



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΠΜΣ: ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

---

## “Εκτίμηση Βιομάζας με Δορυφορικές Εικόνες και Χρήση Μηχανικής Μάθησης”

---

*"Estimation of Biomass Using Remote Sensing  
and Machine Learning"*

**Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία**  
**Χριστίνα Ευσταθία Κομηνού (Α.Μ 1608)**

Επιβλέπων :

Εμμανουήλ Οικονόμου, Αναπληρωτή Καθηγητής

*Επιτροπή αξιολόγησης*

*Λάζαρος Γραμματικόπουλος,*  
*Αναπληρωτής Καθηγητής*

*Αναστάσιος Α. Κεσίδης ,*  
*Καθηγητής*

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Χριστίνα Ευσταθία Κομνηνού, με αριθμό μητρώου 1608 φοιτήτρια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Γεωχωρικές Τεχνολογίες» του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι:

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

Η Δηλούσα

*X. Κομνηνού*

## Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην ανάλυση της διαθέσιμης βιομάζας σε αγροτικές καλλιέργειες, με ιδιαίτερη έμφαση στις καλλιέργειες καλαμποκιού, βαμβακιού, κριθαριού και σιτηρών, αξιοποιώντας δορυφορικά δεδομένα και τεχνικές Τηλεπισκόπησης. Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στην περιοχή της Καρδίτσας, λόγω της έλλειψης άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της σημαντικής έκτασης των διαθέσιμων αγροτικών εκτάσεων. Η μελέτη καλύπτει την περίοδο από το 2018 έως το 2022, και εστιάζει στη διαθεσιμότητα βιομάζας μέσω απομακρυσμένης καταγραφής και κατηγοριοποίησης των καλλιεργειών, με τη χρήση δειγματοληπτικών μεθόδων.

Για τον προσδιορισμό των καλλιεργητικών εκτάσεων, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον δορυφόρο **SatIm2A**, με ανάλυση 10x10 μέτρων, βασιζόμενοι στα φασματικά προφίλ των καλλιεργειών. Οι τεχνικές Τηλεπισκόπησης επέτρεψαν την προσαρμογή των δεδομένων στις απαραίτητες χωρικές αναλύσεις, διευκολύνοντας έτσι τον υπολογισμό της διαθέσιμης βιομάζας. Αυτό περιλάμβανε τη σύντηξη δεδομένων και την απομόνωση της περιοχής μελέτης. Η κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών έγινε με βάση τα φασματικά τους προφίλ και πανοραμικές εικόνες, ενώ η εφαρμογή μάσκας για την απομόνωση της περιοχής μελέτης και η αφαίρεση των υδάτινων επιφανειών συνέβαλαν σημαντικά στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Επιπλέον, εφαρμόστηκαν υπολογισμοί φασματικών δεικτών, όπως οι δείκτες βλάστησης και υγρασίας, για να αναλυθεί η κατάσταση των καλλιεργειών σε βάθος χρόνου. Οι δείκτες βλάστησης επιβεβαίωσαν τα στατιστικά δεδομένα, δείχνοντας μια ανάλογη μείωση της βλάστησης στις καλλιεργητικές εκτάσεις. Σημαντικές κρίθηκαν και οι τιμές του Κανονικοποιημένου Δείκτη Διαφοράς Υγρασίας (NDMI) σε σχέση με τους χάρτες κατηγοριοποίησης, ώστε να υπολογιστούν τα ποσοστά υγρασίας ανά καλλιέργεια ετησίως και να εκτιμηθεί η καθαρή βιομάζα ανά στρέμμα. Τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών εφαρμόστηκαν στα δεδομένα κάθε έτους για την πενταετή εκτίμηση της διαθέσιμης βιομάζας. Τα ευρήματα έδειξαν μια σταδιακή μείωση της διαθέσιμης βιομάζας στην περιοχή μελέτης, γεγονός που συνδέεται με τις κλιματικές καταστροφές και την πανδημία COVID-19.

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Περιεχόμενα .....	4
Εισαγωγή .....	7
<b>Κεφάλαιο 1: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)</b> .....	9
1.1 Εισαγωγή .....	9
1.2 Κύριες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	12
1.2.1 Ηλιακή Ενέργεια.....	12
1.2.2 Αιολική Ενέργεια.....	13
1.2.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια .....	14
1.2.4 Γεωθερμική Ενέργεια .....	15
1.2.5 Ενέργεια από Βιομάζα .....	16
<b>Κεφάλαιο 2. Τηλεπισκόπηση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ)</b> .....	19
2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2 Ιστορική εξέλιξη Τηλεπισκόπησης και δορυφορικών συστημάτων .....	20
2.3.Τηλεπισκόπηση και ηλεκτρομαγνητική ενέργεια.....	23
2.4. Κατηγοριοποίηση και χαρακτηριστικά δορυφορικών αισθητήρων .....	26
2.5. Τεχνικές Σύντηξης δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων (DATA FUSION) .....	29
2.6 Μέθοδοι Σύντηξης δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων.....	31
2.7. Μέθοδος της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (PCA).....	34
<b>Κεφάλαιο 3. Εφαρμογή Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)</b> .....	36
3.1 Εισαγωγή .....	36
3.2 Εφαρμογή Τηλεπισκόπησης στις ΑΠΕ.....	37
<b>Κεφάλαιο 4. Έρευνα για την αξιοποίηση της παραγόμενης βιομάζας</b> .....	41
4.1 Εισαγωγή.....	41
4.2 Βιώσιμη Βιοενέργεια μέσω Πολυετών Καλλιεργειών και Δασικής Βιομάζας.....	43
4.3 Αξιολόγηση Βιομάζας πολυετών καλλιεργειών μέσω Τηλεπισκόπησης.....	45
4.4 Διαδικασία συλλογής και διαχείρισης βιομάζας.....	48
<b>Κεφάλαιο 5. Χρήση Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) για την Αξιολόγηση και Διαχείριση Βιομάζας</b> .....	52
5.1 Εισαγωγή.....	52
5.2 Μοντέλα Εκτίμησης Βιομάζας.....	54
5.2.1 Μη παραμετρικά μοντέλα .....	55
5.2.2 Μοντέλα παλινδρόμησης .....	56

5.3 Μοντελοποίηση βιομάζας με χρήση Τηλεπισκόπησης .....	57
<b>Κεφάλαιο 6. Περιοχή Εφαρμογής.....</b>	<b>59</b>
6.1 Χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης .....	59
6.2 Οικονομική απασχόληση της περιοχής μελέτης και η γεωμορφολογία της .....	60
6.3 Γεωλογία της περιοχής.....	61
6.4 Ανάλυση Μετεωρολογικών Στοιχείων-Μετρήσεις Βροχόπτωσης.....	62
6.5 Αξιολόγηση Περιοχής για Βιώσιμη Ανάπτυξη Βιομάζας.....	64
<b>Κεφάλαιο 7. Χρήση Γεωχωρικών Τεχνολογιών για Υπολογισμό Βιομάζας.....</b>	<b>67</b>
7.1 Συλλογή και εξοπλισμός δεδομένων .....	67
7.2 Ανάλυση Πολυφασματικών και Παγχρωματικών Δορυφορικών Δεδομένων.....	69
7.3 Εφαρμογή και αξιολόγηση μεθόδου υπολογισμού βιομάζας.....	71
7.4 Εφαρμογή τεχνικής σύντηξης δεδομένων από δορυφόρο Sentinel 2A.....	77
7.5 Κατηγορίες και χρήση δεδομένων με δείκτες βλάστησης υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας .....	77
7.5.1. Κανονικοποιημένος δείκτης διαφοράς βλάστησης (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) .....	78
7.5.2 Δείκτης του λόγου βλάστησης (RVI – Ratio Vegetation Index).....	80
7.5.3 Δείκτης κανονικοποιημένης διαφορά βλάστησης (GNDVI – Green Normalized Difference Vegetation Index) .....	81
7.5.4 Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης (SAVI - Soil – Adjusted Vegetation Index).....	82
7.5.5.Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Κόκκινης Ακμής (NDRE – Normalized Difference Red Edge) .....	84
7.5.6. Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης (EVI – Enhanced Vegetation Index) .....	85
7.5.7 Δείκτης δυναμικού εύρους βλάστησης (WDRVI – Wide Dynamic Range Vegetation Index).....	86
7.5.8 Δείκτης Αλατότητας (SI –Salinity index).....	88
7.5.9 Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υγρασίας (NDMI –Normalized Difference Moisture Index) .....	89
7.6 Χωρικές διακυμάνσεις των δεικτών βλάστησης .....	90
7.7 Αξιοποίηση του αλγορίθμου SVM για την κατηγοριοποίηση και χωρική ανάλυση φασματικών δεδομένων καλλιεργειών .....	91
7.8 Μεθοδολογία Οριοθέτησης Περιοχής Μελέτης για τη Διαθεσιμότητα Βιομάζας. 93	
7.9 Μεθοδολογία δειγματοληψίας αξιολόγησης καλλιεργειών .....	94
7.10 Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης .....	102
7.11 Επικύρωση αποτελεσμάτων κατηγοριοποίησης.....	112
<b>Κεφάλαιο 8. Ανάλυση Μετρήσεων και Εκτίμηση της Διαθέσιμης Βιομάζας.....</b>	<b>120</b>
8.1 Μέθοδοι Εκτίμησης Υγρασίας με Δορυφορικά Δεδομένα και Μηχανική Μάθηση.....	120

8.2 Συνδυαστική Εκτίμηση Υγρασίας Καλλιεργειών μέσω Μηχανικής Μάθησης και Δεικτών Δορυφορικών Εικόνων.....	121
8.3 Μεθοδολογία καταγραφής ανάλυσης και υπολογισμού υγρασίας .....	121
8.4 Αποτελέσματα υπολογισμού υγρασίας.....	122
8.5 Εκτίμηση Έκτασης και Καθαρής Βιομάζας από υπολείμματα καλλιεργειών.....	124
8.6 Αποτελέσματα και Ανάλυση .....	126
<b>Κεφάλαιο 9. Συμπεράσματα-Προτάσεις.....</b>	<b>130</b>
9.1 Συμπεράσματα της Μελέτης για την Εκτίμηση Διαθέσιμης Βιομάζας στον Νομό Καρδίτσας .....	130
9.2 Προκλήσεις στην Εφαρμογή Δοκιμών Κατηγοριοποίησης για την Εκτίμηση Βιομάζας.....	131
9.3 Επέκταση και Βελτίωση της Μεθοδολογίας για την Εκτίμηση Βιομάζας .....	132
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>134</b>

## Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια, οι έντονες προσπάθειες για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα, την παροχή ενέργειας και την τεχνολογική πρόοδο έχουν οδηγήσει σε μεγάλη αύξηση της χρήσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ). Αυτές οι πηγές εκμεταλλεύονται τα κλιματικά φαινόμενα του πλανήτη, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η αιολική ενέργεια, η ενέργεια των ωκεανών, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η βιομάζα. Οι ΑΠΕ είναι κρίσιμες για ένα βιώσιμο ενεργειακό μέλλον, καθώς αντιμετωπίζουν περιβαλλοντικά προβλήματα όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, η κλιματική αλλαγή και η μείωση των αποθεμάτων άνθρακα. Η προώθηση των ΑΠΕ μπορεί να μετριάσει τις επιπτώσεις μιας κλιματικής καταστροφής, και οι επενδυτές και οι οργανισμοί καλούνται να λάβουν στρατηγικές αποφάσεις σχετικά με την ανάπτυξή τους.

Οι ΑΠΕ αξιοποιούν τους φυσικούς πόρους του πλανήτη για να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες των ανθρώπων, μετατρέποντας την πρωτογενή ενέργεια σε ηλεκτρική, κινητική ή θερμική μορφή, χωρίς σημαντικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Η πιο διαδεδομένη μορφή ΑΠΕ είναι η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, ενώ άλλες μορφές περιλαμβάνουν τη γεωθερμική ενέργεια και τη βιοενέργεια, η οποία προέρχεται από ανανεώσιμες βιομάζες, όπως υπολείμματα καλλιεργειών, κοπριά, και άλλα οργανικά υλικά.

Η ευρεία ανάπτυξη των ΑΠΕ έχει απαιτήσει τη δημιουργία συστημάτων για την οργάνωση, την ανάλυση και την επεξεργασία δεδομένων. Η τεχνολογική πρόοδος έχει οδηγήσει σε βελτιώσεις στις τεχνικές παρακολούθησης και διαχείρισης των δεδομένων. Ένα σημαντικό εργαλείο σε αυτή τη διαδικασία είναι η Τηλεπισκόπηση, που χρησιμοποιεί δορυφορικές αποστολές για την παρακολούθηση του πλανήτη και την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων σε θέματα αειφόρου ανάπτυξης.

Η Τηλεπισκόπηση είναι απαραίτητη για την παρακολούθηση, οργάνωση και ανάλυση των ΑΠΕ, παρέχοντας φασματικές πληροφορίες και καταγράφοντας τον χώρο με μεγάλη ακρίβεια. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους δορυφόρους μετατρέπονται σε εικόνες που βοηθούν στην αναγνώριση και ανάλυση των φυσικών πόρων. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) είναι πολύτιμα για τον ενεργειακό και χωροταξικό σχεδιασμό, διευκολύνοντας την ανάλυση του δυναμικού των ΑΠΕ σε συγκεκριμένες περιοχές. Τα ΓΣΠ επιτρέπουν την ενσωμάτωση χωρικών και περιγραφικών δεδομένων, βοηθώντας στην αξιολόγηση των ενεργειακών πόρων και της καταλληλότητάς συγκεκριμένων περιοχών για την εγκατάσταση ΑΠΕ. Η παρούσα μελέτη επικεντρώνεται στη χρήση των ΓΣΠ και της Τηλεπισκόπησης για την ανάλυση της βιομάζας και του βιοαερίου, με στόχο την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας των πόρων και

την εκτίμηση της απαιτούμενης έκτασης για την παραγωγή τους. Στο πλαίσιο αυτό, θα χαρτογραφηθούν οι καλλιέργειες, η δασική ύλη και άλλα οργανικά υλικά, προκειμένου να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενέργειας και βιολογικού λιπάσματος.



# Κεφάλαιο 1: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

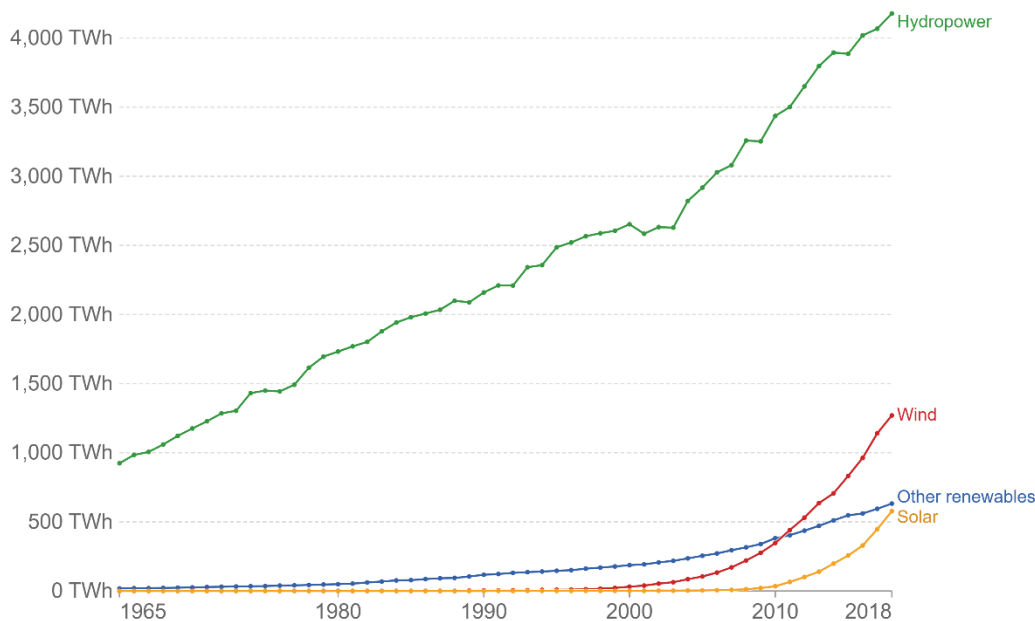
## 1.1 Εισαγωγή

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αντιπροσωπεύουν μια κατηγορία πηγών ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διαδικασίες οι οποίες ανανεώνονται συνεχώς. Αυτές οι πηγές περιλαμβάνουν την ηλιακή ακτινοβολία, τον άνεμο, τη γεωθερμική ενέργεια, την ενέργεια από βιομάζα και τις υδροηλεκτρικές δυνατότητες. Η σημασία τους έχει αυξηθεί δραματικά τις τελευταίες δεκαετίες, καθώς οι κοινωνίες αναζητούν πιο βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις για την ενεργειακή τους κάλυψη. Με την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και την ανάγκη για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, οι ΑΠΕ προσφέρουν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση που συμβάλλει στην αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και στην προώθηση της ενεργειακής ανεξαρτησίας. Η ανάπτυξη και η ενσωμάτωσή τους στο ενεργειακό μίγμα αποτελούν κλειδί για την επίτευξη ενός μέλλοντος με χαμηλές εκπομπές άνθρακα και έναν πιο υγιή πλανήτη.

Είναι αξιοσημείωτο ότι οι πρώτες μελέτες διαχώριζαν τις «ανανεώσιμες» από τις «ανεξάντλητες» πηγές ενέργειας, κατατάσσοντας τις πηγές από ζώα και το ξύλο ως «ανανεώσιμες», ενώ την ηλιακή ακτινοβολία, τον άνεμο, την παλιρροιακή και την υδροηλεκτρική ενέργεια ως «ανεξάντλητες» (Clarke et al., 1909). Σκοπός αυτού του διαχωρισμού ήταν να προτείνει μια εναλλακτική λύση για τις κοινωνίες που εξαρτώνται από τα ορυκτά καύσιμα, προβλέποντας την εξάντλησή τους. Έτσι, οι χώρες άρχισαν να στρέφονται προς τις «ανανεώσιμες πηγές ενέργειας». Ο όρος έγινε ευρέως γνωστός τη δεκαετία του 1970, καθώς τα περιβαλλοντικά κινήματα πρόβαλαν τις ΑΠΕ ως μια εναλλακτική λύση στην εξόρυξη άνθρακα και στη χρήση πυρηνικής ενέργειας.

Η ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) έχει γνωρίσει σημαντική εξέλιξη και πρόοδο κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Αρχικά, οι ΑΠΕ αποτέλεσαν μια περιθωριακή επιλογή, με περιορισμένη χρήση και τεχνολογία. Ωστόσο, καθώς οι ανησυχίες για την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυξήθηκαν, οι ΑΠΕ άρχισαν να κερδίζουν έδαφος ως βιώσιμη εναλλακτική. Στη δεκαετία του 1970, διαμορφώθηκε η άποψη περί «καλών» και «κακών» πηγών ενέργειας. Οι «καλές» πηγές περιλάμβαναν την ηλιακή, την αιολική, τη γεωθερμική ενέργεια, την ενέργεια από παλίρροιες και τη βιομάζα, ενώ οι «κακές» περιλάμβαναν

## Renewable energy generation, World



Source: Statistical Review of World Energy - BP (2021)

OurWorldInData.org/renewable-energy • CC BY

Note: 'Other renewables' refers to renewable sources including geothermal, biomass, waste, wave and tidal. Traditional biomass is not included.

### <sup>1</sup>Εικόνα 1.1.1: Στατιστική ανασκόπηση της Παγκόσμιας Ενέργειας

εργοστάσια άνθρακα, λιγνιτικές μονάδες και πυρηνικά εργοστάσια, ανεξάρτητα από τις συγκεκριμένες κοινωνικές και πολιτικές συνθήκες της εποχής, Αυτοί οι διαχωρισμοί παραμένουν σε μεγάλο βαθμό μέχρι σήμερα, παρότι η πραγματικότητα της κλιματικής αλλαγής έχει οδηγήσει το περιβαλλοντικό κίνημα να γίνει πιο αυστηρό με τον άνθρακα, το φυσικό αέριο και την τύρφη, τα οποία θεωρούνταν «μεταβατικά» καύσιμα μέχρι να γίνει δυνατή η πλήρης στροφή στις ΑΠΕ (για ιστορικά παραδείγματα αυτής της αποδοχής στις ΗΠΑ και στο Ηνωμένο Βασίλειο, βλ. π.χ. Schumacher, 1973, Lovins, 1976, Pearce, 1991). Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν σημειώσει σημαντική ανάπτυξη τις τελευταίες δεκαετίες, ξεκινώντας ως περιθωριακή επιλογή και εξελισσόμενες σε βασικό στοιχείο της παγκόσμιας ενεργειακής στρατηγικής. Από την ενεργειακή κρίση της δεκαετίας του 1970, που προκάλεσε ενδιαφέρον για εναλλακτικές πηγές, έως τις δεκαετίες του 1980 και 1990, όπου οι τεχνολογίες βελτιώθηκαν, η ανάπτυξή τους ήταν σταδιακή. Η νέα χιλιετία έφερε αυξημένες ανησυχίες για την κλιματική αλλαγή, με αποτέλεσμα τη διεύρυνση της χρήσης των ΑΠΕ μέσω κυβερνητικών επιδοτήσεων και κινήτρων. Σήμερα, η αιολική και η ηλιακή ενέργεια έχουν σημειώσει μεγάλη ανάπτυξη, ενώ η υδροηλεκτρική παραμένει η πιο διαδεδομένη μορφή ΑΠΕ, συμβάλλοντας καθοριστικά στη μετάβαση σε ένα πιο βιώσιμο ενεργειακό μέλλον.

<sup>1</sup> Πηγή: Our World in Data με βάση τη στατιστική ανασκόπηση της BP για την παγκόσμια ενέργεια (2021)

Ο ορισμός των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι γενικά αποδεκτός και υπάρχει κοινή συναίνεση για το τι περιλαμβάνει αυτός ο όρος. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), οι «ανανεώσιμοι ενεργειακοί πόροι» αναφέρονται σε ενεργειακές ροές που ανανεώνονται αδιάκοπα κατά τη χρήση τους και είναι ανεξάντλητοι. Σε αντίθεση, οι πηγές ενέργειας που βασίζονται στην καύση χημικών υλικών, όπως ο άνθρακας, τα αποθέματα πετρελαίου και φυσικού αερίου, συνοδεύονται από επιστημονικές μελέτες που υποδεικνύουν την εξάντλησή τους και την έκλυση διοξειδίου του άνθρακα που επιβαρύνει το περιβάλλον. Γενικά, η ανανεώσιμη ενέργεια έχει καταστεί σημαντική έννοια στον τομέα της ενεργειακής πολιτικής και της αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, καθοδηγώντας σχετικές πολιτικές. Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) αποτελεί παράδειγμα υιοθέτησης της έννοιας των ΑΠΕ στην πολιτική της. Η προώθηση των ΑΠΕ αποτελεί έναν από τους κύριους στόχους της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ. Το 2009, η ΕΕ εισήγαγε την Οδηγία για τις ΑΠΕ, η οποία προβλέπει ότι μέχρι το 2020 το 20% της ενέργειας που καταναλώνεται στην Ένωση πρέπει να προέρχεται από ΑΠΕ (ΕΕ, 2009). Αυτή η οδηγία βρίσκεται υπό αναθεώρηση, με στόχο να φτάσει το 27% μέχρι το 2030 (ΕΕ, 2018).

Πέραν της οδηγίας, η ΕΕ έχει αναπτύξει έναν ενεργειακό οδικό χάρτη για το έτος 2050 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011), ο οποίος, αν και μη δεσμευτικός, παρουσιάζει πέντε διαφορετικά σενάρια για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα. Οι ΑΠΕ έχουν καθοριστικό ρόλο, καθώς το μερίδιό τους στην τελική κατανάλωση ενέργειας είναι τουλάχιστον 55% σε όλα τα σενάρια. Στο σενάριο «Υψηλές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», το μερίδιο των ΑΠΕ φτάνει το 75% στην συνολική κατανάλωση ενέργειας και το 97% στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Οι πολιτικές και οι δηλώσεις της ΕΕ δείχνουν τη δέσμευσή της για την προώθηση των ΑΠΕ, που για την Ένωση δεν είναι μόνο ένα εργαλείο κατά της κλιματικής αλλαγής, αλλά και ένας αυτοσκοπός. Αυτό φαίνεται από την τάση να τίθενται στόχοι για τις ΑΠΕ που μπορεί να παρεμποδίσουν την αποτελεσματικότητα του Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ (ETS), το οποίο αποτελεί τον βασικό πυλώνα της πολιτικής της για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής (ΕΕ, 2016).

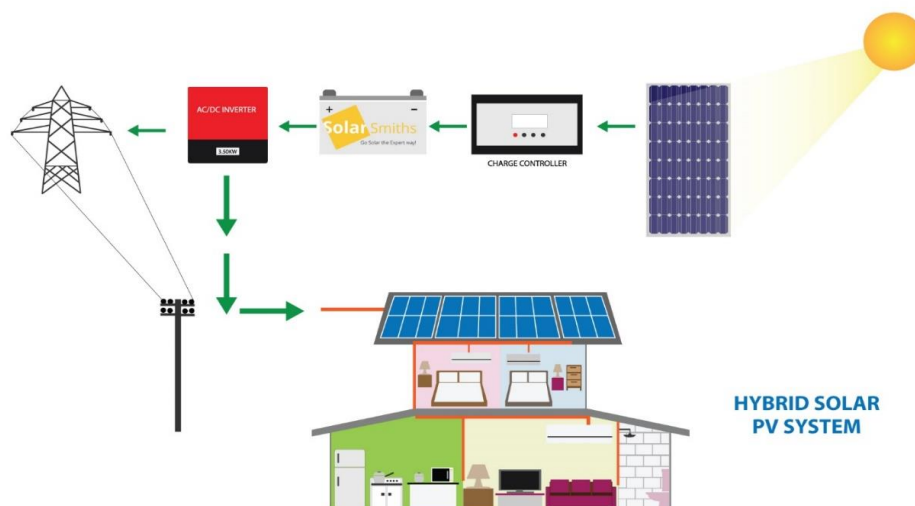
Αυτή η εργασία εξετάζει τη χρήση γεωχωρικών τεχνολογιών για την αξιοποίηση των ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, κυματική και βιομάζα) στη χάραξη στρατηγικών για βιώσιμη ανάπτυξη. Τέτοιες στρατηγικές περιλαμβάνουν συνήθως τρεις κύριες τεχνολογικές αλλαγές: την εκμετάλλευση φυσικών πόρων για την παραγωγή ενέργειας και τις βελτιώσεις στην παραγωγή ενέργειας με στόχο την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Έτσι, τα μεγάλης κλίμακας έργα για τις ΑΠΕ πρέπει να περιλαμβάνουν στρατηγικές για την ενσωμάτωσή τους σε

ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα, με κριτήρια και παραμέτρους που ελέγχονται μέσω ΓΣΠ. Οι κατηγορίες των ΑΠΕ διαφοροποιούνται ανάλογα με τα κύρια χαρακτηριστικά τους, όπως η αιολική, η θερμική, η γεωθερμική, η ηλιακή, η υδροδυναμική και η βιομάζα. Η μετατροπή της ενέργειας από ΑΠΕ παράγει είτε ηλεκτρική είτε μηχανική ενέργεια, με ένα μέρος να μετατρέπεται επιπλέον σε θερμότητα

## 1.2 Κύριες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

### 1.2.1 Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια σημαντική μορφή Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας (ΑΠΕ) που αξιοποιεί την ακτινοβολία του ήλιου για την παραγωγή ηλεκτρικής ή θερμικής ενέργειας. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι εκμετάλλευσής της: τα φωτοβολταϊκά συστήματα, που μετατρέπουν άμεσα την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρισμό, και τα θερμικά συστήματα, που χρησιμοποιούν την ηλιακή θερμότητα για θέρμανση ή παραγωγή ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι ανανεώσιμη και δεν εξαντλείται, ενώ προσφέρει περιβαλλοντικά οφέλη λόγω της απουσίας εκπομπών ρύπων κατά τη λειτουργία της. Επίσης, μειώνει την εξάρτηση από ορυκτά καύσιμα, μειώνοντας το ενεργειακό κόστος και ενισχύοντας την ενεργειακή ασφάλεια. Με τη συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας και τη μείωση του κόστους των ηλιακών συστημάτων, η ηλιακή ενέργεια καθίσταται όλο και πιο προσιτή και αποτελεσματική, συμβάλλοντας στην μετάβαση προς βιώσιμες ενεργειακές λύσεις.



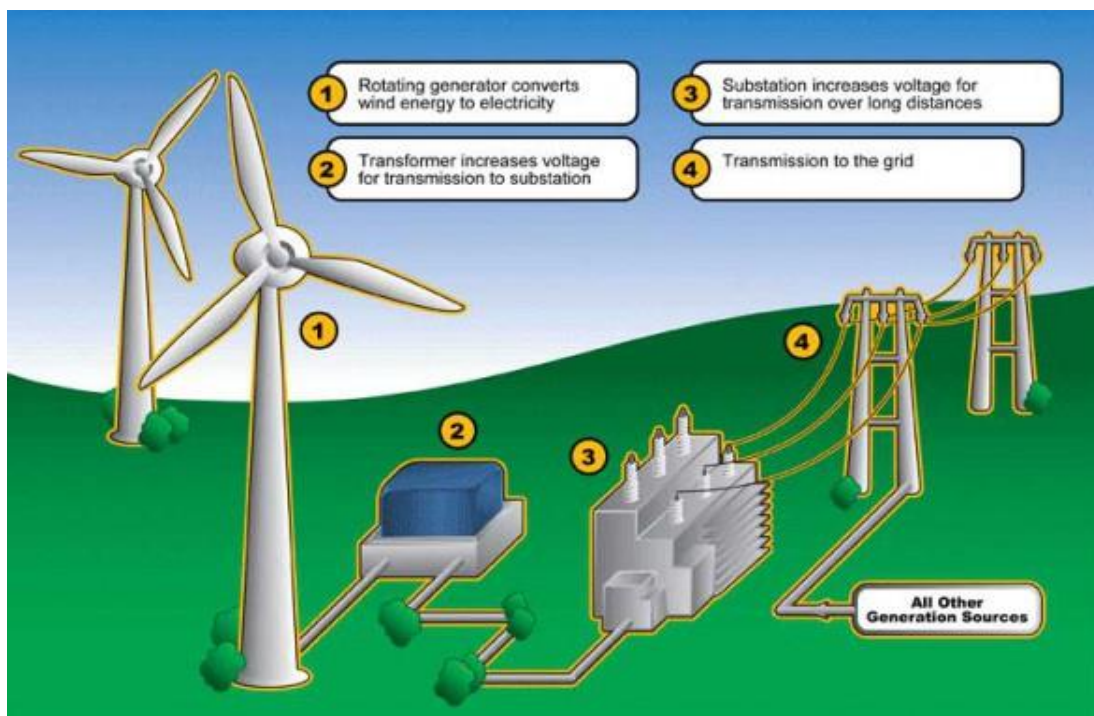
Εικόνα<sup>2</sup> 1.2.1.1: Φωτοβολταϊκό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

<sup>2</sup> <https://www.solarsmiths.com/blog/knowledge/introduction-to-solar-power-system/>

## 1.2.2 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι μια σημαντική μορφή Ανανεώσιμης Πηγής Ενέργειας (ΑΠΕ) που εκμεταλλεύεται την κίνηση του αέρα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται για αυτήν την εκμετάλλευση περιλαμβάνει ανεμογεννήτριες ή αιολικά τουρμπίνες, οι οποίες μετατρέπουν τη δυναμική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρισμό. Η αιολική ενέργεια είναι ιδιαίτερα ευνοημένη σε περιοχές με ισχυρούς και σταθερούς ανέμους, όπως παράκτιες περιοχές ή υψηλά υψόμετρα.

Η παραγωγή ενέργειας μέσω αιολικών συστημάτων δεν επιφέρει ρύπανση ή εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, κάνοντάς την μια περιβαλλοντικά φιλική επιλογή που συμβάλλει στη μείωση της κλιματικής αλλαγής. Η τεχνολογία της αιολικής ενέργειας έχει προοδεύσει σημαντικά τα τελευταία χρόνια, με βελτιώσεις στην αποδοτικότητα των τουρμπινών και τη μείωση του κόστους εγκατάστασης και συντήρησης. Η αιολική ενέργεια ενσωματώνεται ολοένα και περισσότερο στα ενεργειακά δίκτυα παγκοσμίως, συμβάλλοντας στην ενεργειακή ασφάλεια και στη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα.



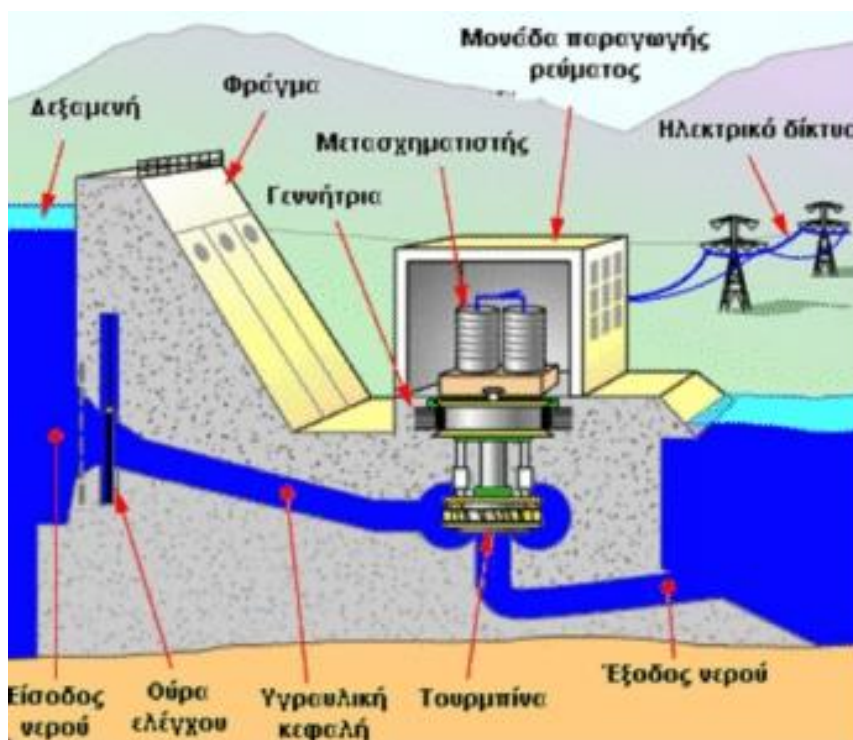
Εικόνα<sup>3</sup> 1.2.2.1: Αιολικό Σύστημα Παραγωγής ενέργειας

<sup>3</sup> <https://loeriesfonteinwind.co.za/wind-energy-library/wind-turbine-facts/>

### 1.2.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελεί μία από τις πιο διαδεδομένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με μηχανική βάση λειτουργίας. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι η παραγωγή ενέργειας με πολύ χαμηλές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, κάτι που την καθιστά φιλική προς το περιβάλλον. Ο βασικός μηχανισμός παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας περιλαμβάνει τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω της χρήσης στροβίλων. Αυτή η διαδικασία είναι πολύ αποδοτική, καθώς αξιοποιεί την φυσική ροή και την πτώση του νερού.

Η επιλογή της κατάλληλης τοποθεσίας για την εγκατάσταση ενός υδροηλεκτρικού σταθμού είναι μια πολύπλοκη διαδικασία που επηρεάζεται από περιβαλλοντικά ζητήματα.



Εικόνα<sup>4</sup> 1.2.3.1: Υδροηλεκτρικός Σταθμός Ενέργειας.

Ειδικότερα, η δημιουργία υδροηλεκτρικών σταθμών μπορεί να προκαλέσει υποβάθμιση των παραποτάμιων οικοσυστημάτων και μείωση της βιοποικιλότητας στην περιοχή. Αυτοί οι περιβαλλοντικοί παράγοντες καθιστούν απαραίτητη τη λεπτομερή σχεδίαση και τον προσεκτικό σχεδιασμό της χωροθέτησης των υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων.

Όπως απεικονίζεται και στην εικόνα 1.2.3.1, οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί εκμεταλλεύονται την

<sup>4</sup> <https://global-energy.eu/ydrohlektrika/>

κινητική ενέργεια του νερού που ρέει ή πέφτει για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το νερό περιστρέφει τους στρόβιλους, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούν τις γεννήτριες, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική. Οι στρόβιλοι και οι γεννήτριες τοποθετούνται είτε μέσα είτε δίπλα στα φράγματα, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται αγωγοί, γνωστοί και ως αποθήκες, για τη μεταφορά του νερού υπό πίεση προς τους στρόβιλους.

Η επιλογή της τοποθεσίας για έναν υδροηλεκτρικό σταθμό εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων, όπως το υψόμετρο, οι λεκάνες απορροής, το δίκτυο των ρεμάτων, η ένταση της ετήσιας ροής του νερού και τα χαρακτηριστικά της τοπικής βιοποικιλότητας. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) και η Τηλεπισκόπηση είναι εργαλεία που βοηθούν στη λήψη αποφάσεων μέσω της χαρτογράφησης των περιοχών και της ανάλυσης των περιβαλλοντικών δεδομένων. Επιτρέπουν την ακριβή απεικόνιση του φυσικού περιβάλλοντος, την κατανόηση των σύνθετων υδρολογικών φαινομένων και τη μελέτη των κλιματικών αλλαγών, παρέχοντας έτσι σημαντικά στοιχεία για την αξιολόγηση των υποψήφιων τοποθεσιών για υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Η χρονική ανάλυση και η μοντελοποίηση των δεδομένων αποτελούν τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτών των τεχνολογιών.

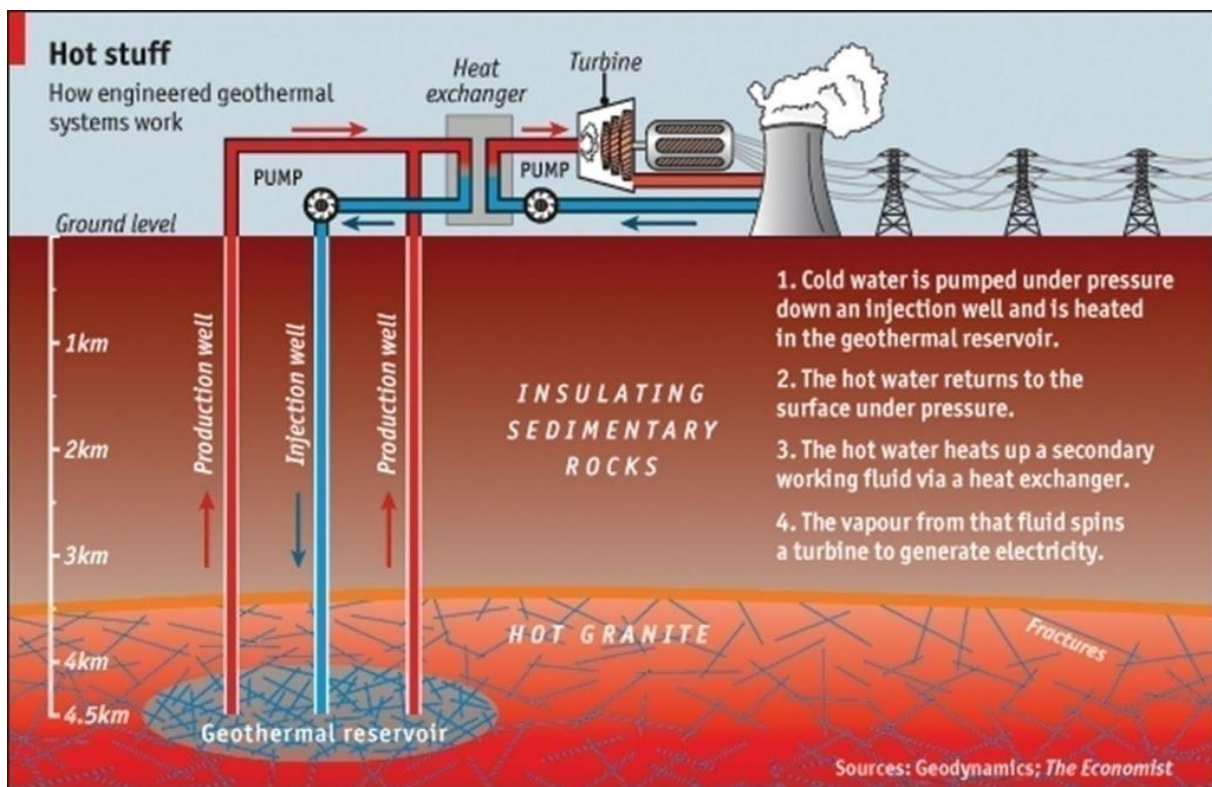
#### **1.2.4 Γεωθερμική Ενέργεια**

Η γεωθερμική ενέργεια αποτελεί μια βιώσιμη και περιβαλλοντικά φιλική ενεργειακή λύση, καθώς παράγεται από τη φυσική θερμότητα του πλανήτη μας. Αυτή η θερμότητα προέρχεται κυρίως από την αποσύνθεση φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων που βρίσκονται στο εσωτερικό της Γης. Η διαδικασία αυτή, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως μια εσωτερική καύση θερμότητας, δημιουργεί τεράστια ποσά ενέργειας. Σε βάθος 10 χιλιομέτρων, η συνολική θερμική ενέργεια που υπάρχει εκτιμάται ότι είναι ικανή να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας για έξι εκατομμύρια χρόνια, αν υπολογίσουμε την κατανάλωση ενέργειας σε όρους πετρελαίου.

Οι γεωθερμικοί πόροι διακρίνονται γενικά σε τρεις κύριες κατηγορίες: τα υδροθερμικά συστήματα ή συναγωγικά συστήματα, τα αγωγήμα συστήματα και τις βαθιές υδροφορίες. Τα υδροθερμικά συστήματα, όπως απεικονίζεται στην εικόνα 1.2.4.1, περιλαμβάνουν περιοχές όπου κυριαρχούν είτε ατμοί είτε υγρά, όπως οι θερμές πηγές και τα χημικά αλλοιωμένα πετρώματα. Τα αγωγήμα συστήματα περιλαμβάνουν θερμούς βράχους και μαγματικούς πόρους, όπου η θερμότητα μεταδίδεται μέσω αγωγής. Οι βαθιές υδροφορίες είναι γεωλογικοί σχηματισμοί που περιέχουν υγρά που κινούνται μέσα από πορώδη υλικά σε μεγάλα βάθη,



συνήθως άνω των 3 χιλιομέτρων, χωρίς την παρουσία τοπικής μαγματικής πηγής θερμότητας.



Εικόνα<sup>5</sup> 1.2.4.1: Λειτουργία Γεωθερμικού Σταθμού Παραγωγής Ενέργειας

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμική ενέργεια επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ατμού. Ο ατμός μπορεί να προέρχεται άμεσα από γεωθερμικές πηγές ή να δημιουργείται έμμεσα μέσω της χρήσης δευτερογενούς ατμού υδρογονάνθρακα. Ο ατμός αυτός κινεί τους στροβίλους των γεννητριών, οι οποίοι παράγουν ηλεκτρική ενέργεια μέσω της μετατροπής της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Αυτή η διαδικασία είναι αποδοτική και εξασφαλίζει την αξιοποίηση των γεωθερμικών πόρων για την παραγωγή ενέργειας με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

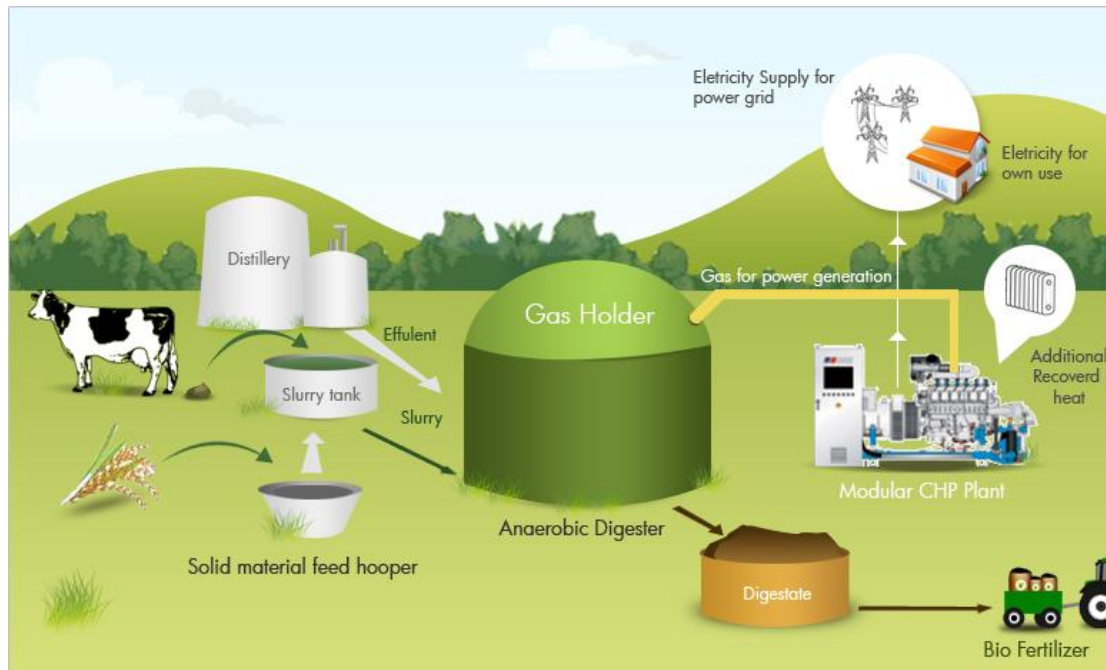
### 1.2.5 Ενέργεια από Βιομάζα

Η βιοενέργεια αποτελεί μία από τις κύριες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αξιοποιεί βιολογικό υλικό από ζωντανούς οργανισμούς ή φυτά, γνωστό ως βιομάζα. Ένα μεγάλο σύστημα βιοενέργειας περιλαμβάνει πολλές βασικές ροές υλικών και ενέργειας, όπως αυτές έχουν ενσωματωθεί στο Εργαλείο Αξιολόγησης Χώρων Βιομάζας (BioSAT 2014). Αυτό το σύστημα αξιοποιεί φυσικούς πόρους και οικονομικά δεδομένα για τον αντικειμενικό

<sup>5</sup> <https://docplayer.gr/133171167-Imerida-geothermia-iii-axiopoisi-geothermias-kathari-viosimi-energeia-stis-exypnes-poleis-mec-paianias-16-fevroyariou-2019.html>



προσδιορισμό των κατάλληλων τοποθεσιών για τη συλλογή, την επεξεργασία βιομάζας και τη διαχείριση γεωργικών υπολειμμάτων.



Εικόνα<sup>6</sup> 1.2.5.1: Κύκλος ενέργειας από βιομάζα

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά για την εγκατάσταση ενός σταθμού παραγωγής βιοαερίου είναι η χαρτογράφηση των καλλιεργειών σε μεγάλη κλίμακα. Αυτή επιτυγχάνεται μέσω δορυφορικών φασματικών πληροφοριών, οι οποίες, μαζί με ειδικούς δείκτες, επιτρέπουν την οικονομική προμελέτη της παραγωγής και της διαθεσιμότητας των πόρων. Επιπλέον, πραγματοποιείται χωρική μελέτη των δικτύων μεταφοράς των προϊόντων, που είναι απαραίτητη για τη βιωσιμότητα του συστήματος. Τα δάση παίζουν επίσης ζωτικό ρόλο στον κύκλο του άνθρακα του πλανήτη και αποτελούν την πιο φθηνή και εύκολα διαθέσιμη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ωστόσο, απαιτείται ποσοτικός προσδιορισμός της διαθέσιμης βιομάζας για τον σχεδιασμό του σταθμού παραγωγής ενέργειας από βιομάζα.

Ένας σημαντικός παράγοντας στη διαδικασία παραγωγής βιοαερίου είναι η επαναχρησιμοποίηση των υπολειμμάτων της διεργασίας. Αυτά τα υπολείμματα μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ως βιολογικό λίπασμα, το οποίο βελτιώνει την ποιότητα του εδάφους και συμβάλλει στην αειφορία των καλλιεργειών. Οι σταθμοί επεξεργασίας βιομάζας είναι μοναδικοί μεταξύ των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς ανακυκλώνουν βιολογικές ύλες, προσφέροντας διπλό όφελος: παραγωγή ενέργειας και παραγωγή προϊόντων

<sup>6</sup> Πηγή: <https://businessinfolink.com/products/industrial-machinery/bio-gas-plant-2017-05-08-05-40-24.html>

επαναχρησιμοποίησης.

Η βιομάζα μπορεί να προέρχεται από πολυετείς καλλιέργειες, ζωικά περιττώματα και δασική βιομάζα. Αυτές οι πηγές αναπτύσσονται γρήγορα και προσφέρουν δυνατότητες για την ανακύκλωση προϊόντων και την βιώσιμη παραγωγή βιοενέργειας. Η βιομάζα αποτελεί μία από τις πλέον χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, ιδιαίτερα σε περιοχές με λιγότερη βιομηχανοποίηση. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε με άμεση καύση για την παραγωγή θερμότητας, είτε έμμεσα, μετά την μετατροπή της σε διάφορες μορφές βιοκαυσίμων, όπως αέριο μεθάνιο, αιθανόλη και βιοντίζελ.

Τα υπολείμματα δασών, όπως νεκρά δέντρα, κλαδιά και καλλιεργητικά υπολείμματα, μπορούν να μετατραπούν σε χρήσιμες μορφές ενέργειας. Αυτή η διαδικασία μετατροπής είναι ιδιαίτερα σημαντική για την ενεργειακή αξιοποίηση υλικών που διαφορετικά θα παραμείνουν αχρησιμοποίητα. Η χρήση της βιομάζας για την παραγωγή ενέργειας ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή και τα διαθέσιμα βιολογικά υλικά, επιτρέποντας μια ευέλικτη και προσαρμοσμένη προσέγγιση στην ενεργειακή παραγωγή.

## Κεφάλαιο 2. Τηλεπισκόπηση και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ)

### 2.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, οι τεχνολογίες και οι μέθοδοι της τηλεπισκόπησης έχουν σημειώσει σημαντική εξέλιξη, καθιστώντας την ένα κρίσιμο εργαλείο για σχεδιαστές και διαχειριστές γης. Η τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει τη χρήση μιας σειράς αισθητήρων που λειτουργούν σε ευρύ φάσμα κλιμάκων απεικόνισης, επιτρέποντας την ανάλυση του χώρου με υψηλή διακριτική ικανότητα και μεγάλη ταχύτητα. Ο συνδυασμός των διαχρονικών δεδομένων και της τεχνολογικής εξέλιξης προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες, οι οποίες είναι ιδιαίτερα σημαντικές για την κάλυψη των αναγκών σχεδιασμού και διαχείρισης γης, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) και οι μεγάλης κλίμακας επενδύσεις.

Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης παρουσιάζουν χαρακτηριστικά των Μεγάλων Δεδομένων (Big Data), λόγω του μεγάλου όγκου και της πολυπλοκότητάς τους. Οι τρέχουσες τεχνολογίες τηλεπισκόπησης επιτρέπουν τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από επίγειες, ατμοσφαιρικές και γήινες πλατφόρμες, σε συνδυασμό με δεδομένα από συστήματα GNSS (Global Navigation Satellite System) και επίπεδα και λειτουργίες των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Επιπλέον, οι αναδυόμενες ικανότητες μοντελοποίησης ενισχύουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των πληροφοριών που συλλέγονται.

Η βελτίωση της ποιότητας των πληροφοριών που παρέχει η τηλεπισκόπηση την καθιστά ολοένα και πιο κρίσιμη στον σύγχρονο κόσμο. Τα μεγάλα δεδομένα από τηλεπισκόπηση έχουν προσελκύσει την προσοχή κυβερνητικών έργων, εμπορικών εφαρμογών και ακαδημαϊκών τομέων, υπογραμμίζοντας τη σημασία της στην παγκόσμια οικονομία και τον σχεδιαστικό προγραμματισμό. Με τις σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία των αισθητήρων, η κοινότητα της τηλεπισκόπησης χρειάστηκε να αναπτύξει νέες τεχνικές για την αξιοποίηση και ανάλυση των δεδομένων εικόνας. Μία από αυτές τις καινοτομίες είναι η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας (OBIA-Object-Based Image Analysis), η οποία εστιάζει στην ανάλυση αντικειμένων αντί για μεμονωμένα εικονοστοιχεία. Η OBIA διαχωρίζει τις δορυφορικές εικόνες σε νοηματικά αντικείμενα και αξιολογεί τα χαρακτηριστικά τους μέσω φασματικής και χωρικής κλίμακας. Αυτό διαφοροποιείται από τις παραδοσιακές τεχνικές, οι οποίες βασίζονται αποκλειστικά στις φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων.

Το πρώτο και βασικό βήμα στην OBIA είναι η κατάτμηση της εικόνας, η οποία διαιρεί την

εικόνα σε χωρικά συνδεδεμένες και φασματικά ομοιογενείς περιοχές. Αυτές οι περιοχές αποτελούν τη βάση για περαιτέρω ανάλυση και επιτρέπουν τον ακριβή προσδιορισμό του κάθε αντικειμένου ενδιαφέροντος. Η χρήση της OBIA στην τηλεπισκόπηση προσφέρει ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την ανίχνευση και ανάλυση περιβαλλοντικών προβλημάτων, καθώς διευκολύνει τον σαφή καθορισμό των επιφανειακών χωρικών οντοτήτων. Η ενσωμάτωση της OBIA σε μεθοδολογικά πλαίσια αποτελεί βασικό στοιχείο για τον ακριβή διαχωρισμό των δορυφορικών εικόνων σε νοηματικά αντικείμενα, όπως οι χωρικές οντότητες αναφοράς. Αυτή η τεχνική επιτρέπει την καλύτερη κατανόηση και αξιοποίηση των δεδομένων, καθιστώντας την τηλεπισκόπηση ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τον σύγχρονο σχεδιασμό και την ανάλυση δεδομένων.

## **2.2 Ιστορική εξέλιξη Τηλεπισκόπησης και δορυφορικών συστημάτων**

Η ιστορία της τηλεπισκόπησης είναι στενά συνδεδεμένη με την εξέλιξη της τεχνολογίας και των επιστημονικών επιτευγμάτων που έχουν διαμορφώσει τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από το διάστημα. Αυτή η εξέλιξη μπορεί να χωριστεί σε διακριτές φάσεις, κάθε μία από τις οποίες προσέφερε σημαντικές προόδους στην παρατήρηση της Γης.:

**1. Πρόδρομες Δορυφορικές Αποστολές (1960-1970)** Από τη δεκαετία του 1960, οι μετεωρολογικοί δορυφόροι παρείχαν δεδομένα με χαμηλή χωρική ανάλυση, αρχικά με χονδροειδή ανάλυση. Ο TIROS (Television Infrared Observation Satellite) της δεκαετίας του 1960 αποτέλεσε την πρώτη σημαντική εξέλιξη, παρέχοντας βασικές πληροφορίες για τις καιρικές συνθήκες και τα κλιματικά φαινόμενα. Ωστόσο, η πραγματική επανάσταση στην τηλεπισκόπηση ξεκίνησε το 1972 με την εκτόξευση του Landsat-1, ο οποίος έθεσε τις βάσεις για την παρακολούθηση της επιφάνειας της Γης με μέτρια χωρική ανάλυση περίπου 80-120 μέτρων. Ο Landsat-1 εισήγαγε την πολυφασματική απεικόνιση, επιτρέποντας τη διάκριση διαφορετικών τύπων επιφανειακών χαρακτηριστικών μέσω της ανάλυσης διαφορετικών μηκών κύματος φωτός.

**2. Εξέλιξη της Τηλεπισκόπησης (1972-1980)** Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980, η τηλεπισκόπηση γνώρισε σημαντική πρόοδο με τη διάθεση νέων δορυφόρων όπως οι Landsat 4 και 5, οι οποίοι ενσωμάτωσαν προηγμένα τεχνολογικά χαρακτηριστικά και βελτίωσαν τη χωρική ανάλυση. Ειδικότερα, ο Landsat-5 με τον αισθητήρα TM (Thematic Mapper) προσέφερε καλύτερη ανάλυση και περισσότερα φασματικά κανάλια, διευρύνοντας τις δυνατότητες παρατήρησης της Γης. Παράλληλα, ο γαλλικός δορυφόρος SPOT (Système Pour

l'Observation de la Terre) πρόσφερε ακόμα μεγαλύτερη χωρική ανάλυση και νέες δυνατότητες παρακολούθησης.

**3. Ανάπτυξη Υψηλής Ανάλυσης και Εμπορικές Εφαρμογές (1990-2000)** Η δεκαετία του 1990 σηματοδότησε την αρχή της εποχής των δορυφόρων υψηλής ανάλυσης, με την εκτόξευση του IKONOS το 1999, ο οποίος προσέφερε δεδομένα με χωρική ανάλυση 1 μέτρου. Η είσοδος των δορυφόρων QuickBird και WorldView προσέφερε ακόμα καλύτερη ανάλυση, ενώ οι εξελίξεις στον τομέα των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS) συνέβαλαν στη βελτίωση της ανάλυσης των δεδομένων. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας επιτρέπει τη δημιουργία ολοκληρωμένων εφαρμογών για παρακολούθηση της γης, όπως η ανίχνευση στόχων, η κάλυψη γης και η ανάπτυξη έξυπνων πόλεων.

**4. Επανάσταση με τα Μεγάλα Δεδομένα και Σύγχρονη Τεχνολογία (2000-σήμερα)** Η τελευταία δεκαετία έχει φέρει επανάσταση στον τομέα της τηλεπισκόπησης με την ανάπτυξη νέων δορυφόρων και τεχνολογιών, όπως οι αποστολές Sentinel του Ευρωπαϊκού Συστήματος Παρατήρησης Γης Copernicus και η πλατφόρμα Landsat 8, οι οποίες προσφέρουν εξαιρετικά λεπτομερή δεδομένα με υψηλή χωρική ανάλυση. Επιπλέον, η εξέλιξη της τεχνολογίας υψηλής ανάλυσης και οι προηγμένες μέθοδοι ανάλυσης δεδομένων έχουν επιτρέψει την αξιοποίηση μεγάλων δεδομένων (Big Data) και τη δημιουργία νέων εφαρμογών, όπως η παρακολούθηση αλλαγών χρήσης γης, η αποτύπωση του κλίματος, η διαχείριση φυσικών καταστροφών και η αστική ανάπτυξη. Σημαντικά κυβερνητικά έργα όπως το Σύστημα Δεδομένων και Πληροφοριακών Συστημάτων Παρατήρησης Γης (EOSDIS) των ΗΠΑ και η υπηρεσία COPERNICUS στην Ευρώπη ενισχύουν την έρευνα και την εφαρμογή των δεδομένων τηλεπισκόπησης, ενώ εμπορικές πλατφόρμες όπως το Google Earth και η Geospatial Big Data (GBDX) της DigitalGlobe χρησιμοποιούν μηχανική μάθηση και μεγάλα δεδομένα για τη δημιουργία και ανάλυση διαδραστικών χαρτών.

Αυτή η συνεχής εξέλιξη της τηλεπισκόπησης ενισχύει την ικανότητά μας να παρατηρούμε και να αναλύουμε τη Γη με μεγαλύτερη ακρίβεια, επηρεάζοντας την καθημερινή ζωή, την επιστήμη και τη διαχείριση των φυσικών πόρων. Οι δορυφόροι έχουν διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στη συλλογή και καταγραφή δεδομένων, με κάθε νέα αποστολή να επιδιώκει την απόκτηση συχνότερων και πιο ακριβών πληροφοριών, την ανάπτυξη νέων δυνατοτήτων καταγραφής, και τον εντοπισμό χαρτογραφικών στοιχείων. Η NASA ξεκίνησε το πρώτο της πρόγραμμα Τηλεπισκόπησης το 1967, γνωστό ως ERTS (Earth Resource Technology Satellite). Στόχος του προγράμματος ήταν η εκτόξευση πέντε δορυφόρων με διαφορετικά συστήματα Τηλεπισκόπησης για την απόκτηση δεδομένων σχετικά με τους φυσικούς πόρους της Γης.

Ο πρώτος δορυφόρος του προγράμματος, ERTS-1, εκτοξεύτηκε στις 23 Ιουλίου 1972. Ακολούθησε ο ERTS-2, ο οποίος εκτοξεύτηκε στις 22 Ιανουαρίου 1975. Πριν από την εκτόξευσή του, η NASA μετονόμασε τον δορυφόρο σε LANDSAT, διαφοροποιώντας τον από τον ωκεανογραφικό δορυφόρο SEASAT, ο οποίος εκτοξεύτηκε στις 26 Ιουνίου 1978. Ο ERTS-1 μετονομάστηκε επίσης σε LANDSAT-1, και ο ERTS-2 έγινε γνωστός ως LANDSAT-2. Στη συνέχεια, εκτοξεύθηκαν οι δορυφόροι LANDSAT-3 (5 Μαρτίου 1978), LANDSAT-4 (16 Ιουλίου 1982) και LANDSAT-5 (1 Μαρτίου 1984). Οι LANDSAT-2 και -3 λειτουργούσαν επιτυχώς μέχρι το 1983, όταν παρουσίασαν μηχανικές βλάβες και αποσύρθηκαν. Παρά την αποτυχημένη εκτόξευση του LANDSAT-6, ο LANDSAT-7, ο οποίος τέθηκε σε τροχιά στις 15 Απριλίου 1999, συνεχίζει να παρέχει δεδομένα, παρά την εμφάνιση προβλημάτων στις δορυφορικές εικόνες από τις 31 Μαΐου 2003. Το πρόγραμμα συνεχίστηκε με τον LANDSAT-8, ο οποίος εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2011, προσφέροντας ενισχυμένη χωρική ανάλυση και αυξημένη καθημερινή λήψη εικόνων, βελτιώνοντας έτσι την απόκτηση δεδομένων χωρίς σύννεφα.<sup>7</sup>

Ο δορυφόρος LANDSAT-8 διαθέτει πολλά φασματικά κανάλια με συγκεκριμένες λειτουργίες. Το Κανάλι 1 ανιχνεύει το βαθύ μπλε, το οποίο είναι δύσκολο να καταγραφεί από το διάστημα λόγω της διάχυσης του φωτός από τα μόρια του αέρα. Τα Κανάλια 2, 3, και 4 καλύπτουν το μπλε, το πράσινο και το κόκκινο του ορατού φάσματος, ενώ το Κανάλι 5 μετρά το κοντινό υπέρυθρο, κρίσιμο για την ακρίβεια της μέτρησης της βλάστησης. Τα Κανάλια 6 και 7 καλύπτουν το μικροκυματικό υπέρυθρο, χρήσιμο για τη διάκριση υγρών και ξηρών εδαφών και τις γεωλογικές μελέτες. Το Κανάλι 8 είναι το παγχρωματικό, συνδυάζοντας τα ορατά χρώματα για υψηλή χωρική ανάλυση, ενώ το Κανάλι 9 καταγράφει το μικρό υπέρυθρο κοντά στο 1370nm, χρήσιμο για την καταγραφή των σύννεφων. Τέλος, τα Κανάλια 10 και 11 ανήκουν στο θερμικό υπέρυθρο, καταγράφοντας τη θερμότητα του εδάφους.

Παράλληλα, στην Ευρώπη, το πρόγραμμα Copernicus της ESA (European Space Agency) διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην παρατήρηση της Γης. Παρέχει ακριβείς και άμεσα διαθέσιμες πληροφορίες, οι οποίες συμβάλλουν στην κατανόηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, καθώς και στην ενίσχυση της ασφάλειας των πολιτών. Το πρόγραμμα αποτελεί εξέλιξη του GMES (Global Monitoring for Environment and Security), και η ESA διαχειρίζεται τους δορυφόρους Sentinel, οι οποίοι προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα παρατηρήσεων.

Ο Sentinel-1, εξοπλισμένος με προηγμένο ραντάρ, λειτουργεί ανεξαρτήτως καιρικών

---

<sup>7</sup> Πηγή: Ισαάκ Παρχαρίδης, *Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, 2015*

συνθηκών, ενώ ο Sentinel-2 προσφέρει υψηλής ανάλυσης οπτικές εικόνες. Ο Sentinel-3 καταγράφει δεδομένα για τις θαλάσσιες και εδαφικές εφαρμογές, και οι Sentinel-4 και Sentinel-5 παρακολουθούν τη σύνθεση της ατμόσφαιρας από γεωστατική και πολική τροχιά αντίστοιχα. Ο Sentinel-6 μετρά το ύψος της επιφάνειας της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα, ενισχύοντας την κατανόηση της κλιματικής αλλαγής.

Ο δορυφόρος IKONOS, που εκτοξεύτηκε στις 24 Σεπτεμβρίου 1999 από τη DigitalGlobe, αποτέλεσε τον πρώτο εμπορικό δορυφόρο υψηλής χωρικής ανάλυσης, με δυνατότητες λήψης πολυφασματικών και παγχρωματικών εικόνων. Οι δορυφόροι WorldView-1 και WorldView-2 συνέχισαν αυτήν την παράδοση, με τον WorldView-3 να παρέχει ακόμα υψηλότερη χωρική ανάλυση, φτάνοντας τα 31 cm στο παγχρωματικό κανάλι. Παράλληλα, οι δορυφόροι Pleiades-1A και 1B και ο TerraSAR-X προσφέρουν εξαιρετικά λεπτομερείς εικόνες, εξυπηρετώντας ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, από τη χαρτογράφηση φυσικών πόρων μέχρι τη μελέτη του περιβάλλοντος και των βιομηχανικών διεργασιών.

### **2.3. Τηλεπισκόπηση και ηλεκτρομαγνητική ενέργεια**

Η Τηλεπισκόπηση συνιστά μια αναπτυγμένη μέθοδο που επιτρέπει την ανάλυση της επιφάνειας της Γης χωρίς φυσική επαφή, μέσω της συλλογής και ανάλυσης δεδομένων από απόσταση. Βασική αρχή της είναι η ανίχνευση και καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης. Μέσω της επεξεργασίας αυτών των δεδομένων, αποκαλύπτονται πολύτιμες πληροφορίες για τις γεωγραφικές και περιβαλλοντικές συνθήκες<sup>8</sup>.

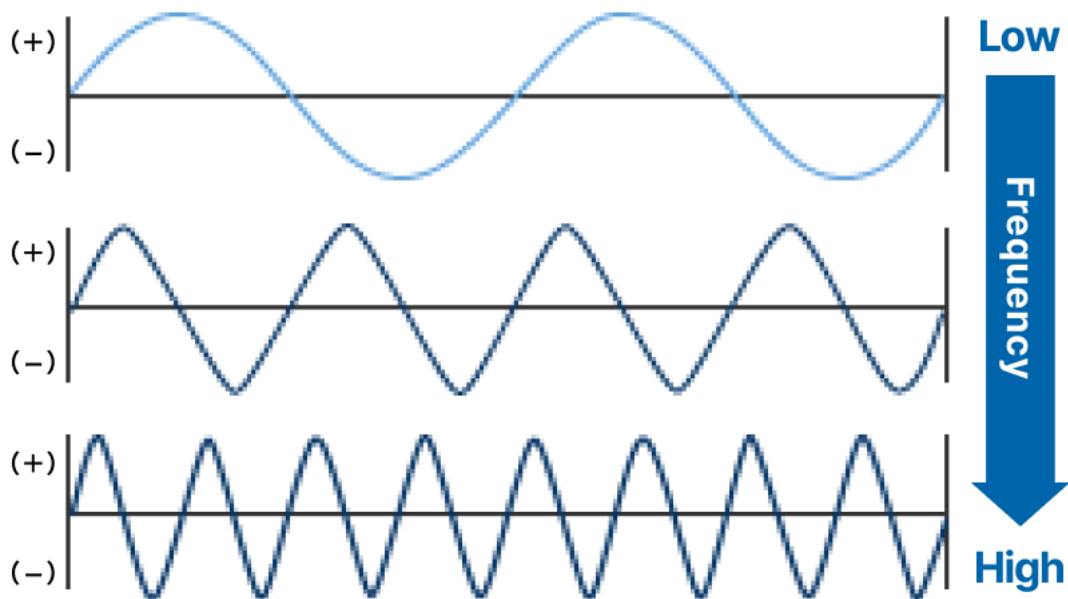
Η Τηλεπισκόπηση αξιοποιεί τεχνολογίες παρατήρησης που βασίζονται στην αλληλεπίδραση των υλικών της Γης με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αυτές οι τεχνολογίες περιλαμβάνουν τη χρήση αισθητήρων που καταγράφουν την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ενέργεια και μπορεί να περιλαμβάνουν μη οπτικούς αισθητήρες. Το πεδίο της Τηλεπισκόπησης εκτείνεται σε πολλούς ακαδημαϊκούς τομείς, όπως η Γεωγραφία, η Τοπογραφία, η Γεωπονία, η Γεωλογία, η Πολεοδομία, η Χωροταξία, η Μετεωρολογία, η Ωκεανογραφία, η Αρχαιολογία, η Συγκοινωνιολογία και οι Περιβαλλοντικές Επιστήμες, ενώ η τεχνολογία αυτή έχει επίσης στρατηγικές εφαρμογές στον στρατιωτικό τομέα. Η εφαρμογή της Τηλεπισκόπησης απαιτεί συνδυασμένη γνώση από τομείς όπως η Φυσική, η Πληροφορική και τα Μαθηματικά, για την

---

<sup>8</sup> Πηγή: Κωνσταντίνος Γ. Παράκης / Ιωάννης Ν. Φαρασλής / Αθανάσιος Κ. Μωυσιάδης, Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και βοηθήματα, 2015

αποτελεσματική ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται. Για την πραγματοποίηση της Τηλεπισκόπησης, απαιτείται η χρήση πηγών ενέργειας που μεταδίδουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προς τον στόχο<sup>9</sup>. Η ακτινοβολία αυτή διασχίζει την ατμόσφαιρα και αλληλεπιδρά με τα υλικά στην επιφάνεια της Γης. Η ανακλώμενη ενέργεια καταγράφεται από τον αισθητήρα και στη συνέχεια τα δεδομένα μεταφέρονται σε επεξεργαστικούς σταθμούς, όπου υπόκεινται σε επεξεργασία για τη βελτίωση της εικόνας και την εξαγωγή χρήσιμων πληροφοριών.

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ανιχνεύεται είτε φωτογραφικά είτε ηλεκτρονικά, και οι επεξεργασμένες πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ποικίλες εφαρμογές, όπως η χαρτογράφηση και η ανάλυση περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών. Η ανάλυση των αισθητήρων και των δεδομένων που αυτοί παρέχουν συμβάλλει στη βαθύτερη κατανόηση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η βασική έννοια της ακτινοβολίας στην Τηλεπισκόπηση είναι η διαφοροποίηση του σήματος, που καθορίζεται από το μήκος κύματος και τη συχνότητα. Το μήκος κύματος αναφέρεται στην απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών του κύματος και είναι κρίσιμο για την κατανόηση των ιδιοτήτων της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας και της εφαρμογής της στην Τηλεπισκόπηση.



Εικόνα 2.3.1<sup>10</sup>: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ανά συχνότητα και εύρος

Η μέτρηση του μήκους κύματος συνήθως εκφράζεται με το ελληνικό γράμμα λάμδα ( $\lambda$ ) και χρησιμοποιεί μονάδες όπως τα μέτρα (m) ή τα νανόμετρα (nm). Η συχνότητα, από την άλλη

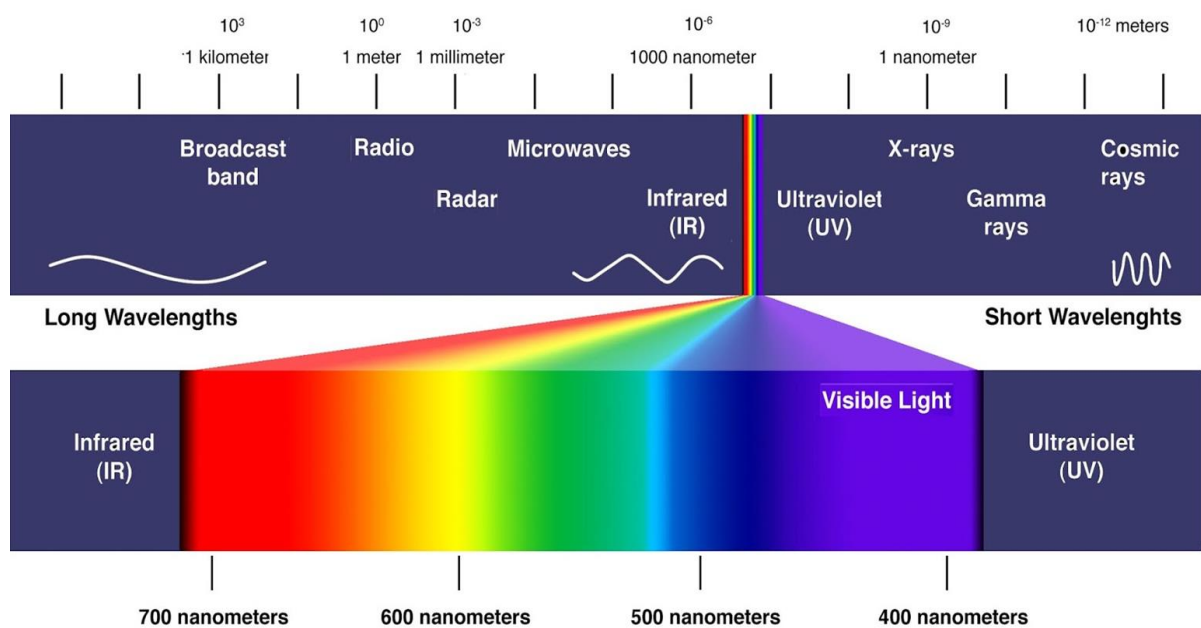
<sup>9</sup> Πηγή: [https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals\\_e.pdf](https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf)

<sup>10</sup> <https://denkikogyo.co.jp/en/elec/frequency/>



πλευρά, αναφέρεται στον αριθμό των κύκλων που περνούν από ένα συγκεκριμένο σημείο σε μια μονάδα χρόνου και μετριέται σε Hertz (Hz), όπου 1 Hz ισούται με έναν κύκλο ανά δευτερόλεπτο. Η συχνότητα και το μήκος κύματος σχετίζονται αντίστροφα: όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος, τόσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα.

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται από τα μικρότερα μήκη κύματος, όπως οι ακτίνες γάμμα και οι ακτίνες X, έως τα μεγαλύτερα μήκη κύματος, όπως τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα. Μέσα σε αυτό το φάσμα υπάρχουν διάφορες περιοχές που είναι σημαντικές για την Τηλεπισκόπηση. Για πολλές εφαρμογές, το υπεριώδες τμήμα του φάσματος είναι κρίσιμο, καθώς περιλαμβάνει μήκη κύματος που είναι πολύ μικρότερα από εκείνα του ορατού φωτός. Αυτή η ακτινοβολία βρίσκεται ακριβώς πέρα από το ορατό φάσμα, και πολλές επιφάνειες της Γης, όπως ορισμένα πετρώματα και ορυκτά, μπορούν να εκπέμπουν ή να ανακλούν ορατό φως όταν φωτίζονται από υπεριώδη ακτινοβολία. Αυτό καθιστά το υπεριώδες φάσμα ένα χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση και ανάλυση γεωλογικών και περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας της Γης.



Εικόνα 2.3.2<sup>11</sup>:Κύρια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος τα κανάλια του, με το μήκος κύματος και τη συχνότητα

Η ακτινοβολία που βρίσκεται κυρίως εκτός του οπτικού φάσματος είναι «αόρατη» για τα ανθρώπινα μάτια, αλλά μπορεί να ανιχνευθεί με τη χρήση ειδικών τηλεσκοπικών οργάνων. Το ορατό φάσμα καλύπτει μήκη κύματος από περίπου 0,4 έως 0,7 μικρόμετρα ( $\mu\text{m}$ ) και χωρίζεται

<sup>11</sup> Πηγή: Ισαάκ Παρχαρίδης, *Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές*, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, 2015.

σε έξι βασικές φασματικές ζώνες, κάθε μία από τις οποίες αντιστοιχεί σε ένα διαφορετικό χρώμα:

1. Ζώνη του Κόκκινου: 610 - 700 nm
2. Ζώνη του Πορτοκαλί: 590 - 610 nm
3. Ζώνη του Κίτρινου: 570 - 590 nm
4. Ζώνη του Πράσινου: 500 - 570 nm
5. Ζώνη του Μπλε: 450 - 500 nm
6. Ζώνη Απόχρωσης του Μπλε (Indigo): 430 - 450 nm
7. Ζώνη του Βιολετί: 400 - 430 nm

Από τις παραπάνω ζώνες, το κόκκινο φως έχει το μεγαλύτερο μήκος κύματος, ενώ το βιολετί το μικρότερο. Ακολουθώντας την ορατή περιοχή, το επόμενο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι η υπέρυθη περιοχή (IR), η οποία εκτείνεται από περίπου 0,7  $\mu\text{m}$  έως 100  $\mu\text{m}$ . Η υπέρυθη ακτινοβολία διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες: ανακλώμενη και θερμική (ή εκπεμπόμενη) υπέρυθη ακτινοβολία. Η υπέρυθη ακτινοβολία χωρίζεται περαιτέρω στις εξής πέντε κατηγορίες:

1. Εγγύς Υπέρυθρα (Near Infrared, NIR): 0,7 - 1,5  $\mu\text{m}$
2. Υπέρυθρα Μικρά Μήκη Κύματος (Short Wavelength Infrared, SWIR): 1,5 - 3  $\mu\text{m}$
3. Υπέρυθρα Μεσαία Μήκη Κύματος (Mid Wavelength Infrared, MWIR): 3 - 8  $\mu\text{m}$
4. Υπέρυθρα Μεγάλα Μήκη Κύματος (Long Wavelength Infrared, LWIR): 8 - 15  $\mu\text{m}$
5. Υπέρυθρα Απομακρυσμένα Μήκη Κύματος (Far Infrared, FIR): Άνω των 15  $\mu\text{m}$

Επιπλέον, η υπεριώδης ακτινοβολία εντοπίζεται μεταξύ των ακτίνων X και της ορατής περιοχής του φάσματος. Αυτή η ακτινοβολία έχει την υψηλότερη ενέργεια στο οπτικό φάσμα και εκτείνεται από 100 έως 400 nm. Η υπεριώδης ακτινοβολία εκπέμπεται κυρίως από πολύ θερμά σώματα, όπως τα άστρα, και είναι ιδιαίτερα ισχυρή και επιβλαβής για τα ζωντανά οργανισμούς.<sup>12</sup>

## 2.4. Κατηγοριοποίηση και χαρακτηριστικά δορυφορικών αισθητήρων

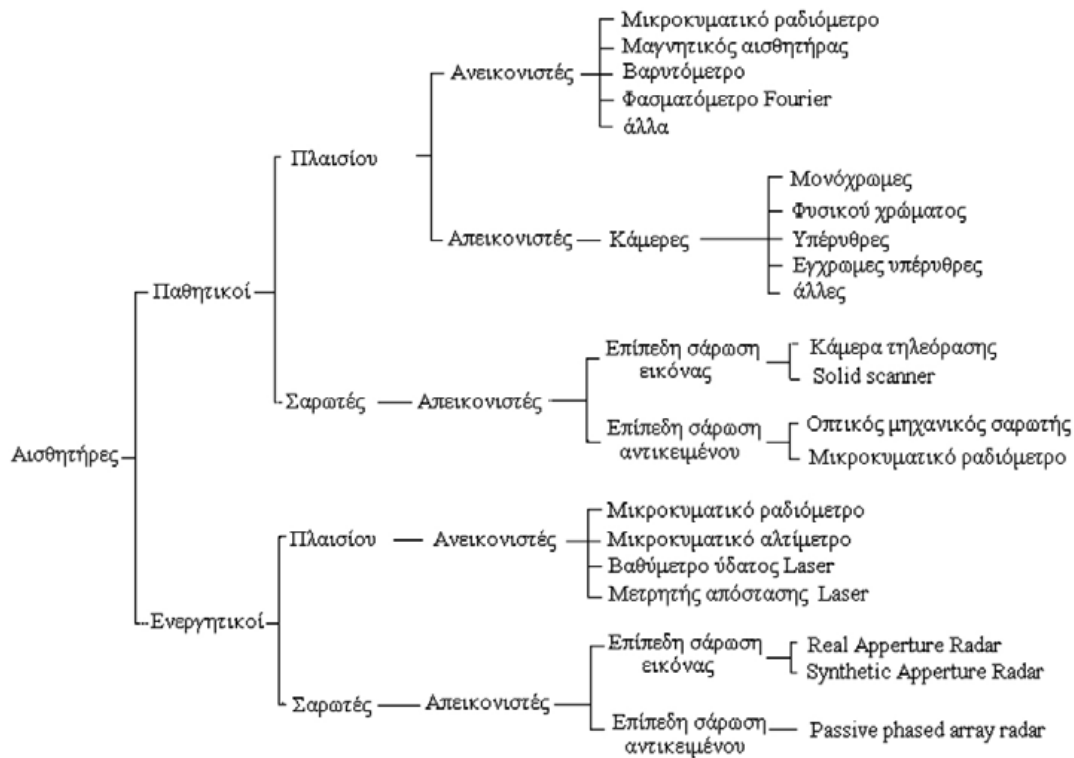
Οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται για τη συλλογή και ανάλυση δεδομένων από την επιφάνεια της Γης μέσω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Αυτοί οι δορυφόροι κατηγοριοποιούνται με βάση την προέλευση της ακτινοβολίας που ανιχνεύουν και τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων

---

<sup>12</sup> Πηγή: Ισαάκ Παρχαρίδης, *Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ*, 2015.

τους. Οι αισθητήρες, ή δέκτες-σαρωτές, διακρίνονται κυρίως σε δύο κατηγορίες, τους παθητικούς και τους ενεργητικούς.

1. **Παθητικοί Αισθητήρες:** Αυτοί οι αισθητήρες ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από φυσικές πηγές, όπως ο ήλιος ή η θερμική ακτινοβολία της Γης. Δεν παράγουν τη δική τους ακτινοβολία αλλά καταγράφουν την ανακλασμένη ή εκπέμπουσα ακτινοβολία από την επιφάνεια της Γης.
2. **Ενεργητικοί Αισθητήρες:** Αυτοί οι αισθητήρες χρησιμοποιούν τη δική τους πηγή ακτινοβολίας για να ανιχνεύσουν αντικείμενα και επιφάνειες. Παράγουν ακτινοβολία που εκπέμπεται προς τη Γη και μετρούν την ανακλασμένη ακτινοβολία. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ραντάρ, που χρησιμοποιεί ραδιοκύματα για την ανίχνευση αντικειμένων.



Εικόνα 2.4.1<sup>13</sup>: Παθητικοί και ενεργητικοί αισθητήρες.

Οι αισθητήρες μπορεί να διαφοροποιούνται και ανάλογα με τον αριθμό των φασματικών ζωνών που μπορούν να ανιχνεύσουν και το φασματικό τους εύρος:

1. **Μονοφασματικοί Αισθητήρες:** Καταγράφουν δεδομένα σε μία μόνο φασματική ζώνη, είτε σε στενό είτε σε ευρύτερο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι μονοφασματικοί

<sup>13</sup> Πηγή : ΠΜΣ Γεωχωρικές Τεχνολογίες : Τηλεπισκόπηση\_Διάλεξη\_01\_02

αισθητήρες που καλύπτουν το ορατό φάσμα και το εγγύς υπέρυθρο δημιουργούν πλήρεις εικόνες, γνωστές ως παγχρωματικές.

2. **Πολυφασματικοί Αισθητήρες:** Ανιχνεύουν δεδομένα σε περισσότερες από μία φασματικές ζώνες. Αυτό επιτρέπει τη συλλογή πιο σύνθετων πληροφοριών για την επιφάνεια της Γης.
3. **Υπερφασματικοί Αισθητήρες:** Καταγράφουν δεδομένα σε πολλές στενές φασματικές ζώνες, συνήθως 10-20 νανομέτρων. Αυτή η υψηλή ανάλυση επιτρέπει λεπτομερή ανάλυση της επιφάνειας και των χαρακτηριστικών της.

Η ποιότητα των δορυφορικών εικόνων εξαρτάται από τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά των φασματόμετρων:

1. **Χωρική Διακριτική Ικανότητα (Spatial Resolution):** Αναφέρεται στο ελάχιστο μέγεθος της γήινης επιφάνειας που μπορεί να διακρίνει ο αισθητήρας. Στην πράξη, αυτό σημαίνει την έκταση που αντιπροσωπεύει ένα εικονοστοιχείο (pixel) της εικόνας. Το pixel είναι το βασικό στοιχείο εικόνας που αντιπροσωπεύει έναν συγκεκριμένο τμήμα της γης<sup>14</sup>.
2. **Φασματική Διακριτική Ικανότητα (Spectral Resolution):** Αναφέρεται στον αριθμό των μηκών κύματος που μπορεί να καταγράψει ο αισθητήρας, δηλαδή στον αριθμό των φασματικών καναλιών που περιλαμβάνει η δορυφορική εικόνα. Αυτή η ικανότητα επηρεάζει την ικανότητα διάκρισης διαφορετικών τύπων υλικών και χαρακτηριστικών της επιφάνειας.
3. **Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα (Radiometric Resolution):** Αντιπροσωπεύει την ικανότητα του αισθητήρα να ανιχνεύει διαφορετικά επίπεδα έντασης της καταγεγραμμένης ακτινοβολίας. Αυτό εκφράζεται μέσω του αριθμού των bits που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της έντασης κάθε εικονοστοιχείου, και καθορίζει τη λεπτομέρεια των διαφορών στις εντάσεις φωτός.
4. **Χρονική Διακριτική Ικανότητα (Temporal Resolution):** Αναφέρεται στον χρόνο που χρειάζεται ο δορυφόρος για να επανέλθει και να καταγράψει ξανά την ίδια γήινη περιοχή. Αυτό είναι σημαντικό για την παρακολούθηση αλλαγών με την πάροδο του χρόνου.

Αυτά τα χαρακτηριστικά συνδυάζονται για να καθορίσουν την ποιότητα και τη χρησιμότητα των δορυφορικών εικόνων για διάφορες εφαρμογές, από την παρακολούθηση περιβαλλοντικών

---

<sup>14</sup> Πηγή: Κωνσταντίνος Γ. Περάκης / Ιωάννης Ν. Φαρασλής / Αθανάσιος Κ. Μουσιάδης, *Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και βοηθήματα*, 2015.

αλλαγών μέχρι την στρατηγική ανάλυση.

## 2.5. Τεχνικές Σύντηξης δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων (DATA FUSION)

Η συνεχώς αυξανόμενη παρουσία δορυφόρων σε τροχιά, οι οποίοι συλλέγουν και μεταδίδουν δεδομένα σε διάφορα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με ποικιλία χωρικών, χρονικών και φασματικών αναλύσεων, έχει ανοίξει νέες προοπτικές για την επιστημονική κοινότητα. Αυτή η πληθώρα δεδομένων επιτρέπει την ενοποίηση διαφορετικών πηγών πληροφοριών, οδηγώντας στη δημιουργία βελτιωμένων απεικονίσεων και αναλύσεων. Η συνδυασμένη χρήση αυτής της τεχνολογίας μπορεί να προσφέρει λύσεις σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, επιτρέποντας μια πιο αποτελεσματική αξιοποίηση των δορυφορικών δεδομένων. Η διαδικασία της συγχώνευσης ή ενοποίησης δεδομένων έχει αναδείξει νέα επίπεδα εξέλιξης στον τομέα, καθώς τα τελικά προϊόντα συχνά προσφέρουν ενισχυμένες ικανότητες ερμηνείας και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Αυτή η τεχνική συνδυάζει δεδομένα με διαφορετικά χαρακτηριστικά, επιτρέποντας την δημιουργία πιο αναλυτικών και χρήσιμων εικόνων<sup>15</sup>.

Η τεχνική της σύντηξης εικόνων, γνωστή και ως συγχώνευση εικόνων, αποτελεί ένα κρίσιμο ερευνητικό πεδίο στην επεξεργασία εικόνας, συνδυάζοντας διαφορετικές πληροφορίες για τη δημιουργία μιας ενιαίας, βελτιωμένης εικόνας. Κατατάσσεται στην κατηγορία της χωρικής ενίσχυσης, καθώς επηρεάζει τις τιμές των pixel με βάση τις γειτονικές τους τιμές. Η ουσιαστική χωρική συχνότητα αναφέρεται στη διακύμανση μεταξύ των υψηλότερων και χαμηλότερων τιμών σε μια συνεχή ομάδα pixel.

Η εξέλιξη της σύντηξης εικόνων ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του 1970, με την ανάγκη επεξεργασίας εικόνων από ραντάρ και πολυφασματικών εικόνων Landsat MSS. Από το 1991, άρχισαν να πραγματοποιούνται πειράματα με σύντηξη εικόνων Landsat, ενώ μετά το 1990, με την πλήρη λειτουργία πολλών χαρτογραφικών δορυφόρων, η τεχνική αυτή έγινε κεντρικό πεδίο ερευνητικού ενδιαφέροντος για την ανάλυση και επεξεργασία δορυφορικών εικόνων.

Από τότε, έχουν διατυπωθεί αρκετοί ορισμοί για τη σύμπτυξη εικόνας:

1. Σύντηξη εικόνας ως συνδυασμός εικόνων: Η δημιουργία νέας εικόνας μέσω της συνένωσης δύο ή περισσότερων εικόνων με τη χρήση ειδικών αλγορίθμων.
2. Σύντηξη εικόνας ως διαδικασία συνδυασμού πληροφοριών: Η δημιουργία μιας σύνθετης εικόνας που περιέχει περισσότερες πληροφορίες από τις αρχικές, κατάλληλη για οπτική

---

<sup>15</sup> Πηγή: Ισαάκ Παρχαρίδης, *Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ*, 2015

αναγνώριση και αλγοριθμική επεξεργασία.

3. Σύντηξη εικόνας ως συνδυασμός εικόνων διαφορετικών μηκών κύματος: Η διαδικασία συνδυασμού εικόνων από αισθητήρες με διαφορετικά μήκη κύματος για τη δημιουργία μιας συνθετικής εικόνας που διευκολύνει την αναγνώριση και ταυτοποίηση στοιχείων του εδάφους, ενώ ενισχύει την αντίληψη του χώρου.

Η σύντηξη εικόνων τηλεπισκόπησης συνδυάζει χωρικά, φασματικά και χρονικά δεδομένα από αερομεταφερόμενους και δορυφορικούς αισθητήρες με διαφορετικές αναλύσεις, δημιουργώντας εικόνες πολλαπλών αισθητήρων που περιέχουν πιο εκτενείς πληροφορίες από τα αρχικά δεδομένα. Τα δεδομένα από πολλούς αισθητήρες μπορούν να συγχωνευθούν για να βελτιώσουν σημαντικά τις προβλέψεις και τη χαρτογράφηση των ιδιοτήτων του εδάφους.

Η συγχώνευση δεδομένων επιδιώκει την ένωση ασύνδετων και συμπληρωματικών πληροφοριών για τη δημιουργία ενός νέου προϊόντος που συνδυάζει όσο το δυνατόν περισσότερα χαρακτηριστικά και πληροφορίες από τις αρχικές εικόνες. Έτσι, αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα των αρχικών δεδομένων και βελτιώνεται η ποιότητα της πληροφορίας.

Η συγχώνευση μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους:

1. **Ενσωμάτωση ενεργητικών συστημάτων καταγραφής:** Συνδυασμός εικόνων ραντάρ που παρέχουν χρονοσειρές με πολυφασματικές εικόνες SAR.
2. **Συνδυασμός οπτικών αισθητήρων για διαχρονική ανάλυση:** Χρήση οπτικών αισθητήρων σε συνδυασμό με πολυφασματικές εικόνες.
3. **Χρήση οπτικών αισθητήρων για χωρική ενίσχυση:** Συνδυασμός εικόνων Spot με εικόνες Landsat για τη βελτίωση της χωρικής ανάλυσης.
4. **Συνδυασμός δορυφορικών δεδομένων με επιπλέον βοηθητικά δεδομένα:** Χρήση τοπογραφικών και θεματικών χαρτών για βαθύτερη ανάλυση.

Η συγχώνευση εικόνων βελτιώνει την ερμηνευτική ικανότητα και προσφέρει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, καθώς συνδυάζει δεδομένα με ποικιλία χαρακτηριστικών. Οι συγχωνευμένες εικόνες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα φασματικής, χωρικής και χρονικής ανάλυσης, προσφέροντας μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των αντικειμένων που παρατηρούνται. Για παράδειγμα, μια οπτική παγχρωματική εικόνα υψηλής ανάλυσης παρέχει λεπτομέρειες για το σχήμα και το μέγεθος ενός αντικειμένου, ενώ η προσθήκη μιας πολύ-ειδικής εικόνας αποκαλύπτει φασματικές λεπτομέρειες. Η προσθήκη θερμικής υπέρυθρης εικόνας δίνει πληροφορίες για τη θερμοκρασία του αντικειμένου, διευκολύνοντας την αναγνώριση και

κατανόηση, και η εικόνα ραντάρ προσφέρει πρόσθετες μοναδικές ιδιότητες.

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου συγχώνευσης εικόνας εξαρτάται από τον στόχο και τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Πρέπει να εξεταστούν τα εξής:

- Ο στόχος της εφαρμογής για την καθορισμένη φασματική, χωρική και χρονική ανάλυση.
- Ο τύπος των εικόνων και δεδομένων που είναι χρήσιμα, λαμβάνοντας υπόψη τα τροχιακά χαρακτηριστικά και τις καιρικές συνθήκες.
- Η επιλογή της κατάλληλης τεχνικής συγχώνευσης, ανάλογα με την εφαρμογή και την ανάγκη επαλήθευσης των αποτελεσμάτων.
- Η γεωμετρία των αισθητήρων και οι διαφορές τους μεταξύ οπτικών και SAR συστημάτων, προκειμένου να ληφθεί υπόψη η ακριβής διάταξη των εικονοστοιχείων κατά τη συγχώνευση εικόνων.

## 2.6 Μέθοδοι Σύντηξης δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων

Η χρήση της σύντηξης εικόνας είναι ευρέως διαδεδομένη, και μία από τις πιο βασικές και συνηθισμένες εφαρμογές της είναι η βελτίωση της χωρικής ανάλυσης μιας εικόνας. Μια συχνή μέθοδος για να επιτευχθεί αυτό είναι η διαδικασία της όξυνσης εικόνας (pansharpening), κατά την οποία μια παγχρωματική εικόνα υψηλής ανάλυσης από δορυφόρο ή αερομεταφερόμενο σύστημα συγχωνεύεται με μια πολυφασματική εικόνα χαμηλότερης ανάλυσης. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, η φασματική ανάλυση της πολυφασματικής εικόνας διατηρείται, ενώ ταυτόχρονα ενσωματώνεται η ανώτερη χωρική ανάλυση της παγχρωματικής εικόνας, παρέχοντας έτσι μια εικόνα με πολύ περισσότερες λεπτομέρειες.

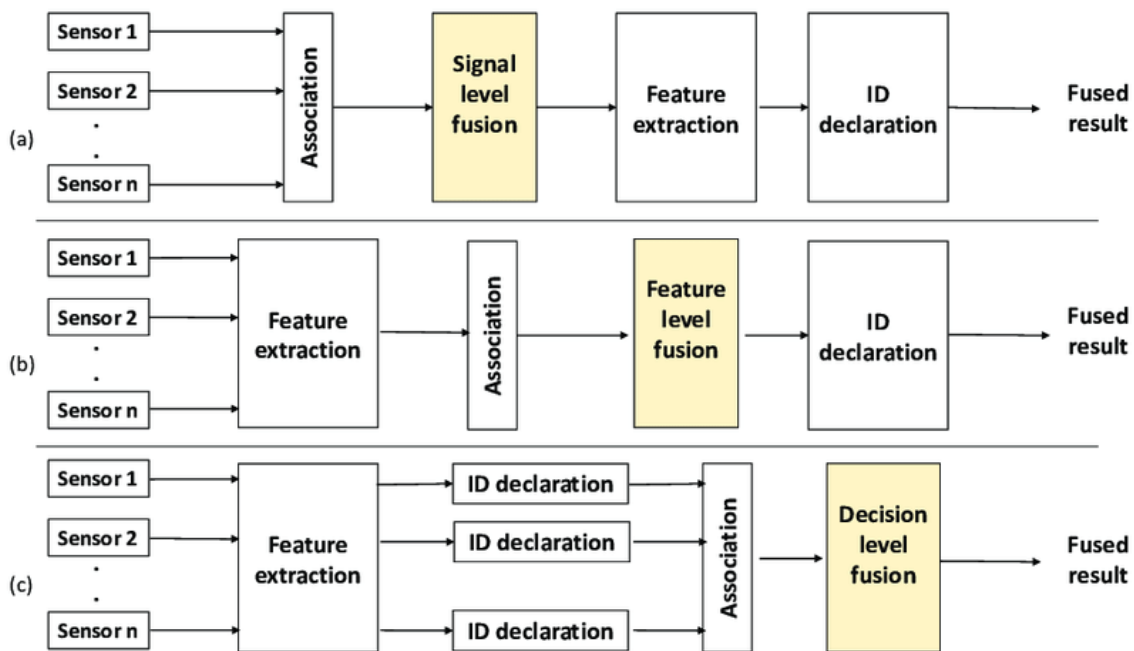
Ένα άλλο παράδειγμα είναι η συγχώνευση οπτικών εικόνων υψηλής ανάλυσης με δεδομένα Συνθετικής Ανοίγματος Ραδιομέτρου (SAR) χαμηλότερης ανάλυσης, ή το αντίστροφο. Αυτή η προσέγγιση δεν επιτυγχάνει μόνο την ενσωμάτωση διαφορετικών συνόλων δεδομένων, αλλά επίσης βελτιώνει την ποιότητα και την ακρίβεια των παραγόμενων εικόνων. Στον τομέα της χαρτογράφησης και της ενημέρωσης χαρτών, η γεωμετρική ακρίβεια και η ενίσχυση των χωρικών κλιμάκων είναι από τις σημαντικότερες εφαρμογές των τεχνικών σύντηξης εικόνας και δεδομένων.

Η σύμπτυξη εικόνων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε τρία διαφορετικά επίπεδα:

1. **Σε Επίπεδο Pixel:** Αυτή είναι η πιο βασική μορφή σύντηξης, όπου δεδομένα από παρόμοιους αισθητήρες συγχωνεύονται σε ένα κοινό σύστημα αναφοράς, εξασφαλίζοντας

ακριβή χωρική ταύτιση για την αποφυγή σφαλμάτων μετατόπισης.

2. **Σε Επίπεδο Αντικειμένου:** Εδώ, εξάγονται πληροφορίες βασισμένες σε χαρακτηριστικά όπως το σχήμα, το μέγεθος και η θέση των αντικειμένων στις εικόνες. Τα εξαγόμενα αντικείμενα από διάφορες εικόνες συνδυάζονται για να δημιουργήσουν δεδομένα εισόδου για τεχνικές αναγνώρισης προτύπων.
3. **Σε Επίπεδο Λήψης Απόφασης:** Πληροφορίες εξάγονται από κάθε αισθητήρα ξεχωριστά και στη συνέχεια συνδυάζονται για να παρέχουν μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των αντικειμένων υπό εξέταση.



<sup>16</sup>Εικόνα 2.6.1: Οι τρεις τύποι συγχώνευσης δεδομένων: επίπεδο παρατήρησης, επίπεδο χαρακτηριστικών και επίπεδο απόφασης.

Οι μέθοδοι σύντηξης εικόνας κατατάσσονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

**A. Μέθοδοι Βασισμένες σε Χρωματικά Συστήματα:** Οι τεχνικές αυτές περιλαμβάνουν την χρήση του μοντέλου RGB (Red, Green, Blue) καθώς και πιο σύνθετους μετασχηματισμούς όπως το IHS (Intensity, Hue, Saturation) και το HSV (Hue, Saturation, Value).<sup>17</sup>

**B. Στατιστικές ή Αριθμητικές Μέθοδοι:** Αυτές περιλαμβάνουν μεθόδους όπως η ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA), η χρήση φίλτρων υψηλής προσπέλασης (High Pass Filters), και οι μετασχηματισμοί Wavelet

<sup>16</sup>[https://www.researchgate.net/figure/Data-fusion-at-three-different-levels-a-Signal-level-fusion-b-feature-level-fusion\\_fig1\\_337043182](https://www.researchgate.net/figure/Data-fusion-at-three-different-levels-a-Signal-level-fusion-b-feature-level-fusion_fig1_337043182)

<sup>17</sup> Πηγή: Κωνσταντίνος Γ. Περάκης / Ιωάννης Ν. Φαρασλής / Αθανάσιος Κ. Μουσιάδης, Η Τηλεπικοινωνία σε 13 Ενότητες, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και βοηθήματα, 2015.



Μια από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές είναι το χρωματικό μοντέλο IHS, το οποίο μετασχηματίζει τα κανάλια RGB σε συνιστώσες έντασης, απόχρωσης και κορεσμού. Η ένταση αντικαθίσταται από την παγχρωματική εικόνα και εκτελείται ο αντίστροφος μετασχηματισμός για την παραγωγή μιας πολυφασματικής εικόνας με υψηλή χωρική ανάλυση.<sup>18</sup>

Μια άλλη σημαντική μέθοδος είναι η Gram-Schmidt Spectral Sharpening (GSSS), που χρησιμοποιείται συχνά στη γεωλογική χαρτογράφηση. Αυτή η μέθοδος βελτιώνει τη χωρική ανάλυση της εικόνας MS μέσω των εξής βημάτων:

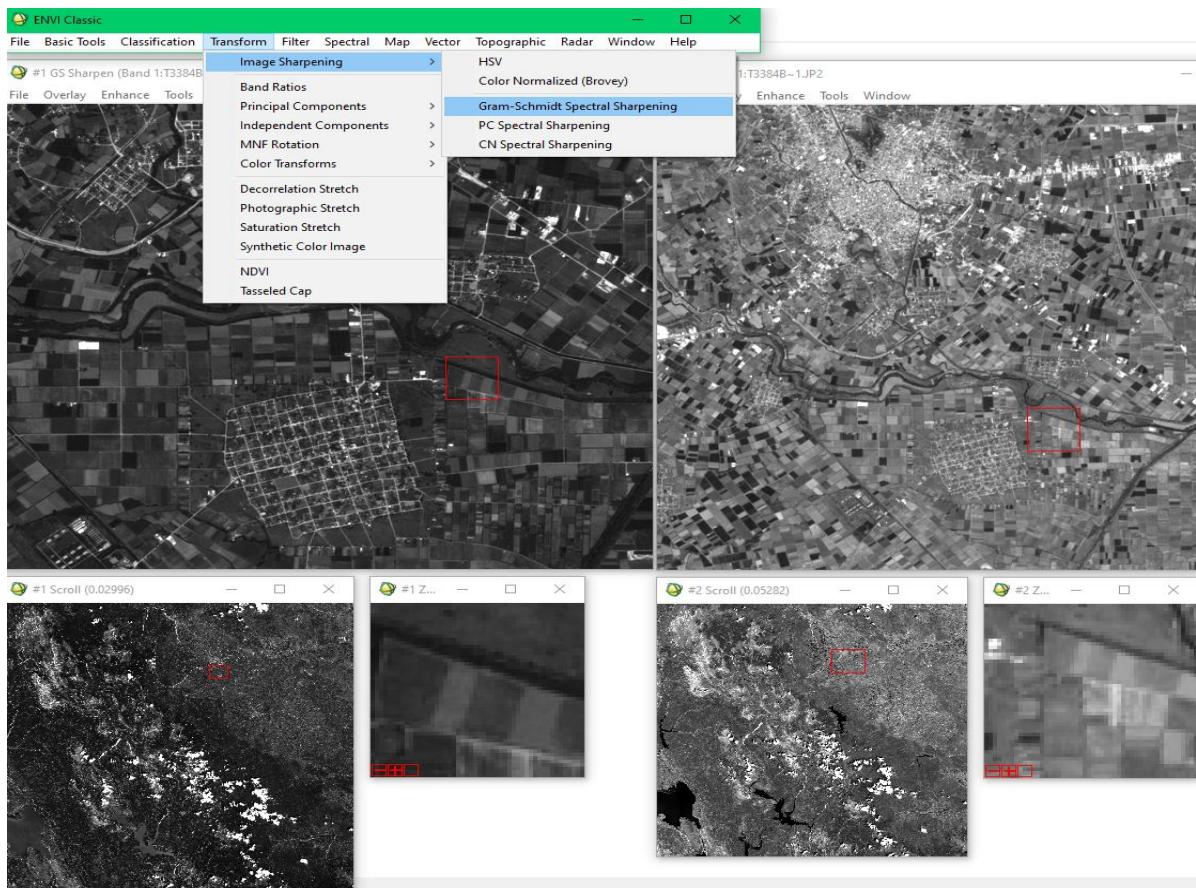
1. **Προσομοίωση χαμηλότερης ανάλυσης:** Υπολογίζεται μια προσομοιωμένη εικόνα χαμηλότερης ανάλυσης από τα δεδομένα MS.
2. **Εκτέλεση Μετασχηματισμού Gram-Schmidt:** Χρησιμοποιείται η προσομοιωμένη εικόνα ως η πρώτη εικόνα στον μετασχηματισμό.
3. **Προσαρμογή Στατιστικών Στοιχείων:** Τα στατιστικά της εικόνας υψηλότερης ανάλυσης προσαρμόζονται για να ταιριάζουν με την πρώτη ζώνη του μετασχηματισμού.
4. **Αντικατάσταση Πρώτης Ζώνης:** Η τροποποιημένη εικόνα υψηλότερης ανάλυσης αντικαθιστά την πρώτη ζώνη του μετασχηματισμού.
5. **Εκτέλεση Αντίστροφου Μετασχηματισμού Gram-Schmidt:** Το νέο σύνολο ζωνών μετασχηματίζεται πίσω για να παραχθεί η τελική εικόνα MS με βελτιωμένη ανάλυση.<sup>19</sup>

Με αυτές τις μεθόδους, επιτυγχάνεται η ενίσχυση της χωρικής και φασματικής ανάλυσης των εικόνων, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα και την αξιοπιστία των γεωχωρικών δεδομένων.

---

<sup>18</sup> Πηγή: Κωνσταντίνος Γ. Περάκης / Ιωάννης Ν. Φαρασλής / Αθανάσιος Κ. Μουσιάδης, *Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότιτες, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και Βοηθήματα, 2015*

<sup>19</sup> MS þ Pan image fusion by an enhanced Gram-Schmidt spectral sharpening, B. Aiazzi, S. Baronti & M. Selva Institute of Applied Physics “Nello Carrara” of the National Research Council IFAC-CNR, Florence, Italy L. Alparone Department of Electronics & Telecommunications, University of Florence, Florence, Italy



Εικόνα 2.6.2.: Συγχώνευση δεδομένων αρχικής φασματικής εικόνας με την μέθοδο Gram-Schmidt Spectral Sharpening μέσω ENVI Classic

## 2.7. Μέθοδος της Ανάλυσης Κύριων Συνιστωσών (PCA)

Η Ανάλυση σε Κύριες Συνιστώσες (Principal Component Analysis - PCA) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται στην επεξεργασία πολυφασματικών εικόνων με σκοπό τη μείωση των πολυδιάστατων δεδομένων. Αυτή η μείωση επιτυγχάνεται χωρίς να χαθεί η σημαντική πληροφορία που χρειάζεται ο μελετητής. Η PCA απομακρύνει τις υψηλά συσχετισμένες συνιστώσες, δημιουργώντας νέα, ανεξάρτητα δεδομένα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συμπίεση του αρχικού όγκου δεδομένων, επιταχύνοντας τον χρόνο επεξεργασίας και ελαχιστοποιώντας την απώλεια πληροφοριών.

Στην ανάλυση πολυφασματικών εικόνων μέσω της PCA, η διαδικασία ξεκινά με τη μετατροπή της εικόνας στις κύριες συνιστώσες της, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα κύρια μοτίβα ή τις πιο σημαντικές δομές των δεδομένων. Η πρώτη κύρια συνιστώσα χρησιμοποιείται για την ανακατασκευή της παγχρωματικής εικόνας. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται ο αντίστροφος μετασχηματισμός PCA στις νέες συνιστώσες για να επαναφέρει την εικόνα στην αρχική της μορφή. Αυτό διασφαλίζει ότι τα δεδομένα έχουν συμπιεστεί χωρίς σημαντική απώλεια

πληροφορίας. Η μέθοδος PCA είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη μείωση των διαστάσεων και αποτελεί κοινή πρακτική στην ανάλυση δεδομένων. Ωστόσο, απαιτείται προσεκτική εφαρμογή σε πολυφασματικές εικόνες χαμηλής ανάλυσης για να αποφευχθεί η απώλεια σημαντικών πληροφοριών.

Η συγχώνευση πολυφασματικών εικόνων από πολλούς δορυφόρους μπορεί να αποδώσει πιο λεπτομερείς και πλούσιες πληροφορίες από ό,τι μπορεί να παρέχει κάθε δορυφόρος ξεχωριστά. Αυτή η ερευνητική προσέγγιση στοχεύει να αξιολογήσει την δυνατότητα εικόνων εδάφους με πολλούς αισθητήρες που λαμβάνονται από τη σύντηξη διαφόρων πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων. Στόχος είναι η πρόβλεψη και χαρτογράφηση της διαθέσιμης γης για καλλιέργεια, με απώτερο σκοπό τον υπολογισμό της υπολειπόμενης βιομάζας για την ενδεχόμενη χρήση της σε εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Η έρευνα χρησιμοποιεί διαχρονικές εικόνες για την εξαγωγή ασφαλών αποτελεσμάτων σχετικά με τις καλλιέργειες, ενώ οι κατηγοριοποιήσεις των δεδομένων αποσκοπούν στον υπολογισμό των εκτάσεων και την παραγωγή αξιόπιστης υπολογιστικής βάσης.

Η υπόθεση της έρευνας είναι ότι οι δορυφορικές εικόνες σύντηξης παρέχουν δεδομένα υψηλής ποιότητας, προσφέροντας συνεχείς, λεπτομερείς και πλούσιες πληροφορίες για το έδαφος σε σύγκριση με τις εικόνες από έναν μόνο δορυφόρο. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται τόσο στους φασματικούς δείκτες όσο και στις προσεγγίσεις της φασματικής ζώνης.

Στην Τηλεπισκόπηση, η σύμπτυξη εικόνων είναι κρίσιμη για την ανάλυση περιοχών με πολύπλοκες μορφολογικές δομές, όπως αγροτικές εκτάσεις, ετερογενείς δασικές περιοχές και αστικές περιοχές. Χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα υψηλής χωρικής και φασματικής ανάλυσης, οι τεχνικές σύμπτυξης επιτρέπουν τη δημιουργία νέων εικόνων με λεπτομερείς πληροφορίες. Αυτές οι τεχνικές εφαρμόζονται στη διαχείριση γεωργικών εκτάσεων, την ταξινόμηση αστικών περιοχών και την παρακολούθηση δασικών περιοχών.

Με τη χρήση δεικτών όπως ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI), οι ερευνητές μπορούν να αξιολογήσουν τη βιομάζα και την ποιότητα της βλάστησης. Αυτό συμβάλλει στην ανίχνευση καλλιεργήσιμων εκτάσεων και στη διαχείριση των καλλιεργειών. Οι τεχνικές αυτές, σε συνδυασμό με την χρήση πολυφασματικών και παγχρωματικών εικόνων, προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα στην ακρίβεια και τη λεπτομέρεια των γεωχωρικών δεδομένων, καθιστώντας τις ιδανικές για πολλές εφαρμογές στην γεωργία, τη δασοκομία και την αστική ανάπτυξη.

# Κεφάλαιο 3. Εφαρμογή Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ)

## 3.1 Εισαγωγή

Η χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΠΣ) και Τηλεπισκόπησης προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών επίγειων μετρήσεων. Εκτός από την αποθήκευση μόνιμων αρχείων που επιτρέπουν την εξέταση των διαχρονικών μεταβολών, παρέχουν βέλτιστη φασματική ευαισθησία σε συγκεκριμένες περιοχές μεγάλης κλίμακας. Τα ΓΠΣ και η Τηλεπισκόπηση μπορούν να καλύψουν τη χωρική ανάλυση και την γεωμετρική πιστότητα με συχνότητα και ταχύτητα που δεν είναι δυνατές με συστήματα επίγειων ή μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

Αρχικά, οι αεροφωτογραφίες ήταν ασπρόμαυρες και χαμηλής ανάλυσης. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, οι αισθητήρες έχουν βελτιωθεί, αποδίδοντας έγχρωμες και υπέρυθρες φωτογραφίες, επιτρέποντας τη διάκριση διαφόρων τύπων βλάστησης. Η αεροφωτογραφία έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να φωτογραφίσει περιοχές με νεφοκάλυψη, ενώ με τεχνικές ατμοσφαιρικών διορθώσεων μπορούν να ληφθούν απαραίτητες λήψεις καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου για την παροχή δεδομένων ελέγχου και καταγραφής.

Τα δεδομένα Τηλεπισκόπησης μπορούν να χρησιμεύσουν ως άμεσες ή έμμεσες ενδείξεις για την επιφάνεια και τις δραστηριότητες-χρήσεις μιας περιοχής. Οι άμεσες ενδείξεις αναφέρονται σε επιφανειακές πληροφορίες που μπορούν να συνδεθούν άμεσα με δραστηριότητες μέσω φυσικών διεργασιών και φασματικών πληροφοριών. Οι έμμεσες ενδείξεις απαιτούν πρόσθετη ερμηνεία και δεδομένα για να αποδειχθεί η καταλληλότητα μιας τοποθεσίας για εγκαταστάσεις ΑΠΕ.

Ο συνδυασμός της διαχείρισης, οργάνωσης πληροφοριών και χαρτογραφήσεων μέσω ΓΠΣ δημιουργεί μια ολοκληρωμένη εφαρμογή για τις χωροθετήσεις των μονάδων ΑΠΕ. Οι προσεγγίσεις που βασίζονται σε ΓΠΣ έχουν αποδειχθεί πολύτιμες σε πολλά ερευνητικά έργα, όπως η αξιολόγηση δυναμικού ΑΠΕ, η κατανάλωση ενέργειας, η μοντελοποίηση και ο σχεδιασμός έργων ενεργειακής υποδομής. Τα ΓΠΣ είναι απαραίτητα για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων ΑΠΕ και των τοπικών επιπτώσεων, καθώς και για την αξιολόγηση μελλοντικών εγκαταστάσεων ΑΠΕ, λαμβάνοντας υπόψη τεχνικά, περιβαλλοντικά, κοινωνικά, οικονομικά

και πολιτικά κριτήρια. Παρά τη μεγάλη πρόοδο, η συνεκτίμηση της τοπικής ενεργειακής ζήτησης, των περιορισμών του δικτύου και της χρονικής μεταβλητότητας των ΑΠΕ όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια μόλις αρχίζουν να εμφανίζονται στην τρέχουσα ερευνητική ατζέντα. Η χρήση ΓΠΣ και Τηλεπισκόπησης μαζί με την επίγεια παρακολούθηση παρέχει σημαντικές πληροφορίες για την επιφάνεια της γης, συμβάλλοντας σημαντικά στην ανάπτυξη των ΑΠΕ. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την αποδοτικότερη και ακριβέστερη αξιολόγηση και σχεδιασμό έργων ΑΠΕ, διασφαλίζοντας αξιόπιστο εφοδιασμό και οικονομική βιωσιμότητα.

### **3.2 Εφαρμογή Τηλεπισκόπησης στις ΑΠΕ**

Η τεχνολογία της Τηλεπισκόπησης προσφέρει κρίσιμα δεδομένα που μπορούν να επηρεάσουν άμεσα την αξιολόγηση και την ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ). Σημαντικά δεδομένα όπως οι επιφανειακές αποτυπώσεις, οι μετρήσεις ακτινοβολίας, το αιολικό δυναμικό, καθώς και η διακριτική υπογραφή της ορυκτολογίας και των ειδών βλάστησης, εξάγονται μέσω αυτής της τεχνολογίας. Οι γεωχωρικές τεχνικές που σχετίζονται με την Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιούνται για την ακριβή υπολογισμό και ανάλυση διάφορων μετρήσεων που αφορούν κάθε τύπο ανανεώσιμης ενέργειας, βοηθώντας στη βελτίωση της αποδοτικότητάς τους.

Οι ΑΠΕ συνδέονται στενά με τις τοπικές ατμοσφαιρικές συνθήκες και το περιφερειακό κλίμα, και η παραμικρή αλλαγή στις μετεωρολογικές συνθήκες μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στην παραγωγή ενέργειας. Οι τεχνικές Τηλεπισκόπησης της ατμόσφαιρας αποτελούν βασική πηγή δεδομένων για την ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων που υποστηρίζουν τον σχεδιασμό και την αποτελεσματική λειτουργία ηλεκτρικών συστημάτων που βασίζονται σε διαλείπουσες πηγές ενέργειας. Η ικανότητα της Τηλεπισκόπησης να παρέχει δεδομένα σε μεγάλη κλίμακα, με υψηλό ρυθμό ανανέωσης και σε όλα τα φασματικά επίπεδα, χρησιμοποιώντας δείκτες και μεθόδους βελτίωσης της απεικόνισης, είναι κρίσιμη για την υποστήριξη της ανάπτυξης και της διαχείρισης των ΑΠΕ.

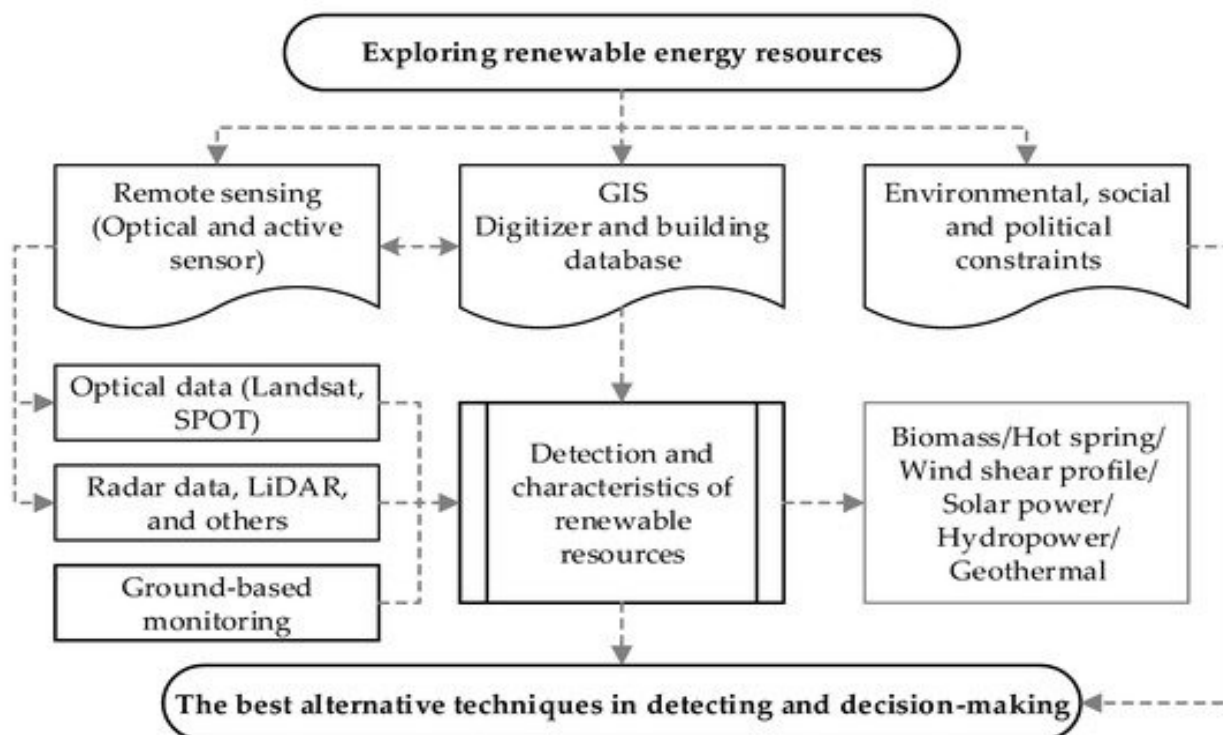
Εκτός από τις ηλιακές και αιολικές πηγές ενέργειας, και άλλοι ανανεώσιμοι πόροι απαιτούν τη χρήση Τηλεπισκόπησης για την εκτίμηση της διαθεσιμότητας και της μεταβλητότητάς τους. Ειδικότερα, η τεχνολογία αυτή είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση των γεωθερμικών, υδροηλεκτρικών και ωκεάνιων ενεργειακών πόρων. Ενδεικτικά, η Τηλεπισκόπηση βοηθά στην κατανόηση της χρονικής και χωρικής συμπληρωματικότητας μεταξύ διαφορετικών ΑΠΕ, ενισχύοντας έτσι την ενεργειακή ασφάλεια και βελτιώνοντας την ποιότητα της ενέργειας που

παρέχεται στους καταναλωτές. Το συγκριτικό πλεονέκτημα της Τηλεπισκόπησης έγκειται στη δυνατότητά της να υπολογίζει και να αξιολογεί μεταβλητές σε πολύ μεγάλη κλίμακα, καθιστώντας την απαραίτητη για όλες τις ΑΠΕ. Με τη συλλογή διαχρονικών δεδομένων και τη χαρτογράφηση εκτάσεων, η Τηλεπισκόπηση συμβάλλει στην ανάλυση της αξιοποιήσιμης βιομάζας για εργοστάσια επεξεργασίας και παρέχει αναλύσεις με δείκτες βλάστησης και μετρήσεις παραγωγικότητας που βασίζονται σε υλικά που φέρει το έδαφος.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) προσφέρουν μοναδικές δυνατότητες για την οργάνωση, ανάλυση, επεξεργασία και απεικόνιση μεγάλων ποσοτήτων γεωγραφικών δεδομένων. Χρησιμοποιώντας τη λειτουργία χωρικής ανάλυσης του λογισμικού γεωπληροφορικής και τις μονάδες γεωστατιστικής, τα ΓΣΠ επιτρέπουν την αποτελεσματική διαχείριση και ανάλυση γεωγραφικών πληροφοριών. Η πολυδιάστατη χαρτογράφηση ενεργειακής υποδομής συνδυάζεται με διάφορες μεθόδους ΓΣΠ για την παροχή ενός ισχυρού μηχανισμού υποστήριξης αποφάσεων. Αυτός ο μηχανισμός διευκολύνει την αξιολόγηση διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων υπό πολλαπλά κριτήρια, οδηγώντας στην ανάπτυξη χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης. Η προσέγγιση αυτή συνδυάζει τεχνικούς, οικονομικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικοπολιτικούς δείκτες για τη βελτίωση της αξιολόγησης της τοποθέτησης αιολικών πάρκων, των γεωθερμικών περιοχών και των τεχνικά κατάλληλων περιοχών για φωτοβολταϊκά συστήματα άντλησης νερού.

Η τηλεπισκόπηση, ως τεχνολογία συλλογής δεδομένων μέσω δορυφόρων ή αεροσκαφών, διαδραματίζει κεντρικό ρόλο στη σύγχρονη διαχείριση των ΑΠΕ. Με την ικανότητα να παρέχει δεδομένα υψηλής ακρίβειας σε μεγάλη κλίμακα, η τηλεπισκόπηση είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και τη διαχείριση των ΑΠΕ, συμβάλλοντας καθοριστικά στη μετάβαση προς καθαρές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Εφαρμογές της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολίας, την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, την παρακολούθηση των υδάτινων πόρων και την αξιολόγηση της βιομάζας, με στόχο την βελτιστοποίηση της απόδοσης και της βιωσιμότητας των έργων ΑΠΕ.

Αναλυτικότερα η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση του δυναμικού ηλιακής ενέργειας μέσω της μέτρησης της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης. Δορυφορικά δεδομένα όπως τα δεδομένα του προγράμματος MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) της NASA παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ηλιακή ακτινοβολία, τη νέφωση και την ατμοσφαιρική σύνθεση, που είναι κρίσιμες για την εκτίμηση του ηλιακού δυναμικού σε διάφορες τοποθεσίες .



Εικόνα 3.2.1<sup>20</sup>.. Διάγραμμα ροής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με συνδυασμό Τηλεπισκόπησης και GIS.

Για την **αιολική** ενέργεια, η τηλεπισκόπηση παρέχει δεδομένα για την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου σε διάφορα ύψη. Δορυφορικά δεδομένα από προγράμματα όπως το Scatterometer του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA) χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των ανέμων στην επιφάνεια της θάλασσας και την πρόβλεψη των ανέμων στην ξηρά. Αυτά τα δεδομένα βοηθούν στον εντοπισμό κατάλληλων τοποθεσιών για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών.

Η τηλεπισκόπηση συμβάλλει επίσης στην **υδροηλεκτρική** ενέργεια μέσω της παρακολούθησης των υδάτινων πόρων. Δορυφορικά δεδομένα από προγράμματα όπως το Landsat και το Sentinel-2 παρέχουν πληροφορίες για την έκταση και τη μεταβολή των υδάτινων επιφανειών, τις βροχοπτώσεις και την κάλυψη χιονιού. Αυτές οι πληροφορίες είναι κρίσιμες για την εκτίμηση της διαθεσιμότητας υδάτινων πόρων για την υδροηλεκτρική παραγωγή.

Στην περίπτωση της **βιομάζας**, η τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της βλάστησης και της χρήσης γης. Δεδομένα από δορυφόρους όπως το Sentinel-2 και το Landsat χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της βιομάζας μέσω δεικτών βλάστησης όπως ο NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Αυτά τα δεδομένα βοηθούν στην εκτίμηση της ποσότητας και της ποιότητας της βιομάζας που είναι διαθέσιμη για ενεργειακή χρήση.

<sup>20</sup> Πηγή: [https://www.researchgate.net/figure/Flowchart-of-exploring-renewable-energy-resources-by-combination-of-remote-sensing-and\\_fig4\\_335248878](https://www.researchgate.net/figure/Flowchart-of-exploring-renewable-energy-resources-by-combination-of-remote-sensing-and_fig4_335248878)

Οι τεχνολογίες τηλεπισκόπησης βελτιώνονται συνεχώς, επιτρέποντας την παροχή δεδομένων υψηλότερης ανάλυσης και την ανάπτυξη νέων εφαρμογών στις ΑΠΕ. Η ενσωμάτωση της τηλεπισκόπησης με άλλα εργαλεία όπως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) και τα μοντέλα πρόβλεψης καιρού παρέχει ακόμη πιο ακριβείς και αξιόπιστες εκτιμήσεις για τον σχεδιασμό και την ανάπτυξη των ΑΠΕ . Η τηλεπισκόπηση αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της σύγχρονης διαχείρισης και αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Παρέχει τα δεδομένα και τα εργαλεία που απαιτούνται για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και της βιωσιμότητας των έργων ΑΠΕ, συμβάλλοντας στην παγκόσμια μετάβαση προς καθαρές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



# Κεφάλαιο 4. Έρευνα για την αξιοποίηση της παραγόμενης βιομάζας

## 4.1 Εισαγωγή

Για την καλύτερη κατανόηση και παρουσίαση της βιωσιμότητας των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), είναι σημαντικό να αναλύσουμε τη σχέση τους με τους τρεις βασικούς τομείς της βιωσιμότητας: κοινωνικό, περιβαλλοντικό και οικονομικό. Ειδικότερα, η βιωσιμότητα των ΑΠΕ δεν περιορίζεται μόνο στη μειωμένη περιβαλλοντική επίπτωση αλλά επεκτείνεται και στην κοινωνική αποδοχή και την οικονομική τους απόδοση.

Η βιωσιμότητα των ΑΠΕ απαιτεί έναν πολυδιάστατο ορισμό που να περιλαμβάνει:

1. **Κοινωνικούς Παράγοντες:** Οι ΑΠΕ μπορούν να υποστηρίξουν την κοινωνική ανάπτυξη παρέχοντας εργασία και προωθώντας την τοπική ανάπτυξη, ακόμη και αν η περιβαλλοντική τους επίπτωση δεν είναι μηδενική.
2. **Περιβαλλοντικούς Παράγοντες:** Εξετάζουμε την περιβαλλοντική επίπτωση των ΑΠΕ, αναγνωρίζοντας ότι, αν και μειώνουν τις εκπομπές CO<sub>2</sub> σε σχέση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας, έχουν και αυτές τις περιβαλλοντικές προκλήσεις, όπως στην περίπτωση της καύσης βιομάζας.
3. **Οικονομικούς Παράγοντες:** Η οικονομική βιωσιμότητα περιλαμβάνει την αξιολόγηση του κόστους και της απόδοσης των ΑΠΕ, αναγνωρίζοντας την ανάγκη για οικονομικά βιώσιμες λύσεις που να μπορούν να ανταγωνιστούν τις συμβατικές πηγές ενέργειας.

Συγκεκριμένα, η βιομάζα, ως μια σημαντική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα αλλά και προκλήσεις. Περιλαμβάνει υλικά που προέρχονται από ζωντανούς οργανισμούς και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας. Αυτά τα υλικά κατηγοριοποιούνται ως εξής:

1. **Δασικά Υπολείμματα:** Περιλαμβάνουν τα οργανικά υλικά που προκύπτουν από την διαχείριση των δασών, όπως κλαδιά και ξύλα.
2. **Αγροτικά Υπολείμματα:** Αφορούν τα απόβλητα που προκύπτουν από τις γεωργικές δραστηριότητες, όπως κομποστοποιημένα υλικά και άλλα οργανικά προϊόντα.
3. **Συναφείς Βιομηχανίες:** Υπολείμματα που προκύπτουν από βιομηχανικές διαδικασίες που επεξεργάζονται οργανικά υλικά, όπως τα παράγωγα του ξύλου.

Αυτά τα υλικά μπορούν να υποστούν διάφορες επεξεργασίες όπως κομποστοποίηση, αναγωγή ή καύση για την παραγωγή ενέργειας.

Η χρήση της βιομάζας συνεισφέρει στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικές πηγές ενέργειας και στην ανακύκλωση των οργανικών αποβλήτων. Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ειδικών εγκαταστάσεων επεξεργασίας, οι οποίες συχνά συνδέονται με αγροτικές δραστηριότητες. Η επεξεργασία βιομάζας αποδίδει επαναχρησιμοποιήσιμα προϊόντα, όπως λιπάσματα για τους αγρότες, συνεισφέροντας έτσι στην κυκλική οικονομία. Η βιοενέργεια διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στις στρατηγικές αειφόρου ενέργειας λόγω της δυνατότητας ανακύκλωσης αγροτικών και δασικών υπολειμμάτων. Η ανάπτυξη στρατηγικών προμήθειας πρώτων υλών και οι ενεργειακές πολιτικές που προάγουν την παραγωγή βιοενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική αξιοποίηση των πόρων. Η έρευνα και οι τεχνολογίες προώθησης των πρώτων υλών βιοενέργειας υποστηρίζουν την ανάπτυξη του τομέα και την ενίσχυση της ενεργειακής ασφάλειας.

Η ανάλυση των δεδομένων βιομάζας συνήθως περιλαμβάνει γραμμικά μοντέλα που εκτιμούν την ποσότητα και το κόστος προμήθειας πρώτης ύλης, καθώς και τις στρατηγικές επιλογές για βελτιστοποίηση της παραγωγής. Χάρτες πυκνότητας πόρων, καμπύλες προσφοράς-κόστους και διαγράμματα ροής πόρων αποτελούν εργαλεία για την αξιολόγηση και την επιλογή κατάλληλων περιοχών για την εγκατάσταση μονάδων βιομάζας.

Η χρήση της βιομάζας έχει το πλεονέκτημα ότι δεν συμβάλλει στην αύξηση των εκπομπών CO<sub>2</sub>, καθώς το CO<sub>2</sub> που απελευθερώνεται κατά την καύση ισοσταθμίζεται με το CO<sub>2</sub> που απορροφούν τα φυτά κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής τους. Επίσης, η βιομάζα δεν παράγει διοξείδιο του θείου όπως άλλες συμβατικές πηγές καυσίμων, συμβάλλοντας έτσι στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και στη μείωση των εισαγόμενων καυσίμων. Η ανάπτυξη της βιομάζας ενισχύει επίσης την απασχόληση στον γεωργικό τομέα και προσφέρει ευκαιρίες για επαγγελματική ανάπτυξη. Συνολικά, η βιομάζα αποτελεί μια ελπιδοφόρα πηγή ενέργειας με πολλαπλά οφέλη για την αειφορία, αν και απαιτεί προσεκτική διαχείριση και στρατηγική ανάπτυξη για την επίτευξη των επιθυμητών αποτελεσμάτων.

## 4.2 Βιώσιμη Βιοενέργεια μέσω Πολυετών Καλλιεργειών και Δασικής Βιομάζας

Οι πολυετείς καλλιέργειες βιομάζας και οι ταχέως αναπτυσσόμενες μη εδώδιμες καλλιέργειες αποτελούν σημαντικές πηγές για τη βιώσιμη παραγωγή βιοενέργειας. Η βιομάζα αναφέρεται στο βιολογικό υλικό που προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς ή φυτά, όπως αναλύθηκε προηγουμένως. Χρησιμοποιείται κυρίως σε χώρες με λιγότερη βιομηχανοποίηση. Συγκεκριμένα, η βιομάζα καλύπτει το 35% των ενεργειακών αναγκών στις αναπτυσσόμενες χώρες και το 3% στις αναπτυγμένες χώρες. Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας με δύο κύριους τρόπους: την άμεση καύση για παραγωγή θερμότητας και τη μετατροπή σε βιοκαύσιμα. Στην πρώτη περίπτωση, η βιομάζα καίγεται απευθείας για την παραγωγή θερμότητας, χρησιμοποιούμενη σε εφαρμογές όπως η θέρμανση κτιρίων ή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ειδικών σταθμών παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Στη δεύτερη περίπτωση, η βιομάζα μετατρέπεται σε βιοκαύσιμα, όπως αιθανόλη και βιοντίζελ, τα οποία χρησιμοποιούνται για την κίνηση οχημάτων. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη βιοχημική ή θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας σε πιο χρήσιμες μορφές ενέργειας.

Η συλλογή και η επεξεργασία της βιομάζας πρέπει να γίνεται εντός σύντομου χρονικού διαστήματος για να αποφευχθεί η αποσύνθεση. Ο χώρος συλλογής της βιομάζας μπορεί να είναι εργοστάσια ή εγκαταστάσεις άλεσης. Η ετήσια παραγωγή βιομάζας θεωρείται δυνητικά διαθέσιμη ενέργεια και, σε αντίθεση με την ξυλώδη βιομάζα, που είναι υπό όρους ανανεώσιμη, τα υπολείμματα φυτών θεωρούνται πλήρως ανανεώσιμα, υπό την προϋπόθεση ότι η παραγωγή δεν υπερβαίνει τη μέση ετήσια ανάπτυξη. Ωστόσο, η ετήσια παραγωγή βιομάζας εξαρτάται από παράγοντες όπως το κλίμα και το έδαφος, γεγονός που καθιστά την παραγωγή μη σταθερή. Ο διαχωρισμός μεταξύ ξυλώδους και μη ξυλώδους φυτών δεν είναι πάντα σαφής. Για παράδειγμα, ορισμένες γεωργικές καλλιέργειες όπως το βαμβάκι θεωρούνται ξυλώδεις, αλλά αντιμετωπίζονται ως μη ξυλώδη φυτά λόγω της γεωργικής τους προέλευσης. Αντιθέτως, τα αποκόμματα και οι μίσχοι των θάμνων θεωρούνται ξύλο.

ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΜΗ ΞΥΛΩΔΟΥΣ	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΓΑΛΑΚΤΟΚΟΜΕΙΑΣ	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΖΩΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΕΩΣ	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΞΥΛΩΔΟΥΣ	ΛΟΙΠΑ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	ΤΥΡΟΓΑΛΑ Α ( ΠΡΩΤΕΙΝΩΝ )	ΚΟΠΡΙΕΣ ΒΟΟΕΙΔΩΝ (ΥΓΡΟ ΚΛΑΣΜΑ)	ΚΑΤΣΙΓΑΡΟΣ	ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ
ΚΤΗΝΟΤΡΟΦΙΚΟ ΜΠΙΖΕΛΙ	ΤΥΡΟΓΑΛΑ Β	ΚΟΠΡΙΕΣ ΒΟΟΕΙΔΩΝ (ΣΤΕΡΕΟ ΚΛΑΣΜΑ)	ΚΑΤΣΙΓΑΡΟΣ (ΠΗΚΤΟΣ)	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ ΥΓΡΟ
ΣΟΡΓΟΣ	ΤΥΡΟΓΑΛΑ (ΛΥΜΑΤΟΛΑΣΠΗ)	ΚΟΠΡΙΕΣ ΧΟΙΡΩΝ	ΠΑΣΤΑ ΕΛΙΑΣ	ΣΑΠΟΥΝΟΝΕΡΑ (ΦΥΤΟΕΝΕΡΓΕΙΑ)
ΣΙΚΑΛΗ	ΣΥΜΠΥΚΝΩΜΕΝΟ ΓΑΛΑ	ΚΟΠΡΙΕΣ ΑΙΓΟΠΡΟΒΑΤΩΝ	ΠΥΡΗΝΑΣ ΕΛΙΑΣ	ΣΑΠΟΥΝΟΝΕΡΑ (ΜΙΛΟΙΛ)
ΤΡΙΦΥΛΛΙ	ΥΠ/ΤΑ ΣΤΡΑΓΓΙΣΗΣ ΓΙΑΟΥΡΤΙΟΥ	ΚΟΥΤΣΟΥΛΙΕΣ (ΥΓΡΟ ΚΛΑΣΜΑ)	ΚΛΑΔΕΜΑ ΕΛΙΑΣ	ΣΑΠΟΥΝΟΝΕΡΑ (ΕΛ.ΒΙ.)
ΤΕΥΤΛΑ		ΚΟΥΤΣΟΥΛΙΕΣ (ΣΤΕΡΕΟ ΚΛΑΣΜΑ)	ΚΛΑΔΕΜΑ ΑΧΛΑΔΙΑΣ	ΓΛΥΚΕΡΙΝΗ Β (ΦΥΤΟΕΝΕΡΓΕΙΑ)
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑ		ΠΟΥΛΠΑ ΦΡΟΥΤΩΝ	ΚΛΑΔΕΜΑ ΒΕΡΙΚΟΚΙΑΣ	ΓΛΥΚΕΡΙΝΗ Α (ΕΛΙΝ)
ΠΑΤΑΤΕΣ			ΚΛΑΔΕΜΑ ΡΟΔΑΚΙΝΙΑΣ	ΓΛΥΚΕΡΙΝΗ Α (ΜΙΛΟΙΛ)
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ ΚΑΡΠΟΣ			ΚΛΑΔΕΜΑ ΛΕΜΟΝΙΑΣ	
ΟΡΥΖΟΦΛΟΙΟΣ			ΚΛΑΔΕΜΑ ΠΟΡΤΟΚΑΛΙΑΣ	
ΣΤΕΜΦΥΛΑ			ΚΛΑΔΕΜΑ ΑΜΠΕΛΙΟΥ	
ΝΤΟΜΑΤΑ				
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ				
ΗΛΙΟΣΠΟΡΟΣ ΕΝΣΙΡΩΜΑ				
ΠΥΡΗΝΑΣ ΕΛΙΑΣ				

Πίνακας 4.2.1: Πίνακας υψηλών αποδόσεων καταλοίπων βιομάζας

Ο Πίνακας 4.2.1 συνοψίζει τα είδη μη ξυλώδους βιομάζας και τύπων κοπριάς που μπορούν να συλλεχθούν. Σε ορισμένα χωράφια, καλλιέργειες όπως το καλαμπόκι και το βαμβάκι μπορεί να συνυπάρχουν ή να εναλλάσσονται ανάλογα με την εποχή. Το βαμβάκι, που είναι απαιτητική καλλιέργεια, καλλιεργείται με το στέλεχος, και οι ρίζες πρέπει να αφαιρούνται ή να καίγονται στο χωράφι. Η καλλιέργεια βαμβακιού συνιστάται να γίνεται σε αμειψισπορά με φυτά που δεσμεύουν το άζωτο, για καλύτερη γονιμότητα του εδάφους. Είναι απαραίτητο να κατανοηθούν τα συστήματα γεωργίας κατά την ανάλυση εικόνων Τηλεπισκόπησης, από τις οποίες μπορούν να προκύψουν μετρήσεις που σχετίζονται με το τμήμα του φυτού που προορίζεται για τρόφιμα ή ίνες. Διαφορετικές ποικιλίες του ίδιου είδους μπορεί να έχουν ποικίλες αποδόσεις, και εάν το καλαμπόκι αποτελεί σημαντική πηγή καυσίμου, θα πρέπει να γίνονται λεπτομερείς μετρήσεις των καταλοίπων του.

Τα γεωργικά υπολείμματα θεωρούνται κατάλληλα για τη συνολική παραγωγή βιομάζας σε περιοχές με έντονη γεωργική δραστηριότητα, αλλά πρέπει να υποστούν επεξεργασία για να καταστούν αξιοποιήσιμα. Κάποια υπολείμματα παραμένουν όρθια, ενώ άλλα κόβονται για ευκολότερη συλλογή. Για την εκτίμηση της παραγωγής κοπριάς από τη ζωική παραγωγή, χρειάζονται δεδομένα σχετικά με την ικανότητα βόσκησης των λιβαδιών και τον αριθμό των ζώων. Η ανάλυση των περιοχών βόσκησης ή των μονάδων εκτροφής θα παράσχει χρήσιμα

δεδομένα για την εκτίμηση άλλων πηγών βιοενέργειας.

Η δασική βιομάζα, όπως τα κλαδιά και τα μη εμπορεύσιμα υπολείμματα ξυλείας από κλαδέματα, είναι επίσης σημαντική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας. Αυτή η βιομάζα χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και έχει κοινωνικά και οικονομικά οφέλη, όπως η μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και η αύξηση της αγροτικής απασχόλησης. Ωστόσο, η εκτίμηση της ποσότητας δασικής βιομάζας είναι δύσκολη και συνήθως επιλύεται μέσω της χρήσης Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ).

Η εκτίμηση της ποσότητας βιομάζας και του αποθέματος άνθρακα πρέπει να εξετάσει τη σπουδαιότητα των διαφόρων τύπων βιομάζας. Σε περιοχές όπου η βιομάζα από υπολείμματα καλλιεργειών και κοπριά είναι σημαντική πηγή ενέργειας, η συλλογή και ανάλυση δεδομένων είναι κρίσιμη. Η ποσότητα βιομάζας συνήθως κυμαίνεται από μία έως τρεις φορές το βάρος της καλλιέργειας. Οι ακριβείς εκτιμήσεις απαιτούν τη χρήση δορυφορικών εικόνων και πιθανή επίγεια επαλήθευση. Η παρακολούθηση των μετρήσεων είναι συνεχής, καθώς η ποσότητα και η ποιότητα της βιομάζας αλλάζουν με τη χρήση γης, απαιτώντας συνεχή προσαρμογή και παρεμβάσεις.

### **4.3 Αξιολόγηση Βιομάζας πολυετών καλλιεργειών μέσω Τηλεπισκόπησης**

Η αξιολόγηση της βιομάζας από πολυετείς καλλιέργειες είναι πιο περίπλοκη σε σύγκριση με τις ετήσιες καλλιέργειες, καθώς αυτές δημιουργούν αποθήκες ξυλώδους ιστού με την πάροδο του χρόνου. Αν οι καλλιέργειες δεν είναι ομοιόμορφες, παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα διακυμάνσεων στην περιοχή. Οι χάρτες χρήσης γης, οι οποίοι δημιουργούνται από αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες, παρέχουν ανάλυση της περιοχής και των τύπων δασικών και καλλιεργητικών εκτάσεων. Η Τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα εργαλείο για την αξιολόγηση των τύπων βλάστησης και των αλλαγών στη χρήση γης. Χωρίς τις φασματικές ιδιότητες που προσφέρουν οι αισθητήρες, είναι αδύνατο να εκτιμηθεί το απόθεμα βιομάζας και οι αποδόσεις στους διάφορους τύπους χρήσης γης, καθώς και οι αλλαγές που επέρχονται με την πάροδο του χρόνου. Με τη γνώση των δεδομένων των καλλιεργειών, τα υπολείμματά τους μπορούν να υπολογιστούν για την περιοχή μελέτης, προσφέροντας μια εκτίμηση της διαθέσιμης πρώτης ύλης για πιθανή εγκατάσταση.

ΜΗΝΕΣ ΣΠΟΡΑΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ												
ΒΑΜΒΑΚΙΕΣ												
ΣΙΤΑΡΙ												
ΚΡΙΘΑΡΙ												

Πίνακας 4.3.1: Κατανομή Μηνών Σποράς σε Χρονολογική Σειρά.

Για την επιτυχία αυτών των έργων, είναι κρίσιμο να υπάρχουν ακριβείς και αξιόπιστες βασικές έρευνες της υφιστάμενης βιομάζας. Η Τηλεπισκόπηση πρέπει να αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την περιοχή του έργου και τις περιοχές για την παρακολούθηση των αλλαγών στη χρήση γης, είτε αυτές είναι θετικές είτε αρνητικές. Παρακολουθεί τις γεωργικές εκτάσεις για αλλαγές, καθώς και τους τύπους και τον αριθμό των ετήσιων καλλιεργειών. Τα γεωργικά υπολείμματα περιλαμβάνουν άχυρο σιτηρών, καλαμποκιού, ηλίανθου, υπολείμματα βαμβακιού και υπολείμματα εκκοκκιστηρίων βαμβακιού, τα οποία συχνά αφήνονται στα χωράφια μετά τη συγκομιδή και χρησιμοποιούνται για ζωτροφές.



Εικόνα 4.3.2: Απεικόνιση καλλιεργειών – Καλαμπόκι (πάνω αριστερά), βαμβάκι (πάνω δεξιά), σιτάρι (κάτω αριστερά) και κριθάρι (κάτω δεξιά).

Τα αγροτικά υπολείμματα είναι άμεσα διαθέσιμα και μπορούν να αξιοποιηθούν στην Ελλάδα, ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που απαιτούνται για την καλλιέργειά τους. Το άχυρο σίτου, για παράδειγμα, είναι ένα από τα αγρο-υπολείμματα με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε κυτταρίνη από όλες τις γεωργικές ίνες. Τα οργανικά απόβλητα από τα αγροτικά υπολείμματα είναι μία από τις παλαιότερες και πιο συμβατικές πρώτες ύλες. Αυτά τα οργανικά γεωργικά απόβλητα ταξινομούνται περαιτέρω ανάλογα με τα συστατικά τους, όπως:

- Πρώτες ύλες με βάση τα χρησιμοποιημένα έλαια, συμπεριλαμβανομένων και των φυτικών ελαίων.
- Απόβλητα γεωργικών υπολειμμάτων, όπως άχυρα δημητριακών (άχυρο σιταριού, καλαμποκιού, ηλίανθου) και κοπριά.

Τα πλεονεκτήματα των πρώτων υλών από οργανικά απόβλητα αγροτικών υπολειμμάτων παρέχουν οικονομικά οφέλη, καθώς είναι εύκολα διαθέσιμα σε μεγάλες ποσότητες και με χαμηλό κόστος. Επίσης, έχουν την πιο σταθερή σύνθεση κυτταρίνης και ημικυτταρινών σε σύγκριση με άλλα είδη αποβλήτων. Είναι σημαντικό ότι η συλλογή των υπολειμμάτων δεν επηρεάζει την ανθρώπινη τροφική αλυσίδα, καθώς περιλαμβάνουν μη βρώσιμα υλικά.

ΜΗΝΕΣ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΑΧΥΡΟ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ												
ΒΑΜΒΑΚΙΕΣ												
ΣΙΤΑΡΙ												
ΚΡΙΘΑΡΙ												

Πίνακας 4.3.2 : Κατανομή Μηνών Υπολειμμάτων σε Χρονολογική Σειρά.

Η έρευνα για την πιθανή εγκατάσταση εργοστασίου βιομάζας με κριτήρια διαθεσιμότητας και εκτίμησης βιομάζας πραγματοποιείται με τη χρήση γεωχωρικών τεχνολογιών. Αυτή η μελέτη είναι ουσιαστική για την εκτίμηση των διαφόρων τύπων βιομάζας και της διαθεσιμότητάς τους, καθώς και για την παρακολούθηση των αλλαγών στη χρήση γης με την πάροδο του χρόνου. Με τη χρήση αυτών των τεχνολογιών, μπορούμε να διασφαλίσουμε ότι οι εκτιμήσεις παραγωγής και απόδοσης καλλιεργειών είναι ακριβείς και αξιόπιστες, προσφέροντας τη δυνατότητα για ουσιαστικές και αποτελεσματικές παρεμβάσεις στη χρήση της βιομάζας.

#### 4.4 Διαδικασία συλλογής και διαχείρισης βιομάζας

Η πρωτογενής διαδικασία συλλογής της βιομάζας περιλαμβάνει την ανάλυση των γεωγραφικών εκτάσεων και των ειδών καλλιεργειών που μελετώνται, ξεκινώντας από την περίοδο της σποράς ως πρώτο στάδιο των καλλιεργειών και εστιάζοντας στο επόμενο κρίσιμο στάδιο, αυτό της συγκομιδής. Η συγκομιδή είναι καθοριστική για την ποιότητα της βιομάζας, καθώς η μάζα που θα απομείνει αποτελεί την πρώτη ύλη για τα εργοστάσια παραγωγής ενέργειας από καλλιέργειες.

Επιπλέον, ο βαθμός υγρασίας της βιομάζας είναι εξαιρετικά σημαντικός. Όταν το υλικό έχει υψηλή υγρασία, πρέπει να υποστεί διαδικασία ξήρανσης για να μειωθεί η υγρασία στο επιθυμητό επίπεδο. Αυτό είναι κρίσιμο για διάφορους λόγους, ειδικά για την κοστολόγηση, καθώς η υγρασία επηρεάζει το βάρος του προϊόντος και, κατά συνέπεια, το κόστος του. Ένα προϊόν με υψηλή υγρασία θα έχει υψηλότερο κόστος λόγω του μεγαλύτερου βάρους που πρέπει να μεταφερθεί και να επεξεργαστεί. Επίσης, η ποιότητα του προϊόντος μπορεί να επηρεαστεί, καθώς η υψηλή υγρασία μπορεί να οδηγήσει σε αλλοίωση ή απώλεια ιδιοτήτων του υλικού. Τέλος, η σωστή διαχείριση της υγρασίας είναι απαραίτητη για τη μακροχρόνια διατήρηση και αποθήκευση του προϊόντος, αποφεύγοντας την εμφάνιση μούχλας ή άλλων βλαβερών μικροοργανισμών.

Η διαδικασία συγκομιδής βιομάζας, όπως το άχυρο και τα υπολείμματα καλαμποκιού, επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα και την εφαρμογή τους ως πηγή ενέργειας. Κατά τη συλλογή του άχυρου, υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, όπως η συλλογή ως κομμένο υλικό ή η δεματοποίηση σε μπάλες. Η δεύτερη μέθοδος, η οποία περιλαμβάνει τη δεματοποίηση σε μπάλες, θεωρείται προτιμότερη. Η συγκομιδή πραγματοποιείται ανάλογα με τον τύπο καλλιέργειας και μπορεί να εκτελείται καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Για παράδειγμα, για τον αραβόσιτο, η συγκομιδή πρέπει να γίνεται εντός 30-40 ημερών μετά την σπορά για να αποφευχθεί η απώλεια ποιότητας και η μείωση της βιομάζας.

Επιπλέον, κατά τη συγκομιδή του άχυρου, ένα μέρος του υλικού μπορεί να παραμείνει στο χωράφι. Αυτό το υλικό μπορεί να κοπεί με χορτοκοπτικό και να δεματοποιηθεί σε σειρές για περαιτέρω επεξεργασία. Τα υπολείμματα καλαμποκιού παρουσιάζουν επίσης χρήσιμο υλικό για την παραγωγή βιομάζας. Η σωστή διαχείριση και αξιοποίηση αυτών των υπολειμμάτων μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην παραγωγή βιώσιμης ενέργειας, μειώνοντας την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και προσφέροντας οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη.



ΜΗΝΕΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΑΧΥΡΟ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ												
ΒΑΜΒΑΚΙΕΣ												
ΣΙΤΑΡΙ												
ΚΡΙΘΑΡΙ												

Πίνακας 4.4.1: Κατανομή Μηνών συλλογής Υπολειμμάτων σε Χρονολογική Σειρά.

ΧΡΟΝΟΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΕΩΡΓΙΑΣ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ΑΧΥΡΟ ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΟΥ												
ΒΑΜΒΑΚΙΕΣ												
ΣΙΤΑΡΙ												
ΚΡΙΘΑΡΙ												

Πίνακας 4.4.2: Συγκεντρωτικός πίνακας Χρονολογικής Σειράς των Καλλιεργειών.

Η βιομάζα χαρακτηρίζεται από σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα μεταφοράς της σε μεγάλες αποστάσεις. Αυτό συνεπάγεται ότι τα συστήματα παραγωγής βιοενέργειας πρέπει να περιορίσουν όσο το δυνατόν περισσότερο την απόσταση μεταξύ της προσφοράς και της μετατροπής, προκειμένου να επιτύχουν αποδεκτές ενεργειακές και οικονομικές αποδόσεις από την επένδυση. Επιπλέον, οι πόροι βιομάζας είναι κατανομημένοι σε ευρείες γεωγραφικές περιοχές και παρουσιάζουν μεταβλητές βιοχημικές ιδιότητες, οι οποίες επηρεάζουν την επιτυχία της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας.

Λόγω αυτών των υλικοτεχνικών προκλήσεων, απαιτούνται γεωγραφικές πληροφορίες για τις διαθέσιμες πρώτες ύλες, προκειμένου να ληφθούν αποτελεσματικές αποφάσεις πολιτικής, σχεδιασμού και επενδύσεων που σχετίζονται με την υλοποίηση και την εμπορευματοποίηση της παραγωγής βιοενέργειας δεύτερης γενιάς. Συνεπώς, δίνεται αυξανόμενη έμφαση στη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) για την επίλυση κρίσιμων αβεβαιοτήτων στην εφοδιαστική αλυσίδα της βιοενέργειας, οι οποίες σχετίζονται με την τοποθεσία, την ποσότητα και το κόστος της πιθανής πρώτης ύλης.

Υπάρχουν προσεγγίσεις υψηλής ανάλυσης και χωρικά κατανομημένες, που ελαχιστοποιούν το χρόνο επεξεργασίας και τη συγκέντρωση δεδομένων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις αναλύσεις σε περιφερειακό επίπεδο (με κλίμακες γενικά στην περιοχή των 200–500 km<sup>2</sup>), καθώς σε αυτήν την κλίμακα επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ της ενσωμάτωσης τοπικών παραγόντων που

επιηρεάζουν την πρόσβαση στους πόρους και τη βιωσιμότητα του έργου, όπως οι μέσες αποδόσεις, οι πρακτικές διαχείρισης και συγκομιδής γης, η χωρητικότητα υποδομών και ο εντοπισμός πιθανών οικονομοτεχνικών συμπερασμάτων.

Η διαδικασία μετά την δεματοποίηση της βιομάζας είναι κρίσιμη για την επόμενη φάση της παραγωγής ενέργειας. Αφού τα δέματα ή οι μπάλες φορτωθούν στα φορτηγά, υπάρχουν δύο κύριες επιλογές για τη μεταφορά τους: είτε σε μονάδες παραγωγής ενέργειας, εάν η απόσταση είναι οικονομικά εφικτή, είτε σε μονάδες επεξεργασίας και αποθήκευσης. Σε αυτές τις μονάδες, η βιομάζα υφίσταται διαδικασίες επεξεργασίας για τη μείωση της υγρασίας της. Τα φορτηγά οχήματα μεταφέρουν το υλικό στον προορισμό του, για την αντιμετώπιση της υγρασίας, η οποία είναι κρίσιμη για την αποτελεσματική χρήση της βιομάζας στην παραγωγή ενέργειας. Η φυσική ξήρανση δεν επιλέγεται συνήθως για βιομηχανική χρήση λόγω της μεγάλης διάρκειας που απαιτεί και του κόστους. Αντίθετα, χρησιμοποιούνται εξειδικευμένες διαδικασίες για την απομάκρυνση της υγρασίας, προκειμένου να είναι η βιομάζα έτοιμη για την παραγωγή ενέργειας με αποδοτικό και βιώσιμο τρόπο.

Η επιλογή της απόστασης μεταφοράς είναι κρίσιμη, καθώς η βιομάζα έχει χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα και μακρινά ταξίδια μπορούν να καταστούν ασύμφορα λόγω του υψηλού κόστους μεταφοράς. Αυτός είναι ένας από τους λόγους που η βιομηχανική μονάδα στην περιοχή της Καρδίτσας επικεντρώνεται σε αποστάσεις εντός 100 χιλιομέτρων, προκειμένου να μειώσει το κόστος μεταφοράς και να διασφαλίσει τη βιωσιμότητα της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Η προετοιμασία των υπολειμμάτων πριν την έναρξη της τροφοδοσίας απαιτεί εξοπλισμό όπως μηχανήματα φόρτωσης και εκφόρτωσης προς τη δεξαμενή. Η διαδικασία μπορεί να διαφέρει ανάλογα με το είδος του υπολείμματος και τον τρόπο συλλογής του. Αν τα υπολείμματα έχουν αποθηκευτεί σε ογκώδεις σάκους μεγαλύτερους του τόνου, τότε θα χρειαστεί να τροφοδοτούν τη δεξαμενή με αυτούς τους σάκους. Εάν είναι σε μορφή δεμάτων, υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής των υπολειμμάτων απευθείας στη δεξαμενή. Στην περίπτωση των αγροτικών υπολειμμάτων, πραγματοποιείται διαδοχική υδρόλυση και αλκοολική ζύμωση για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Αυτή η διαδικασία είναι απαραίτητη για την αποτελεσματική αξιοποίηση της βιομάζας και την παραγωγή ενέργειας με τρόπο που να είναι οικονομικά και περιβαλλοντικά βιώσιμος.

Η τρέχουσα έρευνα για το δυναμικό παραγωγής βιοενέργειας επικεντρώνεται κυρίως σε γεωργικές περιοχές, καθώς αυτές προσφέρουν μεγάλες ποσότητες διαθέσιμης βιομάζας. Στο πλαίσιο αυτό, οι αξιολογήσεις πόρων που βασίζονται σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) ενσωματώνουν γεωπληροφορίες που σχετίζονται με γεωργικές

δραστηριότητες. Οι κρίσιμες διαδικασίες συλλογής δεδομένων, όπως οι αλυσίδες εφοδιασμού βιομάζας, παίζουν σημαντικό ρόλο στην απομόνωση έναντι των διακυμάνσεων του κόστους και της διαθεσιμότητας που συνδέονται με την εποχικότητα και τις αυξημένες απαιτήσεις αποθήκευσης.

Η χαμηλή χωρική πυκνότητα της βιομάζας και οι σχετικές αυξημένες απαιτήσεις μεταφοράς αποτελούν προκλήσεις για τις μεμονωμένες αλυσίδες εφοδιασμού. Ωστόσο, η χρήση γεωπληροφοριών μέσω GIS μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη διαχείριση αυτών των προκλήσεων. Συγκεκριμένα, τα GIS μπορούν να εντοπίσουν τις γεωργικές περιοχές με τη μεγαλύτερη παραγωγική ικανότητα και να βελτιστοποιήσουν τις διαδρομές μεταφοράς, μειώνοντας έτσι το κόστος και βελτιώνοντας την αποδοτικότητα της εφοδιαστικής αλυσίδας. Η ενσωμάτωση γεωπληροφοριών μπορεί επίσης να συμβάλει στη διαχείριση των αποθεμάτων βιομάζας, λαμβάνοντας υπόψη τις εποχιακές διακυμάνσεις στην παραγωγή. Αυτό επιτρέπει την καλύτερη πρόβλεψη και προγραμματισμό των αναγκών αποθήκευσης και μεταφοράς, εξασφαλίζοντας σταθερότητα στην τροφοδοσία των μονάδων παραγωγής βιοενέργειας. Έτσι, οι αλυσίδες εφοδιασμού βιομάζας μπορούν να γίνουν πιο αποδοτικές και ανθεκτικές στις αλλαγές και τις προκλήσεις της αγοράς.

Συνολικά, η ενσωμάτωση γεωπληροφοριών μέσω GIS στις αξιολογήσεις πόρων και στις αλυσίδες εφοδιασμού βιομάζας είναι κρίσιμη για την επίτευξη βιώσιμης και αποδοτικής παραγωγής βιοενέργειας. Αυτή η τεχνολογική προσέγγιση μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του κόστους, στη βελτίωση της αποδοτικότητας και στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας των συστημάτων παραγωγής βιοενέργειας, καθιστώντας την μια πολύτιμη στρατηγική για το μέλλον της βιοενέργειας.

# Κεφάλαιο 5. Χρήση Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ) για την Αξιολόγηση και Διαχείριση Βιομάζας

## 5.1 Εισαγωγή

Η αξιολόγηση της απόδοσης των καλλιεργειών αποτελεί βασική πληροφορία για την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων στη γεωργία. Η σωστή και έγκαιρη εκτίμηση των επερχόμενων καλλιεργειών, βασισμένη σε ιστορικά στοιχεία, είναι καθοριστική για τη βέλτιστη αξιοποίηση και διαχείριση των διαθέσιμων πόρων. Τα τελευταία δέκα χρόνια, η χρήση δεδομένων Τηλεπισκόπησης έχει εξελιχθεί σημαντικά, επεκτεινόμενη από τη βασική ταξινόμηση και χαρτογράφηση της χρήσης γης σε πραγματικές εκτιμήσεις των γεωργικών δραστηριοτήτων σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας τον τομέα της γεωργίας ακριβείας. Η ικανότητα να παρακολουθούμε με ακρίβεια την απόδοση των καλλιεργειών είναι κρίσιμη για τον σχεδιασμό νέων διαστημικών αποστολών που περιλαμβάνουν οπτικά όργανα και ραντάρ. Οι σύγχρονοι οπτικοί αισθητήρες παρέχουν βελτιωμένη ανάλυση σε επίπεδο χώρου, χρόνου και φάσματος, καθιστώντας δυνατή την πιο ακριβή παρακολούθηση των καλλιεργητικών δραστηριοτήτων.

Η παραδοσιακή προσέγγιση για την αξιολόγηση της βιομάζας βασίζεται κυρίως στην τοποθεσία και είναι απαραίτητη για τον σχεδιασμό μελλοντικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος μπορεί να παρουσιάσει μειονεκτήματα, όπως η υποεκτίμηση των δυνατοτήτων μιας συγκεκριμένης περιοχής, με αποτέλεσμα να χαθούν ευκαιρίες για την αξιοποίηση καλύτερων τοποθεσιών, καθώς και το υψηλό κόστος που συνεπάγεται η κάλυψη μεγάλων εκτάσεων. Αυτά τα ζητήματα μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά με τη χρήση προηγμένων υπολογιστικών εργαλείων όπως η Τηλεπισκόπηση και τα ΓΣΠ, τα οποία προσφέρουν μια σαφή εικόνα του εδάφους και των δυναμικών φαινομένων που το επηρεάζουν, όπως οι αλλαγές στη χρήση γης και το κλίμα.

Η Τηλεπισκόπηση και τα ΓΣΠ επιτρέπουν την ανάλυση χωρικών και χρονικών δεδομένων, προσφέροντας ένα σημαντικό πλεονέκτημα στον υπολογισμό της διαθέσιμης βιομάζας. Μέσω της εφαρμογής αυτών των τεχνολογιών, είναι δυνατή η ενσωμάτωση πολλαπλών σειρών χαρτών και η χρήση τεχνικών σύντηξης δεδομένων, οι οποίες βελτιώνουν την ακρίβεια των δεδομένων και επιτρέπουν τη δημιουργία χωρικά κατανεμημένων μοντέλων διαθεσιμότητας

πόρων.

Η παρούσα μελέτη αναπτύσσει μια μεθοδολογία για την αναζήτηση δεδομένων μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο. Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει τη συλλογή πρωτογενών δεδομένων μέσω πολυφασματικής και υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης, αξιοποιώντας δορυφορικές τεχνολογίες, καθώς και την καταγραφή και ανάλυση δεδομένων με γεωγραφικές μεθόδους δικτύωσης και χαρτογράφησης. Οι παραδοσιακές μέθοδοι Τηλεπισκόπησης, όπως η σύντηξη δεδομένων και οι τεχνικές ΓΣΠ, χρησιμοποιούνται για την εξαγωγή φασματικών πληροφοριών, οι οποίες στη συνέχεια κατηγοριοποιούνται και αναλύονται στατιστικά. Οι τεχνολογίες αυτές χρησιμοποιούνται επίσης για την ανάλυση της γεωγραφικής κατανομής της βιομάζας, την αξιολόγηση της προσφοράς και των χαρακτηριστικών της, καθώς και για την εκτίμηση του κόστους μεταφοράς προς τις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Οι δορυφορικές εικόνες προσφέρουν τη δυνατότητα εκτίμησης της βιομάζας σε μεγάλη κλίμακα, μειώνοντας το χρόνο και το κόστος σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους επίγεια αξιολόγησης.

Ένας σημαντικός δείκτης που χρησιμοποιείται στη γεωργία είναι ο Δείκτης Κανονικής Διαφοράς Βλάστησης (NDVI), ο οποίος σχετίζεται με την αντανάκλαση του ενεργού φωτοσυνθετικού φυτικού ιστού. Αν και ο NDVI συνδέεται καλά με την ποσότητα της βιομάζας, μπορεί να παραβλέψει την παρουσία νεκρού φυτικού υλικού. Για να ξεπεραστούν αυτά τα εμπόδια, οι αισθητήρες LiDAR, που μετρούν την τρισδιάστατη κατανομή των θόλων των φυτών, παρέχουν ακριβείς εκτιμήσεις της βιομάζας και δημιουργούν τοπογραφικούς χάρτες υψηλής ανάλυσης.

Η χρήση της Τηλεπισκόπησης για την αξιολόγηση των τοποθεσιών επιτρέπει τη μείωση του κόστους μεταφοράς, το οποίο είναι κρίσιμο για τον σχεδιασμό νέων μονάδων παραγωγής ενέργειας. Με την κατάλληλη ανάλυση, μπορούν να εντοπιστούν οι καλύτερες τοποθεσίες για την παραγωγή ενέργειας, μειώνοντας ταυτόχρονα το κόστος και βελτιστοποιώντας τη διαθεσιμότητα των πόρων. Η ποσότητα της βιομάζας σε μια περιοχή μπορεί να εκτιμηθεί και οι βέλτιστες τοποθεσίες μπορούν να εντοπιστούν με τη χρήση τεχνικών Τηλεπισκόπησης, ενώ τα ΓΣΠ παρέχουν μια τεχνολογία για την αποθήκευση και ανάλυση δεδομένων όπως οι τύποι εδάφους, οι βροχοπτώσεις, η θερμοκρασία και οι λεπτομέρειες οδικής πρόσβασης. Αυτά τα δεδομένα αποθηκεύονται σε συστήματα ΓΠΣ, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη λήψη αποφάσεων και τη διαχείριση των διαθέσιμων πόρων. Με τη μείωση της υγρασίας, η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας από βιομάζα μπορεί να βελτιωθεί, μειώνοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την ανοιχτή καύση γεωργικών και δασικών απορριμμάτων.

## 5.2 Μοντέλα Εκτίμησης Βιομάζας

Η μοντελοποίηση της βιομάζας μέσω της Τηλεπισκόπησης είναι μια πολυσύνθετη διαδικασία που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί περιλαμβάνουν την ποιότητα των δεδομένων, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, την πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος, και τη χωρική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων. Για την αντιμετώπιση αυτών των αβεβαιοτήτων και την αύξηση της ακρίβειας στην εκτίμηση της βιομάζας, έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα.

Παράγοντες που Επηρεάζουν την Εκτίμηση της Βιομάζας:

1. **Ανεπαρκή Δεδομένα Δείγματος:** Όταν τα δεδομένα δείγματος δεν επαρκούν ή δεν είναι αντιπροσωπευτικά, η εκτίμηση της βιομάζας μπορεί να είναι ανακριβής. Οι περιορισμοί αυτοί απαιτούν τη χρήση προηγμένων τεχνικών για τη βελτιστοποίηση των διαθέσιμων δεδομένων.
2. **Ατμοσφαιρικές Συνθήκες:** Οι μεταβλητές ατμοσφαιρικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν τη δορυφορική καταγραφή της βιομάζας, ιδιαίτερα μέσω της διαταραχής των φασματικών ιδιοτήτων που συλλέγονται από τους αισθητήρες.
3. **Πολύπλοκες Περιβαλλοντικές Συνθήκες:** Οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως η ποικιλία του τοπίου, η ύπαρξη διαφορετικών τύπων βλάστησης και οι αλλαγές στην υγρασία, επηρεάζουν την ακρίβεια των μοντέλων βιομάζας.
4. **Κλίμακα της Περιοχής Μελέτης:** Η χωρική κλίμακα των δεδομένων επηρεάζει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Τα μοντέλα πρέπει να προσαρμόζονται στην κλίμακα της περιοχής για να αποφεύγονται γενικεύσεις που δεν ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα.
5. **Διαθεσιμότητα Λογισμικού:** Η διαθεσιμότητα και η ικανότητα των λογισμικών να επεξεργάζονται δεδομένα μεγάλης κλίμακας επηρεάζει τη δυνατότητα ανάλυσης και μοντελοποίησης της βιομάζας.
6. **Χωρική Ανάλυση Δεδομένων Τηλεπισκόπησης:** Η ποιότητα και η ανάλυση των χωρικών δεδομένων, όπως η χωρική ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, είναι κρίσιμη για την ακρίβεια της μοντελοποίησης.

Οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις για τη μοντελοποίηση της βιομάζας περιλαμβάνουν τεχνικές παλινδρόμησης και συνδυασμό δεδομένων από διαφορετικές πηγές.

1. **Παλινδρομικά Μοντέλα (Regression Models):** Αυτά τα μοντέλα βασίζονται στην ανάλυση της σχέσης μεταξύ των φασματικών δεδομένων που συλλέγονται από τους

δορυφορικούς αισθητήρες και των επιτόπιων μετρήσεων της βιομάζας. Η παλινδρόμηση χρησιμοποιείται για να αναπτυχθούν μοντέλα που μπορούν να προβλέψουν την ποσότητα της βιομάζας από τις δορυφορικές παρατηρήσεις.

2. **Μοντέλα Ενοποίησης Δεδομένων (Data Fusion Models):** Η χρήση δεδομένων από πολλαπλές πηγές (π.χ., οπτικά δεδομένα, ραντάρ, LiDAR) αυξάνει την ακρίβεια των εκτιμήσεων βιομάζας. Οι τεχνικές σύντηξης δεδομένων επιτρέπουν την ολοκλήρωση πληροφοριών από διαφορετικά είδη αισθητήρων, προκειμένου να παραχθεί μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα της βιομάζας.
3. **Μηχανική Εκμάθηση (Machine Learning Models):** Τα μοντέλα μηχανικής εκμάθησης, όπως οι αλγόριθμοι Random Forest και Support Vector Machines (SVM), εφαρμόζονται όλο και περισσότερο για την εκτίμηση της βιομάζας. Αυτά τα μοντέλα μπορούν να διαχειριστούν μεγάλες ποσότητες δεδομένων και να βελτιώσουν την ακρίβεια των εκτιμήσεων.
4. **Μοντέλα Φασματικής Ευρείας Ζώνης (Broadband Spectral Models):** Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούν ευρείες φασματικές ζώνες δεδομένων, όπως το NDVI, για να εκτιμήσουν τη βιομάζα σε μεγάλες περιοχές.

Η ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων για την εκτίμηση της βιομάζας είναι κρίσιμη για την ακριβή αποτίμηση της διαθεσιμότητας βιομάζας σε μια περιοχή. Οι μέθοδοι παλινδρόμησης και ενοποίησης δεδομένων παρέχουν σημαντικά εργαλεία για την αντιμετώπιση των προκλήσεων που προκύπτουν από τις πολυδιάστατες περιβαλλοντικές και τεχνολογικές συνθήκες. Η συνεχιζόμενη πρόοδος στη χρήση της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ για τη μοντελοποίηση της βιομάζας αναμένεται να βελτιώσει ακόμα περισσότερο την ακρίβεια και την αξιοπιστία αυτών των εκτιμήσεων.

### 5.2.1 Μη παραμετρικά μοντέλα

Τα μοντέλα παλινδρόμησης και οι μη παραμετρικοί αλγόριθμοι αποτελούν ουσιαστικά εργαλεία στην ανάλυση δεδομένων Τηλεπισκόπησης, συνδυάζοντας πληροφορίες από διαφορετικούς αισθητήρες, όπως φασματικούς, ραντάρ και LiDAR. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για την ακριβή εκτίμηση των χαρακτηριστικών των καλλιεργειών, προσφέροντας ένα πλαίσιο για τη δημιουργία σύνθετων, μη γραμμικών μοντέλων βιομάζας. Βασίζονται στη χρήση μεταβλητών που προέρχονται από την Τηλεπισκόπηση και παρέχουν εναλλακτικές λύσεις σε σχέση με τις παραδοσιακές, παραμετρικές προσεγγίσεις.

Οι μη παραμετρικοί αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται συχνά σε αυτές τις εφαρμογές περιλαμβάνουν τον αλγόριθμο του πλησιέστερου γείτονα (k-nearest neighbor), ο οποίος αναγνωρίζει μοτίβα και συσχετισμούς στα δεδομένα, το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (artificial neural network), το οποίο μιμείται τον τρόπο λειτουργίας του ανθρώπινου εγκεφάλου για την ανάλυση δεδομένων, και την μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης (Support Vector Machine - SVM),<sup>21</sup>η οποία χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση και την ανάλυση των δεδομένων μέσω της αναγνώρισης διαχωριστικών ορίων. Αυτές οι τεχνικές επιτρέπουν την επεξεργασία και αξιολόγηση μεγάλων και πολύπλοκων συνόλων δεδομένων, οδηγώντας σε πιο ακριβείς και αξιόπιστες εκτιμήσεις της βιομάζας.

### 5.2.2 Μοντέλα παλινδρόμησης

Μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες μεθόδους για την εκτίμηση της βιομάζας είναι η ανάλυση παλινδρόμησης, η οποία αξιοποιεί στατιστικές τεχνικές για την διερεύνηση και μοντελοποίηση των σχέσεων μεταξύ διαφόρων μεταβλητών. Στην παραδοσιακή προσέγγιση της Τηλεπισκόπησης, οι τεχνικές ανάλυσης παλινδρόμησης εφαρμόζονται για την εκτίμηση της βιομάζας, βασιζόμενες σε ποσοτικές σχέσεις που αντλούνται από διαχρονικές μετρήσεις δορυφορικών δεδομένων διάρκειας πέντε ετών. Αυτά τα μοντέλα παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα μέσω της εφαρμογής τους σε διάφορες χωρικές κλίμακες. Η διαδικασία ανάλυσης βιομάζας μέσω παλινδρόμησης περιλαμβάνει τρία κύρια στάδια: πρώτον, την εκτίμηση της βιομάζας με βάση φασματικούς δείκτες. Δεύτερον, την σύγκριση του μοντέλου παλινδρόμησης με τα αποτελέσματα της βιομάζας για μια πενταετία και τα δορυφορικά δεδομένα που προκύπτουν από τα αντίστοιχα pixel. Τρίτον, την εφαρμογή των μοντέλων παλινδρόμησης για την πρόβλεψη της βιομάζας με χωρική ανάλυση.

Έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα βασισμένα σε συνδυασμούς παραμέτρων που υπολογίζονται μέσω γραμμικής παλινδρόμησης (LR) ή μη γραμμικής παλινδρόμησης (NLR). Η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης, συγκεκριμένα, είναι μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις για την ανάπτυξη μοντέλων εκτίμησης βιομάζας. Αυτοί οι παραμετρικοί αλγόριθμοι προϋποθέτουν ότι οι σχέσεις μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής (βιομάζα) και των ανεξάρτητων μεταβλητών (δεδομένα Τηλεπισκόπησης) έχουν σαφή δομή. Οι ανεξάρτητες μεταβλητές μπορούν να περιλαμβάνουν φασματικές ζώνες, δείκτες βλάστησης,

---

<sup>21</sup> Remote Sensing-Based Biomass Estimation WRITTEN BY José Mauricio Galeana Pizaña, Juan Manuel Núñez Hernández and Nirani Corona Romero Submitted: June 11th, 2015 Reviewed: October 21st, 2015 Published: June 8th, 2016



εικόνες υψής, ύψος LiDAR και οπισθοσκέδαση από ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR).

Αυτές οι τεχνικές, συνδυάζοντας δεδομένα από διάφορους αισθητήρες και μεθόδους ανάλυσης, επιτρέπουν την ακριβή εκτίμηση της βιομάζας και την αποτελεσματική αξιολόγηση των γεωργικών και δασικών πόρων σε μεγάλες κλίμακες.

### 5.3 Μοντελοποίηση βιομάζας με χρήση Τηλεπισκόπησης

Οι φασματικοί δείκτες βλάστησης μέσω Τηλεπισκόπησης αποτελούν βασικά εργαλεία για την αξιολόγηση της βιομάζας, καθώς παρέχουν ένα ολοκληρωμένο μέτρο τόσο της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας της βλάστησης όσο και των δομικών χαρακτηριστικών του θόλου. Αυτοί οι δείκτες χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορους τομείς για την εκτίμηση της βιομάζας και έχουν αποδειχθεί χρήσιμοι σε πολλές εφαρμογές.

Διαφορετικοί τύποι δεικτών βλάστησης έχουν χρησιμοποιηθεί για μεγάλο χρονικό διάστημα για την εκτίμηση της βιομάζας. Ο δείκτης βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) είναι ένας από τους πιο διαδεδομένους και αξιολογεί την αντίθεση μεταξύ των περιοχών του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου φάσματος, παρέχοντας μια ένδειξη της ποσοτικής κατάστασης της βλάστησης. Παρόλο που ο NDVI είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος, η πραγματική ανάκλαση της βλάστησης και, κατά συνέπεια, ο δείκτης βλάστησης μπορεί να επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως οι ατμοσφαιρικές συνθήκες. Για αυτόν τον λόγο, η διόρθωση της ατμόσφαιρας είναι απαραίτητη για την ακριβή εκτίμηση της βιομάζας από τους δείκτες βλάστησης.

Οι δείκτες βλάστησης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

1. **Δείκτες Βασισμένοι στην Κλίση:** Αυτοί οι δείκτες χρησιμοποιούν απλούς αριθμητικούς συνδυασμούς που εστιάζουν στην αντίθεση μεταξύ των φασματικών αποκρίσεων της βλάστησης στα κανάλια του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου. Κλασικά παραδείγματα περιλαμβάνουν τον Δείκτη Αναλογίας Βλάστησης (RVI), τον Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI) και τον Δείκτη Βλάστησης Προσαρμοσμένο στο Έδαφος (SAVI). Αυτοί οι δείκτες προσφέρουν καλύτερη ευαισθησία στην ανίχνευση της βιομάζας σε σχέση με τη χρήση μεμονωμένων φασματικών ζωνών.
2. **Δείκτες Βασισμένοι στην Απόσταση:** Μετρούν την απόσταση της βλάστησης από το υπόβαθρο του εδάφους έως το εικονοστοιχείο με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε βλάστηση. Ένας τέτοιος δείκτης είναι ο Δείκτης Βλάστησης (PVI), ο οποίος αναιρεί την επίδραση της φωτεινότητας του εδάφους, ιδιαίτερα σε περιοχές με αραιή βλάστηση όπου

τα εικονοστοιχεία περιέχουν μείγμα πράσινης βλάστησης και εδάφους. Η επίδραση του εδάφους ως υπόβαθρο είναι σημαντικός παράγοντας για την ποσοτική αξιολόγηση της βιομάζας σε συγκεκριμένες περιοχές<sup>22</sup>.

3. **Δείκτες Μετασχηματισμού:** Αυτοί οι δείκτες συνδυάζουν και επεξεργάζονται φασματικά δεδομένα με τρόπους που επιτρέπουν τη βελτίωση της ακρίβειας της εκτίμησης της βιομάζας, λαμβάνοντας υπόψη διάφορες παράμετροι και αναλογίες.

Η επιλογή του κατάλληλου δείκτη εξαρτάται από τις συνθήκες της περιοχής μελέτης και τους στόχους της αξιολόγησης της βιομάζας. Οι φασματικοί δείκτες βλάστησης προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για τη διαχείριση των φυσικών πόρων και την παρακολούθηση της αλλαγής στη βλάστηση.

---

<sup>22</sup> Remote Sensing-Based Biomass Estimation WRITTEN BY José Mauricio Galeana Pizaña, Juan Manuel Núñez Hernández and Nirani Corona Romero . Submitted: June 11th, 2015 Reviewed: October 21st, 2015 Published: June 8th, 2016

## Κεφάλαιο 6. Περιοχή Εφαρμογής

### 6.1 Χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

Ο νομός Καρδίτσας, που βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα και ανήκει στην περιφέρεια Θεσσαλίας, παρουσιάζει ένα πλούσιο πολιτιστικό και φυσικό περιβάλλον. Η γεωγραφική του θέση συνδυάζει εντυπωσιακά ορεινά συγκροτήματα με άφθονες υδάτινες επιφάνειες, συμπεριλαμβανομένων λιμνών και ποταμών. Οικονομικά, η περιοχή στηρίζεται κυρίως στη γεωργία και την κτηνοτροφία.



Εικόνα 6.1.1: Απεικόνιση της περιφερειακής ενότητας Καρδίτσας<sup>23</sup>

Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2021, ο νομός Καρδίτσας έχει 106.698 μόνιμους κατοίκους. Διοικητικά, διαιρείται σε 6 δήμους σύμφωνα με το νέο σχέδιο Καλλικράτης. Η περιοχή που μελετάται εκτείνεται γεωγραφικά από τα 39°11'53"N και 21°21'17"E δυτικά, έως τα 39°16'15"N και 22°15'38"E ανατολικά, και από τα 39°33'11"N και 22°00'11"E βόρεια, έως τα 39°01'29"N και 21°57'15"E νότια. Περιλαμβάνει τμήμα του ορεινού συμπλέγματος της Πίνδου, με χαρακτηριστικά φυσικού περιβάλλοντος που περιλαμβάνουν καταπράσινες πλαγιές,

<sup>23</sup> [https://el.wikipedia.org/wiki/Περιφερειακή\\_Ενότητα\\_Καρδίτσας](https://el.wikipedia.org/wiki/Περιφερειακή_Ενότητα_Καρδίτσας)

λίμνες και ποτάμια. Η μέση ετήσια θερμοκρασία στην περιοχή κυμαίνεται γύρω από τους 18°C. Το τοπίο της περιοχής είναι κυρίως γεωργικό, με εδάφη που ποικίλουν από ορεινά και πεδινά τοπία έως μικρές περιοχές δασών και φυσικής βλάστησης. Η χρήση της γης επικεντρώνεται κυρίως στη γεωργία, με καλλιέργειες όπως σιτάρι, καλαμπόκι και λαχανικά, ενώ η περιοχή είναι επίσης γνωστή για την κτηνοτροφία και την παραδοσιακή γεωργία. Το υψόμετρο κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 100 και 1200 μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, με τις ετήσιες βροχοπτώσεις να κυμαίνονται γύρω από 20-900 χιλιοστά, με την πλειονότητα των βροχοπτώσεων να καταγράφεται κατά τη διάρκεια του χειμώνα.

## **6.2 Οικονομική απασχόληση της περιοχής μελέτης και η γεωμορφολογία της**

Στην περιοχή της Καρδίτσας, η βασική οικονομική δραστηριότητα επικεντρώνεται στη γεωργία και την κτηνοτροφία. Η καλλιέργεια σιτηρών, λαχανικών και φρούτων, καθώς και η εκτροφή ζώων όπως αιγοπρόβατα και βοοειδή, αποτελούν κρίσιμες πηγές εισοδήματος για τους κατοίκους της περιοχής. Εντούτοις, σημαντικό ρόλο παίζουν και οι βιομηχανικές δραστηριότητες, περιλαμβάνοντας εργοστάσια επεξεργασίας τροφίμων, βιομηχανία ενέργειας και κατασκευές. Επίσης, οι εμπορικές δραστηριότητες και ο τομέας των υπηρεσιών συνεισφέρουν στην οικονομική δραστηριότητα της περιοχής.

Η ευρύτερη περιοχή του νομού Καρδίτσας στη βορειοδυτική Ελλάδα παρουσιάζει μια ιδιαίτερη γεωγραφική και γεωμορφολογική ποικιλία. Το τοπίο της διακρίνεται σε τρεις βασικούς τύπους: ορεινό, ημιορεινό και πεδινό. Συγκεκριμένα, το ορεινό τοπίο καταλαμβάνει το 42% της συνολικής έκτασης (1.111 km<sup>2</sup>), το ημιορεινό τοπίο το 9% (230 km<sup>2</sup>) και το πεδινό τοπίο το 49% (1.326 km<sup>2</sup>).

Το δυτικό τμήμα του νομού ανήκει στη λεκάνη απορροής του ποταμού Αχελώου, όπου οι αρδευτικές εκτάσεις είναι περιορισμένες. Αντίθετα, το ανατολικό τμήμα εντάσσεται στη λεκάνη απορροής του ποταμού Πηνειού και αποτελεί τμήμα του Θεσσαλικού κάμπου, μια πεδινή περιοχή με ελάχιστη κλίση που είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για αρδευτικούς σκοπούς και γεωργική εκμετάλλευση. Η γεωγραφική ποικιλία της περιοχής εκτείνεται σε επίπεδες πεδινές περιοχές με ελάχιστη κλίση, καθώς και σε ημιορεινές περιοχές με μεσογειακή βλάστηση και έντονη κλίση. Αυτή η ποικιλία στο ανάγλυφο και στα χαρακτηριστικά του τοπίου καθιστά την περιοχή του νομού Καρδίτσας ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα για μελέτη και εξερεύνηση της φυσικής γεωγραφίας.

### 6.3 Γεωλογία της περιοχής

Η γεωλογική σύνθεση της ευρύτερης περιοχής μελέτης αναλύεται μέσω των γεωτεκτονικών ζωνών που αποτελούν τη Ζώνη της Πίνδου και επεκτείνονται από τα δυτικά όρια της πεδιάδας προς την οροσειρά της Πίνδου. Οι κύριες γεωτεκτονικές ζώνες και ενότητες περιλαμβάνουν:

1. **Ζώνη της Πίνδου:** Σε αυτή τη ζώνη περιλαμβάνονται λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθοι, σχιστοκερατόλιθοι και φλύσχεις, που εντοπίζονται στο δυτικό τμήμα της περιοχής μελέτης. Αυτά τα πετρώματα χαρακτηρίζονται από ποικιλία σε σύσταση και συνθέτουν τη γεωλογική βάση του δυτικού τμήματος.
2. **Υποπελαγονική Ζώνη:** Αυτή η ζώνη εκτείνεται στην κεντρική Θεσσαλία και περιλαμβάνει οφιολιθικά υπερβασικά πετρώματα, φλύσχεις και σχιστοκερατόλιθους. Οφιολιθικά πετρώματα προέρχονται συνήθως από υποβρύχια ηφαιστειακή δραστηριότητα και δίνουν στοιχεία για την γεωλογική ιστορία της περιοχής.
3. **Πελαγονική Ζώνη:** Στο ανατολικό τμήμα της περιοχής, η πελαγονική ζώνη χαρακτηρίζεται από την παρουσία κρυσταλλικών ασβεστόλιθων, μαρμάρων, γνεύσιων, σχιστόλιθων και αμφιβολίτων. Αυτά τα πετρώματα υποδεικνύουν μια γεωλογική διαδικασία που περιλαμβάνει τη μεταμόρφωση των αρχικών πετρωμάτων σε νέα μορφές.
4. **Μολασσικά Ιζήματα:** Στο δυτικό τμήμα της Θεσσαλικής Πεδιάδας, παρατηρούνται μολασσικά ιζήματα της μεσοελληνικής αυλάκου, κυρίως συνεκτικά κροκαλοπαγή μεγάλης στρώσης. Αυτά τα ιζήματα συσχετίζονται με την πλημμυρική δραστηριότητα και την εναπόθεση ιζημάτων στις πεδιάδες.

Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής χαρακτηρίζεται από επίπεδες επιφάνειες με ελαφρές κλίσεις και περιορισμένη παρουσία ασβεστίου. Αυτές οι συνθήκες καθιστούν τα εδάφη κατάλληλα για ποικιλία γεωργικών καλλιεργειών, ιδιαίτερα κατά την ξηρή περίοδο, λόγω των ήπιων κλίσεων που ευνοούν τη γεωργική εκμετάλλευση. Στην περιοχή δεν παρατηρούνται σημαντικά φαινόμενα διάβρωσης, εκτός από μικρές διαβρώσεις στις ποταμικές κοίτες κατά τους χειμερινούς μήνες υπό συγκεκριμένες συνθήκες παροχής νερού. Συνολικά, η περιοχή διαθέτει γεωλογική ποικιλία με διαφορετικές γεωτεκτονικές ζώνες και ενότητες, καθιστώντας την ενδιαφέρουσα για γεωλογική και γεωργική μελέτη.

## 6.4 Ανάλυση Μετεωρολογικών Στοιχείων-Μετρήσεις Βροχόπτωσης

Το κλίμα του Νομού Καρδίτσας είναι ηπειρωτικό και παρουσιάζει δύο κύριες παραλλαγές, ανάλογα με τη γεωμορφολογία της περιοχής: ορεινές και πεδινές περιοχές. Αυτές οι παραλλαγές επηρεάζουν σημαντικά τις θερμοκρασίες και τις βροχοπτώσεις στην περιοχή.

Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, οι θερμοκρασίες είναι χαμηλές και η υγρασία είναι υψηλή. Οι ορεινές περιοχές χαρακτηρίζονται από ακόμη πιο χαμηλές θερμοκρασίες και εντονότερες βροχοπτώσεις σε σύγκριση με τις πεδινές περιοχές. Στην περιοχή των βουνών, οι χιονοπτώσεις είναι συχνές και το χιόνι μπορεί να καλύψει το τοπίο για διάστημα 4-5 μηνών τον χρόνο. Η καλοκαιρινή περίοδος είναι εξαιρετικά θερμή, ιδιαίτερα στις πεδινές περιοχές, όπου οι θερμοκρασίες συχνά ξεπερνούν τους 40°C. Η απουσία θαλάσσιων επιρροών εντείνει την αίσθηση της ζέστης, κάνοντάς την ιδιαίτερα αισθητή στους κατοίκους και τις καλλιέργειες.

Η περιοχή παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία στη βροχόπτωση από έτος σε έτος. Οι βροχοπτώσεις είναι σχεδόν συνεχείς καθόλη τη διάρκεια του χρόνου, με τους μήνες Οκτώβριο έως Μάρτιο να καταγράφουν τις μεγαλύτερες ποσότητες βροχής. Αντίθετα, οι μήνες Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος είναι συνήθως ξηροί με ελάχιστες βροχοπτώσεις.

ΜΗΝΑΣ /ΕΤΟΣ	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Μ.Ο /ΜΗΝΑ (mm)
1	116,4	102,2	103,0	15,4	123,2	117,6	96,3
2	49,2	313,6	20,4	21,0	20,8	83,0	84,7
3	80,0	23,8	2,6	97,2	105,2	87,0	66,0
4	44,2	32,6	47,4	98,6	27,8	27,2	46,3
5	49,4	56,6	16,4	15,2	11,4	31,6	30,1
6	50,2	60,8	44,0	16,2	50,0	60,2	46,9
7	51,6	34,8	123,8	44,2	25,2	43,0	53,8
8	26,6	25,8	2,8	13,2	12,0	49,4	21,6
9	18,6	32,6	14,0	233,0	25,8	23,0	57,8
10	25,4	37,4	76,0	28,8	138,8	28,2	55,8
11	92,6	168,4	125,8	17,0	60,6	65,8	88,4
12	100,8	54,4	122,8	75,6	69,2	41,6	77,4
<b>Σύνολο (mm)</b>	<b>705,0</b>	<b>943,0</b>	<b>699,0</b>	<b>675,4</b>	<b>670,0</b>	<b>657,6</b>	<b>725,0</b>

Πίνακας 6.4.1 :Μετρήσεις βροχόπτωσης στον νομό Καρδίτσας, πίνακας συγκριτικών αποτελεσμάτων ανά έτος μελέτης

### Μετεωρολογικά Χαρακτηριστικά της περιοχής:

- **Άνεμοι:** Οι κυριότεροι άνεμοι στην περιοχή είναι Νότιοι και Νοτιοανατολικοί. Οι ταχύτητες των ανέμων είναι εντονότερες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, με τις μέγιστες τιμές να φτάνουν τα 2,5 m/s.
- **Θερμοκρασία:** Η μέση μηνιαία θερμοκρασία κυμαίνεται από περίπου 5°C τον Ιανουάριο έως 27°C τον Ιούλιο. Η μέγιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ημέρας κυμαίνεται από 17,9°C τον Ιανουάριο έως 39,1°C τον Ιούλιο.
- **Υγρασία:** Η σχετική υγρασία παραμένει υψηλή καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, καθιστώντας την περιοχή μία από τις πιο υγρές στην Ελλάδα. Οι τιμές της υγρασίας είναι υψηλότερες κατά τους χειμερινούς μήνες σε σύγκριση με το καλοκαίρι.
- **Βροχόπτωση:** Η ετήσια βροχόπτωση για την περίοδο 2017-2022 είναι περίπου 725 mm. Οι χειμερινοί μήνες καταγράφουν υψηλότερες βροχοπτώσεις σε σύγκριση με τους καλοκαιρινούς μήνες.

Συνολικά, το κλίμα του Νομού Καρδίτσας χαρακτηρίζεται από έντονες μεταβολές με ψυχρούς χειμώνες και πολύ θερμά καλοκαίρια. Η υψηλή υγρασία και οι συχνές βροχοπτώσεις κάνουν την περιοχή ιδιαίτερα υγρή, με σημαντικές διακυμάνσεις στις μηνιαίες και ετήσιες κλιματικές συνθήκες. Τα διαθέσιμα διαγράμματα από την Υπηρεσία ΜΕΤΕΟ του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών παρέχουν επίκαιρα μετεωρολογικά δεδομένα που καταγράφουν αυτές τις συνθήκες με ακρίβεια.

Έτος	Καρδίτσα	Καρδίτσα (πόλη)	Μ.Ο /Έτος	Μ.Ο 2017-2022
2017	58,75	-	58,75	60,92
2018	78,58	-	78,58	60,92
2019	58,25	-	58,25	60,92
2020	56,28	-	56,28	60,92
2021	55,83	47,27	51,55	60,92
2022	54,80	69,45	62,13	60,92

Πίνακας 6.4.2 :Αποτελέσματα ανά έτος μελέτης, μετρήσεων Βροχόπτωσης στο νομό Καρδίτσας από την Υπηρεσία ΜΕΤΕΟ<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Πηγή: <https://meteosearch.meteo.gr/data/index.cfm>



Διάγραμμα 6.4.1 :Διάγραμμα βροχοπτώσεων, δεδομένα Υπηρεσίας METEO<sup>25</sup>

## 6.5 Αξιολόγηση Περιοχής για Βιώσιμη Ανάπτυξη Βιομάζας

Ο Νομός Καρδίτσας διαθέτει πλούσιους γεωργικούς πόρους, με έκταση ενεργών καλλιεργήσιμων εκτάσεων που κυμαίνεται από 7.300 έως 8.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Η αξιοποίηση αυτών των πόρων, κυρίως μέσω της επεξεργασίας αγροτικών υπολειμμάτων για την παραγωγή αιθανόλης από βιομάζα, αποτελεί έναν βασικό τομέα ανάπτυξης της περιοχής.

Η διαδικασία επιλογής περιοχής για την ανάπτυξη βιομάζας εστιάζει σε τρεις κύριους παράγοντες: γεωγραφικούς, κλιματολογικούς και οικονομικούς. Αυτή η πολυδιάστατη ανάλυση έχει ως στόχο την εντοπισμό των κατάλληλων περιοχών που προάγουν την αειφόρο παραγωγή και χρήση βιομάζας.

1. **Γεωγραφικοί Παράγοντες:** Η Καρδίτσα διαθέτει εκτενή καλλιεργήσιμες εκτάσεις, κυρίως αγροκτήματα και φυτείες. Οι καλλιέργειες περιλαμβάνουν σιτάρι, καλαμπόκι, βαμβάκι και άλλες. Η ανάλυση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων βοηθά στην εκτίμηση της διαθεσιμότητας βιομάζας, προσδιορίζοντας τις περιοχές με τη μεγαλύτερη δυναμική παραγωγής.
2. **Κλιματολογικοί Παράγοντες:** Το ηπειρωτικό κλίμα της Καρδίτσας παρουσιάζει δύο βασικές παραλλαγές: ορεινή και πεδινή. Τα χαμηλά υψόμετρα και οι επίπεδες εκτάσεις προσφέρουν ευνοϊκές συνθήκες για την καλλιέργεια των φυτών. Η περιοχή δεν υφίσταται συχνές ξηρασίες, γεγονός που ευνοεί την ανάπτυξη των καλλιεργειών και την παραγωγή

<sup>25</sup> Πηγή: <https://meteosearch.meteo.gr/data/index.cfm>



βιομάζας.

3. **Οικονομικοί Παράγοντες:** Η οικονομική προοπτική είναι κρίσιμη για την επιτυχία των επενδύσεων στη βιομάζα. Η ύπαρξη υποδομών, όπως εργοστάσια επεξεργασίας βιομάζας και δίκτυα μεταφοράς, καθώς και η προσβασιμότητα στις αγορές, είναι καθοριστικοί παράγοντες για την οικονομική βιωσιμότητα των έργων.

Η Καρδίτσα διαθέτει εκτενείς περιοχές καλλιεργήσιμων εκτάσεων με υψόμετρο που κυμαίνεται μεταξύ 110 και 1200 μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι κύριες καλλιέργειες περιλαμβάνουν:

- **Βαμβάκι (*Gossypium sp.*):** Η κυρίαρχη καλλιέργεια στην περιοχή, με σημαντική εμπορική αξία και επίδραση στην τοπική οικονομία.
- **Καλαμπόκι (*Zea mays L. ssp.*):** Ιδιαίτερα αποδοτικό λόγω της υψηλής απόδοσης και της γρήγορης ωρίμανσης. Ωστόσο, απαιτεί μεγαλύτερη ποσότητα λιπάσματος και είναι ευαίσθητο στην ξηρασία.
- **Αραβόσιτος (*Pennisetum glaucum (L.) R. Br.*):** Επίσης σημαντική καλλιέργεια με καλές προοπτικές για τη βιομάζα.

Η αγροτική περίοδος αρχίζει με τις πρώτες βροχές γύρω από τον Μάρτιο, και οι καλλιέργειες συγκομίζονται από τον Ιούλιο μέχρι το τέλος Οκτωβρίου. Οι οργανώσεις αγροτών, που επηρεάζουν σημαντικά την τοπική βιοποικιλότητα, επικεντρώνονται κυρίως στο βαμβάκι, αλλά και στο σιτάρι και τον αραβόσιτο.

Κλιματικά Χαρακτηριστικά:

- **Θερμοκρασία:** Η ετήσια μέση θερμοκρασία είναι περίπου 17,5°C. Η μέση μηνιαία θερμοκρασία κυμαίνεται από 5°C τον Ιανουάριο έως 27°C τον Ιούλιο.
- **Υγρασία:** Η μέση σχετική υγρασία είναι 41%, κατατάσσοντας την περιοχή στις πιο υγρές της Ελλάδας.
- **Βροχοπτώσεις:** Η ετήσια βροχόπτωση είναι περίπου 725 mm. Ο Ιανουάριος είναι ο πιο βροχερός μήνας με 96,3 mm, ενώ ο Σεπτέμβριος είναι ο πιο ξηρός με λιγότερο από 21,6 mm.

Συνολικά, η ανάλυση της γεωργικής και κλιματικής καταλληλότητας δείχνει ότι η Καρδίτσα είναι ιδανική για την ανάπτυξη και εκμετάλλευση της βιομάζας. Η συνδυασμένη εξέταση γεωγραφικών, κλιματολογικών και οικονομικών παραμέτρων επιβεβαιώνει την περιοχή ως

κατάλληλη για βιώσιμη παραγωγή βιομάζας, προωθώντας την αειφορία, την παραγωγικότητα και την οικονομική αποδοτικότητα.

# Κεφάλαιο 7. Χρήση Γεωχωρικών Τεχνολογιών για Υπολογισμό Βιομάζας

## 7.1 Συλλογή και εξοπλισμός δεδομένων

Στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον δορυφόρο Sentinel-2, με ανάλυση 10 μέτρων, για την υπολογισμό δώδεκα δεικτών βλάστησης (Vegetation Indices - VIs) και την εκτίμηση της βιομάζας των καλλιεργειών. Η εφαρμογή αυτών των δορυφορικών δεδομένων ενίσχυσε την ανάλυση της καλυπτικής βιομάζας και προσέφερε πολύτιμες πληροφορίες για την εκτίμηση της γεωργικής παραγωγής. Η επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων περιλάμβανε τη χρήση ιεραρχικής ομαδοποίησης για την ταξινόμηση των δεικτών βλάστησης και την ακριβή εκτίμηση της βιομάζας. Οι δορυφόροι Sentinel-2 επιτρέπουν την ακριβή παρακολούθηση της βιομάζας των καλλιεργειών σε επίπεδο αγρού, προσφέροντας μια οικονομικά αποδοτική εναλλακτική λύση σε σύγκριση με τα δεδομένα που παρέχονται από επίσημους φορείς καταγραφής γεωργικών καλλιεργειών.

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας τις αποστολές δορυφόρων του Copernicus, κυρίως τον Sentinel-2, σε πέντε χρονιές, από το 2018 έως το 2022. Η διαδικασία περιλάμβανε τα εξής στάδια:

### 1. Αρχικό Έτος (2018):

Στο πρώτο έτος, τα δεδομένα του Sentinel-2A χρησιμοποιήθηκαν για την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με την επιφανειακή κάλυψη και την υφή του εδάφους σε διάφορες περιοχές της μελέτης. Μέσω επεξεργασίας των εικόνων και εφαρμογής αλγορίθμων ανάλυσης, εκτιμήθηκε η διαθέσιμη βιομάζα και κατηγοριοποιήθηκαν οι καλλιέργειες.

### 2. Χρόνιες Αναλύσεις (2019-2022):

Από το 2019 έως το 2022, συνεχίστηκε η παρακολούθηση της βιομάζας με τη χρήση δεδομένων του Sentinel-2A. Η συνεχής παρακολούθηση επέτρεψε την καταγραφή αλλαγών στις γεωργικές καλλιέργειες και την εκτίμηση της εξέλιξης της βιομάζας.

Η ανάλυση με δορυφορικά δεδομένα παρέχει σημαντικά πλεονεκτήματα:

- **Παρακολούθηση Υγείας Φυτών:** Επιτρέπει τη συνεχή παρακολούθηση της υγείας των φυτών και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των γεωργικών πρακτικών.
- **Οικονομική Αποδοτικότητα:** Παρέχει μια οικονομικά αποδοτική λύση για την εκτίμηση

της βιομάζας σε σύγκριση με άλλες μεθόδους.

- **Εξέλιξη και Αξιοπιστία:** Η χρήση δεδομένων σε μακροχρόνιο διάστημα αυξάνει την ακρίβεια και την αξιοπιστία των εκτιμήσεων, βελτιώνοντας τα διαστήματα εμπιστοσύνης για τις εκτιμήσεις βιομάζας.

Η εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας ενισχύει την κατανόηση της βιομάζας στην περιοχή μελέτης και συμβάλλει στην αποτελεσματική διαχείριση των γεωργικών πόρων.

Για την αποτελεσματική ολοκλήρωση της μελέτης, η χρήση σύγχρονων εργαλείων και λογισμικών είναι κρίσιμη για την ανάλυση, επεξεργασία και παρουσίαση των δεδομένων. Παρακάτω περιγράφονται τα κυριότερα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και η συμβολή τους στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας:

1. **Copernicus:** Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Copernicus παρέχει έναν πλούτο δορυφορικών δεδομένων που αφορούν τη Γη και την ατμόσφαιρα. Με τα δεδομένα του Copernicus, πραγματοποιούνται αναλύσεις που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, τις χρήσεις γης και άλλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Το πρόγραμμα περιλαμβάνει δορυφορικές αποστολές, όπως οι Sentinel, που προσφέρουν κρίσιμες πληροφορίες για τη βιομάζα σε διάφορους τύπους εκτάσεων. Χρησιμοποιώντας γεωγραφικές τεχνικές επεξεργασίας εικόνας και αλγορίθμους ανίχνευσης, είναι δυνατόν να γίνει ακριβής εκτίμηση της βιομάζας σε συγκεκριμένες περιοχές. Το Copernicus παρέχει ένα ευρύ φάσμα εργαλείων που διευκολύνουν την παρακολούθηση της περιβαλλοντικής κατάστασης και την εκτίμηση της βιομάζας σε παγκόσμια κλίμακα.
2. **ENVI:** Το ENVI είναι ένα εξειδικευμένο λογισμικό για την επεξεργασία και ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων, ιδίως δορυφορικών και αεροφωτογραφιών. Ως "Environmental Visualization System", το ENVI προσφέρει μια σειρά από λειτουργίες για την ανάλυση χωρικών δεδομένων και την ανακατασκευή εικόνων. Περιλαμβάνει εργαλεία για την αυτόματη ή χειροκίνητη κατάτμηση εικόνων σε κατηγορίες, ανάλυση πολυ-και υπερφασματικών δεδομένων και εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τις ιδιότητες των υλικών. Το πλεονέκτημα του ENVI είναι η πρόσβαση σε ποικιλία αλγορίθμων και μοντέλων για την επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων, διευκολύνοντας την εξαγωγή ακριβών αποτελεσμάτων.
3. **ArcGIS:** Το ArcGIS, από την εταιρεία Esri, είναι ένα ολοκληρωμένο σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών (GIS) που επιτρέπει τη δημιουργία, διαχείριση, ανάλυση και παρουσίαση γεωγραφικών δεδομένων. Περιλαμβάνει εργαλεία για την κατασκευή χαρτών,

τη διαχείριση γεωγραφικών δεδομένων, και την εφαρμογή γεωστατιστικών μεθόδων. Το ArcGIS υποστηρίζει τη μοντελοποίηση, την εκτίμηση επιφανειακών κλίσεων και τη δημιουργία χωρικών προβλέψεων, παίζοντας κεντρικό ρόλο στη γεωχωρική ανάλυση της μελέτης.

4. **SNAP (Sentinel Application Platform):** Το SNAP αναπτύχθηκε από την Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (ESA) και είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων από τις αποστολές των δορυφόρων Sentinel. Το SNAP προσφέρει ευέλικτο περιβάλλον εργασίας για τη βελτίωση εικόνων, την κατάτμηση, την ταξινόμηση και την ανάλυση πολυφασματικών δεδομένων. Επιτρέπει τη σύγκριση δορυφορικών εικόνων, τη διαχείριση και αποθήκευση δεδομένων σε διάφορες μορφές, ενισχύοντας την ακρίβεια και αξιοπιστία των εκτιμήσεων.

Η συνδυασμένη χρήση αυτών των εργαλείων επιτρέπει την ολοκληρωμένη ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων, βελτιώνοντας την ακρίβεια των εκτιμήσεων βιομάζας και συμβάλλοντας στην αποδοτική παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών.

## **7.2 Ανάλυση Πολυφασματικών και Παγχρωματικών Δορυφορικών Δεδομένων**

Για την αποτελεσματική ανάλυση της περιοχής μελέτης, θα χρησιμοποιηθούν τεχνικές που θα ενισχύσουν τη χωρική διακριτική ικανότητα και θα αξιοποιήσουν πλήρως τη φασματική ανάλυση, με σκοπό τη βελτίωση της ραδιομετρικής ανάλυσης και τη βελτιστοποίηση των δεδομένων για ακριβέστερα συμπεράσματα. Ειδικότερα, θα αξιοποιηθούν τα δεδομένα από τον δορυφόρο Sentinel-2 για την ανάλυση των φασματικών ιδιοτήτων των καναλιών μπλε, κόκκινο, πράσινο και στο εγγύς υπέρυθρο, με χωρική ανάλυση 10 μέτρων. Επιπλέον, τα υπόλοιπα κανάλια του Sentinel-2 με μειωμένη χωρική ανάλυση (20-60 μέτρα) θα υποβληθούν σε τεχνικές σύντηξης δεδομένων.

Οι πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες του Sentinel-2A χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη αυτή, προσφέροντας δεδομένα ανάκλασης επιπέδου 1C στην κορυφή της ατμόσφαιρας (Top-of-the-Atmosphere, TOA). Για την περιοχή μελέτης, η ανάλυση εστιάστηκε στα δεδομένα του Ιουλίου και συγκρίθηκαν με αντίστοιχα δεδομένα της ίδιας περιόδου για πενταετία. Επιλέχθηκαν εικόνες της ίδιας χρονικής περιόδου για να αποφευχθούν οι επιπτώσεις από την υγρασία του εδάφους λόγω βροχής, η νεφοκάλυψη και οι επιδράσεις της πράσινης βλάστησης. Όλες οι εικόνες παρέχονται με ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση, δίνοντας τιμές

επιφανειακής αντανάκλασης.

Τα κανάλια μπλε, πράσινα, κόκκινα και NIR1 (κανάλια 2, 3, 4 και 8Α αντίστοιχα) της εικόνας Sentinel-2A επαναδειγματοληπτήθηκαν στα 20 μέτρα χρησιμοποιώντας την εργαλειοθήκη επαναδειγματοληψίας και την τεχνική του πλησιέστερου γείτονα στο λογισμικό ENVI, εξασφαλίζοντας έτσι ότι όλες οι φασματικές ζώνες του Sentinel-2A έχουν ομοιόμορφη χωρική ανάλυση.

Sentinel-2 bands	Sentinel-2A		
	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Spatial resolution (m)
Band 1 – Coastal aerosol	442.7	21	60
Band 2 – Blue	492.4	66	10
Band 3 – Green	559.8	36	10
Band 4 – Red	664.6	31	10
Band 5 – Vegetation red edge	704.1	15	20
Band 6 – Vegetation red edge	740.5	15	20
Band 7 – Vegetation red edge	782.8	20	20
Band 8 – NIR	832.8	106	10
Band 8A – Narrow NIR	864.7	21	20
Band 9 – Water vapour	945.1	20	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1373.5	31	60
Band 11 – SWIR1	1613.7	91	20
Band 12 – SWIR2	2202.4	175	20

Πίνακας 7.2.1 :Φασματικό Ευρετήριο Καναλιών για τον Δορυφόρο Sentinel 2A

Ο δορυφόρος Sentinel-2A διαθέτει τρία βασικά κανάλια ορατού φωτός (κόκκινο, πράσινο, μπλε – RGB) με χωρική ανάλυση 10 μέτρων και ένα κανάλι στο εγγύς υπέρυθρο (IR). Συγκεκριμένα:

- Το κανάλι μπλε λειτουργεί στο μήκος κύματος των 492.4 nm,
- Το κανάλι πράσινο στα 509.8 nm,
- Το κανάλι κόκκινο στα 664.6 nm,
- Το κανάλι εγγύς υπέρυθρο στα 832.8 nm.

Τα κανάλια κοντά στο κόκκινο (κανάλια 5 και 6, γνωστά ως Vegetation Red Edge) έχουν χωρική ανάλυση 20 μέτρων και καλύπτουν τη ζώνη ταχείας αλλαγής στην ανάκλαση της βλάστησης, με μήκη κύματος που κυμαίνονται από 704.1 nm έως 782.8 nm. Τέλος, τα κανάλια του SWIR (Short Wave Infrared) παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες για την εκτίμηση του ποσού

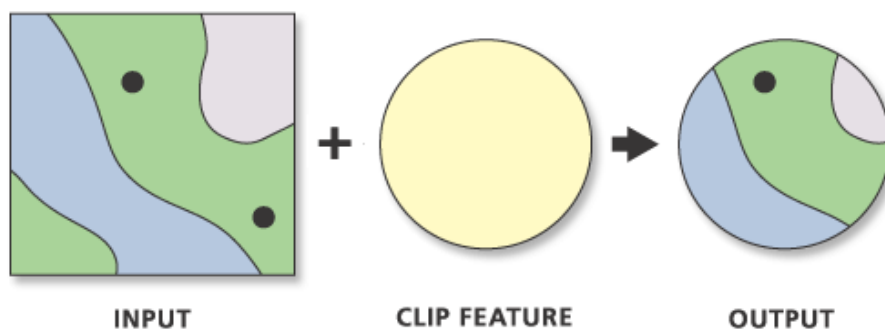
του νερού στα φυτά και στο έδαφος, καθώς το νερό απορροφάται σε αυτά τα μήκη κύματος. Συγκεκριμένα:

- Το κανάλι SWIR1 λειτουργεί στα 1613.7 nm,
- Το κανάλι SWIR2 στα 2202.4 nm.

### 7.3 Εφαρμογή και αξιολόγηση μεθόδου υπολογισμού βιομάζας

Για την αναβάθμιση της χωρικής ανάλυσης και την αξιοποίηση των δεδομένων του Sentinel-2A, ακολουθήσαμε μια μεθοδολογία που επικεντρώνεται στη σύμπτυξη δεδομένων, με στόχο την επίτευξη της υψηλότερης δυνατής χωρικής ανάλυσης. Συγκεκριμένα, επεξεργαστήκαμε τα δεδομένα των δορυφόρων Sentinel, δημιουργώντας 12 κανάλια με ανάλυση 10 μέτρων, για την περιοχή μελέτης.

Η διαδικασία ξεκίνησε με τον καθορισμό της περιοχής μελέτης μέσω διανυσματικών δεδομένων, που προήλθαν από τις αναρτήσεις ελληνικών χωρικών δεδομένων. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό ENVI για τη δημιουργία ενός διανυσματικού πολύγωνου που περιγράφει την περιοχή ενδιαφέροντος, εφαρμόζοντας τη μέθοδο αποκοπής για κάθε κανάλι και έτος.



Εικόνα 7.3.1 :Εργαλείο αποκοπής των διανυσματικών επιπέδων <sup>26</sup>

Για τη διασφάλιση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων και την εστίαση αποκλειστικά στην περιοχή μελέτης, εφαρμόσαμε δύο διαδοχικές μάσκες στις δορυφορικές εικόνες. Η διαδικασία περιλάμβανε:

#### 1. Εφαρμογή Πρώτης Μάσκας: Απομόνωση της Περιοχής Μελέτης

Δημιουργήσαμε μια μάσκα για την απομόνωση της περιοχής μελέτης από τα υπόλοιπα

<sup>26</sup> Πηγή : <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/clip.htm>

δεδομένα της δορυφορικής εικόνας. Αυτή η μάσκα προήλθε από τα γεωγραφικά όρια της περιοχής μελέτης, τα οποία εισήχθησαν στο λογισμικό ENVI. Με τη χρήση της μεθόδου αποκοπής, αφαιρέσαμε όλα τα δεδομένα εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος, εστιάζοντας μόνο στην περιοχή της Καρδίτσας και στις σχετικές πληροφορίες εντός των καθορισμένων ορίων.

## 2. Εφαρμογή Δεύτερης Μάσκας: Αφαίρεση Υδάτινων Επιφανειών

Για την εξάλειψη των υδάτινων επιφανειών από την ανάλυση, χρησιμοποιήσαμε δείκτες βλάστησης όπως ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Βλάστησης (NDVI). Εντοπίσαμε περιοχές που καλύπτονται από νερό (λίμνες, ποτάμια, αρδευτικά κανάλια) και δημιουργήσαμε μια δεύτερη μάσκα για την αφαίρεσή τους. Αυτή η διαδικασία εξασφαλίζει ότι μόνο οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις συμπεριλαμβάνονται στα τελικά δεδομένα, αποφεύγοντας την επίδραση των υδάτινων επιφανειών στα αποτελέσματα της ανάλυσης. Η χρήση αυτών των τεχνικών βελτιώνει την ακρίβεια των εκτιμήσεων και τη συνολική ποιότητα των δεδομένων, επιτρέποντας πιο αξιόπιστες αναλύσεις και συμπεράσματα για την περιοχή μελέτης.

Η διαδικασία εφαρμογής των δύο масκών πραγματοποιήθηκε ως εξής:

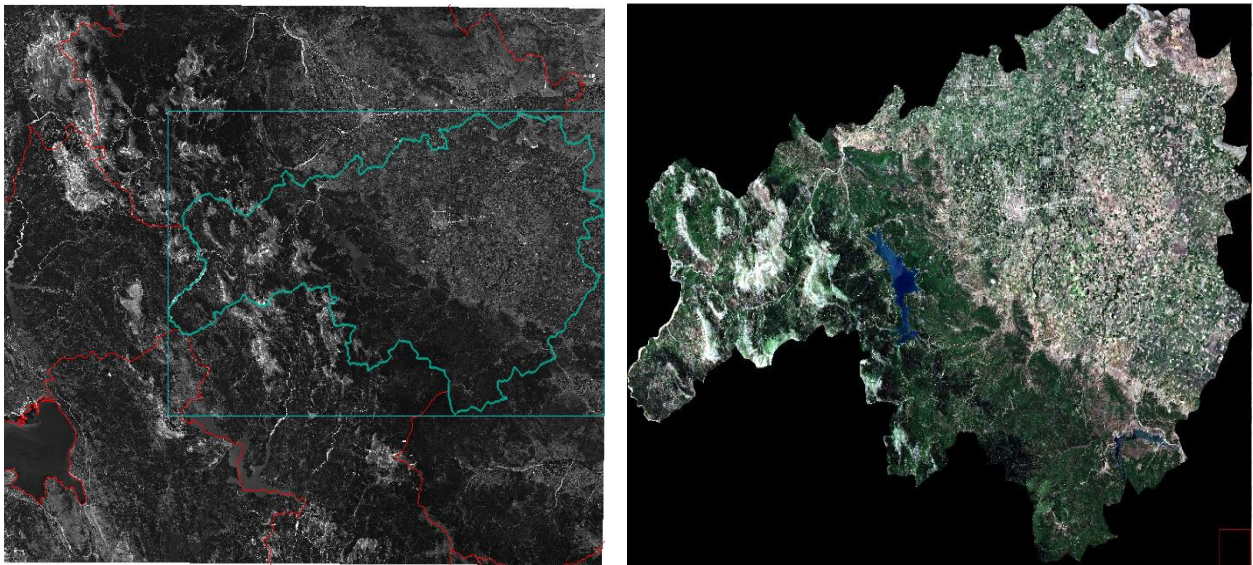
### Πρώτη Μάσκα:

- **Εισαγωγή Γεωγραφικών Ορίων:** Αρχικά, χρησιμοποιήθηκαν τα γεωγραφικά όρια της μελετώμενης περιοχής για τη δημιουργία της πρώτης μάσκας. Αυτή η μάσκα δημιουργήθηκε με βάση τα διανυσματικά δεδομένα της περιοχής, ορίζοντας με ακρίβεια τα όρια του πεδίου μελέτης.
- **Απομόνωση της Περιοχής Μελέτης:** Στη συνέχεια, η μάσκα εφαρμόστηκε στα δορυφορικά δεδομένα, επιτρέποντας την απομόνωση της συγκεκριμένης περιοχής μελέτης. Με αυτόν τον τρόπο, εξαλείφθηκαν όλα τα δεδομένα που βρίσκονται εκτός των καθορισμένων ορίων, διατηρώντας μόνο τις πληροφορίες που σχετίζονται με την περιοχή ενδιαφέροντος.





Εικόνα 7.3.2: Απεικόνιση έγχρωμης RGB εικόνας του δορυφόρου



Εικόνα 7.3.3: Απεικόνιση έγχρωμης RGB εικόνας του δορυφόρου μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής περιοχής μελέτης .

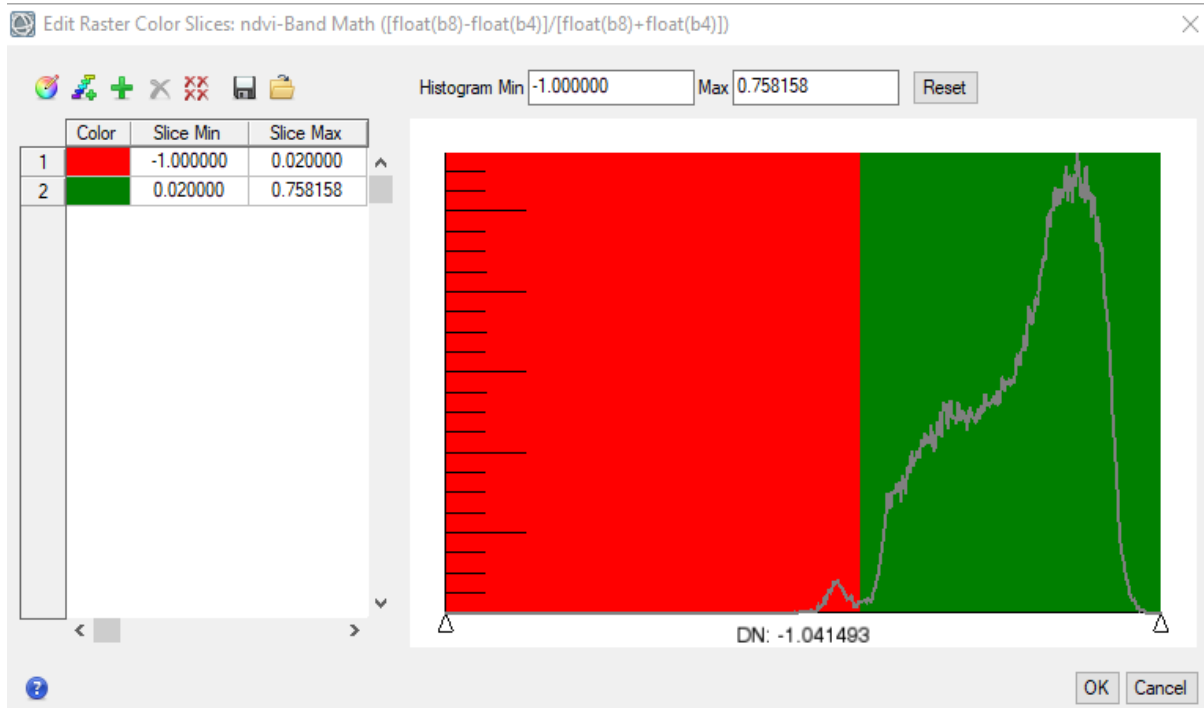
#### **Δεύτερη Μάσκα:**

- **Αναγνώριση Υδάτινων Επιφανειών:** Για τον εντοπισμό των υδάτινων επιφανειών εντός της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιήθηκαν δείκτες βλάστησης, όπως ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI). Ο δείκτης αυτός βοήθησε στην

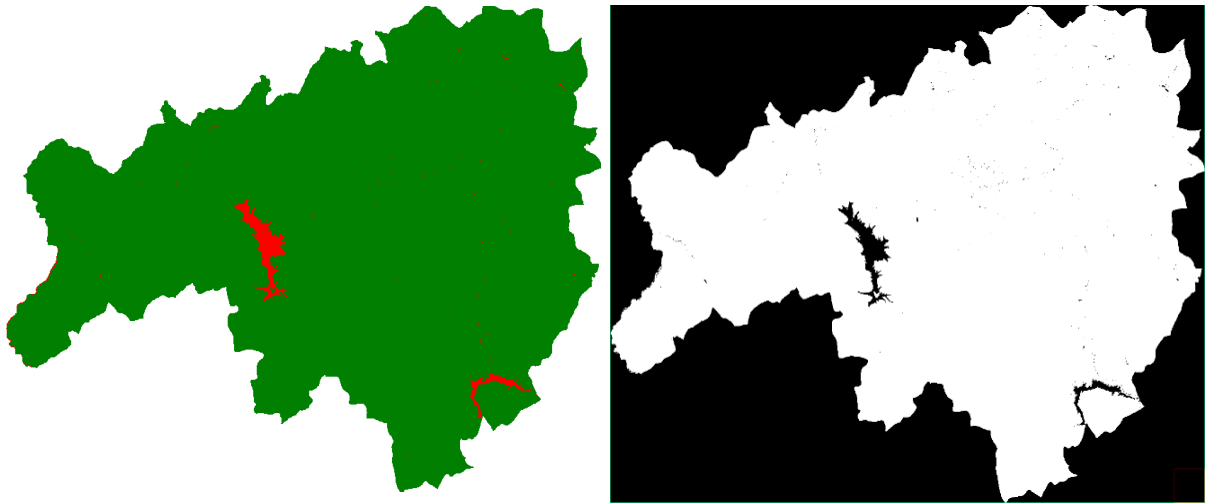
αναγνώριση περιοχών που καλύπτονται από νερό, καθώς αυτές παρουσιάζουν τιμές κοντά στο 0.

- **Δημιουργία Μάσκας Υδάτινων Επιφανειών:** Με βάση τις τιμές του NDVI, δημιουργήθηκε μια δεύτερη μάσκα για την αφαίρεση των υδάτινων επιφανειών. Αυτή η μάσκα κατασκευάστηκε με την τεχνική της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI), ορίζοντας ως πολύγωνο τις περιοχές που έπρεπε να εξαιρεθούν από την ανάλυση.
- **Εφαρμογή της Μάσκας:** Η μάσκα εφαρμόστηκε στα δεδομένα της απομονωμένης περιοχής μελέτης, εξαλείφοντας τις υδάτινες επιφάνειες από την τελική ανάλυση. Με αυτόν τον τρόπο, εξασφαλίστηκε ότι μόνο οι περιοχές με καλλιεργήσιμες εκτάσεις θα περιλαμβάνονται στα τελικά αποτελέσματα.

Συνολικά, η χρήση του δείκτη NDVI για τον εντοπισμό και την κατηγοριοποίηση της βλάστησης επέτρεψε την ακριβή αποτύπωση των περιοχών με παρουσία υδάτινων επιφανειών. Τα δεδομένα που δεν περιείχαν έγκυρες πληροφορίες, όπως αυτά με τιμές N/A λόγω της κοπής της εικόνας, εξαιρέθηκαν πλήρως από την ανάλυση. Η μάσκα αυτή εφαρμόστηκε σε όλες τις φασματικές ζώνες και για όλες τις χρονικές περιόδους που εξετάστηκαν, εξασφαλίζοντας την ομοιογένεια και την αξιοπιστία των δεδομένων.







Εικόνα 7.3.4: Απεικόνιση Εφαρμογής δεύτερης μάσκας απομόνωσης της περιοχής μελέτης από υδάτινες επιφάνειες



Εικόνα 7.3.5: Απεικόνιση Πραγματικά έγχρωμης RGB εικόνας του δορυφόρου μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης της περιοχής μελέτης

Μέσω της παραπάνω διαδικασίας, διασφαλίζεται ότι τα δεδομένα επικεντρώνονται αποκλειστικά στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις της περιοχής μελέτης, αποφεύγοντας την παρεμβολή άσχετων επιφανειών. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει μια ακριβέστερη ανάλυση των αγρονομικών δεδομένων και βελτιώνει την αξιοπιστία των τελικών αποτελεσμάτων. Η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων χωρίζεται σε δύο κύρια στάδια: την ανάλυση των εννέα δεικτών βλάστησης και την εφαρμογή επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Οι δείκτες βλάστησης αποτελούν μαθηματικές εξισώσεις που υπολογίζονται σε κάθε εικονοστοιχείο (pixel) βάσει των φασματικών ζωνών μιας εικόνας. Αυτοί οι υπολογισμοί βασίζονται στις φασματικές ιδιότητες του φωτός που αντανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης.

Με τη χρήση των δεικτών βλάστησης, μπορούμε να αξιολογήσουμε την πυκνότητα και την ανάπτυξη της βλάστησης, καθώς και να διενεργήσουμε συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών περιοχών ή χρονικών περιόδων. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την αξιολόγηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και των δομικών χαρακτηριστικών του εδάφους.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση εφαρμόζεται για την ομαδοποίηση των περιοχών της εικόνας με βάση τους δείκτες βλάστησης. Χρησιμοποιούνται αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, οι οποίοι εκπαιδεύονται να αναγνωρίζουν αυτόματα τις διάφορες κατηγορίες βλάστησης στην εικόνα. Αυτή η τεχνική είναι κρίσιμη για την ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων και για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες ή τη γεωργική παραγωγή. Η χρήση της μηχανικής μάθησης, και συγκεκριμένα της μηχανής διανύσματος υποστήριξης (SVM), επιτρέπει την επίλυση προβλημάτων ταξινόμησης δύο ή περισσότερων κατηγοριών. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί μη γραμμικά χαρακτηριστικά, τα οποία αντιστοιχίζονται σε έναν χώρο πολύ υψηλής διάστασης, όπου κατασκευάζεται μια γραμμική επιφάνεια απόφασης. Οι ιδιότητες αυτής της επιφάνειας διασφαλίζουν την υψηλή ικανότητα γενίκευσης του μοντέλου, επιτρέποντας τη βέλτιστη ανάλυση των δεδομένων.

Από την εφαρμογή των δεικτών βλάστησης προέκυψαν 45 χάρτες για κάθε ένα από τα πέντε έτη της μελέτης, ενώ η μηχανική μάθηση παρήγαγε μια χρονοσειρά από πέντε κατηγοριοποιημένους χάρτες για τις περιοχές ενδιαφέροντος. Η μελέτη επικεντρώθηκε σε δύο κύρια θέματα: την οριοθέτηση των δασικών εκτάσεων από τις καλλιέργειες και την αξιολόγηση της βέλτιστης χρήσης των καλλιεργούμενων εκτάσεων, καθώς και τον υπολογισμό της πυκνότητας των καλλιεργειών και της διαθέσιμης βιομάζας (λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές υγρασίας).

Η προσέγγιση των φασματικών υπογραφών πραγματοποιήθηκε μέσω της σύγκρισης φασματικών προφίλ καλλιεργειών σε διάφορες τοποθεσίες. Η σύγκριση αυτή με τις βιβλιογραφικές αναφορές ανέδειξε τις διαφορές μεταξύ των καλλιεργειών, επιτρέποντας την κατηγοριοποίηση κάθε εικόνας και την καλύτερη οργάνωση της ανάλυσης. Ο υπολογισμός των εκτάσεων καλλιεργειών, όπως το καλαμπόκι, το σιτάρι, το κριθάρι και το βαμβάκι, σε χρονική ακολουθία αναμένεται να οδηγήσει σε πιο ασφαλείς προβλέψεις και εκτιμήσεις για τη διαθέσιμη βιομάζα στην περιοχή μελέτης. Αυτή η ολοκληρωμένη μεθοδολογία, η οποία συνδυάζει τη χρήση δεικτών βλάστησης και την επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τη μηχανική μάθηση, συμβάλλει στην κατανόηση των μεταβολών στη βλάστηση και στις περιβαλλοντικές συνθήκες, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τη διαχείριση του περιβάλλοντος και την αγροτική παραγωγή.

## **7.4 Εφαρμογή τεχνικής σύντηξης δεδομένων από δορυφόρο Sentinel 2A**

Με βάση τα δεδομένα που παρασχέθηκαν από τον δορυφόρο Sentinel-2A, εφαρμόστηκε η τεχνική σύντηξης δεδομένων μέσω της μεθόδου Gram-Schmidt, επιτρέποντας τη δημιουργία μιας εικόνας υψηλότερης χωρικής ανάλυσης. Αυτό επιτεύχθηκε με την αναβάθμιση της φασματικής πληροφορίας από τις αρχικές αναλύσεις των 20 και 60 μέτρων, σε τελική ανάλυση 10 μέτρων. Ο κύριος στόχος της σύντηξης δεδομένων είναι η ενίσχυση της ανάλυσης και της ερμηνείας των εικόνων, καθώς και η αύξηση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων.

Στην περίπτωση των δορυφορικών καναλιών, η σύντηξη δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε φασματικό επίπεδο, αξιοποιώντας πληροφορίες από διαφορετικά φασματικά κανάλια όπως το ορατό, το υπέρυθρο και το υπεριώδες. Όλες οι εικόνες συγχωνεύτηκαν σε μία ενιαία περιοχή, σχηματίζοντας μία μοναδική εικόνα με χωρική ανάλυση 10 μέτρων, η οποία ενοποίησε τα δεδομένα από τέσσερις διαφορετικούς φασματικούς δείκτες. Η συγκεκριμένη διαδικασία επέτρεψε την ενσωμάτωση φασματικών χαρακτηριστικών από διάφορα σύνολα πολυφασματικών δεδομένων τηλεπισκόπησης, τα οποία λήφθηκαν σε διαφορετικές χωρικές, φασματικές και χρονικές αναλύσεις, προσφέροντας έτσι μια πιο εμπειριστατωμένη πληροφοριακή βάση.

Η επεξεργασία των φασματικών δεικτών και η σύντηξη των δεδομένων πραγματοποιήθηκαν μέσω του λογισμικού ENVI. Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν 9 τυπικοί φασματικοί δείκτες και έγινε διακριτή επιλογή του συνδυασμού μήκους κύματος με την υψηλότερη απόδοση, προκειμένου να εξαχθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η συσχέτιση με τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index – LAI) και την υπέργεια βιομάζα. Οι δείκτες αυτοί υπολογίστηκαν σε όλο το φασματικό εύρος των 442.7–2202.4 nm, αξιοποιώντας τόσο τα αρχικά φασματικά δεδομένα όσο και τα δεδομένα που προέκυψαν από διαφοροποίηση πρώτης τάξης των αρχικών δεδομένων, καταλήγοντας συνολικά σε 55 φασματικούς δείκτες. Αυτή η προσέγγιση συνέβαλε στην ακριβέστερη χαρτογράφηση και αξιολόγηση της φυτικής βιομάζας στην περιοχή μελέτης.

## **7.5 Κατηγορίες και χρήση δεδομένων με δείκτες βλάστησης υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας**

Μετά τη σύντηξη των δεδομένων, τα φασματικά κανάλια απέκτησαν χωρική ανάλυση 10 μέτρων. Αξιοποιώντας αυτά τα δεδομένα μέσω κατάλληλων μαθηματικών τύπων (band maths) και με βάση τις φασματικές ιδιότητες των καναλιών του Sentinel-2A, πραγματοποιήθηκε

υπολογισμός της διαθεσιμότητας και των διακυμάνσεων της βλάστησης στην περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκαν δείκτες όπως ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης στο Πράσινο (Green Normalized Vegetation Index - GNDVI), ο Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης (Soil-Adjusted Vegetation Index - SAVI), ο Δείκτης του Λόγου Βλάστησης (Ratio Vegetation Index - RVI), και ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Υγρασίας (Normalized Difference Moisture Index - NDMI).

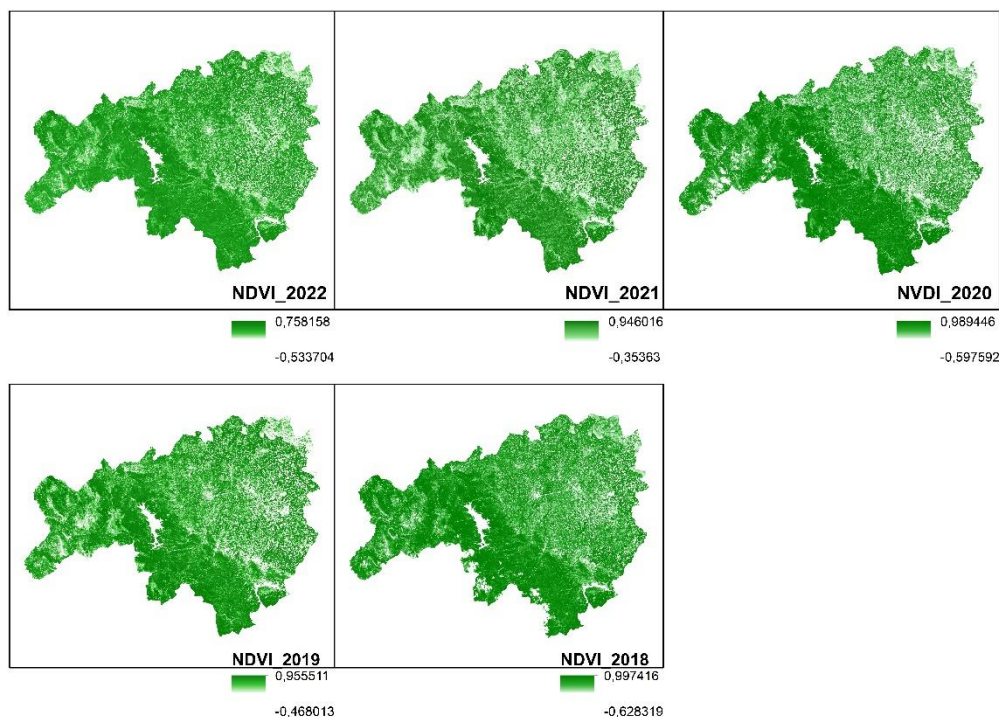
Η ανάλυση αυτών των δεικτών και η συσχέτιση των ιδιοτήτων τους με τις φασματικές αποκρίσεις επέτρεψε την ακριβή αποτίμηση της βιομάζας στην περιοχή μελέτης. Μέσω αυτών των δεικτών, καταγράφηκαν οι τάσεις και οι διακυμάνσεις της βλάστησης, συμβάλλοντας στην καλύτερη κατανόηση των περιβαλλοντικών παραμέτρων και της κατάστασης της βλάστησης στην περιοχή. Αυτή η προσέγγιση κατέστησε δυνατή την εκτίμηση της φυτικής βιομάζας, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για τη διαχείριση και την αξιοποίηση των αγρονομικών πόρων.

### **7.5.1. Κανονικοποιημένος δείκτης διαφοράς βλάστησης (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index)**

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) αποτελεί έναν από τους πιο διαδεδομένους δείκτες για την αξιολόγηση της φυτικής κάλυψης και της υγείας των φυτών σε μια περιοχή, βασισμένος σε δορυφορικές εικόνες. Ο NDVI υπολογίζεται από τις ανακλάσεις του φωτός σε δύο βασικά μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος: το κόκκινο (Red) και το κοντινό υπέρυθρο (NIR), και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$(Εξίσωση 7.5.1.1) \quad NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Αυτός ο δείκτης έχει σχεδιαστεί για να αποτυπώνει τη βλάστηση σε κάθε εικόνα ανά έτος, χρησιμοποιώντας εικονοστοιχεία (pixels) που αντανακλούν την πράσινη βλάστηση. Τα εικονοστοιχεία με τιμές μικρότερες από 0,28 στα 1600 nm, που αντιστοιχούν στο κανάλι 11 του Sentinel-2A, θεωρούνται ότι δεν έχουν βλάστηση. Ο NDVI χρησιμοποιείται ευρέως για την παρακολούθηση της υγείας των φυτών, την εκτίμηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών, την αξιολόγηση της κατάστασης του εδάφους, καθώς και την παρακολούθηση αλλαγών στη φυτική κάλυψη λόγω φυσικών φαινομένων ή ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.



Εικόνα 7.5.1.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη NDVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης

Ο δείκτης NDVI είναι ένα αξιόπιστο μέτρο για την εκτίμηση της υγιούς, πράσινης βλάστησης. Ο συνδυασμός της κανονικοποιημένης διαφοράς και η χρήση των περιοχών υψηλής απορρόφησης και ανάκλασης από τη χλωροφύλλη καθιστούν τον NDVI ιδιαίτερα αποτελεσματικό σε ποικίλες συνθήκες. Ωστόσο, σε περιπτώσεις πολύ πυκνής βλάστησης, ο δείκτης μπορεί να φτάσει σε σημείο κορεσμού, όταν ο Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI) είναι πολύ υψηλός. Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται από -1 έως +1. Υψηλότερες θετικές τιμές υποδηλώνουν μεγαλύτερη φυτική κάλυψη και καλύτερη φυσιολογική κατάσταση των φυτών, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν ή αρνητικές τιμές υποδηλώνουν την παρουσία εδάφους, νερού ή άλλων μη φυτικών επιφανειών. Ειδικότερα, φυτά με υγιή βλάστηση και υψηλή περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη εμφανίζουν θετικές τιμές NDVI, γεγονός που καθιστά τον δείκτη αυτόν απαραίτητο εργαλείο για την περιβαλλοντική διαχείριση και την γεωργική παρακολούθηση.

### 7.5.2 Δείκτης του λόγου βλάστησης (RVI – Ratio Vegetation Index)

Ο Δείκτης του Λόγου Βλάστησης (Ratio Vegetation Index - RVI) είναι ένας σημαντικός δείκτης που χρησιμοποιείται στην ανάλυση δορυφορικών εικόνων για την αξιολόγηση της φυτικής κάλυψης και της υγείας των φυτών. Ο RVI βασίζεται στην αναλογία μεταξύ του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) και της ανάκλασης του φωτός στο κόκκινο φάσμα, χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό άλλων δεικτών βλάστησης από την εξίσωση:

(Εξίσωση 7.5.2.1 )

$$RVI = \frac{NIR}{RED}$$

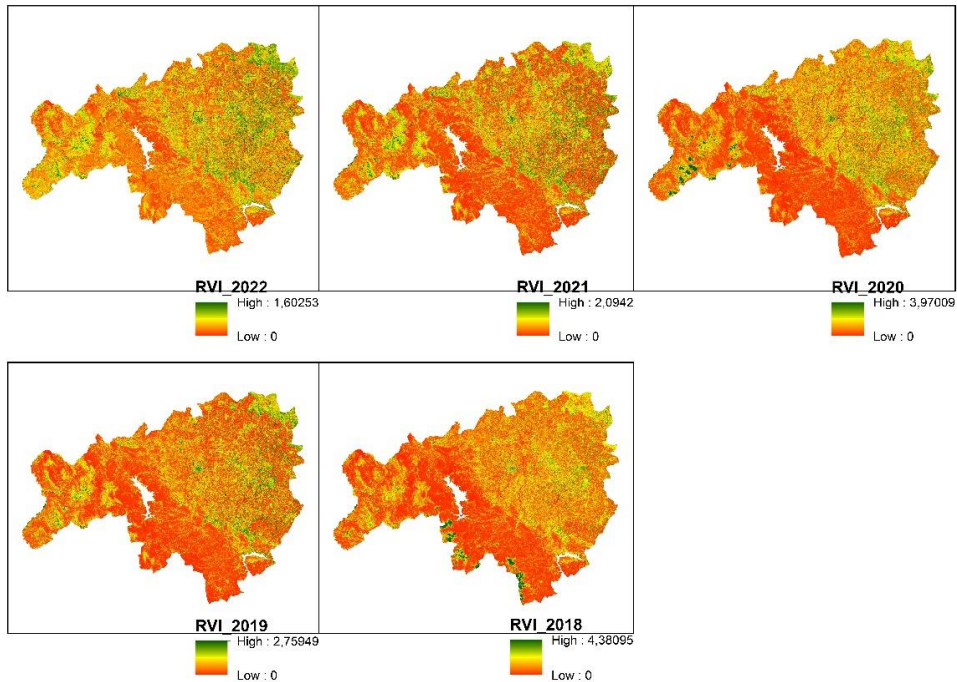
Όπου:

- Red είναι η ανακλαστικότητα στο κόκκινο φάσμα
- NIR είναι η ανακλαστικότητα στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα

Η θεμελιώδης αρχή του RVI είναι ότι η υγεία των φυτών επηρεάζει την ποσότητα του φωτός που απορροφούν και αντανακλούν σε διαφορετικά φασματικά μήκη κύματος. Συγκεκριμένα, τα υγιή φυτά έχουν την τάση να απορροφούν περισσότερο φως στο κόκκινο φάσμα και να αντανακλούν περισσότερο στο κοντινό υπέρυθρο, ενώ τα ασθενή ή καταπονημένα φυτά μπορεί να παρουσιάζουν διαφορετικά πρότυπα ανάκλασης.

Ο RVI χρησιμοποιείται εκτενώς σε διάφορες μελέτες που αφορούν την παρακολούθηση της φυτικής κάλυψης, όπως η επιτήρηση αγροτικών εκτάσεων, η αξιολόγηση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών και η παρακολούθηση της υγείας των δασών. Οι τιμές που παράγει ο RVI μπορούν να προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και την υγεία της φυτικής βλάστησης σε μια συγκεκριμένη περιοχή, συμβάλλοντας έτσι στην κατανόηση των περιβαλλοντικών συνθηκών και στη λήψη αποφάσεων για τη διαχείριση των φυσικών πόρων





Εικόνα 7.5.2.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη RVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης

### 7.5.3 Δείκτης κανονικοποιημένης διαφορά βλάστησης (GNDVI – Green Normalized Difference Vegetation Index)

Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης στο Πράσινο (Green Normalized Difference Vegetation Index - GNDVI) προσφέρει μια ενισχυμένη προσέγγιση στη μέτρηση της χλωροφύλλης και της υγείας των φυτών, παρουσιάζοντας μια ευαισθησία πέντε φορές μεγαλύτερη στις συγκεντρώσεις της χλωροφύλλης α σε σύγκριση με άλλους δείκτες. Σε αντίθεση με τον παραδοσιακό Κανονικοποιημένο Δείκτη Διαφοράς Βλάστησης (NDVI), ο GNDVI επικεντρώνεται στο πράσινο φάσμα, δηλαδή από 540 έως 570 nm, αντί για το κόκκινο φάσμα. Αυτή η διαφοροποίηση καθιστά τον GNDVI πιο ευαίσθητο στην ανίχνευση της χλωροφύλλης και, κατά συνέπεια, στην αξιολόγηση του φυτικού στρες, και υπολογίζεται από την εξίσωση :

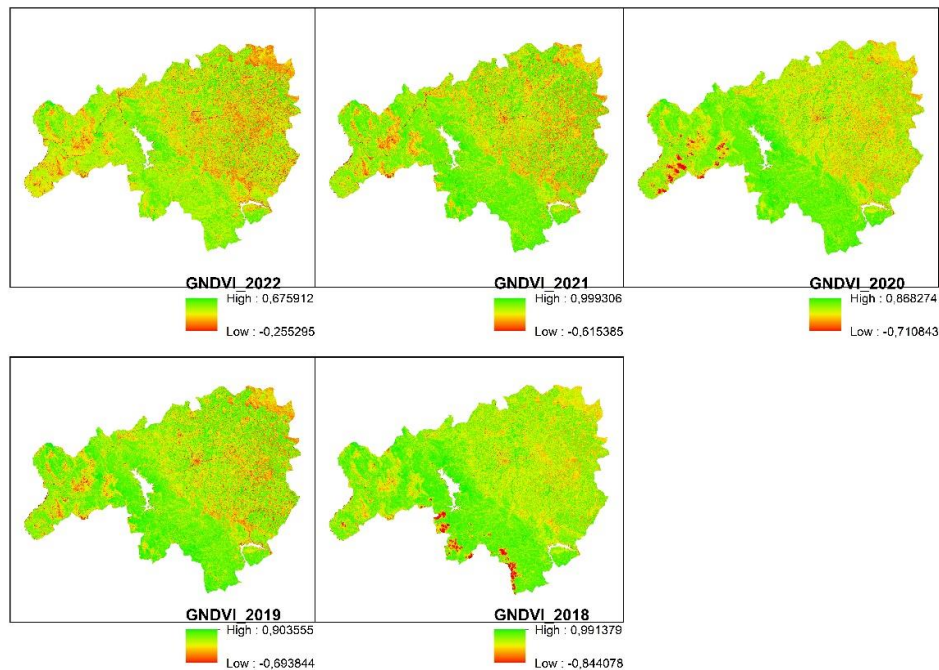
(Εξίσωση 7.5.3.1 )

Όπου:

$$GNDVI = \frac{(NIR - Green)}{(NIR + Green)}$$

- NIR το κοντινό υπέρυθρο φάσμα
- Green το πράσινο φάσμα

Ο GNDVI παρέχει συγκρίσιμα αποτελέσματα με τον NDVI, αλλά έχει την ικανότητα να αναγνωρίζει πιο λεπτές διαφορές σε περιοχές με χαμηλή φυτική πυκνότητα ή σε φυτά με λιγότερη χλωροφύλλη. Η ευαισθησία του στον εντοπισμό της χλωροφύλλης το καθιστά χρήσιμο εργαλείο σε μια ποικιλία εφαρμογών, όπως η παρακολούθηση της φυτικής κάλυψης σε γεωργικές περιοχές, η αξιολόγηση της υγείας των δασών, η εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών και των υδάτινων οικοσυστημάτων, καθώς και η επιτήρηση της αλλαγής χρήσης γης.



Εικόνα 7.5.3.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη GNDVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης

Ο GNDVI επιτρέπει τη λεπτομερή ανάλυση των δασικών και γεωργικών περιοχών, υπογραμμίζοντας περιοχές με μειωμένη χλωροφύλλη και προσδιορίζοντας στίγματα φυτικής αδυναμίας ή στρες. Σύμφωνα με έρευνες όπως αυτή των Gitelson και Merzlyak (1998), η εφαρμογή του GNDVI συνιστά μια αξιόπιστη μέθοδο για την παρακολούθηση και διαχείριση των φυσικών και γεωργικών οικοσυστημάτων.

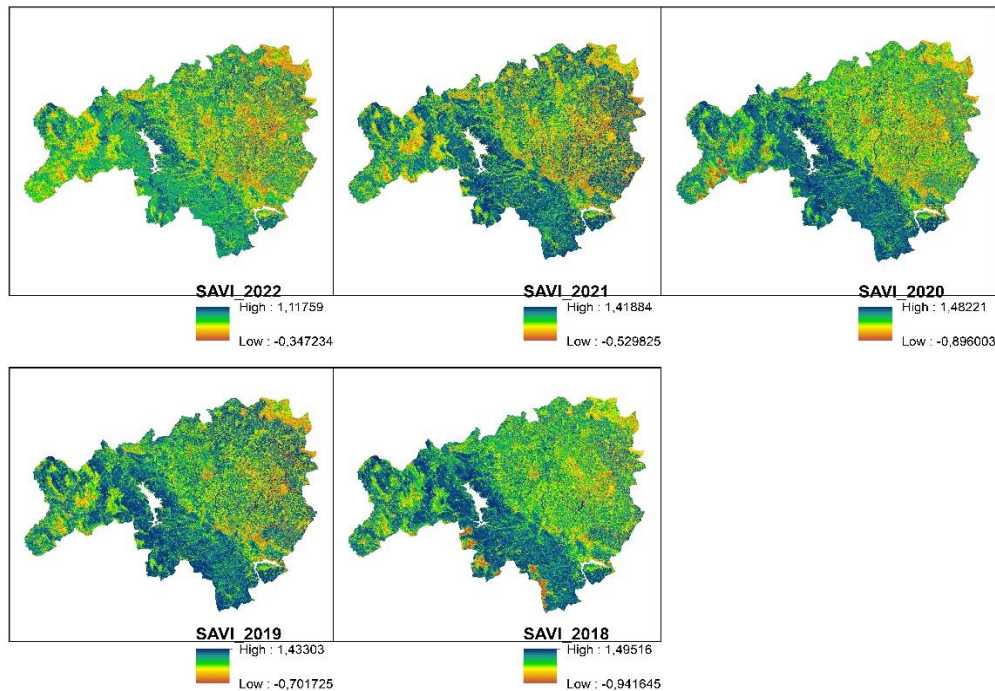
#### 7.5.4 Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης (SAVI - Soil – Adjusted Vegetation Index)

Ο Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης (SAVI) είναι μια εξελιγμένη έκδοση του NDVI που διορθώνει τις επιδράσεις της φωτεινότητας του εδάφους, ιδιαίτερα σε περιοχές με χαμηλή κάλυψη βλάστησης. Ο δείκτης αυτός προσαρμόζεται στις συνθήκες όπου το έδαφος είναι ορατό λόγω αραιής βλάστησης, περιορίζοντας τις ανεπιθύμητες επιδράσεις των

εικονοστοιχείων που προέρχονται από το έδαφος και υπολογίζεται από την εξίσωση :

(Εξίσωση 7.5.4.1 )

- NIR η ανακλαστικότητα  $SAVI = \frac{1.5 * (NIR - Red)}{(NIR + Red + 0.5)}$  στο κοντινό υπέρυθρο
- Red η ανακλαστικότητα στο κόκκινο



Εικόνα 7.5.4.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη SAVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης

Χρησιμοποιεί έναν παράγοντα προσαρμογής φόντου, γνωστό ως L, ο οποίος εξαρτάται από την πυκνότητα της βλάστησης και συνήθως απαιτεί προκαταρκτική γνώση της φυτικής κάλυψης. Η προτεινόμενη τιμή του L είναι 0,5, καθώς θεωρείται βέλτιστη για την αντιμετώπιση των μεταβολών στο υπόβαθρο του εδάφους πρώτης τάξης.

Ο SAVI είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός σε περιοχές με αραιή βλάστηση, όπου το έδαφος είναι εμφανές μέσα από τον θόλο των φυτών. Σε σύγκριση με άλλους δείκτες βλάστησης, ο SAVI προσφέρει μια πιο ακριβή εκτίμηση της φυτικής κάλυψης, καθώς λαμβάνει υπόψη τις διαφορές στη φωτεινότητα του εδάφους, που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα στο κόκκινο και το κοντινό υπέρυθρο φάσμα. Αυτό τον καθιστά ιδανικό για αξιολογήσεις της υγείας των φυτών και της φυτικής κάλυψης σε περιοχές με ποικίλη φωτεινότητα του εδάφους ή υψηλή πιθανότητα λάμψης.

### 7.5.5.Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Κόκκινης Ακμής (NDRE – Normalized Difference Red Edge)

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Κόκκινης Ακμής (NDRE) είναι ένας εξειδικευμένος δείκτης που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της φυτικής υγείας και της φυτικής κάλυψης, με ιδιαίτερη έμφαση στις γεωργικές εφαρμογές. Ο δείκτης αυτός αξιοποιεί τις ανακλάσεις του φωτός σε φάσματα κοντά στο κόκκινο φάσμα, γνωστά ως "red edge", τα οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στις αλλαγές της φυτικής υγείας και υπολογίζεται από την εξίσωση :

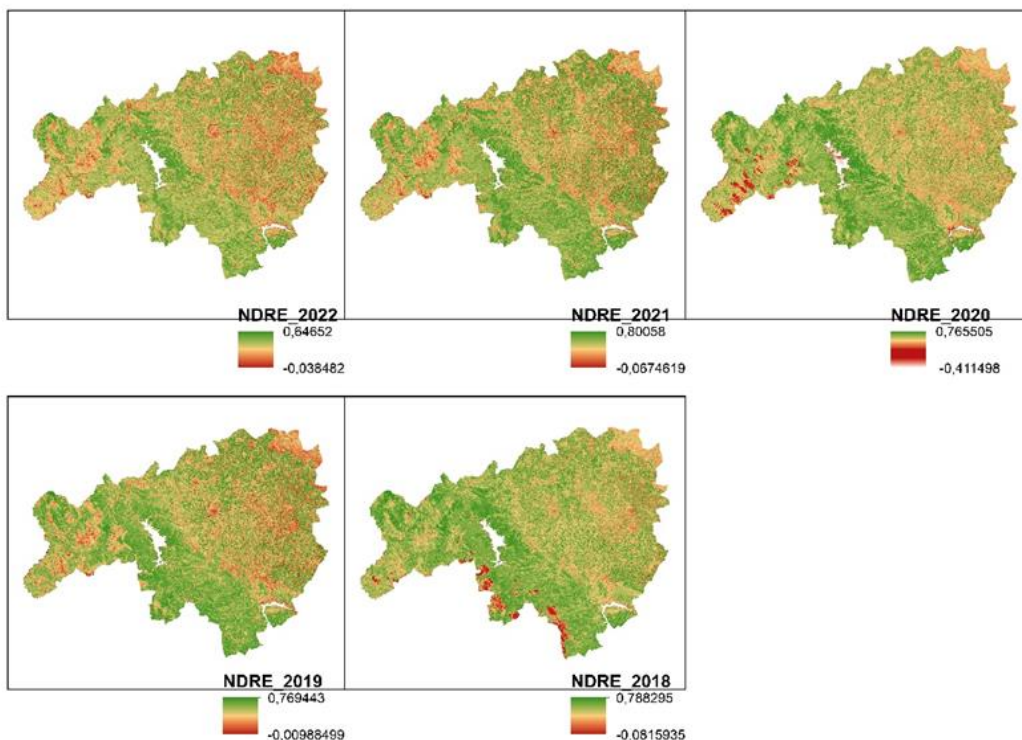
(Εξίσωση 7.5.5.1 )

$$NDRE = \frac{NIR - Red\ Edge}{NIR + Red\ Edge}$$

Όπου:

- NIR και Red Edge η ανακλαστικότητα στο φάσμα του κοντινού υπέρυθρου και της κόκκινης ακμής, αντίστοιχα

Σε αντίθεση με τους παραδοσιακούς δείκτες που χρησιμοποιούν το κόκκινο και το υπέρυθρο φάσμα, ο NDRE εστιάζει στα φάσματα της κοκκινοφύλλης, που ανταποκρίνονται πιο άμεσα σε μικρές αλλαγές της φυτικής κατάστασης. Αυτό επιτρέπει την ακριβέστερη μέτρηση της υγείας και της παραγωγικότητας των φυτών.



Εικόνα 7.5.5.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη NDRE μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης

Ο NDRE είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την παρακολούθηση των καλλιεργειών, την εκτίμηση των αποδόσεων και την παρακολούθηση της φυτικής κάλυψης σε γεωργικές περιοχές. Επιπλέον, ο δείκτης αυτός μπορεί να ανιχνεύσει ασθένειες ή άλλα προβλήματα που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα στα φάσματα red edge, καθιστώντας τον ένα απαραίτητο εργαλείο για την έγκαιρη διάγνωση και διαχείριση προβλημάτων στη γεωργία.

### 7.5.6. Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης (EVI – Enhanced Vegetation Index)

Ο Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης (Enhanced Vegetation Index - EVI) είναι ένας προηγμένος δείκτης φυτικής κάλυψης, που αναπτύχθηκε ως βελτίωση του NDVI με σκοπό να αντιμετωπίσει ορισμένους περιορισμούς του, όπως η ευαισθησία του στις ανακλάσεις από το έδαφος και σε άλλους παράγοντες, όπως οι ατμοσφαιρικές και φωτομετρικές επιρροές. Ειδικότερα, ο EVI είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε περιοχές με πυκνό θόλο και υψηλό Δείκτη Φυλλικής Επιφάνειας (LAI), όπου οι τιμές του NDVI μπορεί να επηρεάζονται και να απαιτούν βελτίωση και υπολογίζεται από την εξίσωση :

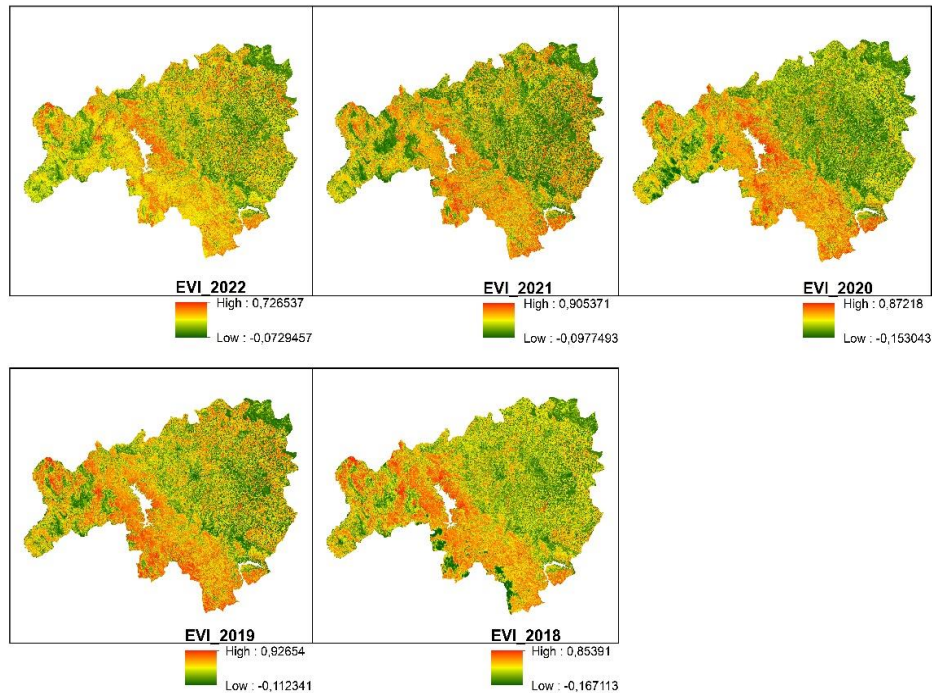
$$(Εξίσωση 7.5.6.1) \quad EVI = 2.5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1)}$$

Όπου:

- NIR η ανακλαστικότητα στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα
- Red η ανακλαστικότητα στο κόκκινο φάσμα
- Blue η ανακλαστικότητα στο μπλε φάσμα
- G είναι ένας παράγοντας κλίμακας, συνήθως 2.5
- C1 είναι ένας παράγοντας που ρυθμίζει τη συνεισφορά του κόκκινου φάσματος
- C2 είναι ένας παράγοντας που ρυθμίζει τη συνεισφορά του μπλε φάσματος
- L είναι ένας παράγοντας λάμψης, συνήθως 1, που αντισταθμίζει τις διαφορές φωτεινότητας

Ο EVI αξιοποιεί επιπρόσθετες πληροφορίες από το μπλε μήκος κύματος, οι οποίες βοηθούν στη διόρθωση των σημάτων που προέρχονται από το υπόβαθρο του εδάφους και στη μείωση των ατμοσφαιρικών επιρροών, όπως η σκέδαση. Το εύρος τιμών του EVI κυμαίνεται από -1 έως +1, όπου τιμές κοντά στο +1 υποδεικνύουν υγιή και πυκνή φυτική κάλυψη, ενώ τιμές προς το -1 υποδηλώνουν ελλιπή ή ανύπαρκτη βλάστηση. Συνήθως, η υγιής βλάστηση παρουσιάζει τιμές μεταξύ 0,20 και 0,80.





Εικόνα 7.5.6.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη EVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης

Ο EVI αναπτύχθηκε αρχικά για χρήση με δεδομένα MODIS, προσφέροντας μια βελτιωμένη εκτίμηση της φυτικής κάλυψης σε περιοχές με υψηλό LAI, όπου το NDVI μπορεί να εμφανίζει κορεσμό. Ο δείκτης αυτός έχει καθιερωθεί ως ένα εξαιρετικά χρήσιμο εργαλείο σε περιπτώσεις που απαιτείται ακριβέστερη ανάλυση της φυτικής κάλυψης, καθώς και για τη διόρθωση σημάτων φόντου και την αντιμετώπιση ατμοσφαιρικών διαταραχών.

### 7.5.7 Δείκτης δυναμικού εύρους βλάστησης (WDRVI – Wide Dynamic Range Vegetation Index)

Ο Δείκτης Φυτικής Κάλυψης με Ευρύ Δυναμικό Εύρος (Wide Dynamic Range Vegetation Index - WDRVI) είναι ένας εξελιγμένος δείκτης που, όπως και ο EVI, έχει σχεδιαστεί για να βελτιώσει ορισμένες αδυναμίες του NDVI, κυρίως σε περιοχές με μέτρια έως υψηλή πυκνότητα βλάστησης. Ο WDRVI εισάγει έναν συντελεστή στάθμισης ( $\alpha$ ), που κυμαίνεται από 0,1 έως 0,2, για να μειώσει τη διαφορά μεταξύ των συνεισφορών των εγγύς υπέρυθρων και κόκκινων σημάτων, βελτιώνοντας έτσι την ακρίβεια της μέτρησης. και υπολογίζεται από την εξίσωση :

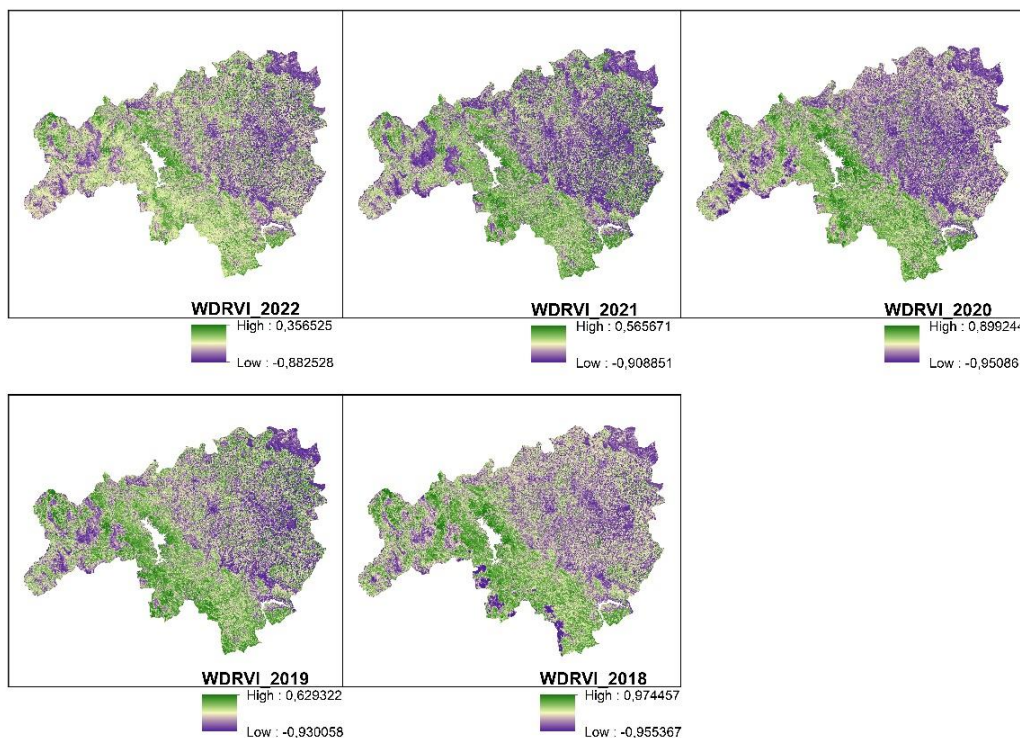
(Εξίσωση 7.5.7.1)

$$WDRVI = \frac{(a * NIR - Red)}{(a * NIR + Red)}$$

Όπου:

- NIR η ανακλαστικότητα στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα
- Red η ανακλαστικότητα στο κόκκινο φάσμα

Το λογισμικό ENVI, για παράδειγμα, εφαρμόζει συνήθως την τιμή 0,2, όπως προτείνεται από τους Henebry, Viña και Gitelson (2004). Ο WDRVI είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός όταν το NDVI υπερβαίνει το 0,6, δηλαδή σε εικόνες με υψηλή πυκνότητα βλάστησης. Σε αυτές τις περιπτώσεις, το NDVI τείνει να ισοπεδώνεται καθώς αυξάνεται το κλάσμα βλάστησης και ο Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας (LAI), κάτι που καθιστά δυσκολότερη τη διάκριση των διακυμάνσεων στη βλάστηση. Αντίθετα, ο WDRVI είναι πιο ευαίσθητος σε ένα ευρύτερο φάσμα κλασμάτων βλάστησης και αλλαγών στο LAI, προσφέροντας έτσι μια πιο ακριβή αξιολόγηση της φυτικής κάλυψης.



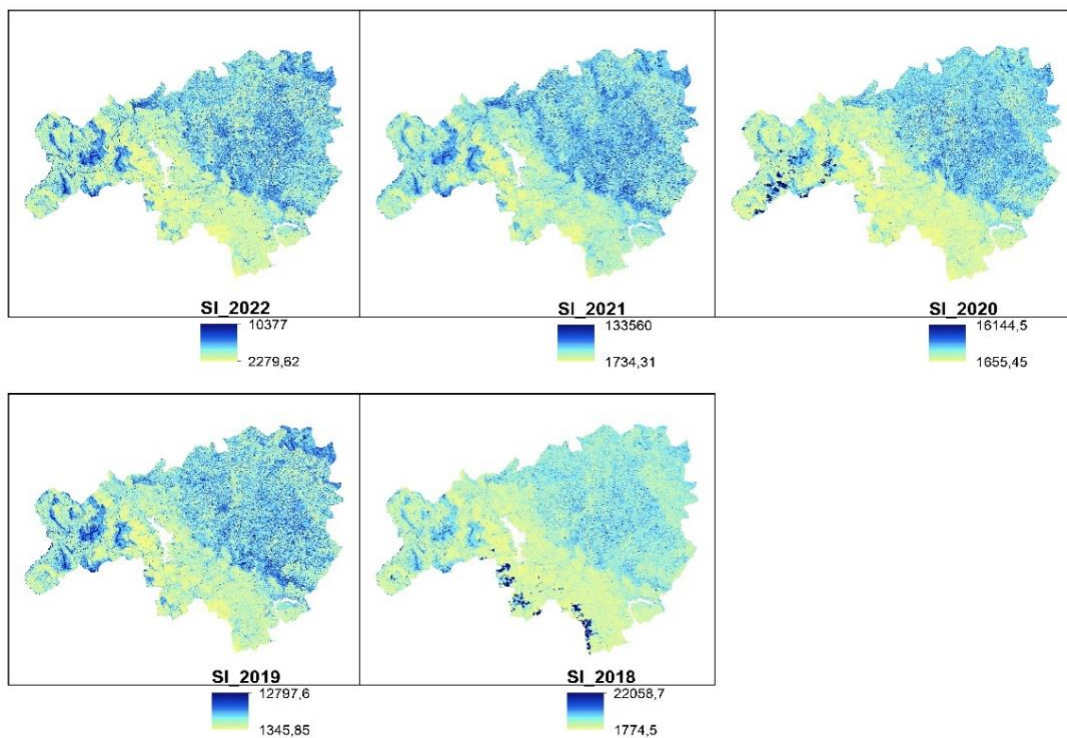
Εικόνα 7.5.7.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη WDRVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης

Οι τιμές του WDRVI, όπως και του NDVI, κυμαίνονται μεταξύ -1 και +1, με τις υψηλότερες τιμές να υποδεικνύουν πυκνή και υγιή βλάστηση. Ο δείκτης αυτός αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση της φυτικής υγείας, ειδικά σε συνθήκες όπου το NDVI εμφανίζει κορεσμό.

### 7.5.8 Δείκτης Αλατότητας (SI –Salinity index)

Ο Δείκτης Αλατότητας (Salinity Index - SI) είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την αξιολόγηση της αλατότητας του εδάφους σε γεωργικές εκτάσεις, παράγοντας που επηρεάζει άμεσα την αγροτική παραγωγή. Ο SI παρέχει κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την περιεκτικότητα σε άλατα του εδάφους και των υδάτων, διευκολύνοντας την καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων και τη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για τις καλλιέργειες υπολογίζεται από την εξίσωση :

(Εξίσωση 7.5.8.1 ) 
$$SI = \frac{R \cdot G}{B}$$



Εικόνα 7.5.8.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη SI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης

Ο δείκτης SI υπολογίζεται συνήθως με βάση τις ανακλάσεις του εδάφους σε διάφορα φάσματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, κυρίως στο υπέρυθρο και το κοντινό υπέρυθρο φάσμα. Η εφαρμογή του SI σε γεωργικές εκτάσεις επιτρέπει την προσαρμογή των καλλιεργητικών πρακτικών και την επιλογή κατάλληλων φυτών σε περιοχές με υψηλά επίπεδα αλατότητας. Επίσης, συμβάλλει στην εκτίμηση των αναγκών για άρδευση και αποστράγγιση, καθώς και στην παρακολούθηση των μεταβολών στην αλατότητα του εδάφους και των υδάτων, ειδικά σε περιοχές επιρρεπείς σε αλατότητα λόγω φυσικών ή ανθρωπογενών παραγόντων.



Οι τιμές του SI παρέχουν ενδείξεις σχετικά με την αλατότητα μιας περιοχής. Υψηλές τιμές SI υποδηλώνουν υψηλή συγκέντρωση αλάτων, που μπορεί να καταστήσει το έδαφος ακατάλληλο για πολλές καλλιέργειες λόγω της τοξικότητας των αλάτων, ενώ μπορεί επίσης να σημαίνει προβλήματα στην αποστράγγιση και τη διαθεσιμότητα θρεπτικών συστατικών για τα φυτά. Από την άλλη, χαμηλές τιμές SI υποδηλώνουν χαμηλή αλατότητα, γεγονός που είναι γενικά επιθυμητό για τις περισσότερες γεωργικές χρήσεις, καθώς υποδεικνύει κατάλληλο έδαφος για καλλιέργειες. Ωστόσο, υπερβολικά χαμηλή αλατότητα μπορεί να σημαίνει έλλειψη θρεπτικών συστατικών στο έδαφος, κάτι που μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη των φυτών.

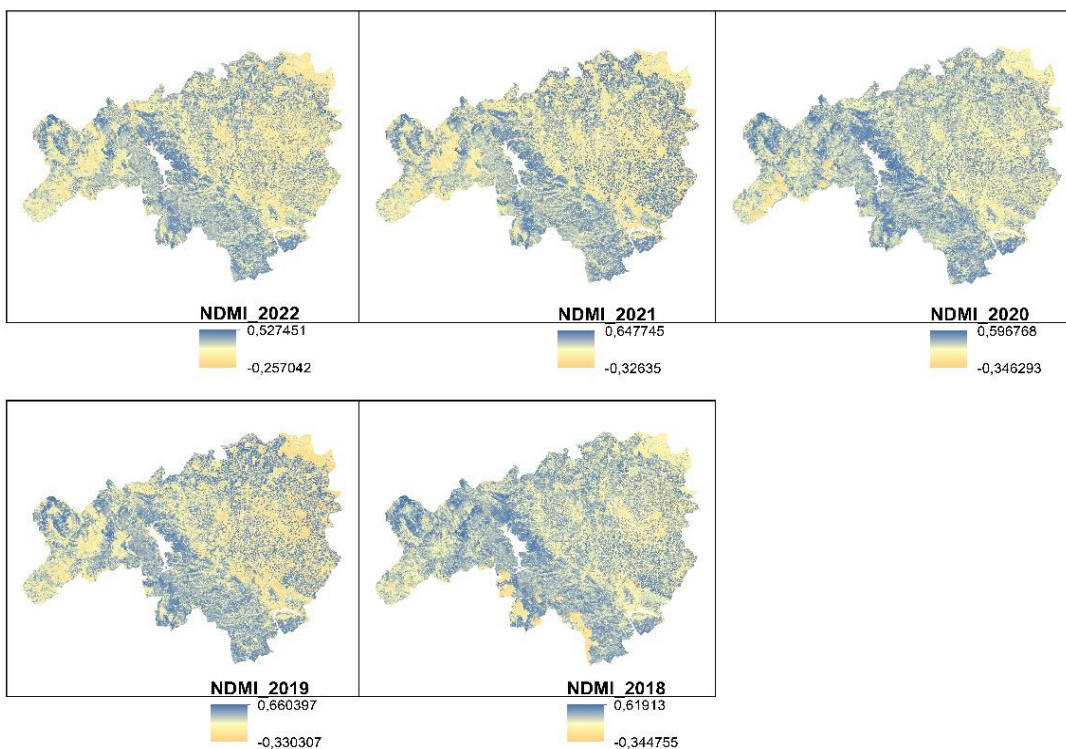
### **7.5.9 Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υγρασίας (NDMI –Normalized Difference Moisture Index)**

Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υγρασίας (Normalized Difference Moisture Index - NDMI) είναι ένας σημαντικός δείκτης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της υγρασίας ή της υδατικής περιεκτικότητας σε περιβάλλοντα όπως το έδαφος και η βλάστηση. Ο NDMI υπολογίζεται με βάση τη διαφορά ανάμεσα στην ανακλαστικότητα στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα (NIR) και στο βραχύ κύμα υπέρυθρου φάσματος (SWIR), και παρέχει μια αξιόπιστη εκτίμηση της υγρασίας στο έδαφος και στα φυτά. αι υπολογίζεται από την εξίσωση :

(Εξίσωση 7.5.9.1 )

$$\text{NDMI} = \frac{(\text{NIR} - \text{SWIR})}{(\text{NIR} + \text{SWIR})}$$

Ο δείκτης αυτός είναι ιδιαίτερα χρήσιμος σε τομείς όπως η γεωργία, η υδρολογία και η περιβαλλοντική παρακολούθηση. Στη γεωργία, ο NDMI χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους, την ανίχνευση υγρών επιφανειακών στρωμάτων και τη μελέτη της υδατικής κατάστασης της βλάστησης. Η εκτίμηση αυτών των παραμέτρων είναι κρίσιμη για τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, την άρδευση και την αξιολόγηση της υγείας των καλλιεργειών.



Εικόνα 7.5.9.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη NDMI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα πομόνωσης

Στη συγκεκριμένη μελέτη, η οποία επικεντρώνεται σε μια περίοδο όπου οι περισσότερες καλλιέργειες είχαν ήδη σπαρθεί, η παρακολούθηση και ανάλυση της περιοχής με βάση τα δεδομένα του NDMI αποδείχθηκε εξαιρετικά αποδοτική. Η συλλογή δεδομένων από μία μόνο ημέρα απέδωσε συνολικές εκτιμήσεις χωρίς να χρειαστεί η συνδυαστική ανάλυση πολλών ημερών, γεγονός που ενδέχεται να είχε περιπλέξει την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και να απαιτούσε περαιτέρω επανεξέταση. Αυτή η προσέγγιση βοήθησε στην καλύτερη κατανόηση της υγρασίας της περιοχής, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για τη διαχείριση των καλλιεργειών και των φυσικών πόρων.

## 7.6 Χωρικές διακυμάνσεις των δεικτών βλάστησης

Η χωρική ανάλυση δεικτών αποτελεί ένα απαραίτητο εργαλείο για την κατανόηση και αξιολόγηση των χωρικών μοτίβων και δυναμικών στις μελέτες μας. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο εξετάζονται οι χωρικές διακυμάνσεις των δεικτών που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, με έμφαση στην αλατότητα του εδάφους, την υγρασία του εδάφους και τη βλάστηση, χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα που έχουν επεξεργαστεί ώστε να επιτευχθεί κοινή χωρική διακριτική ικανότητα. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την ακριβή

αξιολόγηση των χωρικών συνθηκών της περιοχής μελέτης, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τη διαχείριση των φυσικών πόρων και τη λήψη αποφάσεων μακροπρόθεσμα, με συγκριτική ανάλυση ανά χρονικές περιόδους.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που προέκυψαν από την ανάλυση των δεικτών, ο NDVI κατέδειξε μια σταδιακή ποσοστιαία μείωση της βλάστησης από το 2018 έως το 2022. Παρά την παρατηρούμενη μείωση, η περιοχή των καλλιεργειών φαίνεται να παραμένει σχετικά ανεπηρέαστη σε βάθος πενταετίας. Ομοίως, ο δείκτης RVI παρουσίασε διαχρονική μείωση της υγείας της βλάστησης, κυρίως στις δασικές εκτάσεις με πυκνή βλάστηση και στις καλλιεργητικές ζώνες. Ο GNDVI επίσης αντανακλά την τάση μείωσης της υγείας της βλάστησης, ακολουθώντας το μοτίβο του NDVI, με σταδιακή αύξηση των ποσοστών του στην περιοχή μελέτης. Η σημασία του GNDVI έγκειται στην ικανότητά του να εκτιμά τη βιομάζα, καθιστώντας τον σημαντικό για τον υπολογισμό της.

Παράλληλα, η ανάλυση έδειξε ότι ο δείκτης SAVI, καθώς και ο NDRE, παρουσίασαν μείωση των τιμών τους, υποδεικνύοντας αύξηση της εδαφικής κάλυψης. Η ιστορική εξέλιξη του NDRE ειδικά, αποκάλυψε μια έντονη μείωση της υγείας των καλλιεργήσιμων εκτάσεων μεταξύ του 2021 και 2022. Σε αντίθεση με τους παραπάνω δείκτες, ο WDRVI εμφάνισε χαμηλές τιμές βλάστησης στις καλλιέργειες το 2020, ενώ ο EVI έδειξε ότι η βλάστηση στις περιοχές με εκμεταλλεύσιμη βιομάζα κυμαίνεται διαχρονικά μεταξύ 0.20 και 0.50, καθιστώντας την περιοχή κατάλληλη για περαιτέρω ανάλυση.

Τέλος, ο NDMI, ο οποίος υπολογίζει τα επίπεδα υγρασίας που επηρεάζουν τις μετρήσεις, απέδωσε μέτρια προς καλά επίπεδα υγρασίας, γεγονός που εξηγείται από την εποχή της συγκομιδής στην οποία πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις. Κατά τη διάρκεια της συγκομιδής, οι καλλιέργειες παρουσιάζουν μέτρια επίπεδα υγρασίας, καθώς οι καρποί παραμένουν στα χωράφια για περαιτέρω ξήρανση, πριν τη συλλογή των υπολειμμάτων βιομάζας. Αναμένεται ότι η κατηγοριοποίηση των εκτάσεων θα επιβεβαιώσει μια διαχρονική μείωση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων από το 2018 έως το 2023, ενώ τα επίπεδα που θα ληφθούν υπόψη για τον υπολογισμό της διαθέσιμης βιομάζας θα είναι ανάλογα με την περίοδο των μετρήσεων.

## **7.7 Αξιοποίηση του αλγορίθμου SVM για την κατηγοριοποίηση και χωρική ανάλυση φασματικών δεδομένων καλλιεργειών**

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης αποτελούν μια σχετικά νέα προσέγγιση στον τομέα της εκτίμησης και ανάκτησης εκτάσεων βιομάζας. Αν και η χρήση τους αξιοποιεί δεδομένα από

UAV, οι δορυφόροι Landsat παρέχουν εδώ και πολλά χρόνια δωρεάν δεδομένα τηλεπισκόπησης με διαφορετική χωρική και χρονική ανάλυση. Η διαθεσιμότητα αυτών των δεδομένων καθιστά εφικτή τη δημιουργία μιας διαχρονικής σειράς για την αξιολόγηση της απόδοσης των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης στην εκτίμηση της βιομάζας.

Ωστόσο, υπάρχουν κάποιες προκλήσεις που ενδέχεται να εξηγούν το κενό στην εφαρμογή αυτών των μεθόδων, όπως η πολυπλοκότητα των αλγορίθμων και η ανάγκη για μεγάλα σύνολα δεδομένων κατά την εκπαίδευσή τους. Στην παρούσα μελέτη, χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος SVM (Support Vector Machine), ο οποίος προσφέρει μια ισχυρή και ευέλικτη προσέγγιση για την κατηγοριοποίηση και ανάλυση δεδομένων. Ο αλγόριθμος SVM είναι γνωστός για την αποτελεσματικότητά του στην ταξινόμηση δεδομένων υψηλής διάστασης και βρίσκει εφαρμογή σε ποικιλία τομέων, από την αναγνώριση προτύπων και μηχανική μάθηση έως την χωρική ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων.

Στην παρούσα μελέτη, ο αλγόριθμος SVM εφαρμόζεται για την ανάλυση και κατηγοριοποίηση των φασματικών προφίλ καλλιεργειών χρησιμοποιώντας δεδομένα τηλεπισκόπησης. Η εφαρμογή αυτή στοχεύει στη βελτίωση της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας της εκτίμησης της βιομάζας, αξιοποιώντας τις δυνατότητες του SVM για την ανάλυση σύνθετων και υψηλής διάστασης δεδομένων. Η μέθοδος SVM (Support Vector Machine) λειτουργεί με την εύρεση του υπερεπίπεδου που διαχωρίζει βέλτιστα τα δεδομένα σε δύο κατηγορίες, μεγιστοποιώντας το περιθώριο μεταξύ τους. Όταν τα δεδομένα δεν είναι γραμμικά διαχωρίσιμα, η μέθοδος χρησιμοποιεί πυρήνες (kernels) που επιτρέπουν την προβολή των δεδομένων σε υψηλότερες διαστάσεις, όπου μπορούν να γίνουν γραμμικά διαχωρίσιμα. Αυτή η δυνατότητα καθιστά το SVM εξαιρετικά αποτελεσματικό για την ανάλυση σύνθετων και μη γραμμικών συνόλων δεδομένων.

Η χωρική ανάλυση δεικτών με τη χρήση της μεθόδου SVM προσφέρει έναν καινοτόμο και αποδοτικό τρόπο για την ακριβή κατηγοριοποίηση και ερμηνεία γεωγραφικών δεδομένων. Στην παρούσα μελέτη, εφαρμόσαμε την μέθοδο SVM για την κατηγοριοποίηση των φασματικών προφίλ καλλιεργειών στην περιοχή της Καρδίτσας, χρησιμοποιώντας δεδομένα τηλεπισκόπησης από τον δορυφόρο Sentinel-2A. Τα φασματικά δεδομένα επεξεργάστηκαν και συγχωνεύτηκαν για να δημιουργηθούν εικόνες υψηλής διακριτικής ικανότητας, οι οποίες στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι στον αλγόριθμο SVM. Αυτή η ανάλυση μας επέτρεψε να διαχωρίσουμε και να κατηγοριοποιήσουμε τις καλλιέργειες με υψηλή ακρίβεια, παρέχοντας παράλληλα πληροφορίες για τη χωρική διασπορά και την υγεία των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης. Η εφαρμογή του SVM απέδειξε την αποτελεσματικότητά του στην αντιμετώπιση

πολύπλοκων χωρικών προβλημάτων, προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες για τη γεωργική παραγωγή και τη διαχείριση φυσικών πόρων. Με την ακριβή ανάλυση και κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών, η μέθοδος SVM συνεισφέρει σημαντικά στην κατανόηση των γεωργικών συνθηκών και στην αποτελεσματική λήψη αποφάσεων.

## 7.8 Μεθοδολογία Οριοθέτησης Περιοχής Μελέτης για τη Διαθεσιμότητα Βιομάζας

Η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης για τη διαθεσιμότητα βιομάζας ενδέχεται να αντιμετωπίσει ποικίλους περιορισμούς που προκύπτουν από γεωγραφικούς, οικονομικούς και βιωσιμότητας παράγοντες. Στην παρούσα μελέτη, χαρτογραφούμε τις περιοχές ενδιαφέροντος, λαμβάνοντας υπόψη τους εξής παράγοντες:

### 1. Γεωγραφικοί Παράγοντες:

- **Βιοπαραγωγικοί Τύποι Κάλυψης Γης:** Αρχικά, αφαιρούμε από τον χάρτη τύπους κάλυψης γης που ανήκουν σε κλάσεις βιοπαραγωγής (Κλάσεις 1-4), όπως βαμβάκι (ημιξυλώδες), καλαμπόκι, κριθάρι και σιτάρι. Αυτές οι περιοχές είναι σημαντικές για την παραγωγή βιομάζας και πρέπει να συμπεριλαμβάνονται στη μελέτη.
- **Ξυλώδης Βιομάζα και Μη Βλάστηση:** Αφαιρούνται επίσης περιοχές που σχετίζονται με ξυλώδη βιομάζα ή μη βλάστηση, όπως ντομάτες και δασικές εκτάσεις (κλάσεις 6 και 8). Αυτές οι περιοχές δεν είναι κατάλληλες για την ανάλυση της βιομάζας λόγω της φύσης της κάλυψης γης.
- **Μη Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις:** Αποκλείονται περιοχές αστικού ή πολεοδομικού χαρακτήρα, καθώς και άλλοι τύποι κάλυψης γης που δεν προσφέρουν βιώσιμο αναπαραγωγικό πλεόνασμα πόρων βιομάζας (κλάση 7).

**2. Αφαίρεση Υδάτινων Εικονοστοιχείων:** Τα υδάτινα εικονοστοιχεία αφαιρούνται μέσω της μεθόδου της μάσκας,.

**3. Εξαίρεση Θερμοκηπίων:** Κατά την αξιολόγηση των καλλιεργειών βιοενέργειας, δεν λαμβάνονται υπόψη τοποθεσίες που δραστηριοποιούνται επί του παρόντος σε γεωργία κλειστού χώρου, όπως θερμοκήπια.

Κλάση	Κατηγορία κάλυψης
1	Βαμβάκι
2	Καλαμπόκι
3	Σιτηρά
4	Κριθάρι
5	Χωμάτινες/Εδαφικές εκτάσεις
6	Ντομάτα
7	Πολεοδομικές εκτάσεις
8	Δασικές εκτάσεις

Πίνακας 7.8.1: Κατηγοριοποίηση καλύψεων γης 8 κλάσεων.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται περιλαμβάνει τέσσερα βασικά βήματα:

1. **Δειγματοληψία μέσω Φασματικών Προφίλ:** Συλλέγονται δεδομένα φασματικών προφίλ καλλιεργειών από βιβλιογραφικές πηγές για την αρχική ανάλυση.
2. **Επικύρωση με Πανοραμικές Εικόνες:** Τα δεδομένα επικυρώνονται μέσω πανοραμικών φωτογραφιών που παρέχονται από υπηρεσίες όπως οι Χάρτες Google, για την επιβεβαίωση της ακρίβειας των φασματικών προφίλ.
3. **Αποτελέσματα Κατηγοριοποίησης Καλλιεργειών:** Οι καλλιέργειες κατηγοριοποιούνται με βάση τα φασματικά προφίλ και τις επικυρωμένες πληροφορίες, για τη δημιουργία μιας ακριβούς εικόνας της διαθεσιμότητας βιομάζας.
4. **Στατιστική Επικύρωση:** Η τελική κατηγοριοποίηση και ανάλυση επικυρώνονται με στατιστικές μεθόδους για να διασφαλιστεί η ακρίβεια και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

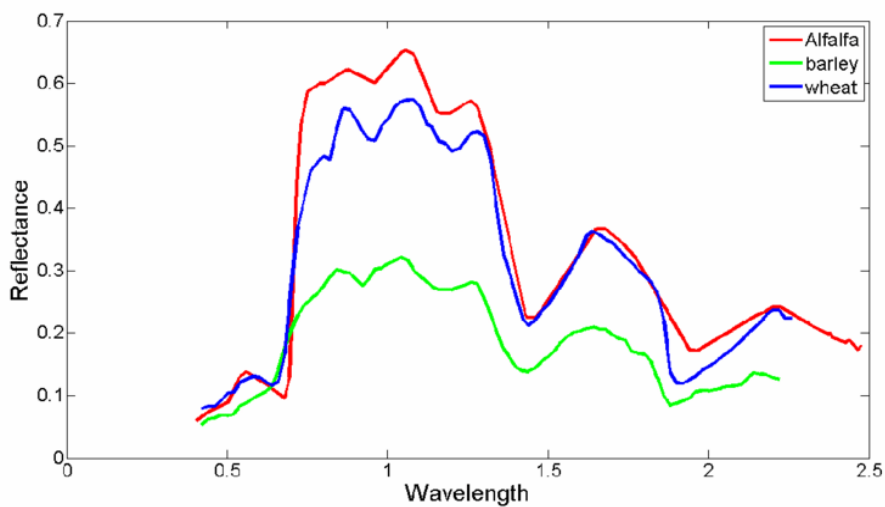
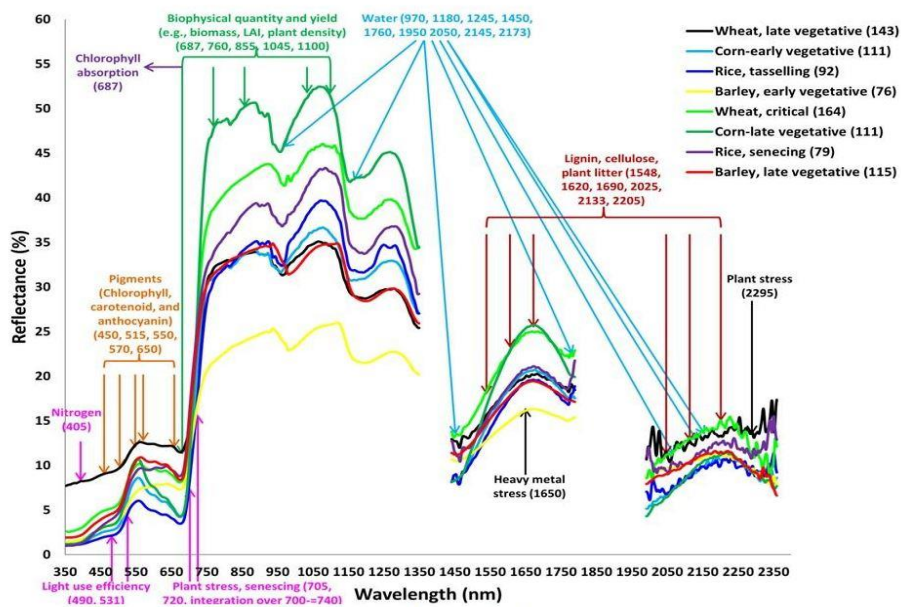
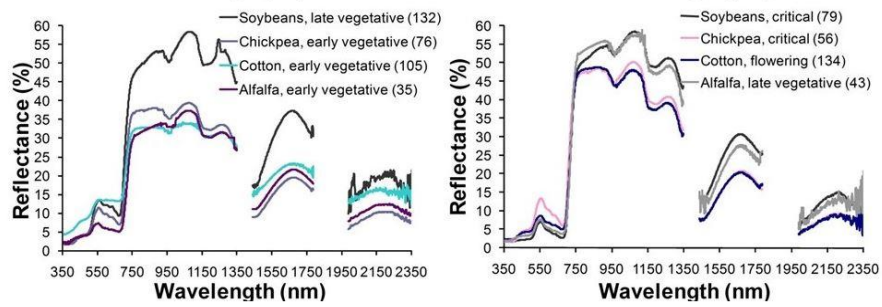
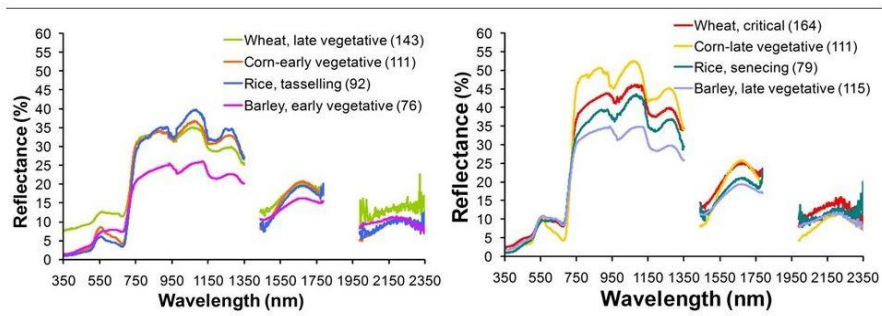
Αυτή η μεθοδολογία παρέχει ένα συστηματικό πλαίσιο για την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας βιομάζας και την κατανομή των πόρων, ενισχύοντας την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα της ανάλυσης.

## 7.9 Μεθοδολογία δειγματοληψίας αξιολόγησης καλλιεργειών

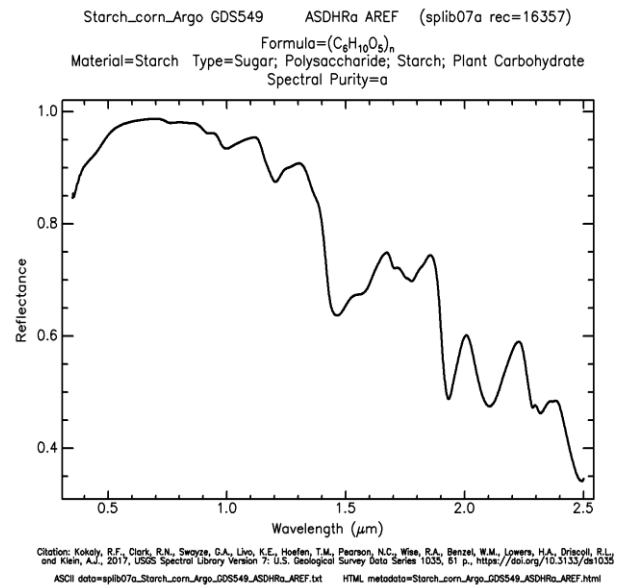
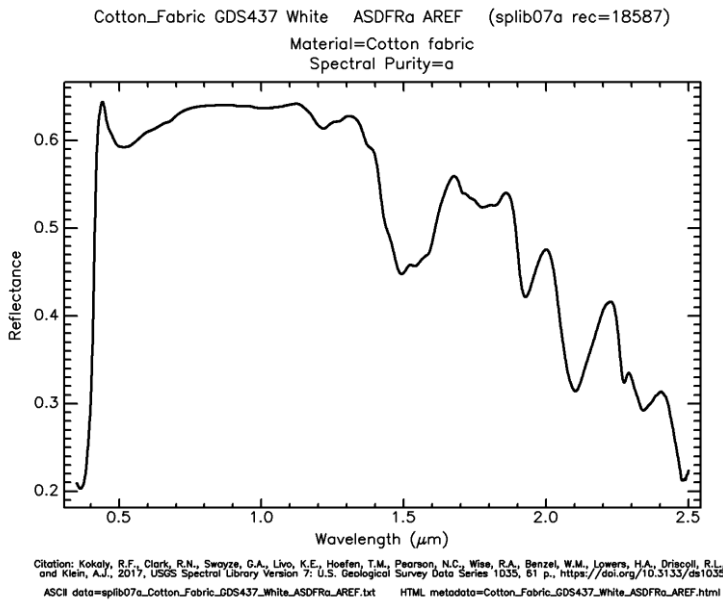
Η μεθοδολογία δειγματοληψίας που υιοθετήσαμε για την αξιολόγηση των καλλιεργειών περιλαμβάνει μια σειρά συστηματικών βημάτων, με στόχο τη διασφάλιση της ακρίβειας και

της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας που χρησιμοποιήθηκε:

- 1. Συλλογή Δεδομένων:** Ξεκινήσαμε με τη συλλογή πολυφασματικών δορυφορικών δεδομένων από τον δορυφόρο Sentinel-2A. Αυτά τα δεδομένα περιλαμβάνουν εικόνες υψηλής ανάλυσης, οι οποίες προσφέρουν πλούσια φασματικά προφίλ των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης. Η επιλογή του Sentinel-2A εξασφαλίζει την καταγραφή ακριβών και λεπτομερών πληροφοριών για τις καλλιέργειες.
- 2. Ανάλυση Φασματικών Προφίλ:** Η ανάλυση των φασματικών προφίλ πραγματοποιήθηκε με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού, το οποίο επιτρέπει την εξαγωγή και την αξιολόγηση των χαρακτηριστικών φασματικών υπογραφών για κάθε καλλιέργεια. Αυτές οι υπογραφές, οι οποίες καταγράφουν τις μοναδικές ανακλάσεις των καλλιεργειών σε διάφορα φάσματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, είναι κρίσιμες για την ακριβή αναγνώριση και κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών.
- 3. Σύγκριση με Βιβλιογραφικές Πηγές:** Μετά την εξαγωγή των φασματικών προφίλ, τα δεδομένα συγκρίθηκαν με καταγεγραμμένες φασματικές υπογραφές από βιβλιογραφικές πηγές. Αυτές οι βιβλιογραφικές πηγές παρέχουν αναγνωρισμένα πρότυπα και καταγραφές για διάφορα είδη καλλιεργειών, και χρησιμεύουν ως σημείο αναφοράς για την επιβεβαίωση της ακρίβειας των εξαγόμενων προφίλ.
- 4. Επιλογή Δειγμάτων :** Η διαδικασία επιλογής δειγμάτων από τις φασματικές εικόνες βασίζεται στην ανάλυση και σύγκριση των φασματικών προφίλ καλλιεργειών. Από αυτήν την ανάλυση, επιλέγονται αντιπροσωπευτικά δείγματα για κάθε τύπο καλλιέργειας, τα οποία αναγνωρίζονται και κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με τις χαρακτηριστικές τους φασματικές υπογραφές. Τα δείγματα αυτά αντιστοιχούν σε περιοχές καλλιέργειας που έχουν αναγνωριστεί μέσω των δεδομένων που παρέχουν οι δορυφορικές εικόνες. Η επιλογή αυτών των δειγμάτων ενισχύεται με την επαναλαμβανόμενη δειγματοληψία ανά έτος, κάτι που ενισχύει την αξιοπιστία της μεθοδολογίας μας. Η συνεχής επανάληψη των δειγμάτων κάθε χρόνο βοηθά στη διασφάλιση της συνέπειας και της ακρίβειας των αποτελεσμάτων μας, επιβεβαιώνοντας την αποδοχή και αποτελεσματικότητα της μεθόδου μας.







Εικόνες 7.8.1: Βιβλιογραφικές Φασματικές Υπογραφές των Καλλιεργειών Καλαμποκιού, Βαμβακιού, Κριθαριού και Σιτηρών

**5. Επικύρωση Δειγμάτων:** Η επικύρωση των επιλεγμένων δειγμάτων πραγματοποιείται στο πεδίο με τη χρήση πανοραμικών φωτογραφιών και οπτικής επιθεώρησης. Αυτή η διαδικασία είναι κρίσιμη για την εξασφάλιση της ακρίβειας των δεδομένων και την επιβεβαίωση της σωστής κατηγοριοποίησης των καλλιεργειών. Με τη σύγκριση των φασματικών δεδομένων που συλλέχθηκαν από δορυφορικές εικόνες με τις πανοραμικές φωτογραφίες, επιβεβαιώνουμε την ταύτιση των καλλιεργειών και των γεωγραφικών τους θέσεων. Η χρήση των πανοραμικών φωτογραφιών μας επιτρέπει επίσης να αναγνωρίσουμε και να διορθώσουμε τυχόν αποκλίσεις ή ανακρίβειες στα φασματικά δεδομένα. Εντοπίζουμε περιοχές που ενδέχεται να χρειάζονται επιπλέον δειγματοληψία και ενημερώνουμε τις υπάρχουσες περιοχές δειγματοληψίας για να βελτιώσουμε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Με αυτή τη διαδικασία, διασφαλίζουμε ότι τα φασματικά προφίλ που χρησιμοποιούμε είναι ακριβή και αξιόπιστα, παρέχοντας μια ισχυρή βάση για την ανάλυση και κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης.

Η παρούσα μεθοδολογία, με την συστηματική της προσέγγιση στη συλλογή, ανάλυση, σύγκριση και επικύρωση των φασματικών προφίλ, παρέχει μια ισχυρή βάση για την ακριβή αναγνώριση και κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης.

Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις συντεταγμένες X και Y που επιλέχθηκαν ως σημεία αγροτεμαχίων για την δημιουργία πολυγώνων δειγματοληψίας ώστε να πραγματοποιηθεί η κατηγοριοποίηση, έπειτα από την επικύρωση της ταυτότητας των καλλιεργειών.

Κλάση	Κατηγορία κάλυψης		2018				2019				2020				2021				2022			
			X	Y			X	Y			X	Y			X	Y			X	Y		
1	Βαμβακιές	X	7865	7383	7883	7434	7659	7383	7799	8893	7383	7799	7865	8893	7659	7383	7425	8893	7425	8893	7883	7865
		Y	3276	3583	3356	4459	3497	3583	3520	4824	3583	3520	3276	4824	3497	3583	4444	4824	4444	4824	3356	3276
2	Καλαμποκιές	X	8717	8840	8820	8560	8785	8770	8560	8723	8717	8785	8560	8580	8717	8840	8405	8723	8751	8792	8405	8723
		Y	4480	4350	3570	4680	4430	4370	4680	4666	4480	4430	4680	4753	4480	4340	4044	4666	4410	4349	4044	4666
3	Σιτηρά	X		8392	8245			8392	8245	7980		8392	8245	7383	8587	8392	8392	7982	8587	8392	8392	7985
		Y		3885	3905			3885	3905	3600		3885	3905	3600	4363	3885	3822	3594	4363	3885	3822	3609
4	Κριθάρι	X		8391	8363	8518	8409	8391	8363	8518	8409	8402	8363	8518	8409	8391	8363	8360	8400	8402	8372	8363
		Y		4049	3865	3614	3615	4049	3865	3614	3615	3576	3865	3614	3615	3576	3865	3508	3596	3576	3864	3865
5	Χωμάτινες/Εδαφικές εκτ.	X	7810	7850	7850	7845	7810	7544	7878	7845	7810	7544	7878	7845	7815	7960	7878	7845	7810	7825	7896	7845
		Y	3291	3366	3100	2950	3291	3480	3033	2950	3291	3480	3033	2950	3303	3300	3050	2950	3291	3246	3071	2950
6	Ντοματιές	X		8840	8919	8810		8840	8865	8810	8830	8966	8865		8770	8729		8810	8740	8729	8865	8810
		Y		4778	4985	4765		4778	4777	4765	4785	5025	4777		4720	4707		4765	4684	4707	4777	4765
7	Πολεοδομικές εκτάσεις	X	7777	7768	7750		7777	7768	7750		7777	7768	7750		7777	7768	7750		7777	7768	7750	
		Y	2872	2880	2990		2872	2880	2990		2872	2880	2990		2872	2880	2990		2872	2880	2990	
8	Δασικές εκτάσεις	X	6140	5348	5900		6140	5348	5900		6140	5348	5900		6140	5348	5900		6140	5348	5900	
		Y	3887	4884	4711		3887	4884	4711		3887	4884	4711		3887	4884	4711		3887	4884	4711	

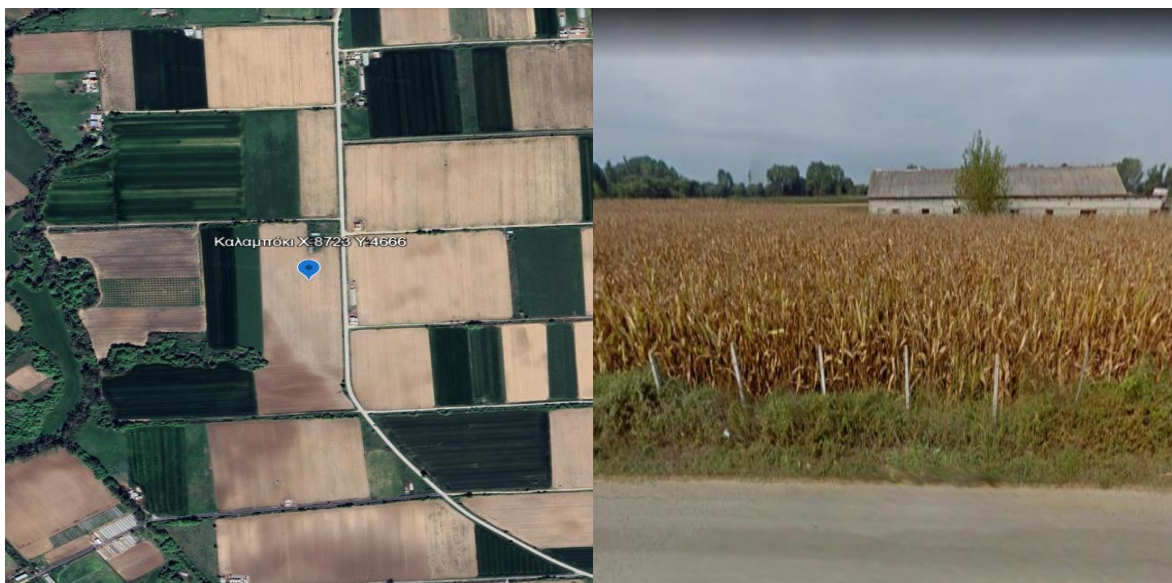
Πίνακας 7.9.1: Δειγματοληψίας σημείων των φασματικών εικόνων ανά κλάση και ανά έτος εξέτασης.

Βαμβάκι	X	Y	longitude	latitude
	7865	3276	39°27'04"N	21°54'50"E



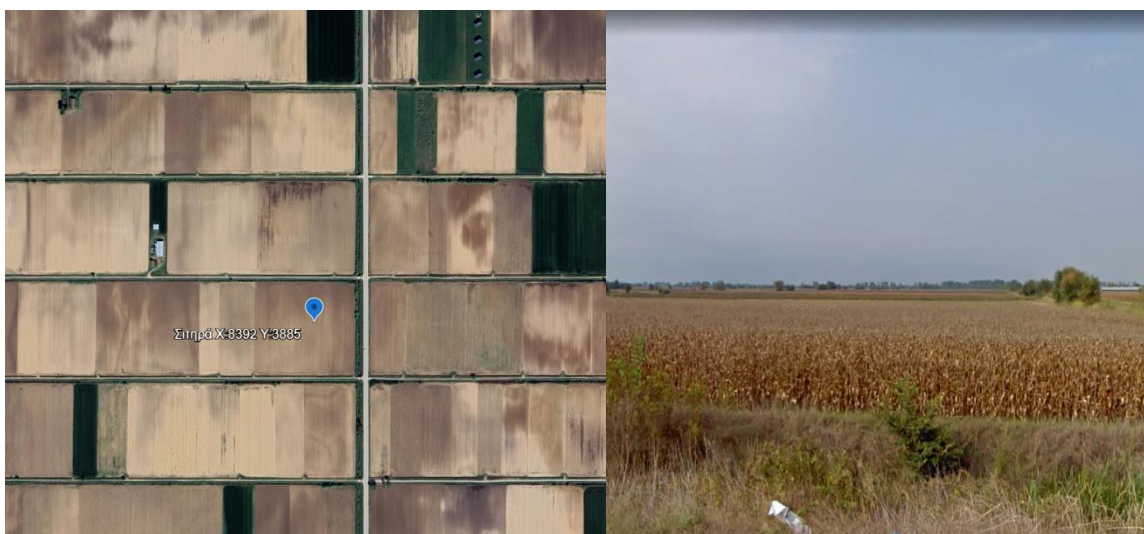
Εικόνες 7.9.2: Πανοραμική φωτογραφία της περιοχής μελέτης καλλιέργειών Βαμβακιού.

Καλαμπόκι	X	Y	longitude	latitude
	8723	4666	39°19'30"N	22°00'42"E



Εικόνες 7.9.3: Πανοραμική φωτογραφία της περιοχής μελέτης καλλιέργειών Καλαμποκιού

Σιτηρά	X	Y	longitude	latitude
	8392	3885	39°23'46"N	21°58'26"E



Εικόνες 7.9.4: Πανοραμική φωτογραφία της περιοχής μελέτης καλλιέργειών Σιτηρών.

Κριθάρι	X	Y	longitude	latitude
	8405	4044	39°22'53"N	21°58'32"E





Εικόνες 7.9.5: Πανοραμική φωτογραφία της περιοχής μελέτης καλλιεργειών Κριθαριού.

Η κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό ENVI, το οποίο αξιοποιεί τις χωρικές πληροφορίες όπως αυτές καταγράφονται στον πίνακα συντεταγμένων των X και Y. Η μέθοδος αυτή μας επέτρεψε να εντοπίσουμε και να διαχωρίσουμε με σχετική ακρίβεια και αποτελεσματικότητα τις διαφορετικές καλλιέργειες στην περιοχή.

#### Διαδικασία Κατηγοριοποίησης

- 1. Ανάλυση Φασματικών Δεδομένων:** Χρησιμοποιώντας το ENVI, αναλύσαμε τα φασματικά δεδομένα για να δημιουργήσουμε προφίλ για τις κύριες καλλιέργειες της περιοχής μελέτης. Αυτή η ανάλυση επέτρεψε την ακριβή αναγνώριση και κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών με βάση τις μοναδικές φασματικές τους υπογραφές.
- 2. Δημιουργία Προφίλ Καλλιεργειών:** Τα φασματικά προφίλ αποτέλεσαν τη βάση για την κατηγοριοποίηση. Κάθε ομάδα κατηγοριοποίησης σχεδιάστηκε ώστε να παρέχει το βέλτιστο αποτέλεσμα με βάση την ακρίβεια και την οικονομία χρόνου. Η διαδικασία απαιτούσε συνεχή βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων λόγω των περιορισμών του λογισμικού στην επεξεργασία μεγάλων δεδομένων.
- 3. Διαχείριση Μεγάλου Όγκου Δεδομένων:** Επειδή το λογισμικό ENVI παρουσίασε περιορισμούς στην επεξεργασία μεγάλου όγκου δεδομένων, η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε τμήματα. Η διαδικασία περιλάμβανε τη διαχείριση των δεδομένων με τρόπο που ελαχιστοποιούσε τα σφάλματα και βελτιώνει την ποιότητα των αποτελεσμάτων.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης απεικονίζονται σε δείγματα επεξεργασίας που παρουσιάζουν

τη διανομή και κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης. Τα δείγματα αυτά περιλαμβάνουν:

- Χάρτες με κατηγοριοποιημένες περιοχές για τις κύριες καλλιέργειες.
- Εικόνες που απεικονίζουν τη διαφοροποίηση μεταξύ των διαφορετικών καλλιεργειών.
- Στατιστικά στοιχεία που δείχνουν την κατανομή των καλλιεργειών με βάση τις φασματικές τους υπογραφές.

Η κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών μέσω του ENVI παρέχει πολύτιμα δεδομένα για την αξιολόγηση και διαχείριση της γεωργικής παραγωγής στην περιοχή μελέτης.

Window:  Image  Scroll  Zoom  Off

	ROI Name	Color	Pixels	Polygons	Polylines	Points	Fill	Orien	Space
*	COTTON	Red	1,383	5/1,383	0/0	0	Solid	45	0.10
	CORN	Green	1,615	11/1,615	0/0	0	Solid	45	0.10
	WHEAT	Blue	1,246	9/1,246	0/0	0	Solid	45	0.10
	SOIL	Cyan	2,265	16/2,265	0/0	0	Solid	45	0.10
	TOMATO	Magenta	953	6/953	0/0	0	Solid	45	0.10
	URBAN-ROAD	Maroon	149	11/149	0/0	0	Solid	45	0.10
	FOREST	Sea Green	12,010	16/12,010	0/0	0	Solid	45	0.10
	BARLEY	Yellow	528	7/528	0/0	0	Solid	45	0.10
	NO DATA	Purple	1,350,515	3/1,350,515	0/0	0	Solid	45	0.10

Εικόνα 7.9.6: Λήψη εφαρμογής κατηγοριοποίησης και με βάση την δειγματοληψία ανά κλάση στο λογισμικό ENVI







Εικόνες 7.9.7: Λήψη απεικόνισης κατηγοριοποίησης και με βάση την δειγματοληψία ανά κλάση στο λογισμικό ENVI

## 7.10 Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης

Η καταγραφή και ανάλυση των δεδομένων από την αρχική δειγματοληψία μας παρέχει πολύτιμα στατιστικά αποτελέσματα σχετικά με τις καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης. Τα δεδομένα αυτά προσφέρουν μια πλήρη εικόνα της φασματικής συμπεριφοράς των καλλιεργειών και της χωρικής τους κατανομής, εμβαθύνοντας στην κατανόηση της τρέχουσας κατάστασης των καλλιεργειών.

Συγκεκριμένα, τα στατιστικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν τα εξής:

1. **Φασματική Ανάλυση:** Η ανάλυση των φασματικών προφίλ για κάθε δείγμα καλλιέργειας μας επέτρεψε να αναγνωρίσουμε και να καταγράψουμε τις διαφορές και ομοιότητες μεταξύ

των διάφορων τύπων καλλιεργειών. Αυτή η ανάλυση ενισχύει την ικανότητά μας να διακρίνουμε τις μοναδικές φασματικές υπογραφές κάθε καλλιέργειας, προσφέροντας μια βασική κατανόηση της συμπεριφοράς τους σε διαφορετικά φάσματα φωτός.

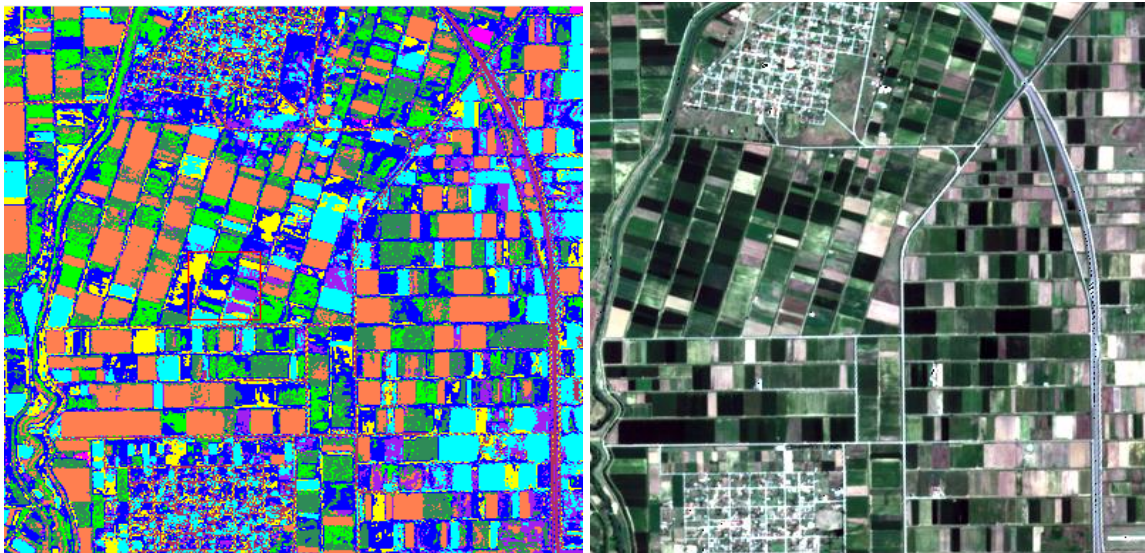
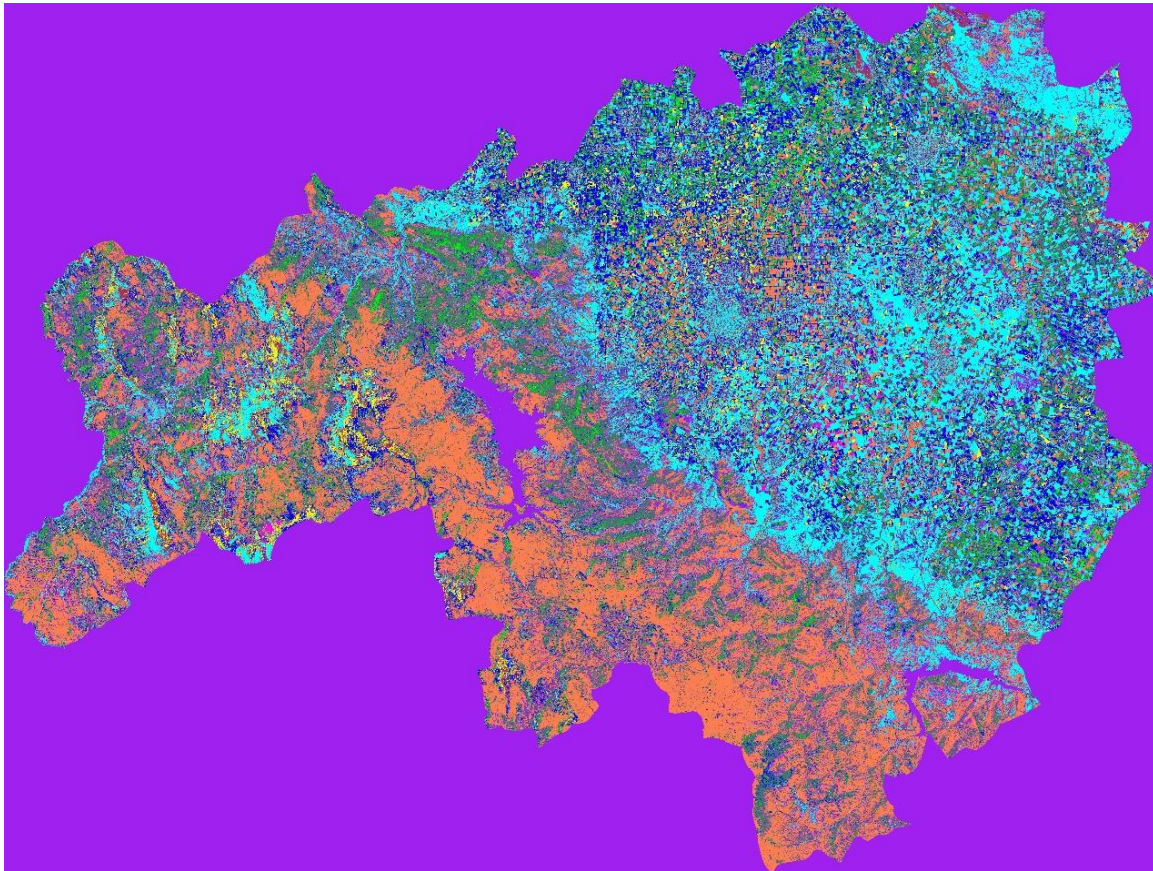
- 2. Χωρική Κατανομή:** Η κατανομή των καλλιεργειών αναλύθηκε με βάση τα δορυφορικά δεδομένα, τα οποία επικυρώθηκαν μέσω των πανοραμικών φωτογραφιών. Αυτή η διαδικασία μας επέτρεψε να προσδιορίσουμε την ακριβή γεωγραφική κατανομή των καλλιεργειών στην περιοχή, παρέχοντας πληροφορίες για τη χωρική τους διασπορά και την επικάλυψη των καλλιεργητικών εκτάσεων.
- 3. Ποσοστιαία Ανάλυση:** Αναλύθηκαν τα ποσοστά κάλυψης κάθε τύπου καλλιέργειας στην περιοχή μελέτης. Εξετάστηκαν οι σχετικές μεταβολές στις εκτάσεις κατά την περίοδο δειγματοληψίας, επισημαίνοντας τις μεταβολές στην κατανομή και την ανάπτυξη των καλλιεργειών με την πάροδο του χρόνου.
- 4. Συνολική Αξιολόγηση:** Συγκεντρώσαμε τα στατιστικά αποτελέσματα για μια συνολική αξιολόγηση της κατάστασης των καλλιεργειών. Αυτή η αξιολόγηση μας επιτρέπει να κατανοήσουμε τη δυναμική των καλλιεργειών, τις τάσεις ανάπτυξης και την υγεία τους στην περιοχή μελέτης, ενισχύοντας την ικανότητά μας να αναγνωρίζουμε κρίσιμους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των καλλιεργειών.

Αυτά τα αποτελέσματα συνθέτουν ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο δεδομένων, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση των στρατηγικών διαχείρισης των καλλιεργειών και την αξιολόγηση της παραγωγικής δυναμικής της περιοχής. Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα, προχωρήσαμε στην εξαγωγή ποσοστών για να διευκολύνουμε τη σύγκριση των αποτελεσμάτων με τα δεδομένα που παρέχουν οι επίσημοι φορείς του Κράτους, ενισχύοντας έτσι την αξιοπιστία της μεθόδου μας. Η συνολική περιοχή που εξετάστηκε ανέρχεται σε 4.666.132,40 στρέμματα. Στην ανάλυση των φασματικών εικόνων, αφαιρέσαμε τις εκτάσεις που εμφάνιζαν τιμή 0, σύμφωνα με τη μέθοδο μάσκας, η οποία αποκλείει περιοχές εκτός του νομού Καρδίτσας και τα υδάτινα στοιχεία.

Αυτή η διαδικασία μας επέτρεψε να εστιάσουμε αποκλειστικά στις καλλιεργούμενες εκτάσεις εντός της μελετώμενης περιοχής, εξασφαλίζοντας έτσι την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα των στατιστικών μας δεδομένων. Οι εξαιρετικά λεπτομερείς ποσοστιαίες αναλύσεις, σε συνδυασμό με την συγκριτική αξιολόγηση με τα δεδομένα των επίσημων φορέων, ενισχύουν τη βάση για την επικύρωση της μεθόδου μας και την τεκμηρίωση της αξιοπιστίας της.

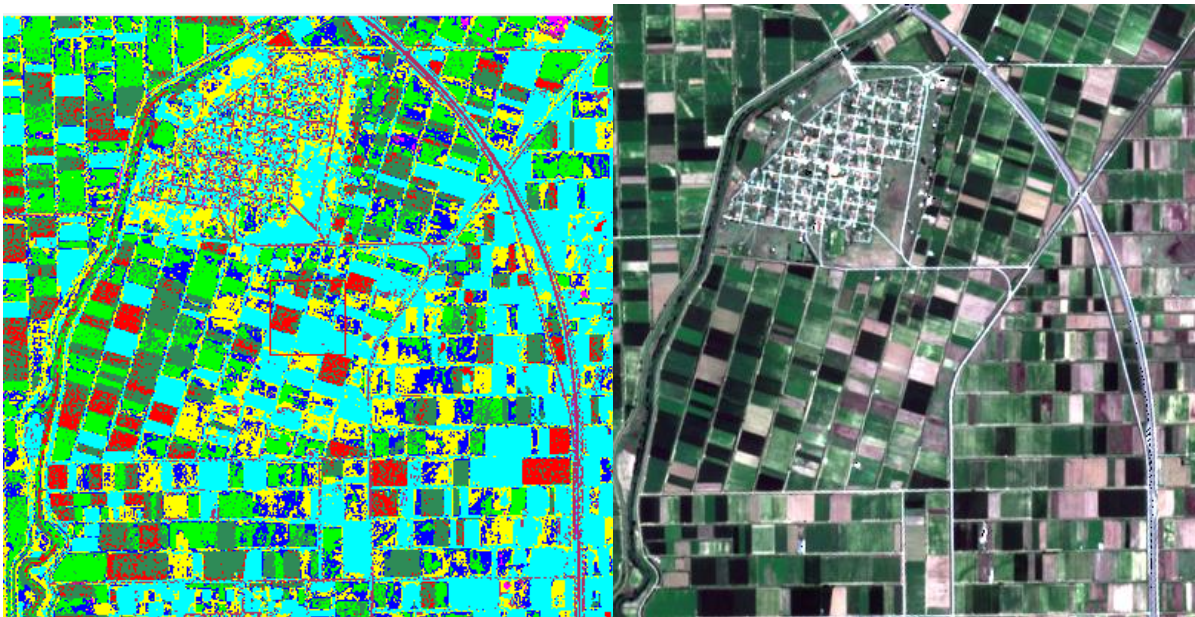
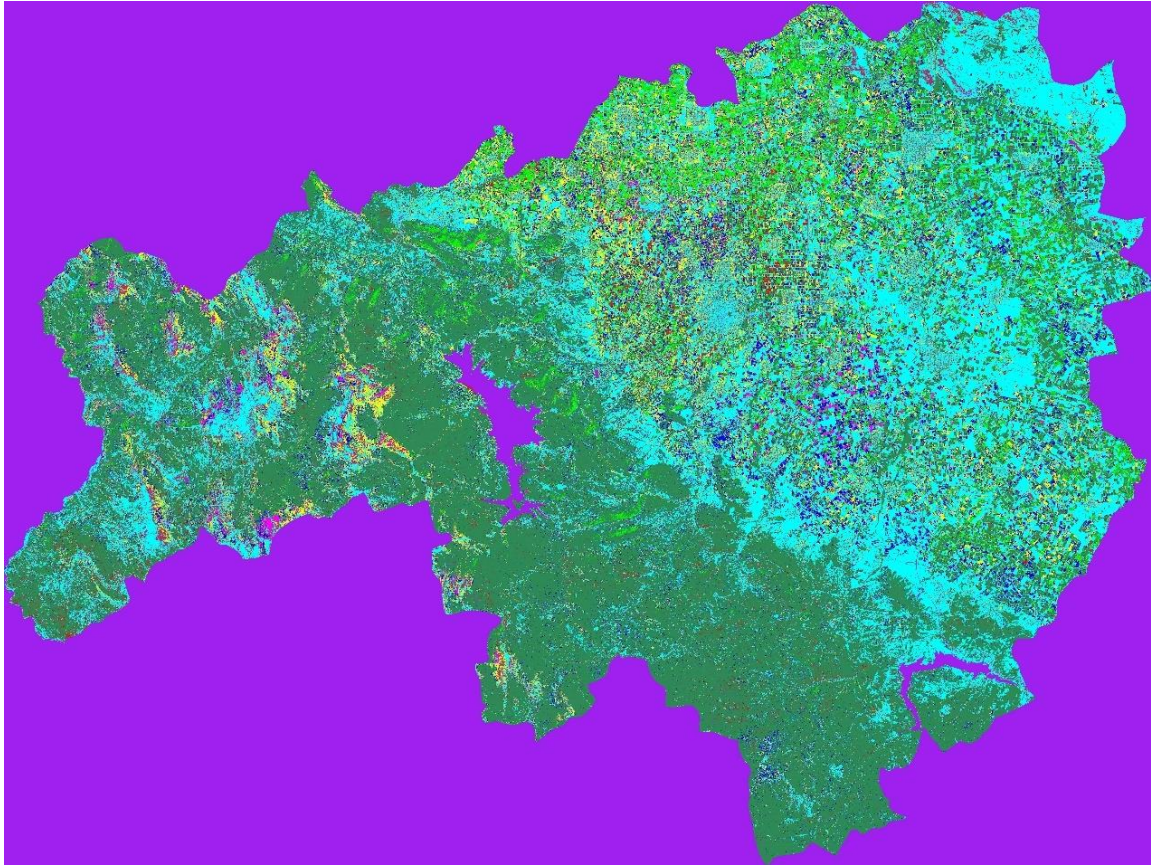


Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης με διαφορετικές χρωματικές αποχρώσεις όταν εφαρμόστηκε για περισσότερες από 2 φορές για βελτιστοποίηση αποτελεσμάτων.



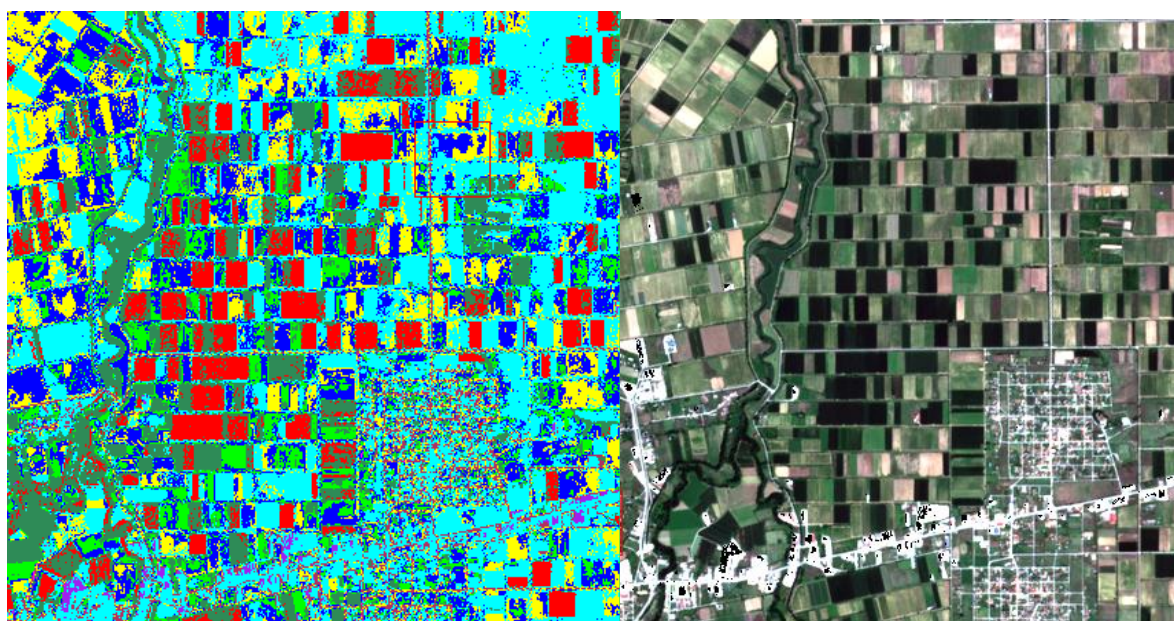
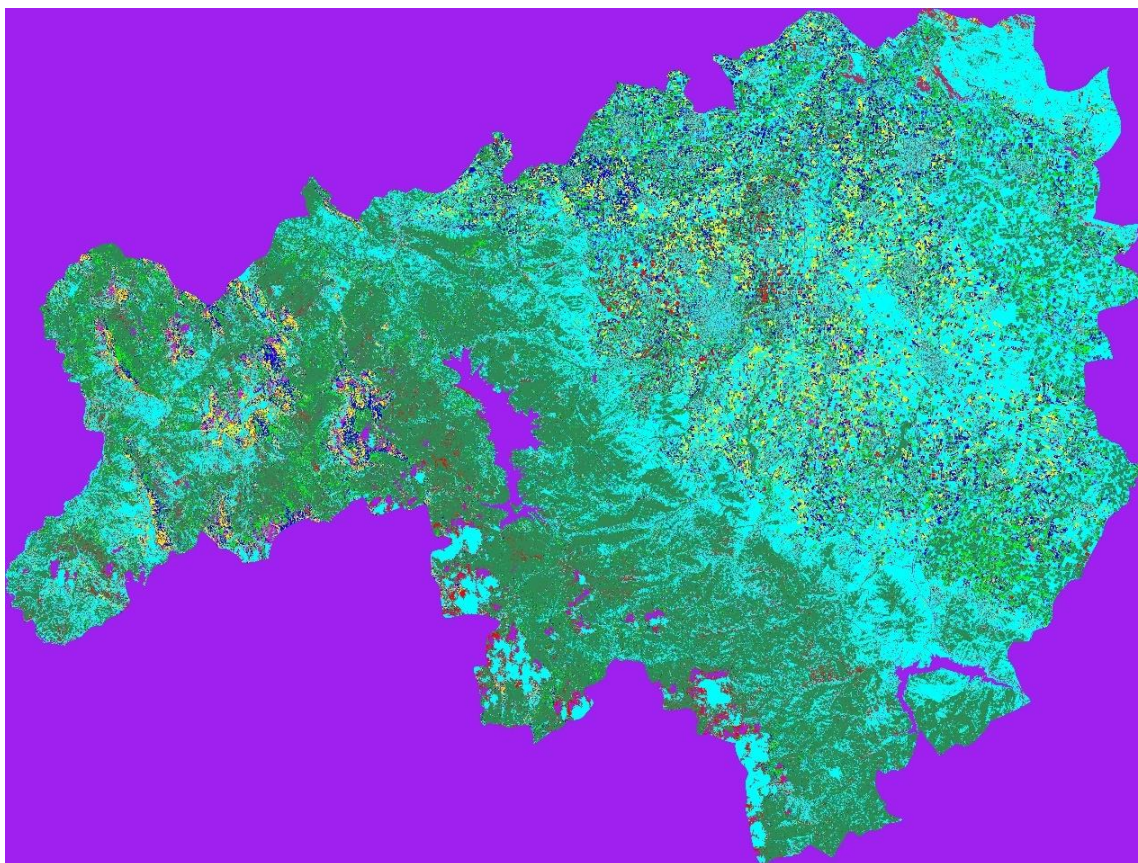
Εικόνες 7.10.1: Απεικόνιση κατηγοριοποίησης και με βάση την δειγματοληψία ανά κλάση στο λογισμικό ENVI έτος 2022.





Εικόνες 7.10.2: Απεικόνιση κατηγοριοποίησης και με βάση την δειγματοληψία ανά κλάση στο λογισμικό ENVI έτος 2019.





Εικόνες 7.10.3: Απεικόνιση κατηγοριοποίησης και με βάση την δειγματοληψία ανά κλάση στο λογισμικό ENVI έτος 2018.

Η αρχική επεξεργασία των εικόνων πραγματοποιήθηκε με σκοπό την μείωση του όγκου των δεδομένων και την απομόνωση της περιοχής μελέτης, προκειμένου να βελτιωθεί η διαδικασία ανάλυσης και να εξασφαλιστεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Σημαντικό βήμα σε αυτή την κατεύθυνση ήταν η εφαρμογή μάσκας, η οποία απέκλεισε περιττές πληροφορίες όπως υδάτινες

επιφάνειες και περιοχές εκτός του νομού Καρδίτσας.

Η εφαρμογή της μάσκας επέτρεψε την εστίαση αποκλειστικά στις σχετικές περιοχές της μελέτης, εξαλείφοντας τις περιοχές που δεν συνεισφέρουν στην ανάλυση. Η διαφορά στην έκταση που εξετάστηκε, σε σύγκριση με το συνολικό σύνολο των δεδομένων της φασματικής εικόνας, οφείλεται ακριβώς σε αυτή την επεξεργασία.

Έτος	Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων ανά χρονιά
2022	2.601.776,70
2021	2.605.419,50
2020	2.603.801,30
2019	2.614.720,50
2018	2.649.349,90
M.O	2.615.013,58

Πίνακας 7.10.1: Αποτελέσματα υπολογισμού συνολικής εξεταζόμενης έκτασης εκτός της επιφάνειας με μηδενική τιμή (μάσκα).

Τα ποσοστά των καλλιεργειών υπολογίστηκαν με βάση τη συνολική έκταση που εξετάστηκε και όχι το συνολικό αριθμό των δεδομένων που προέρχονται από τη φασματική εικόνα. Αυτή η προσέγγιση εξασφαλίζει ότι τα ποσοστά καλύπτουν μόνο τις σχετικές εκτάσεις και παρέχουν ακριβέστερη εικόνα της κατανομής των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης. Ακολουθούν οι πίνακες που παρουσιάζουν αναλυτικά τα στατιστικά αποτελέσματα της καταγραφής δεδομένων ανά χρονιά.

Τάξη	Αριθμός εικονοστοιγίων	Σύνολο	Ποσοστό %	Συγκεντρωτικό Ποσοστό %
	2022			
Βαμβάκι	1166685	1166685	4,4842%	4,484%
Καλαμπόκι	960745	2127430	3,6926%	8,177%
Σιτηρά	2659315	4786745	10,2212%	18,398%
Κριθάρι	1350481	6137226	5,1906%	23,589%
Χωμάτινες/Εδαφικές εκτάσεις	9329006	15466232	35,8563%	59,445%
Ντομάτα	102967	15569199	0,3958%	59,841%
Πολεοδομικές εκτάσεις - ROAD	534476	16103675	2,0543%	61,895%
Δασικές εκτάσεις	9914092	26017767	38,1051%	100,000%
<b>NO DATA/MASK</b>	<b>20643557</b>	<b>46661324</b>	<b>44,2413%</b>	<b>144,241%</b>
Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων		26017767	23,5886%	

	2021			
Καλαμπόκι	1261643	1261643	<b>4,8424%</b>	4,842%
Σιτηρά	2773050	4034693	<b>10,6434%</b>	15,486%
Χοιμάτινες/Εδαφικές εκτάσεις	8507200	12541893	<b>32,6519%</b>	48,138%
Ντοματίες	213309	12755202	<b>0,8187%</b>	48,956%
Πολεοδομικές εκτάσεις - ROAD	521020	13276222	<b>1,9998%</b>	50,956%
Δασικές εκτάσεις	9740667	23016889	<b>37,3862%</b>	88,342%
Βαμβάκι	2193465	25210354	<b>8,4189%</b>	96,761%
Κριθάρι	843841	26054195	<b>3,2388%</b>	100,000%
<b>NO DATA/MASK</b>	<b>20607129</b>	<b>46661324</b>	<b>44,1632%</b>	<b>144,163%</b>
Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων		26054195	27,1434%	
	2020			
Καλαμπόκι	2101256	2101256	<b>8,0700%</b>	8,0700%
Σιτηρά	2092450	4193706	<b>8,0361%</b>	16,1061%
Χοιμάτινες/Εδαφικές εκτάσεις	7500229	11693935	<b>28,8049%</b>	44,9110%
Ντομάτα	127179	11821114	<b>0,4884%</b>	45,3994%
Πολεοδομικές εκτάσεις - ROAD	505364	12326478	<b>1,9409%</b>	47,3403%
Δασικές εκτάσεις	9341313	21667791	<b>35,8757%</b>	83,2160%
Κριθάρι	560086	22227877	<b>2,1510%</b>	85,3670%
<b>NO DATA/MASK</b>	<b>20623311</b>	<b>42851188</b>	<b>44,1979%</b>	<b>129,565%</b>
Βαμβάκι	3810136	46661324	<b>14,6330%</b>	144,1979%
Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων		26038013	32,8901%	

	2019			
Καλαμπόκι	1596079	1696079	<b>6,1042%</b>	6,1042%
Σιτηρά	1339407	3035486	<b>5,1226%</b>	11,2268%
Χοιμάτινες/Εδαφικές εκτάσεις	7589143	10624629	<b>29,0247%</b>	40,2514%
Ντομάτα	192980	10817609	<b>0,7381%</b>	40,9895%
Πολεοδομικές εκτάσεις - ROAD	656388	11473997	<b>2,5104%</b>	43,4999%
Δασικές εκτάσεις	9236577	20710574	<b>35,3253%</b>	78,8252%
Βαμβάκι	3771574	24482148	<b>14,4244%</b>	93,2495%
Κριθάρι	1665057	26147205	<b>6,3680%</b>	99,6175%
<b>NO DATA/MASK</b>	<b>20614119</b>	<b>46761324</b>	<b>44,0837%</b>	<b>143,701%</b>
Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων		26147205	32,0192%	
	2018			
Βαμβάκι	3628975	3628975	<b>13,6976%</b>	13,6976%
Καλαμπόκι	2101763	5730738	<b>7,9331%</b>	21,6307%
Σιτηρά	1912334	7643072	<b>7,2181%</b>	28,8489%



Χωμάτινες/Εδαφικές εκτάσεις	7640040	15283112	<b>28,8374%</b>	57,6863%
Ντομάτα	117845	15400957	<b>0,4448%</b>	58,1311%
Πολεοδομικές εκτάσεις - ROAD	520059	15921016	<b>1,9630%</b>	60,0940%
Δασικές εκτάσεις	9130762	25051778	<b>34,4642%</b>	94,5582%
Κριθάρι	1441721	26493499	<b>5,4418%</b>	100,0000%
<b>NO DATA/MASK</b>	<b>20757825</b>	<b>47251324</b>	<b>43,9307%</b>	<b>143,931%</b>
Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων		26493499	34,2906%	

Πίνακας 7.10.2: Αποτελέσματα υπολογισμού συνολικής εξεταζόμενης έκτασης ανά κλάση κατηγοριοποίησης.

Συγκεντρωτικά, τα στατιστικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι εκτάσεις που εξετάζουμε για τη διαθέσιμη βιομάζα αντιστοιχούν περίπου στο 23% έως 34% της συνολικής έκτασης του νομού Καρδίτσας, με μέσο όρο γύρω στο 29%. Αυτή η ποσοστιαία κατανομή επηρεάζεται από την εποχική παραγωγικότητα των τεσσάρων καλλιεργειών που αναλύθηκαν. Η διαφορά στα ποσοστά οφείλεται στη μεταβολή της παραγωγικότητας κατά τη διάρκεια των διαφορετικών εποχών. Αυτή η διακύμανση θα επαληθευτεί μέσω συγκριτικής ανάλυσης με επίσημα στοιχεία από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων (ΥΠΑΑΤ) και τον Οργανισμό Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων (ΟΠΕΚΕΠΕ) σε επόμενα κεφάλαια της μελέτης.

Ακολουθεί ανάλυση των εκτάσεων που εξετάστηκαν ανά καλλιέργεια για την περίοδο 2018-2022, καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή των εκτάσεων κατά την εν λόγω περίοδο:

#### Καλλιέργεια ΚΡΙΘΑΡΙ

Έτος	Βαμβάκι	
	Στρέμματα	Ποσοστιαία μεταβολή
2018	362.897,50	
2019	377.157,40	3,78%
2020	381.013,60	1,01%
2021	219.346,50	-73,70%
2022	116.668,50	-88,01%

#### Καλλιέργεια ΣΙΤΗΡΑ

Έτος	Καλαμποκιές	
	Στρέμματα	Ποσοστιαία μεταβολή
2018	210.176,30	
2019	159.607,90	-31,68%
2020	210.125,60	24,04%
2021	126.164,30	-66,55%
2022	96.074,50	-31,32%

### Καλλιέργεια ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ

Έτος	Σιτηρά	
	Στρέμματα	Ποσοστιαία μεταβολή
2018	191.233,40	
2019	133.940,70	-42,77%
2020	209.245,00	35,99%
2021	277.305,00	24,54%
2022	265.931,50	-4,28%

### Καλλιέργεια ΒΑΜΒΑΚΙ

Έτος	Κριθάρι	
	Στρέμματα	Ποσοστιαία μεταβολή
2018	144.172,10	
2019	166.505,70	13,41%
2020	56.008,60	-197,29%
2021	84.384,10	33,63%
2022	135.048,10	37,52%

Πίνακας 7.10.3:Μετατροπής υπολογισμού εκτάσεων καλλιιεργειών ανά έτος εξέτασης σε στρέμματα και απόδοση ποσοστιαίας μεταβολής.

### ΛΟΙΠΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ

Έτος	Χωμάτινες/Εδαφικές εκτ.		Ντοματίες		Πολεοδομικές εκτάσεις		Δασικές εκτάσεις		No data/Mask	
	Στρέμματα	Ποσοστιαία μεταβολή	Στρέμματα	Ποσοστιαία μεταβολή	Στρέμματα	Ποσοστιαία μεταβολή	Στρέμματα	Ποσοστιαία μεταβολή	Στρέμματα	Ποσοστιαία μεταβολή
2018	764.004,00	0	11.784,50	0	52.005,90	0	913.076,20	0	2.075.782,50	0
2019	758.914,30	-0,67%	19.298,00	38,93%	65.638,80	20,77%	923.657,70	1,15%	2.061.411,90	-0,70%
2020	750.022,90	-1,19%	12.717,90	-51,74%	50.536,40	-29,88%	934.131,30	1,12%	2.062.331,10	0,04%
2021	850.720,00	11,84%	21.330,90	40,38%	52.102,00	3,00%	974.066,70	4,10%	2.060.712,90	-0,08%
2022	932.900,60	8,81%	10.296,70	-107,16%	53.447,60	2,52%	991.409,20	1,75%	2.064.355,70	0,18%

Πίνακας 7.10.4:Μετατροπής υπολογισμού εκτάσεων λοιπών εκτάσεων ανά έτος εξέτασης σε στρέμματα και απόδοση ποσοστιαίας μεταβολής.

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία, μπορούμε να παρακολουθήσουμε τις τάσεις στις εκτάσεις καλλιέργειας και να αξιολογήσουμε την ανάπτυξη ή τη μείωση κάθε καλλιέργειας ανά έτος. Η ποσοστιαία μεταβολή αποκαλύπτει την ετήσια αύξηση ή μείωση της έκτασης, επιτρέποντας μια λεπτομερή κατανόηση των αλλαγών στη γεωργική παραγωγή.

Αναλύοντας τα αποτελέσματα, παρατηρούμε μια σταδιακή μείωση στη διαθέσιμη βιομάζα, η οποία αντανακλάται στη μείωση των συνολικών στρεμμάτων καλλιεργήσιμης γης από το 2018 έως το 2022. Αυτή η ραγδαία μείωση υποδεικνύει πιθανές αλλαγές στις καλλιεργητικές

πρακτικές, περιβαλλοντικές συνθήκες ή οικονομικές συνθήκες που επηρεάζουν την παραγωγική ικανότητα της περιοχής.

Η ανάλυση των ποσοστιαίων μεταβολών αποκαλύπτει ότι, ενώ κάποιες καλλιέργειες μπορεί να παρουσιάζουν αύξηση, η συνολική τάση δείχνει μια γενική μείωση στην έκταση των καλλιεργούμενων γαιών. Αυτή η τάση μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις για τη γεωργική παραγωγή, την οικονομία της περιοχής και τη διαθεσιμότητα βιομάζας.

Αυτή η μείωση της καλλιεργήσιμης γης θα πρέπει να εξεταστεί περαιτέρω για να κατανοηθούν οι ακριβείς αιτίες πίσω από αυτήν την τάση και να αναπτυχθούν στρατηγικές για τη διαχείριση και τη βελτίωση της γεωργικής παραγωγής.

Έτος	Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων ανά χρονιά	Σύνολο εξεταζόμενων Καλλιεργειών ανά χρονιά	Ποσοστό εξεταζόμενων Καλλιεργειών ανά χρονιά
2022	2.601.776,70	613.722,60	<b>23,5886%</b>
2021	2.605.419,50	707.199,90	<b>27,1434%</b>
2020	2.603.801,30	856.392,80	<b>32,8901%</b>
2019	2.614.720,50	837.211,70	<b>32,0192%</b>
2018	2.649.349,90	908.479,30	<b>34,2906%</b>
<b>Μ.Ο</b>	<b>2.615.013,58</b>	<b>784.601,26</b>	<b>29,9864%</b>

Πίνακας 7.10.5: Αποτελέσματα υπολογισμού συνολικής εξεταζόμενης έκτασης εκτός της επιφάνειας με μηδενική τιμή (μάσκα), συνολικής έκτασης καλλιεργειών των 4 κλάσεων εξέτασης και ποσοστό που λαμβάνει ανά έτος της συνολικής έκτασης.

Η παρατηρούμενη μείωση στην καλλιεργήσιμη γη μπορεί να αποδοθεί κυρίως σε δύο σημαντικούς παράγοντες: τις κλιματικές καταστροφές και την πανδημία του COVID-19. Πρώτον, οι κλιματικές καταστροφές, όπως οι πλημμύρες, έχουν ασκήσει σοβαρή πίεση στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Οι πλημμύρες όχι μόνο προκαλούν καταστροφή στις καλλιέργειες αλλά και επιβαρύνουν την ποιότητα του εδάφους, καθιστώντας το λιγότερο γόνιμο και κατάλληλο για μελλοντική γεωργική χρήση. Η επαναλαμβανόμενη έκθεση σε τέτοιες καταστροφές έχει ως αποτέλεσμα τη σταδιακή υποβάθμιση των γεωργικών περιοχών, περιορίζοντας την παραγωγική ικανότητα των εδαφών.

Δεύτερον, η περίοδος της πανδημίας COVID-19 είχε επίσης σοβαρές επιπτώσεις στον τομέα της γεωργίας. Οι περιοριστικά μέτρα και οι εγκλεισμοί που επιβλήθηκαν για την καταπολέμηση της πανδημίας προκάλεσαν σημαντικές ελλείψεις εργατικού δυναμικού. Αυτό οδήγησε σε μειωμένη ικανότητα για καλλιέργεια και συντήρηση των αγροτικών εκτάσεων. Επιπλέον, οι διαταραχές στις αλυσίδες εφοδιασμού και η πτώση της ζήτησης για ορισμένα αγροτικά

προϊόντα επιδείνωσαν την κατάσταση, συμβάλλοντας στη μείωση της καλλιεργήσιμης γης. Συνολικά, η συνδυασμένη επίδραση των κλιματικών καταστροφών και της πανδημίας έχει οδηγήσει σε σημαντική μείωση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και, κατά συνέπεια, στη μείωση της διαθέσιμης βιομάζας.

Τα αποτελέσματα από την ανάλυση των δεικτών βλάστησης, όπως παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, ενισχύουν την εικόνα αυτής της μείωσης. Οι δείκτες βλάστησης αποκάλυψαν σημαντική πτώση της χλωροφυλλίας και γενικότερα της βλάστησης στις καλλιεργούμενες περιοχές από το 2018 έως το 2022. Αυτή η μείωση της χλωροφυλλίας επιβεβαιώνει την τάση μείωσης της βιομάζας και της συνολικής υγείας των φυτών στις εξεταζόμενες περιοχές. Η σύμπτωση μεταξύ των δεικτών βλάστησης και των στατιστικών στοιχείων σχετικά με τη μείωση των καλλιεργειών ενισχύει την αξιοπιστία της ανάλυσης. Αυτή η συνάφεια παρέχει ένα ισχυρό επιβεβαιωτικό στοιχείο για την επίδραση των κλιματικών και ανθρωπογενών παραγόντων στην γεωργική παραγωγή, ενισχύοντας την κατανόηση των προκλήσεων που αντιμετωπίζει ο τομέας της γεωργίας.

## **7.11 Επικύρωση αποτελεσμάτων κατηγοριοποίησης**

Για να διασφαλίσουμε την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της ανάλυσής μας, προχωρήσαμε σε μια ολοκληρωμένη διαδικασία στατιστικής επικύρωσης, χρησιμοποιώντας επίσημα στοιχεία από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και τον ΟΠΕΚΕΠΕ. Η διαδικασία επικύρωσης υλοποιήθηκε σε τρία διακριτά επίπεδα:

### **1ο Επίπεδο: Επικύρωση Συνολικών Εξεταζόμενων Εκτάσεων**

Σε αυτό το επίπεδο, επικεντρωθήκαμε στον υπολογισμό και την επικύρωση των συνολικών εκτάσεων που εξετάστηκαν για να διασφαλίσουμε ότι οι κατηγορίες που χρησιμοποιήσαμε ήταν επαρκείς για την ακριβή απομόνωση της περιοχής μελέτης. Ειδικότερα, ελέγξαμε αν οι κατηγορίες κάλυψης γης που περιλάβαμε κάλυπταν αποτελεσματικά την περιοχή μελέτης και τις καλλιέργειες που χρησιμοποιήσαμε για την εκτίμηση της διαθέσιμης βιομάζας. Η διαδικασία αυτή επιβεβαίωσε ότι οι περιοχές που εξετάστηκαν αντιπροσωπεύουν επαρκώς τις διάφορες καλλιέργειες της περιοχής.

### **2ο Επίπεδο: Στατιστική Εξέταση Εκτάσεων Επιλεγμένων Καλλιεργειών**

Στο δεύτερο επίπεδο, πραγματοποιήσαμε στατιστική ανάλυση των εκτάσεων των επιλεγμένων καλλιεργειών. Εξετάσαμε τις συνολικές εκτάσεις των καλλιεργειών και τα ποσοστά που αποδόθηκαν σε κάθε καλλιέργεια, συγκρίνοντάς τα με τη συνολική έκταση των καλλιεργειών



στην περιοχή μελέτης. Η ανάλυση αυτή μας βοήθησε να επιβεβαιώσουμε ότι οι ποσοστιαίες κατανομές και οι εκτιμήσεις βιομάζας που προκύπτουν από τα δεδομένα είναι συμβατές με τις επίσημες καταγραφές και τις πληροφορίες που παρέχονται από τον ΟΠΕΚΕΠΕ και το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης.

Αυτή η πολυδιάστατη διαδικασία επικύρωσης διασφαλίζει την ακριβή ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων μας, ενισχύοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και επιβεβαιώνοντας την εγκυρότητα των εκτιμήσεων που προκύπτουν από την μελέτη μας.

Τα δεδομένα αυτά παρατίθενται σε πίνακες, όπως φαίνεται παρακάτω για το 1ο επίπεδο.

Έκταση Καλλιέργειας (στρέμματα) - Δεδομένα Υπουργείου- Δεδομένα ΟΠΕΚΕΠΕ.

Μετρήσεις Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης			
Έτος	Σύνολο ανά έτος	Σύνολο εξεταζόμενων Καλλιεργειών ανά χρονιά	Ποσοστό εξεταζόμενων Καλλιεργειών ανά χρονιά
2022	2.621.270,54**	*	*
2021	2.621.270,54	<b>744.454,22</b>	<b>28,4005%</b>
2020	2.621.270,54	<b>742.815,70</b>	<b>28,3380%</b>
2019	2.621.270,54	<b>803.596,00</b>	<b>30,6567%</b>
2018	2.621.270,54	<b>834.620,40</b>	<b>31,8403%</b>
M.O	2.621.270,54	<b>781.371,58</b>	<b>29,8089%</b>

\* Δεν αναρτήθηκαν δεδομένα \*\* Αφαιρέθηκαν οι υδάτινες επιφάνειες

Έκταση Καλλιέργειας (στρέμματα) - Δεδομένα από την μεθοδολογία ROI

Μετρήσεις ROI			
Έτος	Συνολική έκταση ανά χρονιά	Σύνολο εξεταζόμενων Καλλιεργειών ανά χρονιά	Ποσοστό εξεταζόμενων Καλλιεργειών ανά χρονιά
2022	2.601.776,70	<b>613.722,60</b>	<b>23,5886%</b>
2021	2.605.419,50	<b>707.199,90</b>	<b>27,1434%</b>
2020	2.603.801,30	<b>856.392,80</b>	<b>32,8901%</b>
2019	2.614.720,50	<b>837.211,70</b>	<b>32,0192%</b>
2018	2.649.349,90	<b>908.479,30</b>	<b>34,2906%</b>
M.O	2.615.013,58	<b>784.601,26</b>	<b>29,9864%</b>

Πίνακας 7.11. 1 :Συγκριτικοί πίνακες αποτελέσματα υπολογισμού συνολικής εξεταζόμενης έκτασης με βάση τα επίσημα δεδομένα Υπουργείου συμπεριλαμβανομένων των υδάτινων επιφανειών και τον υπολογισμό της εφαρμογής κατηγοριοποίησης με SVM συνολικής έκτασης καλλιεργειών των 4 κλάσεων

Έτος	Ποσοστό Εξεταζόμενων Καλλιεργειών Υπουργείου (%)	Ποσοστό Εξεταζόμενων Καλλιεργειών ROI (%)	Επιμέρους Διαφορά (%)	Σφάλμα Επί Τοις Εκατό (%)
2022	*	23,59%	*	*
2021	28,40%	27,14%	1,26%	4,43%
2020	28,34%	32,89%	-4,55%	16,06%
2019	30,66%	32,02%	-1,36%	4,44%
2018	31,84%	34,29%	-2,45%	7,70%

\*Δεν αναρτήθηκαν δεδομένα

Πίνακας 7.11.2: Η στήλη "Επιμέρους Διαφορά" δείχνει τη διαφορά μεταξύ των ποσοστών των δύο πινάκων για κάθε χρονιά, ενώ η στήλη "Σφάλμα Επί Τοις Εκατό" δείχνει το ποσοστό του σφάλματος σε σχέση με τα δεδομένα του Υπουργείου.

Αν θεωρήσουμε ότι το αποδεκτό ποσοστό σφάλματος για την αξιολόγηση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων είναι 10%, η αναλογία των υπολογισμών για το έτος 2020 παρουσιάζει μη αποδεκτές αποκλίσεις από την κατηγοριοποίηση.

Για να αξιολογήσουμε αν οι αποκλίσεις είναι σημαντικές, θα εφαρμόσουμε μια σειρά στατιστικών μεθόδων. Ειδικότερα, θα χρησιμοποιήσουμε τις εξής προδιαγραφές και μεθόδους:

#### 1. Ορισμός Προδιαγραφών Μελέτης

Πρώτα, θα καθορίσουμε τις προδιαγραφές της μελέτης, οι οποίες περιλαμβάνουν το αποδεκτό ποσοστό σφάλματος (10%) και τα κριτήρια για την αξιολόγηση των αποκλίσεων. Στη συνέχεια, θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της μελέτης μας με τα επίσημα δεδομένα του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης για να εντοπίσουμε και να αξιολογήσουμε τυχόν αποκλίσεις.

#### 2. Στατιστική Μέθοδος

Για την αξιολόγηση των αποκλίσεων, θα χρησιμοποιήσουμε την εξής στατιστική μεθοδολογία:

- **Υπολογισμός Μέσου Όρου:** Ο μέσος όρος των ποσοστών που προκύπτουν από τα δεδομένα της μελέτης μας και των επίσημων καταγραφών θα μας δώσει μια συνολική εικόνα των συγκρίσεων.
- **Τυπική Απόκλιση:** Η τυπική απόκλιση θα μετρήσει την κατανομή των δεδομένων γύρω από τον μέσο όρο, παρέχοντας πληροφορίες για το πόσο διασκορπισμένα είναι τα δεδομένα.
- **Τυπικό Σφάλμα (SE):** Το τυπικό σφάλμα υπολογίζεται με βάση την τυπική απόκλιση και το μέγεθος του δείγματος. Αυτό θα μας δώσει μια εκτίμηση της ακρίβειας του μέσου όρου.
- **Διάστημα Εμπιστοσύνης:** Το διάστημα εμπιστοσύνης, συνήθως 95%, θα μας επιτρέψει να

εκτιμήσουμε την αβεβαιότητα των εκτιμήσεων και να καθορίσουμε αν οι αποκλίσεις είναι σημαντικές ή αν πέφτουν εντός του αποδεκτού ποσοστού σφάλματος.

### 3. Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Με βάση τα παραπάνω υπολογισμένα στοιχεία, θα εξετάσουμε αν οι αποκλίσεις μεταξύ των δεδομένων της μελέτης μας και των επίσημων δεδομένων είναι εντός του αποδεκτού ποσοστού σφάλματος (10%). Εάν οι αποκλίσεις υπερβαίνουν το 10%, θα θεωρηθεί ότι η κατηγοριοποίηση για το 2020 δεν είναι αποδεκτή και θα πρέπει να επανεξεταστούν οι μέθοδοι ανάλυσης και τα δεδομένα.

Αυτή η στατιστική ανάλυση θα μας επιτρέψει να κατανοήσουμε την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της μελέτης μας και να διασφαλίσουμε ότι οι εκτιμήσεις μας είναι αξιόπιστες και ακριβείς

1. Μέσος Όρος (M.O.) των ποσοστών του Υπουργείου  $M.O. = \frac{28,4005+28,3380+30,6567+31,8403}{4}$

2. Τυπική Απόκλιση ( $\sigma$ ) των ποσοστών του Υπουργείου  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - M.O.)^2}{N-1}}$

3. Υπολογισμός του Τυπικού Σφάλματος (SE)  $SE = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$

4. Διαστημάτων Εμπιστοσύνης (CI) για τις Αποκλίσεις

Τα αποτελέσματα για κάθε βήμα είναι :

(1)  $M.O = 29,8089$

(2)  $\sigma = 1,4922$

(3)  $SE = 1,6955$

(4) Για διάστημα εμπιστοσύνης 95% το Z είναι περίπου 1,96 (αφορά κανονική κατανομή) CI: [26,4855, 33,1323]

Έτος	Ποσοστό ROI (%)	Εντός Διαστήματος Εμπιστοσύνης
2018	34,2906	Όχι
2019	32,0192	Ναι
2020	32,8901	Ναι
2021	27,1434	Ναι

Πίνακας 7.11.3: Πίνακας αποτελεσμάτων αναλογικών ποσοστών μεθόδου ROI σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% με τα επίσημα ποσοστά του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής επικύρωσης αναδεικνύουν την αξιοπιστία της μεθοδολογίας

μας, επιβεβαιώνοντας σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια των εκτιμήσεων για τα ποσοστά ROI (Return on Investment) στις καλλιέργειες της περιοχής μελέτης. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων καταδεικνύει:

- **2021:** Το ποσοστό ROI ανέρχεται σε 27,1434% και βρίσκεται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης. Αυτό σημαίνει ότι η απόκλιση είναι στατιστικά σημαντική, αλλά εντός αποδεκτού εύρους.
- **2020:** Το ποσοστό ROI είναι 32,8901%, το οποίο επίσης εντάσσεται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης. Ως εκ τούτου, η απόκλιση δεν θεωρείται στατιστικά σημαντική.
- **2019:** Το ποσοστό ROI καταγράφεται στο 32,0192%, που βρίσκεται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης. Επομένως, και σε αυτήν την περίπτωση, η απόκλιση δεν είναι στατιστικά σημαντική.
- **2018:** Το ποσοστό ROI φτάνει το 34,2906% και βρίσκεται εκτός του διαστήματος εμπιστοσύνης. Ως εκ τούτου, η απόκλιση για το 2018 θεωρείται στατιστικά σημαντική.

Συμπεράσματα:

1. **Σημαντικότητα Αποκλίσεων:** Η ανάλυση υποδεικνύει ότι οι αποκλίσεις για το έτος 2018 είναι στατιστικά σημαντικές, γεγονός που ενδέχεται να οφείλεται σε περιορισμούς του αλγορίθμου κατηγοριοποίησης ή σε αδυναμίες των υφιστάμενων λογισμικών. Αντίθετα, οι αποκλίσεις για τα έτη 2021, 2020 και 2019 θεωρούνται στατιστικά μη σημαντικές, υποδεικνύοντας την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων για αυτά τα έτη.
2. **Αντίκτυπος της Αλγοριθμικής Ακρίβειας:** Παρά την σημαντική απόκλιση για το 2018, εκτιμούμε ότι δεν επηρεάζει σημαντικά το συνολικό αποτέλεσμα του υπολογισμού της βιομάζας. Η αδυναμία του αλγορίθμου για βελτιστοποίηση των υπολογισμών με τα υπάρχοντα λογισμικά αναγνωρίζεται, αλλά δεν επηρεάζει ριζικά την ακρίβεια των γενικών τάσεων.
3. **Συμφωνία με Επίσημα Στοιχεία:** Η στατιστική επικύρωση επιβεβαιώνει ότι οι τάσεις μείωσης της έκτασης καλλιέργειας που εντοπίστηκαν στην ανάλυσή μας συμφωνούν με τις τάσεις που καταγράφονται από τους επίσημους φορείς. Αυτό ενισχύει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μας.

Για περαιτέρω επιβεβαίωση της ακρίβειας της μεθοδολογίας στην κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών, θα παραθέσουμε συγκριτικά στοιχεία για τις κύριες καλλιέργειες (καλαμπόκι, βαμβάκι, σιτηρά και κριθάρι) χρησιμοποιώντας δεδομένα τόσο από το Υπουργείο Αγροτικής

Ανάπτυξης όσο και από την μεθοδολογία της παρούσας μελέτης. Αυτό θα μας επιτρέψει να εξετάσουμε τις εκτάσεις των καλλιεργειών με βάση επίσημες καταγραφές και την εφαρμογή της μεθοδολογίας μας, προσδιορίζοντας ενδεχόμενες περιοχές βελτίωσης και επιβεβαιώνοντας την ακριβή αντιστοιχία των δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά παρατίθενται σε πίνακες, όπως φαίνεται παρακάτω για το 2ο επίπεδο.

Έκταση Καλλιεργειών Εξέτασης (στρέμματα) - Δεδομένα Υπουργείου- Δεδομένα ΟΠΕΚΕΠΕ

Ποσοστό μετρήσεων Επίσημων δεδομένων Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης					
	2018	2019	2020	2021	2022
Σιτηρά	151.776,70	133.366,90	135.958,20	246.947,80	*
Κριθάρι	22.238,50	95.000,00	26.265,20	14.317,60	*
Βαμβακιές	632.654,00	434.200,60	437.124,90	419.923,30	*
Καλαμποκιές	27.951,20	141.028,50	143.467,40	63.265,52	*

\* Δεν αναρτήθηκαν δεδομένα

Έκταση Καλλιεργειών Εξέτασης (στρέμματα) - Δεδομένα από την μεθοδολογία ROI<sub>2</sub>

Ποσοστά μετρήσεων Περιοχής Μελέτης					
	2018	2019	2020	2021	2022
Σιτηρά	191.233,40	166.505,70	209.245,00	277.305,00	265.931,50
Κριθάρι	144.172,10	166.505,70	56.008,60	84.384,10	135.048,10
Βαμβακιές	362.897,50	377.157,40	381.013,60	219.346,50	116.668,50
Καλαμποκιές	210.176,30	159.607,90	210.125,60	126.164,30	96.074,50

Πίνακας 7.11.4: Αναλυτικοί συγκριτικοί πίνακες αποτελέσματα ανά καλλιέργεια υπολογισμού εξεταζόμενης έκτασης με βάση τα επίσημα δεδομένα Υπουργείου και τον υπολογισμό της εφαρμογής κατηγοριοποίησης με SVM ..

Για την κατανόηση της αποδοχής της προτεινόμενης μεθοδολογίας απομακρυσμένης καταγραφής καλλιεργειών, παραθέτουμε έναν ποσοστιαίο πίνακα που συγκρίνει τις εκτάσεις που προκύπτουν από τη μεθοδολογία μας με τα επίσημα δεδομένα του Υπουργείου.

Απόδοση Επίσημων δεδομένων Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης					
	2018	2019	2020	2021	2022
Σιτηρά	6%	5%	5%	9%	*
Κριθάρι	1%	4%	1%	1%	*
Βαμβάκι	24%	17%	17%	16%	*
Καλαμπόκι	1%	5%	5%	2%	*
Απόδοση μετρήσεων μεθοδολογίας ROI					
	2018	2019	2020	2021	2022
Σιτηρά	7%	6%	8%	11%	10%
Κριθάρι	5%	6%	2%	3%	5%
Βαμβάκι	14%	14%	14%	8%	4%
Καλαμπόκι	8%	6%	8%	5%	4%

\*Δεν αναρτήθηκαν δεδομένα

Πίνακας 7.11.5: Αναλυτικοί συγκριτικοί πίνακες ποσοστών ανά καλλιέργεια υπολογισμού εξεταζόμενης έκτασης με βάση τα επίσημα δεδομένα Υπουργείου και τον υπολογισμό της εφαρμογής κατηγοριοποίησης με SVM M .

Για κάθε έτος, συγκρίνουμε τη συνολική έκταση που προσδιορίστηκε με τη μέθοδο ROI με την αντίστοιχη συνολική έκταση που αναφέρει το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης. Η αναλογία ακρίβειας των μετρήσεων ROI σε σχέση με τα επίσημα στοιχεία του Υπουργείου δείχνει ότι οι εκτιμήσεις της μεθόδου είναι κοντά στις πραγματικές εκτάσεις σύμφωνα με τα δεδομένα του Υπουργείου.

Έτος	Μετρήσεις Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης	Μετρήσεις ROI	Ποσοστιαία Ακρίβεια
2018	2.621.270,54	2.649.349,90	99%
2019	2.621.270,54	2.614.720,50	100%
2020	2.621.270,54	2.603.801,30	101%
2021	2.621.270,54	2.605.419,50	101%
2022	2.621.270,54	2.601.776,70	101%

Πίνακας 7.11.6 : Πίνακας ποσοστού ακριβείας εκτάσεων Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης με μετρήσεις από τα ROI.

Για να υπολογίσουμε την ποσοστιαία ακρίβεια των μετρήσεων έκτασης για κάθε καλλιέργεια, θα εφαρμόσουμε την ίδια μέθοδο που χρησιμοποιήσαμε για τη συνολική έκταση. Θα υπολογίσουμε την ποσοστιαία ακρίβεια ξεχωριστά για κάθε τύπο καλλιέργειας.

Καλλιέργειες	2018	2019	2020	2021	2022
Σιτηρά	74,00%	75,15%	46,10%	87,71%	*Δεν αναρτήθηκαν δεδομένα
Κριθάρι	-448,30%	24,73%	-13,24%	-389,37%	*Δεν αναρτήθηκαν δεδομένα
Βαμβακιές	57,36%	86,86%	87,16%	52,23%	*Δεν αναρτήθηκαν δεδομένα
Καλαμποκιές	-551,94%	86,83%	53,54%	0,58%	*Δεν αναρτήθηκαν δεδομένα

Πίνακας 7.11.7: Ποσοστιαία ακρίβεια μετρήσεων έκτασης σε σχέση με τα επίσημα δεδομένα.

Η μεθοδολογία ROI φαίνεται να αποδίδει καλύτερα στις καλλιέργειες βαμβακιού και σιτηρών:

- Βαμβακιές:** Η ακρίβεια των μετρήσεων φτάνει το 87,16% το 2020 και το 86,86% το 2019, γεγονός που δείχνει υψηλή αξιοπιστία της μεθόδου για αυτήν την καλλιέργεια.
- Σιτηρά:** Οι μετρήσεις δείχνουν επίσης καλή ακρίβεια, με την υψηλότερη τιμή να φτάνει το 87,71% το 2021.

3. **Καλαμπόκι:** Το 2019 οι μετρήσεις έδειξαν σχετικά καλή ακρίβεια.

Αντίθετα, για τις καλλιέργειες κριθαριού και καλαμποκιού, η μέθοδος ROI παρουσιάζει σημαντικές αποκλίσεις, όπως φαίνεται από τις αρνητικές τιμές ποσοστιαίας ακρίβειας. Αυτές οι αποκλίσεις υποδεικνύουν την ανάγκη για βελτιώσεις στη μεθοδολογία ROI.

Παρατηρείται σχετική ακρίβεια στις καλλιέργειες σιτηρών και βαμβακιού, ενώ οι διαφορές για το κριθάρι και το καλαμπόκι ενδέχεται να απαιτούν βελτιστοποίηση της δειγματοληψίας. Η ανάγκη για περαιτέρω βελτιστοποίηση της μεθοδολογίας, πιθανώς λόγω των αλγορίθμων, της δειγματοληψίας ή της κατηγοριοποίησης, είναι προφανής. Συνεπώς, η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την απομακρυσμένη καταγραφή των καλλιεργειών αποδεικνύεται μερικώς αποτελεσματική για τις περισσότερες καλλιέργειες, με περιθώρια σημαντικής βελτίωσης.



## Κεφάλαιο 8. Ανάλυση Μετρήσεων και Εκτίμηση της Διαθέσιμης Βιομάζας

### 8.1 Μέθοδοι Εκτίμησης Υγρασίας με Δορυφορικά Δεδομένα και Μηχανική Μάθηση

Υπάρχουν πολλαπλές μέθοδοι για τον υπολογισμό της υγρασίας των καλλιεργειών μέσω δορυφορικών εικόνων, και η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου εξαρτάται από ποικίλους παράγοντες, όπως τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του εδάφους, οι τύποι καλλιεργειών που καλλιεργούνται, η γεωγραφική θέση της περιοχής και η διαθεσιμότητα ή η ακρίβεια των διαθέσιμων δεδομένων. Η συνδυαστική ανάλυση αυτών των στοιχείων επιτρέπει την βέλτιστη προσέγγιση για την παρακολούθηση και διαχείριση της υγρασίας των καλλιεργειών, διασφαλίζοντας έτσι την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια των μετρήσεων.

Ορισμένοι από τους πιο διαδεδομένους τρόπους παρακολούθησης και εκτίμησης της υγρασίας του εδάφους περιλαμβάνουν την αξιοποίηση δορυφορικών εικόνων και τη χρήση δεικτών βλάστησης, όπως ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI) και ο Δείκτης Υγρασίας Normalized Difference Moisture Index (NDMI). Αυτοί οι δείκτες επιτρέπουν την εκτίμηση της υγείας των φυτών και την ανάλυση της υγρασίας του εδάφους μέσω της παρατήρησης της βλάστησης.

Η χρήση αλγορίθμων ταξινόμησης εικόνων προσφέρει τη δυνατότητα διαχωρισμού διαφορετικών ειδών καλλιεργειών ή τάξεων εδάφους, βοηθώντας έτσι στην κατανόηση της σχέσης τους με την υγρασία. Η ανάλυση θερμικών δεδομένων, μέσω θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας, παρέχει πληροφορίες για τη θερμοκρασία του εδάφους, η οποία συνδέεται άμεσα με τα επίπεδα υγρασίας.

Μια σύγχρονη προσέγγιση είναι η χρήση της μηχανικής μάθησης, όπου μέσω της εκπαίδευσης αλγορίθμων παλινδρόμησης, μπορούν να προβλεφθούν τα επίπεδα υγρασίας με ακρίβεια, βασιζόμενοι σε δορυφορικά δεδομένα. Οι μέθοδοι αυτές συνδυάζουν συχνά τα δορυφορικά δεδομένα με μετρήσεις υγρασίας που προέρχονται από το έδαφος, προσφέροντας έτσι πιο αξιόπιστες εκτιμήσεις.

Επιπλέον, η παρακολούθηση της δυναμικής της υγρασίας σε διαφορετικές χρονικές περιόδους επιτρέπει την ανάλυση των μεταβολών στην υγρασία κατά τη διάρκεια της καλλιεργητικής περιόδου. Ο συνδυασμός διαφορετικών δεικτών και δεδομένων, καθώς και η ενσωμάτωση

κλιματικών παραμέτρων, μπορεί να παρέχει μια πιο ολοκληρωμένη και εκτεταμένη κατανόηση της υγρασίας του εδάφους και της επίδρασής της στην αγροτική παραγωγή.

## **8.2 Συνδυαστική Εκτίμηση Υγρασίας Καλλιεργειών μέσω Μηχανικής Μάθησης και Δεικτών Δορυφορικών Εικόνων**

Εξετάζοντας τον συνδυασμό διαφόρων δεικτών για τον υπολογισμό της υγρασίας των καλλιεργειών μέσω δορυφορικών εικόνων, η μηχανική μάθηση αναδεικνύεται ως μια αποτελεσματική προσέγγιση. Μέσω αυτής, οι αλγόριθμοι μπορούν να εκπαιδευτούν πάνω σε υπάρχοντα δεδομένα και να προβλέπουν με ακρίβεια την επίδοση σε νέα, άγνωστα δεδομένα. Για τον υπολογισμό της υγρασίας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μοντέλα μηχανικής μάθησης σε συνδυασμό με δεδομένα υγρασίας πεδίου, τα οποία συμβάλλουν στην επικύρωση των αποτελεσμάτων. Ένας από τους τρόπους εφαρμογής είναι η χρήση μοντέλων παλινδρόμησης, τα οποία επιδιώκουν να προβλέψουν τα επίπεδα υγρασίας βάσει των χαρακτηριστικών της εικόνας και συγκεκριμένων αριθμητικών τύπων.

Μια εναλλακτική μέθοδος περιλαμβάνει τον συνδυασμό διαφόρων δεικτών για τον ακριβέστερο υπολογισμό της υγρασίας. Δείκτες όπως ο NDVI (Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Βλάστησης) και ο NDMI (Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Υγρασίας) μπορούν να ενσωματωθούν για να παρέχουν μια ολοκληρωμένη εικόνα της υγείας της βλάστησης και της υγρασίας του εδάφους. Αυτή η συνένωση μπορεί να επιτευχθεί μέσω διαφόρων μεθόδων, όπως η απλή μέση τιμή, βαρυστημένοι συνδυασμοί ή ακόμα και η χρήση μηχανικής μάθησης για την επίτευξη της βέλτιστης συνδυαστικής εκτίμησης.

Όπως αναφέρεται στο Κεφάλαιο Z.2.2.9, ο δείκτης NDMI είναι ικανός να ανιχνεύει τα επίπεδα υγρασίας στη βλάστηση, αξιοποιώντας έναν συνδυασμό φασματικών ζωνών από το εγγύς υπέρυθρο (NIR) και το βραχύ υπέρυθρο (SWIR). Αυτός ο συνδυασμός φασματικών ζωνών επιτρέπει την λεπτομερή ανάλυση της υγρασίας, προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες για την κατάσταση της καλλιέργειας.

## **8.3 Μεθοδολογία καταγραφής ανάλυσης και υπολογισμού υγρασίας**

Στην παρούσα ενότητα, αναλύουμε τα αποτελέσματα της εκτίμησης της υγρασίας των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης, χρησιμοποιώντας τον Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υγρασίας (NDMI). Ο υπολογισμός των τιμών του NDMI για διαφορετικές χρονικές περιόδους μας παρείχε πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την υγρασία των υπολειμμάτων των

καλλιεργειών κατά την περίοδο συγκομιδής. Ο NDMI μας επέτρεψε να εκτιμήσουμε την υγρασία της βλάστησης και των υπολειμμάτων καλλιεργειών, διευκολύνοντας την αναγνώριση περιοχών με αυξημένη ή μειωμένη υγρασία. Υψηλές τιμές NDMI δείχνουν υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, ενώ χαμηλές τιμές υποδηλώνουν μειωμένη υγρασία.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την καταγραφή και ανάλυση της υγρασίας των υπολειμμάτων καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

1. **Δειγματοληψία και Κατηγοριοποίηση Καλλιεργειών Ανά Χρονιά:** Καταγράψαμε τα δεδομένα καλλιεργειών για κάθε έτος μέσω δειγματοληψίας, όπως περιγράφεται σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών ανά έτος συνδυάστηκε με τις τιμές του Δείκτη NDMI για τον προσδιορισμό του ποσοστού υγρασίας κάθε καλλιέργειας κατά την περίοδο συγκομιδής.
2. **Σύγκριση με Χάρτες Κατηγοριοποίησης Καλλιεργειών:** Σύγκριναμε τις τιμές του NDMI με τους χάρτες κατηγοριοποίησης που δημιουργήσαμε προηγουμένως, στους οποίους οι καλλιέργειες είχαν κατανεμηθεί ανά έτος. Αυτή η σύγκριση μας επέτρεψε να προσδιορίσουμε τα ποσοστά υγρασίας για κάθε καλλιέργεια στην περιοχή μελέτης σε ετήσια βάση, με τις υψηλές τιμές NDMI να δείχνουν μεγαλύτερη υγρασία και τις χαμηλές τιμές να υποδηλώνουν χαμηλότερη υγρασία.
3. **Υπολογισμός Καθαρής Βιομάζας Ανά Στρέμμα:** Βασισμένοι στον συντελεστή τόνου/στρέμμα και στα ποσοστά υγρασίας των υπολειμμάτων μετά την συγκομιδή, υπολογίσαμε την καθαρή βιομάζα ανά στρέμμα. Αυτή η διαδικασία μας επέτρεψε να προσδιορίσουμε την καθαρή βιομάζα χωρίς υγρασία για κάθε καλλιέργεια.
4. **Εφαρμογή Υπολογισμών στα Δεδομένα Κατηγοριοποίησης:** Εφαρμόσαμε τους υπολογισμούς της καθαρής βιομάζας ανά στρέμμα στα δεδομένα κατηγοριοποίησης ανά έτος, προκειμένου να προσδιορίσουμε τον μέσο όρο των διαθέσιμων τόνων βιομάζας σε πενταετή βάση. Αυτό μας επέτρεψε να καταλήξουμε σε συμπεράσματα σχετικά με τη διαθέσιμη βιομάζα στην περιοχή μελέτης.

#### **8.4 Αποτελέσματα υπολογισμού υγρασίας**

Μετά την ολοκλήρωση των βημάτων της μεθοδολογίας, τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι ουσιώδη για την κατανόηση της κατάστασης των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης. Οι υπολογισμοί της καθαρής βιομάζας, μετά την αφαίρεση της υγρασίας, προσφέρουν μια σαφή εικόνα της παραγωγικότητας και της απόδοσης των καλλιεργειών.

Στη συνέχεια, παρατίθενται πίνακες που απεικονίζουν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν. Αυτοί οι πίνακες περιλαμβάνουν τις εκτάσεις των καλλιεργειών ανά έτος, τα ποσοστά υγρασίας των υπολειμμάτων μετά τη συγκομιδή, καθώς και τους υπολογισμούς της καθαρής βιομάζας ανά στρέμμα. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις τάσεις και τις μεταβολές στην παραγωγή βιομάζας στην περιοχή μελέτης.

Έτος	Καλλιέργεια	Έκταση (στρέμματα)	Τιμή NDMI	Ποσοστό Υγρασίας (%)
2018	Σιτηρά	191.233,40	0,28	63%
	Κριθάρι	144.172,10	0,20	59%
	Βαμβάκι	362.897,50	0,40	70%
	Καλαμπόκι	210.176,30	0,28	63%
2019	Σιτηρά	166.505,70	0,40	69%
	Κριθάρι	166.505,70	0,25	62%
	Βαμβάκι	377.157,40	0,40	69%
	Καλαμπόκι	159.607,90	0,45	72%
2020	Σιτηρά	209.245,00	0,28	64%
	Κριθάρι	56.008,60	0,15	58%
	Βαμβάκι	381.013,60	0,40	70%
	Καλαμπόκι	210.125,60	0,40	70%
2021	Σιτηρά	277.305,00	0,30	59%
	Κριθάρι	84.384,10	0,17	51%
	Βαμβάκι	219.346,50	0,33	61%
	Καλαμπόκι	126.164,30	0,45	68%
2022	Σιτηρά	265.931,50	0,20	51%
	Κριθάρι	135.048,10	0,14	45%
	Βαμβάκι	116.668,50	0,35	66%
	Καλαμπόκι	96.074,50	0,36	67%

Πίνακας 8.4.1: Έκταση Καλλιεργειών, ποσοστά NDMI (δείκτης υγρασίας) και Ποσοστά Υγρασίας Ανά Έτος ανά καλλιέργεια.

2018-2022	Μ.Ο Υγρασία Συγκομιδής - NDMI
Καλαμπόκι	68%
Βαμβάκι	67%
Σιτηρά	61%
Κριθάρι	55%

Πίνακας 8.4.2: Μ.Ο. Ποσοστό Υγρασίας ανά Έτος ανά Καλλιέργεια.

Καλλιέργειες 2018-2022	Υγρασία Συγκομιδής-NDMI	Υγρασία Υπολειμμάτων	Τόνος/Στρέμμα Υπολειμμάτων	Βιομάζα χωρίς Υγρασία (τόνος/στρέμμα)
Καλαμπόκι	68%	20%	0,25	0,208333333
Βαμβάκι	67%	16%	0,35	0,301724
Σιτηρά	61%	15%	0,25	0,217391304
Κριθάρι	55%	14%	0,27	0,236842105

Πίνακας 8.4.3: Ποσοστά Υγρασίας και υπολογισμός καθαρής Βιομάζας ανά Καλλιέργεια.

Για την ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων, δημιουργήθηκαν πίνακες που περιλαμβάνουν:

1. **Υγρασία Συγκομιδής - NDMI:** Το ποσοστό υγρασίας των καλλιεργειών κατά την περίοδο συγκομιδής, όπως προσδιορίστηκε μέσω του δείκτη NDMI.
2. **Υγρασία Υπολειμμάτων:** Το ποσοστό υγρασίας των υπολειμμάτων καλλιεργειών μετά τη συγκομιδή, όπως καταγράφηκε από βιβλιογραφικές πηγές.
3. **Τόνος/Στρέμμα Υπολειμμάτων:** Η ποσότητα υπολειμμάτων βιομάζας ανά στρέμμα.
4. **Βιομάζα Χωρίς Υγρασία (Τόνος/Στρέμμα):** Η καθαρή βιομάζα ανά στρέμμα, υπολογισμένη αφαιρώντας την υγρασία από την ποσότητα υπολειμμάτων.

Με βάση αυτά τα δεδομένα, προχωρήσαμε στους υπολογισμούς της διαθέσιμης βιομάζας στην περιοχή μελέτης σε πενταετή βάση, υπολογίζοντας τον μέσο όρο των διαθέσιμων τόνων βιομάζας χωρίς υγρασία για κάθε καλλιέργεια. Αυτή η ανάλυση επιτρέπει την εξαγωγή ακριβών συμπερασμάτων σχετικά με την παραγωγική ικανότητα και την αξιοποίηση των υπολειμμάτων καλλιεργειών για βιομάζα.

## 8.5 Εκτίμηση Έκτασης και Καθαρής Βιομάζας από υπολείματα καλλιεργειών

Η εκτίμηση της έκτασης των καλλιεργειών πραγματοποιήθηκε με βάση την ανάλυση δορυφορικών εικόνων με χωρική ανάλυση 10x10 μέτρων. Αυτά τα δεδομένα επιτρέπουν την ακριβή κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών και τον προσδιορισμό της έκτασης σε στρέμματα. Χρησιμοποιώντας τους δείκτες NDMI, προσδιορίσαμε την υγρασία της συγκομιδής, ενώ τα βιβλιογραφικά δεδομένα μας παρείχαν πληροφορίες για την υγρασία των υπολειμμάτων μετά τη συγκομιδή. Αφαιρώντας τα ποσοστά υγρασίας από την αρχική ποσότητα βιομάζας, υπολογίσαμε την καθαρή βιομάζα που είναι διαθέσιμη για αξιοποίηση.

ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ	ΤΟΝΟΙ ΧΩΡΙΣ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΤΟΝΟΙ ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	ΤΟΝΟΙ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ
2018	210.176,30	43.786,73	54.733,41	136.855,24
2019	159.607,90	33.251,65	41.564,56	103.927,88
2020	210.125,60	43.776,17	54.720,21	136.822,23
2021	126.164,30	26.284,23	32.855,29	82.151,25
2022	96.074,50	20.015,52	25.019,40	62.558,43
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ 2018-2022</b>	802.148,60	167.114,29	208.892,86	522.315,02
<b>Μ.Ο. 5 ΕΤΩΝ</b>	160.429,72	<b>33.422,86</b>	41.778,57	104.463,00

Πίνακας 8.5.1: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας , τόνοι συγκομιδής βιομάζας και τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια καλαμποκιού

ΒΑΜΒΑΚΙ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ	ΤΟΝΟΙ ΧΩΡΙΣ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΤΟΝΟΙ ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	ΤΟΝΟΙ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ
2018	362.897,50	109.494,94	130.351,11	332.869,13
2019	377.157,40	113.797,49	135.473,20	345.949,08
2020	381.013,60	114.961,00	136.858,33	349.486,19
2021	219.346,50	66.182,13	78.788,25	201.196,42
2022	116.668,50	35.201,70	41.906,79	107.014,63
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ 2018-2022</b>	1.457.083,50	439.637,26	523.377,69	1.336.515,46
<b>Μ.Ο. 5 ΕΤΩΝ</b>	291.416,70	<b>87.927,45</b>	104.675,54	267.303,09

Πίνακας 8.5.2: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας , τόνοι συγκομιδής βιομάζας και τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια βαμβακιού.

ΣΙΤΑΡΙ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ	ΤΟΝΟΙ ΧΩΡΙΣ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΤΟΝΟΙ ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	ΤΟΝΟΙ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ
2018	191.233,40	41.572,48	48.908,80	107.524,02
2019	133.940,70	29.117,54	34.255,93	75.310,29
2020	209.245,00	45.488,04	53.515,35	117.651,33
2021	277.305,00	60.283,70	70.921,99	155.919,14
2022	265.931,50	57.811,20	68.013,17	149.524,21
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ 2018-2022</b>	1.077.655,60	234.272,96	275.615,24	605.928,98
<b>Μ.Ο. 5 ΕΤΩΝ</b>	215.531,12	<b>46.854,59</b>	55.123,05	121.185,80

Πίνακας 8.5.3: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας , τόνοι συγκομιδής βιομάζας και τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια σιτηρών

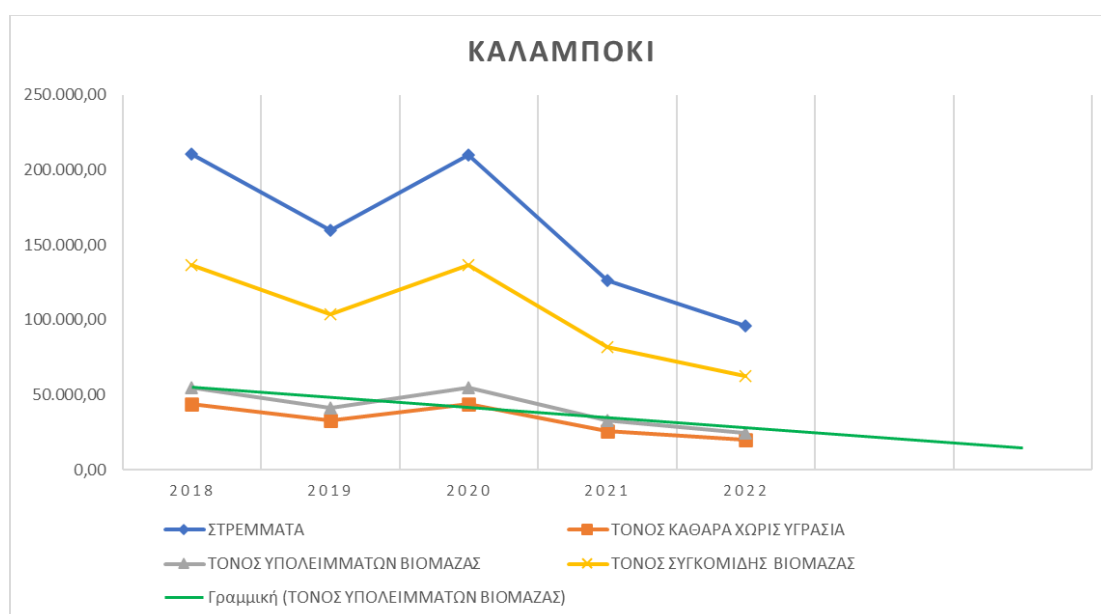
ΚΡΙΘΑΡΙ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ	ΤΟΝΟΙ ΧΩΡΙΣ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΤΟΝΟΙ ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	ΤΟΝΟΙ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ
2018	144.172,10	34.146,02	39.704,68	75.804,50
2019	166.505,70	39.435,56	45.855,30	87.547,32
2020	56.008,60	13.265,19	15.424,65	29.448,86
2021	84.384,10	19.985,71	23.239,20	44.368,46
2022	135.048,10	31.985,08	37.191,95	71.007,17
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ 2018-2022</b>	586.118,60	138.817,56	161.415,77	308.176,31
<b>Μ.Ο. 5 ΕΤΩΝ</b>	117.223,72	<b>27.763,51</b>	32.283,15	61.635,26

Πίνακας 8.5. 4: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας, τόνοι συγκομιδής βιομάζας και τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια κριθαριού.

## 8.6 Αποτελέσματα και Ανάλυση

Από τα δεδομένα των παραπάνω πινάκων προκύπτει μια σταδιακή μείωση της διαθέσιμης βιομάζας στην περιοχή μελέτης για τις καλλιέργειες καλαμποκιού, βαμβακιού, σιταριού και κριθαριού:

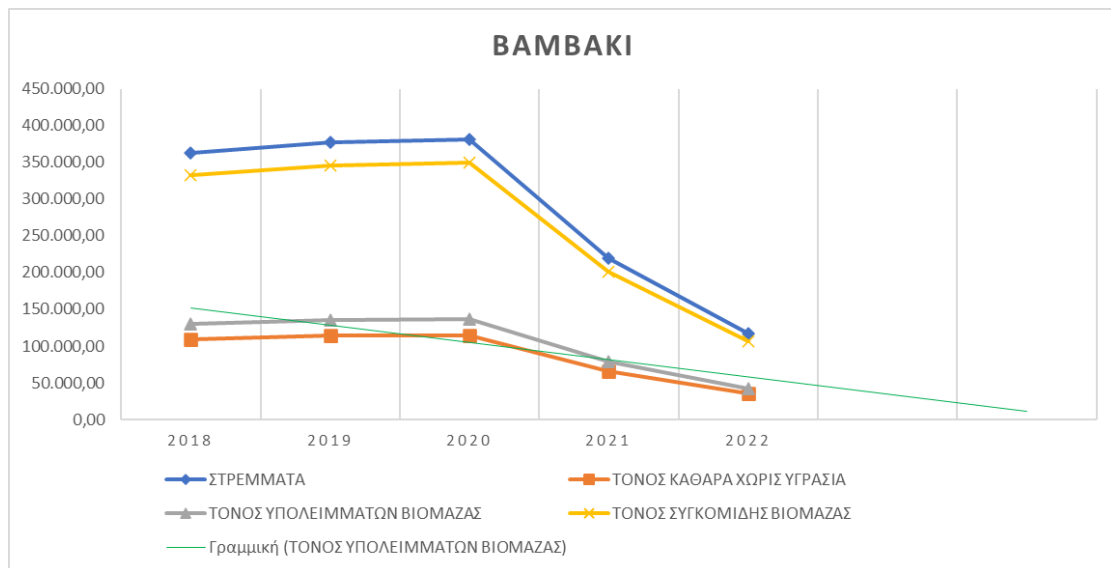
**Καλαμπόκι:** Η συνολική διαθέσιμη βιομάζα (τόνοι συγκομιδής) μειώθηκε από 132.855,24 τόνους το 2018 σε 62.558,43 τόνους το 2022, καταγράφοντας σημαντική μείωση κατά 54,29% μέσα στην πενταετία. Η στατιστική ανάλυση αποδεικνύει μια συνεχόμενη μείωση της καλλιεργούμενης έκτασης και της αποδοτικότητας των καλλιεργειών.



Διάγραμμα 8.6.1: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας, τόνοι συγκομιδής βιομάζας, τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια καλαμποκιού και γραμμικής πρόβλεψης διαθέσιμης βιομάζας

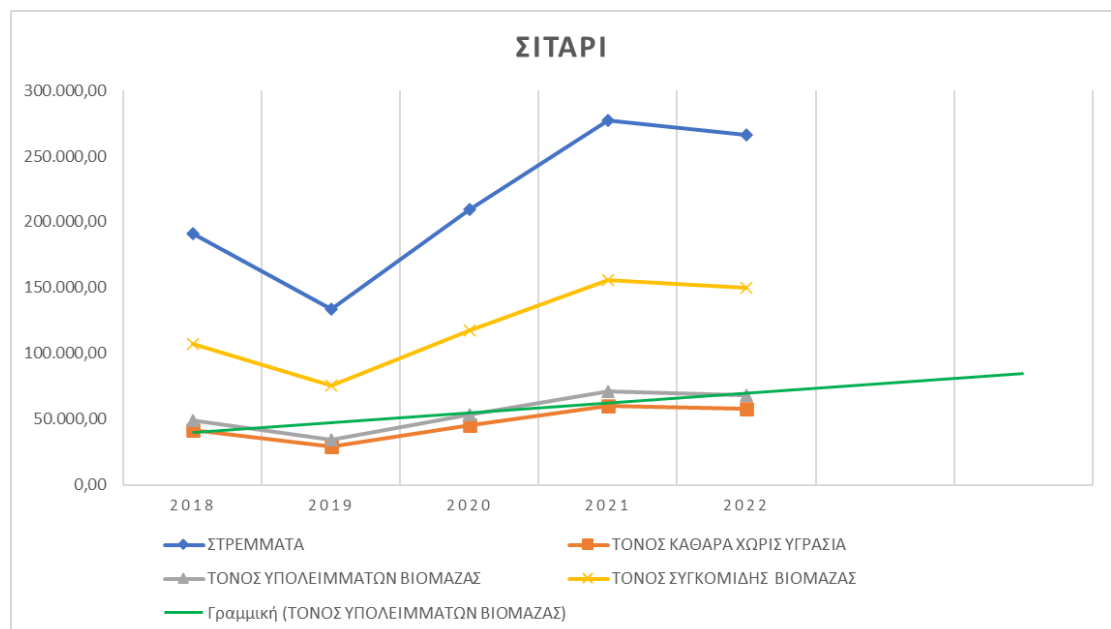


**Βαμβάκι:** Η συνολική διαθέσιμη βιομάζα (τόνοι συγκομιδής) μειώθηκε από 332.869,13 τόνους το 2018 σε 107.014,63 τόνους το 2022, παρουσιάζοντας απότομη μείωση της τάξεως του 67,85%.



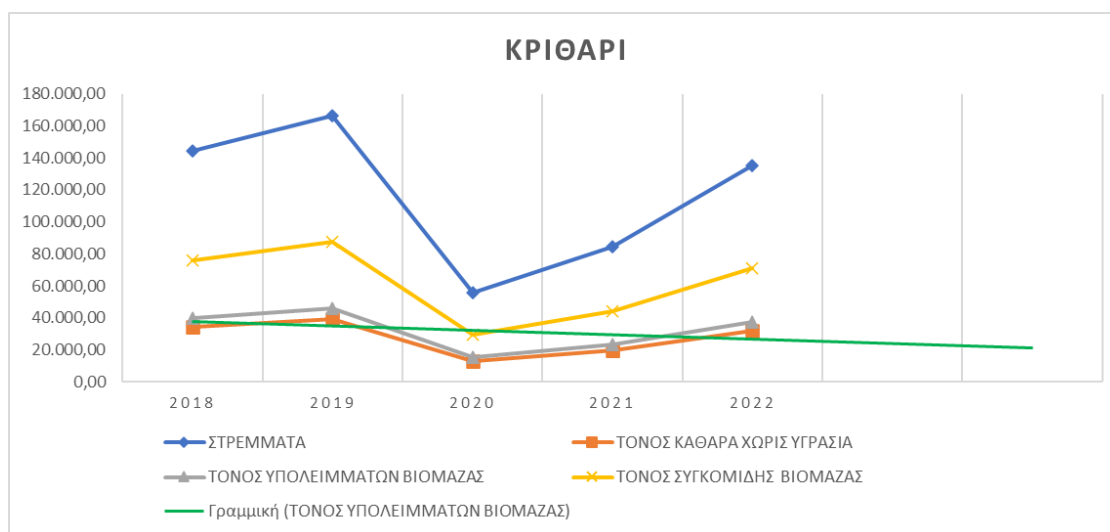
Διάγραμμα 8.6.2: Υπολογισμοί τόνων υπολειμμάτων βιομάζας, τόνων συγκομιδής βιομάζας, τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια βαμβακιού και γραμμικής πρόβλεψης διαθέσιμης βιομάζας

**Σιτάρι:** Κατά την περίοδο 2018-2022, η διαθέσιμη βιομάζα αυξήθηκε από 107.524,02 τόνους το 2018 σε 149.524,21 τόνους το 2022, καταγράφοντας αύξηση 39,06%.



Διάγραμμα 8.6.3: Υπολογισμοί τόνων υπολειμμάτων βιομάζας, τόνων συγκομιδής βιομάζας, τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια σιτηρών και γραμμικής πρόβλεψης διαθέσιμης βιομάζας.

**Κριθάρι:** Η συνολική διαθέσιμη βιομάζα παρέμεινε σχεδόν σταθερή, από 75.804,50 τόνους το 2018 σε 71.007,17 τόνους το 2022, με μια έντονη μείωση το 2020, πιθανόν λόγω της παγκόσμιας υγειονομικής κρίσης (Covid-19).



Διάγραμμα 8.6.4: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας , τόνοι συγκομιδής βιομάζας, τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια κριθαριού και γραμμικής πρόβλεψης διαθέσιμης βιομάζας .

Η ανάλυση δείχνει μια γενική τάση μείωσης της διαθέσιμης βιομάζας, η οποία μπορεί να αποδοθεί σε διάφορους παράγοντες, όπως κλιματικές αλλαγές, περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και οικονομικούς και τεχνικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις γεωργικές πρακτικές. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των καλλιεργειών και προτείνει μέτρα για τη βελτίωση της παραγωγικότητας και τη διαχείριση των αγροτικών πόρων. Η εκτίμηση υποδεικνύει ότι στα επόμενα χρόνια, οι καλλιέργειες αναμένεται να παράγουν λιγότερους τόνους υπολειμμάτων βιομάζας, εκτός από το σιτάρι και το κριθάρι, που προβλέπεται να εμφανίσουν αύξηση των τόνων υπολειμμάτων βιομάζας.

	Μέση Καθαρή Βιομάζα (tn)	Δέσμευση 2% Διαθέσιμης Βιομάζας (tn)	Διαθέσιμη Βιομάζα ανά Ημέρα (tn)
<b>Βαμβάκι</b>	87.927,45	1.758,55	<b>4,94</b>
<b>Καλαμπόκι</b>	33.422,86	668,46	<b>1,88</b>
<b>Σιτηρά</b>	46.854,59	937,09	<b>2,63</b>
<b>Κριθάρι</b>	27.763,51	555,27	<b>1,56</b>
<b>Σύνολο</b>	<b>195.968,41</b>	<b>3.919,37</b>	<b>11,01</b>

Πίνακας 8.6.1: Υπολογισμός του 2% τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιεργειών ανά έτος και ανά ημερήσιας αξιοποίησης.

Με βάση τη διαθέσιμη βιομάζα των 11,01 τόνων υπολειμμάτων από τις καλλιέργειες βαμβακιού, καλαμποκιού, σιτηρών και κριθαριού, προτείνεται η δημιουργία ενός βιοεργοστασίου για την παραγωγή βιοαιθανόλης. Αυτό το βιοεργοστάσιο θα εκμεταλλεύεται τα υπολείμματα βιομάζας για την παραγωγή βιοκαυσίμου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εναλλακτική πηγή ενέργειας για αυτοκίνητα.

Η εκτίμηση της παραγωγής βιοαιθανόλης από 11,01 τόνους υπολειμμάτων βιομάζας ανά ημέρα δείχνει ότι μπορεί να παραχθούν περίπου 3,5 τόνοι βιοαιθανόλης, εφόσον εφαρμοστούν οι κατάλληλες διαδικασίες μετατροπής. Η χρήση της βιοαιθανόλης συμβάλλει στη μείωση της εξάρτησης από παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα και στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Επιπλέον, η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή οργανικών λιπασμάτων μέσω διαδικασιών κομποστοποίησης ή χύδηνας. Η εκτίμηση της παραγωγής οργανικών λιπασμάτων από 11 τόνους υπολειμμάτων βιομάζας ανά ημέρα είναι περίπου 3,22 τόνοι. Αυτά τα οργανικά λιπάσματα μπορούν να βελτιώσουν την εδαφική υγεία και την παραγωγικότητα των καλλιεργειών, προσφέροντας ταυτόχρονα φυσικά στοιχεία και θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος.

Η δημιουργία ενός βιοεργοστασίου που συνδυάζει την παραγωγή βιοαιθανόλης με την παραγωγή οργανικών λιπασμάτων θα μπορούσε να προσφέρει σημαντικά οφέλη, συμβάλλοντας στη βιωσιμότητα και την αποδοτικότητα των αγροτικών πρακτικών, ενώ ταυτόχρονα μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα.

## Κεφάλαιο 9. Συμπεράσματα-Προτάσεις

### 9.1 Συμπεράσματα της Μελέτης για την Εκτίμηση Διαθέσιμης Βιομάζας στον Νομό Καρδίτσας

Η παρούσα μελέτη στόχευσε στην εκτίμηση της διαθέσιμης βιομάζας από γεωργικά υπολείμματα στον νομό Καρδίτσας, χρησιμοποιώντας δορυφορικές τεχνικές και γεωχωρική ανάλυση. Μέσα από μια σειρά επιστημονικών διαδικασιών και υπολογισμών, επιτεύχθηκαν σημαντικά συμπεράσματα που μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της διαχείρισης των γεωργικών υπολειμμάτων και στην προώθηση της βιομάζας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

Η εκτίμηση της έκτασης των καλλιεργειών βασίστηκε σε δορυφορικές εικόνες με χωρική ανάλυση 10x10m, εξασφαλίζοντας υψηλή ακρίβεια. Η εφαρμογή μασκών για την απομόνωση της μελετώμενης περιοχής και την αφαίρεση των υδάτινων επιφανειών βελτίωσε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων, διασφαλίζοντας ότι οι υπολογισμοί αφορούσαν αποκλειστικά τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Η χρήση Δεικτών Βλάστησης και ειδικότερα του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υγρασίας (NDMI) αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική στην εκτίμηση των ποσοστών υγρασίας κατά την περίοδο συγκομιδής. Η σύγκριση των τιμών του NDMI με τους χάρτες κατηγοριοποίησης καλλιεργειών, προερχόμενους από φασματική ανάλυση και πανοραμικές εικόνες, επέτρεψε τη σχετικά ακριβή εκτίμηση της υγρασίας για κάθε τύπο καλλιέργειας.

Η αφαίρεση των ποσοστών υγρασίας από τα συνολικά γεωργικά υπολείμματα οδήγησε σε ακριβείς υπολογισμούς της καθαρής βιομάζας ανά στρέμμα. Οι συντελεστές τόνου/στρέμμα για κάθε καλλιέργεια, που προήλθαν από την ανάλυση των δεδομένων και τη βιβλιογραφία, χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό της πραγματικής διαθέσιμης βιομάζας χωρίς υγρασία.

Η σταδιακή μείωση της διαθέσιμης βιομάζας, όπως προκύπτει από την πολυετή ανάλυση των δεδομένων, παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τη διαχείριση των γεωργικών υπολειμμάτων. Η διαχρονική παρακολούθηση και η χωρική ανάλυση μπορούν να βοηθήσουν στη λήψη αποφάσεων για τη βελτιστοποίηση της συλλογής και αξιοποίησης της βιομάζας. Επιπλέον, τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίαση πολιτικών που προάγουν τη βιώσιμη διαχείριση των αγροτικών εκτάσεων και την ανάπτυξη της βιομάζας ως ανανεώσιμη

πηγή ενέργειας.

Η μελέτη επιβεβαίωσε την αξία της Τηλεπισκόπησης και των δεικτών υγρασίας στη γεωργική έρευνα, προσφέροντας νέα εργαλεία και μεθόδους για την εκτίμηση της βιομάζας και τη βελτίωση της διαχείρισης των καλλιεργειών. Οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν μπορούν να επεκταθούν και σε άλλες περιοχές και καλλιέργειες, παρέχοντας αξιόπιστα δεδομένα για την αξιοποίηση της βιομάζας σε ευρύτερη κλίμακα.

## **9.2 Προκλήσεις στην Εφαρμογή Δοκιμών Κατηγοριοποίησης για την Εκτίμηση Βιομάζας**

Η εφαρμογή δοκιμών κατηγοριοποίησης για την βελτιστοποίηση της μελέτης συνάντησε αρκετές δυσκολίες. Ο μεγάλος όγκος των δεδομένων και η εκτενής περιοχή μελέτης προκάλεσαν προβλήματα στη διαχείριση και επεξεργασία τους. Η έλλειψη κατάλληλου λογισμικού και επαρκών μέσων επεξεργασίας επιδείνωσε την κατάσταση, καθιστώντας τη διαχείριση των αλγορίθμων ιδιαίτερα δύσκολη.

Η χρήση πολλών διαφορετικών λογισμικών για την τροποποίηση των δεδομένων αποδείχθηκε χρονοβόρα και επιρρεπής σε σφάλματα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, γεγονός που επηρέασε αρνητικά την τελική εφαρμογή. Επιπλέον, παρατηρήθηκαν διαφορές στα αποτελέσματα, όπως στους δείκτες και στην κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών, παρά τη χρήση των ίδιων δεδομένων.

Η εύρεση δεδομένων με ικανοποιητική χωρική ανάλυση αποτέλεσε επίσης πρόβλημα, κυρίως λόγω των ισχυρών νεφοκαλύψεων κατά τις ημερομηνίες που επιλέχθηκαν για τη μελέτη. Η έλλειψη βιβλιοθήκης φασματικών προφίλ καλλιεργειών μας ανάγκασε να βασιστούμε σε χειροκίνητη αξιολόγηση, γεγονός που αύξησε τον χρόνο επεξεργασίας και την πιθανότητα σφαλμάτων. Επιπλέον, η αδυναμία επιτόπιας επικύρωσης των δεδομένων λόγω έλλειψης εξοπλισμού και περιορισμένης παρουσίας στην περιοχή κατά τους μήνες μελέτης, μας υποχρέωσε να χρησιμοποιήσουμε πανοραμικές φωτογραφίες από Google για την επικύρωση των καλλιεργειών.

Η έλλειψη δεδομένων από δημόσιους φορείς για την ολοκληρωτική επικύρωση της μελέτης αποτέλεσε σημαντικό περιορισμό. Η μη ύπαρξη επίσημων δεδομένων για όλα τα έτη μελέτης περιορίζει την ικανότητα πλήρους και ακριβούς επικύρωσης των αποτελεσμάτων και την ενίσχυση της αξιοπιστίας των συμπερασμάτων. Υπήρξαν αστοχίες στον υπολογισμό της έκτασης δύο καλλιεργειών και κατ' επέκταση της διαθέσιμης βιομάζας για εκμετάλλευση. Η

εφαρμογή μπορεί να βελτιωθεί με την προσθήκη περισσότερων κατηγοριοποιήσεων, ώστε να επιτευχθεί η υποδιαίρεση των πιθανών άλλων καλλιεργειών που ενδέχεται να περιλαμβάνονται λόγω παρόμοιου φασματικού προφίλ.

Η ολοκλήρωση της μελέτης υπήρξε καθυστερημένη λόγω των μεγάλων χρόνων επεξεργασίας των λογισμικών και των αστοχιών των αλγορίθμων λόγω υπερφόρτωσης. Οι πολύωρες διαδικασίες επεξεργασίας δεδομένων και οι αποτυχίες των αλγορίθμων δημιούργησαν πρόσθετες προκλήσεις στην επίτευξη των αρχικά ορισμένων στόχων της μελέτης.

### **9.3 Επέκταση και Βελτίωση της Μεθοδολογίας για την Εκτίμηση Βιομάζας**

Η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης προσφέρουν ένα ισχυρό πλαίσιο για την εκτίμηση της διαθέσιμης βιομάζας από γεωργικά υπολείμματα και μπορούν να επεκταθούν σε άλλες περιοχές με διαφορετικές γεωγραφικές και κλιματικές συνθήκες. Για την περαιτέρω βελτίωση και επέκταση των εφαρμογών, οι παρακάτω προτάσεις είναι σημαντικές:

**Χρήση Υψηλότερης Χωρικής Ανάλυσης Εικόνων:** Η εφαρμογή εικόνων με υψηλότερη χωρική ανάλυση μπορεί να βελτιώσει σημαντικά την ακρίβεια της ανάλυσης. Οι πιο λεπτομερείς εικόνες θα επιτρέψουν την πιο ακριβή εκτίμηση της διαθέσιμης βιομάζας και των γεωργικών υπολειμμάτων, μειώνοντας τα σφάλματα που σχετίζονται με τη χαμηλότερη ανάλυση.

**Επικύρωση Από Το Πεδίο με Φασματικές Μετρήσεις:** Η ακριβής επικύρωση των αποτελεσμάτων είναι κρίσιμη για τη βελτίωση της ακρίβειας. Η χρήση φασματικών μετρήσεων μέσω ειδικών μηχανημάτων ή UAV (Unmanned Aerial Vehicles) μπορεί να βελτιώσει την ποιότητα των δεδομένων. Τα UAV, ειδικότερα, προσφέρουν την ικανότητα κάλυψης μεγάλων εκτάσεων και βελτίωσης της δειγματοληψίας και της κατηγοριοποίησης.

**Χρήση Ταχύτερων Λογισμικών και Υπολογιστικών Μηχανημάτων:** Η αξιοποίηση πιο αποδοτικών λογισμικών και υπολογιστικών μηχανημάτων είναι απαραίτητη για την ταχύτερη επεξεργασία των δεδομένων. Η ταχύτερη ανάλυση θα συνεισφέρει στη βελτίωση της αποδοτικότητας της διαδικασίας, μειώνοντας τον χρόνο που απαιτείται για την ολοκλήρωση των μελετών.

**Αύξηση Κόστους και Πόρων:** Οι προτεινόμενες βελτιώσεις συνεπάγονται αύξηση του κόστους χρήσης και μελέτης. Η εφαρμογή υψηλότερης χωρικής ανάλυσης, η χρήση προηγμένων τεχνολογιών επικύρωσης και η ανάγκη για γρήγορη επεξεργασία δεδομένων απαιτούν σημαντικούς πόρους. Παρά την αύξηση του κόστους, οι επενδύσεις είναι αναγκαίες

για την προώθηση της βιώσιμης γεωργίας και της βιομάζας ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Αυτές οι επενδύσεις θα οδηγήσουν σε πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα, βελτιώνοντας τη διαχείριση των γεωργικών εκτάσεων και την αξιοποίηση των γεωργικών υπολειμμάτων.

Συνολική Σημασία της Μελέτης: Τα αποτελέσματα της μελέτης υπογραμμίζουν την αξία της χρήσης προηγμένων δορυφορικών τεχνικών και γεωχωρικής ανάλυσης για την εκτίμηση της διαθέσιμης βιομάζας και την βιώσιμη διαχείριση των γεωργικών υπολειμμάτων. Η συνεχής εξέλιξη των τεχνολογιών και η εφαρμογή τους σε ευρύτερες περιοχές θα συμβάλει σημαντικά στην αποτελεσματική διαχείριση των γεωργικών πόρων και στην προώθηση της αειφόρου γεωργίας. Με την υιοθέτηση των παραπάνω προτάσεων, η μεθοδολογία μπορεί να βελτιωθεί και να επεκταθεί για να προσφέρει ακόμα πιο ακριβή και χρήσιμα αποτελέσματα για την εκτίμηση της βιομάζας και την ανάπτυξη βιώσιμων στρατηγικών διαχείρισης γεωργικών υπολειμμάτων.



# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

## ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- *Aleem Khaliq /Lorenzo Comba/ Lorenzo Comba/ Alessandro Biglia /Davide Ricauda Aimonino /Marcello Chiaberge/ Paolo Gay*, Comparison of Satellite and UAV-Based Multispectral Imagery for Vineyard Variability Assessment, *Remote Sens.* 2019, 11.
- *Atte Harjanne/ Janne M. Korhonen*, Abandoning the concept of renewable energy, *Energy Policy*, Volume 127, April 2019, Pages 330-340.
- *Anis Gasmi/ Cécile Gomez/ Abdelghani Chehbouni/ Driss Dhiba/ Hamza Elfil*, Satellite Multi-Sensor Data Fusion for Soil Clay Mapping Based on the Spectral Index and Spectral Bands Approaches, *Remote Sens.* 2022, 14(5), 1103.
- *Animesh Chandra Das/ Ryoza Noguchi /Tofael Ahamed*, Integrating an Expert System, GIS, and Satellite Remote Sensing to Evaluate Land Suitability for Sustainable Tea Production in Bangladesh, *Remote Sens.* 2020, 12.
- *Benedetto Nastasi / Meysam Majidi Nezhad*, GIS and Remote Sensing for Renewable Energy Assessment and Maps, *Energies* 2022, 15, 14.
- *Bernd Resch/ Günther Sagl/ Tobias Törnros/ Andreas Bachmaier/ Andreas Bachmaier/ Jan-Bleicke Eggers/ Sebastian Herkel/ Sattaya Narmsara/ Hartmut Gündra*, GIS-Based Planning and Modeling for Renewable Energy: Challenges and Future Research Avenues, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2014.
- *Bing Lu/ Yuhong He*, Species classification using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-acquired high spatial resolution imagery in a heterogeneous grassland, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 128, June 2017, Pages 73-85.
- *Christine Pohl/ John van Genderen*, *Remote Sensing Image Fusion: A Practical Guide*, CRC PRESS, 2017.
- *Daniel Bekele/ Agumassie Gela/ Daniel Mengistu/ Andargachew Derseh*, Remote Sensing Based Soil Moisture Estimation for Agricultural Productivity: A note from Lake Tana Sub Basin, NW Ethiopia, 19 September 2022.
- *Dimitris Kaimaris/ Petros Patias/ Giorgos Mallinis /Charalampos Georgiadis*, Data Fusion of Scanned Black and White Aerial Photographs with Multispectral Satellite Images, *Sci* 2020, 2(2), 29.
- *Dongliang Fan/ Xiaoyun Su/ Bo Weng/ Tianshu Wang/ Feiyun Yang I*, Research Progress on Remote Sensing Classification Methods for Farmland Vegetation, *AgriEngineering* 2021, 3, 971–989.
- *Dongwoo Kim/ Jaejin Yu/ Jeongho Yoon/ Seongwoo Jeon/ Seungwoo Son*, Comparison of Accuracy of Surface Temperature Images from Unmanned Aerial Vehicle and Satellite for Precise Thermal Environment Monitoring of Urban Parks Using In Situ Data, *Remote Sens.* 2021, 13.
- *Emilien Alvarez-Vanhard/ Thomas Corpetti/ Thomas Houet*, UAV & satellite synergies for optical remote sensing applications: A literature review, *Science of Remote Sensing* Volume 3, June 2021.
- *E. Medina-Lopez/ D. McMillan/ Lazic/ Hart/ S. Zen/ A. Angeloudis/ E. Bannon/ J. Browell/ S. Dorling/ R.M. Dorrell/ R. Forster/ C. Old/ G.S. Payne/ G. Porter/ A.S. Rabaneda/ B. Sellar/ E. Tapoglou/ N. Trifonova/ I.H. Woodhouse/ A. Zampollo*, Satellite data for the

offshore renewable energy sector: Synergies and innovation opportunities, *Remote Sensing of Environment* Volume 264, October 2021.

- *E.S. Mohamed/ Abdelraouf Ali/ Mohammed El-Shirbeny/ Khaled Abutaleb/ Sameh M. Shaddad*, Mapping soil moisture and their correlation with crop pattern using remotely sensed data in arid region, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* Volume 23, Issue 3, December 2020, Pages 347-353.
- *Fernando Ramos Martins*, Assessment of Renewable Energy Resources with Remote Sensing, *Remote Sens.* 2020, 12.
- *Flor Alvarez-Taboada/ Claudio Paredes / Julia Julián-Pelaz*, Mapping of the Invasive Species *Hakea sericea* Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and WorldView-2 Imagery and an Object-Oriented Approach, *Remote Sens.* 2017, 9, 913.
- *Gordana Kaplan / Ugur Avdan*, Sentinel1 and Sentinel2 Data Fusion for Mapping and Monitoring Wetlands, 2018.
- *Giorgio Impollonia/ Michele Croci/ Enrico Martani/ Andrea Ferrarini/ Jason Kam/ Luisa M. Trindade/ John Clifton-Brown/ Stefano Amaducci*, Moisture content estimation and senescence phenotyping of novel *Miscanthus* hybrids combining UAV-based remote sensing and machine learning, Volume14, Issue6 June 2022 Pages 639-656.
- *Hannah Ritchie/ Max Roser/ Pablo Rosado*, Renewable energy sources are growing quickly and will play a vital role in tackling climate change, *Our World in Data*, 2020.
- *Hamed Adab/ Renato Morbidelli/ Carla Saltalippi/ Mahmoud Moradian/ Gholam Abbas Fallah Ghalhari*, Machine Learning to Estimate Surface Soil Moisture from Remote Sensing Data, *Water* 2020, 12(11).
- *Jean-Pierre Wigneron/ André Chanzy †/ Jean-Christophe Calvet ‡/ Nadine Bruguier*, A simple algorithm to retrieve soil moisture and vegetation biomass using passive microwave measurements over crop fields, *Remote Sensing of Environment*, Volume 51, Issue 3, March 1995, Pages 331-341.
- *Jiale Jiang/ Qiaofeng Zhang/ Wenhui Wang/ Yapeng Wu/ Hengbiao Zheng/ Xia Yao/ Yan Zhu/ Weixing Cao/ Tao Cheng*, MACA: A Relative Radiometric Correction Method for Multiflight Unmanned Aerial Vehicle Images Based on Concurrent Satellite Imagery, Publisher: IEEE, volume 60.
- *José Mauricio Galeana Pizaña/ Juan Manuel Núñez Hernández/Nirani Corona Romero*, Remote Sensing-Based Biomass Estimation, *Environmental Applications of Remote Sensing*, 2015.
- *Joan-Cristian Padró/ Francisco-Javier Muñoz/ Luis Ángel Ávila/ Lluís Pesquer/Xavier Pons*, Radiometric Correction of Landsat-8 and Sentinel-2A Scenes Using Drone Imagery in Synergy with Field Spectroradiometry, *Remote Sens.* 2018, 10.
- *Ibrahim Dincer*, Renewable energy and sustainable development: a crucial review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 4, Issue 2, June 2000, Pages 157-175.
- *Isaac Segovia Ramírez/ Jesús Rafael Parra Chaparro/ Fausto Pedro García Márquez*, unmanned aerial vehicle integrated real time kinematic in infrared inspection of photovoltaic panels, *Measurement*, Volume 188, January 2022.
- *Iftikhar Ali/ Felix Greifeneder/ Jelena Stamenkovic/ Maxim Neumann/ Claudia Notarnicola*, Review of Machine Learning Approaches for Biomass and Soil Moisture Retrievals from Remote Sensing Data, *Remote Sens.* 2015, 7.
- *Kamal Jain/ Akshay Pandey*, Calibration of Satellite Imagery with Multispectral UAV Imagery, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Volume 49, pages 479–490.
- *Kaixu Bai/ NiBin Chang*, Multisensor data fusion and machine learning for environmental remote sensing, CRC PRESS, 2018.

- Kirby Calvert/ Warren Mabee, Spatial Analysis of Biomass Resources within a Socio-Ecologically Heterogeneous Region: Identifying Opportunities for a Mixed Feedstock Stream, ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2014.
- Lalit Kumar/ Anirudh Singh, Remote Sensing and GIS Techniques for the Assessment of Biofuel and Biomass Energy Resources, pp 283–294, 2013.
- Laura Pastonchi/ Salvatore Filippo Di Gennaro/ Piero Toscano/ Alessandro Matese, Comparison between satellite and ground data with UAV-based information to analyse vineyard spatio-temporal variability, Vol. 54 No. 4 (2020): OENO One.
- Luis Ramirez Camargo/Gernot Stoeglehner, Spatiotemporal modelling for integrated spatial and energy planning, Energy, Sustainability and Society volume 8, Article number: 32 (2018).
- M.R. Elkadeem/ Ali Younes/ Swellam W. Sharshir/ Pietro Elia Campana/ Shaorong Wang, Sustainable siting and design optimization of hybrid renewable energy system: A geospatial multi-criteria analysis, Applied Energy Volume 295, 1 August 2021.
- Marco Sozzi/ Ahmed Kayad/ Francesco Marinello/ James Taylor/ Bruno Tisseyre, Comparing vineyard imagery acquired from Sentinel-2 and Unmanned Aerial Vehicle (UAV) platform, Vol. 54 No. 2 (2020): OENO One.
- Marie-Julie Lambert/ Pierre C. Sibiry Traoré/ Xavier Blaes/ Philippe Baret/ Pierre Defourny, Estimating smallholder crops production at village level from Sentinel-2 time series in Mali's cotton belt, Remote Sensing of Environment Volume 216, October 2018, Pages 647-657.
- Marcus Vinicius Coelho Vieira da Costa/ Osmar Luiz Ferreira de Carvalho/ Alex Gois Orlandi/ Issao Hirata/ Anesmar Olineo de Albuquerque/ Felipe Vilarinho e Silva/ Renato Fontes Guimarães/ Roberto Arnaldo Trancoso Gomes/ Osmar Abílio de Carvalho Júnior, Remote Sensing for Monitoring Photovoltaic Solar Plants in Brazil Using Deep Semantic Segmentation, Energies 2021, 14, 2960.
- Maitiniyazi Maimaitijiang/ Abduwasit Ghulam/ Paheding Sidike/ Sean Hartling/ Matthew Maimaitiyiming/ Kyle Peterson/ Ethan Shavers/ Jack Fishman/ Jim Peterson/ Suhas Kadam/ Joel Burken/ Felix Fritschi, Unmanned Aerial System (UAS)-based phenotyping of soybean using multi-sensor data fusion and extreme learning machine, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 134, December 2017, Pages 43-58.
- Marie-Julie Lambert/ Pierre C. Sibiry Traoré/ Xavier Blaes/ Philippe Baret/ Pierre Defourny, Estimating smallholder crops production at village level from Sentinel-2 time series in Mali's cotton belt, Remote Sensing of Environment Volume 216, October 2018, Pages 647-657.
- Michael Swoish/ Jose F. Da Cunha Leme Filho/ Mark S. Reiter/ James B. Campbell/ Wade E. Thomason, Comparing satellites and vegetation indices for cover crop biomass estimation, Computers and Electronics in Agriculture Volume 196, May 2022.
- Mohammad Subzar Malik/ J. P. Shukla, ESTIMATION OF SOIL MOISTURE BY REMOTE SENSING AND FIELD METHODS: A REVIEW, July 2014.
- Nortzailawatti Mohd Noor/ Alias Abdullah/ Mazlan Hashim, Remote sensing UAV/drones and its application for urban areas: a review, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 169, 2018.
- S. Nebikera/ A. Annena/ M. Scherrerb/ D. Oeschc, A LIGHTWEIGHT MULTISPECTRAL SENSOR FOR MICRO UAV – OPPORTUNITIES FOR VERY HIGHRESOLUTION

- AIRBORNE REMOTE SENSING, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008.
- *Noam Levin*, Fundamentals of Remote Sensing, November 1999.
  - *Pia Addabbo/ Antonio Angrisano/ Mario Luca Bernardi/ Graziano Gagliarde/ Alberto Mennella/ Marco Nisi/ Silvia Ullo*, A UAV infrared measurement approach for defect detection in photovoltaic plants, Publisher: IEEE.
  - *Robert A. Schowengerdt*, Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing, 2007.
  - *Salem Issa/ Basam Dahy /Taoufik Ksiksi/ Nazmi Saleous*, A Review of Terrestrial Carbon Assessment Methods Using Geo-Spatial Technologies with Emphasis on Arid Lands, Remote Sens. 2020, 12(12).
  - *Satya Narayana Pradhan/ Mohsina Anjum/ Pradesh Jena*, Estimation of soil moisture content by remote sensing methods: A review, Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 2018.
  - *Sunny Vaish/ Gagandeep Kaur/ Naveen Kumar Sharma/ Nikhil Gakkhar*, Estimation for Potential of Agricultural Biomass Sources as Projections of Bio-Briquettes in Indian Context, Sustainability 2022, 14, 5077.
  - *Scott Trimble*, The Vast Applications for Spectroscopy in Plant Research, CID BIO-SCIENCE, 2020.
  - *Tianhao Mu/ Guiwei Liu/ Xiguang Yang/ Ying Yu*, Soil-Moisture Estimation Based on Multiple-Source Remote-Sensing Images, Remote Sens. 2023, 15.
  - *Vilem Pechane/ Palacký Ales Vavra/ Martina Hovorkova/ Jan Brus/ Helena Kilianova*, Analyses of moisture parameters and biomass of vegetation cover in southeast Moravia, International Journal of Remote Sensing Volume 35, 2014 - Issue 3.
  - *Xiang Shi/Wenting Han/ Ting Zhao/ Jiandong Tang*, Decision Support System for Variable Rate Irrigation Based on UAV Multispectral Remote Sensing, Sensors 2019, 19(13).
  - *Yichen Yang/ Xuhui Lee*, Four-band Thermal Mosaicking: A New Method to Process Infrared Thermal Imagery of Urban Landscapes from UAV Flights, Remote Sens. 2019, 11.
  - *Yan Gong/ Kaili Yang/ Zhiheng Lin/ Shenghui Fang/ Xianting Wu/ Renshan Zhu/ Yi Peng*, Remote estimation of leaf area index (LAI) with unmanned aerial vehicle (UAV) imaging for different rice cultivars throughout the entire growing season, Plant Methods volume 17, Article number: 88 (2021).
  - *Zijun Tang†/ Jinjin Guo †/ Youzhen Xiang/ Xianghui Lu/ Qian Wang/ Haidong Wang/ Minghui Cheng/ Han Wang/ Xin Wang/ Jiaqi An/ Ahmed Abdelghany/ Zhijun Li/ Fucang Zhang*, Estimation of Leaf Area Index and Above-Ground Biomass of Winter Wheat Based on Optimal Spectral Index, Agronomy 2022, 12.
  - *Jingan Wu / Liupeng Lin / Chi Zhang / Tongwen Li / Xiao Cheng / Fang Nan*, Generating Sentinel-2 all-band 10-m data by sharpening 20/60-m bands: Ahierarchical fusion network, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 196 2023.
  - National Aeronautics and Space Administration (NASA), MODIS
  - European Space Agency (ESA), Scatterometer
  - United States Geological Survey (USGS), Landsat
  - European Space Agency (ESA), Sentinel-2
  - NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

## ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Βασιλάκη Δήμητρα, Διεύρυνση συνδυασμένης χρήσης δεδομένων SAR με ετερογενή τοπογραφικά δεδομένα μέσω συνταύτισης μη συναρτησιακών καμπυλών, ΕΜΠ, 2013.
- Νίκος Κούτσιας, Τηλεπισκόπηση ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ, 2018.
- ΤΜΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
- Γεωργία Μάνου, Αξιοποίηση της βιομάζας από υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών για την παραγωγή ενέργειας στην περιφέρεια της Κεντρικής Μακεδονίας, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο, 2018.
- Ισαάκ Παρχαρίδης, Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, 2015.
- Κωνσταντίνος Γ. Περάκης / Ιωάννης Ν. Φαρασλής / Αθανάσιος Κ. Μουσιάδης, Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και βοηθήματα, 2015.
- Δρ. Κωνσταντίνος Ποϊραζίδης/ Βούλγαρης Μ. Δ./ Κεφαλάς Γ. /Λορίλια Ρ. Σ., Βασικές Αρχές της Τηλεπισκόπησης, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ, 2013.
- Θεοφάνης Β. Σβίγγος, Βαθμονόμηση Κάμερας με τη Χρήση των Σημείων Φυγής
- στις Τρεις Διαστάσεις, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ, Επεξεργασία σήματος στις επικοινωνίες και τα πολυμέσα, 2013.
- Μάριος Σγούρος, Αποτύπωση θαλάσσιου πυθμένα του όρμου Αρτέμιδος Ανατολικής Αττικής μέσω τεχνικών ταξινόμησης δορυφορικών πολυφασματικών εικόνων σε συνδυασμό με μετρήσεις πεδίου, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, 2021.
- Ηρα Ζ. Σταματούκου, ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΗΣΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ SENTINEL 2 ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΚΛΑΣΜΑΤΙΚΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (FVC), Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας 2019.
- Βασίλη Τσαγκάρη, Μέθοδοι Σύνθεσης Πληροφορίας σε Πολυφασματικά Σήματα, Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2005.
- ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ Δ. ΞΥΝΟΓΙΑΛΑΣ, Βαθμονόμηση Αναλογικών Μηχανών Αεροφωτογράφησης με τη Χρήση Πεδίου Ελέγχου, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΕΜΠ, 2010.
- Ντόντης Παντελεήμων"Εκτίμηση Πυκνότητας της Διαθέσιμης Βιομάζας Αξιοποιώντας την Τηλεπισκόπηση με Χρήση Μηχανικής Μάθησης, Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

## ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [https://ptsmi.co.id/cfind/source/files/smi\\_insight\\_q3\\_2017\\_eng.pdf](https://ptsmi.co.id/cfind/source/files/smi_insight_q3_2017_eng.pdf)
- [https://www.researchgate.net/figure/Flowchartofthetwotypesofmethodsusedfortheassesmentofbioenergypotential\\_fig1\\_336980600](https://www.researchgate.net/figure/Flowchartofthetwotypesofmethodsusedfortheassesmentofbioenergypotential_fig1_336980600)
- [https://www.google.com/search?q=Bioenergy+and+gis+remote+sensing&tbm=isch&ved=2ahUKEwihsefmzor6AhWX57sIHdURDcQ2cCegQIABAA&oq=Bioenergy+and+gis+remote+sensing&gs\\_lcp=CgNpbWcQAzoECAAAQzoGCAAQHhAHOGQIIxA nOgQIABAEogQIABATOGgIABAEAgQEzoGCAAQHhATUIQJWM9xYN9zaAZ wAHgAgAGaBIgB7iSSAQgwLjMyLjUtMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwA EB&sclient=img&ei=XLccY6GTCZfP7 UP1aO8uA4&bih=859&biw=1303&hl=el#imgrc=QP1e8RiBI8wkQM](https://www.google.com/search?q=Bioenergy+and+gis+remote+sensing&tbm=isch&ved=2ahUKEwihsefmzor6AhWX57sIHdURDcQ2cCegQIABAA&oq=Bioenergy+and+gis+remote+sensing&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECAAAQzoGCAAQHhAHOGQIIxA nOgQIABAEogQIABATOGgIABAEAgQEzoGCAAQHhATUIQJWM9xYN9zaAZ wAHgAgAGaBIgB7iSSAQgwLjMyLjUtMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwA EB&sclient=img&ei=XLccY6GTCZfP7 UP1aO8uA4&bih=859&biw=1303&hl=el#imgrc=QP1e8RiBI8wkQM)

- [https://www.researchgate.net/figure/illustratesalargebioenergysystemshowingmanyofthekeymaterialandenergyflows\\_fig1\\_276278919](https://www.researchgate.net/figure/illustratesalargebioenergysystemshowingmanyofthekeymaterialandenergyflows_fig1_276278919)
- [https://www.eeducation.psu.edu/natureofgeoinfo/c8\\_p11.html](https://www.eeducation.psu.edu/natureofgeoinfo/c8_p11.html)
- <https://eos.com/crop-management-guide/sunflower-growth-stages/>
- <https://eos.com/crop-management-guide/wheat-growth-stages/>
- <https://eos.com/crop-management-guide/corn-growth-stages/>
- <https://eos.com/crop-management-guide/barley-growth-stages/>
- <https://eos.com/crop-management-guide/cotton-growth-stages/>
- <https://www.satshot.com/about-imagery/>
- <https://www.geo-informatie.nl/courses/grs20306/lectures/03spectralsignaturesparta/03spectralsignaturesparta15.htm>
- [https://www.researchgate.net/figure/Spectral-signatures-for-all-crops-organized-by-number-of-days-after-planting-a\\_fig4\\_260061613](https://www.researchgate.net/figure/Spectral-signatures-for-all-crops-organized-by-number-of-days-after-planting-a_fig4_260061613)
- [https://www.researchgate.net/figure/Spectral-signatures-for-all-crops-organized-by-number-of-days-after-planting-a\\_fig4\\_260061613](https://www.researchgate.net/figure/Spectral-signatures-for-all-crops-organized-by-number-of-days-after-planting-a_fig4_260061613)
- [https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special\\_issues/msdf\\_rs](https://www.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/msdf_rs)
- <http://archive.eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/DIB229/camera%20calibration.pdf>
- <https://www.youtube.com/watch?v=iu7ZOcXIZkY>
- [https://www.researchgate.net/publication/335248878\\_Exploring\\_Renewable\\_Energy\\_Resources\\_Using\\_Remote\\_Sensing\\_and\\_GIS-A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/335248878_Exploring_Renewable_Energy_Resources_Using_Remote_Sensing_and_GIS-A_Review)
- [https://www.qgistutorials.com/el/docs/3/origin\\_destination\\_matrix.html](https://www.qgistutorials.com/el/docs/3/origin_destination_matrix.html)
- <https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?useExisting=1>
- <https://artmotoolbox.com/>
- <https://www.indexdatabase.de/db/a-single.php?id=22>
- <http://www.eo4geo.eu/training/sentinel-2-data-and-vegetation-indices/>
- <https://metergroup.com/education-guides/the-researchers-complete-guide-to-leaf-area-index-lai/>
- <https://www.nv5geospatialsoftware.com/docs/broadbandgreenness.html#Wide>
- <https://freader.ekt.gr/eadd/index.php?doc=48129&lang=el#p=101>
- [http://aggregate.opekepe.gr/?triggerSelect=year&queryType=fytiko&year=2018&perifereia=5&nomos=0501&dimos=&fytko\\_eidos=31&fytko\\_poikilia=](http://aggregate.opekepe.gr/?triggerSelect=year&queryType=fytiko&year=2018&perifereia=5&nomos=0501&dimos=&fytko_eidos=31&fytko_poikilia=)

- <https://penteli.meteo.gr/stations/karditsatown/NOAAPRYR.TXT>
- <https://penteli.meteo.gr/stations/karditsatown/>
- <https://coinmarketcap.com/>