format for Europe.....	45
S.A.V.I: Soil -Adjusted Vegetation Index.....	25
S.D.: Secure Digital.....	32
S.P.: Spatial Data.....	20
S.W.I.R: Short Wave Infrared Red.....	41
U.A.V: Unmanned Aerial Vehicle.....	27
U.S.B.: Universal Serial Bus.....	32
U.S.G.S: United States Geological Survey.....	43
V.N.I.R: Visual Near Infrared Red.....	41
W.O.E.: Weight Of Evidence.....	54

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία χρόνια η γη βιώνει δύσκολες και ραγδαίες εξελίξεις. Η κλιματική αλλαγή καθώς και οι αυξανόμενες ανάγκες των ανθρώπων μαζί με την ανάπτυξη των τεχνολογιών έφεραν νέες μεθόδους στη διαχείριση των αγρών και των δασών. Η γεωργία ακριβείας αποτελεί πλέον αναγκαία θέση στην καλλιέργεια των εδαφών και στην βελτίωση των δασών. Είναι μια μέθοδος με την οποία μπορούμε να κάνουμε σωστή χρήση των φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων αλλά και να έχουμε μεγαλύτερη απόδοση στην ποσότητα και στην ποιότητα.

Η χρήση των τετρακόπτερων (drones) όμως έδωσε τη λύση που χρειαζόμασταν ώστε η καλλιέργεια είτε σε χωράφια είτε σε δυσπρόσιτα μέρη των δασών να γίνεται πιο εύκολα και με εξοικονόμηση πόρων. Η γεωργία ακριβείας με την χρήση των drones χρησιμοποιώντας τις νέες τεχνολογίες της δυνατότητας χαρτογράφησης του εδάφους, και της επεξεργασίας του, φέρνει την καινοτομία στην καλλιέργεια δίνοντάς μας τη δυνατότητα να κάνουμε στοχευμένες ρίψεις των σπόρων, να κάνουμε σωστή λίπανση και αποδοτικότερη καλλιέργεια.

Αντικείμενο της διπλωματικής

Το αντικείμενο αυτής της εργασίας είναι η δυνατότητα πρόβλεψης που μπορούμε να έχουμε μέσω των τεχνολογιών για την βλάστηση και κατ' επέκταση την δυνατότητα στοχευμένης καλλιέργειας και αναδάσωσης στα σημεία που μπορούν να είναι αποδοτικά. Στο περιβάλλον MOLUSCE μπορούμε να εισάγουμε τα κατάλληλα δεδομένα που έχουμε λάβει μέσω δορυφόρων και να επιλέξουμε τις ανάλογες μεταβλητές που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

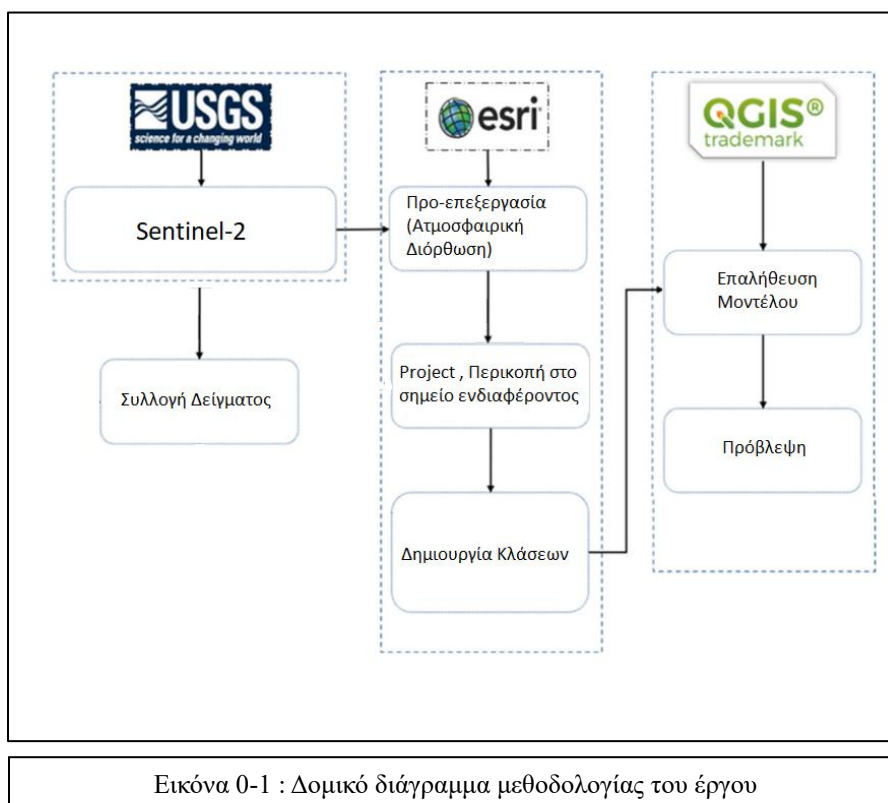
Με την πολυφασματική ανάλυση του εδάφους και τα δεδομένα που συλλέξαμε μέσω του δορυφόρου sentinel-2, σύμφωνα με το σύστημα USGS, μπορέσαμε να επιτύχουμε πρόβλεψη βλάστησης σε συγκεκριμένη περιοχή ενδιαφέροντος, να την αναλύσουμε με αποτέλεσμα να έχουμε την δυνατότητα μέσω των drones να κατευθυνθούμε σε εκείνα τα σημεία που είναι ικανά να αποκτήσουμε αποδοτικότερη καλλιέργεια.

Σκοπός και στόχοι

Σκοπός μας είναι η ανάλυση και έρευνα του εδάφους με την βοήθεια των τεχνολογικών μέσων που διαθέτουμε. Τα μέσα που σκοπεύουμε να χρησιμοποιήσουμε με στην ανάλυση χωρίζονται ανάλογα με την ευκρίνεια που θέλουμε να πετύχουμε. Για αυτό τον λόγο για μικρούς κλίμακας εδάφους χρησιμοποιούμε drone με πολυφασματική ανάλυση ενώ για μεγάλους κλίμακας εκμεταλλευόμαστε τις δορυφορικές λήψεις μέσω δορυφόρου. Σε τελικό βαθμό επιδιώκουμε να προβλέψουμε, στην περιοχή ενδιαφέροντος μας, τα ποσοστά βλάστησης που θα έχουμε η αλλιώς τις αλλαγές του εδάφους που θα έχουμε χρησιμοποιώντας έπειτα το πολυφασματικό drone σε μικρή κλίμακα ώστε να έχουμε πιο ακριβή και στοχευμένη καλλιέργεια – αναδάσωση

Μεθοδολογία

Για να προβλέψουμε τις αλλαγές του εδάφους συλλέγουμε τις δορυφορικές λήψεις από το σύστημα USGS μέσω του δορυφόρου sentinel-2. Ύστερα για την επεξεργασία των χαρτών χρησιμοποιούμε το ArcMap. Σε τελικό βαθμό εισάγουμε τα αποτελέσματα στο QGIS όπου μέσω της επέκτασης του MOLUSCE έχουμε στα χέρια μας την πρόβλεψη της αντίστοιχης περιοχής ενδιαφέροντος (study area). Στην συνέχεια στην περίπτωση που θέλουμε πιο ακριβή ανάλυση χρησιμοποιούμε το DJI P4 το οποίο είναι ένα πολυφασματικό drone για αυτόν τον σκοπό.



Καινοτομία

Η παρούσα διπλωματική εργασία περιγράφει σύγχρονες μέθοδος καλλιέργειας και αναδάσωσης με χρήση καινοτόμων εργαλείων. Τα δεδομένα του εδάφους συλλέγονται με την βοήθεια δορυφόρου αλλά και πολυφασματικού τετρακόπτερου. Σε συνδυασμό με το μοντέλο πρόβλεψης, μέσω νευρωνικού δικτιού, εδάφους που εξάγεται δίνει μια διαφορετική οπτική στον τρόπο που μπορούμε να προσεγγίσουμε, να προστατεύσουμε, να προνοήσουμε και να διασφαλίσουμε ένα υγιές περιβαλλοντικά έδαφος.

Δομή

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στην καλλιέργεια. Δίνονται κάποιες βασικές μέθοδοι καλλιέργειας, αλλά εισάγουμε την έννοια της γεωργίας ακριβείας. Παράλληλα, ορίζονται βασικές έννοιες όπως η τηλεσκόπηση, η φασματογραφία και οι δείκτες βλάστησης.

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η συμβολή των τετρακόπτερων στη σύγχρονη γεωργία, κάνοντας μία βασική ανατομία στα drones, ενώ δίνουμε παραδείγματα καλλιέργειας μέσω αυτών. Ακόμη, σημειώνεται η συμβολή του πολυφασματικού drone στη μελέτη μας.

Στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφεται η μηχανική μάθηση αλλά και τα νευρωνικά δίκτυα.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, γίνεται ανάλυση των δορυφορικών λήψεων καθώς και η πρόβλεψη βλάστησης στη περιοχή μας. Όλη η διαδικασία περιγράφεται αναλυτικά από την αρχή μέχρι και το τέλος της μελέτης.

Τέλος, γίνεται μια σύνοψη της τελικής εργασίας, κάνοντας σχόλια και παρατηρήσεις του τελικού αποτελέσματος, ενώ προτείνονται και κάποιες μελλοντικές αναβαθμίσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : Εισαγωγή στην καλλιέργεια

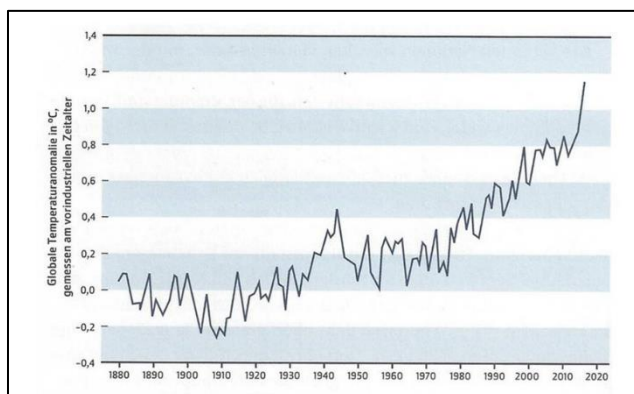
1.1 Μέθοδοι καλλιέργειας – ιστορική αναδρομή

Ο άνθρωπος από την αρχή της ύπαρξής του είναι στενά συνδεδεμένος με τη γη. Από αυτή μεγαλώνει, υπάρχει και ζει. Η διαχείρισή της ποικίλει και διαφέρει ανάλογα με τις καθημερινές του ανάγκες τόσο σε τροφή όσο και στο οξυγόνο.

Τα τελευταία χρόνια αυτή η διαχείριση έχει γίνει πιο απαιτητική καθώς η κλιματική αλλαγή έχει φέρει πυρκαγιές που καταστρέφουν χρόνο με τον χρόνο περισσότερα εκτάρια γης, περιόδους παρατεταμένης ξηρασίας ή αντιθέτως πολλές πλημμύρες όπου σε συνδυασμό με την άνοδο της μέσης τιμής της θερμοκρασίας στον πλανήτη μας, το γνωστό φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθιστά την διαχείρισή της γης δυσκολότερη, επίπονη και απρόβλεπτη.

Αν σε αυτά προστεθεί και η αποψίλωση των δέντρων και τα μεγάλα ποσοστά υλοτομίας που χρειαζόμαστε για τις καθημερινές μας ανάγκες, αντιλαμβανόμαστε πόσο αναγκαίο είναι να προστατέψουμε ότι πραγματικά μας έχει απομείνει από το θησαυρό μας.

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί έχει διαπιστωθεί ότι ο πλανήτης μας αλλάζει ραγδαία, οι πυρκαγιές εντείνονται σε δριμύτητα και συχνότητα και οι περίοδοι ξηρασίας παρατείνονται χρόνο με το χρόνο. Σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο, ο χάρτης της χώρας μας αλλάζει δραματικά με εκτίμηση τις επόμενες δεκαετίες οι ημέρες του καύσωνα να πολλαπλασιάζονται με αποτέλεσμα να έρχεται η απειλή για πυρκαγιές για 30 επιπλέον μέρες, οι περίοδοι των ημερών του καύσωνα να διπλασιάζονται και οι ημέρες όπου θα παρουσιάζεται αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιάς με το μείγμα δυνατών ανέμων και υψηλών θερμοκρασιών κατά την περίοδο του καλοκαιριού να γίνονται σε 30 ημέρες. [13]



Εικόνα 1-1 : Άνοδος της θερμοκρασίας του πλανήτη κατά μέσο όρο , από το 1880 μέχρι σήμερα , σε βαθμούς Κελσίου [29]

Ήδη από το 2007 η χώρα μας μετά τη καταστροφική πυρκαγιά στην Πάρνηθα και στον Πάρωνα η οποία κατέκαψε κωνοφόρα δάση π.χ. Ελάτης, βιώνει πλέον τις επιπτώσεις της κλιματικής αυτή αλλαγής. Παρατηρήθηκε επίσης ότι σε ορισμένα δάση υπήρξε ξήρανση των δέντρων και αυτό οφειλόταν από διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες που άλλαξαν τη σύσταση του εδάφους με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται ζιζάνια και έντομα που προσβάλλουν τα δέντρα. [12]

Η δομή και λειτουργία του εδάφους αλλάζει, το βιοτικό δυναμικό μεταβάλλεται και εξαρτάται από όλους τους περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ήδη το 30 % του παγκόσμιου εδαφικού χώρου εμπεριέχει υψηλές ποσότητες άνθρακα. Η υγρασία μειώνεται αισθητά ειδικά στις περιοχές της Μεσογείου με το φαινόμενο της ερημοποίησης να καλύπτει μεγάλο μέρος της Ευρωπαϊκής γεωργικής γης.

Μπορεί τα κύρια μέρη των δασών της εύκρατης ζώνης να είναι πυρόφυλα όπως ονομάζονται λόγω της ιδιότητάς τους να αναγεννιούνται ύστερα από πυρκαγιές αλλά αυτό τα τελευταία χρόνια έχει πάψει να ισχύει καθώς οι φωτιές είναι συχνότερες και δεν αφήνουν περιθώρια στο δάσος να φτάσει στην αναπαραγωγική του ηλικία.

Επιπλέον αυτό που διαπιστώνεται είναι ότι πλέον δεν καίγονται μόνο πεύκα ή χαμηλής βλάστησης φυτά αλλά καίγονται σημεία που έχουμε δέντρα ελάτης, οξιάς κ.α. τα οποία δεν έχουν τη δυνατότητα να αναπαραχθούν από μόνα τους άμεσα.

Η αναδάσωση με τη βοήθεια του ανθρώπου κρίνεται πιο επιτακτική με τις δυσκολίες επίτευξής του να γίνονται ολοένα και εντονότερες αφού οι τρόποι που χρησιμοποιούνται έως σήμερα έχουν γίνει δύσκολοι στη χρήση τους.

1.2 Γεωργία Ακριβείας

Παλαιότερα οι άνθρωποι προτού ξεκινήσουν την καλλιέργεια- αναδάσωση έπρεπε να κάνουν την ανάλογη προετοιμασία του εδάφους σε λίπανση, ύδρευση κ.λ.π η οποία γινόταν με τα τυχαία δείγματα που λάμβαναν, παρότι γνώριζαν ότι δεν υπάρχει ομοιομορφία στο έδαφος και ούτε η δυνατότητα απεικόνισης της κατάστασης σε όλη την περιοχή. Για να είναι πιο κοντά στις προβλέψεις τους για σωστή σπορά έπρεπε να κάνουν συχνές επισκέψεις στα συγκεκριμένα σημεία έτσι ώστε να μπορέσουν να βγάλουν μια πιο σωστή εκτίμηση. Όλο αυτό βέβαια τελικά εκτός από χρονοβόρο δεν ήταν πάντα και αντικειμενικό. [18]

Για να έχουμε όμως σωστά αποτελέσματα θα πρέπει πρώτα να κάνουμε βασικά βήματα ώστε η αναδάσωση να έχει περισσότερα ποσοστά αποδοτικότητας.

Σε πρώτο στάδιο θα πρέπει να προσδιοριστεί και να μελετηθεί η καμένη έκταση. Στη συνέχεια θα πρέπει να γίνει η **προετοιμασία** του εδάφους, δηλαδή να απομακρυνθεί η ποώδης και καμένη βλάστηση. Έπειτα να γίνει διάνοιξη δρόμων έτσι ώστε να μπορέσουν να καταφθάσουν τα εκχερσωτικά μηχανήματα, τα οποία θα πραγματοποιήσουν την απομάκρυνση θάμνων και δέντρων από την καμένη περιοχή.

Στο επόμενο στάδιο πρέπει να ελεγχθεί η γονιμότητα του εδάφους καθώς σε περίπτωση που βρέξει και δεν έχει πραγματοποιηθεί εδαφοκάλυψη, το νερό θα συμπαρασύρει όλα εκείνα τα γόνιμα στοιχεία που υπάρχουν στο έδαφος υποβαθμίζοντάς το και κάνοντας το έργο της βλάστησης δυσκολότερο.

Φρεζάρισμα και απεντόμωση με τα κατάλληλα, ανάλογα της σύστασης του εδάφους, εντομοκτόνα, καθώς μετά από φωτιά η ανάπτυξη εντόμων και ζιζανίων όπως το πράσινο σκουλήκι ευδοκιμούν με αποτέλεσμα να έχουμε ξερικές καλλιέργειες.

Να ελεγχθεί η υγρασία του εδάφους καθώς ο σπόρος μας κατά τα πρώτα στάδια της ζωής του χρειάζεται αρκετό νερό για να ευδοκιμήσει. Η εύρεση υπόγειων υδάτων είναι μια καλή λύση για να ευδοκιμήσει ο καρπός μας.

Στη συνέχεια θα γίνει η επιλογή φυτωρίων, σπόρων ή δενδρυλίων, τα οποία έχουν αναπτυχθεί οι ρίζες τους σε φυτώρια με συνθήκες ανάλογες αυτές του φυσικού τους περιβάλλοντος έτσι ώστε να αποφευχθεί τυχόν σοκ των φυτών. Ύστερα μεταφέρονται στα σημεία τα οποία έχουμε επιλέξει και ανοίγονται οι λάκκοι οι οποίοι θα δεχθούν το φυτό μας. Βέβαια η πρόσβαση δεν είναι εύκολη σε όλα τα σημεία που χρήζουν αναδάσωση με αποτέλεσμα να μένουν ανεκμετάλλευτα αρκετά εκτάρια γης. Η χρήση αεροπλάνων σε αυτά τα σημεία ήταν μια σκέψη η οποία δεν βρήκε γόνιμο έδαφος καθώς έπρεπε να γίνει υπολογισμός στο ύψος ρίψης, στην ταχύτητα του αεροπλάνου καθώς και στην κλίση του εδάφους.

Η γεωργία ακριβείας είναι αυτή η πρακτική μέθοδος η οποία μπορεί να δώσει μεγάλη απόδοση των εισροών (λιπάσματα, σπόροι), να εξοικονομήσει ενέργεια, να βελτιώσει τα παραγόμενα είδη και να ελαχιστοποιήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις μέσω των πληροφοριών που χρησιμοποιεί. Μπορεί να διακρίνει κατάλληλες εποχές φύτευσης για να μπορούν τα φυτώρια να αναπτυχθούν σωστά. Βασίζεται σε τεχνολογίες και συστήματα τα οποία είναι ικανά να καταγράψουν, επεξεργαστούν τα δεδομένα και τις πληροφορίες [1]

Έτσι σύμφωνα με τα στοιχεία που θα συλλέξουμε μπορούμε :

- Να διαχειριστούμε τα δεδομένα μας ,
- Να κάνουμε απολογισμό των δασών ,
- Να ελέγξουμε την υγρασία του εδάφους (ποτάμια, ρέματα), καθώς και την ξηρασία αυτών,
- Να ελέγξουμε τις αλλαγές που έχουν προκύψει στα χρόνια που έχουν παρέλθει ,
- Να αναγνωρίσουμε τα σημεία τα οποία έχουν προϋποθέσεις για υγιή καλλιέργεια δηλαδή τα παραγωγικότερα σημεία με αποτέλεσμα να καλυφθούν οι ανθρώπινες ανάγκες. [26]

1.3 Συστήματα Χαρτογράφησης

Ο έλεγχος της καλλιέργειας για αντιμετώπιση προβλημάτων στην καλλιέργεια-αναδάσωση που παλαιότερα γινόταν μέσω εικόνων που λάμβαναν από τα αεροπλάνα. Πλέον η χαρτογράφηση και η τοπογραφία μέσω των συστημάτων G.I.S και G.P.S δίνει ακρίβεια και έλεγχο σε πραγματικό χρόνο με χαμηλότερο κόστος. Η ταυτόχρονη χρήση της τηλεσκοπικής δίνουν την ευχέρεια για άμεση επέμβαση σε περίπτωση προβλήματος και λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων σε πραγματικό χρόνο έχοντας εικόνες που τραβήχτηκαν εκείνη τη στιγμή.

G.I.S. (Geographic Information Systems)

Το γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών G.I.S. Geographic Information Systems είναι ένα σύστημα το οποίο συλλέγει και αποθηκεύει πληροφορίες και φαινόμενα που εξελίσσονται στο χώρο. Έχει επίσης δυνατότητα να υλοποιεί χωρική ανάλυση έτσι ώστε να λάβουμε την πραγματική εικόνα του χώρου δηλαδή την κλίση του εδάφους, τα ποσοστά βροχοπτώσης, τα θρεπτικά συστατικά και με τα χωρικά δεδομένα (spatial data), που θα τα προσαρμόσουμε εμείς χαρτογραφικά.

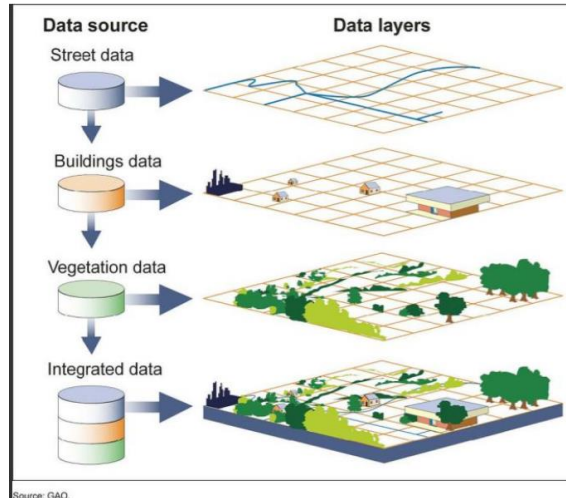
Το σύστημα G.I.S. έχει το χαρακτηριστικό να συνδέει την χωρική με την περιγραφική πληροφορία είτε με το σχεσιακό (relational) μοντέλο δεδομένων είτε με το αντικειμενοστρωφές (object-oriented) μοντέλο με το τελευταίο να χρησιμοποιείται όλο και συχνότερα λόγω των αυξημένων δυνατοτήτων που έχει.

Στο σύστημα αυτό μπορούμε να εισάγουμε δεδομένα σε ψηφιακή δομή και να συλλέξουμε τα πρωτογενή δεδομένα που με τις ψηφιακές μεθόδους που θα μας δώσουν την αποτύπωση του χώρου.[28]

Τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να είναι τέτοια η επεξεργασία τους, έτσι ώστε να μπορούμε να έχουμε περαιτέρω ανάλυση. Να μπορούμε να διορθώσουμε τυχόν λάθη αλλά και βάζοντάς τους εμείς δεδομένα και ερωτήματα να μπορούμε να έχουμε σε μία βάση δεδομένων τα αποτελέσματα των ερωτημάτων που θα δημιουργήσουμε π.χ. που βρίσκεται η Α περιοχή, τι θα συμβεί εάν, πόσα Α υπάρχουν στην περιοχή Γ και άλλα τέτοιου τύπου ερωτήματα που θα μας βοηθήσουν στην κατανόηση του χώρου. [7]

Όλα αυτά θα βέβαια θα πρέπει να μας εξασφαλίζουν και μια ορθότητα στην ακρίβεια των πληροφοριών που θα λάβουμε. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω κάποιου λογισμικού με διαδικασίες ελέγχου ακρίβειας των συντεταγμένων, τον ποιοτικό και ποσοτικό έλεγχο.

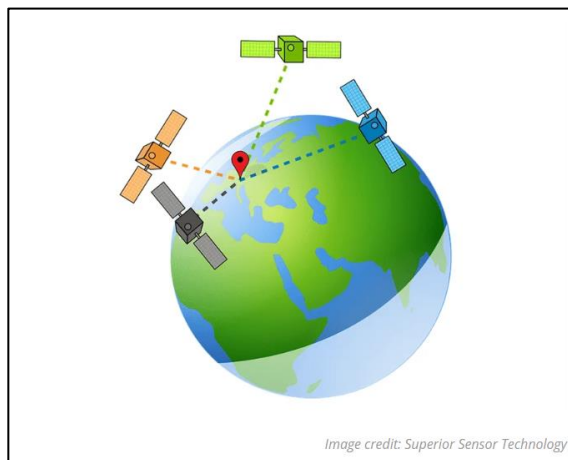
Ένα σύστημα G.I.S. αναπαριστά με δύο βασικές μορφές τα γεωγραφικά δεδομένα, με τα διανυσματικά δεδομένα vector και τα δεδομένα κανονικοποιημένες ψηφιδωτής μορφής (raster).[22][23]



Εικόνα 1-2 : Ανάλυση των στρωμάτων εδάφους σύμφωνα με το σύστημα G.I.S. [30]

G.P.S. (Global Positioning System)

Το Παγκόσμιο Σύστημα Στιγματοθέτησης είναι ένα σύστημα εντοπισμού γεωγραφικής θέσης ακίνητου ή κινητού χρήστη. Αυτό βασίζεται σε ένα πλέγμα εικοσιτεσσάρων δορυφόρων της γης εφοδιασμένοι με ειδικές συσκευές για να εντοπίζουν, τους πομποδέκτες G.P.S. Αυτοί θα μας δώσουν στοιχεία και πληροφορίες που θα αφορούν για το σημείο που θέλουμε να μελετήσουμε, το υψόμετρο που βρίσκεται, την κλίση του εδάφους και όλα εκείνα τα σημεία που εμείς θέλουμε να ελέγξουμε και να συλλέξουμε ώστε να μπορέσουμε να χαρτογραφήσουμε. Όλα αυτά μπορούμε να τα έχουμε και σε γραφική απεικόνιση. [17]



Εικόνα 1-3 : Ενδεικτική εικόνα αποστολής δεδομένων μέσω δορυφορικών συστημάτων (1) [31]

Το παγκόσμιο αυτό σύστημα καταγραφής θέσεως προέκυψε ύστερα από ένα συνδυασμό εργαλείων που υπήρχαν παλαιότερα του εξάντα και της πυξίδας. Αυτά μαζί με το χρονόμετρο που κατασκεύασε ο ωρολογοποιός Τζον Χάρισον έδωσε την ικανότητα στους ναυτικούς να βγάζουν το στίγμα του πλοίου. Τα ραντάρ τα οποία χρησιμοποιούνται εως και τις μέρες μας είναι τα πρώτα συστήματα εντοπισμού θέσεως, τα οποία βασίζονταν σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Με την ισχύ κάθε σήματος που λαμβάνει ο δέκτης δημιουργούνται δύο και πλέον συντεταγμένες οι οποίες είναι ικανές να αποτυπώσουν πάνω στο χάρτη το σημείο στο οποίο βρίσκεται το πλοίο. Μολονότι τα προβλήματα που υπήρχαν είτε από την χαμηλή εμβέλεια που είχαν οι σταθμοί βάσεων που εξέπεμπαν το σήμα είτε η χαμηλή ακρίβεια, τα πρώτα βήματα για τη δημιουργία ενός σωστού συστήματος εντοπισμού θέσεως με βάση τα ραδιοκύματα είχε μόλις ξεκινήσει.

Το σημερινό G.P.S. όπως αυτό φτάνει να είναι στις μέρες μας είναι ένα σύστημα το οποίο βασίζεται σε παρόμοια τεχνολογία. Δημιουργήθηκε αρχικά από το στρατό κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκοσμίου πολέμου και αργότερα δόθηκε σε ευρεία χρήση. Συνδυάζει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και ότι οποιεσδήποτε μεθόδους είχαμε χρησιμοποιήσει στον ουρανό με τη βοήθεια δορυφόρων οι οποίοι είναι οι τεχνητοί σταθμοί βάσης δεδομένων. Πολυάριθμο δίκτυο δορυφόρων κινείται σε συγκεκριμένη τροχιά (20.200 χιλιόμετρα) γύρω από τον πλανήτη μας. Εκπέμπει προς τη γη ηλεκτρομαγνητικό σήμα το οποίο μπορεί να μας δώσει τις ακριβείς θέσεις και την ακριβή ώρα που εστάλη το σήμα. Ο δέκτης μας θα πιάσει τα σήματα που θα δει από το δορυφόρο και θα τα επεξεργαστεί. Με το ρολόι που έχει μπορεί να έχει την ακριβή ώρα που έλαβε το σήμα και επειδή το σήμα έχει συγκεκριμένη ταχύτητα μπορεί να υπολογίσει την απόσταση του δέκτη από το δορυφόρο. Ξέροντας λοιπόν που βρίσκονται οι δορυφόροι και σε τι απόσταση βρίσκεται ο δέκτης μπορούμε να αντιληφθούμε τη θέση που είμαστε.

Λόγω της μεγάλης του εμβέλειας σε ξηρά θάλασσα και αέρα κρίθηκε αναγκαίος ο διαχωρισμός του σε επιμέρους τμήματα.

- Διαστημικό τμήμα
- Επίγειο τμήμα ελέγχου
- Το τμήμα χρήσης

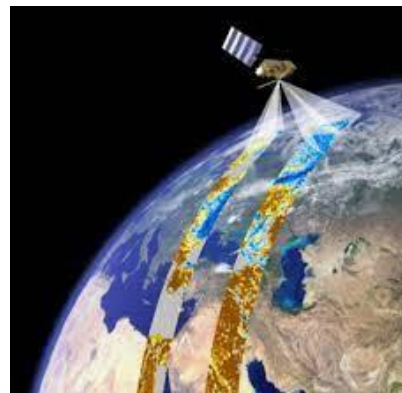
Η χρήση στην τοπογραφία και στην χαρτογράφηση των περιοχών γίνεται πλέον εύκολη υπόθεση. Με ένα απλό δέκτη GPS μπορούμε να επεξεργαστούμε δεδομένα όπως ύψος, εμπόδια, κλίση εδάφους και να δημιουργήσουμε ένα τοπογραφικό διάγραμμα όπου θα έχουμε με ακρίβεια εκατοστών την χωρομέτρηση των περιοχών. Με τη χρήση του GPS ο απαιτούμενος χρόνος επεξεργασίας μειώνεται και οι αποφάσεις για τις όποιες ενέργειες επιθυμούμε να πραγματοποιήσουμε γίνονται συντομότερα.

Απαραίτητη ενέργεια που επίσης πρέπει να γίνει για να κατανοήσουμε την καταλληλότητα του εδάφους είναι η Τηλεσκοπική. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορούμε να συλλέξουμε πληροφορίες και δεδομένα χωρίς να έρθουμε σε επαφή.

1.3 Τηλεσκοπική

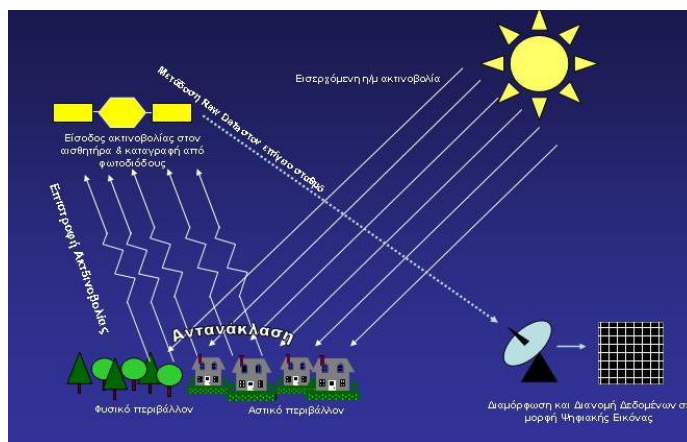
Η τηλεσκοπική remote sensing είναι η συλλογή πληροφοριών που συνήθως συλλέγονται από αεροφωτογραφίες ή και δορυφορικές εικόνες. Με την βοήθεια των ψηφιακών σαρωτών οι οποίοι ανιχνεύουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας μας δίνουν μια ψηφιακή εικόνα του εδάφους. Με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης μπορούμε να λάβουμε και να μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας όπως αυτά λαμβάνονται με τη βοήθεια των δορυφόρων. Μπορούμε να λάβουμε καθημερινή πρόγνωση του καιρού αλλά και να ελέγξουμε τις αλλαγές που γίνονται στο έδαφος λόγω της κλιματικής αλλαγής.[21]

Το κάθε αντικείμενο – υλικό που υπάρχει στην επιφάνεια της γης αντανακλά διαφορετικά μήκη κύματος την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι ανιχνευτές βλέπουν πέρα από το ορατό φάσμα ανιχνεύουν την ακτινοβολία και μας δίνουν έγχρωμες εικόνες. Η χλωροφύλλη που βρίσκεται στα πράσινα τμήματα των φυτών αντανακλά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα και την απορροφά στο μπλε και κόκκινο τμήμα κάνοντάς μας να αντιληφθούμε τα ζωντανά πράσινα φυτά.



Εικόνα 1-4 : Ενδεικτική εικόνα αποστολής δεδομένων μέσω δορυφορικών συστημάτων (2) [32]

Η τηλεπισκόπηση λοιπόν μπορεί να μας δώσει εικόνες και δεδομένα απαραίτητα για την καλλιέργεια καθώς μπορούμε να χαρτογραφήσουμε εκείνες τις περιοχές που μας ενδιαφέρουν και να εντοπίσουμε τις πηγές από πόσιμο νερό, την υγρασία του εδάφους, να βρούμε τα ποτάμια και τις λίμνες αλλά και να εντοπίσουμε πιθανά προβλήματα από πλημμύρες και πιθανή ξηρασία.



Εικόνα 1-5 : Απλοποιημένο μοντέλο καταγραφής και διαμόρφωσης τηλεσκοπικών δεδομένων [3]

1.4 Φασματογραφία

Για να μπορούμε να αποσαφηνίσουμε την έννοια της φασματογραφίας αρχικά θα πρέπει να μιλήσουμε για το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα αποτελείται από όλες τις συχνότητες ή μήκη κύματος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ανάλογα σε ποια συχνότητα θα ανήκει το κύμα χωρίζουμε τις εξής κατηγορίες όπως αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα .

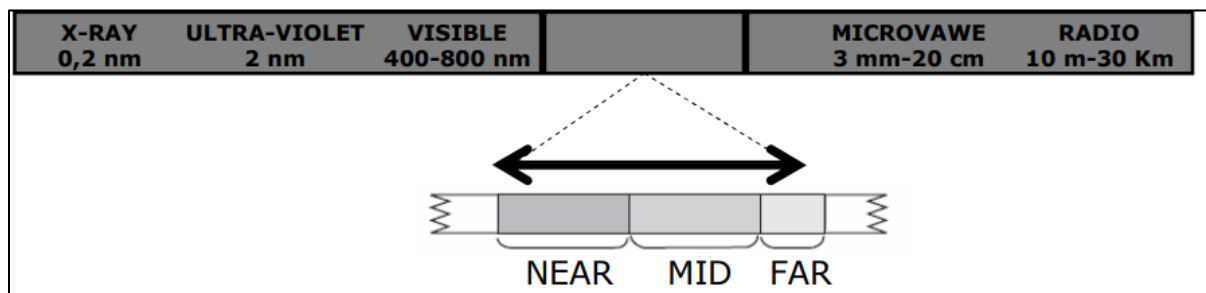
Περιοχή του φάσματος	Μήκος κύματος	Συχνότητες	Ενέργεια φωτονίων
Ραδιοκύματα	100.000km - 1m	0-300 MHz	0 - $1,24 \cdot 10^{-6}eV$
Μικροκύματα	1m - 1mm	300 MHz - 300GHz	$1,24 \cdot 10^{-6}eV$ - $1,24meV$
Υπέρυθρη ακτινοβολία	1mm - 740nm	300GHz - 400THz	$1,24meV$ - $1,6eV$
Ορατό φως	740nm - 380nm	400THz-800THz	$1,6$ - $3,2eV$
Υπεριώδης ακτινοβολία	380nm - 10nm	800THz - $3 \cdot 10^{16}Hz$	$3,2eV$ - $124eV$
Ακτίνες Χ	10nm - 0,01nm	$3 \cdot 10^{17}Hz$ - $3 \cdot 10^{19}Hz$	$124eV$ - $124keV$
Ακτίνες γ	0,01nm - 0,001nm	$3 \cdot 10^{19}Hz$ - $3 \cdot 10^{20}Hz$	$124keV$ - $1,24MeV$
Κοσμικές ακτίνες	0,001nm - 0	$3 \cdot 10^{20}Hz$ -	$1,24MeV$ -

Πίνακας 1-1: Ομαδοποίηση φασματικών περιοχών [9]

Στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής όμως θα εμβαθύνουμε και θα μελετήσουμε την περιοχή του υπέρυθρου και συγκεκριμένα την περιοχή κοντά στο υπέρυθρο, του εγγύς υπέρυθρου (Near Infrared Red) το οποίο υλοποιείται σε πολλές εφαρμογές της γεωργίας και κυρίως στον υπολογισμό των δεικτών βλάστησης που θα μιλήσουμε παρακάτω . [9]

Η υπέρυθρη περιοχή, λοιπόν, διακρίνεται σε 3 επιμέρους περιοχές :

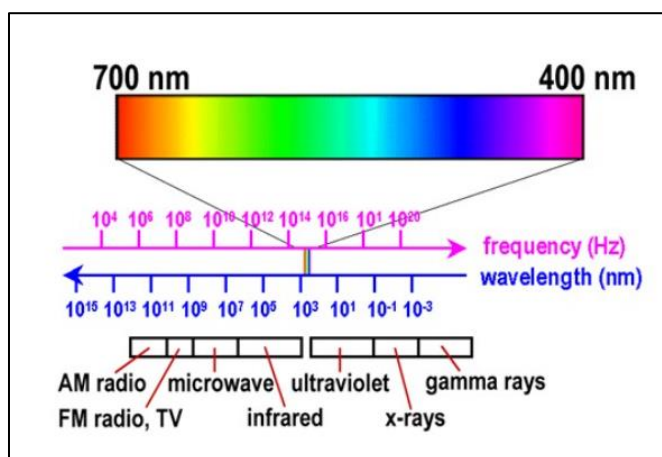
- Την Far- IR (από $7.8 \cdot 10^{-5} \lambda \cdot cm$ μέχρι $3 \cdot 10^{-4} \lambda \cdot cm$)
- Την Mid – IR (από $3 \cdot 10^{-4} \lambda \cdot cm$ μέχρι $3 \cdot 10^{-3} \lambda \cdot cm$)
- Την Near- IR(από $3 \cdot 10^{-3} \lambda \cdot cm$ μέχρι $3 \cdot 10^{-2} \lambda \cdot cm$)



Εικόνα 1-6 : Απεικόνιση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος [3]

Την NIR θα την συναντήσουμε στις περιοχές του φάσματος από 700-2500 nm . Όπως αναφέρεται και στην παραπάνω εικόνα στα αριστερά του (μικρότερες συχνότητες – μεγαλύτερα μήκη κύματος) βρίσκονται οι χαμηλά σε ενέργεια ακτινοβολίες όπως ραδιοκύματα, μικροκύματα, αντίθετα στα δεξιά του θα παρατηρήσουμε μεγάλα ποσά σε ενέργεια όπως ακτίνες X και γ. Η περιοχή που μελετάμε δηλαδή βρίσκεται κοντά στο υπέρυθρο και είναι η ακτινοβολία ανάμεσα στο ορατό και στο υπέρυθρο φάσμα .[3]

Για να καταλάβουμε όμως την αξία της φασματοσκοπίας ας δώσουμε ένα απλό παράδειγμα. Έστω ότι έχουμε ένα πορτοκάλι , το μάτι μας (ορατό φάσμα) μπορεί να αντιληφθεί βασικά χαρακτηριστικά όπως το χρώμα. Δεν μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες που το ορατό φως δεν μπορεί να απορροφήσει δηλαδή τις οργανικές ενώσεις (πχ το νερό, η ζάχαρη, τα οξέα). Αυτό συμβαίνει γιατί αυτές οι ενώσεις απορροφούν στο εγγύς υπέρυθρο και ο βαθμός τους εξαρτάται από την περιεκτικότητά τους. Εδώ δίνει μια λύση η φασματογραφία που μεν μπορεί να είναι πιο ακριβή μέθοδος αλλά είναι μια πιο έγκυρη, γρήγορη, απλή και με λιγότερα σφάλματα μέθοδος.



Εικόνα 1-7 : Απεικόνιση ορατού φάσματος [33]

1.5 Δείκτες βλάστησης

Οι ενδείξεις που θα πάρουμε ανάλογα με τη μέθοδο που δημιουργήθηκαν χωρίζονται σε 3 δείκτες βλάστησης :

- **SAVI** (Soil-Adjusted Vegetation Index) :

οι οποίοι τονίζουν τις φασματικές ιδιότητες των καλύψεων ή των χρήσεων της γης και δημιουργούνται λόγω των φασματικών καναλιών.

Ο βασικός τύπος SAVI :

$$SAVI = \left[\left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \right) \cdot (1 + L) \right] \quad (1)$$

Όπου :

L = είναι ο συντελεστής διόρθωσης και εξαρτάται από την κάλυψη της βλάστησης.

Οι τιμές που θα λάβουμε είναι

0 = πλήρη βλάστηση

1 = χαμηλή βλάστηση

0,5 = άγνωστο ποσοστό βλάστησης

- **NDWI** (Normalized difference water index)

που θα μας βοηθήσουν να ελαχιστοποιήσουμε όποια προβλήματα τυχόν δημιουργηθούν εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους και αφορά τα ποσοστά κάλυψης σε βλάστηση, νερό κ.λπ.

Ο βασικός τύπος NDWI :

$$NDWI = \left(\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \right) \quad (2)$$

Όπου :

NIR= NIR κοντινό υπέρυθρο: Μη απορρόφηση από την υγρή βλάστηση

WIR= Βραχύ υπέρυθρο Υψηλή απορρόφηση από την υγρή βλάστηση

- **NDVI** (Normalized Difference Vegetation Index)

Από τους παραπάνω ο πιο ευρέως δείκτης βλάστησης στην τηλεσκοπική είναι ο δείκτης NDVI. Αναπτύχθηκε το 1974 από τον Rouge και την ομάδα του. Πρώτο εφαρμόστηκε με τα ψηφιακά τηλεσκοπικά δεδομένα Landsat MSS και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται ευρέως. Η τεχνική αυτή επεξεργασίας μας δείχνει όχι μόνο τις περιοχές εκείνες που έχουν βλάστηση αλλά και τα υγιή φυτά.

Ο βασικός τύπος NDVI :

$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right) \quad (3)$$

Όπου :

NIR = η τιμή στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι,

RED = η τιμή στο κόκκινο κανάλι, όπως καταγράφονται από τον αισθητήρα του δορυφόρου.

Από την παραπάνω εξίσωση (3) μπορούμε να λάβουμε τιμές που αφορούν την κατάσταση υγείας των φυτών. Ανάλογα με τα με το πόσο κοντά στο +1 βρίσκονται οι τιμές που θα λάβουμε τόσο πιο πλούσια και υγιή βλάστηση μπορούμε να έχουμε. Έτσι όσο περισσότερη κόκκινη ακτινοβολία έχουμε τόσο πιο υγιή βλάστηση θα λάβουμε. Τιμή - 1 που θα λάβουμε θα σημαίνει ότι έχουμε ανυπαρξία βλάστησης. [11]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Drones και UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

Στις μέρες μας καθώς οι ανάγκες για εύρεση τροφής έχει αυξηθεί ενώ παράλληλα ο πληθυσμός της γης έχει μεγαλώσει, οι περιβαλλοντικές καταστροφές έχουν αλλάξει τη σύσταση του εδάφους, οι καταστροφές των δασών εντάθηκαν και το εργατικό δυναμικό δεν επαρκεί, η ρομποτική γεωργία φέρνει την λύση για την αντιμετώπιση των επερχόμενων προβλημάτων.

2.1 Συμβολή των drones στην σύγχρονη γεωργία

Η σύγχρονη τεχνολογία με την βοήθεια του αυτοματισμού και της ρομποτικής έδωσε την νέα εποχή στην καλλιέργεια του εδάφους, αυτή της γεωργίας ακριβείας, με τη βοήθεια των drones. Η τεχνολογία αυτή βοήθησε τον καλλιεργητή να έχει μια πιο γρήγορη και αξιόπιστη εικόνα του εδάφους αφού πλέον μπορεί να χαρτογραφεί και να επεξεργάζεται. Επίσης μπορεί να λαμβάνει αποτελέσματα για τις ανωτέρω διαδικασίες πιο γρήγορα και πιο αξιόπιστα. Ο καλλιεργητής μπορεί έτσι να επιλέξει και τη σωστή ποικιλία και να καθοδηγηθεί ορθότερα για την καλύτερη διαδικασία ανάπτυξής τους.

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη που διαθέτουν εναέρια σπορά (UAV seed) μπορούν να δώσουν στον καλλιεργητή μεγαλύτερη κάλυψη της περιοχής με λιγότερο χρόνο σε σχέση με το συμβατό τρόπο σποράς αφού έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν έως και 25 κιλά ωφέλιμου φορτίου σε σπόρους, λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα και ταυτόχρονα να μπορέσει να επιτύχει φύτευση και απόδοση ακόμα και σε εκείνα τα σημεία που δεν θα ήταν εφικτό με το παραδοσιακό τρόπο ή και ακόμα σε εκείνα τα σημεία που είναι ήδη φυτεμένα.

Τα μικρά αυτά θαύματα τα οποία πριν από χρόνια χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά από το στρατό, είναι κατασκευασμένα από υλικά υψηλής ποιότητας, ελαφριάς σύστασης ώστε να δίνουν τη δυνατότητα όχι μόνο να κινούνται και να ελίσσονται με ευκολία, αλλά και στην αποφυγή ατυχημάτων σε περίπτωση σύγκρουσης. Συνήθως χρησιμοποιούνται υλικά από πλαστικό και αλουμίνιο τα οποία είναι ελαφριά και ανθεκτικά.

2.2 Δομή των drone

Στα βασικά μέρη του μπορούμε να πούμε ότι αποτελείται από:

- Το τηλεχειριστήριο, με το οποίο ο χρήστης θα ελέγξει και θα καθοδηγήσει
- Τον κορμό δηλαδή το ίδιο το όχημα, το οποίο με τους ελεγκτές πτήσης μπορεί να συλλέξει βάσει των δεδομένων από μαγνητόμετρα, βαρόμετρα και αισθητήρες να παραμείνει στον αέρα
- Οι έλικες όπου με την τροφοδοσία που λαμβάνουν από τις μπαταρίες του δίνουν τη δυνατότητα να περιστρέφονται ώστε να μπορεί να ανυψωθεί.

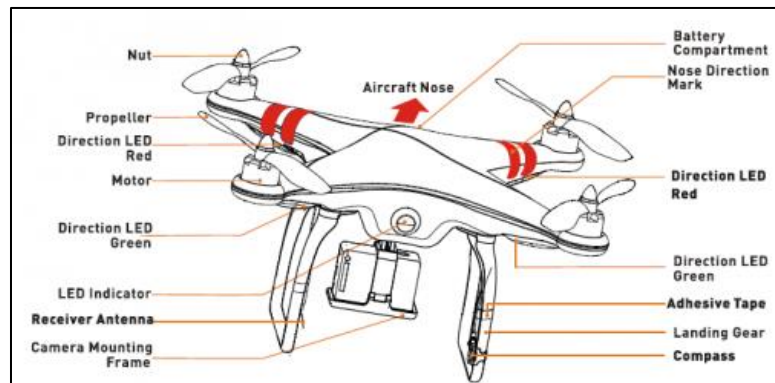
- Κάμερες και GPS δίνουν τη δυνατότητα να μπορεί να ανιχνεύει εμπόδια και να αποφεύγει συγκρούσεις. [37]

Τα αεροσκάφη αυτά συμπεριλαμβάνονται σε μια μεγάλη κατηγορία αυτή τη UAV όπου σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας τους χωρίζονται και σε άλλες κατηγορίες με την πιο γνωστή και διαδεδομένη αυτή των Rotocraft UAV η οποία αναλόγως των ελίκων και των κινήσεων αυτών χωρίζεται σε υποκατηγορίες

- Helicopter UAV τα οποία μοιάζουν πολύ με τα ελικόπτερα
- Quadrotor, Hexarotor and Octorotor UAV τα οποία πήραν την ονομασία τους λόγω των τεσσάρων/έξι η οκτώ ελίκων που διαθέτουν.
- Coaxial UAV ονομάστηκαν έτσι λόγω του ότι δεν διαθέτουν ουραίο έλικα και
- Fixed wing UA τα οποία είναι και τα πιο γνωστά καθώς έχουν πανομοιότυπη κίνηση με αυτή των αεροπλάνων.

Τα τετρακόπτερα γενικά περιλαμβάνουν τα παρακάτω λειτουργικά εξαρτήματα

A. Κινητήρας. Ένα από τα πιο βασικά μέρη των μηχανών αυτών. Τροφοδοτείται με ισχύ από τις μπαταρίες και αναλόγως τις εντολές και τις αυξομειώσεις των στροφών που θα του δώσει ο χρήστης επιτρέπει στους έλικες να κινηθούν ώστε να επιτευχθεί η ανύψωση και να κινείται δεξιά αριστερά μπροστά πίσω.



Εικόνα 2-1 : Βασικά μέρη drone [34]

B. Στάτορας. Ο στάτορας είναι εκείνο το μέρος του κινητήρα όπου περιέχει τις περιελξεις από χαλκό οι οποίοι μετατρέπονται σε μαγνήτες όταν αυτοί δεχθούν ρεύμα. Θα δημιουργήσουν ένα μαγνητικό πεδίο με αποτέλεσμα να κινηθεί ο στάτορας.

Γ. Ρότορας. Ο ρότορας είναι αυτό το σημείο που βοηθά του έλικες να κινηθούν περιστρέφοντας τον άξονα.

Δ. Ρουλεμάν . Είναι αυτά τα μικρά εξαρτήματα που δημιουργώντας ένα διάκενο αέρα βοηθούν τους ρότορες να παραμένουν στη θέση τους όταν περιστρέφονται.

Ε. Έλικες . Οι έλικες για να δημιουργήσουν ανύψωση πρέπει να λειτουργούν σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Έτσι κατασκευάζονται να είναι σε ζεύγη ώστε όταν το ένα ζεύγος να περιστρέφεται δεξιόστροφα και το άλλο αριστερόστροφα. Ανάλογα με την αυξομείωση των στροφών που ο χρήστης θα δώσει στον κινητήρα το drone θα πραγματοποιήσει και ανάλογη κίνηση δεξιά αριστερά εμπρός και πίσω. Τα περισσότερα drones έχουν 4 έλικες και για αυτό και ονομάζονται και τετρακόπτερα, χωρίς να απουσιάζει και η κατασκευή με 6 ή οχτώ έλικες.

Στ. Ελεγκτής πτήσης . Ο ελεγκτής πτήσης είναι εκείνη η συσκευή η οποία θα συλλέξει όλα εκείνα τα δεδομένα που μαζί με τους αισθητήρες και τους αλγόριθμους που έχουν περιέλθει στο λογισμικό του θα μπορέσει ώστε να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα που θέλουμε κατά την πτήση.[34]

2.3 Τρόποι καλλιέργειας μέσω drones

Με την ανάπτυξη των τεχνολογιών και των διαφοροποιημένων εφαρμογών η γεωργία ακριβείας έχει συμβάλει στη διαχείριση δασικών εκτάσεων και αγροτεμαχίων. Η χρήση της τεχνολογίας των drones τα τελευταία χρόνια έχει φέρει μια άλλη διάσταση στον τρόπο που διαχειριζόμαστε μέχρι πρότινος τη γη μας. Με την βοήθεια των μη επανδρωμένων αεροσκαφών μπορούμε να έχουμε σημαντική αύξηση της παραγωγής, μείωση στην κατανάλωση ενέργειας και στην ορθολογική χρήση των χημικών έχοντας τη δυνατότητα να φυτεύουμε έως 20.000 σπόρους την ημέρα. [4]

2.3.1 Ανάλυση εδάφους

Μας δίνετε η δυνατότητα να εκτιμήσουμε την κατάσταση του εδάφους να συλλέξουμε τα δεδομένα της παραγωγής από τις συγκεκριμένες θέσεις όπου θα γίνουν οι ρίψεις, και να καταγράψουμε την γονιμότητα του εδάφους, καθώς και την χαρτογράφηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας η οποία θα μας δώσει στοιχεία για την σύσταση του εδάφους, την αλατότητα, τις οργανικές ουσίες κ.α. Η μεταβλητότητα αυτών των παραγόντων θα δώσει και στην παραγωγή μας αντίστοιχες μεταβολές. Με τη χρήση υπέρυθρης ακτινοβολίας η οποία μεταδίδεται συνήθως από αισθητήρες ή θερμικές εικόνες μπορούν να αντιμετωπισθούν έγκαιρα προβλήματα πριν ακόμα εντοπιστούν με το ανθρώπινο μάτι.[16]



Εικόνα 2-2 : Προσομοίωση μιας σύγχρονης καλλιέργειας [35]

2.3.2 Φύτευση

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη με την εναέρια σπορά (drone seed) μπορούν να δώσουν στον καλλιεργητή μεγαλύτερη κάλυψη της περιοχής σε λιγότερο χρόνο από ότι με το συμβατό τρόπο σποράς αφού έχουν τη δυνατότητα να μεταφέρουν έως και 25 κιλά ωφέλιμου φορτίου σε σπόρους, λιπάσματα, ζιζανιοκτόνα και ταυτόχρονα να μπορέσει να επιτύχει φύτευση και απόδοση ακόμα και σε εκείνα τα σημεία που δεν θα ήταν εφικτό με το παραδοσιακό τρόπο ή και ακόμα σε εκείνα τα σημεία που είναι ήδη φυτεμένα. Για να επιτύχουμε τους στόχους μας για μια αξιοπρεπή καλλιέργεια - αναδάσωση χρειαζόμαστε ένα σύστημα διαχείρισης των αγροτεμαχίων με το οποίο θα μπορούν να εφαρμοστούν διαφορετικά επίπεδα εισροών ανάλογα με το δυναμικό της παραγωγής και τις όποιες εδαφικές συνθήκες επικρατούν την εποχή της σποράς.[4]



Εικόνα 2-3 : Seed drone[36]

2.3.3 Ψεκασμός- Λίπανση

Οι εκτάσεις που καλλιεργούμε – αναδασώνουμε για να έχουν απόδοση χρειάζονται συνεχή έλεγχο για τυχόν ασθένειες και λίπανση. Με τα ψεκαστικά τετρακόπτερα (spraying drones) επιτυγχάνουμε ρίψεις σε μεγάλες εκτάσεις σε σύντομο χρόνο. Υπάρχουν εταιρείες drones που παρέχουν τη δυνατότητα ρίψης υγρών έως και 30 λίτρων και 6 έως 7 εκτάρια εδάφους ανάλογα με το είδος drone που θα χρησιμοποιήσουμε. Σε αυτά τα σκάφη έχουν τοποθετηθεί ραντάρ (Digital Beam Forming) και κάμερες (First Person View) έτσι ώστε να έχουν τη δυνατότητα να αντιληφθούν εμπόδια και να αναγνωρίζουν τα όρια που πρέπει να ψεκάσουν. [6]



Εικόνα 2-4 : Spraying drone [37]

2.4 : Ανατομία DJI - P4 Multispectral

Το drone P4 Multispectral της εταιρίας DJI είναι ένα τετρακόπτερο υψηλής ακρίβειας με ένα ενσωματωμένο σύστημα πολυφασματικής απεικόνισης που έχει σχεδιαστεί για αποστολές γεωργίας, περιβαλλοντική παρακολούθηση και πολλά άλλα. Μπορεί επίσης να παρέχει πληροφορίες για την υγεία των καλλιεργειών και τη διαχείριση της βλάστησης μέσω της λειτουργίας NDVI που παρέχει. Σημαντικό χαρακτηριστικό ακόμη είναι ότι ο μέγιστος χρόνος πτήσης είναι έως 27 λεπτά με εμβέλεια μετάδοσης ακόμη και έως τα 7 km με το σύστημα OcuSync.[38]



Εικόνα 2-5 : το P4 Multispectral [38]

Ενδεικτικά κάποιες ακόμη λειτουργίες είναι :

- "κλείδωμα" υψομέτρου
- Αυτόματη απογείωση προσγείωση
- FVP (First Person View) πτήση
- Λειτουργία "ακολουθήσε με"
- Αποφυγή εμποδίων
- Επιστροφή στο κεντρικό σημείο εκκίνησης
- Διόρθωση αστοχίας απώλειας σήματος

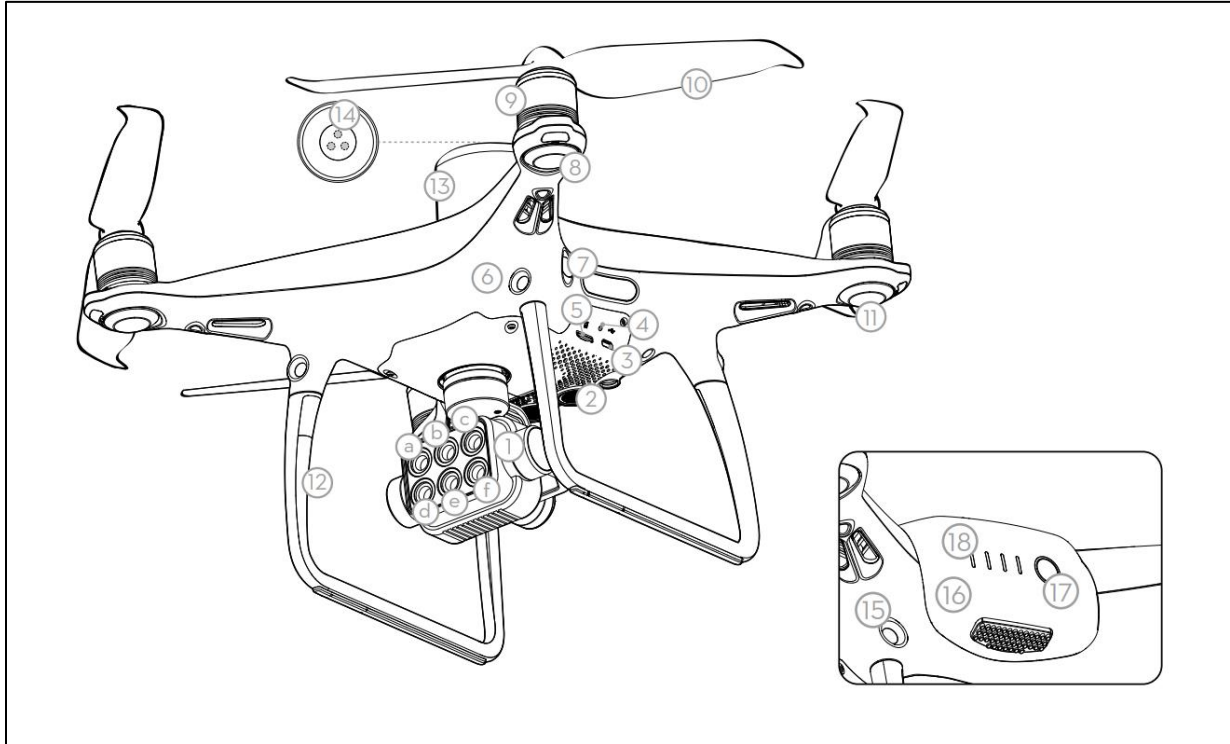
Παρακάτω θα αναλύσουμε το P4 Multispectral ως προς την ανατομία του , τους αισθητήρες του καθώς και την βασική λειτουργία που μας προσφέρει (NDVI) .

Max Transmission Distance	FCC / NCC: 4.3 mi (7 km); CE / MIC / KCC / SRRC: 3.1 mi (5 km) (Unobstructed, free of interference)
Built-in Battery	6000 mAh LiPo 2S
Operating Current / Voltage	1.2 A @ 7.4 V
Mobile Device Holder	Tablets and smartphones
Operating Temperature	0° to 40° C (32° to 104° F)

Πίνακας 2-1: : Προδιαγραφές του DJI [38]

2.4.1 Ανατομία

Παρακάτω μπορούμε να δούμε ποια κομμάτια απαρτίζουν το drone



Εικόνα 2-6 : τα μέρη του P4 Multispectral [38]

1. Κάμερες με μηχανισμό σταθεροποίησης (gimbal) :

- a. Red Edge *
- b. Εγγύς Υπέρυθρο (NIR)
- c. Πράσινο (G)
- d. Ορατού Φωτός (RGB)
- e. Κόκκινο (R)
- f. Μπλε (B)

2. Οπτικό καθοδικό σύστημα

3. Θύρα Micro USB

4. Ένδειξη κάμερας/σύνδεσης και κουμπί σύνδεσης

5. Θύρα Micro SD

6. Εμπρόσθιο οπτικό σύστημα

7. Σύστημα ανίχνευσης υπέρυθρων

8. Εμπρόσθια LEDs

9. Μοτέρ

10. Προπέλες

11. Ένδειξη κατάστασης αεροσκάφους

12. Κεραίες OcuSync

13. Ενσωματωμένη κεραία D-RTK

14. Αισθητήρας φασματικού ηλιακού φωτός

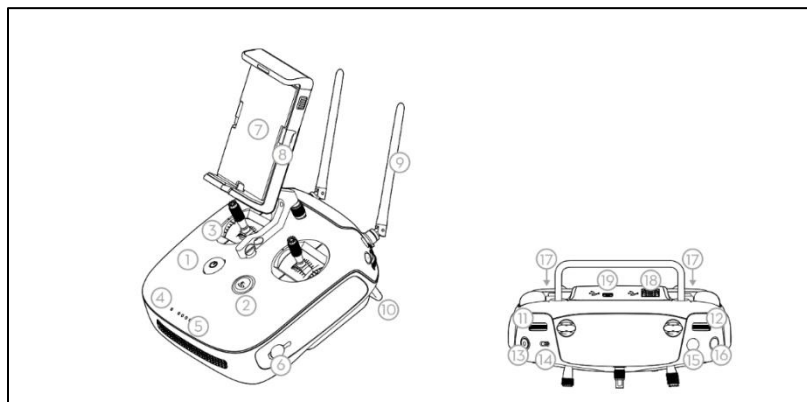
15. Οπίσθιο οπτικό σύστημα

16. Μπαταρία πτήσης

17. Κουμπί ενεργοποίησης

18. Ένδειξη στάθμης μπαταρίας

Και αντίστοιχα για το ασύρματο χειριστήριο :



1. Κουμπί ενεργοποίησης
2. Κουμπί επιστροφής στο κεντρικό σημείο (Home Button)
3. Sticks ελέγχου
4. Ένδειξη σύζευξης LED
5. Ένδειξη στάθμης μπαταρίας
6. Θύρα φόρτισης
7. Βάση κινητού
8. Βοηθητικά μέσα στήριξης κινητού
9. Κεραίες

Εικόνα 2-7 : το τηλεχειριστήριο του P4 Multispectral [38]

10. Μπάρα στήριξης

11. Dial

12. Reserved Dial

13. Κουμπί καταγραφής βίντεο

14. Διακόπτης λειτουργίας πτήσης

15. Κουμπί κλείστρου

16. Κενό κουμπί

17. C1, C2 κουμπιά

18. Θύρα USB

19. Θύρα Micro USB port

2.4.2 Πίνακας σχετικά με την ένδειξη στάθμης μπαταρίας

The Battery Level Indicators will also show the current battery level during charging and discharging.

The indicators are defined below.

: LED is on. : LED is flashing.

: LED is off.

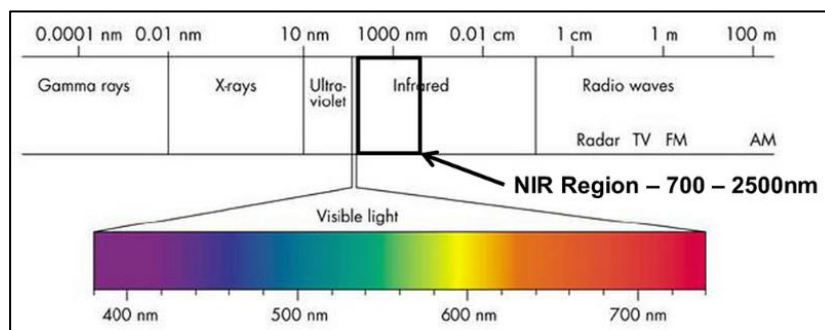
Battery Level Indicators				Battery Level
LED1	LED2	LED3	LED4	
				87.5%–100%
				75%–87.5%
				62.5%–75%
				50%–62.5%
				37.5%–50%
				25%–37.5%
				12.5%–25%
				0%–12.5%
				=0%

Πίνακας 2-2: Επίπεδα ενδείξεων μπαταρίας [38]

2.4.3 Κάμερα

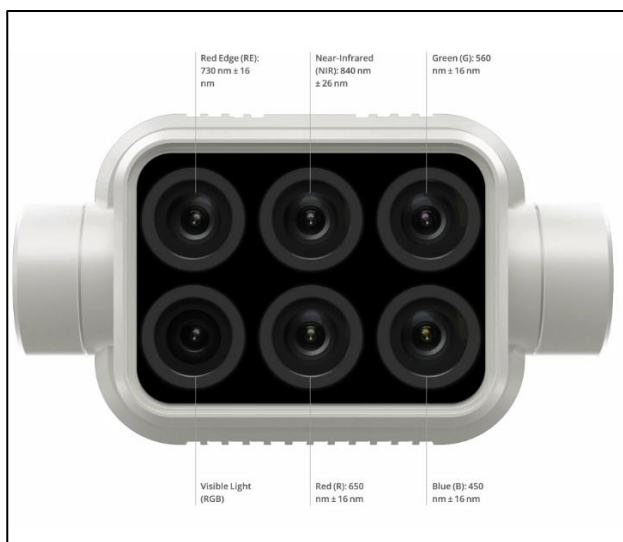
Υπάρχουν 6 αισθητήρες $\frac{1}{2} 9''$ CMOS, συμπεριλαμβανομένου ενός αισθητήρα για την λήψη εικόνας στο ορατό φάσμα. Κάθε αισθητήρας έχει ανάλυση 2.08 MP. Όσον αφορά τα φίλτρα έχουμε :

1. Red Edge = εκπέμπει κοντά στο εγγύς υπέρυθρο εύρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (730 nm \pm 16nm) (εικόνα 3) και χρησιμοποιείται για την ανάλυση της βλάστησης
2. Εγγύς Υπέρυθρο (NIR) = 840 nm \pm 26nm
3. Πράσινο (G) = 560 nm \pm 16nm
4. Ορατού Φωτός (RGB)
5. Κόκκινο (R) = 650 nm \pm 16nm
6. Μπλε (B)=450nm \pm 16nm

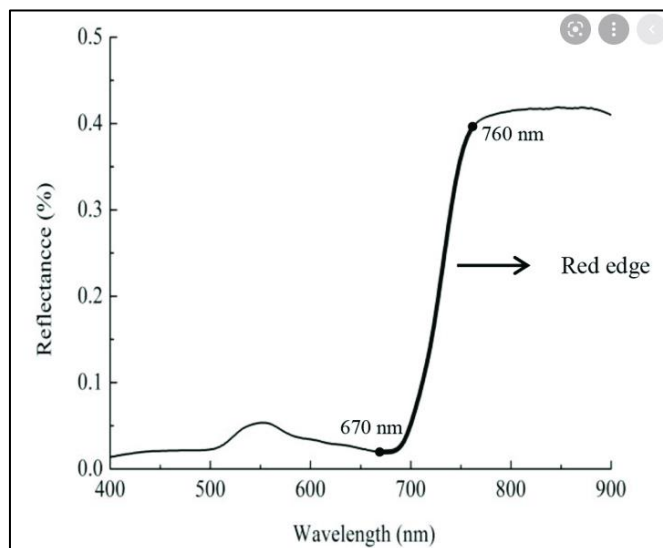


Εικόνα 2-8 : Γράφημα ηλεκτρομαγνητικού φάσματος [39]

- Οι εικόνες αποθηκεύονται σε μορφή JPEG+ TIFF με μέγιστο μέγεθος εικόνας 1600*1300 (4:3:25)
- Όσον αφορά την κάρτα μνήμης ελάχιστη ταχύτητα εγγραφής πρέπει να έχει 15MB/s και μέγιστη χωρητικότητα τα 128 GB
- Οι θερμοκρασίες κατά την λειτουργία δεν θα πρέπει να ξεπερνάνε τους 40 βαθμούς κελσίου και να μην είναι χαμηλότερες από 0 βαθμούς κελσίου .



Εικόνα 2-9 : Οι 6 αισθητήρες του P4 Multispectral [38]

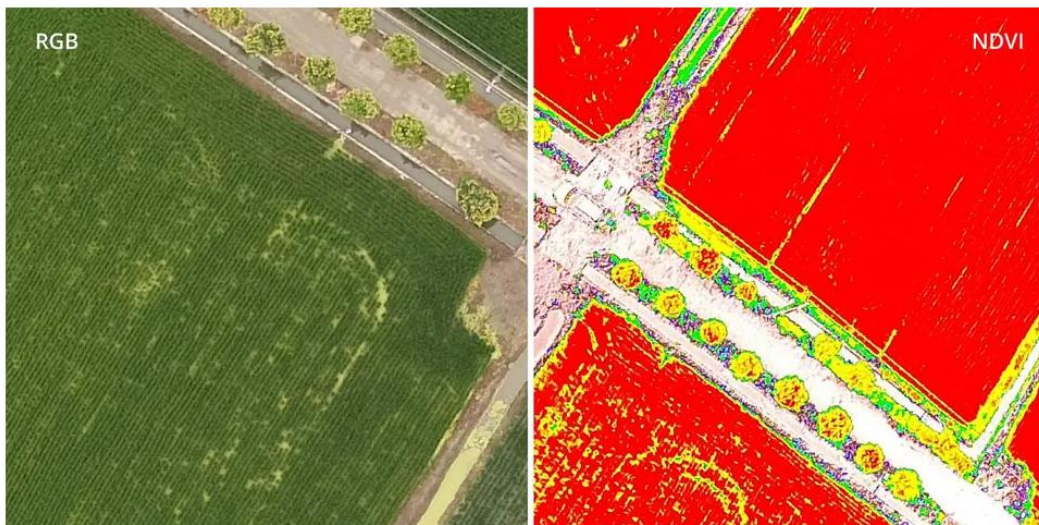


Εικόνα 2-10 : Γράφημα ηλεκτρομαγνητικού φάσματος εστιασμένο στο εγγύς υπέρυθρο εύρος του [38]

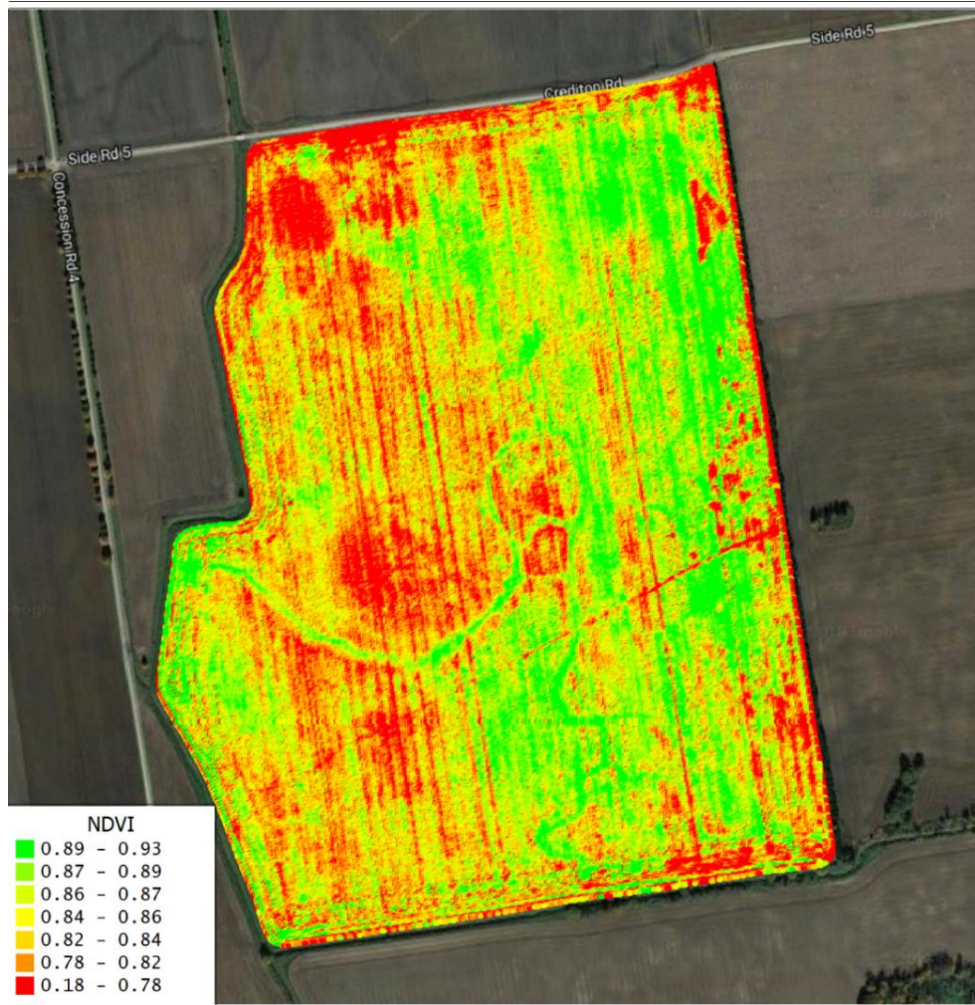
2.4.4 Ανάλυση λειτουργίας RGB/ NDVI

Το P4 Multispectral διαθέτει δύο λειτουργίες την RGB και την NDVI. Η RGB λειτουργία καταλαβαίνουμε ότι είναι στο οπτικό φάσμα σε αντίθεση με την NDVI που υπολογίζεται ως η διαφορά μεταξύ της ανάκλασης κοντά στο υπέρυθρο (NIR) και του κόκκινου (RED) διαιρεμένη με το άθροισμά τους. Το NDVI μιας περιοχής με πυκνή βλάστηση θα τείνει προς θετικές τιμές, ενώ το νερό και οι κατοικημένες περιοχές θα αντιπροσωπεύονται από σχεδόν μηδενικές ή αρνητικές τιμές. Χρησιμοποιείται επίσης για την παρακολούθηση της ξηρασίας και την έγκαιρη προειδοποίηση λιμού. Παρακάτω στις εικόνες μπορούμε να δούμε τις δύο αυτές λειτουργίες.[38]

$$NDVI_i = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$



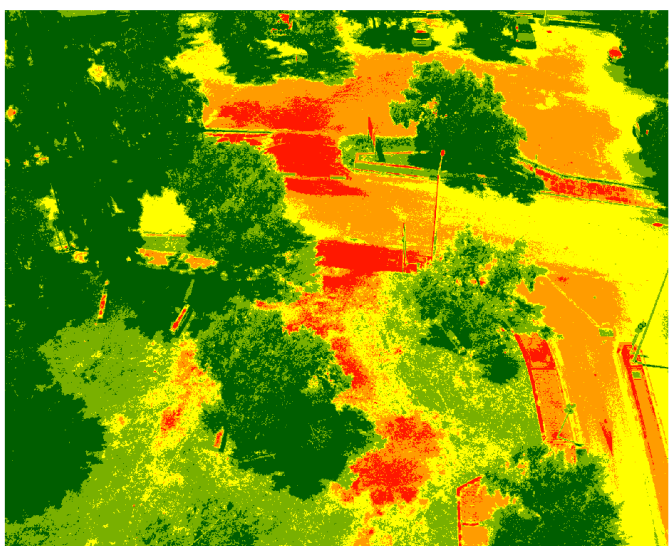
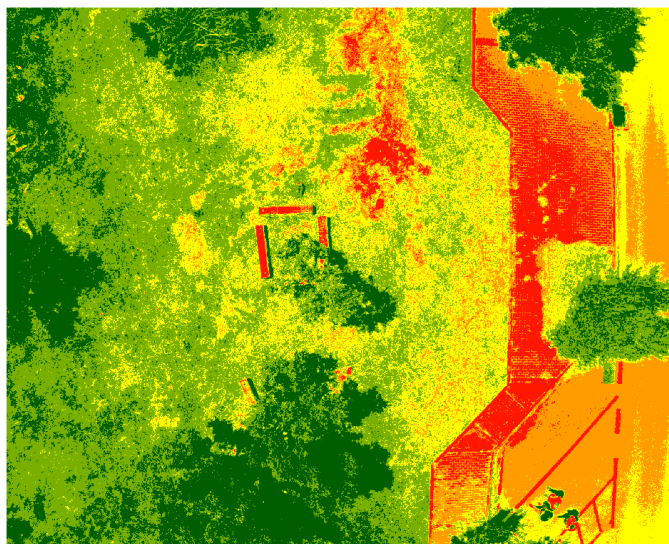
Εικόνα 2-11 : Λήψη σε RGB και NDVI mode[40]



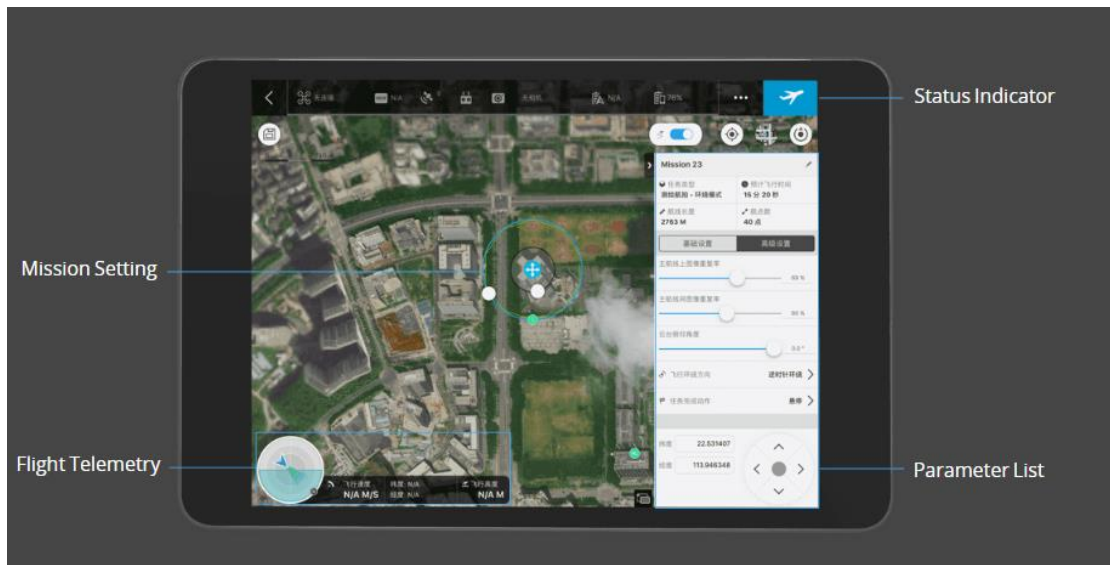
Εικόνα 2-12 : Εικόνα NDVI επεξεργασμένη με το πρόγραμμα pix4d [41]

2.4.5 Ενδεικτικές εικόνες που λήφθηκαν :

Παρακάτω μπορούμε να παρατηρήσουμε τις ενδεικτικές εικόνες που λήφθηκαν από το DJI - P4 Multispectral σε εξωτερικό χώρο του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής 2 (Αρχαίου Ελαιώνα) . Στα αριστερά διακρίνουμε την λήψη σύμφωνα με τον δείκτη NDVI ενώ δεξιά σε ασπρόμαυρη λήψη. Θα παρατηρήσουμε ωστόσο ότι οι πιο ξηρές περιοχές εμφανίζονται με κόκκινο σε αντίθεση με τις περιοχές που έχουμε βλάστησης όπου έχουν πράσινες αποχρώσεις. Το πρόγραμμα – οδηγός που χρησιμοποιήσαμε ανήκει στην οικογένεια του DJI και συγκεκριμένα είναι το DJI GS PRO .



Εικόνα 2-13: Ληφθέντες εικόνες από το DJI P4 Multispectral (Αριστερά σε NDVI mode δεξιά σε Gray mode)



Εικόνα 2-14:Τυπικό περιβάλλον του προγράμματος DJI GS PRO [42]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Μηχανική Μάθηση και νευρωνικά δίκτυα .

3.1 Μηχανική μάθηση

Η όρος μηχανική μάθηση θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι μια λογική με την οποία ένα τεχνολογικό μέσο , πχ ένας υπολογιστής ,είναι ικανό να έχει τεχνητή νοημοσύνη. Το ονομάζουμε με αυτόν τον όρο «μάθηση» ώστε να παρομοιάζουμε την ανθρώπινη μάθηση μέσω της διαδικασίας της παρατήρησης. Στην πράξη έχουμε υπολογιστικά συστήματα τα οποία παίρνουν αποφάσεις χωρίς να είναι προγραμματισμένα επακριβώς. Η μηχανική μάθηση θα παρατηρήσουμε ότι δίνει λύση σε προβλήματα τύπου ταξινόμησης, αναγνώριση προτύπων, κανόνες χειρισμού και προβλέψεις ομαδοποίησης .

Ανάλογα με τον τρόπο που δουλεύουμε το σύστημα Η τεχνική μάθηση χωρίζεται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες:

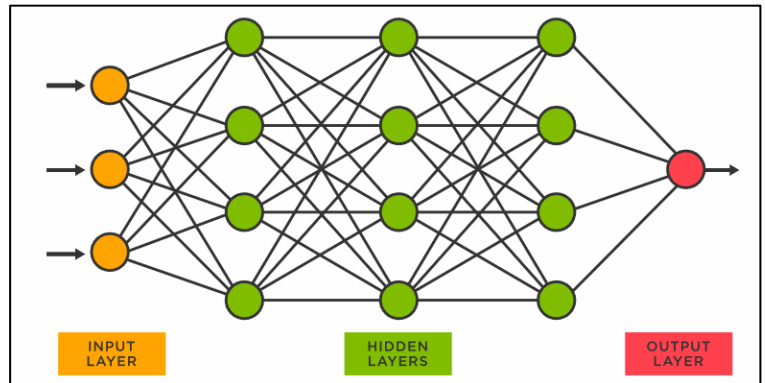
- μάθηση με επίβλεψη
- μάθηση χωρίς επίβλεψη
- μάθηση με μερική επίβλεψη
- και μάθηση με ενίσχυση

Το πρόβλημα της ταξινόμησης όταν εφαρμόζεται σε απλές εφαρμογές μπορεί να φαίνεται απλό και ο διαχωρισμός να γίνεται εύκολα και με το μάτι σε ένα ρεαλιστικό παράδειγμα όμως τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων είναι πολύ περισσότερα και ο διαχωρισμός είναι φαινομενικά αδύνατος η παρά πολύ χρονοβόρος χωρίς την βοήθεια κάποιας αντίστοιχης μεθόδου [19] [20]

3.2 Νευρωνικά δίκτυα

Η τεχνολογία μας δείχνει κατά πόσο εμπνευσμένη είναι συνεχώς με τη φύση έτσι λοιπόν και στην μηχανική μάθηση αντλεί τον τρόπο λειτουργίας των νευρώνων (βιολογικών) κατασκευάζοντας έτσι τους τεχνητούς νευρώνες. Ένας βιολογικός νευρώνας θα μπορούσαμε να πούμε ότι απαρτίζεται από το κυτταρικό σώμα που εκτελούνται εκεί οι απαραίτητοι υπολογισμοί, τους δενδρίτες στους οποίους υπάρχουν και στέλνουν τα σήματα εισόδου στο κυτταρικό σώμα και τις νευράξονικές απολήξεις, που είναι υπεύθυνες για την μεταφορά του επεξεργασμένου σήματος σε άλλους νευρώνες. Ακόμη θα λέγαμε πως υπάρχει σύνδεση μεταξύ των νευρώνων και κάθε σύνδεση έχει διαφορετική βαρύτητα. Με άλλα λόγια, το μεταφερόμενο σήμα θα επιλέξει μία συγκεκριμένη διαδρομή από νευρώνες κάθε φορά στηριζόμενη με κάποια προτεραιότητα.

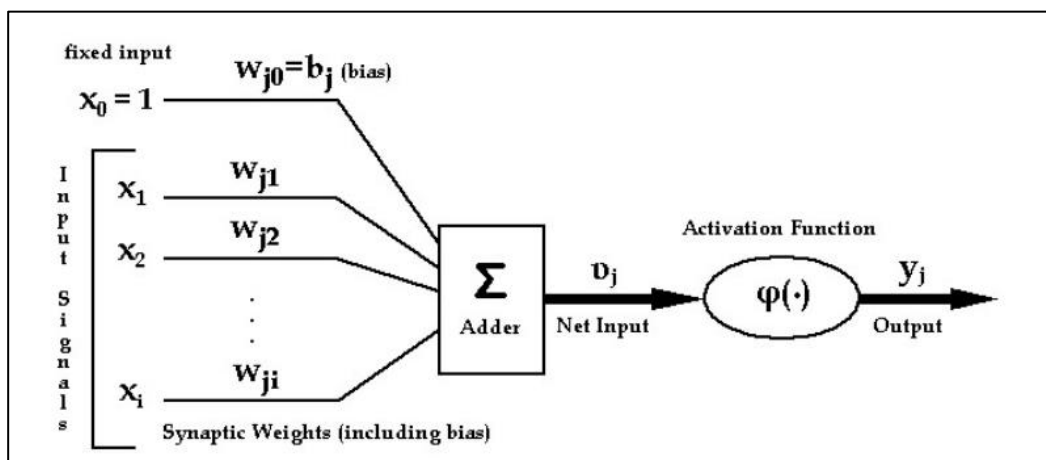
Αντίστοιχα ο τεχνητός νευρώνας αποτελείται από έναν κόμβο που συλλέγει τα δεδομένα σαν είσοδο και τα επεξεργάζεται και μία ή πολλές εξόδους που λειτουργούν ως μεταφορείς των δεδομένων στους επόμενους κόμβους. Η δομή ενός τεχνητού νευρωνικού δικτύου είναι διαχωρίζεται σε ένα επίπεδο στο οποίο υπάρχουν τα δεδομένα εισόδου, ένα άλλο επίπεδο με κόμβους που θεωρείται κρυφό επίπεδο δηλαδή το αντιμετωπίζουμε ως ένα μαύρο κουτί, και ένα επίπεδο με τις εξόδους δηλαδή τα αποτελέσματα. Με την ίδια λογική των βιολογικών νευρώνων συνδέονται και οι τεχνητοί, με συνδέσεις διαφορετικής βαρύτητας. Έτσι μπορούμε να διαχωρήσουμε τους νευρώνες στους :



Εικόνα 3-1: Σχεδιαστικό μοντέλο νευρωνικού δικτύου[43]

- Νευρώνες εισόδου, οι οποίοι δεν είναι υπεύθυνοι για τον υπολογισμό κάποιου στοιχείου
- Νευρώνες εξόδου, όπου λαμβάνουν τις τελικές τιμές προς τις την έξοδο του δικτύου και οι
- Υπολογιστικοί νευρώνες ή κρυμμένοι νευρώνες, οι οποίοι πολλαπλασιάζουν κάθε τιμή εισόδου με το ανάλογο συνοπτικό βάρος με αποτέλεσμα να έχουν το συνολικό άθροισμα κάθε γινομένου όπου αυτό με την σειρά του θα οπλίσει την συνάρτηση ενεργοποίησης .

Οι συναρτήσεις ενεργοποίησης είναι η μη γραμμική (non-linear transfer function), στοχαστική (stochastic transfer function), βηματική (step transfer function), γραμμική (linear transfer function).



Εικόνα 3-2: Μαθηματικό μοντέλο νευρωνικού δικτύου [44]

Οπότε εάν x_{kn} είναι η n-οστή είσοδος του k νευρώνα ενώ έχουμε σαν συνάρτηση ενεργοποίησής την $\varphi(\cdot)$ τότε θα έχουμε σαν έξοδο y_k :

$$y_k = \varphi\left(\sum_{i=0}^N x_{ki} * w_{ki}\right) \quad (4)$$

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά είναι η ικανότητα του να «μαθαίνει». Να έχει την δυνατότητα, δηλαδή, να εξελίσσει την επιλογές του και να λύνει ένα πρόβλημα με μικρότερο σφάλμα . Βέβαια αυτή η μάθηση προέρχεται από την διαδικασία της εκπαίδευσής. Η διαδικασία στην οποία προσαρμόζονται οι παράμετροι του συστήματος στις βέλτιστες τιμές όπου και κλειδώνουν .

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα θα λέγαμε πως χαρακτηρίζονται ως ένα μοντέλο μηχανικής μάθησης με ενίσχυση το οποίο χρησιμοποιείτε για μεγάλη περιοχή προβλημάτων όπως οι προβλέψεις, η ταξινόμηση και η ομαδοποίηση. Ένα βασικό πλεονέκτημα των δικτύων αυτών είναι πως μπορούν να επεξεργαστούν πολύ σύνθετα προβλήματα όπου κατά κύριο λόγο δεν είναι προφανείς οι συσχετισμοί στα δεδομένα. Λόγω των εξαιρετικών επιδόσεων των τεχνητών νευρωνικών δικτύων στην επίλυση πολύπλοκων προβλημάτων θα τα συναντήσουμε στην τεχνητή νοημοσύνη των παιχνιδιών, σε προβλήματα αυτόνομης λήψης αποφάσεων και στην πλοήγηση ρομπότ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Δορυφορική ανάλυση και πρόβλεψη βλάστησης σε μια περιοχή μελέτης

Όπως περιγράψαμε και παραπάνω στο κεφάλαιο 1.3 η τηλεσκόπηση μπορεί να μας επιφέρει αρκετές πληροφορίες και στον τομέα της γεωργίας ακριβείας. Με σκοπό όμως να έχουμε στα χέρια μας πραγματικά δεδομένα βλάστησης αντλούμε πληροφορίες από δορυφορικές λήψεις και συγκεκριμένα από τον δορυφόρο sentinel 2 .

4.1 Δεδομένα δορυφόρου Sentinel 2

Στον δορυφόρο Sentinel – 2 εμπεριέχεται το Πολυφασματικό όργανο του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος. Το όργανο αυτό μας παρέχει παγκόσμια με ανάλυση 10 μέτρων , από 83 μοίρες βόρεια και 56 μοίρες νότιο γεωγραφικό πλάτος, πολυφασματικές εικόνες κάθε 10 ημέρες (2015-σήμερα).

Ο στόλος δορυφόρων Sentinel έχει σχεδιαστεί για να παρέχει δεδομένα τηλεπισκόπησης ξηράς που ανήκουν στο πρόγραμμα Copernicus της Ευρωπαϊκής Επιτροπής. Η αποστολή Sentinel-2 είναι το αποτέλεσμα της στενής συνεργασίας μεταξύ του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA), της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, της βιομηχανίας, των παρόχων υπηρεσιών και των χρηστών δεδομένων. Η αποστολή έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί από μια κοινοπραξία περίπου 60 εταιρειών με επικεφαλής την Airbus Defense and Space και υποστηρίζεται από τη γαλλική διαστημική υπηρεσία CNES για τη βελτιστοποίηση της ποιότητας εικόνας αλλά και από το Γερμανικό Αεροδιαστημικό Κέντρο DLR για τη βελτίωση της ανάκτησης δεδομένων χρησιμοποιώντας οπτικές επικοινωνίες.

Η αποστολή Sentinel-2 αποτελείται από δύο δορυφόρους που αναπτύχθηκαν με σκοπό την μελέτη της βλάστησης και γενικά την περιβαλλοντική παρακολούθηση. Ο δορυφόρος Sentinel-2A εκτοξεύτηκε από την ESA στις 23 Ιουνίου 2015 και λειτουργεί σε μια ηλιακή-σύγχρονη τροχιά με κύκλο επανάληψης 10 ημερών. Ένας δεύτερος πανομοιότυπος δορυφόρος (Sentinel-2B) εκτοξεύτηκε στις 7 Μαρτίου 2017. Τα αποτελέσματα των δεδομένων είναι διαθέσιμα στο EarthExplorer. Μαζί καλύπτουν όλες τις χερσαίες επιφάνειες της Γης, τα μεγάλα νησιά και τα εσωτερικά και παράκτια ύδατα κάθε πέντε ημέρες.



Εικόνα 4-1: Λήψη εικόνας από τον δορυφόρο Sentinel-2A σε μια περιοχή της Δανίας και της Σουηδίας (6 Αυγούστου 2015). [45]



Εικόνα 4-2: Ο δορυφόρος Sentinel 2 [46]

Το πολυφασματικό όργανο του Sentinel-2 (MultiSpectral Instrument , MSI) απαρτίζεται από 13 φασματικές ζώνες που κυμαίνονται από ορατές και κοντινές υπέρυθρες (VNIR) έως μήκη κύματος υπέρυθρων βραχέων κυμάτων (SWIR) κατά μήκος μιας τροχιακής λωρίδας 290 χιλιομέτρων.

Τα δεδομένα του οργάνου MSI έρχονται να συμπληρώσουν τα δεδομένα που αποκτήθηκαν από το Γεωλογικό Ινστιτούτο των ΗΠΑ (USGS) , το Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) και το Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+). [45] Η συνεργασία μεταξύ της ESA (European Space Agency) και του USGS επιτρέπει τη δημόσια πρόσβαση και αναδιανομή των παγκόσμιων αποκτήσεων των δεδομένων Sentinel-2 της ESA χωρίς κόστος. [27]

4.1.1 Φασματικές Ζώνες και Ανάλυση

Το MSI (MultiSpectral Instrument) μετρά την ανακλώμενη ακτινοβολία μέσω της ατμόσφαιρας μέσα σε 13 φασματικές ζώνες. Η χωρική ανάλυση εξαρτάται κάθε φορά από την ανάλογη φασματική ζώνη που θα ανήκει. Αναλυτικά τώρα έχουμε:

- 4 ζώνες με ανάλυση στα 10 μέτρα στις οποίες ανήκουν: μπλε (490 nm), πράσινες (560 nm), κόκκινες (665 nm) και εγγύς υπέρυθρες (842 nm).
- 6 ζώνες με ανάλυση στα 20 μέτρα στις οποίες ανήκουν: 4 στενές ζώνες βλάστησης (705 nm, 740 nm, 783 nm και 865 nm) και 2 μεγαλύτερες ζώνες SWIR (1.610 nm και 2.190 nm) για εφαρμογές όπως η ανίχνευση χιονιού/σύννεφου η εκτίμηση της υγρασίας.[45]
- 3 ζώνες με ανάλυση στα 60 μέτρα: οι οποίες είναι κυρίως για έλεγχο σύννεφων και παράλληλα έχουν την ιδιότητα επεξεργασίας της ατμόσφαιρας (443 nm για αερολύματα, 945 nm για υδρατμούς και 1375 nm για ανίχνευση σύννεφου).

4.1.2 SENTINEL-2 Ραδιομετρικές και χωρικές αναλύσεις

Αριθμός Ζώνης	Κεντρικό μήκος κύματος (nm)	Χωρική Ανάλυση (nm)	Εύρος Ζώνης (m)
1	443	20	60
2	490	65	10
3	560	35	10
4	665	30	10
5	705	15	20
6	740	15	20
7	783	20	20
8	842	115	10
8a	865	20	20
9	945	20	60
10	1375	30	60
11	1610	90	20
12	2190	180	20
TCI*	RGB	Σύνθετη	10

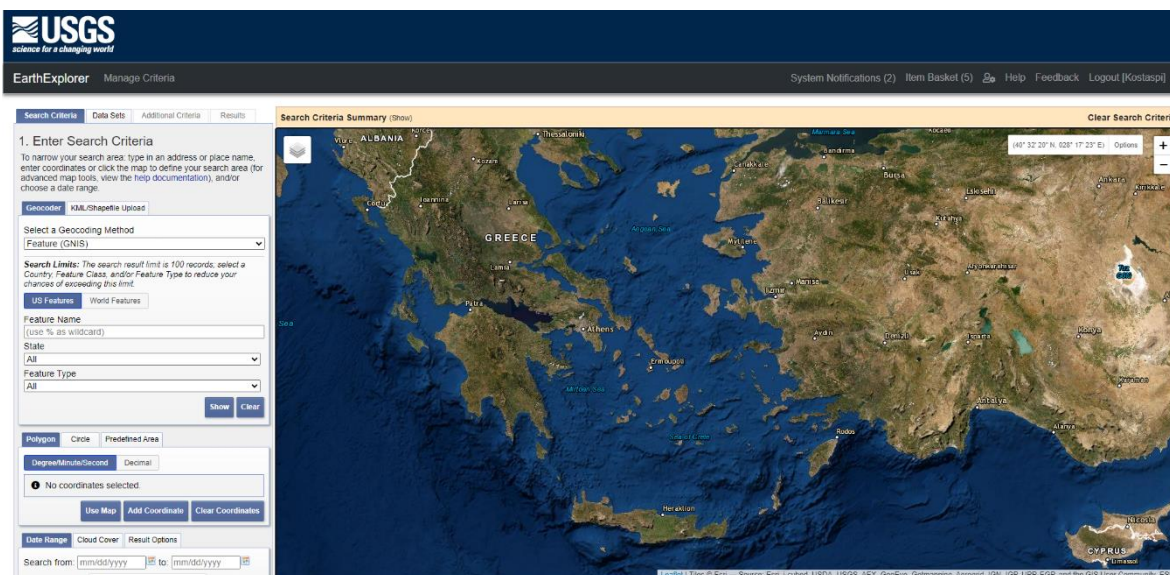
Πίνακας 4-1 : Τα 13 επίπεδα φασμάτων που μας παρέχει ο sentinel -2 [45]

Τα δεδομένα που αποκτήθηκαν μετά τις 5 Δεκεμβρίου 2016 περιλαμβάνουν μια αληθινή έγχρωμη εικόνα πλήρους ανάλυσης ως σύνθετη εικόνα RGB (κόκκινο, πράσινο, μπλε) που δημιουργήθηκε από τις ζώνες 4, 3, 2.

Το USGS (Spectral Characteristics Viewer) βοηθά τους χρήστες να προσδιορίσουν ποιες φασματικές ζώνες λειτουργούν καλύτερα με σκοπό να εντοπίσουν τα χαρακτηριστικά που τους ενδιαφέρουν για την καλύτερη ερμηνεία της εικόνας. Αυτό το εργαλείο διευκολύνει επίσης την απεικόνιση της σχετικής φασματικής απόκρισης (Relative Spectral Response - RSR) διαφόρων δορυφορικών αισθητήρων.

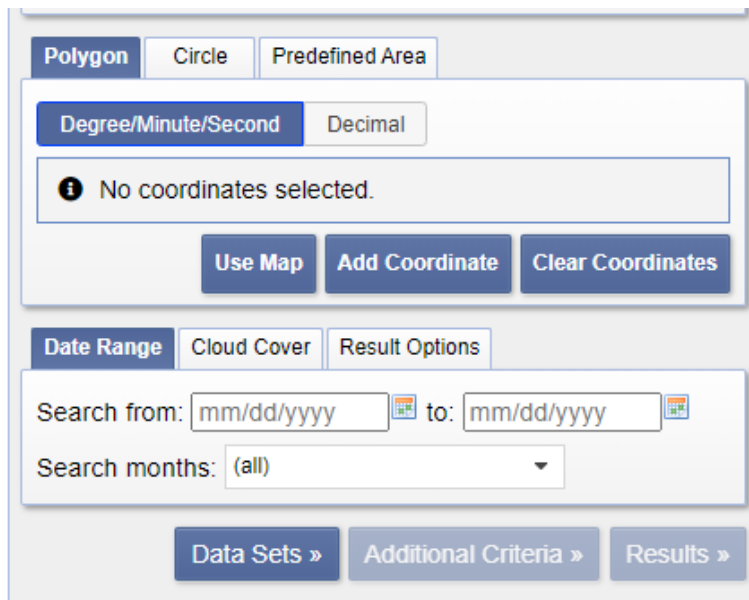
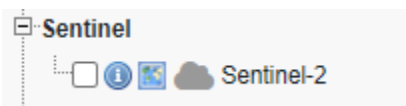
Επίπεδο Επεξεργασίας

Η συνεργασία μεταξύ της ESA και του USGS επιτρέπει τη διανομή δεδομένων ανάκλασης επιπέδου 1C στην κορυφή της ατμόσφαιρας (TOA). Η επεξεργασία Level-1C περιλαμβάνει ραδιομετρικές και γεωμετρικές διορθώσεις με σκοπό τη δημιουργία γεωγραφικών προϊόντων υψηλής ακρίβειας.



Εικόνα 4-3 : Απεικόνιση επίσημης ιστοσελίδας USGS [47]

Το USGS Earth Resources Observation and Science Center (EROS) αναδιανέμει τα δεδομένα του Sentinel-2 ανά τετραγωνική πλάκα, διατηρώντας παράλληλα την προδιαγραφή μορφής Sentinel Standard Archive Format for Europe (SAFE), η οποία επιτρέπει τη διανομή ενός φιλικού προς τον χρήστη μεγέθους αρχείου που είναι περίπου 650 MB. Κάθε προϊόν Level-1C είναι μια τετραγωνική πλάκα 100 km x 100 km με προβολή και δεδομένο UTM/WGS84 (Universal Transverse Mercator/World Geodetic System 1984). Το πλέγμα τετραγωνικής πλάκας Sentinel-2 αναφέρεται στο



Εικόνα 4-4 : Δυνατές επιλογές που μας παρέχει το σύστημα USGS [47]

Σύστημα Αναφοράς Στρατιωτικού Πλέγματος των ΗΠΑ (Military Grid Reference System - MGRS). Τα τετραγωνικά πλακίδια μπορούν να καλύπτονται πλήρως ή εν μέρει από δεδομένα εικόνας. Το πακέτο λήψης από το USGS περιλαμβάνει ένα αρχείο για καθεμία από τις 13 φασματικές ζώνες καθώς και τα μεταδεδομένα. Τα δεδομένα που αποκτήθηκαν μετά τις 5 Δεκεμβρίου 2016 διανέμονται από την ESA σε μια μόνο τετραγωνική πλάκα με μια συντομότερη ονομασία και περιλαμβάνουν μια πραγματική έγχρωμη εικόνα πλήρους ανάλυσης. Τα δεδομένα Sentinel-2 που προσφέρθηκαν προηγουμένως στο αρχείο EROS θα αντικατασταθούν καθώς τα δεδομένα με την πραγματική έγχρωμη εικόνα είναι διαθέσιμα από την ESA.

Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα για λήψη σε ένα αρχείο τύπου zip, το οποίο περιλαμβάνει δεδομένα εικόνας, δείκτες ποιότητας, βοηθητικά δεδομένα και μεταδεδομένα. Τα δεδομένα εικόνας είναι σε μορφή γεωγραφικής σήμανσης JPEG2000 (GMLJP2). Η GML παρέχει την απαραίτητη κωδικοποίηση για τη γεωαναφορά της εικόνας. Τα δεδομένα Sentinel-2 προορίζονται για επιστημονική χρήση στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (GIS) ή σε οποιοδήποτε άλλο ειδικό λογισμικό εφαρμογής που υποστηρίζει τη μορφή GMLJP2. Η ESA προσφέρει το Sentinel 2 Toolbox, ένα προϊόν λογισμικού ανοιχτού κώδικα, για την οπτικοποίηση, ανάλυση και επεξεργασία αρχείων GMLJP2/δεδομένων Sentinel-2 και άλλων δεδομένων τηλεπισκόπησης υψηλής ανάλυσης.

Οι εικόνες Περιήγησης πλήρους ανάλυσης (FRB) είναι σε μορφή αρχείου (GeoTIFF) ενώ παράλληλα είναι διαθέσιμες και από το USGS για όσες τετραγωνικές πλάκες προέρχονται από το Sentinel-2. Αυτό το προϊόν είναι μια προσομοιωμένη φυσική έγχρωμη σύνθετη εικόνα που δημιουργείτε από τρεις επιλεγμένες ζώνες (11, 8A, 4) με ανάλυση εδάφους 20 μέτρα.

Όλα τα προϊόντα δεδομένων Sentinel-2 παρέχονται δωρεάν σε όλους τους χρήστες δεδομένων, συμπεριλαμβανομένου του ευρύτερου κοινού, και επιστημονικών και εμπορικών χρηστών υπό τους όρους και τις προϋποθέσεις που ορίζονται από το Πρόγραμμα Copernicus της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.[45]

4.1.3 Χάρτες κάλυψης

Χάρτες κάλυψης που υποδεικνύουν τη διαθεσιμότητα των προϊόντων Sentinel-2 είναι διαθέσιμοι για λήψη. Το EarthExplorer ή το USGS Global Visualization Viewer (GloVis) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αναζήτηση, προεπισκόπηση και λήψη δεδομένων Sentinel-2. Η συλλογή μπορεί να βρεθεί στην κατηγορία Sentinel στο EarthExplorer. Το αρχείο USGS του δορυφόρου Sentinel-2 είναι μόνο μια μερική αναπαράσταση όλων των διαθέσιμων αποκτήσεων από την ESA. Θα παρατηρήσουμε όμως μια σημαντική καθυστέρηση προτού τα δεδομένα που αποκτήθηκαν από την ESA γίνουν διαθέσιμα στα συστήματα USGS.

4.1.4 Δείκτης NDVI

Το NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) θα τον χαρακτηρίζαμε ως έναν δείκτη βλάστησης ο οποίος μετράει την διαφορά μεταξύ στο κοντινό-υπέρυθρο (το οποίο η βλάστηση αντανακλά έντονα) και το κόκκινο φως (το οποίο η βλάστηση απορροφά). Οι τιμές αυτού του δείκτη κυμαίνονται από -1 έως +1.

Σε περίπτωση τώρα που παρατηρήσουμε ότι οι τιμές του NDVI είναι αρνητικές τότε είναι πολύ πιθανό να υπάρχει νερό σε αυτές τις περιοχές. Από την άλλη μεριά εάν οι τιμές του NDVI βρίσκονται πολύ κοντά στο +1 τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να υπάρχει πυκνή βλάστηση. Ενώ αν οι τιμές πλησιάζουν στο 0 τότε δεν υπάρχει βλάστηση αλλά μάλλον είναι κατοικημένη περιοχή.

Έχοντας λοιπόν αυτά σαν δεδομένα δημιουργούμε 6 κλάσεις (κατηγορίες) όπου ανάλογα με την τιμή του δείκτη NDVI που θα έχουμε θα ανήκει σε κάποια ομάδα περιοχής:

Κλάση	Εύρος NDVI
Νερό	-0.28 έως 0.015
Κατοικημένη Περιοχή	0.015 έως 0.14
Άγονη γη	0.14 έως 0.18
Θάμνοι	0.18 έως 0.27
Αραιή βλάστηση	0.27 έως 0.36
Πυκνή βλάστηση	0.36 έως 0.74

Πίνακας 4-2 : Ορισμός των κλάσεων σύμφωνα με την τιμή του NDVI στην περιοχή μελέτης

4.1.5 Υπολογισμός δείκτη NDVI

Η εξίσωση υπολογισμού του δείκτη NDVI χρησιμοποιεί τα κανάλια NIR (Near-infrared) δηλαδή το εγγύς υπέρυθρου και το ερυθρό (σχέση 3). Εφόσον τα στοιχεία που έχουμε αντλήσει προέρχονται από τον δορυφόρο Sentinel-2, μας ενδιαφέρουν οι περιοχές 4 και 8. Βάση των χαρακτηριστικών, λοιπόν, έχουμε:

$$NDVI = \left(\frac{Band8 - Band4}{Band8 + Band4} \right) \quad (5)$$

Όπου :

Περιοχή 8 = Band 8 = NIR

Περιοχή 4 = Band 4 = Red band

Ενδεικτικά παραθέτουμε ποιες περιοχές (bands) θα εκμεταλλευόμασταν εάν χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα άλλων δορυφόρων:

$$Landsat\ 8\ NDVI = \left(\frac{Band5 - Band4}{Band5 + Band4} \right) \quad (6)$$

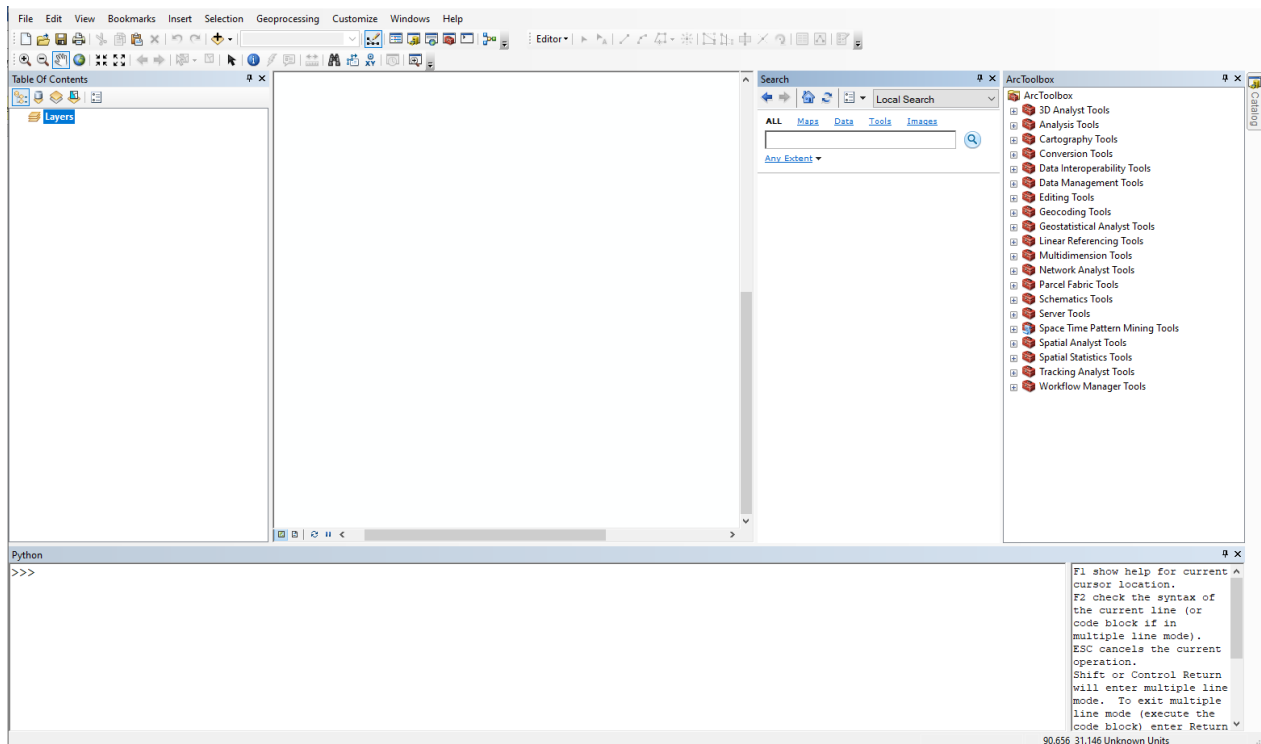
$$Landsat\ 5,\ 7\ NDVI = \left(\frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \right) \quad (7)$$

$$MODIS\ NDVI = \left(\frac{Band2 - Band1}{Band2 + Band1} \right) \quad (8)$$

$$ENVISAT\ MERIS\ NDVI = \left(\frac{Band13 - Band07}{Band13 + Band07} \right) \quad (9)$$

4.2 Εισαγωγή στο ArcMap :

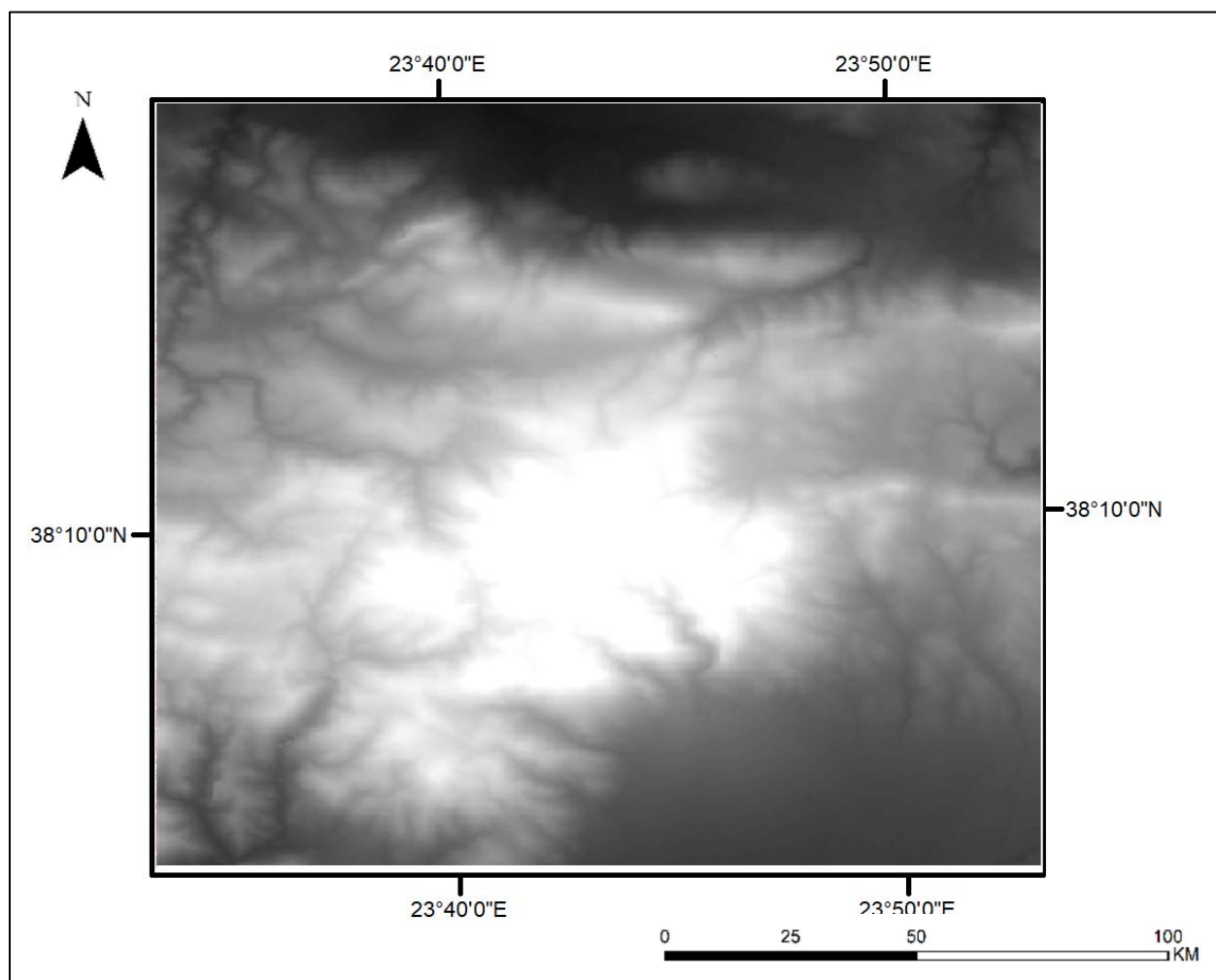
Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε τι είναι το ArcMap . Το ArcMap είναι το κύριο πρόγραμμα της οικογένειας προγραμμάτων γεωχωρικής επεξεργασίας [ArcGIS](#) της [Esri](#) και χρησιμοποιείται κυρίως για προβολή, επεξεργασία, δημιουργία και ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων. Το ArcMap επιτρέπει στο χρήστη να εξερευνήσει δεδομένα μέσα σε ένα σύνολο δεδομένων και να δημιουργήσει χάρτες. Αυτό γίνεται μέσω δύο διακριτών εννοιών του προγράμματος, του πίνακα περιεχομένων και του πλαισίου δεδομένων.



Εικόνα 4-5 : Τυπικό περιβάλλον του προγράμματος ArcMap

4.2.1 Περιοχή Μελέτης (Study Area)

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε την περιοχή μελέτης μας που βρίσκεται στις αντίστοιχες συντεταγμένες. Εστιάζουμε κυρίως στην περιοχή της Πάρνηθας που έχει και περιβαλλοντικό ενδιαφέρον για την πρόβλεψη μας. Θα παρατηρήσουμε ότι η εικόνα δεν είναι στις κλασικές ζώνες RGB. Πρόκειται, ωστόσο, για εικόνα DEM (Digital Elevation Model) η οποία έχει ληφθεί το 2014 και την χρησιμοποιούμε ως χωρική μεταβλητή (spatial variable) στο μοντέλο μας.

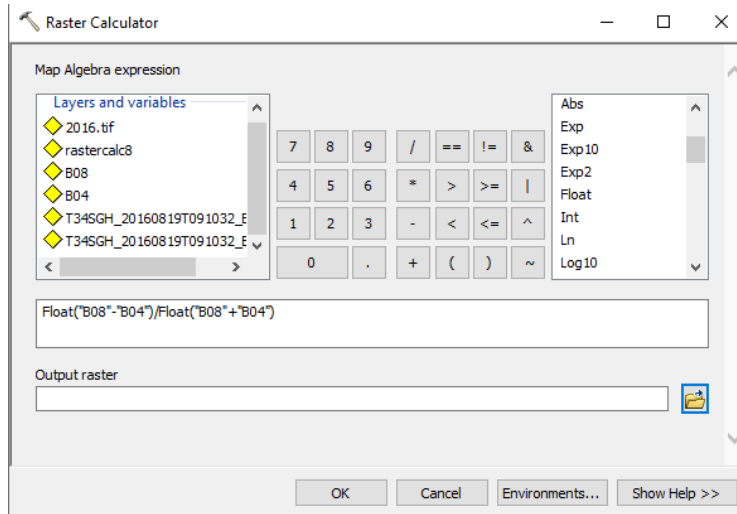


Εικόνα 4-6 : Εικόνα DEM (Digital Elevation Model)

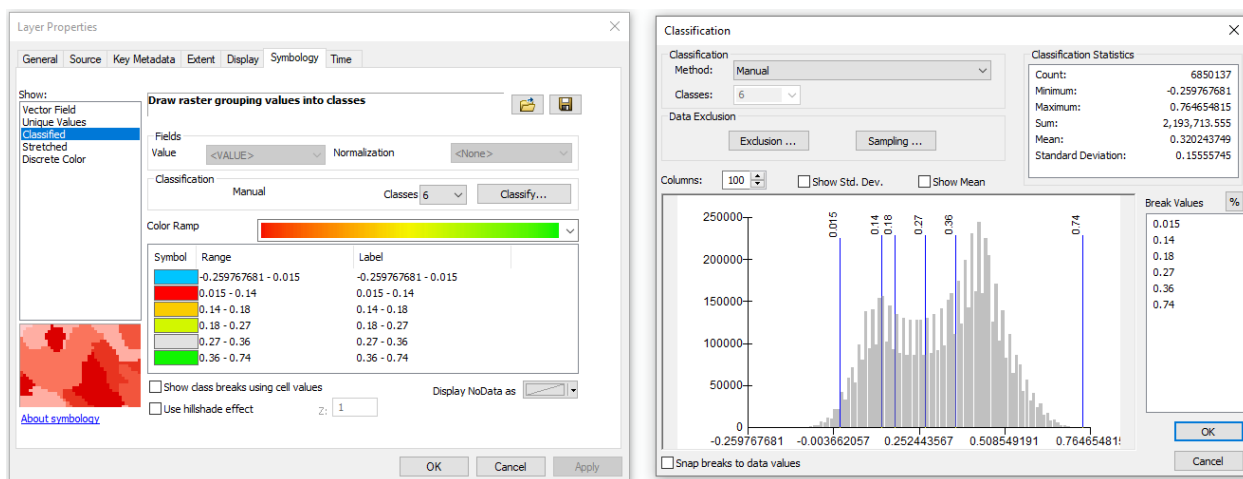
4.2.2 Μέθοδος Υλοποίησης στο ArcMap :

Αρχικά εφόσον έχουμε συλλέξει όλα τα απαραίτητα δεδομένα χαρτών από τις διαθέσιμες περιόδους (2015-2022) τα εισάγουμε στο πρόγραμμα με σκοπό να δημιουργήσουμε την απεικόνιση NDVI .

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει προηγουμένως εκμεταλλευόμαστε τις ζώνες 4 και 8 και μαζί με το εργαλείο (raster calculator) εξάγουμε τα καταλληλά αποτελέσματα. Τα δεδομένα μας δηλώνονται με την δεκαδική μορφή (float number). Έπειτα διαχωρίζουμε τα δεδομένα μας σε 5 κλάσεις.



Εικόνα 4-7 : Παράθυρο αριθμητή raster στο ArcMap



Εικόνα 4-8 : Παράθυρα ορισμού επιπέδων NDVI στο ArcMap

4.3 Ανάλυση δεδομένων στο QGIS και πρόβλεψη μέσω MOLUSCE

Εφόσον έχουμε ολοκληρώσει την σχεδίαση της περιοχής μελέτης μας σε δείκτη NDVI μπορούμε να προχωρήσουμε στην εισαγωγή της επεξεργασμένης περιοχής στο περιβάλλον του QGIS. Σημειώνεται ωστόσο ότι στο plugin MOLUSCE, το οποίο είναι υπεύθυνο για την πρόβλεψη του δείκτη βλάστησης της περιοχής μας, θα χρησιμοποιήσουμε μόνο τις θετικές τιμές του δείκτη NDVI. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι θα έχουμε 5 κλάσεις χωρίς να συμπεριλαμβάνεται η κλάση με το νερό .

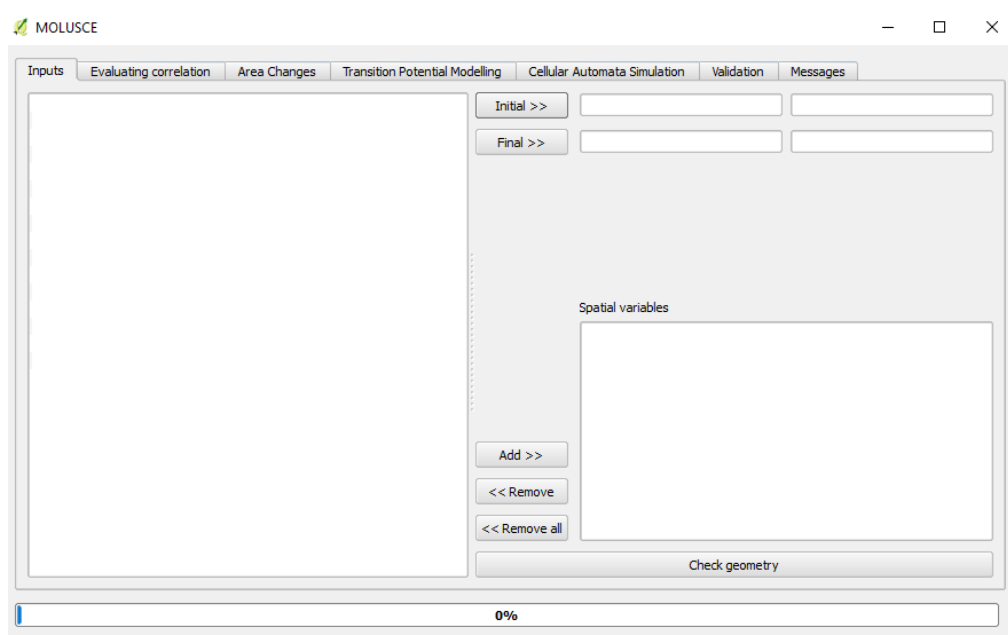
4.3.1 Εισαγωγή στο MOLUSCE (Modules for Land Use Change Evaluation)

Το MOLUSCE είναι ένα φιλικό προς το χρήστη plugin διαθέσιμο σε εκδόσεις από QGIS 2.0 και πάνω. Το MOLUSCE έχει σχεδιαστεί για να αναλύει, μοντελοποιεί και να προσομοιώνει τις αλλαγές εδάφους γης (Land Use and Land Cover (LULC) change). Το plugin ενσωματώνει γνωστούς αλγόριθμους που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ανάλυση αλλαγής εδάφους, πολεοδομική ανάλυση καθώς και δασικές εφαρμογές και έργα.

Το MOLUSCE είναι κατάλληλο για:

- Ανάλυση των αλλαγών εδάφους γης και δασικής έκτασης μεταξύ διαφορετικών χρονικών περιόδων.
- Μοντέλο μεταβατικού δυναμικού των περιοχών που κινδυνεύουν από αποψίλωση των δασών και
- Προσομοίωση μελλοντικών αλλαγών της γης και της δασικής εκμετάλλευσης.

4.3.2 Μέθοδος πρόβλεψης εδάφους στο MOLUSCE



Εικόνα 4-9 : Τυπικό περιβάλλον του προγράμματος MOLUSCE

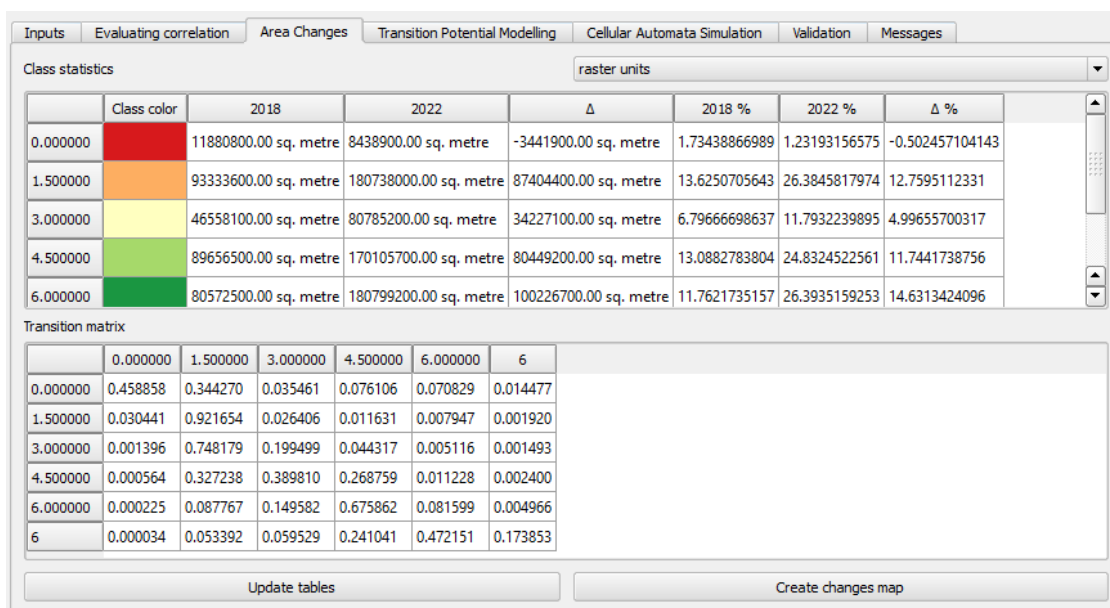
Σε αυτό το κομμάτι θα περιγράψουμε την διαδικασία που ακολουθήθηκε με σκοπό να κάνουμε την πρόβλεψη της βλάστησης για τα επόμενα χρόνια. Αρχικά όπως παρατηρούμε και στο περιβάλλον του MOLUSCE εισάγουμε όλα τα αρχικά και τελικά μας δεδομένα από το initial / final use/cover maps από το input tab. Έπειτα έχουμε να επιλέξουμε ποιες χωρικές μεταβλητές μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. Στην περίπτωση μας μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε 3 τύπους χωρικών μεταβλητών :

- DEM (Digital Elevation Model) το οποίο είναι η αναπαράσταση της τοπογραφικής επιφάνειας μόνο του εδάφους της Γης, χωρίς την ύπαρξη των δέντρων, των κτιρίων και οποιωνδήποτε άλλων επιφανειακών αντικειμένων. Τα DEM δεδομένα μπορούμε να τα αναζητήσουμε από διάφορες πηγές.
- Χάρτης κλίσεως (Slope): που υπολογίζεται με βάση το DEM και μας παρέχει χαρακτηριστικά κλίσεων στο έδαφος .
- Αποστάσεις από δρόμους ή ποτάμια που υπολογίζονται από το οδικό δίκτυο .

Ύστερα εφόσον οι περιοχές μας έχουν γεωγραφικά ελεγχθεί και είναι ίδιες (δεν έχουμε γεωγραφικά λάθη) έχουμε την αξιολόγηση της συσχέτισης (evaluating correlation) με εξίσου 3 διαφορετικούς τρόπους:

- Συσχέτιση Pearson
- Συντελεστής Crammer
- Κοινή αβεβαιότητα πληροφοριών (Joint Information Uncertainty)

Επιλέγοντας την κοινή αβεβαιότητα πληροφοριών (επιλέγοντας την ενημέρωση των πινάκων) κατασκευάζουμε τον πίνακα που μας παράγει τις στατιστικές κλάσεις και την μήτρα μετάβασης.



Εικόνα 4-10 : Τυπικό περιβάλλον του προγράμματος QGIS

Ο πίνακας των στατιστικών κλάσεων μας δείχνει τις αρχικές και τελικές αλλαγές των περιοχών ενώ η μήτρα μετάβασης δείχνει το ποσοστό των pixel που έχουν αλλάξει. Στην συνέχεια προχωράμε στην μοντελοποίηση του δυναμικού μετάβασης. Το MOLUSCE χρησιμοποιεί τέσσερις μεθόδους για τον υπολογισμό του μοντέλου μας:

- Την αξιολόγηση των πολλαπλών κριτηρίων (Multi Criteria Evaluation MCE)
- Το βάρος των αποδείξεων (Weight Of Evidence WoE)
- Την υλικοτεχνική παλινδρόμηση (Logistic Regression LR) και
- Το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (Artificial Neural Network ANN)

Εμείς θα επιλέξουμε να κατασκευάσουμε τεχνητό νευρωνικό δίκτυο. Την λογική ενός τέτοιου δικτύου την είχαμε περιγράψει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Ωστόσο το MOLUSCE μας δίνει 5 εισόδους οι οποίες προσαρμόζουν το νευρωνικό μας δίκτυο στα πλαίσια που επιθυμούμε.

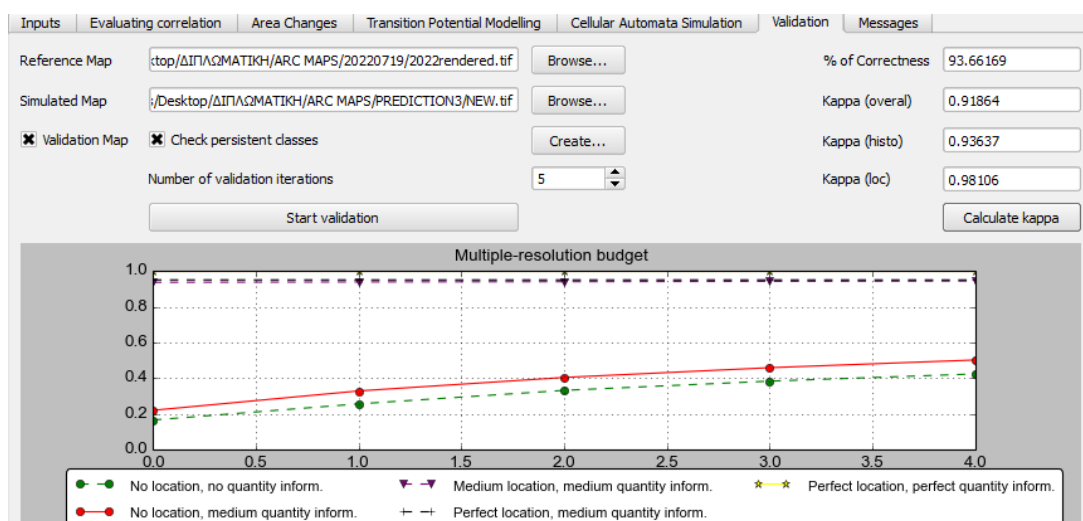
Εφόσον ολοκληρώσουμε την εκπαίδευση του νευρωνικού μας δικτύου περνάμε στην καρτέλα του Cellular automata simulation όπου εκεί αποθηκεύουμε το αποτέλεσμα της προσομοίωσης.

Τέλος η καρτέλα της επαλήθευσης (validation) μας επιτρέπει να ελέγξουμε, να επικυρωποιήσουμε και να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Η συνολική ακρίβεια(% of correctness), (Kappa Overall), (Kappa Histo), (Kappa Loc) μπορούν να εκτελεστούν επιλέγοντας το κουμπί calculate Kappa.

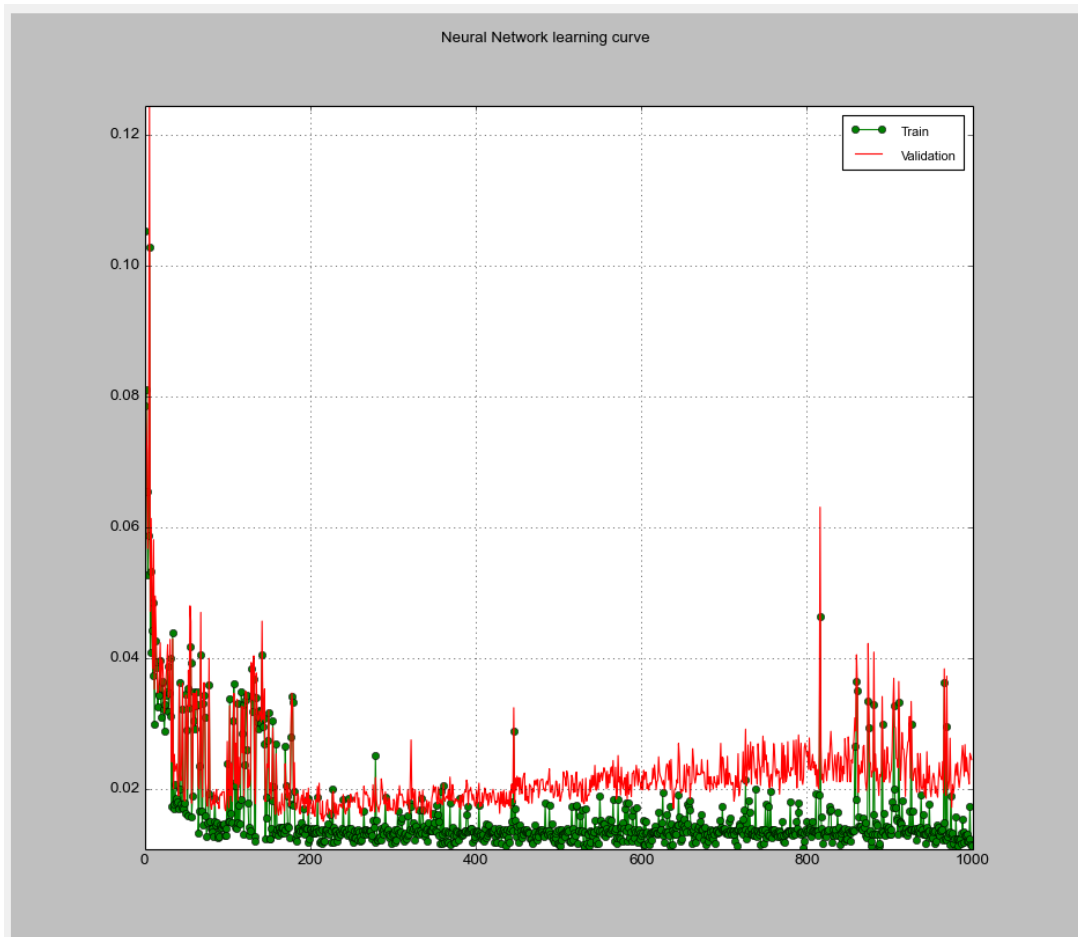
Neighbourhood	1 px
Learning rate	0.100
Maximum iterations	1000
Hidden Layers	10
Momentum	0.050
Δ Overall Accuracy	-0.00943
Min Validation Overall Error	0.01505
Current Validation Kappa	0.87816

Train neural network Stop

Εικόνα 4-11 : Παράθυρο επεξεργασίας παραμέτρων για το νευρωνικό δίκτυο

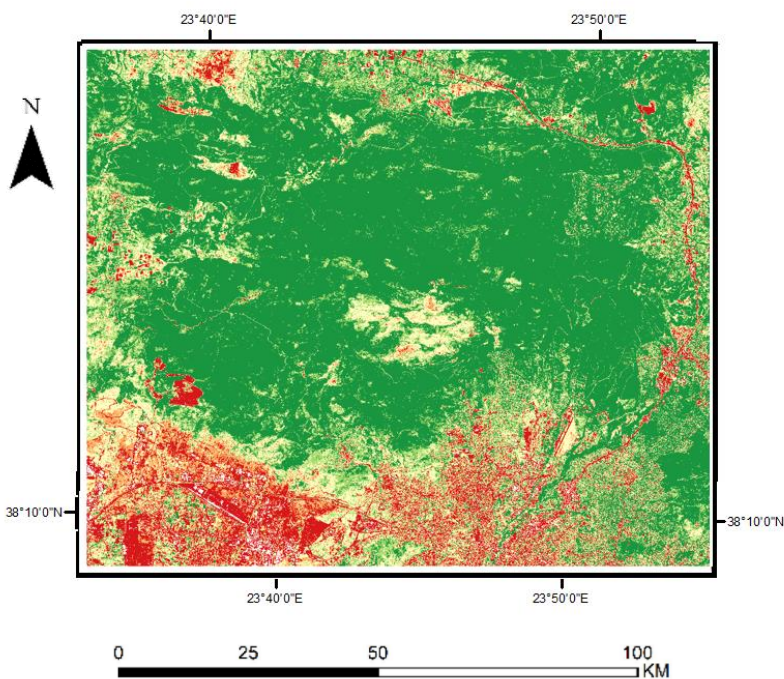


Εικόνα 4-12 : Πεδίο δεδομένων επαλήθευσης

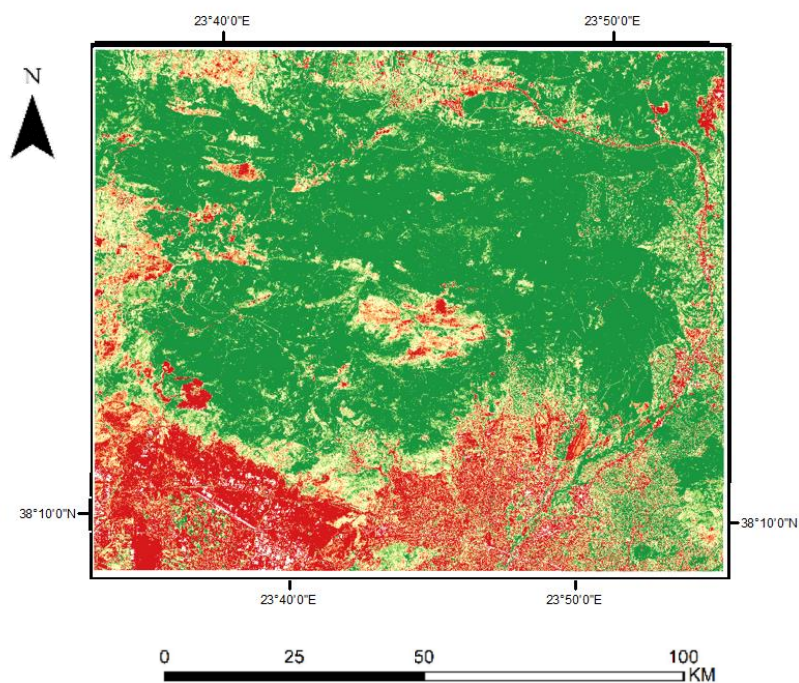


Εικόνα 4-13 : Καμπύλη μάθησης νευρωνικού δικτύου

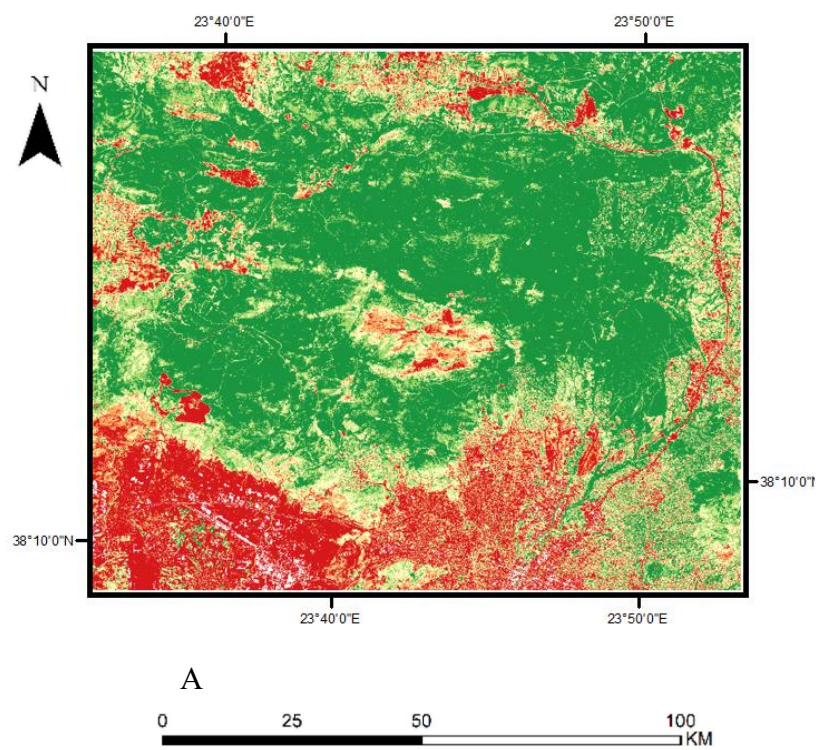
Εικόνα 4-14: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2016



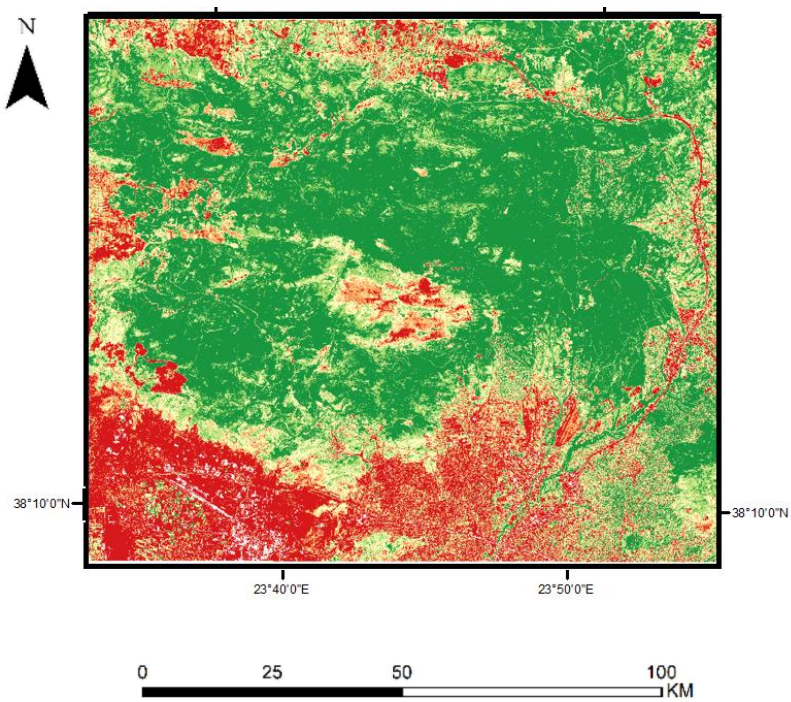
Εικόνα 4-15: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2017



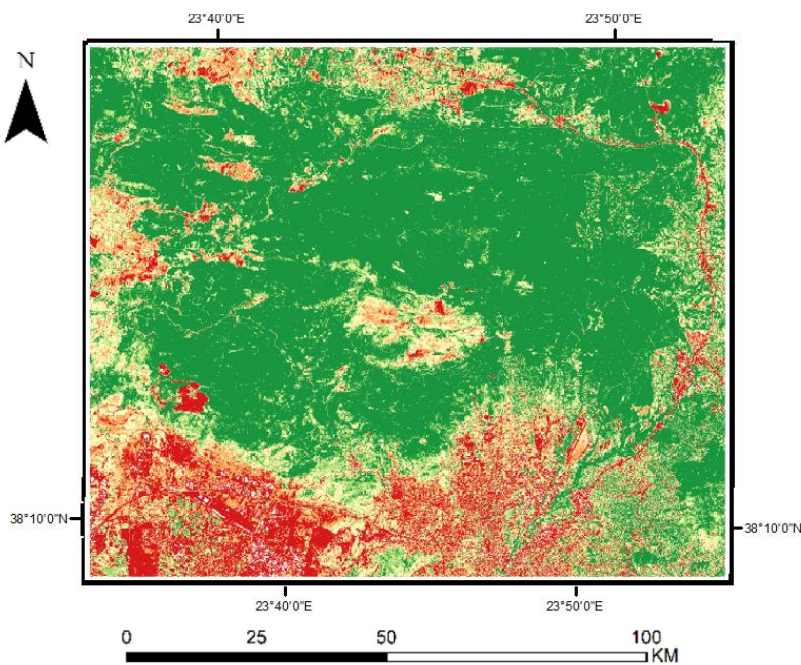
Εικόνα 4-16: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2018



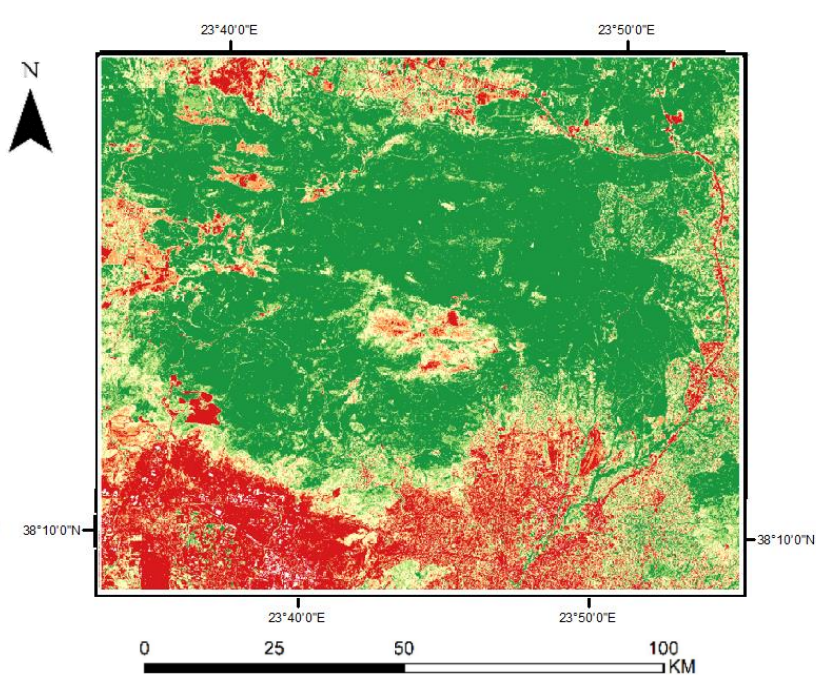
Εικόνα 4-17: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2019



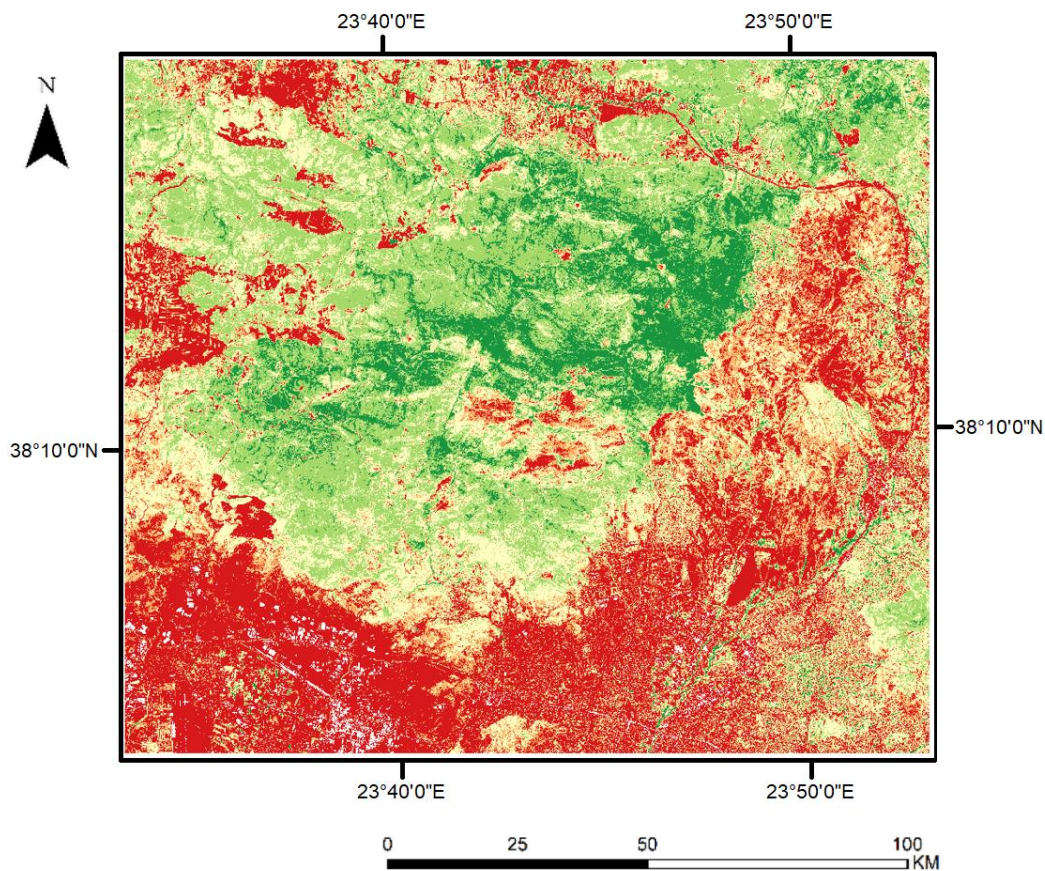
Εικόνα 4-18: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2020



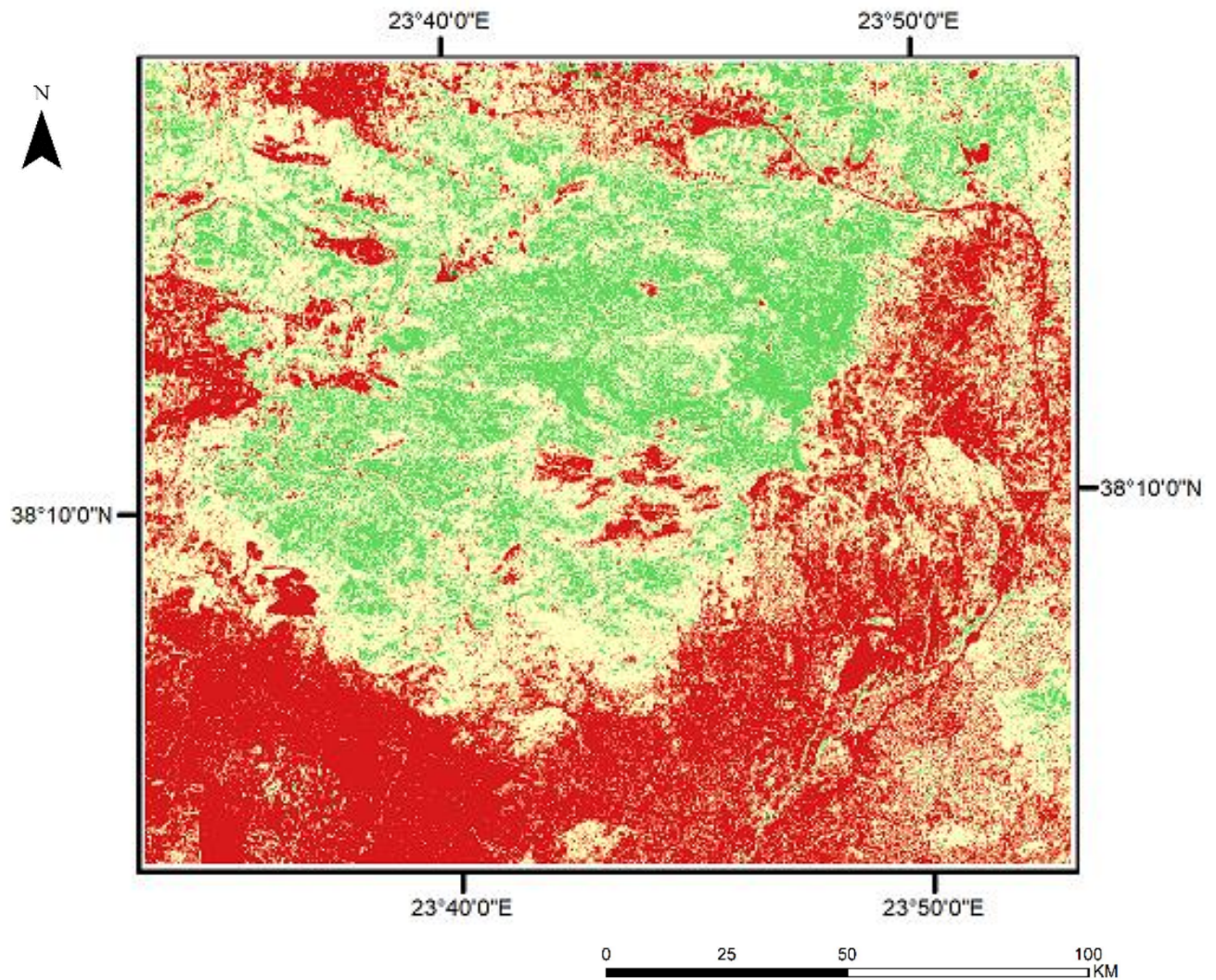
Εικόνα 4-19: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2021



Εικόνα 4-20: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2022



Εικόνα 4-21: Περιοχή Μελέτης κατά το έτος 2025



ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ:

Αρχικά σύμφωνα με την τελική μας πρόβλεψη παρατηρούμε ότι οι περιοχές με μεσαία βλάστηση (κλάση 5) τείνουν να μεταβληθούν στην (κλάση 3) ενώ οι περιοχές που ήδη είχαν χαμηλό δείκτη βλάστησης (κλάση 2) όχι μόνο δεν παρουσιάζουν βελτίωση αλλά επεκτείνετε και σε γειτονικές περιοχές. Καταλαβαίνουμε ωστόσο ότι την αναγκαιότητα και την σοβαρότητα να προστατεύσουμε, κάνοντας λήψη πρόωρων μέτρων, για την διασφάλιση υγιής βλάστησης.

Από την άλλη μεριά όπως αναφέρθηκε και στην παρούσα διπλωματική εργασία με την χρήση κατάλληλων μεθόδων και εργαλείων, όπως του πολυφασματικού drone που χρησιμοποιήσαμε, μπορούμε να πετύχουμε στοχευμένο αποτέλεσμα στην περιοχή μελέτης μας. Αναφερόμενοι είτε σε μικρούς κλίμακας περιοχές είτε σε μεγάλους κλίμακας.

Βιβλιογραφία – Αναφορές - Διαδικτυακές Πηγές:

[1]-Gaiapedia.gr. 2022. Γεωργία ακριβείας - GAIApedia. [online] Available at: <<http://www.gaiapedia.gr>> .

[2]-kumar, A., Singh, A., Kumar, S. and Kanga, S., 2018. Estimating the change in Forest Cover Density and Predicting NDVI for West Singhbhum using Linear Regression. *ESSENCE International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation*, 9(1), pp.193-203.

[3]-Eclass.uoa.gr. 2022. [online] Available at: <https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/CHEM233/NIR_metapyxiako.pdf> .

[4]-Εξυπνη Γεωργία . [online] Available at: <<https://ionos.com.gr/eksupni-georgia-akriveias-smart-agriculture/>>.

[5]-Muhammad, R., Zhang, W., Abbas, Z., Guo, F. and Gwiazdzinski, L., 2022. Spatiotemporal Change Analysis and Prediction of Future Land Use and Land Cover Changes Using QGIS MOLUSCE Plugin and Remote Sensing Big Data: A Case Study of Linyi, China. *Land*, 11(3), p.419.

[6]-Ανάπτυξη καλλιέργειας με drones. [online] Available at: <<https://ionos.com.gr/anaptuksi-kalliergeias-drones/>> .

[7]-Gis.aua.gr. [online] Available at: <http://gis.aua.gr/sites/default/files/hellas_gis_markogianni_part20.pdf>

[8]-Mohan, M., Richardson, G., Gopan, G., Aghai, M., Bajaj, S., Galgamuwa, G., Vastaranta, M., Arachchige, P., Amorós, L., Corte, A., de-Miguel, S., Leite, R., Kganyago, M., Broadbent, E., Doaemo, W., Shorab, M. and Cardil, A., 2021. UAV-Supported Forest Regeneration: Current Trends, Challenges and Implications. *Remote Sensing*, 13(13), p.2596.

[9]-El.wikipedia.org. 2022. Φασματοσκοπία - Βικιπαίδεια. [online] Available at: <<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%B1%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%83%CE%BA%CE%BF%CF%80%CE%AF%CE%B1>>

[10]- Archive.eclass.uth.gr. 2022. [online] Available at: <http://archive.eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/MHXA156/THEORY/11_RS_NDVI.pdf>.

[11]-Δείκτης βλάστησης NDVI - RemoteSensing Wiki. [online] Available at: <<http://wiki/index.php/NDVI>> .

[12]- Contentarchive.wwf.gr. Η ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ ΑΠΕΙΛΕΙ ΤΑ ΔΑΣΗ. [online] Available at:

<<https://contentarchive.wwf.gr/areas/forests/forests-and-climate-change>>.

[13]-Green Agenda. Ένας κρυφός κίνδυνος των δασικών πυρκαγιών: Η διάβρωση της γενετικής ποικιλότητας. [online] Available at: <<https://greenagenda.gr/>>

[14]-Estia.hua.gr. [online] Available at: <<https://estia.hua.gr/file/lib/default/data/4151/theFile>>.

[15]-Ding, J., 2010. Post-Retirement Financial Planning with Discrete Dynamic Programming: A Practical Approach. SSRN Electronic Journal,.

[16]-Rominger, K. and Meyer, S., 2021. Drones, Deep Learning, and Endangered Plants: A Method for Population-Level Census Using Image Analysis. Drones, 5(4), p.126.

[17]-El.wikipedia.org. . Global Positioning System - Βικιπαίδεια. [online] Available at: <https://el.wikipedia.org/wiki/Global_Positioning_System> .

[18]-Μπούσμπουρας Δημήτρης, Χ.. Αναδάσωση. [online] Arcturos.gr. Available at: <<http://www.arcturos.gr>>.

[19]-El.wikipedia.org. Νευρωνικό δίκτυο - Βικιπαίδεια. [online] Available at: <<https://el.wikipedia.org/wiki>> .

[20]-Dspace.uowm.gr. Εφαρμογή Τεχνικών Μηχανικής Μάθησης και Εξόρυξης Δεδομένων στην Γεωργία Ακριβείας. [online] Available at: <<https://dspace.uowm.gr>> ..

[21]-El.wikipedia.org. . Τηλεπισκόπηση - Βικιπαίδεια. [online] Available at: <<https://el.wikipedia.org/wiki>> .

[22]-Gis.aua.gr. Γεωχωρικές Προσεγγίσεις και Εξελίξεις στη Γεωργία και στο Περιβάλλον. [online] Available at: <http://gis.aua.gr/sites/default/files/hellas_gis_markogianni_part2_0.pdf>.

[23]-Gis.aua.gr. [online] Available at: <http://gis.aua.gr/sites/default/files/hellas_gis_markogianni_part2_0.pdf>.

[24]-International Journal of Pharmaceutical Research, 2020. The advantages and Disadvantages of Synthesizing of Arylarsonic Acids The advantages and Disadvantages of Synthesizing f Arylarsonic Acids The advantages and Disadvantages of Synthesizing. 12(1).

[25]-Huang, X., Zhang, S., Luo, C., Li, W. and Liao, Y., 2020. Design and Experimentation of an Aerial Seeding System for Rapeseed Based on an Air-Assisted Centralized Metering Device and a Multi-Rotor Crop Protection UAV. Applied Sciences, 10(24), p.8854.

[26]-Φούντας, Σ. και Γέμτος, Θ., 2015 Γεωργία Ακριβείας . Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο: ISBN: 978-960-603-135-9.

[27]-Usgs.gov. USGS EROS Archive - Sentinel-2 | U.S. Geological Survey. [online] Available at:

<<https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2>> .

[28]- Nationalgeographic.org. [online] Available at: <<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/geographic-information-system-gis/>> .

[29]-ProtoThema. 2022. Η κλιματική αλλαγή και οι συνέπειές της στη Μεσόγειο και την Ελλάδα. [online] Available at: <<https://www.protothema.gr/afieromata/to-idaniko-heimoniatiko-spiti/article/923217/i-klimatiki-allagi-kai-oi-sunepeties-tis-pagosmios-kai-eidikotera-sti-mesogeio-tin-ellada-kai-tin-rodo/>>

[30]- Alamedaca.gov. 2022. Geographic Information System (GIS). [online] Available at: <<https://www.alamedaca.gov/BUSINESS/Geographic-Information-System-GIS>>

[31]-2022. [online] Available at: <<https://definicion.de/posicion-relativa/>>

[32]- Geomap.com.eg. 2022. [online] Available at: <<https://www.geomap.com.eg/copy-of-pci-geomatica-1>>

[33]- Ffden-2.phys.uaf.edu. 2022. Light. [online] Available at: <http://ffden-2.phys.uaf.edu/webproj/212_spring_2014/Tyler_Holmes/2362201855354d483c2f8f/light.html>

[34]- Ahmed, R., 2022. How to Build your own 3D Printed Quadcopter Drone. [online] 3D Printing. Available at: <<https://3dprinting.com/how-to/3d-print-drone/>>

[35]- 2022. [online] Available at: <<https://avtech.com.gr/en/home/>>.

[36]- Change.inc. 2022. 80 hectare herbebossen in 8 uur; dit Amerikaanse bedrijf plant bomen met drones | Change Inc.. [online] Available at: <<https://www.change.inc/agri-food/80-hectare-herbebossen-in-8-uur-dit-amerikaanse-bedrijf-plant-bomen-met-drones-32663>> .

[37]- 2022. [online] Available at: <<https://droneblog.gr/agrotis-stin-gallia-antimetopizei-ton-pageto-drone/>>

[38]- Dl.djicdn.com. 2022. [online] Available at: <https://dl.djicdn.com/downloads/p4-multispectral/20190927/P4_Multispectral_User_Manual_v1.0_EN.pdf>

[39]- Steftouloglou.blogspot.com. 2022. Η χρήση της ακτινοβολίας UV-C και η επικινδυνότητά της ... από αλόγιστη χρήση. [online] Available at: <<https://stefouloglou.blogspot.com/2020/05/uv-c.html>>

[40]- Papantoniou.gr. 2022. Drone Ημιεπαγγελματικό DJI Phantom 4 Multispectral 020499. [online] Available at: <https://papantoniou.gr/el/drones/24104-46497-drone-imiepaggelmatiko-dji-phantom-4-multispectral-020499.html>

[41]- Pix4D. 2022. Optimizing the ROI of fungicides with NDVI imagery. [online] Available at: <<https://www.pix4d.com/blog/pix4dmapper-optimizing-the-ROI-of-fungicides-with-NDVI>>

[42]- DJI Official. 2022. *GS Pro - 3D Map POI - DJI*. [online] Available at: <<https://www.dji.com/gr/ground-station-pro/3d-map-poi>>

[43]- TIBCO Software. 2022. *Was ist ein neuronales Netzwerk?*. [online] Available at: <<https://www.tibco.com/de/reference-center/what-is-a-neural-network>>

[44]- Users.auth.gr. 2022. [online] Available at: <<http://users.auth.gr/~voyatzis/SeniorThesis/mTsouxnika.pdf>>

[45]- Usgs.gov. 2022. *USGS EROS Archive - Sentinel-2 | U.S. Geological Survey*. [online] Available at: <<https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-sentinel-2#overview>>

[46]- ProtoThema. 2022. *Η κλιματική αλλαγή και οι συνέπειές της στη Μεσόγειο και την Ελλάδα*. [online] Available at: <<https://www.protothema.gr/afieromata/to-idaniko-heimoniatiko-spiti/article/923217/i-klimatiki-allagi-kai-oi-sunepieis-tis-pagosmios-kai-eidikotera-sti-mesogeio-tin-ellada-kai-tin-rodo/>>

[47]- 2022. [online] Available at: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>