



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

*"Εκτίμηση Πυκνότητας της Διαθέσιμης Βιομάζας Αξιοποιώντας την Τηλεπισκόπηση με Χρήση
Μηχανικής Μάθησης"*

"Estimating the Density of Available Biomass Using Remote Sensing with Machine Learning"

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Ντόντης Παντελεήμων (Α.Μ.2003)

Επιβλέπων :

Εμμανουήλ Οικονόμου, Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Επιτροπή αξιολόγησης

Λάζαρος Γραμματικόπουλος,
Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

Αναστάσιος Λ. Κεσίδης,
Καθηγητής ΠΑ.Δ.Α.

ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2024

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Ντόντης Παντελεήμων, με αριθμό μητρώου 2003 φοιτητής 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 αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

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

Ο Δηλών



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στην μελέτη της διαθέσιμης βιομάζας σε αγροτικές καλλιέργειες, με έμφαση στις καλλιέργειες καλαμποκιού, βαμβακιού, κριθαριού και σιτηρών, χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα και τεχνικές Τηλεπισκόπησης. Η μελέτη πραγματοποιήθηκε στη περιοχή της Καρδίτσας λόγω έλλειψη άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και λόγω του μεγέθους των διαθέσιμων αγροτικών εκτάσεων.

Η μελέτη εξετάζει την διαθεσιμότητα βιομάζας για την περίοδο από το 2018 έως το 2022 με απομακρυσμένη καταγραφή- κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών με μεθόδους δειγματοληψίας. Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον δορυφόρο Sentinel-2A, με ανάλυση 10m x 10m, για να υπολογιστούν οι εκτάσεις των καλλιεργειών με βάση τα φασματικά τους προφίλ.

Οι τεχνικές που προσφέρει η Τηλεπισκόπηση μας επέτρεψε να προσαρμόσουμε τα δεδομένα μας στις κατάλληλες συνθήκες χωρικής ανάλυσης για να πραγματοποιηθεί η εφαρμογή του υπολογισμού της διαθέσιμης βιομάζας, όπως η σύντηξη δεδομένων και η απομόνωση της περιοχής μελέτης. Η κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών έγινε με βάση τα φασματικά προφίλ και τις πανοραμικές εικόνες, ενώ η εφαρμογή μάσκας για την απομόνωση της μελετώμενης περιοχής και η αφαίρεση των υδάτινων επιφανειών συνέβαλαν στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

Εφαρμόστηκε υπολογισμός φασματικών δεικτών βλάστησης, υγρασίας και άλλοι που κρίθηκαν απαραίτητοι προς εξέταση για την συγκριτική προσέγγιση των αποτελεσμάτων κατηγοριοποίησης και αποδίδοντας την τάση της υγείας των καλλιεργειών στην πάροδο των ετών. Οι δείκτες βλάστησης επιβεβαίωσαν τα στατιστικά ποσοστά, παρουσιάζοντας ανάλογη μείωση της βλάστησης στις περιοχές των καλλιεργειών.

Επιπλέον σημαντικές κρίθηκαν οι τιμές του Κανονικοποιημένου Δείκτη Διαφοράς Υγρασίας NDMI (Normalized Difference Moisture Index) σε σχέση με τους χάρτες κατηγοριοποίησης καλλιεργειών, ώστε να εξαχθούν τα ποσοστά υγρασίας για κάθε καλλιέργεια σε ετήσια βάση τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της καθαρής βιομάζας ανά στρέμμα.

Τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών εφαρμόστηκαν στα δεδομένα κατηγοριοποίησης ανά έτος, με στόχο την εκτίμηση της διαθέσιμης βιομάζας σε βάθος πενταετίας. Επικυρώθηκαν με στατικές μεθόδους με τα επίσημα δεδομένα των Υπουργείων Αγροτικής Ανάπτυξης και τους φορείς διαχείρισης γεωργικών επιδοτήσεων. Τα αποτελέσματα των δεικτών και της κατηγοριοποίησης έδειξαν μια εν μέρει σταδιακή μείωση της διαθέσιμης βιομάζας στην περιοχή μελέτης αλλά περίσσεια ποσότητα για την αξιοποίηση της για εργοστάσιο βιοαερίου .

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)	10
1.1. Εισαγωγή	11
1.2. Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).....	14
1.2.1. Ηλιακή Ενέργεια.....	14
1.2.2. Αιολική Ενέργεια	15
1.2.3. Υδροηλεκτρική Ενέργεια	16
1.2.4. Γεωθερμική Ενέργεια	17
1.2.5. Ενέργεια από Βιομάζα.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ).....	20
2.1. Εισαγωγή	21
2.2. Ιστορική εξέλιξη Τηλεπισκόπησης	22
2.3. Θεωρητικό πλαίσιο Τηλεπισκόπησης	23
2.4. Κατηγοριοποίηση ανιχνευτών δορυφορικών συστημάτων	26
2.5. Ιστορική αναφορά δορυφορικών συστημάτων	27
2.6. Τεχνικές Σύντηξης δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων (DATA FUSION).....	30
2.7. Τύποι σύντηξης δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων (DATA FUSION).....	33
2.8. Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA).....	37
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (ΓΣΠ-GIS) ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ).....	38
3.1. Εισαγωγή	39
3.2. Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης στις ΑΠΕ	40
3.3. Γεωθερμική Ενέργεια	41
3.4. Αιολική Ενέργεια	41
3.5. Ηλιακή Ενέργεια.....	42
3.6. Ενέργεια από Βιομάζα.....	43
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ. ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	44
4.1. Εισαγωγή	45
4.2. Βιομάζα από υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών	46
4.3. Εκτίμηση Βιομάζας πολυετών καλλιεργειών	49

4.4. Συγκομιδή και συλλογή βιομάζας.....	51
4.5. Παραγωγή, μεταφορά και επεξεργασία βιομάζας.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ) ΣΤΗΝ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΒΙΟΜΑΖΑ.....	54
5.1 Εισαγωγή.....	55
5.2. Μοντελοποίηση βιομάζας.....	57
5.2.1. Μη παραμετρικά μοντέλα.....	57
5.2.2. Μοντέλα παλινδρόμησης.....	58
5.3. Χρήση Τηλεπισκόπησης για μοντελοποίηση βιομάζας.....	58
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ. ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	60
6.1. Βασικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.....	61
6.2. Βασική οικονομική απασχόληση της περιοχής μελέτης.....	62
6.3. Γεωμορφολογία.....	63
6.4. Γεωλογία.....	63
6.5. Μετεωρολογικά στοιχεία – Μετρήσεις Βροχόπτωσης.....	64
6.6. Ανάλυση Επιλογής Περιοχής για Βιώσιμη Ανάπτυξη Βιομάζας.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ζ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΜΕ ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ.....	68
7.1. Συλλογή δεδομένων και εξοπλισμός επεξεργασίας.....	69
7.2. Εξοπλισμός επεξεργασίας δεδομένων.....	69
7.3. Πολυφασματικά και παγχρωματικά δορυφορικά δεδομένα.....	71
7.4. Τεχνική απόδοση μεθοδολογίας εκτίμησης βιομάζας.....	72
7.5. Σύντηξη δορυφορικών δεδομένων Sentinel 2A.....	77
7.6. Τύποι και εφαρμογή δεδομένων με δείκτες βλάστησης υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας.....	77
7.7. Χωρική ανάλυση αποτελεσμάτων δεικτών βλάστησης.....	89
7.8. Εφαρμογή επιλεγμένης κατηγοριοποίησης βιομάζας μέσω ROI -Μηχανική μάθηση.....	90
7.9. Μεθοδολογία κατηγοριοποίησης καλλιεργειών.....	91
7.10. Μεθοδολογία δειγματοληψίας -Επικύρωσης φασματικών προφίλ.....	91
7.11. Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης Καλλιεργειών.....	99
7.12. Επικύρωση αποτελεσμάτων κατηγοριοποίησης.....	107
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Η.....	113
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ.....	113
8.1. Εκτίμηση Ποσοτήτων υγρασίας.....	114
8.1.1. Τρόποι υπολογισμού υγρασίας.....	114
8.1.2. Μέθοδος εφαρμογής υπολογισμού υγρασίας.....	114

8.1.3. Μεθοδολογία υπολογισμού υγρασίας	115
8.1.4. Αποτελέσματα υπολογισμού υγρασίας	116
8.2. Στατιστική ανάλυση εκτίμησης βιομάζας	118
8.2.1. Εκτίμηση γεωργικής βιομάζας από υπολείμματα καλλιεργειών	118
8.3. Αποτελέσματα και Ανάλυση	120
ΚΕΦΑΛΑΙΟ Θ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	124
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	125
ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ-ΑΣΤΟΧΙΕΣ	126
ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ	127
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	128

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η ολοκλήρωση της Διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος του Γεωχωρικές Τεχνολογίες του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής , θα ήταν αδύνατη χωρίς την καταλυτικής φύσης υπόδειξη και καθοδήγηση των Καθηγητών του προγράμματος.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους ανθρώπους που με την καθοδήγηση τους θεωρείτο καταλυτική . Δίδονται ευχαριστίες:

Στον επιβλέπων καθηγητή Εμμανουήλ Οικονόμου , Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός ΑΠΘ, Διδάκτωρ Πανεπιστημίου Southampton Αγγλίας, Αναπληρωτής Καθηγητής για την συμβολή του στην εκπόνηση της διπλωματικής μου διατριβής, την παροχή ελευθερίας κινήσεων και την άψογη συνεργασία μας.

Στους συνεπιβλέπωντες καθηγητές Λάζαρος Γραμματικόπουλος, Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός ΕΜΠ, Διδάκτωρ Μηχανικός ΕΜΠ, Αναπληρωτής Καθηγητής και Αναστάσιος Λ. Κεσίδης ,Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών ΔΠΘ, Διδάκτωρ Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών ΔΠΘ, Αναπληρωτής Καθηγητής για τις χρήσιμες θεωρητικές και τεχνικές τους καθοδηγήσεις καθ' όλη την διάρκεια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος των ακαδημαϊκών ετών της φοίτησής μου.

Στον υπέρτατο Βαθμό θα θέλαμε να ευχαριστήσω τις οικογένειες μου , που ανεπιφύλακτα παρείχαν Παιδεία και Μόρφωση. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την καινούργια μου οικογένειά για την αμέριστη αγάπη και τη στήριξή της. Επίσης μια σειρά προσωπικών φίλων για την πολύμορφη ουσιαστική στήριξη τους , με υπομονή και ενθάρρυνση προσφέραν την ηθική συμπαράσταση για την ολοκλήρωση της Διπλωματικής Εργασίας .

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι τεράστιες προσπάθειες για την επιδίωξη χαμηλών εκπομπών άνθρακα, η παροχή ενέργειας και η τεχνολογική πρόοδος έχουν οδηγήσει σε μεγάλο βαθμό σε έκρηξη χρήσης διαφόρων μορφών Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) με κύριο χαρακτηριστικό την αξιοποίηση κλιματικών φαινομένων που διαδραματίζονται στην πλανήτη όπως η ηλιακή ακτινοβολία, η αιολική ενέργεια, η ενέργεια των ωκεανών, η υδροηλεκτρική ενέργεια και βιομάζα.

Οι ΑΠΕ είναι το κλειδί για ένα ενεργειακό μέλλον, με κύριο στόχο την βιωσιμότητα λόγω των περιβαλλοντικών προβλημάτων του πλανήτη όπως η υπερθέρμανση και αλλαγή κλίματος, των καιρικών συνθηκών του πλανήτη καθώς και την μείωση των ανθρακικών αποθεμάτων. Οι ΑΠΕ αποτελούν τον μηχανισμό για τον μετριασμό μιας κλιματικής καταστροφής. Εναπόκειται σε επενδυτές επιχειρήσεων και οργανισμών σε όλο τον κόσμο να λάβουν δραστικές αποφάσεις σχεδιασμού με γνώμονα τα δεδομένα όταν εξετάζουν το ενδεχόμενο μιας ΑΠΕ.

Οι ΑΠΕ ορίζονται με βάση την αξιοποίηση των φυσικών πόρων του πλανήτη προς όφελος των ανθρώπινων ενεργειακών αναγκών. Οι κατηγορίες των ΑΠΕ καθορίζονται με την εκμετάλλευση της 'πρωτογενούς ενέργειας' και μετατροπή αυτής σε ηλεκτρική, κινητική, θερμική που μπορεί να ανανεωθεί και δεν υπάρχει περιβαλλοντική επίπτωση με την χρήση τους. Η πιο διαδεδομένη ΑΠΕ είναι η ηλιακή και η αιολική ενώ άλλες είναι η θερμική που παράγεται φυσικά από την θερμότητα που προέρχεται από την Γη, και η βιοενέργεια που είναι ανανεώσιμη και ανακυκλώσιμη καθώς χρησιμοποιεί βίο ύλη που βρίσκεται σε φυσικές λειτουργίες της φύσης αλλά και παράγωγα από ανθρώπινες ή ζωικές χρήσεις, όπως τα τροφικά υπολείμματα, τις κοπριές, τα καλλιεργητικά και γαλακτοκομικά υπολείμματα.

Η διαχείριση του χώρου σε μεγάλη κλίμακα των ΑΠΕ χρειάστηκε την ανάπτυξη συστημάτων οργάνωσης, υπολογισμών, μετρήσεων και απόδοσης πληθώρας πληροφοριών. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια συνάμα με την προσπάθεια της να εξυπηρετήσει όλο και περισσότερο τις ανάγκες της ανθρώπινης δραστηριότητας, απέδωσε τεχνικές εξελίξεις στον τομέα της παρακολούθησής και οργάνωσης των δεδομένων.

Η βάση των ανανεώσιμων πηγών, καθορίστηκε από μετρήσεις είτε της ακτινοβολίας, είτε του αιολικού δυναμικού, είτε της γεωθερμίας είτε ακόμα και τις βιο-ύλης, με επίγειες μετρήσεις, όμως το ασύγκριτο πλεονέκτημα παρέχει η Τηλεπισκόπηση, με την αξιοποίηση των τεχνολογικών επιτευγμάτων να ενσαρκώνεται στις δορυφορικές αποστολές με στόχο την παρακολούθηση του πλανήτη.

Για αρκετά χρόνια οι κυβερνήσεις επενδύουν χρηματοδοτώντας αποστολές δορυφόρων που εξυπηρετούν στην λήψη κρατικών αποφάσεων αιφόρους ανάπτυξης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας εξόπλισε τους δορυφόρους με διάφορους αισθητήρες που σκοπός τους είναι η καταγραφή των δεδομένων και αποστολή τους σε κέντρα επεξεργασίας. Το πλεονέκτημα επεκτείνεται ανάλογα με την χρήση που έχει προγραμματίσει η αποστολή ενός δορυφόρου και του αισθητήρα καταγραφής.

Η Τηλεπισκόπηση θεωρείται απαραίτητη για την παρακολούθηση, την οργάνωση και τον υπολογισμό μεταβλητών στις ΑΠΕ συμβάλλοντας σημαντικά στην ανάπτυξη τους. Οι φασματικές πληροφορίες, η καταγραφή του χώρου σε τεράστια κλίμακα με επαρκή χωρική

διακριτική ανάλυση και με χρονικές συχνότητες, καθιστούν την Τηλεπισκόπηση απαραίτητο εργαλείο για τα ζητήματα των ΑΠΕ. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τους ανιχνευτές (είτε είναι τοποθετημένοι σε αεροπλάνα είτε βρίσκονται σε τροχιά) μετατρέπονται σε δισδιάστατους πίνακες εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η ακρίβεια των τηλεπισκοπικών μεθόδων εξαρτάται ξεκάθαρα από τα χαρακτηριστικά των ψηφιακών εικόνων, όπως η χωρική ανάλυση, δηλαδή το μέγεθος του εικονοστοιχείου (pixel), και η φασματική ανάλυση, δηλαδή το εύρος κάθε φασματικού καναλιού. Εικόνες με μικρό φασματικό εύρος έχουν υψηλή φασματική ανάλυση και είναι κατάλληλες για λεπτομερή εξέταση και αναγνώριση των υλικών που απεικονίζονται, χρησιμοποιώντας και τεχνικές υπερ-φασματικής ανάλυσης. Επιπλέον, η ραδιομετρική ανάλυση, που αναφέρεται στην φασματική διακριτικότητα των γειτονικών υλικών, εκφράζεται σε bits, δηλαδή τον αριθμό των διακριτών χρωματικών επιπέδων που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή των δεδομένων από τον ανιχνευτή στο κωδικοποιημένο σήμα. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ - GIS) έχουν αποδειχθεί πολύτιμα εργαλεία για την υποστήριξη τόσο της ενέργειας όσο και του χωροταξικού σχεδιασμού, με περιθώρια βελτιώσεων για περαιτέρω ανάπτυξη προκειμένου να βοηθήσουν στην σύλληψη ενός ενεργειακού συστήματος που βασίζεται στις ΑΠΕ.

Τα ΓΣΠ έχουν την δυνατότητα να ενσωματώσουν τις χωρικές πληροφορίες με περιγραφικά δεδομένα, να αναλύσουν τα χωρικά φαινόμενα και να αξιολογούν το δυναμικό των ΑΠΕ, καθώς και του είδους παραγωγής ενέργειας σε συγκεκριμένη γεωγραφική θέση. Ενώ τα ΓΣΠ μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την διευκόλυνση και υποστήριξη του ενεργειακού σχεδιασμού, η τρέχουσα μελέτη προτείνει ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην αξιολόγηση των δικτύων μεταφοράς προς την εγκατάσταση. Η μελέτη θα εστιάσει σε ένα είδος ανανεώσιμης πηγής που αξιοποιεί στο έπακρον τα ΓΣΠ και την Τηλεπισκόπηση, και συγκεκριμένα την βιομάζα και το βιοαέριο. Ωστόσο, πριν μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν αυτές οι μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, ένα απαραίτητο πρώτο βήμα είναι η αξιολόγηση της διαθεσιμότητας αυτών των πόρων και της έκτασης που απαιτείται για την παραγωγή τους. Συγκεκριμένα θα εστιάσουμε μέσω φασματικών πληροφοριών να χαρτογραφήσουμε τα είδη καλλιεργειών, την ποσότητα των καλλιεργειών, της δασικής ύλης, της διαθέσιμης οργανικής ύλης της μελετώμενης περιοχής και την αξιοποίησή τους για την παραγωγή ηλεκτρικής, θερμικής ενέργειας και συνάμα την επαναπόδοση στην αγορά σε μορφή βιολογικού λιπάσματος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)

1.1. Εισαγωγή

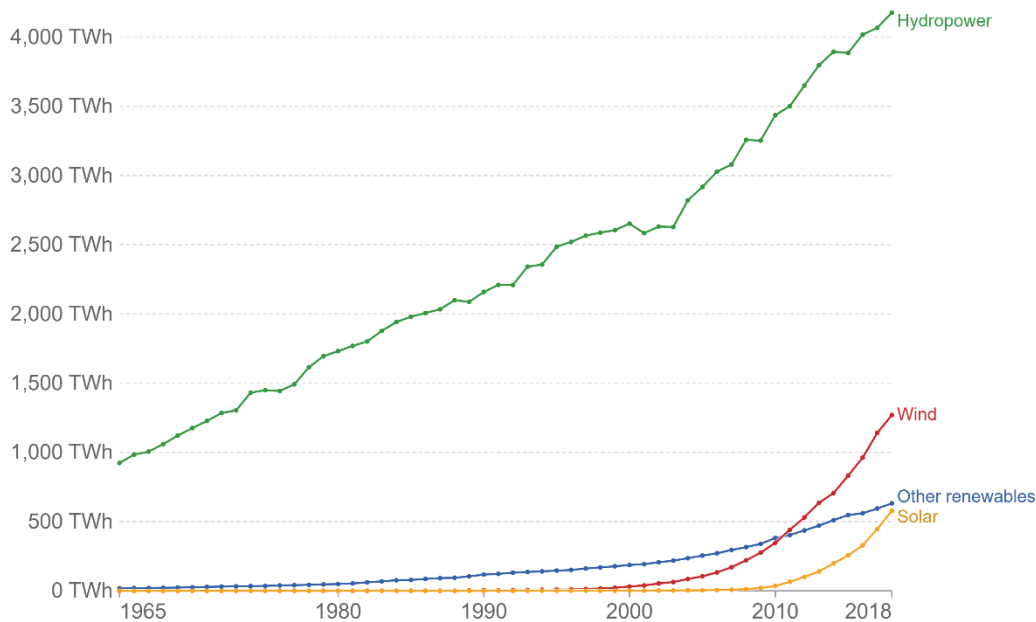
Η ιστορία των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) ως έννοια προηγείται των σημερινών συζητήσεων για την ευαισθητοποίηση και τον μετριασμό του κλίματος. Αυτό εξηγεί, σε κάποιο βαθμό, γιατί η έννοια είναι προβληματική στο σημερινό πλαίσιο. Επομένως, η κατανόηση της διαδικασίας πλαισίωσης και της ιστορίας της ιδέας είναι χρήσιμη.

Είναι ενδιαφέρον ότι κάποιες πρώιμες αναλύσεις διαχώριζαν τις «ανανεώσιμες» από τις «ανεξάντλητες» πηγές ενέργειας, χαρακτηρίζοντας τις ζωικές πηγές και το ξύλο ως «ανανεώσιμες», ενώ την ηλιακή ακτινοβολία, τον άνεμο, την παλιρροιακή και την υδροηλεκτρική ενέργεια ως «ανεξάντλητες» (Clarke et al., 1909). Ο σκοπός αυτής της διάκρισης ήταν να προσφέρει μια εναλλακτική στην κοινωνία που εξαρτάται από τα ορυκτά καύσιμα, προβλέποντας την εξάντλησή τους. Έτσι, οι χώρες στράφηκαν προς την «ανανεώσιμη ενέργεια». Ο όρος χρησιμοποιήθηκε το 1970, ενώ η εμφάνιση κινημάτων υπέρ των περιβαλλοντικών συνθηκών προσέδωσε την ονομασία «ανανεώσιμες πηγές ενέργειας» ως μια εναλλακτική λύση στην εξόρυξη άνθρακα και την χρήση πυρηνικής ενέργειας ως καύσιμο.

Την δεκαετία του 70', διαμορφώθηκε η άποψη περί καλών και κακών πηγών ενέργειας. Οι πηγές ενέργειας διαχωρίστηκαν σε «καλές» προερχόμενη από τον ήλιο, τον αέρα, την γεωθερμία, το παλιρροϊκό φαινόμενο και τα υπολείμματα βιομάζας, ενώ «κακές» εργοστάσια άνθρακα, λιχνιτικές μονάδες είτε εργοστάσια πυρηνικής ενέργειας ανεξάρτητα από τις ακριβείς κοινωνικές και πολιτικές συνθήκες της εποχής. Σε γενικές γραμμές, αυτοί οι διαχωρισμοί επικράτησαν έκτοτε, αν και οι πραγματικότητες της κλιματικής αλλαγής έχουν γενικά κάνει το περιβαλλοντικό κίνημα του σήμερα να μειώσει την ανοχή του στον άνθρακα, το φυσικό αέριο και την τύρφη από την εποχή του 1980 ως καύσιμα «γέφυρας» που θα χρησιμοποιηθούν έως ότου ο κόσμος είναι έτοιμος για πλήρως ΑΠΕ (για ιστορικά παραδείγματα αυτής της αποδοχής και συζήτησης στις ΗΠΑ και το Ηνωμένο Βασίλειο, βλ. π.χ. Schumacher, 1973, Lovins, 1976, Pearce, 1991).

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ ξεκίνησε με την λογική ότι ο πλανήτης είναι συλλέκτης ενέργειας και δημιουργούν φαινόμενα τα οποία παράγουν διάφορες μορφές ενεργειών, που θα μπορούσαμε να τις εκμεταλλευτούμε. Επομένως ο πλανήτης θεωρείται αυτόνομο ενεργειακό σύστημα το οποίο αντλεί ενέργεια, την αποδίδει και ταυτόχρονα παράγει ενέργεια. Η ανάπτυξη των ΑΠΕ και κατ' επέκταση η παραγωγή ενέργειας αποτελείται από μια εξίσωση πολλών μεταβλητών και παραμέτρων με κύριους τους οικονομικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικούς. Αναμφισβήτητα οι ΑΠΕ αποτελούν μορφές ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς δεν ρυπαίνουν και δεν επηρεάζει την περιβαλλοντική κατάσταση με τις παρεμβάσεις τους.

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.

¹Πίνακας A1.1.1: Στατιστική ανασκόπηση της Παγκόσμιας Ενέργειας

Σημείωση: Η πρωτογενής ενέργεια υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τη «μέθοδο υποκατάστασης», η οποία λαμβάνει υπόψη τις αναποτελεσματικότητες της παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα.²

Ο ορισμός των ΑΠΕ είναι σε μεγάλο βαθμό αδιαμφισβήτητος και υπάρχει ευρεία συμφωνία σχετικά με το τι θεωρείται ανανεώσιμη ενέργεια. Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA) δηλώνει τον όρο «ανανεώσιμος ενεργειακός πόρος» που περιγράφει ροές ενέργειας που ανανεώνονται συνεχώς όσο καταναλώνονται και είναι ανεξάντλητες. Υπάρχουν μορφές που αποδίδουν ενέργεια με την καύση χημικών υλικών, όπως ο άνθρακας, τα κοιτάσματα κάρβουνου, πετρελαίου και φυσικού αερίου, όπου η διεθνής επιστημονική κοινότητα έχει σωρεία μελετητικών δημοσιεύσεων με ενδείξεις εξάντλησης, με επιπλέον αναφορά στο διοξείδιο του άνθρακα που επιδεινώνει τα περιβαλλοντικά προβλήματα. Ο γενικός ισχυρισμός είναι ότι η ανανεώσιμη ενέργεια έχει γίνει μια σημαντική έννοια στους τομείς της ενεργειακής πολιτικής και του μετριασμού της κλιματικής αλλαγής και έχει κεντρικό ρόλο στην καθοδήγηση των λογικών σε αυτούς τους τομείς. Η ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) είναι ένα παράδειγμα από τον διεθνή πολιτικό τομέα του τρόπου με τον οποίο υιοθετήθηκε η έννοια των ΑΠΕ. Η προώθηση των ΑΠΕ είναι ένας από τους ακρογωνιαίους λίθους της ενεργειακής πολιτικής της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το 2009, η ΕΕ έθεσε σε εφαρμογή την λεγόμενη Οδηγία για τις ΑΠΕ, η οποία ορίζει ότι μέχρι το έτος 2020 το ένα πέμπτο των συνολικών ενεργειακών αναγκών εντός της Ένωσης πρέπει να προέρχεται από ΑΠΕ (ΕΕ, 2009). Η οδηγία αυτή την στιγμή αναθεωρείται, με προγραμματισμένο στόχο να φτάσει το μερίδιο του 27% για τις ΑΠΕ έως το 2030 (ΕΕ, 2018).

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

² Πηγή: 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.

Πέρα από την οδηγία, η ΕΕ έχει επίσης αναπτύξει έναν ενεργειακό οδικό χάρτη με στόχο το έτος 2050 (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2011). Ο οδικός χάρτης δεν είναι νομικά δεσμευτικός και παρουσιάζει πέντε εναλλακτικά σενάρια για απαλλαγή από τις ανθρακούχες εκπομπές . Οι ΑΠΕ παίζουν σημαντικό ρόλο, καθώς το μερίδιό τους στην τελική κατανάλωση ενέργειας είναι τουλάχιστον 55% σε όλα τα σενάρια. Το συγκεκριμένο σενάριο «Υψηλές Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας» αγγίζει το μερίδιο 75% στην συνολική κατανάλωση ενέργειας και το μερίδιο 97% στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

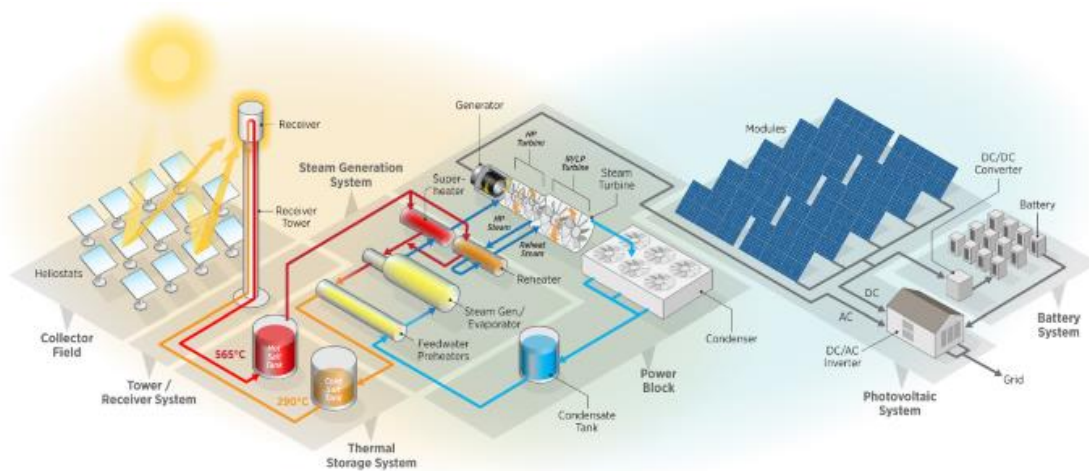
Οι πολιτικές και οι ανακοινώσεις δείχνουν ότι η έννοια των ΑΠΕ είναι ουσιαστική στην πολιτική της ΕΕ και ότι η ΕΕ έχει δεσμευτεί σθεναρά για την προώθησή τους. Είναι ακόμη εύλογο να ισχυριστεί κανείς ότι για την Ένωση, οι ΑΠΕ δεν είναι μόνο ένα μέσο για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής, αλλά είναι αυτοσκοπός. Αυτό τονίζεται από την βούληση να τεθούν στόχοι για τις ΑΠΕ που επικαλύπτονται και είναι πιθανό να παρεμποδίσουν την αποτελεσματικότητα του Συστήματος Εμπορίας Εκπομπών της ΕΕ (ETS) (ΟΟΣΑ, 2011 , ΙΕΤΑ, 2015), το οποίο θεωρείται ο ακρογωνιαίος λίθος της πολιτικής της ΕΕ για την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής (ΕΕ, 2016).

Η παρούσα διπλωματική εξετάζει την αξιοποίηση των γεωχωρικών τεχνολογιών ως προς τις ΑΠΕ (αιολική, ηλιακή, κυματική και βιομάζα) στην χάραξη στρατηγικών για μια βιώσιμη ανάπτυξη. Τέτοιες στρατηγικές συνήθως περιλαμβάνουν τρεις μεγάλες τεχνολογικές αλλαγές: αξιοποίηση της φυσικών πόρων για την παραγωγή ενέργειας, και βελτιώσεις στην παραγωγή ενέργειας με στόχο την αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων. Κατά συνέπεια, τα μεγάλα κλίμακα σχέδια υλοποίησης ΑΠΕ πρέπει να περιλαμβάνουν στρατηγικές για την ενσωμάτωσή τους σε συνεκτικά ενεργειακά συστήματα που επηρεάζονται από κριτήρια και παραμέτρους που ελέγχονται με ΓΣΠ. Οι κατηγορίες των ΑΠΕ διαχωρίζονται με βάση το κύριο χαρακτηριστικό όπως η αιολική , η θερμική , η γεωθερμική , η ηλιακή , η υδροδυναμική και η βιομάζα. Η μετατροπή της ενέργειας των ΑΠΕ αποδίδουν είτε ηλεκτρική είτε μηχανική ενέργεια, με επιπλέον μετατροπή ενός τμήματος σε θερμότητα.

1.2. Τεχνολογίες Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

1.2.1. Ηλιακή Ενέργεια

Μεγαλύτερο ενδιαφέρον προσέλκυσε η ηλιακή ενέργεια με διάφορες παραλλαγές, καθώς χαρακτηρίστηκε από την βιωσιμότητα της, την μηδενική ρύπανση και την άφθονη πηγή ενέργειας από τον Ήλιο. Ο τομέας των φωτοβολταϊκών γνωρίζει μεγάλη και γρήγορη αύξηση στον ρυθμό παραγωγής του με την συνενοχή των οικονομικών κινήτρων που προσφέρουν πολλές χώρες και την γενική προσοχή της αγοράς προς τις ΑΠΕ. Ως αποτέλεσμα οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν αυξηθεί σημαντικά σε όλο τον κόσμο τα τελευταία χρόνια.



Εικόνα A1.2.1.1: Διαμόρφωση υβριδικού συστήματος φωτοβολταϊκού συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (Γραφικό ©NREL/Al Hicks).³

Στην Εικόνα A2.1.1) στο αριστερό μέρος της, εμφανίζεται το σύστημα που αποτελείται από μια μονάδα CSP πύργου ισχύος λιωμένου αλατιού, η οποία αποτελείται από ένα πεδίο ηλιοστάτη, δέκτη λιωμένου αλατιού, αποθήκευση θερμικής ενέργειας και έναν κύκλο ισχύος Rankine. Στα δεξιά, το σύστημα αποτελείται από ένα φωτοβολταϊκό σύστημα με αποθήκευση μπαταρίας. Το σύστημα που απεικονίζεται δεν περιλαμβάνει όλα τα στοιχεία που απαιτούνται για τον έλεγχο ή την λειτουργία.

Ένας φωτοβολταϊκός σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται συνήθως από εκατοντάδες ή χιλιάδες Φωτοβολταϊκές μονάδες που συνδέονται μεταξύ τους σε ένα κύκλωμα σειράς. Αυτές οι φωτοβολταϊκές μονάδες είναι τα βασικά συστατικά σε έναν σταθμό ηλιακής ενέργειας, καθώς η απόδοση εξόδου εξαρτάται από αυτές τις μονάδες. Τα κύρια χαρακτηριστικά για την ηλιακή ενέργεια έγκειται σε παράγοντες της ακτινοβολίας, της ψύξης των συστημάτων για μεγαλύτερη αποδοτικότητα της συντήρησης των συσσωρευτών, το δίκτυο μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας και το περιθώριο ζήτησης του δικτύου. Οι σταθμοί Φωτοβολταϊκών συστημάτων έχουν συγκριτικό πλεονέκτημα χωροθέτησης καθώς οι υπόλοιπες ΑΠΕ έχουν περισσότερες δεσμεύσεις, αλλά η εξαρτημένη μεταβλητή που ονομάζεται αποδοτικότητά καθορίζει τα κριτήρια χωροθέτησης. Λαμβάνεται υπόψη η

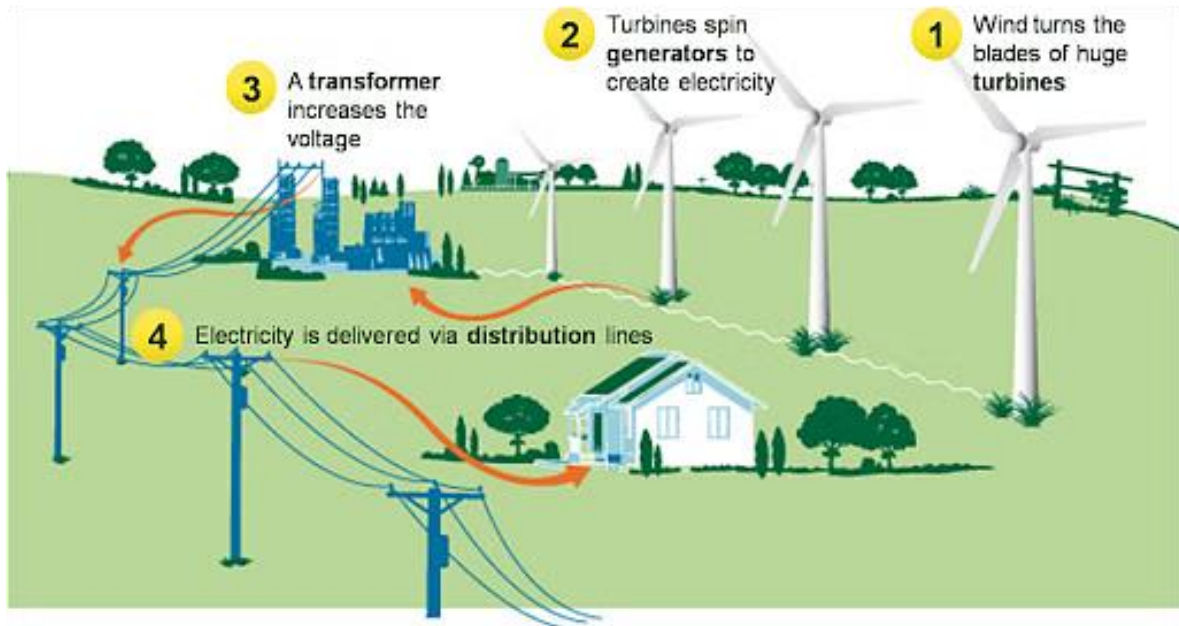
³ Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/A-power-tower-CSP-plant-with-molten-salt-storage-Graphic-CNREL-Al-Hicks_fig3_362516960

επίπεδη επιφάνεια, ο νότιος προσανατολισμός, η αποφυγή σκιάσεων και η πρόσβαση σε οδικό δίκτυο.

1.2.2. Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια, μια άλλη εναλλακτική μορφή ενέργειας, παρέχεται άφθονα λόγω καιρικών συνθηκών, ανανεώσιμη και καθαρή πηγή. Η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική πραγματοποιείται μέσα από μικρά χερσαία αιολικά πάρκα είτε σε θαλάσσιες επιφάνειες. Τα στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι οι πηγές αιολικής ενέργειας είναι από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες πηγές ενέργειας στον κόσμο. Το δυναμικό ενός έργου αιολικής ενέργειας εξαρτάται καθοριστικά από την τοποθεσία του. Η αξιολόγηση του δυναμικού πριν την επένδυση προβλέπει την παραγωγικότητα και συνάμα ελαχιστοποιεί την αβεβαιότητα της επένδυσης. Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός έργου αιολικής ενέργειας έγκεινται σε παράγοντες όπως η πυκνότητα της αιολικής δυναμικής της περιοχής, το υψόμετρο πάνω από την μέση επιφάνεια της θάλασσας, η γεωμορφολογία του εδάφους, η συνδεσιμότητα μέσω του οδικού δικτύου και το περιθώριο στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Τα χερσαία αιολικά πάρκα που βρίσκονται στην ξηρά όπως απεικονίζεται στην εικόνα A2.2.1 λαμβάνεται υπόψη η τοπογραφία και η γεωμορφολογία του εδάφους. Η δορυφορική πληροφορία εξυπηρετεί στην μελέτη της εγγύτητας με το δίκτυο μεταφοράς και το οδικό δίκτυο, με επιπρόσθετη σκοπιμότητα ο έλεγχος των τοποθεσιών και των υψομέτρων.



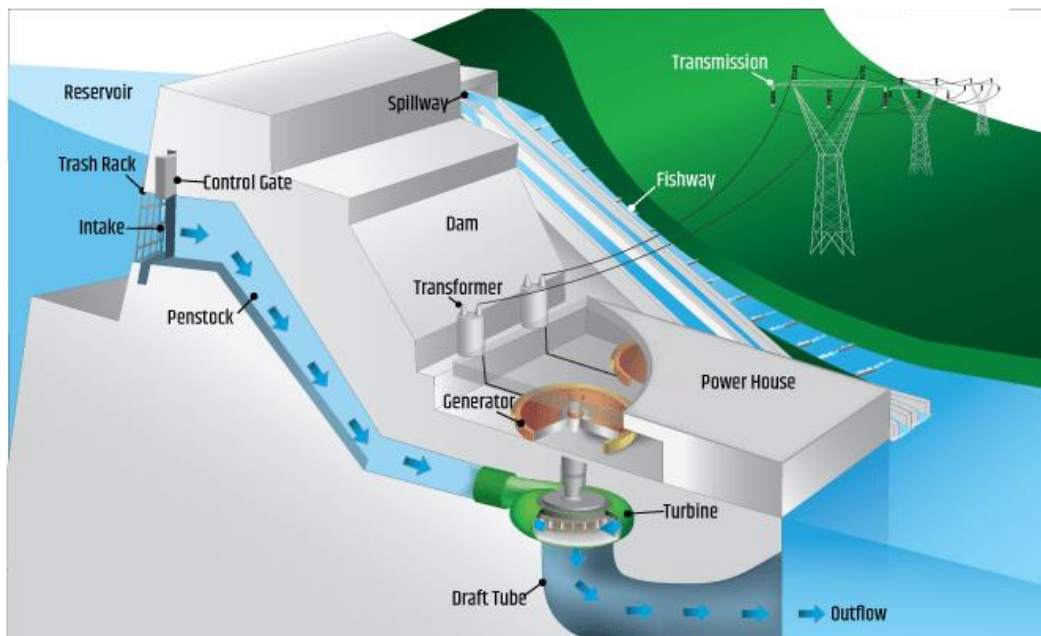
⁴ Εικόνα A1.2.2.1: Διαμόρφωση Αιολικού Συστήματος Παραγωγής ενέργειας

Η δορυφορική απεικόνιση θέτει κατευθυντήριες γραμμές για περαιτέρω λήψη αποφάσεων σε περίπτωση έργων αιολικών πάρκων. Για τα υπεράκτια αιολικά πάρκα, χωροθετούνται κυρίως σε κλειστού τύπου υδάτινες επιφάνειες όπως λίμνες, καθώς ο κίνδυνος της κυματικής ενέργειας με την μεταφορά αλατιού προκαλεί διάβρωση των υλικών και μεγάλες οικονομικές δαπάνες συντηρήσεων.

⁴ Πηγή: <https://prepp.in/news/e-492-wind-farm-environment-notes>

1.2.3. Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Μεταξύ όλων των ΑΠΕ, η υδροηλεκτρική ενέργεια φαίνεται να είναι μηχανική ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι οι λιγότερες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η βάση της παραγωγής υδροηλεκτρικής ενέργειας είναι η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική με την χρήση στροβίλων. Η επιλογή τοποθεσίας για έναν υδροηλεκτρικό σταθμό είναι περίπλοκη καθώς επηρεάζει περιβαλλοντικά ζητήματα, όπως η υποβάθμιση των παραποτάμιων οικοσυστημάτων και της βιοποικιλότητας, με αποτέλεσμα την αυξημένη σχεδιαστική προσέγγιση της χωροθέτησης των υδροηλεκτρικών συστημάτων.



Εικόνα Α1.2.3.1: Διαμόρφωση Υδροηλεκτρικού Σταθμού Ενέργειας.

Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί όπως απεικονίζεται στην εικόνα Α2.3.1 συλλαμβάνουν την κινητική ενέργεια του νερού που πέφτει για να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Το νερό που ρέει ή πέφτει περιστρέφει τουρμπίνες και γεννήτριες, όπου η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανική και στην συνέχεια σε ηλεκτρική. Οι σρόβιλοι και οι γεννήτριες είναι εγκατεστημένες είτε μέσα είτε δίπλα σε φράγματα. Εναλλακτικά, οι αγωγοί που είναι γνωστοί ως αποθήκες χρησιμοποιούνται για την μεταφορά νερού υπό πίεση στους στροβίλους και τις γεννήτριες του υδροηλεκτρικού σταθμού.

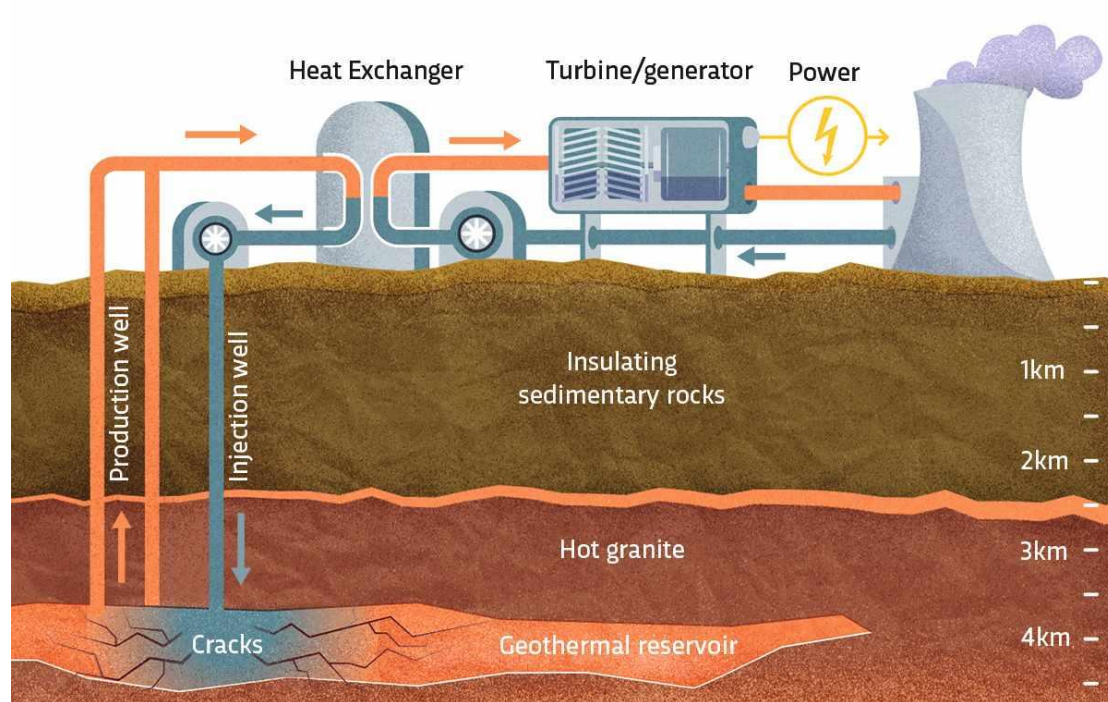
Το υψόμετρο, οι λεκάνες απορροής, το δίκτυο των ρεμάτων, η ένταση ετήσιας ροής και χαρακτηριστικά βιοποικιλότητας είναι από τις σημαντικές μεταβλητές ως προς την επιλογή τοποθεσίας. Το ΓΣΠ και η Τηλεπισκόπηση εξυπηρετούν την λήψη αποφάσεων μέσω χαρτογράφησης για την χωροθέτηση. Επιπλέον, παρέχουν μια αληθινή εικόνα του υπάρχοντος εδάφους, των πολύπλοκων υδρολογικών φαινομένων και του μεταβλητού κλίματος που είναι απαραίτητα για την αξιολόγηση πιθανών υδροηλεκτρικών σταθμών, με

⁵Πηγή: <https://www.energy.gov/eere/water/types-hydropower-plants>

την χρονική ανάλυση και μοντελοποίηση να είναι τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα αυτών των εργαλείων.

1.2.4. Γεωθερμική Ενέργεια

Η γεωθερμική ενέργεια θεωρείται ως περιβαλλοντικά εφικτή επιλογή, καθώς παράγεται με φυσικό τρόπο από την θερμότητα που προέρχεται κυρίως από την αποσύνθεση των φυσικών ραδιενεργών ισοτόπων στην γη. Αυτή η εσωτερική καύση θερμότητας εκτιμάται ότι παράγει συνολική θερμική ενέργεια σε βάθος 10 χλμ. με την ενέργεια που ισοδυναμεί να υπερκαλύπτει τις ενεργειακές απαιτήσεις για έξι εκατομμύρια χρόνια στην κατανάλωση σε αντίστοιχο πετρέλαιο.



6

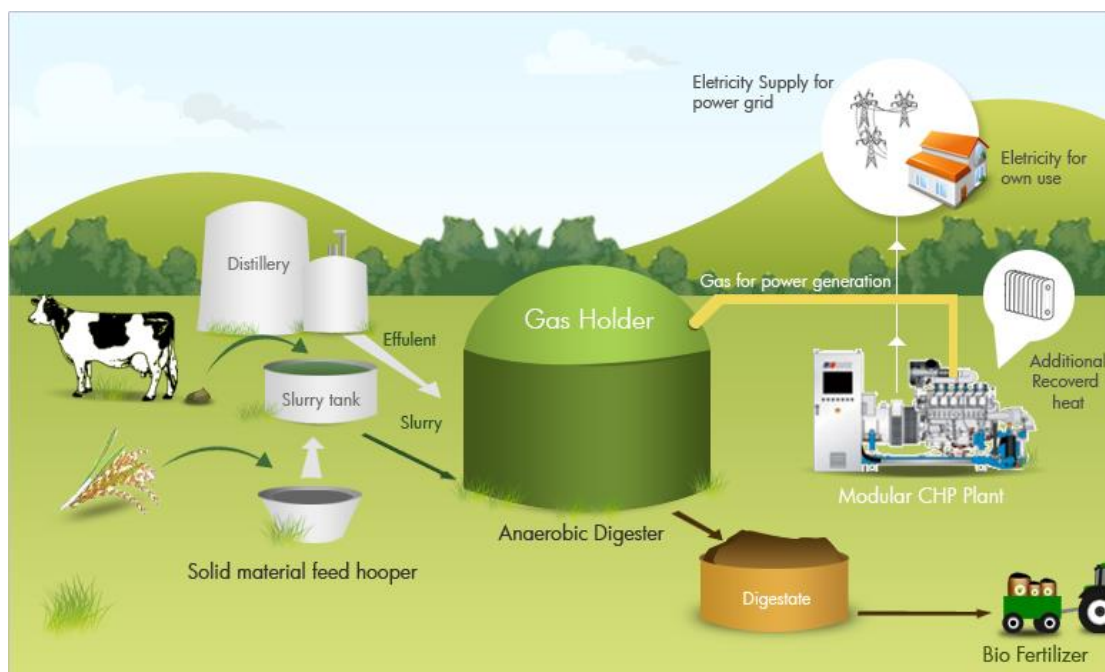
Εικόνα A1.2.4.1: Λειτουργία Γεωθερμικού Σταθμού Παραγωγής Ενέργειας

Οι γεωθερμικοί πόροι μπορούν να ταξινομηθούν ευρέως σε τρεις κατηγορίες: υδροθερμικά ή συναγωγικά συστήματα, αγωγίμα συστήματα, και βαθιές υδροφορίες. Τα υδροθερμικά εικόνα A2.4.1 (συναγωγή) συστήματα μπορεί να κυριαρχούνται από ατμούς ή να κυριαρχούν το νερό, όπως οι θερμές πηγές και χημικά αλλοιωμένα πετρώματα. Τα αγωγίμα συστήματα περιλαμβάνουν θερμούς βράχους και μαγματικούς πόρους, και οι βαθιές υδροφορίες περιέχουν κινούμενα υγρά σε πορώδη μέσα σε βάθη άνω των 3 χλμ., αλλά χωρίς τοπική μαγματική πηγή θερμότητας. Η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παραχθεί με ατμό ή με χρήση δευτερογενούς ατμού υδρογονάνθρακα για την κίνηση των γεννητριών στροβίλων που έχουν ρυθμιστεί να παράγουν ηλεκτρόνια.

⁶ Πηγή: <https://www.sciencefocus.com/science/how-does-geothermal-energy-work-to-produce-electricity>

1.2.5. Ενέργεια από Βιομάζα

Οι πολυετείς καλλιέργειες, τα περιττώματα ζώων και οι δασική βιομάζα αποτελούν μια ταχέως αναπτυσσόμενη ΑΠΕ, προσφέροντας ανακύκλωση προϊόντων και βιώσιμη παραγωγή βιοενέργειας. Η βιομάζα αναφέρεται στο βιολογικό υλικό από ζωντανούς οργανισμούς ή φυτά. Είναι μια από τις πιο συχνά χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας σε λιγότερο βιομηχανοποιημένες περιοχές. Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας είτε με άμεση καύση για παραγωγή θερμότητας, είτε έμμεσα μετά την μετατροπή σε διάφορες μορφές βιοκαυσίμου. Η βιομάζα από υπολείμματα δασών όπως νεκρά δέντρα, κλαδιά, υπολείμματα καλλιεργειών και μίσχοι, μπορεί να μετατραπεί σε άλλες χρησιμοποιήσιμες μορφές ενέργειας, όπως το αέριο μεθάνιο ή τα καύσιμα μεταφοράς, όπως η αιθανόλη και το βιοντίζελ. Η χρήση της βιομάζας ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή και των βιολογικών υλικών που διαθέτει.



7

Εικόνα A1.2.5.1: Κύκλος ενέργειας από βιομάζα ως άμεση καύση.

Ένα μεγάλο σύστημα βιοενέργειας που δείχνει πολλές από τις βασικές ροές υλικών και ενέργειας, όπως έχουν ενσωματωθεί στο Εργαλείο Αξιολόγησης Χώρων Βιομάζας (BioSAT 2014). Ο κύκλος αξιοποιεί τους φυσικούς πόρους και οικονομικά δεδομένα, που χρησιμοποιούνται για τον αντικειμενικό προσδιορισμό κατάλληλων τοποθεσιών για κέντρα συλλογής, επεξεργασίας βιομάζας και γεωργικών υπολειμμάτων.

Τα κύρια χαρακτηριστικά χωροθέτησης ενός Βιοαερίου έγκειται στην χαρτογράφηση των καλλιεργειών σε μεγάλη κλίμακα μέσω δορυφορικών φασματικών πληροφοριών με δείκτες που επιτρέπουν την οικονομική προμελέτη της παραγωγής και τις διαθεσιμότητας, την χωρική μελέτη δικτύων μεταφοράς των προϊόντων. Επίσης τα δάση διαδραματίζουν ζωτικό

⁷ Πηγή: <https://businessinfolink.com/products/industrial-machinery/bio-gas-plant-2017-05-08-05-40-24.html>

ρόλο στον κύκλο του άνθρακα του πλανήτη και αποτελεί την φθηνότερη και εύκολα διαθέσιμη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για τον άνθρωπο σε σύγκριση με την ηλιακή, αλλά απαιτείται ο ποσοτικός προσδιορισμός διαθέσιμης ύλης για το σχεδιασμό του σταθμού παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Σημαντική παράμετρος καθορίζεται η επαναφορά των υπολοίπων από την διεργασία παραγωγής βιοαερίου και κατ' επέκταση ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας, ως βιολογικό αποθεϊκό λίπασμα. Ο σταθμός επεξεργασίας βιομάζας , αποτελεί την μοναδική ΑΠΕ που ανακυκλώνει βιολογικές ύλες προς όφελος της ενέργειας και αποδίδει διπλό όφελος, ενεργειακό και προϊόν επαναχρησιμοποίησης για την εξυπηρέτηση βιοτικής σημασίας για τον άνθρωπο, σε αντίθεση με τις άλλες ΑΠΕ που λαμβάνουν ενέργεια και την μετατρέπουν μόνο σε ηλεκτρική ή κινητική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Β. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ)

2.1. Εισαγωγή

Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, οι τεχνολογίες και οι μέθοδοι Τηλεπισκόπησης έχουν εξελιχθεί δραματικά καθώς περιλαμβάνει μια σειρά αισθητήρων που λειτουργούν σε ένα ευρύ φάσμα κλιμάκων απεικόνισης, με δυνητικό ενδιαφέρον και σημασία για τους σχεδιαστές και τους διαχειριστές γης. Ο συνδυασμός των διαχρονικών δεδομένων από την Τηλεπισκόπηση και η τεχνολογική εξέλιξη, παρέχουν υψηλών ταχυτήτων αναλύσεις του χώρου με μεγάλη διακριτική ικανότητα. Ο αντίκτυπος αυξάνεται καθώς φορείς σχεδιασμού και διαχειριστές που εμπλέκονται στην κάλυψη -αλλαγή χρήσεων γης και σε επενδυτές μεγάλης κλίμακας, όπως οι ΑΠΕ. Τα δεδομένα Τηλεπισκόπησης δείχνουν ξεκάθαρα τα χαρακτηριστικά των λεγόμενων Μεγάλων Δεδομένων (Big Data). Η τρέχουσα τεχνολογία Τηλεπισκόπησης προσφέρει συλλογή και ανάλυση δεδομένων από επίγειες, ατμοσφαιρικές και γήινες πλατφόρμες, με συνδέσεις με δεδομένα GNSS (Global Navigation Satellite System), επίπεδα και λειτουργίες δεδομένων ΓΣΠ και αναδυόμενες ικανότητες μοντελοποίησης (Franklin, 2001). Καθώς η παγκόσμια οικονομία και ο σχεδιαστικός προγραμματισμός αναλύει περισσότερα δεδομένα, η Τηλεπισκόπηση - σε συνδυασμό με την βελτίωση της τεχνολογίας - αυξάνει την ποιότητα των πληροφοριών, καθιστώντας την χρήση της Τηλεπισκόπησης όλο και πιο κρίσιμη στο μέλλον. Τα μεγάλα δεδομένα προσελκύουν όλο και μεγαλύτερη προσοχή από κυβερνητικά έργα, εμπορικές εφαρμογές και ακαδημαϊκούς τομείς.

Με τις σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία των αισθητήρων, η κοινότητα της Τηλεπισκόπησης βρέθηκε μπροστά στην ανάγκη να αναπτύξει νέες τεχνικές για την αξιοποίηση και ανάλυση δεδομένων εικόνας. Από αυτή την ανάγκη προέκυψε η αντικειμενοστραφής ανάλυση εικόνας (OBIA - Object-Based Image Analysis), η οποία χρησιμοποιεί αντικείμενα ως κύρια μονάδα ανάλυσης αντί για μεμονωμένα εικονοστοιχεία. Η ανάλυση διαιρεί τις δορυφορικές εικόνες σε νοηματικά αντικείμενα και αξιολογεί τα χαρακτηριστικά τους μέσω φασματικής και χωρικής κλίμακας, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές τεχνικές που βασίζονται μόνο στις φασματικές υπογραφές των εικονοστοιχείων. Η κατάτμηση εικόνας είναι το πρώτο και βασικό βήμα στην OBIA, διαιρώντας την εικόνα σε χωρικά συνδεδεμένες και φασματικά ομοιογενείς περιοχές, οι οποίες χρησιμεύουν ως βάση για περαιτέρω ανάλυση. Στην παρούσα μελέτη, τα περιβαλλοντικά προβλήματα εξετάζονται βάσει των επιφανειακών χωρικών οντοτήτων, διευκολύνοντας τον σαφή προσδιορισμό του κάθε αντικειμένου ενδιαφέροντος. Ο ακριβής καθορισμός αυτών των οντοτήτων είναι κρίσιμος για τον σχεδιασμό της κατάλληλης μεθοδολογίας ανίχνευσης των ορίων τους. Η ενσωμάτωση της OBIA σε αυτό το μεθοδολογικό πλαίσιο βασίζεται στην δυνατότητα της να διαχωρίζει τις δορυφορικές εικόνες σε νοηματικά αντικείμενα, που στην περίπτωση μας είναι οι χωρικές οντότητες αναφοράς.

2.2. Ιστορική εξέλιξη Τηλεπισκόπησης

Ιστορικά τα μετεωρολογικά δορυφορικά δεδομένα χονδροειδούς χωρικής ανάλυσης είναι διαθέσιμα από την δεκαετία του 1960, αλλά η Τηλεπισκόπηση της επιφάνειας της Γης από το διάστημα και για μέσες χωρικές αναλύσεις περίπου των 250 m ξεκίνησε μόλις το 1972 με την έναρξη της πρώτης σειράς δορυφόρων γήινων πόρων. Η έναρξη σημαντικών ερευνητικών δραστηριοτήτων με Τηλεπισκόπηση, η ανάλυση δεδομένων και οι πολλαπλές εφαρμογές, έφεραν τα τελευταία χρόνια τον υπερ-πολλαπλασιασμό των δορυφορικών αποστολών και με μεγάλο αριθμό αισθητήρων (π.χ. Terra και ENVISAT) και αυξανόμενες χωρικές αναλύσεις (π.χ. IKONOS και QuickBird). Ο συνεχώς διευρυμένος αστερισμός των δορυφορικών αισθητήρων έχει αποκτήσει χιλιάδες τρισεκατομμύρια byte δεδομένων ανεκτίμητα για τον σχεδιασμό και την διαχείριση της γης (Jensen, 2000).

Για την Τηλεπισκόπηση μεγάλων δεδομένων, ένα από τα πιο σημαντικά κυβερνητικά έργα των ΗΠΑ είναι το Σύστημα Δεδομένων και Πληροφοριακών Συστημάτων Παρατήρησης Γης (EOSDIS). Το σύστημα παρέχει δυνατότητες από άκρο σε άκρο για την διαχείριση των επιστημονικών δεδομένων της NASA για τη Γη και από διάφορες πηγές. Στην Ευρώπη, η αντίστοιχη υπηρεσία COPERNICUS σκοπεύει να τονώσει τις αλληλεπιδράσεις και να συγκεντρώσει ερευνητές, μηχανικούς, χρήστες, υποδομές και παρόχους υπηρεσιών, που ενδιαφέρονται να εκμεταλλευτούν τα Big Data από το Διάστημα και την αξιοποίηση της ESA (European Space Agency).

Στον τομέα των εμπορικών εφαρμογών, το Google Earth θα μπορούσε να είναι ένα από τα παραδείγματα επιτυχίας της Τηλεπισκόπησης μεγάλων δεδομένων. Πολλές εφαρμογές Τηλεπισκόπησης, όπως η ανίχνευση στόχων, η κάλυψη γης, η έξυπνη πόλη κ.λπ. μπορούν να αναπτυχθούν εύκολα με βάση το Google Earth. Με την πλατφόρμα Geospatial Big Data (GBDX) της DigitalGlobe, η εταιρεία αξιοποιεί μεθόδους μηχανικής μάθησης σε συνδυασμό με την βιβλιοθήκη εικόνων 100 petabyte μέσω πλατφόρμας αποθήκευσης (cloud). Άλλες μεγάλες εταιρείες όπως η Microsoft και η Baidu αναπτύσσουν ηλεκτρονικούς και διαδραστικούς χάρτες υποστηρίζοντας δεδομένα Τηλεπισκόπησης και υπέρογκα χωρικά δεδομένα της εφαρμογής street view.

Στον ακαδημαϊκό χώρο, η επεξεργασία και ανάλυση των μεγάλων δεδομένων από Τηλεπισκόπηση βρίσκεται υπό συνεχείς βελτιώσεις της ταχύτητας και της αποτελεσματικότητας. Πολλά κορυφαία επιστημονικά περιοδικά έχουν δημοσιεύσει ειδικά τεύχη σχετικά με αυτό το θέμα. Για παράδειγμα, το IEEE JSTARS κυκλοφόρησε ένα ειδικό τεύχος Μεγάλων Δεδομένων στην Τηλεπισκόπηση (Big Data in Remote Sensing) το 2015, το Journal of Applied Remote Sensing αφιέρωσε ένα ειδικό τεύχος στην Διαχείριση και Ανάλυση των Remotely Sensed Big Data το 2015, η Geoinformatica της Springer κυκλοφόρησε ένα ειδικό τεύχος για την Διαχείριση και Ανάλυση Μεγάλων Δεδομένων Χωρικής και Χρονικής Φύσης το 2016, και το περιοδικό Environmental Remote Sensing δημοσίευσε ένα ειδικό τεύχος για τα Big Remotely Sensed Data: Εργαλεία, Εφαρμογές και Εμπειρίες το 2017.

2.3. Θεωρητικό πλαίσιο Τηλεπισκόπησης

Η Τηλεπισκόπηση αντιπροσωπεύει μια ποικιλία θεωρητικών, τεχνικών και εφαρμοσμένων μεθόδων που στοχεύουν στην ανάλυση της επιφάνειας της Γης χωρίς την άμεση επαφή μας με αυτήν. Βασική τεχνική αποτελεί η ανίχνευση και η καταγραφή της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, ενώ μέσω της επεξεργασίας και ανάλυσης αυτών των πληροφοριών μπορούμε να αναδείξουμε γνώσεις για την επιφάνεια της Γης.⁸

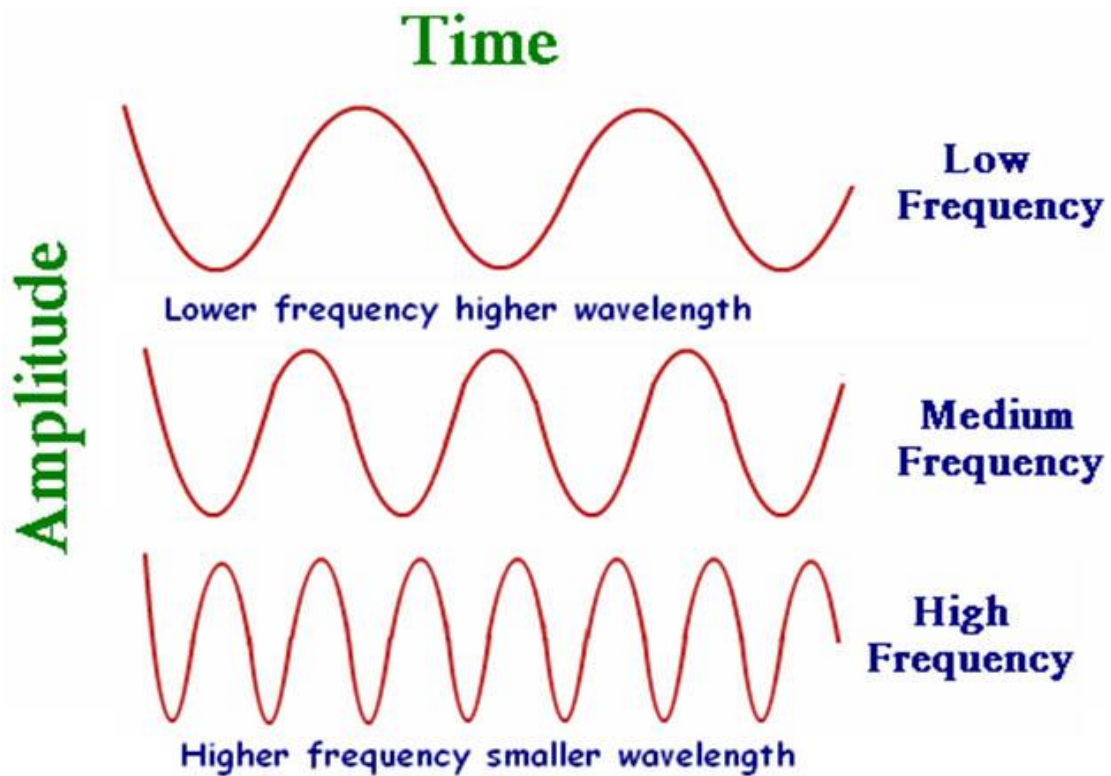
Η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιεί τεχνολογία παρατήρησης για την μελέτη των γεωγραφικών χαρακτηριστικών της Γης από απόσταση, βασιζόμενη στην αλληλεπίδραση των υλικών με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Επιπλέον, η Τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει την ανίχνευση εκπεμπόμενης ενέργειας και χρησιμοποιεί αισθητήρες μη απεικόνισης. Αυτή η επιστήμη απασχολεί 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, και η ανάπτυξη τεχνολογίας δορυφορικών αποστολών εξυπηρετεί επίσης στρατιωτικές εφαρμογές. Η χρήση αυτής της τεχνολογίας απαιτεί την ενσωμάτωση γνώσεων από άλλους επιστημονικούς τομείς, όπως η Φυσική, η Πληροφορική και οι Μαθηματικές επιστήμες, για την αποτελεσματική αξιοποίηση των δεδομένων που συλλέγονται σε μεγάλη κλίμακα.⁹

Για την επίτευξη της Τηλεπισκόπησης, είναι αναγκαία η πηγή ενέργειας που μεταδίδει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στον στόχο. Η ακτινοβολία αυτή ταξιδεύει από την πηγή προς τον στόχο και αλληλοεπιδρά με τα υλικά στην επιφάνεια, ενώ η ενέργεια που ανακλάται καταγράφεται από τον αισθητήρα. Η καταγραφή των δεδομένων σε ηλεκτρονική μορφή επιτυγχάνεται σε επεξεργαστικό σταθμό, όπου οι διορθώσεις εφαρμόζονται για την βελτίωση της εικόνας. Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μπορεί να ανιχνευθεί είτε φωτογραφικά είτε ηλεκτρονικά, μετά την ερμηνεία και ανάλυση των επεξεργασμένων δεδομένων για την ανάκτηση πληροφοριών σχετικά με τον στόχο. Η ανάλυση των δυνατοτήτων των αισθητήρων συμβάλλει στην περαιτέρω εξερεύνηση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ενώ ο χρήστης μπορεί να αξιοποιήσει τα αποτελέσματα για χαρτογράφηση και άλλες εφαρμογές.

Η ακτινοβολία είναι βασικό στοιχείο για την κατανόηση της Τηλεπισκόπησης. Η διαφοροποίηση του σήματος καθορίζεται από το μήκος κύματος και την συχνότητα. Το μήκος κύματος είναι το μήκος ενός κύκλου κύματος, το οποίο μπορεί να μετρηθεί ως η απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών κυμάτων.

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

⁹ Πηγή: https://www.nrcan.gc.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_e.pdf

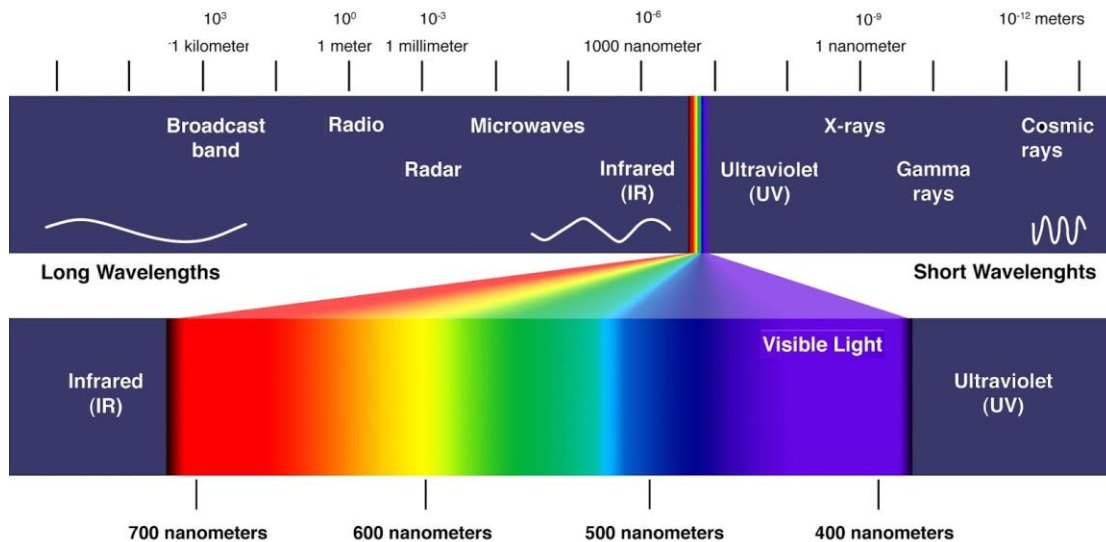


¹⁰Εικόνα Β2.3.1: Ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανά συχνότητα και εύρος.

Η μέτρηση του μήκους κύματος γίνεται συνήθως με την χρήση του ελληνικού γράμματος λάμδα (λ) και εκφράζεται σε μονάδες μέτρησης όπως τα μέτρα (m) ή τα νανόμετρα. Η συχνότητα αναφέρεται στον αριθμό των κύκλων που περνούν από ένα σημείο σε μονάδα χρόνου και μετριέται συνήθως σε Hertz (Hz), που αντιστοιχεί σε έναν κύκλο ανά δευτερόλεπτο και τα πολλαπλάσιά του. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος κύματος, τόσο χαμηλότερη είναι η συχνότητα.

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα καλύπτει εύρος από τα μικρότερα μήκη κύματος, συμπεριλαμβανομένων των ακτίνων γάμμα και των ακτίνων Χ, έως τα μεγαλύτερα μήκη κύματος, συμπεριλαμβανομένων των μικροκυμάτων και των ραδιοκυμάτων. Υπάρχουν πολλές περιοχές στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα για την Τηλεπισκόπηση. Για πολλούς σκοπούς, το υπεριώδες τμήμα του φάσματος διαθέτει το μικρότερο μήκος κύματος που είναι πρακτικό για τον εντοπισμό απομακρυσμένων φυσικών αντικειμένων. Αυτή η ακτινοβολία είναι ακριβώς πέρα από το ορατό τμήμα των ορατών μηκών κύματος. Ορισμένες επιφάνειες της Γης, κυρίως πετρώματα και ορυκτά, εκπέμπουν ή ανακλούν ορατό φως όταν φωτίζονται από υπεριώδη ακτινοβολία.

¹⁰Πηγή: <https://aktinovia.com/electromagnetic-radiation-spectrum-rf/>



¹¹ Εικόνα B2.3.2: Κύρια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και τα κανάλια του, με το μήκος κύματος και τη συχνότητα

Η ακτινοβολία στο μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι «αόρατη» στα μάτια μας, αλλά μπορεί να ανιχνευθεί με τηλεσκοπικά όργανα και τα ορατά μήκη κύματος καλύπτουν ένα εύρος από περίπου 0,4 έως 0,7 μm και κατηγοριοποιούνται (ανάλογα με το χρώμα στο οποίο αντιστοιχούν) στις παρακάτω 6 φασματικές ζώνες.

- Ζώνη του κόκκινου : 610 - 700nm.
- Ζώνη του πορτοκαλί: 590 - 610nm.
- Ζώνη του κίτρινου: 570 - 590nm.
- Ζώνη του πράσινου: 500 - 570nm.
- Ζώνη του μπλε: 450 - 500nm.
- Ζώνη απόχρωσης του μπλε (indigo): 430 - 450nm.
- Ζώνη του βιολετί: 400 - 430nm.

Το μακρύτερο ορατό μήκος κύματος είναι το κόκκινο και το μικρότερο το βιολετή. Το επόμενο τμήμα του φάσματος ενδιαφέροντος είναι η υπέρυθρη (IR) περιοχή που καλύπτει το εύρος μήκους κύματος από περίπου 0,7 μm έως 100 μm . Η υπέρυθρη περιοχή μπορεί να είναι το ανακλώμενο IR και το εκπεμπόμενο ή θερμικό IR. Υπέρυθρα μικροκύματα που έχουν μήκος κύματος από 0.7 έως 300 μm και διαιρούνται στις ακόλουθες 5 κατηγορίες.

- Εγγύς υπέρυθρα μήκη κύματος (Near Infrared, NIR): από 0.7 έως 1.5 μm .
- Υπέρυθρα μικρά μήκη κύματος (Short Wavelength Infrared, SWIR): από 1.5 έως 3 μm .
- Υπέρυθρα μεσαία μήκη κύματος (Mid Wavelength Infrared, MWIR): από 3 έως 8 μm .
- Υπέρυθρα μεγάλα μήκη κύματος (Long Wavelength Infrared, LWIR): από 8 έως 15 μm .
- Υπέρυθρα απομακρυσμένα μήκη κύματος (Far Infrared, FIR): με μεγαλύτερο μήκος κύματος από 15 μm .

Η υπεριώδης ακτινοβολία βρίσκεται ανάμεσα στις ακτίνες X και στην ορατή περιοχή του φάσματος. Είναι η ακτινοβολία με την μεγαλύτερη ενέργεια στο οπτικό φάσμα και καλύπτει την περιοχή μηκών κύματος από 100 – 400 nm. Εκπέμπεται από εξαιρετικά θερμά σώματα όπως τα άστρα. Η υπεριώδης είναι ακτινοβολία υψηλής ενέργειας και αρκετά επιβλαβής.¹²

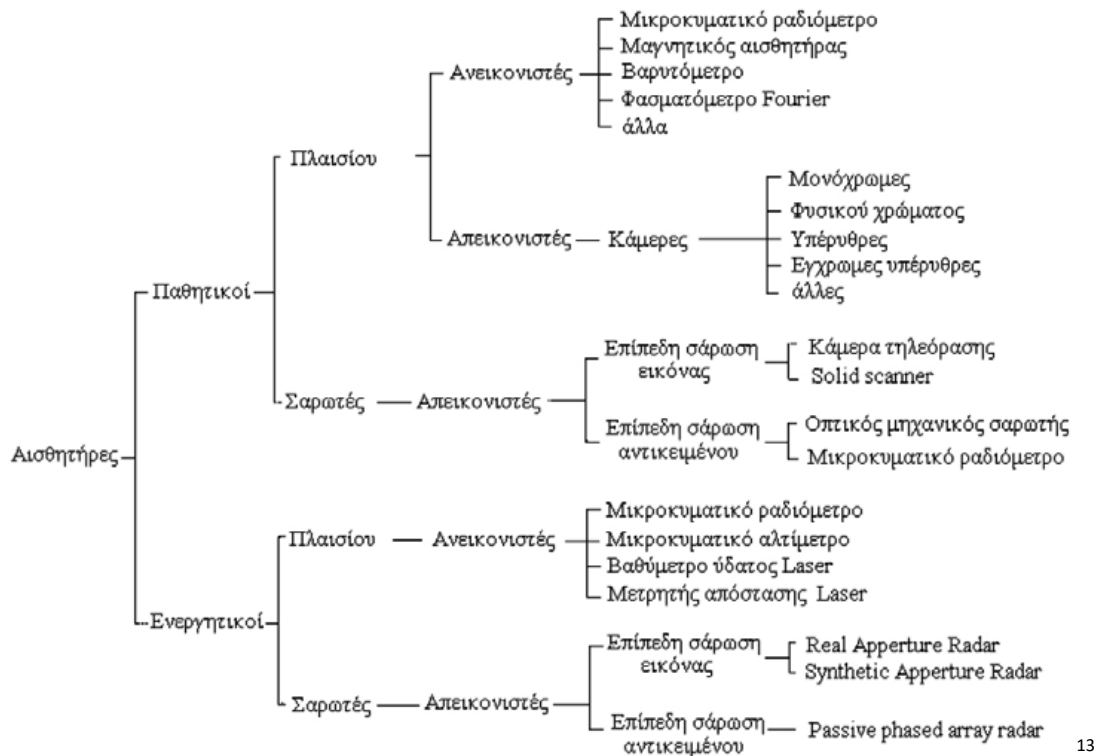
¹¹ Πηγή: Ισαάκ Παρχαρίδης, Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, 2015.

¹² Πηγή: Ισαάκ Παρχαρίδης, Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, 2015.

2.4. Κατηγοριοποίηση ανιχνευτών δορυφορικών συστημάτων

Οι δορυφόροι κατηγοριοποιούνται ανάλογα με την προέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αντανακλάται και ανιχνεύεται. Οι αισθητήρες, ή δέκτες-σαρωτές, διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: παθητικούς και ενεργητικούς. Οι παθητικοί αισθητήρες ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από φυσικές πηγές, ενώ οι ενεργητικοί χρησιμοποιούν την δική τους πηγή ακτινοβολίας, όπως τα ραντάρ. Αυτή η δεύτερη περίπτωση είναι γνωστή ως ραδιοανίχνευση.

Μια άλλη διάκριση ανάλογα με τους ανιχνευτές μπορεί να γίνει βασιζόμενη στον αριθμό των φασματικών ζωνών που ανιχνεύουν και στο φασματικό τους εύρος. Ένας ανιχνευτής που επιλέγει να καταγράφει σε μία φασματική ζώνη ονομάζεται μονοφασματικός και μπορεί να ανιχνεύει ανακλάσεις σε στενό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ή σε ευρύτερη περιοχή. Οι μονοφασματικοί ανιχνευτές που καταγράφουν σε ολόκληρο το ορατό φάσμα και το εγγύς υπέρυθρο δίνουν πλήρεις εικόνες, γνωστές ως παγχρωματικές. Οι ανιχνευτές πολυφασματικοί καταγράφουν δεδομένα σε περισσότερες από μία φασματικές ζώνες. Τέλος, οι υπερφασματικοί ανιχνευτές καταγράφουν ανακλάσεις σε πολλές φασματικές ζώνες στενού εύρους, συνήθως 10-20 νανομέτρων.



Εικόνα B2.4.1: Διαχωρισμός παθητικών και Ενεργητικών αισθητήρων

Η ποιότητα των δορυφορικών εικόνων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των φασματόμετρων που διαθέτουν οι αντίστοιχοι δορυφόροι και ειδικότερα εξαρτάται από την χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution), η φασματική διακριτική ικανότητα (spectral

¹³ Πηγή : ΠΜΣ Γεωχωρικές Τεχνολογίες : Τηλεπισκόπηση_Διάλεξη_01_02

resolution) ,η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (radiometric resolution) και η χρονική διακριτική ικανότητα (temporal resolution) .

Η χωρική διακριτική ικανότητα, αναφέρεται στο ελάχιστο μέγεθος της γήινης επιφάνειας που μπορεί να διακρίνει ο συγκεκριμένος αισθητήρας, δηλαδή στην γήινη έκταση που αντιπροσωπεύει ένα εικονοστοιχείο (pixel) της εικόνας του συγκεκριμένου αισθητήρα (του συγκεκριμένου δορυφόρου). Pixel ονομάζουμε το στοιχειώδες κομμάτι εικόνας ή εικονοστοιχείο, συνήθως στην οθόνη του υπολογιστή, (αλλά και στις ψηφιακές εικόνες γενικότερα) και που αντιπροσωπεύει έναν συγκεκριμένο μέγεθος της γήινης επιφάνειας. Η φασματική διακριτική ικανότητα , αναφέρεται στον αριθμό των μηκών κύματος που μπορεί να καταγράψει την επιφάνεια της γης ο συγκεκριμένος αισθητήρας συνεπώς ουσιαστικά αναφέρεται στον αριθμό των φασματικών καναλιών από τα οποία αποτελείται η συγκεκριμένη δορυφορική εικόνα. ¹⁴

Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα αναφέρεται στην ποιότητα του αισθητήρα (του συγκεκριμένου δορυφόρου) να ανιχνεύει διαφορετικά επίπεδα έντασης της καταγεγραμμένης ακτινοβολίας. Αυτό εκφράζεται μέσω του αριθμού των bits που αποθηκεύονται για κάθε εικονοστοιχείο στο δυαδικό σύστημα, οι οποίοι αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο ακέραιο αριθμό στο δεκαδικό σύστημα. Τέλος η χρονική διακριτική ικανότητα, αναφέρεται στον χρόνο επαναδιέλευσης (και άρα επανεγγραφής) από την ίδια γήινη περιοχή.

2.5. Ιστορική αναφορά δορυφορικών συστημάτων

Οι δορυφόροι αποτέλεσαν τα συστήματα συλλογής και καταγραφής δεδομένων ,όπου κάθε νέα αποστολή από τους ερευνητές με προσδοκία περισσότερων συχνότερων δεδομένων , ανάπτυξη νέων καταγραφικών δυνατοτήτων και εντοπισμό χαρτογραφικών στοιχείων.

Το πρώτο πρόγραμμα που εκκίνησε η NASA το 1967 ήταν το ERTS (Earth Resource Technology Satellite) που είχε ως στόχο να εκτοξεύσει πέντε δορυφόρους με διάφορα συστήματα Τηλεπισκόπησης, τα οποία αρχικά σχεδιάστηκαν για να αποκτήσουν πληροφορίες για τους φυσικούς πόρους της Γης. Ο πρώτος δορυφόρος, ERTS-1, εκτοξεύτηκε στις 23 Ιουλίου 1972. Στην συνέχεια, ο ERTS-2 εκτοξεύτηκε στις 22 Ιανουαρίου 1975, αλλά πριν την εκτόξευσή του, η NASA τον μετονόμασε σε LANDSAT, ξεχωρίζοντάς τον έτσι από τον ωκεανογραφικό δορυφόρο SEASAT που εκτοξεύτηκε στις 26 Ιουνίου 1978.

Ο ERTS-1 μετονομάστηκε ύστερα σε LANDSAT-1 και ο ERTS-2 γίνεται γνωστός ως LANDSAT-2 κατά την εκτόξευσή του. Ο LANDSAT-3 εκτοξεύτηκε στις 5 Μαρτίου 1978, ο LANDSAT-4 στις 16 Ιουλίου 1982 και ο LANDSAT-5 στις 1 Μαρτίου 1984. Οι LANDSAT-2 και -3 λειτούργησαν επιτυχώς μέχρι τις 27 Ιουλίου 1983 και 7 Σεπτεμβρίου 1983, αντίστοιχα, πριν διακοπεί η λειτουργία τους λόγω διαφόρων μηχανικών βλαβών. Ο LANDSAT-6, παρόλο που εκτοξεύτηκε, έπεσε στη θάλασσα λίγο μετά την εκτόξευση λόγω βλάβης. Ο δορυφόρος LANDSAT-7 εκτοξεύτηκε στις 15 Απριλίου 1999 και από τότε παρέχει δεδομένα αυτής της σειράς αλλά με μηχανικό πρόβλημα (ραβδώσεις) να εμφανίζονται στις δορυφορικές εικόνες

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

από την 31/05/2003. Τέλος, ο Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά στις 11 Φεβρουαρίου 2011, συνεχίζοντας αυτήν την κληρονομιά.¹⁵

Το Landsat 8 καταγράφει περίπου 400 εικόνες ημερησίως και τις αποστέλλει στην βάση δεδομένων του USGS (κατά 150 περισσότερες από τον Landsat 7), αυξάνοντας έτσι την πιθανότητα απόκτησης εικόνων χωρίς σύννεφα. Τα φασματικά κανάλια του δορυφόρου Landsat 8 παρουσιάζουν τις εξής χαρακτηριστικές ιδιότητες:

Φασματικό Κανάλι 1: Ανιχνεύει το βαθύ μπλε, που είναι δύσκολο να καταγραφεί από το διάστημα λόγω της διάχυσης από μικροσκοπικά σωματίδια στον αέρα και από τα ίδια τα μόρια του αέρα. Αυτό εξηγεί γιατί τα μακρινά αντικείμενα φαίνονται γαλαζωπά και ο ουρανός είναι μπλε. Είναι το μόνο φασματικό κανάλι που παράγει ανοιχτά δεδομένα σε αυτήν την ανάλυση.

Φασματικά Κανάλια 2, 3, 4: Καλύπτουν το μπλε, το πράσινο και το κόκκινο του ορατού φάσματος.

Φασματικό Κανάλι 5: Μετρά το κοντινό υπέρυθρο, σημαντικό για την οικολογία καθώς αντανάκλα την υγρασία στα φύλλα των φυτών, επιτρέποντας τη μέτρηση της βλάστησης με μεγαλύτερη ακρίβεια από το ορατό πράσινο φάσμα.

Φασματικά Κανάλια 6, 7: Καλύπτουν διαφορετικά τμήματα του μικροκυματικού υπέρυθρου, χρήσιμα για τον διαχωρισμό υγρών και ξηρών εδαφών καθώς και για γεωλογικές μελέτες.

Φασματικό Κανάλι 8: Το παγχρωματικό κανάλι, το οποίο συνδυάζει τα ορατά χρώματα σε ένα κανάλι, προσφέροντας υψηλή χωρική ανάλυση και καθιστώντας το ιδιαίτερα κατάλληλο για διαφορετικές εφαρμογές παρακολούθησης.

Φασματικό Κανάλι 9: Καταγράφει το πολύ μικρό υπέρυθρο κοντά στο 1370nm, πολύτιμο για την καταγραφή συννεφιών.

Φασματικά Κανάλια 10, 11: Ανήκουν στο θερμικό υπέρυθρο και καταγράφουν τη θερμότητα του εδάφους.

Το πρόγραμμα Copernicus της ESA αναδεικνύεται ως εργαλείο για την παρατήρηση της Γης, παρέχοντας ακριβείς, έγκαιρες και προσβάσιμες πληροφορίες για την αξιοποίηση τους με απώτερους σκοπούς την κατανόηση και μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, την διασφάλιση της ασφάλειας των πολιτών κτλ. Το Copernicus αντιπροσωπεύει την ανανεωμένη ονομασία του προγράμματος Παγκόσμιας Παρακολούθησης του Περιβάλλοντος και της Ασφάλειας (GMES), το οποίο διαχειρίζεται υπό την εποπτεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (ΕΕ) σε συνεργασία με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (ESA). Ο ESA προωθεί κυρίως του δορυφόρους Sentinel, όπου παρέχουν ένα εκτεταμένο σύνολο παρατηρήσεων, ξεκινώντας από εικόνες ραντάρ παντός καιρού, σε εικοσιτετράωρη βάση. Ο Sentinel-2 προσφέρει υψηλής ανάλυσης οπτικές εικόνες, ενώ ο Sentinel-3 καταγράφει δεδομένα για θαλάσσιες και εδαφικές εφαρμογές. Οι Sentinel-4 και Sentinel-5 παρέχουν δεδομένα για την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας από γεωστατική και πολική τροχιά, αντίστοιχα. Τέλος, ο Sentinel-6 θα μετρά το ύψος της επιφάνειας της θάλασσας σε παγκόσμια κλίμακα, κυρίως για εφαρμογές ωκεανογραφίας και μελέτης της κλιματικής αλλαγής.

¹⁵ Πηγή: Ισαάκ Παρχαρίδης, Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, 2015.

Ο δορυφόρος Sentinel-1 αποτελεί ένα εξαιρετικά προηγμένο μέσο παρατήρησης της Γης, το οποίο χρησιμοποιεί ένα προηγμένο ραντάρ για την λήψη εικόνων ημέρας και νύχτας, ανεξαρτήτως καιρικών συνθηκών. Ο όρος SAR (Synthetic Aperture Radar) που χρησιμοποιείται στην μικροκυματική ζώνη C- βασίζεται στην τεχνολογική κληρονομιά των προηγούμενων δορυφόρων ERS-1, ERS-2, Envisat και Radarsat του ΕΟΔ και του Καναδά. Ο Sentinel-1 αποτελείται από έναν αστερισμό δύο δορυφόρων, τον Sentinel-1A και τον Sentinel-1B, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε αντίθετες τροχιές με απόσταση 180° μεταξύ τους, καλύπτοντας ολόκληρη την επιφάνεια της Γης κάθε έξι ημέρες.

Ο δορυφόρος Sentinel-2 είναι εξοπλισμένος με ένα καινοτόμο όργανο καταγραφής ευρείας χωρικής και υψηλής χωρικής ανάλυσης πολυφασματικών δεδομένων που καλύπτουν 13 φασματικές ζώνες. Αυτός ο δορυφόρος παρέχει νέα προοπτική για την παρακολούθηση της Γης και της βλάστησης, καλύπτοντας ευρύ πλάτος έως 290 χιλιόμετρα με υψηλή επανάληψη ανάλυσης πάνω από την ίδια περιοχή κάθε πέντε μέρες στον Ισημερινό. Η αποστολή του Sentinel-2 παρέχει σημαντικές πληροφορίες για γεωργικές και δασοκομικές πρακτικές και συμβάλλει στην διαχείριση της επισιτιστικής ασφάλειας.

Ο δορυφόρος Sentinel-3 έχει ως κύριο στόχο την μέτρηση της τοπογραφίας της θαλάσσιας επιφάνειας και της θερμοκρασίας, παρέχοντας υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας δεδομένα για την υποστήριξη της πρόβλεψης της κατάστασης των θαλάσσιων συστημάτων, καθώς και για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος και της αλλαγής του κλίματος.

Τέλος, οι αποστολές Sentinel-4 και Sentinel-5 είναι εστιασμένες στην παρακολούθηση της σύνθεσης της ατμόσφαιρας για τις ανάγκες των υπηρεσιών Copernicus Atmosphere. Ο Sentinel-4 παρατηρεί από γεωστατική τροχιά, ενώ ο Sentinel-5 από πολική τροχιά, σε συνεργασία με τους δορυφόρους Meteosat τρίτης γενιάς και MetOp δεύτερης γενιάς, αντίστοιχα. Οι Sentinel δορυφόροι παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την ατμοσφαιρική ποιότητα και το κλίμα, υποστηρίζοντας τις ευρωπαϊκές περιβαλλοντικές πολιτικές.¹⁶

Ο δορυφόρος IKONOS, ο πρώτος εμπορικός δορυφόρος που παρείχε δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, τέθηκε σε τροχιά με επιτυχία στις 24 Σεπτεμβρίου 1999. Αποτελεί δημιούργημα της εταιρείας DigitalGlobe με αισθητήρα υψηλής ανάλυσης που μπορεί να καταγράφει πολυφασματικές εικόνες, περιλαμβανομένων ορατών, κοντινών υπέρυθρων και παγχρωματικών εικόνων. Η διακριτική ικανότητά του φτάνει τα 3,2m στις πολυφασματικές εικόνες και τα 0,82m στο παγχρωματικό κανάλι, όταν καταγράφει από το ναδίρ. Οι εφαρμογές του IKONOS εκτείνονται από την αστική και αγροτική περιοχή, συμπεριλαμβανομένων της χαρτογράφησης φυσικών πόρων, της γεωργίας και της δασοκομίας, έως την εξόρυξη ορυκτών πόρων, τις κατασκευές και την ανίχνευση αλλαγών στο περιβάλλον. Στις 22 Ιανουαρίου 2015, η DigitalGlobe ανακοίνωσε πρόβλημα στην λήψη εικόνων από τον IKONOS κατά τη διάρκεια εργασιών συντήρησης, επιδιορθώνοντας τεχνικά θέματα για την βελτίωση της ακρίβειας των δεδομένων.

Ο δορυφόρος WorldView-1 τέθηκε σε τροχιά στις 18 Σεπτεμβρίου 2007, λειτουργώντας σε ύψος 496 χιλιομέτρων και προσφέροντας χωρική διακριτική ικανότητα 0,5m στις εικόνες. Ο WorldView-2, που τέθηκε σε τροχιά στις 8 Οκτωβρίου 2009, διπλασιάζει την ικανότητα συλλογής σε σχέση με τον WorldView-1, καθώς είναι σε θέση να συλλέξει περίπου 1.000.000 km² καθημερινά. Επίσης, παρέχει παγχρωματικά δεδομένα με ανάλυση 0,46 μέτρα και

¹⁶ Πηγή: Ισαάκ Παρχαρίδης, Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, 2015.)

στερεοσκοπική παρατήρηση, ενισχύοντας την ευελιξία και την αποτελεσματικότητα στην συλλογή δεδομένων.

Ο δορυφόρος WorldView-3, με υψόμετρο 617 χιλιομέτρων, παρέχει ακόμα υψηλότερη χωρική ανάλυση, φτάνοντας τα 31cm στο παγχρωματικό κανάλι και τα 1,24m στα πολυφασματικά. Οι δορυφόροι Pleiades-1A και 1B επίσης προσφέρουν έγχρωμα δεδομένα με χωρική ανάλυση 50 εκατοστών, αποτελώντας ιδανική λύση για χαρτογράφηση ακριβείας και παρακολούθηση πολύπλοκων περιβαλλοντικών και βιομηχανικών διαδικασιών. Τέλος, ο δορυφόρος TerraSAR-X παρέχει υψηλής ανάλυσης δεδομένα SAR στο κανάλι Χ, χρησιμοποιώντας το ραντάρ για να καταγράφει εικόνες ανεξάρτητα από τις καιρικές συνθήκες και την παρουσία φωτός.

2.6. Τεχνικές Σύντηξης δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων (DATA FUSION)

Η αυξανόμενη τάση του αριθμού των ενεργών δορυφόρων που έχουν τεθεί σε τροχιά με την πληθώρα δεδομένων τα οποία εφαρμόζουν και μεταδίδουν δεδομένα σε διαφορετικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, με διαφορετικές χωρικές, χρονικές και φασματικές αναλύσεις, όπως προαναφέρθηκε, έχει παρέχει στην επιστημονική κοινότητα την δυνατότητα να συνδυάζει αυτά τα δεδομένα με αποτέλεσμα την παραγωγή βελτιωμένων απεικονίσεων και αναλύσεων. Η συνδυασμένη αυτή προσέγγιση μπορεί να παρέχει λύσεις σε πολλές εφαρμογές με την χρήση αυτής της καινούργιας τεχνικής για την βελτιωμένη αξιοποίηση των δορυφορικών δεδομένων. Η συγχώνευση ή ενοποίηση αυτών των δεδομένων έχει προωθήσει την εξέλιξη στον τομέα, με τα τελικά προϊόντα να παρέχουν πολλές φορές βελτιωμένες ικανότητες ερμηνείας και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Αυτό συμβαίνει γιατί συνδυάζονται δεδομένα με διαφορετικά χαρακτηριστικά.¹⁷

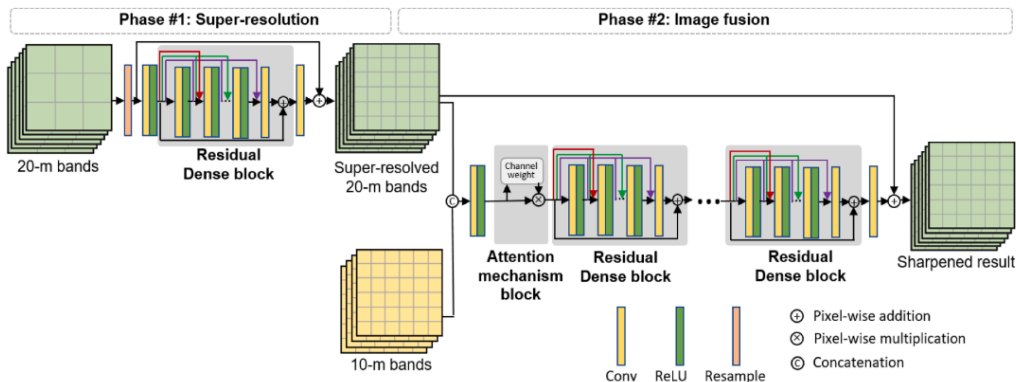
Η τεχνική της σύμπτυξης εικόνων, επίσης γνωστή ως συγχώνευση εικόνων, αποτελεί σημαντικό ερευνητικό πεδίο στην επεξεργασία εικόνων, ενσωματώνοντας διαφορετικές πληροφορίες για την δημιουργία μιας ενιαίας και βελτιωμένης εικόνας. Κατατάσσεται στην κατηγορία της χωρικής ενίσχυσης, διαμορφώνοντας τις τιμές των pixel με βάση τις γειτονικές τους τιμές. Η ουσιαστική χωρική συχνότητα αναφέρεται στην απόκλιση μεταξύ των υψηλότερων και χαμηλότερων τιμών σε μια συνεχή ομάδα pixel .

Η ανάπτυξη της έννοιας της σύμπτυξης εικόνων ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του '70, με την ανάγκη επεξεργασίας εικόνων ραντάρ και πολυφασματικών εικόνων Landsat MSS. Από το 1991, πραγματοποιήθηκαν πρώτα πειράματα σύμπτυξης εικόνων Landsat, ενώ μετά το 1990, με την πλήρη εκτελεστική λειτουργία πολλών χαρτογραφικών δορυφόρων, η τεχνική αυτή έγινε βασικό πεδίο ερευνητικού ενδιαφέροντος για την ανάλυση και επεξεργασία δορυφορικών εικόνων. Από τότε, διατυπώθηκαν αρκετοί ορισμοί για την σύμπτυξη εικόνων: (α) η σύμπτυξη εικόνας να είναι συνδυασμός δύο ή περισσότερων εικόνων δίνοντας μια νέα εικόνα με χρήση συγκεκριμένων αλγόριθμων, (β) η σύμπτυξη εικόνας να είναι η διαδικασία συνδυασμού πληροφοριών από δύο ή περισσότερες εικόνες της ίδιας περιοχής, σε μια σύνθετη εικόνα η οποία περιέχει περισσότερη πληροφορία από τις αρχικές, ενώ παράλληλα είναι κατάλληλη για οπτική αναγνώριση αλλά και αλγοριθμική επεξεργασία, (γ) η σύμπτυξη εικόνας να είναι η διαδικασία συνδυασμού εικόνων της ίδιας περιοχής, που λαμβάνονται από αισθητήρες διαφορετικών μηκών κύματος για να δομήσουν μια συνθετική εικόνα. Η

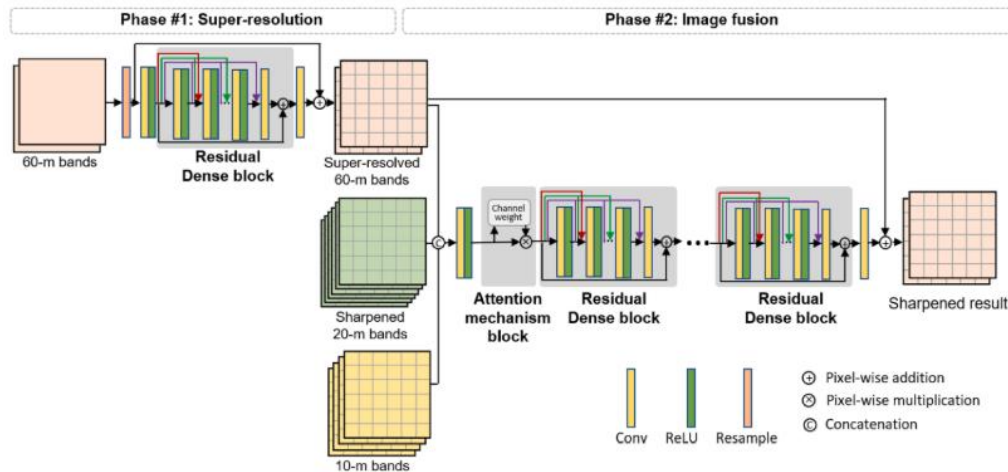
¹⁷ Πηγή: Ισαάκ Παρχαρίδης, Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, 2015.

συνθετική εικόνα διευκολύνει τον χρήστη στον εντοπισμό, αναγνώριση και ταυτοποίηση στοιχείων του εδάφους ενώ ταυτόχρονα αυξάνει την αντίληψή του για το χώρο.¹⁸

Η εικόνα από δορυφορικούς δέκτες και σύντηξης δεδομένων είναι ένας κεντρικός ερευνητικός τομέας με αυξανόμενη σημασία. Η σύντηξη εικόνων Τηλεπισκόπησης ενσωματώνει χωρικά, φασματικά και χρονικά δεδομένα από αερομεταφερόμενους και δορυφορικούς αισθητήρες με διάφορες αναλύσεις για να παρέχει μια σύντηξη εικόνων πολλαπλών αισθητήρων που περιέχει πιο εκτεταμένες πληροφορίες από καθένα από τα αρχικά δεδομένα. Τα δεδομένα από πολλαπλούς αισθητήρες Τηλεπισκόπησης μπορούν να συγχωνευθούν για να βελτιώσουν σημαντικά την πρόβλεψη και την χαρτογράφηση των ιδιοτήτων του εδάφους.



¹⁹Εικόνα B2.6.1: Σχηματική απεικόνιση του προτεινόμενου εφαρμογής για την όξυνση των ζωνών των 20 m.



Εικόνα B2.6.2: Σχηματική απεικόνιση του προτεινόμενου εφαρμογής για την όξυνση των ζωνών των 60 m.

¹⁸ Πηγή: Ισαάκ Παρχαρίδης, Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, 2015.

¹⁹ Πηγή: 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.

²⁰ Πηγή: 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.

Η συγχώνευση δεδομένων στοχεύει στον συνδυασμό ασυνάρτητων και συμπληρωματικών πληροφοριών με σκοπό την δημιουργία ενός νέου προϊόντος που θα ενσωματώνει όσο το δυνατόν περισσότερα χαρακτηριστικά και πληροφορίες από τις αρχικές εικόνες. Με αυτόν τον τρόπο, αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα των αρχικών δεδομένων και βελτιώνεται η ποιότητα της πληροφορίας. Η συγχώνευση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε διαφορετικούς τύπους δεδομένων:

1. Ενσωμάτωση ενεργητικών συστημάτων καταγραφής όπως εικόνες ραντάρ, που παρέχουν χρονοσειριακή εικόνα, με πολυφασματικές εικόνες SAR.
2. Συνδυασμός οπτικών αισθητήρων για διαχρονική ανάλυση με πολυφασματικές εικόνες.
3. Χρήση οπτικών αισθητήρων για την χαρτογράφηση περιοχών, επιτυγχάνοντας την χωρική ενίσχυση των πολυφασματικών εικόνων. Ένα παράδειγμα είναι η σύμπτυξη των εικόνων Spot με τις εικόνες Landsat.
4. Συνδυασμός δορυφορικών δεδομένων με επιπλέον βοηθητικά δεδομένα, όπως τοπογραφικούς χάρτες, για περαιτέρω εμπάθυνση στην ανάλυση και ερμηνεία των πληροφοριών.

Η συγχώνευση εικόνων μπορεί να βελτιώσει την ερμηνευτική δυνατότητα και να παράγει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα, καθώς συνδυάζει δεδομένα με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Οι συγχωνευμένες εικόνες καλύπτουν μεγάλο φάσμα φασματικής, χωρικής και χρονικής ανάλυσης, προσφέροντας μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των αντικειμένων που παρατηρούνται. Για παράδειγμα, με την οπτική παγχρωματική εικόνα υψηλής ανάλυσης, μπορούμε να δούμε την υψηλή χωρική λεπτομέρεια του σχήματος, του μεγέθους και του μοτίβου ενός αντικειμένου. Όταν προστίθεται μια πολύ-ειδική εικόνα, παρατηρούμε τις φασματικές λεπτομέρειες διαφόρων κυμάτων σε διάφορους χρωματικούς συνδυασμούς. Στην συνέχεια, προσθέτοντας μια θερμική υπέρυθρη εικόνα των ίδιων αντικειμένων, προσθέτουμε την θερμοκρασία και την εκπομπή του αντικειμένου, διευκολύνοντας την αναγνώριση και την κατανόηση του αντικειμένου. Όταν επιλέγεται επίσης μια εικόνα ραντάρ, παρέχονται και άλλες μοναδικές ιδιότητες του στόχου ενδιαφέροντος. Πρόσθετες πηγές δεδομένων μπορεί επίσης να συγχωνευθούν, όπως τοπογραφικοί χάρτες και θεματικοί χάρτες, για να κατανοήσουν τι είναι το αντικείμενο, πώς αυτό έχει αλλάξει με την πάροδο του χρόνου κ.λπ.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την σύντηξη εικόνων που πρέπει να ληφθούν υπόψη πριν μπορέσουμε να επιλέξουμε την βέλτιστη προσέγγιση για την λύση ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Μερικά βασικά ερωτήματα που πρέπει να ληφθούν υπόψη από τον χρήστη είναι τα εξής:

- Ο στόχος/εφαρμογή ώστε να καθοριστούν τα απαραίτητα φάσματα , χωρική και χρονική ανάλυση των εικόνων Τηλεπισκόπησης που πρέπει να συντηχθούν.
- Το είδος εικόνων και δεδομένων Τηλεπισκόπησης που είναι χρήσιμα για την κάλυψη αυτών των αναγκών. Αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα τροχιακά χαρακτηριστικά του δορυφόρου ή της πλατφόρμας των αερομεταφερόμενων ή άλλων πλακών, ιδίως όσον αφορά τη γεωμετρία απεικόνισης και την ημερομηνία και ώρα της ημέρας λήψης εικόνας. Οι

καιρικές συνθήκες, οι εποχιακές επιπτώσεις, έχουν μεγάλη επίδραση σε οποιαδήποτε συγχωνευμένα προϊόντα εικόνας. Ο τύπος του τοπίου, ειδικά η τοπογραφία, έχει επίσης σημαντική επίδραση στις λιωμένες εικόνες.

- Η επιλογή της "καλύτερης" τεχνικής για την συγχώνευση αυτών των τύπων εικόνων και δεδομένων για την αντιμετώπιση του συγκεκριμένου προβλήματος. Εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμογή/πρόβλημα που διερευνάται. Επιπλέον, καθορίζεται από την επιλογή κατάλληλων μεθόδων ερμηνείας, καθώς όταν κάποιος συγχωνεύει πολύ διαφορετικά σύνολα δεδομένων, όπως οπτικά δεδομένα με εικόνες SAR, οι προκύπτουσες τιμές γκρι δεν αναφέρονται στην πραγματικότητα σε φυσικά χαρακτηριστικά, με αποτέλεσμα να εξακολουθεί να υπάρχει ανάγκη για βασική αλήθεια για σκοπούς επαλήθευσης.
- Η γεωμετρία είναι σαφώς ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα, καθώς το σχήμα, το μέγεθος και η διάταξη των εικονοστοιχείων από οπτικούς δορυφόρους εξαρτώνται από το αν η πλατφόρμα απεικόνισης είναι κάθετα πάνω από το αντικείμενο ενδιαφέροντος ή είναι εκτός ναδύρ και από τα ακριβή τροχιακά χαρακτηριστικά του δορυφόρου ή της αερομεταφερόμενης πλατφόρμας. Η γεωμετρία των αισθητήρων SAR είναι επίσης αρκετά διαφορετική από αυτή των οπτικών, οπότε οι γεωμετρικές πτυχές χρειάζονται προσοχή κατά την σύντηξη τέτοιων εικόνων.

2.7. Τύποι σύντηξης δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων (DATA FUSION)

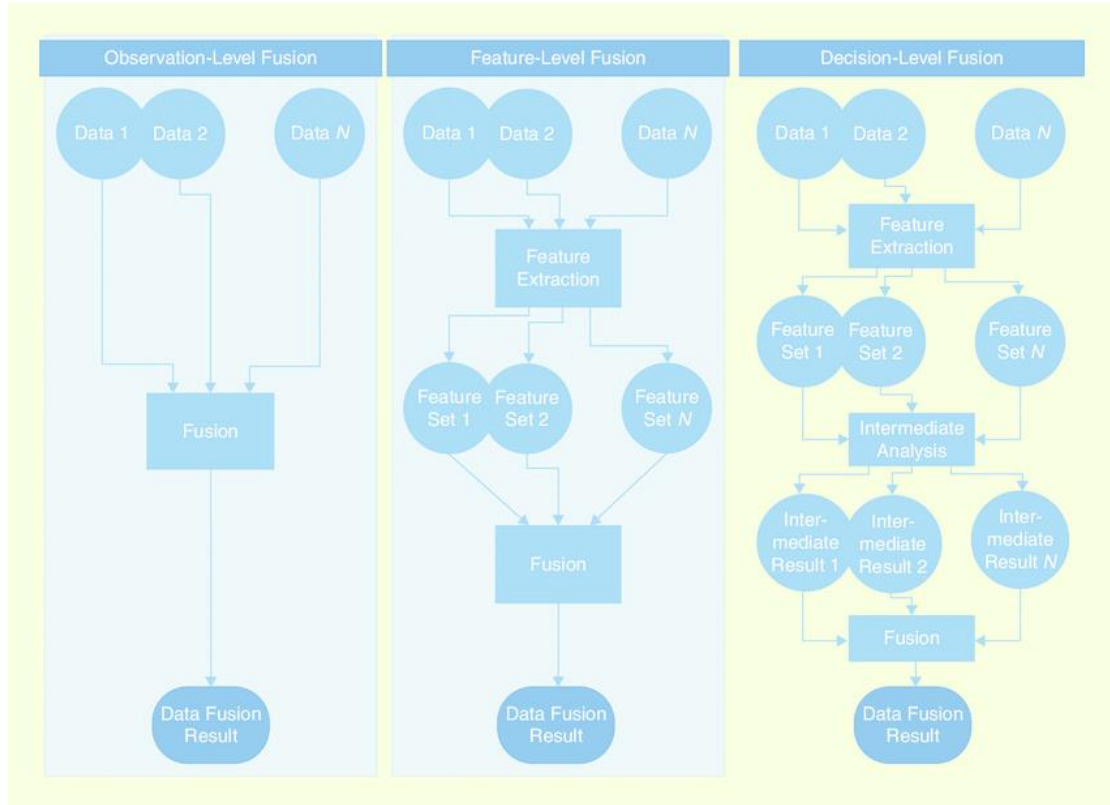
Μία από τις απλούστερες, ευκολότερες και πιο κοινές χρήσεις της σύντηξης εικόνας είναι η αύξηση της χωρικής ανάλυσης μιας εικόνας. Η πιο συχνή χρήση αυτής της προσέγγισης όξυνσης εικόνας είναι όταν μια υψηλής ανάλυσης παγχρωματική satellite ή αερομεταφερόμενη εικόνα συγχωνεύεται με μια πολυφασματική εικόνα χαμηλότερης ανάλυσης (pansharpening). Μέσω αυτής της διαδικασίας, μπορεί να διατηρηθεί η φασματική ανάλυση των πολυφασματικών εικόνων, ενώ ενσωματώνεται η υψηλότερη χωρική ανάλυση της παγχρωματικής εικόνας, η οποία αντιπροσωπεύει το περιεχόμενο πληροφοριών εικόνας της εικόνας με πολύ περισσότερες λεπτομέρειες. Ένα άλλο παράδειγμα είναι όταν οι οπτικές εικόνες υψηλής ανάλυσης συγχωνεύονται με δεδομένα SAR χαμηλότερης ανάλυσης ή το αντίστροφο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα όχι μόνο την ενσωμάτωση διαφορετικών συνόλων δεδομένων, αλλά χρησιμοποιείται επίσης για την βελτίωση των σχετικών εικόνων. Στο πεδίο της χαρτογράφησης και ιδιαίτερα της ενημέρωσης χαρτών, η γεωμετρική ακρίβεια και η αύξηση των χωρικών κλιμάκων είναι πτυχές όπου εφαρμόζονται τεχνικές συγχώνευσης εικόνων και δεδομένων.

Η σύμπτυξη σε επίπεδο pixel αποτελεί το χαμηλότερο επίπεδο επεξεργασίας και υλοποιείται σε δεδομένα που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά (π.χ. δύο οπτικοί αισθητήρες κ.λπ.). Βασική προϋπόθεση είναι οι αρχικές εικόνες να έχουν κοινό σύστημα αναφοράς και υψηλής ακρίβειας χωρική ταύτιση για την αποφυγή σφαλμάτων μετατόπισης στην τελική εικόνα.

Η σύμπτυξη σε επίπεδο αντικειμένου, συνίσταται στην εξαγωγή πληροφοριών αναγνωρίσιμων στις αρχικές εικόνες βάσει χαρακτηριστικών όπως το σχήμα, το μέγεθος και η γειτνίαση των αντικειμένων αυτών. Τα αντικείμενα που εξάγονται από διαφορετικές εικόνες συνδυάζονται και αποτελούν δεδομένα εισόδου σε τεχνικές αναγνώρισης προτύπων (pattern recognition). Η σύμπτυξη σε επίπεδο λήψης απόφασης προϋποθέτει την εξαγωγή πληροφορίας από κάθε αισθητήρα χωριστά, έτσι ώστε να συνδυάζονται στην συνέχεια όλες

οι υφιστάμενες πληροφορίες συμβάλλοντας στην καλύτερη κατανόηση των υπό εξέταση αντικειμένων.²¹

Οι μέθοδοι σύνθεσης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες ανάλογα με το επίπεδο που λαμβάνει χώρα η σύνθεση.



²²Εικόνα Β2.7.1: Οι τρεις τύποι συγχώνευσης δεδομένων συγκρίνονται δίπλα-δίπλα: επίπεδο παρατήρησης, επίπεδο χαρακτηριστικών και επίπεδο απόφασης.

Η ερευνητική προσπάθεια στον τομέα της σύνθεσης δεδομένων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ποικίλων αλγορίθμων και μεθόδων. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος και οι διαφορετικοί στόχοι κάθε εφαρμογής είναι κάποιιοι από τους λόγους που εξηγούν την μεγάλη ποικιλία των προσεγγίσεων και μεθόδων που έχουν προταθεί.

Οι μέθοδοι συγχώνευσης δεδομένων κατηγοριοποιούνται σε δύο βασικές ομάδες:

A) Μέθοδοι που βασίζονται σε χρωματικά συστήματα (όπως RGB, IHS κλπ.) (Welch & Ehlers, 1987).

B) Στατιστικές ή αριθμητικές μέθοδοι:

1. Αριθμητικοί συνδυασμοί (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός και διαίρεση φασματικών καναλιών) (Carper et al., 1990).
2. Ανάλυση κύριων συνιστωσών (Yesou et al., 1993).

²¹ Πηγή: Κωνσταντίνος Γ. Περάκης / Ιωάννης Ν. Φαρασλής / Αθανάσιος Κ. Μωυσιάδης, Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και βοηθήματα, 2015.

²² Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/The-three-types-of-data-fusion-are-compared-side-by-side-observation-level-feature_fig2_311695249

3. Χρήση φίλτρων high-pass (Shettigara, 1992).
4. Μεταβλητές πολλαπλής ανάλυσης (Singh, 1989).
5. Μετασχηματισμός Wavelet (Ranchin & Wald, 1993).²³

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τεχνικές χρωματικής σύνθεσης τριών καναλιών της εικόνας στο χρωματικό μοντέλο RGB (Red, Green, Blue) καθώς και πιο πολύπλοκους μετασχηματισμούς, όπως για παράδειγμα η τεχνική της έντασης-απόχρωσης-κορεσμού (Intensity, Hue, Saturation - IHS) και η τεχνική της απόχρωσης-κορεσμού- ραδιομετρικής τιμής (Hue, Saturation, Value - HSV).²⁴

Η δεύτερη κατηγορία βασίζεται σε στατιστικές αναλύσεις των φασματικών καναλιών όπως η ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA) το φίλτρο υψηλής προσπέλασης (High Pass filter) και η πιο διαδεδομένη μέθοδος της παλινδρόμησης.

Οι αριθμητικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τις κλασικές πράξεις, όπως η πρόσθεση, ο πολλαπλασιασμός, η αφαίρεση και η διαίρεση και εφαρμόζεται στα φασματικά κανάλια .

Η κύρια εφαρμογή σύμπτυξης είναι το χρωματικό μοντέλο Έντασης-Απόχρωσης-Κορεσμού (IHS), το οποίο μετασχηματίζει τα κανάλια Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε (RGB) της πολυφασματικής εικόνας σε συνιστώσες Έντασης-Απόχρωσης-Κορεσμός (IHS). Η τροποποίηση της έντασης αντικαθίσταται από την παγχρωματική εικόνα και εκτελείται ο αντίστροφος μετασχηματισμός (από IHS σε RGB) και αποδίδει την πολυφασματική εικόνα με υψηλή χωρική ανάλυση.²⁵

Η άλλη κύρια μέθοδος σύμπτυξης είναι η Gram-Schmidt Spectral Sharpening (GSSS) και χρησιμοποιείται συνήθως στην χαρτογράφηση γεωλογικών σχηματισμών. Στην μέθοδο (GSSS), όπως περιγράφεται από τους εφευρέτες της Laben και Brower (2000), η χωρική ανάλυση της εικόνας MS βελτιώνεται με την συγχώνευση της πανχρωματικής εικόνας υψηλής ανάλυσης με τις ζώνες MS χαμηλής χωρικής ανάλυσης. Τα βήματα των μεθόδων είναι τα εξής:

1. Προσομοιώνεται μια εικόνα χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης. Η διαδικασία είναι υπεύθυνη για τον υπολογισμό της προσομοιωμένης χαμηλής-ανάλυσης εικόνας που λαμβάνεται ως ο μέσος όρος pixel των ζωνών MS. Η εικόνα δηλαδή που παράγεται κατά την διαδικασία σύντηξης είναι χωρικά ευκρινής αλλά ορισμένες αλλαγές στα χρώματα είναι αξιοσημείωτη όσον αφορά την επανειλημμένη δειγματοληψία .

2. Ο μετασχηματισμός Gram-Schmidt εκτελείται στην χαμηλή χωρική ανάλυση και στην πλειάδα της φασματικής ζώνης χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης. Η προσομοιωμένη εικόνα χαμηλότερης χωρικής ανάλυσης χρησιμοποιείται ως η πρώτη στον μετασχηματισμό Gram-Schmidt. Η εφαρμογή παράγει μια συνθετική εικόνα η οποία συνήθως λαμβάνεται με προκαταρκτικό χαμηλοπερατό φιλτράρισμα και στην συνέχεια αποδεκατισμό της εικόνας . Οι χωρικές λεπτομέρειες που εγχέονται δεν είναι τόσο ευκρινείς όσο στην περίπτωση του

²³ Πηγή: Ισαάκ Παρχαρίδης, Αρχές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης Θεωρία και εφαρμογές, ΣΥΝΔΕΣΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΩΝ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΩΝ, 2015.

²⁴ Πηγή: Κωνσταντίνος Γ. Περάκης / Ιωάννης Ν. Φαρασλής / Αθανάσιος Κ. Μωυσιάδης, Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και βοηθήματα, 2015.

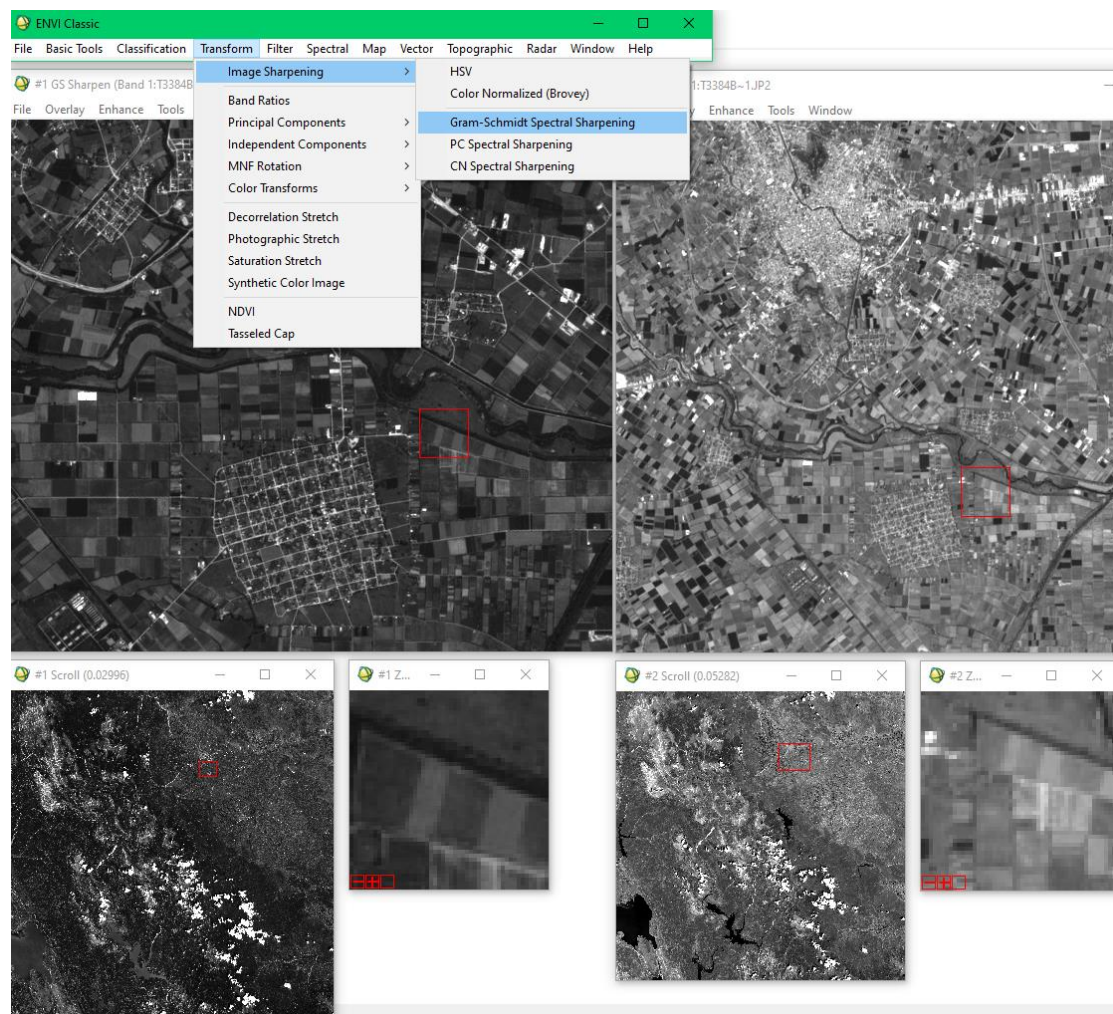
²⁵ Πηγή: Κωνσταντίνος Γ. Περάκης / Ιωάννης Ν. Φαρασλής / Αθανάσιος Κ. Μωυσιάδης, Η Τηλεπισκόπηση σε 13 Ενότητες, Ελληνικά Ακαδημαϊκά Ηλεκτρονικά Συγγράμματα και βοηθήματα, 2015.

παραπάνω σταδίου, λόγω ακατάλληλου ψηφιακού φιλτραρίσματος της εικόνας (Aiazzi et al. 2006). Αυτή η επίδραση είναι αισθητή για μικρά αντικείμενα που εμφανίζονται σε σχεδόν σταθερό φόντο.

3. Τα στατιστικά στοιχεία της εικόνας με την υψηλότερη χωρική ανάλυση προσαρμόζονται ώστε να ταιριάζουν με τα στατιστικά της πρώτης ζώνης μετασχηματισμού που προκύπτει από τον μετασχηματισμό Gram-Schmidt για να δημιουργηθεί μια τροποποιημένη εικόνα υψηλότερης χωρικής ανάλυσης.

4. Η τροποποιημένη εικόνα υψηλότερης χωρικής ανάλυσης αντικαθιστά τον πρώτο μετασχηματισμό που προέκυψε από την εφαρμογή Gram-Schmidt για την παραγωγή ενός νέου συνόλου με μεταμορφωμένες μπάντες.

5. Ο αντίστροφος μετασχηματισμός Gram-Schmidt εκτελείται στο νέο σύνολο μετασχηματισμού για την παραγωγή της εικόνας MS βελτιωμένης χωρικής ανάλυσης.²⁶



Εικόνα B2.7.1: Εφαρμογή συγχώνευσης δεδομένων αρχικής φασματικής εικόνας με την μέθοδο Gram-Schmidt Spectral Sharpening.

²⁶ MS p 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

2.8. Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA)

Η μέθοδος της Ανάλυσης σε Κύριες Συνιστώσες (Principal Component Analysis - PCA) αποτελεί τεχνική στην επεξεργασία πολυφασματικών εικόνων, με απώτερο σκοπό την μείωση των πολυδιάστατων δεδομένων της παγχρωματικής - πολυφασματικής εικόνας, διαφυλάσσοντας την πληθώρα πληροφοριών που χρειάζεται ο μελετητής. Απομακρύνοντας τις υψηλά συσχετισμένες συνιστώσες από τα δεδομένα, δημιουργούνται νέα, ανεξάρτητα δεδομένα, ώστε η συμπίεση του αρχικού όγκου δεδομένων να χρειάζεται λιγότερο χρόνο επεξεργασίας και με όση δυνατόν μείωση απώλειας πληροφορίας.

Στην διαδικασία αυτή για την ανάλυση πολυφασματικών εικόνων μέσω Μετασχηματισμού Κυρίας Συνιστώσας (PCA), αρχικά μετατρέπουμε την εικόνα στις κύριες συνιστώσες της, οι οποίες αντιπροσωπεύουν τα βασικά μοτίβα ή τις πιο σημαντικές δομές των δεδομένων. Η πρώτη κύρια συνιστώσα χρησιμοποιείται για την ανακατασκευή της παγχρωματικής εικόνας, ενώ ο αντίστροφος μετασχηματισμός PCA εφαρμόζεται στις νέες συνιστώσες για να επαναφέρει την εικόνα στην αρχική της μορφή, εξασφαλίζοντας την συμπίεση των δεδομένων χωρίς σημαντική απώλεια πληροφορίας. Η μέθοδος PCA είναι χρήσιμη για μείωση των διαστάσεων και αποτελεί κοινή πρακτική στην ανάλυση δεδομένων, αλλά απαιτεί προσεκτική εφαρμογή σε πολυφασματικές εικόνες χαμηλής ανάλυσης για να αποφευχθεί η απώλεια σημαντικής πληροφορίας.

Μια πιθανή συγχώνευση πολυφασματικών εικόνων από πολλούς δορυφόρους μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη πιο λεπτομερών και άφθονων πληροφοριών από ό,τι μπορεί να παρέχει κάθε δορυφόρος. Αυτή η έρευνα στοχεύει να αξιολογήσει την δυνατότητα εικόνων εδάφους με πολλούς αισθητήρες που λαμβάνονται από την σύντηξη διαφόρων πολυφασματικών δορυφορικών για την πρόβλεψη και χαρτογράφηση της διαθέσιμης γης για καλλιέργεια με απώτερο σκοπό τον υπολογισμό της υπολειπόμενης βιομάζας για την συλλογή και την αξιοποίηση της σε πιθανή εγκατάσταση εργοστασίου παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Η παραδοχή της έρευνας αξιοποιεί διαχρονικές εικόνες ώστε να εξάγει πιο ασφαλή αποτελέσματα ως προς τις καλλιέργειες, ενώ οι κατηγοριοποιήσεις των δεδομένων θα εξάγουν τις εκτάσεις και συνάμα την υπολογιστική μας βάση. Η υπόθεσή μας είναι ότι οι δορυφορικές εικόνες σύντηξης παρέχουν δεδομένα υψηλής ποιότητας και πιο συνεχείς, λεπτομερείς και άφθονες πληροφορίες εδάφους από εικόνες ενός δορυφόρου, με βάση τόσο τους φασματικούς δείκτες όσο και τις προσεγγίσεις της φασματικής ζώνης.

Στην Τηλεπισκόπηση, η σύμπτυξη εικόνων είναι κρίσιμη για την ανάλυση σε περιοχές 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 την δημιουργία νέων εικόνων με λεπτομερείς πληροφορίες. Αυτές οι τεχνικές εφαρμόζονται για την διαχείριση γεωργικών εκτάσεων, την ταξινόμηση αστικών περιοχών και την παρακολούθηση δασικών περιοχών. Με την χρήση δεικτών όπως ο NDVI (Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης), αξιολογούν την βιομάζα και ποιότητα της βλάστησης, συμβάλλοντας στην ανίχνευση καλλιεργήσιμων εκτάσεων και στην διαχείριση των καλλιεργειών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ (ΓΣΠ-GIS) ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)

3.1. Εισαγωγή

Η αξιοποίηση των ΓΠΣ (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών) και διαχείρισης των δεδομένων μέσω της Τηλεπισκόπησης παρέχει πλεονέκτημα έναντι των επίγειων μετρήσεων, εκτός από την αποθήκευση μόνιμου αρχείου που εξετάζει τις διαχρονικές μεταβολές, αλλά προσφέρει την βέλτιστη φασματική ευαισθησία σε συγκεκριμένη περιοχή μεγάλης κλίμακας, όπου το ανθρώπινο μάτι είτε τα συστήματα επίγειων και μη επανδρωμένων αεροσκαφών δεν έχουν την δυνατότητα να καλύψουν την χωρική ανάλυση και την γεωμετρική πιστότητα σε συχνότητα και ταχύτητα. Αρχικά οι φωτογραφίες ήταν ασπρόμαυρες χαμηλής ανάλυσης, με την πάροδο του χρόνου οι αισθητήρες βελτιώθηκαν και αποδίδουν έγχρωμες φωτογραφίες, όπου ιδίως οι έγχρωμες και υπέρυθρες ευνοούνται, επειδή οι τύποι βλάστησης μπορούν να διακριθούν. Η αεροφωτογραφία έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να φωτογραφίσει συγκεκριμένες περιοχές που συνήθως έχουν νεφοκάλυψη και με τεχνικές ατμοσφαιρικών διορθώσεων μπορεί υπάρξουν καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου οι απαραίτητες λήψεις για την παροχή δεδομένων ελέγχου και καταγραφής .

Τα δεδομένα Τηλεπισκόπησης μπορεί να χρησιμεύσουν ως άμεσες ή έμμεσες ενδείξεις ως προς την επιφάνεια και τις δραστηριότητες- χρήσεις της περιοχής. Οι άμεσες αποδείξεις αναφέρονται στις επιφανειακές πληροφορίες που μπορούν να συνδεθούν άμεσα με την εκάστοτε δραστηριότητα, με βάση καλά κατανοητές φυσικές διεργασίες και φασματικές πληροφορίες. Τα έμμεσα στοιχεία απαιτούν πρόσθετη ερμηνεία και συχνά πρόσθετα δεδομένα για να αποδειχθεί η κατάλληλη τοποθεσία της εγκατάστασης ΑΠΕ. Ο συνδυασμός της διαχείρισης, οργάνωσης των πληροφοριών και των χαρτογραφήσεων μέσω ΓΠΣ συνθέτουν μια ολοκληρωμένη εφαρμογή που αφορά τις χωροθετήσεις των μονάδων ΑΠΕ.

Η αξία της χρήσης προσεγγίσεων που βασίζονται σε ΓΠΣ για την επίλυση ερωτημάτων στον τομέα της ενέργειας έχει αποδειχθεί σε πολλά ερευνητικά έργα, συμπεριλαμβανομένης της αξιολόγησης του δυναμικού ΑΠΕ, της κατανάλωσης ενέργειας, μοντελοποίηση, σχεδιασμός συγκεκριμένων έργων ενεργειακής υποδομής κ.λπ. Τα ΓΠΣ έχουν καταστεί 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. Μελέτες και εργαλεία που βασίζονται σε ΓΠΣ για την αξιολόγηση δυναμικών ηλιακής, αιολικής, βιομάζας, κυμάτων και γεωθερμικής ενέργειας σε πληθώρα τοποθεσιών σε όλο τον κόσμο κατοικούν επιστημονική βιβλιογραφία σχετικά με τις ΑΠΕ . Ωστόσο, η συνεκτίμηση της τοπικής ενεργειακής ζήτησης, οι περιορισμοί που δίνονται από το δίκτυο και η χωρικά σαφής εξέταση της χρονικής μεταβλητότητας των ΑΠΕ, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, μόλις αρχίζουν να εμφανίζονται στην τρέχουσα ερευνητική ατζέντα που ασχολείται με τα ενεργειακά συστήματα. Αυτές οι πτυχές είναι ζωτικής σημασίας εάν η πρόθεση είναι η σύλληψη ενεργειακών συστημάτων που διασφαλίζουν αξιόπιστο εφοδιασμό και οικονομική σκοπιμότητα. Για τον προσδιορισμό της εφαρμογής της Τηλεπισκόπησης και του ΓΠΣ στην διαχείριση ΑΠΕ, προσπαθήσαμε να αποκτήσουμε μια μεγάλη γκάμα σχετικών άρθρων, προσθέσαμε έγγραφα που σχετίζονται με την διαχείριση πόρων, την παραγωγή ενέργειας και τις ενεργειακές αναφορές. Για να κατανοηθεί η κύρια εστίαση των ερευνών και των εκθέσεων περί εφαρμογών και ο ρόλος της Τηλεπισκόπησης και των τεχνικών ΓΠΣ στις ΑΠΕ, το επιλεγμένο σύνολο μελετήθηκε ενδελεχώς και αξιοποιώντας τις ενότητες της εφαρμογής μας. Η Τηλεπισκόπηση και τα ΓΠΣ μαζί με την επίγεια παρακολούθηση μπορούν να λάβουν πληροφορίες για την επιφάνεια της γης, συμβάλλοντας σημαντικά στην ανάπτυξη των ΑΠΕ.

3.2. Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης στις ΑΠΕ

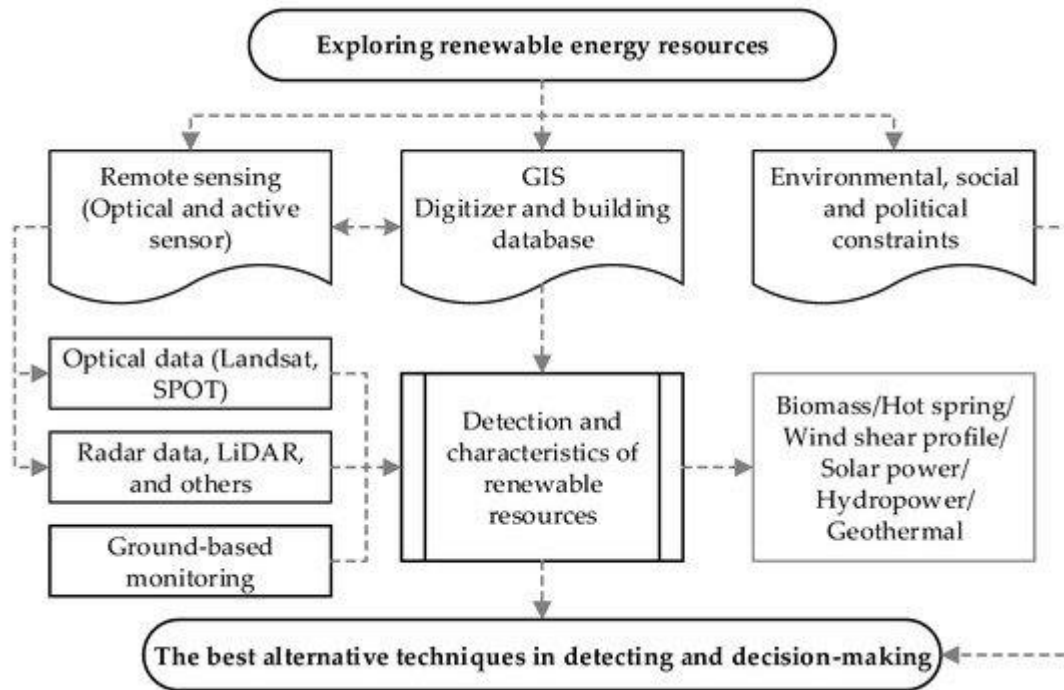
Η πιο άμεση απόδειξη που μπορεί να προκύψει από την Τηλεπισκόπηση είναι η παρουσία επιφανειακών αποτυπώσεων, οι μετρήσεις ακτινοβολίας, αιολικό δυναμικό, η ξεχωριστή υπογραφή της ορυκτολογίας ή των ειδών βλάστησης κ.λπ. Οι τεχνικές γεωχωρικών τεχνολογιών χρησιμοποιούνται για τους υπολογισμούς διαφόρων ειδών μετρήσεων για κάθε ανανεώσιμο τρόπο παραγωγής ενέργειας.

Οι ΑΠΕ έχουν εγγενή σχέση με τις τοπικές ατμοσφαιρικές συνθήκες και το περιφερειακό κλίμα. Ακόμη και μικρές και γρήγορες αλλαγές στις μετεωρολογικές συνθήκες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την παραγωγή ενέργειας σε διαφορετικές χρονικές και χωρικές κλίμακες. Οι μεθοδολογίες που βασίζονται στην Τηλεπισκόπηση της ατμόσφαιρας αποτελούν την κύρια πηγή πληροφοριών για την ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων που στοχεύουν στην υποστήριξη του σχεδιασμού και της λειτουργίας ενός ηλεκτρικού συστήματος με σημαντικό μερίδιο διαλειπουσών πηγών ενέργειας. Η δυνατότητα που παρέχει η Τηλεπισκόπηση ως προς την κλίμακα απεικόνισης, τον ρυθμό ανανέωσης των δεδομένων και την δυνατότητα των μετρήσεων σε όλο το φασματικό επίπεδο με χρήση δεικτών και μεθόδων βελτίωσης της απεικόνισης, δύνανται να εξυπηρετεί τον σκοπό των ΑΠΕ.

Εκτός από την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, άλλοι ανανεώσιμοι πόροι απαιτούν επίσης τεχνολογίες και μεθόδους Τηλεπισκόπησης για την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας και της μεταβλητότητας των πόρων. Μπορούμε να αναφέρουμε τους γεωθερμικούς, υδροηλεκτρικούς και ωκεάνιους ενεργειακούς πόρους, για παράδειγμα, καθώς και την χρονική και χωρική συμπληρωματικότητα μεταξύ των ΑΠΕ για την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας και την βελτίωση της ποιότητας της ενέργειας που παρέχεται στους καταναλωτές. Επιπλέον, το συγκριτικό πλεονέκτημα της Τηλεπισκόπησης στον υπολογισμό και την δυνατότητα αξιολόγησης μεταβλητών σε πολύ μεγάλη κλίμακα, καθιστά απαραίτητη μεθοδολογία και τεχνική για τις ΑΠΕ, ανεξάρτητα με την τεχνολογία που χρησιμοποιεί. Με την δυνατότητα τις συλλογής διαχρονικών δεδομένων, είτε χαρτογράφησης εκτάσεων, αποδίδει αναλύσεις υπολογισμού αξιοποιήσιμης βιομάζας για εργοστάσια επεξεργασίας και επιπλέον ανάλυσης με δείκτες βλάστησης και μετρήσεων παραγωγικότητας με βάση υλικά που φέρει το έδαφος.

Η τεχνολογία ΓΣΠ παρέχει μοναδικές δυνατότητες οργάνωσης, ανάλυσης, επεξεργασίας και απεικόνισης μεγάλων ποσοτήτων γεωγραφικών δεδομένων. Χρησιμοποιεί την λειτουργία χωρικής ανάλυσης του λογισμικού Γεωπληροφορικής και των μονάδων γεωστατιστικής για την συνολική διαχείριση και ανάλυση διαφόρων γεωγραφικών πληροφοριών.

Λαμβάνοντας υπόψη την δυσκολία της πολυδιάστατης χαρτογράφησης ενεργειακής υποδομής, τα ΓΣΠ συνδυάζουν μεθόδους για να παρέχουν έναν αποτελεσματικό μηχανισμό υποστήριξης αποφάσεων ικανό να διευκολύνει την κρίση διαφορετικών εναλλακτικών λύσεων, με την επιφύλαξη πολλαπλών κριτηρίων. Ως αποτέλεσμα οδηγούμαστε στην λεγόμενη χωρική πολυκριτηριακή ανάλυση σε ένα χωρικό πλαίσιο όπου οι εναλλακτικές, τα κριτήρια και οι περιορισμοί έχουν σαφείς χωρικές διαστάσεις. Η προσέγγιση συνδυάζει τεχνικούς, οικονομικούς, περιβαλλοντικούς και κοινωνικοπολιτικούς δείκτες χωροθέτησης για να βελτιώσει την αξιολόγηση της τοποθέτησης αιολικών πάρκων. Τα ΓΣΠ χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση του χερσαίου αιολικού δυναμικού, την αξιολόγηση των περιοχών δυναμικού γεωθερμικής ενέργειας και την αξιολόγηση του χωρικού δυναμικού των τεχνικά κατάλληλων λιβαδιών για φωτοβολταϊκά συστήματα άντλησης νερού.



²⁷Εικόνα Γ3.2.1.: Διάγραμμα ροής εξερεύνησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με συνδυασμό Τηλεπισκόπησης και GIS.

3.3. Γεωθερμική Ενέργεια

Οι αναφορές στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρουν μετρήσεις για την γεωθερμία των εκπομπών αερίου και ζεστού νερού για αρκετά χρόνια που οδηγεί σε αλλοίωση του εδάφους και των πετρωμάτων κατά μήκος τυπικά γραμμικών ρηγμάτων, ρωγμών και σημείων επαφής. Αυτές οι περιοχές με την υψηλότερη διαπερατότητα είναι οι τοποθεσίες των μέγιστων πυκνοτήτων υδροθερμικά αλλαγμένων ορυκτών. Στην πραγματικότητα, η πλειονότητα των άρθρων που συναντώνται στην βιβλιογραφία αφορούν την εφαρμογή της χαρτογράφησης ορυκτών με πολυφασματική και υπερφασματική Τηλεπισκόπηση για την εξερεύνηση γεωθερμικών πόρων.

3.4. Αιολική Ενέργεια

Ως προς το αιολικό δυναμικό, απαραίτητο για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων, η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για την μέτρηση των χαρακτηριστικών του ανέμου. Ο μηχανισμός των ανεμογεννητριών εξάγει την κινητική ενέργεια από την ατμόσφαιρα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Λόγω της κατακόρυφης ανάμειξης και των ενισχυμένων αναταράξεων, παρατηρείται σημαντική επίπτωση στην τοπική μετεωρολογία, καθώς οι μετρήσεις της θερμοκρασίας της επιφάνειας δεν είναι εύκολο να ληφθούν από τα διαθέσιμα δεδομένα. Ως εκ τούτου, τα χωρικά και χρονικά δεδομένα δεν επαρκούν για την μελέτη των επιπτώσεων της αιολικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα. Σε τέτοιες συνθήκες, η

²⁷ Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Flowchart-of-exploring-renewable-energy-resources-by-combination-of-remote-sensing-and_fig4_335248878

Τηλεπισκόπηση παρέχει συνεπείς μακροπρόθεσμες παρατηρήσεις Παραδείγματος χάριν το SODAR μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ακουστικούς παλμούς για την μέτρηση του τρισδιάστατου προφίλ διάτμησης ανέμου στο κατώτερο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην Τηλεπισκόπηση για την τοποθέτηση, αξιολόγηση μοντέλων και για προσδιορισμό χαρακτηριστικών στροβιλισμού και δίνει ακρίβεια έως και 9%. Ο μηχανισμός λειτουργεί και είναι αποτελεσματικός στον προσδιορισμό της ταχύτητας του ανέμου από την μετατόπιση Doppler στην ακουστική συχνότητα. Και η σύγκριση των άλλων πύργων για βαθμονομήσεις, πρέπει να γίνεται τοποθετώντας τους σε μη ομοιόμορφη επιφάνεια. Μελέτες έχουν δείξει την αποτελεσματικότητα των δεδομένων LiDAR σε ύψος 80m σε μέτρια σύνθετο έδαφος και έως 100 m σε επίπεδο έδαφος. Επιτρέπει την μέτρηση της ταχύτητας του εισερχόμενου ανέμου πριν αλληλοεπιδράσει με τον ρότορα της ανεμογεννήτριας. Αυτή η τεχνική προεπισκόπησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μείωση των φορτίων στις ανεμογεννήτριες, είναι αποτελεσματική στην ανάπτυξη λεπτομερούς ανάλυσης των υπεράκτιων ανέμων και ικανή να ανιχνεύσει κυματισμούς στην επιφάνεια της θάλασσας που δημιουργούνται από τον άνεμο. Περαιτέρω ταξινόμηση των δεδομένων έχει ως αποτέλεσμα να προσδιορίζουν τις επιπτώσεις τους στο τοπικό κλιματικό περιβάλλον.

3.5. Ηλιακή Ενέργεια

Οι τεχνολογίες και οι μέθοδοι Τηλεπισκόπησης καθίστανται θεμελιώδεις εργαλείο για την αντιμετώπιση του απαιτητικού έργου της αξιολόγησης και πρόβλεψης των ηλιακών πόρων σε χωρικές και πολύ σύντομες χρονικές κλίμακες. Οι δορυφορικές μετρήσεις επιφανειακής ηλιακής ακτινοβολίας είναι θεμελιώδεις για την αξιολόγηση χωρικών ηλιακών πόρων υψηλής ανάλυσης. Οι μεθοδολογίες πρόβλεψης ηλιακής ενέργειας που βασίζονται σε δορυφορικά δεδομένα έγιναν επίσης ζωτικής σημασίας για την υποστήριξη της λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με αυξανόμενο μερίδιο ηλιακής ενέργειας. Όσον αφορά την βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη (nowcasting), οι συνολικές συσκευές απεικόνισης του ουρανού γίνονται ένα κρίσιμο εργαλείο για την διερεύνηση και την αντιμετώπιση της υψηλής χρονικής τοπικής μεταβλητότητας της επιφανειακής ηλιακής ακτινοβολίας που σχετίζεται με τις συνθήκες των νεφών. Οι κορυφαίες τεχνικές Τηλεπισκόπησης είναι το ατμοσφαιρικό LiDAR (wind LiDAR και ceilometers) και ραντάρ.

Επιπλέον τα ΓΣΠ έχουν αποδείξει την αποτελεσματικότητά τους στην εύρεση της βέλτιστης γεωγραφικής θέσης και μεγέθους εγκαταστάσεων SPV (Solar Panel Validation) μεγάλης κλίμακας με ελάχιστο κόστος και αξιόπιστο τρόπο, καθώς και στον προσδιορισμό των κατάλληλων τοποθεσιών και μεγεθών των φωτοβολταϊκών. Έχουν εφαρμοστεί αρκετές μελέτες προσέγγισης (GIS-AHP) για τον εντοπισμό κατάλληλων θέσεων για την κατασκευή φωτοβολταϊκών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής σε διάφορες τοποθεσίες και προτείνεται μια ολοκληρωμένη λογική αποδίδοντας την καταλληλότητα της γης για την εγκατάσταση, με βάση τα τεχνοοικονομικά και περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά.

3.6. Ενέργεια από Βιομάζα

Η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται είτε για την εκτίμηση του δυναμικού βιομάζας, της διαθεσιμότητας και της σκοπιμότητας για παραγωγή είτε για την επιλογή τοποθεσίας των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και της φυτείας βιομάζας, πλησιέστερα στην γραμμή δικτύου και το κόστος μεταφοράς βιομάζας με βάση την ποσότητα βιομάζας και μεταφοράς σε απόσταση. Η προσέγγιση που βασίζεται σε ΓΣΠ χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της χωρικής κατανομής και της εποχιακής διακύμανσης του δυναμικού παραγωγής βιοαερίου. Οι δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιούν τόσο παθητικούς (οπτικούς) όσο και ενεργητικούς αισθητήρες (ραντάρ και LiDAR) μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά στην εκτίμηση της βιομάζας, σειρές SHP και στον εντοπισμό των πιθανών περιοχών για ηλιακή ενέργεια. Εξακολουθεί να απαιτείται επαλήθευση εδάφους πριν από οποιαδήποτε εφαρμογή οποιωνδήποτε δεδομένων που λαμβάνονται. Η Τηλεπισκόπηση και τα ΓΣΠ ως εργαλείο λήψης αποφάσεων, έχουν διευκολύνει τον συνδυασμό αξιολογήσεων περιβαλλοντικών, κοινωνικών και πολιτικών περιορισμών με αποφάσεις μηχανικής για την παραγωγή των καλύτερων εναλλακτικών αποφάσεων. Τα εργαλεία αυτά βοήθησαν ορισμένες κυβερνήσεις στην λήψη αποφάσεων ή στο να πείσουν τους επενδυτές να εξετάσουν την ενέργεια από ηλιακούς συλλέκτες ως επιλογή.

Τα παραπάνω συγκεκριμένα παραδείγματα είναι μόνο μερικά από πολλά άλλα που αποδεικνύουν την πρακτική χρήση της Τηλεπισκόπησης και των ΓΣΠ. Ο κύριος στόχος της παρούσης μελέτης εφαρμόζει την χρήση των ΓΣΠ ως προς την βιομάζα, που είναι η δημιουργία ενός λεπτομερούς μοντέλου υπολογισμού παραμέτρων, προκειμένου να κατανοηθούν οι φυσικές διεργασίες καθώς και η οικονομική σκοπιμότητα της ανάπτυξης μιας μονάδας παραγωγής ενέργειας και ανακύκλωση της ύλης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ. ΜΕΛΕΤΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ

4.1. Εισαγωγή

Οι ΑΠΕ συχνά συνδέονται στενά με την βιωσιμότητα. Για να εξετάσουμε εάν οι ΑΠΕ είναι βιώσιμες, πρέπει πρώτα να ορίσουμε αυτό που καταλαβαίνουμε ως βιωσιμότητα, καθώς αυτή περιλαμβάνει κοινωνικούς, περιβαλλοντικούς και οικονομικούς τομείς. Δεδομένου ότι καμία παραγωγή ενέργειας δεν έρχεται χωρίς κοινωνικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις, υιοθετούμε μια πραγματοκρατική επέκταση στον ορισμό της βιωσιμότητας. Η αειφόρος ενέργεια επιτρέπει την κοινωνική ανάπτυξη που είναι σε μεγάλο βαθμό, ακόμη και αν όχι πλήρως, αποσυνδεδεμένη από την αυξανόμενη περιβαλλοντική υποβάθμιση για το άμεσο μέλλον. Μεταξύ των ΑΠΕ, οι προκλήσεις βιωσιμότητας της καύσης βιομάζας είναι ίσως οι καλύτερα αναγνωρισμένες. Ωστόσο, η βιομάζα έχει αναντικατάστατο ρόλο σε πολλές φιλόδοξες στρατηγικές και σενάρια ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δημοσιεύονται από διαφορετικούς οργανισμούς .

Ο όρος βιομάζα αναφέρεται σε οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμη ύλη ή για άλλες βιομηχανικές εφαρμογές:

1. **Δασικά Υπολείμματα:** Πρόκειται για τα απομεινάρια από την εκμετάλλευση των δασών, όπως κλαδιά, ξύλα και άλλα οργανικά υλικά που παράγονται κατά τη διαχείριση των δασών.
2. **Αγροτικά Υπολείμματα:** Αφορά τα απόβλητα που παράγονται από την γεωργική δραστηριότητα, όπως κομποστοποιημένα υλικά και άλλα τέτοια προϊόντα.
3. **Συναφείς Βιομηχανίες:** Αφορά τα υπολείμματα από βιομηχανικές διαδικασίες που παράγουν οργανικά υλικά, όπως τα παράγωγα του ξύλου.

Αυτά τα υλικά μπορούν να υποστούν διαδικασίες όπως η κομποστοποίηση, η αναγομωτοποίηση ή η καύση για την παραγωγή ενέργειας. Η χρήση της βιομάζας συμβάλλει στην μείωση της εξάρτησης από τις συμβατικές πηγές ενέργειας και στην αειφόρα, ενώ ταυτόχρονα προσφέρει λύσεις για την διαχείριση των οργανικών αποβλήτων.

Η βιομάζα χρησιμοποιείται για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας μέσω εγκαταστάσεων επεξεργασίας. Στόχος της επεξεργασίας είναι η ανακύκλωση των απορριμμάτων από τις χρήσεις του ανθρώπου για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού, καύσιμο υλικό κίνησης). Σημαντικό μέρος της ανάπτυξης τέτοιων μονάδων είναι άρρητα συνδεδεμένος με την αγροτική δραστηριότητα καθώς τα επεξεργασμένα λήμματα επανατροφοδοτούν τους αγρότες μέσω αποθειοποιημένων λιπασμάτων.

Οι πόροι της φυτικής βιομάζας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία συνεχούς και μεταδιδόμενης παροχής θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και στερεών, υγρών και αέριων καυσίμων. Η βιοενέργεια έχει διαδραματίσει σημαντικό ρόλο στις εθνικές και περιφερειακές στρατηγικές αειφόρου ενέργειας λόγω της ανακύκλωσης της πρώτης ύλης αγροτικών και δασικών βιομαζών και παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία έχουν οι αποτελεσματικές στρατηγικές προμήθειας στις εγκαταστάσεις της πρώτης ύλης, καθώς είναι κρίσιμες για την ανάπτυξη και την εφαρμογή συστημάτων βιοενέργειας. Οι ενεργειακές πολιτικές επιβάλλουν αυξήσεις στην παραγωγή βιοενέργειας, και η έρευνα υποστηρίζει την ανάπτυξη πρώτων υλών βιοενέργειας σε εκτάσεις αξιοποίησης.

Τα δεδομένα συνήθως συνδέονται με γραμμικά μοντέλα που βασίζονται σε υπολογιστικές μεθόδους, προκειμένου να εκτιμηθεί και να συγκριθεί η ποσότητα και το κόστος προμήθειας του πλήρους εύρους βιοενεργειακής πρώτης ύλης που είναι διαθέσιμη και να αξιολογηθούν τα πλεονεκτήματα μιας μικτής ροής πρώτων υλών σε σχέση με ένα ομοιογενές ρεύμα πρώτης ύλης. Η μέθοδος εφαρμόζεται για την εκτίμηση των δυνατοτήτων παραγωγής βιοενέργειας και των καμπυλών προσφοράς βιομάζας-κόστους για έναν αριθμό πόρων στην περιοχή μελέτης. Στην παρούσα μελέτη γίνονται μετρήσεις λεκανών βιομάζας, καμπύλες προσφοράς-κόστους, χάρτες πυκνότητας πόρων και τα διαγράμματα ροής πόρων καταδεικνύουν σημαντικά στρατηγικά και λειτουργικά πλεονεκτήματα για τον εντοπισμό μιας εγκατάστασης εντός της «ζώνης μετάβασης» της περιοχής μεταξύ δασοκομικών και γεωργικών δραστηριοτήτων.

Συνοψίζοντας τα πλεονεκτήματα της χρήσης βιομάζας δεν συμβάλλουν στην παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα και κατ' επέκταση στο φαινόμενο του θερμοκηπίου καθώς ισοσταθμίζεται με την φυσική διεργασία των φυτών κατανάλωσης διοξειδίου ώστε να παράγουν την βιομάζα. Επιπλέον σημαντικό σημείο αποτελεί η μη παραγωγή διοξειδίου του Θείου όπως άλλες πηγές ενέργειας τύπου καύσης άνθρακα (πετρέλαιο) και εξασφαλίζει την μείωση των εισαγόμενων καύσιμων πηγών με ενδείξεις βελτίωσης του εμπορικού ισοζυγίου. Η παραγωγή βιομάζας διαδραματίζει πόλο ανάπτυξης και επαγγελματικών απασχολήσεων με τον κλάδο της γεωργίας, καθώς βασίζεται στο πρωτογενή τομέα για την λειτουργία και την παραγωγή ενέργειας με αποτέλεσμα την ανάγκη των περιοχών για εργατικό δυναμικό και συγχρόνως τεχνικές βέλτιστων αποτελεσμάτων παραγωγής βιομάζας. Συνάμα η ιδιότητα των εργοστασίων επεξεργασίας βιομάζας όπως έχουμε προαναφέρει έχει και ρόλο ανακύκλωσης – κυκλικής οικονομίας καθώς το υπόλειμμα της επεξεργασίας αποδίδεται στους γεωργούς παρέχοντας τους την πρώτη ύλη σε μορφή εδαφοβελτιωτικού (λίπασμα) που αποτελεί άριστης ποιότητας φυσικό υλικό με βάση τα ιχνοστοιχεία που περιέχει, προκειμένου να λιπάνουν τα κτήματα και τις καλλιέργειες τους. Τέλος, η αξιοποίηση της παραγόμενης ενέργειας, παράγει επίσης θερμότητα (θερμική ενέργεια) και αποτελεί εξαιρετική πηγή θέρμανσης των κτηνοτρόφων στις μονάδες τους καθώς και στους αγρότες των θερμοκηπίων όπου βασικό κόστος είναι η θέρμανση.

4.2. Βιομάζα από υπολείμματα γεωργικών καλλιεργειών

Οι πολυετείς καλλιέργειες βιομάζας και οι ταχέως αναπτυσσόμενες μη εδώδιμες καλλιέργειες και έχουν την δυνατότητα να προσφέρουν βιώσιμη παραγωγή βιοενέργειας. Η βιομάζα αναφέρεται στο βιολογικό υλικό από ζωντανούς οργανισμούς ή φυτά όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Συνήθως χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας σε λιγότερο βιομηχανοποιημένες χώρες. Η βιομάζα είναι η πιο ανεπτυγμένη ΑΠΕ που παρέχει το 35% και το 3% των αναγκών πρωτογενούς ενέργειας των αναπτυσσόμενων και των ανεπτυγμένων χωρών, αντίστοιχα. Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας με δύο βασικούς τρόπους:

1. **Άμεση Καύση για Παραγωγή Θερμότητας:** Η βιομάζα μπορεί να καίγεται απευθείας για την παραγωγή θερμότητας, παρέχοντας θερμότητα και ζεστασιά όπως σε θέρμανση κτιρίων ή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από βιομάζα (βιομάζας).

- 2. Μετατροπή σε Βιοκαύσιμα:** Η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε διάφορες μορφές βιοκαυσίμου, όπως αιθανόλη και βιοντίζελ, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κίνηση οχημάτων. Αυτή η διαδικασία συχνά συμπεριλαμβάνει την βιοχημική ή θερμοχημική μετατροπή της βιομάζας σε πιο χρήσιμες μορφές ενέργειας.

Τα «απόβλητα» βιομάζας τους μπορούν να συλλέγονται, αλλά πρέπει να χρησιμοποιούνται εντός σύντομου χρονικού διαστήματος, διαφορετικά θα αποσυντεθούν. Ο χώρος συλλογής είναι σε εργοστάσια ή εγκαταστάσεις άλεσης. Από ενεργειακή άποψη, η ετήσια παραγωγή είναι η δυνητική διαθέσιμη ενέργεια, τα κατάλοιπα είναι ανανεώσιμα, σε αντίθεση με την ξυλώδη βιομάζα, η οποία είναι υπό όρους ανανεώσιμη, και υπό την προϋπόθεση ότι η μέση απορρόφηση ξύλου δεν θα υπερβαίνει την ετήσια ανάπτυξη. Ωστόσο, η ετήσια φυτική παραγωγή εξαρτάται από το κλίμα και το έδαφος ως παράγοντες γονιμότητας, επομένως, δεν είναι σταθερή.

Ο διαχωρισμός μεταξύ ξυλώδη και μη ξυλώδη φυτών δεν είναι σαφής, αρκετές καλλιέργειες όπως το βαμβάκι είναι ξυλώδεις, αλλά επειδή είναι γεωργικές καλλιέργειες, είναι ευκολότερο να τις αντιμετωπίσουμε ως μη ξυλώδη φυτά. Από την άλλη, οι φλούδες αντιμετωπίζονται ως υπολείμματα, αλλά τα αποκόμματα και οι μίσχοι των θάμνων θεωρούνται ξύλο. Το είδος των γεωργικών καλλιεργειών και υπολειμμάτων θεωρούνται κατάλληλα για καύσιμα και για την συνολική παραγωγή βιομάζας σε συγκεκριμένους χώρους ή περιοχές με κύρια χρήση τις γεωργικές δραστηριότητες. Κατά την μέτρηση της βιομάζας εκτός ξύλου, τα υπολείμματα που βρίσκονται στο χωράφι, στο σπίτι ή που είναι επεξεργασμένα απόβλητα από εργοστάσιο ή στις εγκαταστάσεις άλεσης χρειάζεται να επεξεργαστούν ώστε να είναι αξιοποιήσιμα. Ορισμένα υπολείμματα καλλιεργειών παραμένουν όρθια ενώ άλλα κόβονται, για λόγους ευκολίας ώστε να είναι εύκολο να συλλεχθούν. Για κάποια ζωική παραγωγή, μπορεί να αξιολογήσουμε τους αριθμούς από την φέρουσα ικανότητα των λιβαδιών. Αλλά πολλά βοοειδή και πτηνά αγροκτήματος εν μέρει τρέφονται ή εκτρέφονται σε «εργοστασιακές» εγκαταστάσεις. Ως εκ τούτου, απαιτείται αριθμός ζώων ανά είδος μαζί με μέσο βάρος ανά ζώο εάν απαιτείται εκτίμηση της παραγωγής κοπριάς. Η ανάλυση μέσω καταγραφής και χωροθέτησης των περιοχών βόσκησης ή αντίστοιχα των μονάδων εκτροφής, θα αποδώσει δεδομένα για την εκτίμηση άλλων ειδών αξιοποίησης βιοενέργειας.

Ο Πίνακας 2.1 παρουσιάζει συγκεντρωτικά είδη των διαφόρων τύπων μη ξυλώδους βιομάζας καθώς και είδη κοπριών προς συλλογή. Ορισμένα χωράφια μπορεί να έχουν καλαμπόκι και βαμβάκι που φυτεύονται μαζί ή μπορεί να υπάρξει εποχιακή αλλαγή. Καλλιέργειες όπως το βαμβάκι καλλιεργούνται με το στέλεχος και οι ρίζες πρέπει να αφαιρούνται είτε να καίγονται στο χωράφι. Επίσης, το βαμβάκι είναι απαιτητική καλλιέργεια, και ως εκ τούτου, θα πρέπει να καλλιεργούνται σε αμειψισπορά με άλλες καλλιέργειες, κατά προτίμηση καλλιέργειες που καθορίζουν το άζωτο. Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε τα συστήματα γεωργίας κατά την φωτοερμηνεία εικόνων Τηλεπισκόπησης από όπου μπορούν να ληφθούν μετρήσεις και σχετίζονται με το τμήμα τροφίμων ή ινών του φυτού. Υπάρχουν διαφορετικές ποικιλίες του ίδιου είδους με διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης. Εάν το καλαμπόκι είναι σημαντικό καύσιμο με υψηλές αποδόσεις καταλοίπων μεταξύ ποικιλιών, θα πρέπει να πραγματοποιούνται λεπτομερείς μετρήσεις.

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 (MILOIL)
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 (ELIN)
ΠΑΤΑΤΕΣ			ΚΛΑΔΕΜΑ ΡΟΔΑΚΙΝΙΑΣ	ΓΛΥΚΕΡΙΝΗ Α (MILOIL)
ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ ΚΑΡΠΟΣ			ΚΛΑΔΕΜΑ ΛΕΜΟΝΙΑΣ	
ΟΡΥΖΟΦΛΟΙΟΣ			ΚΛΑΔΕΜΑ ΠΟΡΤΟΚΑΛΙΑΣ	
ΣΤΕΜΦΥΛΑ			ΚΛΑΔΕΜΑ ΑΜΠΕΛΙΟΥ	
ΝΤΟΜΑΤΑ				
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ				
ΗΛΙΟΣΠΟΡΟΣ ΕΝΣΙΡΩΜΑ				
ΠΥΡΗΝΑΣ ΕΛΙΑΣ				

Πίνακας Δ4.2.1: Συγκεντρωτικός πίνακας υψηλών αποδόσεων καταλοίπων βιομάζας

Η δασική βιομάζα, υπολείμματα, είναι επίσης μια πηγή ανανεώσιμης ενέργειας, η οποία περιλαμβάνει κλαδιά και μη εμπορεύσιμες ύλες για εκμετάλλευση ξυλείας που προέρχονται συνήθως από κλαδέματα. Αυτή η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η χρήση της δασικής υπολειμματικής βιομάζας έχει βασικά οφέλη τόσο σε κοινωνικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο καθώς υπάρχει μείωση της χρήσης ορυκτών καυσίμων σε εθνική κλίμακα και η δημιουργία αγροτικής απασχόλησης με την αύξηση της συγκομιδής, της μεταφοράς και της χρήσης σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας σε τοπική κλίμακα. Ωστόσο, η έλλειψη μεθοδολογιών για την εκτίμηση της ποσότητας της δασικής υπολειμματικής βιομάζας είναι ένα από τα κύρια προβλήματα και επιλύεται με την χρήση των ΓΣΠ .

Κατά την εκτίμηση του αποθέματος άνθρακα στους διάφορους τύπους χρήσης γης, ο βαθμός σπουδαιότητας των διαφόρων τύπων βιομάζας θα πρέπει να καθορίζει την ένταση των μετρήσεων. Για παράδειγμα, εάν τα υπολείμματα καλλιεργειών και η κοπριά αποτελούν σημαντική πηγή ενέργειας, όπως σε πολλές αγροτικές περιοχές της Ελλάδας, οι πληροφορίες είναι απαραίτητες απ' ό,τι σε περιοχές όπου σπάνια χρησιμοποιούνται. Συνεπώς, θα πρέπει να εκτιμηθεί το ποσοστό που διατίθεται για τις διάφορες χρήσεις. Η ποσότητα της βιομάζας των φυτών είναι συνήθως μία έως τρεις φορές το βάρος της πραγματικής καλλιέργειας. Ωστόσο, πρέπει να επισημανθεί ότι, προκειμένου να ληφθούν ακριβείς εκτιμήσεις παραγωγής καταλοίπων και απόδοσης καλλιεργειών, οι μετρήσεις θα πρέπει να πραγματοποιούνται από δορυφορικές εικόνες για την αξιολόγηση των περιοχών συγκεκριμένων καλλιεργειών και καταλοίπων και με πιθανή επίγεια επαλήθευση. Απαιτούνται μετρήσεις βιομάζας για την αξιολόγηση της διαθεσιμότητας και απαιτείται

πλήρης εικόνα όλων των τύπων βιομάζας. Οι μετρήσεις δεν είναι εφάπαξ, επειδή η ποσότητα και η ποιότητα αλλάζει στην χρήση γης και πρέπει να παρακολουθούνται συνεχώς για να προτείνονται και να εκτελούνται ουσιαστικές παρεμβάσεις.

4.3. Εκτίμηση Βιομάζας πολυετών καλλιεργειών

Η αξιολόγηση της βιομάζας σε πολυετείς καλλιέργειες είναι δυσκολότερη από τις ετήσιες καλλιέργειες, επειδή οι καλλιέργειες δημιουργούν μια αποθήκη ξυλώδους ιστού με την πάροδο του χρόνου και αν δεν είναι ομοιόμορφες, υπάρχει ένα ολόκληρο φάσμα τάξεων στην περιοχή. Οι χάρτες χρήσης γης από αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες δίνουν την ανάλυση της περιοχής και των δασικών και καλλιεργητικών τύπων. Η Τηλεπισκόπηση είναι το εργαλείο για την αξιολόγηση των τύπων βλάστησης και των αλλαγών στην χρήση της γης. Χωρίς τις φασματικές ιδιότητες που προσφέρουν οι αισθητήρες είναι αδύνατο να εκτιμηθεί το απόθεμα βιομάζας και οι αποδόσεις στους διάφορους τύπους χρήσης γης και αλλαγές με την πάροδο του χρόνου. Γνωρίζοντας τα δεδομένα των καλλιεργειών, τα υπολείμματα τους μπορούν να υπολογίζονται για την περιοχή μελέτης και να έχουμε εκτίμηση της διαθέσιμης πρώτης ύλης σε πιθανή εγκατάσταση. Για τα έργα αυτά είναι σημαντικό να υπάρχουν καλές και ακριβείς βασικές έρευνες της υφιστάμενης βιομάζας. Η Τηλεπισκόπηση θα πρέπει να αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την παροχή πληροφοριών σχετικά με την περιοχή του έργου και περιοχές για την παρακολούθηση των αλλαγών στην χρήση γης, τόσο θετικές όσο και αρνητικές, που συμβαίνουν λόγω του έργου. Η Τηλεπισκόπηση παρακολουθεί τις γεωργικές εκτάσεις για αλλαγές, καθώς και για τους τύπους και αριθμό των ετήσιων καλλιεργειών.

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

Πίνακας Δ4.3.1: Κατανομή Μηνών Σποράς σε Χρονολογική Σειρά.

Τα γεωργικά υπολείμματα περιλαμβάνουν άχυρο σιτηρών, καλαμποκιού και ηλίανθου, υπολείμματα βαμβακιού και υπολείμματα εκκοκκιστηρίων βαμβακιού, τα οποία ως επί το πλείστον αφήνονται στα χωράφια μετά τη συγκομιδή και χρησιμοποιούνται για ζωοτροφές.

Αγροτικά υπολείμματα είναι άμεσα διαθέσιμα – από τα κυριότερα που αναφέρθηκαν - και είναι διαθέσιμα και στην Ελλάδα, και αναλογικά με τις κλιματικές συνθήκες που απαιτούνται για την καλλιέργεια τους. Το άχυρο σίτου είναι ένα από τα αγρο-υπολείμματα με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε κυτταρίνη από όλες τις γεωργικές ίνες.



Εικόνα Δ4.3.1: Απεικόνιση καλλιεργειών – Καλαμπόκι (πάνω αριστερά), βαμβάκι (πάνω δεξιά), σιτάρι (κάτω αριστερά) και κριθάρι (κάτω δεξιά).

Τα οργανικά απόβλητα από τα αγροτικά υπολείμματα είναι μια από τις παλιές και συμβατικές πρώτες ύλες. Αυτά τα οργανικά γεωργικά απόβλητα ταξινομούνται περαιτέρω ανάλογα με τα συστατικά τους, όπως τα ακόλουθα:

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

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

Πίνακας Δ4.3.2 : Κατανομή Μηνών Υπολειμμάτων σε Χρονολογική Σειρά.

Το πλεονέκτημα της πρώτης ύλης οργανικών αποβλήτων από γεωργικά υπολείμματα παρέχουν οικονομικά οφέλη καθώς διατίθενται εύκολα σε μεγάλες ποσότητες και με χαμηλή τιμή. Επίσης, διαθέτουν την πιο σταθερή σύνθεση της κυτταρίνης, των ημικυτταρινών σε σύγκριση με άλλα είδη αποβλήτων. Σημείωση ότι η συλλογή των υπολειμμάτων δεν επηρεάζει την ανθρώπινη τροφική αλυσίδα, καθώς τα γεωργικά απόβλητα περιλαμβάνουν μη βρώσιμα υλικά. Η έρευνα στο πλαίσιο της πιθανής εγκατάστασης εργοστασίου βιομάζας με κριτήρια διαθεσιμότητας και εκτίμησης βιομάζας πραγματοποιείται σε εφαρμογή μέσω γεωχωρικών τεχνολογιών στο επόμενο κεφάλαιο.

4.4. Συγκομιδή και συλλογή βιομάζας

Η πρωτογενής διαδικασία συλλογής της βιομάζας, πρωταρχικά περιλαμβάνει τις γεωγραφικές εκτάσεις και το είδος καλλιέργειας που μελετάμε, γνωρίζοντας την περίοδο της σποράς ως πρώτο στάδιο των καλλιεργειών, και δίνοντας έμφαση στο επόμενο στάδιο, της συγκομιδής. Θεωρείται ιδιαίτερα κρίσιμος σταθμός για την ποιότητα της βιομάζας καθώς η μάζα που θα απομείνει αποτελεί την αξιοποίηση ύλη των εργοστασίων παραγωγής ενέργειας από καλλιέργειες. Επιπλέον σημαντικό είναι ο βαθμός υγρασίας καθώς όταν το υλικό έχει υψηλή υγρασία, πρέπει να υποστεί διαδικασία ξήρανσης προκειμένου να μειωθεί η υγρασία στο επιθυμητό επίπεδο.

Αυτό είναι κρίσιμο για διάφορους λόγους ειδικά την κοστολόγηση ,καθώς η ποσότητα της υγρασίας 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 επηρεάζεται η ποιότητα του προϊόντος, καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις η υψηλή υγρασία μπορεί να οδηγήσει σε αλλοίωση ή απώλεια ιδιοτήτων του υλικού. Τέλος η διατήρηση θεωρείται απαραίτητη για την 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 την συλλογή του άχυρου, υπάρχουν διαφορετικές μεθόδους όπως να συλλέγεται ως κομμένο υλικό ή σε μπάλες. Η δεύτερη μέθοδος, η οποία είναι η δεματοποίηση σε μπάλες, θεωρείται πιο προτιμητέα. Η συγκομιδή γίνεται ανάλογα με τον τύπο καλλιέργειας και μπορεί να εκτελείται καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Για τον αραβόσιτο, για παράδειγμα, η συγκομιδή πρέπει να γίνεται εντός 30-40 ημερών μετά την σπορά, προκειμένου 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, το οποίο είναι δυνατό να κοπεί με χορτοκοπτικό και να δεματοποιηθεί σε σειρές για περαιτέρω επεξεργασία. Τα υπολείμματα καλαμποκιού παρουσιάζουν επίσης χρήσιμο υλικό για παραγωγή βιομάζας.

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

Πίνακας Δ3.3: 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 Δ4.4.1: Συγκεντρωτικός πίνακας Χρονολογικής Σειράς των Καλλιεργειών.

4.5. Παραγωγή, μεταφορά και επεξεργασία βιομάζας

Η βιομάζα έχει σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα που απαγορεύει την μεταφορά σε μεγάλες αποστάσεις. Ως αποτέλεσμα, τα συστήματα παραγωγής βιοενέργειας, θα πρέπει να περιορίσουν όσο το δυνατόν περισσότερο την απόσταση μεταξύ προσφοράς και μετατροπής προκειμένου να επιτύχουν αποδοκτές ενεργειακές και οικονομικές αποδόσεις από την επένδυση. Επιπλέον, οι πόροι βιομάζας κατανέμονται σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές, ενώ οι βιοχημικές τους ιδιότητες είναι πολύ μεταβλητές και επηρεάζουν την επιτυχία της εφοδιαστικής αλυσίδας της βιομάζας. Λόγω αυτών των υλικοτεχνικών προκλήσεων που σχετίζονται με την τοποθεσία, απαιτούνται γεωγραφικές πληροφορίες των διαθέσιμων επιλογών πρώτης ύλης για αποτελεσματικές αποφάσεις πολιτικής, σχεδιασμού και επενδύσεων που σχετίζονται με την υλοποίηση και την εμπορευματοποίηση της παραγωγής βιοενέργειας δεύτερης γενιάς. Συνεπώς, δίνεται αυξανόμενη έμφαση στην χρήση ΓΣΠ προκειμένου να επιλυθούν κρίσιμες αβεβαιότητες στην εφοδιαστική αλυσίδα βιοενέργειας που σχετίζονται με την θέση, την ποσότητα και το κόστος της πιθανής πρώτης ύλης.

Υπάρχουν προσεγγίσεις υψηλής ανάλυσης, χωρικά κατανεμημένες που ελαχιστοποιούν το χρόνο επεξεργασίας και την συγκέντρωση δεδομένων. Επιπλέον, δίνεται μεγαλύτερη έμφαση στις αναλύσεις σε περιφερειακό επίπεδο (με κλίμακες γενικά στην περιοχή των 200–500 km²), καθώς σε αυτήν την αναλυτική κλίμακα επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ της ενσωμάτωσης τοπικών παραγόντων που επηρεάζουν την πρόσβαση στους πόρους και την βιωσιμότητα του έργου, όπως μέσες αποδόσεις, πρακτικές διαχείρισης και συγκομιδής γης, χωρητικότητα υποδομής και εντοπισμός πιθανών οικονομοτεχνικών συμπερασμάτων.

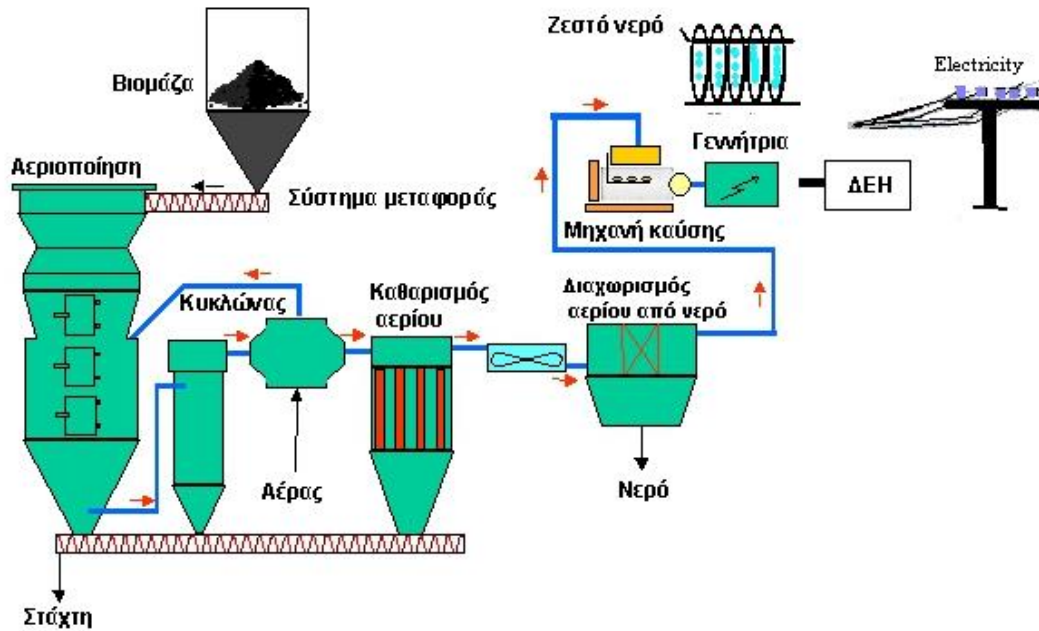
Η διαδικασία μετά την δεματοποίηση της βιομάζας είναι κρίσιμη για την επόμενη φάση της παραγωγής ενέργειας. Αφού τα δέματα ή οι μπάλες φορτωθούν στα φορτηγά, υπάρχουν δύο κύριες επιλογές για την μεταφορά τους: είτε σε μονάδες παραγωγής ενέργειας, εάν η απόσταση είναι οικονομικά εφικτή, είτε σε μονάδες επεξεργασίας και αποθήκευσης. Σε αυτές τις μονάδες, η βιομάζα υφίσταται διαδικασίες επεξεργασίας για την μείωση της υγρασίας της.

Τα φορτηγά οχήματα φέρουν το υλικό στο 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.

Επιπλέον, 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 μελέτης (Καρδίτσα) 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 εκφόρτωσης προς την δεξαμενή. Η διαδικασία μπορεί να διαφέρει ανάλογα το είδος του υπολείμματος και τρόπου συλλογής του. Αν τα υπολείμματα έχουν αποθηκευτεί σε ογκώδη σάκους μεγαλύτερους του τόνου, τότε θα χρειαστεί να

τροφοδοτούν την δεξαμενή ογκώδη σάκοι, ενώ αν είναι σε μορφή δεματοποίησης υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής των υπολειμμάτων απευθείας στην δεξαμενή. Στην περίπτωση των αγροτικών υπολειμμάτων πραγματοποιείται διαδοχική υδρόλυση και αλκοολική ζύμωση προς βιοαιθανόλη.²⁸



²⁹ Διάγραμμα Δ4.5.1: Διαδικασία Μετατροπής Βιομάζας σε Ηλεκτρική Ενέργεια: Σχηματική Αναπαράσταση

Η τρέχουσα έρευνα για το δυναμικό παραγωγής βιοενέργειας τείνει να επικεντρωθεί σε γεωργικές περιοχές. Όλο και περισσότερο, οι αξιολογήσεις πόρων που βασίζονται σε GIS ενσωματώνουν γεωπληροφορίες που σχετίζονται με γεωργικές δραστηριότητες. Η κρίσιμη συλλογή δεδομένων, δηλαδή οι αλυσίδες εφοδιασμού βιομάζας, μπορούν να βοηθήσουν στην μόνωση έναντι των διακυμάνσεων του κόστους και της διαθεσιμότητας που σχετίζονται με την εποχικότητα και τις μεγαλύτερες απαιτήσεις αποθήκευσης, καθώς και την χαμηλή χωρική πυκνότητα και τις σχετικές αυξημένες απαιτήσεις μεταφοράς που προκαλούν μεμονωμένες αλυσίδες εφοδιασμού βιομάζας.

²⁸ Πηγή: <https://www.karouzos.gr/index-3-3.php>

²⁹ Πηγή: <https://www.karouzos.gr/index-3-3.php>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε. ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ (ΓΣΠ) ΣΤΗΝ
ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΒΙΟΜΑΖΑ

5.1 Εισαγωγή

Η απόδοση των καλλιεργειών είναι μια από τις πιο ζωτικές πληροφορίες για την λήψη γεωργικών αποφάσεων στην γεωργία. Για την καλύτερη αξιοποίηση και διαχείριση των περιορισμένων πόρων της καλλιέργειας, είναι πολύ σημαντικό να υπάρχουν σωστές και έγκαιρες εκτιμήσεις από ιστορικά στοιχεία για τις επερχόμενες καλλιέργειες. Κατά την διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας, η χρήση δεδομένων Τηλεπισκόπησης επεκτάθηκε από την ταξινόμηση ή την χαρτογράφηση χρήσης γης/κάλυψης σε εκτιμήσεις σε πραγματικό χρόνο των γεωργικών δραστηριοτήτων, που ονομάζεται γεωργία ακριβείας. Η κλίμακα της ακριβούς παρακολούθησης της απόδοσης των καλλιεργειών είναι επίσης ένα σημαντικό σημείο στον σχεδιασμό της αποστολής νέων διαστημικών οπτικών οργάνων και ραντάρ. Οι τρέχοντες οπτικοί αισθητήρες έχουν βελτιωμένη χωρική, χρονική και φασματική ανάλυση.³⁰

Ο συμβατικός τρόπος αξιολόγησης της ποσότητας της βιομάζας με κριτήρια τοποθεσίας είναι απαραίτητες για τον σχεδιασμό των μελλοντικών εγκαταστάσεων. Η Τηλεπισκόπηση και τα ΓΣΠ είναι χρήσιμα εργαλεία διαθέσιμα για αυτού του είδους τις μελέτες υπολογισμού της ετήσιας διαθέσιμης βιομάζας και υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, επομένως απαιτείται κριτική ανάλυση της βιβλιογραφίας. Μερικά από τα μειονεκτήματα της συμβατικής μεθόδου είναι μια υποεκτίμηση των παρατηρήσεων σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, με αποτέλεσμα πιθανόν να χαθεί μια καλύτερη τοποθεσία, και με την κάλυψη μεγάλης χωρικής περιοχής να είναι δαπανηρή. Αυτά τα ζητήματα μπορούν να μειωθούν σημαντικά με προηγμένα υπολογιστικά εργαλεία όπως η Τηλεπισκόπηση και τα ΓΣΠ. Αυτά τα δύο εργαλεία παρέχουν μια αληθινή εικόνα του υπάρχοντος εδάφους, των πολύπλοκων φαινομένων, την μεταβολή των χρήσεων και του κλίματος που είναι απαραίτητα για την αξιολόγηση των σταθμών. Η χρονική ανάλυση μαζί με την χωρική μοντελοποίηση είναι τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα. Ενσωματώνονται πολλαπλές σειρές χαρτών κάλυψης γης και πόρων από την εφαρμογή μέσω της Τηλεπισκόπησης αλλά και την δυνατότητα μέσω εξειδικευμένων τεχνικών σύντηξης δεδομένων, βελτιώνοντας τα δεδομένα για κατηγοριοποίηση των χρήσεων προκειμένου να παραχθεί ένα χωρικά κατανομημένο μοντέλο διαθεσιμότητας πόρων που βασίζεται σε ΓΣΠ.

Η παρούσα μελέτη παρουσιάζει μια μεθοδολογία αναζήτησης χρονικών δεδομένων σε συγκεκριμένο χρονικό εύρος και περίοδο. Η δεύτερη φάση περιλαμβάνει την συλλογή πρωτογενών δεδομένων με πολυφασματική και υπερφασματική Τηλεπισκόπηση μέσω δορυφορικών τεχνολογιών, καθώς και την τεκμηρίωση της εγχώριας χρήσης γεωγραφικών μεθόδων δικτύου και χαρτογράφησης. Εφαρμόζονται συμβατικές μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην Τηλεπισκόπηση, όπως σύντηξη δεδομένων, και των τεχνικών ΓΣΠ. Στην συνέχεια εξάγονται φασματικές πληροφορίες για κάθε χρήση- βίο ύλη που θα ανιχνεύσει ο σαρωτής με σκοπό την κατηγοριοποίηση και την στατιστική μέτρηση των δεδομένων. Τέλος χρησιμοποιούνται λογισμικά γεωγραφικών συστημάτων χωρικής ανάλυσης, καθορίζοντας άλλες πηγές – συμπληρωματικές - για βιομάζα και την βέλτιστη διαδρομή μεταφοράς των υλικών όταν καθορίσουμε τη βέλτιστη τοποθεσία εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής και θερμικής ενέργειας.

Η Τηλεπισκόπηση και τα ΓΣΠ χρησιμοποιούνται ως σημαντικό εργαλείο για την εξέταση της διάσπαρτης γεωγραφικής κατανομής του οικονομικά εκμεταλλευόμενου δυναμικού βιομάζας, για την αξιολόγησης της προσφοράς βιομάζας και των χαρακτηριστικών της, καθώς

³⁰ Πηγή: 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

και για την εκτίμηση του κατά προσέγγιση κόστους μεταφοράς στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής. Τα δεδομένα Τηλεπισκόπησης παρέχουν την δυνατότητα εκτίμησης της βιομάζας με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, καθώς η επίγεια ή συμβατική αξιολόγηση της βιομάζας να μην επαρκεί για την κάλυψη μεγάλης εκτάσεις, περιορίζοντας έτσι τον χρόνο και το κόστος. Αν και η βιομάζα κατανέμεται σε εκτεταμένες περιοχές, το κόστος μεταφοράς είναι κρίσιμος παράγοντας για τον σχεδιασμό νέων σταθμών παραγωγής ενέργειας από βιομάζα όπως αναφερθήκαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Στην τεχνική της Τηλεπισκόπησης, οι δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιούνται για την ποσοτική αξιολόγηση της κάλυψης βιομάζας και της διαθέσιμης έκτασης σε μεγάλες περιοχές και συμβάλει καθοριστικά στην παροχή δεδομένων για την περαιτέρω διερεύνηση τέτοιων νέων τοποθεσιών. Δίνεται έμφαση στη χαρτογράφηση των αξιοποιήσιμων οργανικών υλών μέσα από γεωργικές, δασικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες στην μελετώμενη επιφάνεια, όπως καλαμπόκι και εγκαταστάσεις για την συλλογή των κοπριών από βοοειδή, χοίρους και πτηνά. Η δυνατότητα της χαρτογράφησης μέσω κατηγοριοποίησης χρησιμοποιώντας μηχανική εκμάθηση αποδεικνύει την βέλτιστη εκμετάλλευση των δορυφορικών πληροφοριών .

Η χαρτογραφία μέσω της Τηλεπισκόπησης όχι μόνο επιτρέπει τον υπολογισμό της συνολικής ποσότητας υπολειμματικών πόρων βιομάζας αλλά και ποια βιομάζα είναι κατάλληλη για τον προσδιορισμό της τεχνικής και οικονομικής σκοπιμότητας, όπως ο τύπος της καλλιέργειας. Ο Δείκτης Κανονικής Διαφοράς Βλάστησης (NDVI) που σχετίζεται με τις ιδιότητες ανάκλασης του ενεργού φωτοσυνθετικού φυτικού ιστού στο κόκκινο και στο εγγύς υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι ένας πολύ κοινός δείκτης που χρησιμοποιείται στις μελέτες της γεωργίας Παρόλο που το NDVI σχετίζεται καλά με την συνολική βιομάζα στην γεωργική και δασική γη, μπορεί να παραμελήσει την παρουσία νεκρού φυτικού υλικού. Οι αισθητήρες LiDAR μετρούν την τρισδιάστατη κατανομή των θόλων των φυτών, παρέχοντας τοπογραφικούς χάρτες υψηλής ανάλυσης και ακριβείς εκτιμήσεις της δομής του θόλου. Επίσης, οι αισθητήρες LiDAR μπορούν να εκτιμήσουν την υπέργεια βιομάζα σε καταστάσεις όπου οι συμβατικοί αισθητήρες δεν μπορούν να αποδώσουν καλά .Για την καταλληλότητα και την βέλτιστη ανάλυση της τοποθεσίας, η Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για την μείωση του κόστους μεταφοράς, το οποίο είναι το πρωταρχικό μέλημα στον σχεδιασμό της νέας μονάδας παραγωγής ενέργειας, προκειμένου να βελτιστοποιηθεί η κατανομή και η εκτίμηση της περιοχής παροχής.

Η ποσότητα της αξιοποιήσιμης βιομάζας σε μια περιοχή μπορεί να υπολογιστεί και οι βέλτιστες τοποθεσίες εντοπίζονται μειώνοντας το κόστος μεταφοράς μέσω τεχνικών Τηλεπισκόπησης ενώ το ΓΣΠ παρέχει μια κατάλληλη τεχνολογία για την αποθήκευση και ανάλυση πληροφοριών σχετικά με τους τύπους εδάφους, τις βροχοπτώσεις, την θερμοκρασία και την ιδιοκτησία γης και λεπτομέρειες οδικής πρόσβασης. Οι πληροφορίες που συλλέγονται με αυτόν τον τρόπο αποθηκεύονται εύκολα σε συστήματα ΓΠΣ τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την λήψη αποφάσεων. Τα λογισμικά των ΓΣΠ εξυπηρετούν στην διαχείριση των δεδομένων, είτε από δορυφορικές αποκρίσεις αποτελώντας τα δευτερογενή δεδομένα, είτε από πηγές κτηματογραφίσεων εγκαταστάσεων, όπως φάρμες , εργοστασιακές εγκαταστάσεις και δίκτυα διανομών. Καθώς η βιομάζα κατανέμεται σε εκτεταμένες περιοχές, το κόστος μεταφοράς είναι κρίσιμος παράγοντας για τον σχεδιασμό νέων σταθμών παραγωγής ενέργειας από βιομάζα. Ο σκοπός της χρήσης των ΓΣΠ υποδεικνύει γιατί υπάρχει ανάγκη για μια ποσοτική αξιολόγηση των δυνατοτήτων βιομάζας και βιοκαυσίμων της περιοχής προτού ληφθούν αποφάσεις σχετικά με την χρήση τέτοιων πόρων.

Τα ακόλουθα δεδομένα μπορούν να παρέχονται και να διαχειρίζονται μέσω του ΓΠΣ για αυτή την προτεινόμενη εφαρμογή:

- Προσδιορισμός της κατάλληλης τοποθεσίας, συμπεριλαμβανομένων του εδάφους και των τύπων εδάφους
- Στοιχεία βροχοπτώσεων- Άλας
- Οδική πρόσβαση και ιδιοκτησία γης
- Υπολογισμός ποσοτικών στατιστικών αποτελεσμάτων

Με την απομάκρυνση της υγρασίας, η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας από βιομάζα μπορεί να βελτιωθεί μειώνοντας τις ανοιχτές καύσεις των γεωργικών και δασικών απορριμμάτων και των αστικών λυμάτων.

5.2. Μοντελοποίηση βιομάζας

Διάφοροι παράγοντες μπορούν να επηρεάσουν την εκτίμηση της βιομάζας σε μία περιοχή και ειδικά από την Τηλεπισκόπηση, όπως ανεπαρκή δεδομένα δείγματος, ατμοσφαιρικές συνθήκες, πολύπλοκες περιβαλλοντικές συνθήκες, κλίμακα της περιοχής μελέτης, διαθεσιμότητα λογισμικού, χωρική ανάλυση δεδομένων Τηλεπισκόπησης κ.λπ. Προκειμένου να εισαχθούν διαφορετικές προσεγγίσεις που έχουν αναπτυχθεί για την μείωση των αβεβαιοτήτων που προκαλούνται από αυτούς τους παράγοντες στην εκτίμηση της χωρικής κατανομής της βιομάζας, περιγράφονται στην συνέχεια τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα μοντέλα υπολογισμού βιομάζας. Τα μοντέλα αυτά έχουν κοινή βάση και κοινή μεταβλητή τα δεδομένα από τους σαρωτές -αισθητήρες των δορυφορικών συστημάτων και συσχετίζονται εκτιμώντας την ποσότητα της βιομάζας με χρήση κατάλληλων μεταβλητών. Η ανάπτυξη κατάλληλων μοντέλων εκτίμησης βιομάζας για επαρκή δειγματοληψία, χρησιμοποιεί μεθόδους παλινδρόμησης που στοχεύουν στην αποτελεσματική ενοποίηση δεδομένων πολλαπλών πηγών.³¹

5.2.1. Μη παραμετρικά μοντέλα

Τα μοντέλα παλινδρόμησης, οι μη παραμετρικοί αλγόριθμοι, βασίζονται στην χρήση διαφορετικών δεδομένων αισθητήρων, για παράδειγμα φασματικών, ραντάρ και LiDAR, χρησιμοποιώντας πολλά από αυτά τα μοντέλα στην εκτίμηση των χαρακτηριστικών των καλλιεργειών. Αποτελούν ένα πλαίσιο για την δημιουργία πολύπλοκων μη γραμμικών μοντέλων βιομάζας που βασίζονται στην χρήση μεταβλητών Τηλεπισκόπησης και ως εναλλακτικές για τις παραμετρικές προσεγγίσεις. Οι κοινοί μη παραμετρικοί αλγόριθμοι περιλαμβάνουν τον πλησιέστερο γείτονα (k-nearest neighbor), το τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (artificial neural network) και την μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης (SVM).³²

³¹ 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

³² 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

5.2.2. Μοντέλα παλινδρόμησης

Μία από τις πιο κοινές μεθόδους για την εκτίμηση της βιομάζας είναι η ανάλυση μέσω παλινδρόμησης, όπου η βιομάζα υπολογίζεται με την στατιστική τεχνική, την διερεύνηση και την μοντελοποίηση της σχέσης μεταξύ των μεταβλητών. Παραδοσιακά, στην προσέγγιση της Τηλεπισκόπησης, οι τεχνικές ανάλυσης παλινδρόμησης εφαρμόζονται στην εκτίμηση βιομάζας και βασίζονται στην ποσοτική σχέση μεταξύ διαχρονικών μετρήσεων σε βάθος πενταετίας από δορυφορικά δεδομένα. Τα μοντέλα που βασίζονται στην ανάλυση παλινδρόμησης παρέχουν αρκετά ακριβή αποτελέσματα μέσω της εφαρμογής τους σε όλες τις χωρικές κλίμακες. Οι μεθοδολογίες αποτελούνται από τρία κύρια στάδια με την εκτίμηση βιομάζας βάση φασματικών δεικτών, συσχέτιση μοντέλου παλινδρόμησης μεταξύ βιομάζας πενταετών αποτελεσμάτων και δορυφορικών εξαγόμενων αποτελεσμάτων των αντίστοιχων *pixel*, και κατάληξη σε εφαρμογή μοντέλων παλινδρόμησης για εκτίμηση της βιομάζας με χωρική πρόβλεψη.

Πολλά μοντέλα έχουν αναπτυχθεί με βάση πολλαπλούς συνδυασμούς παραμέτρων που υπολογίζονται μέσω μοντέλων γραμμικής παλινδρόμησης (LR) ή μη γραμμικής παλινδρόμησης (NLR). Η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης μπορεί να είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη προσέγγιση για την ανάπτυξη μοντέλων εκτίμησης βιομάζας. Οι παραμετρικοί αλγόριθμοι υποθέτουν ότι οι σχέσεις μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής (βιομάζα) και ανεξάρτητων μεταβλητών (δεδομένα Τηλεπισκόπησης) έχουν σαφείς δομές και οι ανεξάρτητες μεταβλητές μπορεί να είναι φασματικές ζώνες, δείκτες βλάστησης, εικόνες υψής, ύψος LiDAR και οπισθοσκέδαση ραντάρ συνθετικού ανοίγματος (SAR).

5.3. Χρήση Τηλεπισκόπησης για μοντελοποίηση βιομάζας

Οι φασματικοί δείκτες βλάστησης με Τηλεπισκόπηση αντιπροσωπεύουν ένα ολοκληρωμένο μέτρο τόσο της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας της βλάστησης όσο και της δομικής παραλλαγής του θόλου που χρησιμοποιούνται ευρέως και έχουν ωφελήσει πολλούς κλάδους που ενδιαφέρονται για την αξιολόγηση της εκτίμησης της βιομάζας. Διαφορετικά είδη δεικτών βλάστησης χρησιμοποιούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα στην εκτίμηση της βιομάζας. Ο δείκτης βλάστησης NDVI αλληλοεπιδρά στο φάσμα και η αντίθεση είναι ιδιαίτερα ισχυρή μεταξύ των περιοχών του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου (NIR), ενώ αποτελεί ένδειξη για την ποσοτικοποίηση δεικτών της κατάστασης της βλάστησης. Ωστόσο, στην πραγματικότητα, διαφορετικοί παράγοντες επηρεάζουν την ανάκλαση της βλάστησης και κατά συνέπεια τον δείκτη βλάστησης (π.χ. η διόρθωση της ατμόσφαιρας είναι απαραίτητη όταν η βιομάζα εξάγεται από τους δείκτες βλάστησης ως τελικό προϊόν).

Οι δείκτες βλάστησης μπορούν να ταξινομηθούν σε

- δείκτες με βάση την κλίση
- με βάση την απόσταση και
- δείκτες μετασχηματισμού.

Οι δείκτες που βασίζονται στην κλίση είναι απλοί αριθμητικοί συνδυασμοί που εστιάζουν στην αντίθεση μεταξύ των μοτίβων φασματικών αποκρίσεων της βλάστησης στο κόκκινο και το εγγύς υπέρυθρο. Οι πιο γνωστοί δείκτες βλάστησης είναι ο δείκτης αναλογίας βλάστησης

(RVI), ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφοράς βλάστησης (NDVI) και ο δείκτης βλάστησης προσαρμοσμένη στο έδαφος (SAVI). Οι δείκτες βλάστησης δείχνουν καλύτερη ευαισθησία από μεμονωμένες φασματικές ζώνες για την ανίχνευση βιομάζας.

Οι δείκτες που βασίζονται στην απόσταση μετρούν κάθετα τον βαθμό βλάστησης από το υπόβαθρο του εδάφους έως το εικονοστοιχείο με την υψηλότερη περιεκτικότητα σε βλάστηση. Ο δείκτης βλάστησης (PVI) ακυρώνει την επίδραση της φωτεινότητας του εδάφους σε περιπτώσεις όπου η βλάστηση είναι αραιή και τα εικονοστοιχεία περιέχουν ένα μείγμα πράσινης βλάστησης και εδάφους. Η επίδραση του εδάφους ως υποβάθρου είναι ένας σημαντικός παράγοντας σε ορισμένες περιοχές για την ποσοτική αξιολόγηση της βιομάζας.³³

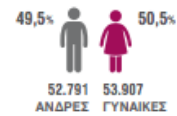
³³ Remote Sensing-Based Biomass Estimation WRITTEN BY José Mauricio Galeana Pizaña, Juan Manuel Núñez Hernández and Nirani Corona Romero . Submitted: June 11th, 2015 Reviewed: October 21st, 2015 Published: June 8th, 2016

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ. ΑΠΟΔΟΣΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

6.1. Βασικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης

Ο νομός Καρδίτσας αποτελεί μια περιοχή με πλούσιο πολιτιστικό και φυσικό περιβάλλον, που βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα και ανήκει στην περιφέρεια της Θεσσαλίας. Γεωγραφικά, ο νομός διαθέτει εντυπωσιακά βουνά και άφθονες υδάτινες επιφάνειες, συμπεριλαμβανομένων των λιμνών και των ποταμών. Οικονομικά, η περιοχή εξαρτάται κατά βάση από την γεωργία και την κτηνοτροφία.

Ο νομός σύμφωνα με την τελευταία απογραφή (2021) έχει 106.698 μόνιμους κατοίκους. Διοικητικά και βάσει του νέου Καλλικράτη διαιρείται σε 6 δήμους.



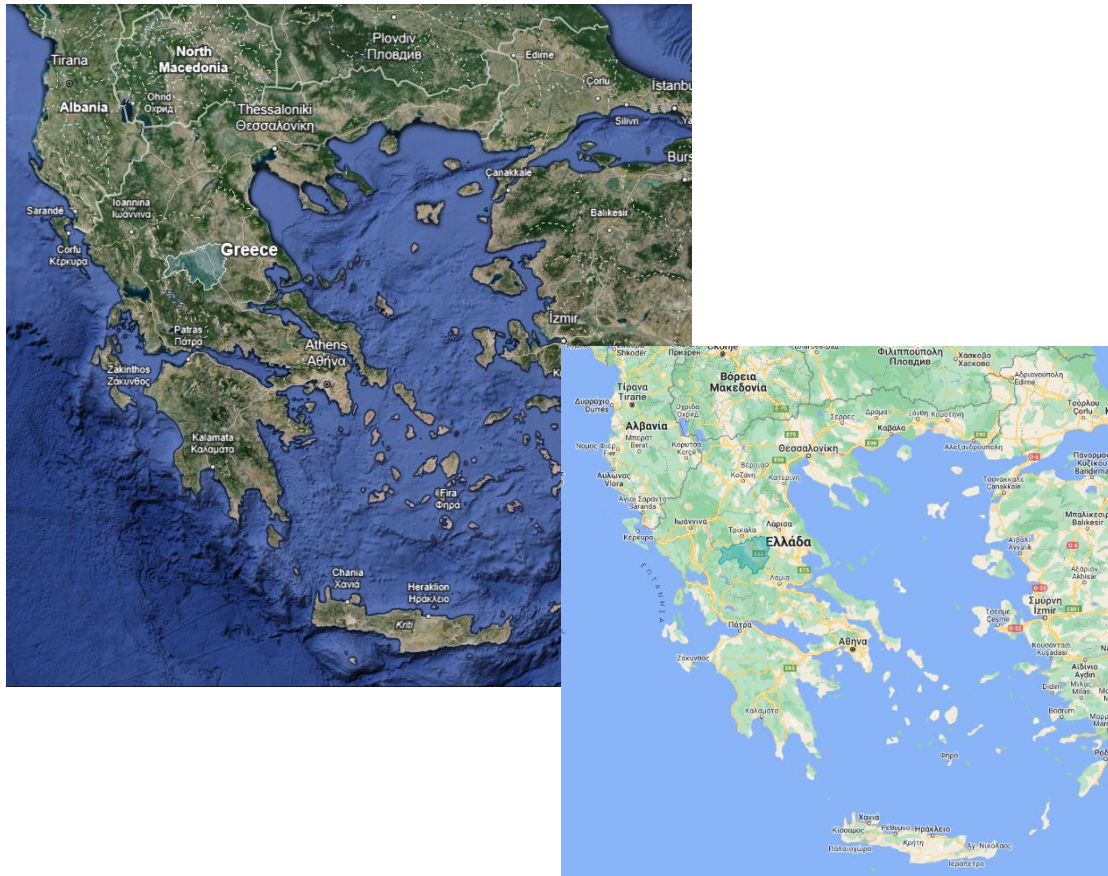
Περιφερειακή Ενότητα Καρδίτσας

Δήμος	Πληθυσμός		Άνδρες		Γυναίκες	
	2011	2021	2011	2021	2011	2021
ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	56.747	56.641	27.766	27.577	28.981	29.064
ΑΡΓΙΘΕΑΣ	3.450	3.515	1.811	1.907	1.639	1.608
ΛΙΜΝΗΣ ΠΛΑΣΤΗΡΑ	4.635	5.285	2.288	2.689	2.347	2.596
ΜΟΥΖΑΚΙΟΥ	13.122	11.264	6.460	5.668	6.662	5.596
ΠΑΛΑΜΑ	16.726	13.416	8.443	6.683	8.283	6.733
ΣΟΦΑΔΩΝ	18.864	16.577	9.370	8.267	9.494	8.310

³⁴ Πίνακας ΣΤ6.1.1: Πολιτιστικά, ο νομός ευδαιμονεί σε παραδοσιακούς οικισμούς, μνημεία και αρχαιολογικούς χώρους, ενώ οι τοπικές εορτές και παραδόσεις διατηρούν την ιστορική κληρονομιά της περιοχής ζωντανή.

Η περιοχή που μελετάται βρίσκεται στην κεντρική Ελλάδα, στον νομό Καρδίτσας, εκτείνεται από τους 39°11'53"N 21°21'17"E δυτικά έως 39°16'15"N 22°15'38"E ανατολικά 39°33'11"N 22°00'11"E βόρεια έως 39°01'29"N 21°57'15"E νότια.

³⁴ Πηγή: <https://neosagon.gr/apografi-2021-6-i-meiosi-ston-monimo-plithysmo-tou-n-karditsas/>



Εικόνα ΣΤ6.1.1: Απεικόνιση των ορίων της περιφερειακής ενότητας Καρδίτσας στο Google Earth και Google Maps.³⁵

Περιλαμβάνει μέρος του ορεινού συμπλέγματος της Πίνδου και χαρακτηρίζεται από το φυσικό του περιβάλλον, που περιλαμβάνει καταπράσινες πλαγιές, λίμνες και ποτάμια. Η μέση ετήσια θερμοκρασία φτάνει τους περίπου 18°C.

Η περιοχή κυρίως αποτελείται από γεωργικές εκτάσεις, με ορεινά και πεδινά τοπία, και μικρές περιοχές δασών και φυσικής βλάστησης. Η χρήση της γης είναι κυρίως γεωργική, με καλλιέργειες όπως σιτάρι, καλαμπόκι και λαχανικά. Επίσης, είναι γνωστή για την παραγωγή από την κτηνοτροφία και την παραδοσιακή γεωργία. Το υψόμετρο κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 100 και 1200 μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, ενώ οι βροχοπτώσεις κυμαίνονται γύρω στα 20-900 χιλιοστά ετησίως, με την περισσότερη βροχή να πέφτει τον χειμώνα.

6.2. Βασική οικονομική απασχόληση της περιοχής μελέτης

Η βασική οικονομική απασχόληση στην περιοχή της Καρδίτσας περιλαμβάνει την γεωργική και κτηνοτροφική δραστηριότητα. Η καλλιέργεια σιτηρών, λαχανικών και φρούτων, καθώς και η εκτροφή ζώων όπως αιγοπρόβατα και βοοειδή, αποτελούν σημαντική πηγή εισοδήματος για τους κατοίκους. Ως δεύτερος τομέας θεωρούνται οι βιομηχανικές δραστηριότητες (ΒΙ.ΠΕ), όπως εργοστάσια επεξεργασίας τροφίμων, βιομηχανία ενέργειας ή κατασκευής. Επίσης οι εμπορικές δραστηριότητες και ο τομέας των υπηρεσιών.

³⁵ Πηγή: Google Earth (<https://earth.google.com/>) και Google Maps (<https://www.google.com/maps/>)

6.3. Γεωμορφολογία

Η ευρύτερη περιοχή του νομού Καρδίτσας στην βορειοδυτική Ελλάδα παρουσιάζει μια ενδιαφέρουσα γεωγραφική και γεωμορφολογική διαμόρφωση. Το τοπίο διακρίνεται σε τρεις βασικούς τύπους: ορεινό, ημιορεινό και πεδινό. Ο ορεινός όγκος, ο ημιορεινός και ο πεδινός καταλαμβάνουν το 42% (1.111 Km²), το 9% (230 Km²) και 49% (1.326 Km²), αντίστοιχα. Το δυτικό τμήμα του νομού ανήκει στην λεκάνη απορροής του ποταμού Αχελώου και χαρακτηρίζεται από λίγες αρδευτικές εκτάσεις, ενώ το ανατολικό τμήμα ανήκει στην λεκάνη απορροής του ποταμού Πηνειού και ενσωματώνεται στον Θεσσαλικό κάμπο όπου το τοπίο είναι πεδινό με ελάχιστη κλίση, καθιστώντας το ιδανικό για αρδευτικούς σκοπούς και γεωργική χρήση. Η γεωγραφική ποικιλομορφία της περιοχής επιδεικνύει επίσης επίπεδες πεδινές περιοχές με ελάχιστη κλίση και ημιορεινές περιοχές με μεσογειακή βλάστηση και σημαντική κλίση. Η ποικιλία αυτή του ανάγλυφου και των χαρακτηριστικών του τοπίου καθιστά την περιοχή του νομού Καρδίτσας ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα για μελέτη και εξερεύνηση της φυσικής γεωγραφίας.

6.4. Γεωλογία

Η γεωλογική σύνθεση της ευρύτερης περιοχής μελέτης περιλαμβάνει τις εξής γεωτεκτονικές ζώνες και ενότητες της Ζώνης της Πίνδου, που εκτείνεται από τα δυτικά όρια της πεδιάδας προς την οροσειρά της Πίνδου. Οι Γεωτεκτονικές Ζώνες αποτελούνται από :

- **Ζώνη της Πίνδου:** Περιλαμβάνει λεπτοπλακώδεις ασβεστόλιθους, σχιστοκερατόλιθους και φλύσχες στο δυτικό τμήμα της περιοχής.
- **Υποπελαγονική Ζώνη:** Βρίσκεται στην κεντρική Θεσσαλία και περιλαμβάνει οφιολιθικά υπερβασικά πετρώματα, φλύσχες και σχιστοκερατόλιθους.
- **Πελαγονική Ζώνη:** Στο ανατολικό τμήμα, χαρακτηρίζεται από κρυσταλλικούς ασβεστόλιθους, μάρμαρα, γνεύσιους, σχιστόλιθους και αμφιβολίτες.
- **Μολασσικά Ιζήματα:**

Στο δυτικό τμήμα της Θεσσαλικής Πεδιάδας, υπάρχουν μολασσικά ιζήματα της μεσοελληνικής αυλάκου, κυρίως αποτελούμενα από συνεκτικά κροκαλοπαγή μεγάλου πάχους.

Γεωλογικό Υπόβαθρο:

- Εμφανίζει επίπεδες επιφάνειες με ελαφρές κλίσεις και έλλειψη ασβεστίου.
- Τα εδάφη είναι κατάλληλα για πολλαπλές καλλιέργειες κατά την ξηρή περίοδο λόγω των μικρών κλίσεων της περιοχής.

Φαινόμενα Διάβρωσης:

- Δεν παρατηρούνται σημαντικά φαινόμενα διάβρωσης εκτός από μικρές διαβρώσεις στις ποταμικές κοίτες κατά τους χειμερινούς μήνες υπό συγκεκριμένες συνθήκες παροχής νερού.

- Συνολικά, η περιοχή είναι γεωλογικά ποικίλη και περιλαμβάνει διαφορετικές γεωτεκτονικές ζώνες και ενότητες, κάθε μια με τις ιδιαιτερότητές της στην σύσταση του υποβάθρου και την καταλληλότητα της για γεωργικές καλλιέργειες.

6.5. Μετεωρολογικά στοιχεία – Μετρήσεις Βροχόπτωσης

Το κλίμα του Νομού Καρδίτσας είναι ηπειρωτικό με δύο κύριες παραλλαγές, ανάλογα με την διαμόρφωση του εδάφους, σε ορεινές και πεδινές περιοχές. Κατά την χειμερινή περίοδο, επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες και υψηλή υγρασία. Τα ορεινά τμήματα χαρακτηρίζονται από ακόμα χαμηλότερες θερμοκρασίες και μεγαλύτερες βροχοπτώσεις σε σύγκριση με τις πεδινές περιοχές. Λόγω της απουσίας επιδράσεων από την θάλασσα, το καλοκαίρι είναι εξαιρετικά θερμό στις πεδινές περιοχές, με θερμοκρασίες που συχνά υπερβαίνουν τους 40°C.

Ένα χαρακτηριστικό του κλίματος είναι η μεγάλη διακύμανση στο ύψος και στον αριθμό των ημερών βροχής από έτος σε έτος. Γενικά, οι βροχοπτώσεις στο Νομό Καρδίτσας διαρκούν σχεδόν όλο το χρόνο, ενώ οι μήνες με τις μεγαλύτερες βροχοπτώσεις είναι από Οκτώβριο έως Μάρτιο. Αντίθετα, οι μήνες Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος εμφανίζουν συνήθως ελάχιστες βροχοπτώσεις. Συχνά υπάρχουν και χιονοπτώσεις, ειδικά στις ορεινές περιοχές του Νομού, όπου το χιόνι καλύπτει την περιοχή για περίοδο 4-5 μηνών τον χρόνο.

ΜΗΝΑΣ /ΕΤΟΣ	2017	2018	2019	2020	2021	2022	M.O /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
Σύνολο (mm)	705,0	943,0	699,0	675,4	670,0	657,6	725,0

Πίνακας ΣΤ6.5.1 :Συγκριτικά αποτελέσματα ανά έτος μελέτης, μετρήσεων Βροχόπτωσης στο νομό Καρδίτσας.

Τα κύρια μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής της Καρδίτσας συνοψίζονται ως εξής:

1. **Άνεμοι:** Οι κύριοι άνεμοι που πνέουν στην περιοχή είναι Νότιοι και Νοτιοανατολικοί κατά την μεγαλύτερη διάρκεια του έτους. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου παρατηρούνται 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 τιμή θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της τυπικής ημέρας κυμαίνεται από 17,9°C τον Ιανουάριο έως 39,1°C τον Ιούλιο.
- Υγρασία:** Οι τιμές της σχετικής υγρασίας κινούνται σε υψηλά επίπεδα όλο τον χρόνο, κατατάσσοντας την περιοχή στις υγρότερες της Ελλάδας. Κατά τους χειμερινούς μήνες, οι τιμές είναι υψηλότερες σε σύγκριση με το καλοκαίρι.
- Βροχόπτωση:** Η ετήσια βροχόπτωση για την περίοδο 2017-2022 ανέρχεται σε περίπου 725 mm. Οι χειμερινοί μήνες είναι πιο βροχεροί σε σύγκριση με τους θερμούς καλοκαιρινούς μήνες.

Συνολικά, η Καρδίτσα εμφανίζει έντονη μεταβολή στο κλίμα της με ψυχρούς χειμώνες και πολύ θερμά καλοκαίρια. Η υψηλή υγρασία και οι συχνές βροχοπτώσεις καθιστούν την περιοχή μια από τις υγρότερες στην Ελλάδα, με σημαντικές διακυμάνσεις στις μηνιαίες και ετήσιες κλιματικές συνθήκες. Τα διαγράμματα που ακολουθούν είναι από την Υπηρεσία ΜΕΤΕΟ του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, που διατηρεί μετρήσεις στην περιοχή με αποτέλεσμα να υπάρχουν επίκαιρα Μετεωρολογικά Δεδομένα.³⁶

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 ΣΤ6.5.2 :Συγκριτικά αποτελέσματα ανά έτος μελέτης, μετρήσεων Βροχόπτωσης στο νομό Καρδίτσας από την Υπηρεσία ΜΕΤΕΟ .



³⁷ Διάγραμμα ΣΤ6.5.3 :Διάγραμμα δεδομένων Υπηρεσίας ΜΕΤΕΟ, που διατηρεί μετρήσεις στην περιοχή και πρόβλεψη βροχοπτώσεων.

³⁶ Πηγή: <https://meteosearch.meteo.gr/data/index.cfm>

³⁷ Πηγή: <https://meteosearch.meteo.gr/data/index.cfm>

6.6. Ανάλυση Επιλογής Περιοχής για Βιώσιμη Ανάπτυξη Βιομάζας

Οι γεωργικοί πόροι αποτελούν μια σημαντική πηγή βιομάζας στην περιοχή με 7.300–8.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα ενεργού καλλιεργήσιμης γης. Όπως αναφέρθηκε υπάρχει μια αυξανόμενη πολιτική κίνηση για την χρήση των υπολειμμάτων από τις καλλιέργειες και την αξιοποίησή τους για την παραγωγή αιθανόλης από την βιομάζα των ενεργειακών καλλιεργητικών υπολειμμάτων. Στην περιοχή της Καρδίτσας, η μεθοδολογία επιλογής περιοχής εστιάζεται σε γεωγραφικούς, κλιματολογικούς και οικονομικούς παράγοντες προκειμένου να εντοπιστούν οι κατάλληλες περιοχές που επιτρέπουν την αειφόρο παραγωγή και χρήση της βιομάζας. Αρχικά, η ανάλυση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων στην περιοχή αποτελεί βασικό στάδιο για τον προσδιορισμό της διαθεσιμότητας βιομάζας. Η Καρδίτσα διαθέτει έκταση μεγάλου εύρους ενεργών καλλιεργήσιμων εκτάσεων, κυρίως αγροκτημάτων και φυτειών, με ποικιλία καλλιεργειών όπως σιτάρι, καλαμπόκι, βαμβάκι, κτλ. Η ανάλυση αυτή μας επιτρέπει να καθορίσουμε τις περιοχές με την μεγαλύτερη δυνατότητα για την παραγωγή βιομάζας.

Ένας άλλος παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη είναι το κλίμα της περιοχής. Η Καρδίτσα εμφανίζει ηπειρωτικό κλίμα με δύο παραλλαγές, ορεινή και πεδινή. Τα χαμηλά υψόμετρα και οι επίπεδες εκτάσεις της πεδιάδας προσφέρουν κατάλληλες συνθήκες για την καλλιέργεια των φυτών. Επιπλέον, η οικονομική προοπτική διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην επιλογή της περιοχής. Όπου υπάρχει διαθεσιμότητα υποδομών, όπως εργοστάσια επεξεργασίας βιομάζας και δίκτυα μεταφοράς, καθώς και η πρόσβαση σε αγορές, δύο σημαντικοί παράγοντες για την οικονομική εφικτότητα των επενδύσεων στην βιομάζα. Με βάση αυτήν τη μεθοδολογία, επιλέγονται οι περιοχές στην Καρδίτσα που προσφέρουν τις καλύτερες συνθήκες για την αειφόρο παραγωγή και εκμετάλλευση βιομάζας από καλλιέργειες, συνδυάζοντας βιωσιμότητα, παραγωγικότητα και οικονομική αποδοτικότητα.

Στην περιοχή της Καρδίτσας δεν υφίσταται συχνές ξηρασίες, οι οποίες είναι ακραία κλιματικά γεγονότα και επιδρούν συχνά στην υγρασία του εδάφους. Η χρήση της γης είναι κυρίως δασικές περιοχές με κάλυψη περίπου (40%) , γεωργικές (28%) και οικισμοί (2%), ενώ η υπόλοιπη χρήση είναι άγονες εκτάσεις, υδάτινες επιφάνειες κτλ. Η περιοχή μελέτης έχει μικρούς περιορισμούς στην βλάστηση και την γεωργία. Το υψόμετρο της περιοχής μελέτης κυμαίνεται μεταξύ 110 και 1200 μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Ο πιο βροχερός μήνας είναι ο Ιανουάριος με μέσο όρο 96,3 mm, ενώ οι πιο ξηρός μήνας είναι ο Σεπτέμβριος (<21,6 mm). Η ετήσια μέση θερμοκρασία του αέρα είναι περίπου 17,5 °C και η μέση σχετική υγρασία του αέρα είναι 41%. Το βαμβάκι (*Gossypium* sp.), το καλαμπόκι (*Zea mays* L. ssp.), και το αραβόσιτο (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) είναι οι κύριες καλλιέργειες στην περιοχή. Η αγροτική περίοδος ξεκινά με τις πρώτες βροχές γύρω στον Μάρτιο και οι καλλιέργειες συγκομίζονται από τα μέσα Ιουλίου (καλαμπόκι) μέχρι το τέλος Οκτωβρίου (αραβόσιτο). Στην περιοχή μελέτης κυριαρχεί η παραγωγή βαμβακιού με τις οργανώσεις αγροτών, οι οποίες επηρεάζουν σημαντικά την τοπική βιοπορικότητα καθώς το βαμβάκι είναι η κύρια εμπορεύσιμη καλλιέργεια. Το σιτάρι και ο αραβόσιτος καλλιεργούνται εξίσου σε σημαντικό βαθμό.

Τα τελευταία χρόνια, διάφορες μελέτες τόνισαν την "καλαμποκοποίηση" της περιοχής. Το καλαμπόκι έχει αρκετά πλεονεκτήματα έναντι άλλων τοπικών σιτηρών: υψηλότερες αποδόσεις, ευκολότερη πώληση και γρήγορη ωρίμανση που επιτρέπει την πρόωρη

συγκομιδή κατά την διάρκεια καλλιεργητικής περιόδου. Ωστόσο, απαιτεί περισσότερο λίπασμα και είναι περισσότερο ευάλωτο στην ξηρασία από το αραβόσιτο.

Η συνολική ανάλυση αυτής της μεθοδολογίας μας επιτρέπει να καταλήξουμε σε ενδεδειγμένες περιοχές για την ανάπτυξη βιομάζας, λαμβάνοντας υπόψη τις πολλαπλές πτυχές της βιωσιμότητας και της οικονομικής αποδοτικότητας. Με βάση τους παραπάνω παράγοντες, η Καρδίτσα αναδεικνύεται ως μια ιδανική περιοχή για την ανάπτυξη της βιομάζας από καλλιέργειες, συνδυάζοντας βιωσιμότητα, παραγωγικότητα και οικονομική αποδοτικότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ζ. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΜΕ ΓΕΩΧΩΡΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

7.1. Συλλογή δεδομένων και εξοπλισμός επεξεργασίας

Δεδομένα από τον δορυφόρο Sentinel-2 [ανάλυση 10 m] χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό δώδεκα δεικτών βλάστησης (Vegetation Indices - VIs) και για σύγκριση με την βιομάζα της καλυπτικής καλλιέργειας.

Τα δορυφορικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την εκτέλεση ιεραρχικής ομαδοποίησης για την κατάταξη των δεικτών βλάστησης και για την ακρίβεια εκτίμησης της βιομάζας. Οι δορυφόροι μπορεί να προβλέψουν με σχετική ακρίβεια την βιομάζα των καλλιεργειών σε επίπεδο αγρού, καταδεικνύοντας τη δυνατότητα εκτίμησης βιομάζας μεγάλης κλίμακας με χαμηλό κόστος σε σύγκριση με δεδομένα από επίσημους φορείς καταγραφής γεωργικών καλλιεργειών.

Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες από τις δορυφορικές αποστολές του Copernicus, όπως οι δορυφορικές αποστολές Sentinel, πραγματοποιήθηκαν εκτεταμένες αναλύσεις για την εκτίμηση της βιομάζας σε πέντε χρονιές από το 2018 έως το 2022.

Κατά την διάρκεια του αρχικού έτους 2018, τα δεδομένα του Sentinel-2A χρησιμοποιήθηκαν για την αποκόμιση πληροφοριών σχετικά με την επιφανειακή κάλυψη και την υφή του εδάφους σε διάφορες περιοχές. Μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων και της εφαρμογής αλγορίθμων ανάλυσης εικόνας, παράγονται δεδομένα εκτίμησης βιομάζας για την μελετώμενη περιοχή. Με βάση τις εικόνες που λήφθηκαν κατά την διάρκεια της αρχικής χρονιάς 2018, πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία και η ανάλυση για την εκτίμηση της διαθέσιμης βιομάζας, κατηγοριοποιώντας τις καλλιέργειες. Τα έτη 2019-2022 συνεχίστηκε η χρήση των δεδομένων του Sentinel-2A για την παρακολούθηση και καταγράφοντας τις αλλαγές στη γεωργική καλλιέργεια της περιοχής μελέτης. Η συνεχής παρακολούθηση της εξέλιξης της βιομάζας με την χρήση δορυφορικών δεδομένων μπορεί να παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την υγεία των φυτών, την αποτελεσματικότητα της γεωργίας και την παρακολούθηση των οικοσυστημικών αλλαγών.

Λόγω του εύρους των ετών που χρησιμοποιήθηκαν αυξήθηκαν τα διαστήματα εμπιστοσύνης, στοχεύοντας στη βελτιστοποίηση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των εκτιμήσεων βιομάζας.

7.2. Εξοπλισμός επεξεργασίας δεδομένων

Για την επιτυχή ολοκλήρωση της μελέτης, είναι σημαντικό να χρησιμοποιούνται εργαλεία και λογισμικά που καλύπτουν τις ανάγκες ανάλυσης, επεξεργασίας και παρουσίασης των δεδομένων. Παρακάτω παρουσιάζονται τα εργαλεία λήψης δεδομένων Copernicus ArcGIS, ENVI, SNAP και SPSS, και η συμβολή τους στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

Το Copernicus είναι το ευρωπαϊκό πρόγραμμα παρακολούθησης της Γης, το οποίο παρέχει πρόσβαση σε δορυφορικά δεδομένα γης και ατμόσφαιρας. Με την χρήση αυτών των δεδομένων, μπορούν να πραγματοποιηθούν αναλύσεις για την κλιματική αλλαγή, τις χρήσεις γης, και άλλα περιβαλλοντικά ζητήματα. Το Copernicus αποτελείται από μια σειρά από δορυφορικά και εδαφικά στοιχεία, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται οι δορυφορικές αποστολές Sentinel, η οπτική και επιτήρηση της Γης.

Το Coregnicus παρέχει δεδομένα και εικόνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της βιομάζας σε διάφορες περιβαλλοντικές εκτάσεις. Οι δορυφορικές εικόνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χαρτογραφικό εντοπισμό διαφόρων τύπων βιομάζας, όπως δασικά καλλιεργήματα, γεωργικές χρήσεις, εναλλακτικά εδαφικά χαρακτηριστικά και περιβαλλοντικές ζώνες. Χρησιμοποιώντας γεωγραφικές τεχνικές επεξεργασίας εικόνων και αλγορίθμους ανίχνευσης, είναι δυνατή η ακριβής εκτίμηση της ποσότητας της βιομάζας σε συγκεκριμένες περιοχές. Συνολικά, το Coregnicus παρέχει ένα ευρύ φάσμα εργαλείων και δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της βιομάζας και την παρακολούθηση της περιβαλλοντικής κατάστασης σε παγκόσμια κλίμακα.

Το ENVI είναι ένα λογισμικό επεξεργασίας και ανάλυσης εικόνων που χρησιμοποιείται κυρίως στον τομέα της επεξεργασίας γεωγραφικών δεδομένων, της απεικόνισης δορυφορικών και αεροφωτογραφιών, καθώς και της επιστημονικής ανάλυσης περιβαλλοντικών δεδομένων. Το όνομα "ENVI" αναφέρεται στον "Environmental Visualization System" και το λογισμικό προσφέρει ένα ευρύ φάσμα λειτουργιών για την επεξεργασία και ανάλυση των χωρικών δεδομένων και την βελτίωση και ανακατασκευή εικόνων, συμπεριλαμβανομένων των δορυφορικών. Το ENVI προσφέρει εργαλεία για την αυτόματη ή χειροκίνητη κατάτμηση εικόνων σε διαφορετικές κατηγορίες ή περιοχές. Επιπλέον επιτρέπει την ανάλυση και ταξινόμηση πολύ και υπερ-φασματικών δεδομένων για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τις ιδιότητες των υλικών σε μια εικόνα. Το πλεονέκτημα του λογισμικού είναι η πρόσβαση σε μια ποικιλία αλγορίθμων και μοντέλων για την ανάλυση δεδομένων και την εξαγωγή αποτελεσμάτων.

Το ArcGIS είναι ένα λογισμικό ΓΣΠ (GIS) που παρέχεται από την εταιρεία Esri. Αποτελεί ένα πλήρες πακέτο λογισμικού που χρησιμοποιείται για την δημιουργία, την διαχείριση, την ανάλυση και την προβολή γεωγραφικών δεδομένων. Το ArcGIS περιλαμβάνει μια σειρά από εφαρμογές και εργαλεία που επιτρέπουν στους χρήστες να διεξάγουν διάφορες εργασίες, όπως η δημιουργία χαρτών και εικόνων χρησιμοποιώντας διάφορα στρώματα δεδομένων, όπως αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες, ενώ επιτρέπει την διαχείριση γεωγραφικών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της αποθήκευσης, της οργάνωσης και της αναζήτησης των δεδομένων. Επιπλέον παρέχει δυνατότητες ανάλυσης χωρικών δεδομένων, όπως η εφαρμογή γεωστατιστικών μεθόδων, η μοντελοποίηση, η εκτίμηση επιφανειακών κλίσεων και η δημιουργία χωρικών προβλέψεων όπως στην μελέτη που πραγματοποιείται.

Το SNAP (Sentinel Application Platform) είναι ένα λογισμικό περιβάλλον που αναπτύχθηκε από την European Space Agency (ESA) για την επεξεργασία, την ανάλυση και την αποθήκευση δεδομένων από τις αποστολές των δορυφόρων Sentinel. Το SNAP προσφέρει ένα ευέλικτο και ισχυρό περιβάλλον εργασίας για την εκμετάλλευση των πολυδιάστατων εικόνων που παρέχουν οι δορυφορικές αποστολές Sentinel. Οι κύριες λειτουργίες του SNAP περιλαμβάνουν την επεξεργασία και βελτίωση εικόνων, διάφορες αναλυτικές διαδικασίες στις εικόνες, όπως η κατάτμηση, η ταξινόμηση, η ανάλυση πολυφασματικών δεδομένων και η ανάλυση χρονοσειρών εικόνων. όπου παρέχεται ευρεία δυνατότητα σύγκρισης των δορυφορικών εικόνων, διαχείριση και αποθήκευση δεδομένων σε διάφορες μορφές.

7.3. Πολυφασματικά και παγχρωματικά δορυφορικά δεδομένα

Καθορίζοντας την περιοχή μελέτης θα εφαρμόσουμε τεχνικές ώστε να αυξήσουμε την χωρική διακριτική ικανότητα και την αξιοποίηση της φασματικής ανάλυσης με στόχο την άνοδο της ραδιομετρικής ανάλυσης, βελτιστοποιώντας τα δεδομένα ως προς την επεξεργασία και συνάμα τις αποκρίσεις για πιο ασφαλή συμπεράσματα. Κάναμε λήψη τα δεδομένα από τον Sentinel 2 για τις φασματικές ιδιότητες των καναλιών μπλε , κόκκινο , πράσινο και στο εγγύς υπέρυθρο με χωρική ανάλυση 10 μ. και επίσης των υπολοίπων καναλιών του με μειωμένη χωρική ανάλυση 20μ-60μ όπου θα εφαρμόσουμε τεχνικές σύντηξης δεδομένων.

Οι πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες που αποκτήθηκαν από τον Sentinel-2A χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς αυτής της μελέτης. Οι εικόνες Sentinel-2A ήταν προϊόν δεδομένων ανάκλασης επιπέδου 1C στην κορυφή της ατμόσφαιρας (Top-of-the Atmosphere TOA). Για την περιοχή μελέτης τα δεδομένα αφορούσαν την περίοδο του Ιουλίου και αναλογικά ελέγχθηκαν τα αντίστοιχα δεδομένα για την ίδια περίοδο σε βάθος πενταετίας. Οι πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες επιλέχθηκαν κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου για να αποτρέψουν την υγρασία του εδάφους που προκαλείται από την βροχή, την νεφοκάλυψη και τις επιπτώσεις της πράσινης βλάστησης. Όλες οι εικόνες παρέχονται με ραδιομετρική και ατμοσφαιρική διόρθωση, δηλαδή δίνονται τιμές επιφανειακής αντανάκλασης. Οι μπλε, πράσινες, κόκκινες και NIR1 ζώνες της εικόνας Sentinel-2A (δηλαδή, τα κανάλια 2, 3, 4 και 8A, αντίστοιχα) επαναδειγματοληψήθηκαν στα 20 μέτρα χρησιμοποιώντας την εργαλειοθήκη επαναδειγματοληψίας και την τεχνική του πλησιέστερου γείτονα στο ENVI λογισμικό που εγγυάται ότι όλες οι φασματικές ζώνες Sentinel-2A είχαν ίση χωρική ανάλυση.

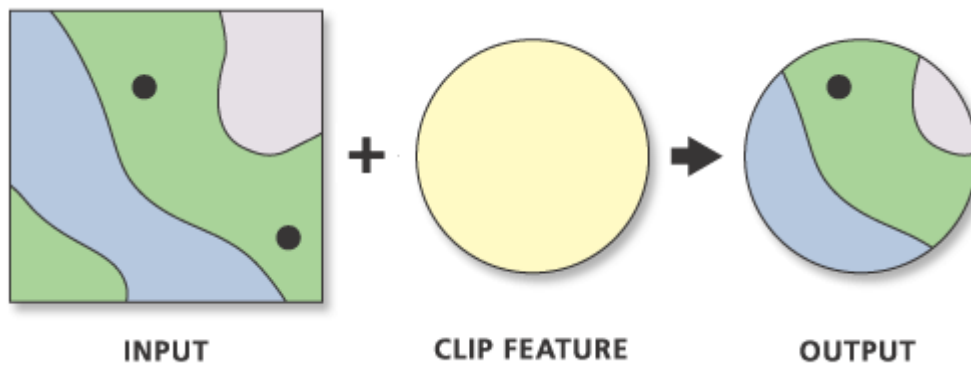
Sentinel-2 bands	Sentinel-2A		
	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Spatial resolution (m)
Band 1 – Coastal aerosol	442.7	21	60
Band 2 – Blue	492.4	66	10
Band 3 – Green	559.8	36	10
Band 4 – Red	664.6	31	10
Band 5 – Vegetation red edge	704.1	15	20
Band 6 – Vegetation red edge	740.5	15	20
Band 7 – Vegetation 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 Z7.3.1 :Φασματικού Ευρετηρίου Καναλιών για τον Δορυφόρο Sentinel 2A με Κεντρικό Μήκος Κύματος (nm), Εύρος Ζώνης (nm), και Χωρική Ανάλυση (m).

Τα φασματικά, χωρικά και χρονικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών αισθητήρων του Sentinel-2^A αποτελούνται από τρία βασικά κανάλια του ορατού (κόκκινο, πράσινο και μπλε – RGB) με χωρική ανάλυση 10 μέτρων όπως και ένα κανάλι στο εγγύς υπέρυθρο (IR). Ειδικότερα το Κανάλι δύο λειτουργεί στο μήκος κύματος των 492.4nm, το πράσινο στα 509.8nm, το κόκκινο στα 664.6 nm και το εγγύς υπέρυθρο στα 832.8 nm. Τα υπόλοιπα κανάλια κοντά στο κόκκινο, δηλαδή τα 5,6 (Vegetation red edge) έχουν χωρική ανάλυση είκοσι μέτρων και αναφέρονται στην περιοχή της ταχείας αλλαγής στην ανάκλαση της βλάστησης και κυμαίνονται από 704.1nm μέχρι 782.8nm. Τέλος τα κανάλια των SWIR (Short Wave Infra Red) αποδίδουν πληροφορίες για την εκτίμηση του ποσού του νερού στα φυτά και στο έδαφος καθώς το νερό απορροφάται στα συγκεκριμένα μήκη κύματος. Ειδικότερα το κανάλι SWIR1 λειτουργεί στα 1613.7 nm, και το SWIR2 στα 2202.4 nm.

7.4. Τεχνική απόδοση μεθοδολογίας εκτίμησης βιομάζας

Με τα πρωτογενή δεδομένα από τον Sentinel 2A στα συγκεκριμένα κανάλια, ακολούθησε η μεθοδολογία σύμπτυξης δεδομένων, με στόχο να βελτιστοποιήσουμε την χωρική ανάλυση χρησιμοποιώντας αμιγώς τα δεδομένα από τους δορυφόρους Sentinel. Τα παραγόμενα δεδομένα θα αριθμούν σε 12 κανάλια με την μέγιστη δυνατή χωρική ανάλυση 10 μέτρων. Οριοθετώντας την περιοχή μελέτης με διανυσματικά δεδομένα από τις αναρτήσεις των ελληνικών χωρικών δεδομένων, γίνεται χρήση δεδομένων περιφερειακής εμβέλειας μέσω του ENVI για ένα διανυσματικό πολύγωνο της περιοχής ενδιαφέροντος και για κάθε κανάλι κάθε έτους.



38

Εικόνα Z7.4.1 :Εργαλείο αποκοπής των διανυσματικών επιπέδων στο όριο της περιοχής μελέτης.

Για να διασφαλίσουμε την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και να επικεντρωθούμε μόνο στην περιοχή μελέτης, εφαρμόσαμε δύο διαδοχικές μάσκες στις δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήσαμε. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει:

- **Εφαρμογή Πρώτης Μάσκας: Απομόνωση της Περιοχής Μελέτης.** Αρχικά, εφαρμόσαμε μια μάσκα για την απομόνωση της περιοχής από τα υπόλοιπα δεδομένα της δορυφορικής εικόνας. Η μάσκα αυτή δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας τα γεωγραφικά όρια της περιοχής μελέτης, τα οποία εισάχθηκαν στο λογισμικό ENVI και της μεθόδου αποκοπής. Μέσω αυτής της διαδικασίας,

³⁸ Πηγή : <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/analysis-toolbox/clip.htm>

εξαλείψαμε όλα τα δεδομένα που βρίσκονται εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος, διατηρώντας την περιοχή της Καρδίτσας και τις σχετικές πληροφορίες εντός των καθορισμένων ορίων.

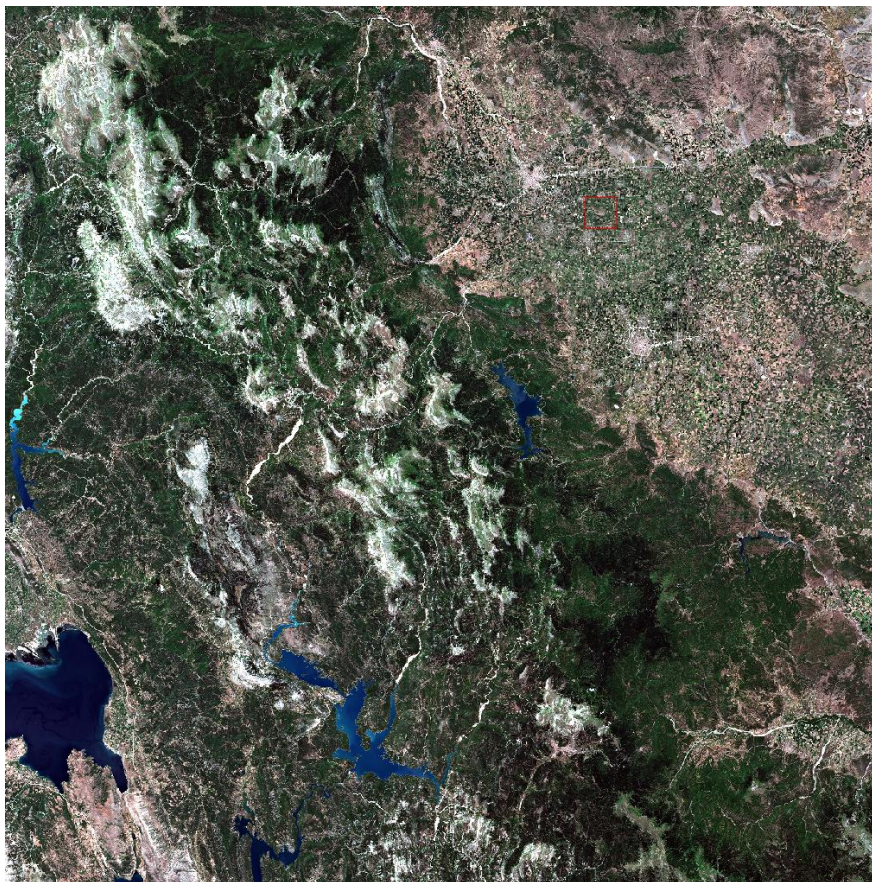
- **Εφαρμογή Δεύτερης Μάσκας: Αφαίρεση Υδάτινων Επιφανειών.** Η δεύτερη μάσκα εφαρμόστηκε για την αφαίρεση των υδάτινων επιφανειών από την περιοχή μελέτης. Οι υδάτινες επιφάνειες, όπως λίμνες, ποτάμια και αρδευτικά κανάλια, δεν συνεισφέρουν στις αγρονομικές αναλύσεις και πρέπει να αφαιρεθούν για να μην επηρεάζουν τα αποτελέσματα. Χρησιμοποιώντας δείκτες βλάστησης, όπως ο Δείκτης Κανονικοποιημένης βλάστησης (NDVI), εντοπίσαμε τις περιοχές που καλύπτονται από νερό και δημιουργήσαμε μια μάσκα για την αφαίρεσή τους. Με αυτόν τον τρόπο, αφαιρέθηκαν όλες οι υδάτινες επιφάνειες από την ανάλυση, εξασφαλίζοντας ότι μόνο οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις συμπεριλαμβάνονται στα τελικά δεδομένα.

Διαδικασία Εφαρμογής Μάσκας

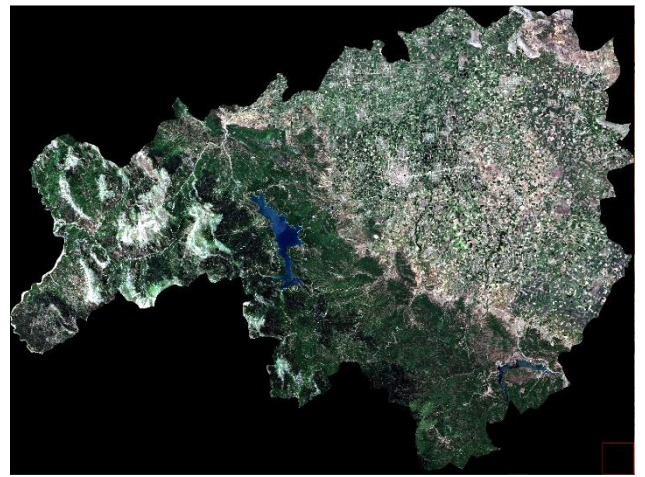
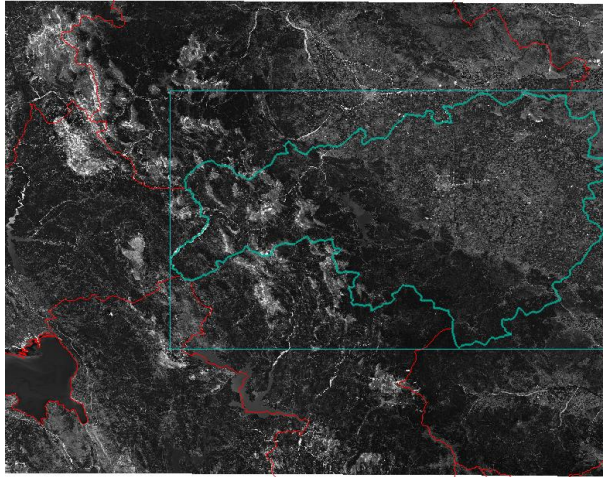
Η εφαρμογή των δύο μασκών πραγματοποιήθηκε ως εξής:

Πρώτη Μάσκα:

- **Εισαγωγή Γεωγραφικών Ορίων:** Χρησιμοποιήθηκαν τα γεωγραφικά όρια της μελετώμενης περιοχής για να δημιουργήσουμε την πρώτη μάσκα.
- **Απομόνωση Περιοχής Μελέτης:** Εφαρμόσαμε την μάσκα στα δορυφορικά δεδομένα, απομονώνοντας την περιοχή μελέτης και εξαλείφοντας όλα τα δεδομένα εκτός αυτής.



Εικόνα Z7.4.2: Απεικόνιση Πραγματικά έγχρωμης RGB εικόνας του δορυφόρου



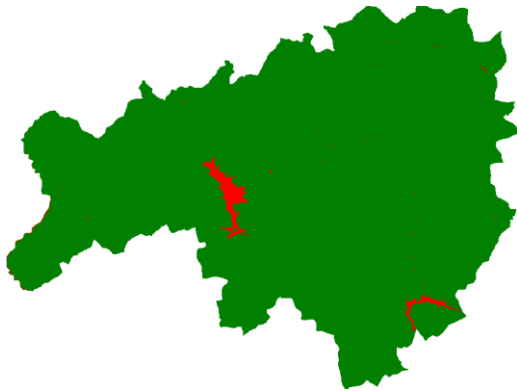
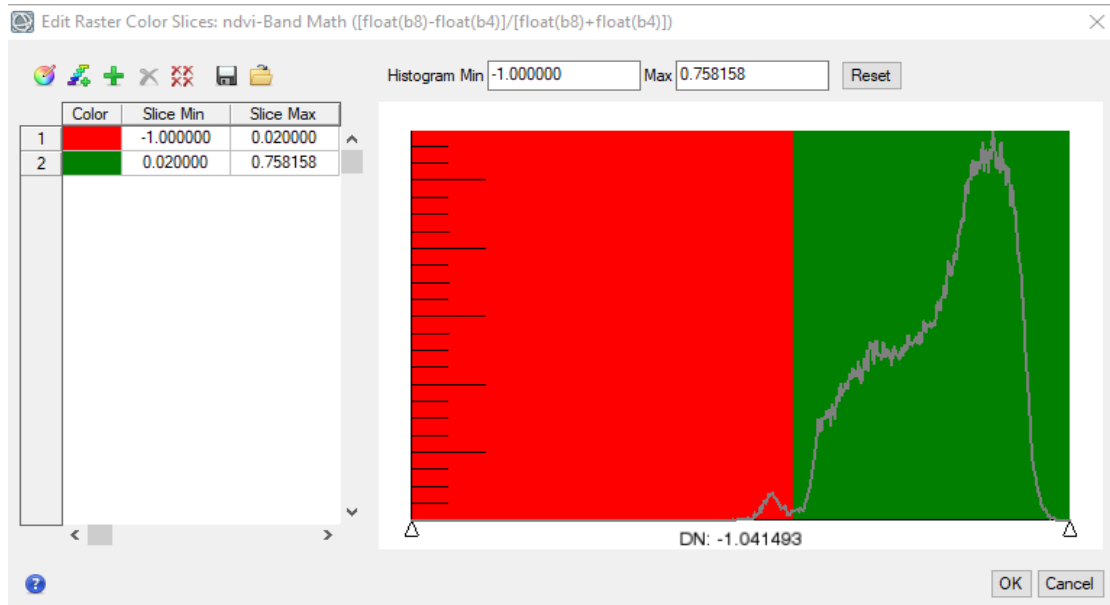
Εικόνα 27.4.3: Απεικόνιση Πραγματικά έγχρωμης RGB εικόνας του δορυφόρου μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής περιοχής μελέτης .

2. Δεύτερη Μάσκα:

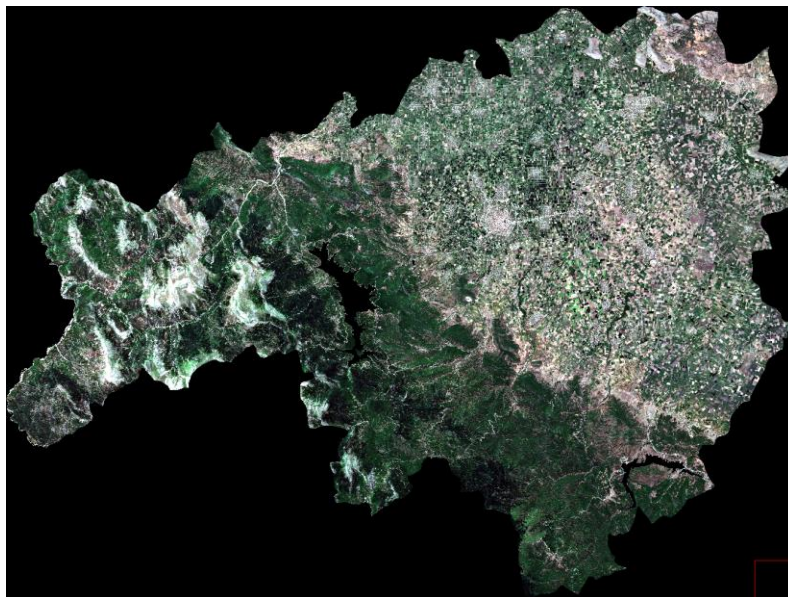
- **Αναγνώριση Υδάτινων Επιφανειών:** Χρησιμοποιήσαμε δείκτες βλάστησης, όπως ο NDVI, για να εντοπίσουμε τις υδάτινες επιφάνειες εντός της περιοχής μελέτης.
- **Δημιουργία Μάσκας Υδάτινων Επιφανειών:** Δημιουργήσαμε μια μάσκα βασισμένη στις τιμές του δείκτη NDVI για την αφαίρεση των υδάτινων επιφανειών.
- **Εφαρμογή της Μάσκας:** Εφαρμόσαμε τη μάσκα στα δεδομένα της απομονωμένης περιοχής μελέτης, αφαιρώντας τις υδάτινες επιφάνειες από την τελική ανάλυση.

Εφαρμόζοντας τον δείκτη NDVI της κανονικοποιημένης βλάστησης λαμβάνουμε τα δεδομένα για την περιοχή αναδεικνύοντας περιοχές με βλάστηση και μη. Κατηγοριοποιώντας κλιμακωτά τα δεδομένα εξήχθησαν οι περιοχές οι οποίες έχουν τιμές κοντά στο 0 που υποδηλώνει την παρουσία υδάτινων επιφανειών και δεδομένα τα οποία λόγω της κοπής της εικόνας δεν έχουν λάβει τιμή (N/A). Η μάσκα θα εφαρμοστεί σε όλες τις μπάντες και σε όλους τους χρόνους εξέτασης ώστε να υπάρχει ομοιογένεια των δεδομένων. Η μάσκα δημιουργήθηκε με την τεχνική της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI) ως πολύγωνα και με απόδοση μηδενικής τιμής .

Εκτίμηση Πυκνότητας της Διαθέσιμης Βιομάζας Αξιοποιώντας την Τηλεπισκόπηση με Χρήση Μηχανικής Μάθησης



Εικόνα Z7.4.4: Απεικόνιση Εφαρμογής δεύτερης μάσκας απομόνωσης της περιοχής μελέτης από υδάτινες επιφάνειες



Εικόνα Z7.4.5: Απεικόνιση Πραγματικά έγχρωμης RGB εικόνας του δορυφόρου μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης της περιοχής μελέτης

Μέσω της παραπάνω διαδικασίας, εξασφαλίζεται ότι τα δεδομένα αφορούν μόνο τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις της περιοχής μελέτης, χωρίς την παρεμβολή μη σχετικών επιφανειών. Αυτή η μεθοδολογία επιτρέπει την ακριβέστερη ανάλυση των αγρονομικών δεδομένων και την βελτίωση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Τα δύο σκέλη επεξεργασίας αφορούν τους 9 δείκτες βλάστησης (βλέπε §7.6) και την εφαρμογή επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Οι δείκτες βλάστησης είναι μαθηματικές εξισώσεις που υπολογίζονται ανά εικονοστοιχείο επάνω στις διάφορες φασματικές ζώνες μιας εικόνας. Αυτός ο υπολογισμός βασίζεται στο φάσμα του φωτός που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια του εδάφους. Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν την πυκνότητα και την εξέλιξη της βλάστησης, καθώς και για να επιτρέψουν συγκρίσεις μεταξύ των διαφόρων περιοχών ή χρονικών στιγμών. Αυτό βοηθάει στην αξιολόγηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και των δομικών χαρακτηριστικών του εδάφους. Επιπλέον, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση εφαρμόζεται για την ταξινόμηση των περιοχών της εικόνας βάσει των δεικτών βλάστησης. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για να εκπαιδεύσει ένα μοντέλο που αναγνωρίζει αυτόματα τις διαφορετικές κατηγορίες βλάστησης στην εικόνα. Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι σημαντική για την ανάλυση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων εικόνας και για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες ή την γεωργική παραγωγή. Με αυτόν τον τρόπο, οι δείκτες βλάστησης και η επιβλεπόμενη ταξινόμηση συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση των μεταβολών στην βλάστηση και των περιβαλλοντικών παραμέτρων, βοηθώντας στην λήψη αποφάσεων για περιβαλλοντική διαχείριση και γεωργική παραγωγή. Η χρήση της μηχανικής μάθησης, συγκεκριμένα η μηχανή διανύσματος υποστήριξης (SVM), αφορά προβλήματα ταξινόμησης δύο και περισσότερων ομάδων, όπου αντιστοιχίζονται μή γραμμικά χαρακτηριστικά σε έναν χώρο χαρακτηριστικών πολύ υψηλής διάστασης. Σε αυτόν τον χώρο χαρακτηριστικών κατασκευάζεται μια γραμμική επιφάνεια απόφασης. Οι ειδικές ιδιότητες της επιφάνειας απόφασης εξασφαλίζουν υψηλή ικανότητα γενίκευσης της μηχανής εκμάθησης των δικτύων υποστήριξης-διανύσματος που χρησιμοποιούν μετασχηματισμούς πολυωνυμικών εισόδων.

Η εφαρμογή των δεικτών εξήγαγε εννιά (9) δείκτες ανά χρονιά, δηλαδή 45 χάρτες βλάστησης, ενώ η επεξεργασία της μηχανικής μάθησης εξήγαγε μια χρονοσειρά πέντε (5) κατηγοροποιημένων χαρτών των επιλέξιμων από τον χρήστη περιοχών ενδιαφέροντος. Η μελέτη επικεντρώθηκε σε δύο βασικά θέματα, την οριοθέτηση της δασικής έκτασης από τις καλλιέργειες και την βέλτιστη εφαρμογή των καλλιεργειών σύμφωνα με την επιλέξιμη αξιοποίηση τους και τον τελικό υπολογισμό της πυκνότητας – ποσοστού καλλιεργήσιμης περιοχής και συνάμα τον υπολογισμό (αφαιρώντας τα ποσοστά υγρασίας) της διαθέσιμης βιομάζας. Η προσέγγιση των προφίλ για τις φασματικές υπογραφές της περιοχής πραγματοποιήθηκε με την εξέταση των φασματικών προφίλ των καλλιεργειών σε διαφορετικές τοποθεσίες στην εικόνα. Μέσω της σύγκρισης αυτών των προφίλ με τις βιβλιογραφικές αναφορές, αναδείχθηκαν οι διαφορές μεταξύ των καλλιεργειών και λήφθηκαν αποφάσεις σχετικά με το είδος κάθε καλλιέργειας. Έτσι κατηγοριοποιήθηκε η (κάθε) συνολική εικόνα, προσδίδοντας οργάνωση και συστηματοποίηση στην ανάλυση. Ο υπολογισμός των ποσοτήτων των εκτάσεων από το καλαμπόκι, σιτάρι, κριθάρι και βαμβάκι σε χρονολογική σειρά αναμένεται να επιτρέψουν ασφαλέστερες προβλέψεις/εκτιμήσεις για την περιοχή μελέτης ως προς την διαθέσιμη βιομάζα.

7.5. Σύντηξη δορυφορικών δεδομένων Sentinel 2A

Με βάση τα δεδομένα που παρέχονται από τον δορυφόρο Sentinel-2A και χρησιμοποιώντας τις φασματικές ιδιότητες του, εφαρμόστηκε η τεχνική της σύντηξης δεδομένων με την μέθοδο Gram-Schmidt, επιτρέποντας την δημιουργία μιας εικόνας με υψηλότερη διακριτική ικανότητα, παρέχοντας φασματική πληροφορία από την αρχική ανάλυση 20 και 60m σε τελική 10m. Οι κύριοι στόχοι της σύντηξης δεδομένων είναι η βελτίωση της ανάλυσης και της ερμηνείας των εικόνων, και η αύξηση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των δεδομένων. Στην περίπτωση δορυφορικών καναλιών, η σύντηξη δεδομένων μπορεί να πραγματοποιηθεί σε φασματικό επίπεδο, χρησιμοποιώντας πληροφορίες από διαφορετικά φασματικά κανάλια, όπως το ορατό, το υπέρυθρο και το υπεριώδες.

Όλες οι εικόνες συγχωνεύτηκαν στην μοναδική κοινή περιοχή για να σχηματίσουν μια ενιαία εικόνα με χωρική ανάλυση 10m, η οποία ένωσε τις τέσσερις εικόνες φασματικών δεικτών. Αυτή η σύντηξη δεδομένων ενσωμάτωσε τις εικόνες με τα φασματικά χαρακτηριστικά που προέρχονται από διάφορα σύνολα δεδομένων πολυφασματικής Τηλεπισκόπησης σε διαφορετικές χωρικές, φασματικές και χρονικές αναλύσεις για την συλλογή πιο άφθονων πληροφοριών. Η επεξεργασία του φασματικού δείκτη και η σύντηξη δεδομένων υλοποιήθηκαν μέσω του λογισμικού ENVI.

Στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκαν 9 τυπικοί φασματικοί δείκτες και επιλέχθηκε χωριστά ο συνδυασμός μήκους κύματος με την υψηλότερη απόδοση, ώστε να εξαχθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η συσχέτιση από τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index – LAI) και την υπέργεια βιομάζα που σχετίζεται με τον φασματικό δείκτη. Στο εύρος μήκους κύματος πλήρους φάσματος 442.7–2202.4 nm υπολογίστηκαν οι φασματικοί δείκτες όλων των συνδυασμών μήκους κύματος από τα αρχικά φασματικά δεδομένα και τα δεδομένα που προέκυψαν από διαφοροποίηση πρώτης τάξης των αρχικών φασματικών δεδομένων, αντίστοιχα (55 συνολικά).

7.6. Τύποι και εφαρμογή δεδομένων με δείκτες βλάστησης υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας.

Τα φασματικά κανάλια μετά την σύντηξη των δεδομένων παρουσιάζουν χωρική ανάλυση 10m. Αξιοποιώντας τα με κατάλληλους μαθηματικούς τύπους (band maths) και με βάση τις φασματικές ιδιότητες των καναλιών του Sentinel 2A για τις μετρήσεις των δεικτών της περιοχής μελέτης, υπολογίστηκαν η διαθεσιμότητα της βλάστησης καθώς και τα δεδομένα των διακυμάνσεων της βλάστησης στην περιοχή μελέτης, όπως ο κανονικοποιημένης 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 των δεικτών προς τις

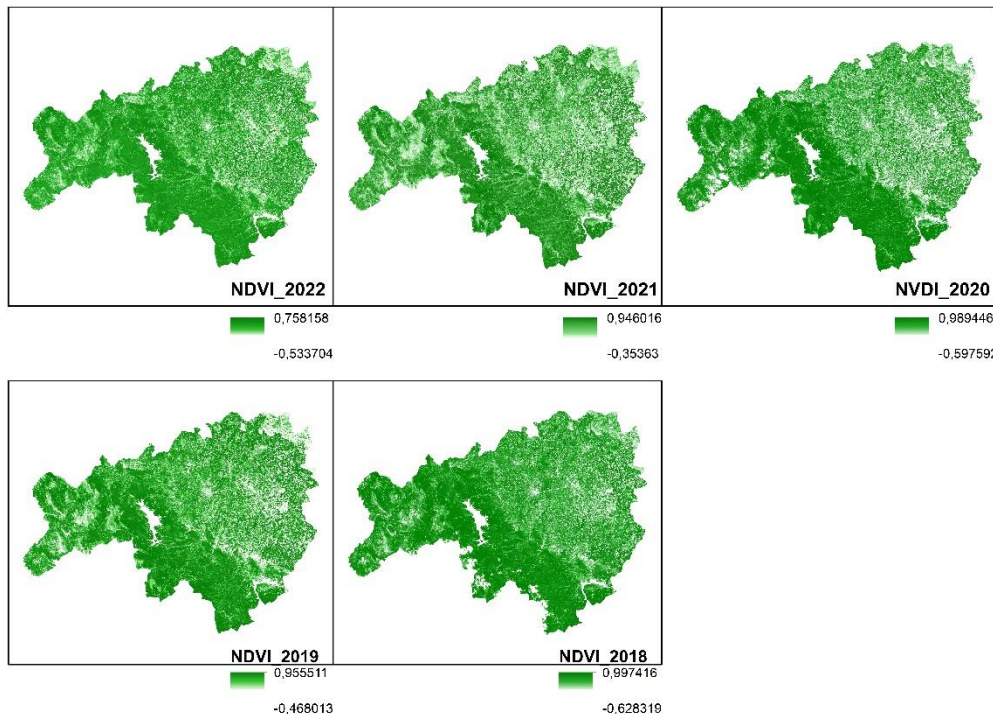
ιδιότητες τους και αποκρίσεις καθόρισαν την συμμετοχή τους στην εφαρμογή των μετρήσεων της βιομάζας στην περιοχή μελέτης.

7.6.1. Κανονικοποιημένος δείκτης διαφοράς βλάστησης (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index)

Το Κανονικοποιημένος δείκτης διαφοράς βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται ευρέως για την αξιολόγηση της φυτικής κάλυψης και της υγείας των φυτών σε μια περιοχή με βάση τα δεδομένα από δορυφορικές εικόνες. Ο NDVI υπολογίζεται από τις ανακλάσεις του φωτός σε δύο διαφορετικά μήκη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το κόκκινο (Red) και το κοντινό υπέρυθρο (NIR) και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$(Εξίσωση 7.6.1.1) \quad NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Ο NDVI δημιουργήθηκε για να καλύψει την πράσινη βλάστηση σε κάθε εικόνα ανά έτος με χαρακτηριστικά εικονοστοιχεία κάλυψης βλάστησης. Για τα εικονοστοιχεία συνήθως με τιμή μικρότερη από 0,28 στα 1600 nm, που αντιστοιχεί στο κανάλι 11 του Sentinel-2A θεωρούνται ότι δεν έχουν βλάστηση.



Εικόνα Z7.6.1.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη NDVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης της περιοχής μελέτης

Το NDVI χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης της υγείας των φυτών, της αξιολόγησης της παραγωγικότητας των φυτών, της εκτίμησης της κατάστασης του εδάφους και της παρακολούθησης των αλλαγών στην φυτική κάλυψη των φυσικών φαινομένων ή ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.

Ο δείκτης είναι ένα μέτρο της υγιούς, πράσινης βλάστησης. Ο συνδυασμός της σύνθεσης της κανονικοποιημένης διαφοράς και η χρήση των περιοχών υψηλότερης απορρόφησης και ανάκλασης της χλωροφύλλης το καθιστούν ανθεκτικό σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών. Μπορεί, ωστόσο, να κορεσθεί σε συνθήκες πυκνής βλάστησης όταν το LAI γίνει υψηλό.

Ο NDVI λαμβάνει τιμές από -1 έως +1, με υψηλότερες τιμές να υποδηλώνουν μεγαλύτερη φυτική κάλυψη και καλύτερη φυσιολογική κατάσταση των φυτών. Συγκεκριμένα, τα φυτά με υγιή φυτοκάλυψη και μεγάλη ποσότητα χλωροφύλλης θα έχουν θετικές τιμές NDVI, ενώ εδάφη, νερά και άλλες μη φυτικές επιφάνειες θα έχουν τιμές NDVI κοντά στο μηδέν (0) ή αρνητικές τιμές.

7.6.2. Δείκτης του λόγου βλάστησης (RVI – Ratio Vegetation Index)

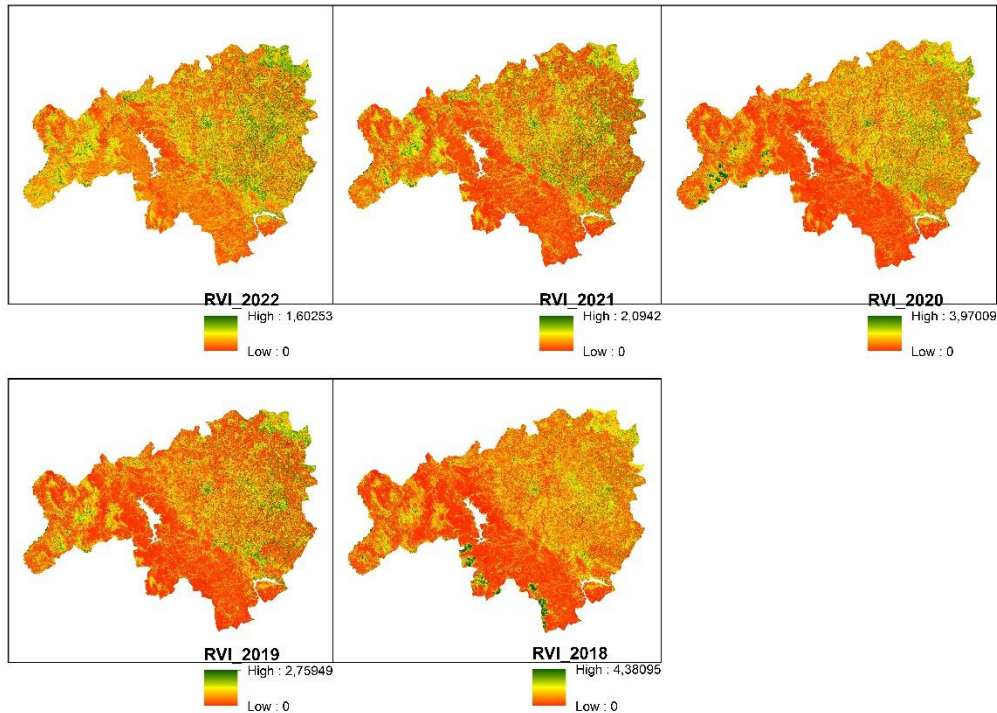
Ο Δείκτης του λόγου Βλάστησης (Ratio Vegetation Index - RVI) της αναλογίας μεταξύ NDVI και του κόκκινου χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό άλλων δεικτών βλάστησης από την εξίσωση:

(Εξίσωση Z7.6.2.1)
$$RVI = \frac{NIR}{RED}$$

Όπου:

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

Ο (RVI) είναι ο δείκτης που χρησιμοποιείται στην ανάλυση εικόνων για την αξιολόγηση της φυτικής κάλυψης και της υγείας των φυτών. Η βασική ιδέα του RVI είναι ότι η υγεία των φυτών επηρεάζει την ανάκλαση του φωτός σε διαφορετικά φάσματα. Συνήθως, τα υγιή φυτά απορροφούν περισσότερο φως στο κόκκινο φάσμα και αντανακλούν περισσότερο φως στο κοντινό υπέρυθρο, ενώ τα ασθενή ή τα επηρεασμένα φυτά μπορεί να εμφανίζουν διαφορές στις αποχρώσεις. Ο RVI χρησιμοποιείται ευρέως σε μελέτες που σχετίζονται με την παρακολούθηση της φυτικής κάλυψης, όπως η επιτήρηση αγροτικών εκτάσεων, η εκτίμηση της παραγωγικότητας των φυτών και η παρακολούθηση της υγείας των δασών. Οι τιμές του RVI μπορούν να εξάγουν πληροφορίες σχετικά με την υγεία και την κατάσταση της φυτικής βλάστησης στη περιοχή.



Εικόνα 27.6.2.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη RVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης της περιοχής μελέτης

7.6.3. Δείκτης κανονικοποιημένης διαφορά βλάστησης (GNDVI – Green Normalized Difference Vegetation Index)

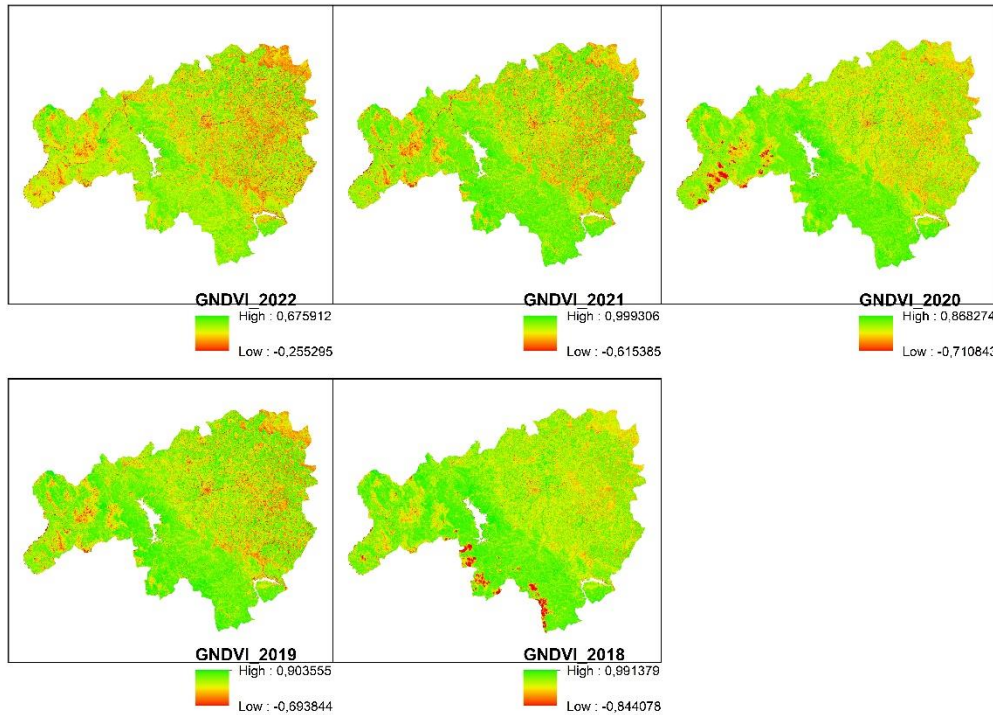
Ο δείκτης κανονικοποιημένης διαφορά βλάστησης στο πράσινο είναι 5 φορές πιο ευαίσθητος στις συγκεντρώσεις της Chlorophyll-a. Χρησιμοποιείται για την μέτρηση της χλωροφύλλης και τον εντοπισμό του στρες και υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$(Εξίσωση 27.6.3.1) \quad GNDVI = \frac{(NIR - Green)}{(NIR + Green)}$$

Όπου:

- NIR το κοντινό υπέρυθρο φάσμα
- Green το πράσινο φάσμα

Αυτός ο δείκτης είναι ίδιος με τον NDVI εκτός από το ότι μετρά το πράσινο φάσμα από 540 έως 570 nm αντί για το κόκκινο φάσμα. Αυτός ο δείκτης είναι πιο ευαίσθητος στην συγκέντρωση χλωροφύλλης από τον NDVI. Ο δείκτης GNDVI παρέχει παρόμοιες πληροφορίες με το NDVI, αλλά μπορεί να είναι πιο ευαίσθητος σε ορισμένες περιπτώσεις, ειδικά σε περιοχές με χαμηλή φυτική πυκνότητα ή σε φυτά με λιγότερο χλωροφύλλη, και στο πράσινο φάσμα αντικατοπτρίζει την απορρόφηση του φωτός από τη χλωροφύλλη.



Εικόνα Z7.6.3.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη GNDVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης της περιοχής μελέτης

Ο GNDVI χρησιμοποιείται σε εφαρμογές συμπεριλαμβανομένης της παρακολούθησης της φυτικής κάλυψης σε γεωργικές περιοχές, της εκτίμησης της υγείας των δασών, της αξιολόγησης του περιβάλλοντος και τις υδάτινων οικοσυστημάτων, καθώς και σε εφαρμογές σχετικές με την επιτήρηση του εδάφους και την παρακολούθηση της αλλαγής της χρήσης γης (Gitelson, A., and M. Merzlyak, 1998).

7.6.4. Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης (SAVI - Soil – Adjusted Vegetation Index)

Ο εδαφικά προσαρμοσμένος δείκτης βλάστησης είναι ένας τροποποιημένος NDVI ο οποίος διορθώνει την επίδραση της φωτεινότητας του εδάφους σε περιοχές με χαμηλότερη κάλυψη βλάστησης. Ο δείκτης εφαρμόζεται σε περιοχές με αραιή βλάστηση με το έδαφος να είναι ορατό και υπολογίζεται από την εξίσωση :

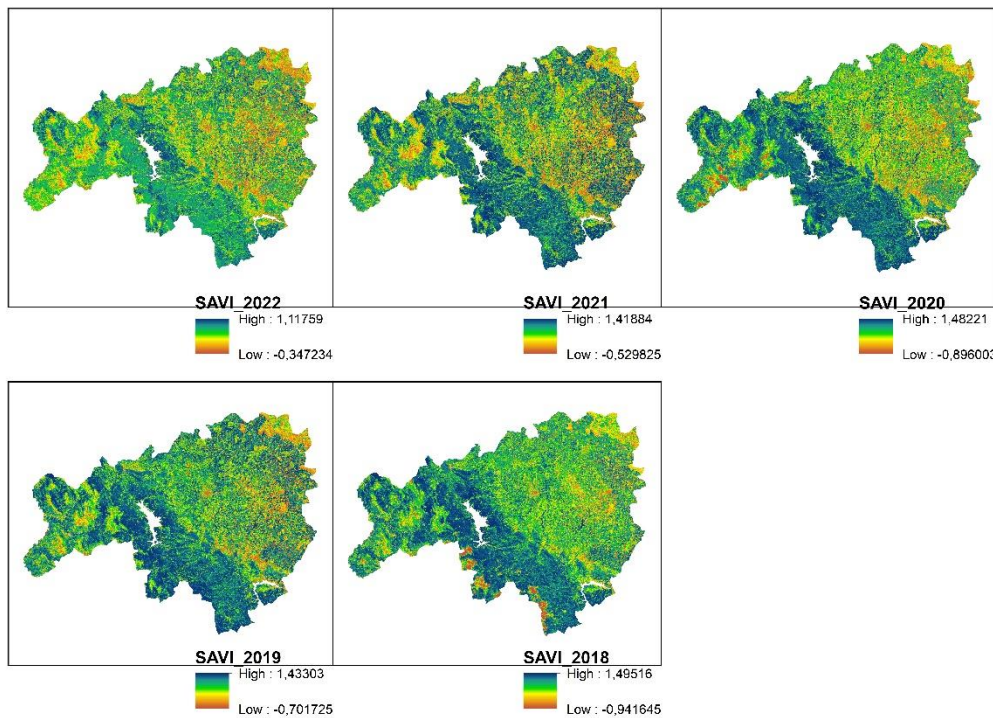
(Εξίσωση Z7.6.4.1)

$$SAVI = \frac{1.5 * (NIR - Red)}{(NIR + Red + 0.5)}$$

Όπου:

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

Αυτός ο δείκτης είναι παρόμοιος με τον NDVI, αλλά καταστέλλει αντιδράσεις των εικονοστοιχείων του εδάφους. Χρησιμοποιεί έναν παράγοντα προσαρμογής φόντου θόλου L, ο οποίος είναι συνάρτηση της πυκνότητας της βλάστησης και συχνά απαιτεί προηγούμενη γνώση των ποσοτήτων βλάστησης. Ο δείκτης προτείνει μια βέλτιστη τιμή $L=0,5$ για να ληφθούν υπόψη οι διακυμάνσεις του υποβάθρου του εδάφους πρώτης τάξης. Αυτός ο δείκτης χρησιμοποιείται καλύτερα σε περιοχές με σχετικά αραιή βλάστηση όπου το έδαφος είναι ορατό μέσω του θόλου.



Εικόνα Z7.6.4.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη SAVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης της περιοχής μελέτης

Ο SAVI παρέχει μια βελτιωμένη εκτίμηση της φυτικής κάλυψης σε σχέση με άλλους δείκτες, καθώς λαμβάνει υπόψη τις διαφορές στην φωτεινότητα του εδάφους που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα στο κόκκινο και το κοντινό υπέρυθρο φάσμα. Επομένως, μπορεί να παρέχει μια πιο ακριβή αξιολόγηση της υγείας των φυτών και της φυτικής κάλυψης, ιδίως σε περιοχές με μεγάλη ποικιλία στην φωτεινότητα του εδάφους ή σε περιοχές με υψηλή επίπτωση λάμψης.

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

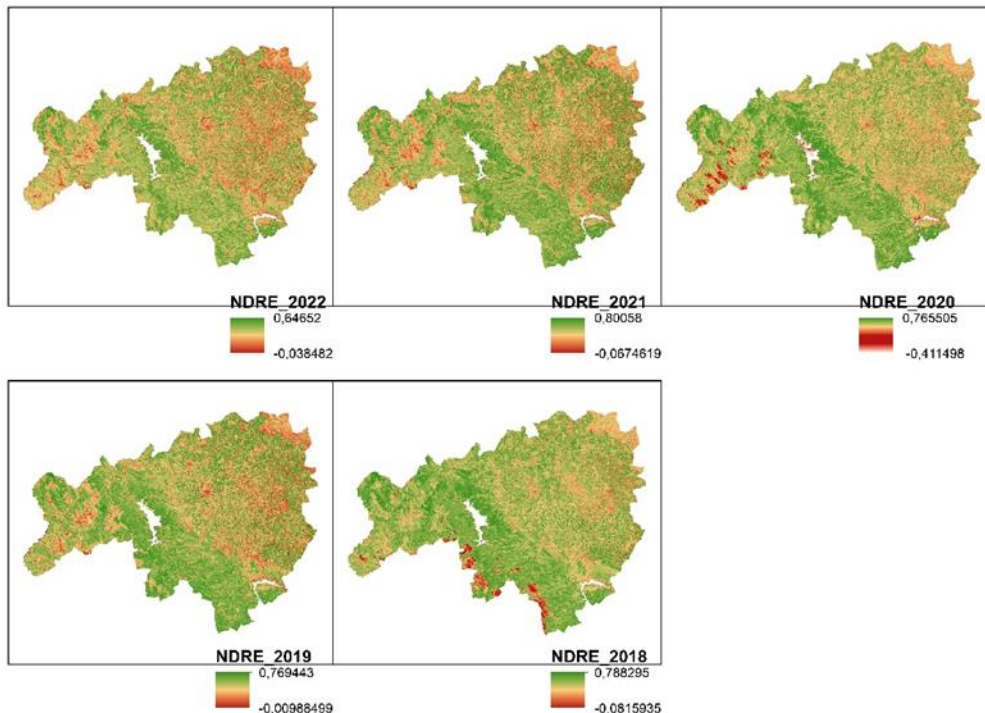
Το Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Κόκκινης Ακμής (Normalized Difference Red Edge - NDRE) είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της φυτικής υγείας και της φυτικής κάλυψης, ειδικά σε γεωργικές εφαρμογές. Αυτός ο δείκτης βασίζεται στις ανακλάσεις του φωτός σε κοντινά φάσματα του κόκκινου φάσματος, γνωστά ως "red edge" φάσματα και υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$(Εξίσωση 7.6.5.1) \quad NDRE = \frac{NIR - Red\ Edge}{NIR + Red\ Edge}$$

Όπου:

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

Ο NDRE χρησιμοποιεί τις ανακλάσεις σε φάσματα κοντά στο κόκκινο φάσμα και στην κοκκινοφύλλη, η οποία είναι πιο ευαίσθητη στις μικρές μεταβολές της φυτικής υγείας από τα συμβατικά κόκκινα και υπέρυθρα φάσματα.



Εικόνα 7.6.5.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη NDRE μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης της περιοχής μελέτης

Ο NDRE παρέχει μια ευαίσθητη μέτρηση της φυτικής υγείας και της παραγωγικότητας, και συχνά χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που αφορούν στην παρακολούθηση των

καλλιεργούμενων φυτών, την αξιολόγηση της εκτίμησης αποδόσεων και την παρακολούθηση της φυτικής κάλυψης σε γεωργικές περιοχές. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση ασθενειών ή άλλων προβλημάτων των φυτών που επηρεάζουν την ανακλαστικότητα στα φάσματα red edge.

7.6.6. Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης (EVI – Enhanced Vegetation Index)

Ο Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης (Enhanced Vegetation Index - EVI) είναι ένας δείκτης φυτικής κάλυψης που προέρχεται από μια βελτιωμένη μορφή του NDVI, με στόχο την αντιμετώπιση ορισμένων περιορισμών που συναντώνται στον NDVI, όπως η ευαισθησία του σε ανάκλαση από το έδαφος από διάφορους παράγοντες (ατμοσφαιρικούς και φωτομετρικούς) και υπολογίζεται από την εξίσωση :

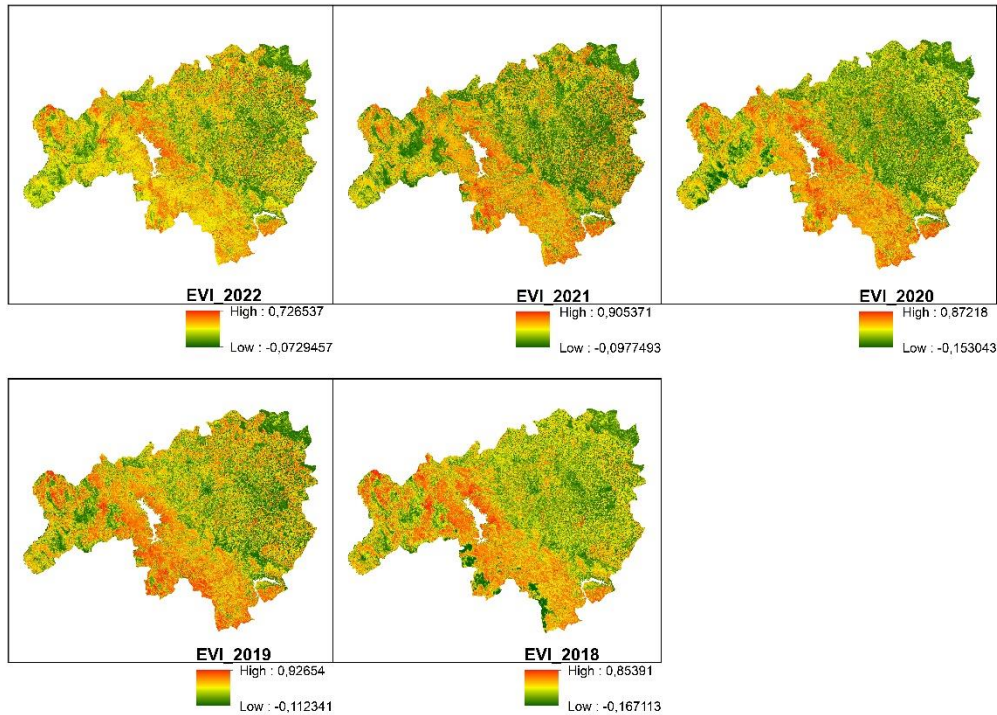
$$(Εξίσωση 27.6.6.1) \quad EVI = 2.5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1)}$$

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 λάμπης, συνήθως 1, που αντισταθμίζει τις διαφορές φωτεινότητας

Σε περιοχές με πυκνό θόλο όπου ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) είναι υψηλός, οι τιμές NDVI μπορούν να βελτιωθούν αξιοποιώντας πληροφορίες στο μπλε μήκος κύματος. Οι πληροφορίες σε αυτό το τμήμα του φάσματος μπορούν να βοηθήσουν στην διόρθωση των σημάτων υποβάθρου του εδάφους και των ατμοσφαιρικών επιρροών.

Το εύρος τιμών του EVI κυμαίνεται από -1 έως +1. Οι τιμές κοντά στο +1 υποδεικνύουν υγιή και πυκνή φυτική κάλυψη, ενώ οι τιμές προς το -1 υποδεικνύουν ελλιπή ή ανύπαρκτη φυτική κάλυψη όπου η υγιής βλάστηση γενικά κυμαίνεται μεταξύ των τιμών από 0,20 έως 0,80.



Εικόνα 27.6.7.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη EVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης της περιοχής μελέτης

Αυτός ο δείκτης αναπτύχθηκε αρχικά για χρήση με δεδομένα MODIS ως βελτίωση σε σχέση με το NDVI βελτιστοποιώντας το σήμα βλάστησης σε περιοχές με υψηλό δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI). Ο EVI αποτελεί τον πιο χρήσιμο δείκτη σε περιοχές με υψηλό LAI όπου το NDVI μπορεί να κορεσθεί. Χρησιμοποιεί την μπλε περιοχή ανάκλασης για να διορθώσει τα σήματα φόντου του εδάφους και να μειώσει τις ατμοσφαιρικές επιρροές, συμπεριλαμβανομένης της σκέδασης .

7.6.7. Δείκτης δυναμικού εύρους βλάστησης (WDRVI – Wide Dynamic Range Vegetation Index)

Ο Wide Dynamic Range Vegetation Index (WDRVI) είναι ένας δείκτης φυτικής κάλυψης που παρόμοια με το (EVI), προσπαθεί να βελτιώσει τον (NDVI) για να αντιμετωπίσει ορισμένους περιορισμούς που παρουσιάζονται στον NDVI και υπολογίζεται από την εξίσωση :

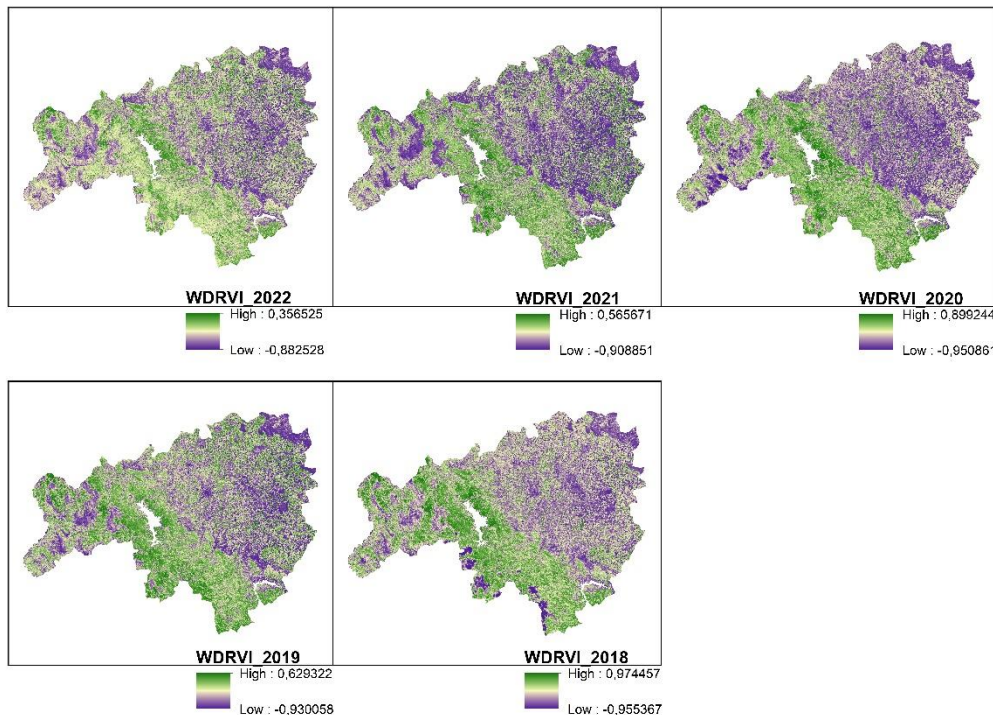
(Εξίσωση 27.6.7.1)

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

Όπου:

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

Ο συντελεστής στάθμισης (α) μπορεί να κυμαίνεται από 0,1 έως 0,2. Το λογισμικό ENVI χρησιμοποιεί μια τιμή 0,2, όπως προτείνεται από τους Henebry, Viña και Gitelson (2004).



Εικόνα Z7.6.7.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη WDRVI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης της περιοχής μελέτης

Ο δείκτης WDRVI είναι παρόμοιος με τον NDVI, αλλά χρησιμοποιεί έναν συντελεστή στάθμισης (α) για να μειώσει τη διαφορά μεταξύ των συνεισφορών των εγγύς υπέρυθρων και κόκκινων σημάτων στο NDVI. Οι τιμές του WDRVI κυμαίνονται συνήθως μεταξύ -1 και +1 και είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό σε εικόνες που έχουν μέτρια έως υψηλή πυκνότητα βλάστησης όταν το NDVI υπερβαίνει το 0,6.

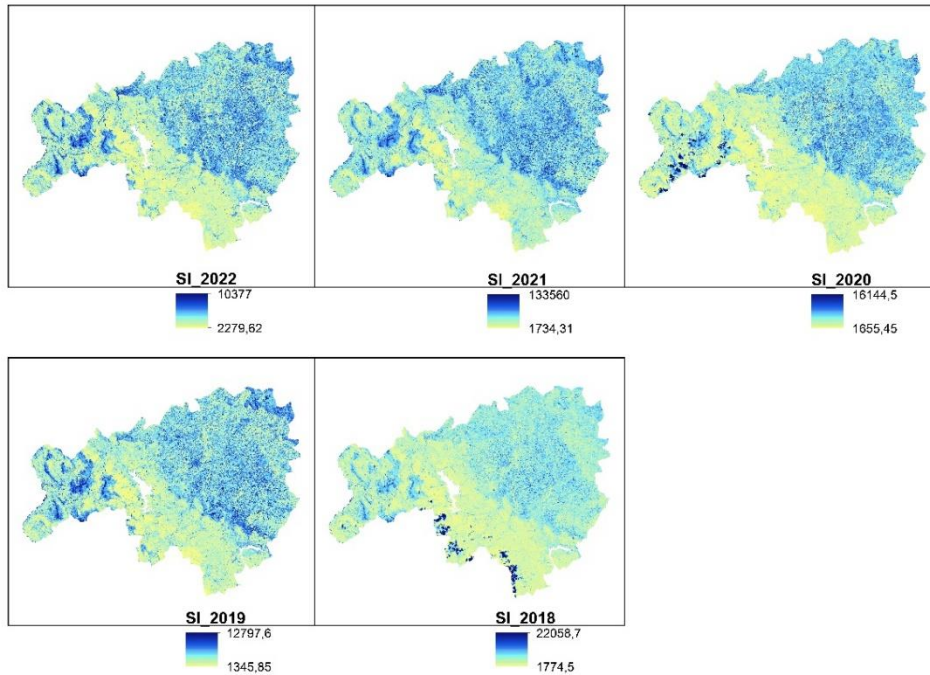
Το NDVI τείνει να ισοπεδώνεται όταν αυξάνεται το κλάσμα βλάστησης και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), ενώ το WDRVI είναι πιο ευαίσθητο σε ένα ευρύτερο φάσμα κλασμάτων βλάστησης και σε αλλαγές στο LAI.

7.6.8. Δείκτης Αλατότητας (SI –Salinity index)

Ο δείκτης αλατότητας (Salinity Index - SI) σε γεωργικές εκτάσεις χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του επιπέδου αλατότητας του εδάφους, έναν σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει την γεωργική παραγωγή. Παρέχει κρίσιμες πληροφορίες για την αλατότητα των εδαφών και των υδάτων, βοηθώντας στην λήψη ενημερωμένων αποφάσεων για την διαχείριση των φυσικών πόρων. Ο δείκτης SI υπολογίζεται με βάση τις ανακλάσεις σε διάφορα φάσματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και υπολογίζεται από την εξίσωση :

(Εξίσωση Z7.6.8.1)
$$SI = \frac{(R * G)}{B}$$

Ο SI υπολογίζεται συνήθως με βάση τις ανακλάσεις του εδάφους σε διάφορα φάσματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, κυρίως στο υπέρυθρο και το κοντινό υπέρυθρο φάσμα.



Εικόνα 27.6.8.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη SI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης της περιοχής μελέτης

Η χρήση του δείκτη αλατότητας σε γεωργικές εκτάσεις μπορεί να βοηθήσει στην προσαρμογή των καλλιεργητικών πρακτικών και της επιλογής φυτών σε περιοχές με υψηλά επίπεδα αλατότητας, καθώς και στην αξιολόγηση των αναγκών σε άρδευση και αποστράγγιση. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην παρακολούθηση των αλλαγών στην αλατότητα των εδαφών και των υδάτων, ιδιαίτερα σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε αλατότητα λόγω φυσικών ή ανθρωπογενών παραγόντων.

Οι υψηλές τιμές του SI υποδηλώνουν υψηλή αλατότητα στην περιοχή. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι το έδαφος ή το νερό έχει υψηλή συγκέντρωση αλάτων. Στην γεωργία, μπορεί να σημαίνει ότι το έδαφος δεν είναι κατάλληλο για πολλές καλλιέργειες λόγω της τοξικότητας των αλάτων. Μπορεί επίσης να σημαίνει προβλήματα στην αποστράγγιση του εδάφους και τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών για τα φυτά.

Οι χαμηλές τιμές του SI υποδηλώνουν χαμηλή αλατότητα στην περιοχή. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι το έδαφος ή το νερό έχει χαμηλή συγκέντρωση αλάτων, η οποία είναι επιθυμητή για τις περισσότερες γεωργικές χρήσεις, καθώς υποδεικνύει έδαφος κατάλληλο για καλλιέργειες. Ωστόσο, υπερβολικά χαμηλή αλατότητα μπορεί να σημαίνει ότι το έδαφος δεν έχει αρκετά θρεπτικά συστατικά.

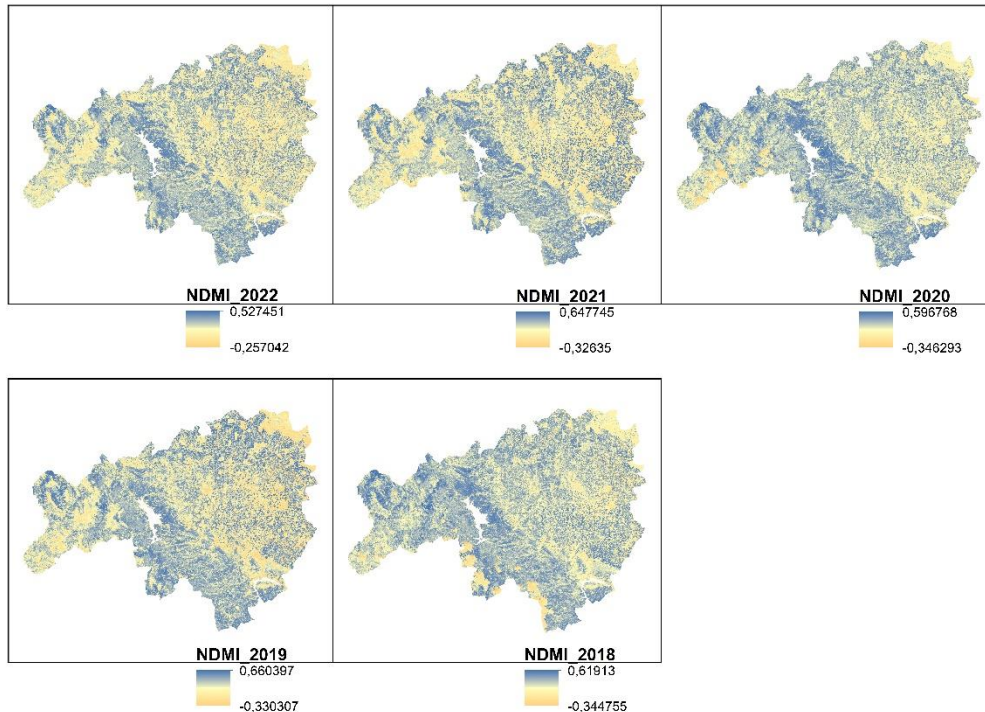
7.6.9. Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υγρασίας (NDMI –Normalized Difference Moisture Index)

Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υγρασίας (Normalized Difference Moisture Index - NDMI) είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της υγρασίας ή της υδατικής περιεκτικότητας σε ένα περιβάλλον, όπως το έδαφος ή η βλάστηση. Αυτός ο δείκτης βασίζεται στην διαφορά ανάμεσα στην ανακλαστικότητα του κοντινού υπέρυθρου (Near Infrared - NIR) και του κόκκινου φάσματος (Red), μπορεί να δώσει μια εκτίμηση του επιπέδου υγρασίας ή υδατικής περιεκτικότητας στο έδαφος ή τα φυτά και υπολογίζεται από την εξίσωση :

$$\text{NDMI} = \frac{(\text{NIR} - \text{SWIR})}{(\text{NIR} + \text{SWIR1})}$$

(Εξίσωση Z7.6.9.1)

Όπου NIR είναι η ανακλαστικότητα στο κοντινό υπέρυθρο φάσμα και SWIR η ανακλαστικότητα στο Βραχύ κοντινό υπέρυθρο φάσμα (Shortwave Infrared). Ο δείκτης NDMI χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένης της γεωργίας, της υδρολογίας και της παρακολούθησης του περιβάλλοντος. Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της υγρασίας του εδάφους, την ανίχνευση υγρών επιφανειακών στρωμάτων, την παρακολούθηση της υγρασίας της βλάστησης και άλλων περιβαλλοντικών παραμέτρων που σχετίζονται με το νερό.



Εικόνα Z7.6.9.1: Απεικόνιση εφαρμογής δείκτη NDMI μετά την εφαρμογή μάσκας αποκοπής και μάσκα απομόνωσης της περιοχής μελέτης

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το μεγαλύτερο μέρος των καλλιεργειών είχαν σπορά την συγκεκριμένη περίοδο μελέτης, η παρακολούθηση και μελέτη της περιοχής είχε ιδιαίτερη αποδοτικότητα καθώς λήφθηκαν συνολικά δεδομένα από τους δείκτες από μία ημέρα και όχι από πολλές καθώς το τελευταίο πιθανόν να επηρέαζε τα αποτελέσματα και να χρειαζόταν επιπλέον εξέταση της ακρίβειας των δεδομένων.

7.7. Χωρική ανάλυση αποτελεσμάτων δεικτών βλάστησης

Η χωρική ανάλυση δεικτών αποτελεί ένα κρίσιμο εργαλείο για την κατανόηση και την αξιολόγηση των χωρικών μοτίβων και των δυναμικών στην μελέτη. Θα εξεταστούν οι χωρικές διακυμάνσεις των δεικτών του προηγούμενου κεφαλαίου. Στην παρούσα μελέτη, η ανάλυση εστιάζει στους δείκτες αλατότητας εδάφους, υγρασίας εδάφους και βλάστησης, χρησιμοποιώντας τα δορυφορικά δεδομένα και την επεξεργασία που πραγματοποιήθηκε ώστε να καταλήξουν στην ίδια χωρική διακριτική ικανότητα. Η προσέγγιση επιτρέπει την απόδοση και την αξιολόγηση των χωρικών συνθηκών της περιοχής, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για την διαχείριση και την λήψη αποφάσεων σε βάθος χρόνου με συγκριτική προσέγγιση ανά χρονικές περιόδους.

Σύμφωνα με τα δεδομένα που εξάχθηκαν από την επεξεργασία των δεικτών, ο NDVI απέδωσε την σταδιακή ποσοστιαία μείωση της τιμής βλάστησης από το 2018 έως το 2022. Από την οπτική ανάλυση φαίνεται η περιοχή των καλλιεργειών να μην επηρεάζεται σημαντικά σε βάθος της πενταετίας. Σε ίδια μοτίβα εμφανίζεται ο δείκτης RVI με διαχρονική μείωση της υγείας της βλάστησης, κυρίως στην δασική (πυκνή) βλάστηση και στην υποπεριοχή των καλλιεργητικών εκτάσεων. Ο GNDVI δείχνει την μείωση της υγείας της βλάστησης ακολουθώντας το NDVI από το 2018 μέχρι το 2022, με σταδιακή αύξηση των ποσοστών του στην περιοχή μελέτης και έχει ιδιαίτερη σημασία για τον υπολογισμό της βιομάζας. Ο δείκτης μελετάει την αλλαγή χρήσης των περιοχών, όπου θα επαληθευτεί με την κατηγοριοποίηση των εκτάσεων με βάση το φασματικό τους προφίλ. Η σταδιακή μείωση εμφανίζεται και στους δείκτες SAVI και NDRE με αύξηση της εδαφικής κάλυψης. Η ιστορική εξέλιξη ειδικά στον δείκτη NDRE αποκαλύπτει την έντονη μείωση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων σε επίπεδο φυτικής υγείας μεταξύ του 2021 και 2022.

Αντίθετα ο WDRVI εμφανίζει χαμηλές τιμές βλάστησης στις καλλιέργειες το 2020 συγκριτικά με τις άλλες χρονιές, ενώ ο EVI υποδεικνύει ότι η βλάστηση στις περιοχές με την εκμεταλλεύσιμη βιομάζα κυμαίνεται από 0.20 έως 0.50 διαχρονικά με αποτέλεσμα να γίνεται αποδεκτή η περιοχή για περαιτέρω εξέταση. Ο τελικός δείκτης NDMI που υπολογίζει τα επίπεδα υγρασίας που επηρεάζουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων (βλέπε επόμενα κεφάλαια) ως προς την εξαγωγή της διαθέσιμης βιομάζας, αποδίδει μέτρια προς καλά επίπεδα υγρασίας γεγονός που αιτιολογείται καθώς η εξέταση των δεικτών γίνεται σε περίοδο συγκομιδής των καλλιεργειών. Στην περίοδο συγκομιδής οι καλλιέργειες έχουν υγρασία σε μέτρια επίπεδα καθώς αφότου συλλεχθεί ο καρπός παραμένουν στις εκτάσεις για την περαιτέρω ξήρανση τους (εξάτμισή τη υγρασίας) για την άφιξη της περιόδου της συλλογής των υπολειμμάτων βιομάζας.

Σύμφωνα με τους δείκτες αναμένουμε από την κατηγοριοποίηση των εκτάσεων να αποδώσει διαχρονική μείωση των ποσοστών καλλιεργήσιμων εκτάσεων από το 2018 μέχρι το 2023 και

τα επίπεδα που θα λάβουμε υπόψιν μας για τον υπολογισμό της διαθέσιμης βιομάζας να είναι αναλογικά της περιόδου των μετρήσεων.

7.8. Εφαρμογή επιλεγμένης κατηγοριοποίησης βιομάζας μέσω ROI -Μηχανική μάθηση

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης εξακολουθούν να θεωρούνται νέοι στον τομέα της ανάκτησης εκτίμησης εκτάσεων βιομάζας. Παρόλο που χρησιμοποιούν δεδομένα από UAV, οι αισθητήρες όπως των δορυφόρων Landsat λειτουργούν εδώ και πολλά χρόνια και παρέχουν δωρεάν χρονικά δεδομένα Τηλεπισκόπησης με διαφορετική χωρική και χρονική ανάλυση. Με την διαθεσιμότητα τέτοιων τύπων πηγών δεδομένων, δεν είναι πολύ δύσκολο να δημιουργηθεί μια λογική χρονική σειρά για την αξιολόγηση της απόδοσης των αλγορίθμων μηχανικής μάθησης για την ανάκτηση βιομάζας. Οι πιθανοί λόγοι για αυτό το κενό μπορεί να είναι η πολυπλοκότητα των μεθόδων και η απαίτηση μεγάλου μεγέθους δείγματος για την εκπαίδευσή τους. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος SVM (Support Vector Machine) ο οποίος παρέχει έναν ισχυρό και ευέλικτο τρόπο για την κατηγοριοποίηση και την ανάλυση δεδομένων. Ο αλγόριθμος SVM είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός για την ταξινόμηση σε υψηλές διαστάσεις και χρησιμοποιείται ευρέως σε ποικίλες εφαρμογές, από την αναγνώριση προτύπων μέχρι την μηχανική μάθηση και την χωρική ανάλυση γεωγραφικών δεδομένων. Στην παρούσα μελέτη, η χρήση του SVM εφαρμόζεται για την ανάλυση και την κατηγοριοποίηση των φασματικών προφίλ καλλιεργειών από δεδομένα Τηλεπισκόπησης.

Η μέθοδος SVM λειτουργεί με την εύρεση του υπερεπίπεδου που διαχωρίζει καλύτερα τα δεδομένα σε δύο κατηγορίες, μεγιστοποιώντας το περιθώριο μεταξύ των κατηγοριών. Σε περιπτώσεις όπου τα δεδομένα δεν είναι γραμμικά διαχωρίσιμα, χρησιμοποιούνται πυρήνες (kernels) που επιτρέπουν την προβολή των δεδομένων σε υψηλότερες διαστάσεις, όπου μπορεί να είναι γραμμικά διαχωρίσιμα. Αυτό κάνει την μέθοδο SVM εξαιρετικά αποτελεσματική για την ανάλυση πολύπλοκων και μη γραμμικών συνόλων δεδομένων. Η χωρική ανάλυση δεικτών με τη χρήση της μεθόδου Support Vector Machine (SVM) παρέχει έναν καινοτόμο τρόπο για την ακριβή κατηγοριοποίηση και ερμηνεία γεωγραφικών δεδομένων. Στην παρούσα μελέτη, εφαρμόσαμε τη 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 στην συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν ως είσοδοι στον αλγόριθμο SVM. Η ανάλυση αυτή μας επέτρεψε να διαχωρίσουμε και να κατηγοριοποιήσουμε τις καλλιέργειες με υψηλή ακρίβεια, αξιολογώντας παράλληλα την χωρική διασπορά και την υγεία των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης. Η χρήση του SVM απέδειξε την αποτελεσματικότητά του στην αντιμετώπιση πολύπλοκων χωρικών προβλημάτων, προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες για την γεωργική παραγωγή και την διαχείριση των φυσικών πόρων.

7.9. Μεθοδολογία κατηγοριοποίησης καλλιεργειών

Η οριοθέτηση της περιοχής μελέτης για την διαθεσιμότητα βιομάζας έχει διάφορους περιορισμούς από γεωγραφικούς και οικονομικούς παράγοντες καθώς και παράγοντες βιωσιμότητας τους οποίους χαρτογραφούμε εδώ ως περιοχές ενδιαφέροντος. Οι γεωγραφικοί παράγοντες λαμβάνονται πρώτα υπόψη με την εξάλειψη από τον χάρτη εκείνων των τύπων κάλυψης γης που (α) είναι βιοπαραγωγικοί (Κλάσεις 1-4) δηλαδή Βαμβάκι (ημιξυλώδες), καλαμπόκι, κριθάρι, σιτάρι και (β) δεν λαμβάνονται υπόψη σε αυτήν την μελέτη λόγω άλλου είδους ξυλώδους βιομάζας είτε εκτάσεις μη βλάστησης (κλάσεις 6 και 8), δηλαδή Ντομάτα και Δασικές εκτάσεις και (γ) μη καλλιεργήσιμες εκτάσεις, αστικού - πολεοδομικού χαρακτήρα, είτε τύποι κάλυψης γης που δεν είναι σε θέση να παράσχουν ένα βιώσιμο αναπαραγωγικό πλεόνασμα πόρων βιομάζας (κλάση 7). Επίσης τα υδάτινα εικονοστοιχεία έχουν αφαιρεθεί με την μέθοδο της μάσκας, όπως αναφέρει η μεθοδολογία στο Κεφ. 22.

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

Πίνακας Z7.9.1: Κατηγοριοποίηση καλύψεων γης 8 κλάσεων.

Κατά την αξιολόγηση της δυνατότητας καλλιέργειας καλλιεργειών βιοενέργειας, δεν λαμβάνονται υπόψη τοποθεσίες που δραστηριοποιούνται επί του παρόντος στην γεωργία καλλιεργειών εντός κλειστού χώρου όπως τα Θερμοκήπια. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αφορά την δειγματοληψία με βάση τα φασματικά προφίλ καλλιεργειών μέσω Βιβλιογραφικών Πηγών και επικύρωση μέσω των οπτικών πανοραμικών φωτογραφιών που παρέχουν οι Χάρτες Google.

Η χαρτογράφηση των ποσοτήτων βιομάζας είναι μια διαδικασία τεσσάρων βημάτων.

- Δειγματοληψία μέσω φασματικών προφίλ
- Επικύρωση με πανοραμικές εικόνες
- Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης Καλλιεργειών
- Στατιστική Επικύρωση

7.10. Μεθοδολογία δειγματοληψίας -Επικύρωσης φασματικών προφίλ

Η μεθοδολογία δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε περιλαμβάνει την ανάλυση φασματικών προφίλ καλλιεργειών όπως αυτά παρουσιάζονται σε βιβλιογραφικές πηγές, από όπου τα φασματικά προφίλ εφαρμόστηκαν στις εικόνες της περιοχής μελέτης για να

προσδιοριστούν τα είδη καλλιεργειών. Στην συνέχεια, η επικύρωση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω οπτικών πανοραμικών φωτογραφιών, συγκρίνοντας τα φασματικά δεδομένα με τις πραγματικές εικόνες από την περιοχή μελέτης. Η διαδικασία αυτή παρέχει αξιόπιστα δεδομένα αλλά με σχετική απόκλιση ακριβείας λόγω των χρονοσειρών και την περίοδο εξέτασης των φασματικών εικόνων συγκριτικά με την περίοδο λήψεων των πανοραμικών εικόνων της Google. Για την αποδοχή της μεθοδολογίας λάβαμε υπόψη την παραδοχή ότι για την περίοδο που εξετάζουμε χρησιμοποιούνταν οι ίδιες καλλιέργειες όπως και στις εικόνες Google.

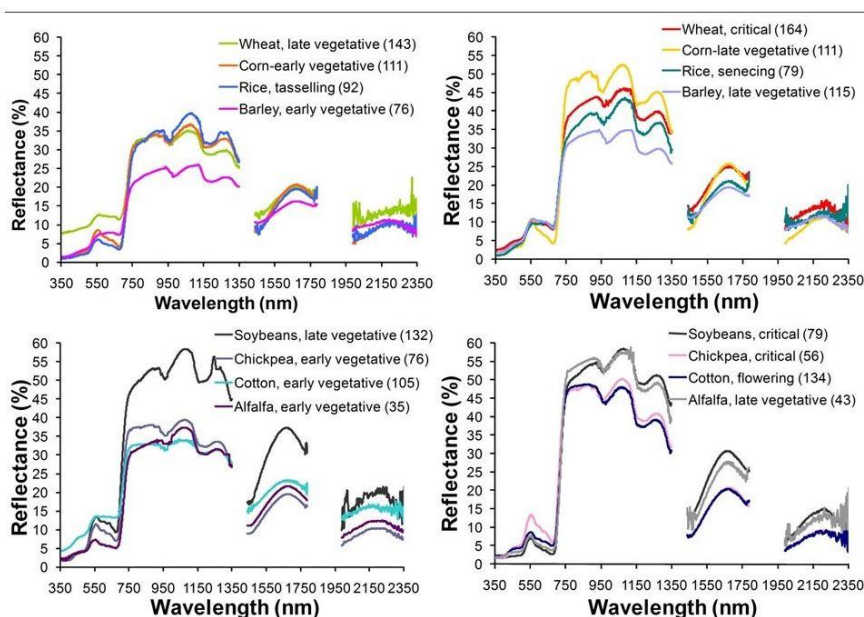
Η αρχική δειγματοληψία στην παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε με την χρήση φασματικών προφίλ που προέρχονται από δορυφορικές εικόνες και βιβλιογραφικές πηγές. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την ακριβή αναγνώριση και κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών, βασιζόμενη στις μοναδικές φασματικές τους υπογραφές.

Βήματα Δειγματοληψίας:

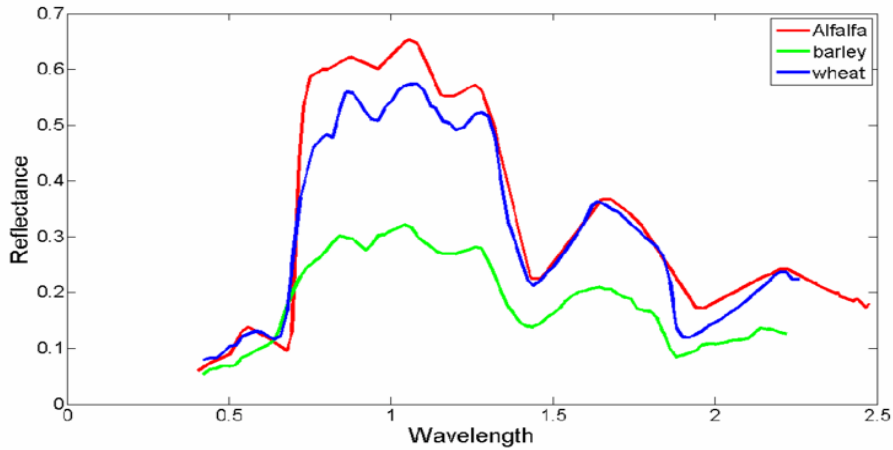
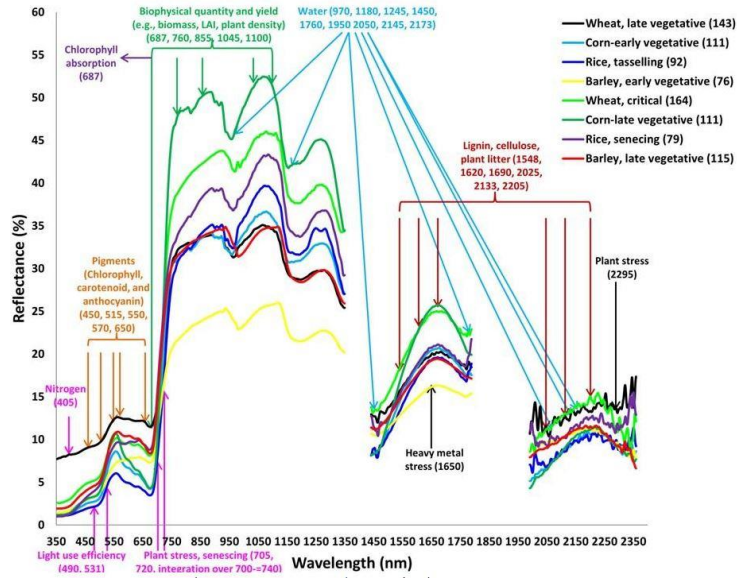
Συλλογή Δεδομένων: Αρχικά, συλλέξαμε δορυφορικά δεδομένα από τον δορυφόρο Sentinel 2A, τα οποία περιλαμβάνουν πολυφασματικές εικόνες υψηλής ανάλυσης. Τα δεδομένα αυτά παρείχαν φασματικές προφίλ / ιδιότητες των καλλιεργειών στην περιοχή μελέτης.

Ανάλυση Φασματικών Προφίλ: Τα φασματικά προφίλ των καλλιεργειών αναλύθηκαν χρησιμοποιώντας ειδικό λογισμικό, το οποίο επέτρεψε την εξαγωγή των χαρακτηριστικών φασματικών υπογραφών κάθε καλλιέργειας. Αυτές οι υπογραφές αποτελούν μοναδικούς δείκτες που βοηθούν στην αναγνώριση των καλλιεργειών.

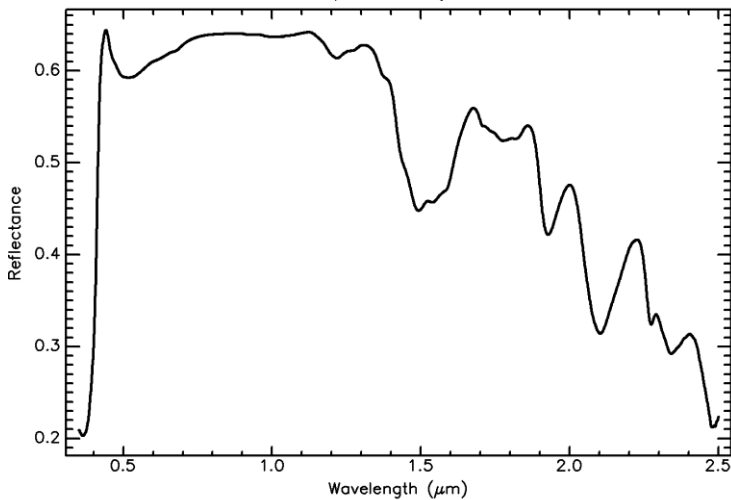
Σύγκριση με Βιβλιογραφικές Πηγές: Τα εξαγόμενα φασματικά προφίλ συγκρίθηκαν με βιβλιογραφικά δεδομένα για να επιβεβαιωθεί η ακρίβειά τους. Η βιβλιογραφία παρέχει καταγεγραμμένες φασματικές υπογραφές για διάφορα είδη καλλιεργειών, που χρησιμοποιήθηκαν ως σημείο αναφοράς.



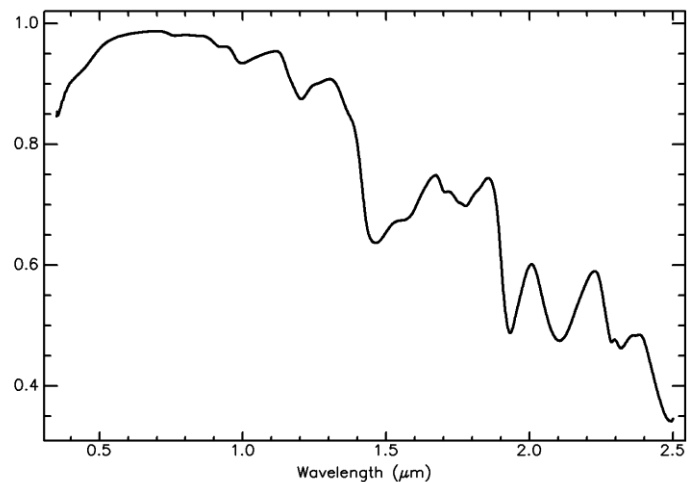
Εκτίμηση Πυκνότητας της Διαθέσιμης Βιομάζας Αξιοποιώντας την Τηλεπισκόπηση με Χρήση Μηχανικής Μάθησης



Cotton_Fabric GDS437 White ASDFRa AREF (splib07a rec=18587)
Material=Cotton fabric
Spectral Purity=a



Starch_corn_Argo GDS549 ASDHRa AREF (splib07a rec=16357)
Formula=(C₆H₁₀O₅)_n
Material=Starch Type=Sugar; Polysaccharide; Starch; Plant Carbohydrate
Spectral Purity=a



Citation: Kokaly, R.F., Clark, R.N., Swayze, G.A., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Pearson, N.C., Wise, R.A., Benzel, W.M., Lowers, H.A., Driscoll, R.L., and Klein, A.J., 2017, USGS Spectral Library Version 7: U.S. Geological Survey Data Series 1035, 81 p., <https://doi.org/10.3133/ds1035>
ASCII data=splib07a_Cotton_Fabric_GDS437_White_ASDFRa_AREF.txt HTML metadata=Cotton_Fabric_GDS437_White_ASDFRa_AREF.html

Citation: Kokaly, R.F., Clark, R.N., Swayze, G.A., Livo, K.E., Hoefen, T.M., Pearson, N.C., Wise, R.A., Benzel, W.M., Lowers, H.A., Driscoll, R.L., and Klein, A.J., 2017, USGS Spectral Library Version 7: U.S. Geological Survey Data Series 1035, 81 p., <https://doi.org/10.3133/ds1035>
ASCII data=splib07a_Starch_corn_Argo_GDS549_ASDHRa_AREF.txt HTML metadata=Starch_corn_Argo_GDS549_ASDHRa_AREF.html

Εικόνες Z7.10.1: Βιβλιογραφικές Φασματικές Υπογραφές των Καλλιεργειών Καλαμποκιού, Βαμβακιού, Κριθαριού και Σιτηρών.

Επιλογή Δειγμάτων από τις φασματικές Εικόνες : Με βάση την ανάλυση και τη σύγκριση, επιλέχθηκαν αντιπροσωπευτικά δείγματα για κάθε καλλιέργεια. Τα δείγματα αυτά αποτελούν τις περιοχές που αντιστοιχούν στις διαφορετικές καλλιέργειες σύμφωνα με τα φασματικά προφίλ.

Στον πίνακα δειγματοληψίας με αρκετές από αυτές να επαναλαμβάνονται ανά έτος εξέτασης στηρίζοντας την παραδοχή αποδοχής της μεθοδολογίας.

Επικύρωση: Τα επιλεγμένα δείγματα επικυρώθηκαν στο πεδίο χρησιμοποιώντας πανοραμικές φωτογραφίες και οπτική επιθεώρηση. Η διαδικασία αυτή εξασφάλισε την ακρίβεια των δεδομένων και επιβεβαίωσε τη σωστή κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών.

Με αυτόν τον τρόπο, καταφέραμε να επιβεβαιώσουμε την ακρίβεια των φασματικών προφίλ. Συγκρίνοντας τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τους δορυφόρους με τις πανοραμικές φωτογραφίες, επιβεβαίωσαμε την ταύτιση των καλλιεργειών και των γεωγραφικών τους θέσεων.

Αναγνωρίσουμε τυχόν αποκλίσεις καθώς οι πανοραμικές φωτογραφίες μας επέτρεψαν να εντοπίσουμε και να διορθώσουμε τυχόν αποκλίσεις ή ανακρίβειες στα φασματικά δεδομένα είτε να μας υποδείξουν νέα τοποθεσίες δειγματοληψίας.

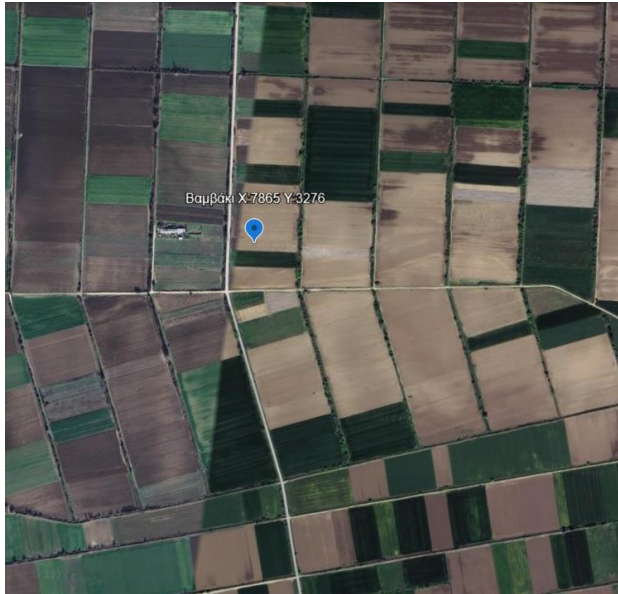
Ακολουθούν εικόνες από την περιοχή μελέτης, οι οποίες αποτυπώνουν τις πανοραμικές φωτογραφίες που χρησιμοποιήθηκαν για την επικύρωση των δεδομένων.

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	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	4049	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	Ντοματίες	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	

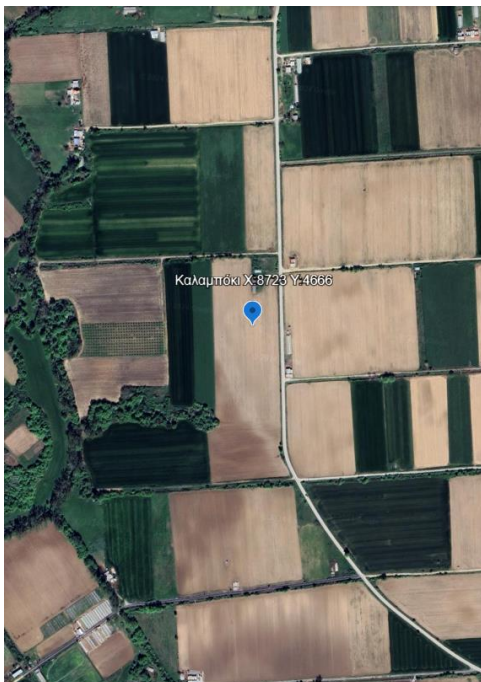
Πίνακας Z7.10.1: Δειγματοληψίας σημείων των φασματικών εικόνων ανά κλάση και ανά έτος εξέτασης.

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



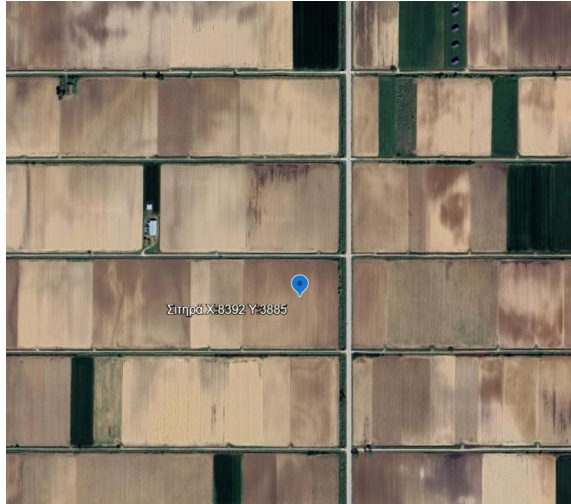
Εικόνες Z7.10.2: Πανοραμική φωτογραφία της περιοχής μελέτης καλλιεργειών Βαμβακιού.

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



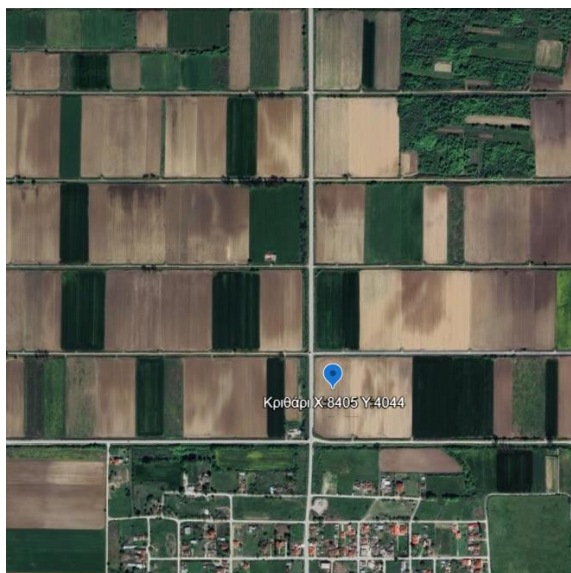
Εικόνες Z7.10.3: Πανοραμική φωτογραφία της περιοχής μελέτης καλλιεργειών Καλαμποκιού.

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



Εικόνες Z7.10.4: Πανοραμική φωτογραφία της περιοχής μελέτης καλλιεργειών Σιτηρών.

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

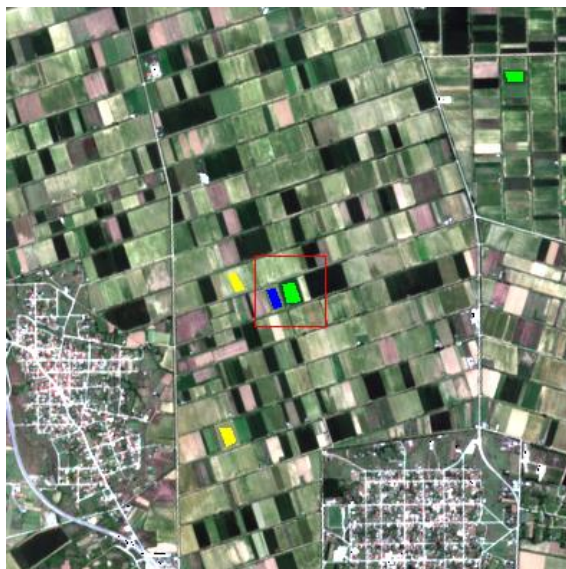


Εικόνες Z7.10.5: Πανοραμική φωτογραφία της περιοχής μελέτης καλλιεργειών Κριθαριού.

Η κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών εφαρμόστηκε με την χρήση του λογισμικού ENVI χρησιμοποιώντας τις χωρικές πληροφορίες σύμφωνα με τον πίνακα συντεταγμένων των X και Y. Η διαδικασία αυτή μας επέτρεψε να εντοπίσουμε και να διαχωρίσουμε τις διαφορετικές καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης με σχετική ακρίβεια και αποτελεσματικότητα. Τα φασματικά προφίλ αποτελούν την βάση για την κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών. Κάθε ομάδα κατηγοριοποίησης επιλέχθηκε ώστε να υπάρξει το βέλτιστο και το πιο χρονικά οικονομικό αποτέλεσμα στις εφαρμογές που πραγματοποιήθηκαν, καθώς απαιτήθηκε συνεχής βελτιστοποίηση των αποτελεσμάτων λόγω αδυναμίας του λογισμικού να υποστηρίξει μεγάλου μεγέθους επεξεργασίες. Χρησιμοποιώντας το λογισμικό, αναλύσαμε τα φασματικά δεδομένα και δημιουργήσαμε προφίλ για τις κύριες καλλιέργειες της περιοχής μελέτης και λοιπά μέρη. Παρατίθενται δείγματα από την επεξεργασία.

Window: <input type="radio"/> Image <input type="radio"/> Scroll <input type="radio"/> Zoom <input checked="" type="radio"/> 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	

Εικόνες 27.10.6: Λήψη εφαρμογής κατηγοριοποίησης και με βάση την δειγματοληψία ανά κλάση στο λογισμικό ENVI.





Εικόνες Z7.10.7: Λήψη απεικόνισης κατηγοριοποίησης και με βάση την δειγματοληψία ανά κλάση στο λογισμικό ENVI.

7.11. Αποτελέσματα κατηγοριοποίησης Καλλιεργειών

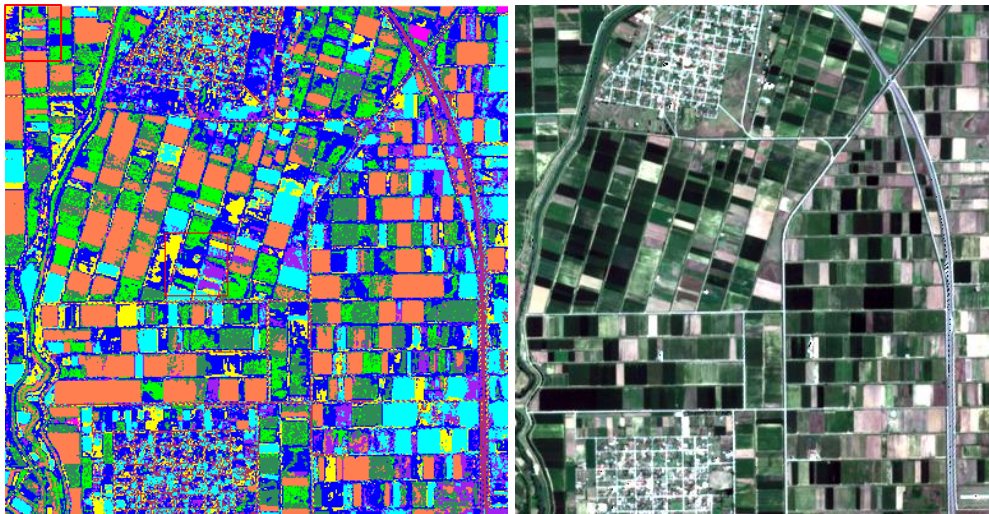
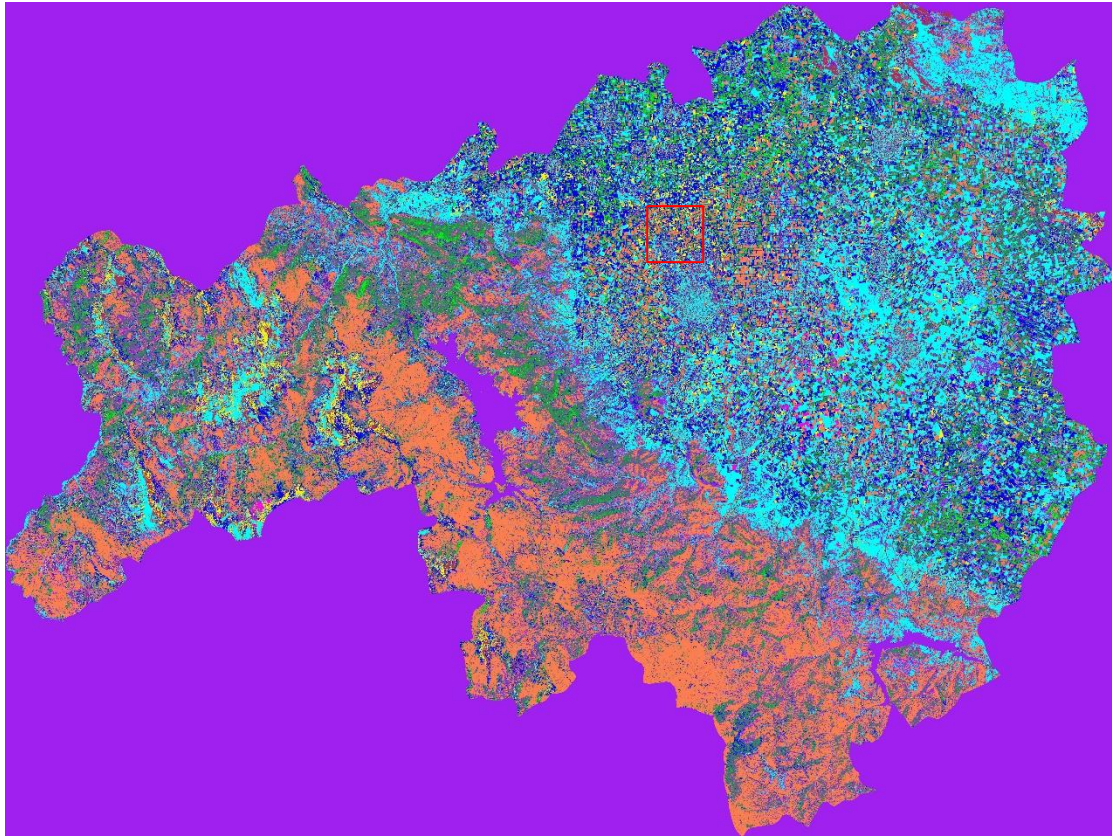
Η καταγραφή και ανάλυση των δεδομένων από την αρχική δειγματοληψία μας επέτρεψε να εξάγουμε σημαντικά στατιστικά αποτελέσματα σχετικά με τις καλλιέργειες στην περιοχή μελέτης. Τα δεδομένα αυτά προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για την φασματική συμπεριφορά των καλλιεργειών και την διασπορά τους στην περιοχή, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα της κατάστασης των καλλιεργειών.

Συγκεκριμένα, τα στατιστικά αποτελέσματα περιλαμβάνουν:

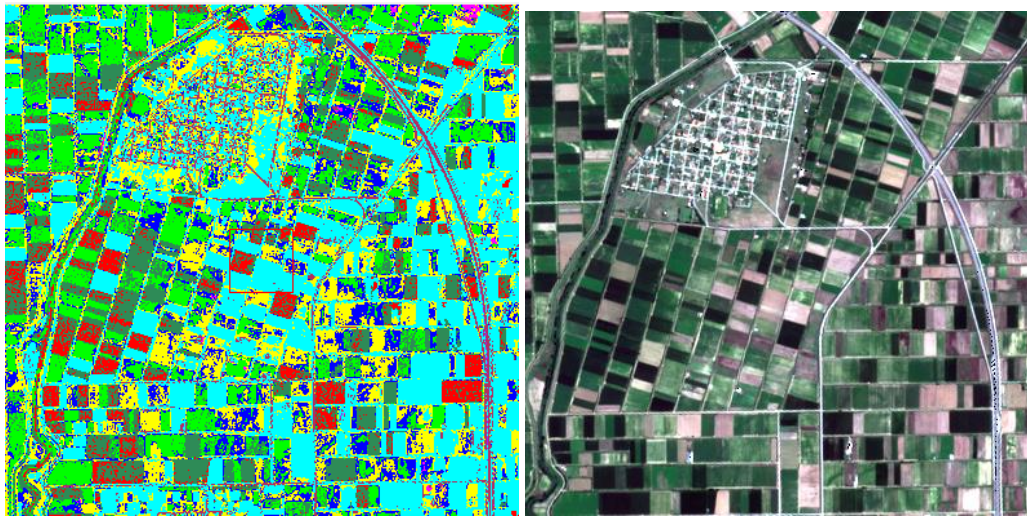
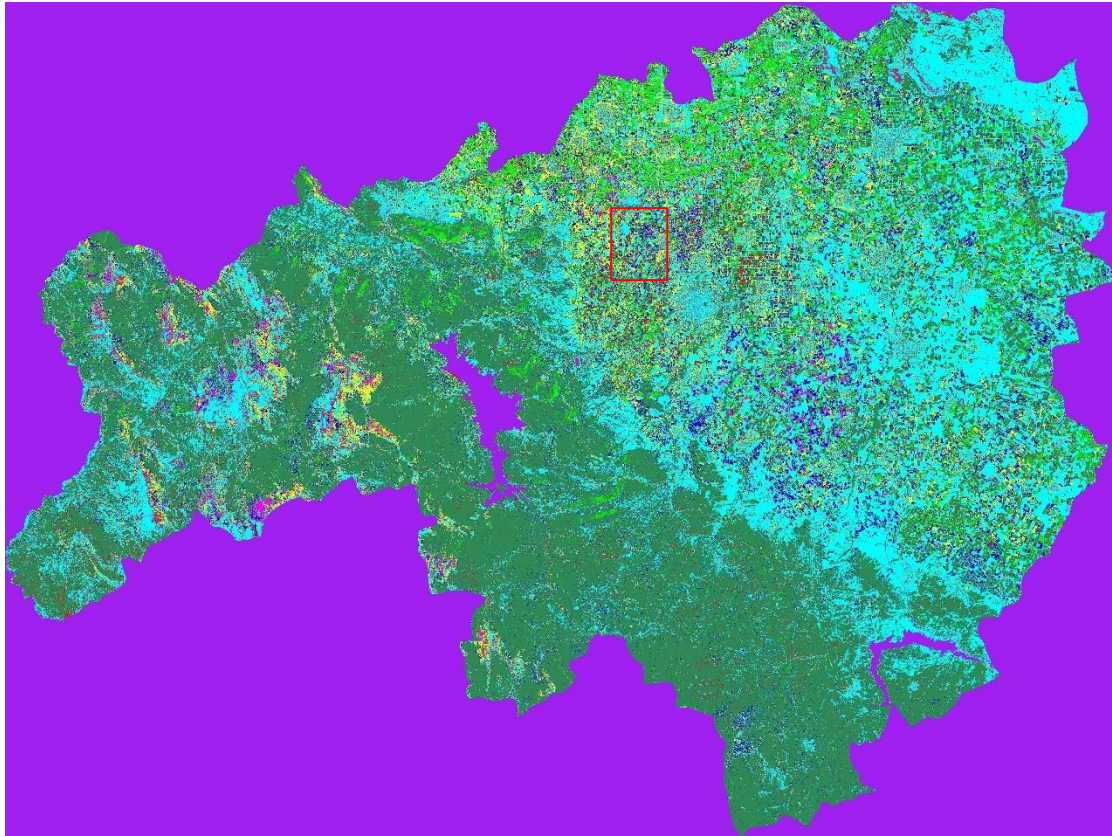
- Φασματική Ανάλυση των προφίλ για κάθε δείγμα καλλιέργειας, που μας επέτρεψε να αναγνωρίσουμε τις διαφορές και τις ομοιότητες μεταξύ των καλλιεργειών.
- Χωρική Κατανομή των καλλιεργειών, όπως αυτή προσδιορίστηκε από τα δορυφορικά δεδομένα και επιβεβαιώθηκε από τις πανοραμικές φωτογραφίες.
- Ποσοστιαία Ανάλυση: Τα ποσοστά κάλυψης κάθε καλλιέργειας στην περιοχή μελέτης, καθώς και οι σχετικές μεταβολές κατά την περίοδο της δειγματοληψίας.
- Συνολική Αξιολόγηση της κατάστασης των καλλιεργειών, βασισμένη στα στατιστικά αποτελέσματα, που μας επιτρέπει να κατανοήσουμε καλύτερα την δυναμική και την υγεία των καλλιεργειών στην περιοχή.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα εξήχθησαν ποσοστά για την διευκόλυνση και την σύγκριση των αποτελεσμάτων από τους επίσημους φορείς του Κράτους για την επιπλέον επικύρωση της μεθόδου ως προς την αξιοπιστία της. Η συνολική έκταση που εξετάστηκε αφορά 4.666.132,40 στρέμματα όπου στο σύνολο της φασματικής εικόνας και ανά έτος αφαιρούσαμε την έκταση που λάμβανε τιμή 0 λόγω της μεθόδου της μάσκας, αποκλείοντας έτσι περιοχές εκτός του νομού Καρδίτσας και τα υδάτινα στοιχεία.

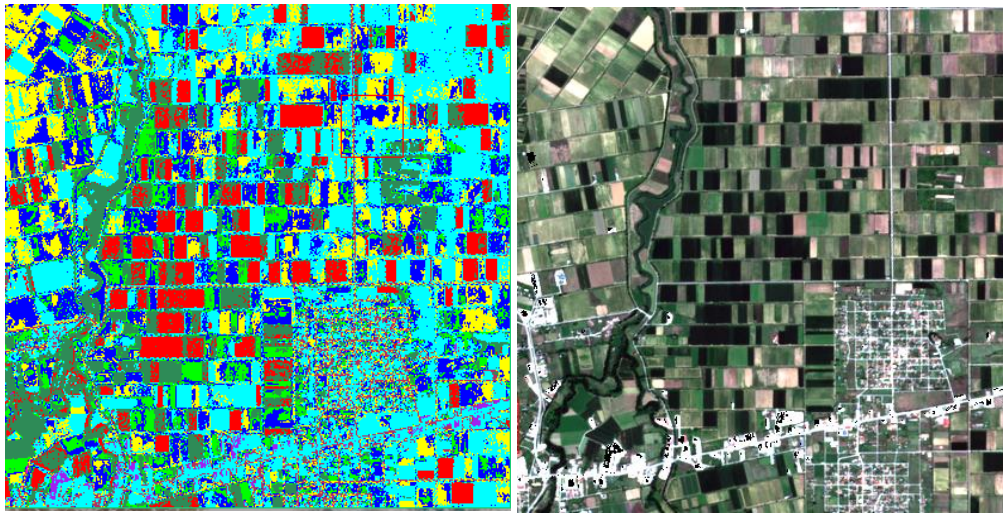
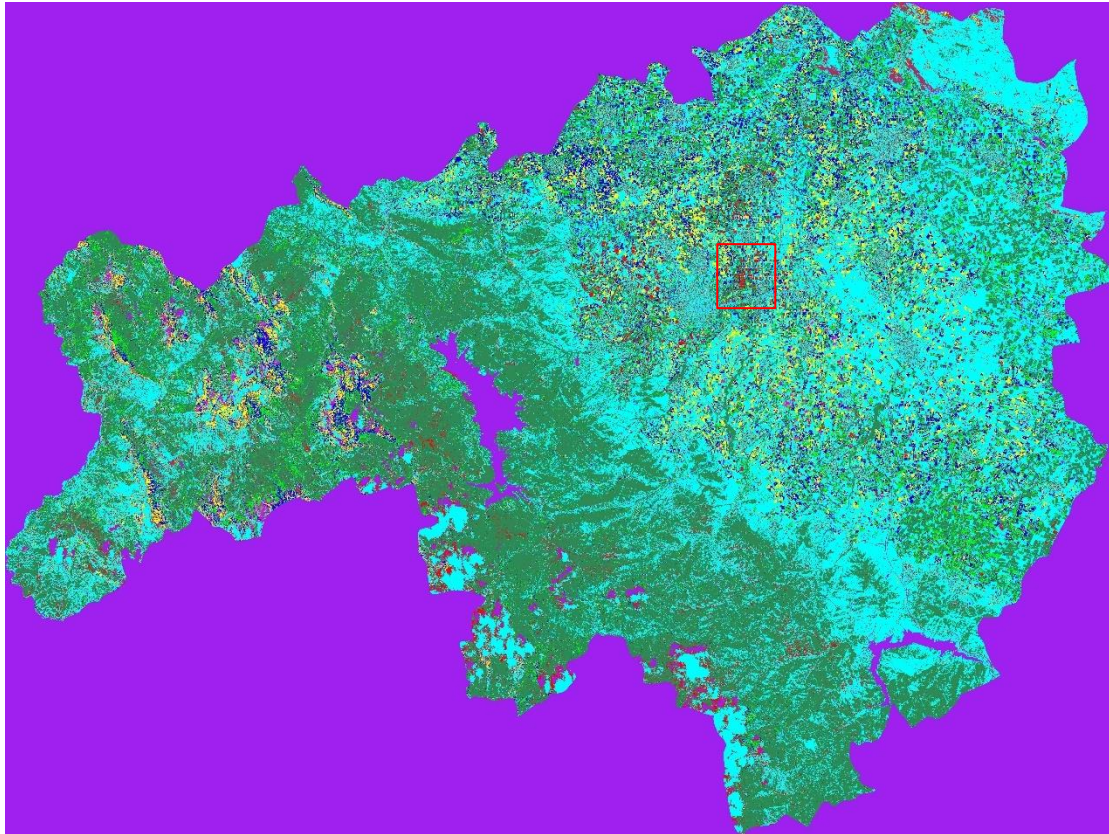
Παρακάτω παρουσιάζονται ορισμένα αποτελέσματα της κατηγοριοποίησης με διαφορετικές χρωματικές αποχρώσεις όταν εφαρμόστηκε για περισσότερες από 2 φορές για βελτιστοποίηση αποτελεσμάτων.



Εικόνες Z7.11.1: Απεικόνιση κατηγοριοποίησης και με βάση την δειγματοληψία ανά κλάση στο λογισμικό ENVI έτος 2022.



Εικόνες Z7.11.2: Απεικόνιση κατηγοριοποίησης και με βάση την δειγματοληψία ανά κλάση στο λογισμικό ENVI έτος 2019.



Εικόνες Z7.11.3: Απεικόνιση κατηγοριοποίησης και με βάση την δειγματοληψία ανά κλάση στο λογισμικό ENVI έτος 2018.

Όπως αναφέρθηκε υπήρξε προ-επεξεργασία των εικόνων ώστε να μειώσουμε τον όγκο δεδομένων με ταυτόχρονη απομόνωση της περιοχής μελέτης για να βελτιστοποιήσουμε την διαδικασία και τα αποτελέσματα. Η διαφορά της έκτασης οφείλεται στην μάσκα που εφαρμόστηκε ώστε να αφαιρεθούν οι περιττές πληροφορίες όπως οι υδάτινες επιφάνειες και την απομόνωση της περιοχής μελέτης.

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 Z7.11.1:Αποτελέσματα υπολογισμού συνολικής εξεταζόμενης έκτασης εκτός της επιφάνειας με μηδενική τιμή (μάσκα).

Τα ποσοστά των καλλιεργειών υπολογίστηκαν με βάση το σύνολο των εξεταζόμενων εκτάσεων και όχι επί του συνόλου των αποτελεσμάτων της φασματικής εικόνας .Ακολουθούν οι πίνακες που παρουσιάζουν αναλυτικά τα στατιστικά αποτελέσματα της καταγραφής δεδομένων ανά χρονιά.

Τάξη	Αριθμός εικονοστοιχιών	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%
NO DATA/MASK	20643557	46661324	44,2413%	144,241%
Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων		26017767	23,5886%	

2021				
Καλαμπόκι	1261643	1261643	4,8424%	4,842%
Σιτηρά	2773050	4034693	10,6434%	15,486%
Χωμάτινες/Εδαφικές εκτάσεις	8507200	12541893	32,6519%	48,138%
Ντοματίες	213309	12755202	0,8187%	48,956%
Πολεοδομικές εκτάσεις - ROAD	521020	13276222	1,9998%	50,956%
Δασικές εκτάσεις	9740667	23016889	37,3862%	88,342%
Βαμβάκι	2193465	25210354	8,4189%	96,761%
Κριθάρι	843841	26054195	3,2388%	100,000%
NO DATA/MASK	20607129	46661324	44,1632%	144,163%
Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων		26054195	27,1434%	
2020				

Εκτίμηση Πυκνότητας της Διαθέσιμης Βιομάζας Αξιοποιώντας την Τηλεπισκόπηση με Χρήση Μηχανικής Μάθησης

Καλαμπόκι	2101256	2101256	8,0700%	8,0700%
Σιτηρά	2092450	4193706	8,0361%	16,1061%
Χωμάτινες/Εδαφικές εκτάσεις	7500229	11693935	28,8049%	44,9110%
Ντομάτα	127179	11821114	0,4884%	45,3994%
Πολεοδομικές εκτάσεις - ROAD	505364	12326478	1,9409%	47,3403%
Δασικές εκτάσεις	9341313	21667791	35,8757%	83,2160%
Κριθάρι	560086	22227877	2,1510%	85,3670%
NO DATA/MASK	20623311	42851188	44,1979%	129,565%
Βαμβάκι	3810136	46661324	14,6330%	144,1979%
Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων		26038013	32,8901%	

	2019			
Καλαμπόκι	1596079	1696079	6,1042%	6,1042%
Σιτηρά	1339407	3035486	5,1226%	11,2268%
Χωμάτινες/Εδαφικές εκτάσεις	7589143	10624629	29,0247%	40,2514%
Ντομάτα	192980	10817609	0,7381%	40,9895%
Πολεοδομικές εκτάσεις - ROAD	656388	11473997	2,5104%	43,4999%
Δασικές εκτάσεις	9236577	20710574	35,3253%	78,8252%
Βαμβάκι	3771574	24482148	14,4244%	93,2495%
Κριθάρι	1665057	26147205	6,3680%	99,6175%
NO DATA/MASK	20614119	46761324	44,0837%	143,701%
Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων		26147205	32,0192%	
	2018			
Βαμβάκι	3628975	3628975	13,6976%	13,6976%
Καλαμπόκι	2101763	5730738	7,9331%	21,6307%
Σιτηρά	1912334	7643072	7,2181%	28,8489%
Χωμάτινες/Εδαφικές εκτάσεις	7640040	15283112	28,8374%	57,6863%
Ντομάτα	117845	15400957	0,4448%	58,1311%
Πολεοδομικές εκτάσεις - ROAD	520059	15921016	1,9630%	60,0940%
Δασικές εκτάσεις	9130762	25051778	34,4642%	94,5582%
Κριθάρι	1441721	26493499	5,4418%	100,0000%
NO DATA/MASK	20757825	47251324	43,9307%	143,931%
Σύνολο εξεταζόμενων εκτάσεων		26493499	34,2906%	

Πίνακας Z7.11.2: Αποτελέσματα υπολογισμού συνολικής εξεταζόμενης έκτασης ανά κλάση κατηγοριοποίησης.

Συγκεντρωτικά με βάση τα στατιστικά αποτελέσματα οι εκτάσεις που μελετάμε ως προς την διαθέσιμη βιομάζα αφορούν περίπου το 23% με 34% και κατά μέσο όρο 29% του νομού Καρδίτσας. Η στατιστική διαφορά αφορά την παραγωγικότητα της κάθε εποχής των τεσσάρων καλλιεργειών, η οποία θα επικυρωθεί με την στατιστική σύγκριση των επίσημων καταγραφών του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης-ΥΠΑΑΤ-ΟΠΕΚΕΠΕ σε επόμενα κεφάλαια.

Οι εκτάσεις ανά εξεταζόμενη καλλιέργεια από το 2018 μέχρι το 2022 καθώς και η ποσοστιαία μεταβολή παρατίθεται παρακάτω :

Καλλιέργεια ΒΑΜΒΑΚΙ

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 ΚΑΛΑΜΠΟΚΙ

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 ΣΙΤΗΡΑ

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 ΚΡΙΘΑΡΙ

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 Ζ7.11.3:Μετατροπής υπολογισμού εκτάσεων καλλιεργειών ανά έτος εξέτασης σε στρέμματα και απόδοση ποσοστιαίας μεταβολής.

ΛΟΙΠΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ

Έτος	Χωμάτινες/Εδαφικές εκτ.		Ντοματιές		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 Z7.11.4: 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 την μείωση κάθε καλλιέργειας ανά έτος. Η ποσοστιαία μεταβολή αποκαλύπτει την ετήσια αύξηση ή μείωση της έκτασης, επιτρέποντας την καλύτερη κατανόηση των αλλαγών στην γεωργική παραγωγή.

Τα αποτελέσματά δείχνουν ότι υπάρχει σταδιακή μείωση της διαθέσιμης βιομάζας καθώς τα συνολικά στρέμματα καλλιεργήσιμης γης από το 2018 έως το 2022 μειώνονται ραγδαία.

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

Πίνακας Z7.11.5: 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.

Αυτή η μείωση μπορεί να τεκμηριωθεί από την επίδραση δύο σημαντικών παραγόντων: τις κλιματικές καταστροφές και την περίοδο του COVID-19. Πιο συγκεκριμένα, οι κλιματικές καταστροφές, όπως οι πλημμύρες, έχουν προκαλέσει σοβαρές ζημιές στις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Οι πλημμύρες όχι μόνο καταστρέφουν τις καλλιέργειες, αλλά και επηρεάζουν αρνητικά την ποιότητα του εδάφους, καθιστώντας το λιγότερο εύφορο και επομένως λιγότερο κατάλληλο για γεωργία στο μέλλον.

Παράλληλα, η περίοδος του COVID-19 είχε σημαντικές επιπτώσεις στο ανθρωπογενές περιβάλλον. Οι περιορισμοί και εγκλεισμοί που επιβλήθηκαν για τον περιορισμό της πανδημίας οδήγησαν σε ελλείψεις εργατικού δυναμικού, μειώνοντας την ικανότητα καλλιέργειας και συντήρησης των αγροτικών εκτάσεων. Επιπλέον, οι διαταραχές στις αλυσίδες εφοδιασμού και η μείωση της ζήτησης σε ορισμένα αγροτικά προϊόντα συνέβαλαν περαιτέρω στην μείωση των καλλιεργήσιμων εκτάσεων.

Συνοψίζοντας, η συνδυασμένη επίδραση των κλιματικών καταστροφών και της πανδημίας του COVID-19 έχει οδηγήσει σε μια σημαντική μείωση της καλλιεργήσιμης γης και συνεπώς στην διαθεσιμότητα βιομάζας.

Οι δείκτες βλάστησης που εξετάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο επιβεβαιώνουν σαφώς τα στατιστικά ποσοστά μείωσης της καλλιέργειας στις εκάστοτε περιοχές. Η ανάλυση των δεικτών βλάστησης κατέδειξε ότι οι περιοχές των καλλιεργειών παρουσιάζουν σημαντική μείωση της χλωροφυλλίας και γενικότερα της βλάστησης στο διάστημα από το 2018 έως το 2022. Οι δείκτες αυτοί κατέγραψαν την πτώση της χλωροφυλλίας στα αγροτικά εδάφη, επιβεβαιώνοντας έτσι την τάση μείωσης της βιομάζας και της γενικής υγείας των φυτών σε αυτές τις περιοχές.

Η αντίστοιχη μείωση της χλωροφυλλίας που παρατηρήθηκε συνάδει με τα στατιστικά ποσοστά μείωσης των καλλιεργειών και αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο που υποστηρίζει τα ευρήματα της μελέτης. Αυτή η συνάφεια μεταξύ των δεικτών βλάστησης και των στατιστικών δεδομένων ενισχύει την αξιοπιστία της ανάλυσης και της ερμηνείας για την επίδραση των εξωτερικών παραγόντων στην γεωργική παραγωγή.

7.12. Επικύρωση αποτελεσμάτων κατηγοριοποίησης

Για να εξασφαλίσουμε την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης μας, πραγματοποιήσαμε στατιστική επικύρωση χρησιμοποιώντας επίσημα στοιχεία από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και τον ΟΠΕΚΕΠΕ. Η στατιστική επικύρωση πραγματοποιήθηκε σε τρία επίπεδα επικύρωσης,

1^ο επίπεδο: Υπολογισμός και επικύρωση των συνολικών εξεταζόμενων εκτάσεων ώστε να εξετάσουμε αν οι κατηγορίες επαρκούσαν ώστε να απομονώσουμε την περιοχή μελέτης και συνάμα τις καλλιέργειες που αξιοποιούμε για τον υπολογισμό της εκτιμώμενης βιομάζας.

2^ο επίπεδο: Στατιστική εξέταση των εκτάσεων των επιλεγμένων καλλιεργειών ως προς την συνολική έκταση τους και τα ποσοστά που λαμβάνουν με βάση την συνολική έκταση των καλλιεργειών .

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

Έκταση Καλλιεργειας (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	744.454,22	28,4005%
2020	2.621.270,54	742.815,70	28,3380%
2019	2.621.270,54	803.596,00	30,6567%
2018	2.621.270,54	834.620,40	31,8403%
M.O	2.621.270,54	781.371,58	29,8089%

*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	613.722,60	23,5886%
2021	2.605.419,50	707.199,90	27,1434%
2020	2.603.801,30	856.392,80	32,8901%
2019	2.614.720,50	837.211,70	32,0192%
2018	2.649.349,90	908.479,30	34,2906%
M.O	2.615.013,58	784.601,26	29,9864%

Πίνακας 27.12.1 :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 27.12.2: 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 είναι 10%, το 2020 θεωρείται μη αποδεκτό στην αναλογία των υπολογισμών των καλλιεργήσιμων εκτάσεων από την κατηγοριοποίηση .

Ορίζοντας τις προδιαγραφές της μελέτης θα αξιολογήσουμε αν οι αποκλίσεις είναι μεγάλες ή μικρές. Σε γενικές γραμμές, θα χρησιμοποιήσουμε την στατιστική μέθοδο για να αξιολογήσουμε τις αποκλίσεις μεταξύ των δεδομένων του Υπουργείου και της μελέτης ROI. Μία κοινή στατιστική μέθοδος είναι ο υπολογισμός του τυπικού σφάλματος και των διαστημάτων εμπιστοσύνης. Αυτά θα μας βοηθήσουν να κατανοήσουμε αν οι αποκλίσεις είναι σημαντικές. Η μεθοδολογία είναι να υπολογίσουμε τον Μέσο όρο , έπειτα την τυπική απόκλιση , το τυπικό σφάλμα (SE) και τέλος το διάστημα εμπιστοσύνης.

(1) Μέσος Όρος (M.O.) των ποσοστών του Υπουργείου

$$M.O. = \frac{28,4005+28,3380+30,6567+31,8403}{4}$$

(2) Τυπική Απόκλιση (σ) 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
$$CI = M.O. \pm (Z \times SE)$$

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 Z7.12.3: Πίνακας αποτελεσμάτων αναλογικών ποσοστών μεθόδου ROI σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% με τα επίσημα ποσοστά του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης.

- **2021:** Το ποσοστό ROI (27,1434%) βρίσκεται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης, επομένως η απόκλιση θεωρείται στατιστικά σημαντική.
- **2020:** Το ποσοστό ROI (32,8901%) βρίσκεται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης, επομένως η απόκλιση δεν θεωρείται στατιστικά σημαντική.
- **2019:** Το ποσοστό ROI (32,0192%) βρίσκεται εντός του διαστήματος εμπιστοσύνης, επομένως η απόκλιση δεν θεωρείται στατιστικά σημαντική.
- **2018:** Το ποσοστό ROI (34,2906%) βρίσκεται εκτός του διαστήματος εμπιστοσύνης, επομένως η απόκλιση θεωρείται στατιστικά σημαντική.

Τα στατιστικά αποτελέσματα δείχνουν ότι οι αποκλίσεις για το έτος 2018 είναι στατιστικά σημαντικές, ενώ για τα έτη 2021, 2020 και 2019 δεν είναι στατιστικά σημαντικές.

Παρότι ότι το διάστημα εμπιστοσύνης 95% για το έτος 2018 βρίσκεται εκτός διαστήματος , θα το θεωρήσουμε ότι δεν επηρεάζει σημαντικά το συνολικό αποτέλεσμα του υπολογισμού της βιομάζας λόγω της αδυναμίας του αλγορίθμου για βελτιστοποίηση των υπολογισμών κατηγοριοποίησης με τα υπάρχοντα λογισμικά.

Επιπλέον, η στατιστική επικύρωση δείχνει ότι οι τάσεις μείωσης της έκτασης καλλιέργειας που παρατηρήσαμε στην ανάλυσή μας συμφωνούν με τις τάσεις που καταγράφονται από τους επίσημους φορείς.

Για να εξετάσουμε περεταίρω την ακρίβεια της μεθοδολογίας στην κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών, παραθέτουμε τις εκτάσεις των κυριότερων καλλιεργειών (καλαμπόκι, βαμβάκι, σιτηρά και κριθάρι) όπως προκύπτουν από τα επίσημα στοιχεία του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και από την μεθοδολογία της παρούσης μελέτης. Τα δεδομένα αυτά παρατίθενται σε πίνακες, όπως φαίνεται παρακάτω για το 2^ο επίπεδο.

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

Ποσοστά 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.

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 27.12.4: 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 27.12.5: Αναλυτικοί συγκριτικοί πίνακες ποσοστών ανά καλλιέργεια υπολογισμού εξεταζόμενης έκτασης με βάση τα επίσημα δεδομένα Υπουργείου και τον υπολογισμό της εφαρμογής κατηγοριοποίησης με SVM .

Για κάθε έτος, συγκρίνουμε τη συνολική έκταση που μετρήθηκε με τη μεθοδολογία ROI με τη συνολική έκταση που αναφέρεται από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης. Η ποσοστιαία ακρίβεια των μετρήσεων ROI της έκτασης σε σχέση με τα επίσημα δεδομένα από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης έδειξε ότι οι μετρήσεις της μεθόδου βρίσκονται κοντά στις πραγματικές εκτάσεις σύμφωνα με το Υπουργείο.

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%

Ζ7.12.6 : 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 ακολουθήσουμε την ίδια διαδικασία που ακολουθήσαμε για τη συνολική έκταση. Θα υπολογίσουμε την ποσοστιαία ακρίβεια για κάθε καλλιέργεια.

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 Ζ7.12.7: Ποσοστιαία ακρίβεια μετρήσεων έκτασης σε σχέση με τα επίσημα δεδομένα.

Η μεθοδολογία ROI φαίνεται να αποδίδει καλύτερα στις βαμβακιές και τα σιτηρά.

- Βαμβακιές: Με ποσοστά ακρίβειας που φτάνουν έως και το 87,16% το 2020 και 86,86% το 2019, οι μετρήσεις ROI φαίνονται πιο αξιόπιστες για αυτή την καλλιέργεια.
- Σιτηρά: Οι μετρήσεις δείχνουν επίσης σχετικά καλή ακρίβεια, με κορύφωση το 2021 (87,71%).
- Καλαμποκιές : Απέδωσε το 2019 σχετική ακρίβεια.

Για τις καλλιέργειες του Κριθαριού και των Καλαμποκιών, η μέθοδος ROI έχει μεγάλες αποκλίσεις, όπως φαίνεται από τις αρνητικές τιμές ποσοστιαίας ακρίβειας. Η απόκλιση υποδηλώνει την ανάγκη για βελτιώσεις στη μεθοδολογία ROI .

Παρατηρείται ότι υπάρχει σχετική ακρίβεια των ποσοστών στις καλλιέργειες σιτηρών και βαμβακιού, ενώ οι διαφορές στις καλλιέργειες κριθαριού και καλαμποκιού ενδέχεται να χρειάζονται βελτιστοποίηση της δειγματοληψίας για να γίνουν αποδεκτές. Οι διαφορές στις καλλιέργειες κριθαριού και καλαμποκιού υποδηλώνουν την ανάγκη για περαιτέρω βελτιστοποίηση της μεθοδολογίας, ενδεχομένως λόγω αλγορίθμου, δειγματοληψίας και περαιτέρω κατηγοριοποίηση περισσότερων καλλιεργειών. Επομένως η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την απομακρυσμένη καταγραφή των καλλιεργειών αποδεικνύει εν μέρη αποτελεσματική της για τις περισσότερες καλλιέργειες, με αποκλίσεις που μπορεί να βελτιωθούν σημαντικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Η
ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΘΕΣΙΜΗΣ
ΒΙΟΜΑΖΑΣ

8.1. Εκτίμηση Ποσοτήτων υγρασίας

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για τον υπολογισμό της υγρασίας των καλλιεργειών μέσω δορυφορικών εικόνων, και η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται συχνά από τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τους τύπους καλλιεργειών, την περιοχή και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

8.1.1. Τρόποι υπολογισμού υγρασίας

Ορισμένοι από τους κοινούς τρόπους περιλαμβάνουν την χρήση δεικτών βλάστησης μέσω δορυφορικών εικόνων, με εξέταση αλγορίθμων ταξινόμησης εικόνων με είδη καλλιεργειών. Η μηχανική μάθηση χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση των υπολογισμών πρόβλεψης των τιμών υγρασίας. Με την χρήση Δεικτών Βλάστησης, όπως ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI) με χρήση κατωφλίου εκτίμησης υγρασίας ή Ο Δείκτης υγρασίας Normalized Difference Moisture Index (NDMI) χρησιμοποιούνται για να αξιολογήσουν την υγεία των φυτών και, κατ' επέκταση, την υγρασία του εδάφους. Η Ανάλυση Θερμικών Δεδομένων με την θερμική υπέρυθη ακτινοβολία μπορεί να δώσει πληροφορίες για την θερμοκρασία του εδάφους, που είναι συχνά συνδεδεμένη με τα επίπεδα υγρασίας. Οι αλγόριθμοι Ταξινόμησης Εικόνων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διακρίνει διάφορα καλλιεργούμενα είδη ή τάξεις εδάφους που έχουν διαφορετική σχέση με την υγρασία. Η πιο σύγχρονη μέθοδος είναι η Μηχανική Μάθηση με την εφαρμογή μοντέλων όπως οι αλγόριθμοι παλινδρόμησης, μπορεί να εκπαιδευτεί να προβλέπει τα επίπεδα υγρασίας με βάση τις δορυφορικές εικόνες. Τα δεδομένα υγρασίας του εδάφους μπορούν να συνδυάσουν τα δορυφορικά δεδομένα με πραγματικά δεδομένα υγρασίας του εδάφους για βελτιωμένες εκτιμήσεις. Άλλη μέθοδος είναι η παρακολούθηση αλλαγών χρονικά, καθώς η παρακολούθηση της εξέλιξης της καλλιέργειας μέσα σε διαφορετικές χρονικές περιόδους μπορεί να αναδείξει την δυναμική της υγρασίας. Συχνά, ο συνδυασμός διαφορετικών δεικτών μπορεί να παρέχει πιο ολοκληρωμένη εικόνα της υγρασίας. Τέλος η χρήση δορυφορικών δεδομένων σε συνδυασμό με κλιματικές παραμέτρους μπορεί να παρέχει εκτεταμένη κατανόηση της υγρασίας.

8.1.2. Μέθοδος εφαρμογής υπολογισμού υγρασίας

Αν εξετάσουμε τον συνδυασμό διαφόρων δεικτών στο πλαίσιο του υπολογισμού της υγρασίας καλλιεργειών από δορυφορικές εικόνες, η μηχανική μάθηση είναι μια προσέγγιση που επιτρέπει στους αλγορίθμους να μάθουν από δεδομένα και να προβλέπουν την επίδοση σε νέα, μη γνωστά δεδομένα. Για τον υπολογισμό της υγρασίας των καλλιεργειών από δορυφορικές εικόνες, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα μοντέλα μηχανικής μάθησης με συνδυασμό δεδομένων υγρασίας πεδίου για την επικύρωση και την χρήση του μοντέλου παλινδρόμησης, όπου προσπαθεί να προβλέψει (π.χ. τα επίπεδα υγρασίας) με έναν αριθμητικό τύπο και με βάση τα χαρακτηριστικά της εικόνας. Άλλη μέθοδος είναι ο συνδυασμός διαφόρων δεικτών ή μεγεθών για τον υπολογισμό της υγρασίας. Κατά τον συνδυασμό αυτό, διάφοροι δείκτες όπως οι NDVI, NDMI, και άλλοι μπορούν να συνενωθούν για να παρέχουν ολοκληρωμένη εικόνα της υγείας της βλάστησης και της υγρασίας. Ο συνδυασμός αυτός μπορεί να γίνει μέσω διάφορων μεθόδων, συμπεριλαμβανομένης της

απλής μέσης τιμής, βαρυστημένων συνδυασμών ή ακόμα και με χρήση μηχανικής μάθησης για την βέλτιστη συνδυαστική εκτίμηση. Όπως προαναφέρθηκε στο Κεφάλαιο 2.2.2.9, ο δείκτης NDMI ανιχνεύει τα επίπεδα υγρασίας στην βλάστηση χρησιμοποιώντας έναν συνδυασμό φασματικών ζωνών από το εγγύς υπέρυθρο (NIR) και το βραχύ υπέρυθρο (SWIR).

8.1.3. Μεθοδολογία υπολογισμού υγρασίας

Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τις καλλιέργειες της περιοχής μελέτης, χρησιμοποιώντας τον Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υγρασίας (NDMI). Αρχικά, υπολογίσθηκαν οι τιμές του NDMI για τις καλλιέργειες σε διάφορες χρονικές περιόδους. Τα αποτελέσματα έδωσαν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την υγρασία των υπολειμμάτων των καλλιεργειών κατά την περίοδο συγκομιδής. Ο NDMI βοήθησε να εκτιμηθεί η υγρασία της βλάστησης και των υπολειμμάτων καλλιεργειών, επιτρέποντάς να εντοπίσουμε περιοχές με αυξημένη ή μειωμένη υγρασία. Οι υψηλές τιμές του NDMI υποδηλώνουν υψηλή περιεκτικότητα σε υγρασία, ενώ αντιθέτως οι χαμηλές τιμές υποδηλώνουν χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία.

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

- **Δειγματοληψία και Κατηγοριοποίηση Καλλιεργειών Ανά Χρονιά:** Καταγράψαμε τα δεδομένα καλλιεργειών για κάθε έτος χρησιμοποιώντας δειγματοληψία όπως αναλύθηκε σε προηγούμενο Κεφάλαιο. Η κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών χρησιμοποιήθηκε ανά έτος για την σύγκριση με τις τιμές του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υγρασίας (NDMI) για να προσδιορισθεί το ποσοστό υγρασίας που έχει κάθε εξεταζόμενη καλλιέργεια κατά την περίοδο συγκομιδής.
- **Σύγκριση με τους Χάρτες Κατηγοριοποίησης Καλλιεργειών:** Συγκρίναμε τις τιμές του NDMI με τους χάρτες που δημιουργήσαμε προηγουμένως, όπου οι καλλιέργειες είχαν κατηγοριοποιηθεί ανά έτος. Αυτή η σύγκριση μας επέτρεψε να εξάγουμε τα ποσοστά υγρασίας για κάθε καλλιέργεια στην περιοχή μελέτης σε ετήσια βάση. Οι υψηλές τιμές του NDMI αντιστοιχούν σε υψηλότερη υγρασία, ενώ οι χαμηλές τιμές υποδεικνύουν χαμηλότερη υγρασία.
- **Βιβλιογραφική Αναφορά Ποσοστών Υγρασίας:** Βασισμένοι στην βιβλιογραφία, αναζητήσαμε και καταγράψαμε τα ποσοστά υγρασίας των υπολειμμάτων καλλιεργειών κατά την περίοδο μετά την συγκομιδή. Αυτές οι τιμές χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των ποσοστών υγρασίας για κάθε τύπο καλλιέργειας μετά την αφαίρεση του ποσοστού υγρασίας, επιτρέποντάς να προχωρήσουμε σε ακριβείς υπολογισμούς της καθαρής βιομάζας.
- **Υπολογισμός Καθαρής Βιομάζας Ανά Στρέμμα:** Με βάση τον συντελεστή τόνου/στρέμμα και τα ποσοστά υγρασίας των υπολειμμάτων μετά την συγκομιδή, υπολογίσαμε την πραγματική καθαρή βιομάζα ανά στρέμμα. Αυτή η διαδικασία επέτρεψε να εξάγουμε τον υπολογισμό της καθαρής βιομάζας χωρίς υγρασία για κάθε καλλιέργεια.

- **Εφαρμογή των Υπολογισμών στα Δεδομένα Κατηγοριοποίησης:** Εφαρμόσαμε τους υπολογισμούς της καθαρής βιομάζας ανά στρέμμα στα δεδομένα της κατηγοριοποίησης ανά έτος για να προσδιορίσουμε τον μέσο όρο των διαθέσιμων τόνων βιομάζας σε βάθος πενταετίας. Αυτό επέτρεψε να καταλήξουμε σε ένα συμπέρασμα για την διαθέσιμη βιομάζα στην περιοχή μελέτης.

8.1.4. Αποτελέσματα υπολογισμού υγρασίας

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

Παρακάτω παρουσιάζονται οι πίνακες που απεικονίζουν τα δεδομένα που συλλέχθηκαν και αναλύθηκαν. Οι πίνακες περιλαμβάνουν τις εκτάσεις των καλλιεργειών ανά έτος, τα ποσοστά υγρασίας των υπολειμμάτων μετά την συγκομιδή, καθώς και τους υπολογισμούς της καθαρής βιομάζας ανά στρέμμα. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων επιτρέπει να εξάγουμε συμπεράσματα για την τάση 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 Η8.1.4.1: 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 Η8.1.4.2: Μ.Ο. Ποσοστό Υγρασίας ανά Έτος ανά Καλλιέργεια.

Για την ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων, δημιουργήθηκαν πίνακες που περιέχουν τις πληροφορίες σχετικά με την υγρασία κατά την περίοδο συγκομιδής και μετά την συγκομιδή, τον τόνο υπολειμμάτων ανά στρέμμα σύμφωνα με τις βιβλιογραφικές πηγές, καθώς και την καθαρή βιομάζα χωρίς υγρασία ανά στρέμμα. Οι υπολογισμοί είναι σημαντικοί για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την διαθέσιμη βιομάζα στην περιοχή μελέτης.

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 Η8.1.4.3: Ποσοστά Υγρασίας και υπολογισμός καθαρής Βιομάζας ανά Καλλιέργεια.

Τα δεδομένα στον παραπάνω πίνακα αναλύονται ως εξής:

- Υγρασία Συγκομιδής - NDMI: αναφέρεται στο ποσοστό υγρασίας των καλλιεργειών κατά την περίοδο συγκομιδής, όπως προσδιορίστηκε μέσω του δείκτη NDMI.
- Υγρασία Υπολειμμάτων: αναφέρεται στο ποσοστό υγρασίας των υπολειμμάτων καλλιεργειών μετά την συγκομιδή, όπως βρέθηκε από βιβλιογραφικές πηγές.
- Τόνος/Στρέμμα Υπολειμμάτων: αναφέρεται στην ποσότητα υπολειμμάτων βιομάζας ανά στρέμμα.
- Βιομάζα Χωρίς Υγρασία (Τόνος/Στρέμμα): αναφέρεται στην καθαρή βιομάζα χωρίς υγρασία 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 βάθος πενταετίας, υπολογίζοντας τον μέσο όρο των διαθέσιμων τόνων βιομάζας χωρίς υγρασία για κάθε καλλιέργεια. Αυτή η ανάλυση επιτρέπει να καταλήξουμε σε ακριβή συμπεράσματα σχετικά με την παραγωγική ικανότητα και την αξιοποίηση των υπολειμμάτων καλλιεργειών για βιομάζα.

8.2. Στατιστική ανάλυση εκτίμησης βιομάζας

Στην παρούσα ενότητα, παρουσιάζουμε την εφαρμογή των αποτελεσμάτων των υπολογισμών μας για τις καλλιέργειες καλαμποκιού, βαμβακιού, σιταριού και κριθαριού στην περιοχή μελέτης. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των στρεμμάτων καλλιέργειας ανά έτος και τα ποσοστά υγρασίας, υπολογίσαμε τους συνολικούς τόνους καθαρής βιομάζας, τόνους υπολειμμάτων βιομάζας και τόνους συγκομιδής βιομάζας. Ακολουθώντας, αναλύουμε τα αποτελέσματα που δείχνουν την σταδιακή μείωση της διαθέσιμης βιομάζας από το 2018 έως το 2022.

8.2.1. Εκτίμηση γεωργικής βιομάζας από υπολείμματα καλλιεργειών

Η εκτίμηση της έκτασης των καλλιεργειών έγινε με βάση την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων σε χωρική ανάλυση 10x10m. Τα δεδομένα αυτά επιτρέπουν την ακριβή κατηγοριοποίηση των καλλιεργειών και την εκτίμηση της έκτασης σε στρέμματα. Η χρήση των δεικτών NDMI επέτρεψε να προσδιορίσουμε την υγρασία της συγκομιδής, ενώ τα βιβλιογραφικά δεδομένα παρείχαν πληροφορίες για την υγρασία των υπολειμμάτων μετά την συγκομιδή. Με την αφαίρεση των ποσοστών υγρασίας από την αρχική ποσότητα βιομάζας, καταλήξαμε στην εκτίμηση της καθαρής βιομάζας 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
ΣΥΝΟΛΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ 2018-2022	802.148,60	167.114,29	208.892,86	522.315,02
Μ.Ο. 5 ΕΤΩΝ	160.429,72	33.422,86	41.778,57	104.463,00

Πίνακας Η8.2.1.1: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας, τόνων 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
ΣΥΝΟΛΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ 2018-2022	1.457.083,50	439.637,26	523.377,69	1.336.515,46
Μ.Ο. 5 ΕΤΩΝ	291.416,70	87.927,45	104.675,54	267.303,09

Πίνακας Η8.2.1.2: 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
ΣΥΝΟΛΟ ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΩΝ 2018-2022	1.077.655,60	234.272,96	275.615,24	605.928,98
Μ.Ο. 5 ΕΤΩΝ	215.531,12	46.854,59	55.123,05	121.185,80

Πίνακας Η8.2.1.3: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας , τόνοι συγκομιδής βιομάζας και τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια σιτηρών.

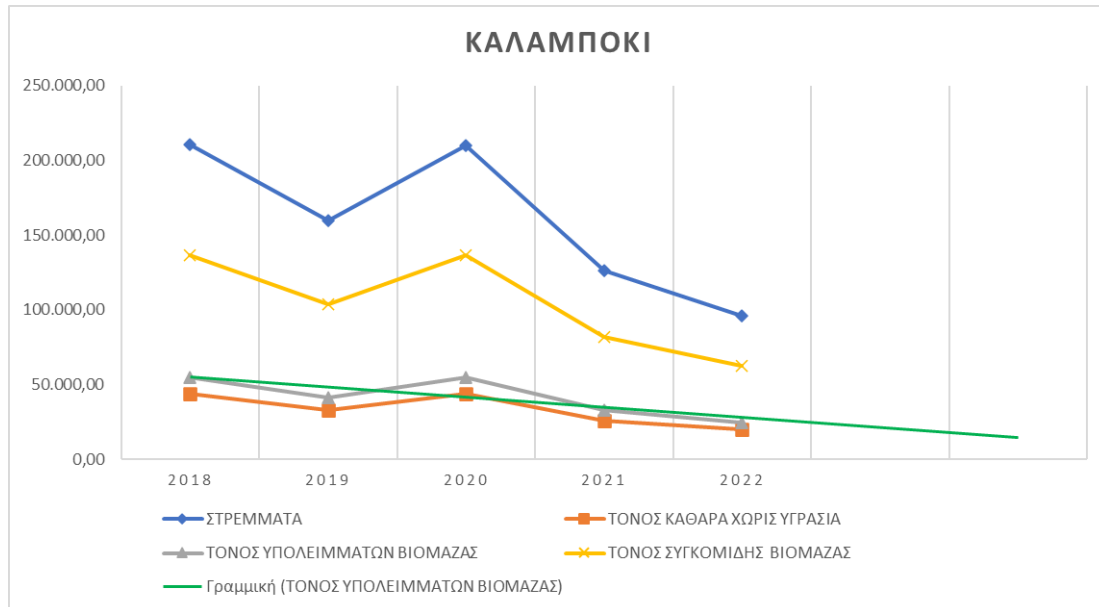
ΚΡΙΘΑΡΙ	ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ	ΤΟΝΟΙ ΧΩΡΙΣ ΥΓΡΑΣΙΑ	ΤΟΝΟΙ ΥΠΟΛΛΕΙΜΑΤΩΝ ΒΙΟΜΑΖΑΣ	ΤΟΝΟΙ ΣΥΓΚΟΜΙΔΗΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ
2018	144.172,10	34.146,02	39.704,68	75.804,50
2019	166.505,70	39.435,56	45.855,30	87.547,32
2020	56.008,60	13.265,19	15.424,65	29.448,86
2021	84.384,10	19.985,71	23.239,20	44.368,46
2022	135.048,10	31.985,08	37.191,95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

Πίνακας Η8.2.1.4: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας , τόνοι συγκομιδής βιομάζας και τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια κριθαριού.

8.3. Αποτελέσματα και Ανάλυση

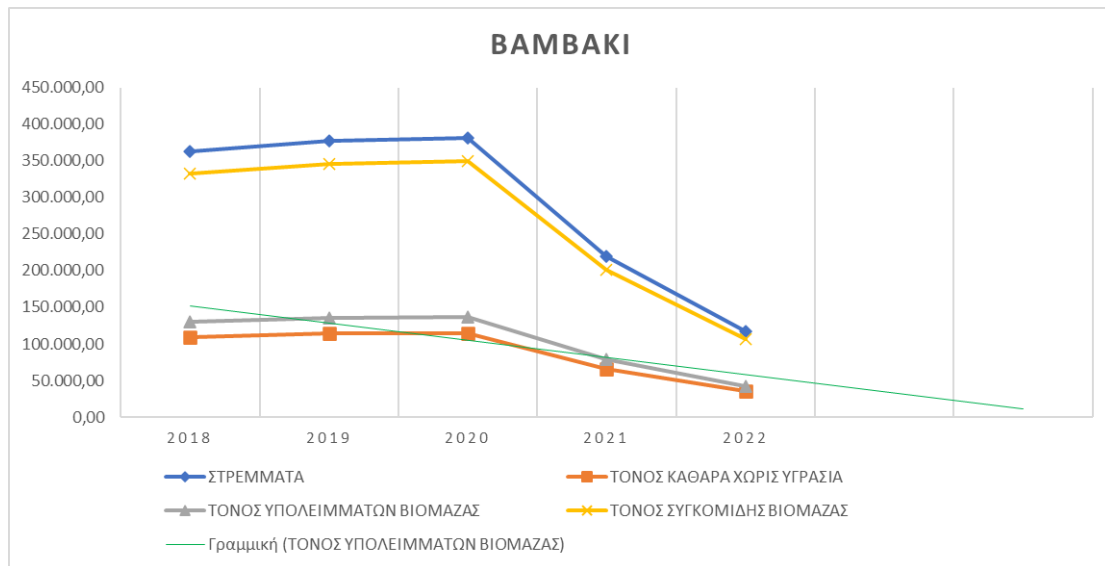
Από τα δεδομένα των παραπάνω πινάκων, παρατηρείται μια σταδιακή μείωση της διαθέσιμης βιομάζας στην περιοχή μελέτης για τις καλλιέργειες καλαμποκιού, βαμβακιού, σιταριού και κριθαριού.

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



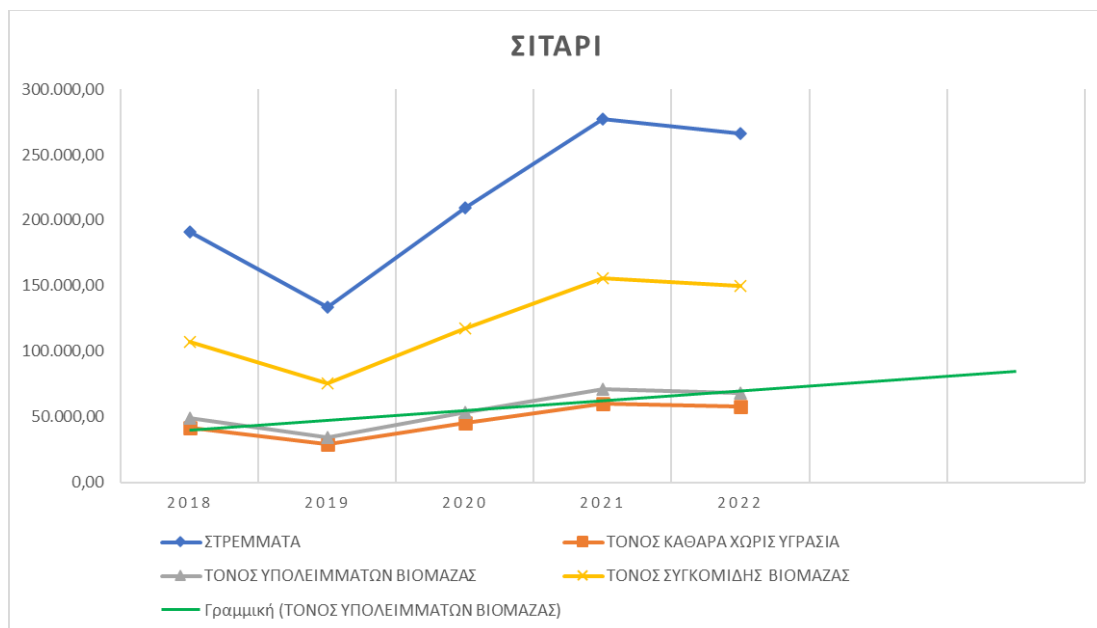
Διάγραμμα Η8.3.1: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας, τόνοι συγκομιδής βιομάζας, τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια καλαμποκιού και γραμμικής πρόβλεψης διαθέσιμης βιομάζας.

Βαμβάκι: Η συνολική διαθέσιμη βιομάζα (τόνοι συγκομιδής) μειώθηκε από 332.869,13 τόνους το 2018 σε 107.014,63 τόνους το 2022. Αυτό αντιστοιχεί σε απότομη μείωση σε ποσοστό 67,85%.



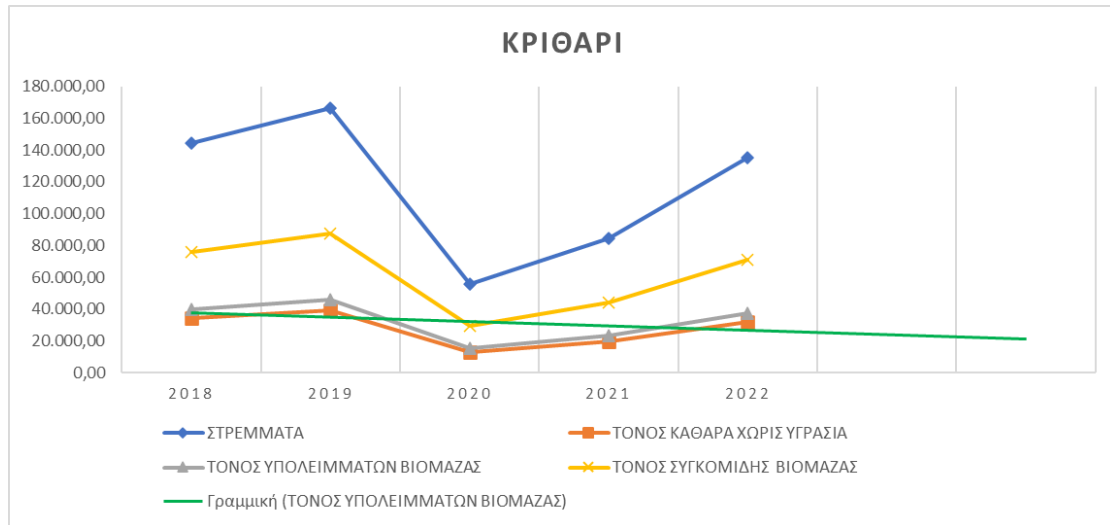
Διάγραμμα Η8.3.2: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας, τόνοι συγκομιδής βιομάζας, τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια βαμβακιού και γραμμικής πρόβλεψης διαθέσιμης βιομάζας.

Σιτάρι: κατά τα έτη 2018-2022, με αύξηση της διαθέσιμης βιομάζας από 107.524,02 τόνους το 2018 σε 149.524,21 τόνους το 2022 φανερώνει την αύξηση κατά 39,06%.



Διάγραμμα Η8.3.3: Υπολογισμός τόνων υπολειμμάτων βιομάζας, τόνοι συγκομιδής βιομάζας, τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιέργεια σιτηρών και γραμμικής πρόβλεψης διαθέσιμης βιομάζας.

Κριθάρι: Η συνολική διαθέσιμη βιομάζα κρατήθηκε σε σταθερά επίπεδα από 75.804,50 τόνους το 2018 σε 71.007,17 τόνους το 2022 με έντονη μείωση το 2020 που θεωρούμε λόγω της Παγκόσμια υγειονομικής κρίσης (Covid19).



Διάγραμμα H8.3.4: 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 μείωση της διαθέσιμης βιομάζας, η οποία μπορεί να αποδοθεί σε πολλαπλούς παράγοντες, όπως κλιματικές αλλαγές, περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και οικονομικούς και τεχνικούς παράγοντες που επηρεάζουν τις γεωργικές πρακτικές. Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων επιτρέπει να εξαγάγουμε συμπεράσματα για την μακροπρόθεσμη βιωσιμότητα των καλλιεργειών και να προτείνουμε μέτρα βελτίωσης της παραγωγικότητας και διαχείρισης των αγροτικών πόρων. Η εκτίμηση δείχνει ότι τα επόμενα έτη οι καλλιέργειες θα εξάγουν λιγότερους τόνους υπολειμμάτων- βιομάζας εκτός του σιταριού και του κριθαριού που εμφανίζει πρόβλεψη αύξησης των τόνων υπολειμμάτων βιομάζας.

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

Πίνακας H8.3.1: Υπολογισμός του 2% τόνων καθαρής βιομάζας προς αξιοποίηση ανά έτος καλλιεργειών ανά έτος και ανά ημερήσιας αξιοποίησης.

Με βάση την διαθέσιμη βιομάζα 11,01 τόνων υπολειμμάτων σύμφωνα με την παραδοχή από τις καλλιέργειες βαμβακιού, καλαμποκιού, σιτηρών και κριθαριού, μια καλή διαστασιολόγηση βιοεργοστασίου που θα εκμεταλλεύεται αυτά τα υπολείμματα βιομάζας οδηγεί στην πρόταση για δημιουργία Βιοεργοστασίου Παραγωγής Βιοαιθανόλης όπου βιοκαύσιμο παράγεται από βιομάζα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα αυτοκίνητα ως εναλλακτική πηγή ενέργειας.

Η εκτίμηση της παραγωγής βιοαιθανόλης από 11,01 τόνους υπολειμμάτων βιομάζας ανά ημέρα είναι περίπου 3,5 τόνοι βιοαιθανόλης, χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες διαδικασίες μετατροπής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καυσάεριο για αυτοκίνητα, μειώνοντας την εξάρτηση από τα παραδοσιακά ορυκτά καύσιμα και μειώνοντας τις εκπομπές αερίων θερμοκηπίου. Επίσης η παραγωγή οργανικών λιπασμάτων όπου αποδίδεται στους αγρότες με στόχο την εδαφική υγεία και βελτιώνοντας την παραγωγικότητα των καλλιεργειών, προσφέροντας ταυτόχρονα φυσικά στοιχεία και θρεπτικά στοιχεία στο έδαφος.

Χρησιμοποιώντας τις διαδικασίες κομποστοποίησης ή χύδηνα, η βιομάζα μπορεί να μετατραπεί σε οργανικά λιπάσματα. Η εκτίμηση για την παραγωγή οργανικών λιπασμάτων από 11 τόνους υπολειμμάτων βιομάζας ανά ημέρα είναι περίπου 3,22 τόνοι οργανικών λιπασμάτων. Η χρήση της οργανικής βιομάζας μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμα οργανικά λιπάσματα που ενισχύουν την εδαφική υγεία και την παραγωγικότητα των καλλιεργειών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Θ. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η παρούσα μελέτη είχε ως στόχο την εκτίμηση της διαθέσιμης βιομάζας από γεωργικά υπολείμματα στον νομό Καρδίτσας, χρησιμοποιώντας δορυφορικές τεχνικές και γεωχωρική ανάλυση. Μέσα από μια σειρά από επιστημονικές διαδικασίες και υπολογισμούς, καταλήξαμε σε σημαντικά συμπεράσματα που μπορούν να συμβάλουν στην καλύτερη διαχείριση των γεωργικών υπολειμμάτων και στην προώθηση της βιομάζας ως ΑΠΕ.

Η εκτίμηση της έκτασης των καλλιεργειών έγινε με βάση τα εικονοστοιχεία των δορυφορικών εικόνων, τα οποία είχαν χωρική ανάλυση 10x 10m. Αυτή η προσέγγιση εξασφάλισε υψηλή ακρίβεια στον υπολογισμό της έκτασης των καλλιεργειών. Η εφαρμογή μασκών για την απομόνωση της μελετώμενης περιοχής και την αφαίρεση των υδάτινων επιφανειών συνέβαλε στην βελτίωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων, εξασφαλίζοντας ότι οι υπολογισμοί αφορούσαν μόνο τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Η χρήση Δεικτών βλάστησης μπορεί να υποδείξει διαχρονικά την υγεία των καλλιεργειών. Επίσης η χρήση του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Υγρασίας (NDMI) αποδείχθηκε ιδιαίτερα αποτελεσματική για την εκτίμηση των ποσοστών υγρασίας κατά την περίοδο συγκομιδής. Η σύγκριση των τιμών του NDMI με τους χάρτες κατηγοριοποίησης καλλιεργειών, που προέκυψαν από την φασματική ανάλυση και τις πανοραμικές εικόνες, επέτρεψε την σχετικά ακριβή εκτίμηση της υγρασίας για κάθε τύπο καλλιέργειας.

Η αφαίρεση των ποσοστών υγρασίας από τα συνολικά γεωργικά υπολείμματα μας οδήγησε σε ακριβείς υπολογισμούς της καθαρής βιομάζας ανά στρέμμα. Οι συντελεστές τόνου/στρέμμα για κάθε καλλιέργεια, που προέκυψαν από την ανάλυση των δεδομένων και την βιβλιογραφία, χρησιμοποιήθηκαν για να προσδιοριστεί η πραγματική διαθέσιμη βιομάζα χωρίς υγρασία.

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

Η μελέτη αυτή επιβεβαίωσε την αξία της Τηλεπισκόπησης και των δεικτών υγρασίας στην γεωργική έρευνα, προσφέροντας νέα εργαλεία και μεθόδους για την εκτίμηση της βιομάζας και την 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.

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ-ΑΣΤΟΧΙΕΣ

Η εφαρμογή δοκιμών κατηγοριοποίησης για την βελτιστοποίηση της μελέτης συνάντησε αρκετές δυσκολίες. Ο όγκος των δεδομένων και η μεγάλη έκταση της περιοχής μελέτης προκάλεσαν δυσλειτουργία στην διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων. Η έλλειψη του λογισμικού και των διαθέσιμων μέσων επεξεργασίας για την αποτελεσματική επεξεργασία των αλγορίθμων επιδείνωσε την διαχείριση τους.

Η χρήση πολλών διαφορετικών λογισμικών για την τροποποίηση των δεδομένων αποδείχθηκε αρκετά χρονοβόρα για σφάλματα κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας μέχρι την τελική εφαρμογή. Επιπλέον, παρατηρήθηκαν διαφορές στα αποτελέσματα (π.χ. δείκτες, κατηγοριοποίηση καλλιεργειών) από την χρήση των ίδιων δεδομένων.

Η εύρεση κατάλληλων δεδομένων σε ικανοποιητική χωρική ανάλυση αποτέλεσε επίσης μια δυσκολία, κυρίως λόγω των ισχυρών νεφοκαλύψεων στις ημερομηνίες που επιλέξαμε για την μελέτη. Μια άλλη σημαντική δυσκολία ήταν η έλλειψη βιβλιοθήκης φασματικών προφίλ καλλιεργειών, η οποία μας ανάγκασε να στηριχθούμε σε χειροκίνητη αξιολόγηση των δειγμάτων. Αυτή η διαδικασία αύξησε τον χρόνο επεξεργασίας και την πιθανότητα για σφάλματα. Η αδυναμία επιτόπιας επικύρωσης των δεδομένων λόγω έλλειψης εξοπλισμού και της δυνατότητας παραμονής στην περιοχή κατά τους μήνες που εξετάστηκαν οι καλλιέργειες, μας ανάγκασε να στηριχθούμε σε πανοραμικές φωτογραφίες Google για την επικύρωση των καλλιεργειών.

Τέλος, η έλλειψη δεδομένων από δημόσιους φορείς για την ολοκληρωτική επικύρωση των αποτελεσμάτων της μελέτης αποτέλεσε σημαντικό περιορισμό. Η μη ύπαρξη επίσημων δεδομένων για όλα τα έτη μελέτης περιορίσε την δυνατότητα για πλήρη και ακριβή επικύρωση των αποτελεσμάτων και την ενίσχυση της αξιοπιστίας όλων των συμπερασμάτων της μελέτης. Ως προς τις αστοχίες υπήρξαν στον υπολογισμό δύο καλλιεργειών ως προς την έκταση τους και, κατ' επέκταση, της διαθέσιμης βιομάζας για εκμετάλλευση. Η εφαρμογή μπορεί να βελτιωθεί με την ύπαρξη περισσότερων κατηγοριοποιήσεων, οδηγώντας σε υποδιαίρεση των πιθανών άλλων καλλιεργειών που συμπεριλήφθηκαν στις συγκεκριμένες λόγω του παρόμοιου φασματικού προφίλ.

Η ολοκλήρωση της μελέτης αντιμετώπισε καθυστερήσεις ως προς το χρονοδιάγραμμα λόγω των μεγάλων χρόνων επεξεργασίας των λογισμικών ή των αστοχιών των αλγορίθμων λόγω υπερφόρτωσης. Οι πολύωρες διαδικασίες επεξεργασίας των δεδομένων από τα λογισμικά και οι αστοχίες των αλγορίθμων δημιούργησαν πρόσθετες προκλήσεις στην επίτευξη των αρχικά ορισμένων στόχων της μελέτης.

ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Η μεθοδολογία και τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης μπορούν να επεκταθούν και να εφαρμοστούν σε άλλες περιοχές με διαφορετικές γεωγραφικές και κλιματικές συνθήκες. Σαφώς οι εφαρμογές μπορούν να βελτιωθούν και να επεκταθούν με την χρήση υψηλότερης χωρικής ανάλυσης εικόνων οι οποίες θα επιτρέψει την βελτιστοποίηση της ανάλυσης, παρέχοντας πιο ακριβείς εκτιμήσεις για την διαθέσιμη βιομάζα και τα γεωργικά υπολείμματα.

Επιπλέον, η επικύρωση των αποτελεσμάτων από το πεδίο με φασματικές μετρήσεις είναι κρίσιμη για την βελτίωση της ακρίβειας. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, είτε μέσω φασματικών μηχανημάτων, είτε με την χρήση UAV (Unmanned Aerial Vehicles), που επιτρέπουν την κάλυψη μεγαλύτερων εκτάσεων και την βελτιστοποίηση της δειγματοληψίας και της κατηγοριοποίησης των εκτάσεων.

Η χρήση ταχύτερων λογισμικών και προηγμένων υπολογιστικών μηχανημάτων είναι απαραίτητη για την βελτιστοποίηση του χρόνου επεξεργασίας των δεδομένων. Αυτές οι τεχνολογίες μπορούν να μειώσουν σημαντικά τον χρόνο που απαιτείται για την ανάλυση των δεδομένων, καθιστώντας την διαδικασία πιο αποδοτική και αποτελεσματική.

Ωστόσο, όλες αυτές οι βελτιώσεις συνεπάγονται αύξηση του κόστους χρήσης και μελέτης. Η εφαρμογή υψηλότερης χωρικής ανάλυσης, η χρήση προηγμένων τεχνολογιών για την επικύρωση των δεδομένων από το πεδίο, και η ανάγκη για γρήγορη επεξεργασία δεδομένων με προηγμένα λογισμικά και μηχανήματα, απαιτούν σημαντικούς πόρους. Παρόλα αυτά, οι επενδύσεις αυτές είναι απαραίτητες για την προώθηση της βιώσιμης γεωργίας και της βιομάζας ως ΑΠΕ, καθώς θα οδηγήσουν σε πιο ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα, βελτιώνοντας την διαχείριση των γεωργικών εκτάσεων και την αξιοποίηση των γεωργικών υπολειμμάτων.

Συνολικά, τα αποτελέσματα της μελέτης υπογραμμίζουν την σημασία της χρήσης προηγμένων δορυφορικών τεχνικών και γεωχωρικής ανάλυσης για την εκτίμηση της διαθέσιμης βιομάζας και την βιώσιμη διαχείριση των 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 Gasmil/ 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/ Ryozi 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 1*, 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. Bannan/ 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 Vinícius Coelho Vieira da Costa/ Osmar Luiz Ferreira de Carvalho/ Alex Gois Orlandi/ Issao Hirata/ Anesmar Olino 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.

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. Μωυσιάδης*, 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. ΞΥΝΟΓΑΛΑΣ*, Βαθμονόμηση Αναλογικών Μηχανών Αεροφωτογράφησης με τη Χρήση Πεδίου Ελέγχου, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΕΜΠ, 2010.

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- https://ptsmi.co.id/cfind/source/files/smi_insight_q3_2017_eng.pdf
- https://www.researchgate.net/figure/Flowchartofthetwotypesofmethodsusedforth assessmentofbioenergypotential_fig1_336980600
- https://www.google.com/search?q=Bioenergy+and+gis+remote+sensing&tbm=isch&ved=2ahUKewihsefmz0r6AhWX57sIHdURDcQ2cCegQIABAA&oq=Bioenergy+and+gis+remote+sensing&gs_lcp=CgNpbWcQAzoECAAAQz0GCAAQHhAHOGQIIxAnOGQIAB AeOgQIABATOGgIABAeEAgQEzoGCAAQHhATUIQJWM9xYN9zaAZWAHAgAgAGaBlgB7iS SAQgwLjMyLjUtMZgBAKABAaoBC2d3cy13aXotaW1nwAEB&sclient=img&ei=XLccY6G TCZfP7 UP1aO8uA4&bih=859&biw=1303&hl=el#imgrc=QP1e8RiBI8wkQM
- https://www.researchgate.net/figure/illustratesalargebioenergysystemshowingman yofthekeymaterialandenergyflows_fig1_276278919
- 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.mdpi.com/journal/remotesensing/special_issues/msdf_rs
- <http://archive.eclass.uth.gr/eclass/modules/document/file.php/DIB229/camera%20 calibration.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.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=
- <https://penteli.meteo.gr/stations/karditsatown/NOAAPRYR.TXT>
- <https://penteli.meteo.gr/stations/karditsatown/>
- <https://coinmarketcap.com/>