



ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ

**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ**

**ΤΙΤΛΟΣ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ
ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ:

ΜΑΡΙΑ ΖΑΧΟΥ (2016/287)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΠΟΤΣΙΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020



ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

**ΤΙΤΛΟΣ: ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΨΗΦΙΑΚΟΥ ΧΑΡΤΗ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ
ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΦΟΙΤΗΤΡΙΑΣ:

ΜΑΡΙΑ ΖΑΧΟΥ (2016/287)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΠΟΤΣΙΟΥ ΜΑΡΙΑ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στην επιβλέπουσα καθηγήτριά μου κα. Μπότσιου Μαρία τόσο για την επιλογή του θέματος, τη συνεχή καθοδήγηση, τις εποικοδομητικές υποδείξεις και το χρόνο που διέθεσε κατά τη διάρκεια της πτυχιακής μου μελέτης όσο και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε δίνοντάς μου την ευκαιρία να ασχοληθώ με τα ερευνητικά μου ενδιαφέροντα.

Επιπλέον, ευχαριστώ από καρδιάς όλους του καθηγητές του τμήματος Γεωπονίας του ΔΠΙΑΕ για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των προπτυχιακών μου σπουδών.

Ευχαριστώ θερμά την ΕΛΣΤΑΤ για τα στατιστικά στοιχεία που μου παραχώρησε καθώς ήταν πολύτιμα για την εκπόνηση της παρούσας μελέτης και την εξαγωγή ωφέλιμων συμπερασμάτων.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένειά μου. Τους γονείς μου και τα δύο μου αδέρφια, Νικολέτα και Βαγγέλη για την κατανόηση και την ηθική στήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου. Όπως επίσης και τον Κωνσταντίνο Τσακιρμαλόγλου παρόλο που ήταν μακριά μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου, με ενθάρρυνε διαρκώς και ανέμενε με υπομονή και αγάπη την πραγματοποίησή τους. Τους αγαπώ πολύ και τους ευχαριστώ για όλα.

Ζάχου Μαρία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη πραγματοποιείται η δημιουργία ενός ψηφιακού χάρτη αγροτικού ενδιαφέροντος με εφαρμογή τηλεπισκοπικών μεθόδων. Εστίασαμε στις δυνατότητες που μπορούν προσφέρουν οι τηλεπισκοπικές μέθοδοι και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών στους αγρότες και γεωπόνους, ώστε να έχουν μια πιο σαφή εικόνα για την εξέλιξη της καλλιέργειάς τους, αλλά και να μπορούν να παρακολουθούν άμεσα και γρήγορα ένα μεγάλο εύρος καλλιεργειών κάθε φορά από τον υπολογιστή, με τα κατάλληλα λογισμικά εξάγοντας ωφέλιμα συμπεράσματα γι' αυτές.

Επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης η Χαλάστρα του Δήμου Δέλτα της Π.Ε. Θεσσαλονίκης, καθώς οι ορυζώνες που υπάρχουν στην περιοχή αυτή έχουν ιδιαίτερη σημασία για την τοπική αλλά και εγχώρια ανάπτυξη, γεγονός που κεντρίζει το ενδιαφέρον για περαιτέρω έρευνα.

Στη μελέτη αυτή, πραγματοποιήθηκε λήψη της εικόνας της περιοχής μελέτης μέσω του προγράμματος Universal Maps Downloader με σκοπό την χαρτογράφηση των αγροτεμαχίων της Χαλάστρας. Στη συνέχεια, έγινε δωρεάν λήψη των δορυφορικών εικόνων Sentinel-2 με τον δείκτη NDVI δωρεάν μέσω της πλατφόρμας Landviewer. Αυτό είχε ως στόχο τη δημιουργία μιας εικόνας NDVI time series με τη βοήθεια του λογισμικού Saga Gis στην οποία εφαρμόστηκε η Principal Component Analysis (PCA), με σκοπό την αναγνώριση ζωνώσεων στην αγροτική περιοχή. Τέλος, προέκυψε μια καμπύλη NDVI time series με τη μέση τιμή του NDVI time series για όλα τα αγροτεμάχια για το διάστημα των μηνών Ιουνίου-Σεπτέμβρη.

Από την καμπύλη NDVI time series, διαπιστώθηκε ότι είναι δυνατή η αξιολόγηση της περιόδου συγκομιδής και των μεταβάσεων μέχρι την περίοδο αυτή με τη χρήση του δείκτη NDVI. Συνεπώς, οι αγρότες θα μπορούν να κάνουν χρήση του δείκτη NDVI σε συνδυασμό με τον επιτόπιο έλεγχο αλλά αυτό προϋποθέτει την εκπαίδευσή τους στη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της έρευνας, έδειξαν ότι οι τηλεπισκοπικές μέθοδοι και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών σε συνδυασμό με άλλα τηλεπισκοπικά εργαλεία όπως drones, επιτόπια έρευνα η οποία περιλαμβάνει δειγματοληψία εδάφους και τα κατάλληλα λογισμικά, είναι δυνατόν να προσφέρουν

μα σαφέστερη εικόνα της εξέλιξης των καλλιεργειών. Σε συνέχεια αυτών, θα μπορεί να βελτιωθεί η απόδοση των καλλιεργειών, να αυξηθεί το εισόδημα και να μειωθεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των αγροτών.

Λέξεις κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Χαρτογράφηση, Δείκτης NDVI, NDVI time series, PCA, Ορυζοκαλλιέργειες.

ABSTRACT

The current study, aims at creating a digital map of agricultural interest with the use of remote sensing methods. We focus on opportunities that remote sensing methods and geographical information systems can offer to farmers and agronomists in order to have a clearer picture of the evolution of their crop. Also, to be able to directly and quickly monitor a wide range of their crops continuously from their computers with the use of appropriate software, extracting useful conclusions.

We selected Chalastra as the area of study which is in municipality of Delta in Thessaloniki, Greece. The rice fields that are located here, have a significant impact on the regional as well as in the country's economy.

In this study, we downloaded a satellite image of the study area from Universal Maps Downloader, in order to map Chalastra's agricultural parcels. Consequently, we downloaded free Sentinel-2 NDVI satellite images, from Landviewer. The purpose of this was to create an NDVI time series image with the use of Saga GIS and later perform the Principal Component Analysis (PCA) for recognizing different zones in agriculture area. Finally, a graph of the NDVI time series was created with the average of NDVI time series for all agriculture parcels from June to September.

From the NDVI time series graph, it was found that it is possible to evaluate the harvesting period and the growth phases of the rice field. Therefore, farmers will be able to use the NDVI in conjunction with in situ checks. This requires training in the use of remote sensing methods and geographical information systems. In addition, the results of the research showed that remote sensing methods and geographical information systems combined with other remote sensing tools such as drones, field research with ground sampling and appropriate software, can provide a clearer picture of crop evolution. As a result, crop yields can be improved, incomes increased and farmers' environmental footprint reduced.

Keywords: Remote Sensing, Geographical Information Systems, Mapping, NDVI, NDVI time series, PCA, Rice Fields.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

CLC	Corine Land Cover
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales
DLR	Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (German: German Aerospace Center)
DMA	Defense Mapping Agency
ESA	European Space Agency
ESRI	Environmental Systems Research Institute
GIS	Geographical Information Systems
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GPS	Global Positioning System
IFOV	Instantaneous Field of View
IRRI	International Rice Research Institute
LIDAR	Light Detection and Ranging
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIMA	National Imagery and Mapping Agency
PCA	Principal Component Analysis
SAGA	System for Automated Geoscientific Analyses
SEOS	Science Education through Earth Observation for High Schools
UMD	Universal Maps Downloader
WGS	World Geodetic System
ΓΣΑ	Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς
ΓΣΠ	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
ΕΓΣΑ	Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς
ΕΕΠ	Ελλειψοειδές εκ περιστροφής
ΕΛΣΤΑΤ	Ελληνική Στατιστική Αρχή
ΕΣΣΔ	Ένωση Σοβιετικών Σοσιαλιστικών Δημοκρατιών
ΣΑ	Σύστημα Αναφοράς

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	i
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο . ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	4
1.1. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ.....	4
1.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΚΛΑΔΟΥΣ	7
1.3. ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	7
1.4. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΜΑ	8
1.5. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο . ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	11
2.1. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	11
2.2. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ	11
2.3. ΓΕΝΙΚΑ	13
2.4. ΙΣΤΟΡΙΚΟ.....	14
2.5. Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ	15
2.6. ΠΑΘΗΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ.....	17
2.6.1. Γενικά	17
2.6.2. Παθητικοί αισθητήρες	18
2.6.3. Ενεργητικοί αισθητήρες	20
2.7. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	22
2.7.1. Χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution).....	23
2.7.2.Φασματική διακριτική ικανότητα (spectral resolution).....	25
2.7.3. Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (radiometric resolution).....	27
2.7.4. Χρονική διακριτική ικανότητα (temporal resolution)	28
2.8. ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ COPERNICUS.....	29
2.9. ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ SENTINEL-2.....	31
2.10. ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ: ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο . ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	34
3.1.ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	34
3.2. ΣΗΜΑΣΙΑ ΟΡΥΖΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	36
3.3. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΡΥΖΙΟΥ	40
3.3.1. Γενικά	40
3.3.2. Ταξινόμηση και μορφολογικά χαρακτηριστικά	41

3.3.3. Στάδια ανάπτυξης	44
3.3.4 Πρακτική καλλιέργειας στην Ελλάδα	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο . ΕΝΝΟΙΕΣ	53
4.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ- GIS	53
4.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΣΠ	53
4.3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ	54
4.4. ΔΟΜΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	55
4.5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ...	56
4.5.2. Ελλειψοειδές εκ περιστροφής	57
4.5.3. Προβολικό σύστημα συντεταγμένων	57
4.6. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ARCGIS	59
4.7. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SAGA GIS	60
4.8. ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI	61
4.9. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ PCA	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο . ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ	65
5.1. ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	65
5.2. ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	65
5.3. ΓΕΝΙΚΑ	67
5.4. ΛΗΨΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	69
5.5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΩΝ ΧΑΛΑΣΤΡΑΣ	71
5.5.1. Δημιουργία Shapefile πολυγώνων	71
5.5.2. Ψηφιοποίηση αγροτεμαχίων	72
5.6. ΛΗΨΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL 2 ΜΕ ΔΕΙΚΤΗ NDVI ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ NDVI TIME SERIES	75
5.7. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ NDVI TIME SERIES	78
5.8. ΕΦΑΡΜΟΓΗ PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA)	82
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	85
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	87

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 3.1. Ημερολόγιο καλλιεργητικών εργασιών ορυζοκαλλιέργειας στην Ελλάδα.....	51
Πίνακας 4.1. Ενδεικτικές τιμές NDVI ανάλογα με τον τύπο κάλυψης γης.....	61
Πίνακας 5.1. Συγκεντρωτικός πίνακας παρατηρήσεων χρησιμοποιούμενων δορυφορικών εικόνων δείκτη NDVI.	66

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1. Τα επτά βήματα της διαδικασίας της τηλεπισκόπησης.....	6
Εικόνα 1.2. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα.	9
Εικόνα 1.3. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	10
Εικόνα 2.1. Εικονοστοιχεία δορυφορικής εικόνας (pixels).....	12
Εικόνα 2.2. Απεικόνιση δορυφόρου.	14
Εικόνα 2.3. Είδη τροχιών δορυφόρων.	17
Εικόνα 2.4. Αναπαράσταση παθητικού αισθητήρα.	19
Εικόνα 2.5. Αναπαράσταση ενεργητικού αισθητήρα.	21
Εικόνα 2.6. Επεξήγηση στιγμιαίου οπτικού πεδίου του αισθητήρα.	24
Εικόνα 2.7. Πολυφασματική εικόνα.	27
Εικόνα 2.8. Ψηφιακή εικόνα 1, 2, 3 και 8 bit.	28
Εικόνα 2.9. Αναπαράσταση δορυφόρων με στόχο την ίδια περιοχή από διαφορετική οπτική γωνία.	29
Εικόνα 2.10. Απεικόνιση δορυφόρου Sentinel-2.....	32
Εικόνα 3.1. Χάρτης περιοχής μελέτης.	34
Εικόνα 3.2. Φυτό ρυζιού σε πλήρη ωρίμανση πριν τη συγκομιδή.	43
Εικόνα 3.3. Φάσεις ανάπτυξης ρυζιού.....	45
Εικόνα 3.4. Ορυζώνες Χαλάστρας.	47
Εικόνα 4.1. Παραδείγματα συστημάτων αναφοράς.	56
Εικόνα 4.2. Ελλειψοειδές εκ περιστροφής.	57
Εικόνα 4.3. Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς WGS 84. Η θέση του τυχαίου σημείου Σ προσδιορίζεται είτε από τις γεωδαιτικές συντεταγμένες φ (ΣΣ'), λ (GΣ') και το αντίστοιχο γεωμετρικό υψόμετρο (h) ή από τις καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z.....	59
Εικόνα 4.4. Συσχετισμοί ανακλαστικότητας στα διάφορα φασματικά τμήματα.	63
Εικόνα 5.1. Η περιοχή μελέτης στις επτά ημερομηνίες με τον δείκτη NDVI με τιμές από -1 - 1.	67
Εικόνα 5.2. Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας.	68
Εικόνα 5.3. Universal Maps Downloader.....	69
Εικόνα 5.4. Επιλογή περιοχής μελέτης. Οι συντεταγμένες των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν στο UMD υποδεικνύονται με τα βέλη.	70
Εικόνα 5.5. Παράθυρο Map Combiner.....	70
Εικόνα 5.6. Δημιουργία shapefile στο ArcCatalog.....	72

Εικόνα 5.7. Attribute table στο ArcMap.....	73
Εικόνα 5.8. Χαρτογράφηση αγροτεμαχίων Χαλάστρας.....	73
Εικόνα 5.9. Βάση δεδομένων CLC (το πράσινο χρώμα υποδηλώνει τους ορυζώνες).	74
Εικόνα 5.10. Άνοιγμα εικόνων στο Saga GIS.	76
Εικόνα 5.11. Ένωση εικόνων στο Saga GIS.....	76
Εικόνα 5.12. Δημιουργία εικόνας NDVI time series στο Saga GIS.....	77
Εικόνα 5.13. Δείγμα εικόνας NDVI time series (8/6/19, 28/6/19/και 3/7/19).....	77
Εικόνα 5.14. Αλλαγή προβολικού συστήματος στο ArcToolbox.....	78
Εικόνα 5.15. Παράθυρο Grid Statistics for Polygons.....	79
Εικόνα 5.16. Διαδικασία για την μελέτη στατιστικών όλης της περιοχής.	80
Εικόνα 5.17. Πίνακας με τις μέσες τιμές NDVI για την περιοχή μελέτης.	80
Εικόνα 5.18 Δημιουργία καμπύλης NDVI time series.	81
Εικόνα 5.19. Καμπύλη NDVI time series.....	81
Εικόνα 5.20. Principal Component Analysis.	82
Εικόνα 5.21. Δείγμα ανάλυσης PCA σε τυχαία αγροτεμάχια της περιοχής μελέτης. .	83
Εικόνα 5.22. Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων ανάλυσης κυρίων συνιστωσών. .	84
Πίτα 1 Ποσοστά παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια (έτος 2000).	37
Πίτα 2 Ποσοστά παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια (έτος 2010).	38
Πίτα 3 Ποσοστά παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια (έτος 2018).	39
Γράφημα 3.1. Εξέλιξη παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια (2000-2018).	39

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα πτυχιακή πραγματοποιείται η δημιουργία ενός ψηφιακού χάρτη αγροτικού ενδιαφέροντος με εφαρμογή τηλεπισκοπικών μεθόδων. Το βασικό αντικείμενο της μελέτης αυτής, αποτελεί η χρησιμότητα των τηλεπισκοπικών μεθόδων και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών για την εξαγωγή ωφέλιμων συμπερασμάτων για καλλιέργειες. Η ακρίβεια- αντικειμενικότητα καθώς και οι δυνατότητες που προσφέρει η τηλεπισκόπηση και τα συστήματα πληροφοριών σε συνδυασμό με άλλα τηλεπισκοπικά μέσα όπως drones, επιτόπιο έλεγχο και τα κατάλληλα λογισμικά είναι τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα της έρευνάς μας. Η περιοχή που επιλέχθηκε είναι η Χαλάστρα της Π.Ε. Θεσσαλονίκης, με σκοπό την παρακολούθηση των ορυζοκαλλιεργειών με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης και των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών. Στην παρούσα μελέτη, έγινε χαρτογράφηση των αγροτεμαχίων της Χαλάστρας και στη συνέχεια λήψη δορυφορικών εικόνων Sentinel-2 με τον δείκτη NDVI . Έπειτα δημιουργήθηκε μια εικόνα NDVI time series στην οποία εφαρμόστηκε η Principal Component Analysis (PCA). Τέλος, προέκυψε μια καμπύλη NDVI time series με τη μέση τιμή του NDVI time series για όλα τα αγροτεμάχια για το διάστημα των μηνών Ιουνίου-Σεπτέμβρη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.1. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Η δυνατότητα παρακολούθησης της γης από το διάστημα συνιστά ένα βασικό βοήθημα για να μελετηθεί το φυσικό περιβάλλον, να κατανοηθεί το παγκόσμιο κλίμα και να ενισχυθούν αναπτυξιακά και παραγωγικά διάφορες δραστηριότητες σε μια περιοχή.

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί μια επιστήμη, δηλαδή ένα σύνολο από θεωρητικές-τεχνικές και εφαρμοσμένες μεθόδους, με στόχο την ανάλυση της γήινης επιφάνειας (Παρχαρίδης 2015). Το σύνολο των μεθόδων αυτών παρουσιάζει αρκετές παραλλαγές ορισμών.

Όπως υποστηρίζει ο Μαστρογιάννης (2015), η τηλεπισκόπηση (remote-sensing) είναι μια σύνθετη λέξη. Αποτελείται από το επίρρημα Τηλέ καθώς και το ρήμα επισκοπέω που σημαίνουν παρακολουθώ από απόσταση. Επομένως, η τηλεπισκόπηση ορίζεται ως μια διαδικασία κατά την οποία δίδεται η δυνατότητα συγκέντρωσης δεδομένων από απόσταση.

Σύμφωνα με τους Avery & Berlin, (1992), η τηλεπισκόπηση, αποτελεί τεχνική για την απόκτηση στοιχείων για αντικείμενα που είναι στην επιφάνεια της γης, μέσω της ανάλυσης δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από εξειδικευμένα μέσα, τα οποία δεν είχαν έρθει σε επαφή με τα αντικείμενα αυτά. Συνεπώς, η τηλεπισκόπηση δίδεται και ως η αναγνώριση ενός αντικειμένου που βρίσκεται σε κάποια απόσταση.

Οι Lillesand κ.α. (2015), περιέγραψαν επίσης την τηλεπισκόπηση σαν την επιστήμη και τέχνη για να πληροφορηθούμε για μια περιοχή, ένα φαινόμενο ή ένα αντικείμενο από το αποτέλεσμα της ανάλυσης δεδομένων από κάποιο όργανο που δεν είχε έρθει σε επαφή με την περιοχή, το φαινόμενο ή το αντικείμενο που μελετάται.

Οι Mather και Koch (2010), υποστηρίζουν ότι, η τηλεπισκόπηση, εμπεριέχει την μέτρηση και αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας η οποία εκπέμπεται ή ανακλάται από τη γήινη επιφάνεια και την ατμόσφαιρα. Όσον αφορά την μέτρηση και την αποτύπωση, αυτές επιτυγχάνονται από ένα σημείο πάνω από τη γήινη επιφάνεια και στη συνέχεια, οι μετρήσεις αυτές, συσχετίζονται με τη φύση και την κατανομή των υλικών της γήινης επιφάνειας και των συνθηκών της ατμόσφαιρας.

Ο Gurta (2003), ορίζει την τηλεπισκόπηση, ως την τεχνική απόκτησης δεδομένων για ένα αντικείμενο που βρίσκεται σε απόσταση χωρίς τη φυσική επαφή με αυτό. Σύμφωνα με τον ερευνητή, η τηλεπισκόπηση παρουσιάζει δύο μορφές : την απόκτηση πληροφοριών για ένα αντικείμενο που βρίσκεται σε απόσταση με τη βοήθεια ενός οργάνου και την ανάλυση των δεδομένων με σκοπό να ερμηνευθεί το αντικείμενο.

Όπως μάλιστα υποστήριξε ο Ρόκο (2000) «Σαν Τηλεπισκοπική Μεθοδολογία θεωρείται η συστηματική και λογική μελέτη των αρχών που διέπουν τη διαδικασία της έρευνας κι απόκτησης ποιοτικών και ποσοτικών πληροφοριών με την κατάλληλη εξέταση κατάλληλων φωτογραφιών ή γενικότερα, απεικονίσεων αντικειμένων ή συμβάντων.»

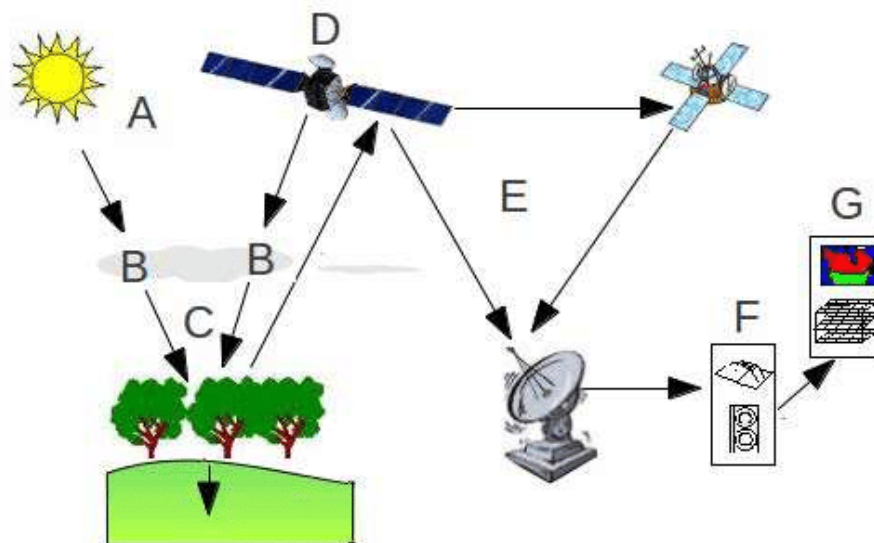
Μία άλλη προσέγγιση σύμφωνα με τον Αργιαλά (1999) είναι ότι, «Η τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη της απόκτησης ποιοτικής και μετρητικής πληροφορίας ενός φαινομένου ή ενός αντικειμένου από απόσταση, χωρίς δηλαδή φυσική επαφή με το υπό μελέτη φαινόμενο ή αντικείμενο.»

Με τη μέθοδο της τηλεανίχνευσης, είναι δυνατή η παρατήρηση όχι μόνο μεγάλων στόχων-αντικειμένων ή φαινομένων σε μια περιοχή, αλλά και μικρών, όπως βιολογικά κύτταρα, τα οποία μπορούν να παρατηρηθούν μόνο μέσα από μικροσκοπία. Επιπλέον, η ανάγκη για τη μέτρηση και την χαρτογράφηση της γήινης επιφάνειας όπως και η προσφορά ποιοτικών και ποσοτικών πληροφοριών καθιστούν την τηλεπισκόπηση, βασικό στοιχείο της Γεωπληροφορικής (Παρχαρίδης 2015).

Οι Ποϊραζίδης κ.α. (2013), παρουσιάζουν την μεθοδολογία (διαδικασία) της τηλεπισκόπησης σε επτά βήματα:

1. **Πηγή ενέργειας (A):** βασικό στοιχείο για τη διαδικασία, αποτελεί η ύπαρξη πηγής ενέργειας (π.χ. ήλιος ή αυτοεκπομπή), η οποία παρέχει φως ή προσφέρει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στον στόχο που μας ενδιαφέρει.
2. **Ακτινοβολία και ατμόσφαιρα (B):** Η ενέργεια που μεταφέρεται από την πηγή προς τον στόχο αλληλεπιδρά με την ατμόσφαιρα. Η διαδικασία αυτής της αλληλεπίδρασης μπορεί να επαναληφθεί ακόμη μια φορά, στη μεταφορά της ενέργειας από τον στόχο προς τον αισθητήρα.
3. **Αλληλεπίδραση με τον στόχο (C):** Η αλληλεπίδραση της ενέργειας με τον στόχο μέσα από την ατμόσφαιρα σχετίζεται με τις ιδιότητες της ακτινοβολίας και του στόχου.

4. **Καταγραφή της ενέργειας από τον αισθητήρα (D):** όταν πραγματοποιηθεί η εκπομπή της ενέργειας από το στόχο ή αυτή διασπαστεί, υπάρχει ανάγκη για έναν αισθητήρα, ο οποίος θα βρίσκεται σε απόσταση και δε θα είναι σε επαφή με τον στόχο, ώστε να συλλεχθεί και να καταγραφεί η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
5. **Μετάδοση, υποδοχή και επεξεργασία (E):** η ενέργεια που έχει καταγραφεί από τον αισθητήρα, πρέπει να μεταδίδεται σε ηλεκτρονική μορφή, σε ένα σταθμό λήψης και επεξεργασίας. Στο σταθμό αυτό, τα δεδομένα υφίστανται επεξεργασία με στόχο την απόδοση μιας έντυπης ή και ψηφιακής εικόνας.
6. **Ερμηνεία και ανάλυση (F):** Πραγματοποιείται η ερμηνεία (οπτική και / ή ψηφιακή και ηλεκτρονική) της εικόνας που έχει επεξεργαστεί, ώστε να εξαχθούν πληροφορίες σε σχέση με το στόχο που είχε ‘φωτιστεί’.
7. **Εφαρμογή (G):** Εφαρμογή πληροφοριών, που έχουν εξαχθεί από τις εικόνες σχετικά με το στόχο για να κατανοηθεί καλύτερα. Έτσι, εμφανίζονται καινούργιες πληροφορίες ή βοήθειες ώστε να επιλύονται συγκεκριμένα προβλήματα.



Εικόνα 1.1. Τα επτά βήματα της διαδικασίας της τηλεπισκόπησης.

Πηγή: Merabet, 2013:19

1.2. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΟΥΣ ΚΛΑΔΟΥΣ

Η τηλεπισκόπηση βρίσκει εφαρμογή σε ποικίλους επιστημονικούς κλάδους. Επομένως η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται από γεωπόνους με στόχο την ορθολογική αξιοποίηση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων, από γεωλόγους για εντοπισμό ρηγμάτων και κοιτασμάτων, από τοπογράφους για την παραγωγή ψηφιακών μοντέλων εδάφους, από χωροτάκτες για σχεδιασμό χρήσεων γης, από μετεωρολόγους για την πρόβλεψη του καιρού και την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας, από δασολόγους για την παρακολούθηση δασικών εκτάσεων, από αρχαιολόγους για την εύρεση αρχαιοτήτων, από ωκεανογράφους και άλλες επιστήμες (Μαστρογιάννης, 2015).

1.3. ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Σύμφωνα με τον Φούντα και Γέμτο (2015) η τηλεπισκόπηση εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1929 και αφορούσε τη χαρτογράφηση εδαφών με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών. Οι αεροφωτογραφίες που συλλέχθηκαν, απεικόνιζαν περιοχές, οι οποίες υποδιαιρέθηκαν σε διάφορες ζώνες ανάλογα με το χρώμα που είχε το έδαφος. Η ανάπτυξη της τεχνολογικής προόδου, έδωσε τη δυνατότητα στους επιστήμονες, να κάνουν χρήση 131 καινούργιων συστημάτων φωτογράφησης, με την προσαρμογή φίλτρων πάνω τους. Τα φίλτρα επέτρεπαν να εισέρθει στο φακό της φωτογραφικής μηχανής, ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Η εφεύρεση αυτή, είχε ως συνέπεια την εξέταση του φαινομένου της καταπόνησης (του 'στρες') των φυτών. Οι ίδιοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι είναι άξιο αναφοράς το σημαντικό πλεονέκτημα που προσφέρει η δορυφορική τεχνολογία στους επιστήμονες, όσον αφορά την μελέτη καλλιεργειών με ταχύ ρυθμό και μεγαλύτερη ευκολία.

Σύμφωνα με τους Dash and Curran (2007), η χρήση της τηλεπισκόπησης αφορά και την αναγνώριση των τύπων διαφόρων καλλιεργειών και την εκτίμηση της κατάστασής τους. Μέσω της διαρκούς παρακολούθησης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων σε περιόδους βλάστησης, δίνεται η ευκαιρία στους παραγωγούς να εκτιμήσουν την παραγωγή. Οι Hatfield and Pinter (1993) συμπέραναν πως με την τηλεπισκόπηση υπάρχει η δυνατότητα να βρεθούν καλλιέργειες που έχουν

προσβληθεί από διάφορες ασθένειες, ενώ γρήγορη και αποτελεσματική είναι η μελέτη της επίδρασης των φυτοφαρμάκων στις καλλιέργειες (Hickman et al., 1991).

Οι Φούντας και Γέμος (2015), τονίζουν πως τα οφέλη της τηλεπισκόπησης στη γεωργία είναι αρκετά. Βασικό πλεονέκτημα, αποτελούν τα δεδομένα τα οποία έχουν χαμηλό κόστος αναλογικά με την ποσότητα των αποτελεσμάτων που μπορούν να παρθούν καθώς και η δυνατότητα γρήγορης λήψης δεδομένων όλο το έτος. Επιπλέον, οι ίδιοι ερευνητές, καταλήγουν σε ένα ακόμη πλεονέκτημα της χρήσης της τηλεπισκόπησης, δηλαδή στη δυνατότητα να μελετηθεί μια περιοχή χωρίς να χρειάζεται να την επισκεφθεί ο επιστήμονας, κάτι το οποίο θα απαιτούσε πολύ παραπάνω χρόνο και χρήμα. Παρόλα αυτά, η χρήση αυτής της μεθόδου μειονεκτεί ως προς την ποιότητα που θα έχουν τα δεδομένα, αφού αυτή εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον όπως σκόνη, σύννεφα, φως. Ακόμη, η επεξεργασία που υφίστανται τα δεδομένα, απαιτεί από το χρήστη να διαθέτει γνώσεις ηλεκτρονικού υπολογιστή αλλά και ποικίλων λογισμικών.

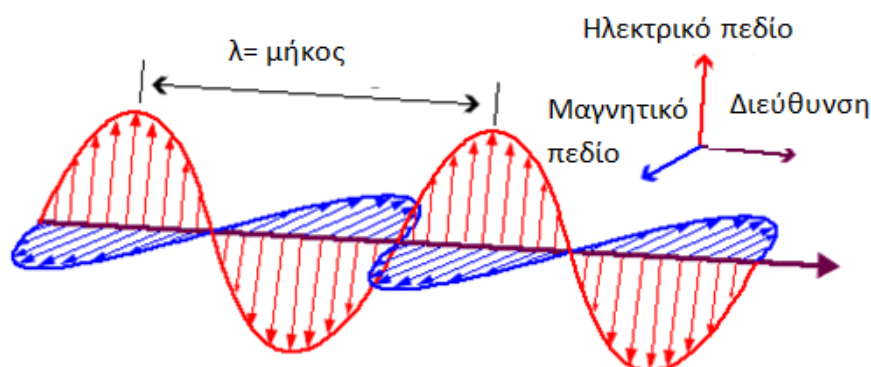
1.4. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΜΑ

Γενικά, ως κύμα ορίζεται οποιαδήποτε διαταραχή που μεταφέρει ενέργεια με συγκεκριμένη ταχύτητα, την ταχύτητα διάδοσης του κύματος. Με τον όρο κύμα ουσιαστικά, εννοούμε τα κύματα που διαδίδονται μέσα στη ύλη, όπως είναι τα κύματα της θάλασσας, τα ηχητικά κύματα, τα κύματα στις τεντωμένες χορδές ενός πιάνου κλπ. Αυτά, χαρακτηρίζονται ως μηχανικά κύματα, αφού είναι μηχανικές παραμορφώσεις της ύλης μέσα στην οποία διαδίδονται (Τσαντής,2015).

Στην παρούσα εργασία, θα ασχοληθούμε, με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, παρήχθησαν και ανιχνεύθηκαν πρώτιστα από τον Hertz το 1887, οχτώ χρόνια έπειτα από τον θάνατο του μεγάλου θεωρητικού φυσικού του 19^{ου} αιώνα, του Maxwell. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα, είναι η ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού κι ενός μαγνητικού πεδίου. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, δεν έχουν ανάγκη της ύλης για να διαδοθούν, διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός. Σε όλα τα άλλα υλικά, διαδίδονται με μικρότερη ταχύτητα. Η ταχύτητα διάδοσης, εξαρτάται από την φύση του μέσου διάδοσης. Για το κενό η ταχύτητα του είναι $c = 3 \cdot 10^8$ m/s. Η σύνθεση δύο διαφορετικών κυμάτων (ηλεκτρικό και μαγνητικό), τα οποία βρίσκονται σε δύο επίπεδα κάθετα μεταξύ τους, δημιουργεί το ηλεκτρομαγνητικό

κύμα. Τα διανύσματα του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου είναι κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Βλάχος 2015, Περάκης κ.α. 2015).

Βασικό χαρακτηριστικό των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων αποτελούν η συχνότητα και το μήκος κύματος. Η συχνότητα φανερώνει τον αριθμό των κορυφών που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο στη μονάδα του χρόνου κατά τη διάδοση του κύματος και έχει ως μονάδα μέτρησης το Hertz, το οποίο ισοδυναμεί με μία περίοδο ανά δευτερόλεπτο. Το μήκος κύματος, είναι η απόσταση στην οποία διαδίδεται το κύμα σε χρόνο μιας περιόδου, δηλαδή η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών. Συμβολίζεται με λ και μετριέται σε μέτρα (m), ή κάποιο παράγωγο του μέτρου όπως νανόμετρα (nm, 10^{-9} m), μικρόμετρα (μm , 10^{-6} m) ή εκατοστά (cm, 10^{-2} m) (Παρχαρίδης 2015, Περάκης κ.α. 2015).



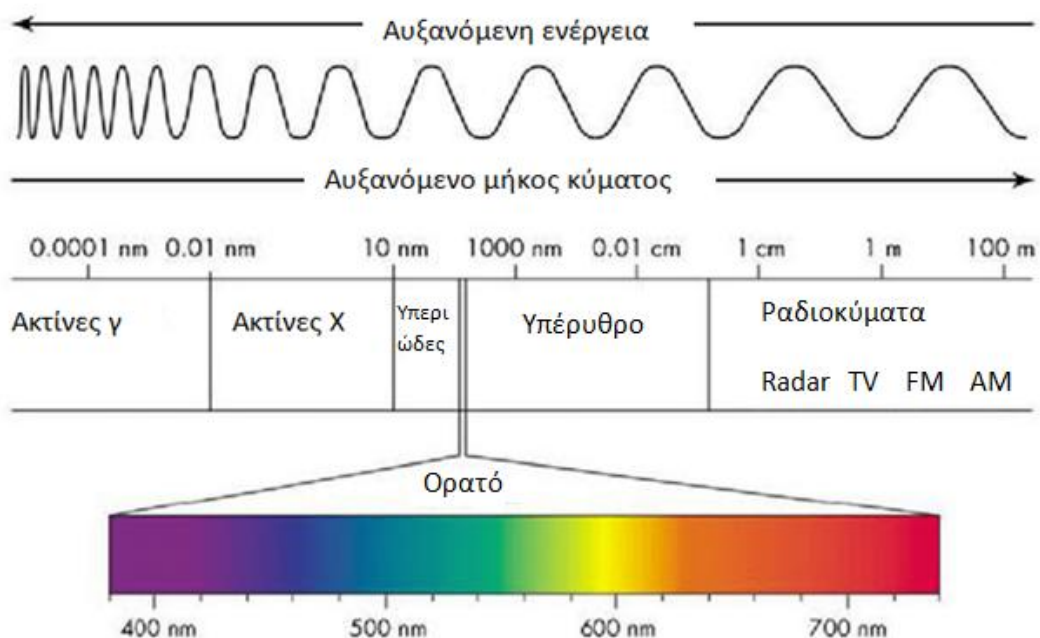
Εικόνα 1.2. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Πηγή: Μορφοποίηση από Repnik, 2016

1.5. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΦΑΣΜΑ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, στη μεθοδολογία της τηλεπισκόπησης, βασικό στοιχείο αποτελεί η ύπαρξη μιας ενεργειακής πηγής η οποία να παρέχει φως στο στόχο (εξαίρεση αποτελεί εάν η ανιχνευόμενη ενέργεια εκπέμπεται από τον στόχο). Σύμφωνα με τους Ποϊζαρίδης κ.α. 2013, Παρχαρίδης 2015, Περάκης κ.α. 2015, Φούντας και Γέμτος 2015), αυτή η ενέργεια βρίσκεται υπό τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η εκπομπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας υπό τη μορφή κυμάτων στο χώρο. Στην ουσία

αποτελεί ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα καλύπτουν ένα θεωρητικά άπειρο εύρος συχνοτήτων, το λεγόμενο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Αυτό, χωρίζεται σε διάφορες ζώνες ανάλογα με τη συχνότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε: ακτίνες γ, ακτίνες χ, υπεριώδη ακτινοβολία, ορατό φως, υπέρυθρη ακτινοβολία, μικροκύματα και ραδιοκύματα.



Εικόνα 1.3. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

Πηγή: Μορφοποίηση από Rodriguez, 2014:88

Όπως είναι γνωστό, κάθε σώμα αλληλεπιδρά διαφορετικά με διαφορετικά μήκη κύματος ακτινοβολίας. Την ιδιότητα αυτή, χρησιμοποιεί η τηλεπισκόπηση ώστε να εξάγει χρήσιμα αποτελέσματα από την ανάλυση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

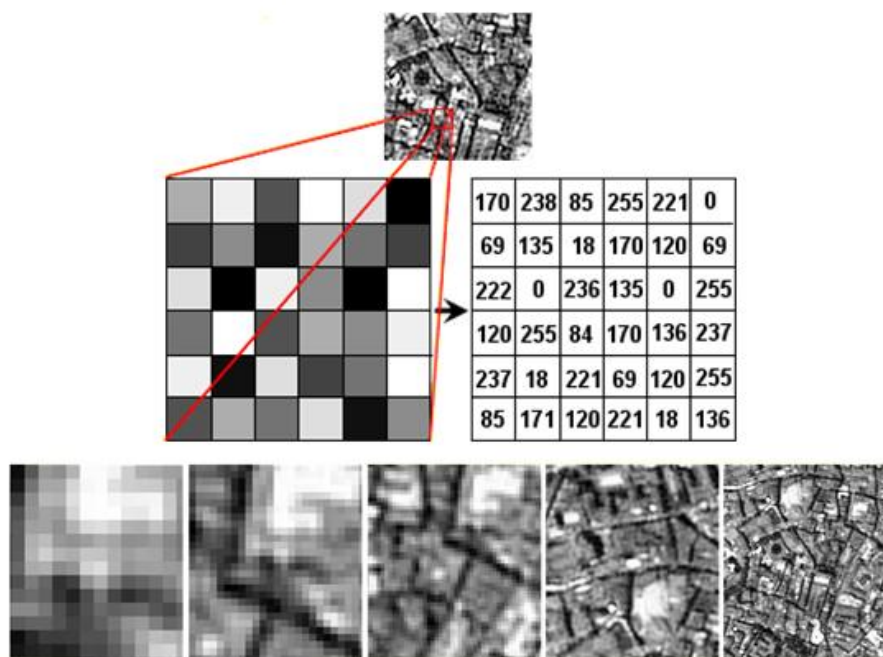
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^Ο. ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

2.1. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, στην τηλεπισκόπηση, η συλλογή δεδομένων, πραγματοποιείται με τεχνικά μέσα που δεν έχουν έρθει σε επαφή με το αντικείμενο που βρίσκεται στη γήινη επιφάνεια. Η παρατήρηση της επιφάνειας της Γης μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση τηλεπισκοπικών ανιχνευτών, οι οποίοι ανιχνεύουν την αντανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της επιφάνειας της Γης και αποδίδουν την ψηφιακή εικόνα. Τα δεδομένα που λαμβάνουμε μέσω της τηλεπισκόπησης, μπορεί να είναι αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες και εικόνες από ραντάρ. Μια αεροφωτογραφία, μπορεί να συλλεχθεί από ένα αεροσκάφος, ελικόπτερο ενώ μια δορυφορική εικόνα από έναν δορυφόρο. Αυτά τα μέσα έχουν εγκατεστημένους ανιχνευτές ώστε να αποδίδουν το στοιχείο που θα λάβουμε, δηλαδή την εικόνα. Συνήθως, πιο γνωστά είναι αυτά τα δεδομένα που προέρχονται από δορυφόρους (Ελληνική κοινότητα δασολόγων).

2.2. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ

Στην τηλεπισκόπηση είναι βασικό να καταλαβαίνουμε τα δεδομένα που λαμβάνουμε από τους αισθητήρες, ώστε να μπορέσουμε να τα ερμηνεύσουμε κατάλληλα. Γι' αυτό, αρχικά πρέπει να καταλάβουμε τι εννοούμε με τον όρο δορυφορική εικόνα και ποια είναι η διαφορά της με μια απλή φωτογραφία. Η δορυφορική εικόνα αποτελείται από έναν πίνακα στοιχείων που είναι διακριτά μεταξύ τους ή αλλιώς από πολλά τετράγωνα που ονομάζονται εικονοστοιχεία. Το εικονοστοιχείο, αποτελεί τη μικρότερη μονάδα μιας δορυφορικής εικόνας και είναι αρκετά σημαντικό, αφού το σύνολο όλων των εικονοστοιχείων μαζί δίδει την πληροφορία, η οποία συνιστά την πλήρη εικόνα. Η δορυφορική εικόνα, είναι ψηφιακή, δηλαδή, έχει ψηφιακή μορφοποίηση και προκειμένου να αναλυθεί και να ερμηνευθεί είναι αναγκαία η χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή (**εικόνα 2.1.**). Σε αντιδιαστολή, η απλή φωτογραφία, είναι αναλογική, δηλαδή, έχει αναλογική μορφοποίηση και πρώτιστα πρέπει να τυπωθεί σε χαρτί προτού αναλυθεί και ερμηνευθεί το περιεχόμενό της. Η επεξεργασία δορυφορικής εικόνας, μας παρέχει πλήθος προϊόντων που χρησιμοποιούνται για ποικίλους σκοπούς (ESA).



Εικόνα 2.1. Εικονοστοιχεία δορυφορικής εικόνας (pixels).

Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/cgnxsz>

Σύμφωνα με την Φανουρίου (2012), τα δορυφορικά δεδομένα καθώς και τα δορυφορικά συστήματα παρουσιάζουν μεγάλη επιτυχία και οι δορυφορικές εικόνες πλεονεκτούν των αεροφωτογραφιών λόγω των ακόλουθων χαρακτηριστικών:

1. Συνοπτική καταγραφή της γης: μια δορυφορική εικόνα καλύπτει έκταση 185×185 km για τους LANDSAT (σε μια εικόνα LANDSAT αντιστοιχούν περισσότερες από 1600 αεροφωτογραφίες 1:20.000).
2. Επαναλαμβανόμενη κάλυψη: η καταγραφή της γήινης επιφάνειας σε τακτά χρονικά διαστήματα γίνεται από τους δορυφόρους (ο LANDSAT καλύπτει τη γη κάθε 16 μέρες την ίδια ώρα πάντα (9.45)).
3. Διακριτική ικανότητα, χωρική ικανότητα (στους δορυφόρους LANDSAT η διακριτική ικανότητα είναι 30×30 m).
4. Πολυφασματικά δεδομένα: οι εικόνες καταγράφονται σε διάφορα κανάλια του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (στους δορυφόρους LANDSAT 4 και 5 έχουμε 7 κανάλια και στους δορυφόρους LANDSAT 1,2 και 3 έχουμε 4 κανάλια).
5. Ψηφιακή μορφή δεδομένων : τα δεδομένα είναι σε ψηφιακή μορφή πράγμα που επιτρέπει την επεξεργασία τους από τους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.
6. Στερεοσκοπική κάλυψη

7. Ελάχιστη παραμόρφωση: οι δορυφορικές εικόνες σε σχέση με τις αεροφωτογραφίες έχουν ελάχιστη παραμόρφωση.

2.3. ΓΕΝΙΚΑ

Για να μπορέσουμε να συλλέξουμε τις δορυφορικές εικόνες σημαντικό μέσο αποτελούν οι δορυφόροι. Η εξέλιξη κι ανάπτυξη των δορυφόρων συνέβαλε στη γέννηση της (δορυφορικής) τηλεπισκόπησης. Συνεπώς, το βασικό μέρος της τηλεπισκόπησης σχετίζεται με τους (τεχνητούς) δορυφόρους και τις δορυφορικές εικόνες, τις οποίες καταγράφουν και μας παρέχουν (Περάκης κ.α. 2015).

Σύμφωνα με τη NASA (2014), δορυφόρος είναι το φεγγάρι, ο πλανήτης ή ένα σώμα που περιστρέφεται γύρω από έναν πλανήτη ή κάποιο άστρο. Συνήθως, η λέξη ‘δορυφόρος’ αναφέρεται σε ένα σώμα που εκτοξεύεται στο διάστημα και κινείται γύρω από τη γη ή κάποιο άλλο σώμα στο διάστημα. Η γη και το φεγγάρι αποτελούν φυσικούς δορυφόρους. Υπάρχουν όμως χιλιάδες τεχνητοί δορυφόροι, οι οποίοι περιστρέφονται γύρω από τη γη. Κάποιοι φωτογραφίζουν τον πλανήτη με στόχο να βοηθούν τους μετεωρολόγους για την πρόβλεψη του καιρού ή την παρακολούθηση τυφώνων. Κάποιοι άλλοι, φωτογραφίζουν άλλους πλανήτες, τις μαύρες τρύπες, τον ήλιο, τη σκοτεινή ύλη, ή τους μακρινούς γαλαξίες. Αυτές οι εικόνες βοηθούν τους επιστήμονες να κατανοήσουν καλύτερα το ηλιακό σύστημα και το σύμπαν.

Επιπλέον, με βάση την ίδια πηγή, υπάρχουν δορυφόροι οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως για τις επικοινωνίες. Μια ομάδα περισσότερων από 20 δορυφόρων συνιστά το Παγκόσμιο Σύστημα Εντοπισμού Θέσης ή GPS. Οι δορυφόροι διατίθενται σε πολλά μεγέθη και σχήματα. Τα περισσότερα έχουν τουλάχιστον δύο κοινά μέρη, δηλαδή μια κεραία και μια πηγή ισχύος. Η κεραία στέλνει και λαμβάνει πληροφορίες υπό τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού σήματος συχνά από και προς τη Γη. Η πηγή ισχύος μπορεί να είναι μπαταρία ή ηλιακός συλλέκτης. Τα ηλιακά πάνελ παράγουν ενέργεια μετατρέποντας το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό. Αρκετοί δορυφόροι της NASA μεταφέρουν κάμερες και επιστημονικούς αισθητήρες. Μερικές φορές αυτά τα όργανα δείχνουν προς τη Γη για να συλλέξουν πληροφορίες για τη γη, τον αέρα και το νερό. Άλλες φορές κοιτάζουν στο διάστημα για να συλλέξουν δεδομένα από το ηλιακό σύστημα και το σύμπαν.



Εικόνα 2.2. Απεικόνιση δορυφόρου.

Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/8gnxsz>

2.4. ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Σύμφωνα με τον Περάκη κ.α.(2015), οι πρώτες αεροφωτογραφίες της γης μεταδόθηκαν με μια απλή φωτογραφική μηχανή για στρατιωτικούς σκοπούς, αφού πάρθηκαν από έναν γερμανικό πύραυλο V-2 μετά τη λήξη του 2^{ου} Παγκόσμιου Πολέμου. Οι πύραυλοι που εκτοξεύθηκαν πρώτοι χωρίς τη μεταφορά φωτογραφικών συστημάτων ήταν οι εξής:

Ο πρώτος δορυφόρος που τέθηκε σε τροχιά από τη Σοβιετική Ένωση ήταν το Sputnik, το 1957. Στις 3 Νοεμβρίου 1957 ο Sputnik 2 στάλθηκε στο διάστημα μεταφέροντας το πρώτο έμβιο όν, ένα αδέσποτο σκυλί (Laika). Το 1958, η NASA έστειλε τον Explorer 1, που ήταν ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος της Αμερικής. Το κύριο όργανο ήταν ένας αισθητήρας που μετρούσε σωματίδια υψηλής ενέργειας στο διάστημα που ονομάζεται κοσμικές ακτίνες (NASA 2014).

Επιπλέον, ο Περάκης κ.α. (2015) αναφέρουν ότι οι δορυφόροι που στάλθηκαν στο διάστημα και μετέφεραν φωτογραφικές μηχανές ή TV κάμερες ήταν οι: COSMOS 4-ΕΣΣΔ(Ένωση Σοβιετικών Σοσιαλιστικών Δημοκρατιών), Discover (1959-60) – ΗΠΑ και TIROS (1960) (ο πρώτος με TV κάμερα). Μετά από αυτές τις αποστολές δορυφόρων, υπήρξαν κι άλλες όπως στις ΗΠΑ, με τους δορυφόρους Mercury,

Gemini και Apollo της NASA και από την ΕΣΣΔ οι Vostok, Voskod και Soyuz. Πέρα από αυτούς, υπάρχουν και οι πτήσεις των διαστημικών εργαστηρίων Skylab και Space Shuttles της NASA από τις ΗΠΑ και του Salut από την πρώην ΕΣΣΔ.

2.5. Η ΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΔΟΡΥΦΟΡΩΝ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗ ΓΗ

Ο Παρχαρίδης (2015), αναφέρει ότι η διαδρομή που ακολουθεί ένας δορυφόρος, ονομάζεται τροχιά. Οι δορυφορικές τροχιές συνδέονται με τις ικανότητες και τους στόχους των αισθητήρων που μεταφέρουν. Η τροχιά που επιλέγεται, μπορεί να παρουσιάζει διάφορες παραλλαγές που αφορούν το ύψος, τον προσανατολισμό και την περιστροφή σε σχέση με τη Γη.

Ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο σχεδιάζεται ένας δορυφόρος, προσαρμόζεται και η τροχιά του. Μια διάκριση αφορά αυτή σε μετεωρολογικούς (meteorological) και σε δορυφόρους παρατήρησης και παρακολούθησης επίγειων πόρων (earth resource). Οι πρώτοι, αφορούν δορυφόρους που παρουσιάζουν ομοιομορφία στην κατανομή τους σε γεωστατικές τροχιές γύρω από τη γη και συμβάλλουν στην παροχή μιας σφαιρικής εικόνας των καιρικών φαινομένων σε όλο τον πλανήτη. Είναι φανερό, ότι η γνώση των αναμενόμενων καιρικών συνθηκών αποτελεί βασικό παράγοντα για τον τομέα της γεωργίας. Βοηθά τον γεωργό καθώς και τον γεωπόνο στη λήψη άμεσων και σωστών αποφάσεων σε ότι αφορά τις ανάγκες των καλλιεργειών τους σε νερό με στόχο τη μέγιστη παραγωγή χωρίς ζημιές σε αυτήν. Επιπλέον, συγκριτικά με τους δεύτερους, οι πρώτοι, υπερτερούν ως προς τη χωρική ανάλυση καθώς αυτή είναι πολύ πιο μικρή (Μαστρογιάννης 2015).

Μια άλλη διάκριση ανάλογα με τις τροχιές σύμφωνα με τον Ποϊζαρίδη κ.α. (2013) είναι οι γεωστατικοί και οι ηλιοσύγχρονοι δορυφόροι. Οι μεν, είναι δορυφόροι οι οποίοι βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο και έχουν πάντα στόχο την ίδια περιοχή της Γης. Η τροχιά τους είναι γεωστατική εξου και το όνομα τους. Ακολουθούν τους παραλλήλους προς τον Ισημερινό (κλίση ίση με 0°). Το υψόμετρο τους είναι όπως αναφέρθηκε υψηλό, δηλαδή, 36.000 km και περιστρέφονται με ταχύτητες όμοιες με την περιστροφή της Γης. Αυτό, έχει ως αποτέλεσμα οι γεωστατικοί δορυφόροι να μοιάζουν ακίνητοι/σταθεροί από την επιφάνεια της Γης. Για το λόγο αυτό, η διακριτική ικανότητα των γεωστατικών δορυφόρων είναι αρκετά μικρή (χωρική

ανάλυση άνω από 1 km). Όμως, οι δορυφόροι αυτοί μπορούν να παρατηρούν και να συλλέγουν την ίδια πληροφορία ανά τακτά χρονικά διαστήματα πάνω από συγκεκριμένες περιοχές κάτι το οποίο αποτελεί σημαντικό προτέρημα. Η κάλυψη που μπορεί να επιτευχθεί με αυτό το είδος δορυφόρων είναι τόσο μεγάλη και τρείς τέτοιοι δορυφόροι αρκούν για ολόκληρη την κάλυψη της επιφάνειας της Γης. Αυτοί οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται για τις τηλεπικοινωνίες και την τηλεόραση, καθώς και για την παρακολούθηση των καιρικών φαινομένων.

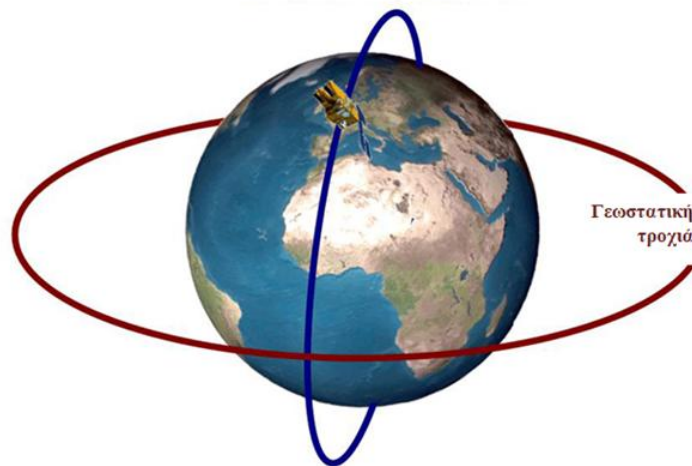
Όπως αναφέρει ο ίδιος ερευνητής αλλά και ο Παρχαρίδης (2015), τα δορυφορικά συστήματα που παρακολουθούν τη Γη, ακολουθούν μια τροχιά (βασικά από το Βορρά προς το Νότο), η οποία συνδυαστικά με την περιστροφή που κάνει η Γη, δηλαδή από τα δυτικά προς τα ανατολικά, δίνει τη δυνατότητα στα συστήματα αυτά να μπορούν να καλύψουν το μεγαλύτερο μέρος της γήινης επιφάνειας σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Αυτές είναι σχεδόν πολικές τροχιές (τροχιές που τέμνουν κάθετα τον Ισημερινό), και λέγονται έτσι λόγω της κλίσης της τροχιάς σε σχέση με τη νοητή γραμμή που διατρέχει τη Γη μεταξύ του Βόριου και Νότιου πόλου. Αρκετές από αυτές τις τροχιές είναι συγχρονισμένες με τον ήλιο με σκοπό να καλύπτουν κάθε περιοχή της Γης σε μια σταθερή τοπική ώρα της μέρας, η οποία λέγεται τοπική ώρα ήλιου.

Με βάση τα παραπάνω και σύμφωνα με τη Φανουρίου (2012), σε μια πλήρη περιστροφή του δορυφόρου σαρώνεται και μια νέα λωρίδα της επιφάνειας της Γης. Συνεπώς, μετά από έναν συγκεκριμένο αριθμό περιστροφών, θα έχει καλυφθεί όλη η γήινη επιφάνεια. Κάποιοι δορυφόροι σαρώνουν λωρίδες με μεγάλο σχετικά πλάτος και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μπορούν να σαρώσουν όλη την γη με ελάχιστες περιστροφές. Λόγου χάρη ο δορυφόρος Landsat παρουσιάζει κύκλο 16 ημερών. Σε αντιπαράθεση με αυτό, υπάρχουν και δορυφόροι με πολύ υψηλή ανάλυση, οι οποίοι σαρώνουν μικρού πλάτους λωρίδες και φυσικά αυτό συνεπάγεται ότι για την κάλυψη ολόκληρης της γήινης επιφάνειας χρειάζονται αρκετές ημέρες.

Οποιοδήποτε και να είναι το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, για την ίδια εποχή, η θέση του Ήλιου θα είναι ίδια καθώς καλύπτεται από το δορυφόρο. Σύμφωνα με αυτό, οι συνθήκες φωτισμού θα είναι σταθερές ώστε να υπάρχει η δυνατότητα συγκρίσεων για την ίδια εποχή διαχρονικά. Στην τηλεπισκόπηση αρκετοί από τους δορυφόρους που χρησιμοποιούνται είναι αυτού του είδους (Παρχαρίδης 2015).

Ο Μαστρογιάννης (2015), αναφερόμενος στους ηλιοσύγχρονους δορυφόρους, επισημαίνει πως βασικό ρόλο παίζει το υψόμετρο του δορυφόρου καθώς αυτό σχετίζεται με τη λεπτομέρεια που ανιχνεύουμε. Εάν ο δορυφόρος έχει μεγάλο υψόμετρο έχει τη δυνατότητα να πηγαίνει στην ίδια περιοχή συχνότερα, με μειονέκτημα οι πληροφορίες που λαμβάνει να μην είναι λεπτομερείς. Αντιθέτως, εάν το υψόμετρο είναι μικρό, η επίσκεψη της ίδιας περιοχής γίνεται με λιγότερη συχνότητα, αλλά οι πληροφορίες έχουν περισσότερες λεπτομέρειες. Η Φανουρίου (2012), αναφέρει πως η γη λόγω της βαρύτητας έλκει τους δορυφόρους προς αυτήν. Εν τέλη, ο δορυφόρος, εισέρχεται στην ατμόσφαιρα της γης και καταστρέφεται. Δορυφόρος με ύψος τροχιάς τουλάχιστον 450 km εξασφαλίζει ότι η διάρκεια ζωής του είναι τουλάχιστον 5 χρόνια. Ο Περάκης κ.α. (2015), τονίζει ότι οι γεωστατικοί δορυφόροι, έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής έναντι των ηλιοσύγχρονων, οι οποίοι πετούν μεταξύ 500 km και 1000 km και η ζωή τους συνήθως είναι περισσότερα χρόνια.

Ηλιοσύγχρονη τροχιά



Εικόνα 2.3. Είδη τροχιών δορυφόρων.

Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/oprxsz>

2.6. ΠΑΘΗΤΙΚΟΙ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΗΤΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

2.6.1. Γενικά

Στην τηλεπισκόπηση, οι συσκευές που χρησιμοποιούνται για να λαμβάνουν δεδομένα, λόγω χάρη για τη μέτρηση της ακτινοβολίας που φτάνει στα δορυφορικά όργανα, αναφέρονται συνήθως ως ‘αισθητήρες’. Η λέξη αισθητήρας, προτιμάται καθώς αναφέρεται σε έναν ευρύτερο τρόπο λήψης πληροφοριών από μια κάμερα.

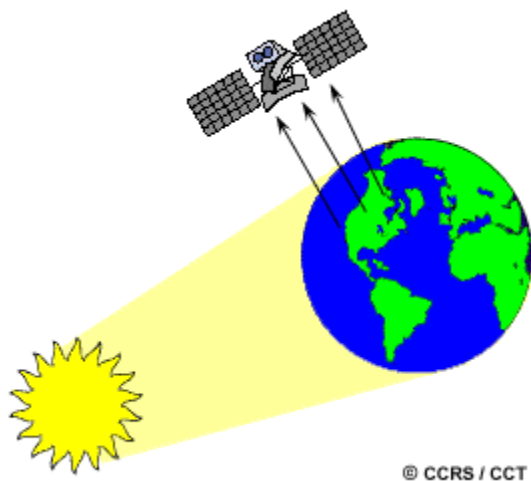
Μια κάμερα συνήθως αναφέρεται σε πληροφορίες που μπορούμε να παρατηρήσουμε μόνο με γυμνό μάτι και σε ορισμένες περιπτώσεις σε υπέρυθρες ακτίνες ανάλογα με το φιλμ και την κάμερα που χρησιμοποιούνται. Ωστόσο, η τηλεπισκόπηση όπως έχει αναφερθεί περιλαμβάνει πολλούς τύπους ακτινοβολίας στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Επιπλέον, χρησιμοποιεί πολλούς διαφορετικούς αισθητήρες, οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα να παρουσιάζουν 'ευαισθησίες' σε ακτινοβολίες στα διαφορετικά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Πιο συγκεκριμένα, χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν κάποιοι αισθητήρες οι οποίοι έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να λαμβάνουν όλα τα 'πράσινα' μήκη κύματος, ενώ άλλοι τα υπέρυθρα (ESA). Μπορούμε να διακρίνουμε τους αισθητήρες σε δύο βασικές κατηγορίες: τους παθητικούς και τους ενεργητικούς.

2.6.2. Παθητικοί αισθητήρες

Οι παθητικοί αισθητήρες δεν εκπέμπουν οι ίδιοι τη δική τους ακτινοβολία, αλλά δέχονται φυσικό φως και θερμική ακτινοβολία από την γήινη επιφάνεια. Ουσιαστικά, οι παθητικοί αισθητήρες μπορούν και ανιχνεύουν την ηλιακή ακτινοβολία η οποία ανακλάται από τη γη καθώς και τη θερμική ακτινοβολία στο ορατό και υπέρυθρο μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και να την καταγράφουν. Πολλοί δορυφόροι, όπως είναι οι δορυφόροι LANDSAT, κάνουν χρήση ενός σαρωτή για απεικόνιση. Με εξοπλισμό όπως τα φασματόμετρα, μπορούν και μετρούν ηλεκτρομαγνητικά σήματα σε πολλές φασματικές ζώνες την ίδια χρονική στιγμή με αποτέλεσμα τις πολυφασματικές εικόνες, οι οποίες αποτελούν πηγή ποικίλων ερμηνειών (SEOS).

Ο Παρχαρίδης (2015), αναφέρει, ότι στα παθητικά συστήματα τηλεπισκόπησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο για να ανιχνεύσουν την ενέργεια όταν είναι φυσικά διαθέσιμη. Για την ενέργεια που ανακλάται, όπως συμβαίνει στα ορατά μήκη κύματος, μπορεί να ανιχνευθεί μόνο τη μέρα όπου ο ήλιος φωτίζει τμήματα της γης. Τη νύχτα δεν υπάρχει ανακλώμενη ενέργεια και συνεπώς δεν μπορεί να παρθεί καμία μέτρηση από τους παθητικούς αισθητήρες. Αντίθετα, η ενέργεια που εκπέμπεται με φυσικό τρόπο όπως το θερμικό υπέρυθρο, μπορεί να ανιχνευθεί ημέρα ή νύχτα όταν το ποσό ενέργειας είναι αρκετό ώστε να γίνει η καταγραφή. Συνεπώς, μειονέκτημα των παθητικών αισθητήρων αποτελεί το γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας

υπάρχει ανικανότητα μέτρησης της ανακλώμενης ενέργειας όπως και στη διάρκεια ημερών με σύννεφα. Τα παθητικά τηλεπισκοπικά συστήματα, χρησιμοποιούν από πολύ μικρά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, δηλαδή μικρότερα από 0,4 μm , μέχρι την περιοχή του μήκους κύματος των 1000 μm .



Εικόνα 2.4. Αναπαράσταση παθητικού αισθητήρα.

Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/2gnxsz>

Σύμφωνα με τον Περάκη κ.α. (2015), τα όργανα με τα οποία είναι εφοδιασμένοι οι δορυφόροι μπορεί να είναι:

- 1) Το επιταχυνσιόμετρο, το οποίο καταγράφει τη γωνιακή επιτάχυνση και τη γραμμική επιτάχυνση σε μία ή περισσότερες διαστάσεις.
- 2) Το ραδιόμετρο, το οποίο, σε κάποια ζώνη μηκών κύματος στο φάσμα, μετράει ποσοτικά την ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Χρησιμοποιούνται ραδιόμετρα για το ορατό, υπέρυθρο ή τα μικροκύματα.
- 3) Το απεικονιστικό ή φωτογραφικό ραδιόμετρο, το οποίο έχει την ικανότητα να πραγματοποιεί σαρώσεις (ηλεκτρονικά ή μηχανικά) με αποτέλεσμα την παροχή ενός δισδιάστατου πίνακα εικονοστοιχείων μέσω του οποίου δημιουργείται η δορυφορική εικόνα ενός φασματικού καναλιού.
- 4) Το φασματόμετρο, το οποίο αποτελεί μια διάταξη για να ανιχνεύει, μετράει και αναλύει το φασματικό περιεχόμενο της προσπίπτουσας ηλεκτρομαγνητικής

ακτινοβολίας. Αρκετά φασματόμετρα, χρησιμοποιούν πρίσματα για να διακρίνουν την φασματική ακτινοβολία.

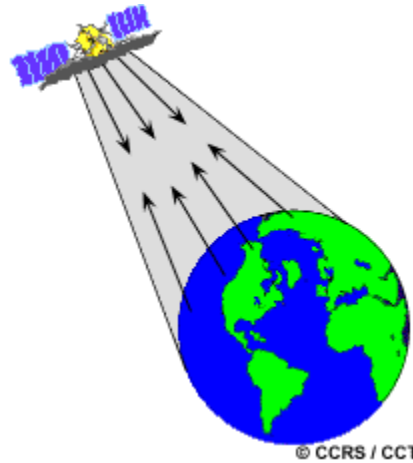
5) Το φασματοραδιόμετρο, το οποίο μπορεί να μετράει την ένταση της ακτινοβολίας σε πολλαπλές ζώνες μήκους κύματος, δηλαδή πολυφασματικά. Πολλές φορές, τα φασματικά κανάλια είναι υψηλής φασματικής ανάλυσης που έχουν σχεδιαστεί για να μετρούν ειδικές γεωφυσικές παραμέτρους, όπως η βλάστηση, τα χαρακτηριστικά σύννεφων, το χρώμα των ωκεανών, η θερμοκρασία της επιφάνειας της θάλασσας, το ίχνος χημικών στοιχείων στην ατμόσφαιρα και πολλά ακόμη.

6) Το υπερφασματικό ραδιόμετρο, το οποίο ανιχνεύει εκατοντάδες φασματικά κανάλια που έχουν πολύ μικρό εύρος στο ορατό, υπέρυθρο και μέσο υπέρυθρο μήκος κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Έτσι, μπορούμε να ξεχωρίσουμε διαφορετικές καλύψεις γης, οι οποίες αλλάζουν φασματικές ιδιότητες σε πολύ μικρά διαστήματα μικρού κύματος στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.

7) Το ηχόμετρο, το οποίο μετράει τις κατακόρυφες κατανομές των ατμοσφαιρικών παραμέτρων όπως είναι η ατμοσφαιρική πίεση, η θερμοκρασία και η συνθετική πολυφασματική πληροφορία.

2.6.3. Ενεργητικοί αισθητήρες

Οι ενεργητικοί αισθητήρες παρέχουν τη δική τους πηγή ενέργειας για φωτισμό. Ο αισθητήρας εκπέμπει ακτινοβολία η οποία κατευθύνεται προς τον στόχο που πρέπει να διερευνηθεί. Η ακτινοβολία που ανακλάται από αυτόν το στόχο, ανιχνεύεται και μετράται από τον αισθητήρα. Οι πιο γνωστοί αισθητήρες, είναι οι αισθητήρες φθορισμού με ακτίνες Laser και τα Ραντάρ Συνθετικού Ανοίγματος (Synthetic Aperture Radar/SAR). Τα ραντάρ, μπορεί να είναι όργανα απεικόνισης (imaging radar), ραντάρ μετρήσεων υψομετρικών διαφορών (altimeters) και σκεδασίμετρα (scatterometers). (Natural Resources Canada 2015).



Εικόνα 2.5. Αναπαράσταση ενεργητικού αισθητήρα.

Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/yfnxsz>

Αναλυτικότερα, σύμφωνα με τους Φούντας και Γέμτος (2015):

Ένα ραντάρ (Radio Detection and Ranging), χρησιμοποιεί έναν πομπό και μια κατευθυντική κεραία ή δέκτη. Ο πομπός χρησιμοποιείται σε ραδιοσυχνότητες ή σε συχνότητες μικροκυμάτων, προκειμένου να εκπέμψει παλμούς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Απ' την άλλη, η κατευθυντική κεραία ή δέκτης, χρησιμοποιείται για να μετράται ο χρόνος της άφιξης της ακτινοβολίας που ανακλάται ή διασκορπίζεται από μακρινούς στόχους. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαδίδεται με την ταχύτητα του φωτός και αυτό επιτρέπει τον προσδιορισμό της απόστασης του στόχου.

Τα σκεδασίμετρα (Scatterometer), είναι ραντάρ υψηλής συχνότητας μικροκυμάτων σχεδιασμένα για να μετράται η οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία. Χρησιμοποιούνται στην κλιματολογία και μετεωρολογία για την δημιουργία χαρτών ταχύτητας και κατεύθυνσης του ανέμου.

Το Lidar (Light Detection and Ranging), χρησιμοποιεί ένα λέιζερ κι έναν δέκτη. Το λέιζερ, χρησιμοποιείται για να μεταδώσει έναν παλμό φωτός. Ο δέκτης με ευαίσθητους ανιχνευτές χρησιμοποιείται, για να μετρά την οπισθοσκεδαζόμενη ή ανακλώμενη ακτινοβολία του φωτός. Χρησιμοποιώντας την διαφορά μεταξύ των χρόνων εκπομπής και οπισθοσκέδασης και σε συνδυασμό με την ταχύτητα του φωτός, υπολογίζεται η απόσταση του στόχου από τον δέκτη.

Το laser υψομέτρου, είναι ένας λέιζερ υψομετρητής, ο οποίος χρησιμοποιεί ένα Lidar, προκειμένου να μετρήσει το ύψος του μέσου πάνω από την επιφάνεια. Ο προσδιορισμός της τοπογραφίας της υποκείμενης επιφάνειας, επιτυγχάνεται εφόσον είναι γνωστό το ύψος του μέσου σε σχέση με τη μέση επιφάνεια της γης.

Οι ενεργητικοί αισθητήρες, πλεονεκτούν έναντι των παθητικών σε ότι αφορά τη λήψη μετρήσεων οποιαδήποτε στιγμή ανεξάρτητα από το εάν είναι μέρα ή νύχτα καθώς και ανεξάρτητα από την εποχή. Έχουν τη δυνατότητα να διαπερνούν τα σύννεφα, την ελαφριά βροχή καθώς και το χιόνι. Τα ραντάρ, μπορούν να διαπερνούν τη βλάστηση και το έδαφος με στόχο την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με την επιφανειακή στιβάδα μέχρι ενός μέτρου περίπου βάθος. Μειονέκτημα αυτής της δυνατότητας, αποτελεί ότι λόγω της χαμηλής εκπεμπόμενης ακτινοβολίας, τα σήματα ραντάρ δεν περιέχουν φασματικά χαρακτηριστικά. Οι ενεργητικοί αισθητήρες μπορούν να μας παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την περιεκτικότητα των στρωμάτων του εδάφους σε υγρασία, όμως αυτή η ανάλυση είναι ιδιαίτερα περίπλοκη και δαπανηρή. Τέλος, η χρήση των ενεργητικών αισθητήρων βρίσκει εφαρμογή σε ποικίλους τομείς όπως είναι η γεωργία και η δασοκομία, η γεωλογία, η ωκεανογραφία και η υδρολογία. Το ERS-2, αποτελεί παράδειγμα ενός ευρωπαϊκού δορυφόρου, ο οποίος εκτοξεύτηκε το 1995 από το Γαλλικό Κουρού με όχημα εκτόξευσης ARIANE. Περιστρέφεται σε πολική τροχιά, σε υψόμετρο 785 km με ταχύτητα 7,5 km ανά ώρα, παρακολουθώντας μια ζώνη πλάτους των 100 km. (SEOS).

2.7. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα χαρακτηριστικά των δορυφορικών συστημάτων περιγράφονται με τη χωρική (spatial), φασματική (spectral), ραδιομετρική (radiometric) και χρονική (temporal) διακριτική ικανότητα ή ανάλυση. Γενικά, η διακριτική ικανότητα του αισθητήρα κάποιου δορυφόρου, σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά που διαθέτουν τα φασματόμετρα των δορυφόρων (Περάκης κ.α. 2015).

2.7.1. Χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution)

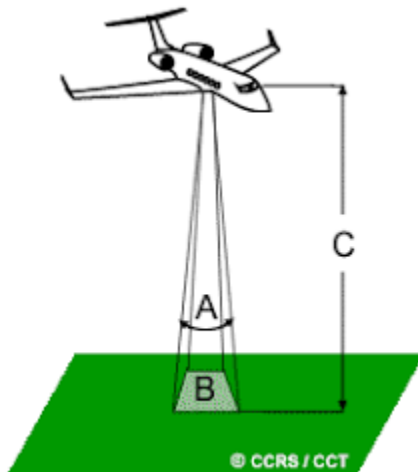
Για ορισμένα όργανα τηλεπισκόπησης, η απόσταση μεταξύ του στόχου που θα απεικονιστεί και της πλατφόρμας, διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό των λεπτομερειών των πληροφοριών που λαμβάνονται και τη συνολική περιοχή που απεικονίζεται στον αισθητήρα. Αισθητήρες εντός πλατφόρμας μακριά από τους στόχους τους, συνήθως προβάλλουν μια μεγαλύτερη περιοχή, ωστόσο δεν μπορούν να παρέχουν εξαιρετικές λεπτομέρειες. Εάν συγκρίνουμε, τι βλέπει ένας αστροναύτης στη γη από το διαστημικό λεωφορείο και τι εμείς από ένα αεροπλάνο, θα διαπιστώσουμε ότι ο αστροναύτης έχει τη δυνατότητα να δει ολόκληρη την επαρχία ή τη χώρα με μια ματιά, αλλά δεν μπορεί να ξεχωρίσει μεμονωμένα κτίρια. Αντίθετα, εμείς μπορούμε να δούμε από το αεροπλάνο μεμονωμένα σπίτια, αλλά θα μπορούμε να δούμε μικρότερη περιοχή από τον αστροναύτη. Αυτό το παράδειγμα, αντικατοπτρίζει μια παρόμοια διαφορά που υπάρχει ανάμεσα στις δορυφορικές εικόνες και τις αεροφωτογραφίες. Η λεπτομέρεια που διακρίνεται σε μια εικόνα εξαρτάται από τη χωρική ανάλυση του αισθητήρα, δηλαδή τη χωρική διακριτική ικανότητα και αναφέρεται στο μέγεθος του μικρότερου χαρακτηριστικού που είναι δυνατό να ανιχνευθεί. (Levin, 1999).

Η χωρική διακριτική ικανότητα, καθορίζει το μέγεθος του εικονοστοιχείου/pixel της δορυφορικής απεικόνισης. Το pixel, αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο μέγεθος της επιφάνειας της γης. Για παράδειγμα, εάν ένα σύστημα καταγραφής έχει χωρική διακριτική ικανότητα 20 m. και μια εικόνα αυτού του συστήματος καταγραφής εμφανίζεται σε πλήρη ανάλυση, τότε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) αντιπροσωπεύει μία περιοχή της επιφάνειας ίση με 20 m X 20 m (Παρχαρίδης 2015).

Σε αυτήν την περίπτωση, το μέγεθος των pixel και η ανάλυση είναι η ίδια. Ωστόσο, υπάρχει περίπτωση, να εμφανίζεται εικόνα με διαφορετικό μέγεθος pixel από την ανάλυση. Πολλά «poster», των δορυφορικών εικόνων της γης, έχουν τα pixel τους κατά μέσο όρο να αντιπροσωπεύουν τις ευρύτερες περιοχές, αν και η αρχική χωρική ανάλυση του οργάνου καταγραφής που σύλλεξε τις εικόνες, παραμένει η ίδια. Σε εικόνες όπου μόνον μεγάλα χαρακτηριστικά είναι ορατά, λέγεται ότι έχουν χαμηλή ανάλυση ενώ σε εικόνες όπου μόνο μικρά αντικείμενα είναι ανιχνεύσιμα, λέγεται ότι έχουν υψηλή ανάλυση. Ο λόγος απόστασης μιας εικόνας ή ενός χάρτη, προς την πραγματική απόσταση εδάφους, αναφέρεται ως κλίμακα. Αν ένας χάρτης είχε

κλίμακα 1:100.000, τότε ένα αντικείμενο με 1 cm μήκος στο χάρτη αυτό, στην πραγματικότητα θα ήταν μήκους 100.000 cm (1km) στο έδαφος. Υπάρχουν χάρτες και εικόνες με μικρές αναλογίες «χάρτη - εδάφους», οι οποίες λέγονται μικρής κλίμακας (π.χ. 1:100.000) και με μεγαλύτερες αναλογίες, οι οποίες λέγονται μεγάλης κλίμακας (π.χ. 1: 5.000) (Natural Resources Canada 2015).

Η χωρική διακριτική ικανότητα, συνήθως μετράται με έναν τρόπο ο οποίος στηρίζεται στις γεωμετρικές ιδιότητες του συστήματος και είναι το στιγμιαίο οπτικό πεδίο του αισθητήρα ή IFOV (Instantaneous Field of View). Το IFOV, είναι η γωνία ορατότητας του αισθητήρα (A) και καθορίζει την περιοχή στην γήινη επιφάνεια η οποία «βλέπει» από ένα δεδομένο υψόμετρο, σε μία συγκεκριμένη στιγμή (B). Το μέγεθος της επιφάνειας που καταγράφεται, καθορίζεται από γινόμενο του στιγμιαίου οπτικού πεδίου με την απόσταση που υπάρχει από το έδαφος προς τον αισθητήρα (C). Αυτή η περιοχή στο έδαφος, λέγεται κελί ανάλυσης και προσδιορίζει τη χωρική ανάλυση του δορυφορικού αισθητήρα. Συνεπώς, τα αντικείμενα που απεικονίζει μια δορυφορική εικόνα, έχουν μέγεθος ίσο ή μεγαλύτερο από το κελί ανάλυσης της εικόνας. (Levin 1999).



Εικόνα 2.6. Επεξήγηση στιγμιαίου οπτικού πεδίου του αισθητήρα.

Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/xfnxsz>

2.7.2.Φασματική διακριτική ικανότητα (spectral resolution)

Η φασματική ανάλυση, καθορίζεται μέσω του αριθμού των φασματικών ζωνών και του πλάτους τους. Ο σκοπός τους είναι να καταγράψουν τις διαφορές στα χαρακτηριστικά ανάκλασης διαφορετικών επιφανειών. Το ανθρώπινο μάτι αναγνωρίζει μόνο το ορατό φάσμα του φωτός. Σε αντιδιαστολή, ένας δορυφόρος, μπορεί ανάλογα με τον τύπο, να απεικονίζει την ακτινοβολία διαφορετικά σε πολλές φασματικές περιοχές. Οι περισσότεροι δορυφόροι παθητικής παρατήρησης της γης, έχουν μεταξύ τριών και οκτώ ζώνες και επομένως λέγονται πολυφασματικοί. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιων δορυφόρων αποτελούν ο LANDSAT και ο SPOT (SEOS).

Υπάρχουν και οι υπερφασματικοί αισθητήρες, οι οποίοι είναι σύνθετοι πολυφασματικοί αισθητήρες και ανιχνεύουν εκατοντάδες φασματικές μπάντες, οι οποίες είναι πολύ μικρές στο ορατό, εγγύς-υπέρυθρο και μέσο- υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Levin, 1999).

Όσο υψηλότερη είναι η φασματική ανάλυση, τόσο μικρότερο είναι το εύρος μήκους κύματος για μια συγκεκριμένη ζώνη, και κατά συνέπεια, τόσο περισσότερες ζώνες υπάρχουν. Με υψηλότερη φασματική ανάλυση, μεμονωμένα αντικείμενα, μπορούν να γίνουν καλύτερα αντιληπτά και να διακριθούν φασματικά (Natural Resources Canada 2015).

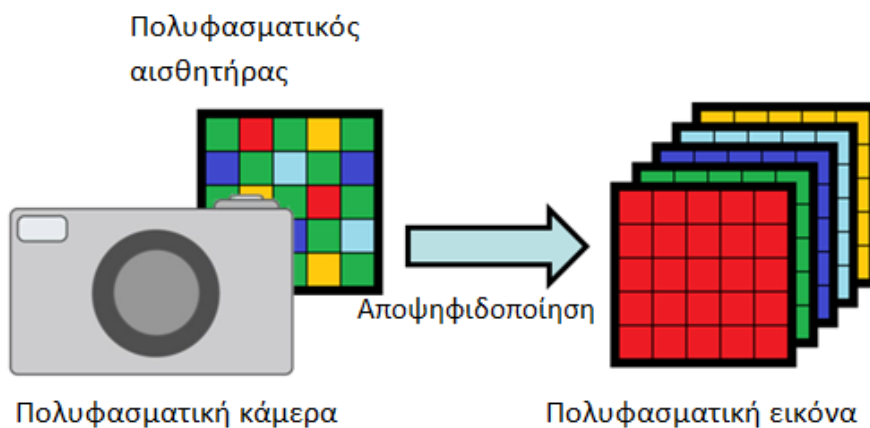
Προκειμένου να διαχωριστούν αντικείμενα με μεγάλη διαφορά στην φασματική τους ανάλυση, όπως το έδαφος και η βλάστηση, γίνεται χρήση αισθητήρων στο ορατό φως καθώς και στο υπέρυθρο. Στο ορατό φως, οι παθητικοί δορυφορικοί αισθητήρες, είναι τόσο ευαίσθητοι όσο και το ανθρώπινο μάτι. Οι δορυφόροι, βλέπουν σχεδόν το ίδιο με κάποιο άτομο που βλέπει όταν κοιτάζει από τη γη από υψόμετρο περίπου 1.000 χιλιομέτρων. Οι δορυφόροι συλλαμβάνουν μόνο ό,τι φωτίζεται από τον ήλιο. Στους αισθητήρες υπέρυθρων, μετράται η ακτινοβολία στο υπέρυθρο, το μεσαίο και το πολύ θερμικό. Τα δεδομένα είναι δυνατόν να μετατραπούν σε θερμοκρασίες της γης και τις επιφάνειες του ωκεανού σε συνθήκες χωρίς σύννεφα και στη θερμοκρασία στην κορυφή των νεφών κατά τη διάρκεια της συνεφιάς (SEOS).

Στα ασπρόμαυρα φιλμ, χρησιμοποιείται η κλίμακα του γκρι για την καταγραφή των χρωμάτων. Η φασματική ανάλυση, είναι χαμηλή, γιατί τα διάφορα μήκη κύματος του

ορατού φάσματος δεν διακρίνονται ξεχωριστά και καταγράφεται η συνολική ανάκλαση σε ολόκληρο το ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα έγχρωμα φιλμ στα οποία διακρίνεται κάθε περιοχή του ορατού φάσματος: μπλε, πράσινη, και κόκκινη έχει υψηλότερη φασματική ανάλυση (Natural Resources Canada 2015).

2.7.2.1. Πολυφασματικές εικόνες

Ο κάθε δορυφόρος, έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει φωτογραφίες από ένα μέρος της γης, μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή, καταγράφοντας τη σχετική φωτεινότητα της περιοχής και είναι εφοδιασμένος με φίλτρα ώστε να επιτρέπει την απεικόνιση συγκεκριμένων τμημάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η τελική εικόνα, δηλαδή η πολυφασματική εικόνα, αποτελείται από πολλές εικόνες της ίδιας περιοχής της γήινης επιφάνειας, καταγεγραμμένες την ίδια στιγμή, αλλά η κάθε μια τραβηγμένη σε διαφορετικό μήκος κύματος. Η διαφορετικότητα που εντοπίζεται σε αυτήν την καταγραφή της περιοχής, στα διαφορετικά μήκη κύματος, (όχι μόνον του ορατού φάσματος αλλά και στο υπέρυθρο ή υπεριώδες κ.α.) είναι μια κύρια αρχή πάνω στην οποία στηρίχτηκε η Τηλεπισκόπηση. Ένας από τους πιο βασικούς στόχους της τηλεπισκόπησης είναι να εντοπίσει «που είναι τι» στην γήινη επιφάνεια. Η διαφοροποίηση καλύψεων γης μπορεί να επιτευχθεί με την πολυφασματικότητα, ενώ χωρίς αυτήν θα ήταν αδύνατο να εντοπιστεί καταγεγραμμένη μόνο σε κάποια εικόνα σε συγκεκριμένο μήκος κύματος. Επομένως, η πολυφασματική εικόνα αποτελείται από τόσες επιμέρους εικόνες όσες και τα μήκη κύματος που καταγράφεται μια συγκεκριμένη περιοχή την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Οι εικόνες αυτές είναι υπερθέσιμες μεταξύ τους, δηλαδή το κάθε εικονοστοιχείο (pixel), αναπαριστά την ίδια ακριβώς περιοχή στα διαφορετικά μήκη κύματος. Το φασματικό κανάλι ή αλλιώς φασματική μπάντα, αφορά μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα που αποτελείται από πολλές (μονοφασματικές) εικόνες (Περάκης κ.α. 2015).



Εικόνα 2.7. Πολυφασματική εικόνα.

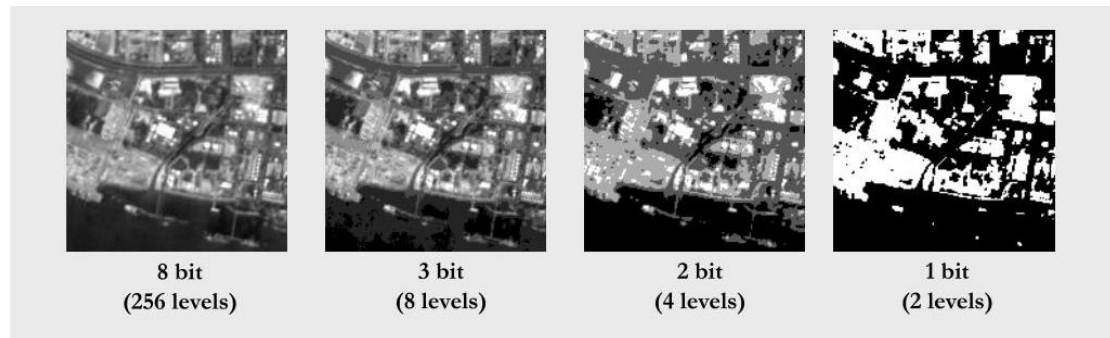
Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/wfnxsz>

2.7.3. Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (radiometric resolution)

Όπως προαναφέρθηκε, η χωρική δομή μιας εικόνας, περιγράφεται από τη διάταξη των εικονοστοιχείων. Τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά απ' την άλλη πλευρά, περιγράφουν το πραγματικό περιεχόμενο πληροφοριών σε μια εικόνα, δηλαδή την πραγματική πληροφορία. Κάθε φορά, που συλλέγεται μια εικόνα σε φιλμ ή από έναν αισθητήρα, η ευαισθησία της στο μέγεθος της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, προσδιορίζει τη ραδιομετρική ικανότητα. Ουσιαστικά, η ραδιομετρική ανάλυση, περιγράφει την ικανότητα ενός συστήματος να διακρίνει διαφορές στην ισχύ του σήματος. Όσο υψηλότερη είναι η ραδιομετρική ανάλυση ενός αισθητήρα, τόσο πιο ευαίσθητος είναι αυτός, στην ανίχνευση μικρών διαφορών στην ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ενέργεια. (Levin, 1999).

Τα δεδομένα μιας εικόνας, αντιπροσωπεύονται από θετικούς ψηφιακούς αριθμούς, που μεταβάλλονται από 0 έως μια επιλεγμένη δύναμη του 2 (2^X). Αυτό το εύρος τιμών, αντιστοιχεί στον αριθμό των bits που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση αριθμών σε δυαδική μορφή. Κάθε bit καταγράφει έναν εκθέτη δύναμης του 2, λόγω χάρη $1 \text{ bit} = 2^1 = 2$. Ο μέγιστος αριθμός των διαθέσιμων επιπέδων φωτεινότητας, καθορίζεται από τον αριθμό των bits που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση της καταγεγραμμένης ενέργειας. Επομένως, εάν ένας αισθητήρας χρησιμοποιούσε 8 bit προκειμένου να καταγράψει τα δεδομένα, τότε οι διαθέσιμες ψηφιακές τιμές που υπάρχουν είναι $2^8 = 256$, με εύρος 0-255. Εάν ο αισθητήρας χρησιμοποιούσε 4 bit, τότε είναι φανερό ότι οι διαθέσιμες ψηφιακές τιμές θα είναι $2^4 = 16$, με εύρος 0-15.

Στην περίπτωση αυτή με τη χρήση 4 bit, η ραδιομετρική ανάλυση θα ήταν πολύ μικρότερη. Γενικά, τα δεδομένα εικόνας που καταγράφονται από αισθητήρες, παρουσιάζονται σε ένα εύρος από τόνους του γκριζου. Το μαύρο, αντιπροσωπεύεται από την τιμή 0, ενώ το λευκό από τη μέγιστη τιμή (π.χ.255 σε εικόνα 8-bits) (Natural Resources Canada 2015).



Εικόνα 2.8. Ψηφιακή εικόνα 1, 2, 3 και 8 bit.

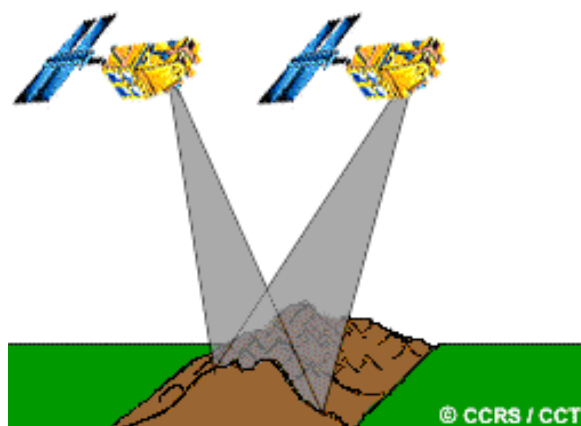
Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/sfnxsz>

Ο Tucker (1979), ανακάλυψε τη σχέση ανάμεσα στη ραδιομετρική ικανότητα και την ικανότητα να διακρίνει διαφορετικά είδη βλάστησης και διαπίστωσε ότι με τη χρήση 256 διαβαθμίσεων του γκρι (8 bits) συγκριτικά με τη χρήση 64 (6 bits) επήλθε βελτίωση 2-3 %.

2.7.4. Χρονική διακριτική ικανότητα (temporal resolution)

Η χρονική διακριτική ικανότητα, σχετίζεται με τη συχνότητα λήψης εικόνων της ίδιας περιοχής και το χρονικό διάστημα που χρειάζεται ένας δορυφόρος ώστε να πραγματοποιήσει μια περιστροφή γύρω από τη γη. Συνήθως, η περίοδος επανάφιξης ενός δορυφορικού αισθητήρα, (η οποία σχετίζεται με το μήκος του χρόνου που ένας δορυφόρος χρειάζεται για να καταφέρει να καλύψει την ίδια περιοχή με την ίδια οπτική γωνία παρατήρησης δηλαδή να ολοκληρώσει έναν ολόκληρο κύκλο τροχιάς),είναι μερικές ημέρες (Παρχαρίδης, 2015).

Ωστόσο, υπάρχουν δορυφόροι, οι οποίοι μπορούν να έχουν ως στόχο την ίδια περιοχή, αλλά να βρίσκονται στην επόμενη ή μεθεπόμενη τροχιά, λόγω της ικανότητας του αισθητήρα να στρέφεται υπό γωνία, καθώς και δορυφόροι οι οποίοι καλύπτουν την ίδια περιοχή σε δύο διαδοχικές τροχιές με επικάλυψη από 10 % έως 30%. Συνεπώς, η πραγματική χρονική ανάλυση ενός αισθητήρα, εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως οι δυνατότητες των δορυφόρων/αισθητήρων, η επικάλυψη ιχνών και το γεωγραφικό πλάτος (Natural Resources Canada 2015).



Εικόνα 2.9. Αναπαράσταση δορυφόρων με στόχο την ίδια περιοχή από διαφορετική οπτική γωνία.

Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/lfnxsz>

2.8. ΤΟ ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ COPERNICUS

Το Copernicus, είναι ένα πρόγραμμα της ΕΕ που αποβλέπει στην ανάπτυξη ευρωπαϊκών υπηρεσιών πληροφοριών που στηρίζονται σε δορυφορικές παρατηρήσεις της γης και σε in situ (επιτόπια) δεδομένα (<https://www.copernicus.eu/>).

Το ευρωπαϊκό επιστημονικό πρόγραμμα Copernicus, δημιουργήθηκε με πρωτοβουλία της Επιτροπής Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων (European Commission) με την υποστήριξη του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA). Αποτελεί τη συνέχεια του προγράμματος «Global Monitoring for Environment and Security» (GMES), δηλαδή του Ευρωπαϊκού Προγράμματος για την «Παγκόσμια Παρακολούθηση του Περιβάλλοντος και της Ασφάλειας» (Περάκης κ.α.2015).

Στόχος του Copernicus είναι η παρακολούθηση και η μελέτη του περιβάλλοντος στην ξηρά, στη θάλασσα και στην ατμόσφαιρα, ώστε να υποστηριχθούν οι στρατηγικές μετριασμού και προσαρμογής της κλιματικής αλλαγής, η αποτελεσματική διαχείριση καταστάσεων έκτακτης ανάγκης καθώς και η βελτίωση της ασφάλειας του κάθε πολίτη. Οι πληροφορίες που παρέχονται μέσω αυτού του ευρωπαϊκού προγράμματος, βελτιώνουν την ασφάλεια των ανθρώπων, λόγω χάρη με την παροχή πληροφοριών για φυσικές καταστροφές, όπως δασικές πυρκαγιές η πλημμύρες, κι έτσι συμβάλλουν στην πρόληψη της απώλειας ζωών, περιουσιών και ζημιών στο περιβάλλον. Οι υπηρεσίες πληροφοριών που παρέχονται από το Copernicus, είναι ελεύθερες και προσβάσιμες για τους χρήστες του, αλλά και στις δημόσιες αρχές (<https://emergency.copernicus.eu/>).

Σύμφωνα με τον Περάκη κ.α. (2015), το Copernicus, αφορά ένα σύνολο από συστήματα, το οποίο απαρτίζεται από διαφόρων τύπων όργανα συλλογής δεδομένων και συστήματα από διαφορετικές πηγές. Αυτά μπορεί να είναι δορυφόροι παρατήρησης της επιφάνειας της γης, αερομεταφερόμενες πλατφόρμες εξοπλισμένες με εξειδικευμένους αισθητήρες και καταγραφείς της γήινης επιφάνειας και σταθεροί αισθητήρες που συλλέγουν και καταγράφουν διάφορες παραμέτρους και μεταβλητές που σχετίζονται με το γήινο περιβάλλον.

Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος (ESA), ανέπτυξε και εκτόξευσε στις 3 Απριλίου 2014 τον δορυφόρο Sentinel-1 μαζί με άλλους 5 εκ των οποίων ο Sentinel 4, 5 και 6 θα τεθούν σε τροχιά τα επόμενα έτη στο πλαίσιο του Copernicus. Αυτοί οι δορυφόροι θα μας δώσουν τη δυνατότητα να μπορούμε να ελέγχουμε την έκταση και το πάχος του πάγου στην αρκτική, να χαρτογραφήσουμε τα δάση, τα νερά και να αξιοποιήσουμε όλα αυτά τα δεδομένα στην δασοκομία, τη γεωργία κ.α. (ESA).

Ο Παρχαρίδης (2015), αναφέρει ότι ο Sentinel-1 A θα μας παρέχει ένα σύνολο παρατηρήσεων με τις εικόνες ραντάρ παντός καιρού μέρα και νύχτα. Ο Sentinel-2 θα παρέχει υψηλής ανάλυσης οπτικές εικόνες και ο Sentinel-3 θα προσφέρει στοιχεία για τις υπηρεσίες που σχετίζονται με τη θάλασσα και τη γη. Ο Sentinel-4 και ο Sentinel-5 θα παρέχουν στοιχεία για την παρακολούθηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας από γεωστατική και πολική τροχιά, αντίστοιχα. Ο Sentinel-6 θα φέρει όργανα για τη μέτρηση του ύψους της επιφάνειας της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα, κυρίως για ζητήματα επιχειρησιακής ωκεανογραφίας και για τη μελέτη της κλιματικής αλλαγής.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες από τον δορυφόρο Sentinel-2.

Το πρόγραμμα Copernicus, παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο πλεονέκτημα. Λόγω των πολλαπλών αποστολών και της ποικιλίας δεδομένων, τα οποία μπορούν να προσφέρουν οι δορυφόροι και οι αισθητήρες στα πλαίσια του ευρωπαϊκού αυτού προγράμματος, αρκετές υπηρεσίες που εγκλιματίζονται στις εκάστοτε ιδιωτικές ή δημόσιες ανάγκες, παράγουν καινούργιες θέσεις εργασίας σε εθνικά και πολυεθνικά επίπεδα. Αρκετές μελέτες με οικονομικό χαρακτήρα, έχουν επικεντρωθεί και αποδεικνύει τις εύχρηστες ιδιότητες των δορυφορικών δεδομένων του προγράμματος Copernicus (Περάκης κ.α. 2015).

2.9. ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ SENTINEL-2

Ο δορυφόρος Sentinel-2A, τέθηκε σε τροχιά στις 23 Ιουνίου 2015 μέσω ενός πυραύλου Vega από τον Ευρωπαϊκό οργανισμό διαστήματος (ESA), κοντά στο Κούρου στην Γαλλική Γουινέα. Ο Sentinel -2B, ακολούθησε από την ίδια τοποθεσία, στις 7 Μαρτίου 2017. Φέρει ένα καινοτόμο πολυφασματικό σύστημα ευρείας ανάλυσης ευρείας κλίμακας με 13 φασματικές ζώνες για μια νέα προοπτική της γης και της βλάστησης. Ο συνδυασμός της υψηλής ανάλυσης, των καινοτόμων φασματικών δυνατοτήτων, του πλάτους καταγραφής 290 km και των συχνών επαναλήψεων πάνω από την ίδια περιοχή, παρέχει πρωτοφανή απεικόνιση της γης. Κάθε ένας από τους δορυφόρους Sentinel-2, ζυγίζει περίπου 1,2 τόνους. Η διάρκεια ζωής του δορυφόρου είναι 7,25 χρόνια και βρίσκονται σε ύψος 786 km από την επιφάνεια της γης. Η αποστολή βασίζεται σε μία συστοιχία δύο πανομοιότυπων δορυφόρων στην ίδια τροχιά, σε απόσταση 180° για την βέλτιστη κάλυψη και παράδοση δεδομένων. Μαζί καλύπτουν όλη τη γήινη επιφάνεια, μεγάλα νησιά, εσωτερικά και παράκτια νερά, κάθε πέντε μέρες στον Ισημερινό. Οι δορυφόροι Sentinel-2, είναι αποτέλεσμα της στενής συνεργασίας της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Διαστήματος (ESA), μιας συνεργασίας 60 εταιρειών με επικεφαλής την Airbus Defense and Space και υποστηρίζονται από το γαλλικό διαστημικό οργανισμό CNES(Centre National d'Etudes Spatiales) για τη βελτιστοποίηση των καλύψεων της γήινης επιφάνειας και από το Γερμανικό κέντρο Διαστημικής DLR, για τη βελτίωση

της ανάκτησης δεδομένων με τη χρήση οπτικών επικοινωνιών. Η αποστολή του Sentinel-2, παρέχει κυρίως πληροφορίες για γεωργικές και δασολογικές πρακτικές και για τη διαχείριση της επισιτιστικής ασφάλειας. Δορυφορικές εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό διάφορων δεικτών των φυτών, όπως δείκτες χλωροφύλλης και υγρασίας φύλλων. Το γεγονός αυτό, είναι σημαντικό για την αποτελεσματική πρόβλεψη της απόδοσης και των εφαρμογών που έχουν σχέση με τη βλάστηση της γης. Πέρα από αυτή τη δυνατότητα παρακολούθησης της ανάπτυξης των φυτών, ο Sentinel-2, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση αλλαγών στην κάλυψη γης και για την παρακολούθηση των παγκόσμιων δασών. Επιπλέον, παρέχει πληροφορίες σχετικά με τη ρύπανση σε λίμνες και παράκτια νερά. Εικόνες με πλημμύρες, ηφαιστειακών εκρήξεων και κατολισθήσεων συμβάλλουν στη χαρτογράφηση καταστροφών (ESA).



Εικόνα 2.10. Απεικόνιση δορυφόρου Sentinel-2.

Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/gfnxsz>

2.10. ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ: ΣΥΝΕΙΣΦΟΡΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

Μόλις το 37% του πλανήτη, χρησιμοποιείται αυστηρά για τη γεωργία με το περίπου 11% να χρησιμοποιείται για καλλιέργειες και το υπόλοιπο για βοσκοτόπους. Η διατήρηση και βελτίωση της αποτελεσματικότητας των ανθρώπων στην γεωργία, είναι μια από τις πιο παραμελημένες προκλήσεις που θα αντιμετωπίσει η ανθρωπότητα τις επόμενες δεκαετίες. Καθώς ο πληθυσμός αυξάνεται, μεγάλο μέρος του κόσμου, θα εξαρτάται όλο και πιο πολύ από την αποτελεσματική γεωργία με

σκοπό την παραγωγή περισσότερων πόρων από τους οποίους βασίζεται ο κόσμος. Συνεπώς, στόχος είναι η γεωργία να γίνει όσο το δυνατόν πιο βιώσιμη, με στόχο την ελαχιστοποίηση των εισροών, τη μεγιστοποίηση των εκροών και την εξάλειψη όσο το δυνατόν περισσότερων αποβλήτων (<http://tiny.cc/tprxsz>).

Τα δορυφορικά δεδομένα, αποτελούν έναν τρόπο στην επίτευξη του παραπάνω στόχου, καθώς η αξιοποίησή τους θα συμβάλει στη μεγιστοποίηση της αποδοτικότητας των εκμεταλλεύσεων και στην έγκαιρη προειδοποίηση για αποτυχία της καλλιέργειας. Δεδομένου ότι ένα αγρόκτημα μπορεί να καταλαμβάνει πολλά στρέμματα, είναι δύσκολο για έναν αγρότη να έχει ακριβή γνώση της υγείας όλων των καλλιεργειών του. Συνεπώς, εφαρμογή περιττού λιπάσματος, θα ήταν επιζήμια για τις καλλιέργειες αλλά και δύσκολα εντοπίσιμη από τον γεωργό. Ωστόσο, με τη χρήση δορυφόρων αυτό μπορεί να αποφευχθεί (<http://tiny.cc/wprxsz>).

Αγρότες αλλά και γεωπόνοι, μπορούν να βελτιστοποιήσουν την παραγωγή εφαρμόζοντας ακριβείς πρακτικές καλλιέργειας. Επιπλέον, μπορούν να ενισχύσουν την οικονομικότητα της εκμετάλλευσής τους και να γνωρίζουν την ακριβή ποσότητα λιπάσματος που απαιτεί η κάθε καλλιέργεια. Έτσι, οι περιττοί πόροι που χρησιμοποιούνται στις καλλιέργειες και μειώνουν την αποδοτικότητά τους, είναι δυνατό να βρεθούν. Με τις δορυφορικές εικόνες, είναι δυνατό να εντοπιστούν περιοχές με προβλήματα που σχετίζονται με την υγεία των φυτών. Μια μέθοδος τηλεπισκόπησης που εντοπίζει προβληματικές περιοχές είναι ο δείκτης NDVI, ο οποίος συμβάλλει στην ανίχνευση σθένους στο φυτό σχετικά με την υγεία και τη δύναμή του. Οι δορυφόροι βοηθούν στον έλεγχο της περιεκτικότητας σε νερό που πρέπει να λαμβάνει η κάθε καλλιέργεια προκειμένου να αναπτυχθεί. Οι αγρότες μπορούν να παρακολουθούν τις αποδόσεις των καλλιεργειών τους χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες καθώς και να γνωρίζουν πρόσθετες πληροφορίες όπως οι αναμενόμενες καιρικές συνθήκες. Με τη χρήση δορυφόρων υπάρχει και η δυνατότητα εντοπισμού πεδίων με απόδοση κάτω του μέσου όρου ώστε να εφαρμοστούν άμεσες δράσεις για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος (<http://tiny.cc/emuxsz>).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

3.1.ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η Χαλάστρα είναι κωμόπολη νοτιοδυτικά της Θεσσαλονίκης και βρίσκεται 20 χιλιόμετρα από αυτήν. Συνορεύει με τον Αξιό ποταμό, ο οποίος εκβάλλει στο δέλτα του που είναι προστατευμένο από τη συνθήκη Ramstar. Το συγκεκριμένο δέλτα, παρουσιάζει ποικιλομορφία τόσο σε πανίδα όσο και χλωρίδα καθώς και σε σπάνια αποδημητικά πουλιά. Ο κάμπος της ευρύτερης περιοχής συμπεριλαμβάνεται από τους μεγαλύτερους σε παραγωγή ρυζιού στην Ευρώπη. Επιπλέον, η αλιεία είναι βασικό στοιχείο για την περιοχή, με πλούσια παραγωγή εξαγωγής μυδιού σε Ιταλία, Ισπανία και Γαλλία. Με βάση την τελευταία απογραφή του 2011 ο αριθμός των μόνιμων κατοίκων καταμετρήθηκε στους 7.270 (Δήμος Δέλτα).



Εικόνα 3.1. Χάρτης περιοχής μελέτης.

Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/8qrxsz>

Σύμφωνα με την Γραβρά (2017), κατά τους πρώτους αιώνες της Τουρκοκρατίας, ο ποταμός Αξιός, με τις συνεχείς πλημμύρες είχε δημιουργήσει προβλήματα στους κατοίκους της Χαλάστρας με αποτέλεσμα να αναγκάζονται να αλλάζουν συχνά τόπο διαμονής. Στα χρόνια της Τουρκοκρατίας, η Χαλάστρα μετονομάστηκε σε Κουλακιά,

από το τουρκικό (κουλέ) που σημαίνει πύργος. Οι κάτοικοι της Κουλακιάς, ασχολούνταν κυρίως με την αλιεία στις εκβολές των ποταμών Αξιού, Λουδία και Αλιάκμονα και στο Θερμαϊκό Κόλπο καθώς και με την αλιεία χταποδιών και οστράκων, ακόμα και από τις αρχές του 19^{ου} αιώνα. Προωθούσαν τα προϊόντα της αλιείας στη μεγάλη αγορά της Θεσσαλονίκης, όπου πωλούσαν και χαβιάρι, που παρήγαγαν από κάποια είδη ψαριών. Με βάση την ίδια ερευνήτρια, υπάρχουν αναφορές, ότι σε παλαιότερες εποχές οι Κουλακιώτες ασχολούταν με τις αλυκές. Αρκετοί επίσης ασχολούνταν ακόμη και με το κυνήγι της πλούσιας πανίδας που βρισκόταν στις δασοσκεπείς όχθες των ποταμών Αξιού και Αλιάκμονα και περιστασιακά με το εμπόριο των αυτοφυών καλαμιών. Σημαντικό μέρος των θηραμάτων, διοχετεύονταν για εξαγωγή στις αγορές της Αυστρίας και της Γερμανίας. Η γεωργία και η κτηνοτροφία, ήταν συμπληρωματικές παραγωγικές δραστηριότητες. Σε αντιδιαστολή, οι πλημμύρες του ποταμού Αξιού που κατέκλυζαν την περιοχή, κατέστρεφαν συχνά τις παραγωγές σιταριού και έπνιγαν τα ζώα, καθιστώντας αδύνατη την ενασχόληση των Κουλακιωτών με τη γεωργία και την κτηνοτροφία. Αργότερα, προσαρμοζόμενοι στις αντίξοες συνθήκες, οι Κουλακιώτες προσανατολίστηκαν σε καλλιέργειες ρυζιού και καλαμποκιού που ευδοκίμουςαν, αλλά και στην καλλιέργεια του σουσαμιού.

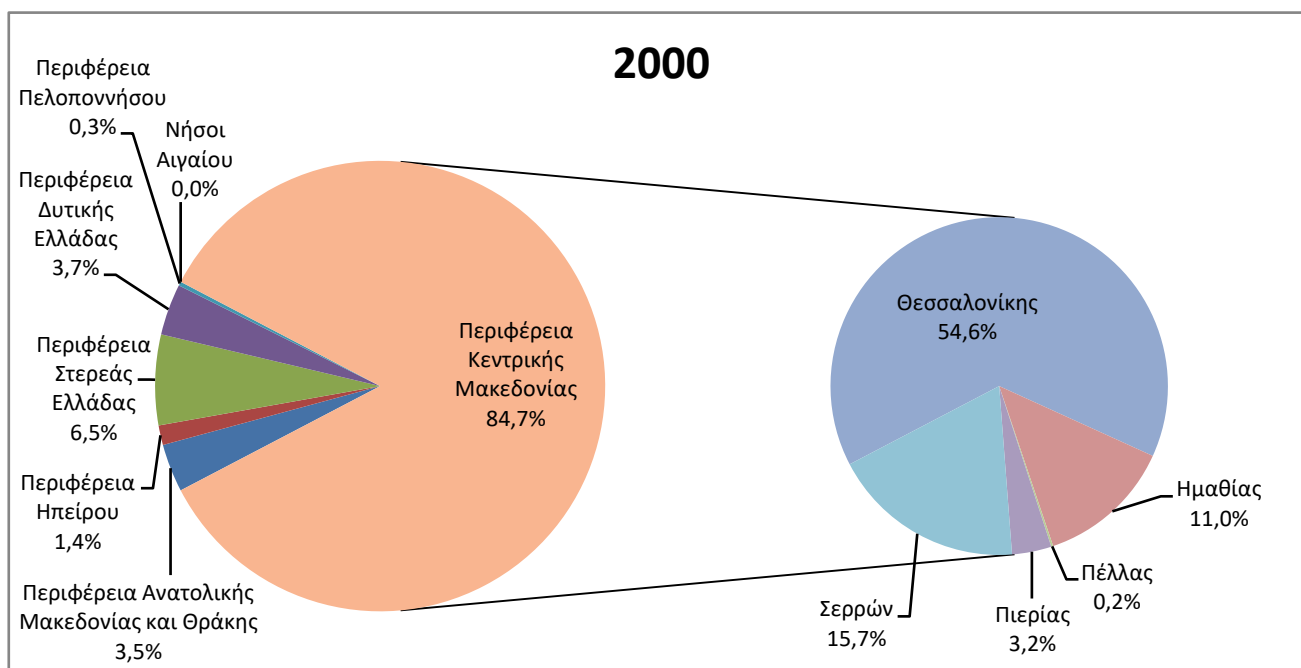
Αιτία για τις συχνές πλημμύρες του ποταμού Αξιού ήταν η ύπαρξη των αβαθών κοιτών και ορμητικών νερών καθώς και το γεγονός ότι μερικές φορές άλλαζε πορεία. Οι κάτοικοι προσπαθούσαν να αντιμετωπίσουν τις αντίξοες εδαφολογικές συνθήκες, χωρίς όμως ουσιαστικά αποτελέσματα. Σύμφωνα με τα πρακτικά του κοινοτικού συμβουλίου της Χαλάστρας πολλών ετών (π.χ. 1917-1923, 1931) το συμβούλιο εξακρίβωνε τον άμεσο κίνδυνο πλημμύρας του οικισμού και των καλλιεργούμενων αγρών καθώς και την επιτακτική ανάγκη για εκτέλεση έκτακτων αντιπλημμυρικών έργων. Τα μεγάλα αποστραγγιστικά και αντιπλημμυρικά έργα, έγιναν την περίοδο του μεσοπολέμου και άλλαξαν τη γεωγραφική φυσιογνωμία και εδαφολογία της περιοχής, μετατρέποντάς την σε γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας. Η πραγματοποίηση των έργων το 1936 πρόσθεσε άλλα 432.000 στρέμματα καλλιεργήσιμης γης, ενώ βελτιώθηκαν και οι συνθήκες καλλιέργειάς τους. Τη δεκαετία του 1950, πραγματοποιήθηκε μια σειρά από συμπληρωματικά έργα. Αφορά μεγάλης σημασίας εγγειοβελτιωτικά έργα τα οποία καθόρισαν και την οικονομική φυσιογνωμία της περιοχής ως αναπτυγμένης αγροτικά. Το 1958 κατασκευάστηκε το

φράγμα εκτροπής του Αξιού, το οποίο βρίσκεται περίπου 28 χιλιόμετρα από την εκβολή του Αξιού και τα αρδευτικά δίκτυα. Σήμερα, υδροδοτείται από το φράγμα έκταση 277.711 στρεμμάτων, ενώ η καθαρά αρδευόμενη έκταση στη Χαλάστρα ανέρχεται σε 64.428 στρέμματα (Γραβρά 2017).

3.2. ΣΗΜΑΣΙΑ ΟΡΥΖΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή της Χαλάστρας επιλέχθηκε για την παρούσα μελέτη καθώς οι ορυζώνες αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό εκμεταλλεύσεων της περιοχής, με περίπου 100.000 στέμματα να εκτείνονται εντός του Εθνικού Πάρκου Δέλτα Αξιού- Λουδία- Αλιάκμονα καταλαμβάνοντας σχεδόν το ένα τρίτο της έκτασής του. Η καλλιέργεια ρυζιού στην Χαλάστρα, ξεκίνησε πειραματικά το 1949. Σήμερα, περίπου το 70% της εγχώριας παραγωγής ρυζιού καλλιεργείται στην περιοχή, γεγονός που συμβάλλει στην τοπική ανάπτυξη αλλά και στην εθνική οικονομία (Φορέας Διαχείρισης Δέλτα Αξιού-Λουδία-Αλιάκμονα). Δευτερεύοντα σημαντικά προϊόντα, αποτελούν το βαμβάκι και το καλαμπόκι με εξίσου καλές αποδόσεις όπως το ρύζι. Επιπλέον, καλλιεργούνται τεύτλα, μηδική, σιτάρι σκληρό και ντομάτα. Η μηδική αφορά κυρίως την κτηνοτροφία. Γενικά, η παραγωγικότητα της περιοχής, είναι αρκετά υψηλή και ειδικότερα στο ρύζι η παραγωγή έχει μεγιστοποιηθεί. Ο ποταμός Αξιός είναι ο βασικός τροφοδότης των καλλιεργούμενων εκτάσεων σε νερό. Σχεδόν το σύνολο των καλλιεργειών αρδεύονται με την μέθοδο της επιφανειακής άρδευσης κατά την οποία το αρδευτικό νερό αφού φθάσει την πιο ψηλή πλευρά του αγρού, διανέμεται σ' αυτόν με ελεύθερη επιφανειακή ροή υπό τη μορφή επιφανειακής στρώσης. Η διανομή του νερού γίνεται ανάλογα με τη ζήτηση των παραγωγών και υπεύθυνος είναι ο Οργανισμός Εγγείων Βελτιώσεων (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Δέλτα 2014-2015).

Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ (Ελληνική στατιστική αρχή), από την ετήσια γεωργική έρευνα για τα έτη 2000, 2010 και 2018 προκύπτουν τα παρακάτω γραφήματα πίτας.



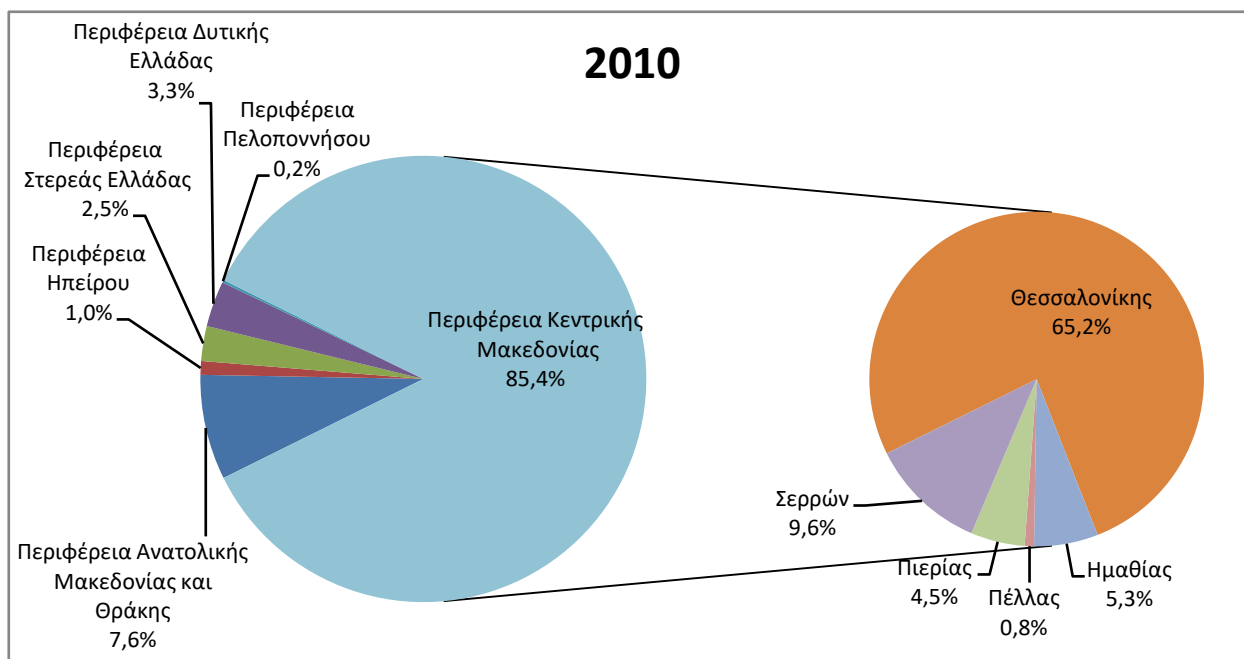
Πίτα 1 Ποσοστά παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια (έτος 2000).

Πηγή: Επεξεργασία στοιχείων που αντλήθηκαν από τη βάση δεδομένων ΕΛΣΤΑΤ, Ετήσια Γεωργική Έρευνα 2000

Από το παραπάνω γράφημα πίτας στο οποίο αποτυπώνονται τα ποσοστά παραγωγής ρυζιού για το έτος 2000, η περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό (~85%), της συνολικής παραγωγής, με κυρίαρχη την Π.Ε. Θεσσαλονίκης με ποσοστό 54,6% σε επίπεδο χώρας (78% σε επίπεδο περιφέρειας). Ακολουθεί η Π.Ε. Σερρών με ποσοστό 15,7%, η Ημαθία με 11%, η Πιερία με ποσοστό 3,2% και τέλος η Πέλλα (0,2%). Σε επίπεδο περιφερειών, για το έτος 2000 δεύτερη σε παραγωγή ρυζιού είναι η περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας με ποσοστό 6,5%. Επομένως είναι φανερό ότι η Κεντρική Μακεδονία κυριαρχεί στην παραγωγή ρυζιού το 2000 (ΕΛΣΤΑΤ, 2000 Ετήσια Γεωργική Έρευνα).

Στη συνέχεια, στην παρακάτω πίτα, η οποία αφορά την παραγωγή ρυζιού ανά περιφέρεια για το έτος 2010, παρατηρούμε ότι ξανά η Κεντρική Μακεδονία, μετά από μια δεκαετία, κατέχει το υψηλότερο ποσοστό παραγωγής ρυζιού στη χώρα (85,4%), από το οποίο το 76% ανήκει στην Π.Ε. Θεσσαλονίκης (65,2% σε επίπεδο χώρας), ενώ δεύτερη είναι η Π.Ε. Σερρών με ποσοστό 9,6%, τρίτη η Ημαθία (5,3%) και ακολουθούν η Πιερία και η Πέλλα με ποσοστά 4,5% και 0,8% αντίστοιχα. Σε ότι

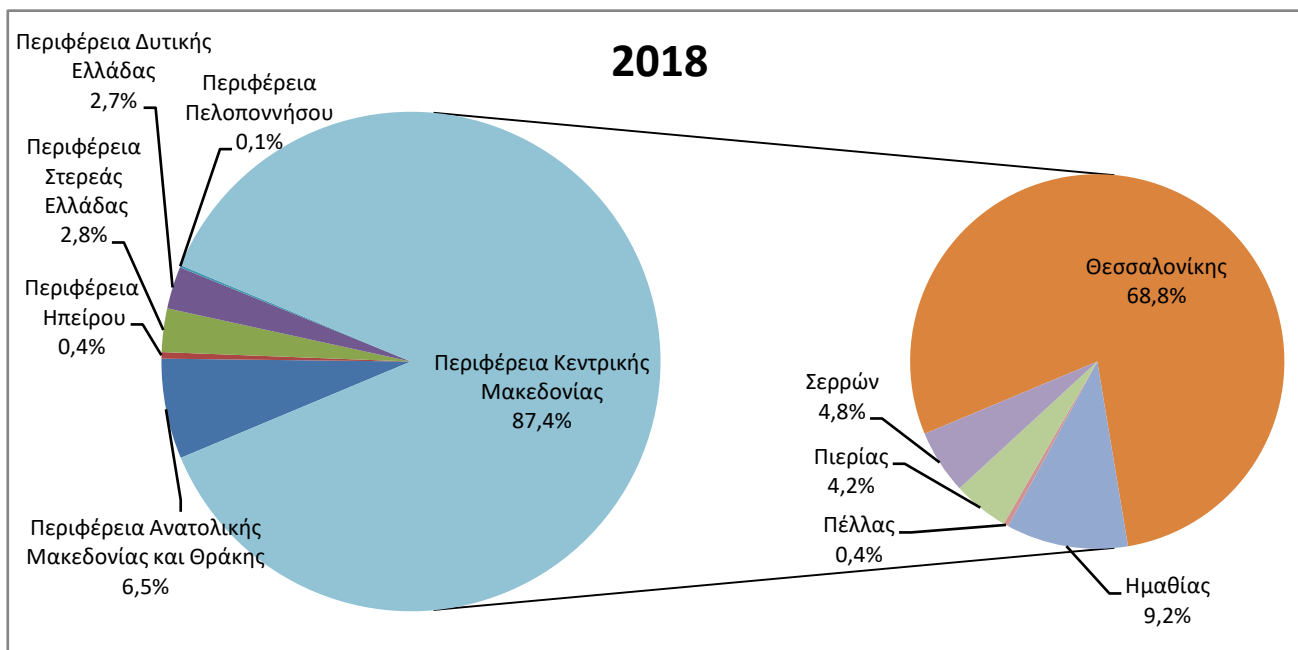
αφορά την παραγωγή ρυζιού σε επίπεδο περιφερειών, η διαφορά η οποία παρατηρείται είναι πως δεύτερη σε παραγωγή προκύπτει η περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης με ποσοστό 7,6% και όχι η Στερεά Ελλάδα (2,5%) (ΕΛΣΤΑΤ, 2010 Ετήσια Γεωργική Έρευνα).



Πίνακας 2 Ποσοστά παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια (έτος 2010).

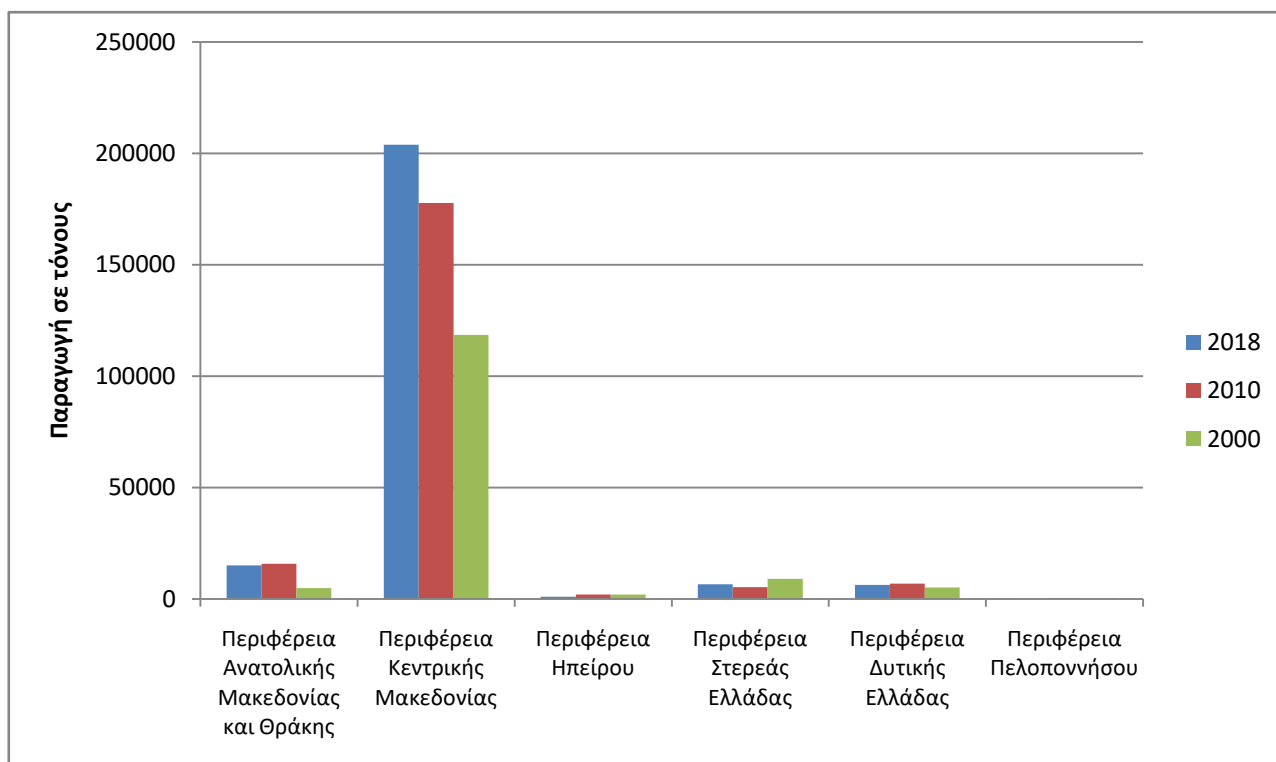
Πηγή: Επεξεργασία στοιχείων που αντλήθηκαν από ΕΛΣΤΑΤ, Ετήσια Γεωργική Έρευνα 2010

Στην παρακάτω Πίνα 3 για το έτος 2018, η Κεντρική Μακεδονία συνεχίζει να καταλαμβάνει το μεγαλύτερο ποσοστό (87,4%) στην παραγωγή ρυζιού το οποίο όπως φαίνεται όλο και αυξάνεται ανά δεκαετία, αφού το 2000 ήταν 84,7% και το 2018 αυξήθηκε κατά ~3%. Επιπλέον, η Π.Ε Θεσσαλονίκης εξακολουθεί να κυριαρχεί με ποσοστό 79% στην Κεντρική Μακεδονία (68,8% σε επίπεδο χώρας), με την Ημαθία να είναι δεύτερη (9,2%). Η περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης είναι επίσης η αμέσως επόμενη περιφέρεια σε ποσοστό παραγωγής ρυζιού (6,5%).



Πίνα 3 Ποσοστά παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια (έτος 2018).

Πηγή: Επεξεργασία στοιχείων που αντλήθηκαν από ΕΛΣΤΑΤ, Ετήσια Γεωργική Έρευνα 2018



Γράφημα 3.1. Εξέλιξη παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια (2000-2018).

Πηγή: Επεξεργασία στοιχείων που αντλήθηκαν από ΕΛΣΤΑΤ, Ετήσια Γεωργική Έρευνα 2000,2010,2018

Συμπληρωματικά με τα παραπάνω γραφήματα πίτας, στο γράφημα 3.1. αποτυπώνεται συνολικά η εξέλιξη της παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια από το 2000 έως το 2018. Όπως φαίνεται και στο γράφημα 3.1., η Κεντρική Μακεδονία και τα 3 έτη, παρουσιάζει υπεροχή όσον αφορά το μέγεθος παραγωγής με αρκετά μεγάλα ποσοστά έναντι των υπόλοιπων περιφερειών. Ιδιαίτερα, το 2018, η παραγωγή σε τόνους φαίνεται να έχει αυξηθεί αρκετά καθώς επίσης προκύπτει μια σταδιακή αύξησή της στην περιφέρεια της Κεντρικής Μακεδονίας. Οι υπόλοιπες περιφέρειες συμμετέχουν με αρκετά χαμηλό μέγεθος παραγωγής και για τα 3 έτη, ενώ δεύτερη μόνο για το 2000 είναι η περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας. Τα έτη 2010 και 2018 δεύτερη προκύπτει η περιφέρεια Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης. Επομένως εύλογα από τα παραπάνω γραφήματα, προκύπτει ότι το ρύζι αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό στην παραγωγή σιτηρών για την περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας και συγκεκριμένα για την Περιφερειακή Ενότητα Θεσσαλονίκης.

Έχοντας ως γνώμονα τα στοιχεία αυτά, σαφώς, η περιοχή μελέτης αποτελεί ενδιαφέρον στοιχείο για περαιτέρω έρευνα αφού οι ορυζώνες στην περιοχή αυτή συμβάλλουν ιδιαίτερα τόσο στην τοπική όσο και στην εγχώρια ανάπτυξη.

3.3. Η ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΡΥΖΙΟΥ

3.3.1. Γενικά

Ένα από τα πιο σπουδαία και διαδεδομένα φυτά για την παραγωγή τροφίμων παγκοσμίως αποτελεί το ρύζι. Επί ογδόντα αιώνες, για το μισό πληθυσμό της γης είναι το κύριο στοιχείο της καθημερινής διατροφής. Συγχρόνως, αποτελεί σύμβολο ευτυχίας, ευημερίας και γονιμότητας (Πέρρος 2019). Η παραγωγή του ρυζιού υπερβαίνει τους 500.000.000 τόνους και για 3,5 δισεκατομμύρια ανθρώπους είναι η βασική τροφή για το 2017 (Ricepedia). Σύμφωνα με τον Chatainger (1994), στην Ασία, όπου κατοικεί πάνω από το 50% του πληθυσμού της γης, παράγεται και καταναλώνεται πάνω από το 90% της παγκόσμιας ποσότητας ρυζιού. Με βάση τον Πέρρο (2019), καθημερινά οι ανάγκες για ρύζι γίνονται όλο και πιο έντονες λόγω της αύξησης του πληθυσμού στην Ασία, η οποία είναι πιο μεγάλη ή και υπερτερεί της αύξησης σε παραγωγή ρυζιού. Ο Chatainger (1994) αναφέρει ότι περιοχές με το υπόλοιπο ποσοστό παραγωγής ρυζιού αποτελούν η Ευρώπη, η Αμερική, η Αφρική και η Αυστραλία, οι οποίες έχουν κυρίως μεσογειακό, υποτροπικό και τροπικό κλίμα. Ο Ασχονίτης (2012), τονίζει ότι παρόλο που το ρύζι αποτελεί ένα από τα αρχαιότερα

φυτά που καλλιεργείται, για αρκετά χρόνια οι ερευνητές δεν ασχολήθηκαν με αυτό. Το 1960, ιδρύθηκε το Διεθνές Ινστιτούτο Έρευνας Ρυζιού (International Rice Research Institute ή IRRI), με έδρα τις Φιλιππίνες το οποίο αποτέλεσε εφαλτήριο για την βελτίωση της τεχνικής καλλιέργειας του ρυζιού και δημιούργησε καινούργιες ποικιλίες, με τις οποίες η μέση παγκόσμια απόδοση σχεδόν διπλασιάστηκε. Στην Ελλάδα, ανάλογες προσπάθειες άρχισαν το 1961 που ιδρύθηκε το Ινστιτούτο Σιτηρών. Σύμφωνα με τον Τσοχατζή (2012), στη χώρα μας αυτοί που ασχολήθηκαν με το ρύζι ως προϊόν διατροφής αλλά και ως μέσο θεραπείας ασθενειών σχετικά με το πεπτικό σύστημα ήταν ο αρχαίος βοτανολόγος Θεόφραστος (370-285 π.Χ.), ο φυσιολόγος Διοσκουρίδης (1^{ος} αιώνας μ.Χ.) και ο γιατρός Γαληνός (130-200 μ.Χ.). Κατά τη Λαζαρίνα (2007), το ρύζι στη χώρα μας είναι μια δυναμική καλλιέργεια και παρόλο που μέχρι το 1960 εισήγαγε ρύζι, από το 1984 θεωρείται αυτάρκης. Η Αλαμάνου (2008), αναφέρει ότι η καλλιέργεια ρυζιού στην Ελλάδα συναντάται κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα και πιο συγκεκριμένα στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, στις Σέρρες και την Ημαθία. Τα τελευταία χρόνια η ορυζοκαλλιέργεια συναντάται και στους Νομούς Αιτωλοακαρνανίας, Φθιώτιδας, Πιερίας, Ξάνθης και Πέλλας. Στην πεδιάδα της Θεσσαλονίκης οι καλλιέργειες ρυζιού, οι οποίες εξετάζονται στην παρούσα μελέτη, καταλαμβάνουν εκτάσεις που κυμαίνονται μεταξύ 120-195 km² (MED-Rice,2003). Σύμφωνα με το IRRI (2007), η Ελλάδα, η Γαλλία, η Ιταλία, η Ισπανία και η Πορτογαλία, αποτελούν σπουδαίες χώρες όσον αφορά την καλλιέργεια του ρυζιού.

3.3.2. Ταξινόμηση και μορφολογικά χαρακτηριστικά

Ταξινόμηση

Το ρύζι είναι ετήσιο ποώδες μονοκοτυλήδονο φυτό της οικογένειας ποωδών (Poaceae) ή Αγρωστωδών (Gramineae) και ανήκει στο γένος *Oryza*, το οποίο περιλαμβάνει 20 είδη. Τα είδη που καλλιεργούνται κυρίως είναι το *Oryza sativa* L. και το *Oryza glaberrima* Steud (African rice), το οποίο καλλιεργείται σε μικρές εκτάσεις στην Δ. Αφρική. Όσον αφορά το *Oryza sativa*, διακρίνονται τρεις βιότυποι, οι *indica*, *japonica* και *javanica*. Λόγω της μεγάλης παραλλακτικότητας που εμφανίζουν μεταξύ τους οι βιότυποι, δικαιολογείται η εκτεταμένη διάδοση του ρυζιού καθώς και η προσαρμοστικότητά του. Οι βιότυποι *japonica* και *indica* είναι οι πιο δημοφιλείς τύποι (Παπαστυλιανού κ.α., 2015). Στην Ευρώπη και στην Ελλάδα, οι ποικιλίες ρυζιού που καλλιεργούνται είναι αυτές τύπου *japonica* και *indica*. Οι παραγωγοί προτιμούν τις

ελληνικές ποικιλίες ρυζιού για ποικίλους λόγους. Η σταθερή και υψηλή απόδοση που εμφανίζουν, η καλύτερη ποιότητα του προϊόντος και η μεγάλη ανθεκτικότητα έναντι σε εχθρούς και ασθένειες σε συνδυασμό με την τιμή του σπόρου να είναι πολύ χαμηλότερη από αυτή των εισαγόμενων συμβάλει στην προτίμηση των ελληνικών ποικιλιών από τους παραγωγούς (Καλλιτσάρη 2014).

Μορφολογικά χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με τον Ασχονίτη (2012), το ρύζι εμφανίζει αρκετές ομοιότητες με τα χιμερινά σιτηρά (εικόνα 3.2.). Κατά τους Παπαστυλιανού κ.α. (2015), το ριζικό σύστημα του ρυζιού είναι θυσανώδες. Ο Ασχονίτης (2012), αναφέρει ότι αυτό απαρτίζεται από μια εμβρυική ρίζα και από πολυάριθμες μόνιμες ρίζες. Παράγοντες όπως το σύστημα καλλιέργειας, η ποικιλία, η πυκνότητα σποράς, η δομή και η γονιμότητα του εδάφους σχετίζονται με τη μορφή, τον όγκο, την πυκνότητα και το βάθος επέκτασης των πολυάριθμων μόνιμων ριζών. Οι παράγοντες αυτοί επιπλέον, μπορούν να επηρεάσουν και την τάση δημιουργίας αδελφωμάτων. Ανά φυτό δημιουργούνται συνήθως 4 με 5 αδελφώματα. Στη χώρα μας, το ρύζι καλλιεργείται με κατάκλυση και ο μεγαλύτερος όγκος της ρίζας είναι συγκεντρωμένος στα πρώτα 20-25 cm εδάφους. Επιπλέον, οι Παπαστυλιανού κ.α. (2015), αναφέρουν ότι το ρύζι σχηματίζει και εναέριες ρίζες πάνω από την επιφάνεια του εδάφους. Αυτές βρίσκονται κυρίως στα νεαρά φυτάρια των οποίων οι ρίζες κόπηκαν πολύ κατά τη μεταφύτευση. Η μέγιστη ανάπτυξη του ριζικού συστήματος του ρυζιού παρατηρείται κατά την εποχή της άνθησης των φυτών ενώ σε επόμενα στάδια η θνησιμότητα των ριζών είναι πιο μεγάλη σε σχέση με την ανάπτυξη νέων ριζών.

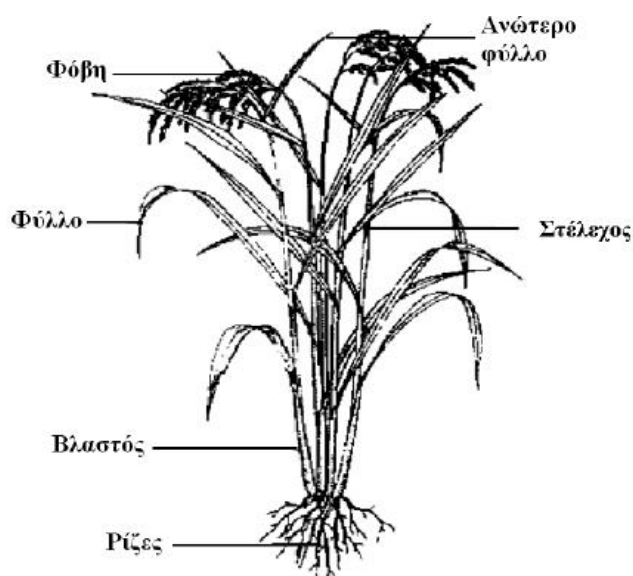
Το στέλεχος (καλάμι) εσωτερικά είναι κενό και απαρτίζεται από κόμβους και μεσογονάτια διαστήματα. Επιπλέον, οι κόμβοι και τα μεσογονάτια διαστήματα που φέρει κάθε στέλεχος είναι 10-23. Ωστόσο, κατά τον Ασχονίτη (2012), στις πρώιμες ποικιλίες τα μεσογονάτια διαστήματα είναι λιγότερα από αυτά στις όψιμες. Στην Ελλάδα, το ύψος των φυτών κυμαίνεται στα 60-90 cm ενώ σε άλλες ποικιλίες σε άλλες χώρες είναι εφικτό να φτάσει και τα 180 cm.

Όπως αναφέρουν ο Ασχονίτης (2012), η Καλλιτσάρη (2014), και οι Παπαστυλιανού κ.α. (2015), από κάθε κόμβο του στελέχους εκφύεται ένα φύλλο. Το φύλλο αυτό αποτελείται από τον κολεό και το έλασμα. Ο κολεός είναι επιμήκης και δεν περιβάλλει πλήρως σε όλο το μήκος του το αντίστοιχο τμήμα του στελέχους. Το

έλασμα είναι επίμηκες, στενό , τραχύ στην υφή, δύσκαμπτο και ανορθωμένο. Στη βάση του έχει ωτίδια, τα οποία διαθέτουν τριχίδια. Στο σημείο που ενώνονται ο κολεός με το έλασμα σχηματίζεται η «γλωσσίδα», η οποία είναι αιχμηρή και συνήθως δίλοβη.

Η ταξιανθία του ρυζιού είναι επάκρια φόβη με μήκος 10-25 cm. Αρκετές φορές παρουσιάζεται καμπή της κατά το γέμισμα των καρπών. Προέκταση του στελέχους αποτελεί ο κεντρικός άξονας της φόβης. Κάθε φόβη φέρει συνήθως 75-150 σταχύδια (Παπαστυλιανού κ.α.2015). Κατά τον Ασχονίτη (2012), κάθε σταχύδιο αποτελείται από ένα ανθίδιο και τα ανθίδια περιλαμβάνουν έξι στήμονες, στύλο με δισχιδές στίγμα και περιβάλλονται από τη λεπίδα και το χιτώνα. Είναι αυτογονιμοποιούμενο φυτό με μικρό ποσοστό φυσικής σταυρογονιμοποίησης.

Ο κόκκος του ρυζιού είναι καρύωση και απαρτίζεται από το ενδοσπέρμιο, το περικάρπιο και το έμβρυο. Περιβάλλεται από λέπυρα που μετά τον αλωνισμό παραμένουν ενωμένα με το σπόρο. Συνήθως το ενδοσπέρμιο έχει χρώμα λευκό ή ελαφρώς κιτρινοκάστανο. Ποικιλίες με κόκκινους κόκκους θεωρούνται κατώτερης ποιότητας (Καλλιτσάρη 2014).



Εικόνα 3.2. Φυτό ρυζιού σε πλήρη ωρίμανση πριν τη συγκομιδή.

Πηγή: Ασχονίτης, 2012:6

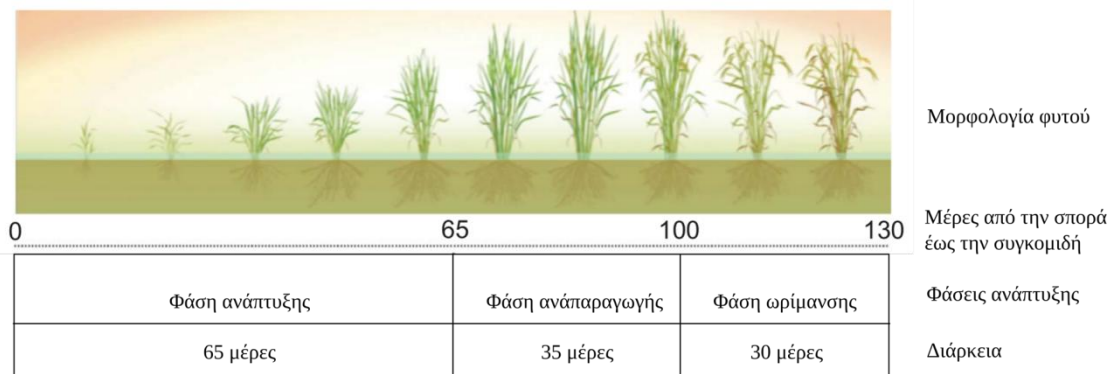
3.3.3. Στάδια ανάπτυξης

Σύμφωνα με τον Ασχονίτη (2012), οι φάσεις ανάπτυξης του ρυζιού είναι τρεις: η φάση ανάπτυξης (vegetative phase), η φάση αναπαραγωγής (reproductive phase) και η φάση ωρίμανσης (maturity phase).

Η φάση ανάπτυξης (vegetative phase), περιέχει τα τέσσερα πρώτα στάδια ώσπου να ξεκινήσει να αναπτύσσεται η φόβη, δηλαδή: σπορά-φύτρωμα, ανάπτυξη ριζικού συστήματος, ανάπτυξη υπέργειου τμήματος, αδελφωμα, καλάμωμα και διαφοροποίηση μεριστωμάτων από βλαστικά σε αναπαραγωγικά. Επιπλέον, η διάρκεια της φάσης ανάπτυξης εξαρτάται από την ποικιλία (30-80 ημέρες) αλλά επηρεάζεται και από τις συνθήκες περιβάλλοντος και κατά κύριο λόγο από τη θερμοκρασία και τη φωτοπερίοδο. Κατά τη διάρκεια της φάσης αυτής, τεχνικές καλλιέργειας όπως η καταπολέμηση ζιζανίων, ασθενειών, εντόμων και η λίπανση σταματούν.

Η φάση αναπαραγωγής (reproductive phase), περιλαμβάνει τα στάδια από την εμφάνιση της φόβης μέχρι το τέλος του σταδίου κορύφωσης. Η διάρκεια της φάσης αυτής είναι περίπου 35 ημέρες και δεν επηρεάζεται από την φωτοπερίοδο αλλά από την έλλειψη νερού, τις χαμηλές θερμοκρασίες και τις συνθήκες με υψηλή αλατότητα στο έδαφος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τα αναπαραγωγικά όργανα να στερώνονται και να εμφανίζονται άδειοι κόκκοι.

Στη φάση ωρίμανσης (maturity phase), περιέχονται τα στάδια από την έναρξη της ανθοφορίας ως την ωρίμανση του κόκκου. Η διάρκεια της φάσης αυτής είναι περίπου 30 ημέρες. Τις πρώτες 15 ημέρες (στάδιο ανθοφορίας έως στάδιο ζύμωσης), το φυτό κάτω από αντίξοες κλιματικές συνθήκες είναι ευαίσθητο. Αυτές μπορεί να είναι ισχυροί άνεμοι και υψηλές θερμοκρασίες αλλά ακόμα και η έλλειψη νερού. Τις υπόλοιπες 15 ημέρες, τυχόν αντίξοες συνθήκες δεν επηρεάζουν το φυτό. Επίσης, η διακοπή της άρδευσης και η βαθμιαία ξήρανση του εδάφους δημιουργεί ομοιομορφία στο σπόρο και διευκολύνει τη συγκομιδή.



Εικόνα 3.3. Φάσεις ανάπτυξης ρυζιού.

Μορφοποιήθηκε από: Aguilar, 2019:19

3.3.4 Πρακτική καλλιέργειας στην Ελλάδα

Σύμφωνα με το Ινστιτούτο Σιτηρών, για τη χώρα μας συνίσταται η καλλιεργητική τεχνική που αναπτύσσεται παρακάτω η οποία είναι κατάλληλη για καλλιέργεια ρυζιού σε αλατούχα-παθογενή εδάφη, με την τεχνική της υγρής σποράς (σπορά σε κατάκλυση). Ως μέθοδος άρδευσης, η κατάκλυση, ευνοεί στην έκπλυση των αλάτων προς τα βαθύτερα στρώματα και στην ελάττωση της συγκέντρωσης τους στο εδαφικό διάλυμα (Αλαμάνου 2008, Καλλιτσάρη 2014).

Αμειψισπορά

Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές, η εφαρμογή αμειψισποράς δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί λόγω της μεγάλης αλατότητας που υπάρχει στα εδάφη που καλλιεργείται το ρύζι. Σε περιπτώσεις που είναι δυνατή η εφαρμογή της, δηλαδή σε μη προβληματικά-αλατούχα εδάφη, συνήθως ακολουθείται η πρακτική κατά την οποία καλλιεργείται για 3 χρόνια ρύζι και στη συνέχεια καλλιεργούνται για 1 χρόνο καλαμπόκι, βαμβάκι ή ζαχαρότευτλα. Η διαδικασία αυτή είναι αναγκαία για την καταπολέμηση των ζιζανίων.

Προετοιμασία ορυζώνα

Αφού γίνει η συγκομιδή της καλλιέργειας ρυζιού, το φθινόπωρο ή χειμώνα και αρκετές φορές την άνοιξη (Μάρτιο), πραγματοποιείται το πρώτο όργωμα στο χωράφι, σε βάθος 15 έως 20 cm. Τα φυτικά υπολείμματα δεν πρέπει να καίγονται και είναι απαραίτητο να ενσωματώνονται στο έδαφος. Επιπλέον, τα ζιζάνια καταστρέφονται την άνοιξη με δισκοσβάρνισμα. Σύμφωνα με τον Πέρρο (2019), η ισοπέδωση (με ισοπεδωτές κατευθυνόμενους με ακτίνες laser), αποτελεί την πιο σπουδαία εργασία για την καλλιέργεια του ρυζιού, διότι εάν οι αγροί είναι καλά ισοπεδωμένοι, τότε οι υψηλές αποδόσεις είναι βέβαιες. Η Αλαμάνου (2008), τονίζει ότι για την ομοιόμορφη και σωστή ανάπτυξη των φυτών πέρα από την ισοπέδωση των αγρών, βασική ενέργεια αποτελεί και η κατασκευή λεκανών προκειμένου να συγκρατείται το νερό.

Ο Πέρρος (2019), αναφέρει ότι οι λεκάνες είναι βασικό να είναι τοποθετημένες με τη μεγάλη τους πλευρά κάθετα προς την διεύθυνση που πνέουν συνήθως οι άνεμοι, ώστε να εμποδίζεται ο σχηματισμός μεγάλων κυμάτων. Αυτό συμβαίνει με σκοπό να μην παρασύρονται τα νεαρά φυτά προς τα αναχώματα της λεκάνης με συνέπεια να κατανέμονται ανομοιόμορφα στον αγρό. Σημαντικό επίσης είναι, τα αναχώματα των λεκανών να είναι ισχυρά, διότι σε περίπτωση καταστροφής τους κατά την περίοδο που εξελίσσεται η καλλιέργεια, είναι πιθανό να δημιουργηθεί τεράστιο πρόβλημα συγκράτησης νερού. Οι δαπάνες διεύθυνσης των καταστραμμένων αναχωμάτων μετά τη σπορά, είναι αρκετά υψηλές λόγω του γεγονότος ότι η διαδικασία αυτή γίνεται σε λασπώδες έδαφος. Από τα παρασυρθέντα χώματα των αναχωμάτων που καταστρέφονται καθώς και από τα απαιτούμενα χώματα για την κατασκευή ρηγμάτων, προκαλούνται καταστροφές σε μεγάλο τμήμα του σπαρμένου χωραφιού. Μετά την ισοπέδωση του εδάφους, ακολουθεί η εφαρμογή βασικών λιπασμάτων και η ενσωμάτωσή τους με φρεζάρισμα και η κατάκλυση με νερό μετά την οποία ακολουθεί η σπορά.



Εικόνα 3.4. Ορυζώνες Χαλάστρας.

Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/inmxsz>

Σπορά

Το πρώτο δεκαπενθήμερο του Μαΐου, αποτελεί την πιο κατάλληλη περίοδο για την σπορά του ρυζιού (Αλαμάνου 2008, Καλλιτσάρη 2014). Οι περιβαλλοντικές συνθήκες την περίοδο αυτή ευνοούν την καλλιέργεια του ρυζιού και συγκεκριμένα για ποικιλίες τύπου Japonica από 1 έως 15 Μαΐου ενώ για ποικιλίες τύπου Indica από 5 έως 15 Μαΐου. Επιπλέον, η θερμοκρασία του νερού είναι καθοριστικός παράγοντας στην ανάπτυξη του φυτού, γι 'αυτό η σπορά πραγματοποιείται χωρίς κανέναν κίνδυνο σε θερμοκρασία νερού 12°C. (Πέρρος 2019). Όσον αφορά τον σπόρο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί, είναι σημαντικό να είναι αμιγής της ποικιλίας που επιλέγεται, να είναι ώριμος, υγιής, απολυμασμένος, η βλαστική του ικανότητα να είναι μεγαλύτερη από 90% καθώς επίσης να είναι παραγωγής της προηγούμενης χρονιάς. Επιπλέον, η συνιστώμενη ποσότητα σπόρου είναι ίση με 20 kg/στρέμμα. Ο σπόρος εμβαπτίζεται σε νερό για 24 έως 36 ώρες μέσα σε τσουβάλια πριν την εφαρμογή, με σκοπό να αυξηθεί το βάρος του και να μπορεί να βυθιστεί με μεγαλύτερη ευκολία στο νερό του ορυζώνα, έτσι ώστε να επιτευχθεί ομοιόμορφη κατανομή (Αλαμάνου 2008, Καλλιτσάρη 2014). Σύμφωνα με την Καλλιτσάρη (2014), η κάλυψη σπόρων με λεπτό στρώμα εδάφους εμποδίζει το φύτεμα των σπόρων γι' αυτό θα πρέπει να μένουν ακάλυπτοι προκειμένου να φυτρώσουν. Η διαδικασία της σποράς είναι απαραίτητο να

πραγματοποιείται 1-2 ημέρες μετά την κατάκλυση του ορυζώνα, διότι τυχόν καθυστέρησή της δημιουργεί κρούστα στην επιφάνεια του εδάφους κι έτσι εμποδίζεται η επαφή μεταξύ σπόρου και εδάφους και επομένως ο σχηματισμός ρίζας στο έδαφος. Σύμφωνα με την ίδια ερευνήτρια αλλά και με την Αλαμάνου (2008), η σπορά γίνεται με λιπασματοδιανομείς. Κάτω από ευνοϊκές συνθήκες, οι σπόροι φυτρώνουν 3-4 ημέρες μετά τη σπορά. Η διαδικασία της σποράς ρυζιού μπορεί να επιτευχθεί και με την μεταφύτευση νεαρών φυταρίων, που αναπτύσσονται σε ειδική σπορεία. Ωστόσο, για την εγκατάσταση σπορίων τα εδάφη που προτιμώνται είναι ελαφρά ή με μέτρια μηχανική σύσταση, γιατί είναι πιο εύκολη η εξαγωγή των φυταρίων χωρίς να υπάρχουν απώλειες ριζών. Στην Ελλάδα, ύστερα από πειράματα του Ινστιτούτου Σιτηρών, προέκυψε ότι το μεταφυτευτικό σύστημα είναι αδύνατο να εφαρμοστεί.

Άρδευση

Η μέθοδος που ακολουθείται σε όλες τις χώρες της Ευρώπης είναι η σχεδόν μόνιμη κατάκλυση με νερό των καλλιεργούμενων εδαφών (submergence ή flowthrough). Το χαμηλό κόστος και η ευκολία που παρουσιάζει στην εφαρμογή της η μέθοδος, αλλά και η ευκολία διατήρησης και απομάκρυνσης νερού, αποτελούν σημαντικά πλεονεκτήματά της. Ωστόσο, βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αποτελεί η έλλειψη αυτόνομης άρδευσης για κάθε αγροτεμάχιο κι έτσι είναι πιθανή η ρύπανση των υπόγειων και επιφανειακών υδάτων από αγροχημικά απόβλητα (Αλαμάνου 2008, Καλλιτσάρη 2014). Σύμφωνα με την Καλλιτσάρη (2014), η διοχέτευση του νερού στους ορυζώνες γίνεται από προσαγωγούς διώρυγες. Μέσω ελεγχόμενων θυρίδων ροής ή από σιφόνια πραγματοποιείται η κατάκλυση. Το νερό απομακρύνεται μέσω ελεγχόμενων εξόδων στο κατάντι άκρο του αγροτεμαχίου. Η Αλαμάνου (2008), αναφέρει ότι στο αρχικό και τελικό στάδιο ανάπτυξης των φυτών δεν έχουμε κατάκλυση. Σύμφωνα με τον Πέρρο (2019), το ρύζι έχει τεράστιες απαιτήσεις σε νερό και γι' αυτό ένας ορυζώνας χρειάζεται 700 λίτρα νερού για την παραγωγή 1 κιλού ξηράς ουσίας. Στο στάδιο του φυτρώματος το βάθος του νερού είναι σημαντικό να μην υπερβαίνει τα 10 cm. Επιπλέον, εάν το νερό δεν έχει ίδιο βάθος σε όλο το αγροτεμάχιο ή είναι μικρού βάθους, τότε υπάρχει πιθανότητα να εκτεθεί κάποιο τμήμα της επιφάνειας στον αέρα και να αναπτυχθούν ζιζάνια καθώς πιθανή είναι και

η απώλεια σπόρων που έχουν φυτρώσει από πτηνά και τρωκτικά. Ωστόσο, και το μεγάλο βάθος νερού, δηλαδή πάνω από 15 cm, κατά την ανάπτυξη φυταρίων προκαλεί προβλήματα όπως η υπέρμετρη ανάπτυξη ριζών. Συνεπώς, προκύπτει ότι η ρύθμιση του ύψους του νερού στον αγρό είναι βασική για την αποφυγή εχθρών και ασθενειών αλλά και για την προώθηση βλαστικής ανάπτυξης των φυτών. Η περιοχή, η ποικιλία, οι εδαφοκλιματικές συνθήκες καθώς και το σύστημα άρδευσης και στράγγισης του εδάφους, είναι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ποσότητα νερού που απαιτείται για την άρδευση των ορυζώνων. Για όλη την καλλιεργητική περίοδο, η συνολική κατανάλωση νερού κυμαίνεται από 1300 έως 3600 m³/στρέμμα (Αλαμάνου 2008). Σε αλατούχα εδάφη, χρησιμοποιείται μεγάλη ποσότητα νερού ώστε να ξεπλυθούν τα άλατα. Επιπλέον, το νερό με το οποίο γίνεται η άρδευση είναι σημαντικό να μην περιέχει πολλά άλατα και το ποσοστό του Ca πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 60% στο σύνολο των κατιόντων. Η ανανέωση του νερού είναι αναγκαία ιδιαίτερα στα αλατούχα εδάφη. Στα βαριά μη αλατούχα εδάφη, είναι απαραίτητο να σταματάει η κατάκλυση σε ενδιάμεσα στάδια της καλλιέργειας ώστε να αερίζεται το έδαφος. Αντίθετα, στα αλατούχα εδάφη αυτό δεν ενδείκνυται γιατί θα επιβράδυνε την ωρίμανση. Ωστόσο, σε όλα τα εδάφη συνιστάται να απομακρύνεται το νερό για 2-3 ημέρες στο στάδιο του αδελφώματος ώστε το ριζικό σύστημα να έχει πλούσια ανάπτυξη. Στο στάδιο του γάλακτος κόκκου είναι αναγκαίο να μη γίνονται ξηράνσεις (Καλλιτσάρη 2014).

Λίπανση-Θρέψη

Ο Πέρρος (2019), τονίζει ότι το ρύζι εμφανίζει μια ιδιαιτερότητα όσον αφορά τη λίπανση. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι το έδαφος στο οποίο καλλιεργείται όπως αναφέρθηκε βρίσκεται σε συνεχή σχεδόν κατάκλυση με νερό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να διευκολύνεται η έκπλυση και απορροή των λιπαντικών στοιχείων που έχουν χρησιμοποιηθεί. Επίσης, με βάση τον ίδιο ερευνητή, η απορροή των λιπαντικών στοιχείων παρουσιάζει επιπλέον αύξηση, λόγω του ότι το νερό ανανεώνεται τακτικά με σκοπό την απομάκρυνση των αλάτων του εδάφους, ειδικά κατά τα πρώτα στάδια που αναπτύσσονται τα φυτά. Η επιφανειακή λίπανση επιτυγχάνεται με κοκκώδους μορφής λιπάσματα, αργά διαλυόμενα στο νερό και σε χρονικές περιόδους που ακολουθούν της ανανέωσής τους. Η χρήση όξινων λιπασμάτων, συμβάλλει στη βελτίωση των αλατούχων εδαφών με ρύζι και βοηθά στη μείωση του pH του εδάφους. Σύμφωνα με την Αλαμάνου (2008) και Καλλιτσάρη

(2014), συγκεκριμένα για την παραγωγή 1000 kg αναποφλοιώτου ρυζιού το έδαφος απορροφά 16,8 kg άζωτο (N), 3,8 kg φώσφορο (P) και 21,9 kg κάλιο (K). Επίσης το θείο (S) και ο ψευδάργυρος (Zn), παρουσιάζουν ενδιαφέρον για την καλλιέργεια. Σύμφωνα με πειράματα του Ινστιτούτου Σιτηρών (Καλλιτσάρη 2014), όταν το ρύζι καλλιεργείται ως μονοκαλλιέργεια, η λίπανση με 15 kg N, 6 kg P₂O₅ και 10 kg K₂O ανά στρέμμα είναι ικανοποιητική.

Έλεγχος ζιζανίων

Οι υψηλές αποδόσεις και η καλύτερη ποιότητα των καρπών, οφείλονται στον έλεγχο ζιζανίων. Η εμφάνιση ζιζανίων γίνεται μέσα στην καλλιέργεια αλλά και στα αναχώματα. Η μουχρίτσα, το κόκκινο ρύζι και η μοσχοκύπερη αποτελούν τα κυριότερα ετήσια ζιζάνια, ενώ ο σκίρπος και η νεραγριάδα τα κυριότερα πολυετή. Επίσης αρκετές φορές έντονη είναι η παρουσία άλγων (Αλαμάνου 2008). Για τον έλεγχο ζιζανίων εφαρμόζονται ποικίλες μέθοδοι όπως η εφαρμογή αμειψισποράς, η χρήση σπόρου ο οποίος είναι απαλλαγμένος από ζιζάνια, ενδεδειγμένες καλλιεργητικές τεχνικές, ορθή διαχείριση νερού, καλλιέργεια ποικιλιών με μεγάλη ανταγωνιστική και αλληλοπαθητική ικανότητα έναντι των ζιζανίων και των ζιζανιοκτόνων (Καλλιτσάρη 2014). Σύμφωνα με την Αλαμάνου (2008), οι καλλιεργητικές τεχνικές που εφαρμόζονται για την αντιμετώπιση ζιζανίων είναι το φθινοπωρινό ή χειμερινό όργωμα, η καλή ισοπέδωση, η ενσωμάτωση λιπασμάτων σε μεγάλο βάθος και η διατήρηση του νερού κατάκλυσης σε σημαντικό ύψος. Η Καλλιτσάρη (2014) αναφέρει ότι η βασικότερη μέθοδος για την καταπολέμηση των ζιζανίων είναι η χημική και η εφαρμογή ζιζανιοκτόνων γίνεται είτε προσπαρτικά με ενσωμάτωση στο έδαφος, είτε μεταφυτρωτικά με ψεκάσμο-διασπορά στην επιφάνεια του νερού. Επιπλέον, όπως αναφέρει η Αλαμάνου (2008), η χρήση λιπασμάτων σε μεγάλο βαθμό καθώς και η συχνή άρδευση αποτελούν ευνοϊκούς παράγοντες για την ανάπτυξη ασθενειών και εντόμων σε σχέση με άλλες καλλιέργειες. Ωστόσο, και η συνεχής μονοκαλλιέργεια και η καλλιέργεια ποικιλιών κοντοστέλεχων, ενισχύει προβλήματα από ασθένειες και εχθρούς αλλά και ζιζάνια. Επομένως λόγω των πολλών πιθανών κινδύνων, οι γενετιστές κάνουν προσπάθειες δημιουργίας ποικιλιών οι οποίες θα έχουν ευρεία γενετική βάση με στόχο την εξασφάλιση ανθεκτικότητας τους σε ασθένειες κι εχθρούς ως αποτέλεσμα ομοιογένειας.

Ωρίμανση-Συγκομιδή

Τελικό στάδιο της παραγωγικής διαδικασίας είναι αυτό της συγκομιδής του προϊόντος από τον αγρό. Ο άριστος χρόνος συγκομιδής του ρυζιού, συμβαδίζει με τη μεγαλύτερη δυνατή απόδοση στον ορυζόμυλο αλλά και με τη μικρότερη θραυστικότητα των κόκκων. Η συγκομιδή του καρπού είναι αναγκαίο να γίνεται όταν η υγρασία του κυμαίνεται μεταξύ 19 έως 21%. Επιπρόσθετα κριτήρια για τον κατάλληλο χρόνο συγκομιδής αποτελούν: α) ο χρόνος από την άνθηση, δηλαδή 35-40 ημέρες μετά την άνθηση για ποικιλίες τύπου Indica και 40-45 ημέρες για ποικιλίες τύπου Japonica, β) η απόκτηση κίτρινου χρώματος των κόκκων σε ποσοστό 80%, γ) όταν το χρώμα του πρώτου κόμβου της φόβης είναι κιτρινοκαστανό (Πέρρος 2019).

Στην περιοχή μελέτης, τις τελευταίες μέρες του Σεπτεμβρίου με αρχές Οκτωβρίου, μπαίνει στον αγρό η θεριζοαλωνιστική μηχανή για να ξεκινήσει η συγκομιδή του προϊόντος.

Συμπληρωματικά με τα παραπάνω, ο παρακάτω πίνακας 3.1, αναφέρει συνοπτικά όλη την καλλιεργητική τεχνική της ορυζοκαλλιέργειας.

Πίνακας 3.1. Ημερολόγιο καλλιεργητικών εργασιών ορυζοκαλλιέργειας στην Ελλάδα.

Χρονικό Διάστημα	Εργασία
Φεβρουάριος 25-28, Μάρτιος 1-15	Κατεργασία εδάφους ορυζώνα που θα σπαρθεί με ρύζι για πρώτη φορά
Μάρτιος 15-31, Απρίλιος 1-10	Διαμόρφωση εδάφους
Απρίλιος 10-25	Βασική λίπανση, Προετοιμασία σποράς
Απρίλιος 25-30, Μάιος 1-10	Κατάκλυση με νερό Σπορά
Μάιος 10-31	Ζιζανιοκτονία, Έλεγχος εχθρών, Εμφάνιση νεαρού φυτού πάνω από την επιφάνεια του νερού
Ιούνιος 1-30	Επιφανειακή Λίπανση Είσοδος νεαρού φυτού στην αναπαραγωγική φάση
Ιούλιος 1-31	Δεύτερη επιφανειακή λίπανση, επιμήκυνση μεσογονάτιων διαστημάτων, ανάπτυξη φόβης & σχηματισμός γύρης
Αύγουστος 1-31	Ωρίμανση φυτού

Χρονικό Διάστημα	Εργασία
Σεπτέμβριος 1-20	
Σεπτέμβριος 21-30 Οκτώβριος 1-20	Ωρίμανση- συγκομιδή Ξήρανση, αποθήκευση

Πηγή :Λαζαρίνα, 2007: 15

Η μελέτη της καλλιεργητικής τεχνικής του ρυζιού, αποτελεί ένα βασικό κριτήριο για την επιλογή δορυφορικών εικόνων σε κατάλληλες ημερομηνίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο. ΕΝΝΟΙΕΣ

4.1. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ- GIS

Ένα Γεωγραφικό Σύστημα πληροφοριών/ΓΣΠ (Geographical Information Systems) είναι ένα «δυναμικό εργαλείο», συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάκτησης, μετασχηματισμού και απεικόνισης χωρικών δεδομένων, σχετικών με φαινόμενα που απαντούν/εξελίσσονται στον πραγματικό κόσμο (Αστάρας κ.α., 2011).

Πρόκειται για έναν ευρύ ορισμό που αναφέρεται σε όλα εκείνα τα συστήματα τα οποία ασχολούνται με τη λήψη αποφάσεων σε γεωγραφικά θέματα με την χρήση ή όχι ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Η λειτουργία των ΓΣΠ στηρίζεται σε μια βάση δεδομένων (database) η οποία, αποτελείται από μια σειρά πληροφοριακών επιπέδων τα οποία αφορούν την ίδια γεωγραφική περιοχή. Η βάση αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από διάφορους χρήστες για την κάλυψη πληροφοριακών αναγκών. Το καθένα από τα επίπεδα αυτά, περιλαμβάνει είτε μη επεξεργασμένα δεδομένα, όπως τοπογραφικά, δορυφορικά κ.λ.π. είτε θεματικές πληροφορίες όπως είδος βλάστησης, τύπος εδαφών, κλίση και έκθεση του ανάγλυφου κ.λ.π. Όλα όμως τα παραπάνω είναι αυστηρά προσανατολισμένα σε ένα κοινό γεωγραφικό σύστημα ώστε να καθίσταται δυνατός ο συνδυασμός ορισμένων από αυτά, ανάλογα με τις επιθυμίες του χρήστη. Θα πρέπει να τονιστεί ότι όλα τα δεδομένα και οι πληροφορίες είναι σε ψηφιακή μορφή και η επεξεργασία τους γίνεται με ειδικά προγράμματα (Αστάρας κ.α., 2011).

4.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΓΣΠ

Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές τα πλεονεκτήματα είναι:

- Τα δεδομένα διατηρούνται σε ψηφιακή μορφή με αποτέλεσμα να καταλαμβάνουν μικρό χώρο, και να είναι εύχρηστα.
- Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι ποσοτικές πληροφορίες οι οποίες είναι δυνατόν να καταχωρούνται κατά οποιαδήποτε γεωγραφική μονάδα ή διάταξη π.χ. κατά νομό ή κατά κοινοτική ή δημοτική περιφέρεια.

- Οι γεωγραφικές βάσεις δεδομένων είναι δυνατόν να δημιουργηθούν για οποιοδήποτε αντικείμενο, χαρακτηριστικό, ιδιότητα ή συνδυασμούς αυτών.
- Τα υπάρχοντα ηλεκτρονικά όργανα και λογισμικά , επιτρέπουν διάφορες μορφές επεξεργασίας όπως μετρήσεις, χαρτογραφικές επικαλύψεις, μετατροπές κ.α.
- Γρήγορος και επαναλαμβανόμενος αναλυτικός έλεγχος ή εξέταση θεωρητικών μοντέλων για την εκτίμηση επιστημονικών κριτηρίων.
- Πολλές μορφές ανάλυσης πραγματοποιούνται με πολύ μικρότερο κόστος απ' ότι με τις κλασσικές μεθόδους.
- Όλες οι αναλύσεις πραγματοποιούνται κατά αντικειμενικό τρόπο.

Σε αντιδιαστολή με τα παραπάνω τα μειονεκτήματα είναι,

- Το αρχικό κόστος απόκτησης του συστήματος καθώς και της τεχνικής υποστήριξης και συντήρησης αυτού, είναι αρκετά υψηλό.
- Η αποτελεσματική χρήση του συστήματος προϋποθέτει την άρτια εκπαίδευση του κατάλληλου προσωπικού.
- Υπάρχουν προβλήματα κατά τη μετατροπή και καταχώρηση ορισμένων προϋπαρχόντων δεδομένων σε συγκεκριμένη βάση δεδομένων.

4.3. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Σύμφωνα με τον Καπαγερίδη (2006), τα δεδομένα που εισάγονται σε ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών, αποτελούνται από χωρικές και περιγραφικές πληροφορίες. Οι χωρικές πληροφορίες σχετίζονται κυρίως με το ψηφιακό χαρτογραφικό υπόβαθρο στο οποίο στηρίζεται το ΓΣΠ. Οι ψηφιακοί χάρτες δύναται να παραχθούν με ποικίλους τρόπους όπως λόγω χάρη από επίγειες τοπογραφικές ή κτηματολογικές εργασίες, φωτογραμμετρικά δεδομένα, ψηφιοποίηση υπαρχόντων «χάρτινων» χαρτών κ.α. Οι περιγραφικές πληροφορίες, συγκεντρώνονται από υπάρχοντα ή συμβατικά αρχεία, συζητήσεις ή και από τη συμπλήρωση ερωτηματολογίων. Οι πληροφορίες αυτές σχετίζονται ή περιγράφουν τα χαρακτηριστικά, τις ιδιότητες ή τις τιμές της υπόψη χωρικής θέσης (Αστάρης κ.α., 2011). Κρίσιμοι παράγοντες για την επιτυχία ή αποτυχία του έργου δημιουργίας και χρησιμοποίησης ενός ΓΣΠ, αποτελούν η ακρίβεια, η εγκυρότητα και η επικαιρότητα των κάθε είδους πληροφοριών.

Περαιτέρω, τα χωρικά δεδομένα χωρίζονται σε:

- σημειακά επίπεδα πληροφοριών (points)
- γραμμικά επίπεδα πληροφοριών (lines)
- επιφανειακά επίπεδα πληροφοριών/πολύγωνα (polygons)
- δεδομένα ανάγλυφου ή τρισδιάστατα (ογκομετρικά)

4.4. ΔΟΜΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Υπάρχουν δύο μορφές απεικόνισης και αποθήκευσης των δεδομένων σε ένα σύστημα GIS: με ψηφιδωτή μορφή (raster) ή/και με διανυσματική μορφή (vector).

Ψηφιδωτή μορφή

Στη μορφή αυτή, ο χώρος υποδιαιρείται σε ένα σύνολο απλών βασικών μονάδων, τα κελιά (cells) ή ψηφίδες, με κανονικό σχήμα όπως τετράγωνα, τρίγωνα κλπ. ή ακανόνιστο σχήμα, σταθερού ή μη σταθερού μεγέθους, τα οποία διαμορφώνουν μια «ψηφιδωτή μορφή». Η πιο συνήθης μορφή, είναι η μορφή κανάβου (raster), όπου τα κελιά είναι τετράγωνα ίσου μεγέθους (όπως στην περίπτωση των δορυφορικών δεδομένων) και τα οποία καθορίζουν την διακριτική (χωρική) ικανότητα που απαιτείται για να καταγραφεί σωστά η διαφοροποίηση των υπό εξέταση χαρακτηριστικών. Η θέση ενός σημείου ορίζεται από την γραμμή και τη στήλη του κανάβου, στην οποία εμπίπτει (Αστάρας κ.α. 2011). Οι συνήθεις μορφές αρχείων κανάβου περιλαμβάνουν μορφές .img, .tif και κοινές μορφές εικόνας (Πυριόχος, 2019).

Διανυσματική μορφή

Με βάση τους ίδιους ερευνητές, βασική μονάδα της μορφής αυτής είναι το διάνυσμα. Η διανυσματική δομή είναι κατάλληλη σε περιπτώσεις όπου:

κατά χώρο δεδομένα ή χαρακτηριστικά είναι δυνατόν να οριστούν ακριβώς με τη χρησιμοποίηση γραμμών απαιτείται η κατά το δυνατόν ακριβής παρουσίαση του σχήματος ενός αντικειμένου και επιδιώκεται ο ακριβής εντοπισμός του αντικειμένου στο χώρο.

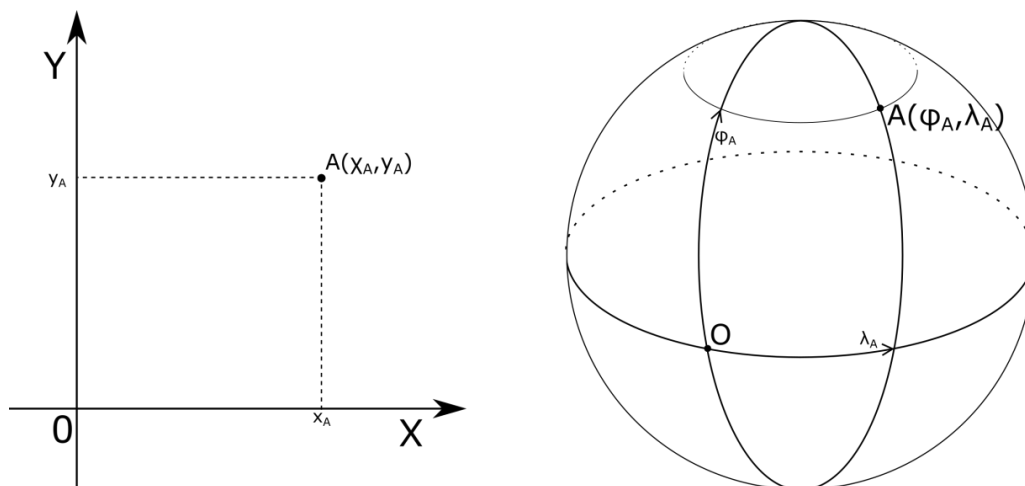
Τα σημεία είναι διανύσματα με μηδενικό μήκος, οι γραμμές είναι ένα σύνολο διανυσμάτων και τα πολύγωνα είναι κλειστές γραμμές που περικλείουν μία έκταση.

Η πιο συνηθισμένη μορφή αρχείου για διανυσματικά δεδομένα είναι το shapefile. Το shapefile είναι μια συλλογή αρχείων: (.shp, .shx, .dbf) (Πυριόχος, 2019).

4.5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

4.5.1. Σύστημα συντεταγμένων

Τα συστήματα συντεταγμένων χρησιμοποιούνται για το συστηματικό προσδιορισμό της θέσης ενός αντικειμένου σε ένα χάρτη συνήθως με ένα πλέγμα (Brase, 2009). Απαραίτητη προϋπόθεση για την περιγραφή της θέσης ενός σημείου με συντεταγμένες είναι ο ορισμός ενός συστήματος αναφοράς (ΣΑ). Ένα σύστημα αναφοράς ορίζεται από ένα σημείο που είναι η αρχή του συστήματος, από έναν ή περισσότερους άξονες, οι οποίοι διέρχονται από το σημείο της αρχής και από την αντίστοιχη μονάδα μέτρησης κατά μήκος κάθε άξονα (Αστάρης κ.α.,2011).



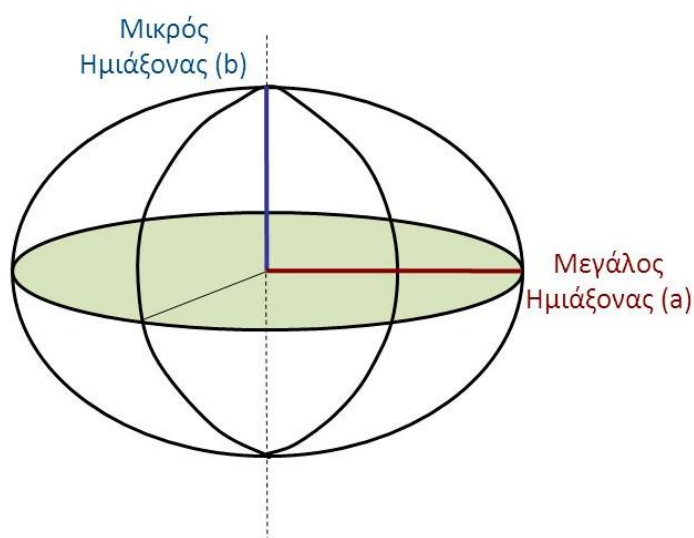
Εικόνα 4.1. Παραδείγματα συστημάτων αναφοράς.

Μορφοποίηση από Αστάρης, 2011:108

4.5.2. Ελλειψοειδές εκ περιστροφής

Σύμφωνα με τους Αστάρας κ.α., (2011), το ελλειψοειδές εκ περιστροφής (ΕΕΠ), είναι το στερεό που προκύπτει από την περιστροφή μιας έλλειψης γύρω από το μικρό της ημιάξονα. Η επιφάνεια του ΕΕΠ παριστά τη μαθηματική μορφή της Γης στην οποία αναφέρονται οι θέσεις των σημείων.

Η διαφορά του ελλειψοειδούς από τη σφαίρα είναι περίπου 11.000 m. Η διαφορά αυτή θα μπορούσε να μην είναι αισθητή για ένα χάρτη κλίμακας μικρότερης του 1:35.000.000, οπότε και θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως σχήμα της γης η σφαίρα. Ωστόσο για μεγαλύτερες κλίμακες είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ως σχήμα της γης το ελλειψοειδές.



Εικόνα 4.2. Ελλειψοειδές εκ περιστροφής.

Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/umuxsz>

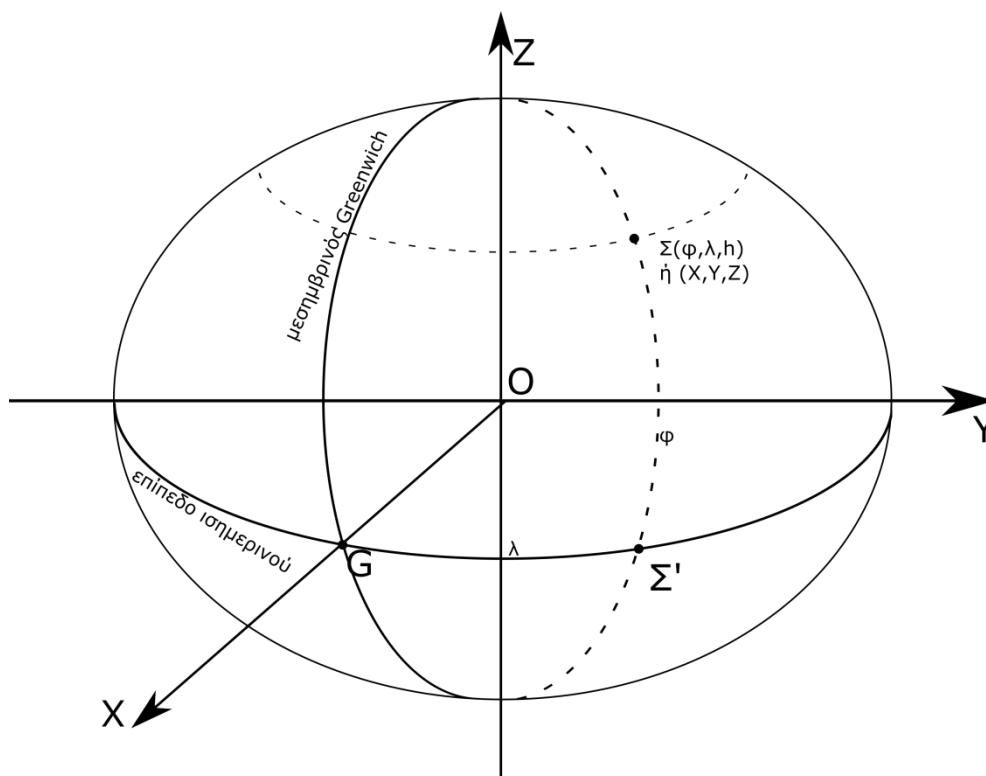
4.5.3. Προβολικό σύστημα συντεταγμένων

Η χρήση των προβολικών συστημάτων γίνεται με σκοπό την απεικόνιση ή την προβολή σημείων που ανήκουν σε μια επιφάνεια αναφοράς πάνω σε μία άλλη επιφάνεια. Έτσι τα γεωμετρικά ή φυσικά χαρακτηριστικά της πρώτης επιφάνειας μετακινούνται μέσω μιας αμφιμονοσήμαντης αντιστοιχίας πάνω στη δεύτερη (Καπαγερίδης, 2006). Κάθε σημείο της σφαίρας, περιγράφεται από ένα ζευγάρι φ, λ (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος), ενώ το ίδιο σημείο πάνω στο χάρτη περιγράφεται από κάποιο ζευγάρι συντεταγμένων x, y ενός καρτεσιανού συστήματος αναφοράς (Αστάρας κ.α.,2011). Όταν η πρώτη επιφάνεια είναι το ελλειψοειδές αναφοράς, τότε η προβολή πάνω σε ένα επίπεδο παράγει ένα χάρτη που λέγεται

γεωδαιτικός. Όταν η πρώτη επιφάνεια είναι η σφαιρική Γη, τότε παράγεται ένας χάρτης που λέγεται γεωγραφικός (Καπαγερίδης, 2006).

Υπάρχουν πολλά συστήματα συντεταγμένων. Τα πιο γνωστά συστήματα συντεταγμένων που χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα είναι το WGS 84 (World Geodetic System 1984) και το ΕΓΣΑ 87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987). Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε το WGS 84.

Το WGS 84 του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ είναι ένα από τα προϊόντα της NIMA (από το 1996 ως NIMA: National Imagery and Mapping Agency, πρώην DMA: Defense Mapping Agency και από το 2003 ως NGA: National Geospatial-Intelligence Agency). Έχει σχεδιαστεί για χρήση από το δορυφορικό σύστημα GPS και χρησιμοποιεί το ομώνυμο ελλειψοειδές (WGS 84) για να περιγράψει το σχήμα και το μέγεθος της Γης. Το Παγκόσμιο Γεωγραφικό Σύστημα Αναφοράς (ΓΣΑ), έχει δύο ειδών συστήματα συντεταγμένων: το πρώτο χρησιμοποιεί τις συντεταγμένες ϕ και λ , ενώ το δεύτερο χρησιμοποιεί ένα καρτεσιανό τρισδιάστατο σύστημα αναφοράς, με αρχή το κέντρο του ελλειψοειδούς και άξονες X, Y να βρίσκονται επί του ισημερινού επιπέδου, θετικό άξονα Z προς την κατεύθυνση του Βόρειου Πόλου και θετικό άξονα X να εκτείνεται προς την κατεύθυνση του μεσημβρινού του Greenwich. Το σύστημα των γεωδαιτικών συντεταγμένων μπορεί να θεωρηθεί επίσης τρισδιάστατο αν ληφθεί ως τρίτη παράμετρος (συντεταγμένη) το γεωδαιτικό υψόμετρο του σημείου (h), το οποίο αντιπροσωπεύει την απόσταση του σημείου από την επιφάνεια του ελλειψοειδούς (Αστάρας κ.α.,2011).



Εικόνα 4.3. Παγκόσμιο Σύστημα Αναφοράς WGS 84. Η θέση του τυχαίου σημείου Σ προσδιορίζεται είτε από τις γεωδαιτικές συντεταγμένες $\varphi(\Sigma\Sigma')$, $\lambda(\Gamma\Sigma')$ και το αντίστοιχο γεωμετρικό υψόμετρο (h) ή από τις καρτεσιανές συντεταγμένες X, Y, Z.

Μορφοποίηση από Αστάρας, 2011:123

Υπάρχουν αρκετά συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών, ωστόσο στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν το ArcGIS καθώς και το Saga Gis.

4.6. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ARCGIS

Σύμφωνα με τους Ευελπίδου και Κοτίνας (2015), το λογισμικό ArcGIS είναι ένα εμπορικό λογισμικό από την ESRI που χρησιμοποιείται για τη συλλογή, επεξεργασία και αποθήκευση πληροφοριών με γεωγραφική διάσταση. Το περιβάλλον εργασίας των εφαρμογών του ArcGIS είναι πλήρως παραθυρικό και εύχρηστο. Επιπλέον, το λογισμικό αυτό, παρέχει ορισμένες δυνατότητες ώστε να υλοποιείται οποιαδήποτε εργασία με επίκεντρο το χώρο, από την πιο απλή έως την πιο πολύπλοκη, όπως η χαρτογραφική παραγωγή, η επεξεργασία των γεωγραφικών δεδομένων, η γεωγραφική ανάλυση, η μετατροπή μεταξύ διαφορετικών μορφότυπων δεδομένων, η απεικόνιση και διαχείριση των δεδομένων (Marathon Data Systems, 2016).

Αποτελείται από κάποια υποσυστήματα, όπως το ArcMap, το ArcCatalog, το ArcToolbox και το ArcGlobe (Ευελπίδου και Κοτίνας, 2015). Στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιείται το ArcMap για την χαρτογράφηση των αγροτεμαχίων. Το υποσύστημα αυτό, όπως υποδηλώνει και το όνομά του, αφορά εφαρμογές που σχετίζονται με χάρτες. Επιπλέον, προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας χαρτών από επίπεδα χωρικής πληροφορίας, ανάλυσης χωρικών σχέσεων και επιλογής μέσω αναζητήσεων χωρικών ή μη χωρικών στοιχείων. Με το ArcMap, είναι εφικτή η σχεδίαση και δημιουργία διαφορετικών απεικονίσεων ενός χάρτη, αλλάζοντας χρώματα και συμβολισμούς (Κυπριάδου, 2015).

4.7. ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ SAGA GIS

Το SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) είναι ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) ανοιχτού κώδικα, το οποίο κυκλοφορεί υπό την άδεια χρήσης GNU General Public License. Από την πρώτη κυκλοφορία του το 2004, το SAGA εξελίχθηκε γρήγορα από ένα εξειδικευμένο εργαλείο για ανάλυση ψηφιακού εδάφους σε μια ολοκληρωμένη και καθιερωμένη παγκόσμια πλατφόρμα GIS για επιστημονική ανάλυση και μοντελοποίηση. Το SAGA είναι γραμμένο σε γλώσσα προγραμματισμού C ++ και λειτουργεί σε διάφορα λειτουργικά συστήματα, συμπεριλαμβανομένων των Windows και του Linux. Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά του λογισμικού, περιλαμβάνουν μια διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογών για την ανάπτυξη και εφαρμογή νέων γεωεπιστημονικών μεθόδων, ένα φιλικό προς τον χρήστη γραφικό περιβάλλον εργασίας με πολλές επιλογές καθώς και διεπαφές χρήση γλωσσών προγραμματισμού όπως R και Python. Η έκδοση (7.7) που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία προσφέρει περισσότερα από 600 εργαλεία, τα οποία ενσωματώνονται σε βιβλιοθήκες και βρίσκουν εφαρμογή σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών εφαρμογών όπως της ψηφιακής ανάλυσης εδάφους, της γεωμορφολογίας, της εδαφολογικής επιστήμης, της κλιματολογίας και της μετεωρολογίας, καθώς και της τηλεπισκόπησης (Conrad κ.α, 2015).

4.8. ΔΕΙΚΤΗΣ NDVI

Ο δείκτης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ή αλλιώς δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένων διαφορών, δημιουργήθηκε το 1974 με σκοπό το διαχωρισμό της βλάστησης από τη φωτεινότητα του εδάφους, χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα Landsat MSS (Rouse et al. 1974). Σύμφωνα με τον Περάκη κ.α. (2015), ο δείκτης αυτός, είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος παγκοσμίως. Πλεονέκτημα του δείκτη NDVI, αποτελεί η ελαχιστοποίηση των τοπογραφικών επιδράσεων. Επιπλέον, παίρνει τιμές από -1 (καθόλου βλάστηση) έως 1 (πλούσια βλάστηση) με το 0 να είναι το όριο στην απουσία της βλάστησης. Οι αρνητικές τιμές εκφράζουν τις καλύψεις γης όπως νερό, κτίσματα κ.α. Ο δείκτης βλάστησης περιγράφει πολλές ιδιότητες των φυτών και αυτό δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης της υγείας τους, της απόδοσης των καλλιεργειών κ.α. Στον πίνακα 4.1., δίνεται η δυνατότητα να διακρίνουμε το εύρος της βλάστησης καθώς και το έδαφος (σπαρμένο ή μη σπαρμένο), τα σύννεφα, τον πάγο, το χιόνι και το νερό.

Πίνακας 4.1. Ενδεικτικές τιμές NDVI ανάλογα με τον τύπο κάλυψης γης.

Τύπος κάλυψη γης	NDVI (κλίμακα από -1 έως 1)
Πυκνή Βλάστηση	0,5 - 1
Μέτρια Βλάστηση	0,14 - 0.5
Ελάχιστη Βλάστηση	0.09 – 0.14
Έδαφος	0.025 – 0.09
Σύννεφα	0.002 – 0.025
Πάγος και χιόνι	-0.046 – 0.002
Νερό	-1 - -0.046

ΠΗΓΗ: Μορφοποίηση από Dalezios, 2002:300

Μειονέκτημα του δείκτη NDVI αποτελεί ότι σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις βλάστησης, παρουσιάζονται δείγματα κορεσμού (saturation) καθώς και υπερεκτίμηση σε χαμηλές συγκεντρώσεις βλάστησης, λόγω της ανακλαστικότητας του εδάφους. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες όπως λεπτά σύννεφα, μπορούν να επηρεάσουν τον υπολογισμό NDVI όταν χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα.

Κατά τον Παρχαρίδη (2015), ο δείκτης NDVI ορίζεται από την γενική εξίσωση:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}} \quad (1)$$

όπου NIR= φασματικό κανάλι του κοντινού υπέρυθρου και

RED= φασματικό κανάλι στην περιοχή του ερυθρού του ορατού.

Το αποτέλεσμα αυτού του λόγου είναι μια νέα ασπρόμαυρη εικόνα, κάθε εικονοστοιχείο της οποίας παριστάνει τη διαίρεση της φωτεινότητας των εικονοστοιχείων των δύο αρχικών εικόνων. Έτσι, οι περιοχές που καλύπτονται από βλάστηση αποδίδονται με ανοιχτότερες αποχρώσεις του γκρι έως και λευκές, λόγω της υψηλής ανάκλασης που αυτή παρουσιάζει στο κοντινό υπέρυθρο και της αντίστοιχης χαμηλής στο ορατό, ενώ οι υδάτινες μάζες εμφανίζονται με μαύρο χρώμα. (Φούντας και Γέμτος 2015).

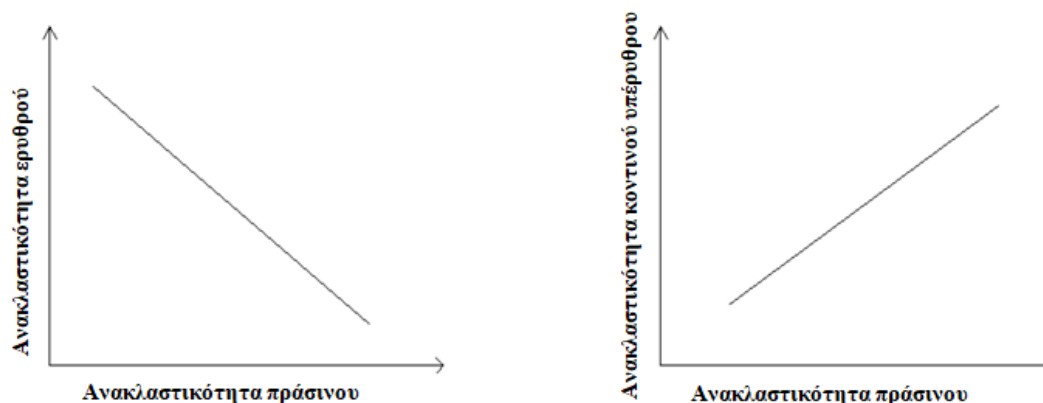
Με βάση τον Μαστρογιάννη (2015), η εκτίμηση της απώλειας παραγωγής (ποσοστό ζημιάς), που προκαλείται στις γεωργικές καλλιέργειες από φυσικές καταστροφές (πλημμύρα, παγετός, χαλάζι, ξηρασία ανεμοθύελλα, πυρκαγιές κ.α), μπορεί να ανιχνευθεί με την τηλεπισκόπηση, αφού οι φυσικές καταστροφές αποτελούν αιτίες καταπόνησης των φυτών. Μετά από τις φυσικές καταστροφές έχουμε έντονη αποφύλλωση όταν έχουμε χαλάζι, μείωση η κατάρρευση της χλωροφύλλης, αλλαγές στην εσωτερική δομή των φύλλων και αλλαγές στα μορφολογικά χαρακτηριστικά των φυτών, με αποτέλεσμα να τροποποιείται η φασματική συμπεριφορά μιας καλλιέργειας σε διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Αυτές οι αλλαγές στη φασματική συμπεριφορά μπορούν να ανιχνευθούν από δορυφορικούς αισθητήρες, (Jurgens 1993,1997, Jurgens et al 1993), από αεροφωτογραφίες κ.λ.π. και με την δημιουργία δεικτών βλάστησης (καμπύλες NDVI) μπορούμε να έχουμε εκτίμηση της απώλειας παραγωγής.

4.9.ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ PCA

Σύμφωνα με τον Παρχαρίδη (2015), η ευρεία διαφασματική συσχέτιση αποτελεί βασικό πρόβλημα κατά την ανάλυση πολυφασματικών δεδομένων. Έτσι, οι εικόνες που προκύπτουν από ψηφιακά δεδομένα διαφορετικών φασματικών καναλιών, συνήθως εμφανίζουν συσχετιζόμενη πληροφορία που δεν εξυπηρετεί στην ερμηνεία τους. Η μέθοδος των κύριων συνιστωσών (Principal Components), είναι μια τεχνική με σκοπό την μετατροπή δεδομένων με υψηλό βαθμό συσχέτισης σε νέα μη συσχετισμένα δεδομένα. Ωστόσο, κατά τη διαδικασία αυτή, παραμένει σχεδόν το σύνολο της πληροφορίας των δεδομένων που είχαμε αρχικά.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα, αποτελούν οι πολυφασματικές εικόνες ορατού – κοντινού υπέρυθρου σε περιοχές με έντονη βλάστηση στις οποίες εικόνες

παρατηρούνται αρνητικοί και θετικοί συσχετισμοί μεταξύ των υποπεριοχών του ορατού φάσματος. Αυτό συμβαίνει επειδή τα φασματικά χαρακτηριστικά της βλάστησης είναι τέτοια ώστε όταν η ανάκλαση αυξάνει στο πράσινο τμήμα του φάσματος, στο κοντινό υπέρυθρο αυξάνει επίσης ενώ στο ερυθρό μειώνεται (εικόνα 4.4.).



Εικόνα 4.4. Συσχετισμοί ανακλαστικότητας στα διάφορα φασματικά τμήματα.

Με την ανάλυση κύριων συνιστωσών σε πολυφασματικές εικόνες προκύπτουν νέες εικόνες όσα και τα φασματικά κανάλια. Οι εικόνες αυτές συνοδεύονται από στατιστικά δεδομένα τα οποία είναι ιδιαίτερα ωφέλιμα για την κατανόηση αλλά και ερμηνεία των εικόνων. Τα δεδομένα αυτά είναι ο πίνακας συσχέτισης (correlation matrix), οι ιδιοτιμές (eigenvalues) και ο πίνακας ιδιοδιανυσμάτων (eigenvectors). Ο πίνακας συσχέτισης (correlation matrix), είναι χρήσιμος διότι δείχνει το βαθμό συσχέτισης μεταξύ των αρχικών εικόνων κι εμφανίζει τον αριθμό επαναληψιμότητας της πληροφορίας. Οι ιδιοτιμές (eigenvalues), μαζί με το ποσοστό μεταβλητότητας καθορίζουν το ποσό της πληροφορίας για κάθε συνιστώσα και συγκεκριμένα ανά εικόνα-συνιστώσα. Ο πίνακας ιδιοδιανυσμάτων (eigenvectors), δείχνει το βαθμό συσχετισμού μεταξύ των αρχικών εικόνων και κάθε συνιστώσας. Ο πίνακας αυτός σε συνδυασμό με τις ιδιοτιμές απαρτίζουν τα πιο σημαντικά δεδομένα (Παρχαρίδης, 2015).

Κατά τον ίδιο ερευνητή, η δημιουργία κυρίων συνιστωσών, εστιάζει στο γεγονός ότι η περισσότερη αξιοποιήσιμη πληροφορία εντοπίζεται στα δύο ή τρία πρώτα κανάλια, ενώ στα τελευταία υπάρχει ελάχιστη έως μηδενική πληροφορία. Έτσι, ο αριθμός των καναλιών μπορεί να μειωθεί από επτά σε δύο ή τρία και συνεπώς να μειωθεί ο χρόνος επεξεργασίας και ο χώρος αποθήκευσης των δεδομένων. Η ανάλυση κύριων

συνιστώσών είναι ωφέλιμη διότι δεν απαιτείται πληροφόρηση σχετικά με το περιεχόμενο της εικόνας. Επιπλέον, η περισσότερη πληροφορία καναλιών μπορεί να βρίσκεται στις πρώτες κύριες συνιστώσες κι επομένως η μέθοδος μειώνει τον όγκο δεδομένων. Τέλος, μειώνεται η υψηλή συσχέτιση ανάμεσα στα κανάλια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ

Στην παρούσα προπτυχιακή μελέτη, για την εξαγωγή ωφέλιμων πληροφοριών που σχετίζονται με την υγεία των καλλιεργειών και κατ' επέκταση την απόδοσή τους, χρησιμοποιήθηκαν τόσο πρωτογενή όσο και δευτερογενή δεδομένα. Τα πρωτογενή δεδομένα περιλαμβάνουν δορυφορικές εικόνες. Τα δευτερογενή δεδομένα αποτελούν διανυσματικά αρχεία της κάλυψης εδάφους γης και εικόνες δεικτών NDVI. Επιπλέον, στα δευτερογενή δεδομένα, ανήκουν πίνακες της ΕΛΣΤΑΤ με στατιστικά στοιχεία, πίνακες αναφορικά με τις τιμές του δείκτη NDVI και τέλος πληροφορίες σχετικά με το ημερολόγιο καλλιεργητικών εργασιών ορυζοκαλλιεργειών. Οι πηγές από τις οποίες συγκεντρώθηκαν τα δευτερογενή στοιχεία της έρευνας, είναι μια πλατφόρμα για τα διανυσματικά αρχεία κάλυψης γης εδάφους και οι εικόνες δεικτών NDVI στην οποία ήταν άμεσα διαθέσιμα και δωρεάν, μειώνοντας σημαντικά το κόστος της παρούσας μελέτης. Επιπρόσθετα, οι πηγές δευτερογενών δεδομένων είναι μία ιστοσελίδα, μία βάση δεδομένων και ένα επιστημονικό άρθρο σχετικά με τους πίνακες και το ημερολόγιο που προαναφέρθηκαν.

5.1. ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Κριτήριο για την επιλογή της περιοχής μελέτης, αποτέλεσε το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της Χαλάστρας, οι ορυζοκαλλιέργειες. Συγκεκριμένα, όπως αναφέραμε και στο Κεφάλαιο 3, οι ορυζώνες στην περιοχή αυτή, καταλαμβάνουν το πιο μεγάλο ποσοστό των εκμεταλλεύσεων της με περίπου το 80% της εγχώριας παραγωγής ρυζιού να καλλιεργείται εκεί. Επιπλέον, ύστερα από ερμηνεία των γραφημάτων που δημιουργήσαμε από στοιχεία που αντλήσαμε από την βάση δεδομένων της ΕΛΣΤΑΤ, εύλογα συμπεράναμε ότι οι ορυζώνες της περιοχής έχουν ιδιαίτερη σημασία για την τοπική ανάπτυξη και ότι το ρύζι αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό στην παραγωγή σιτηρών για την περιφέρεια της Κεντρικής Μακεδονίας.

5.2. ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Η επιλογή των δορυφορικών εικόνων δείκτη NDVI, αφορά το έτος 2019. Επιπλέον, η επιλογή εποχής λήψης των εικόνων αυτών, έγινε με γνώμονα την καλλιεργητική

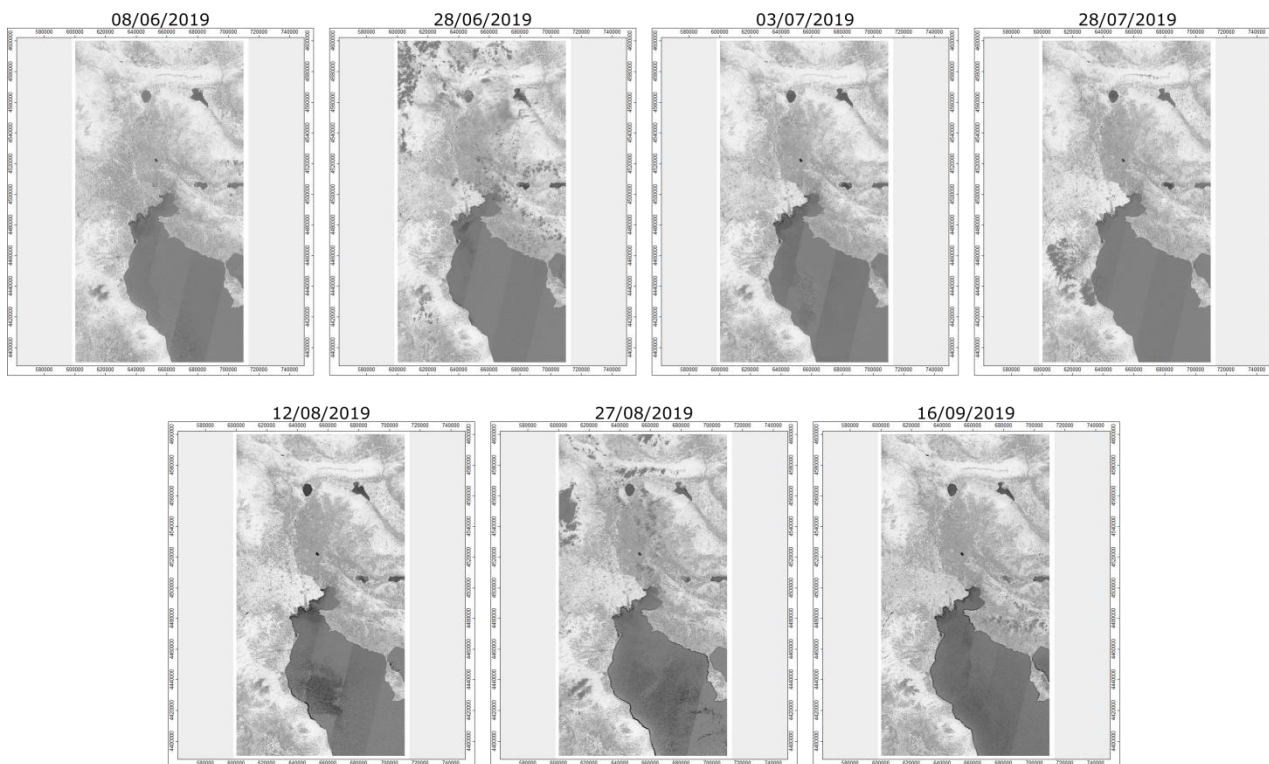
περίοδο του ρυζιού και την χαμηλή νεφοκάλυψη για λόγους καλύτερης ευκρίνειας των αγροτεμαχίων αλλά και για να μην επηρεαστεί ο δείκτης NDVI υπό την παρουσία νεφών. Με σκοπό την επιλογή εικόνων σε ημερομηνίες κοντά σε καθοριστικά σημεία της καλλιέργειας, εξετάσαμε στο Κεφάλαιο 3, την καλλιεργητική περίοδο του ρυζιού και παρατηρήσαμε ότι ξεκινά από τις 1 Μαΐου και ολοκληρώνεται κατά τα τέλη Σεπτεμβρίου (Λαζαρίνα, 2007). Επιπρόσθετα, η σπορά, όπως αναφέρουν η Αλαμάνου (2008), η Λαζαρίνα (2007) και η Καλλιτσάρη (2014), ξεκινάει το πρώτο δεκαπενθήμερο του Μαΐου κι επομένως ιδανικό θα ήταν να αναζητήσουμε δορυφορικές εικόνες μετά από αυτό το διάστημα, δηλαδή από τον Ιούνιο όπου και θα έχει ξεκινήσει η ανάπτυξη του φυτού. Τελικά, επιλέχθηκαν 7 δορυφορικές εικόνες δείκτη NDVI Sentinel-2 με τις αντίστοιχες ημερομηνίες λήψης όπως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Ωστόσο, επειδή ο δορυφόρος «χωρίζει» την περιοχή της Χαλάστρας σε δύο τμήματα, έπρεπε για να έχουμε ολόκληρη την εικόνα της περιοχής να κάνουμε λήψη 14 εικόνων και στη συνέχεια να τις ενώσουμε. Επιλέχθηκαν 2 ημερομηνίες για κάθε μήνα με στόχο τα αποτελέσματα να είναι πιο αξιόπιστα.

Πίνακας 5.1. Συγκεντρωτικός πίνακας παρατηρήσεων χρησιμοποιούμενων δορυφορικών εικόνων δείκτη NDVI.

Δορυφόρος	Ημερομηνία λήψης	Νεφοκάλυψη
Sentinel-2	08/06/2019	0%
Sentinel-2	28/06/2019	10%
Sentinel-2	03/07/2019	0%
Sentinel-2	28/07/2019	3%
Sentinel-2	12/08/2019	0%
Sentinel-2	27/08/2019	6%
Sentinel-2	16/09/2019	0%

Να σημειωθεί ότι η αναφερόμενη νεφοκάλυψη αφορά την συνολική παρουσία νεφών στην δορυφορική εικόνα. Ωστόσο τα νέφη εντοπίζονται κυρίως γύρω από την περιοχή μελέτης και δεν επηρεάζουν τις τιμές του δείκτη NDVI.

Παρακάτω παρουσιάζονται οι εικόνες αυτές που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα έρευνα.



Εικόνα 5.1. Η περιοχή μελέτης στις επτά ημερομηνίες με τον δείκτη NDVI με τιμές από -1 - 1.

Πηγή: πλατφόρμα <http://tiny.cc/9rrxsz>

5.3. ΓΕΝΙΚΑ

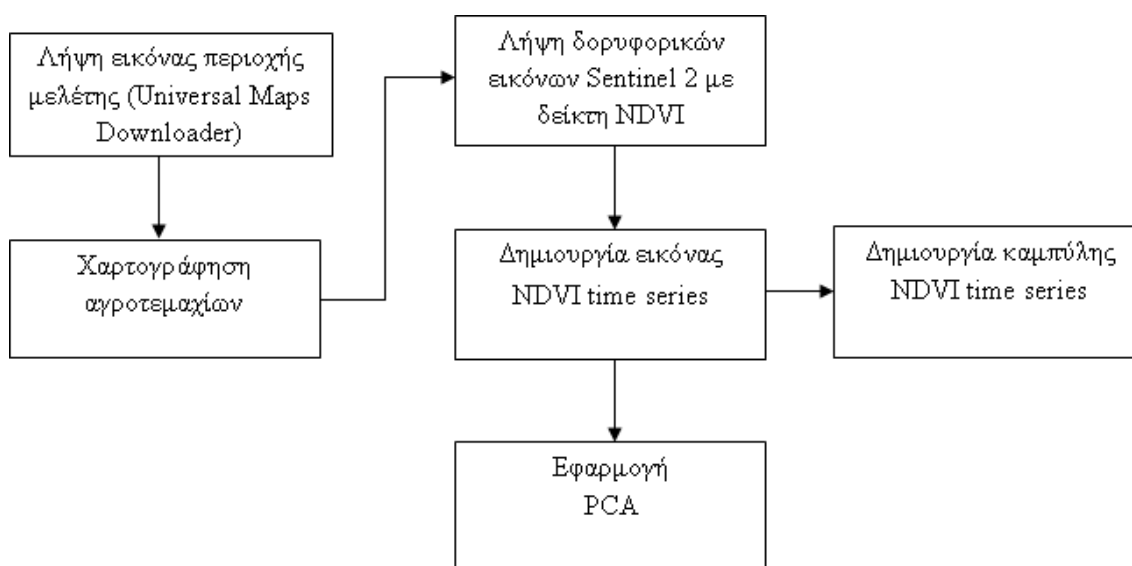
Στην συγκεκριμένη παράγραφο, θα αναφερθούν οι μέθοδοι, οι διαδικασίες και τα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της. Θα γίνει διεξοδική και λεπτομερής ανάλυση όλων των παραπάνω στα επόμενα κεφάλαια της παρούσας πτυχιακής μελέτης. Η μεθοδολογία της παρούσας πτυχιακής μελέτης έχει ως βάση την ερευνητική διαδικασία που ακολούθησαν οι (Bellón et all, 2017).

Αρχικά, έγινε η λήψη της εικόνας της περιοχής μελέτης μέσω του προγράμματος Universal Maps Downloader με σκοπό την χαρτογράφηση των αγροτεμαχίων της Χαλάστρας. Για τον σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGis, το οποίο αποτελεί μια κοινή ολοκληρωμένη λύση στο χώρο των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και χρησιμοποιείται από επαγγελματίες ειδικούς για σκοπούς συλλογής, επεξεργασίας, διαχείρισης και ανάλυσης γεωγραφικών πληροφοριών. Συγκεκριμένα για τη χαρτογράφηση, χρησιμοποιήθηκε το ArcMap, ένα κύριο υποσύστημα του ArcGis. Έπειτα, έγινε δωρεάν λήψη των δορυφορικών εικόνων

Sentinel-2 με τον δείκτη NDVI, από την πλατφόρμα <https://eos.com/landviewer>. Αυτό είχε ως στόχο τη δημιουργία μιας εικόνας NDVI time series με τη βοήθεια του λογισμικού Saga Gis στην οποία θα εφαρμοστεί η Principal Component Analysis (PCA), με σκοπό την αναγνώριση ζωνώσεων στην αγροτική περιοχή. Τέλος, προέκυψε μια καμπύλη NDVI time series με τη μέση τιμή του NDVI time series για όλα τα αγροτεμάχια.

Όλα τα αποτελέσματα από τους υπολογισμούς που αναφέρονται παραπάνω παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια της παρούσας μελέτης και στο τελικό στάδιο πραγματοποιείται και η αξιολόγηση αυτών των αποτελεσμάτων.

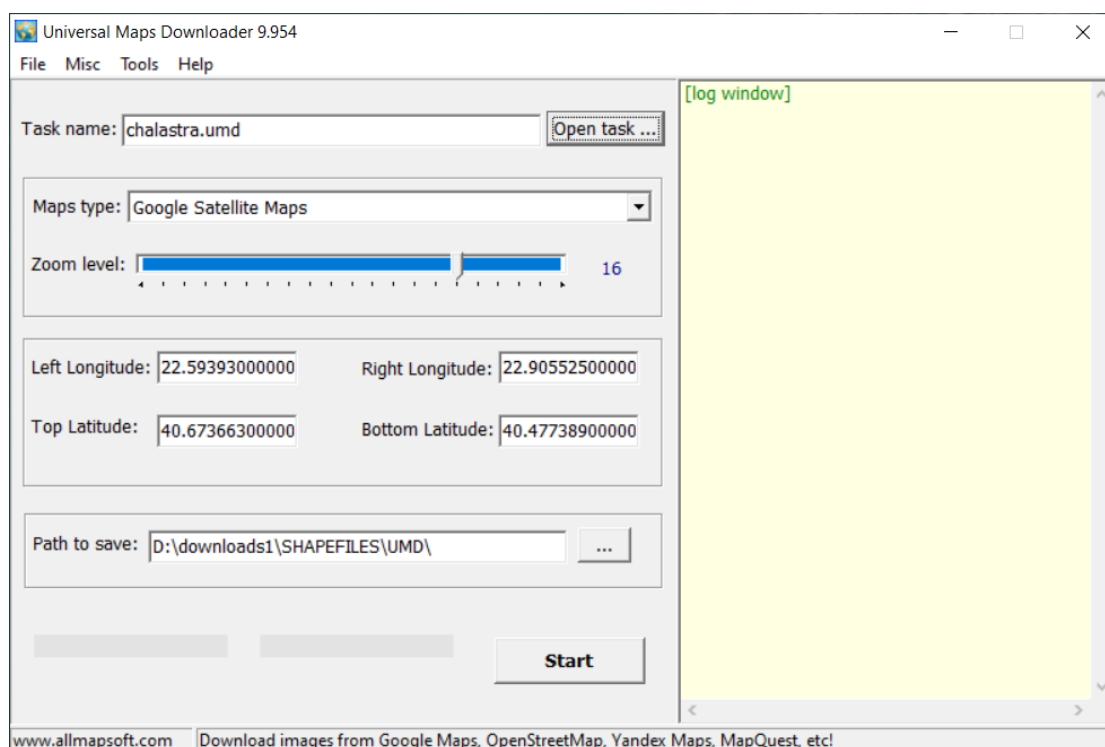
Παρακάτω, παρουσιάζεται ένα συνοπτικό διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε στο πλαίσιο της μελέτης αυτής.



Εικόνα 5.2. Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας.

5.4. ΛΗΨΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

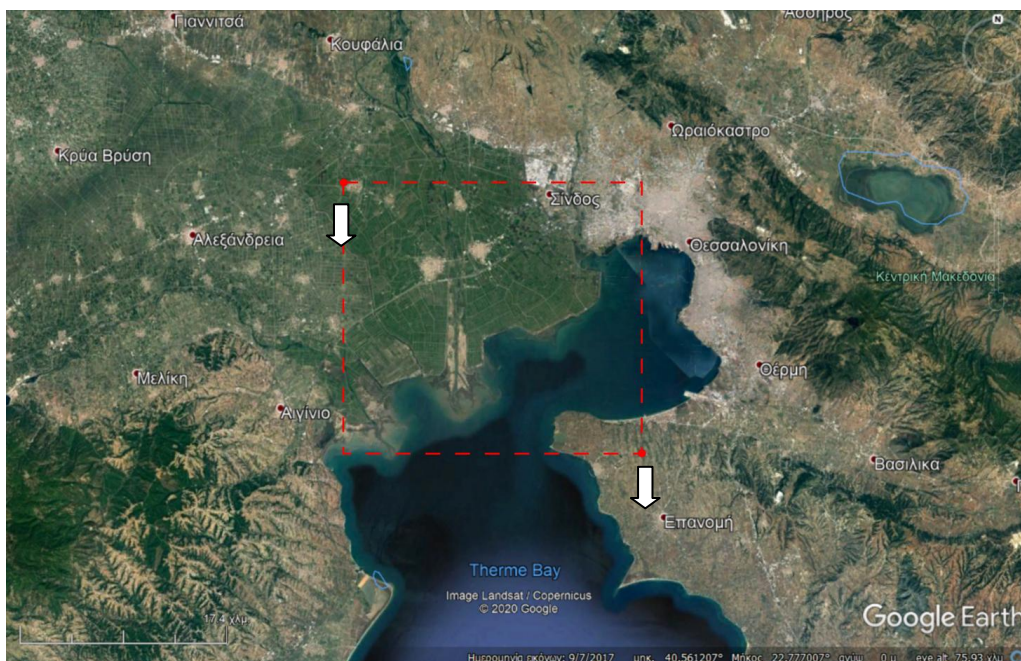
Η εικόνα της περιοχής μελέτης, λήφθηκε με τη βοήθεια ενός εργαλείου shareware, του Universal Maps Downloader (UMD), ώστε να πραγματοποιηθεί η χαρτογράφηση των αγροτεμαχίων. Το εργαλείο αυτό, χρησιμοποιείται για τη λήψη εικόνων σε μεγάλη ανάλυση από ποικίλες πλατφόρμες. Στην παρούσα εργασία, για τη λήψη της εικόνας επιλέχθηκε η πλατφόρμα Google Earth. Η αρχή λειτουργίας του Universal Maps Downloader στηρίζεται στην αποσπασματική λήψη επιμέρους τμημάτων της συνολικής περιοχής, σε προκαθορισμένα επίπεδα μεγέθυνσης (zoom levels).



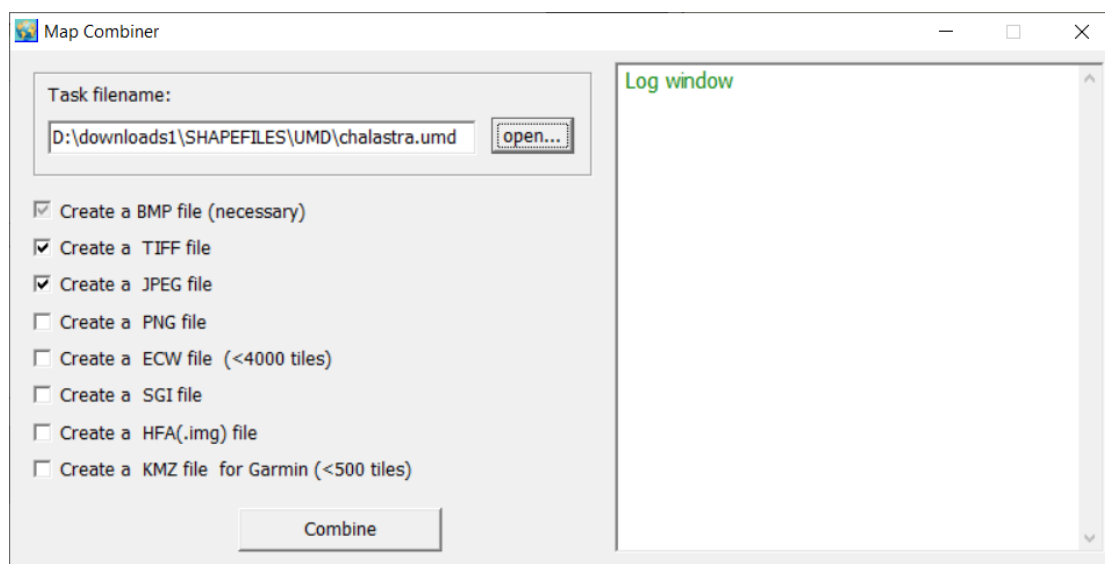
Εικόνα 5.3. Universal Maps Downloader.

Με την εκκίνηση του προγράμματος, ανοίγει το παραπάνω παράθυρο. Στο πεδίο **Task name**, ορίζουμε το όνομα που επιθυμούμε να αποθηκευτεί το project. Έπειτα, στο πεδίο **Maps type** επιλέγουμε την επιθυμητή πλατφόρμα, στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε το **Google Satellite Maps**. Στο **Zoom level**, ορίζουμε το zoom που θέλουμε. Στη συνέχεια, εισάγουμε τις συντεταγμένες της ευρύτερης περιοχής που μας ενδιαφέρει και συγκεκριμένα τις συντεταγμένες της πάνω αριστερής και κάτω δεξιάς γωνίας όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα 5.4. Τέλος πατάμε **Start** προκειμένου να ξεκινήσει η λήψη της εικόνας. Αφού γίνει η λήψη των πλακιδίων της συνολικής εικόνας, από το μενού **Tools** επιλέγουμε το **Map Combiner** (εικόνα 5.5).

Επιλέγουμε το αρχείο με το όνομα του project που δώσαμε προηγουμένως, επιλέγουμε τα αρχεία που θέλουμε να εξαχθεί η εικόνα μας (εδώ TIFF και JPG) και πατάμε **Combine**.



Εικόνα 5.4. Επιλογή περιοχής μελέτης. Οι συντεταγμένες των σημείων που χρησιμοποιήθηκαν στο UMD υποδεικνύονται με τα βέλη.



Εικόνα 5.5. Παράθυρο Map Combiner.

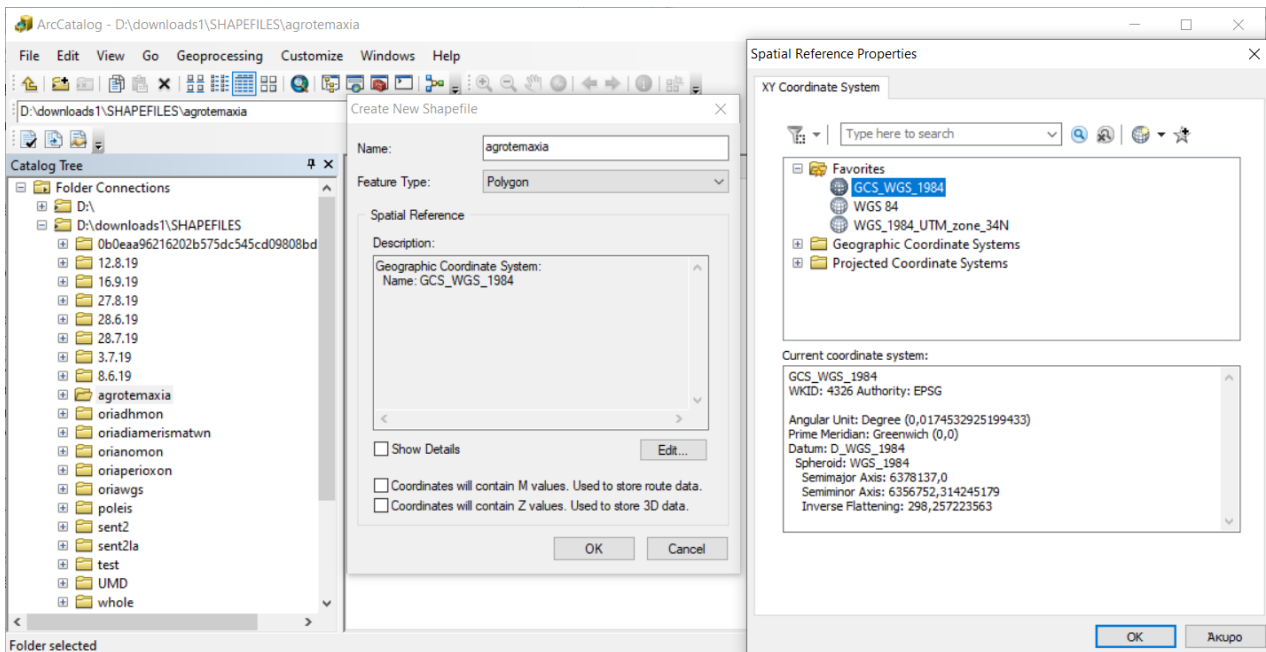
5.5. ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΑΓΡΟΤΕΜΑΧΙΩΝ ΧΑΛΛΑΣΤΡΑΣ

Αφού έγινε η λήψη της εικόνας της περιοχής που μελετάται στην παρούσα εργασία, στη συνέχεια με τη βοήθεια του υποσυστήματος ArcMap του λογισμικού ArcGis, έγινε η χαρτογράφηση των αγροτεμαχίων της περιοχής που μας ενδιαφέρει. Σκοπός της εφαρμογής αυτής, είναι να δείξουμε τις βασικές λειτουργίες του ArcMap παρουσιάζοντας μια μεθοδολογία για το πώς μπορούμε να χαρτογραφήσουμε τα αγροτεμάχια με την εφαρμογή ArcMap, να τα ονομάσουμε με δική μας κωδικοποίηση και μέσω κατάλληλης επεξεργασίας να προκύψει ένας ψηφιοποιημένος χάρτης.

5.5.1. Δημιουργία Shapefile πολυγώνων

Αρχικά δημιουργήσαμε ένα shapefile, δηλαδή ένα συμβατικό αρχείο το οποίο έχει πολύγωνα ώστε να γίνει η αναπαράσταση της γήινης επιφάνειας και πιο συγκεκριμένα των αγροτεμαχίων της περιοχής μελέτης.


Για να δημιουργήσουμε ένα νέο shapefile ανοίγουμε το ArcCatalog (υποσύστημα του ArcGIS) και από τη γραμμή εργαλείων επιλέγουμε **File => New => Shapefile**. Στο dialog box στο πεδίο **Name** ορίζουμε το όνομα που επιθυμούμε και στο **Feature Type** επιλέγουμε polygon. Εν συνεχεία, επιλέγουμε το **Edit** και στο νέο παράθυρο που θα εμφανιστεί ορίζουμε το σύστημα συντεταγμένων που επιθυμούμε. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε το **GCS_WGS-1984**. Η επιλογή του συγκεκριμένου συστήματος συντεταγμένων έγινε ώστε το shapefile να είναι συμβατό με την εικόνα που κατεβάσαμε από το UMD. Έπειτα πατάμε **OK** και σε αυτό και στο προηγούμενο παράθυρο.




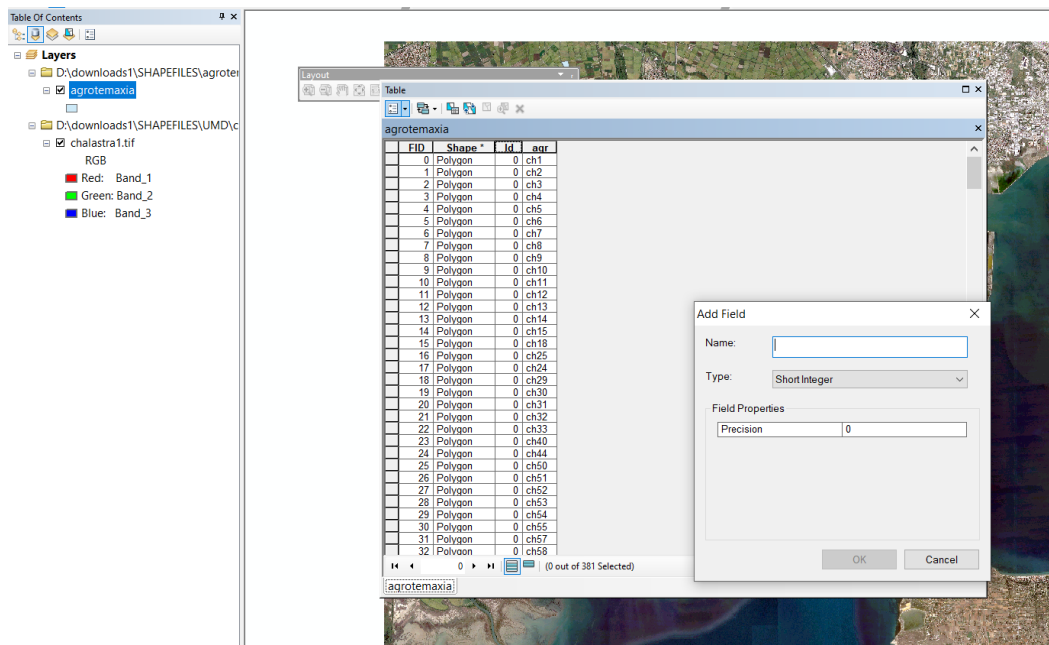
Εικόνα 5.6. Δημιουργία shapefile στο ArcCatalog.

5.5.2. Ψηφιοποίηση αγροτεμαχίων


Στη συνέχεια θα δούμε πως ψηφιοποιήσαμε τα αγροτεμάχια της περιοχής ενδιαφέροντος. Αρχικά, ανοίγουμε το ArcMap και επιλέγουμε το εικονίδιο **Add data**


 και εισάγουμε τον χάρτη με την περιοχή μελέτης. Έπειτα, ξανά από το ίδιο εικονίδιο, εισάγουμε το shapefile "agrotemaxia.shp". Για να ονομάσουμε τα αγροτεμάχια με μια δική μας κωδικοποίηση, πρέπει αρχικά να εισάγουμε μια νέα στήλη στο attribute table. Έτσι, αριστερά στο **Table of Contents**, στο shapefile "agrotemaxia" κάνουμε δεξί κλικ κι επιλέγουμε **Open Attribute Table**. Στο νέο παράθυρο που θα μας εμφανίσει δημιουργούμε μια νέα στήλη πατώντας δεξί κλικ στο

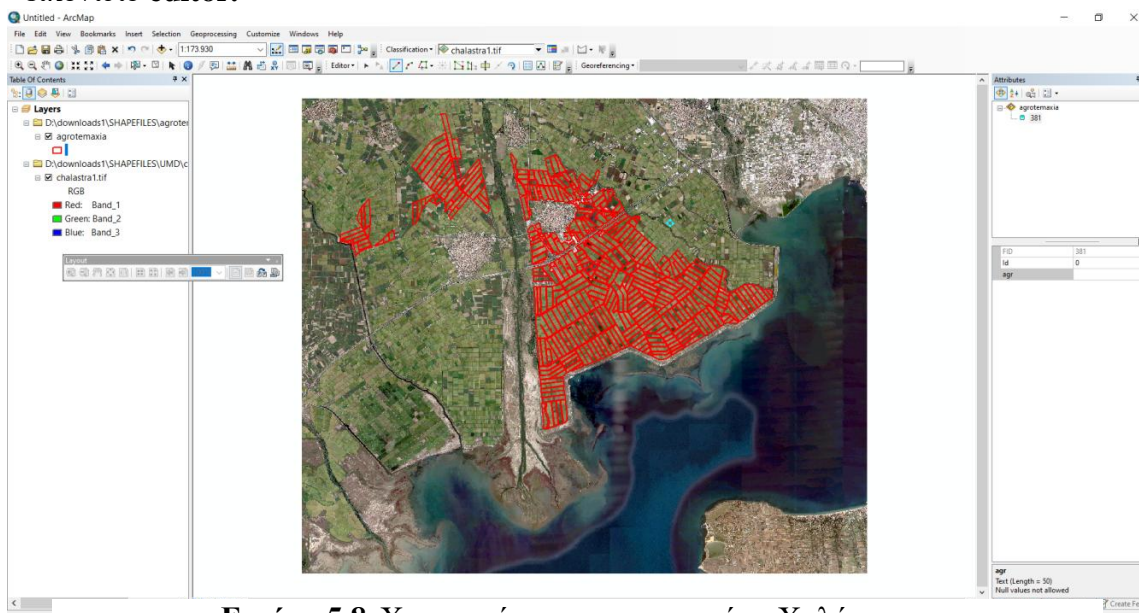
εικονίδιο **Table Options**  και επιλέγοντας **Add field**. Θα μας εμφανίσει ένα παράθυρο διαλόγου, στο οποίο ορίζουμε στο πεδίο **Name** το όνομα που επιθυμούμε και στο πεδίο **Type** ορίζουμε την επιλογή που είναι κατάλληλη για εμάς. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέξαμε **Text** γιατί η κωδικοποίηση που θα δώσουμε στα αγροτεμάχια αποτελείται από το ch (χαλάστρα) και έναν αριθμό αύξουσας σειράς, π.χ. ch1.



Εικόνα 5.7. Attribute table στο ArcMap.

Στη συνέχεια, ξεκινάμε την χαρτογράφηση των αγροτεμαχίων. Πατάμε το εικονίδιο **Editor => Start Editing**  και στο παράθυρο που ανοίγει πατάμε **Continue**.

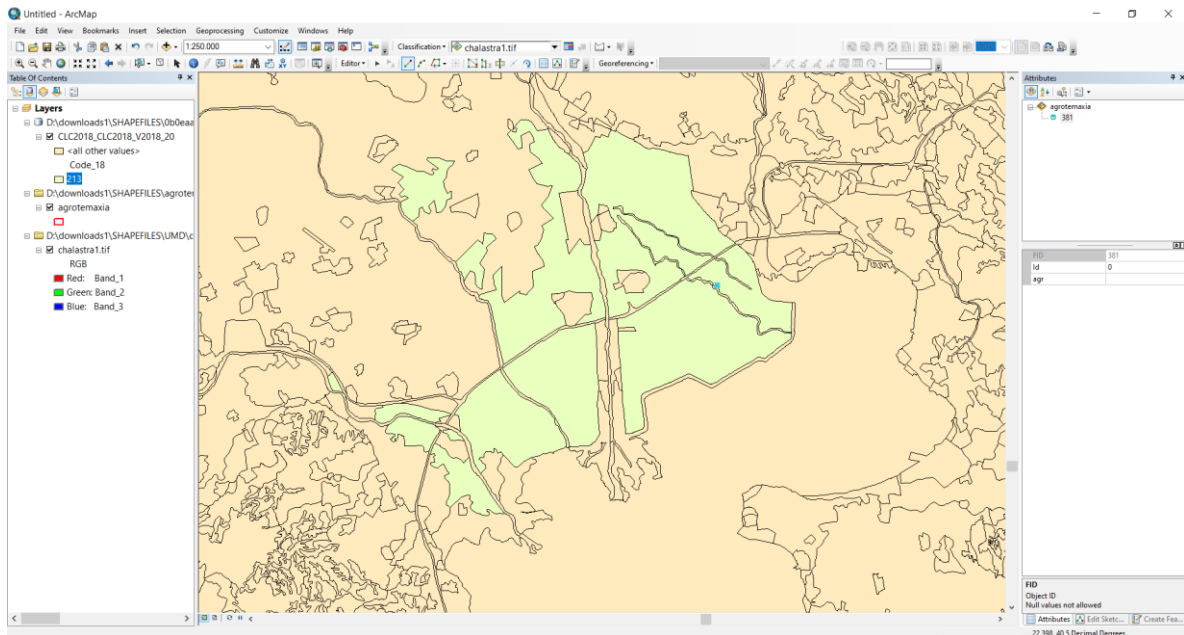
Επιλέγουμε το εικονίδιο **Create Features** . Δεξιά του παραθύρου εργασίας επιλέγουμε το shapefile που μας ενδιαφέρει και κάτω στα **Construction Tools**, επιλέγουμε **polygon**. Όπως θα παρατηρήσουμε, στον χάρτη ο κέρσορας θα έχει τη μορφή σταυρού για να ξεκινήσουμε τη χαρτογράφηση. Αφού χαρτογραφήσουμε ένα αγροτεμάχιο, δεξιά κάτω στο παράθυρο εργασίας του ArcMap, στο **Attributes** βάζουμε τη δική μας κωδικοποίηση για το αγροτεμάχιο που μόλις χαρτογραφήσαμε. Αφού τελειώσουμε τη χαρτογράφηση, κάνουμε **save edits** και **stop editing** από το εικονίδιο **editor**.



Εικόνα 5.8. Χαρτογράφηση αγροτεμαχίων Χαλάστρας.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, έγινε ψηφιοποίηση των ορυζώνων της περιοχής Χαλάστρας. Με σκοπό τον διαχωρισμό τους από τις υπόλοιπες καλλιέργειες, χρησιμοποιήσαμε τη βάση δεδομένων του Corine Land Cover 2018 από το Copernicus. Το αποθετήριο Corine Land Cover (CLC) ξεκίνησε το 1985. Αποτελείται από μια βάση δεδομένων απογραφής κάλυψης της Γης σε 44 κατηγορίες. Το CLC, χρησιμοποιεί μια ελάχιστη χαρτογραφική μονάδα 25 εκταρίων για επιφανειακά φαινόμενα και ελάχιστη χαρτογραφική μονάδα πλάτους 100 m για γραμμικά φαινόμενα. Η CLC έχει μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών υποστηρίζοντας διάφορες κοινοτικές πολιτικές σε περιβαλλοντικούς τομείς αλλά και τη γεωργία, τις μεταφορές, το χωροταξικό σχεδιασμό κ.λ.π. (<http://tiny.cc/rzrxsz>).

Αφού κάνουμε λήψη της βάσης δεδομένων, την εισάγουμε στο ArcMap από το εικονίδιο Add data. Στα **Layers** αριστερά, κάνουμε διπλό κλικ στη βάση δεδομένων και στο παράθυρο που μας ανοίγει επιλέγουμε την καρτέλα **Symbology**. Από το Categories αριστερά, επιλέγουμε το **unique values**. Στη συνέχεια, πατάμε στο πεδίο **Add Values**. Στο παράθυρο που θα μας ανοίξει, εισάγουμε την τιμή 213 που είναι ο κωδικός για τις ορυζοκαλλιέργειες και πατάμε **Add to List**.



Εικόνα 5.9. Βάση δεδομένων CLC (το πράσινο χρώμα υποδηλώνει τους ορυζώνες).

5.6. ΛΗΨΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ SENTINEL 2 ΜΕ ΔΕΙΚΤΗ NDVI ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΙΚΟΝΑΣ NDVI TIME SERIES

Όπως αναφέρθηκε και στο υποκεφάλαιο 5.2., έγινε η δωρεάν λήψη 7 δορυφορικών εικόνων δείκτη NDVI Sentinel-2 του έτους 2019 σε συγκεκριμένες ημερομηνίες λήψης με χαμηλή νεφοκάλυψη από την πλατφόρμα Landviewer (<https://eos.com/landviewer/>). Για την λήψη των εικόνων, ήταν απαραίτητη η δημιουργία λογαριασμού στην πλατφόρμα.

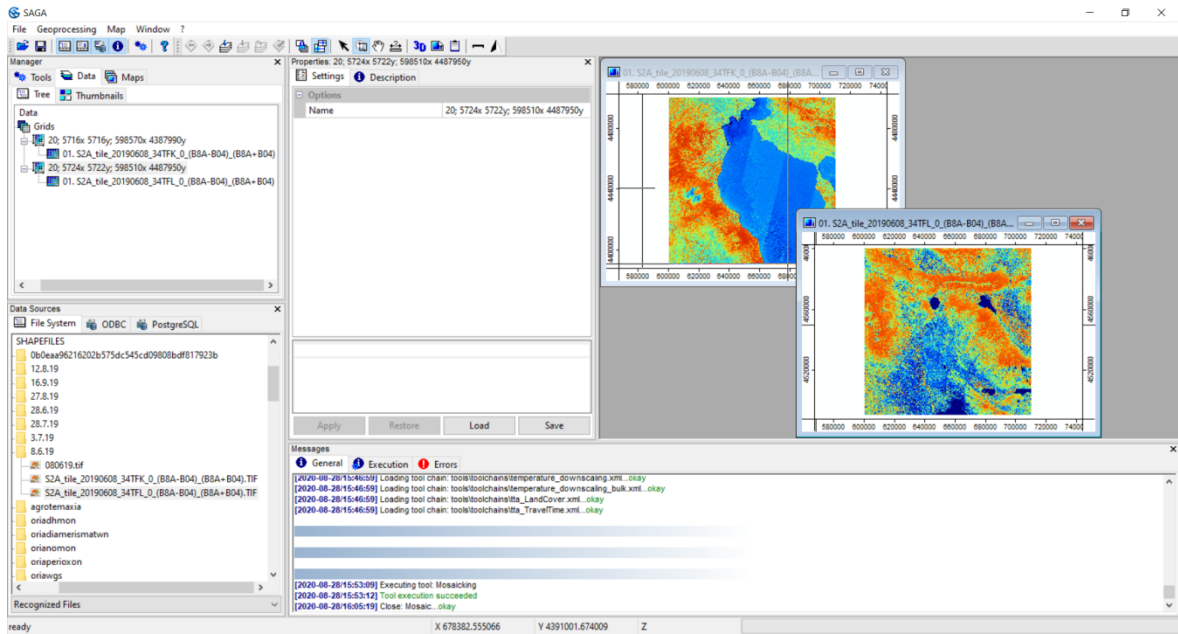
Για την δημιουργία εικόνας NDVI time series, χρησιμοποιήσαμε το Saga GIS.

Όπως αναφέρθηκε στο 5.2., ο δορυφόρος «χωρίζει» την περιοχή της Χαλάστρας σε δύο τμήματα και οι εικόνες που κάναμε λήψη ήταν 2 για κάθε ημερομηνία. Για το λόγο αυτό έπρεπε να τις ενώσουμε ώστε να προκύψει μία εικόνα.

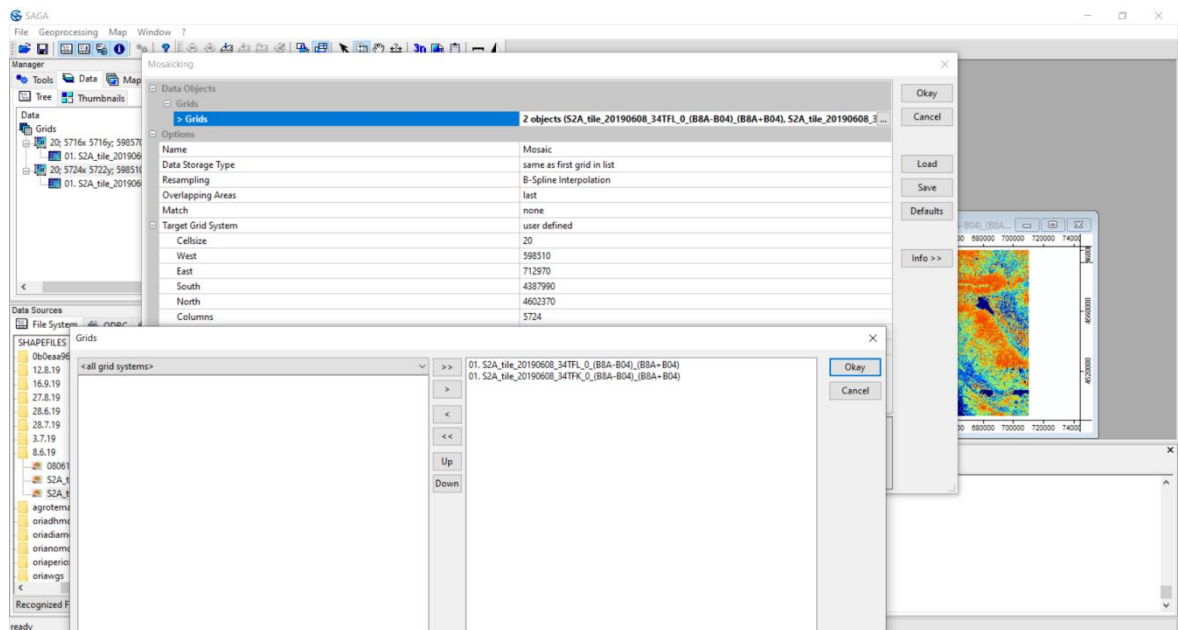
Έτσι, εκκινώντας το Saga GIS, επιλέγουμε **File=>Open** και φορτώνουμε τις δύο εικόνες από κάθε ημερομηνία που έχουμε κατεβάσει. Αριστερά από την καρτέλα **Manager** στην καρτέλα **Data**, ανοίγουμε με διπλό κλικ και τις δύο εικόνες που φορτώσαμε σε δυο διαφορετικά παράθυρα (**εικόνα 5.10.**).

Για να τις ενώσουμε, από το μενού, στην καρτέλα **Geoprocessing** επιλέγουμε **Grid=> Grid System=> Mosaicking**. Στο παράθυρο που ανοίγει, στο πεδίο Grids επιλέγουμε και τις 2 εικόνες και στη συνέχεια πατάμε **okay** και ξανά **okay** (**εικόνα 5.11.**). Τέλος, η εικόνα που δημιουργείται, αποθηκεύεται ως εικόνα μορφής .tif.

Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όσες εικόνες έχουμε κάνει λήψη.

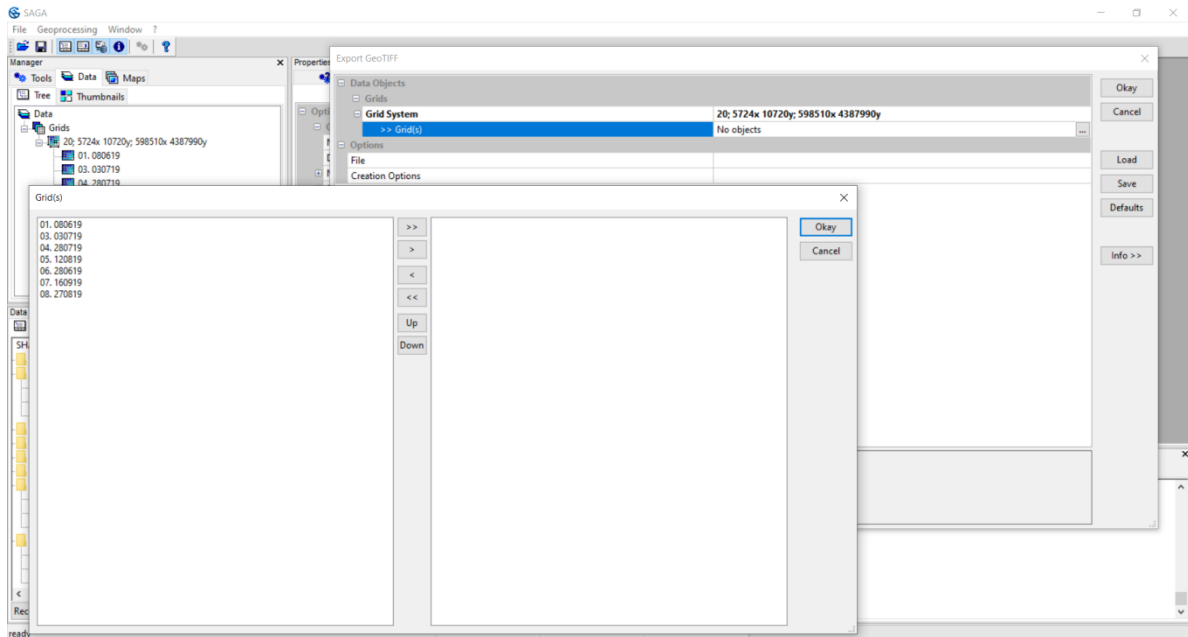


Εικόνα 5.10. Άνοιγμα εικόνων στο Saga GIS.

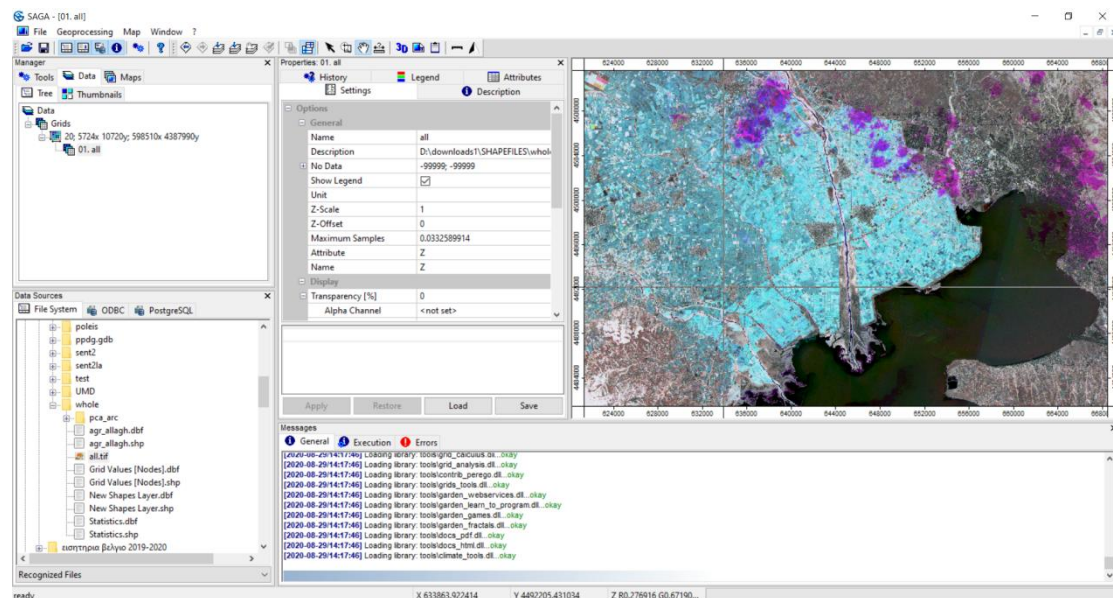


Εικόνα 5.11. Ένωση εικόνων στο Saga GIS.

Για την δημιουργία εικόνας NDVI time series, στο Saga GIS, φορτώνουμε πλέον όλες τις νέες επτά εικόνες που έχουν προκύψει. Στο μενού επιλέγουμε την καρτέλα **Geoprocessing=> File=>Grid=> Export=>Export Geotif**. Στο παράθυρο που ανοίγει, στο πεδίο Grid System επιλέγουμε την επιλογή που μας προτείνει. Στο **Grids** επιλέγουμε όλες τις εικόνες με τη σωστή χρονολογική σειρά και πατάμε **okay**. Στο πεδίο **File** διαλέγουμε το αρχείο και το όνομα που θα αποθηκευτεί η εικόνα και τέλος πατάμε **okay**.



Εικόνα 5.12. Δημιουργία εικόνας NDVI time series στο Saga GIS.

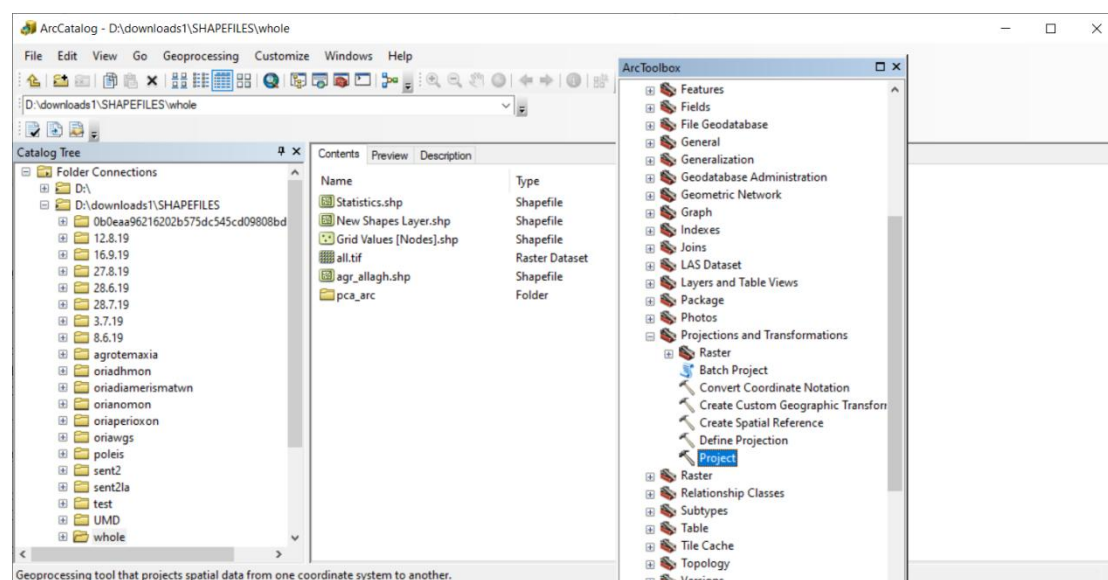


Εικόνα 5.13. Δείγμα εικόνας NDVI time series (8/6/19, 28/6/19/και 3/7/19).

Η παραπάνω εικόνα είναι ένα παράδειγμα εικόνας NDVI time series στην οποία απεικονίζονται οι τρεις ημερομηνίες 8/6/19, 28/6/19 και 3/7/19 αντίστοιχα στα red, green και blue χρωματικά κανάλια. Αλλάζοντας τα κανάλια αυτά, μπορούμε να έχουμε διαφορετικές απεικονίσεις εικόνας NDVI time series σε διαφορετικές ημερομηνίες.


5.7. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΜΠΥΛΗΣ NDVI TIME SERIES

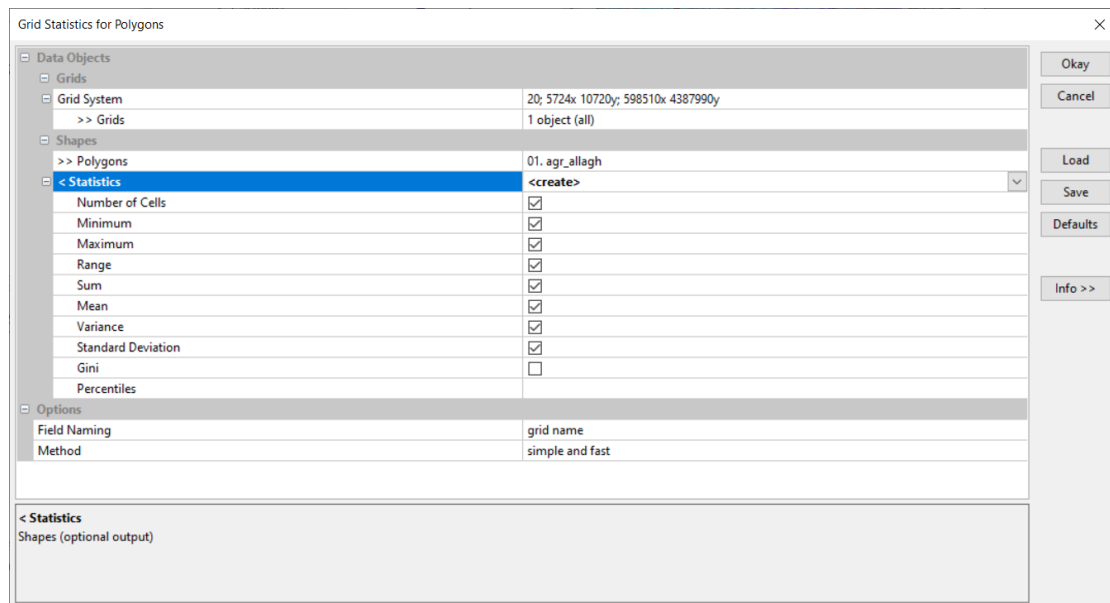
Από την εικόνα NDVI time series που προέκυψε, για να δημιουργηθεί η καμπύλη NDVI time series, πήραμε τις μέσες τιμές NDVI για κάθε χωράφι. Στο Saga GIS, φορτώσαμε την εικόνα NDVI time series. Επιπλέον, έπρεπε να φορτώσουμε και το shapefile με τα αγροτεμάχια. Επειδή το shapefile που είχαμε είχε προβολικό σύστημα το GCS_WGS-1984 ενώ η εικόνα NDVI time series είχε προβολικό σύστημα WGS_1984_UTM_zone_34N, έπρεπε να αλλάξουμε το σύστημα των αγροτεμαχίων σε αυτό της εικόνας. Για την αλλαγή αυτή, χρησιμοποιήσαμε το ArcToolbox. Στο ArcToolbox επιλέγουμε το **Data Management Tools=>Projections and Transformations=>Project**. Στο παράθυρο που ανοίγει, στο πεδίο **Input Dataset** εισάγουμε τα αγροτεμάχια. Στο **Output Coordinate System =>WGS_1984_UTM_zone_34N** και πατάμε **OK**.



Εικόνα 5.14. Αλλαγή προβολικού συστήματος στο ArcToolbox.

Έπειτα φορτώνουμε το νέο shapefile με τα αγροτεμάχια στο ίδιο παράθυρο με την

εικόνα. Στο εικονίδιο **Find and Run Tool**  => **Search for** => **Statistic** => **OK** => **Grids Statistic for Polygons**. Στο παράθυρο που ανοίγει στο πεδίο **Grid System** επιλέγουμε το Grid που θέλουμε. Στο **Grids** διαλέγουμε την εικόνα NDVI time series και πατάμε **OK**. Στο **Polygons** διαλέγουμε το shapefile με τα αγροτεμάχια στη συγκεκριμένη περίπτωση και στο **Statistics**=> **Create** και τέλος πατάμε **OK**.



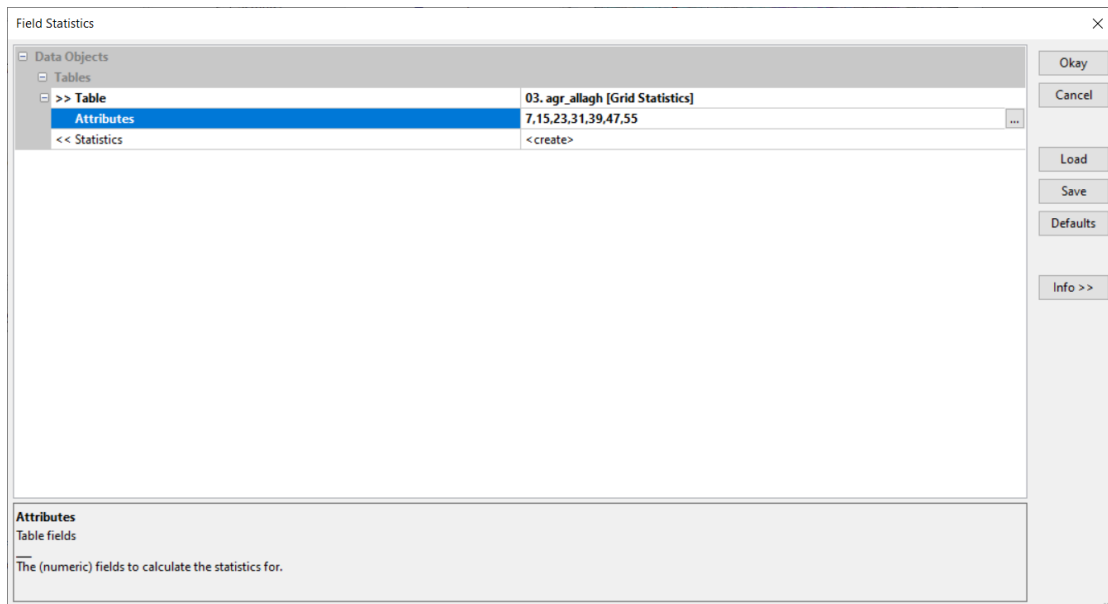
Εικόνα 5.15. Παράθυρο Grid Statistics for Polygons.

Στη συνέχεια θα εμφανιστεί ένα νέο αρχείο (Grid Statistics) αριστερά στο Manager Data το οποίο ανοίγουμε σε ένα νέο παράθυρο. Πατάμε σε ένα τυχαίο αγροτεμάχιο και αριστερά στην καρτέλα Attributes εμφανίζονται τα στατιστικά από τις 7 διαφορετικές εικόνες NDVI.

Για να δούμε τα στατιστικά όλης της περιοχής, πάλι από το εικονίδιο **Find and Run**

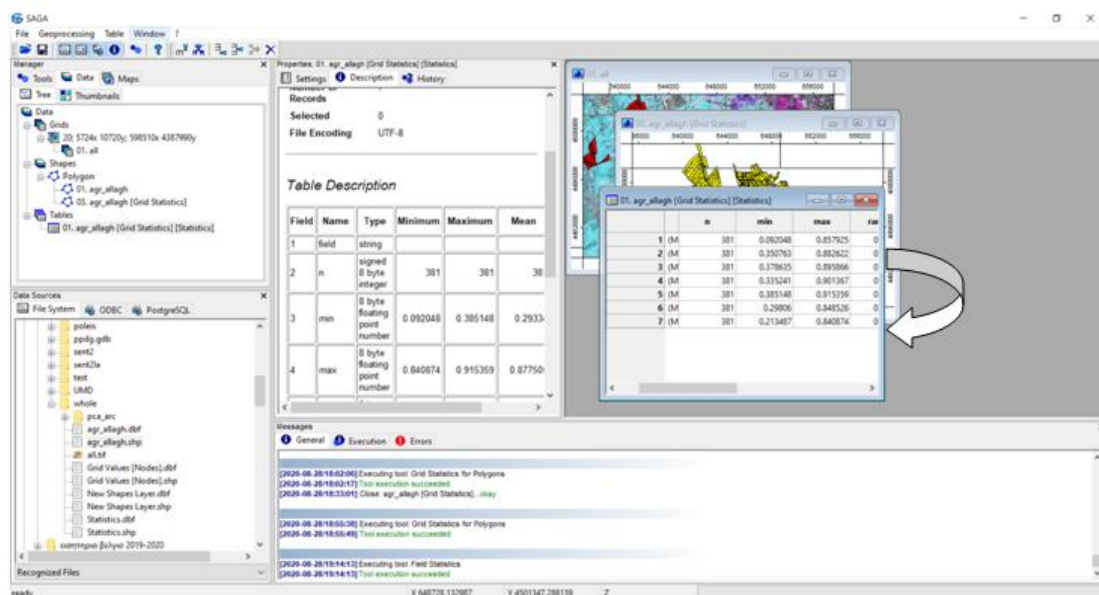
Tool  => **Search for** => **Statistic** => **OK** => **Field Statistic**.

Στο παράθυρο που ανοίγει στο πεδίο **Table** επιλέγουμε αυτό που θέλουμε, στο **Attributes** διαλέγουμε όλα τα **Mean 1,2,3,4,5,6,7** και στο **Statistics**=>**Create** και τέλος **OK**.



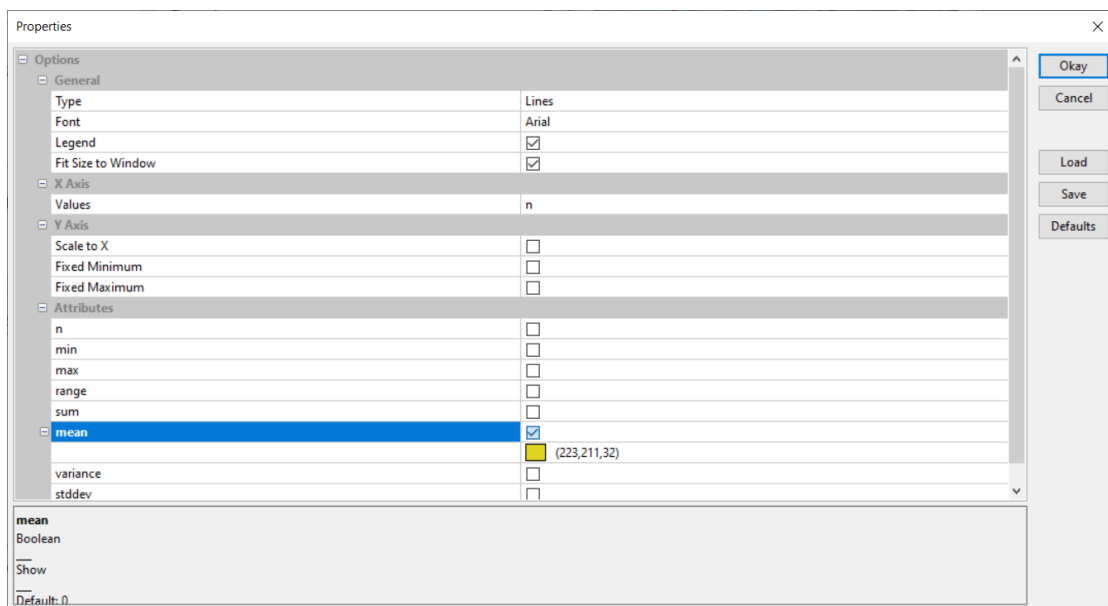
Εικόνα 5.16. Διαδικασία για την μελέτη στατιστικών όλης της περιοχής.

Στ' αριστερά, εμφανίζεται ένα νέο αρχείο, το οποίο όταν ανοίξουμε εμφανίζει τις μέσες τιμές του NDVI.

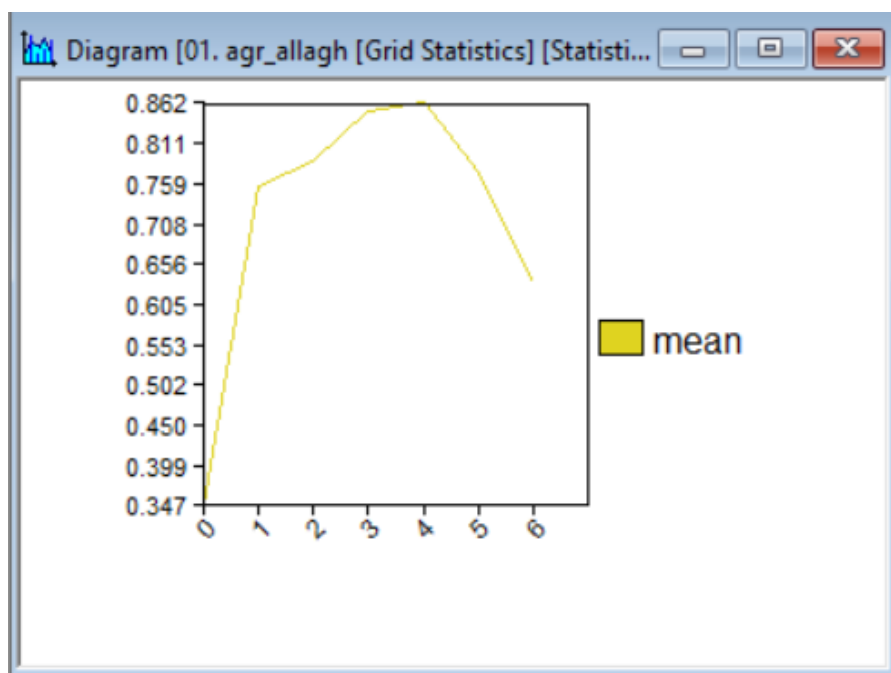


Εικόνα 5.17. Πίνακας με τις μέσες τιμές NDVI για την περιοχή μελέτης.

Για την καμπύλη NDVI time series, κάνουμε δεξί κλικ στο αρχείο αυτό και στη συνέχεια πατάμε **Diagram**. Στο παράθυρο που ανοίγει, στο **Values** επιλέγουμε **n** και στα **Attributes=> Mean**. Τέλος πατάμε **OK**.



Εικόνα 5.18. Δημιουργία καμπύλης NDVI time series.




Εικόνα 5.19. Καμπύλη NDVI time series.

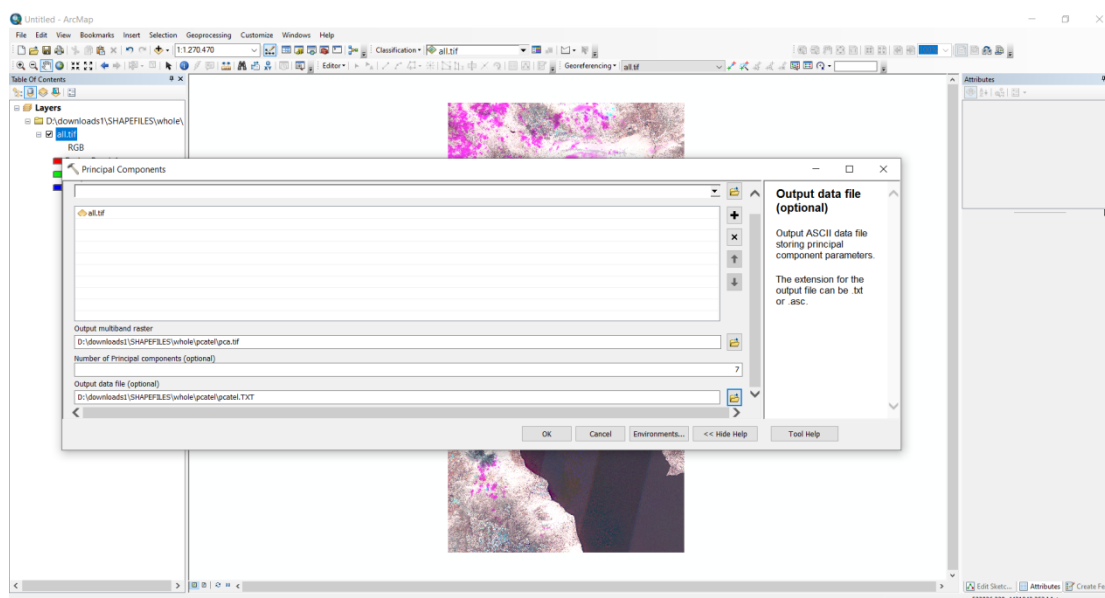
Η παραπάνω καμπύλη NDVI, αφορά όλα τα αγροτεμάχια της περιοχής που μελετάται και δείχνει τις μέσες τιμές NDVI όλων των αγροτεμαχίων της Χαλάστρας. Στον οριζόντιο άξονα οι τιμές 0,1,2,3,4,5 και 6 αντιστοιχούν στις ημερομηνίες λήψης των

δορυφορικών εικόνων (8/6/19, 28/6/19, 3/7/19, 28/7/19, 12/8/19, 27/8/19 και 16/9/19).

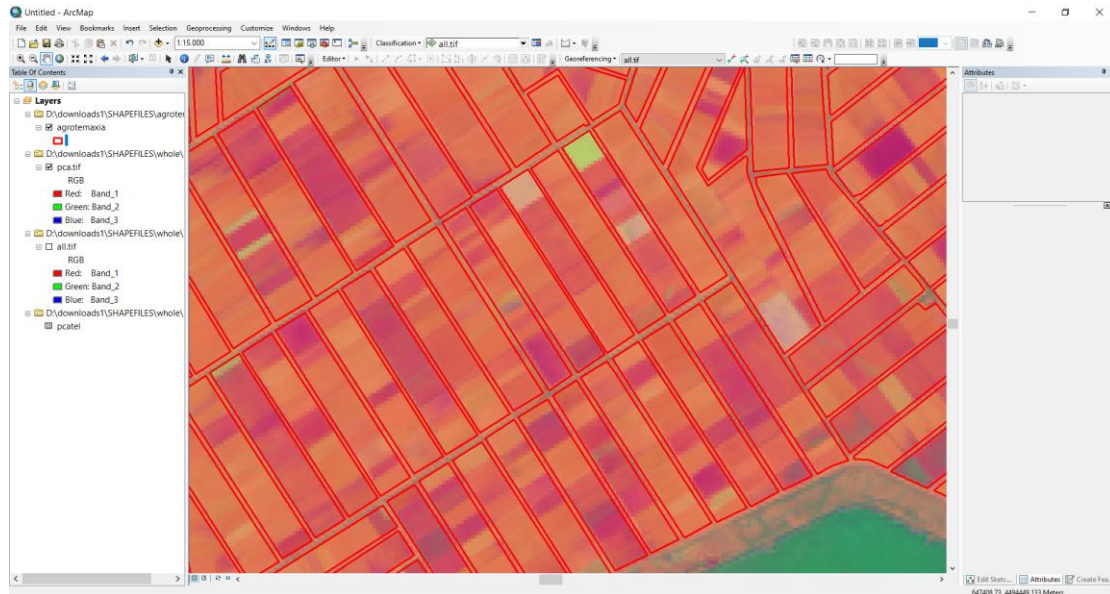
Συνεπώς η περίοδος συγκομιδής και οι μεταβάσεις ως την περίοδο αυτή είναι δυνατό να αξιολογηθούν με τον NDVI και οι αγρότες θα μπορούν να χρησιμοποιήσουν τον δείκτη αυτό παράλληλα με την επιτόπια αξιολόγηση. Ωστόσο, απαραίτητη προϋπόθεση αποτελεί η εκπαίδευση των αγροτών στη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων.

5.8. ΕΦΑΡΜΟΓΗ PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS (PCA)

Για την ανάλυση κυρίων συνιστωσών (Principal Component Analysis), χρησιμοποιήθηκε το ArcMap. Η PCA εφαρμόστηκε στην εικόνα NDVI time series. Αρχικά, εκκινούμε το πρόγραμμα και φορτώνουμε την εικόνα μέσω του εικονιδίου **Add Data** . Στη συνέχεια, κάνουμε δεξί κλικ στη γραμμή εργαλείων και επιλέγουμε το **“image classification”**. Στη μπάρα που θα εμφανιστεί, στην επιλογή **Classification** επιλέγουμε **Principal Components**. Στο νέο παράθυρο που μας εμφανίζει, στο πεδίο **Input raster bands** διαλέγουμε την εικόνα μας. Στο πεδίο **Output multiband raster** ορίζουμε το μέρος που θα αποθηκευτεί η νέα εικόνα καθώς και το όνομά της με κατάληξη **.tif**. Στο επόμενο πεδίο, **Number of Principal components (optional)** ορίζουμε τον αριθμό των διαφορετικών επιπέδων της εικόνας και συγκεκριμένα εδώ τον αριθμό 7. Στο πεδίο **Output data file (optional)** ορίζουμε το όνομα του πίνακα με τα αποτελέσματα της PCA που θα προκύψουν. Τέλος πατάμε **OK**.



Εικόνα 5.20. Principal Component Analysis.



Εικόνα 5.21. Δείγμα ανάλυσης PCA σε τυχαία αγροτεμάχια της περιοχής μελέτης.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την ανάλυση των κυρίων συνιστωσών (PCA). Στον πίνακα αυτόν απεικονίζονται οι τιμές συνδιακύμανσης (covariance) μεταξύ των διαφορετικών εικόνων NDVI time series. Οι τιμές του πίνακα covariance μας δείχνουν το βαθμό με τον οποίο δύο διαφορετικές τυχαίες μεταβλητές αλλάζουν σε σχέση μεταξύ τους. Από τις τιμές αυτές καταλαβαίνουμε ότι η μεταβλητότητα των επτά διαφορετικών ndvi εικόνων, είναι μικρή.

Επιπλέον φαίνεται ο πίνακας συσχέτισης (correlation matrix). Αυτός, δείχνει το βαθμό εξάρτησης των διαφορετικών μεταβλητών, στη συγκεκριμένη περίπτωση των τιμών του δείκτη NDVI. Από τις τιμές του πίνακα, καταλαβαίνουμε ότι ο βαθμός συσχέτισης όλων των εικόνων μεταξύ τους είναι αρκετά υψηλός, άνω του 80%. Το γεγονός αυτό, μας δείχνει ότι η ανάλυση κύριων συνιστωσών ήταν ιδιαίτερη ωφέλιμη για την παρούσα μελέτη.

Τέλος, βασικό στοιχείο των αποτελεσμάτων του πίνακα της ανάλυσης PCA για την συγκεκριμένη εργασία, είναι ο πίνακας percent and accumulative eigenvalues. Ο πίνακας αυτός, μας δείχνει το μέγεθος της πληροφορίας που εμπεριέχεται στις νέες εικόνες που προέκυψαν από την ανάλυση κύριων συνιστωσών. Εδώ βλέπουμε ότι η μέγιστη πληροφορία σε βαθμό 89% εμπεριέχεται στην πρώτη Principal Component image.

Αρχείο Επεξεργασία Μορφή Προβολή Βοήθεια

```
# Data file produced by PRINCOMP
# Input raster(s):
#   d:\downloads1\shapefiles\whole\all.tif
# The number of components =7
# Output raster(s) =_1000001

#
# COVARIANCE MATRIX
#
# Layer      1      2      3      4      5      6      7
#-----
# 1      0,09594    0,08196    0,09430    0,08283    0,09408    0,08237    0,09317
# 2      0,08196    0,09779    0,08965    0,08053    0,09131    0,08198    0,08759
# 3      0,09430    0,08965    0,10615    0,09427    0,10786    0,09297    0,10307
# 4      0,08283    0,08053    0,09427    0,09834    0,10085    0,08882    0,09673
# 5      0,09408    0,09131    0,10786    0,10085    0,12300    0,10425    0,11340
# 6      0,08237    0,08198    0,09297    0,08882    0,10425    0,11167    0,10112
# 7      0,09317    0,08759    0,10307    0,09673    0,11340    0,10112    0,11771
# =====

#
# CORRELATION MATRIX
#
# Layer      1      2      3      4      5      6      7
#-----
# 1      1,00000    0,84622    0,93446    0,85269    0,86601    0,79579    0,87669
# 2      0,84622    1,00000    0,88000    0,82117    0,83263    0,78457    0,81646
# 3      0,93446    0,88000    1,00000    0,92271    0,94396    0,85392    0,92204
# 4      0,85269    0,82117    0,92271    1,00000    0,91694    0,84758    0,89906
# 5      0,86601    0,83263    0,94396    0,91694    1,00000    0,88949    0,94247
# 6      0,79579    0,78457    0,85392    0,84758    0,88949    1,00000    0,88196
# 7      0,87669    0,81646    0,92204    0,89906    0,94247    0,88196    1,00000
# =====

#
# EIGENVALUES AND EIGENVECTORS
# Number of Input Layers      Number of Principal Component Layers
#           7                   7
# PC Layer      1      2      3      4      5      6      7
#-----
# Eigenvalues
#           0,67091    0,02755    0,01854    0,01317    0,01005    0,00705    0,00334
# Eigenvectors
# Input Layer
# 1      0,35195    0,41365    0,29116    -0,63086    0,29087    -0,04049    0,36881
# 2      0,34350    0,59690    -0,63432    0,24280    -0,21567    -0,10946    0,07689
# 3      0,38848    0,19495    0,20200    -0,01146    0,08556    0,35814    -0,79660
# 4      0,36264    -0,07479    0,24358    0,61798    0,55460    -0,31130    0,13103
# 5      0,41564    -0,22025    0,16351    0,21020    -0,35686    0,62807    0,43127
# 6      0,37475    -0,57159    -0,57406    -0,31997    0,31217    0,02277    -0,05433
# 7      0,40315    -0,23189    0,23758    -0,12027    -0,57374    -0,60516    -0,13186
# =====

#
# PERCENT AND ACCUMULATIVE EIGENVALUES
# PC Layer      EigenValue      Percent of EigenValues      Accumulative of EigenValues
# 1      0,67091      89,3831      89,3831
# 2      0,02755      3,6700      93,0531
# 3      0,01854      2,4700      95,5231
# 4      0,01317      1,7544      97,2775
# 5      0,01005      1,3387      98,6162
# 6      0,00705      0,9395      99,5556
# 7      0,00334      0,4444      100,0000
# =====
```

Εικόνα 5.22. Πίνακας στατιστικών αποτελεσμάτων ανάλυσης κυρίων συνιστωσών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η δυνατότητα παρακολούθησης της γης από το διάστημα συνιστά ένα βασικό βοήθημα για να μελετηθεί το φυσικό περιβάλλον, να κατανοηθεί το παγκόσμιο κλίμα και να ενισχυθούν αναπτυξιακά και παραγωγικά διάφορες δραστηριότητες σε μια περιοχή.

Η τηλεπισκόπηση βρίσκει εφαρμογή σε ποικίλους επιστημονικούς κλάδους και χρησιμοποιείται από γεωπόνους με στόχο την ορθολογική αξιοποίηση των γεωργικών εκμεταλλεύσεων. Εφαρμόστηκε για πρώτη φορά το 1929 και αφορούσε τη χαρτογράφηση εδαφών με τη βοήθεια αεροφωτογραφιών. Η χρήση της τηλεπισκόπησης αφορά και την αναγνώριση των τύπων διαφόρων καλλιεργειών και την εκτίμηση της κατάστασής τους. Μέσω της διαρκούς παρακολούθησης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων σε περιόδους βλάστησης, δίνεται η ευκαιρία στους παραγωγούς να εκτιμήσουν την παραγωγή. Επιπλέον, υπάρχει η δυνατότητα να βρεθούν καλλιέργειες που έχουν προσβληθεί από διάφορες ασθένειες, ενώ γρήγορη και αποτελεσματική είναι η μελέτη της επίδρασης των φυτοφαρμάκων στις καλλιέργειες.

Τα οφέλη της τηλεπισκόπησης στη γεωργία είναι αρκετά. Βασικό πλεονέκτημα, αποτελούν τα δεδομένα τα οποία έχουν χαμηλό κόστος αναλογικά με την ποσότητα των αποτελεσμάτων που μπορούν να παρθούν καθώς και η δυνατότητα γρήγορης λήψης δεδομένων όλο το έτος. Επιπλέον, ένα ακόμη πλεονέκτημα της χρήσης της τηλεπισκόπησης, αποτελεί η δυνατότητα να μελετηθεί μια περιοχή χωρίς να χρειάζεται να την επισκεφθεί ο επιστήμονας, κάτι το οποίο θα απαιτούσε πολύ παραπάνω χρόνο και χρήμα.

Παρόλα αυτά, η χρήση αυτής της μεθόδου μειονεκτεί ως προς την ποιότητα που θα έχουν τα δεδομένα, αφού αυτή εξαρτάται από τις συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον όπως σκόνη, σύννεφα, φως. Ακόμη, η επεξεργασία που υφίστανται τα δεδομένα, απαιτεί από το χρήστη να διαθέτει γνώσεις ηλεκτρονικού υπολογιστή αλλά και ποικίλων λογισμικών.

Τα **Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)** αποτελούν πλέον ένα πολύ διαδεδομένο εργαλείο διαχείρισης χωρικής πληροφορίας. Υπό την στενή έννοια τα GIS αποτελούν ψηφιακά συστήματα που μπορούν να αποθηκεύουν, να αναλύουν και να συσχετίζουν παντός είδους χωρικά δεδομένα με περιγραφικές ιδιότητες. Οι

εφαρμογές των GIS είναι πάρα πολλές και ουσιαστικά αφορούν σε όλες τις δραστηριότητες που εμπλέκουν χωρικές πληροφορίες. Ενδεικτικά, αναφέρεται η χρήση τους για χαρτογραφικούς σκοπούς, για ανάπτυξη βάσεων δεδομένων, για μοντελοποίηση και σχεδιασμό δικτύων κοινής ωφέλειας, για εκπόνηση αναδασμών, ανάπτυξη μοντέλων φυσικού κινδύνου και λήψης απόφασης.

Στην παρούσα εργασία, δημιουργήθηκε ένας ψηφιακός χάρτης των αγροτεμαχίων των ορυζοκαλλιεργειών της ευρύτερης περιοχής της Χαλάστρας. Σε συνδυασμό με αυτό, αναλύθηκαν και μελετήθηκαν οι τηλεπισκοπικές μέθοδοι και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Από την ανάλυση αυτή, ήταν δυνατή η ανάδειξη των δυνατοτήτων που μπορούν να προσφέρουν οι μέθοδοι και τα συστήματα αυτά. Στα πλαίσια της εργασίας, έγινε χαρτογράφηση των αγροτεμαχίων της περιοχής της Χαλάστρας και στη συνέχεια με τη λήψη εικόνων δείκτη NDVI και τη δημιουργία εικόνας NDVI time series προέκυψε η καμπύλη δείκτη NDVI για το διάστημα των μηνών Ιουνίου-Σεπτέμβρη. Από την καμπύλη NDVI time series, διαπιστώθηκε ότι είναι δυνατή η αξιολόγηση της περιόδου συγκομιδής και των μεταβάσεων μέχρι την περίοδο αυτή με τη χρήση του δείκτη NDVI. Συνεπώς, οι αγρότες θα μπορούν να κάνουν χρήση του δείκτη NDVI σε συνδυασμό με τον επιτόπιο έλεγχο αλλά αυτό προϋποθέτει την εκπαίδευσή τους στη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών.

Η μελέτη αυτή, μπορεί να λειτουργήσει ως οδηγός (tutorial) για τους αγρότες της περιοχής αλλά και για τους σύμβουλους γεωπόνους ώστε να έχουν μια πιο σαφή εικόνα για την εξέλιξη της καλλιέργειάς τους. Σε συνδυασμό με άλλα τηλεπισκοπικά εργαλεία όπως τα drones, επιτόπια έρευνα που περιλαμβάνει δειγματοληψία εδάφους και τα κατάλληλα λογισμικά θα μπορούν να βελτιώσουν την απόδοση των καλλιεργειών τους, αυξάνοντας το εισόδημά τους και μειώνοντας το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα. Η εργασία αυτή, στηρίχτηκε μόνο σε δορυφορικά δεδομένα χωρίς να γίνουν δειγματοληψίες εδάφους για έλεγχο συγκέντρωσης ιχνοστοιχείων. Σημαντικό είναι ότι η μεθοδολογία της παρούσας πτυχιακής μπορεί να εφαρμοστεί και σε μεμονωμένα αγροτεμάχια με σκοπό την ορθή διαχείρισή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική βιβλιογραφία

1. Αλαμάνου (2008), *Η διακύμανση της μικροβιακής δραστηριότητας σε ορυζώνες κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου*. Μεταπτυχιακή εργασία, Γεωπονική Σχολή, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
2. Αργιαλάς Δ. (1999). *Φωτοερμηνεία- Τηλεπισκόπηση*. Ε.Μ.Π., Αθήνα.
3. Αστάρας Θ., Οικονομίδης Δ. & Μουρατίδης Α. (2011), *Ψηφιακή χαρτογραφία και γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών*. Θεσσαλονίκη, Εκδόσεις: Δίσιγμα.
4. Ασχονίτης Β. (2012). *Μαθηματική διερεύνηση εξατμισοδιαπνοής, φυσικών ιδιοτήτων εδάφους και ισοζυγίου νερού, αζώτου και φωσφόρου στο περιβάλλον αρδευόμενων ορυζώνων*. Διδακτορική διατριβή, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη.
5. Βλάχος Δ. (2015). *Βασικά Στοιχεία Ηλεκτρομαγνητισμού*. Ε.Μ.Π., Αθήνα.
6. Γραβρά Ε. (2017). *Χαλάστρα και η ευρύτερη περιοχή Ιστορικό, πολιτιστικό και οικιστικό απόθεμα*. Αθήνα: Εκδόσεις Πανεπιστημίου Μακεδονίας.
7. Ελληνική Κοινότητα Δασολόγων <https://www.dasodata.gr/index.php/el/>.
8. ΕΛΣΤΑΤ (2000), *Ετήσια Γεωργική Έρευνα: Ποσοστά παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια*. Πειραιάς: Ελληνική Στατιστική Αρχή.
9. ΕΛΣΤΑΤ (2010), *Ετήσια Γεωργική Έρευνα: Ποσοστά παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια*. Πειραιάς: Ελληνική Στατιστική Αρχή.
10. ΕΛΣΤΑΤ (2018), *Ετήσια Γεωργική Έρευνα: Ποσοστά παραγωγής ρυζιού ανά περιφέρεια*. Πειραιάς: Ελληνική Στατιστική Αρχή.
11. Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Δέλτα (2014-2019), *Α' Φάση: Στρατηγικός Σχεδιασμός*. Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/kmuxsz> .
12. Ευελπίδου Ν. & Κοτίνας Β. (2015), *Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Σημειώσεις Εργαστηρίου)*. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.
13. Καλλιτσάρη Χ. (2014), *Μεταβολή ιδιοτήτων ενός πηλώδους εδάφους μετά από κατάκλυση και ορυζοκαλλιέργεια*. Μεταπτυχιακή διατριβή, Σχολή Γεωπονίας Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
14. Καπαγερίδης Ι. (2006), *Εισαγωγή στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών*. Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας.

15. Κυπριάδου Α. (2015), *Σχεδίαση και υλοποίηση ενός γεωγραφικού συστήματος σε περιβάλλον Arc Gis*. Διπλωματική εργασία, Σχολή Διοίκησης και Οικονομίας, Τ.Ε.Ι. Καβάλας.
16. Λαζαρίνα Μ. (2007), *Πρότυπα πληθυσμιακής αύξησης κουνουπιών σε ορυζώνες του Νομού Θεσσαλονίκης*. Μεταπτυχιακή εργασία, Τμήμα Βιολογίας, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
17. Μαστρογιάννης Δ., (2015). *Εκτίμηση ζημιών σε γεωργικές καλλιέργειες με τηλεπισκόπηση για κατανομή αποξημιώσεων από τον Ε.Λ.Γ.Α*. Μεταπτυχιακή εργασία Ε.Μ.Π., Αθήνα.
18. Παπαστυλιανού Π., Μπιλάλης Δ., Τραυλός Η. & Παπαθεοχάρη Α. (2015), *Ειδική Γεωργία Ι, Εαρινά σιτηρά-βιομηχανικά-ελαιούχα φυτά και εαρινά ζιζάνια*. Ε.Μ.Π., Αθήνα.
19. Παρχαρίδης Ι. (2015). *Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπησης Θεωρία και Εφαρμογές*. Ε.Μ.Π., Αθήνα.
20. Περάκης Κ., Φαρασλής Ι. & Μουσιάδης Α., (2015). *Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες*. Ε.Μ.Π., Αθήνα.
21. Πέρρος Ν. (2019). *Χωρική ανάλυση αγρονομικών και τηλεπισκοπικών (UAS) δεδομένων για την πρόβλεψη παραγωγής καλλιέργειας ρυζιού* Μεταπτυχιακή εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
22. Ποϊζαρίδης Κ., Βούλγαρης Μ., Κεφαλάς Γ. & Λορίλια Σ. (2013). *Βασικές Αρχές της Τηλεπισκόπησης*. ΑΤΕΙ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ.
23. Πυριόχος Χ. (2019), *Εφαρμογή συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών στην διαχείριση χωρικών δεδομένων του γεωργικού τομέα της Ηλείας*. Διπλωματική εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Πατρών.
24. Ρόκος Δ. (2000). *Φωτοερμηνεία και Τηλεπισκόπηση*. Ε.Μ.Π., Αθήνα.
25. Τσαντής, Σ. (2015). *Βασικές αρχές κυμάτων*. Στο Τσαντής, Σ. (2015). *Αρχές φυσικής και τεχνολογίας της διαγνωστικής υπερηχογραφίας*, Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.
26. Τσοχατζής Ε. (2012), *Ανάπτυξη αναλυτικών μεθόδων για τον προσδιορισμό υπολειμμάτων γεωργικών φαρμάκων που χρησιμοποιούνται στην ορυζοκαλλιέργεια. Εφαρμογή και αξιολόγηση της περιβαλλοντικής τους τύχης*. Διδακτορική διατριβή, Τμήμα Χημικών Μηχανικών, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.

27. Φανουρίου Ε. (2012). *Διερεύνηση διαχρονικής χρήσης γης σε συγκεκριμένη έκταση της κοινότητας Μάνεση του Δήμου Ναυπλίου*. Μεταπτυχιακή εργασία, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο, Αθήνα.
28. Φούντας Σ. & Γέμτος Θ. (2015). *Γεωργία Ακριβείας*. Ε.Μ.Π., Αθήνα.

Ξενογλώσση βιβλιογραφία

1. Avery, T. E., & Berlin, G. L. (1992). *Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation* (5th edition). New York: Mc Millan Publishing Company.
2. Bellón B., Bégué A., Lo Seen D., Almeida C. & Simões M. (2017). *A Remote Sensing Approach for Regional-Scale Mapping of Agricultural Land-Use Systems Based on NDVI Time Series*. *Remote Sens.* 2017, 9(6), 600; <https://doi.org/10.3390/rs9060600>.
3. Brase T. A. (2009). *Precision Agriculture*. Αθήνα: Εκδόσεις Έμβρυο
4. Chatainger J. (1994). *The rice situation in the South and East Mediterranean Cahiers Options Méditerranéennes 15, pp.11-12*
5. Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Böhner, J. (2015): *System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015*.
6. Dash, J. and Curran, P. J., (2007). *Evaluation of the MERIS terrestrial chlorophyll index (MTCI)*. *Advances in Space Research* 39.1, 100-104.
7. Gupta R. V. (2003). *Remote Sensing Geology*. (2nd edition). New York, Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
8. Hatfield, P. L. and Pinter, P. J., (1993). *Remote sensing for crop protection*. *Crop Protection* 12.6, 403-413.
9. Hickman, G. and Daniel, et al., (1991). *Aircraft laser sensing of sound velocity in water: Brillouin scattering*. *Remote sensing of environment* 36.3, 165-178.
10. Jurgens, C., (1997). *The Modified Normalized Difference Vegetation Index (mNDVI)—a new index in determining frost damages in agriculture based on Landsat TM data*. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 3583–3594.

11. Jurgens, C., and Fander, M., (1993). *Soil erosion assessment and simulation by means of SGEOS and ancillary digital data*. International Journal of Remote Sensing, 14,2847–2855.
12. Levin N. (1999). *Fundamentals of Remote Sensing. 1st Hydrographic Data Management Course, IMO—International Maritime Academy* .
13. Lillesand T.M., Kiefer R. W. & Chipman J. (2015) *Remote Sensing and Image Interpretation*. (7th edition, p.1) UK: Wiley.
14. Marathon Data Systems (2016). *ArcGIS for Desktop 10.x* . Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/mmuxsz>
15. Mather M.P. & Koch M. (2010). *Computer Processing of Remotely-Sensed Images*. (4th edition, p. 292). UK: J. Wiley & Sons.
16. MED-RICE (2003). *Guidance document for environmental risk assessments of active substances used on rice in the EU for annex I inclusion*. Διαθέσιμο από: <http://tiny.cc/vzrxsz>.
17. Rouse, J.W. Jr., Haas, R.H., Deering, D.W., Schell, J.A. and Harlan, J.C. (1974). *Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation.*, NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD.
18. Tucker C. J. (1979). *Red and Photographic Infrared linear Combinations for Monitoring Vegetation. Remote Sensing of Environment*, 8, p. 127-150.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ - ΒΑΣΕΙΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

1. <https://www.irri.org/> Διεθνές Ινστιτούτο Έρευνας Ρυζιού
2. <http://ricepedia.org/> Ricepedia
3. <http://tiny.cc/zrxsz> SEOS
4. <https://www.esa.int/> ESA
5. <https://www.nasa.gov/> NASA
6. <http://tiny.cc/pmuxsz> Δήμος Δέλτα-Πληροφορίες
7. <https://eos.com/landviewer> Πλατφόρμα λήψης δορυφορικών εικόνων δείκτη NDVI
8. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover> Βάση δεδομένων Corine Land Cover (CLC)

9. <https://www.statistics.gr/> ΕΛΣΤΑΤ: Ετήσια Γεωργική Έρευνα: Εκτάσεις και παραγωγή ρυζιού
10. <https://www.copernicus.eu/> ΚΟΠΕΡΝΙΚΟΣ
11. <https://emergency.copernicus.eu/> ΚΟΠΕΡΝΙΚΟΣ
12. <https://earth.esa.int/web/guest/earth-topics/agriculture>
13. <http://tiny.cc/c0sxsz>
14. <http://ieassa.org/en/satellites-as-a-bridge-to-new-agronomic-era/>