



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΑΣΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΜΙΧΑΛΗΣ ΚΑΡΤΕΡΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΗΤΑΣ**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΗΣ
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΑΠΟ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ**

**ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΤΟΥ
ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΑΚΗ**

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2008

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα.....	2
Κατάλογος εικόνων.....	4
Κατάλογος πινάκων	6
Περίληψη	7
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή	8
Κεφάλαιο 2: Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας.....	11
2.1 Ο ρόλος της τηλεπισκόπησης στη μελέτη και διαχείριση των φυσικών πόρων και στην προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων	11
2.2 Ο ρόλος της τηλεπισκόπησης στην παρακολούθηση της βλάστησης	14
2.3 Δείκτες βλάστησης.....	16
2.4 Το CORINE Land Cover	20
2.5 Σύνοψη 2 ^{ου} Κεφαλαίου	21
Κεφάλαιο 3: Περιγραφή της περιοχής μελέτης	23
3.1 Η περιοχή μελέτης	23
3.2 Σύνοψη 3 ^{ου} Κεφαλαίου	29
Κεφάλαιο 4: Δεδομένα και προεπεξεργασία δεδομένων.....	30
4.1 Τα δεδομένα.....	30
4.2 Προεπεξεργασία των δεδομένων	32
4.3 Σύνοψη 4ου κεφαλαίου.....	35
Κεφάλαιο 5: Αξιολόγηση της ικανότητας των δεικτών βλάστησης να διαχωρίζουν τις κλάσεις των χρήσεων / κάλυψης γης του CORINE Land Cover.....	36
5.1 Αξιολόγηση με τη χρησιμοποίηση του συντελεστή κύμανσης	36
5.2 Αξιολόγηση με τη χρησιμοποίηση του λόγου ευαισθησίας (Sensitivity Ratio)	
5.3 Συμπεράσματα 5ου κεφαλαίου	45
Κεφάλαιο 6: Αξιολόγηση των δεικτών βλάστησης ως προς την ικανότητά τους για επιχειρησιακή παρακολούθηση της βλάστησης	46
6.1 Έκθεση στον ορίζοντα (aspect)	46
6.2 Η γωνία του αισθητήρα (viewing angle)	49
6.3 Κορεσμός στο σήμα του δείκτη (signal saturation).....	52
6.4 Μερική νεφοκάλυψη των εικονοστοιχείων (partially cloud covered pixels) ..	55
6.5 Συμπεράσματα 6 ^{ου} κεφαλαίου	59

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα	61
Βιβλιογραφία	64
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Η κατηγοριοποίηση του CORINE Land Cover (1)	69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα MODIS.....	71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Δημοσίευση που προέκυψε από τη συγγραφή της μεταπτυχιακής διατριβής (1)	72
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: Δημοσίευση που προέκυψε από τη συγγραφή της μεταπτυχιακής διατριβής (2)	78

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1. Το κλιματικό διάγραμμα EMBERGER.....	24
Εικόνα 2. Η εξάπλωση των ειδών που καθορίζουν τις ζώνες βλάστησης στην Ελλάδα στο βιοκλιματικό διάγραμμα EMBERGER.....	25
Εικόνα 3. Απεικόνιση των ζωνών βλάστησης (υποζώνες).....	27
Εικόνα 4. Διάκριση των 2 κύριων κατηγοριών βλάστησης σύμφωνα με το CORINE Land Cover 2000.....	29
Εικόνα 5. Οι τρεις δορυφορικές εικόνες (tiles) που καλύπτουν τον ελλαδικό χώρο...	31
Εικόνα 6. Η διαδικασία της προεπεξεργασίας των δεδομένων για εξαγωγή δεικτών βλάστησης.....	33
Εικόνα 7. Μοντέλα των δεικτών βλάστησης (NDVI, EVI & SVI) στο Erdas Imagine 9.1.....	34
Εικόνα 8. Οι εξεταζόμενοι δείκτες βλάστησης σε σχέση με τα πολύγωνα του 2ου επιπέδου ταξινόμησης του CORINE Land Cover (από περιοχή της Χαλκιδικής).	37
Εικόνα 9. Μεθοδολογία για την εκτίμηση των συντελεστών κύμανσης.....	39
Εικόνα 10. Απεικόνιση της έκθεσης στον ορίζοντα σε 8 κατηγορίες: (B., B.A., A., N.A., N., N.Δ., Δ., B.Δ.)	47
Εικόνα 11. Τυχαίο δείγμα 1000 σημείων.	48
Εικόνα 12. Μεθοδολογία εξέτασης της επιρροής της έκθεσης στον ορίζοντα στους δείκτες βλάστησης.	48
Εικόνα 13. Απεικόνιση της γωνίας του αισθητήρα με το ζενίθ (sensor zenith angle) την 13/05/2003. (Οι φωτεινότεροι τόνοι του γκρι απεικονίζουν μεγαλύτερες τιμές, δηλαδή μεγαλύτερες γωνίες).	50
Εικόνα 14. Μεθοδολογία εξέτασης της επιρροής της γωνίας του αισθητήρα με το ζενίθ (sensor zenith angle) στους δείκτες βλάστησης.	51
Εικόνα 15. Απεικόνιση του προϊόντος MOD15A2.A του 8ήμερου 9-17/05/2003, μετά από επεξεργασία.	53
Εικόνα 16. Μεθοδολογία εξέτασης της επιρροής του κορεσμού του σήματος των δεικτών βλάστησης.	54

Εικόνα 17. Δύο διαδοχικές ημέρες του προϊόντος /TERRA daily Surface Reflectance (MOD09GHK). Η εικόνα στις 14/05/2003 έχει εμφανώς μεγαλύτερη νεφοκάλυψη απ' την άλλη.	56
Εικόνα 18. Μεθοδολογία για τον έλεγχο της επιρροής των εικονοστοιχείων που παρουσιάζουν μερική νεφοκάλυψη.	57
Εικόνα 19. Επιλογή των εικονοστοιχείων. (Με μπλε απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία που επιλέχθηκαν, με λευκό τα σύννεφα και με κόκκινο η βλάστηση).	58
Εικόνα 20: Poster που παρουσιάστηκε στο Bolzano της Ιταλίας στις 5 Ιουνίου 2007, στα πλαίσια του 27 ^{ου} συνεδρίου της EARSeL.	78

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1. Μετρικό επίδοσης δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης. Γενικό. (Τα έντονα γράμματα δείχνουν το δείκτη βλάστησης με την καλύτερη επίδοση).....	41
Πίνακας 2. Μετρικό επίδοσης δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης στις καλλιεργούμενες εκτάσεις.....	41
Πίνακας 3. Μετρικό επίδοσης δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης στις φυσικές εκτάσεις.....	41
Πίνακας 4. Λόγος ευαισθησίας (Sensitivity Ratio) δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης.....	43
Πίνακας 5 Λόγος ευαισθησίας (Sensitivity Ratio) δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης στις καλλιεργούμενες εκτάσεις	43
Πίνακας 6. Λόγος ευαισθησίας (Sensitivity Ratio) δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης στις φυσικές εκτάσεις.....	44
Πίνακας 7. Η επιρροή της έκθεσης στον ορίζοντα. (Συντελεστές συσχέτισης των δεικτών με την έκθεση στον ορίζοντα).....	49
Πίνακας 8. Η επιρροή της γωνίας του αισθητήρα. (Συντελεστές συσχέτισης των δεικτών με τη γωνία του αισθητήρα).....	52
Πίνακας 9. Η επιρροή της επίδρασης του κορεσμού του σήματος των δεικτών. (Συντελεστές συσχέτισης των δεικτών με το προϊόν LAI του MODIS)	55
Πίνακας 10. Η επιρροή της επίδρασης της μερικής νεφοκάλυψης (Συντελεστές συσχέτισης των δεικτών δύο διαδοχικών ημερών).....	59
Πίνακας 11. Η κατηγοριοποίηση του CORINE Land Cover	69
Πίνακας 12. Τα φασματικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα MODIS ανάλογα με τη χωρική διακριτική του ικανότητα	71

Περίληψη

Η παρακολούθηση της βλάστησης από δορυφορικές εικόνες άρχισε από τις πρώτες σειρές δορυφορικών εικόνων που είχαν οι επιστήμονες στα χέρια τους, οι οποίες ήταν αυτές του δορυφόρου Landsat. Πρόσφατοι δορυφορικοί αισθητήρες, όπως ο MODIS, παρέχουν συχνά δορυφορικά δεδομένα μεγάλης κλίμακας σε διάφορες περιοχές του φάσματος, επιτρέποντας τον υπολογισμό διαφόρων δεικτών βλάστησης οι οποίοι έχουν ορισμένες ιδιότητες, όπως μη ευαισθησία στο εδαφικό υπόστρωμα, στις ατμοσφαιρικές επιρροές και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της πληροφορίας που καταγράφεται κάθε φορά. Εν τούτοις, δεν έχει ξεκαθαριστεί ακόμη ποιος δείκτης βλάστησης έχει την καλύτερη συμπεριφορά για επιχειρησιακή παρακολούθηση μεγάλης κλίμακας ζωνών βλάστησης, όπως οι κλάσεις του προγράμματος CORINE Land Cover (CLC).

Ο σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να ερευνηθεί η επίδοση κάποιων δεικτών βλάστησης στην παρακολούθηση των CLC κατηγοριών βλάστησης, χρησιμοποιώντας δεδομένα του δορυφόρου Terra του αισθητήρα MODIS. Αυτό επιτεύχθηκε εκτιμώντας την ικανότητα των δεικτών αυτών να διακρίνουν μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών βλάστησης του CORINE, καθώς και την ευαισθησία τους σε παράγοντες όπως η έκθεση στον ορίζοντα (aspect), η γωνία του αισθητήρα (viewing angle), ο κορεσμός που παθαίνει το σήμα του δείκτη (signal saturation) και η μερική νεφοκάλυψη (partial cloud cover), έτσι ώστε να αξιολογηθεί η ικανότητα των δεικτών να παρακολουθούν επιχειρησιακά τη βλάστηση.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι ο Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης – Enhanced Vegetation Index (EVI) είναι καλύτερος στο να διακρίνει μεταξύ των κατηγοριών βλάστησης του CORINE, αλλά όχι πάντα ο καλύτερος στα τεστ που έγιναν για την επιχειρησιακή του εφαρμογή.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

Η κατάσταση της βλάστησης είναι μια παράμετρος με μεγάλη σημασία για τις μεσογειακές περιοχές, επειδή συνδέεται άμεσα με δύο πολύ σημαντικές παραμέτρους: α) Με τον κίνδυνο έναρξης πυρκαγιάς, καθώς και β) με την παραγωγή των γεωργικών προϊόντων. Η παρακολούθηση της βλάστησης είναι χρήσιμη για διεθνείς και εθνικές υπηρεσίες οι οποίες συντάσσουν σχέδια πρόληψης πυρκαγιών (Πολιτική Προστασία), που αποζημιώνουν για ζημιές στην παραγωγή και αναπτύσσουν και εφαρμόζουν πολιτικές σε εθνικό επίπεδο. Στην Ευρώπη, η παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης καθοδηγείται από κανονισμούς, όπως το Forest Focus (2003/2452/EC), συστήματα υποστήριξης για παραγωγούς συγκεκριμένων καλλιεργειών (1999/1251/EC) και υποστήριξη για αγροτική ανάπτυξη από την European Agricultural Guidance and Guarantee Fund (1999/1257/EC). Η παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης σε εθνικό επίπεδο για τους προαναφερθέντες σκοπούς, μπορεί να είναι πολύ δαπανηρή αν βασίζεται και σε επίγειες έρευνες και παρατηρήσεις, ή μπορεί να είναι μεροληπτική αν βασίζεται σε δευτερογενείς στατιστικές επεξεργασίες (Droogers 2002, Biggs et al. 2006).

Η συμβολή της τηλεπισκόπησης στην παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης είναι πολύ σημαντική, με σημαντικές εφαρμογές όπως: Παρακολούθηση και εκτίμηση των διαχρονικών αλλαγών και εξελίξεων και χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης και των καμμένων εκτάσεων. Η συμβολή αυτή άρχισε από τις πρώτες εκτοξεύσεις των δορυφόρων της σειράς Landsat. Η βλάστηση παρακολουθείται από δορυφόρους που δίνουν δορυφορικές εικόνες μικρής κλίμακας για να παρέχουν γνώση για την κατάσταση των φυσικών οικοσυστημάτων, την παραγωγή των καλλιεργειών και την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς (Katagis et al., 2006). Συχνά η παρακολούθηση της βλάστησης με δορυφορικά δεδομένα πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας δείκτες βλάστησης, οι οποίοι είναι φασματικοί μετασχηματισμοί από δύο ή περισσότερους διαύλους. Η χρησιμότητα των δεικτών βλάστησης είναι πολύ μεγάλη, καθώς επιτρέπουν εύκολο υπολογισμό και ερμηνεία των αποτελεσμάτων και ταυτόχρονα ελαχιστοποιούνε ραδιομετρικές, ατμοσφαιρικές και τοπογραφικές επιρροές. Κατά καιρούς έχουν προταθεί πολλοί δείκτες βλάστησης οι οποίοι παρέχουν πληθώρα πλεονεκτημάτων (Silleos et al., 2006).

Επίσης κατά καιρούς έχουν γίνει συγκρίσεις μεταξύ των δεικτών βλάστησης με διάφορες μεθόδους όπως χρησιμοποιώντας τη θεωρία των πιθανοτήτων (Vaioroulos et al., 2004), ανάλυση παλινδρόμησης (Lawrence and Ripple, 1998) και ανάλυση ευαισθησίας (Ji and Peters, 2007). Ωστόσο όμως δεν έχει ξεκαθαριστεί ποιος δείκτης βλάστησης έχει καλύτερη συμπεριφορά όσον αφορά την επιχειρησιακή παρακολούθηση της βλάστησης για μεγάλα συνεχή τμήματα βλάστησης όπως οι κλάσεις του CORINE. Δεν έχει παρουσιαστεί καμία συγκριτική μέθοδος που να λαμβάνει υπόψη το πόσο καλά διαχωρίζει ένας δείκτης βλάστησης τις κλάσεις αυτές του CORINE ή άλλου χαρτογραφικού προϊόντος.

Πρόσφατοι δορυφορικοί αισθητήρες όπως ο MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) παρέχουν συνεχή και λεπτομερή δεδομένα σε μικρή σχετικά κλίμακα και σε διάφορες περιοχές του φάσματος, επιτρέποντας τη δημιουργία διαφόρων πολύπλοκων δεικτών βλάστησης.

Από το 1960 οι επιστήμονες εξάγουν και μοντελοποιούν ποικίλες βιοφυσικές παραμέτρους χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικά δεδομένα. Πολλές από αυτές τις προσπάθειες οδήγησαν στην παραγωγή δεικτών βλάστησης. Οι δείκτες βλάστησης έχουν διάφορα χαρακτηριστικά ανάλογα με το σκοπό που έχουν δημιουργηθεί. Κάποιοι έχουν δημιουργηθεί για να αντιστέκονται σε διαφόρους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα της πληροφορίας που καταγράφεται από τον αισθητήρα, όπως: μεταξύ άλλων και η επιρροή από το έδαφος και την ατμόσφαιρα.

Ωστόσο όλοι οι δείκτες βλάστησης έχουν μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα και ανάλογα χρησιμοποιούνται από τους επιστήμονες για διαφόρους σκοπούς.

Ο **σκοπός** της εργασίας αυτής είναι να γίνει σύγκριση τριών διαφορετικών δεικτών βλάστησης και να ερευνηθεί η επίδοσή τους στην παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του αισθητήρα MODIS του δορυφόρου Terra.

Οι επιμέρους **στόχοι** της εργασίας αυτής ήταν:

- Η διερεύνηση της επίδοσης των δεικτών βλάστησης όσον αφορά την ικανότητα να διακρίνουν μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών βλάστησης όπως αυτές του CORINE Land Cover
- Η διερεύνηση της ευαισθησίας των δεικτών βλάστησης σε παράγοντες όπως η έκθεση στον ορίζοντα (aspect), η γωνία του αισθητήρα (viewing angle), ο κορεσμός που παθαίνει το σήμα του δείκτη (signal saturation) και η μερική

νεφοκάλυψη (partial cloud cover), έτσι ώστε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν την επιχειρησιακή χρήση των εν λόγω δεικτών.

Κεφάλαιο 2: Ανασκόπηση της βιβλιογραφίας

Το κεφάλαιο αυτό περιέχει μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας πάνω στα θέματα με τα οποία ασχολείται η συγκεκριμένη εργασία και αφορούν κυρίως την επιστήμη της τηλεπισκόπησης. Επομένως γίνεται μια γενική βιβλιογραφική ανασκόπηση όσον αφορά το ρόλο της τηλεπισκόπησης στη διαχείριση και την προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων. Το βασικό θέμα όμως της εργασίας αυτής είναι η εφαρμογή της τηλεπισκόπησης συγκεκριμένα για την παρακολούθηση της βλάστησης και για το σκοπό αυτό παρουσιάζεται η εξέλιξη των δεικτών βλάστησης, οι χρήσεις τους και ειδικότερα οι συγκεκριμένοι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή και τα χαρακτηριστικά τους. Τέλος, παρουσιάζεται το πρόγραμμα CORINE Land Cover, το οποίο αποτελεί μια απεικόνιση της κατάστασης της βλάστησης σε δεδομένη χρονική στιγμή και είναι η επίσημη ευρωπαϊκή καταγραφή των κατηγοριών βλάστησης και των χρήσεων και καλύψεων της γης.

2.1 Ο ρόλος της τηλεπισκόπησης στη μελέτη και διαχείριση των φυσικών πόρων και στην προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων

Είναι γεγονός ότι η πίεση η οποία ασκείται στους φυσικούς πόρους από τον άνθρωπο, λόγω ανάγκης παραγωγής περισσότερων προϊόντων για τη διατροφή και επιβίωση του, οδηγεί σταθερά στην υποβάθμισή τους ή στην καταστροφή τους. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την επείγουσα ανάγκη για συγκέντρωση και επεξεργασία πληροφοριών σχετικά με τη σημερινή και βραχυπρόθεσμη ικανότητα των φυσικών πόρων να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες και απαιτήσεις του ανθρώπου (Συλλαίος Ν., Γήτας Ι. & Συλλαίος Γ., 2007).

Γενικά υπάρχει έλλειψη τεχνικών για τη συλλογή αξιόπιστων πληροφοριών σχετικά με την καταγραφή των φυσικών πόρων του πλανήτη και την κατάσταση των φυσικών οικοσυστημάτων. Ανάμεσα στις διάφορες μεθόδους συλλογής και ανάλυσης δεδομένων και πληροφοριών, η Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (G.I.S.) είναι σχετικά νέες τεχνολογίες (τελευταία 30 χρόνια), οι οποίες στηρίζονται στην ανάλυση και επεξεργασία δορυφορικών και επίγειων χωρικών δεδομένων, κυρίως με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και κατάλληλου λογισμικού. Οι τεχνολογίες αυτές έχουν συμβάλει αποφασιστικά τόσο στην απόκτηση χρήσιμων δεδομένων και όσο και στην επεξεργασία αυτών και εξαγωγή

χρήσιμων πληροφοριών και έχουν αυξήσει κατά πολύ τις δυνατότητες που υπάρχουν για την καταγραφή των φυσικών πόρων, τη μελέτη των φυσικών και μη οικοσυστημάτων και των φυσικών και μη φαινομένων

Ως τηλεπισκόπηση ορίζεται η τεχνική της λήψης πληροφοριών για κάποιο αντικείμενο χωρίς να έρθουμε σε επαφή μαζί του (Jensen, 2000) και μας επιτρέπει την παρακολούθηση και τη μέτρηση βιοφυσικών χαρακτηριστικών της γης. Οι Lillesand & Kiefer (2000) την περιγράφουν ως την επιστήμη και την τέχνη της λήψης πληροφοριών από ένα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο κάνοντας ανάλυση στα δεδομένα που λαμβάνουμε.

Τα πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης έναντι των άλλων μεθόδων συλλογής δεδομένων και, κυρίως, αυτών που χρησιμοποιούν μόνο εργασία υπαίθρου, είναι σύμφωνα με τον Townshend (1981) τα παρακάτω:

1. Η ικανότητα χωρικής αντίληψης (spatial comprehensiveness) των δεδομένων των δορυφορικών εικόνων, σε σχέση με αυτά τα οποία συλλέγονται με εργασία υπαίθρου. Αποτέλεσμα της ικανότητας αυτής είναι να βελτιώνεται η ευκολία προσέγγισης (accessibility), ιδιαίτερα σε περιοχές οι οποίες είναι μεγάλες ή δύσκολες στην προσέγγισή τους.
2. Η κάλυψη διαφόρων περιοχών είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί χρονικά γρήγορα και, κατά συνέπεια, γίνεται δυνατή η σύγκριση μεταξύ ίδιων δεδομένων από διάφορες περιοχές (comparability of data).
3. Η συνοπτική απεικόνιση (synoptic view) μεγάλων περιοχών σε μία δορυφορική εικόνα καθιστά δυνατή την ταυτοποίηση ευρείας κλίμακας διαφοροποιήσεων των βιοφυσικών στοιχείων της περιοχής.
4. Η δυνατότητα διαχρονικών λήψεων (multidate images) από τους δορυφόρους δίνει την ευκαιρία να μελετηθούν δυναμικά φαινόμενα. να γίνουν διαχρονικές συγκρίσεις και να καταγράφονται στοιχεία ή φαινόμενα σε συνεχή βάση (monitoring).
5. Η λήψη των εικόνων, σε πολλές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (πολυφασματικές λήψεις - multi), δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ανιχνεύσει διαφορές μεταξύ βιοφυσικών στοιχείων της επιφάνειας, οι οποίες δεν είναι δυνατό να γίνουν αντιληπτές με την ανάλυση μιας μόνο φασματικής ζώνης.

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην παρακολούθηση του γεωργικού και φυσικού περιβάλλοντος. Σε καμία όμως περίπτωση δεν πρέπει να

υποτιμηθούν οι κλασσικές μμέθοδοι συλλογής δεδομένων, δηλαδή αυτές που έχουν ως βασικό συστατικό την εργασία υπαίθρου. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η εργασία υπαίθρου είναι απαραίτητη, όπως στην περίπτωση συλλογής - δεδομένων ή δειγματοληψιών εδάφους και πετρωμάτων για περαιτέρω εργαστηριακή και μορφολογική μελέτη, Σε άλλες περιπτώσεις, όπως στην περίπτωση μελέτης της χρήσης/κάλυψης γης ή στη μέτρηση των εκτάσεων των γεωργικών καλλιεργειών ή καμμένων περιοχών, η Τηλεπισκόπηση υπερέρχει.

Η τηλεπισκόπηση με τις πολλαπλές δυνατότητες που παρέχει είναι ίσως η πιο χρήσιμη τεχνική για την παρακολούθηση της γης και σε συνδυασμό με τα G.I.S., είναι ένα πολύ καλό εργαλείο λήψης αποφάσεων. Η ανάπτυξη του επιστημονικού πεδίου της τηλεπισκόπησης που γίνεται τα τελευταία χρόνια, οφείλεται κυρίως σε τρεις περιοχές ανάπτυξης (Slonecker et al., 1998): Τη διαθεσιμότητα των υψηλής φασματικής ευκρίνειας και χωρικής διακριτικής ικανότητας δεδομένων, την εξάλειψη των περιορισμών στη χρήση και έλεγχο των δεδομένων αυτών και τη συνεχή ανάπτυξη και απλοποίηση των διαδικτυακών εφαρμογών με τις οποίες επιτρέπεται η γρήγορη διανομή και ανταλλαγή δεδομένων παγκοσμίως. Για το λόγο αυτό οι εφαρμογές της τεχνολογίας της τηλεπισκόπησης θα επεκτείνονται μελλοντικά ολοένα και σε περισσότερα επιστημονικά πεδία.

Για τη διαχείριση και προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων με το μέγεθος, την κατανομή και την ποικιλομορφία που έχουν, τις σύνθετες οικολογικές, δασοκομικές και περιβαλλοντικές συνέπειες των ανθρώπινων επεμβάσεων και τον τεράστιο όγκο δεδομένων και πληροφοριών που υπάρχουν σ' αυτά, χρειάζεται ένα σύστημα παρακολούθησης με σκοπό να μπορεί να γίνει εύκολη ή απλά εφικτή η διαχείριση και η προστασία τους. Την απάντηση στην ανάγκη αυτή που υπάρχει για διαχείριση και προστασία μπορεί να τη δώσει ένα σύστημα τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Ωστόσο, για να έχει επιχειρησιακή χρήση ένα τέτοιο σύστημα, πρέπει να ισχύουν οι εξής προϋποθέσεις (Καρτέρης 2004):

- Να γίνεται συστηματική και μακροχρόνια παρακολούθηση
- Να γίνεται συστηματική κωδικοποίηση στην απόκτηση των δεδομένων
- Το δίκτυο παρακολούθησης να είναι προσαρμοσμένο και αντιπροσωπευτικό της περιοχής εφαρμογής του

- Να υπάρχει τράπεζα πληροφοριών ευρείας χρήσης που θα είναι εύκολα διαχειριζόμενη και θα παρέχει δυνατότητες επεξεργασίας και απόκτησης των κατάλληλων κάθε φορά δεδομένων

Τέτοια συστήματα που να μπορούν να εφαρμοστούν από διάφορους οργανισμούς, εταιρείες και πανεπιστήμια, να διαχειριστούν κατάλληλα και να αποδώσουν ένα σύνολο ωφελειών σε διάφορους τομείς όπως: Χαρτογραφία, περιβάλλον, υδατικοί πόροι, διαχείριση καλλιεργούμενων και φυσικών εκτάσεων.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά των βιοφυσικών στοιχείων τα οποία μπορούν να καταγραφούν άμεσα ή έμμεσα με τηλεπισκοπικές μεθόδους είναι: (Συλλαίος κ.α., 2007)

- η χωρική θέση
- το υψόμετρο
- το χρώμα και ο τόνος
- η φασματική συμπεριφορά της χλωροφύλλης
- η βιομάζα
- το ποσοστό υγρασίας της βλάστησης
- το ποσοστό υγρασίας του εδάφους
- η θερμοκρασία
- η υφή και δομή, το σχήμα και το μέγεθος διαφόρων στοιχείων

Εκτός από την ποιοτική καταγραφή των βιοφυσικών στοιχείων, η τηλεπισκόπηση δίνει τη δυνατότητα και της ποσοτικής προσέγγισης. Ο Jensen (2005) αναφέρει ότι για να γίνει αυτή η ποσοτική προσέγγιση ο αναλυτής πρέπει να έχει υπόψη του (α) τη διακριτική ικανότητα των διαφόρων τύπων απεικονιστών, (β) τη φασματική συμπεριφορά των διαφόρων στοιχείων της επιφάνειας της γης, σε διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και (γ) τη σωστή εφαρμογή των διαφόρων τεχνικών ανάλυσης εικόνας, για την εξαγωγή αξιόπιστων πληροφοριών (Jensen, 2005).

2.2 Ο ρόλος της τηλεπισκόπησης στην παρακολούθηση της βλάστησης

Η βλάστηση είναι ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία της γης και καλύπτει περίπου το 70% της γήινης επιφάνειας. Η παρακολούθηση και η διαχείριση της βλάστησης μπορεί να διευκολυνθεί με τη χρήση των δεδομένων της τηλεπισκόπησης. Η

βλάστηση μπορεί να διαχωριστεί από τα υπόλοιπα υλικά χάρις τη δυνατή ανάκλαση που έχει στο κοντινό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (0,7 nm – 1,0 nm). Η ανάκλαση αυτή προέρχεται κυρίως από τα κύτταρα του σπογγώδους παρεγχύματος που βρίσκονται στο μεσόφυλλο από την κάτω πλευρά του φύλλου (Jensen, 2000) και είναι γενικότερα υψηλότερη από ανακλάσεις που προέρχονται από άλλα υλικά (όπως π.χ. έδαφος, νερό, βράχια, κ.τ.λ.). Η διαφορά αυτή στην ανάκλαση επιτρέπει με τη βοήθεια της τηλεπισκόπησης να διακρίνονται και να διαχωρίζονται αποτελεσματικά οι κατηγορίες βλάστησης, να γίνεται εκτίμηση της δασοκάλυψης και να παρατηρούνται οι καλλιέργειες στις διάφορες φάσεις ανάπτυξής τους.

Μια από τις πρώτες μελέτες που έγιναν στην ανάκλαση της βλάστησης, πραγματοποιήθηκε από τον Gates et al (1965), ο οποίος καθόρισε τη φασματική ανάκλαση, διάδοση και απορρόφηση των φύλλων των φυτών για υπεριώδεις, ορατές και υπέρυθρες ακτινοβολίες. Μετά την έρευνα αυτή ακολούθησε η έρευνα των Myers και Allen (1968) οι οποίοι απέδειξαν τη χρησιμότητα των μεθόδων της τηλεπισκόπησης στην γεωργία και ακολούθησαν οι έρευνες των Gausman et al. (1969), Gates (1970) και Myers et al. (1983). Ταυτόχρονα με τις έρευνες αυτές δημιουργήθηκαν οι δείκτες βλάστησης οι οποίοι είναι καθαροί αριθμοί (δεν έχουν μονάδες μέτρησης) και δίνουν ενδείξεις για την ποσότητα της ζωντανής βλάστησης.

Η τηλεπισκόπηση έχει διαδραματίσει σπουδαίο ρόλο στην παρακολούθηση της βλάστησης οι σημαντικότερες εφαρμογές που έχει είναι οι εξής:

- Εκτίμηση και παρακολούθηση διαχρονικών αλλαγών (change detection) και εξελίξεων των χρήσεων/κάλυψης της γης
- Αναγνώριση, ταξινόμηση και χαρτογράφηση δασών και δασικών εκτάσεων, λιβαδικών εκτάσεων και διαφόρων καλλιεργειών.
- Εκτίμηση βιομάζας
- Χαρτογράφηση καύσιμης ύλης και καμμένων εκτάσεων
- Εκτίμηση της παραγωγής των καλλιεργειών
- Εκτίμηση υποβάθμισης οικοσυστημάτων από ασθένειες, έντομα, ξηρασία, ανέμους, όξινη βροχή, λαθροϋλοτομίες κ.α.
- Εκτίμηση της ανάκαμψης και του χρόνου ανάκαμψης των οικοσυστημάτων μετά από κάποια φυσική καταστροφή (πυρκαγιά, πλημμύρα, έκρηξη ηφαιστείου) ή κάποια ανθρωπογενή υποβάθμιση (λατομικές δραστηριότητες, λαθροϋλοτομίες, παράνομη εκμετάλλευση εκτάσεων κ.α.)

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορούν να συνοψιστούν σε μια πιο γενική έννοια την «κατάσταση της βλάστησης» που αποτελείται από τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Η κατάσταση της βλάστησης μπορεί να απεικονιστεί με τους διάφορους δείκτες βλάστησης, η απόδοση των οποίων εξετάζεται και στην παρούσα εργασία.

2.3 Δείκτες βλάστησης

Οι δείκτες βλάστησης είναι ποσοτικές εκφράσεις οι οποίες υπολογίζονται από τις τιμές λαμπρότητας των δορυφορικών δεδομένων και σχετίζονται κυρίως με την κατάσταση της βλάστησης ή τη βιομάζα (Καρτέρης 2004). Η συσχέτιση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και των δεικτών βλάστησης αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της παρακολούθησης του περιβάλλοντος με τηλεπισκόπηση και έχει μελετηθεί ευρέως (Tucker, 1979, Jackson et al., 1983, Tucker et al., 1991). Η χρήση των δεικτών βλάστησης στην τηλεπισκόπηση βασίζεται στο εξής γεγονός: Όταν το φύλλωμα που περιέχει χλωροφύλλη καταστρέφεται, τότε η αναλογία κόκκινης και της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας αλλάζει (Gong & Xu, 2003).

Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται συχνά ως ποιοτικά εργαλεία για τη χαρτογράφηση της βλάστησης, αν και σ' αυτή την περίπτωση πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη η γωνία του ήλιου και του αισθητήρα του δορυφόρου εξ' αιτίας των φαινομένων σκίασης που παρατηρούνται. Επίσης, χρησιμοποιούνται και ως ποσοτικά εργαλεία για την υποβοήθηση της ταξινόμησης μίας εικόνας, για το διαχωρισμό των εκτάσεων με βλάστηση και χωρίς βλάστηση και ως βοηθητικά εργαλεία για τον ακριβέστερο καθορισμό των διαφόρων τύπων και πυκνοτήτων βλάστησης (Campbell, 1996). Επιπλέον, σημαντική είναι και η χρησιμοποίησή τους σε διάφορα χρονικά διαστήματα για την παρακολούθηση της βλάστησης στις εποχές του χρόνου ή στις συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών ετών όσον αφορά την υγεία της βλάστησης την ποσότητα και την κατανομή της (Gibson P. & Power C., 2000).

Σύμφωνα με τον Jensen (2005) ένας δείκτης βλάστησης πρέπει να:

- Μεγιστοποιεί την ευαισθησία στις βιοφυσικές παραμέτρους των φυτών. Προτιμότερο δε είναι να έχει γραμμική εξάρτηση με τις βιοφυσικές παραμέτρους και να έχει ένα μεγάλο εύρος από καταστάσεις της βλάστησης και να διευκολύνει επικύρωση και βαθμονόμηση του δείκτη.

- Κανονικοποιεί ή να μοντελοποιεί εξωτερικές επιρροές όπως τη γωνία του ήλιου, τη γωνία του αισθητήρα και την ατμόσφαιρα για συνεπείς χωρικές και χρονικές συγκρίσεις.
- Κανονικοποιεί εσωτερικές επιρροές όπως επιπτώσεις από την ποικιλομορφία των κομών των δέντρων, συμπεριλαμβάνοντας την τοπογραφία (κλίση και έκθεση στον ορίζοντα), διαφοροποιήσεις που οφείλονται στο έδαφος και να ξεχωρίζουν την ξυλώδη από την ξηρή βλάστηση.
- Να είναι συνδεδεμένος με κάποιες ειδικές μετρήσιμες βιοφυσικές παραμέτρους όπως η βιομάζα, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας για να μπορούν να επαληθευτούν από επίγειες μετρήσεις και να γίνει έλεγχος της ποιότητάς τους.

Οι δείκτες βλάστησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν ή να ανιχνεύσουν διάφορα χαρακτηριστικά της βλάστησης (Gibson P. & Power C., 2000), όπως:

- Ανάλυση χωρικής κατανομής της βλάστησης
- Ανίχνευση διάφορων γεγονότων (π.χ. ξηρασία, έξαψη της βλαστητικής δραστηριότητας μετά από βροχοπτώσεις κ.τ.λ.)
- Το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index – LAI)
- Το ποσοστό κάλυψης της υγιούς βλάστησης (Fractional Vegetation Cover)
- Ακτινοβολία που απορροφάται ως ενέργεια για τη φωτοσύνθεση και την παραγωγή των καλλιεργειών
- Τα αποθέματα και τη ροή του άνθρακα
- Ανίχνευση των πρόσφατων βροχοπτώσεων

Για του δείκτες βλάστησης υπάρχουν 3 κύριες περιοχές έρευνας: α) Η εκτίμηση της ικανότητάς τους να καθορίζουν τις βιολογικές ιδιότητες των φυτών, β) ο ρόλος τους ως χαρτογραφικά εργαλεία για να διαχωρίσουν περιοχές με βλάστηση από άλλες χωρίς βλάστηση και γ) τη βελτίωση των μαθηματικών τους τύπων, έτσι ώστε να είναι προσαρμοσμένοι για χρήση σε διαφορετικά περιβάλλοντα (Gibson P. & Power C., 2000).

Οι δείκτες βλάστησης έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην παρακολούθηση της βλάστησης, επειδή έχουν συσχετίζονται με διάφορες παραμέτρους που περιγράφουν την κατάσταση της βλάστησης, όπως: Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), η φαινολογία της βλάστησης, το κλάσμα της ενεργού φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας

που απορροφάται από τη βλάστηση (fAPAR), την πυκνότητα της βλάστησης, την ξηρότητα και την υγεία της φυσικής και διαχειριζόμενης βλάστησης (Asrar et al. 1984, Gao 1996, Silleos et al. 2002, Zhang et al. 2003, Gitas et al. 2004). Ανάμεσα στους πολυάριθμους δείκτες βλάστησης που υπάρχουν, αυτός που έχει χρησιμοποιηθεί περισσότερο στην παρακολούθηση της βλάστησης (Huete et al. 1985, Baret and Guyot 1991) είναι ο NDVI, λόγω των πλεονεκτημάτων του, παρόλο που έχουν αναφερθεί συγκεκριμένα μειονεκτήματά του (Huete et al. 1985).

Στην εργασία αυτή, ερευνήθηκε και η συμπεριφορά των δεικτών βλάστησης σε διαφορετικές κατηγορίες βλάστησης. Έτσι επιλέχθηκαν 3 δείκτες βλάστησης που προέκυψαν από τον αισθητήρα MODIS του δορυφόρου Terra:

- Normalized Difference Vegetation Index NDVI (Rouse et al., 1974)
- Enhanced Vegetation Index (Huete et al., 1999)
- Simple Vegetation Index SVI (Birth and McVey, 1968).

Τα προϊόντα των δεικτών βλάστησης του αισθητήρα MODIS έχουν σχεδιασθεί για παρέχουν συνεπείς χωρικές και χρονικές συγκρίσεις της κατάστασης της παγκόσμιας βλάστησης, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας (Justice et al., 1998, Running et al., 1994).

Συγκεκριμένα ο δείκτης βλάστησης NDVI, είναι από τους παλαιότερους, πιο γνωστούς και πιο συχνά χρησιμοποιούμενους δείκτες βλάστησης. Είναι ανθεκτικός κάτω από την επίδραση διαφόρων συνθηκών, λόγω του κανονικοποιημένου τύπου του και της υψηλής απορρόφησης της ανακλώμενης ακτινοβολίας που παρουσιάζει στις περιοχές του φάσματος όπου υπάρχει χλωροφύλλη. Όμως, κάτω από συνθήκες πυκνής βλάστησης και όταν ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας - Leaf Area Index (LAI) παίρνει μεγάλες τιμές, μπορεί να πάθει κορεσμό σήματος (saturation) στις τιμές του και έτσι να μην αυξάνεται ανάλογα με τη αύξηση της χλωροφύλλης. Επίσης είναι πολύ ευαίσθητος στις μεταβολές της βλάστησης του υπορόφου και η υποβάθμιση του σήματός του γίνεται πιο έντονη όταν υπάρχουν συνθήκες υψηλής βιομάζας στον υπόροφο (Huete, 1988). Παίρνει τιμές από -1 έως +1, όμως οι συνήθεις τιμές που εμφανίζει για την υγιή βλάστηση είναι από +0.2 έως +1 (Rouse et al, 1973), (Tucker, 1979), (Jackson, 1983) & (Sellers, 1985). Ο μαθηματικός τύπος του δείκτη αυτού είναι ο παρακάτω:

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

Όπου: p είναι η ανακλώμενη ακτινοβολία αντίστοιχα σε κάθε διάυλο

Για τον αισθητήρα MODIS τα εύρη των μηκών των κυμάτων κάθε διαύλου (συμπεριλαμβανομένου και του μπλε που υπάρχει στον EVI), είναι: p_{NIR} (841-876 nm), p_{RED} (620-670 nm) και p_{BLUE} (459-479 nm)

Ο δείκτης βλάστησης EVI είναι μια τροποποίηση του NDVI και δημιουργήθηκε για να δώσει βελτιωμένα αποτελέσματα, χρησιμοποιώντας την ανάκλαση του πιο ευαίσθητου ατμοσφαιρικά μπλε διαύλου για να διορθώσει τον κόκκινο διάυλο της ακτινοβολίας από τις επιδράσεις των μικροσωματιδίων (aerosols) της ατμόσφαιρας (Kaufman, Y. J. & Tanre', D. 1992). Ο δείκτης αυτός μπορεί να φανεί πιο χρήσιμος στις περιοχές που παίρνει μεγάλες τιμές ο LAI, καθώς ο NDVI μπορεί να πάθει κορεσμό σήματος. Οι τιμές που παίρνει είναι από -1 έως +1 και το σύνηθες εύρος τιμών του για την υγιή βλάστηση από +0,2 έως +1 (Huete et al, 1997). Ο μαθηματικός του τύπος είναι ο παρακάτω:

$$EVI = G \times \left(\frac{p_{NIR} - p_{RED}}{p_{NIR} + C1 \times p_{RED} - C2 \times p_{BLUE} + L} \right) \quad (2)$$

Σ' αυτή την εργασία ως τιμές για τους παράγοντες L , $C1$, $C2$ και G (gain factor), χρησιμοποιήθηκαν οι προσαρμοσμένες τιμές που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του προϊόντος EVI MODIS: $L=1$ $C1=6$ $C2=7.5$ $G= 2.5$ (Huete et al, 2002).

Ο δείκτης βλάστησης SVI, είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος. Ο δείκτης αυτός δημιουργήθηκε για να διακρίνει την υγιή βλάστηση από τα γυμνά εδάφη (Birth and McVey, 1968). Αφού η υγιής βλάστηση παρουσιάζει μεγάλη ανάκλαση στο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και μικρή στο κόκκινο, ενώ τα γυμνά εδάφη παρουσιάζουν κάποια σχετική σταθερότητα. Οι τιμές του κυμαίνονται από 0 έως το άπειρο. Επίσης, επειδή ο δείκτης αυτός είναι μια απλή αναλογία, έχει τη δυνατότητα να εξουδετερώνει την επίδραση του αναγλύφου (Καρτέρης 2004). Ο μαθηματικός του τύπος είναι ο παρακάτω:

$$SVI = \frac{P_{NIR}}{P_{RED}} \quad (3)$$

Οι δείκτες βλάστησης αυτοί, επιλέχθηκαν επειδή είναι ευρέως διαδεδομένοι στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης και έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης.

2.4 To CORINE Land Cover

Το CORINE Land Cover αποτελεί μια απεικόνιση της κατάστασης της βλάστησης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Πιο συγκεκριμένα απεικονίζει κατηγορίες βλάστησης όπως αυτές διαμορφώνονται τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή και δίνει πληροφορίες που αφορούν την περιγραφή των κατηγοριών αυτών, την έκτασή τους και τη γεωγραφική τους θέση. Η διαδικασία που γίνεται για την παραγωγή τέτοιων προϊόντων ονομάζεται «χαρτογράφηση της βλάστησης» και συγκεκριμένα στην περίπτωση του CORINE Land Cover «χαρτογράφηση των χρήσεων/κάλυψης της γης».

Η χαρτογράφηση των χρήσεων/κάλυψης της γης είναι πολύ σημαντική πληροφορία και συνεχώς η σημασία της γνώσης αυτής της δομής και της διάταξης των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης γίνεται μεγαλύτερη (Cihlar, 2000). Οι μέθοδοι χαρτογράφησης των χρήσεων/κάλυψης γης έχουν εξελιχθεί από τη χρησιμοποίηση των αεροφωτογραφιών στη χρησιμοποίηση ψηφιακών δεδομένων από δορυφορικούς αισθητήρες.

Στα πλαίσια της αναγκαιότητας για χαρτογράφηση των χρήσεων/κάλυψης γης, δημιουργήθηκαν διάφορα προγράμματα, ένα από τα οποία ήταν το πρόγραμμα CORINE Land Cover (CEC, 1994) που χρησιμοποιήθηκε και στην εργασία αυτή. Το πρόγραμμα αυτό, περιλαμβάνει τη χαρτογράφηση των χρήσεων/κάλυψης γης διαφόρων ευρωπαϊκών χωρών (μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα), σε κλίμακα 1:100000, με ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης τα 25 ha. Το χαρτογραφικό προϊόν του CORINE προέκυψε από φωτοερμηνεία ορθοδιορθωμένων δορυφορικών εικόνων Landsat TM και ETM με χωρική διακριτική ικανότητα 25 μ. Επίσης, η κατηγοριοποίηση των κλάσεων του CORINE είναι ιεραρχική και διαχωρίζει 44 κλάσεις στο τρίτο επίπεδο κατηγοριοποίησης, 15 στο δεύτερο και 5 στο τρίτο.

Τα δεδομένα της χαρτογράφησης χρησιμοποιούνται για πολλές εφαρμογές όπως διαχείριση του τοπίου, εκτίμηση της βιοποικιλότητας, σχεδιασμός όσον αφορά τις χρήσεις γης και γενικά για περιβαλλοντική διαχείριση και ανάπτυξη στρατηγικής σε θέματα που αφορούν το περιβάλλον (Vogelmann, 1998).

Στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε το CORINE Land Cover ως δεδομένο αναφοράς για την αξιολόγηση των δεικτών βλάστησης του αισθητήρα MODIS του δορυφόρου Terra. Τα δεδομένα του MODIS έχουν σαφώς χειρότερη διακριτική ικανότητα από αυτή του CORINE Land Cover, αφού αυτό έχει

δημιουργηθεί με δορυφορικά δεδομένα Landsat με χωρική διακριτική ικανότητα 30 μ. Επομένως, για τη σύγκριση των δεικτών βλάστησης που έγινε στην εργασία αυτή, το CORINE Land Cover με τη σχετικά πολύ καλύτερη διακριτική ικανότητα που διαθέτει, αποτέλεσε ένα χρησιμότερο εργαλείο για την αξιολόγηση της ικανότητας των δεικτών βλάστησης σε δεδομένα MODIS να διαχωρίζουν κατηγορίες βλάστησης. Αποτέλεσε επίσης και μέτρο σύγκρισης της ικανότητας των δεικτών βλάστησης να απεικονίζουν την κατάσταση της βλάστησης γενικά για δεδομένα της κλίμακας αυτής (MODIS). Η ικανότητα αυτή δείχνει ποιοτικά αν ο δείκτης βλάστησης απεικονίζει καλά την κατάσταση της βλάστησης.

Είναι ευνόητο ότι οι δείκτες βλάστησης από μόνοι τους δεν είναι εύκολο να αποτελέσουν εργαλεία χαρτογράφησης της βλάστησης, αλλά μπορούν να συνεισφέρουν στη διαδικασία της χαρτογράφησης. Επομένως, ένας δείκτης βλάστησης που υπερτερεί από τους άλλους στην ικανότητα να διαχωρίσει κατηγορίες βλάστησης όπως αυτές του CORINE Land Cover, μπορεί να δώσει ορθότερη απεικόνιση της κατάστασης της βλάστησης.

2.5 Σύνοψη 2^{ου} Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε μια βιβλιογραφική έρευνα πάνω στα θέματα τηλεπισκόπησης που αφορούν την εργασία αυτή και παρουσιάστηκε το επιστημονικό υπόβαθρο που υπάρχει ήδη, καθώς και η ανάγκη που υπάρχει για την παρακολούθηση της βλάστησης. Πιο συγκεκριμένα παρουσιάστηκαν:

1. Οι δυνατότητες και τα πλεονεκτήματα που έχει η τηλεπισκόπηση έναντι άλλων μεθόδων συλλογής δεδομένων, ο συνδυασμός της τηλεπισκόπησης με τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών για τη δημιουργία συστήματος παρακολούθησης της γης με επιχειρησιακή χρήση και ως εργαλείο λήψης αποφάσεων και οι συγκεκριμένες εφαρμογές που έχει η τηλεπισκόπηση στην καταγραφή βιοφυσικών παραμέτρων.
2. Η εξέλιξη και ο ρόλος της τηλεπισκόπησης στην παρακολούθηση της βλάστησης καθώς και οι εφαρμογές που έχει στην παρακολούθηση της βλάστησης.
3. Επιστημονικές απόψεις που αφορούν τους δείκτες βλάστησης και περιγράφουν το σκοπό της δημιουργίας τους, τη χρήση τους και το επιστημονικό ενδιαφέρον που υπάρχει γι' αυτούς, καθώς και

συγκεκριμένη και αναλυτική περιγραφή των δεικτών βλάστησης που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή.

4. Το CORINE Land Cover που αποτελεί την επίσημη ευρωπαϊκή καταγραφή της κατάστασης της βλάστησης σε δεδομένη χρονική στιγμή και είναι επίσης και δεδομένο της εργασίας αυτής.

Κεφάλαιο 3: Περιγραφή της περιοχής μελέτης

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται μια περιγραφή των γενικών χαρακτηριστικών της περιοχής μελέτης που είναι ολόκληρος ο ελλαδικός χώρος.

3.1 Η περιοχή μελέτης

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκε ολόκληρος ο ελλαδικός χώρος. Η Ελλάδα είναι η νοτιότερη χώρα της Βαλκανικής χερσονήσου με:

Γεωγραφικό πλάτος: 19° 30' - 29° 45' Α.

Γεωγραφικό μήκος: 34° 45' - 41° 45' Β.

Έκταση: 130,875 km²

Πληθυσμό: 10,500,000

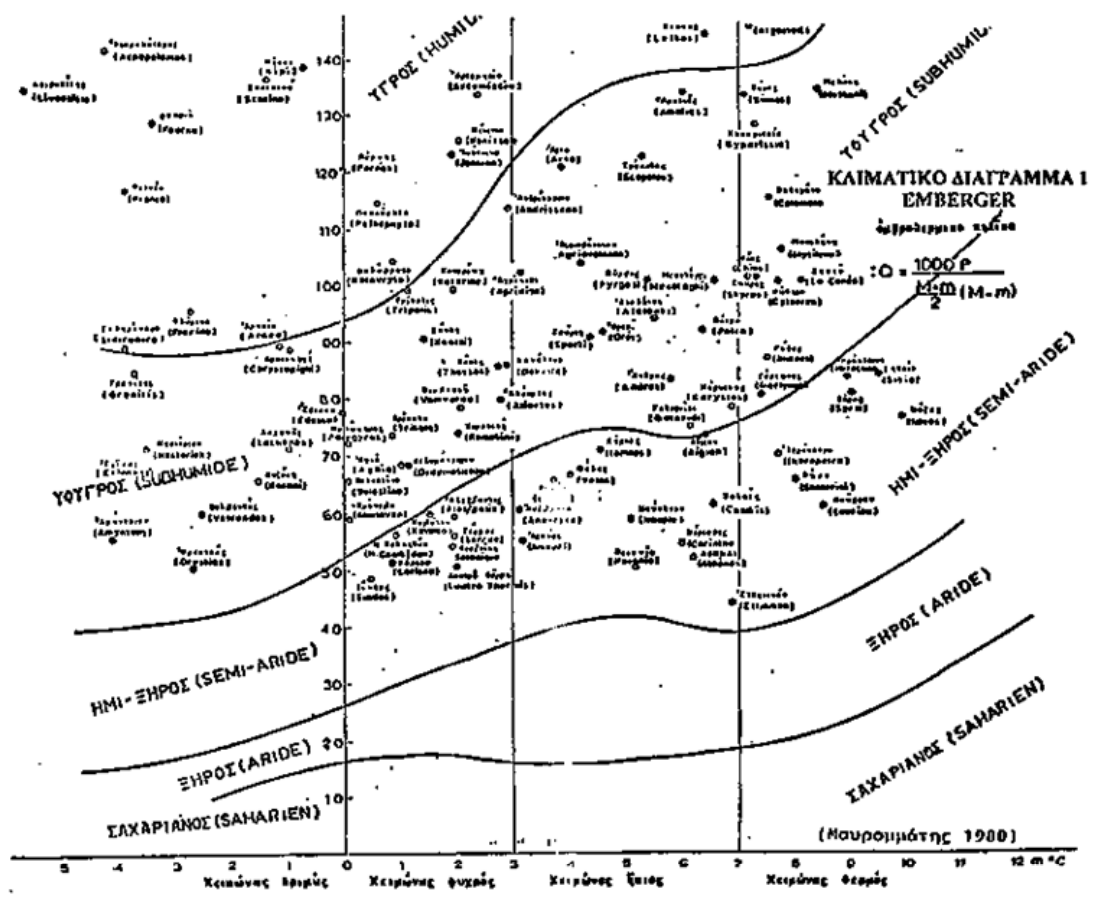
Στην Ελλάδα επίσης αντιστοιχεί η μεγαλύτερη ακτογραμμή μεταξύ των χωρών της Μεσογείου (περίπου 16,000 km) και ο μεγαλύτερος αριθμός νησιών (περίπου 3,500). Το μεγαλύτερο υψόμετρο στον ελλαδικό χώρο, παρουσιάζεται στο βουνό του Ολύμπου (2918 m) και υπάρχουν άλλα 41 βουνά που έχουν υψόμετρο μεγαλύτερο των 2000 m.

Το κλίμα της Ελλάδας είναι τυπικό μεσογειακό με θερμά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Συνήθως, τους καλοκαιρινούς μήνες υπάρχουν λίγες έως καθόλου βροχοπτώσεις και η ξηρή περίοδος μπορεί να αρχίζει συχνά και από τον Απρίλιο. Μέσα στο γενικό μεσογειακό κλίμα, ανάλογα με τις ειδικές συνθήκες που παρουσιάζονται κάθε φορά, διαμορφώνονται ειδικότερα κλίματα με περισσότερο ή λιγότερο μεσογειακό χαρακτήρα και επηρεάζουν σημαντικά την εμφάνιση της βλάστησης.

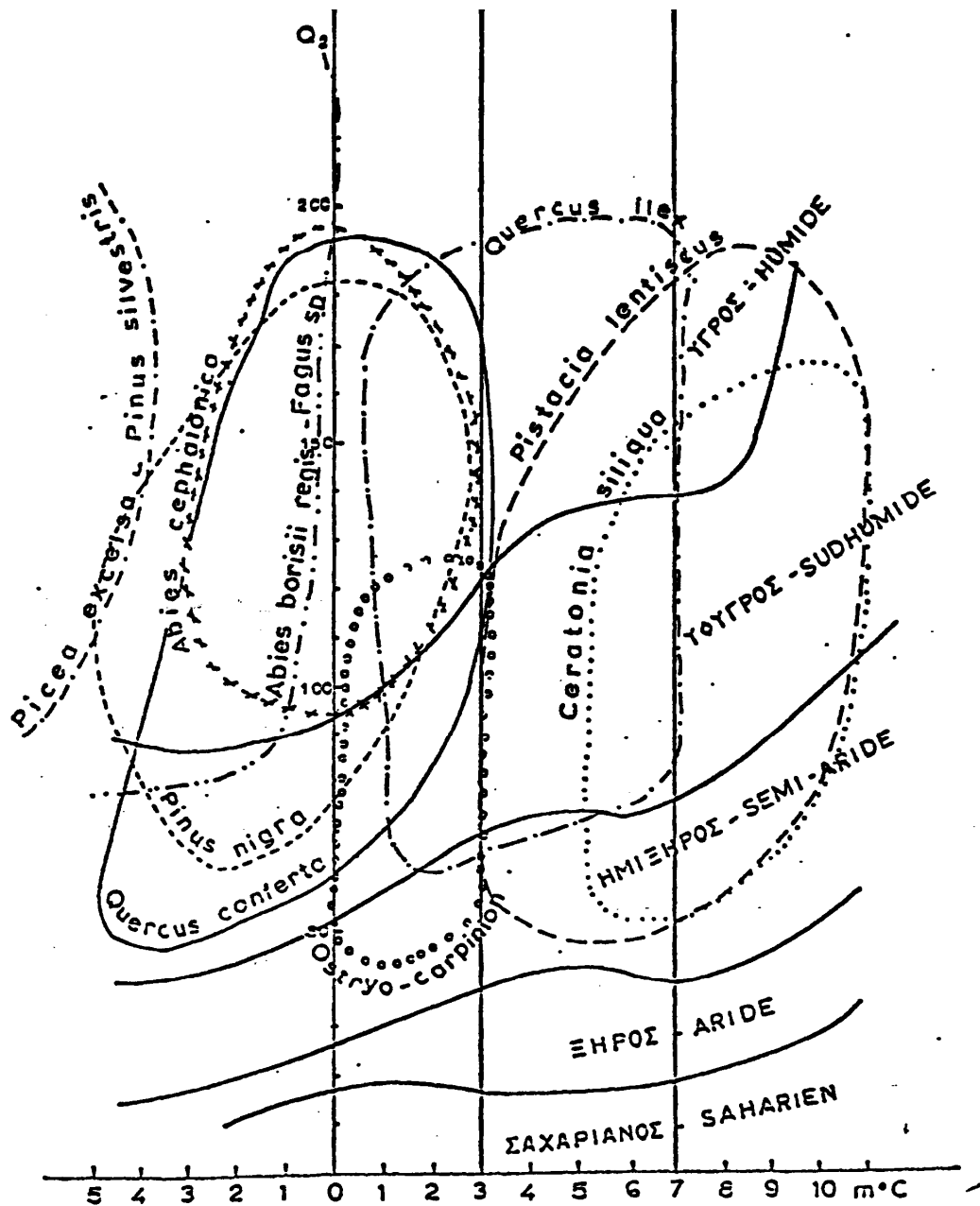
Οι ετήσιες βροχοπτώσεις κυμαίνονται από 381 έως 1630 mm και είναι περισσότερες στα μεγαλύτερα υψόμετρα και στη δυτική Ελλάδα όπου βρίσκονται οι μοναδικές περιοχές στην Ελλάδα που έχουν περισσότερες από 100 βροχερές ημέρες ανά έτος. Το ετήσιο ύψος βροχής μπορεί να ξεπεράσει τα 2000 mm. Αντίθετα, το νοτιοανατολικότερο τμήμα του ελλαδικού χώρου, έχει ετήσιες βροχοπτώσεις συχνά λιγότερες από 400 mm, οι οποίες είναι από τις χαμηλότερες στην Ευρώπη κι έτσι οι περιοχές αυτές αντιμετωπίζουν σοβαρά προβλήματα ξηρασίας και ως επακόλουθο λειψυδρίας και κινδύνου από πυρκαγιές.

Η μέση ετήσια θερμοκρασία ποικίλει από 14,5° C στις βόρειες περιοχές έως 19,5 ° C στις νοτιότερες περιοχές, δηλαδή στην περιοχή της Κρήτης. Σε μεμονωμένες

περιπτώσεις και σε μεγάλα υψόμετρα κυρίως στη βόρεια Ελλάδα, οι χαμηλές θερμοκρασίες μπορούν να φτάσουν τους -25°C . Το καλοκαίρι, οι υψηλότερες θερμοκρασίες περιστασιακά αγγίζουν τους $42-45^{\circ}\text{C}$ σε διάφορες περιοχές της ηερσαίας Ελλάδας. Μεγάλη επιρροή ασκεί η θάλασσα της Μεσογείου, αφού περιβάλλει το μεγαλύτερο μέρος της χώρας, και είναι αυτή που βοηθάει ώστε να έτσι ώστε να εξομαλύνεται η θερμοκρασία του αέρα στις περισσότερες περιοχές της χώρας. Παρακάτω φαίνεται το κλιματικό διάγραμμα EMBERGER (Εικόνα 1) και αμέσως μετά (Εικόνα 2) φαίνεται η εξάπλωση των ειδών τα οποία χαρακτηρίζουν τις ζώνες βλάστησης στην Ελλάδα πάνω στο βιοκλιματικό διάγραμμα EMBERGER.



Εικόνα 1. Το κλιματικό διάγραμμα EMBERGER



Εικόνα 2. Η εξάπλωση των ειδών που καθορίζουν τις ζώνες βλάστησης στην Ελλάδα στο βιοκλιματικό διάγραμμα EMBERGER

Η Ευρώπη διασχίζεται από πολλές φυσιολογικά, οικολογικά και χλωριδικά σαφώς διακρινόμενες ζώνες βλάστησης που μπορούν σύμφωνα με την έννοια του Braun – Blanquet να χαρακτηριστούν ως τάξεις. Οι επιφάνειες που καταλαμβάνονται από τις διάφορες τάξεις αντιστοιχούν σε μία ζώνη βλάστησης, που υποδιαιρείται με τη βοήθεια των συνδέσμων (συνενώσεων) σε αυξητικούς χώρους. Οι αυξητικοί αυτοί χώροι υποδιαιρούνται με τη σειρά τους και με τη βοήθεια συγγενών ή ομολόγων φυτοκοινωνιών σε δευτερεύοντες αυξητικούς χώρους. Επομένως, οι μονάδες

βλάστησης (τάξεις, συνενώσεις και ενώσεις) που καθορίζονται χλωριδικά, αποτελούν και τη βάση για τη διαίρεση της βλάστησης στην Ελλάδα.

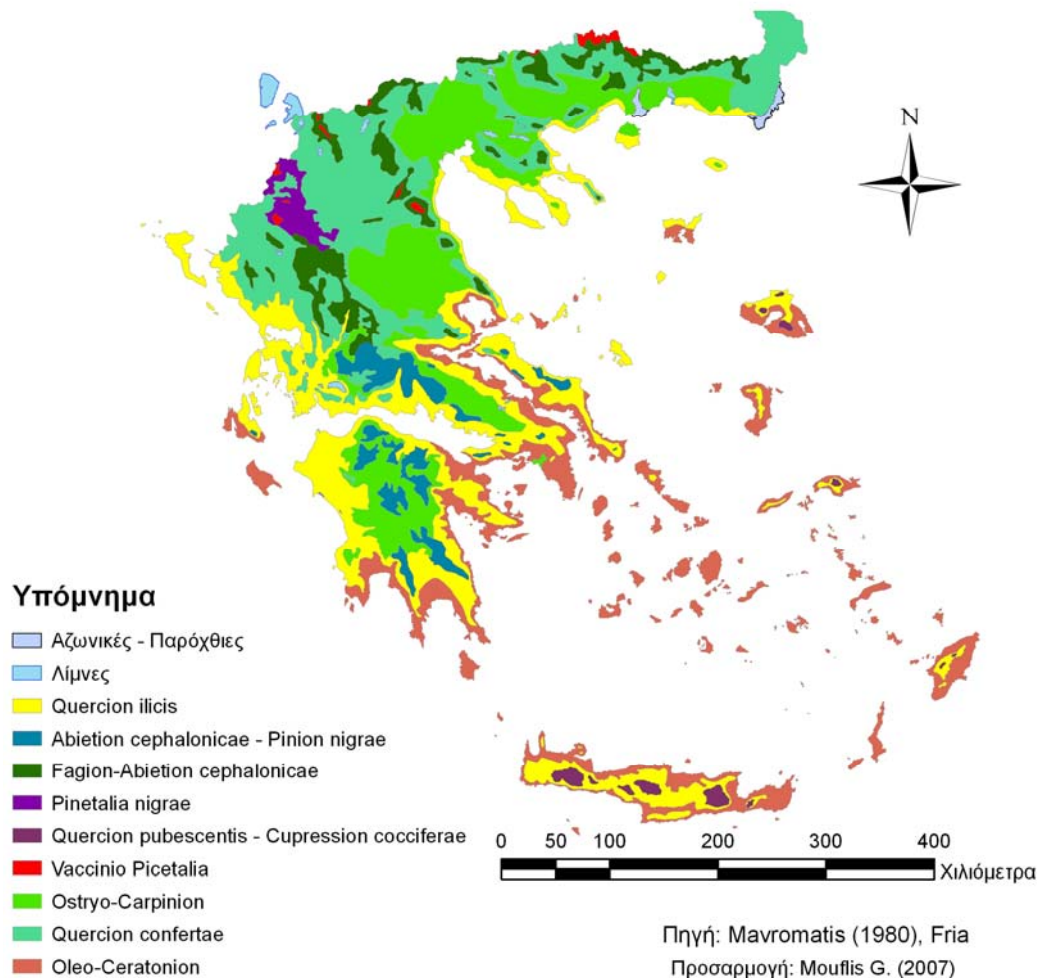
Η βλάστηση της Ελλάδας μπορεί να διαχωριστεί σε 5 κύριες ζώνες βλάστησης (τάξεις) που διακρίνονται με βάση χλωριδικά, οικολογικά, φυσιογνωμικά και ιστορικά κριτήρια. Τα όρια των ζωνών αυτών πολλές φορές συμπλέκονται και συγχέονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε η απεικόνισή τους πάνω στο χάρτη να είναι δυνατή μόνο με κάποιες μικρότερες ή μεγαλύτερες αφαιρέσεις, χωρίς όμως να υπάρχει κάποια δόση αυθαιρεσίας.

Η περιγραφή και διάκριση των ζωνών αυτών δίνεται από τον Ντάφη (1972) ο οποίος χρησιμοποιεί τις ανώτερες φυτοκοινωνικές μονάδες του συστήματος Braun-Blanquet (1951). Οι πέντε αυτές ζώνες (τάξεις) με τις υποδιαιρέσεις τους φαίνονται παρακάτω:

1. Ευμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia ilicis*). Παραλιακή, λοφώδης και υποορεινή περιοχή. Χωρίζεται στις υποζώνες (συνενώσεις) α) Oleo – Ceratonion, β) Quercion ilicis.
2. Παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης (*Quercetalia pubescentis*). Λοφώδης, υποορεινή. Χωρίζεται στις υποζώνες α) Ostryo – Carpinion β) Quercion – Confertae.
3. Ζώνη δασών οξιάς – ελάτης και ορεινών παραμεσόγειων κωνοφόρων (*Fagetalia*). Ορεινή - υπαλπική. Χωρίζεται στις υποζώνες α) Abietion cephalonicae, β) Fagion moesiaca
4. Ζώνη ψυχρόβιων κωνοφόρων (*Vaccinio picetalia*). Ορεινή υποαλπική. Χωρίζεται στις υποζώνες α) Vaccinio – Piceion, β) Pinion heldreichii
5. Εξωδασική ζώνη υψηλών ορέων (*Astragalo Acantholimonetalia*). Χωρίζεται στις υποζώνες α) Astragalo – Daphnion, β) Junipero – Daphnion.

Παρακάτω (Εικόνα 3) γίνεται μια απεικόνιση των ζωνών αυτών (υποζώνες) που έγινε από το Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών (Mavromatis, 1980) με τη μετατροπή που έγινε (Mouflis, 2007).

Οι ζώνες βλάστησης της Ελλάδας



Εικόνα 3. Απεικόνιση των ζωνών βλάστησης (υποζώνες).

Επιπλέον η βλάστηση της Ελλάδας αποτελείται σύμφωνα με τις κατηγορίες του CORINE Land Cover 2000 (MINENV 2004) από εκτάσεις με φυσική βλάστηση: 76,720 Κμ² (δάση, λιβαδικές εκτάσεις, θαμνώνες και ποώδεις εκτάσεις) και καλλιεργούμενες εκτάσεις: 54,184 Κμ² (αρόσιμη γη, ετερογενείς αγροτικές εκτάσεις και μόνιμες καλλιέργειες).

Η κλίμακα του CORINE Land Cover 2000 (1:100000) θεωρήθηκε ικανοποιητική για τη μελέτη αυτή, εφόσον η έκταση που μελετάται, καθώς και τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται (MODIS/Terra) έχουν αντίστοιχα μικρή κλίμακα. Επίσης, η χρονολογία κατασκευής του (2000) δεν αναμένεται να δημιουργήσει προβλήματα, αφού η χρονολογία των δεδομένων (2003-2005) που χρησιμοποιήθηκαν

στην εργασία είναι κοντά και υπάρχει και κάποια γενικοποίηση των κατηγοριών βλάστησης στο CORINE Land Cover.

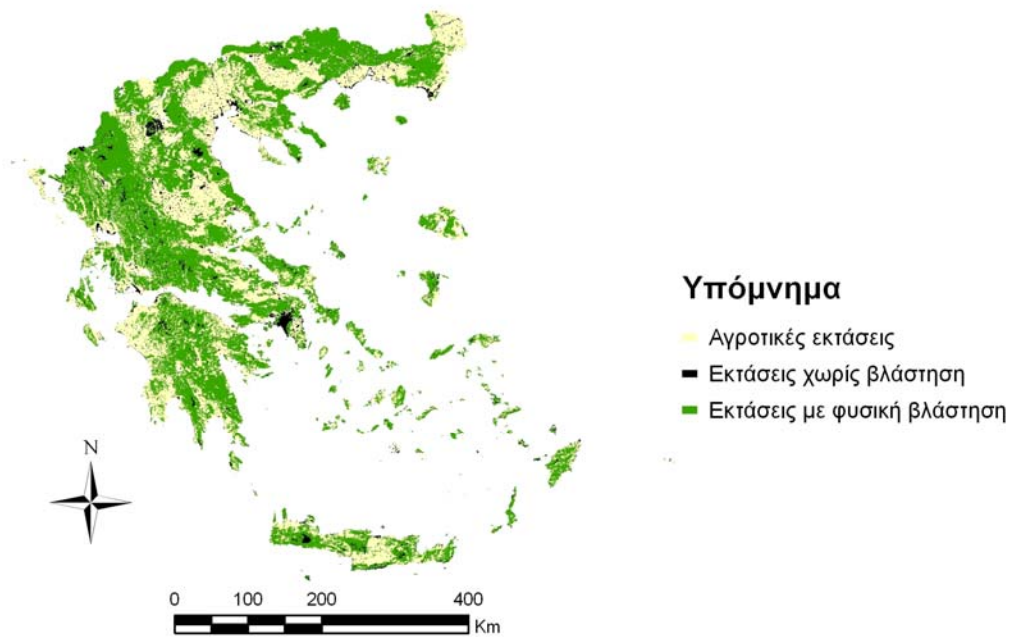
Οι 2 κύριες κατηγορίες βλάστησης (φυσικές και καλλιεργούμενες εκτάσεις) έχουν αναμφισβήτητα διαφορετικούς φαινολογικούς κύκλους, επομένως στην εργασία αυτή κρίθηκε σκόπιμο να μελετηθούν ξεχωριστά και συνεπώς να εξαχθούν και ξεχωριστά συμπεράσματα.

Ο φαινολογικός κύκλος των καλλιεργούμενων εκτάσεων επαναλαμβάνεται σε χρονικό ορίζοντα ενός έτους. Οι φάσεις της καλλιέργειας περιλαμβάνουν: Τη σπορά, την φάση της ανάπτυξης, τη φάση της ωρίμανσης και τέλος την συγκομιδή. Οι φάσεις αυτές ελέγχονται κυρίως από τη σύγχρονη γεωργία. Υπάρχουν όμως και παράγοντες όπως οι μετεωρολογικές συνθήκες, το επίπεδο άρδευσης και η διαθεσιμότητα του εξοπλισμού, που επηρεάζουν το χρόνο που εκτελούνται οι φάσεις της καλλιέργειας. Γενικότερα, η περίοδος που αναπτύσσεται βλάστηση στις καλλιεργούμενες εκτάσεις, είναι από την αρχή της άνοιξης έως την αρχή του φθινοπώρου.

Η φυσικές εκτάσεις αποτελούνται από δάση κωνοφόρων και πλατύφυλλων, θαμνότοπους και λιβαδικές εκτάσεις. Ο φαινολογικός κύκλος των φυσικών εκτάσεων είναι σχετικά πιο σταθερός κατά τη διάρκεια του έτους. Περισσότερο επηρεάζεται ο φαινολογικός κύκλος των δασών πλατυφύλλων ειδών, αφού δε διατηρούν το φύλλωμά τους καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Γενικότερα, οι σημαντικότερες αλλαγές που γίνονται στη φαινολογία της φυσικής βλάστησης είναι το φθινόπωρο με την πτώση των φύλλων των φυλλοβόλων ειδών και την ξήρανση των περισσότερων ετήσιων ποωδών φυτών και την άνοιξη με την έντονη ανάπτυξη που παρατηρείται στην ποώδη βλάστηση και κατά τη διάρκεια της ανθοφορίας.

Οι χρήσεις γης χρησιμοποιήθηκαν όπως αυτές εμφανίζονται στο σύστημα ταξινόμησης: CORINE Land Cover. Οι 2 κύριες κατηγορίες αυτές, χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή για τη χωριστή μελέτη της αξιολόγησης των δεικτών βλάστησης σε φυσικές και καλλιεργήσιμες εκτάσεις και όπως φάνηκε διαφοροποιούνται και τα αποτελέσματα.

Ο διαχωρισμός των φυσικών εκτάσεων από τις καλλιεργούμενες φαίνεται και παρακάτω (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Διάκριση των 2 κύριων κατηγοριών βλάστησης σύμφωνα με το CORINE Land Cover 2000

3.2 Σύνοψη 3^{ου} Κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφηκε η περιοχή μελέτης και τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν. Συνοπτικά είδαμε ότι:

1. Η περιοχή μελέτης είναι μια περιοχή με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Το κλίμα της περιοχής μελέτης είναι γενικά μεσογειακό με θερμά καλοκαίρια και ήπιους χειμώνες. Οι ετήσιες βροχοπτώσεις κυμαίνονται από 381 έως 1630 mm και είναι περισσότερες στα μεγαλύτερα υψόμετρα και στη δυτική Ελλάδα.
2. Το γενικό μεσογειακό κλίμα που την χαρακτηρίζει, διαμορφώνεται σύμφωνα με τις ιδιαίτερες συνθήκες που δημιουργούνται και επηρεάζει κατά συνέπεια και την εμφάνιση της βλάστησης. Επομένως, η βλάστηση ανάλογα με τις ειδικές κλιματικές, γεωλογικές, οικολογικές κ.τ.λ. συνθήκες διαμορφώνεται σε διάφορες φυτοκοινωνικές ομάδες.
3. Η περιοχή μελέτης μπορεί να διαχωριστεί ανάλογα με τη βλάστηση σε φυσικές εκτάσεις (76,720 Km²) και καλλιεργούμενες (54,184 Km²). Οι κατηγορίες αυτές της βλάστησης έχουν και διαφορετικούς φαινολογικούς κύκλους, οπότε η παρακολούθησή τους είναι σκόπιμο να γίνεται και ξεχωριστά.

Κεφάλαιο 4: Δεδομένα και προεπεξεργασία δεδομένων

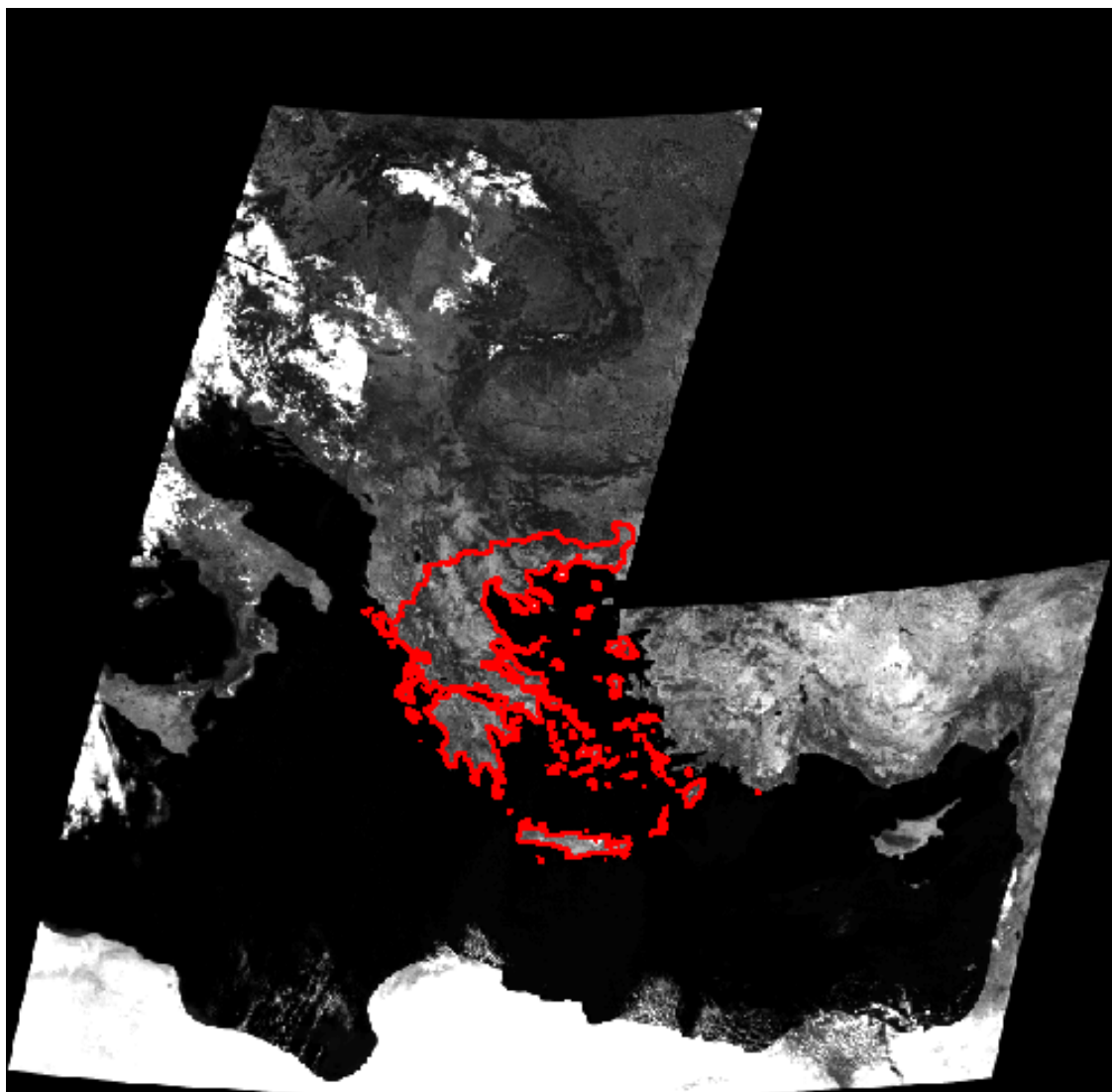
Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή, ο τρόπος με τον οποίο αποκτήθηκαν και η προεπεξεργασία που έγινε για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν αυτά στις μετέπειτα επεξεργασίες και αναλύσεις που έγιναν για τους σκοπούς της εργασίας αυτής.

4.1 Τα δεδομένα

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή προέρχονται από το φασματικό ραδιόμετρο MODIS του δορυφόρου Terra. Αυτά που αποτελούν προϊόντα του MODIS, αποκτήθηκαν από την ιστοσελίδα της NASA: Earth Observing System Data Gateway (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). Στην ιστοσελίδα αυτή, έπρεπε να δοθούν οι συντεταγμένες της Ελλάδας και οι ημερομηνίες που μας ενδιέφεραν, καθώς και να προσδιοριστεί το συγκεκριμένο προϊόν του MODIS. Οι εικόνες του δορυφόρου TERRA που προκύπτουν από τις συντεταγμένες που δινόταν για να καλυφθεί ο ελλαδικός χώρος ήταν τέσσερις από τις οποίες μας ενδιέφεραν οι τρεις καθώς η τέταρτη ήταν στα βορειοανατολικά και έπεφτε έξω από τα όρια του ελλαδικού χώρου (Εικόνα 5).

Επίσης, ως δεδομένο της εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το CORINE Land Cover 2000, το οποίο αποτελεί την επίσημη ευρωπαϊκή καταγραφή της κατάστασης της βλάστησης σε δεδομένη χρονική στιγμή και περιλαμβάνει 3 επίπεδα κατηγοριοποίησης της βλάστησης. Επιπλέον, το CORINE Land Cover 2000 έχει δημιουργηθεί με μεγαλύτερης κλίμακας δορυφορικές εικόνες από αυτές του MODIS (δορυφόρου Landsat, με 30 m χωρική ανάλυση), επομένως μέσω του CORINE Land Cover μπορούμε να θεωρήσουμε κάποιες εκτάσεις ομοιογενείς ως προς το είδος της βλάστησης σε σχέση πάντα με τα μικρότερης κλίμακας προϊόντα του MODIS.

Ένα τελευταίο δεδομένο που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, Digital Elevation Model (DEM) όλης της Ελλάδας. Με τη χρήση του DEM αυτού, είναι δυνατόν να έχουμε επιπλέον δεδομένα της περιοχής μελέτης που πηγάζουν από την πρόσθετη πληροφορία του ύψους που περιέχει αυτό. Τα επιπλέον δεδομένα αυτά είναι: Το υψόμετρο, η κλίση του εδάφους, η έκθεση στον ορίζοντα (aspect) και τη σκίαση που προκαλείται από το ανάγλυφο με δεδομένη την γωνία του ήλιου (hillshade).



Εικόνα 5. Οι τρεις δορυφορικές εικόνες (tiles) που καλύπτουν τον ελλαδικό χώρο

Τα δεδομένα αυτά είναι τα εξής:

- Το καθημερινό προϊόν του MODIS του δορυφόρου Terra της ανακλώμενης ακτινοβολίας, MODIS/TERRA daily Surface Reflectance (MOD09GHK) με χωρική ανάλυση 500 μ η πλευρά του εικονοστοιχείου. Αυτό το προϊόν επιλέχθηκε αντί αυτού με πλευρά εικονοστοιχείου 250 μ εξ' αιτίας του εξής γεγονότος: παρόλο που μειονεκτεί σε χωρική ανάλυση, δηλαδή έχει εικονοστοιχεία που καλύπτουν μεγαλύτερη επιφάνεια στη γη, υπερτερεί όσον αφορά τη φασματική του ανάλυση, δηλαδή έχει περισσότερους φασματικούς διαύλους, κάτι που είναι πολύ σημαντικό για τον υπολογισμό των προς εξέταση δεικτών βλάστησης.
- Το 8ήμερο προϊόν MODIS του δορυφόρου Terra που απεικονίζει το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, MODIS/TERRA 8day Leaf Area Index product (MOD15A2.A) με χωρική ανάλυση 1000 μ η πλευρά του εικονοστοιχείου.

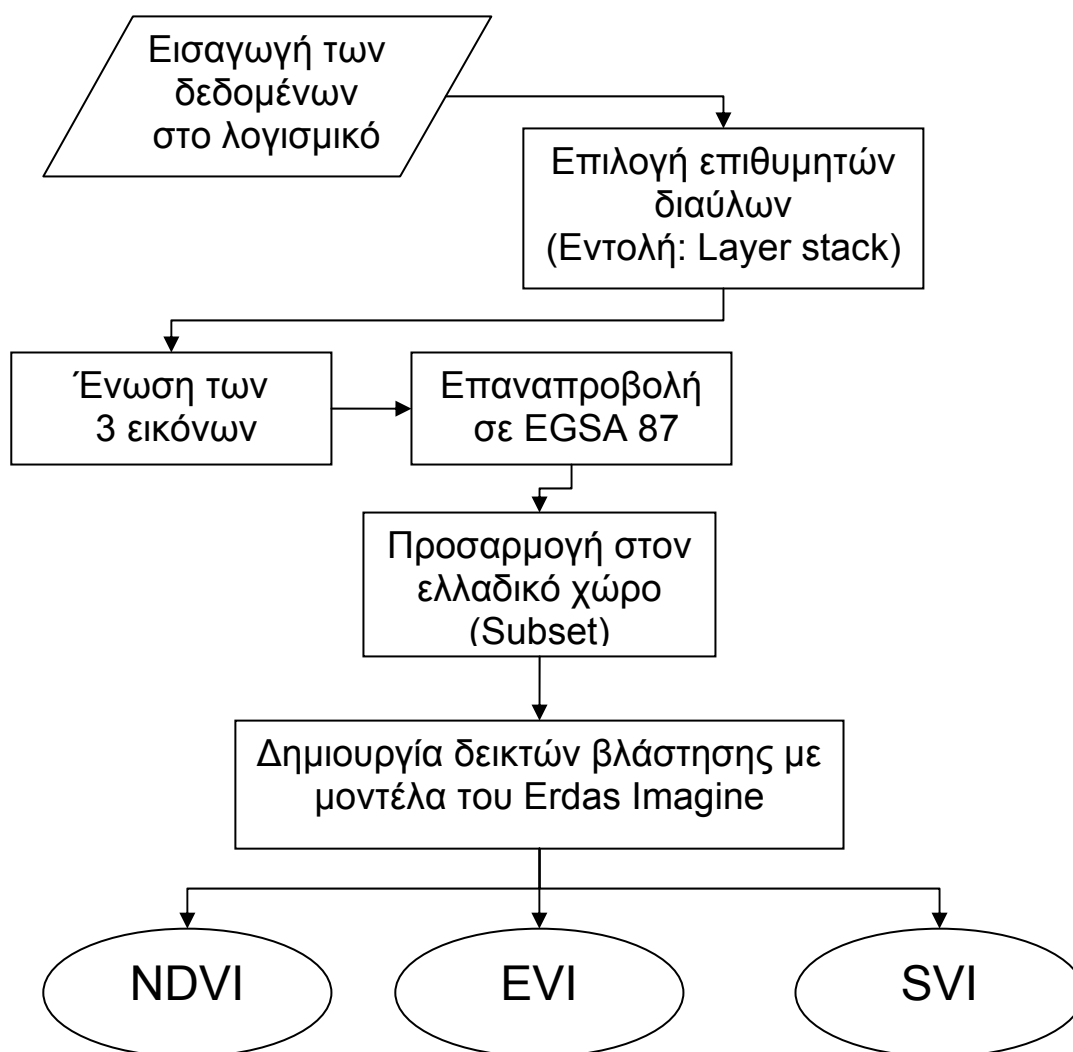
- Το καθημερινό προϊόν του MODIS του δορυφόρου Terra που απεικονίζει διάφορες γωνίες, όπως το αζιμούθιο του ηλίου και του δορυφόρου και η γωνία με το ζενίθ του ηλίου και του δορυφόρου, MODIS/TERRA daily Geolocation Angles product (MODMGGAD.A) με χωρική ανάλυση 1000 μ η πλευρά του εικονοστοιχείου.
- Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, Digital Elevation Model (DEM) όλης της Ελλάδας με χωρική ανάλυση 127 μ μέγεθος το οποίο προήλθε με τη μέθοδο της παρεμβολής (interpolation) από ψηφιοποιημένες ισούψεις καμπύλες.
- Η τελευταία έκδοση (έτος 2000) του συστήματος ταξινόμησης βλάστησης CORINE Land Cover. Από το CORINE Land Cover 2000 χρησιμοποιήθηκε το δεύτερο επίπεδο ταξινόμησης (Παράρτημα 1), επειδή κρίθηκε το πιο κατάλληλο για μελέτη των διαθέσιμων προϊόντων του MODIS. Συγκεκριμένα το 1^ο επίπεδο ταξινόμησης είχε λίγες κατηγορίες βλάστησης, δηλαδή μόνο τις βασικές (δασικές και ημι-φυσικές εκτάσεις, αγροτικές εκτάσεις, υγρά τοποι και τεχνητές εκτάσεις) και το 3^ο επίπεδο ταξινόμησης είχε πολλές κατηγορίες βλάστησης και μεγάλη λεπτομέρεια η οποία έτσι κι αλλιώς θα ήταν αδύνατο να απεικονιστεί στα προϊόντα του MODIS, λόγω της χαμηλής χωρικής διακριτικής του ικανότητας (250 μ) σε σχέση με το CORINE που έχει δημιουργηθεί από εικόνες Landsat με χωρική διακριτική ικανότητα 30 μ.

Από τα δεδομένα που ήταν διαθέσιμα επιλέχθηκαν αυτά που είχαν χωρική διακριτική ικανότητα 500 m, γιατί σε σύγκριση με εκείνα των 250 m έχουν μεγαλύτερη φασματική διακριτική ικανότητα. Συγκεκριμένα των 250 m διαθέτουν 2 φασματικούς διαύλους ενώ των 500 m διαθέτουν 7, συμπεριλαμβανομένης και της μπλε ακτινοβολίας (459-479 nm), η οποία ήταν απαραίτητη για τον υπολογισμό του δείκτη βλάστησης EVI.

4.2 Προεπεξεργασία των δεδομένων

Τα δεδομένα για να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στην παρούσα εργασία, χρειάστηκαν κάποια επεξεργασία (στάδιο της προεπεξεργασίας), για να έρθουν στην επιθυμητή μορφή και να αναλυθούν.

Η διαδικασία της προεπεξεργασίας των δεδομένων του MODIS απεικονίζεται συνοπτικά στο παρακάτω σχήμα (Εικόνα 6).

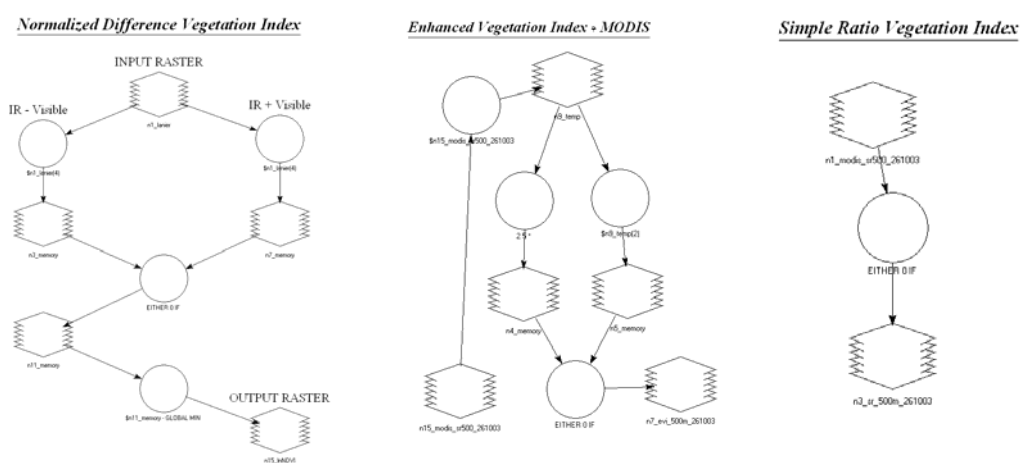


Εικόνα 6. Η διαδικασία της προεπεξεργασίας των δεδομένων για εξαγωγή δεικτών βλάστησης

Η μορφή στην οποία αποκτήθηκαν τα δεδομένα αυτά από την ιστοσελίδα της NASA, ήταν κάποια αρχεία μορφής .hdf format. Επομένως, για να μπορέσουν να επεξεργαστούν, έπρεπε να εισαχθούν στο λογισμικό - συγκεκριμένα για το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε (Erdas Imagine 9.1) - με τη διαδικασία Import και έπρεπε να μετατραπούν σε .img format. Στη συνέχεια έπρεπε να επιλεγθούν οι διάυλοι που μας ενδιέφεραν με τη διαδικασία Layer stack, οι οποίοι ήταν: Ο υπέρυθρος διάυλος (841 – 876 nm), ο κόκκινος (620 – 670 nm) και ο μπλε (459 – 479 nm). Κατόπιν, έπρεπε να γίνει η ένωση των τριών αυτών εικόνων με τη διαδικασία mosaic, η μετατροπή τους στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (Ε.Γ.Σ.Α. 87) με τη διαδικασία reproject και τέλος να εφαρμοστεί μια “μάσκα” που θα προσάρμοζε την πληροφορία των δεδομένων αυτών ακριβώς στα όρια του ελλαδικού χώρου, έτσι ώστε να μη

συμπεριλαμβάνονται στην επεξεργασία των δεδομένων πληροφορίες εκτός ελλαδικού χώρου, για εξοικονόμηση επεξεργαστικής ισχύος.

Κατόπιν της προεπεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων, για να μπορέσουν να απεικονιστούν και να αξιολογηθούν οι παραπάνω δείκτες βλάστησης, σχεδιάστηκαν κάποια μοντέλα με τη βοήθεια του λογισμικού Erdas Imagine 9.1. Τα μοντέλα αυτά, ανταποκρινόταν στο μαθηματικό τύπο των δεικτών βλάστησης εκτελώντας τις κατάλληλες μαθηματικές πράξεις (Εικόνα 7).



Εικόνα 7. Μοντέλα των δεικτών βλάστησης (NDVI, EVI & SVI) στο Erdas Imagine 9.1.

Επιπλέον, έγινε και μία προεπεξεργασία στο D.E.M. της περιοχής μελέτης για την εξαγωγή ενός θεματικού χάρτη που να απεικονίζει την έκθεση στον ορίζοντα (με την εντολή Surface Analysis / Aspect του λογισμικού ArcGIS 9.0). Ο θεματικός αυτός χάρτης χωρίστηκε έπειτα σε 8 κατηγορίες εκθέσεων (B., B.A., A., N.A., N., N.Δ., Δ., B.Δ.) (Εικόνα 10).

Τέλος, από CORINE Land Cover 2000 που ήταν σε μορφή shapefile, απομονώθηκε μόνο το 2 επίπεδο κατηγοριοποίησης (Παράρτημα 1) αφού αυτό ήταν που χρησιμοποιήθηκε και στην ανάλυση που έγινε.

4.3 Σύνοψη 4ου κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκαν τα δεδομένα και η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη μετατροπή της μορφής τους για τους σκοπούς της εργασίας αυτής. Συνοπτικά είδαμε ότι:

- Τα δεδομένα που χρειάζονται για παρατήρηση μιας τέτοιας περιοχής, είναι δορυφορικές εικόνες ευρείας κλίμακας όπως αυτές του αισθητήρα MODIS του δορυφόρου Terra.
- Τα προϊόντα που χρησιμοποιήθηκαν από τον αισθητήρα αυτόν ήταν: α) Το καθημερινό προϊόν της ανακλώμενης ακτινοβολίας, β) το δήμερο προϊόν που απεικονίζει το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, γ) το καθημερινό προϊόν που απεικονίζει τη γωνία με το ζενίθ του δορυφόρου.
- Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν: α) Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους, Digital Elevation Model (DEM) της περιοχής και β) Η τελευταία έκδοση (έτος 2000) του συστήματος ταξινόμησης βλάστησης CORINE Land Cover 2000.
- Η προεπεξεργασία των προϊόντων MODIS, περιλάμβανε τις διαδικασίες α) Import, β) Layer stack, γ) Mosaic, δ) Reproject, ε) Subset. Η συγκεκριμένη προεπεξεργασία έγινε για όλα τα προϊόντα του MODIS και συγκεκριμένα για την εξαγωγή των δεικτών βλάστησης δημιουργήθηκαν μοντέλα για να γίνουν οι κατάλληλες πράξεις μεταξύ των διαύλων.
- Η προεπεξεργασία στο DEM περιλάμβανε την εξαγωγή θεματικού χάρτη με την έκθεση στον ορίζοντα, καθώς και την κατηγοριοποίηση του σε 8 κατηγορίες και από CORINE Land Cover 2000 απομονώθηκε μόνο το 2 επίπεδο κατηγοριοποίησης.

Κεφάλαιο 5: Αξιολόγηση της ικανότητας των δεικτών βλάστησης να διαχωρίζουν τις κλάσεις των χρήσεων / κάλυψης γης του CORINE Land Cover

Για την αξιολόγηση που έγινε για να συγκριθούν οι δείκτες βλάστησης με κριτήριο τη διαχωριστική ικανότητα που έχουν για κλάσεις χρήσεων / κάλυψης γης όπως αυτές του CORINE Land Cover, χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Η πρώτη προσέγγιση στηρίχθηκε στην εξής λογική σκέψη: Ένας δείκτης βλάστησης που εμφανίζει καλή ομοιογένεια μέσα στις ίδιες CLC κλάσεις και ταυτόχρονα εμφανίζει ετερογένεια μεταξύ διαφορετικών CLC κλάσεων, μπορεί να διαχωρίσει επιτυχώς CLC κλάσεις. Στο διαχωρισμό αυτό δεν υπάρχει κάποιο μέτρο σύγκρισης και ούτε χρειάστηκε, αφού η σύγκριση έγινε μεταξύ των τριών αυτών δεικτών βλάστησης και τα αποτελέσματα θα είναι του τύπου: «Ποιος δείκτης βλάστησης διαχωρίζει καλύτερα».

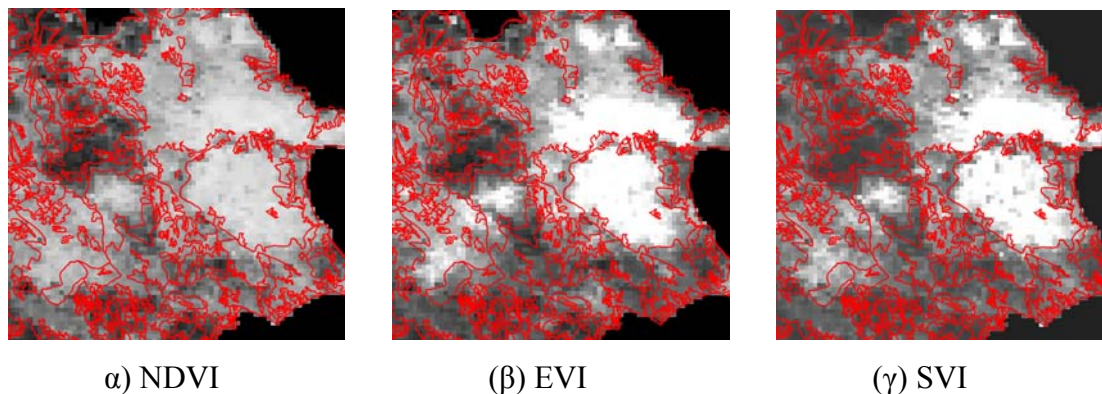
Η πρώτη προσέγγιση που έγινε, στηρίχθηκε στο συντελεστή κύμανσης. Το τυπικό σφάλμα και ο συντελεστής κύμανσης χρησιμοποιούνται συχνά για τη σύγκριση μεθόδων. Όμως σύμφωνα με τους Kull et al. 2003, οι τιμή του συντελεστή κύμανσης εξαρτάται από την κλίμακα της μέτρησης και για το λόγο αυτό είναι αμφισβητήσιμη τιμή για τη σύγκριση μεθόδων.

Για το λόγο αυτό, η δεύτερη προσέγγιση που έγινε, στηρίχθηκε σε ένα λόγο ευαισθησίας (Sensitivity Ratio) που έχει παρουσιαστεί από τον Mandel (1964) ως προσέγγιση για σύγκριση μεθόδων μέτρησης που είναι ανεξάρτητη από την κλίμακα των τιμών τους. Επομένως και το διαφορετικό εύρος τιμών που ίσως παίρνουν δηλαδή οι τιμές των μεθόδων, δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα. Η επιλογή του λόγου ευαισθησίας έγινε γιατί οι δείκτες βλάστησης που εξετάζονται θεωρήθηκαν ως διαφορετικές μέθοδοι μέτρησης της κατάστασης της βλάστησης οι οποίες δεν έχουν την ίδια κλίμακα μέτρησης.

5.1 Αξιολόγηση με τη χρησιμοποίηση του συντελεστή κύμανσης

Η αρχική θεώρηση που έγινε για να επιτευχθεί ο πρώτος στόχος της εργασίας (διερεύνηση της επίδοσης των δεικτών βλάστησης όσον αφορά την ικανότητα να διακρίνουν μεταξύ διαφορετικών CLC κατηγοριών βλάστησης), ήταν ότι η παρακολούθηση της βλάστησης με τους δείκτες βλάστησης είναι καλύτερη εφόσον ο δείκτης που χρησιμοποιείται είναι πιο ικανός στο διαχωρισμό των CLC κατηγοριών

βλάστησης. Ο διαχωρισμός των CLC κατηγοριών βλάστησης, γίνεται καλύτερος εφόσον ο εν λόγω δείκτης βλάστησης «διακρίνει» καλύτερα μεταξύ διαφορετικών κατηγοριών βλάστησης και ταυτόχρονα διατηρεί καλά και την ομοιομορφία στις τιμές των εικονοστοιχείων του η οποία χαρακτηρίζει την κάθε CLC κατηγορία βλάστησης (Εικόνα 8).



Εικόνα 8. Οι εξεταζόμενοι δείκτες βλάστησης σε σχέση με τα πολύγωνα του 2ου επιπέδου ταξινόμησης του CORINE Land Cover (από περιοχή της Χαλκιδικής).

Η ικανότητα της καλύτερης διάκρισης των CLC κατηγοριών βλάστησης είναι μια ποιοτική έννοια η οποία έπρεπε να γίνει μετρήσιμη για να γίνει κατάταξη των δεικτών αυτών και να εντοπιστούν οι αδυναμίες τους σε σχέση με τους άλλους, καθώς και τα σημεία που υπερέχει ο καθένας συγκρινόμενος με τους άλλους.

Ο στόχος αυτός για να μπορέσει να επιτευχθεί χωρίστηκε σε δύο επιμέρους στόχους:

- Να εξεταστεί η ετερογένεια που εμφανίζουν οι δείκτες βλάστησης σε διαφορετικές CLC κατηγορίες βλάστησης, δηλαδή η διαφοροποίηση που παθαίνουν οι τιμές των εικονοστοιχείων, όταν αυτά βρίσκονται σε διαφορετικές CLC κατηγορίες βλάστησης.
- Να εξεταστεί η ομοιογένεια που εμφανίζουν μέσα στις CLC κατηγορίες βλάστησης, δηλαδή η ομοιογένεια που παρουσιάζουν οι τιμές των εικονοστοιχείων όταν αυτά βρίσκονται στην ίδια CLC κατηγορία βλάστησης.

Επομένως, όταν ένας δείκτης βλάστησης εμφανίζει υψηλή ετερογένεια σε διαφορετικές CLC κατηγορίες βλάστησης και ταυτόχρονα υψηλή ομοιογένεια στην ίδια CLC κατηγορία βλάστησης, σημαίνει ότι ανταποκρίνεται πολύ καλά στις αλλαγές των κατηγοριών βλάστησης και δίνει καλύτερη απεικόνιση της πραγματικής κατάστασης της βλάστησης. Επομένως όσο καλύτερα απεικονίζει τις αλλαγές της

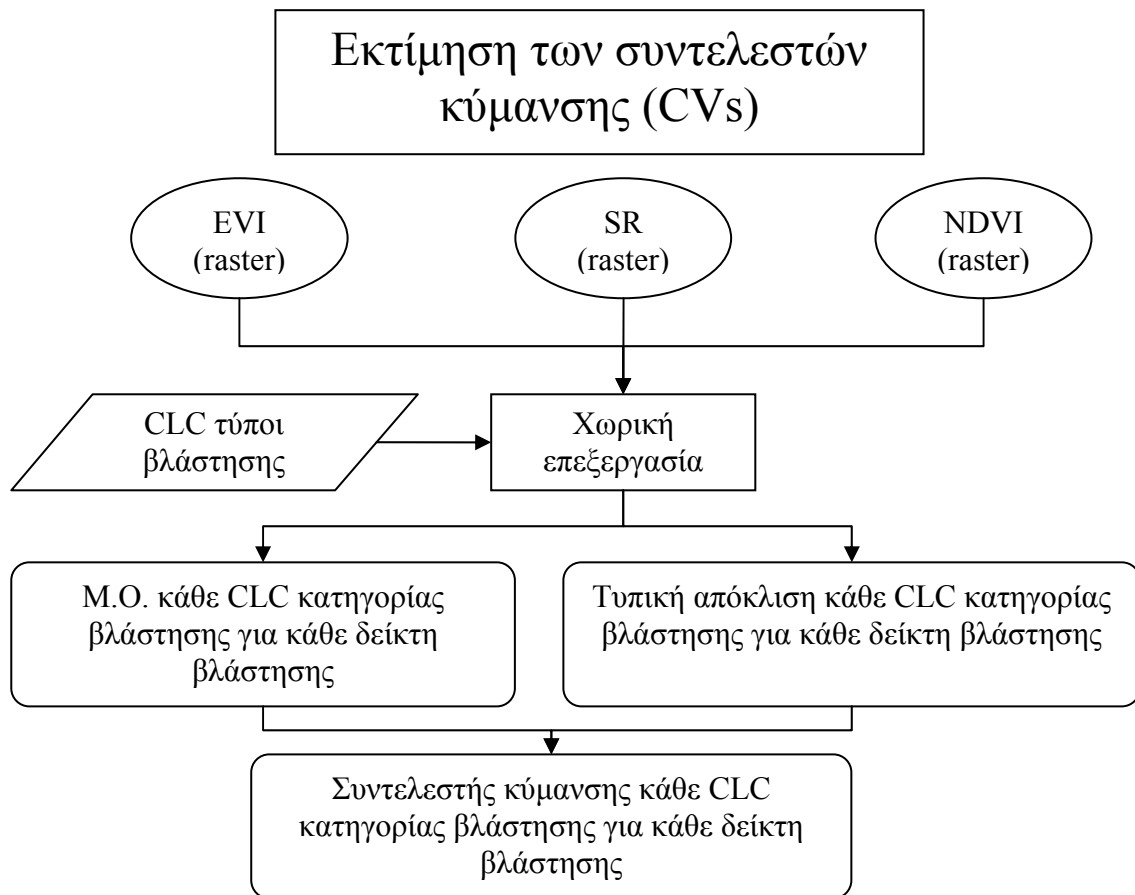
βλάστησης τόσο πιο χρήσιμος μπορεί να φανεί στη χαρτογράφηση των διαφορετικών κατηγοριών βλάστησης.

Για τη διευκόλυνση της ερμηνείας των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε ο λόγος της ομοιογένειας προς την ετερογένεια κι έτσι δημιουργήθηκε ένα μετρικό, σύμφωνα με το οποίο ο καλύτερος δείκτης βλάστησης θα έχει και τη μικρότερη τιμή.

Για την εκτίμηση της ομοιογένειας και της ετερογένειας χρησιμοποιήθηκαν τα εξής κριτήρια:

- Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της ομοιογένειας μέσα στις ίδιες CLC κατηγορίες βλάστησης ήταν το άθροισμα των συντελεστών κύμανσης $\Sigma(CV)$ των τιμών του δείκτη μέσα σε κάθε CLC κατηγορία βλάστησης. Ο δείκτης βλάστησης που θα είχε το μικρότερο άθροισμα των συντελεστών κύμανσης θα ήταν και ο δείκτης με την υψηλότερη ομοιογένεια μέσα στις CLC κατηγορίες βλάστησης.
- Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της ετερογένειας μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών βλάστησης ήταν ο συντελεστής κύμανσης CV των μέσων τιμών από κάθε CLC κατηγορία βλάστησης. Ο δείκτης βλάστησης που θα είχε τον υψηλότερο συντελεστή κύμανσης των μέσων τιμών θα ήταν και ο δείκτης με τη μεγαλύτερη ετερογένεια μεταξύ διαφορετικών CLC κατηγοριών βλάστησης.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της ομοιογένειας και της ετερογένειας, ήταν να υπολογιστούν οι μέσοι όροι και οι τυπικές αποκλίσεις των εικονοστοιχείων των δεικτών βλάστησης μέσα σε κάθε CLC κατηγορία βλάστησης. Αυτό έγινε λαμβάνοντας υπόψη τις κατηγορίες βλάστησης του 2^{ου} επιπέδου κατηγοριοποίησης του CORINE Land Cover ως ζώνες μέσα στις οποίες υπολογίστηκαν τα περιγραφικά στατιστικά των raster εικόνων των δεικτών βλάστησης. Για την εξαγωγή των περιγραφικών στατιστικών, (μέσου και τυπικής απόκλισης) χρησιμοποιήθηκε η εντολή «Zonal statistics» του λογισμικού ArcGIS 9.1 και κατόπιν υπολογίστηκαν και οι συντελεστές κύμανσης που χρησιμοποιήθηκαν στο μετρικό που δημιουργήθηκε για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Εικόνα 9).



Εικόνα 9. Μεθοδολογία για την εκτίμηση των συντελεστών κύμανσης

Στη συνέχεια εφαρμόστηκε το μετρικό που αναφέρθηκε παραπάνω, δηλαδή ο λόγος: $\frac{\text{Ομοιογένεια}}{\text{Ετερογένεια}}$. Ο λόγος αυτός μειώνεται με την αύξηση της ομοιογένειας των

εικονοστοιχείων μέσα στις ίδιες κατηγορίες βλάστησης και μειώνεται επίσης με την αύξηση της ετερογένειας των μέσων εικονοστοιχείων μεταξύ των διαφορετικών κατηγοριών βλάστησης. Επομένως, όσο μικρότερος είναι ο λόγος αυτός, τόσο καλύτερα ανταποκρίνεται ο εξεταζόμενος δείκτης βλάστησης στη διάκριση των κατηγοριών βλάστησης του CORINE Land Cover.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για τη σύγκριση των δεικτών βλάστησης, κρίθηκε ορθό να γίνει και ξεχωριστά για τις φυσικές και για τις καλλιεργούμενες εκτάσεις, εφόσον οι συνθήκες που επικρατούν στις δύο αυτές κατηγορίες βλάστησης είναι τελείως διαφορετικές.

Τα αποτελέσματα για την ικανότητα των δεικτών βλάστησης να διαχωρίζουν τις CLC κατηγορίες βλάστησης (Πίνακας 1) για το σύνολο των κατηγοριών αυτών, εμφανίστηκαν να είναι αντικρουόμενα και διαφορετικά τόσο για την ομοιογένεια των

εικονοστοιχείων μέσα στις CLC κατηγορίες βλάστησης, όσο και για την ετερογένεια μεταξύ των CLC κατηγοριών βλάστησης.

Όσον αφορά την ομοιογένεια ο δείκτης βλάστησης EVI είχε καλή επίδοση στις επιλεγμένες ημερομηνίες του Φεβρουαρίου και του Οκτωβρίου, καθώς και την 13/05/04 οι οποίες είχαν και μεγαλύτερη νεφοκάλυψη, ενώ στις υπόλοιπες ημερομηνίες είχε καλύτερη επίδοση ο NDVI. Για την 13/05/04 βλέπουμε ότι για μικρή διαφορά υπερέχει ο EVI από τον NDVI και για την 13/05/03 υπερέχει ο EVI. Αν ληφθεί υπόψη ο ισχυρισμός ότι ο EVI δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε ημέρες με μεγαλύτερη νεφοκάλυψη, αυτό επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι η 13/05/04 έχει μεγαλύτερη νεφοκάλυψη από την 13/05/03. Θα ήταν πολύ χρήσιμο να καθοριστεί ένα όριο νεφοκάλυψης που να δείχνει πότε ο EVI δίνει καλύτερα αποτελέσματα από τον NDVI.

Όσον αφορά την ετερογένεια, ο δείκτης SVI είχε καλή επίδοση σε όλες τις ημερομηνίες εκτός από αυτές του Φεβρουαρίου, όπου την καλύτερη επίδοση είχε ο EVI. Τέλος, σύμφωνα με το μετρικό επίδοσης που δημιουργήθηκε, την καλύτερη επίδοση είχε ο EVI, εκτός από την 14/08/03 όπου καλύτερη επίδοση είχε ο SVI. Αυτό το αποτέλεσμα ήταν και το αναμενόμενο, καθώς ο δείκτης βλάστησης EVI είναι πιο πρόσφατος από τους άλλους και δημιουργήθηκε για να ξεπεραστούν κάποια προβλήματα, όπως ο κορεσμός του σήματος σε περιοχές με μεγάλη βιομάζα και οι επιρροές της ατμόσφαιρας (Huete et al., 1999). Επίσης, ο EVI φάνηκε να αντεπεξέρχεται καλύτερα στις ημερομηνίες που είχαν μεγάλη νεφοκάλυψη.

Εκτός όμως από τη γενική αυτή σύγκριση και όπως αναφέρθηκε παραπάνω, κρίθηκε αναγκαίο οι συγκρίσεις να γίνουν ξεχωριστά για τις φυσικές και ξεχωριστά για τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις.

Τα αποτελέσματα για τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις ξεχωριστά, έδειξαν πάλι ότι ο δείκτης βλάστησης EVI υπερέχει, αφού σε 7 από τις 8 ημερομηνίες είχε το καλύτερο μετρικό επίδοσης (Πίνακας 2).

Αντίθετα όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, για τις φυσικές εκτάσεις δεν υπάρχει ξεκάθαρη υπεροχή του EVI, αφού στις 3 ημερομηνίες από τις 8 εμφανίζεται καλύτερος ο SVI και στις άλλες 5 ο EVI.

Πίνακας 1. Μετρικό επίδοσης δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης. Γενικό. (Τα έντονα γράμματα δείχνουν το δείκτη βλάστησης με την καλύτερη επίδοση)

Εξεταζόμε νη ημέρα	Ομοιογένεια μέσα στις CLC κατηγορίες βλάστησης (α)			Ετερογένεια μεταξύ των CLC κατηγοριών βλάστησης (β)			Μετρικό επίδοσης (α / β)		
	SVI	NDVI	EVI	SVI	NDVI	EVI	SVI	NDVI	EVI
13/05/03	0.602	0.395	0.427	0.336	0.221	0.245	1.793	1.789	1.740
14/08/03	0.615	0.376	0.417	0.316	0.181	0.200	1.945	2.082	2.088
25/10/03	1.486	0.682	0.499	0.232	0.187	0.201	6.415	3.643	2.477
16/02/04	1.176	1.131	0.659	0.155	0.225	0.234	7.571	5.027	2.817
13/05/04	0.896	0.591	0.517	0.309	0.222	0.225	2.891	2.658	2.300
14/08/04	1.204	0.440	0.476	0.327	0.194	0.219	3.676	2.272	2.171
24/10/04	1.672	0.486	0.454	0.304	0.212	0.214	5.491	2.290	2.117
18/02/05	2.145	0.887	0.943	0.307	0.335	0.391	6.976	2.643	2.410

Πίνακας 2. Μετρικό επίδοσης δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης στις καλλιεργούμενες εκτάσεις

Εξεταζόμε νη ημέρα	Ομοιογένεια μέσα στις CLC κατηγορίες βλάστησης (α)			Ετερογένεια μεταξύ των CLC κατηγοριών βλάστησης (β)			Μετρικό επίδοσης (α / β)		
	SVI	NDVI	EVI	SVI	NDVI	EVI	SVI	NDVI	EVI
13/05/03	0.593	0.320	0.345	0.131	0.190	0.176	4.530	1.686	1.963
14/08/03	0.192	0.122	0.136	0.214	0.157	0.176	2.473	2.132	2.124
25/10/03	1.477	0.561	0.416	0.238	0.166	0.180	6.213	3.374	2.308
16/02/04	1.097	1.032	0.543	0.138	0.188	0.142	7.956	5.487	3.828
13/05/04	0.231	0.092	0.035	0.196	0.141	0.139	1.181	0.655	0.250
14/08/04	1.918	0.380	0.417	0.200	0.156	0.184	9.554	2.435	2.255
24/10/04	1.091	0.400	0.376	0.250	0.200	0.188	4.362	1.998	1.994
18/02/04	1.918	0.380	0.417	0.200	0.156	0.184	9.554	2.435	2.255

Πίνακας 3. Μετρικό επίδοσης δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης στις φυσικές εκτάσεις

Εξεταζόμε νη ημέρα	Ομοιογένεια μέσα στις CLC κατηγορίες βλάστησης (α)			Ετερογένεια μεταξύ των CLC κατηγοριών βλάστησης (β)			Μετρικό επίδοσης (α / β)		
	SVI	NDVI	EVI	SVI	NDVI	EVI	SVI	NDVI	EVI
13/05/03	0.607	0.437	0.473	0.416	0.250	0.291	1.459	1.744	1.630
14/08/03	0.664	0.399	0.441	0.376	0.205	0.221	1.765	1.945	1.999
25/10/03	1.491	0.751	0.546	0.245	0.200	0.212	6.091	3.749	2.576
16/02/04	1.222	1.187	0.725	0.160	0.246	0.259	7.602	4.819	2.795
13/05/04	0.959	0.623	0.557	0.371	0.270	0.274	2.586	2.300	2.034
14/08/04	0.796	0.475	0.511	0.392	0.225	0.249	2.027	2.110	2.046
24/10/04	2.003	0.536	0.499	0.349	0.234	0.235	5.730	2.286	2.116
18/02/05	2.250	1.058	1.205	0.225	0.329	0.411	9.966	3.207	2.927

5.2 Αξιολόγηση με τη χρησιμοποίηση του λόγου ευαισθησίας (Sensitivity Ratio)

Ο λόγος ευαισθησίας (SR) όπως ειπώθηκε στην αρχή του κεφαλαίου χρησιμοποιείται για τη σύγκριση μεθόδων. Αν υποθέσουμε ότι έχουμε δύο μεθόδους M και N.

Ο τύπος υπολογισμού του SR, είναι ο εξής:

$$SR\left(\frac{M}{N}\right) = \left| \frac{dM}{dN} \right| / \left(\frac{\sigma_M}{\sigma_N} \right) \quad (4)$$

Αν τώρα έχουμε $SR(M/N) > 1$ σημαίνει ότι η «τεχνική αξία» (technical merit) που έχει η μέθοδος M είναι καλύτερη από αυτή της N και αντίστοιχα αν $SR(M/N) < 1$ η «τεχνική αξία» (technical merit) της N είναι καλύτερη από της M. Όλοι οι όροι της σχέσης (4) μπορούν να καθοριστούν πειραματικά.

Από τις σχέσεις των δεικτών βλάστησης που περιγράφηκαν στο Κεφάλαιο 2, και αν θέσουμε για απλούστευση: Υπέρυθη ακτινοβολία (N), Κόκκινη ακτινοβολία (R) και μπλε ακτινοβολία (B), έχουμε τους παρακάτω μαθηματικούς τύπους:

$$NDVI = \frac{N - R}{N + R} \quad (5)$$

$$EVI = 2.5 \left(\frac{N - R}{N + 6R - 7.5B + 1} \right) \quad (6)$$

$$SVI = \frac{N}{R} \quad (7)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις, μπορούν να προκύψουν οι συναρτήσεις μεταξύ των δεικτών βλάστησης:

$$(5), (6) \rightarrow EVI = NDVI \frac{2.5(N + R)}{N + 6R - 7.5B + 1} \quad (8)$$

$$(5), (7) \rightarrow NDVI = \frac{SVI - 1}{SVI + 1} \quad (9)$$

$$(6), (7) \rightarrow EVI = 2.5R \frac{(SVI - 1)}{R(SVI + 6) - 7.5B + 1} \quad (10)$$

Για τη διευκόλυνση των υπολογισμών, ως τιμές των N, R και B ετέθησαν οι μέσες τιμές τους για την κάθε ημερομηνία που εξετάστηκε. Συνεπώς, έχοντας τις συναρτήσεις αυτές μπορούν να υπολογιστούν και οι παράγωγες συναρτήσεις τους και να έχουμε μία τιμή τους που απαιτείται κάθε φορά για τον υπολογισμό του SR:

$$(8) \rightarrow \frac{d(EVI)}{d(NDVI)} = \frac{2.5(N + R)}{N + 6R - 7.5B + 1}$$

$$(9) \rightarrow \frac{d(NDVI)}{d(SVI)} = \frac{2}{(SVI + 1)^2}$$

$$(10) \rightarrow \frac{d(EVI)}{d(SVI)} = 2.5R \frac{7R - 7.5B + 1}{[R(SVI + 6) - 7.5B + 1]^2}$$

Επομένως ο λόγος ευαισθησίας SR υπολογίστηκε από τις παραγώγους συναρτήσεις αυτές και τις μέσες τυπικές αποκλίσεις των δεικτών βλάστησης από τις κατηγορίες βλάστησης (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Λόγος ευαισθησίας (Sensitivity Ratio) δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης.

Εξεταζόμενη ημέρα	Λόγος ευαισθησίας (Sensitivity Ratio)			
	SR(NDVI/SVI)	SR(NDVI/EVI)	SR(EVI/SVI)	Συμπέρασμα
13/05/03	1.096995	1.086611	2.150529	NDVI>EVI>SVI
14/08/03	1.168246	1.132528	2.154424	NDVI>EVI>SVI
25/10/03	2.453793	0.477305	9.423381	EVI>NDVI>SVI
16/02/04	2.825081	0.280493	11.847058	EVI>NDVI>SVI
13/05/04	1.335476	0.702643	2.702107	EVI>NDVI>SVI
14/08/04	2.368556	1.085542	4.275535	NDVI>EVI>SVI
24/10/04	3.747217	0.841845	8.315162	EVI>NDVI>SVI
18/02/05	3.935625	0.474098	13.399899	EVI>NDVI>SVI

Πίνακας 5 Λόγος ευαισθησίας (Sensitivity Ratio) δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης στις καλλιεργούμενες εκτάσεις

Εξεταζόμενη ημέρα	Λόγος ευαισθησίας (Sensitivity Ratio)			
	SR(NDVI/SVI)	SR(NDVI/EVI)	SR(EVI/SVI)	Συμπέρασμα
13/05/03	1.312303	1.093917	2.434003	NDVI>EVI>SVI
14/08/03	1.155868	1.135443	2.066291	NDVI>EVI>SVI
25/10/03	2.560217	0.515731	9.391202	EVI>NDVI>SVI
16/02/04	2.522304	0.265413	11.287396	EVI>NDVI>SVI
13/05/04	1.364974	0.659576	3.951776	EVI>NDVI>SVI
14/08/04	4.411745	1.099467	7.627555	NDVI>EVI>SVI
24/10/04	2.939482	0.870334	6.155163	EVI>NDVI>SVI
18/02/05	3.519877	0.562221	12.127960	EVI>NDVI>SVI

Πίνακας 6. Λόγος ευαισθησίας (Sensitivity Ratio) δεικτών βλάστησης για το διαχωρισμό των CLC κατηγοριών βλάστησης στις φυσικές εκτάσεις

Εξεταζόμενη ημέρα	Λόγος ευαισθησίας (Sensitivity Ratio)			
	SR(NDVI/SVI)	SR(NDVI/EVI)	SR(EVI/SVI)	Συμπέρασμα
13/05/03	1.121357	1.088403	2.012871	NDVI>EVI>SVI
14/08/03	1.171608	1.138459	2.185542	NDVI>EVI>SVI
25/10/03	2.405633	0.456955	9.465117	EVI>NDVI>SVI
16/02/04	3.019798	0.289937	12.155549	EVI>NDVI>SVI
13/05/04	1.781844	0.730142	4.940747	EVI>NDVI>SVI
14/08/04	1.455859	1.087098	2.668915	NDVI>EVI>SVI
24/10/04	4.098559	0.831381	9.346674	EVI>NDVI>SVI
18/02/05	4.248346	0.431432	14.208962	EVI>NDVI>SVI

Ο λόγος ευαισθησίας (Sensitivity Ratio), όπως φαίνεται και στον τύπο υπολογισμού του (σχέση 4), χρησιμοποιεί τις τυπικές αποκλίσεις των δύο μεθόδων που συγκρίνει. Στη συγκεκριμένη περίπτωση, χρησιμοποιούνται οι μέσες τυπικές αποκλίσεις των τιμών των δεικτών βλάστησης που προκύπτουν από την κάθε κατηγορία βλάστησης ξεχωριστά. Επομένως, η σύγκριση που γίνεται, εξετάζει τους δείκτες βλάστησης ως προς την ομοιογένεια που υπάρχει μέσα στις κατηγορίες βλάστησης. Τα αποτελέσματα αφορούν μόνο αυτή την ικανότητα των δεικτών.

Τα αποτελέσματα που δίνονται από το λόγο ευαισθησίας (Sensitivity Ratio) είναι πιο ακριβή, γιατί όπως εξηγήθηκε παραπάνω δεν εξαρτώνται από την κλίμακα των τιμών που παίρνουν οι δείκτες βλάστησης. Το μειονέκτημα της προσέγγισης αυτής είναι ότι δε λαμβάνεται υπ' όψη η ετερογένεια που παρουσιάζουν οι κατηγορίες του CORINE Land Cover.

Τα αποτελέσματα αυτά δείχνουν πάλι την υπεροχή του EVI έναντι των άλλων δεικτών βλάστησης και παρατηρείται επίσης και ότι ο SVI μειονεκτεί εμφανώς στην ικανότητα που έχει να διακρίνει ομοιογενείς κατηγορίες βλάστησης, κάτι που φαίνεται και από την πρώτη προσέγγιση. Επιπλέον, τα αποτελέσματα του πίνακα 1 που αφορούν την ομοιογένεια είναι τα ίδια με τα αποτελέσματα του πίνακα 4 εκτός από αυτό της 18/02/05 όπου η πρώτη μέθοδος δείχνει ότι υπερτερεί ο NDVI έναντι του EVI ενώ στην δεύτερη το αντίθετο.

Για τη δεύτερη προσέγγιση, κάνοντας το διαχωρισμό και εξετάζοντας ξεχωριστά για φυσικές και καλλιεργούμενες εκτάσεις, παρατηρήθηκε ότι τα αποτελέσματα ήταν τα ίδια με τα γενικά αποτελέσματα που είναι στον πίνακα 4. Εμφανίζουν διαφορετικές τιμές (πίνακες 5,6), αλλά συγκριτικά απ' ότι φαίνεται τα τελικά αποτελέσματα είναι ίδια..

5.3 Συμπεράσματα 5ου κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε η αξιολόγηση των δεικτών βλάστησης, ως προς την ικανότητα να διακρίνουν κατηγορίες βλάστησης. Για το σκοπό αυτό θεωρήθηκε ως κατάλληλο υπόβαθρο το CORINE Land Cover 2000. Η αξιολόγηση αυτή έγινε με δύο προσεγγίσεις.

Τα συμπεράσματα που βγαίνουν από τις δύο προσεγγίσεις αναλύονται παρακάτω:

- Το συμπέρασμα που βγαίνει από την 1^η προσέγγιση, είναι ότι υπερέχει ο EVI στο διαχωρισμό των κατηγοριών βλάστησης του CORINE Land Cover. Φαίνεται επίσης, ότι δεν δίνει ξεκάθαρα αποτελέσματα για τις φυσικές εκτάσεις και σε κάποιες ημερομηνίες υπερείχε ο SVI. Ίσως ο SVI δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε ημέρες χωρίς σύννεφα όπως είναι και αυτές που υπερείχε.
- Επίσης, από τους πίνακες της ετερογένειας και της ομοιογένειας, μπορούμε να παρατηρήσουμε εύκολα ότι ο SVI δεν εμφανίζει ποτέ καλή ομοιογένεια και τις περισσότερες φορές έχει καλή ετερογένεια, κάτι που εξηγείται και από το μεγάλο εύρος τιμών που παίρνει $(0, +\infty)$ σε σχέση με τους άλλους που έχουν περιορισμένο εύρος.
- Ένα τελευταίο συμπέρασμα που βγαίνει για την πρώτη προσέγγιση είναι ότι ο τρόπος προσέγγισης αυτός δίνει διαφορετικά αποτελέσματα αν εφαρμοστεί ξεχωριστά για φυσικές και ξεχωριστά για καλλιεργούμενες εκτάσεις.
- Η δεύτερη προσέγγιση δίνει τα ίδια αποτελέσματα γενικά για την περιοχή μελέτης, για τις φυσικές εκτάσεις και τις καλλιεργούμενες εκτάσεις. Αυτό πιθανόν να οφείλεται και σε σύμπτωση γιατί οι τιμές του λόγου ευαισθησίας σε μερικές περιπτώσεις είναι πολύ κοντά στην μονάδα. και κοντεύουν να αλλάξουν το αποτέλεσμα.
- Αν η δεύτερη προσέγγιση συγκριθεί με την πρώτη, τα αποτελέσματά της είναι τα ίδια εκτός από μία μόνο ημερομηνία από τις 8. Αυτό σημαίνει ότι οι δύο προσεγγίσεις, δε φαίνεται να έχουν μεγάλη απόκλιση στη συγκεκριμένη εργασία. Μπορεί όμως σε άλλες περιπτώσεις να εμφανίσουν αρκετά διαφορετικά αποτελέσματα (Kull et al. 2003).

Κεφάλαιο 6: Αξιολόγηση των δεικτών βλάστησης ως προς την ικανότητά τους για επιχειρησιακή παρακολούθηση της βλάστησης

Η αρχική θεώρηση που έγινε να επιτευχθεί ο 2^{ος} στόχος (διερεύνηση της ευαισθησίας που παρουσιάζουν οι δείκτες βλάστησης που εξετάζονται σε παράγοντες που επηρεάζουν την επιχειρησιακή παρακολούθηση της κατάστασης των κατηγοριών βλάστησης), ήταν ότι οι δείκτες βλάστησης πρέπει να είναι εύχρηστοι σε κανονικές συνθήκες περιβάλλοντος για να έχουν καλή απόδοση και στην επιχειρησιακή παρακολούθηση της βλάστησης.

Επομένως, ένας δείκτης βλάστησης είναι χρήσιμος στην επιχειρησιακή παρακολούθηση της βλάστησης αν δεν επηρεάζεται από παράγοντες οι οποίοι συνήθως εμποδίζουν την παρατήρηση της γης από δορυφόρους. Η επίδοση των δεικτών βλάστησης σε τέτοιους παράγοντες εξετάστηκε χρησιμοποιώντας κάποια τεστ επίδοσης. Οι παράγοντες αυτοί, καθώς και οι περιγραφές των τεστ που έγιναν παρουσιάζονται παρακάτω:

6.1 Έκθεση στον ορίζοντα (*aspect*)

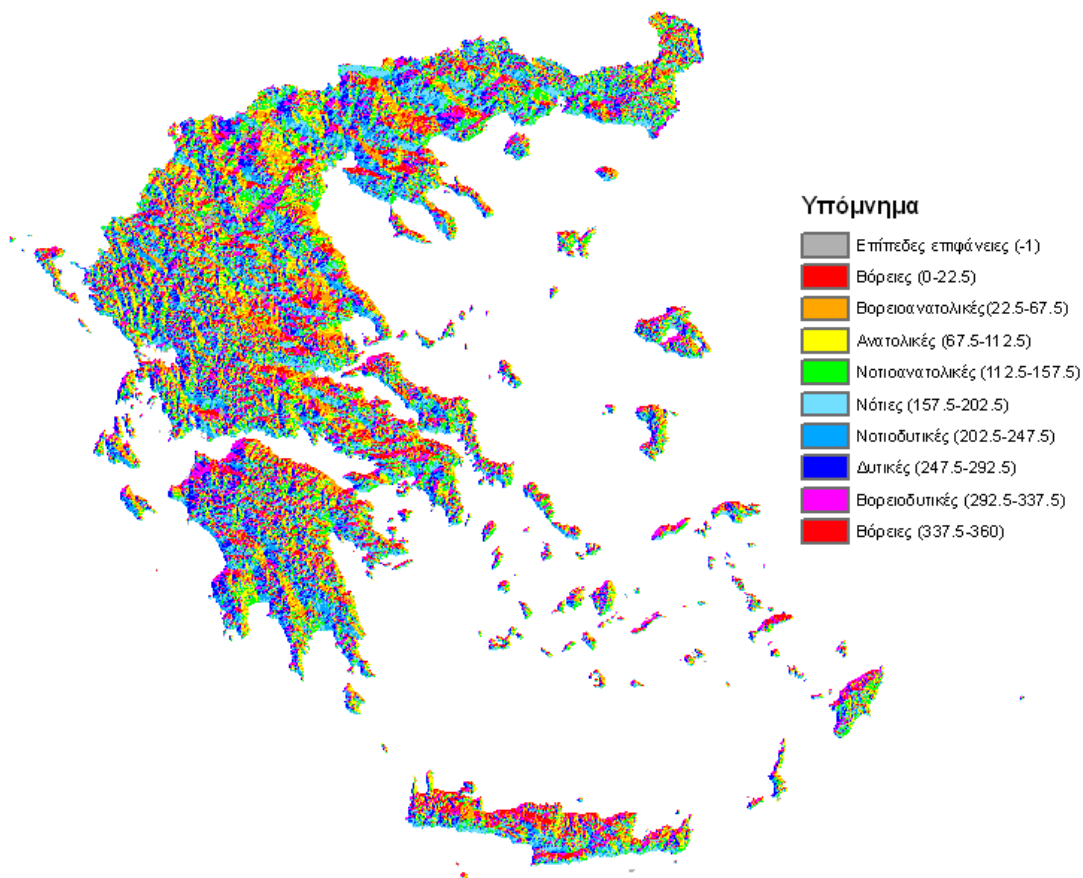
Η έκθεση στον ορίζοντα είναι ένας παράγοντας που έχει αναφερθεί ότι επηρεάζει την ανακλώμενη ακτινοβολία που επιστρέφει στον αισθητήρα του δορυφόρου και το φαινόμενο αυτό εξαρτάται από το ανάγλυφο του εδάφους το αζιμούθιο του ήλιου και το υψόμετρο.

Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για να ερευνηθεί η επίδραση της έκθεσης στον ορίζοντα και να γίνει η σύγκριση μεταξύ των δεικτών βλάστησης ήταν το επίπεδο συσχέτισης μεταξύ του κάθε δείκτη βλάστησης και της έκθεσης στον ορίζοντα. Ο δείκτης βλάστησης με το χαμηλότερο επίπεδο συσχέτισης με την έκθεση στον ορίζοντα, είναι και ο πιο κατάλληλος για την επιχειρησιακή παρακολούθηση της βλάστησης.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για να βρεθεί η συσχέτιση της έκθεσης στον ορίζοντα ήταν η εξής:

Δημιουργήθηκε μια απεικόνιση των εκθέσεων σε μορφή raster για όλη την Ελλάδα με πλευρά του κάθε εικονοστοιχείου 500 μ., χρησιμοποιώντας ένα πιο ακριβές ψηφιακό μοντέλο εδάφους με εικονοστοιχεία αρκετά μικρότερα (127 μ. η

πλευρά τους). Η απεικόνιση αυτή των εκθέσεων σε μορφή raster έγινε για 8 κατηγορίες έκθεσης (B., B.A., A., N.A., N., N.Δ., Δ., B.Δ.) (Εικόνα 10).

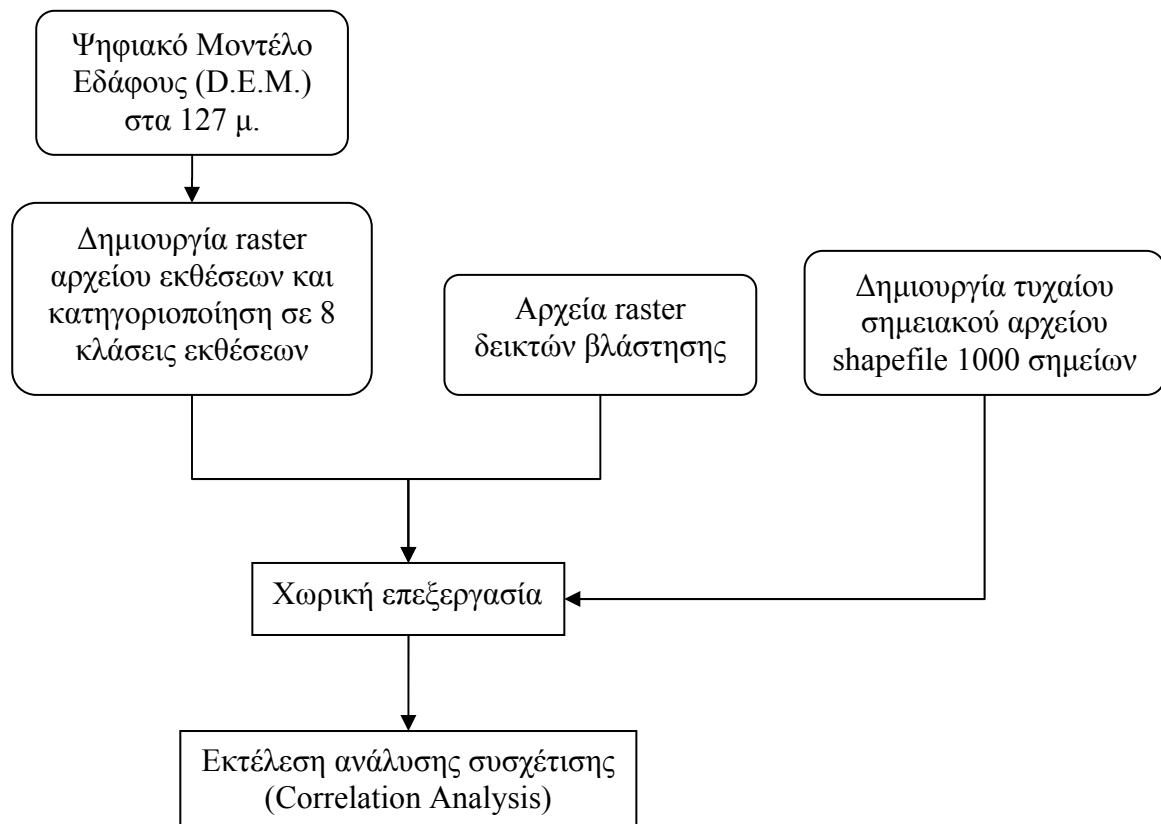


Εικόνα 10. Απεικόνιση της έκθεσης στον ορίζοντα σε 8 κατηγορίες: (B., B.A., A., N.A., N., N.Δ., Δ., B.Δ.).

Στη συνέχεια επιλέχθηκε ένα τυχαίο δείγμα 1000 σημείων το οποίο κάλυπτε όλη την Ελλάδα (Εικόνα 11). Για το κάθε σημείο του τυχαίου αυτού δείγματος καταγράφηκαν η τιμή της κατηγορίας της έκθεσης και της τιμής του αντίστοιχου δείκτη βλάστησης. Κατόπιν, για τα σημεία αυτά έγινε συσχέτιση (correlation analysis) των τιμών των δεικτών με τις κατηγορίες της έκθεσης για να ερευνηθεί αν υπάρχει κάποια συσχέτιση μεταξύ των δεικτών βλάστησης και της έκθεσης στον ορίζοντα. Ο δείκτης βλάστησης που θα εμφάνιζε τη μικρότερη συσχέτιση με τις τιμές του raster αυτού αρχείου θα ήταν και ο καταλληλότερος για την επιχειρησιακή παρακολούθηση της βλάστησης.



Εικόνα 11. Τυχαίο δείγμα 1000 σημείων.



Εικόνα 12. Μεθοδολογία εξέτασης της επιρροής της έκθεσης στον ορίζοντα στους δείκτες βλάστησης.

Τα αποτελέσματα για την επιρροή της έκθεσης στον ορίζοντα, έδειξαν ότι δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των δεικτών αυτών βλάστησης και της έκθεσης στον ορίζοντα. Επομένως η έκθεση στον ορίζοντα δεν δείχνει να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο ως παράγοντας που επηρεάζει στην επιχειρησιακή παρακολούθηση της βλάστησης (Πίνακας 7).

Πίνακας 7. Η επιρροή της έκθεσης στον ορίζοντα. (Συντελεστές συσχέτισης των δεικτών με την έκθεση στον ορίζοντα)

Εξεταζόμενη ημερομηνία	SVI	NDVI	EVI
13/05/2003	-0.054	-0.020	-0.068*
14/08/2003	-0.095**	-0.096**	-0.083**
25/10/2003	0.044	-0.018	-0.043
16/02/2004	0.009	-0.032	-0.011
13/05/2004	-0.033	-0.060*	-0.014
14/08/2004	-0.111**	-0.135**	-0.117**
24/10/2004	-0.062*	-0.078*	-0.084**
18/02/2005	0.014	0.086**	0.042

** . Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01 (2-tailed).

* . Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 (2-tailed).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι τη λιγότερη επιρροή δέχεται ο SVI, όμως οι τιμές είναι πολύ μικρές και οι συσχετίσεις άλλοτε θετικές και άλλοτε αρνητικές, οπότε δε μπορούν να εξαχθούν χρήσιμα και επαρκή συμπεράσματα.

6.2 Η γωνία του αισθητήρα (viewing angle)

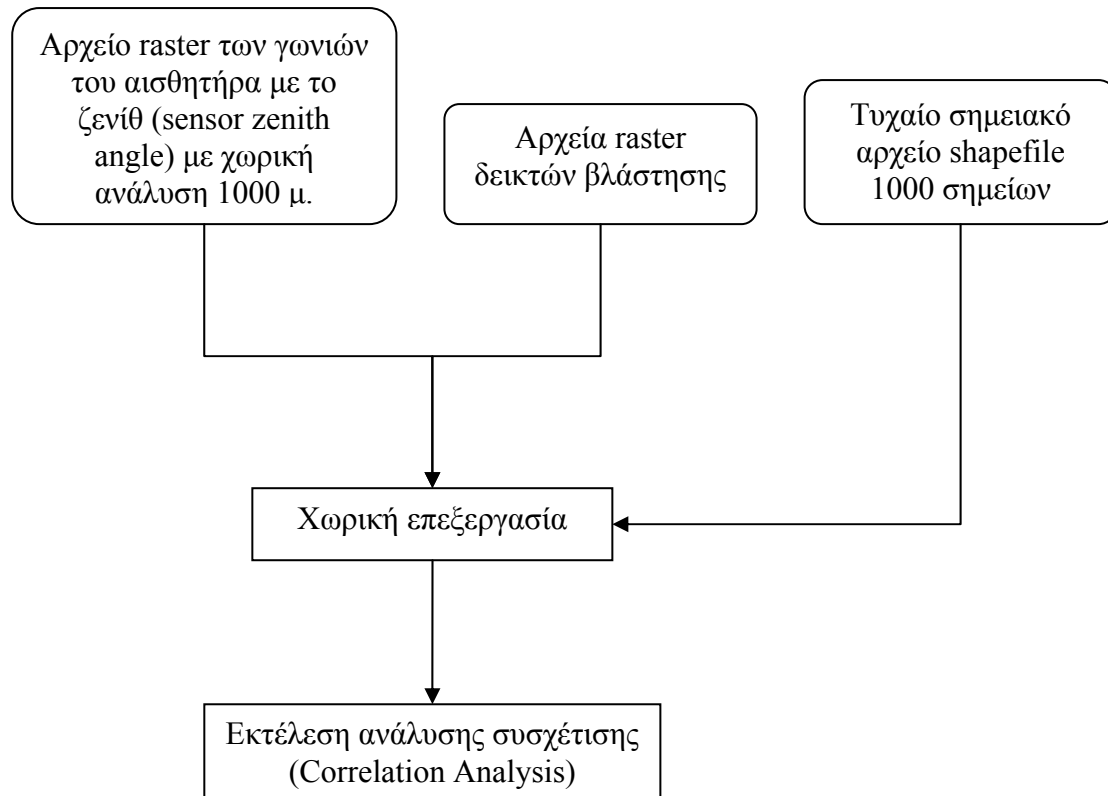
Τα δορυφορικά δεδομένα που απεικονίζουν μεγάλες εκτάσεις επηρεάζονται κυρίως από τη γωνία λήψης του αισθητήρα (Zhang et al, 2003). Για την απεικόνιση της γωνίας του αισθητήρα MODIS, χρησιμοποιήθηκε το καθημερινό προϊόν του MODIS που απεικονίζει διάφορες γωνίες, όπως το αζιμούθιο του ηλίου και του δορυφόρου και τη γωνία με το ζενίθ του ηλίου και του δορυφόρου, MODIS/TERRA daily Geolocation Angles product (MODMGGAD.A) με χωρική ανάλυση 1000 μ. Από αυτές τις γωνίες αυτή που ενδιέφερε στην ανάλυση ήταν η γωνία του αισθητήρα με το ζενίθ (sensor zenith angle), επομένως επιλέχθηκε μόνο αυτή η πληροφορία και χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια για την έρευνα της επιρροής της στους δείκτες βλάστησης (Εικόνα 13).



Εικόνα 13. Απεικόνιση της γωνίας του αισθητήρα με το ζενίθ (sensor zenith angle) την 13/05/2003. (Οι φωτεινότεροι τόνοι του γκρι απεικονίζουν μεγαλύτερες τιμές, δηλαδή μεγαλύτερες γωνίες).

Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για να ερευνηθεί η επίδραση της γωνίας του αισθητήρα, ήταν πάλι το επίπεδο συσχέτισης μεταξύ των δεικτών βλάστησης και το raster αρχείο που απεικονίζει τη γωνία του αισθητήρα με το ζενίθ. Ο δείκτης βλάστησης που έχει τη μικρότερη συσχέτιση με τις τιμές του raster αρχείου θα είναι και ο καταλληλότερος για την επιχειρησιακή παρακολούθηση της βλάστησης, όσον αφορά την επιρροή που δέχονται οι τιμές του από τη γωνία αυτή.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για να συγκριθούν οι επιδόσεις των δεικτών βλάστησης σε σχέση με την ικανότητά τους να «αντιστέκονται» στις διάφορες γωνίες παρατήρησης, ήταν να επιλεγεί πάλι ένα τυχαίο δείγμα 1000 σημείων για το κάθε σημείο του οποίου καταγράφηκαν οι τιμές του raster αρχείου των γωνιών του αισθητήρα με το ζενίθ, καθώς και οι αντίστοιχες τιμές των raster αρχείων των δεικτών βλάστησης και στη συνέχεια να γίνει συσχέτιση των τιμών αυτών (Εικόνα 14).



Εικόνα 14. Μεθοδολογία εξέτασης της επιρροής της γωνίας του αισθητήρα με το ζενίθ (sensor zenith angle) στους δείκτες βλάστησης.

Τα αποτελέσματα για την επιρροή της γωνίας του αισθητήρα, παρόλο που είχαμε χαμηλούς συντελεστές συσχέτισης ($<0,5$), έδειξαν ότι ο SVI είχε τη χαμηλότερη συσχέτιση με τις διάφορες γωνίες της λήψης του αισθητήρα με το ζενίθ όπως και ο NDVI. Ο EVI σε όλες τις ημερομηνίες είχε το μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης, άρα και τη μεγαλύτερη επιρροή από τη γωνία λήψης του αισθητήρα με το ζενίθ (Πίνακας 8). Ωστόσο οι διαφορές δεν ήταν τόσο σημαντικές για να χαρακτηρίσουμε τον SVI ως το λιγότερο επηρεαζόμενο από τη γωνία λήψης του αισθητήρα και αντίστοιχα τον EVI ως τον περισσότερο επηρεαζόμενο.

Πίνακας 8. Η επιρροή της γωνίας του αισθητήρα. (Συντελεστές συσχέτισης των δεικτών με τη γωνία του αισθητήρα)

Εξεταζόμενη ημερομηνία	SVI	NDVI	EVI
13/05/2003	0.038	0.013	0.019
14/08/2003	0.338**	0.420**	0.386**
25/10/2003	-0.214**	-0.430**	-0.393**
16/02/2004	0.086**	0.065**	0.144**
13/05/2004	-0.200**	-0.260**	-0.402**
14/08/2004	0.269**	0.281**	0.381**
24/10/2004	0.202**	0.209**	0.361**
18/02/2005	-0.025	-0.143**	-0.132**

** . Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01 (2-tailed).

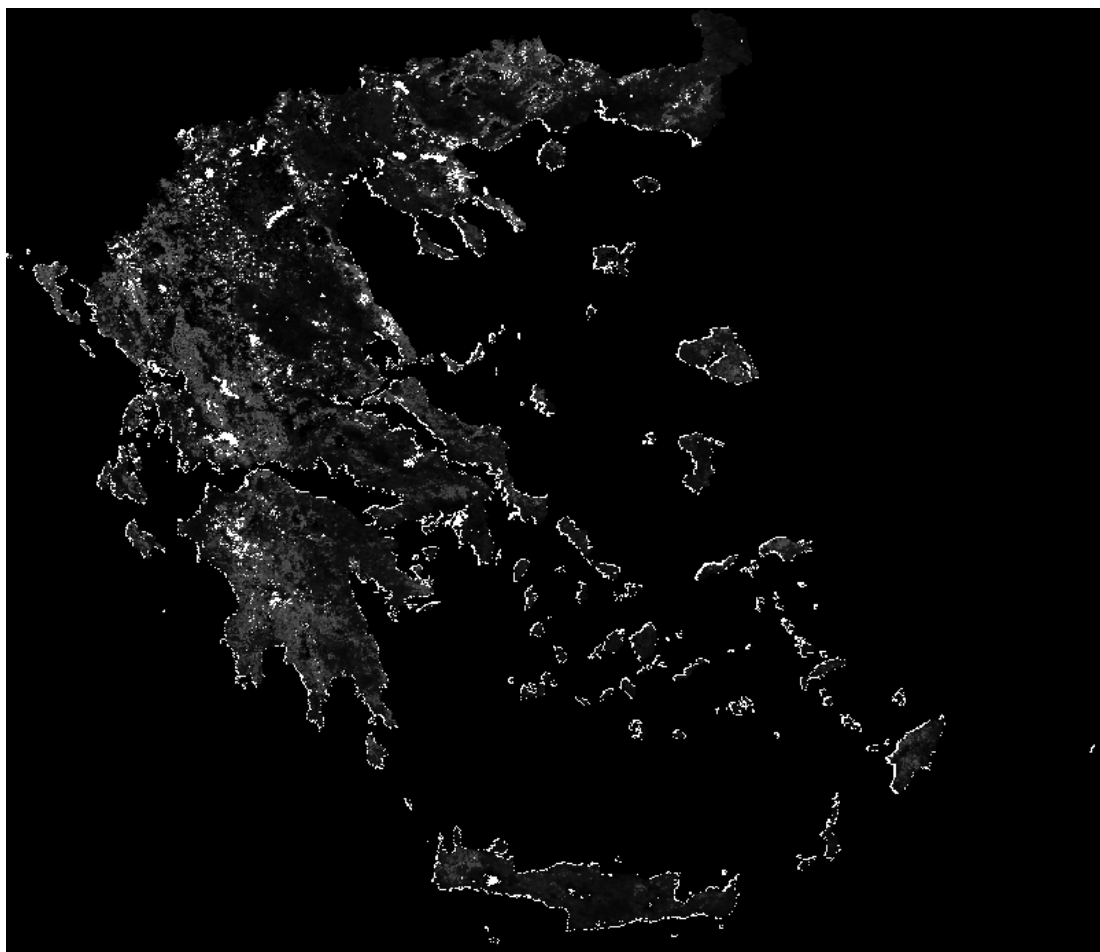
* . Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 (2-tailed).

6.3 Κορεσμός στο σήμα του δείκτη (*signal saturation*)

Το κυριότερο μειονέκτημα στους δείκτες που σχηματίζονται με αναλογία που περιορίζει το εύρος των τιμών τους, όπως είναι ο NDVI και ο EVI, είναι ότι συγκλίνουν ασυμπτωτικά με ένα επίπεδο κορεσμού σήματος μετά από κάποιο επίπεδο πυκνότητας της βιομάζας ή κάποιας τιμής του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (Tucker 1977, Todd et al. 1998, Gao et al. 2000).

Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για να ερευνηθεί ο κορεσμός των δεικτών βλάστησης ήταν η μεταβλητότητα του κάθε δείκτη σε περιοχές με βιομάζα μεγάλης πυκνότητας, όπου ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας έπαιρνε τις μέγιστες τιμές του.

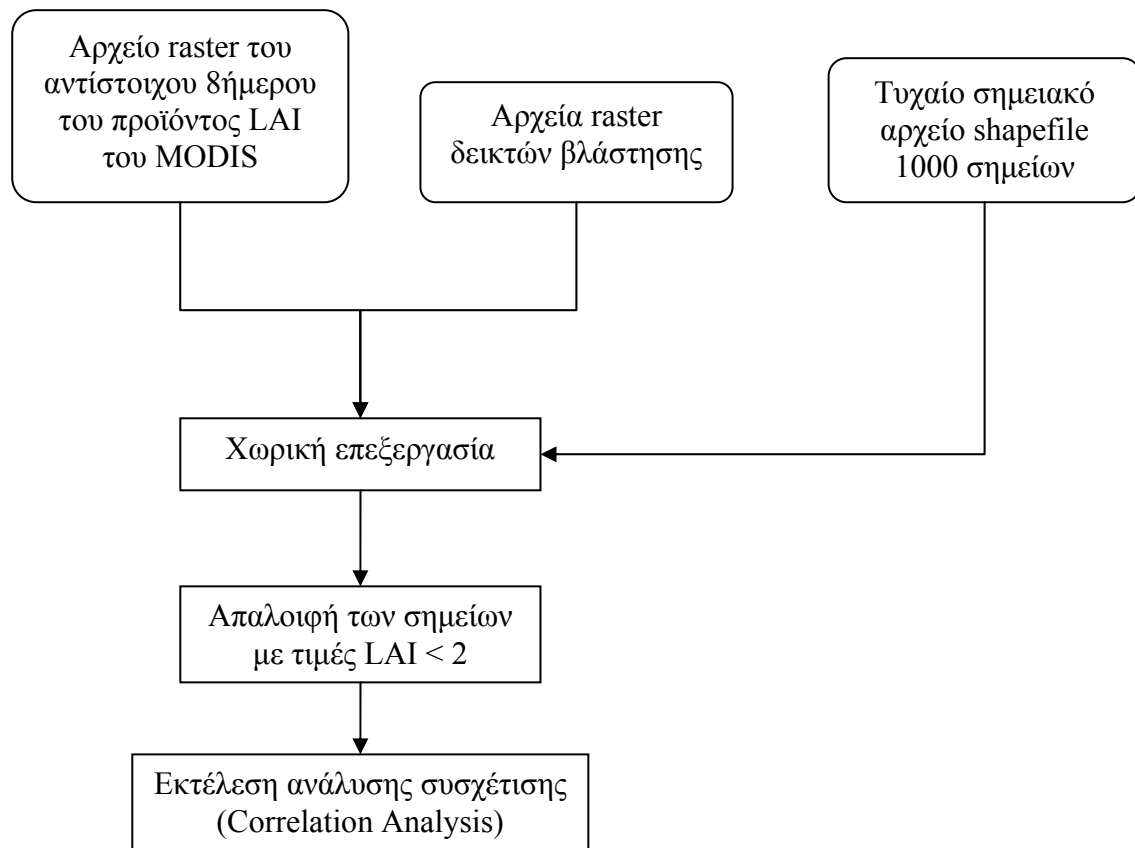
Για να βρεθούν τέτοιες περιοχές με βιομάζα μεγάλης πυκνότητας, χρησιμοποιήθηκε ως δεδομένο αναφοράς το 8ήμερο προϊόν του MODIS που απεικονίζει το δείκτη φυλλικής επιφάνειας, MODIS/TERRA 8day Leaf Area Index product (MOD15A2.A) με χωρική ανάλυση 1000 μ. (Εικόνα 15).



Εικόνα 15. Απεικόνιση του προϊόντος MOD15A2.Α του 8ήμερου 9-17/05/2003, μετά από επεξεργασία.

Επομένως, ο δείκτης βλάστησης που θα εμφάνιζε υψηλότερη συσχέτιση με το LAI του MODIS στις μεγάλες τιμές του προϊόντος αυτού όπου και παρατηρείται ο κορεσμός στο σήμα του, θα σήμαινε ότι ανταποκρίνεται καλύτερα στην απεικόνιση της βλάστησης και δεν παθαίνει κορεσμό.

Αυτό ελέγχθηκε χρησιμοποιώντας πάλι τυχαίο δείγμα 1000 σημείων, από τα οποία καταγράφηκαν οι τιμές του LAI και συσχετίστηκαν με τις αντίστοιχες των δεικτών βλάστησης. Τα σημεία που είχαν τιμή του LAI μικρότερη από 2 δεν συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση γιατί οι δείκτες βλάστησης δεν αναμένεται να παθαίνουν κορεσμό σε τόσο αραιή βλάστηση (Εικόνα 16).



Εικόνα 16. Μεθοδολογία εξέτασης της επιρροής του κορεσμού του σήματος των δεικτών βλάστησης.

Όσον αφορά την επιρροή της επίδρασης του κορεσμού του σήματος των δεικτών, τα αποτελέσματα δείξαν ότι ο SVI ήταν ο περισσότερο συσχετισμένος με το προϊόν του MODIS που απεικονίζει το δείκτη φυλλικής επιφάνειας σε τιμές στις οποίες αναμενόταν κορεσμός στο σήμα του δείκτη (δηλαδή με τιμή $LAI > 2$) (Πίνακας 9). Στις τελευταίες ημερομηνίες όμως, 24/10/2004 & 18/02/2005, μεγαλύτερη συσχέτιση εμφάνισε ο EVI.

Πίνακας 9. Η επιρροή της επίδρασης του κορεσμού του σήματος των δεικτών. (Συντελεστές συσχέτισης των δεικτών με το προϊόν LAI του MODIS)

Εξεταζόμενη ημερομηνία	SVI	NDVI	EVI
13/05/2003	0.211**	0.111	0.198**
14/08/2003	0.403**	0.361**	0.163**
25/10/2003	0.123	0.027	0.011
16/02/2004	0.110	-0.023	-0.084
13/05/2004	0.127*	0.127*	-0.025
14/08/2004	0.338**	0.236**	0.228**
24/10/2004	-0.050	-0.072	0.287*
18/02/2005	0.029	0.046	0.139

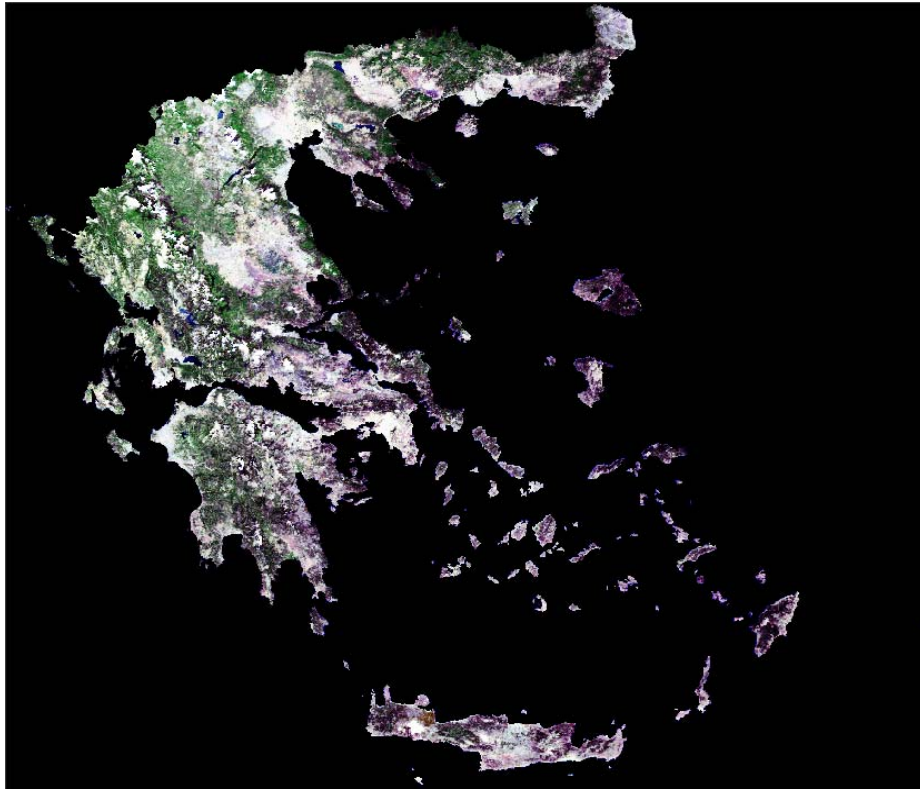
** . Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01 (2-tailed).

* . Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 (2-tailed).

6.4 Μερική νεφοκάλυψη των εικονοστοιχείων (*partially cloud covered pixels*)

Η μερική νεφοκάλυψη των εικονοστοιχείων είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει τους δείκτες βλάστησης σε εικόνες με εικονοστοιχεία μεγάλου μεγέθους (Zhang et al. 2003). Επομένως, η διερεύνηση της επιρροής των μερικώς νεφοκαλυμμένων εικονοστοιχείων αποτελεί παράγοντα που επηρεάζει την επιχειρησιακή παρακολούθηση της βλάστησης και συνεπώς και στόχο της εργασίας. Τα εικονοστοιχεία που καλύπτονται από νέφη μπορεί να είναι πολλά ή λίγα σε μια εικόνα, ανάλογα με τη νεφοκάλυψη που παρουσιάζεται. Επίσης το κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να έχει διαφορετικό ποσοστό νεφοκάλυψης.

Το κριτήριο που χρησιμοποιήθηκε για να ερευνηθεί η επιρροή της μερικής νεφοκάλυψης των εικονοστοιχείων ήταν το επίπεδο συσχέτισης που εμφανίζουν τα μερικώς νεφοκαλυμμένα εικονοστοιχεία με τα αντίστοιχα –χωρίς σύννεφα– εικονοστοιχεία της προηγούμενης ή της επόμενης ημέρας, τα οποία είχαν τις ίδιες συντεταγμένες (Εικόνα 17).



Εικόνα 17.A) 13/05/2003



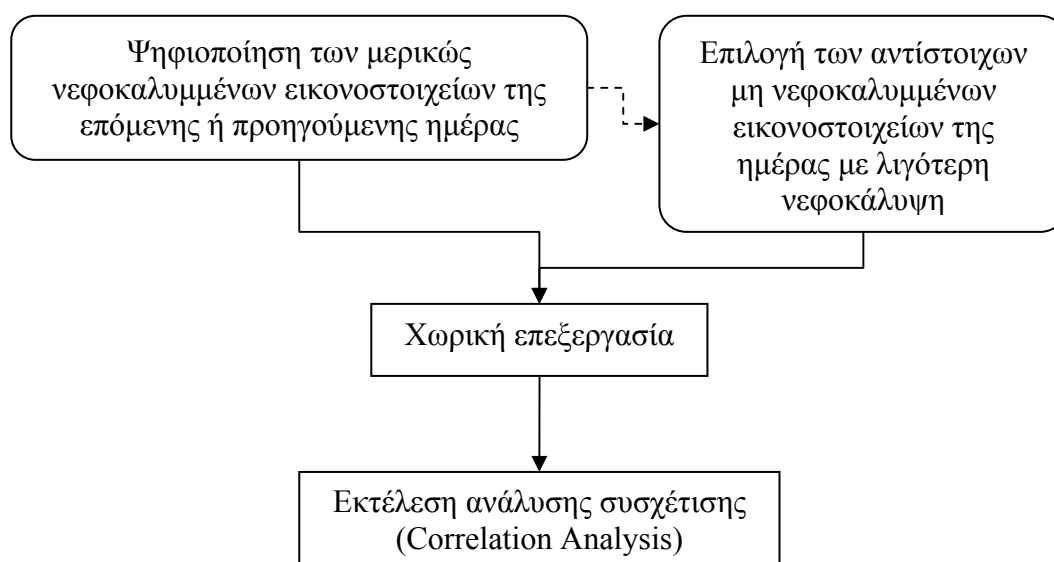
Εικόνα 17.B) 14/05/2003

Εικόνα 17. Δύο διαδοχικές ημέρες του προϊόντος /TERRA daily Surface Reflectance (MOD09GHK). Η εικόνα στις 14/05/2003 έχει εμφανώς μεγαλύτερη νεφοκάλυψη απ' την άλλη.

Επομένως, ο δείκτης βλάστησης με τον υψηλότερο συντελεστή συσχέτισης μεταξύ των μερικώς νεφοκαλυμμένων εικονοστοιχείων και των μη νεφοκαλυμμένων εικονοστοιχείων της επόμενης ή προηγούμενης ημέρας θα είναι και ο δείκτης που θα επηρεάζεται λιγότερο από τη μερική νεφοκάλυψη των εικονοστοιχείων και επομένως θα είναι και ο καταλληλότερος για επιχειρησιακή παρακολούθηση της βλάστησης.

Αυτή η σύγκριση βασίστηκε στην εξής υπόθεση: Οι αλλαγές στην κατάσταση της βλάστησης δεν είναι σημαντικές ανάμεσα σε δύο διαδοχικές μέρες (Alexandridis et al., forthcoming).

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν να επιλεγούν και να απομονωθούν κάποια εικονοστοιχεία (όσο περισσότερα γινόταν) τα οποία βρισκόταν περιμετρικά των νεφών και για τα οποία υπήρχαν τα αντίστοιχα –χωρίς νεφοκάλυψη- εικονοστοιχεία της επόμενης ή της προηγούμενης ημέρας. Στην πράξη δημιουργήθηκε μια «μάσκα» με τα μερικώς νεφοκαλυμμένα εικονοστοιχεία από τη δορυφορική εικόνα που είχε τα περισσότερα μερικώς νεφοκαλυμμένα εικονοστοιχεία και εφαρμόστηκε στην προηγούμενη ή στην επόμενη εικόνα που είχε εμφανώς λιγότερα. Η «μάσκα» αυτή δημιουργήθηκε σε περιοχές της δορυφορικής εικόνας, επιλεγμένες έτσι ώστε να μην υπάρχει καθόλου νεφοκάλυψη στις αντίστοιχες περιοχές της προηγούμενης ή επόμενης ημέρας που χρησιμοποιήθηκε (Εικόνα 18).

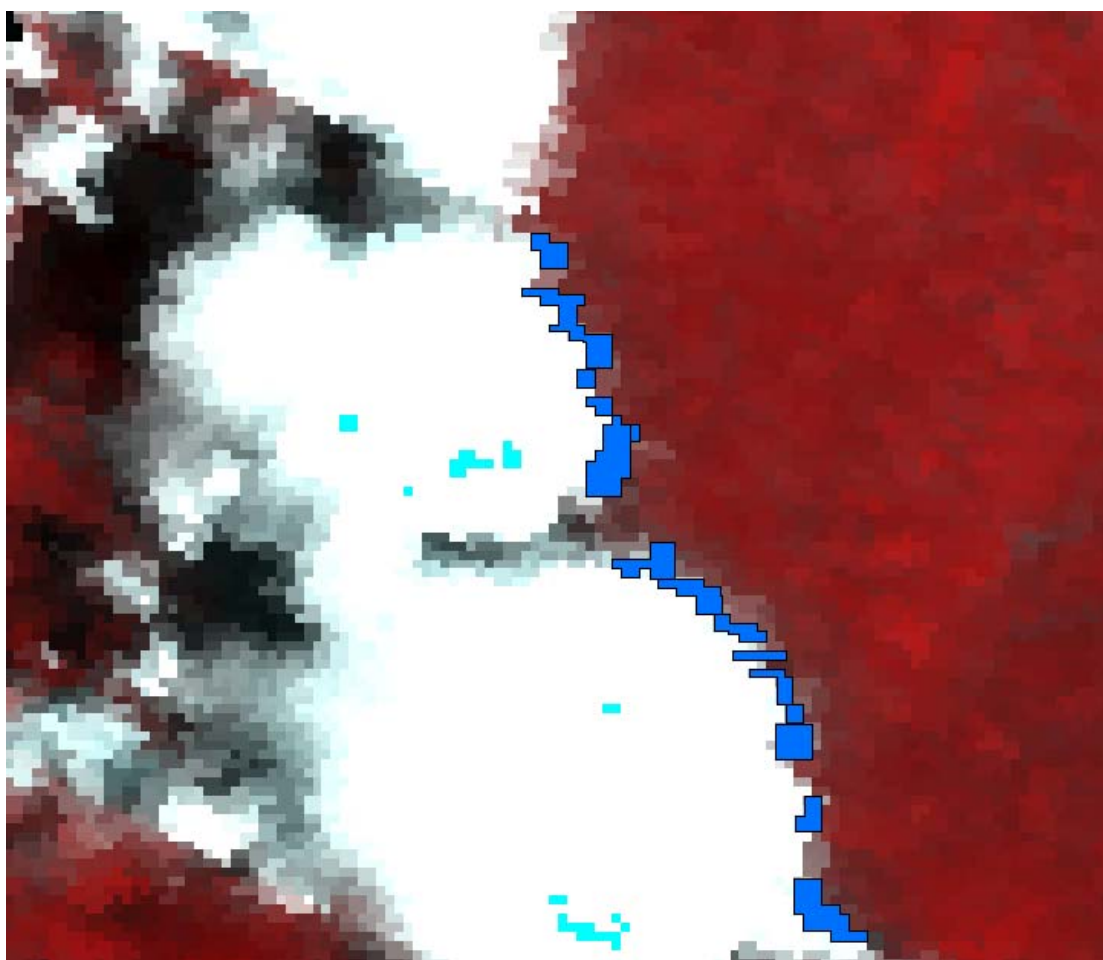


Εικόνα 18. Μεθοδολογία για τον έλεγχο της επιρροής των εικονοστοιχείων που παρουσιάζουν μερική νεφοκάλυψη.

Οι καταλληλότερες περιοχές για τη συλλογή τέτοιων εικονοστοιχείων ήταν αυτές γύρω από πυκνά νέφη, όπου τα εικονοστοιχεία είχαν μικρό ή μεγάλο βαθμό μερικής νεφοκάλυψης και έπαιρναν τιμές μικρότερες από τα γειτονικά τους που είχαν

αρκετά μεγάλες ανακλάσεις στους περισσότερους φασματικούς διαύλους. Οι περιοχές αυτές επιλέχθηκαν επίσης από τη μεριά εκείνη των νεφών όπου δεν υπήρχε σκίαση, για να αποφευχθούν οι επιρροές από τη σκίαση που προκαλούν τα ίδια τα νέφη (Εικόνα 19).

Για την ενέργεια αυτή και για καλύτερα αποτελέσματα χρησιμοποιήθηκαν ως βοηθητικά μέσα και τα δεδομένα MODIS/TERRA daily Surface Reflectance (MOD09QHK) με χωρική διακριτική ικανότητα 250 μ. Επίσης, η απεικόνιση του υπέρυθρου φασματικού διαύλου (841–876 nm) με κόκκινο και του κόκκινου φασματικού διαύλου (620–670 nm) με πράσινο και μπλε βόηθησε αρκετά στο διαχωρισμό των μερικώς νεφοκαλυμμένων εικονοστοιχείων.



Εικόνα 19. Επιλογή των εικονοστοιχείων. (Με μπλε απεικονίζονται τα εικονοστοιχεία που επιλέχθηκαν, με λευκό τα σύννεφα και με κόκκινο η βλάστηση).

Τα αποτελέσματα στην επίδραση της μερικής νεφοκάλυψης, δείχναν ότι αυτή ήταν η χαμηλότερη για το δείκτη βλάστησης EVI για όλες τις εξεταζόμενες ημέρες (Πίνακας 10). Οι συσχετίσεις που γίνονται είναι σχετικά καλές, σε αντίθεση με τις

προηγούμενες αξιολογήσεις για επιχειρησιακή παρακολούθηση και οι περισσότερες είναι σημαντικές για επίπεδο σημαντικότητας 0.01.

Πίνακας 10. Η επιρροή της επίδρασης της μερικής νεφοκάλυψης (Συντελεστές συσχέτισης των δεικτών δύο διαδοχικών ημερών)

Εξεταζόμενες ημερομηνίες	SVI	NDVI	EVI
13/05/03 - 14/05/03	-0.067**	-0.037	0.053*
13/08/03 - 14/08/03	0.313**	0.299**	0.588**
25/10/03 - 26/10/03	0.201**	0.179**	0.366**
16/02/04 - 15/10/04	0.108**	0.326**	0.597**
13/05/04 - 14/05/04	0.312**	0.460**	0.646**
13/08/04 - 14/08/04	0.440**	0.475**	0.591**
24/10/04 - 25/10/04	0.164**	0.225**	0.716**
17/02/05 - 18/02/05	0.036**	0.328**	0.630**

** . Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 0.01 (2-tailed).

* . Η συσχέτιση είναι σημαντική σε επίπεδο σημαντικότητας 0.05 (2-tailed).

6.5 Συμπεράσματα 6^{ου} κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε αξιολόγηση των δεικτών βλάστησης ως προς την ικανότητα που έχουν για την επιχειρησιακή εφαρμογή τους στην παρακολούθηση της βλάστησης.

Για το σκοπό αυτό εξετάστηκαν και τέσσερις παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν ή είναι πιθανόν να επηρεάζουν τις τιμές τους και τα συμπεράσματα δίνονται παρακάτω:

- Η έκθεση στον ορίζοντα (aspect) δε φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά κάποιον από τους δείκτες βλάστησης, μιας και οι τιμές των συσχετίσεων που έγιναν με τον παράγοντα αυτό είναι πολύ μικρές και οι συσχετίσεις άλλοτε θετικές και άλλοτε αρνητικές, κάτι που υποδεικνύει τη μη επιρροή τους από τον παράγοντα αυτό.
- Όσον αφορά τη γωνία του αισθητήρα με το ζενίθ (sensor zenith angle), φαίνεται να υπάρχει μια εμφανή τάση του SVI να επηρεάζεται λιγότερο από τους άλλους δείκτες βλάστησης και ο EVI, κρατώντας τις πιο υψηλές τιμές συσχέτισης, να επηρεάζεται περισσότερο από τον παράγοντα αυτόν.
- Για τον παράγοντα του κορεσμού του σήματος (signal saturation), φαίνεται ότι ο δείκτης SVI επηρεάζεται λιγότερο, μιας και συσχετίζεται περισσότερο με το LAI σε μεγάλες τιμές όπου προφανώς οι άλλοι δείκτες βλάστησης παθαίνουν κορεσμό. Τα αποτελέσματα ήταν και λίγο αναμενόμενα, και

πιθανώς οφείλονται στο γεγονός ότι ο δείκτης βλάστησης SVI δεν έχει περιορισμένο εύρος τιμών, άρα το σήμα του δεν παθαίνει εύκολα κορεσμό. Όσο για τις τελευταίες ημερομηνίες, είχαν μεγαλύτερη νεφοκάλυψη σχετικά με τις άλλες, κάτι που οδηγεί στη σκέψη ότι ο EVI έχει καλύτερη απόδοση σε εικόνες με μεγαλύτερη νεφοκάλυψη.

- Η μερική νεφοκάλυψη των εικονοστοιχείων (partially cloud covered pixels), φαίνεται ότι επηρεάζει λιγότερο τον EVI από τους άλλους δείκτες βλάστησης. Οι συσχετίσεις των μερικώς νεφοκαλυμμένων εικονοστοιχείων της κάθε ημέρας με τα αντίστοιχα (χωρίς νεφοκάλυψη) εικονοστοιχεία της προηγούμενης ή της επόμενης της, ήταν μεγαλύτερες όταν εξεταζόταν για τον EVI. Το αποτέλεσμα αυτό πιθανόν να οφείλεται στο μαθηματικό τύπο του EVI, καθώς αυτός έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να μην έχει ευαισθησία ατμοσφαιρικές επιρροές (Huete, et al., 2002).

Κεφάλαιο 7: Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα

Στην εργασία αυτή, για την επίτευξη του πρώτου στόχου, ερευνήθηκε η επίδοση των δεικτών βλάστησης SVI, NDVI, EVI για παρακολούθηση της κατάστασης των κατηγοριών βλάστησης του προγράμματος CORINE Land Cover χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του αισθητήρα MODIS του δορυφόρου Terra. Για τη διεξαγωγή της έρευνας αυτής, χρησιμοποιήθηκαν περιγραφικά στατιστικά που εκτιμήθηκαν για διάφορες CLC κατηγορίες βλάστησης και μέτρα συσχέτισης που οργανώθηκαν κατάλληλα για να δημιουργηθούν μέτρα επίδοσης των δεικτών βλάστησης. Επίσης χρησιμοποιήθηκε ο λόγος ευαισθησίας (Sensitivity Ratio), ο οποίος έχει δημιουργηθεί για σύγκριση μεθόδων και δεν επηρεάζεται από την κλίμακα των τιμών των δεδομένων.

Επιπλέον, για την επίτευξη του δεύτερου στόχου, έγινε η αξιολόγηση των δεικτών βλάστησης για επιχειρησιακή παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης, καθώς και διερεύνηση των παραγόντων που επηρεάζουν τις τιμές των σημάτων τους. Για τη διεξαγωγή της έρευνας αυτής, επινοήθηκαν διάφορα τεστ ανάλογα με τη φύση των παραγόντων που τους επηρεάζουν και έγινε μια σύγκριση μεταξύ των τριών αυτών δεικτών βλάστησης για να αναδειχθεί ο δείκτης βλάστησης που επηρεάζεται λιγότερο από κάθε παράγοντα αντίστοιχα.

Τα αποτελέσματα της έρευνας, έδειξαν ότι ο δείκτης βλάστησης EVI ήταν πιο ικανός στο να διακρίνει μεταξύ διαφορετικών CLC κατηγοριών βλάστησης κατά τη διάρκεια των περισσότερων ημερών που πραγματοποιήθηκαν τα τεστ. Επομένως, ο δείκτης αυτός μπορεί να διακρίνει με περισσότερη επιτυχία τις λεπτές διαφορές της κατάστασης της βλάστησης όταν έχουμε παρακολούθηση της βλάστησης σε μικρές κλίμακες όπως αυτές του αισθητήρα MODIS.

Όσον αφορά τη χρήση των δεικτών βλάστησης για επιχειρησιακή παρακολούθηση (2^{ος} στόχος), τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η έκθεση στον ορίζοντα δεν επηρεάζει σημαντικά τους δείκτες βλάστησης του δορυφόρου MODIS. Ο δείκτης βλάστησης EVI αναδείχτηκε ικανότερος στην παρακολούθηση της βλάστησης κάτω από συνθήκες μερικής νεφοκάλυψης. Όσον αφορά όμως τους άλλους παράγοντες όπως τον κορεσμό στο σήμα και την επιρροή από τη γωνία λήψης του αισθητήρα με το ζενίθ, υπερίσχυσαν ο NDVI και ο SVI.

Αποδείχτηκε ότι το κύριο πλεονέκτημα του SVI ήταν το ότι δεν παθαίνει κορεσμό όπως οι άλλοι δύο και απεικονίζει καλύτερα την κατάσταση της βλάστησης

εκεί όπου έχουμε μεγάλη πυκνότητα της βλάστησης και ο δείκτης LAI παίρνει μεγάλες τιμές. Μειονεκτεί όμως από τους άλλους δύο στην ικανότητά του να διαχωρίζει τις CLC κατηγορίες βλάστησης.

Ο NDVI δεν έδειξε ούτε να υπερτερεί ούτε να μειονεκτεί ξεκάθαρα σε σχέση με τους άλλους δείκτες βλάστησης.

Ο EVI υπερίσχυσε στην ικανότητα να διακρίνει καλύτερα τις κατηγορίες βλάστησης όπως αυτές του CORINE και είχε επίσης και υπεροχή όσον αφορά τα μεικτά εικονοστοιχεία που είχαν μερική νεφοκάλυψη. Το κυριότερο μειονέκτημα του EVI όμως για δεδομένα MODIS είναι ότι δε μπορεί να εκμεταλλευτεί πλήρως τη χωρική διακριτική ικανότητα που διαθέτει ο MODIS, δηλαδή στα 250 μ. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι για τα δεδομένα του MODIS στα 250 μ. δεν είναι διαθέσιμο όλο το φασματικό εύρος που υπάρχει στα 500 μ., παρά μόνο οι δύο διάυλοι που είναι στο κοντινό υπέρυθρο μήκος κύματος και στο κόκκινο. Ο διάυλος που απεικονίζει το μπλε τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, είναι διαθέσιμος για τα δεδομένα MODIS, μόνο για χωρική ανάλυση 500 μ. και 1000 μ. Οι άλλοι δύο δείκτες βλάστησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για δεδομένα MODIS με χωρική ανάλυση 250 μ. και να δώσουν ίσως και καλύτερα αποτελέσματα για την παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης.

Στην πραγματικότητα οι επιδόσεις των δεικτών όσον αφορά την επιχειρησιακή παρακολούθηση ήταν πολύ κοντά στα χαρακτηριστικά που έχουν οι δείκτες αυτοί από τη σχεδιάσή τους και τους σκοπούς για τους οποίους δημιουργήθηκαν.

Συμπερασματικά, ένας δείκτης βλάστησης, δεν είναι δυνατόν να ξεπεράσει όλες τις δυσκολίες που εμφανίζονται στην παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης σε κλίμακες όπως αυτές των δεδομένων του MODIS. Το γεγονός αυτό οδήγησε και στη δημιουργία πληθώρας δεικτών βλάστησης, που είναι εξειδικευμένοι στο να παρατηρούν κάποια χαρακτηριστικά καλύτερα ή στο να αποφεύγουν διάφορους θορύβους και επιρροές από παράγοντες σαν κι αυτούς που εξετάστηκαν.

Ως επακόλουθο της εργασίας αυτής και για μελλοντική έρευνα, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περισσότεροι δείκτες βλάστησης που θα συγκριθούν και θα φανούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους ως προς την παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης. Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, θα μπορούσε να εφαρμοστεί για συγκρίσεις δεικτών με παρόμοιες ιδιότητες, να επισημανθούν τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής τους και να εξαχθούν συμπεράσματα για την εφαρμογή τους σε συγκεκριμένες περιοχές και με

συγκεκριμένες συνθήκες, ανάλογα με το ενδιαφέρον που υπάρχει. Επιπλέον, η μεθοδολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για δεδομένα μεγαλύτερης διακριτικής ικανότητας και να εφαρμοστεί για την αξιολόγηση και επιλογή ενός ή περισσότερων δεικτών βλάστησης, για την παρακολούθηση της κατάστασης βλάστησης κάποιας ιδιαίτερα σημαντικής περιοχής, όπως μίας περιοχής Natura 2000 ή ενός εθνικού δρυμού.

Βιβλιογραφία

- Alexandridis, T.K., I.Z. Gitas, N.G. Silleos, (forthcoming). An estimation of the optimum temporal resolution for monitoring vegetation condition on a nationwide scale using MODIS/Terra data. *International Journal of Remote Sensing*, (accepted).
- Asrar, G., M. Fuchs., E.T. Kanemasu, J.L. Hatfield, 1984, Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf-area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*, 76, pp. 300–306.
- Baret, F. & G. Guyot, 1991. Potentials and limits of vegetation indexes for LAI and APAR assessment. *Remote Sensing of Environment*, 35, pp. 161–173.
- Biggs, T.W., P.S. Thenkabail, M.K. Gumma, C.A. Scott, G.R. Parthasaradhi, H.N. Turrall, 2006, Irrigated area mapping in heterogeneous landscapes with MODIS time series, ground truth and census data. *Krishna Basin, India. International Journal of Remote Sensing*, 27, pp. 4245–4266.
- Birth, G.S. & G. McVey, 1968. Measuring the color of growing turf with a reflectance spectroradiometer. *Agronomy Journal*, 60:640-643.
- Büttner, G., J. Feranec, G. Jaffrain, L. Mari, G. Maucha & T. Soukup. The CORINE LAND COVER 2000 PROJECT. *EARSeL eProceedings* 3, 3/2004.
- Braun – Blanquet, J., 1951. Pflanzensoziologie. *Springer Verlag*, 2. Auflage, Wien.
- Campbell, J. B., 1996. Introduction to Remote Sensing. *London: Taylor & Francis*.
- CEC, 1994, CORINE land cover. *Technical guide, Luxembourg* (Office for Official Publications of European Communities), 152 pp.
- Cihlar, J., 2000. Land cover mapping of large areas from satellites: status and research priorities. *International Journal of Remote Sensing*, 21: 1093-1114.
- Droppers, P., 2002, Global irrigated area mapping: overview and recommendations. *Working Paper 36 (Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute)*. <http://www.iwmi.cgiar.org/pubs/working/WOR36.pdf>.
- Gao, X., A. R. Huete, W. Ni, T. Miura, 2000. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*, 74, 609–620.
- Gao, B.C., 1996, NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58, pp. 257–266.

- Gates, D. M., 1970, Physical and physiological properties of plants: *in Remote Sensing with Special Reference to Agriculture and Forestry, National Academy of Sciences, Washington (DC), p. 224-252.*
- Gates, D. M., H. J. Keegan, V. R. Schleiter, V. R. Weidner, 1965. Spectral properties of plants. *Applied Optics*, v. 4, no. 1, p. 11-20.
- Gausman, H. W., W. A. Allen, R. Cardenas, 1969. Reflectance of cotton leaves and their structure: *Remote Sensing of Environment*, v. 1, p. 19-22.
- Gibson, P. & C. Power, 2000. Introductory Remote Sensing: Digital Image Processing and Applications. *Routledge, 29 West 35th Street, New York, NY 10001*
- Gitas, I.Z., G. Mitri, I. Avyikou, E. Diamanti, 2004. Vegetation greenness mapping of Greece using MODIS imagery. *In Workshop on MODIS Data and Imagery: How to Get and Use Them, Valladolid, Spain.*
- Gong, P. & B. Xu, (2003). Remote sensing of forests over time: Change types, methods, and opportunities. In M. Woulter, & S. E. Franklin (Eds.). *Remote sensing of forest environments: Concepts and case studies (pp. 301–333).* Amsterdam, Netherlands' Kluwer Press.
- Huete, A., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao, L.G. Ferreira, 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83 (2002) 195–213
- Huete, A.R., C. Justice, W. van Leeuwen, 1999. MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document, NASA Goddard Space Flight Center. http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf, 120p.
- Huete, A.R., H. Liu, K. Batchily, W. van Leeuwen, 1997. A Comparison of Vegetation Indices over a Global Set of TM Images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment* 59(3):440-451.
- Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295– 309.
- Huete, A.R., R.D. Jackson., D.F. Post, 1985. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*, 17, pp. 37–53.
- Jackson, R.D., P.N. Slater, P.J. Pinter, 1983. Discrimination of Growth and Water Stress in Wheat by Various Vegetation Indices Through Clear and Turbid Atmospheres. *Remote Sensing of the Environment* 15:187-208.
- Jensen, J. R., 2005. Introductory Digital Image Processing, pp. 310-311

- Jensen, J. R., 2000. An Earth Resource Perspective. *Remote sensing of the environment, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 544 p.*
- Ji, L. & A.J. Peters, 2007. Performance evaluation of spectral vegetation indices using a statistical sensitivity function. *Remote Sensing of Environment, 106, 59-65.*
- Justice, D. H., V. Salomonson, J. Privette, G. Riggs, A. Strahler, R. Lucht, R. Myneni, Y. Knjazihhin, S. Running, R. Nemani, E. Vermote, J. Townshend, R. Defries, D. Roy, Z. Wan, A. Huete, R. van Leeuwen, R. Wolfe, L. Giglio, J.-P. Muller, P. Lewis, M. Barnsley, (1998). The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36, 1228–1249.*
- Καρτέρης, Μ. 2004. Τηλεπισκόπηση περιβάλλοντος. *Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, σελ. 214-217.*
- Katagis, T., I. Gitas, T. Alexandridis, C. Topaloglou, N. Silleos, 2006. Developing MODIS time series for monitoring vegetation condition: preliminary results. In: *Proceedings of 26th Symposium of European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL), 29 May - 2 June, Warsaw, Poland.*
- Kaufman, Y. J. & D. Tanré, 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30, 261–270.*
- Kull, L. S., T. D. Vuong, K. S. Powers, K. M. Eskridge, J. R. Steadman, G. L. Hartman, 2003. Evaluation of resistance screening methods for Sclerotinia stem rot of soybean and dry bean. *Plant Dis. 87:1471-1476.*
- Lawrence R.L. & W.J. Ripple, 1998. Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape: Mount St. Helens, Washington. *Remote Sensing of Environment, 64, 91-102.*
- Lillesand, T.M., & R.W. Kiefer, 2000. Remote sensing and image Interpretation. *Fourth edition. John Wiley & Sons, New York, NY, 724 p.*
- Mandel, J. 1964. The statistical analysis of experimental data. *Wiley, New York*
- Ministry of Environment, Spatial Planning and Public Works of Greece [MINENV], 2004. CORINE Land Cover 2000 map. *European Environment Agency, <http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/>*
- Myers, V. I., M. E. Bauer, H. W. Gausman, W. G. Hart, J. L. Heilman, R. B. McDonald, A. B. Park, R. A. Ryerson, T. J. Schmugge, F. C. Westin, 1983. Remote sensing in agriculture, in R. N. Colwell, ed., *Manual of Remote Sensing:*

- American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, VA, p. 2111-2228.*
- Myers, V. I. & W. A. Allen, 1968. Electrooptical remote sensing methods as nondestructive testing and measuring techniques in agriculture. *Applied Optics*, v. 7, no. 9, p. 1819-1838.
- Mavromatis, G., 1980. The Bioclimate of Greece, relationship of climate and natural vegetation, bioclimatic maps. *Institute of Forest Research of Athens, Athens.*
- Mouflis, G., D. Karamanolis, I. Gitas, 2007. Training Networking and capacity building for sustainable forestry in Povolgie. Vegetation, bioclimatic zones, forest service and forest management in Greece. *Education and Culture TEMPUS, Povolgie.*
- Ντάφης, Σ., 1973. Ταξινόμησης της δασικής βλαστήσεως της Ελλάδος. Επιστημονική Επετηρίς της Γεωπονικής και Δασολογικής Σχολής, τόμ. ΙΕ, τεύχ. Β, Θεσσαλονίκη.
- Rouse, J.W. Jr., R.H. Haas, D.W. Deering, J.A. Schell, J.C. Harlan, 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. *NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD., 371p.*
- Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, 1973. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I: 309-317.*
- Running, S. W., C. Justice, V. Salomonson, D. Hall, J. Barker, Y. Kaufman, A. Strahler, A. Huete, J. P. Muller, V. Vanderbilt, Z. M. Wan, P. Teillet, D. Carnegie, (1994). Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 3587– 3620.
- Sellers, P.J., 1985. Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. *International Journal of Remote Sensing* 6:1335-1372.
- Συλλαίος, Ν., Ι. Γήτας, Γ. Συλλαίος, 2007. Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και στην Τηλεπισκόπηση. *Εκδόσεις Γιαχούδη, σελ. 217-222.*
- Silleos, N.G., T.K. Alexandridis, I.Z. Gitas, K. Perakis, 2006. Vegetation Indices: Advances made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the last 30 Years. *Geocarto International*, 21(4):21-28.
- Silleos, N., K. Perakis, G. Petsanis, 2002, Assessment of crop damage using space remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 23, pp. 417– 427.

- Slonecker, E. T., D. M. Shaw, T. M. Lillesand, 1998. Emerging legal issues in advanced remote sensing technology: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 64, p. 589-595.
- Todd, S. W., R. M. Hoffer, D. G. Milchunas, 1998. Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 427–438.
- Townshend, J. (Ed.), 1981. Terrain analysis and Remote Sensing. *Allen and Unwin, London 1981*.
- Tucker, C. J., W. W. Newcomb, S. O. Los, S. D. Prince, 1991. Mean and inter-year variation of growing season normalized difference vegetation index for the sahel 1981–1989. *International Journal of Remote Sensing*, 12(6), 1133–1135.
- Tucker, C.J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of the Environment* 8:127-150.
- Tucker C. J., 1977. Asymptotic nature of grass canopy spectral reflectance. *Applied Optics*, 16, 1151–1156.
- Vaiopoulos, D., G. Skianis, K. Nikolakopoulos, 2004. The contribution of probability theory in assessing the efficiency of two frequently used vegetation indices, *International Journal of Remote Sensing*, 25(20):4219-4236.
- Vogelmann, J.E., T. Sohl, S.M. Howard, 1998. Regional characterization of land cover using multiple sources of data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 64: 45-57.
- Zhang, X.Y., et al. 2003. Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 84, 471-475.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: Η κατηγοριοποίηση του CORINE Land Cover (1)

Πίνακας 11. Η κατηγοριοποίηση του CORINE Land Cover

Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3
1. ARTIFICIAL SURFACES	1.1. Urban fabric 1.2. Industrial, commercial and transport units 1.3. Mine, dump and construction sites 1.4. Artificial, non-agricultural vegetated areas	1.1.1. Continuous urban fabric 1.1.2. Discontinuous urban fabric 1.2.1. Industrial or commercial units 1.2.2. Road and rail networks and associated land 1.2.3. Port areas 1.2.4. Airports 1.3.1. Mineral extraction sites 1.3.2. Dump sites 1.3.3. Construction sites 1.4.1. Green urban areas 1.4.2. Port and leisure facilities
2. AGRICULTURAL AREAS	2.1. Arable land 2.2. Permanent crops 2.3. Pastures 2.4. Heterogeneous agricultural areas	2.1.1. Non-irrigated arable land 2.1.2. Permanently irrigated land 2.1.3. Rice fields 2.2.1. Vineyards 2.2.2. Fruit trees and berry plantations 2.2.3. Olive groves 2.3.1. Pastures 2.4.1. Annual crops associated with permanent crops 2.4.2. Complex cultivation patterns 2.4.3. Land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation 2.4.4. Agro-forestry areas
3. FOREST AND SEMI-NATURAL AREAS	3.1. Forests 3.2. Scrub and/or herbaceous	3.1.1. Broad-leaved forest 3.1.2. Coniferous forest 3.1.3. Mixed forest 3.2.1. Natural grassland

	<p>Associations</p> <p>3.3. Open spaces with little or no vegetation</p>	<p>3.2.2. Moors and heathland</p> <p>3.2.3. Sclerophyllous vegetation</p> <p>3.2.4. Transitional woodland-scrub</p> <p>3.3.1. Beaches, dunes, sands</p> <p>3.3.2. Bare rocks</p> <p>3.3.3. Sparsely vegetated areas</p> <p>3.3.4. Burnt areas</p> <p>3.3.5. Glaciers and perpetual snow</p>
4. WETLANDS	<p>4.1. Inland wetlands</p> <p>4.2. Marine wetlands</p>	<p>4.1.1. Inland marshes</p> <p>4.1.2. Peat bogs</p> <p>4.2.1. Salt marshes</p> <p>4.2.2. Salines</p> <p>4.2.3. Intertidal flats</p>
5. WATER BODIES	<p>5.1. Inland waters</p> <p>5.2. Marine waters</p>	<p>5.1.1. Water courses</p> <p>5.1.2. Water bodies</p> <p>5.2.1. Coastal lagoons</p> <p>5.2.2. Estuaries</p> <p>5.2.3. Sea and ocean</p>

Πηγή: Büttner et al. 2004

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2: Τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα MODIS

Πίνακας 12. Τα φασματικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα MODIS ανάλογα με τη χωρική διακριτική του ικανότητα

	Χωρική διακριτική ικανότητα (m)	Φασματική διακριτική ικανότητα					
Αισθητήρας	Μέγεθος εικονοστοιχείου (m)	Μπλε (nm)	Πράσινο (nm)	Κόκκινο (nm)	Κοντινό υπέρυθρο (nm)	Μέσο υπέρυθρο (μm)	Θερμικό (μm)
MODIS	250			620	841-876		
	500	459-479	545-565			1.23-1.25 1.6281.652 2.105-2.155	
	1000	405-420 438-448 483-448	526-536 546-556	662-672 673-638	743-753 862-877 890-920 915-965 931-941	1.360-1.390	3.66-3.84 3.929-3.989 4.02-4.08 4.433-4.498 4.482-4.549 6.535-6.895 7.175-7.475 8.400-8.700 9.580-9.880 10.78-11.28 11.77-12.27 13.185-13.485 13.485-13.785 13.785-14.085 14.085-14.385

Πηγή: Huete 2004

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3: Δημοσίευση που προέκυψε από τη συγγραφή της μεταπτυχιακής διατριβής (1)

Εργασία δημοσιευμένη στα πρακτικά (proceedings) του συνεδρίου της EARSeL (European Association of Remote Sensing Laboratories).

27^ο συνέδριο EARSeL Bolzano, Ιταλία, 4-7 Ιουνίου 2007.

Θέμα: «GEOINFORMATION IN EUROPE».

Evaluation of SR, NDVI and EVI for operational monitoring the condition of CORINE vegetation types

Nikolaos Oikonomakis*, Ioannis Z. Gitas, Thomas Katagis

*Lab of Forest Management and Remote Sensing, Faculty of Forestry and Natural Environment Aristotle University of Thessaloniki, * e-mail: nick09@for.auth.gr*

Thomas K. Alexandridis, Nikolaos G. Silleos

Lab of Remote Sensing and GIS, Faculty of Agronomy Aristotle University of Thessaloniki, Greece

Keywords: Vegetation Indices, monitoring, MODIS

ABSTRACT

Vegetation monitoring has been performed by remotely sensed images since the early launches of Landsat satellite series. Recent satellite sensors, such as MODIS, provide frequent wide scale coverage in multiple areas of the spectrum, allowing the estimation of sophisticated vegetation indices (VIs), which are insensitive to soil background, atmospheric disturbances, and other factors that influence the quality of the recorded information. It is not, however, clear which VI performs better during operational monitoring of wide scale vegetation patches, such as CORINE Land Cover (CLC) classes. The aim of this work was to investigate the performance of several VIs in monitoring of CLC vegetation types, using MODIS / Terra data. This was achieved by assessing the performance of the VIs for discriminating between different CLC vegetation types, and their sensitivity to factors such as the aspect, viewing angle, signal saturation, and partial cloud cover, in order to identify their operational monitoring ability. Results indicate the Enhanced Vegetation Index (EVI) as superior for discriminating between CLC types, but not always optimum in the performance tests for operational monitoring.

INTRODUCTION

Vegetation is monitored from Earth Observation satellites at large scales in order to provide knowledge about the condition of natural ecosystems, the productivity of crops and the assessment of fire risk (Katagis et al., 2006). Often, monitoring of vegetation condition with remotely sensed data is performed by employing vegetation indices (VIs), which are spectral transformations of two or more bands. The usefulness of using VIs is immense, as they allow easy calculation and interpretation, and minimisation of radiometric, atmospheric and topographic effects. A large number of VIs has been designed, providing several advantages (Silleos et al., 2006). Inevitably, several evaluations and comparisons between VIs have been made available using the probability theory (Vaiopoulos et al., 2004), regression analysis (Lawrence and Ripple, 1998) and sensitivity analysis (Ji and Peters, 2007). However, it is not clear which VI performs better during operational monitoring of wide scale vegetation patches, such as CORINE Land Cover (CLC) classes, as a comparative analysis has not been performed yet for large coverage satellites, such as the MODIS/Terra sensor.

The aim of this work was to investigate the performance of several VIs in monitoring vegetation condition of CORINE Land Cover vegetation types, using MODIS/Terra data. The objectives were: (i) to investigate the performance of various VIs for discriminating between different CLC vegetation types, and (ii) to investigate the VIs' sensitivity to factors that influence operational monitoring.

STUDY AREA AND DATA DESCRIPTION

The study area was the whole of Greece (131,000 km²), including only vegetated areas according to CLC2000. The vegetation cover is considered as typical Mediterranean and it is consisted by natural vegetation (forests, pastures, scrubs and herbaceous vegetation associations) and agricultural vegetation (arable land, heterogeneous agricultural areas and permanent crops). A listing of CLC vegetation types (Level 2) is represented in Figure 1.

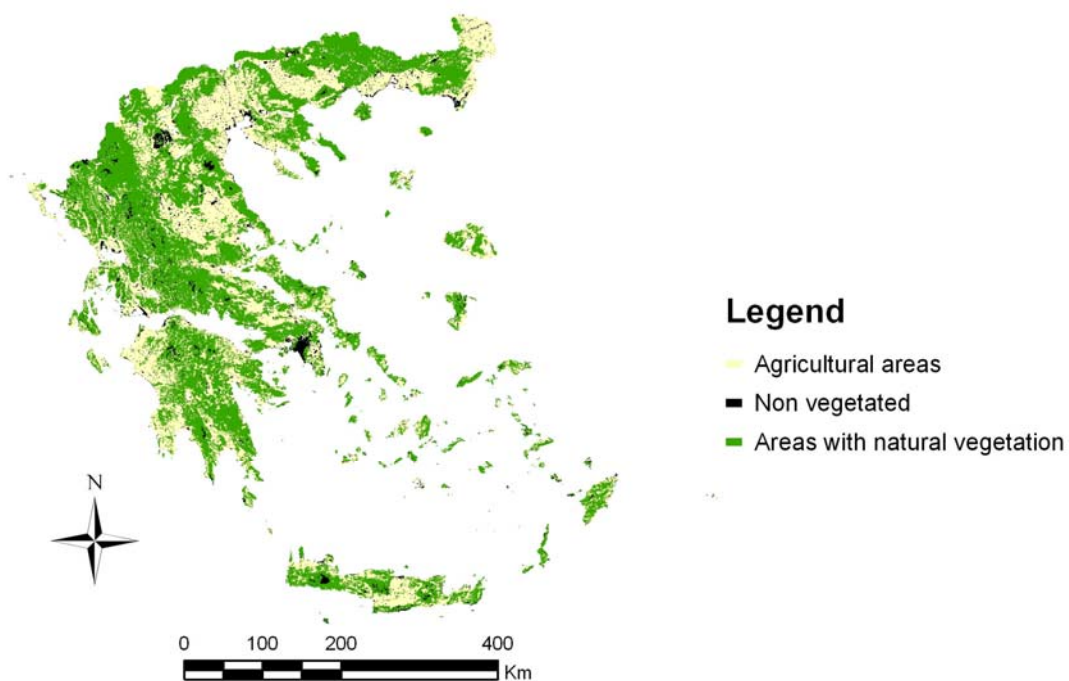


Figure 1: Vegetated areas of Greece according to CORINE Land Cover 2000 (Level 2)

The data used in this study were acquired by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on board the Terra satellite. The CORINE Land Cover was also used to identify areas of homogeneous land cover. The dataset were:

- The MODIS/TERRA daily Surface Reflectance product (MOD09GHK) at 500m pixel resolution. This product was selected in preference to the 250m MOD09GQK because it included the spectral bands necessary for the calculation of the examined VIs.
- The MODIS/TERRA 8day Leaf Area Index product (MOD15A2.A) at 1km pixel resolution.
- The MODIS/TERRA daily Geolocation Angles product (MODMGGAD.A) at 1km pixel resolution.
- The Digital Elevation Model (DEM) of Greece at 127m resolution, derived from interpolation of elevation contours.
- CORINE Land Cover 2000. From the CLC 2000 data the 2nd Level of classification was used, as it was in a similar scale to the above mentioned raster datasets.

METHODS DATA ACQUISITION AND PRE-PROCESSING

All the MODIS data were downloaded from the Earth Observing System Data Gateway (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>). They were reprojected from the Sinusoidal projection to the Greek, and the tiles covering the study area were mosaicked and masked to the extents of Greek land.

Three VIs were examined in this study: the Simple Ratio index SR (Birth and McVey, 1968), the Normalized Difference Vegetation Index NDVI (Rouse et al., 1974), and the Enhanced Vegetation Index (Huete et al., 1999). All these VIs were created by using the Surface Reflectance products, which were at full radiometric range, having a pixel size of 500m, as were the input reflectance images. Factors used in EVI calculation were adopted following Huete et al. (1999): $L=1$ $C1=6$ $C2=7.5$ $G=2.5$.

Evaluation of indices for discriminating between CLC types

The basic assumption for the first objective was that monitoring vegetation condition would be better performed with VIs that are able to discriminate between CLC types. Therefore, the objective function is formulated: the optimum VI for discriminating between CLC types would also display highest heterogeneity between CLC types. At the same time, the observed values of the optimum VI are expected to display high homogeneity within CLC types. So, if a vegetation index has high homogeneity within the CLC types and simultaneously has high heterogeneity between CLC types, then it is highly responsive to the changes of vegetation and could be more useful in monitoring. To facilitate interpretation of results, a performance metric was estimated by dividing homogeneity by heterogeneity. The best VI would display the lowest metric value.

The criterion used for estimation of homogeneity was the summary of coefficients of variation (CV) of VI values within each CLC type. The VI with the lowest summary of CV was the VI that had the highest homogeneity within the CLC types.

The criterion used to estimate heterogeneity, i.e. the differentiation between CLC types was the CV of the mean values of each CLC type. The VI with the highest CV of mean values was the VI that had the highest heterogeneity between the CLC types.

The method used for the estimation of homogeneity and heterogeneity was to calculate means and standard deviations of the pixels of VIs in each CLC type. This was achieved by considering the CLC types of level 2 as zones, within which descriptive statistics were calculated from the raster VI layers.

Evaluation of indices for operational vegetation monitoring

The basic assumption for the second objective was that VIs should be usable under normal conditions, thus performing well for operational vegetation monitoring. Therefore, the objective function was formulated: a VI would be useful in operational monitoring if it was not affected by the factors that usually hinder Earth Observation monitoring. The performance of the VIs to various factors was examined using performance tests.

- *Aspect*: Aspect is a factor reported to influence the sensor's return signal, depending on the relief and sun azimuth and elevation. The criterion used to investigate the influence of aspect was the level of correlation between the VIs and the aspect. The VI with the lowest correlation coefficient with aspect was the most appropriate for operational monitoring. In order to assess the relation of VIs in relation to aspect, a random sample of 1000 points was selected, which covered the whole Greece. Then an aspect raster was created at 500m pixel using the DEM and was represented by 8 classes (N, NW, W, WS, S, SE, E, NE). For each point of the random sample the values of each VI and the aspect class were recorded and correlated in pairs.

- *Viewing angle*: Wide coverage images are mostly influenced by sensor viewing angle (Zhang *et al.* 2003). The criterion for the investigation of influence of viewing angle was again the level of correlation between the VIs and the sensor's zenith angle. The VI with the lowest correlation coefficient with the sensor's zenith angle was the most appropriate for operational monitoring. The methodology used to compare the performances of the VIs against the influence of viewing angles was the same as for the aspect, using the same set of 1000 random sample points.

- *Saturation*: The major limitation of confined ratio vegetation indices, such as NDVI and EVI, is that they asymptotically approach a saturation level after a certain biomass density or LAI (Tucker 1977, Todd *et al.* 1998, Gao *et al.* 2000). The criterion to investigate the saturation of the VIs was the variability of a VI at the areas of high biomass, where LAI was highest. The MODIS/TERRA 8day Leaf Area Index product (MOD15A2.A) at 1km pixel resolution was used as reference and the VI displaying the highest correlation with LAI at the highest end values should be the VI less saturated. This was tested using the same random sample of 1000 points, from which the LAI product was extracted and correlated with the corresponding VI pixel values. Values of LAI lower than 2 were not included in this analysis, as VIs were not expected to be saturated with sparse vegetation.

- *Partial cloud cover*: Partial cloud cover is a factor influencing VIs in images of large pixel sizes (Zhang *et al.* 2003). The criterion used to investigate the influence of partial cloud cover was the level of correlation of VI values between partially cloud covered pixels of the examined day with the corresponding pixels of the previous or next cloud free day. The VI with the higher correlation coefficient of partially cloud covered pixels between the two days should be the most appropriate for operational monitoring, as this VI would be the least affected from partial cloud cover. The methodology followed for this purpose was to isolate some pixels at the perimeter of clouds, thus potentially partially cloud covered, which were cloud free at the previous or the next day. This comparison was based on the assumption that the changes in vegetation condition were not significant between two days (Alexandridis *et al.*, forthcoming).

RESULTS AND DISCUSSION

Performance of VIs for discriminating between CLC types

The results for VIs capability to discriminate the CLC types appeared to be contradicting between the two performance tests (Table 1). The first performance test (homogeneity between CLC types) showed that NDVI had more homogenised pixel values for the 13/5/2003 and 14/08/2003 dates. On the contrary for 25/10/2003 and 16/02/2004 the best performing index was EVI. However, a consistently high performance is displayed by EVI according to the performance metric, with the exception of 14/8/2003, where SR is performing better. This was expected, as EVI was designed to outcome known problems of older VIs.

Table 1: VI's performance metric for discriminating between CLC types (bold shows VI with highest performance)

Examined date	Within classes homogeneity (a)			Between classes heterogeneity (b)			Performance metric (a / b)		
	SR	NDVI	EVI	SR	NDVI	EVI	SR	NDVI	EVI
13/05/2003	0.602	0.395	0.427	0.336	0.221	0.245	1.792	1.787	1.743
14/08/2003	0.615	0.376	0.417	0.316	0.181	0.200	1.946	2.077	2.085
25/10/2003	1.486	0.682	0.499	0.232	0.187	0.201	6.405	3.647	2.483
16/02/2004	1.176	1.131	0.659	0.155	0.225	0.234	7.587	5.027	2.816

Performance of indices for operational vegetation monitoring

There was no correlation between the examined VIs and *aspect* (Table 2a). Therefore, aspect does not play an important role as an influencing factor for any of the examined indices.

The results of *viewing angle* influence, although all the correlation coefficients were low (<0.5), show that SR had the lowest correlation with sensor zenith's angle, followed by NDVI. EVI was for all dates the most highly correlated (Table 2b).

Regarding the influence of *saturation*, the results showed that SR was the highest correlated VI with LAI, at values where saturation is expected (Table 2c). This was probably because of the design of SR not be confined.

Finally, the influence of *partial cloud cover* was the lowest for EVI, consistently at all the examined days (Table 2d). This was probably because of the design of EVI to be insensitive to atmospheric influences (Huete, et al., 2002).

Table 2: (a) Influence of aspect (correlation coefficients of VIs with aspect), (b) Influence of viewing angle (correlation with sensor's zenith), (c) Influence of saturation (correlation with LAI product in values greater than 2.0), (d) Influence of partial cloud cover (correlation of partially cloud covered pixels with the cloud free pixels of the previous or the next day).

Examined date	SR	NDVI	EVI
13/05/2003	-0.054	-0.020	-0.068*
14/08/2003	-0.095**	-0.096**	-0.083**
25/10/2003	0.044	-0.018	-0.043
16/02/2004	0.009	-0.032	-0.011

(2a)

Examined date	SR	NDVI	EVI
13/05/2003	0.038	0.013	0.019
14/08/2003	0.338**	0.420**	0.386**
25/10/2003	-0.214**	-0.430**	-0.393**
16/02/2004	0.086**	0.065**	0.144**

(2b)

Examined date	SR	NDVI	EVI
13/05/2003	0.211**	0.111	0.198**
14/08/2003	0.403**	0.361**	0.163**
25/10/2003	0.123	0.027	0.011
16/02/2004	0.110	-0.023	-0.084

(2c)

Examined date	SR	NDVI	EVI
13/05/2003	-0.067**	-0.037	0.053*
14/08/2003	0.313**	0.299**	0.588**
25/10/2003	0.201**	0.179**	0.366**
16/02/2004	0.108**	0.326**	0.597**

(2d)

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

CONCLUSIONS

In this paper the evaluation of SR, NDVI and EVI for operational monitoring of vegetation condition was performed using descriptive statistics estimated at various CLC vegetation types and correlation coefficients organised in various performance metrics.

EVI was more able to discriminate between different CLC vegetation types during most of the examined dates. Therefore, this VI could detect the subtle differences of vegetation condition, when performing monitoring at these scales.

Regarding the VIs' use in operational conditions, EVI was superior in monitoring vegetation condition under partial cloud cover. However, SR and NDVI were superior under conditions of saturation and variable viewing angles. Therefore, a single VI cannot overcome all the potential problems met at monitoring vegetation conditions at these scales using MODIS data. In fact, their performance in operational monitoring followed closely the specifications of the VI's design.

The major disadvantage of estimating EVI from MODIS data was the fact that it cannot take advantage of the sensor's full spatial resolution (250m), as the blue band that was necessary in the calculations is only available at 500m and 1km. Future communication may concentrate on the influence of CLC scale level and image spatial resolution on the monitoring performance.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study described in this paper was funded by “Pythagoras”, a research grant awarded by the Managing Authority of the Operational Programme “Education and Initial Vocational Training” of Greece, which is partially funded by the European Social Fund – European Commission. We are grateful to Prof. K. Perakis for his valuable comments during data analysis.

REFERENCES

- Alexandridis, T.K., I.Z. Gitas, N.G. Silleos, (forthcoming). *An estimation of the optimum temporal resolution for monitoring vegetation condition on a nationwide scale using MODIS/Terra data. International Journal of Remote Sensing*, (accepted).
- Birth G.S., & G. McVey, 1968. *Measuring the color of growing turf with a reflectance spectroradiometer, Agronomy Journal*, 60:640-643.
- Gao X., Huete, A. R., Ni, W., and Miura T., 2000. *Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. Remote Sensing of Environment*, 74, 609–620
- Huete A.R., C. Justice, and W. van Leeuwen, 1999. MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document, NASA Goddard Space Flight Center, http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf, 120p.
- Huete, A. R., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E., Gao, X., & Ferreira, L. G. 2002. *Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices* (Special Issue). *Remote Sensing of Environment*, 83, 195–213.
- Ji, L. and Peters A.J., 2007. *Performance evaluation of spectral vegetation indices using a statistical sensitivity function. Remote Sensing of Environment*, 106, 59-65.
- Katagis, T, I. Gitas, T. Alexandridis, C. Topaloglou, and N. Silleos, 2006. *Developing MODIS time series for monitoring vegetation condition: preliminary results. In: Proceedings of 26th Symposium of European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL)*, 29 May - 2 June, Warsaw, Poland.
- Lawrence R.L. and Ripple W.J., 1998. *Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape: Mount St. Helens, Washington. Remote Sensing of Environment*, 64, 91-102.
- Rouse, J.W. Jr., R.H. Haas, D.W. Deering, J.A. Schell, and J.C. Harlan, 1974. *Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation*, NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD., 371p.
- Silleos, N.G., T.K. Alexandridis, I.Z. Gitas, and K. Perakis, 2006. *Vegetation Indices: Advances made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the last 30 Years*. Geocarto International, 21(4):21-28.
- Todd S. W., Hoffer R. M. and Milchunas D. G., 1998. *Biomass estimation on grazed and ungrazed rangelands using spectral indices. International Journal of Remote Sensing*, 19, 427–438.
- Tucker C. J., 1977. *Asymptotic nature of grass canopy spectral reflectance. Applied Optics*, 16, 1151–1156.
- Vaiopoulos D., G. Skianis and K. Nikolakopoulos, 2004. *The contribution of probability theory in assessing the efficiency of two frequently used vegetation indices. International Journal of Remote Sensing*, 25(20):4219-4236.
- Zhang X.Y., et al. 2003. *Monitoring vegetation phenology using MODIS. Remote Sensing of Environment*, 84, 471-475.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4: Δημοσίευση που προέκυψε από τη συγγραφή της μεταπτυχιακής διατριβής (2)



Evaluation of SR, NDVI and EVI for operational monitoring the condition of CORINE Land Cover vegetation types

Nikolaos G. Oikonomakis^{1*}, Thomas K. Alexandridis², Ioannis Z. Gitas¹, Thomas Katagis¹ and Nikolaos G. Silleos²

¹Lab of Forest Management and Remote Sensing, Faculty of Forestry and Natural Environment, * e-mail: nioik@for.auth.gr
²Lab of Remote Sensing and GIS, Faculty of Agronomy, Aristotle University of Thessaloniki, Greece



ABSTRACT: Vegetation monitoring has been performed by remotely sensed images since the early launches of Landsat satellite series. Recent satellite sensors, such as MODIS, provide frequent wide scale coverage in multiple areas of the spectrum, allowing the estimation of sophisticated vegetation indices (VIs), which are insensitive to soil background, atmospheric disturbances, and other factors that influence the quality of the recorded information. It is not, however, clear which VI performs better during operational monitoring of wide scale vegetation patches, such as CORINE Land Cover (CLC) classes. The aim of this work was to investigate the performance of several VIs in monitoring of CLC vegetation types, using MODIS/Terra data. This was achieved by assessing the performance of the VIs for discriminating between different CLC vegetation types, and their sensitivity to factors such as the aspect, viewing angle, signal saturation, and partial cloud cover, in order to identify their operational monitoring ability. Results indicate the Enhanced Vegetation Index (EVI) as superior for discriminating between CLC types, but not always optimum in the performance tests for operational monitoring.

INTRODUCTION

The aim of this work was to investigate the performance of several VIs in monitoring vegetation condition of CORINE Land Cover vegetation types, using MODIS/Terra data. The objectives were: (i) to investigate the performance of various VIs for discriminating between different CLC vegetation types, and (ii) to investigate the VIs' sensitivity to factors that influence operational monitoring.

STUDY AREA

The study area was the whole of Greece (131,000 km²) including vegetated areas according to CLC2000. The vegetation cover is considered as typical Mediterranean and it is consisted by natural vegetation (forests, pastures, scrubs) and herbaceous vegetation associations) and agricultural vegetation (arable land, heterogeneous agricultural areas and permanent crops).

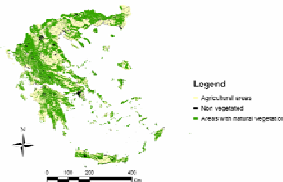


Figure 1: Vegetated areas of Greece according to CORINE Land Cover 2000

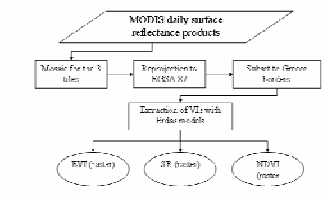
DATA DESCRIPTION

The data used in this study were acquired by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) on board the Terra satellite. The CORINE Land Cover was also used to identify areas of homogeneous land cover. The datasets were: The MODIS Data were used in this study were:

- The MODIS/TERRA daily Surface Reflectance product (MOD09G1) at 500m pixel resolution.
- The MODIS/TERRA 8day Leaf Area Index product (MOD15A2.A) at 1km pixel resolution.
- The MODIS/TERRA daily Geolocation Angles product (MOD05GAD.A) at 1km pixel resolution.
- CORINE Land Cover 2000. From the CLC 2000 data the 2nd Level of vegetation types classification was used, as it was in a similar scale to the above mentioned raster datasets.

METHODOLOGY

Data Preparation



Estimation of CVs

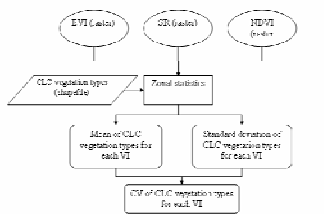


Figure 2: Data preparation and estimation of CVs

Evaluation of indices for discriminating between CLC types

Objective function: The optimum VI for discriminating between CLC types would also display highest heterogeneity between CLC types. At the same time, the observed values of the optimum VI are expected to display high homogeneity within CLC types.

A performance metric was estimated by dividing homogeneity by heterogeneity. The best VI would display the lowest metric value.

Criterion used for estimation of homogeneity: The summary of coefficients of variation (CV) of VI values within each CLC type. The VI with the lowest summary of CV was the VI that had the highest homogeneity within the CLC types.

Criterion used for estimation of heterogeneity: The VI with the highest CV of mean values was the VI that had the highest heterogeneity between the CLC types.

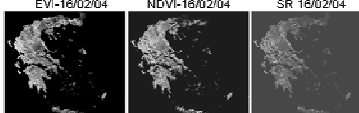
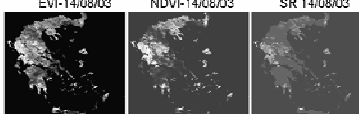
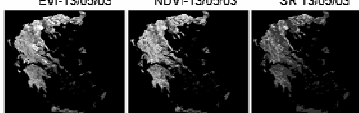
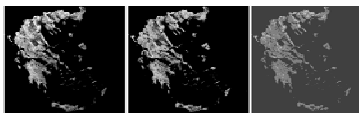


Figure 3: VIs of the chosen dates

Evaluation of indices for operational vegetation monitoring

Objective function: A VI would be useful in operational monitoring if it was not affected by the factors that usually hinder Earth Observation monitoring. The performance of the VIs to various factors was examined using performance tests. These were:

- **Aspect.** The criterion used to investigate the influence of aspect was the correlation between the VIs and the aspect. The VI with the lowest correlation with aspect is the most appropriate for operational monitoring.
- **Viewing Angles.** The criterion for the investigation of influence of viewing angle was again the correlation between the VIs and the Sensor's Zenith Azimuth. The VI with the lowest correlation coefficient with the sensor's zenith azimuth was the most appropriate for operational monitoring.
- **Saturation.** The criterion to investigate the saturation of the VIs was the variability of a VI at the areas of high biomass, where LAI is highest. The MODIS/TERRA 8day Leaf Area Index product (MOD15A2.A) at 1km pixel resolution was used as reference and the VI displaying the highest correlation with LAI at the highest end values should be the VI less saturated.
- **Partial cloud cover.** The criterion to investigate the influence of partial cloud cover was the level of correlation of VI values between partially cloud covered pixels of the examined day with the corresponding pixels of the previous or next cloud free day. The VI with the higher correlation coefficient of partially cloud covered pixels between the two days would be the least affected from partial cloud cover.

RESULTS AND DISCUSSION

Performance of VIs for discriminating between CLC types

A consistently high performance is displayed by EVI according to the performance metric, with the exception of 14/8/2003, where SR is performing better. This was expected, as EVI was designed to overcome known problems of older VIs

Table 1: VIs performance metric for discriminating between CLC types (bold shows VI with highest performance)

Examined date	Within classes homogeneity (H)			Between classes heterogeneity (H)			Performance metric (a/b)		
	SR	NDVI	EVI	SR	NDVI	EVI	SR	NDVI	EVI
13/5/2003	0.832	0.395	0.747	0.358	0.221	0.215	0.712	0.267	0.343
14/6/03	0.111	0.378	0.177	0.218	0.131	0.218	1.948	0.077	0.066
16/2/04	1.249	0.657	0.389	0.267	0.187	0.201	0.165	0.077	0.400
16/2/04	1.178	1.31	0.589	0.158	0.275	0.234	0.507	0.077	0.216

Performance of indices for operational vegetation monitoring

- There was no correlation between the examined VIs and aspect (Table 2a). Therefore, aspect does not play an important role as an influencing factor for any of the examined indices.
- The results of viewing angle influence, although all the correlation coefficients were low (<0.5), show that SR had the lowest correlation with sensor zenith's azimuth, followed by NDVI. EVI was for all dates the most highly correlated (Table 2b).
- Regarding the influence of saturation, the results showed that SR was the highest correlated VI with LAI, at values where saturation is expected (Table 2c). This was probably because of the design of SR not to be confined.
- Finally, the influence of partial cloud cover was the lowest for EVI, consistently at all the examined days (Table 2d).

Table 2: (a) Influence of aspect (correlation coefficients of VIs with aspect), (b) Influence of viewing angle (correlation with sensor's zenith), (c) Influence of saturation (correlation with LAI product in values greater than 2), (d) Influence of partial cloud cover (correlation of partially cloud covered pixels with the cloud free pixels of the previous or the next day).

Examined date	Aspect			Viewing angle			Saturation			Partial cloud cover		
	SR	NDVI	EVI	SR	NDVI	EVI	SR	NDVI	EVI	SR	NDVI	EVI
13/5/2003	-0.021	-0.229	-0.002	0.025	0.004	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019	0.019
14/6/03	0.046	0.156	0.193	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
16/2/04	0.124	0.178	0.145	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025
16/2/04	0.029	-0.232	-0.271	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025	0.025

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).
 * Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

CONCLUSIONS

- In this paper the evaluation of SR, NDVI and EVI for operational monitoring of vegetation condition was performed using descriptive statistics estimated at various CLC vegetation types organized in various performance metrics.
- EVI was more able to discriminate between different CLC vegetation types during most of the examined dates. Therefore, this VI could detect the subtle differences of vegetation condition, when performing monitoring at these scales.
- Regarding the VIs' use in operational conditions, EVI was superior in monitoring vegetation condition under partial cloud cover. However, SR and NDVI were superior under conditions of saturation and variable viewing angles. Therefore, a single VI cannot overcome all the potential problems met at monitoring vegetation conditions at these scales using MODIS data. In fact, their performance in operational monitoring followed closely the specifications of the VIs' design.
- The major disadvantage of estimating EVI from MODIS data is that it cannot take advantage of the sensor's full spatial resolution (250m), as the blue band that is necessary in the calculations is only available at 500m and 1km. Future communication may concentrate on the influence of CLC scale level and image spatial resolution on the monitoring performance.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study described in this paper was funded by "Pythagoras", a research grant awarded by the Managing Authority of the Operational Programme "Education and Initial Vocational Training" of Greece, which is partially funded by the European Social Fund - European Commission. We are grateful to Prof. K. Perakis for his valuable comments during data analysis.

Εικόνα 20: Poster που παρουσιάστηκε στο Bolzano της Ιταλίας στις 5 Ιουνίου 2007, στα πλαίσια του 27^{ου} συνεδρίου της EARSel.