

Παρακολούθηση των αλλαγών της κάλυψης Γης με τη χρήση Δορυφορικών Εικόνων

Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής & Τηλεπισκόπησης

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ & Φ.Π. / ΤΜΗΜΑ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ & ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ & ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΑΣΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ: ΑΝ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΚΑΡΑΜΑΝΩΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΓΗΤΑΣ ΙΩΑΝΗΣ

ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΤΗΣ

ΒΑΣΙΛΑΚΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑΣ

ΔΑΣΟΛΟΓΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2014

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ι. Ζ. ΓΗΤΑΣ (ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΑΣΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ,
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ)

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ι. Ζ. ΓΗΤΑΣ (ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΑΣΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗΣ & ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ
ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ & Φ.Π., ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ)

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δ. ΚΑΡΑΜΑΝΩΛΗΣ (ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΑΣΙΚΗΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΙΚΗΣ &
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ & Φ.Π., ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ)

ΛΕΚΤΟΡΑΣ Θ. ΑΛΕΞΑΝΔΡΙΔΗΣ (ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΣΠ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΤΟΥ
Α.Π.Θ., ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διατριβή, εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεπισκόπησης του Τμήματος Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, στα πλαίσια του μεταπτυχιακού προγράμματος σπουδών με γνωστικό αντικείμενο την Δασική Αεροφωτογραφία.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα μου κ. Ιωάννη Γήτα, Επίκουρο Καθηγητή του Εργαστηρίου, για τη βοήθειά του στην επιλογή του θέματος αλλά και τη στήριξή του καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Θα ήθελα να εκφράσω επίσης, τη βαθύτατη εκτίμηση και τις ευχαριστίες μου κ. Καραμανώλη Δημήτρη Αναπληρωτή Καθηγητή του εργαστηρίου Δασικής Διαχειριστικής του Τμήματος Δασολογίας & Φ.Π. του Α.Π.Θ. καθώς και τον κ. Αλεξανδρίδη Θωμά Λέκτορα του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ του Τμήματος Γεωπονίας του Α.Π.Θ., για τον έλεγχο και την αξιολόγηση της διατριβής μου.

Θα ήταν παράλειψη από μέρους μου να μην εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους συναδέλφους μου γεωτεχνικούς, κ. Τουκίλογλου Π., κα. Γαλιδάκη Γ., κ. Κατάγη Θ., κα. Δραγόζη Ε. και κα. Τομπουλίδου Μ. για την προθυμία τους να μου παρέχουν τη βοήθειά τους όποτε τους ζητήθηκε, κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο εργαστήριο. Ευχαριστίες πολλές και στους υπόλοιπους συναδέλφους του εργαστηρίου, για τη βοήθειά τους και την ευχάριστη παρέα.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την βαθιά μου ευγνωμοσύνη προς τα άτομα που με στήριξαν σε αυτή μου την προσπάθεια, δίνοντας μου αγάπη και κουράγιο την οικογένεια και τους φίλους μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	13
ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ	15
ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	16
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	17
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	18
2. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	20
2.1. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ & ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ.....	20
2.2. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ.....	21
2.3. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ	42
2.3.1. Ατμοσφαιρικές επιδράσεις	43
2.3.2. Ατμοσφαιρική διόρθωση και η σημασία της	44
2.3.3. Ραδιομετρική διόρθωση	45
2.3.4. Βαθμονόμηση.....	45
2.3.5. Τοπογραφική διόρθωση.....	45
2.3.6. Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI).....	46
2.4. ΣΥΝΟΨΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	49
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ & ΔΕΔΟΜΕΝΑ	50
3.1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	50
3.1.1. Φυσιογραφία	50
3.1.2. Κλιματολογικές Συνθήκες.....	51
3.1.3. Βλάστηση.....	51
3.1.4. Ιστορία και Καθεστώς Διαχείρισης	53
3.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	55
3.3. ΣΥΝΟΨΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	60
4. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	61
4.1. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	62
4.2. ΑΠΑΛΟΙΦΗ ΣΥΝΝΕΦΩΝ	64
4.3. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ	65
4.3.1. Βαθμονόμηση και ατμοσφαιρική διόρθωση στις δορυφορικές εικόνες LANDSAT	65
4.4. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ.....	70
4.4.1. Το Λαμπερτιανό μοντέλο ανάκλασης (Lambertian).....	72
4.5. ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (NDVI) (NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX)	75
4.6. ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ.....	78
5. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΕ ΖΕΥΓΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	79
5.1. 1 ^η ΜΕΘΟΔΟΣ (ΔΙΑΦΟΡΑ NDVI-ΚΑΡΥΡ THRESHOLDING).....	79
5.1.1. Μεθοδολογία	79
5.1.2. Αποτελέσματα	80

5.1.3.	Εκτίμηση Ακρίβειας 1 ^{ης} Μεθόδου	84
5.2.	2 ^η ΜΕΘΟΔΟΣ (ΔΙΑΦΟΡΑ NDVI-ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ Z-SCORE)	92
5.2.1.	Μεθοδολογία	92
5.2.2.	Αποτελέσματα	93
5.2.3.	Εκτίμηση Ακρίβειας 2 ^{ης} Μεθόδου	97
5.3.	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	110
6.	ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΟΛΟΚΛΗΡΗ ΤΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	111
6.1.	ΜΑΝΝ-ΚΕΝΔΑΛΛ.....	111
6.1.1.	Έλεγχος Mann-Kendall Για Την Εύρεση Της Τάσης	111
6.1.2.	Mann-Kendall Significance	112
6.1.3.	Αποτελέσματα – Εκτίμηση Ακρίβειας	114
6.2.	ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΛΥΨΗΣ.....	117
6.3.	ΧΡΟΝΙΚΑ ΠΡΟΦΙΛ (TEMPORAL PROFILES) ΤΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ	122
6.4.	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	126
7.	ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ	127
7.1.	ΤΕΣΤ ΜC-NEMAR.....	127
7.1.1.	McNemar test.....	127
7.1.2.	Εφαρμογή του Test McNemar.....	128
7.2.	ΧΑΡΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ.....	130
7.3.	ΧΑΡΤΗΣ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ	131
7.4.	ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ	133
8.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	134
8.1.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	134
8.2.	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	135
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	137
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1.....	147

ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Διαφορά εικόνων.	23
Εικόνα 2: Παλινδρόμηση εικόνων.	24
Εικόνα 3: Διαφορά εικόνων (αριστερά) και λόγος εικόνων (δεξιά).	25
Εικόνα 4: Η εικόνα έντασης (magnitude) και η εικόνα κατεύθυνσης της αλλαγής (direction).	25
Εικόνα 5: Ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών-CVA.	26
Εικόνα 6: Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών-PCA.	29
Εικόνα 7: Μετασχηματισμός Tasseled Cap και οι συνιστώσες Brightness, Greenness, Wetness	30
Εικόνα 8: Μη επιβλεπόμενες τεχνικές.	33
Εικόνα 9: Επιβλεπόμενες τεχνικές. Πηγή: Norsk Regnesentral website	34
Εικόνα 10: Σύγκριση μετά από την ταξινόμηση (πηγή Norsk Regnesentral website).	34
Εικόνα 11: Σύγκριση μετά από ταξινόμηση και παράδειγμα του πίνακα αλλαγών.	35
Εικόνα 12: Άμεση ταξινόμηση πολλών ημερομηνιών μαζί (πηγή Norsk Regnesentral website).	35
Εικόνα 13: Τα στάδια της Τηλεπισκόπησης (Πηγή : Natural Resources Canada)	43
Εικόνα 14: Χάρτης περιοχής μελέτης (Πηγή: Google Maps)	50
Εικόνα 15: Μωσαϊκό των τριών εικόνων έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια εικόνα του 1984 πριν την πυρκαγιά.	57
Εικόνα 16: Landsat 5 TM 10/6/1984 πριν την πυρκαγιά, 4/8 και 10/9 1984 μετά την πυρκαγιά αντίστοιχα.	57
Εικόνα 18: Τα μωσαϊκό των δύο εικόνων έτσι ώστε να συμπληρωθεί το κομμάτι της εικόνας του 1988 που λείπει.	58
Εικόνα 17: Landsat 5 TM 7/7/1988 και Landsat 4 TM 28/5/1988 αντίστοιχα.	58
Εικόνα 19: Ο μέσος όρος των δύο παραπάνω εικόνων, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια κατά προσέγγιση εικόνα για το 1993 για να χρησιμοποιηθεί στην κάλυψη του κενού λόγω έλλειψης δορυφορικών δεδομένων.	59
Εικόνα 20 Παραπάνω φαίνεται η απεικόνιση του δείκτη NDVI στο λογισμικό Idrisi Selva για τα έτη 1992 και 1994 αντίστοιχα.	59
Εικόνα 21: Landsat 5 TM 24/6/1989 και 25/6/1995 αντίστοιχα, απαλλαγμένες από σύννεφα.	64
Εικόνα 22: Landsat 5 TM 24/6/1989 και 25/6/1995 αντίστοιχα, με ένα σύννεφο στην κάθε μία.	64
Εικόνα 23: Η κοινή μάσκα από τις παραπάνω εικόνες των ετών 1989-1995 η οποία εφαρμόστηκε σε όλες τις εικόνες της χρονοσειράς.	65
Εικόνα 24: Μοντέλο ατμοσφαιρικής διόρθωσης.	66
Εικόνα 25: Η ηλιακή γωνία πρόσπτωσης και ηλιακή γωνία ζενίθ.	69
Εικόνα 26: Αρχική εικόνα 1986 ψηφιακών τιμών (DN) (αριστερά) ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα 1986 (Reflectance) (δεξιά).	69
Εικόνα 27: Αλλοίωση του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου και μεταφορά του προβλήματος στην εικόνα μετά την τοπογραφική διόρθωση.	71
Εικόνα 28: Λαμπερτιανό μοντέλο ανάκλασης.	72
Εικόνα 29: Η μάσκα που εφαρμόστηκε σε όλη τη χρονοσειρά μετά την αφαίρεση των νεφών και την τοπογραφική διόρθωση	73
Εικόνα 30: Πριν την τοπογραφική διόρθωση (αριστερά) και μετά (δεξιά). Η εικόνα είναι του 1985.	73
Εικόνα 31: Παράδειγμα μεταβολής των τιμών των εικονοστοιχείων πριν (δεξιά) και μετά (αριστερά) τη γεωμετρική διόρθωση σε σκιασμένη περιοχή.	74
Εικόνα 32: Εικόνα πριν (πάνω) και μετά (κάτω) την τοπογραφική διόρθωση.	74

Εικόνα 33: Ανάκλαση του γυμνού εδάφους, της βλάστησης και του νερού σε σχέση με το μήκος κύματος. (Πηγή: Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστική και Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος – Α.Π.Θ., Ελλάδα).....	75
Εικόνα 34: τα ηλεκτρομαγνητικά μήκη κύματος και οι δίαυλοι του δορυφόρου Landsat.....	76
Εικόνα 35: : Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης των ετών 1985-1995-2005.....	77
Εικόνα 36: Το αποτέλεσμα της διαφοράς των εικόνων του δείκτη NDVI για τα έτη 1984-1985 και 1985-1986.	80
Εικόνα 37: Το αποτέλεσμα της διαφοράς των εικόνων του δείκτη NDVI για τα έτη 1989- 1990, 1998-2000 και 2000-2001.	81
Εικόνα 38: Το αποτέλεσμα της διαφοράς των εικόνων του δείκτη NDVI για τα έτη 1991-1992 και 2001-2002.	82
Εικόνα 39: Οι εικόνες όπου παρατηρούνται οι πυρκαγιές του 1984, 1985, 1986, 1998, 2000 και τα λατομεία αντίστοιχα, οι μεγάλες, εκτεταμένες μειώσεις του δείκτη NDVI που εντοπίζονται με την πρώτη μέθοδο επεξεργασίας.....	84
Εικόνα 40: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984.....	86
Εικόνα 41: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984, με την επιπλέον καμένη ψηφιοποιημένη επιφάνεια.	87
Εικόνα 42: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1985.....	88
Εικόνα 43: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1989.....	89
Εικόνα 44:Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 2000.....	90
Εικόνα 45: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για τα λατομεία του νησιού.....	91
Εικόνα 46: Οι χάρτες του αποτελέσματος της διαφοράς των εικόνων με τη 2η μέθοδο για τα έτη 1984-1985 και 1985-1986.....	93
Εικόνα 47: Οι χάρτες του αποτελέσματος της διαφοράς των εικόνων με τη 2 ^η μέθοδο για τα έτη 1989-1990, 1997-1998 και 1995-2000.....	94
Εικόνα 48: Οι εικόνες όπου παρατηρούνται οι πυρκαγιές του 1984, 1985, 1986, 1998, 2000 και τα λατομεία αντίστοιχα, οι μεγάλες, εκτεταμένες μειώσεις του δείκτη NDVI που εντοπίζονται με την δεύτερη μέθοδο επεξεργασίας για την μία ακραία κλάση.....	96
Εικόνα 49: Οι εικόνες όπου παρατηρούνται οι πυρκαγιές του 1984, 1985, 1986, 1998, 2000 και τα λατομεία αντίστοιχα, οι μεγάλες, εκτεταμένες μειώσεις του δείκτη NDVI που εντοπίζονται με την δεύτερη μέθοδο επεξεργασίας για το άθροισμα της ακραίας κλάσης και της αμέσως επόμενης της.....	97
Εικόνα 50: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα. .	98
Εικόνα 51: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα, με την επιπλέον ψηφιοποιημένη καμένη επιφάνεια.	99
Εικόνα 52: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.	100
Εικόνα 53: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI, με την επιπλέον ψηφιοποιημένη καμένη επιφάνεια.	101
Εικόνα 54: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1985 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.	102

Εικόνα 55: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1985 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.	103
Εικόνα 56: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1989 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.	104
Εικόνα 57: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1989 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.	105
Εικόνα 58: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 2000 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.	106
Εικόνα 59: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 2000 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.	107
Εικόνα 60: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για τα λατομεία του νησιού με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.	108
Εικόνα 61: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για τα λατομεία με τη μέθοδο z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.	109
Εικόνα 62: Τιμές p και κριτικές τιμές για την κανονική κατανομή.	113
Εικόνα 63: Mann Kendall τεστ στη χρονοσειρά των δεδομένων από το 1984 έως το 2011.	114
Εικόνα 64: Χάρτης σημαντικότητας που εκφράζεται ως z-score.	115
Εικόνα 65: Χάρτης που εκφράζει την πιθανότητα ότι η παρατηρούμενη τάση θα μπορούσε να συμβεί κατά τύχη (p-value).	115
Εικόνα 66: Στατιστικά σημαντικές αλλαγές σύμφωνα με το τεστ Mann Kendall.	116
Εικόνα 67: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για τα λατομεία στο αποτέλεσμα των σημαντικών στατιστικών αλλαγών με το τεστ Mann Kendall.	117
Εικόνα 68: Χάρτης του λογισμικού ArcMap 10.2.1 στον οποίο φαίνεται η εξέλιξη κάθε τάξης στις περιοχές όπου υπάρχει στατιστικά σημαντική θετική τάση σύμφωνα με το τεστ Mann Kendall, σύμφωνα με τα Land cover του WWF για τα έτη 1987 και 2011.	119
Εικόνα 69: Χάρτης του λογισμικού ArcMap 10.2.1 στον οποίο φαίνονται οι περιοχές όπου υπάρχει στατιστικά σημαντική θετική τάση σύμφωνα με το τεστ Mann Kendall και η κάλυψη είναι ίδια σύμφωνα με τα Land cover του WWF για τα έτη 1987 και 2011.	121
Εικόνα 70: Οι περιμέτροι των πυρκαγιών.	130
Εικόνα 71: Τα λατομεία όπως ήταν το 1984 και όπως βρέθηκαν το 2011 όπως φάνηκε από το τεστ Mann Kendall.	131
Εικόνα 72: Χάρτες των λατομείων και η επέκτασή τους.	132
Εικόνα 73: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1984-1985.	147
Εικόνα 74: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1985-1986.	147
Εικόνα 75: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1986-1987.	147
Εικόνα 76: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1987-1988.	147

Εικόνα 77: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1988-1989.	148
Εικόνα 78: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1989-1990.	148
Εικόνα 79: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1990-1991.	148
Εικόνα 80: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1991-1992.	148
Εικόνα 81: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1992-1994.	149
<i>Εικόνα 82: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1994-1995.</i>	<i>149</i>
Εικόνα 83: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1995-1997.	149
<i>Εικόνα 84: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1997-1998.</i>	<i>149</i>
<i>Εικόνα 85: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1998-2000.</i>	<i>150</i>
<i>Εικόνα 86: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2000-2001.</i>	<i>150</i>
Εικόνα 87: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2001-2002.	150
Εικόνα 88: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2002-2003.	150
Εικόνα 89: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2003-2004.	151
Εικόνα 90: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2004-2005.	151
Εικόνα 91: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2005-2006.	151
Εικόνα 92: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2006-2007.	151
Εικόνα 93: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2007-2008.	152
Εικόνα 94: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2008-2009.	152
Εικόνα 95: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2009-2010.	152
Εικόνα 96: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2010-2011.	152
Εικόνα 97: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1984-2011.	153
<i>Εικόνα 98: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων και αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε έξι κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1984-1985.</i>	<i>154</i>

Εικόνα 115: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2004-2005.	158
Εικόνα 116: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2005-2006.	158
Εικόνα 117: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2006-2007.	158
Εικόνα 118: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2007-2008.	159
Εικόνα 119: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2008-2009.	159
Εικόνα 120: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2009-2010.	159
Εικόνα 121: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2010-2011.	159
Εικόνα 122: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων και αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε έξι κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1984-2011.	160

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Αλγεβρική προσέγγιση.	27
Πίνακας 2: Μετασχηματισμοί.....	31
Πίνακας 3: Επιβλεπόμενη εναντίων μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.....	36
Πίνακας 4: Μέθοδοι που βασίζονται στην ταξινόμηση.	37
Πίνακας 5: Προηγμένα μοντέλα.	39
Πίνακας 6: Προσέγγιση με βάση το GIS.....	40
Πίνακας 7: Οπτική ανάλυση.	41
Πίνακας 8:Κατανομή της έκτασης της Ν. Θάσου κατά μορφή χρήσης και ιδιοκτησιακή κατάσταση.....	53
Πίνακας 9: Γενικές πληροφορίες για κάθε δορυφόρο Landsat.....	55
Πίνακας 10: Η λίστα των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή.	56
Πίνακας 11: Coefficients Gain και Offset για τις εικόνες Landsat 2 MSS Ιανουάριος 22, 1975 - Φεβρουάριος 25, 1982 και ESUN σε $W/(m^2 \mu m)$. (Πηγή: ESA)	67
Πίνακας 12: Coefficients Gain και Offset για τις εικόνες Landsat 5 TM από το 1991 και πριν και από το 1992 και μετά. (Πηγή: ESA).....	67
Πίνακας 13: Οι υψηλότερες και χαμηλότερες καταγεγραμμένες τιμές ειδικής έντασης ακτινοβολίας σε $w.m-2.sr-1.\mu m-1$, έτσι ώστε να γίνει ο υπολογισμός των Gain και Offset για τις εικόνες Landsat 7 ETM+ πριν και μετά από 1/7/2000 και το ESUN. (Πηγή: ESA).....	68
Πίνακας 14: Οι δύο αισθητήρες που παρέχουν εικόνες υψηλής ανάλυσης στο ορατό και υπέρυθρο εύρος του φάσματος.	76
Πίνακας 15: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1984.....	86
Πίνακας 16: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1984 με την επιπλέον ψηφιοποιημένη καμένη επιφάνεια.	87
Πίνακας 17: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1985.....	88
Πίνακας 18:Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1989.....	89
Πίνακας 19:Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 2000.....	90
Πίνακας 20:Πίνακας σφαλμάτων για τα λατομεία του νησιού.....	91
Πίνακας 21: Κατηγοριοποίηση των τυποποιημένων τιμών της εικόνας διαφοράς σε έξι κλάσεις. Πηγή: Idrisi Selva	92
Πίνακας 22: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.	98
Πίνακας 23: Πίνακας σφαλμάτων για τη φωτιά του 1984 με τη μέθοδο z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις 2 ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα, με την επιπλέον ψηφιοποιημένη καμένη επιφάνεια.	99
Πίνακας 24: Πίνακας σφαλμάτων για τη φωτιά του 1984 με τη μέθοδο z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.	100
Πίνακας 25: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI, με την επιπλέον ψηφιοποιημένη καμένη επιφάνεια.	101
Πίνακας 26: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1985 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.	102

Πίνακας 27: Πίνακας σφαλμάτων για τη φωτιά του 1985 με τη μέθοδο z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.	103
Πίνακας 28: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1989 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.	104
Πίνακας 29: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1989 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.	105
Πίνακας 30: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 2000 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.	106
Πίνακας 31: Πίνακας σφαλμάτων για τη φωτιά του 2000 με τη μέθοδο z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.	107
Πίνακας 32: Πίνακας σφαλμάτων για τα λατομεία του νησιού με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.	108
Πίνακας 33: Πίνακας σφαλμάτων για τα λατομεία με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.	109
Πίνακας 34: Πίνακας σφαλμάτων για τα λατομεία του νησιού σύμφωνα με το τεστ Mann Kendall.	116
Πίνακας 35: Η έκταση της των αλλαγών κάλυψης στις περιοχές όπου υπάρχει στατιστικά σημαντική θετική τάση σύμφωνα με το τεστ Mann Kendall, σύμφωνα με τα Land cover του WWF για τα έτη 1987 και 2011.	120
Πίνακας 36: Η έκταση της κάλυψης γης ανά κατηγορία που έχει παραμείνει σταθερή.	121
Πίνακας 37: Πίνακας σύγκρισης, για τις πυρκαγιές, της μεθόδου διαφοράς Karur με τη μέθοδο z-score class 1.	128
Πίνακας 38: Πίνακας σύγκρισης, για τις πυρκαγιές, της μεθόδου διαφοράς Karur με τη μέθοδο z-score class 2.	129
Πίνακας 39: Πίνακας σύγκρισης, για τα λατομεία, της μεθόδου διαφοράς Karur με τη μέθοδο z-score class 1 (στήλη 1), της μεθόδου διαφοράς Karur με τη μέθοδο z-score class 2 (στήλη 2), της μεθόδου z-score class 1 με τη μέθοδο Mann Kendall test (στήλη 3), της μεθόδου z-score class 2 με τη μέθοδο Mann Kendall test (στήλη 4), της μεθόδου διαφοράς Karur με τη μέθοδο Mann Kendall test (στήλη 5).	129
Πίνακας 40: Η έκταση των πυρκαγιών.	130
Πίνακας 41: Η έκταση των λατομείων.	131

ΠΙΝΑΚΑΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Οι αυξήσεις και οι μειώσεις των χρήσεων γης σε εκτάρια στις περιοχές όπου ο NDVI έχει στατιστικά σημαντική αυξητική τάση.....	118
Γράφημα 2: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για την πυρκαγιά του 1984.....	122
Γράφημα 3: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για την πυρκαγιά του 1985.....	122
Γράφημα 4: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για την πυρκαγιά του 1989.....	123
Γράφημα 5: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για την πυρκαγιά του 1998.....	123
Γράφημα 6: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1997-2011 για την πυρκαγιά του 1998.....	124
Γράφημα 7: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για την πυρκαγιά του 2000.....	124
Γράφημα 8: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1999-2011 για την πυρκαγιά του 2000.....	125
Γράφημα 9: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για τα λατομεία της Θάσου.....	125
Γράφημα 10: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για σταθερές εκτάσεις κωνοφόρων σύμφωνα με τα δεδομένα του WWF 1984-2007.....	126

ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα Ροής 1: Το διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την ανάλυση των δεδομένων.	61
Διάγραμμα ροής 2: Προεπεξεργασία δορυφορικών δεδομένων.....	63

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κάλυψη της γης με την πάροδο των ετών υφίσταται αλλαγές στις οποίες συμβάλλουν φυσικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες. Με την απελευθέρωση του αρχείου των δορυφορικών δεδομένων Landsat, δίνεται πλέον η δυνατότητα εύκολης πρόσβασης σε έναν πρωτοφανή όγκο δεδομένων, γεγονός που ανοίγει νέους ορίζοντες στην ανίχνευση αλλαγών σε χρονοσειρές δορυφορικών εικόνων.

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η παρακολούθηση των αλλαγών κάλυψης γης της Θάσου κατά την περίοδο 1984-2011 με χρονοσειρά δεδομένων Landsat. Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκαν δύο μέθοδοι που στηρίζονται στη σύγκριση ζευγών του δείκτη NDVI και ο έλεγχος Mann Kendall για τη μελέτη ολόκληρης της χρονοσειράς. Τέλος έγινε σύγκριση των μεθόδων για να βρεθούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της κάθε μίας.

Στην πρώτη μέθοδο, μετά την διαφορά του δείκτη NDVI, γίνεται εφαρμογή της μεθόδου κατωφλίωσης του Kapur (Kapur thresholding), ενώ στη δεύτερη μέθοδο οι εικόνες διαφοράς μετατρέπονται σε τυποποιημένες τιμές (z-scores) και κατηγοριοποιούνται σε 6 κλάσεις. Αποτέλεσμα και των δύο μεθόδων είναι εικόνες στις οποίες φαίνονται οι μεγάλες αυξήσεις ή οι μειώσεις του δείκτη NDVI ή η μη μεταβολή του. Ακόμα, γίνεται εφαρμογή του ελέγχου Mann-Kendall σε ολόκληρη τη χρονοσειρά, που παρέχει ένα μη γραμμικό δείκτη τάσης που μετράει το βαθμό που μια τάση συνεχώς αυξάνεται ή μειώνεται. Στη συνέχεια, γίνεται εκτίμηση της ακρίβειας των μεθόδων σε περιοχές όπου εντοπίστηκαν πυρκαγιές και λατομεία (για τις οποίες είχαμε δεδομένα αναφοράς) με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Τέλος, γίνεται σύγκριση των μεθόδων με το τεστ Mc-Nemar και για να φανεί ποια μέθοδος υπερέχει ως προς τον εντοπισμό των αλλαγών. Συμπερασματικά, καλύτερη βρέθηκε η πρώτη μέθοδος ως προς την ανίχνευση ραγδαίων αλλαγών όπως οι φωτιές, ενώ για τις μακροχρόνιες αλλαγές όπως τα λατομεία, φάνηκε να υπερέχει η εφαρμογή του ελέγχου Mann-Kendall.

Λέξεις κλειδιά: Χρονοσειρά, Κάλυψη Γης, Τηλεπισκόπηση, Landsat, Kapur, z-score, Mann-Kendall

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση της τηλεπισκόπησης για τον έλεγχο των αλλαγών στην επιφάνεια της γης έχει πλέον καθιερωθεί. Οι διαχρονικές μελέτες μέσω τηλεπισκόπησης βασίζονται σε διαχρονικές δορυφορικές εικόνες για τον εντοπισμό των απότομων/ραγδαίων αλλαγών που προκαλούνται από φαινόμενα, όπως πλημμύρες, εποχιακή εναλλαγή βλάστησης, πυρκαγιές ή ήπιες αλλαγές που προκαλούνται από φαινόμενα, όπως η οικιστική ανάπτυξη, η ερημοποίηση, η διάνομιξη λατομείων και η επέκτασή τους κ.λπ.. Σε γενικές γραμμές, τα χρησιμοποιούμενα δεδομένα τηλεπισκόπησης έχουν ληφθεί σε δύο τουλάχιστον χρονικές στιγμές και απεικονίζουν την ίδια περιοχή. Ένας κατάλληλος αλγόριθμος καλείται στη συνέχεια να συγκρίνει τις εικόνες και να υποδείξει στον αναλυτή περιοχές όπου η χαρτογραφούμενη επιφάνεια έχει υποστεί αλλαγές.

Η αποτύπωση της παρακολούθησης των διαχρονικών αλλαγών των χρήσεων γης, προϋποθέτει μία σειρά από παραμέτρους οι οποίες δε μπορούν να καλυφθούν μόνο με τις επίγειες μεθόδους παρατήρησης του τοπίου (Mas 1999). Η χρήση σύγχρονων μεθόδων παρατήρησης, όπως είναι η τηλεπισκόπηση δίνει τη δυνατότητα να εστιάσουμε στην ανάπτυξη και την εφαρμογή μεθόδων και τεχνικών για τη μελέτη περιβαλλοντικών προβλημάτων και φαινομένων (Collins and Woodcock 1996).

Οι ερευνητές στις μελέτες ανίχνευσης αλλαγών με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων έχουν χρησιμοποιήσει αρκετές μεθοδολογίες για τον εντοπισμό περιβαλλοντικών αλλαγών.

Η ανίχνευση των διαχρονικών αλλαγών είναι η διαδικασία του προσδιορισμού των διαφορών στην κατάσταση ενός αντικειμένου ή φαινομένου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (Singh 1989). Η διαχρονική ανίχνευση των αλλαγών αποτελεί ένα σύγχρονο ερευνητικό αντικείμενο με μεγάλη πρόσφατη βιβλιογραφία και ιδιαίτερα χρήσιμες εφαρμογές τόσο στη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος, όσο και στη διαχείριση των κοινωνικών και οικονομικών συνεπειών στο ανθρωπογενές περιβάλλον (Moshen 1999).

Οι προτεινόμενες μεθοδολογίες είναι δυνατόν να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω επτά κατηγορίες τεχνικών ανίχνευσης αλλαγών (Al-doski et al. 2013):

1. Αλγεβρική προσέγγιση
2. Μετασχηματισμοί
3. Βασισμένη στην ταξινόμηση
4. Προηγμένα μοντέλα
5. GIS
6. Οπτική ανάλυση
7. Άλλες τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών

Η απελευθέρωση του αρχείου δεδομένων των αποστολών Landsat του οργανισμού United States Geological Survey (USGS), έδωσαν τη δυνατότητα για την εύκολη πρόσβαση σε έναν πρωτοφανή όγκο δεδομένων. Το γεγονός αυτό ανοίγει νέους ορίζοντες στην ανίχνευση χωροχρονικών δυναμικών καθώς και την εξέλιξη των μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών στην επιφάνεια της γης.

Εκτεταμένες μελέτες έχουν ερευνήσει τις μεταβολές χρήσεων και κάλυψης γης με διάφορες μεθόδους στις οποίες εμπεριέχονται και χρονοσειράς δεικτών βλάστησης και συγκεκριμένα του NDVI (Sheng et al. 1995; Geerken et al. 2005b; Brown et al. 2006; Lunetta et

al. 2006). Ο NDVI προτιμάται για την παρακολούθηση της βλάστησης διότι αντισταθμίζει μερικά τις αλλαγές των συνθηκών φωτισμού, την κλίση του εδάφους και τον προσανατολισμό θέσης (Peters et al. 1992). Η σπουδαιότητα του NDVI ανάγεται στο γεγονός ότι είναι ενδεικτικός του βαθμού της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας της υπό παρακολούθηση βλάστησης (Tieszen et al. 1997), ενώ πιο εκτεταμένα στοιχεία για τα χαρακτηριστικά του, τη λειτουργία του και τη χρησιμότητα του αναφέρονται στο κεφάλαιο 4.5.

Η διαφορά του δείκτη NDVI έχει χρησιμοποιηθεί σε πολλές μελέτες για την ανίχνευση αλλαγών. Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιείται με δύο διαφορετικούς τρόπους, έτσι ώστε να εντοπιστούν απότομες και ήπιες αλλαγές σε μια χρονοσειρά δεδομένων Landsat για το νησί της Θάσου. Αρχικά γίνεται συνδυασμός της με τη μέθοδο κατωφλίωσης (thresholding) εντροπίας Karur. Σε αυτή τη μέθοδο (Karur et al. 1985), το βέλτιστο όριο, αλλαγών – μη αλλαγών, προσδιορίζεται με βάση την έννοια της εντροπίας (Shannon 1948). Περισσότερες πληροφορίες για τη μέθοδο Karur δίδονται στο κεφάλαιο 5.1. Στον δεύτερο τρόπο το αποτέλεσμα της διαφοράς του δείκτη, μετατρέπεται σε τυποποιημένες τιμές (z-score ή z-τιμές) και ταξινομείται αυτόματα σε έξι κλάσεις. Ως τυποποιημένη τιμή ορίζεται ο αριθμός των τυπικών αποκλίσεων κατά τις οποίες μια παρατήρηση βρίσκεται πάνω ή κάτω από το μέσο. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι z-τιμές είναι καθαροί αριθμοί (δεν εκφράζονται σε κάποια μονάδα μέτρησης) συνεπώς είναι ιδιαίτερα χρήσιμες όταν θέλουμε να συγκρίνουμε αποδόσεις που έχουν μετρηθεί σε διαφορετικές κλίμακες.

Παρατηρείται ακόμα ότι η ανάλυση των τάσεων Mann-Kendall χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την ανίχνευση τάσεων των δεδομένων χρονοσειρών (Cao et al. 2011; de Jong et al. 2011; Gao et al. 2012; Li and Guo 2012). Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της στατιστικής Mann-Kendall είναι ότι επηρεάζεται λιγότερο από ακραίες τιμές (Neeti and Eastman 2011; Neeti et al. 2012). Ως στατιστική Mann-Kendall ορίζεται η σχετική συχνότητα των αυξήσεων μείον τη σχετική συχνότητα των μειώσεων των τάσεων σε όλο το μήκος της χρονοσειράς.

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν **η ανίχνευση των αλλαγών κάλυψης γης αλλά και του φυσικού περιβάλλοντος της Θάσου γενικότερα, για την περίοδο 1984-2011, με χρονοσειρά δορυφορικών εικόνων Landsat.**

Οι επιμέρους στόχοι ήταν:

- ▶ Ο εντοπισμός των αλλαγών της κάλυψης γης με βάση δύο μεθόδους που στηρίζονται στη σύγκριση ζευγών εικόνων της χρονοσειράς. Οι μέθοδοι αυτές είναι:
 1. Η διαφορά του δείκτη NDVI και εφαρμογή της μεθόδου κατωφλίωσης του Karur.
 2. Η διαφορά του δείκτη NDVI και ταξινόμηση των τυποποιημένων τιμών z-score.
- ▶ Ο εντοπισμός των αλλαγών της κάλυψης γης χρησιμοποιώντας ολόκληρη τη χρονοσειρά με βάση τον εκτιμητή Mann Kendall.
- ▶ Η σύγκριση των παραπάνω μεθόδων εντοπισμού των αλλαγών κάλυψης γης με σκοπό να εκτιμηθεί η σχετική τους ακρίβεια και να βρεθούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου.

2. ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΤΗΣ ΚΑΛΥΨΗΣ ΓΗΣ ΜΕ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Το κεφάλαιο αυτό εστιάζει:

- Στη σημασία της παρακολούθησης των διαχρονικών αλλαγών και τη συμβολή της Τηλεπισκόπησης ειδικά λαμβάνοντας υπόψη την απελευθέρωση των δορυφορικών δεδομένων Landsat.
- Στις μεθοδολογίες για τον εντοπισμό περιβαλλοντικών αλλαγών με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων.
- Στη διαδικασία της προεπεξεργασίας των δεδομένων και τη σημασία της, ειδικά πριν την επεξεργασία χρονοσειρών και τέλος, γίνεται επεξήγηση του δείκτη NDVI που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.

2.1. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ & ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ

Τηλεπισκόπηση ή τηλεανίχνευση (remote sensing) είναι η επιστήμη και η τεχνολογία που ασχολείται με τη συλλογή πληροφορίας σχετικά με ένα αντικείμενο, μια περιοχή, μια εμφάνιση ή ένα φαινόμενο, μέσω της κατάλληλης ανάλυσης δεδομένων, τα οποία προέρχονται από ένα σύστημα που δεν βρίσκεται σε επαφή με το συγκεκριμένο αντικείμενο, περιοχή, εμφάνιση ή φαινόμενο. Με μια στενότερη έννοια, η τηλεπισκόπηση του περιβάλλοντος σημαίνει απόκτηση πληροφοριών για μια γήινη επιφάνεια με την από απόσταση μέτρηση και αποτύπωση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρα. Ιδιαίτερη άνθηση εμφάνισε τις δύο τελευταίες δεκαετίες η δορυφορική τηλεπισκόπηση (satellite remote sensing), δηλαδή καταγραφή δεδομένων από ανιχνευτές οι οποίοι φέρονται από δορυφόρους. Χρησιμοποιείται με μεγάλη επιτυχία για την χαρτογράφηση, καταγραφή και παρακολούθηση της βλάστησης και των αλλαγών κάλυψης γης όταν πρόκειται για περιοχές μεγάλης κλίμακας (Roughgarden et al. 1991; Treitz and Howarth 1999; Jat et al. 2008). Η αξιοποίηση τηλεπισκοπικών απεικονίσεων για τη μελέτη της γης άρχισε τη δεκαετία του 1960, όταν οι τεχνικές δυνατότητες των δορυφόρων που βρίσκονταν σε τροχιά γύρω από τη γη, ακολούθησαν τη ραγδαία ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ για τη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων.

Πλεονέκτημα της Τηλεπισκόπησης αποτελεί το γεγονός της συλλογής δεδομένων με μεγάλη συχνότητα αλλά και ακρίβεια, παρέχοντας πληροφορίες τόσο για τα φασματικά χαρακτηριστικά των στοιχείων κάλυψης γης, αλλά και για το χώρο, το σχήμα και το μέγεθος τους.

Οι διαχρονικές μελέτες αναφέρονται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (Richards 1993; Lillesand and Kiefer 1994), που υποστηρίζει όλες σχεδόν τις γεωεπιστήμες, καθώς επίσης και στο κτηματολόγιο, στη διαχείριση φυσικών πόρων και στην πολεοδομία. Ως παραδείγματα εφαρμογών σε περιβαλλοντικές μελέτες αναφέρονται η καταγραφή αλλαγών σε δασικές περιοχές (Collins and Woodcock 1996; Mas 1999), η παρακολούθηση της μείωσης της επιφάνειας της λίμνης Κορώνειας (Pittas 2003; Alexandridis et al. 2007) και η καταγραφή πλημμυρών, της Μεσογειακής ξηρότητας δασικών πυρκαγιών, της καύσιμης ύλης και αποψίλωσης.

Ο όρος επεξεργασία ψηφιακών δορυφορικών απεικονίσεων περιλαμβάνει όλες τις μεθόδους που αποσκοπούν στη λήψη πληροφοριών οι οποίες περιέχονται σε μία ψηφιακή (δορυφορική) απεικόνιση αλλά δεν είναι δυνατόν να εντοπιστούν με γυμνό μάτι (Jensen 1996; Campbell 2002).

Στην παρούσα μελέτη η χρήση δορυφορικών δεδομένων αποτελεί το κύριο εργαλείο για τη δημιουργία χρονοσειράς και παρακολούθηση των αλλαγών κάλυψης γης και βλάστησης στο νησί της Θάσου. Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ - GIS) είναι το δεύτερο βασικό εργαλείο επεξεργασίας και ανάλυσης των δεδομένων που αφορούν τη βλάστηση και την κάλυψη γης, που χρησιμοποιήθηκε. Ο συνδυασμός των ΓΣΠ και Τηλεπισκόπησης παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τη φύση των αλλαγών των χρήσεων γης και της φυτοκάλυψης, ιδιαίτερα για την έκταση και τη χωρική κατανομή των διάφορων κλάσεων (Weng 2002; Yuan 2008). Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ) αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση χωρικών δεδομένων (Burrough 1991). Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν χωρική πληροφορία, μαζί με περιγραφικές διαστάσεις, ενώ η διάσταση του χρόνου υπεισέρχεται σαν μια επιπλέον διάσταση (Despotakis et al. 1991).

Το φυσικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από πολύπλοκα και δυναμικά λειτουργικά συστήματα. Με την πάροδο των ετών η κάλυψη γης αλλάζει και αυτό οφείλεται είτε σε περιβαλλοντικούς είτε σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Η παρακολούθησή του πλέον είναι επιτακτική έτσι ώστε να εντοπίζονται και να μετριοούνται αυτές οι αλλαγές, να εντοπίζονται τα αίτια, να εκτιμώνται οι επιπτώσεις τους και να προλαμβάνεται η επανάληψή τους. Τα δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης της γης δίνουν την δυνατότητα διαχρονικών απεικονίσεων με σταθερή επαναληψιμότητα και για μακρά περίοδο. Η απελευθέρωση των δορυφορικών εικόνων Landsat αυξάνει τη διαθεσιμότητα πολλαπλών χρονικών δεδομένων. Έτσι προσφέρεται η ικανότητα μελέτης δυναμικών φαινομένων, διαχρονικών συγκρίσεων και καταγραφής στοιχείων ή φαινομένων σε συνεχή βάση (long-term monitoring).

Η κάλυψη γης (land cover), με την ευρεία έννοια, αφορά στην κατηγοριοποίηση των διάφορων φυσικών και ανθρωπογενών στοιχείων του εδάφους με βάση τις ορατές αποδείξεις των χρήσεων γης. Έτσι, το πυκνό δάσος, η οργανωμένη γη, οι καλλιέργειες, το αστικό πλέγμα, και άλλα πολλά, αποτελούν κατηγορίες κάλυψης γης. Υπό την στενότερη της έννοια, η κάλυψη γης σχετίζεται με την κατηγοριοποίηση της βλάστησης, φυσικής ή ανθρωπογενούς, στην επιφάνεια του εδάφους σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή (Campbell 2002). Η κάλυψη γης είναι μια έννοια με συγκεκριμένα και παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά και συνεπώς αντικείμενο άμεσης παρατήρησης.

2.2. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ

Οι ερευνητές στις μελέτες ανίχνευσης αλλαγών με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων έχουν χρησιμοποιήσει αρκετές μεθοδολογίες για τον εντοπισμό περιβαλλοντικών αλλαγών.

Η ανίχνευση των διαχρονικών αλλαγών είναι η διαδικασία του προσδιορισμού των διαφορών στην κατάσταση ενός αντικειμένου ή φαινομένου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (Singh 1989). Η διαχρονική ανίχνευση των αλλαγών αποτελεί ένα σύγχρονο ερευνητικό αντικείμενο με μεγάλη πρόσφατη βιβλιογραφία και ιδιαίτερα χρήσιμες εφαρμογές τόσο στη

διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος, όσο και στη διαχείριση των κοινωνικών και οικονομικών συνεπειών στο ανθρωπογενές περιβάλλον (Moshen 1999).

Οι επτά κατηγορίες των τεχνικών ανίχνευσης αλλαγών (Al-doski et al. 2013):

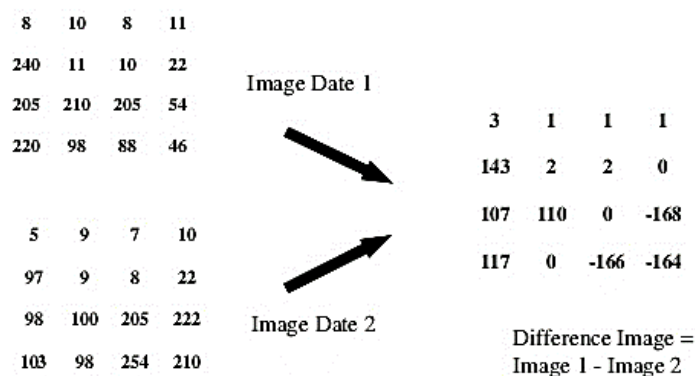
1. Αλγεβρική προσέγγιση
 - 1.1. Διαφορά εικόνων
 - 1.2. Παλινδρόμηση εικόνων
 - 1.3. Λόγος εικόνων
 - 1.4. Διαφορά δείκτη βλάστησης
 - 1.5. Ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών (Change Vector Analysis-CVA)
2. Μετασχηματισμοί
 - 2.1. Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA)
 - 2.2. Tasseled Cap (KT)
 - 2.3. Gramm-Schmidt (GS)
 - 2.4. Chi-Square
3. Βασισμένη στην ταξινόμηση
 - 3.1. Δέλτα ή μετά-ταξινομικές συγκρίσεις
 - 3.2. Συνδυασμός φασματικής διαχρονικής ανάλυσης (Spectral-Temporal Combined Analysis)
 - 3.3. EM Μετασχηματισμός (EM Transformation)
 - 3.4. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση
 - 3.5. Υβριδική ανίχνευση αλλαγών
 - 3.6. Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (Artificial Neural Networks-ANN)
 - 3.7. Li-Strahler Reflectance Model
 - 3.8. Spectral Mixer Model
 - 3.9. Biophysical Parameter Method
4. Προηγμένα μοντέλα
 - 4.1. Li-Strahler Reflectance Model
 - 4.2. Spectral Mixer Model
 - 4.3. Biophysical Parameter Method
5. GIS
 - 5.1. Integrated GIS and RS Method
 - 5.2. GIS Approach
6. Οπτική ανάλυση
 - 6.1. Οπτική ερμηνεία
7. Άλλες τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών
 - 7.1. Μετρήσεις της φασματικής εξάρτησης (Henebry 1993)
 - 7.2. Οπτικό σύστημα που βασίζεται στη γνώση (knowledge-based vision system) (Wang 1993)
 - 7.3. Area production method (Hussin and de Gier 1994)
 - 7.4. Συνδυασμός τριών δεικτών: δείκτες βλάστησης, θερμοκρασία επιφάνειας της γης και φασματική δομή (Lambin and Strahlers 1994)
 - 7.5. Καμπύλες αλλαγών (Lawrence and Ripple 1999)
 - 7.6. Γενικευμένα γραμμικά μοντέλα (Morissette et al. 1999)

- 7.7. Προσέγγιση βασισμένη σε θεωρήματα καμπυλών (curve-theorem-based approach) (Yue et al. 2002)
- 7.8. Προσέγγιση με βάση τη δομή (structure based approach) (Zhang et al. 2002)
- 7.9. Μέθοδος βασισμένη σε φασματικά στατιστικά δεδομένα (Read and Lam 2002)

Αλγεβρική Προσέγγιση

- Αυτοί οι αλγόριθμοι έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, πχ. Την επιλογή ορίων για να διευκρινιστούν οι περιοχές όπου παρατηρούνται αλλαγές. Αυτές οι μέθοδοι (εξαιρώντας την τελευταία-CVA) είναι σχετικά απλές, άμεσες, εύκολες στην εφαρμογή και την ερμηνεία, αλλά δεν μπορούν να δώσουν ολοκληρωμένες πληροφορίες αλλαγών.
- Στην κατηγορία αυτή δύο ζητήματα είναι κριτικά για τα αποτελέσματα της ανίχνευσης αλλαγών:
 - ✓ Η επιλογή των κατάλληλων διαύλων των εικόνων
 - ✓ Η επιλογή των κατάλληλων ορίων (thresholds)

Διαφορά Εικόνων (Image Differencing).



Εικόνα 1: Διαφορά εικόνων.

Σε αυτή τη μέθοδο, εικόνες από διαφορετικές ημερομηνίες αφαιρούνται και παράγεται μια εικόνα η οποία δείχνει την αλλαγή μεταξύ των δύο ημερομηνιών. Τα εικονοστοιχεία που δεν έχουν αλλάξει βρίσκονται στο κέντρο της κατανομής ενώ τα εικονοστοιχεία που έχουν αλλάξει βρίσκονται στα άκρα της κατανομής (Singh 1986). Για παράδειγμα για τις εικόνες Landsat MSS προτιμώνται οι διάυλοι 2 και 4 και οι μετασχηματισμοί

γίνονται σε αυτούς γιατί θεωρούνται ότι είναι οι πλέον χρήσιμοι για τη διάκριση της δασικής κομοστέγης και των μεταβολών της βλάστησης. (Nelson 1983).

Η έννοια

- ∞ Ημερομηνία 1 – Ημερομηνία 2
- ∞ Μη αλλαγή = 0
- ∞ Οι θετικές και αρνητικές τιμές είναι ερμηνεύσιμες
- ∞ Επιλογή ορίων για τον προσδιορισμό των αλλαγών

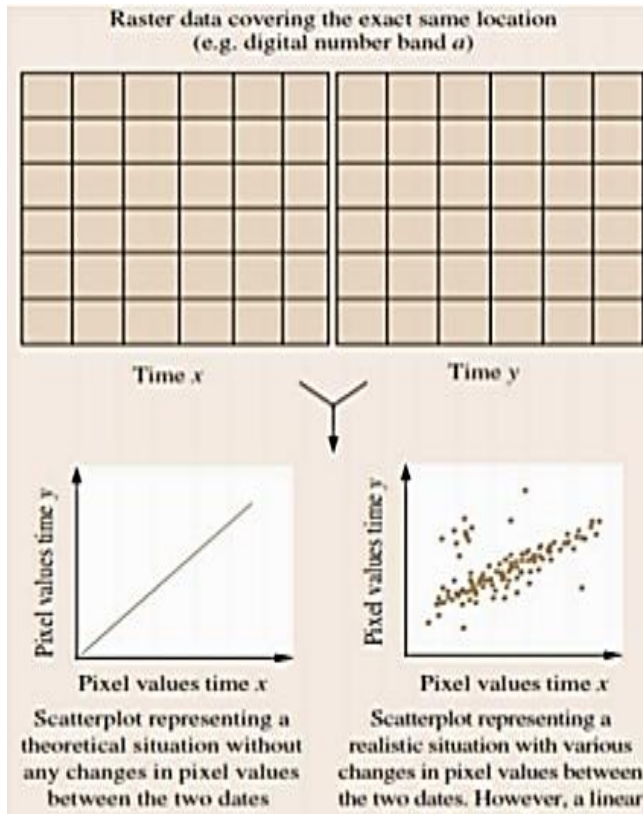
Πλεονεκτήματα

- Απλή (και η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος ίσως)
- Εύκολη στην ερμηνεία
- Σταθερή

Μειονεκτήματα

- Η τιμή της διαφοράς είναι απόλυτη, οπότε η ίδια τιμή μπορεί να έχει διαφορετικό νόημα
- Απαιτεί ατμοσφαιρική βαθμονόμηση

Παλινδρόμηση εικόνων



Εικόνα 2: Παλινδρόμηση εικόνων.

Λόγος εικόνων

Η έννοια

- ∞ Ημερομηνία 1 / Ημερομηνία 2
- ∞ Μη αλλαγή = 1
- ∞ Οι μικρότερες και μεγαλύτερες τιμές από τη μονάδα είναι ερμηνεύσιμες
- ∞ Επιλογή ορίων για τον προσδιορισμό των αλλαγών

Πλεονεκτήματα

- Απλή
- Μπορεί να μετριάσει τα προβλήματα που των συνθηκών προβολής της εικόνας πχ. τη γωνία της ηλιακής ακτινοβολίας

Μειονέκτημα

- Αλλαγές μεταξύ δύο καλύψεων γης έχουν διαφορετικό αποτέλεσμα ανάλογα με την κατεύθυνση της αλλαγής πχ. $50/100=0.5$, $100/50=2e$

Η σχέση μεταξύ των τιμών των εικονοστοιχείων δύο ημερομηνιών καθορίζεται με τη χρήση ενός μοντέλου παλινδρόμησης

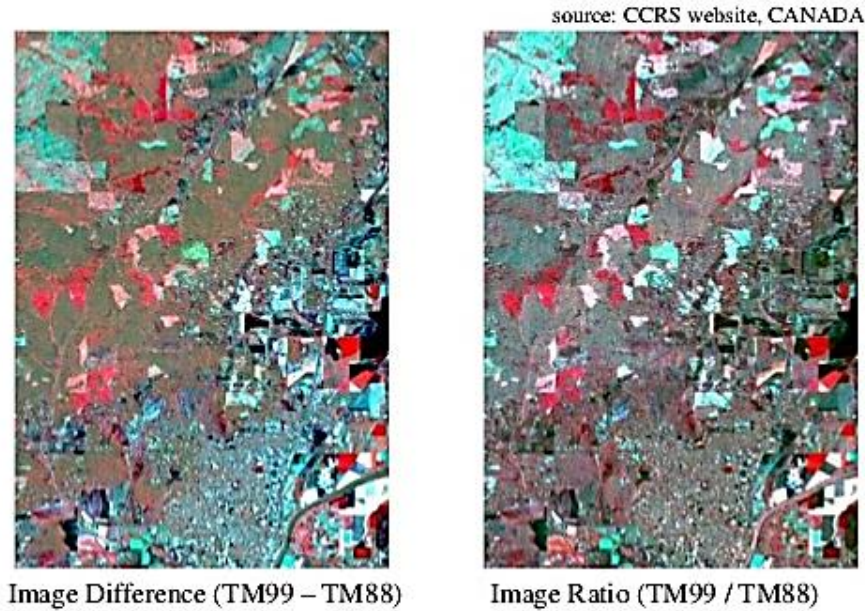
Το μέγεθος των υπολοίπων είναι δείκτης για το που έγιναν οι αλλαγές.

Πλεονέκτημα

- Μειώνει την επίδραση της ατμόσφαιρας, του αισθητήρα και των περιβαλλοντικών διαφορών.

Μειονεκτήματα

- Απαιτεί ανάπτυξη ακριβών λειτουργιών παλινδρόμησης
- Δεν δίνει πίνακα αλλαγών

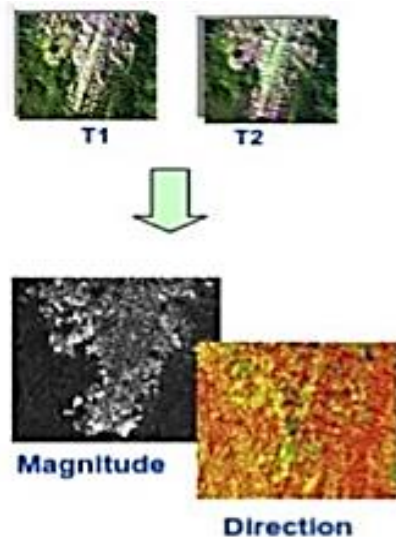


Εικόνα 3: Διαφορά εικόνων (αριστερά) και λόγος εικόνων (δεξιά).

Διαφορά Δεικτών Βλάστησης

Αυτή η τεχνική σχετίζεται με τις διαφορές στην πράσινη βιομάζα. Στην ύπαρξη ή μη ζωντανής βλάστησης (Tucker 1979). Για παράδειγμα υπολογίζεται ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης για δύο εικόνες και μετά γίνεται η αφαίρεσή τους (Nelson 1983, Singh 1986).

Ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών-CVA



Η έννοια

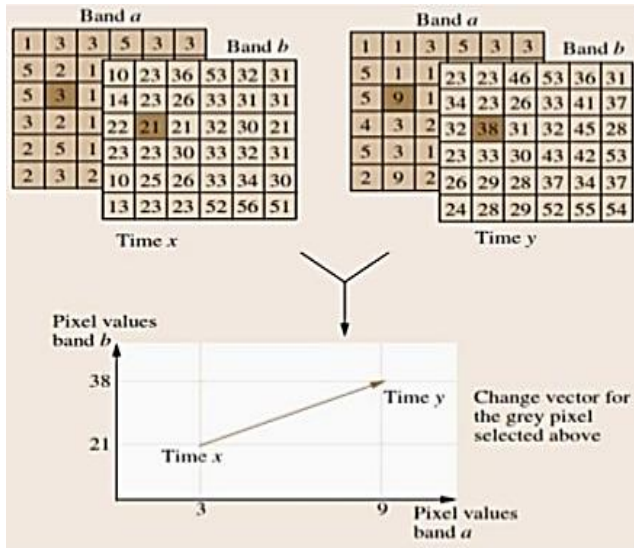
- ∞ Σε έναν n -διάστατο φασματικό χώρο, προσδιορίζεται το μήκος και η κατεύθυνση των διανυσμάτων μεταξύ της Ημερομηνίας 1 και της Ημερομηνίας 2
- ∞ Μη αλλαγή = 0 μήκος
- ∞ Η αλλαγή της κατεύθυνσης είναι ερμηνεύσιμη
- ∞ Επιλογή ορίων για τον προσδιορισμό των αλλαγών

Παράγεται μία εικόνα έντασης (magnitude) και μια εικόνα κατεύθυνσης της αλλαγής (direction). Η εικόνα κατεύθυνσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση των αλλαγών.

Συνήθως χρησιμοποιείται όταν χρειάζεται να ερευνηθούν όλες οι αλλαγές.

source; Norsk Regnesentral website

Εικόνα 4: Η εικόνα έντασης (magnitude) και η εικόνα κατεύθυνσης της αλλαγής (direction).



Εικόνα 5: Ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών-CVA.

Πλεονεκτήματα

- Λειτουργεί σε πολυφασματικά δεδομένα
- Επιτρέπει τη διάκριση του είδους των αλλαγών που συμβαίνουν

Μειονέκτημα

- Μοιράζεται μερικώς τα μειονεκτήματα των τεχνικών που είναι βασισμένες στην άλγεβρα αλλά με λιγότερη ένταση.

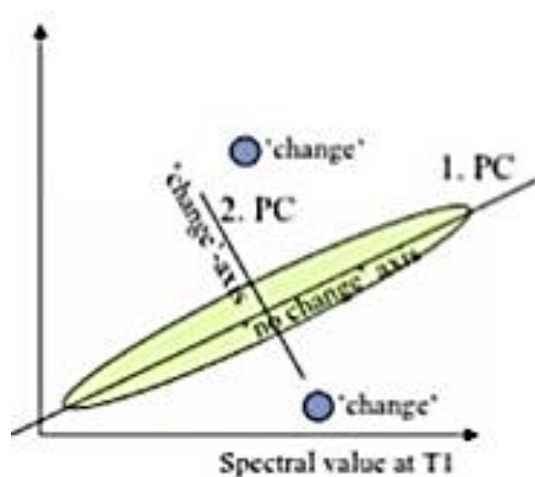
Πίνακας 1: Αλγεβρική προσέγγιση.

Αλγεβρική προσέγγιση					
Τεχνικές	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Παραδείγματα	Βασικοί παράγοντες
Διαφορά εικόνων	Αφαιρείται η πρώτη ημερομηνία της εικόνας από μια δεύτερη ημερομηνία σε επίπεδο εικονοστοιχείου	Απλή (και η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη μέθοδος ίσως) Εύκολη στην ερμηνεία Σταθερή	Δεν μπορεί να εξασφαλίσει έναν λεπτομερή πίνακα αλλαγών, απαιτείται επιλογή των ορίων	Αποφύλλωση δάσους, αλλαγές κάλυψης γης και παρακολούθηση αρδευόμενων καλλιεργειών	Προσδιορίζει τους κατάλληλους διαύλους των εικόνων και τα όρια
Παλινδρόμηση εικόνων	Καθορίζει τις σχέσεις μεταξύ των διαχρονικών εικόνων, στη συνέχεια υπολογίζει τις τιμές των εικονοστοιχείων της δεύτερης ημερομηνίας της εικόνας με τη χρήση μιας συνάρτησης παλινδρόμησης, αφαιρεί την εικόνα που έχει εφαρμοστεί η παλινδρόμηση από την εικόνα της πρώτης ημερομηνίας	Μειώνει τις επιπτώσεις της ατμόσφαιρας, των αισθητήρων και των περιβαλλοντικών διάφορων μεταξύ των δύο ημερομηνιών των εικόνων	Απαιτείται η ανάπτυξη ακριβούς λειτουργίας παλινδρόμησης για τους επιλεγμένους διαύλους πριν από την εφαρμογή εντοπισμού αλλαγών	Τροπικό δάσος και η μετατροπή των δασών	Αναπτύσσεται η συνάρτηση παλινδρόμησης, προσδιορίζει τους κατάλληλους διαύλους των εικόνων και τα όρια
Λόγος εικόνων	Υπολογίζει το λόγο των εικόνων των δύο ημερομηνιών ανά διαύλο	Μειώνει τις επιπτώσεις της γωνίας του ήλιου, των σκιάσεων και της τοπογραφίας	Η κατανομή του αποτελέσματος είναι συχνά μη κανονική	Χαρτογράφηση χρήσεων γης	Προσδιορίζει τους κατάλληλους διαύλους των εικόνων και τα όρια
Διαφορά δείκτη βλάστησης	Παράγει δείκτη βλάστησης ξεχωριστά, στη συνέχεια αφαιρεί τη δεύτερη ημερομηνία-δείκτη βλάστησης από την πρώτη ημερομηνία του δείκτη βλάστησης	Δίνει έμφαση στις διαφορές στη φασματική απόκριση των διαφορετικών χαρακτηριστικών και μειώνει τον αντίκτυπο	Τυχαιός θόρυβος ή η συνεκτικός θόρυβος	Αλλαγές της βλάστησης και της κομοστέγης του δάσους	Αναγνωρίζει τον κατάλληλο δείκτη βλάστησης και τα όρια

		των τοπογραφικών εφέ και του φωτισμού			
Ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών (CVA)	Δημιουργεί 2 αποτελέσματα: 1. Ο φορέας της φασματικής αλλαγής περιγράφει την κατεύθυνση και το μέγεθος της αλλαγής από την 1 ^η στη 2 ^η ημερομηνία, και 2. Το συνολικό μέγεθος της αλλαγής ανά εικονοστοιχείο υπολογίζεται με τον προσδιορισμό της Ευκλείδειας απόστασης μεταξύ των ακραίων σημείων μέσα στον N-διάστατο χώρο αλλαγής	Υπάρχει η ικανότητα να επεξεργαστεί οποιοδήποτε αριθμό φασματικών διαύλων και να παράξει λεπτομερείς πληροφορίες ανίχνευσης αλλαγών	Δύσκολο να αναγνωρίσει αλλαγές κάλυψης γης	Μεταβλητές του τοπίου, αλλαγές κάλυψης γης, εκτίμηση των καταστροφών και αλλαγές δάσους κωνοφόρων	Καθορισμός ορίων και τα αναγνώριση αλλαγών

Μετασχηματισμοί

Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Principal Component Analysis-PCA)



Εικόνα 6: Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών-PCA

Υπολογίζονται οι κύριες συνιστώσες του συνόλου των εικόνων. Οι πρώτες συνιστώσες (1^η ή 2^η) υποδεικνύουν τις περιοχές με τις μεγαλύτερες μεταβολές.

Πρώτη επιλογή

Πραγματοποίηση ανάλυσης κύριων συνιστωσών στα δεδομένα και των δύο ημερομηνιών και ανάλυση των εικόνων των κύριων συνιστωσών

Δεύτερη επιλογή

Πραγματοποίηση ανάλυσης κύριων συνιστωσών ξεχωριστά σε κάθε εικόνα και αφαίρεση την εικόνα της κύριας συνιστώσας της δεύτερης

ημερομηνίας από αυτή της πρώτης ημερομηνίας

Πλεονέκτημα

- Περιορισμός των περιττών δεδομένων

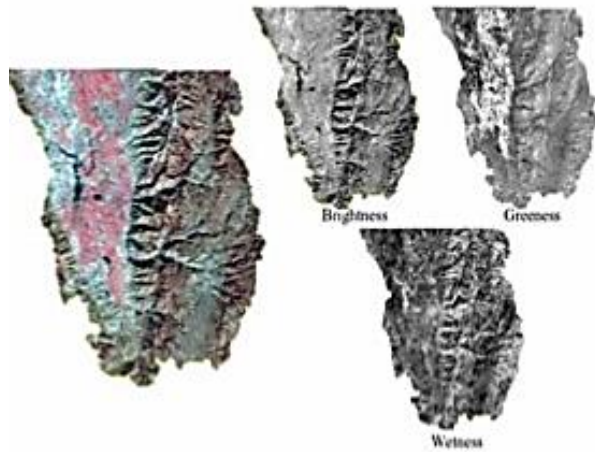
Μειονεκτήματα

- Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την εικόνα και μπορεί να είναι δύσκολη η ερμηνεία τους
- Δεν παράγεται πίνακας αλλαγών

Επιλεκτική Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (Selective Principal Components Analysis-SPCA)

Στην SPCA, χρησιμοποιούνται μόνο δύο δίαυλοι από τις εικόνες που θα γίνει η σύγκριση αντί για όλους τους διαύλους. Έτσι η πληροφορία που είναι κοινή για τις δύο εικόνες στους δύο διαύλους φαίνεται στην πρώτη κύρια συνιστώσα ενώ οι πληροφορίες που είναι μοναδικές για τους δύο δίαυλους (δηλαδή οι αλλαγές) φαίνονται στη δεύτερη κύρια συνιστώσα (CHAVEZ and Kwarteng 1989). Οι κύριες συνιστώσες συνήθως υπολογίζονται από έναν πίνακα διακυμάνσεων-συνδιακυμάνσεων. Η τυποποίηση του πίνακα συνδιακύμανσης σε έναν πίνακα συσχέτισης διαιρώντας με την κατάλληλη τυπική απόκλιση μειώνει όλες τις μεταβλητές με ίση σημαντικότητα όπως μετράται σε κλίμακα. Οι Singh και Harrison (Singh and Harrison 1985) συγκρίνοντας την τυποποιημένη και μη τυποποιημένη PCA (standardized and unstandardized PCA) αναφέρουν σημαντική βελτίωση του λόγου του σήματος προς το θόρυβο και της ενίσχυσης της εικόνας με τη χρήση τυποποιημένων μεταβλητών.

Kauth Thomas Μετασχηματισμός (Tasseled Cap)



Source: www.sjsu.edu/faculty/watkins/tassel.htm

Εικόνα 7: Μετασχηματισμός Tasseled Cap και οι συνιστώσες Brightness, Greenness, Wetness

εικόνα υπό τη μορφή ενός γραμμικού αλγεβρικού τύπου.

Συνήθως οι πρώτες συνιστώσες περιέχουν τις περισσότερες από τις πληροφορίες των δεδομένων, έτσι ώστε οι 4 δίαυλοι των MSS ή οι 6 των TM μπορούν να μειωθούν σε μόλις τρεις κύριες συνιστώσες. Οι επόμενες συνιστώσες συνήθως αντιμετωπίζονται σα να μη περιέχουν πληροφορία.

Με τον μετασχηματισμό αυτό περιγράφονται τα διαχρονικά φασματικά μοτίβα που εξάγονται από εικόνες Landsat MSS για καλλιέργειες. Περνώντας οι καλλιέργειες από τη φάση των σπόρων σε πλήρη ανάπτυξη, παρατηρείται καθαρή αύξηση της υπέρυθρης και μείωση της κόκκινης ακτινοβολίας. Το αποτέλεσμα βέβαια ποικίλει ανάλογα με το χρώμα του εδάφους.

Οι συνιστώσες Brightness, Greenness, Wetness (Φωτεινότητα, Πράσινο, Υγρασία) αρχικά αναπτύχθηκαν για χρήση σε εικόνες Landsat MSS και ονομάστηκε μετασχηματισμός Tasseled Cap.

Ο μετασχηματισμός βασίζεται σε ένα σύνολο σταθερών που εφαρμόζονται στην

Πίνακας 2: Μετασχηματισμοί.

Μετασχηματισμοί					
Τεχνικές	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Παραδείγματα	Βασικοί παράγοντες
Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA)	Υποθέτει ότι τα διαχρονικά δεδομένα συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό και οι πληροφορίες αλλαγών μπορεί να φαίνονται στις νέες συνιστώσες. Οι δύο τρόποι για να εφαρμοστεί η PCA για την ανίχνευση αλλαγών είναι: 1. Εφαρμόζεται η PCA σε ένα αρχείο που περιέχει δυο ή περισσότερες ημερομηνίες των εικόνων και αναλύονται οι μικρότερες συνιστώσες για να φανούν αλλαγές, και 2. Εφαρμόζεται η PCA ξεχωριστά, στη συνέχεια γίνεται αφαίρεση του αποτελέσματος της δεύτερης ημερομηνίας από το αποτέλεσμα της πρώτης	Μειώνει τον πλεονασμό των δεδομένων μεταξύ των διαύλων και τονίζει τις διαφορικές πληροφορίες που αντλούνται από τις συνιστώσες	PCA είναι εξαρτάται από τις εικόνες, επομένως, τα αποτελέσματα ανίχνευσης αλλαγών μεταξύ διαφορετικών ημερομηνιών είναι συχνά δύσκολο να ερμηνευθούν. Δεν μπορεί να παραχθεί ένας πλήρης πίνακας πληροφοριών των αλλαγών και απαιτεί τον καθορισμό ορίων για να προσδιοριστούν οι περιοχές που αλλάζουν	Αλλαγές κάλυψης γης, η αστική επέκταση, οι μεταβολές των τροπικών δασών, η θνησιμότητα των δασών και η αποφύλλωσή τους.	Η δεξιότητα των αναλυτών στον εντοπισμό των αλλαγών στις συνιστώσες και την επιλογή των ορίων
Kauth Thomas Μετασχηματισμός (Tasselled Cap) (KT)	Η αρχή αυτής της μεθόδου είναι όμοια με την PCA. Η μόνη διαφορά είναι ότι PCA εξαρτάται από την εικόνα ενώ ο μετασχηματισμός KT είναι ανεξάρτητος. Η ανίχνευση αλλαγών υλοποιείται με βάση τις τρεις συνιστώσες: φωτεινότητα, greenness και υγρασία	Μειώνει τον πλεονασμό των δεδομένων μεταξύ των διαύλων και τονίζει διαφορικές πληροφορίες στις συνιστώσες που παράγονται. Ο μετασχηματισμός KT είναι	Είναι δύσκολη η ερμηνεία των αλλαγών, δεν μπορεί να εξαχθεί πλήρης πίνακας αλλαγών, απαιτείται ο καθορισμός ορίων για τον προσδιορισμό των περιοχών των αλλαγών και απαιτείται ακριβής ατμοσφαιρική βαθμονόμηση	Παρακολούθηση της θνησιμότητας της πράσινης βιομάζας των δασών και των αλλαγών χρήσεων γης	Απαιτείται η δεξιότητα του αναλυτή για να αποφασιστεί ποια συνιστώσα αντιπροσωπεύει καλύτερα την αλλαγή και την θέσπιση ορίων

	(brightness, greenness, wetness)	ανεξάρτητος από την εικόνα.			
Gramm-Schmidt (GS)	Η μέθοδος GS ορθογωνικοποιεί φασματικά διανύσματα που λαμβάνονται απευθείας από διαχρονικές εικόνες, όπως και μέθοδος ΚΤ, παράγει τρεις σταθερές συνιστώσες brightness, greenness, wetness , και μια συνιστώσα αλλαγής	Η ένωση των μετασηματισμένων συνιστωσών με τα χαρακτηριστικά των εικόνων επιτρέπει την εξαγωγή πληροφοριών που δεν θα φαινόταν με τη χρήση άλλων τεχνικών	Είναι δύσκολο να εξαχθούν περισσότερες από μια συνιστώσες που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο τύπο αλλαγής. Η διεργασία GS βασίζεται στην επιλογή των φασματικών φορέων από εικόνες πολλών ημερομηνιών εικόνα χαρακτηριστικών του είδους των αλλαγών που εξετάζονται	Παρακολούθηση θνησιμότητας των δασών	Απαιτείται ταυτοποίηση του χώρου των δεδομένων πολλαπλών ημερομηνιών
Chi-square	$Y=(X-M)^T \Sigma^{-1} (X-M)$ Y: ψηφιακή τιμή της εικόνας αλλαγών X: διάνυσμα της διαφοράς των έξι ψηφιακών τιμών μεταξύ των δύο ημερομηνιών M: διάνυσμα του μέσου υπόλοιπου κάθε διαύλου T: σειρά του πίνακα Σ^{-1} : αντίστροφος πίνακας συνδιακυμάνσεων	Πολλοί δίαυλοι ταυτόχρονα θεωρείται ότι παράγουν μια ενιαία εικόνα της αλλαγής.	Η υπόθεση ότι μια τιμή $Y=0$ αντιπροσωπεύει ένα εικονοστοιχείο μη-αλλαγής δεν ισχύει όταν ένα μεγάλο τμήμα της εικόνας έχει αλλάξει. Επίσης, δεν προσδιορίζεται η αλλαγή που σχετίζεται με συγκεκριμένη φασματική κατεύθυνση	Αστική περιβαλλοντική αλλαγή	Το Y κατανέμεται ως τυχαία μεταβλητή Chi-square με p βαθμούς ελευθερίας (p είναι ο αριθμός των διαύλων)

Βασισμένη Στην Ταξινόμηση

Δέλτα Ή Μετά-Ταξινομικές Συγκρίσεις

Ταξινόμηση της εικόνας της πρώτης και της δεύτερης ημερομηνίας χωριστά και σύγκριση των τιμών των κλάσεων σε επίπεδο εικονοστοιχείου μεταξύ των ημερομηνιών.

Πλεονεκτήματα

- Δεν είναι απαραίτητη η ραδιομετρική βαθμονόμηση
- Ευνοεί το σύστημα ταξινόμησης των χρηστών
- Προσδιορίζει τον τύπο της αλλαγής που λαμβάνει χώρα

Μειονεκτήματα

- Το σφάλμα των δύο χαρτών ταξινόμησης πολλαπλασιάζεται
- Οι αλλαγές μέσα στις κλάσεις μπορεί να είναι ενδιαφέρουσες

Συνδυασμένη ανάλυση

Οι εικόνες ενώνονται (stack) και γίνεται μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση σε όλη τη «στοίβα».

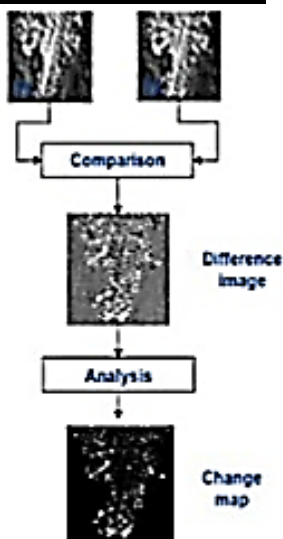
Πλεονεκτήματα

- Μπορεί να εξαχθεί η μέγιστη διακύμανση των αλλαγών
- Περιλαμβάνει αναφορά της αλλαγής, οπότε η αλλαγή είναι σταθεροποιημένη στην αρχική τιμή, σε αντίθεση με την διαφορά εικόνων και την ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών.

Μειονέκτημα

- Μπορεί να είναι εξαιρετικά δύσκολο να ερμηνευθούν οι κλάσεις

Μη επιβλεπόμενες τεχνικές



Στόχος είναι η παραγωγή ενός χάρτη ανίχνευσης αλλαγών στον οποίο γίνεται διαχωρισμός των περιοχών που έχουν αλλάξει από αυτές στις οποίες δεν έχει συντελεστεί αλλαγή

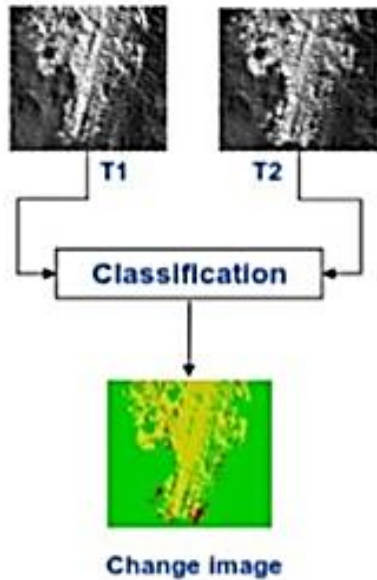
Γίνεται η υπόθεση ότι οι μεγαλύτερες αλλαγές οδηγούν σε μεγαλύτερες αλλαγές στις τιμές της ακτινοβολίας από ότι άλλοι παράγοντες.

Η σύγκριση γίνεται κατευθείαν στα φασματικά δεδομένα.

Αυτό οδηγεί σε μια εικόνα αλλαγών η οποία αναλύεται για να διαχωριστούν οι σημαντικές από τις ασήμαντες αλλαγές.

Εικόνα 8: Μη επιβλεπόμενες τεχνικές.

Επιβλεπόμενες τεχνικές



Στόχος είναι η παραγωγή ενός χάρτη ανίχνευσης αλλαγών όπου φαίνονται οι αλλαγμένες περιοχές και μπορούν να φανούν οι μεταβολές στην κάλυψη γης.

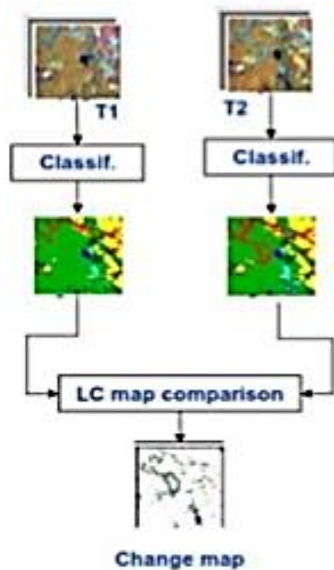
Οι αλλαγές ανιχνεύονται και ονομάζονται χρησιμοποιώντας τεχνικές επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

ΚΥΡΙΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

- Σύγκριση μετά από την ταξινόμηση
- Άμεση ταξινόμηση πολλών ημερομηνιών μαζί

Εικόνα 9: Επιβλεπόμενες τεχνικές. Πηγή: Norsk Regnesentral website

Σύγκριση μετά από την ταξινόμηση (Post-Classification Change Detection)



Η πιο προφανής μέθοδος ανίχνευσης αλλαγών είναι μια συγκριτική ανάλυση φασματικών ταξινομήσεων για χρόνους t_1 και t_2 που έχουν γίνει ανεξάρτητα (Singh 1989). Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι η ακρίβεια του χάρτη αλλαγών των δύο εικόνων θα έχει ακρίβεια ίση με το γινόμενο της ακρίβειας της ταξινόμησης της πρώτης εικόνας με την ακρίβεια της ταξινόμησης της δεύτερης (Stow et al. 1980). Η ακρίβεια της σχετικής κλάσης αλλαγών εξαρτάται από την φασματική διακριτικότητα των κατηγοριών που εμπλέκονται.

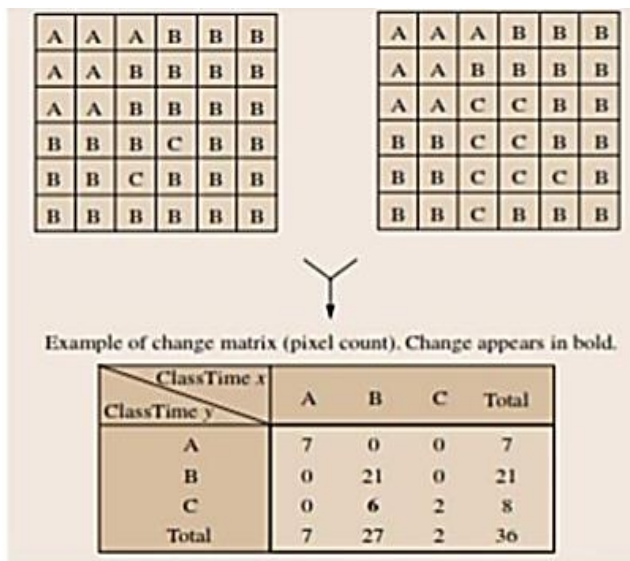
Οι ίδιοι επιβλεπόμενοι ταξινομητές χρησιμοποιούνται για να ταξινομηθούν οι δύο εικόνες ξεχωριστά

Οι αλλαγές εντοπίζονται συγκρίνοντας τις δύο ταξινομημένες εικόνες

Εικόνα 10: Σύγκριση μετά από την ταξινόμηση (πηγή Norsk Regnesentral website).

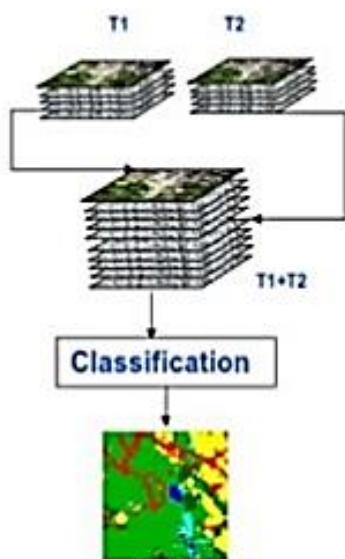
Πλεονεκτήματα

- Ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος



Εικόνα 11: Σύγκριση μετά από ταξινόμηση και παράδειγμα του πίνακα αλλαγών.

Άμεση Ταξινόμηση Εικόνων Διαφορετικών Ημερομηνιών



Εικόνα 12: Άμεση ταξινόμηση πολλών ημερομηνιών μαζί (πηγή Norsk Regnesentral website).

Η άμεση ταξινόμηση εικόνων διαφορετικών ημερομηνιών βασίζεται στην ενιαία ανάλυση ενός συνδυασμένου συνόλου δεδομένων από τις δύο ημερομηνίες, προκειμένου να εντοπιστούν οι περιοχές των αλλαγών (Singh 1986). Στις κλάσεις όπου υπάρχουν αλλαγές αναμένεται να παρουσιαστεί σημαντική στατιστική διαφορά σε αντίθεση με τις κλάσεις όπου δεν υπάρχουν αλλαγές και έτσι γίνεται ο διαχωρισμός.

Οι εικόνες από 2 ημερομηνίες συνδυάζονται σε μία εικόνα και ταξινομούνται και γίνεται ανίχνευση αλλαγών θεωρώντας κάθε αλλαγή ως κλάση και εκπαιδεύοντας τον ταξινομητή να αναγνωρίζει όλες τις κλάσεις και όλες τις αλλαγές.

Πλεονεκτήματα

- Εκμετάλλευση της πολυφασματικής πληροφορίας
- Το ποσοστό του σφάλματος δεν είναι σωρευτικό
- Παράγεται πίνακας αλλαγών

Μειονέκτημα

- Απαιτούνται δεδομένα πεδίου για να γίνει η αναγνώριση των αλλαγών

- Παρέχει πίνακα αλλαγών

Μειονεκτήματα

- Εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ακρίβεια των χαρτών ταξινόμησης και η τελική ακρίβεια είναι κοντά στην ακρίβεια αυτών των χαρτών.
- Δεν αξιοποιείται η εξάρτηση μεταξύ των πληροφοριών από τα δύο χρονικά σημεία.

Πίνακας 3: Επιβλεπόμενη εναντίων μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Επιβλεπόμενη vs Μη επιβλεπόμενη		
	Επιβλεπόμενη	Μη επιβλεπόμενη
Επίπεδο ανίχνευσης αλλαγής	Ανίχνευση των αλλαγών σε επίπεδο απόφασης.	Ανίχνευση των αλλαγών σε επίπεδο δεδομένων.
Πληροφορίες αλλαγής	Παρέχει σαφή επισήμανση της αλλαγής και των μεταβάσεων των κλάσεων	Διαχωρίζει την αλλαγή από τη μη αλλαγή
Υπολογισμός αλλαγής	Λαμβάνεται κατευθείαν από τις ταξινομημένες εικόνες	Λαμβάνεται από την ερμηνεία της εικόνας διαφοράς
Δεδομένα εδάφους	Απαιτούνται δεδομένα εδάφους	Δεν απαιτούνται δεδομένα εδάφους
Φασματικές πληροφορίες	Πολυφασματικά	Οι περισσότερες μέθοδοι λειτουργούν σε μία φασματική ζώνη
Απαιτήσεις δεδομένων	Όχι ευαίσθητη σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και διαφορές του αισθητήρα	Ευαίσθητη σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και διαφορές του αισθητήρα

Υβριδική Μέθοδος, Συνδυασμός Μεθόδων Βελτίωσης/Ενίσχυσης Της Εικόνας - Ανάλυσης Μετά Την Ταξινόμηση

Σε αυτή τη μέθοδο, η εικόνα αλλαγών η οποία παράγεται μέσω μιας διαδικασίας ενίσχυσης εικόνας επανακωδικοποιείται σε μία δυαδική μάσκα που αποτελείται από περιοχές που έχουν αλλάξει μεταξύ των δύο ημερομηνιών. Μετά, αυτή η μάσκα αλλαγών εφαρμόζεται στην μεταγενέστερη εικόνα και μόνο εκείνα τα εικονοστοιχεία που ανιχνεύθηκαν πως έχουν αλλάξει ταξινομούνται στη μεταγενέστερη εικόνα. Στη συνέχεια μπορεί να εφαρμοστεί μια συνηθισμένη μέθοδος σύγκρισης μετά από ταξινόμηση και να αποδώσει πληροφορίες για τις αλλαγές. Αυτή η μέθοδος μπορεί να μειώσει τα σφάλματα ανίχνευσης αλλαγής και παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες για τις αλλαγές (Pilon et al. 1988; Jensen 1996).

Πίνακας 4: Μέθοδοι που βασίζονται στην ταξινόμηση.

Μέθοδοι που βασίζονται στην ταξινόμηση					
Τεχνικές	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Παραδείγματα	Βασικοί παράγοντες
Σύγκριση μετά από ταξινόμηση	Ταξινομούνται ξεχωριστά οι εικόνες σε θεματικούς χάρτες, και στη συνέχεια εφαρμόζεται σύγκριση των ταξινομημένων ανά εικονοστοιχείο.	Ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις των διαφορών των εικόνων της ατμόσφαιρας, των αισθητήρων και του περιβάλλοντος παρέχει έναν ολοκληρωμένο πίνακα πληροφοριών των αλλαγών	Απαιτεί πολύ χρόνο και τεχνογνωσία στη δημιουργία προϊόντων ταξινόμησης. Η τελική ακρίβεια εξαρτάται από την ποιότητα των ταξινομημένων εικόνων κάθε ημερομηνίας.	LULC αλλαγές, αλλαγές υδροτόπων και αστική επέκταση	Επιλογή επαρκή δεδομένων του δείγματος εκπαίδευσης για την ταξινόμηση
Φασματική – Χρονική συνδυασμένη ανάλυση	Χρησιμοποιεί ένα αρχείο με όλα τις εικόνες της χρονοσειράς και ταξινομεί το συνδυασμένο σύνολο δεδομένων. Αναγνωρίζει και χαρακτηρίζει τις αλλαγές	Απλή και γρήγορη στην ταξινόμηση	Δύσκολη η αναγνώριση και ο χαρακτηρισμός των κλάσεων των αλλαγών, δεν παρέχει πίνακα πληροφοριών των αλλαγών	Αλλαγές στο περιβάλλον της παράκτιας ζώνης και του δάσους	Χαρακτηρίζει τις κλάσεις αλλαγών
EM detection	Η μέθοδος ανίχνευσης EM είναι μια μέθοδος που βασίζεται στην ταξινόμηση χρησιμοποιώντας έναν αλγόριθμο μεγιστοποίησης των προσδοκιών για την εκ των προτέρων εκτίμηση των πιθανοτήτων της κοινής κλάσης στις δυο ημερομηνίες. Αυτές οι πιθανότητες υπολογίζονται άμεσα από τις υπό ανάλυση εικόνες.	Η μέθοδος εμφανίστηκε για να παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια εντοπισμού αλλαγών σε σχέση με άλλες μεθόδους ανίχνευσης αλλαγής	Απαιτεί την εκτίμηση εκ των προτέρων της πιθανότητας κοινών κλάσεων	Αλλαγές κάλυψης γης	Εκτιμήσεις εκ των προτέρων των πιθανοτήτων κοινών κλάσεων/κατηγοριών

Μη επιβλεπόμενη ανίχνευση αλλαγών	Επιλέγει φασματικά παρόμοιες ομάδες εικονοστοιχείων και ομαδοποιεί την εικόνα της 1 ^{ης} ημερομηνίας σε πρωτογενείς ομάδες, μετά επισημαίνει τις φασματικά παρόμοιες ομάδες στην εικόνα της 2 ^{ης} ημερομηνίας σε πρωτογενής ομάδες στην 2 ^η εικόνα και τέλος, ανιχνεύει και εντοπίζει τις αλλαγές	Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί τη μη επιβλεπόμενη μέθοδο και την αυτοματοποίηση της διαδικασίας ανάλυσης των αλλαγών	Υπάρχει δυσκολία στην αναγνώριση και χαρακτηρισμό των αλλαγών	Αλλαγή δάσους	Προσδιορίζει τις φασματικά παρόμοιες ή σχετικά ομοιογενείς μονάδες
Υβριδική ανίχνευση αλλαγών	Χρησιμοποιείται μια ενισχυμένη υπέρθεση από μια επιλεγμένη εικόνα για να απομονωθούν τα εικονοστοιχεία που έχουν υποστεί μεταβολές και τότε χρησιμοποιείται επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Μια δυαδική μάσκα αλλαγών κατασκευάζεται από τα αποτελέσματα της ταξινόμησης. Αυτή η μάσκα διαχωρίζει τις αλλαγές από τους χάρτες χρήσης/κάλυψης που παράγονται για κάθε ημερομηνία.	Αυτή η μέθοδος εξαιρεί τα μη-αλλαγμένα εικονοστοιχεία από την ταξινόμηση για να μειώσει τα σφάλματα της ταξινόμησης.	Απαιτεί επιλογή ορίων για την εφαρμογή της ταξινόμησης. Είναι κάπως περίπλοκος ο εντοπισμός της πορείας των αλλαγών	Αλλαγές χρήσης/κάλυψης της γης, αλλαγές βλάστησης	Η επιλογή κατάλληλων ορίων για την αναγνώριση της αλλαγής και της μη αλλαγής και η παραγωγή ταξινομήσεων ακριβείας
Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANN)	Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων είναι τα φασματικά	Η μέθοδος ANN είναι μη παραμετρική επιβλεπόμενη και έχει την ικανότητα να	Η φύση των κρυφών στρωμάτων είναι ελάχιστα γνωστή. Απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα για την	Ανίχνευση θνησιμότητας των λιμνών, αλλαγή	Η αρχιτεκτονική που χρησιμοποιείται, όπως ο

	δεδομένα της περιόδου της αλλαγής. Ένας αλγόριθμος διάδοσης χρησιμοποιείται συχνά για να εκπαιδεύσει το πολυστρωματικό μοντέλο νευρωσικού δικτύου	εκτιμήσει τις ιδιότητες των δεδομένων βασιζόμενη στα δείγματα εκπαίδευσης (training samples)	εκπαίδευση του αλγόριθμου. Τα νευρωνικά δίκτυα είναι συνήθως ευαίσθητα στην ποσότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση. Δεν χρησιμοποιείται ευρέως για την επεξεργασία εικόνας.	κάλυψη γης, αλλαγές δασών, αστικές αλλαγές	αριθμός των κρυφών στρωμάτων. και τα δείγματα εκπαίδευσης
--	---	--	---	--	---

Προηγμένα μοντέλα

Πίνακας 5: Προηγμένα μοντέλα.

Προηγμένα Μοντέλα					
Τεχνικές	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Παραδείγματα	Βασικοί παράγοντες
Μοντέλο αντανάκλασης Li-Strahler	Το μοντέλο κομοστέγης Li-Strahler χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της κάλυψης της βάσης της κόμης κάθε κωνοφόρου για τις δυο ημερομηνίες ξεχωριστά. Η σύγκριση της κάλυψης της βάσης της κόμης για τις δυο ημερομηνίες οδηγεί στα αποτελέσματα ανίχνευσης αλλαγών.	Αυτή η μέθοδος συνδυάζει τις τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας των τηλεπισκοπικών δεδομένων με τις παραδοσιακές μεθόδους δειγματοληψίας και παρατήρηση πεδίου. Παρέχει στατιστικά αποτελέσματα και χάρτες που δείχνουν τη γεωμετρική κατανομή των αλλαγών	Αυτή η μέθοδος απαιτεί μεγάλο αριθμό δεδομένων πεδίου. Είναι πολύπλοκη και δεν είναι διαθέσιμη σε εμπορικό λογισμικό επεξεργασίας εικόνας. Είναι κατάλληλη μόνο για τις αλλαγές βλάστησης	Χαρτογράφηση και παρακολούθηση κωνοφόρων και θνησιμότητάς τους	Αναπτύσσει τις εικόνες κάλυψης της βάσης της κόμης και προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά της κόμης των τύπων βλάστησης
Μοντέλο φασματικής μίξης	Χρησιμοποιείται η ανάλυση της φασματικής μίξης για την εξαγωγή κλασμάτων. Τα endmembers/στόχοι επιλέγονται	Τα κλάσματα έχουν βιοφυσικές έννοιες, που αντιπροσωπεύουν την αναλογία επιφάνειας	Αυτή η μέθοδος θεωρείται ως προηγμένη ανάλυση και	Αλλαγές κάλυψης γης, αλλαγές του μοτίβου της	Προσδιορισμός των κατάλληλων endmembers, καθορισμός

	από περιοχές εκπαίδευσης στην εικόνα ή από το φάσμα των υλικών που απαντώνται στην περιοχή μελέτης ή από μια σχετική φασματική βιβλιοθήκη. Οι αλλαγές ανιχνεύονται συγκρίνοντας το «πριν» και «μετά» των κλασμάτων των εικόνων κάθε endmember. Οι ποσοτικές αλλαγές μπορούν να μετρηθούν με την ταξινόμηση των εικόνων με βάση τα κλάσματα των endmembers	κάθε endmember εντός του εικονοστοιχείου. Τα αποτελέσματα είναι σταθερά, ακριβή και επαναλήψιμα	επεξεργασίας εικόνας και είναι κάπως πολύπλοκη	εποχιακής βλάστησης και αλλαγής της βλάστησης με τη χρήση δεδομένων TM	κατάλληλων ορίων για κάθε κλάση κάλυψης γης που βασίζεται στα κλάσματα.
--	---	---	--	--	---

GIS

Πίνακας 6: Προσέγγιση με βάση το GIS.

Προσέγγιση με βάση το GIS					
Τεχνικές	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Παραδείγματα	Βασικοί παράγοντες
Τηλεπισκόπηση και ολοκληρωμένα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)	Ενσωματώνει δεδομένα εικόνας και δεδομένα GIS, όπως η επικάλυψη των στρωμάτων GIS απευθείας σε δεδομένα εικόνας, μεταφέρει τα αποτελέσματα της επεξεργασίας εικόνας σε σύστημα GIS για περαιτέρω ανάλυση	Επιτρέπει την πρόσβαση σε βοηθητικά δεδομένα για να βοηθήσει στην ερμηνεία και την ανάλυση και έχει τη δυνατότητα να ενημερώνει άμεσα τις πληροφορίες των χρήσεων γης σε GIS	Τα διαφορετικής ποιότητας δεδομένων από διάφορες πηγές συχνά υποβαθμίζουν τα αποτελέσματα της ανίχνευσης αλλαγών χρήσης/κάλυψης γης (LULC)	Αλλαγές LULC και αστική εξάπλωση	Η ακρίβεια των διάφορων πηγών δεδομένων και οι ακρίβεια των εγγραφών μεταξύ των θεματικών εικόνων
Προσέγγιση GIS	Ενσωματώνει τους προγενέστερους και τους πιο πρόσφατους χάρτες χρήσεων γης με τοπογραφικά και γεωλογικά δεδομένα. Η	Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την ενσωμάτωση των εναέριων φωτογραφικών δεδομένων των σημερινών και	Διαφορετικά δεδομένα GIS με διαφορετική γεωμετρική ακρίβεια και σύστημα	Αστικές αλλαγές και αλλαγές του τοπίου	Η ακρίβεια των διαφόρων πηγών δεδομένων και η ακρίβεια των

	υπέρθεση εικόνας και η τεχνική της δυαδικής μάσκας είναι χρήσιμες στην ποσοτική ανάδειξη της δυναμικής της αλλαγής σε κάθε κατηγορία	παλαιότερων δεδομένων χρήσης γης με άλλα δεδομένα χάρτη	ταξινόμησης υποβαθμίζει την ποιότητα των αποτελεσμάτων		εγγραφών τους μεταξύ των θεματικών εικόνων.
--	--	---	--	--	---

Οπτική ανάλυση

Πίνακας 7: Οπτική ανάλυση.

Οπτική Ανάλυση					
Τεχνικές	Χαρακτηριστικά	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα	Παραδείγματα	Βασικοί παράγοντες
Οπτική ερμηνεία	Ένας διάυλος (ο ίδιος) από την εικόνα της πρώτης ημερομηνίας, της δεύτερης και της τρίτης (εάν είναι διαθέσιμη), με κόκκινο, πράσινο και μπλε χρώμα, αντίστοιχα. Γίνεται οπτική ερμηνεία της σύνθεσης των χρωμάτων και εντοπίζονται οι περιοχές όπου υπάρχουν αλλαγές. Μια εναλλακτική λύση είναι η ψηφιοποίηση των περιοχών που υπάρχουν αλλαγές μετά από οπτική ερμηνεία που βασίζεται στην υπέρθεση των εικόνων των διαφορετικών ημερομηνιών.	Η ανθρώπινη εμπειρία και η γνώση είναι χρήσιμα εργαλεία κατά τη διάρκεια της οπτικής ερμηνείας. Δύο ή τρεις ημερομηνίες μπορούν να αναλυθούν ταυτόχρονα. Ο αναλυτής μπορεί να ενσωματώσει την υφή, το σχήμα, το μέγεθος και τα μοτίβα στην οπτική ερμηνεία για να πάρει μια απόφαση σχετικά με την αλλαγή LULC	Δεν μπορεί να παράσχει λεπτομερείς πληροφορίες αλλαγών. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από την ικανότητα του αναλυτή στην ερμηνεία της εικόνας. Η μέθοδος είναι χρονοβόρα και έχει δυσκολία στην ενημέρωση των αποτελεσμάτων	Αλλαγή χρήσεων γης, αλλαγή των δασών. παρακολούθησ η επιλεκτικά συνδεδεμένων περιοχών και αλλαγή κάλυψης γης	Δεξιότητα των αναλυτών και εξοικείωση με την περιοχή μελέτης

2.3. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ

Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης περιέχουν συνήθως διάφορα σφάλματα, αλλοιώσεις ή μεταβολές με αποτέλεσμα να υποβαθμίζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος και να οδηγούν σε εσφαλμένα συμπεράσματα ή κάνουν τη σύγκριση αδύνατη και το πρόβλημα εντείνεται όταν έχουμε να κάνουμε με χρονοσειρά δεδομένων. Για την ορθή, λοιπόν, αξιοποίηση των δεδομένων αυτών, κρίνεται απαραίτητη η απομάκρυνση των σφαλμάτων αυτών μέσα από μια διαδικασία που ονομάζεται προεπεξεργασία (Toutin 2004).

Οι διορθώσεις που πρέπει να γίνουν, στα πλαίσια της προεπεξεργασίας, αφορούν ραδιομετρικές, τοπογραφικές και γεωμετρικές διορθώσεις. Στην παρούσα διατριβή δεν κρίθηκε απαραίτητη γεωμετρική διόρθωση γιατί τα δεδομένα ήταν ήδη σε μορφή που μπορούσαν να αξιοποιηθούν χωρίς περεταίρω διόρθωση. Οι εικόνες που παράγονται πρέπει, όσο αυτό είναι δυνατό, να αντιπροσωπεύουν την περιοχή μελέτης την στιγμή που πάρθηκαν τα δεδομένα, τόσο σε ανακλώμενη ακτινοβολία όσο και σε χωρικά χαρακτηριστικά και απαλλαγμένες από σκιάσεις ειδικά σε περιοχές με ισχυρό ανάγλυφο. Λόγω της ύπαρξης χρονοσειράς εικόνων LANDSAT 5 TM / LANDSAT 7 ETM η ατμόσφαιρα είναι διαφορετική για κάθε λήψη, επιπλέον, η απόκλιση της απόκρισης του δέκτη αλλάζει με την πάροδο του χρόνου (Jensen 1996).

Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφεί το θεωρητικό υπόβαθρο που ερμηνεύει την φύση των σφαλμάτων αυτών καθώς και οι μέθοδοι που επιλέχτηκαν στην παρούσα εργασία, για την διόρθωσή τους.

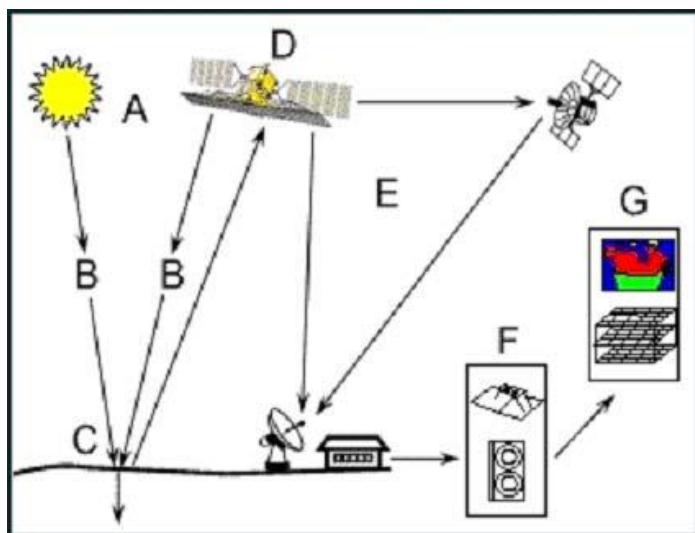
Σημαντικότερη προϋπόθεση για την ορθή διαχρονική ανάλυση είναι η άριστη γεωμετρική σύμπτωση των δορυφορικών εικόνων από τις διάφορες χρονικές στιγμές. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί είτε με την πολύ καλή γεωμετρική διόρθωση (ή ορθοαναγωγή) των εικόνων σε κοινό σύστημα αναφοράς συντεταγμένων, ή με την μεταξύ τους γεωγραφική σύνδεση (image to image registration) (Eastman and Fulk 1993). Ένα σύνηθες πρόβλημα είναι ότι η μέγιστη ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί κατά τη γεωγραφική σύμπτωση δεν μπορεί να είναι πολύ μικρότερη από ένα εικονοστοιχείο, ακόμα κι αν τα σημεία γνωστών συντεταγμένων (Εδαφικά Σημεία Ελέγχου, Ground Control Points) έχουν προέλθει από χάρτες πολύ μεγάλης κλίμακας ή από διαφορικό G.P.S. (Differential Global Positioning System) (Barrett et al. 1995). Επίσης, συχνά παρατηρείται διαφορετικού βαθμού μετατόπιση λόγω ανάγλυφου (relief displacement) ανάμεσα στις εικόνες, κυρίως σε περιοχές με έντονο ανάγλυφο και χαμηλή γωνία πρόσπτωσης. Στην παρούσα διατριβή στα δεδομένα μας υπήρχε άριστη γεωμετρική σύμπτωση η οποία οφείλεται στο ότι η πηγή των δεδομένων ήταν η ίδια και έτσι δεν απαιτήθηκε περεταίρω επεξεργασία για την επίτευξη αυτής της προϋπόθεσης.

Ένα εξίσου σημαντικό θέμα που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά τη διαχρονική ανάλυση είναι η επίδραση της ατμόσφαιρας. Ακόμα και αν οι εικόνες έχουν ληφθεί σε πολύ κοντινές χρονικές περιόδους και από τον ίδιο δορυφόρο, είναι σχεδόν βέβαιο ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη στιγμή της λήψης θα είναι διαφορετικές. Η επίδραση στο τελικό αποτέλεσμα μπορεί να είναι έντονη, και εξαρτάται από τη μεθοδολογία που έχει υιοθετηθεί (Song et al. 2001). Για παράδειγμα, μια τυπική περίπτωση που δεν απαιτείται ατμοσφαιρική διόρθωση είναι η

διαχρονική μελέτη ταξινομημένων εικόνων, στις οποίες τα δείγματα για τον αλγόριθμο ταξινόμησης έχουν ληφθεί ξεχωριστά στις δύο εικόνες.

2.3.1. Ατμοσφαιρικές επιδράσεις

Ένας κύριος στόχος της επιστήμης της τηλεπισκόπησης είναι να ερευνήσει τις φυσικές ιδιότητες των υλικών της επιφάνειας της γης, αντλώντας πληροφορία από την φασματική κατανομή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Electro Magnetic Radiation - EMR). Η τελευταία η οποία καταγράφεται από τον απεικονιστή της εναέριας πλατφόρμας, είναι η ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης (Εικόνα 13). Η παρουσία της ατμόσφαιρας όμως αλλοιώνει τις πραγματικές τιμές αυτής. Καθώς η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο προσπίπτει στην επιφάνεια της γης. Ανακλάται και επιστρέφει στο διάστημα όπου και συλλέγεται από τον απεικονιστή του δορυφόρου. Κατά τη διαδρομή αυτή, περνάει μέσα από την ατμόσφαιρα, όπου διαχέεται και απορροφάται ένα ποσοστό της αρχικής ποσότητας δημιουργώντας απώλειες (Mather 2004).



Όπου:

- (A) Πηγή ενέργειας
- (B) Ακτινοβολία και η ατμόσφαιρα
- (C) Αλληλεπίδραση με την επιφάνεια
- (D) Καταγραφή της ενέργειας από τον αισθητήρα
- (E) Μετάδοση, υποδοχή και επεξεργασία
- (F) Ερμηνεία και Ανάλυση
- (G) Εφαρμογή

Εικόνα 13: Τα στάδια της Τηλεπισκόπησης (Πηγή : Natural Resources Canada)

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία κατά τη διέλευσή της μέσα στην ατμόσφαιρα, αλληλεπιδρά με τα μόρια των αιωρούμενων σωματιδίων, καθώς και των αέριων συστατικών της. Αυτή η αλληλεπίδραση χωρίζεται:

- στη διάχυση όπου η ακτινοβολία αλλάζει κατεύθυνση ανάλογα με την πυκνότητα του υλικού που διαπερνά και
- στην απορρόφηση όπου η ακτινοβολία απορροφάται από τα μόρια των συστατικών της ατμόσφαιρας και μετατρέπεται σε άλλη μορφή ακτινοβολίας π.χ. θερμότητα. Τα αποτελέσματα αυτής της αλληλεπίδρασης είναι να εμφανίζεται «θολούρα» (haze) στην εικόνα μειώνοντας δραστικά την αντίθεσή της, καθώς και η μείωση της ανακλώμενης από τη γη ακτινοβολίας που συλλέγει ο απεικονιστής.

Οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις εν τέλει περιλαμβάνουν απορρόφηση και διάχυση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από συστατικά της ατμόσφαιρας, όπως υδρατμούς νερού, όζον, οξυγόνο, καπνός, σκόνη και λοιπά αέρια. Τα παραπάνω επηρεάζουν τις καταγεγραμμένες τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων της εικόνας, αλλοιώνοντας τις πραγματικές τους τιμές σε όλους τους φασματικούς διαύλους. Όλα αυτά, είναι σε σύγκριση με την πραγματική τιμή των φασματικών ταυτοτήτων των αντικειμένων, στο έδαφος (Richards 1993).

Περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος όπου η ακτινοβολία περνά από την ατμόσφαιρα με ελάχιστες απώλειες καλούνται «ατμοσφαιρικές διαβάσεις». Αυτές καλύπτουν μήκη κύματος από 0,3-1,3 μm (ορατό-κοντινό υπέρυθρο), 1,5-1,8, 2,0-2,5 και 3,5-4,1 μm (μέσο υπέρυθρο) και 7,0-15 μm (θερμικό υπέρυθρο) (Mather 2004). Όλα τα συστήματα τηλεπισκόπησης περιορίζουν τη συλλογή στοιχείων σε αυτά τα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Καρτέρης 1990).

2.3.2. Ατμοσφαιρική διόρθωση και η σημασία της

Το μεγαλύτερο ποσοστό των τηλεπισκοπικών δεδομένων παραποιείται σημαντικά από τα ατμοσφαιρικά αέρια, τα σύννεφα και τις σκιές αυτών. Είναι πολύ σημαντική η αφαίρεση αυτών των «σφαλμάτων» όταν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε μια χρονοσειρά δεδομένων για παρακολούθηση αλλαγών. Η διαδικασία κατά την οποία τα «σφάλματα» αυτά αφαιρούνται από την εικόνα ονομάζεται ατμοσφαιρική διόρθωση (Liang 2005), και περιλαμβάνει την μετατροπή των τιμών της ακτινοβολίας που καταγράφει ο απεικονιστής, σε πραγματικές τιμές ανάκλασης ακτινοβολίας από το έδαφος.

Η ατμοσφαιρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων αποτελεί απαραίτητο βήμα για τη βελτίωση της ανάλυσης των δεδομένων για τους παρακάτω λόγους (Richter 1996):

- ✓ Η επίδραση της ατμόσφαιρας και της ηλιακής φωταύγειας στην εικόνα, απομακρύνεται ή τουλάχιστον ελαχιστοποιείται κατά πολύ.
- ✓ Διαχρονικά δεδομένα τα οποία λήφθηκαν που διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες είναι δυνατό να συγκριθούν αποτελεσματικότερα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ανίχνευση των αλλαγών που θα προκύψει οφείλεται σε πραγματικές αλλαγές στην προς μελέτη επιφάνεια και όχι σε διαφορετικές ατμοσφαιρικές συνθήκες.
- ✓ Τα αποτελέσματα από ανίχνευση αλλαγών και αλγόριθμους ταξινόμησης αποκτούν δυνατότητα βελτίωσης.
- ✓ Τα δεδομένα από διαφορετικούς απεικονιστές δορυφόρων που χρησιμοποιούν παρόμοιους φασματικούς διαύλους (πχ. Landsat TM δίαυλος 3, SPOT δίαυλος 2 κ.λπ.) μπορούν να συγκριθούν με ακρίβεια. Το γεγονός αυτό αποτελεί μεγάλο πλεονέκτημα σε διαχρονικές παρατηρήσεις όταν εικόνες της περιοχής μελέτης έχουν μεγάλη νεφοκάλυψη, αφού είναι δυνατή η ανάκτηση δεδομένων από άλλο δορυφόρο με διαφορετική τροχιά.

Γενικά όμως, ακόμα και η καλύτερη ατμοσφαιρική διόρθωση μιας δορυφορικής εικόνας, δεν είναι ικανή να αποδώσει την τέλεια αναλογία μεταξύ του ποσοστού ανάκλασης που μετράται στο έδαφος και αυτού που καταγράφει ο απεικονιστής του δορυφόρου για την ίδια γεωγραφική περιοχή. Επακόλουθο αυτού, αποτελεί η μεταφορά των «σφαλμάτων» που απομένουν στα

μετέπειτα στάδια επεξεργασίας επηρεάζοντας κατά μικρό ή μεγάλο ποσοστό τα αποτελέσματα (Jensen 1996).

2.3.3. Ραδιομετρική διόρθωση

Η ραδιομετρική διόρθωση αφορά τις διεργασίες που πρέπει να γίνουν για να διορθωθούν οι αποκλίσεις που προέρχονται από την διάχυση και απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, τις μεταβολές της γωνίας σάρωσης, τις μεταβολές της γωνίας πρόσπτωσης του ήλιου και την βαθμονόμηση του συστήματος. Η ραδιομετρική διόρθωση, επιδρά και επαναπροσδιορίζει τις τιμές λαμπρότητας. Η διαδικασία της ραδιομετρικής διόρθωσης απαιτεί καταρχήν τη γνώση της φύσης της παραμόρφωσης (Καρτέρης 2004). Οι επιδράσεις στη ραδιομετρία μιας εικόνας οφείλονται σε διάφορους παράγοντες, όπως ο θόρυβος του συστήματος λήψης, η κακή ή ελαττωματική λειτουργία των αισθητήρων και η ατμόσφαιρα. Το αποτέλεσμα στην εικόνα είναι ότι μπορεί να εμφανισθεί απώλεια ή τονισμός μιας γραμμής ή τμήματος μιας γραμμής σάρωσης, καθώς και αυξομείωση της τιμής έντασης των ψηφίδων ενός ή όλων των διαύλων. Η ύπαρξη των σφαλμάτων αυτών δημιουργεί προβλήματα στην ερμηνεία και στατιστική επεξεργασία των εικόνων. Σκοπός της βελτίωσης της ψηφιακής εικόνας είναι η καλύτερη ερμηνεία της. Με τροποποίηση των επιπέδων φωτεινότητας, ή της έντασης της ακτινοβολίας, γίνεται ευκολότερη η διάκριση ορισμένων χαρακτηριστικών και κατά συνέπεια και η ερμηνεία της εικόνας.

Η ραδιομετρική διόρθωση χωρίζεται σε 2 στάδια, την βαθμονόμηση και την ατμοσφαιρική διόρθωση.

2.3.4. Βαθμονόμηση

Η χρήση δορυφορικών εικόνων οι οποίες έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονολογίες, θα πρέπει να μετατραπούν αρχικά από ψηφιακές τιμές (Digital Numbers (DN)) σε τιμές έντασης της ακτινοβολίας και στη συνέχεια σε τιμές ανακλαστικότητας. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη προκειμένου να εφαρμοστεί η ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων (Hadjimitsis 1999).

2.3.5. Τοπογραφική διόρθωση

Οι ψηφιακές εικόνες από ορεινές περιοχές συχνά περιέχουν μια ραδιομετρική παραμόρφωση γνωστή ως τοπογραφική επίδραση. Η τοπογραφική επίδραση είναι αποτέλεσμα της διαφοράς της ακτινοβολίας λόγω της διαφορετικής γωνίας του ήλιου και του διαφορετικού προσανατολισμού του εδάφους. Αυτό προκαλεί μεταβολές στις τιμές φωτεινότητας στις εικόνες. Η τοπογραφική επίδραση είναι ένας συνδυασμός από:

- τον προσανατολισμό της επιφάνειας της γης σε σχέση με την ηλιακή γωνία πρόσπτωσης
- την ποσότητα της ανακλώμενης ακτινοβολίας η οποία ανιχνεύεται από τον αισθητήρα ως συνάρτηση της γωνίας κλίσης του εδάφους και
- τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας κάλυψης του εδάφους (τραχιές εκτάσεις με ψηλά βουνά ή απότομες πλαγιές, διαφοροποίηση του ανάγλυφου) (Hodgson and Shelley 1994)

Κανονικά, η επιφάνεια, που καταγράφεται από τον δορυφορικό αισθητήρα, υποτίθεται ότι είναι οριζόντια με Λαμπερτιανή (Lambertian) συμπεριφορά ανάκλασης. Σε αυτές τις περιπτώσεις,

το μέγεθος της ακτινοβολίας που ανιχνεύεται από τον αισθητήρα επηρεάζεται μόνο από παραλλαγές στο αζιμούθιο, το μήκος κύματος και την ατμοσφαιρική αλληλεπίδραση. Το ατμοσφαιρικό μοντέλο διορθώσεων είναι επίσης βασισμένο σε τέτοιες ιδανικές υποθέσεις, οι οποίες όμως μπορεί να μην υφίστανται όταν το ανάγλυφο είναι έντονο, επειδή η ηλιακή γωνία πρόσπτωσης θα ποικίλει με τη διαφοροποίηση του ανάγλυφου και θα συμβάλλει περαιτέρω στις διαφορές στο επίπεδο ακτινοβολίας που ανιχνεύεται από τον αισθητήρα. Αυτό είναι γνωστό ως τοπογραφική επίδραση. Ειδικότερα, η τοπογραφική επίδραση μπορεί να οριστεί ως η διαφοροποίηση στη ακτινοβολία από τις κεκλιμένες επιφάνειες έναντι της ακτινοβολίας από μια οριζόντια επιφάνεια, ως συνάρτηση του προσανατολισμού της επιφάνειας σε σχέση με την ακτινοβολούσα πηγή. Επιπλέον, η θέση των αισθητήρων είναι μια άλλη σημαντική μεταβλητή που πρέπει να εξετάζεται, εάν υποθέτουμε μη –Λαμπερτιανό τύπο ανάκλασης για την καταγραφόμενη επιφάνεια (Συλλαίος et al. 2007).

Αρκετές μέθοδοι έχουν προταθεί για την απομάκρυνση του θορύβου από τις δορυφορικές εικόνες. Οι μέθοδοι αυτοί περιλαμβάνουν λόγους τιμών καναλιών (Holben and Justice 1981), το Λαμπερτιανό μοντέλο (Colby 1991), και το μη-Λαμπερτιανό μοντέλο (Baker et al. 1991). Το Λαμπερτιανό μοντέλο βρέθηκε να έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε ήπιο κυματοειδές ανάγλυφο, αλλά υπερεκτιμά τη βλάστηση και τις κλίσεις που είναι πιο απότομες (Costa-Posada 1997).

Η βαθμονόμηση για την τοπογραφική επίδραση γίνεται για να ομαλοποιήσει τη διαφορά των από τον ανιχνευτή λαμβανόμενων σημάτων, διαφορά που προκαλείται από την τοπογραφική επίδραση. Διάφορες τεχνικές έχουν δημοσιευθεί (Smith et al. 1980; Ekstrand 1996; Vincini and Frazzi 2003).

Ένας τρόπος για τη μείωση της τοπογραφικής επίδρασης σε ψηφιακές εικόνες είναι εφαρμόζοντας μετασχηματισμούς βασισμένους σε Λαμπερτιανά ή μη-Λαμπερτιανά (Lambertian ή μη-Lambertian) μοντέλα ανάκλασης. Αυτά τα μοντέλα ομαλοποιούν τις εικόνες δηλαδή τις κάνει να φαίνονται σαν επίπεδες επιφάνειες. Η τοπογραφική επίδραση είναι η διαφορά στο φωτισμό που οφείλεται αποκλειστικά στην κλίση και τις πτυχές του εδάφους σε σχέση με την ηλιακή γωνία πρόσπτωσης και το αζιμούθιο του ήλιου. Το αποτέλεσμα είναι εικόνες με πιο ομοιόμορφα φωτισμένο έδαφος.

2.3.6. Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI)

Τα πολυφασματικά τηλεπισκοπικά δεδομένα μετατρέπονται συχνά σε ένα φασματικό δείκτη βλάστησης (spectral vegetation index, SVI), ο οποίος είναι ευαίσθητος στις αλλαγές των βιοφυσικών ποσοτήτων της φυτοκάλυψης ενώ ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις των διάφορων γωνιών των αισθητήρων, των συνθηκών φωτισμού και του υπόβαθρου του εδάφους. Μελετώντας τα παραπάνω, ο (Sellers 1985) απέδειξε ότι η σχέση μεταξύ αυτών των δεικτών και των βιοφυσικών ποσοτήτων μπορεί να ποικίλει ανάλογα με τον τύπο βλάστησης, την εποχή, το μητρικό υλικό και την ποσότητα του νεκρού υλικού που βρίσκεται στις φυλλωσιές των φυτών.

Οι Φασματικοί Λόγοι (Band Ratios)

Οι φασματικοί λόγοι χρησιμοποιούνται για την ανάδειξη πληροφοριών που περιέχονται στα δεδομένα. Συγκεκριμένα μεταξύ άλλων:

- χρησιμοποιούνται για το συνδυασμό φασματικών χαρακτηριστικών των υλικών της επιφάνειας, προκειμένου να γίνει αποτελεσματικότερη η διάκριση μεταξύ τους.
- Έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα αποτελεσματικοί στη διάκριση γεωλογικών σχηματισμών σε περιοχές με λίγη ή καθόλου φυτοκάλυψη (Rowan et al. 1986; Sabins 1999)
- απαλείφουν την επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου (σκιάσεις) με αποτέλεσμα να είναι ομοιόμορφες οι φασματικές αποκρίσεις των υλικών.
- Μειώνουν τον τυχαίο «θόρυβο» και
- βοηθούν στη μείωση των επιδράσεων της ατμόσφαιρας (χρησιμοποιώντας το δίαυλο 4 (Landsat) όπου η ατμοσφαιρική επίδραση θεωρείται ελάχιστη)

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχημένη εφαρμογή είναι:

- Η επιλογή των κατάλληλων από άποψη χρονικής λήψης σκηνών δορυφορικών εικόνων και
- Η επιλογή της κατάλληλης επεξεργασίας των δεδομένων (των κατάλληλων συνδυασμών φασματικών ζωνών κ.λπ.)

Δείκτες & Δείκτες Βλάστησης Vegetation Indices

Η βλάστηση απορροφά μήκη κύματος ηλεκτρομαγνητικής (H/M) ακτινοβολίας στο ερυθρό (red) και ανακλά στο εγγύς υπέρυθρο (NIR).

- Έχει επίσης δειχθεί (Pinder & McLeod 1999) ότι η περιεχόμενη στα φύλλα υγρασία φαίνεται σε μήκη κύματος στο μέσο υπέρυθρο (MIR).
- Με βάση ότι δεν υπάρχουν άλλα υλικά στην επιφάνεια της Γης μ' αυτή τη φασματική συμπεριφορά, έχει δημιουργηθεί μια σειρά σχέσεων μεταξύ φασματικών ζωνών οι οποίες χρησιμοποιούνται σαν δείκτες (δείκτες βλάστησης). Οι σχέσεις αυτές έχουν σαν στόχο τη βελτίωση της ανάλυσης της βλάστησης (Tucker 1979; Lymberner et.al. 2000).
- Ισχύει επίσης ότι (Perry & Lautenschlager 1984) οι περισσότεροι από τους συνηθισμένους δείκτες βλάστησης ισοδυναμούν με τον λόγο NIR/Red (RVI). Ο λόγος αυτός είναι για τις εικόνες του Landsat, ο λόγος δίαυλος 4/δίαυλος 3.
- Η εκτέλεση των αριθμητικών πράξεων μεταξύ φασματικών ζωνών δημιουργεί ως αποτέλεσμα τιμές δεκαδικών πραγματικών αριθμών (fractional real numbers) των οποίων η διαχείριση είναι προβληματική όταν αναλύονται αρχεία μεγάλου όγκου.

Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI)

Η ανίχνευση των διαχρονικών μεταβολών της βλάστησης αποτελεί μια τεχνική τηλεπισκόπησης και χρησιμοποιείται για να παρακολουθήσει και να χαρτογραφήσει τις αλλαγές της φυτοκάλυψης μεταξύ δύο ή περισσότερων χρονικών περιόδων (Rogan et al. 2002). Η σημασία της χαρτογράφησης, ποσοτικοποίησης και παρακολούθησης των αλλαγών των φυσικών χαρακτηριστικών της βλάστησης και ιδιαίτερα των δασών έχει αποδειχθεί πολύ μεγάλη όσον αφορά τη μελέτη των παγκόσμιων αλλαγών (Nemani et al. 1996).

Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται ευρέως ως δείκτες ανάλυσης των διακυμάνσεων της φυτοκάλυψης μιας περιοχής, μεταξύ της βλάστησης αυτής και άλλων παραγόντων (Ahl et al. 2004; Geerken et al. 2005a; Morawitz et al. 2006).

Ο δείκτης NDVI θεωρείται βασικό εργαλείο παρακολούθησης των εποχιακών αλλά και των διαχρονικών αλλαγών της βλάστησης (Holben 1986) και βασίζεται στις ιδιότητες ανάκλασης των περιοχών βλάστησης σε σύγκριση με τα σύννεφα, το νερό, το χιόνι από τη μία πλευρά, τους βράχους και τα γυμνά εδάφη από την άλλη. Οι περιοχές βλάστησης έχουν σχετικά υψηλή αντανάκλαση στο εγγύς υπέρυθρο και χαμηλή αντανάκλαση στο ορατό φάσμα του φωτός. Τα σύννεφα, το νερό και το χιόνι έχουν μεγαλύτερη ανακλαστικότητα στο ορατό φάσμα απ' ό τι στο υπέρυθρο. Τα βράχια και το γυμνό έδαφος έχουν παρόμοια ανακλαστικότητα στις δύο φασματικές περιοχές (Ceas and Farifteh 2001). Τα τρία στοιχεία της βλάστησης που επηρεάζουν τη φασματική ποσότητα και ποιότητα της ηλιακής αντανάκλωμενης ακτινοβολίας που δέχονται οι δορυφόροι είναι η αφθονία, η σύνθεση και η κατάσταση στην οποία βρίσκεται (Stow 1995).

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης NDVI αποτελεί μια συνηθισμένη και απαραίτητη παράμετρο για την παρακολούθηση της βλάστησης σε περιοχές τοπικής αλλά και ευρείας κλίμακας και έχει αποδειχθεί πως είναι ένας σημαντικός και αποτελεσματικός δείκτης όσον αφορά το χαρακτηρισμό των ποικίλων ειδών της κάλυψης, της παραγωγικότητας, της βιομάζας και της οικοπεριβαλλοντικής ποιότητας. Συνήθως χρησιμοποιείται στην παρακολούθηση της φυτοκάλυψης (Carlson and Ripley 1997; Myneni et al. 1997), στην οικολογική παρακολούθηση και την εκτίμηση της βιομάζας (Wessels et al. 2006), στην παρακολούθηση της παραγωγικότητας (Chen et al. 2004), στον υπολογισμό της γεωργικής παραγωγικότητας (Zhang et al. 2003; Tao et al. 2005), στην υποβάθμιση του εδάφους (Pei et al. 2008) καθώς και σε άλλες δραστηριότητες παρακολούθησης. Η κάλυψη της βλάστησης μπορεί να διαφοροποιείται από τα άλλα είδη της εδαφοκάλυψης με το λόγο NIR (near infrared, εγγύς υπέρυθρο) / Red (κόκκινο). Όσο περισσότερη χλωροφύλλη υπάρχει στην επιφάνεια παρατήρησης, τόσο αυξάνεται η τιμή του δείκτη. Η τιμή του κυμαίνεται από -1 έως και +1 και όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του δείκτη NDVI τόσο μεγαλύτερη είναι και η φυτοκάλυψη (Hsieh H.C. 1995; Green et al. 1998; Lin et al. 2006).

Εκτεταμένες μελέτες έχουν ερευνήσει τις μεταβολές χρήσεων και κάλυψης γης με διάφορες μεθόδους στις οποίες εμπεριέχονται και χρονοσειράς δεικτών βλάστησης και συγκεκριμένα του NDVI (Sheng et al. 1995; Geerken et al. 2005b).

Ο δείκτης NDVI έχει αποδειχθεί ότι συνδέεται σημαντικά με τις βιοφυσικές ιδιότητες της βλάστησης στο πεδίο (Hope et al. 1993; McMichael 1999) και γενικότερα είναι λιγότερο ευαίσθητος στις διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας και του μητρικού υλικού σε σχέση με ένα απλό δείκτη που ισούται με το λόγο κοντινού υπέρυθρου προς την κόκκινη μπάντα (Myneni and Asrar 1994).

Διάφοροι παράγοντες (εκτός από την ίδια την βλάστηση) μπορούν να επηρεάσουν την παρατήρηση μέσω ραδιομετρικών δεικτών βλάστησης συμπεριλαμβανομένου και του NDVI:

- Η επίδραση της ατμόσφαιρας (Jeyaseelan and Thiruvengadachari 1993; Hope et al. 2004)
- Οι διαφοροποιήσεις στην στιγμιαία προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία (Jeyaseelan and Thiruvengadachari 1993; Hope et al. 2004)
- Οι διαστάσεις της μοναδιαίας επιφάνειας στην οποία επιχειρείται η μέτρηση του εκατοστιαίου ποσοστού ανάκλασης
- Η ταχύτητα του αέρα
- Η ζενίθεια γωνία όρασης του δέκτη (off-nadir viewing effects)

- Οι διαφορές στον δορυφόρο, χαρακτηριστικά αισθητήρα και πλατφόρμας (Rao and Chen 1999; Kaufmann et al. 2000; Tahnk and Coakley Jr 2001; Trishchenko et al. 2002)
- Οι αλλαγές στα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου
- Η σταδιακή υποβάθμιση του δορυφορικού αισθητήρα

2.4. ΣΥΝΟΨΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- ✓ Με την πάροδο των ετών η κάλυψη γης αλλάζει και αυτό οφείλεται είτε σε περιβαλλοντικούς είτε σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Τα δορυφορικά συστήματα παρακολούθησης της γης δίνουν την δυνατότητα διαχρονικών απεικονίσεων και η απελευθέρωση πλέον των δορυφορικών εικόνων Landsat αυξάνει τη διαθεσιμότητα πολλαπλών χρονικών δεδομένων με αποτέλεσμα την αύξηση των δυνατοτήτων στον τομέα της έρευνας. Έτσι προσφέρεται η ικανότητα μελέτης δυναμικών φαινομένων, διαχρονικών συγκρίσεων και καταγραφής στοιχείων ή φαινομένων σε συνεχή βάση (long-term monitoring).
- ✓ Οι προτεινόμενες μεθοδολογίες είναι δυνατόν να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω επτά κατηγορίες τεχνικών ανίχνευσης αλλαγών (Al-doski et al. 2013):
 1. Αλγεβρική προσέγγιση
 2. Μετασηματισμοί
 3. Βασισμένη στην ταξινόμηση
 4. Προηγμένα μοντέλα
 5. GIS
 6. Οπτική ανάλυση
 7. Άλλες τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών
- ✓ Τα δεδομένα τηλεπισκόπησης περιέχουν συνήθως διάφορα σφάλματα, αλλοιώσεις ή μεταβολές με αποτέλεσμα να υποβαθμίζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος και να οδηγούν σε εσφαλμένα συμπεράσματα ή κάνουν τη σύγκριση αδύνατη και το πρόβλημα εντείνεται όταν επεξεργαζόμαστε χρονοσειρά δεδομένων. Για την ορθή, λοιπόν, αξιοποίηση των δεδομένων αυτών, κρίνεται απαραίτητη η απομάκρυνση των σφαλμάτων αυτών μέσω της προεπεξεργασίας. Οι διορθώσεις που πρέπει να γίνουν, στα πλαίσια της προεπεξεργασίας, αφορούν ραδιομετρικές και τοπογραφικές διορθώσεις. Ακόμα περιγράφεται ο δείκτης NDVI ο οποίος χρησιμοποιήθηκε στην επεξεργασία των δεδομένων.

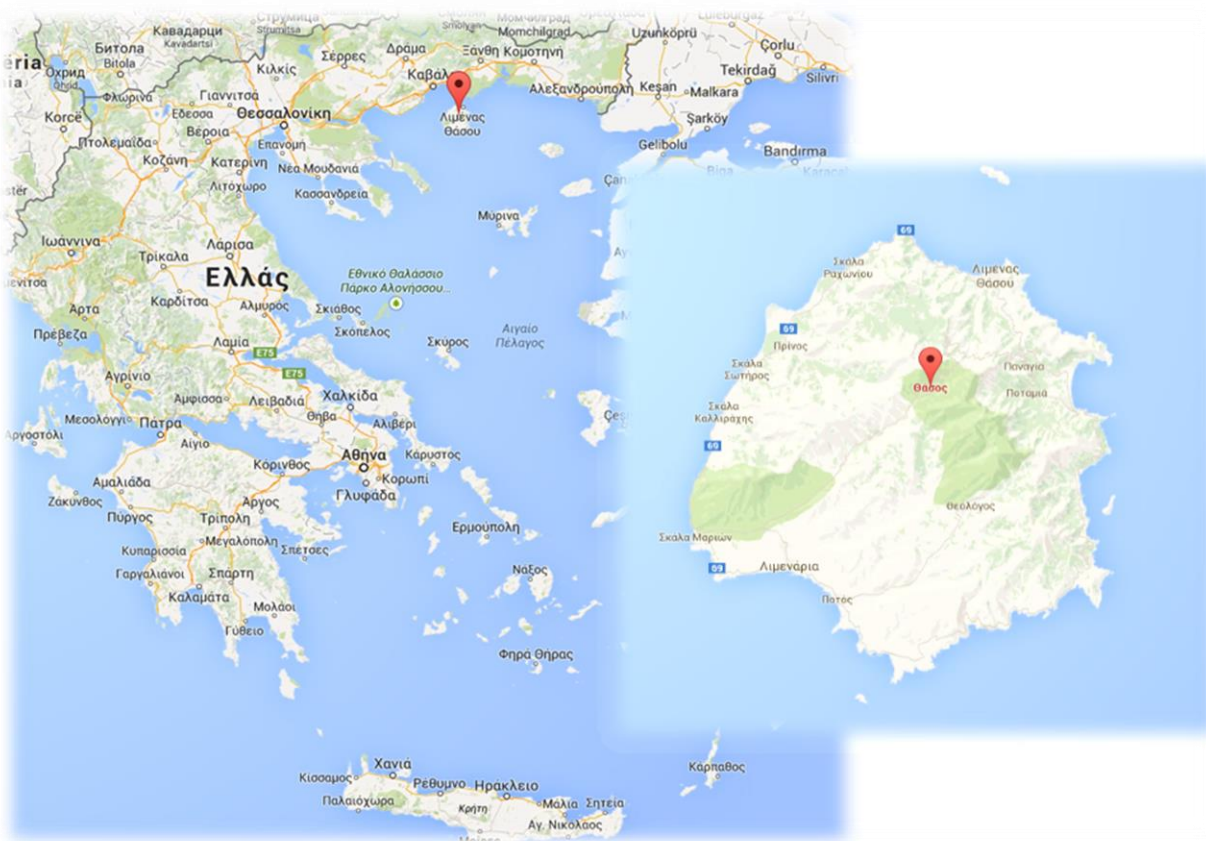
3. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ & ΔΕΔΟΜΕΝΑ

3.1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το παρόν κεφάλαιο χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο περιγράφεται η περιοχή μελέτης όπου παρέχονται πληροφορίες για τη φυσιογραφία, τις κλιματικές συνθήκες, τα είδη βλάστησης που επικρατούν και την ιστορία και το καθεστώς διαχείρισης της περιοχής. Στο δεύτερο περιγράφονται λεπτομερώς τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στη μελέτη και αναφέρονται κάποια τεχνικά χαρακτηριστικά αυτών.

3.1.1. Φυσιογραφία

Η περιοχή μελέτης είναι το νησί της Θάσου, το βορειότερο νησί της Ελλάδας. Η επιφάνειά του καταλαμβάνει 399km² ενώ η περιμέτρος κυμαίνεται περίπου στα 102 km. Το σχήμα του είναι σχεδόν κυκλικό με μήκος από Βορρά προς Νότο 24 km και πλάτος 19 km. Εκτείνεται από 24° 30' έως 24° 48' Ανατολικά και 40° 33' έως 40° 49' Βόρεια. Το υψόμετρο κυμαίνεται από το επίπεδο της θάλασσας έως την ψηλότερη κορυφή της που είναι το Υψάριον στα 1.203 μ..



Εικόνα 14: Χάρτης περιοχής μελέτης (Πηγή: Google Maps)

Από γεωλογική άποψη, η Θάσος ανήκει στο κρυσταλλοπαγές συγκρότημα της Ροδόπης και αποτελείται από εναλλασσόμενα μάρμαρα, γνεύσιους και σχιστόλιθους, με πολλά μέταλλα και πυκνή συσσώρευση μόλυβδου, ψευδαργύρου, σιδήρου και μαγνησίου (Mountrakis 1985).

Χαρακτηριστικό της Θάσου είναι η ύπαρξη πληθώρας ορυκτών φυσικών πόρων, συνέπεια του οποίου είναι και η ύπαρξη εγκαταλειμμένων λατομείων και μεταλλείων, που, από την αρχαιότητα έως και τη δεκαετία του 50', δραστηριοποιήθηκαν για την εξόρυξη βασικών και πολύτιμων μετάλλων, σιδηρομεταλλευμάτων και διακοσμητικών λίθων (μαρμάρων). Ειδικότερα, η στοά που βρίσκεται στο λόφο Τζίνες αποτελεί μοναδική μαρτυρία για την αρχαιότερη ίσως μεταλλευτική στοά στην Ευρώπη.

Η επιφάνεια των δασών του νησιού παρουσιάζει πολλές πτυχώσεις και σχηματίζονται ρέματα με πλαγιές που οι κλίσεις είναι απότομες και ράχες και κορυφογραμμές με μικρές μέχρι μεγάλες κλίσεις. Το βάθος εδάφους και η γεωλογία παίζουν σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των χαρακτηριστικών του υδρολογικού συστήματος καθώς επίσης και στον καθορισμό των χαρακτηριστικών των ενδιαιτημάτων βλάστησης. Το βάθος του εδάφους ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την επιφάνεια γεωλογία, ανάγλυφο και την πυκνότητα της βλάστησης (Spanos 1992). Σχεδόν το 50% της επιφάνειας είναι καλυμμένη από ρηχά εδάφη (5-10 cm) οφειλόμενα σε απότομες κλίσεις, έντονη βόσκηση και επαναλαμβανόμενες δασικές πυρκαγιές. Ενώ η απομένουσα επιφάνεια καλύπτεται από βαθιά (35%) και γυμνά (15%) εδάφη (Nakos 1995). Ως αποτέλεσμα, το μέσο ύψος του δάσους της Θάσου είναι χαμηλότερο από το μέσο όρο για αυτό το είδος δάσους (Spanos 1994). Η μηχανική σύσταση του εδάφους, εξαρτώμενη από το βαθμό αποσάθρωσης των πετρωμάτων, χαρακτηρίζεται ελαφρά ως μέτρια. Το έδαφος επί το πλείστον είναι αμμοαργιλώδες. Ο μικρός βαθμός εδαφογένεσης, λόγω των δυσμενών συνθηκών, δικαιολογεί τη μηχανική σύσταση των εδαφών και την ύπαρξη άφθονου αδρανούς υλικού. Το πορώδες, η δομή, η διαπερατότητα, η συνεκτικότητα, η υδατοϊκανότητα και το χρώμα του εδαφικού υλικού εξαρτώνται από την υφή και την περιεκτικότητα του σε οργανική ουσία.

Το ορεινό νησί μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις γεωμορφολογικές περιοχές. Η πρώτη περιλαμβάνει τις ακτές και καταλαμβάνει λίγο χώρο, η δεύτερη λοφώδης περιοχή εκτείνεται σχεδόν παράλληλα στην πρώτη και είναι επίσης σχετικά μικρή. Η τρίτη περιοχή αποτελείται από ορεινή μάζα πετρωμάτων και καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος του νησιού.

3.1.2. Κλιματολογικές Συνθήκες.

Το κλίμα της Θάσου είναι εύκρατο, δροσερό το καλοκαίρι και ήπιο το χειμώνα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία είναι 17,2° C και η μέση θερμοκρασία θέρους (Ιούλιος) είναι 23,4° C. Τα μέσα ετήσια κατακρημνίσματα είναι 783,48 mm, από τα οποία 65% περίπου πέφτουν την περίοδο μεταξύ Σεπτεμβρίου και Απριλίου. Γενικώς, δεν υπάρχουν δυνατοί άνεμοι οι οποίοι να επηρεάζουν το νησί (58,5% άπνοια). Δυνατοί Βόρειοι-Βορειοανατολικοί άνεμοι φυσούν κάθε καλοκαίρι στο νησί ειδικά τον Αύγουστο.

Η ξηρή/ζεστή περίοδος ξεκινά τον Μάιο και κρατά μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου, με τον Αύγουστο να είναι ο πιο ξηρός και τον Ιούλιο να είναι ο θερμότερος μήνας του χρόνου. Η υποκλάση του Μεσογειακού βιοκλίματος της Θάσου, βρέθηκε να είναι ψυχρή και υπόυγρη (Παπαδοπούλου 2008).

3.1.3. Βλάστηση

Στη Θάσο τα κυριότερα δασικά είδη είναι η Τραχεία Πεύκη (*Pinus brutia*) και η Μαύρη Πεύκη (*Pinus nigra*). Η Τραχεία Πεύκη αποτελεί την κυρίαρχη βλάστηση στα χαμηλότερα υψόμετρα μεταξύ 0-800m, ενώ η μαύρη Πεύκη βρίσκεται σε μεγαλύτερα υψόμετρα.

Το νησί ανήκει σε τρεις από τις ελληνικές ζώνες βλάστησης (Dafis 1976), δηλαδή *Quercetalia ilicis*, *Quercetalia pubescentis* και *Fagetalia*:

- 1) *Quercetalia ilicis* (Ευμεσογειακή ζώνη βλάστησης), (παραλιακή, λοφώδης), η οποία συναντάται σε υψόμετρο από 0-300μ. και χαρακτηρίζεται από το παραθαλάσσιο ξηροθερμικό κλίμα του νησιού, με κύριο δασικό είδος την τραχεία πεύκη. Περιλαμβάνει δύο υποζώνες:
 - a) Την υποζώνη *Oleo Ceratonion*, και ιδίως τον αυξητικό χώρο του *Oleo lentiscetum* ο οποίος εμφανίζεται στο νότιο, ζεστό και ξηρό τμήμα του νησιού όπου υπήρχαν συστάδες τραχείας πεύκης, οι οποίες καταστράφηκαν από τις πυρκαγιές του 1984 και του 1985. Σήμερα στην περιοχή αυτή κυριαρχούν θαμνώνες από *Pistacia lentiscus*, *Erica manipuliflora*, *Myrtus communis*, *Olea europaea*, *Quercus coccifera*, *Lonicera etrusca*, *Rosa sempervirens*, *Phillyrea latifolia* και *Rubia peregrina*.
 - b) Την υποζώνη *Quercion ilicis*, και ιδίως τον αυξητικό χώρο του *Orno Quercetum ilicis* που εμφανίζεται στο υγρό βόρειο μέρος του νησιού όπου υπάρχουν αμιγείς συστάδες τραχείας πεύκης. Στο βορειοδυτικό μέρος του νησιού κήκαν στη δασική πυρκαγιά του 1989. Στις νότιες θέσεις και στις άγονες ποιότητες τόπου, ο υπόροφος κυριαρχείται από *Erica arborea* και *Erica manipuliflora*, ενώ στις καλύτερες ποιότητες τόπου και βόρειες, υγρές θέσεις από *Quercus ilex*, *Arbutus unedo*, *Phillyrea latifolia*, *Fraxinus ornus*.
- 2) *Quercetalia pubescentis* (Παραμεσογειακή ζώνη βλάστησης), (λοφώδης, υποορεινή), η οποία εμφανίζεται στη συνέχεια της προηγούμενης ζώνης σε υψόμετρο 300-800μ. στη Νότια Θάσο και 200-600μ. στη Βόρεια Θάσο. Στη ζώνη αυτή το κλίμα γίνεται πιο ηπειρωτικό με περισσότερες βροχοπτώσεις και περιλαμβάνει μία υποζώνη:
 - a) Την υποζώνη *Ostryo Carpinion*, η οποία κυριαρχείται από τραχεία πεύκη. Ο πλούσιος υπόροφος αποτελείται από πουρνάρι (*Quercus coccifera*) και οφείλεται στην μεγάλη αντοχή του πρίνου στη βόσκηση, στις πυρκαγιές και στις ανθρωπογενείς επεμβάσεις.
- 3) *Fagetalia* (Ζώνη δασών οξιάς ελάτης και παραμεσόγειων κωνοφόρων), (ορεινή, υπαλπική). Η ζώνη αυτή βρίσκεται στο εσωτερικό του νησιού και κυριαρχείται από συστάδες μαύρης πεύκης ενώ στον αυξητικό χώρο *Abietum borissi Regis* της ζώνης αυτής απαντάται η υβριδογενής ελάτη, σε μικρή έκταση, στις υψηλότερες θέσεις.

Στη Θάσο το υπάρχον δάσος της τραχείας πεύκης αποτελείται κατά 30% από συστάδες ίδιας ηλικίας και το 40% από συστάδες διαφορετικής ηλικίας ενώ το υπολειπόμενο 30% είναι ένα μωσαϊκό των δυο παραπάνω κατηγοριών (Gitas et al. 2000). Ο υπόροφος των θάμνων στα δάση της τραχείας πεύκης της Θάσου διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και, σε πολλές περιπτώσεις, είναι χλωριδικά πλούσιο και περιλαμβάνει διάφορα αείφυλλα σκληρόφυλλα (μακί) είδη (π.χ. *Quercus coccifera*, *Phillyrea latifolia*, *Pistacia terebinthus*, σχίνο, *Arbutus unedo*, *A. andrachne*, *Myrtus communis*), καθώς και θάμνους από φρύγανα (π.χ. *Erica arborea*, *E manipuliflora*, *Cistus creticus*, *C. salviifolius*, *Paliurus spina-christi*, *Calicotome villosa*) (Spanos et al. 2001).

Η μαύρη πεύκη βρίσκεται στα μεγαλύτερα υψόμετρα της Θάσου στο μεσαίο τμήμα του νησιού. Αποτελεί τόσο κλειστές συστάδες, αλλά αναμιγνύονται και με λιβάδια και γυμνές εκτάσεις, κυρίως ασβεστολιθικές πλάκες. Σε ορισμένα σημεία, τα πεύκα είναι αρχαία και μοιάζουν με τα γηραιά πεύκα των δασών *Caledonian* στα *Highlands* της Σκωτίας. Φρύγανα και

μακί είναι ευρέως κατανεμημένα σε όλο το νησί και επεκτείνονται, καθώς αποικίζουν πλαγιές πεδινές γυμνές από τις πυρκαγιές (Karteris et al. 1992).

Η ελιά, *Olea europaea*, είναι το πλατύφυλλο δέντρο με τη μεγαλύτερη αφθονία στο νησί και οι ελαιώνες καλύπτουν το 21% περίπου της επιφάνειας. Οι ελαιώνες ευδοκούν κατά μήκος όλης της ακτής και αποτελούν το κύριο μέρος της γεωργίας. Οι περισσότεροι από αυτούς που χρησιμοποιούνται για βοσκή σε μεγαλύτερο ή μικρότερο βαθμό.

Για την πανίδα της Θάσου δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη καταγραφή. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της πανίδας του νησιού είναι η απουσία των μεγάλων θηλαστικών (π.χ. λύκος, τσακάλι, αλεπού, αγριόχοιρος, ελαφοειδή). Τα μικρά θηλαστικά που απαντώνται είναι οι λαγοί (*Lepus europaeus*) και τα κουνάβια (*Martes foina*), οι πληθυσμοί των οποίων κατά καιρούς και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες (καιρικές συνθήκες, τροφή κ.λπ.) παρουσιάζουν υπέρμετρη ανάπτυξη, με αποτέλεσμα την δημιουργία οικολογικών ανισορροπιών. Η ορνιθοπανίδα του νησιού είναι αρκετά ενδιαφέρουσα (με είδη ενδημικά και αποδημητικά) με σημαντικότερες παρουσίες την νησιωτική πέρδικα (*Alectoris chukar*), το ορτύκι (*Coturnix coturnix*), το τρυγόνι (*Streptopelia turtur*) και την ύπαρξη διαφόρων αρπακτικών (αετοί).

3.1.4. Ιστορία και Καθεστώς Διαχείρισης

Στη Θάσο ισχύει ένα ιδιαίτερο ιδιοκτησιακό καθεστώς για τα δάση του νησιού. Τα 2/3 περίπου των δασών είναι Δημοτικά, δηλαδή ανήκουν διοικητικά και διαχειρίζονται από το Δήμο Θάσου, ενώ βρίσκονται υπό την δασοπολιτική επιτήρηση της Δασικής Υπηρεσίας (Δασαρχείο Θάσου, Δ. Δ. Ν. Καβάλας-Δ. Δ. Περιφέρειας Α. Μακεδονίας και Θράκης). Τα υπόλοιπα δάση του νησιού είναι κρατικά και είναι υπό τη διοίκηση και διαχείριση του Ελληνικού Δημοσίου (Makedos 1987). Λόγω αυτής της διαίρεσης, κάθε δασική διαχείριση βασίζεται σε ένα διαφορετικό σχέδιο διαχείρισης. Στον Πίνακα 8 φαίνεται η κατανομή της έκτασης του νησιού κατά μορφή χρήσης και ιδιοκτησιακή κατάσταση.

Επισημαίνεται επίσης ότι στην έκταση των μερικώς δασοσκεπών εκτάσεων περιλαμβάνονται και οι εκτάσεις που έχουν καταστραφεί τα τελευταία είκοσι χρόνια από δασικές πυρκαγιές, στις οποίες επανέρχεται σταδιακά η δασική βλάστηση.

Πίνακας 8:Κατανομή της έκτασης της Ν. Θάσου κατά μορφή χρήσης και ιδιοκτησιακή κατάσταση.

ΜΟΡΦΗ ΧΡΗΣΗΣ	ΙΔΙΟΚΤΗΣΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ		ΣΥΝΟΛΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ %
	ΔΗΜΟΣΙΟ	ΔΗΜΟΤΙΚΟ		
ΔΑΣΗ	13.026	28.125	41.151	11
ΜΕΡΙΚΩΣ ΔΑΣΟΣΚΕΠΗΣ	108.304	134.472	242.776	65
ΓΥΜΝΕΣ ΑΓΟΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ	4.909	2.712	7.621	2
ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	14.930	65.784	80.174	22
ΣΥΝΟΛΟ	141.169	231.093	372.262	100

Η Θάσος έχει πλούσιο ιστορικό πυρκαγιών. Το νησί είναι γνωστό ως το νησί του κεραυνού, λόγω των πολλών πυρκαγιών που προκαλούνται από κεραυνούς. Ωστόσο, εκείνες που επηρεάζουν κυρίως το νησί είναι όσες προκαλούνται από ανθρωπογενείς παράγοντες, ενώ σε πολύ μικρότερο βαθμό αυτές που προκαλούνται από κεραυνούς (Makedos 1987). Κατά τα τελευταία 30 χρόνια, τέσσερις μεγάλες πυρκαγιές (1984, 1985, 1989, 2000) σημειώθηκαν στη Θάσο. Οι πυρκαγιές του 1984, 1985 και 1989, έχουν καταστρέψει πάνω από το 80% της συνολικής δασικής έκτασης της Θάσου (Spanos 1992, 1994). Ωστόσο, οι περισσότερες από αυτές τις περιοχές έχουν αποκατασταθεί με φυσική αναγέννηση, με πλούσια φυτοκάλυψη και αφθονία ειδών (Gitas et al. 2000; Spanos et al. 2001). Πριν την πυρκαγιά του 1984, τα δάση και δασικές εκτάσεις που κάλυπταν το 47.5 % του νησιού (Gitas 1999), καθιστώντας τα δάση το κυρίαρχο είδος εδαφοκάλυψης. Όσον αφορά την σύνθεση των χρήσεων γης, το 25% της έκτασης του νησιού χρησιμοποιούνταν για διάφορες γεωργικές χρήσεις, το 50% καλυπτόταν από δάση, το 11% από εκτάσεις με χόρτα και μόνο 5% μπορούσε να χαρακτηριστεί ως αστική γη. Μετά την πυρκαγιά του 1985, το 38% του νησιού καλύπτονταν από δάσος (Makedos 1987) ενώ σήμερα το δάσος καλύπτει το 11% του νησιού, σύμφωνα με την Δασική Υπηρεσία της Θάσου.

Μετά τις πυρκαγιές η διαχείριση των δασών αφορά κυρίως στην ανόρθωση των υποβαθμισμένων δασών έτσι ώστε να επανέλθει το δάσος στην προτέρα του μορφή. Προτεραιότητα αποτελεί η πυροπροστασία αλλά και η προστασία από κάθε άλλο κίνδυνο (παράνομη υλοτομία, εκρίζωση, εκχέρσωση, βόσκηση, οικοπεδοποίηση, προστασία πανίδας, καταπολέμηση εντόμων κ.λπ.) Στα πλαίσια της ορθολογικής ανάπτυξης και διαχείρισης του δάσους δόθηκε ιδιαίτερο βάρος στην ανόρθωση των υποβαθμισμένων δασών (απομάκρυνσης της υπορόφου θαμνώδους βλαστήσεως, κλαδεύσεις, αραιώσεις, καθαρισμών σε συστάδες κ.λπ.). όπου κρίθηκε απαραίτητο έχουν πραγματοποιηθεί αναδασώσεις και έχει αναπτυχθεί η δασική αναψυχή με διάφορα έργα. Η Δασική Υπηρεσία έχει υιοθετήσει μια στρατηγική διαχείρισης των δασών πολλαπλών χρήσεων όπως περιγράφηκε παραπάνω, ενώ κοινή συνισταμένη όλων των προσπαθειών και των επεμβάσεων που πραγματοποιούνται από το Δασαρχείο Θάσου είναι η προστασία του δάσους του νησιού από τις πυρκαγιές, που τόσο μεγάλες καταστροφές έχουν προκαλέσει στο νησί.

3.2. ΔΕΛΤΟΜΕΝΑ

Για την εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα:

➤ Δορυφορικές εικόνες

Το 1972 η NASA, σε συνεργασία με το Υπουργείο Εσωτερικών των Η.Π.Α., θέτει σε εφαρμογή ένα πρόγραμμα εκτόξευσης μη επανδρωμένων δορυφόρων με το όνομα ERTS (Earth Resources Technology Satellites = Δορυφόροι για την "καταγραφή" των φυσικών διαθεσίμων της Γης). Σκοπός είναι η, σε πειραματικό στάδιο στην αρχή, καταγραφή των πλουτοπαραγωγικών πηγών της Γης σε τακτά χρονικά διαστήματα με παθητικούς δέκτες που θα λειτουργούσαν σε διακεκριμένα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Meliadis and Karteris 1992). Μέχρι τα τέλη του 70' άλλοι δύο παρόμοιοι δορυφόροι τέθηκαν σε τροχιά γύρω από την Γη και αποτελούν τους Δορυφόρους της πρώτης γενιάς. Στην δεκαετία του '80 δύο νέοι δορυφόροι, της ίδιας σειράς που μετονομάστηκαν σε LANDSAT (από το Land Satellite) τίθενται σε λειτουργία. Οι Landsat 4 και Landsat 5, που εκτοξεύτηκαν το 1982 και το 1984 αντίστοιχα, αποτελούν τους δορυφόρους δεύτερης γενιάς. Τέλος το Landsat 7 εκτοξεύτηκε το 1999 και βρίσκεται σε διαφορά φάσης 4 ημερών από τον Landsat 5, προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα για πιο συχνή λήψη δεδομένων από την ίδια περιοχή.

Για την παραγωγή των δεικτών βλάστησης NDVI της χρονοσειράς, χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες Landsat 2 MSS, Landsat 5 TM και Landsat 7 ETM+ (Πηγή: <http://earthexplorer.usgs.gov>, <http://www.esa.int/ESA>) (Πίνακας 9). Η επιλογή των εικόνων έγινε με βάση την ημερομηνία λήψης τους και την καθαρότητά τους ως προς την ύπαρξη νεφώσεων στην περιοχή μελέτης. Η εποχή που προτιμήθηκε είναι η εποχή του θέρους οπότε και η βλάστηση είναι σε ακμαζούσα περίοδο και θεωρήθηκε πως τα αποτελέσματα θα ήταν καλύτερα αποφεύγοντας φαινόμενα εποχικότητας. Στον Πίνακα 10 φαίνεται αναλυτικά η λίστα των δορυφορικών εικόνων.

Για όλες τις επεξεργασίες στις οποίες υπεβλήθησαν οι εικόνες χρησιμοποιήθηκαν τα λογισμικά πακέτα Idrisi Selva, Erdas IMAGINE 2013 και ArcMap 10.2.1.

Πίνακας 9: Γενικές πληροφορίες για κάθε δορυφόρο Landsat.

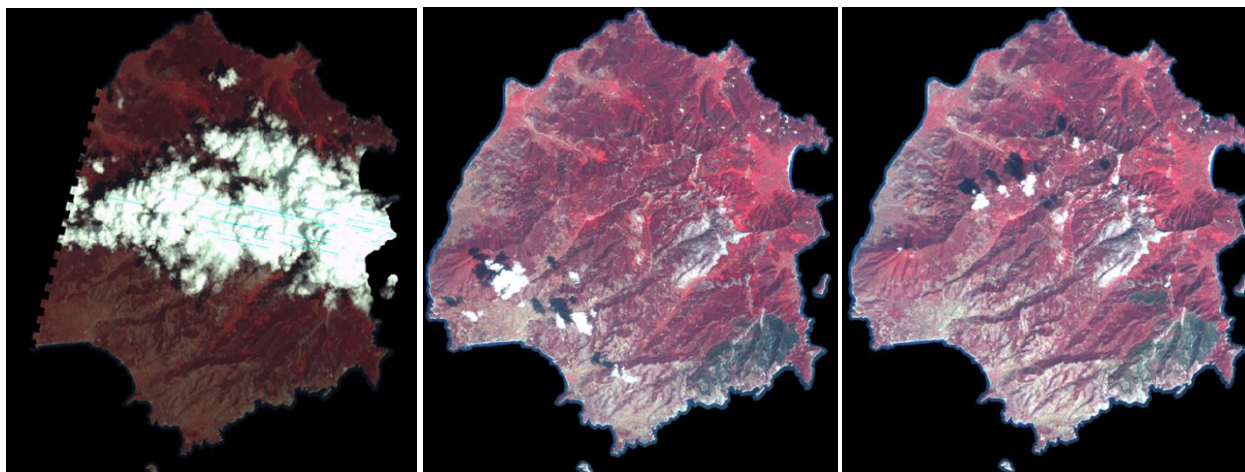
Satellite	Sensors	Launch date	Decommission	Altitude (km)	Inclination (degrees)	Period (min)	Repeat cycle (days)	Crossing (time a.m.)
Landsat 4	TM	July 16, 1982	June 30, 2001	705	98.2	98.2	16	9:45
Landsat 5	TM	March 1, 1984	June 5, 2013	705	98.2	98.2	16	9:45
Landsat 7	ETM+	April 15, 1999	Operational	705	98.2	98.2	16	10:00

Πίνακας 10: Η λίστα των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή.

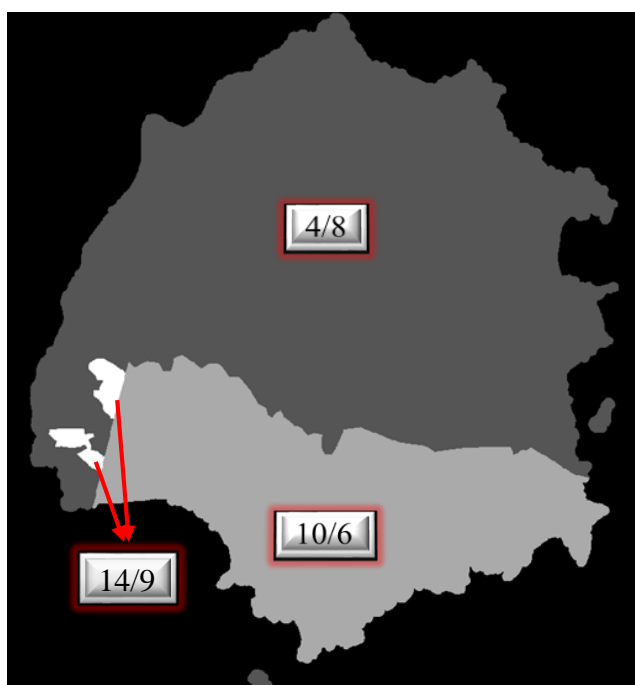
Date	DOY	Sun Elevation	Source	Type
10/6/1984	162	60,91	ESA	5 TM
4/8/1984	217	55,88	USGS	5 TM
14/9/1984	258	45,93	USGS	5 TM
19/5/1985	139	59,55	USGS	5 TM
8/10/1986	222	53,52	USGS	5 TM
6/10/1987	161	60,33	USGS	5 TM
28/5/1988	149	60,19	USGS	4 TM
7/7/1988	189	60,06	ESA	5 TM
24/6/1989	175	60,55	ESA	5 TM
14/8/1990	226	52,45	USGS	5 TM
8/1/1991	213	55,47	ESA	5 TM
8/10/1992	223	53,39	ESA	5 TM
24/7/1994	205	55,78	ESA	5 TM
25/6/1995	176	56,68	ESA	5 TM
20/5/1997	140	59,12	USGS	5 TM
26/7/1998	207	58,72	ESA	5 TM
24/8/2000	237	54,37	USGS	7 ETM+
6/1/2001	152	63,93	USGS	7 ETM+
7/6/2002	187	63,09	USGS	7 ETM+
25/8/2003	237	52,53	USGS	5 TM
7/10/2004	192	61,53	ESA	5 TM
29/7/2005	210	59,57	ESA	5 TM
17/8/2006	229	56,36	ESA	5 TM
19/7/2007	200	62,19	ESA	5 TM
28/6/2008	180	63,52	ESA	5 TM
24/7/2009	205	60,81	USGS	5 TM
8/12/2010	224	57,33	USGS	5 TM
24/8/2011	236	54,19	ESA	5 TM

Για την εξαγωγή όσο το δυνατόν πληρέστερης και καλύτερης χρονοσειράς έγιναν οι παρακάτω εργασίες:

Για τη χρονιά του 1984 οι εικόνες που υπήρχαν είχαν πολλά νέφη ή/και η ημερομηνία λήψης ήταν μετά την πυρκαγιά. Για να αποκτήσουμε μια εικόνα πριν την πυρκαγιά χωρίς νεφώσεις χρησιμοποιήθηκαν 3 εικόνες της ίδιας περίπου εποχής και τύπου και έγινε ένα είδος μωσαϊκού (Εικόνα 16, Εικόνα 15).

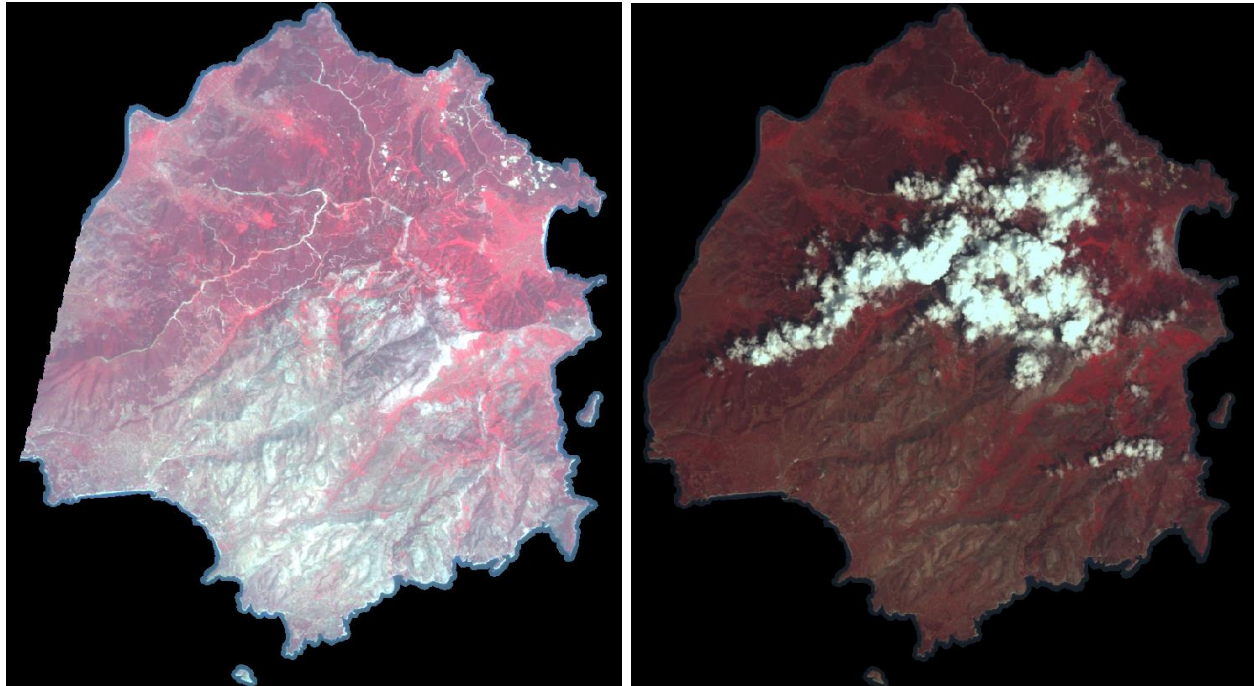


Εικόνα 16: Landsat 5 TM 10/6/1984 πριν την πυρκαγιά, 4/8 και 10/9 1984 μετά την πυρκαγιά αντίστοιχα.



Εικόνα 15: Μωσαϊκό των τριών εικόνων έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια εικόνα του 1984 πριν την πυρκαγιά.

Για τη χρονιά του 1988 από την εικόνα που είχαμε έλλειπε ένα κομμάτι. Για να το συμπληρώσουμε έγινε πάλι ένα είδος μωσαϊκού με τον ίδιο τρόπο, παίρνοντας ένα κομμάτι από μια εικόνα της ίδιας εποχής και του ίδιου τύπου (Εικόνα 17).



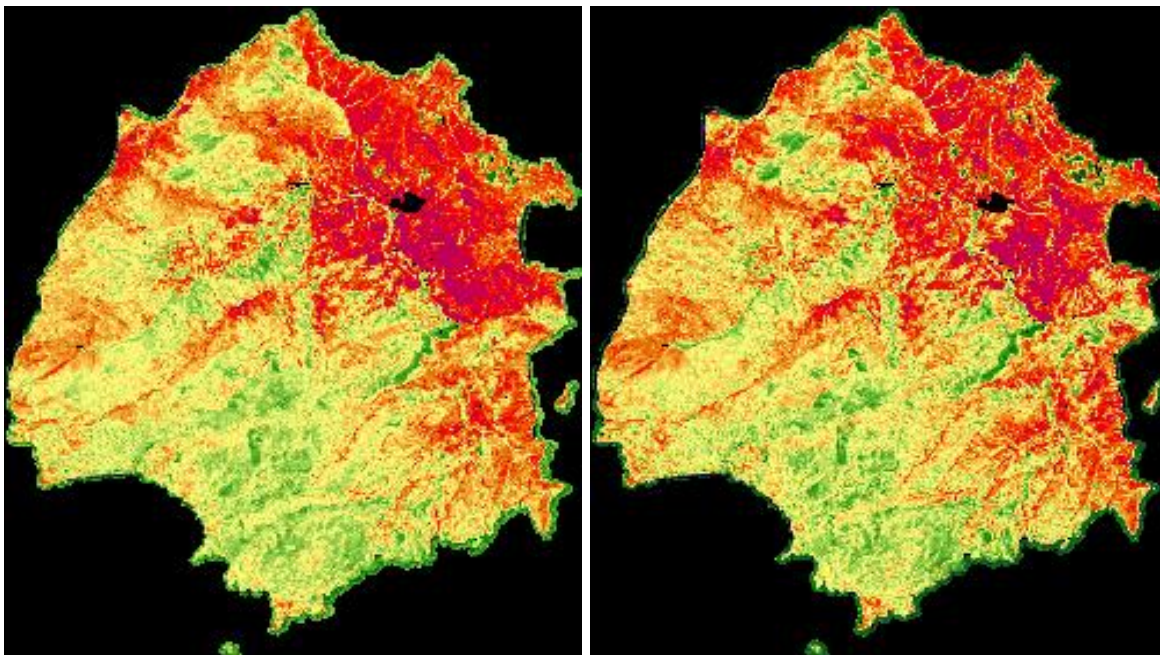
Εικόνα 17: Landsat 5 TM 7/7/1988 και Landsat 4 TM 28/5/1988 αντίστοιχα.



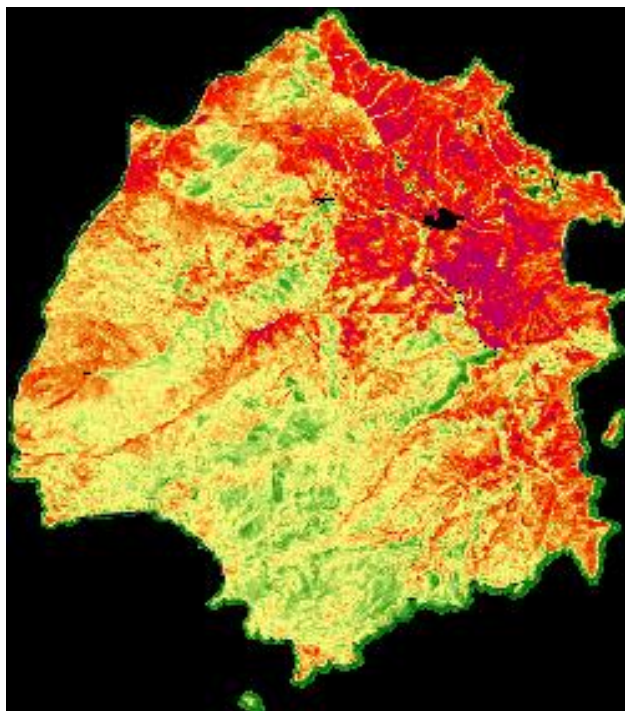
Εικόνα 18: Τα μωσαϊκό των δύο εικόνων έτσι ώστε να συμπληρωθεί το κομμάτι της εικόνας του 1988 που λείπει.

Τέλος, από τη χρονοσειρά έλειπαν οι εξής τρεις εικόνες, του 1993, του 1996 και του 1999. Για να καλυφθούν αυτά τα κενά χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος των εικόνων της προηγούμενης και επόμενης χρονιάς, ο οποίος υπολογίστηκε μετά την ατμοσφαιρική και τοπογραφική διόρθωση των εικόνων στον δείκτη NDVI.

Παράδειγμα για τη χρονιά του 1993 φαίνεται στις παρακάτω εικόνες (Εικόνα 20, Εικόνα 19). Αυτό έγινε επειδή είναι προϋπόθεση για τη χρήση του λογισμικού Idrisi Selva να υπάρχει σταθερό βήμα στη δημιουργία του αρχείου της χρονοσειράς, στην περίπτωση αυτής της διατριβής, το έτος.



Εικόνα 20 Παραπάνω φαίνεται η απεικόνιση του δείκτη NDVI στο λογισμικό Idrisi Selva για τα έτη 1992 και 1994 αντίστοιχα.



Εικόνα 19: Ο μέσος όρος των δύο παραπάνω εικόνων, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια κατά προσέγγιση εικόνα για το 1993 για να χρησιμοποιηθεί στην κάλυψη του κενού λόγω έλλειψης δορυφορικών δεδομένων.

Ακόμα χρησιμοποιήθηκαν τα εξής δεδομένα:

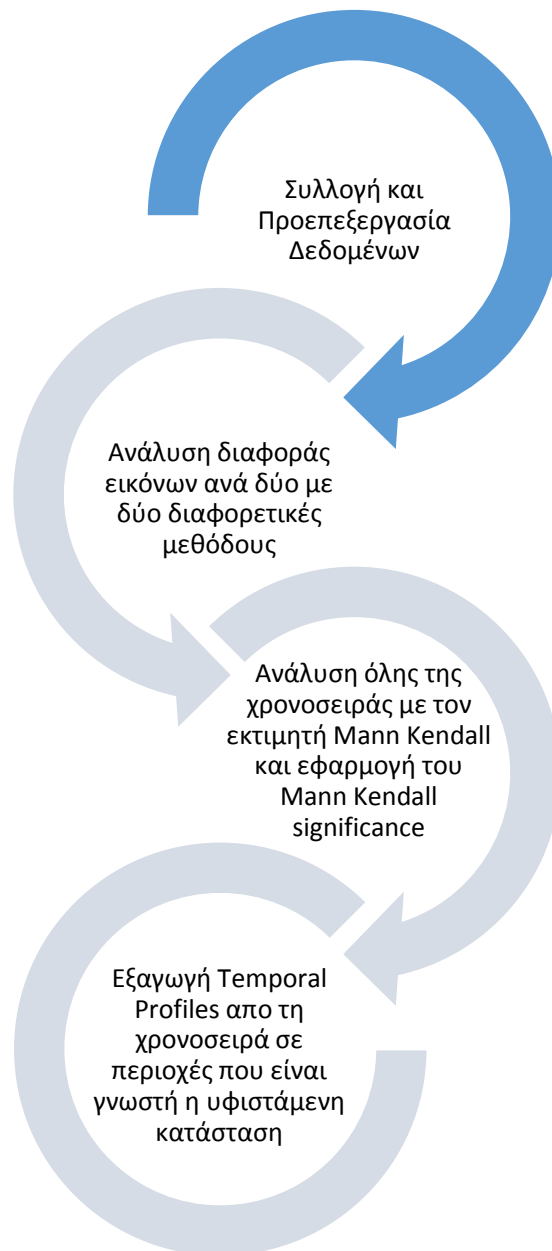
- Έγχρωμες ορθοφωτογραφίες του Κτηματολογίου της περιοχής μελέτης με χωρική ανάλυση 60 εκατοστών και χρόνο λήψης το 2007-2011. Οι ορθοφωτογραφίες αυτές χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ακρίβειας ταξινόμησης των λατομείων, με την μέθοδο της φωτοερμηνείας.
- Αρχείο πολυγώνων των Νομών της Ελλάδας (πηγή: Ο.Κ.Χ.Ε.). Τα όρια χρησιμοποιήθηκαν για τον ορισμό της περιοχής έρευνας και μελέτης.
- Το Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model) Aster-GDEM με βήμα καννάβου 5m. (Πηγή: ΚΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ). Το DEM χρησιμοποιήθηκε για την τοπογραφική διόρθωση των δορυφορικών δεδομένων.
- Τα Landcover του 1987 και του 2007 της εργασίας «Η Ελλάδα τότε & τώρα: Διαχρονική χαρτογράφηση των καλύψεων γης, 1987-2007» αποτέλεσμα της επιστημονικής συνεργασίας του WWF Ελλάς με το Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεπισκόπησης, της Σχολής Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (Λιαρίκος 2012).
- Οι περίμετροι των πυρκαγιών σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης του Mitri μετά από Object Based Classification (Mitri and Gitas 2004) που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα αναφοράς για να αξιολογηθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

3.3. ΣΥΝΟΨΗ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

- ✓ Η έρευνα πραγματοποιήθηκε στο νησί της Θάσου, όπου επικρατεί Μεσογειακό κλίμα. Η Θάσος χαρακτηρίζεται από υψηλές θερμοκρασίες και ξηρασία τους θερινούς μήνες, παράγοντες που αυξάνουν την πιθανότητα εκδήλωσης πυρκαγιών. Ακόμα η παρέμβαση του ανθρώπου και συγκεκριμένα εξόρυξη μαρμάρου και η διάνοιξη λατομείων είναι εμφανείς αλλαγές στην κάλυψη γης του νησιού.
- ✓ Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν συνοψίζονται στα εξής: 28 δορυφορικές εικόνες Landsat, τα Landcover του 1987 και του 2007 του WWF Ελλάς, ένα μωσαϊκό ορθοφωτογραφιών του Κτηματολογίου, το αρχείο πολυγώνων των Νομών της Ελλάδας, ένα Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους (Digital Elevation Model) και τις περιμέτρους των πυρκαγιών.

4. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο αναπτύσσεται η μεθοδολογία προετοιμασίας και διόρθωσης των σφαλμάτων των εικόνων για την περαιτέρω επεξεργασία. Σε αυτήν περιλαμβάνεται ο περιορισμός δεδομένων στην περιοχή μελέτης και διόρθωση του προβολικού συστήματος όπου κρίνεται απαραίτητο, η απαλοιφή των σύννεφων, η ατμοσφαιρική διόρθωση, η τοπογραφική κανονικοποίηση και τέλος η εξαγωγή του δείκτη NDVI. Παρακάτω φαίνεται το διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την ανάλυση των δεδομένων στο οποίο πρώτο στάδιο αποτελεί η προεπεξεργασία των δεδομένων.



Διάγραμμα Ροής 1: Το διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την ανάλυση των δεδομένων.

Συνοπτικά κατά την προεπεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων στην παρούσα εργασία, περιορίζονται οι εικόνες στην περιοχή μελέτης και γίνεται βαθμονόμηση και ατμοσφαιρική διόρθωση με μια παραλλαγή της μεθόδου του σκοτεινού σημείου (Dark object) καθώς και τοπογραφική διόρθωση με το Λαμπερτιανό μοντέλο εξάλειψης τοπογραφικής επίδρασης του λογισμικού πακέτου Erdas IMAGINE 2013. Στη συνέχεια, κατασκευάζεται μάσκα για να απομακρυνθούν σύννεφα και ακραίες τιμές από την περιοχή μελέτης. Τέλος πραγματοποιείται υπολογισμός του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

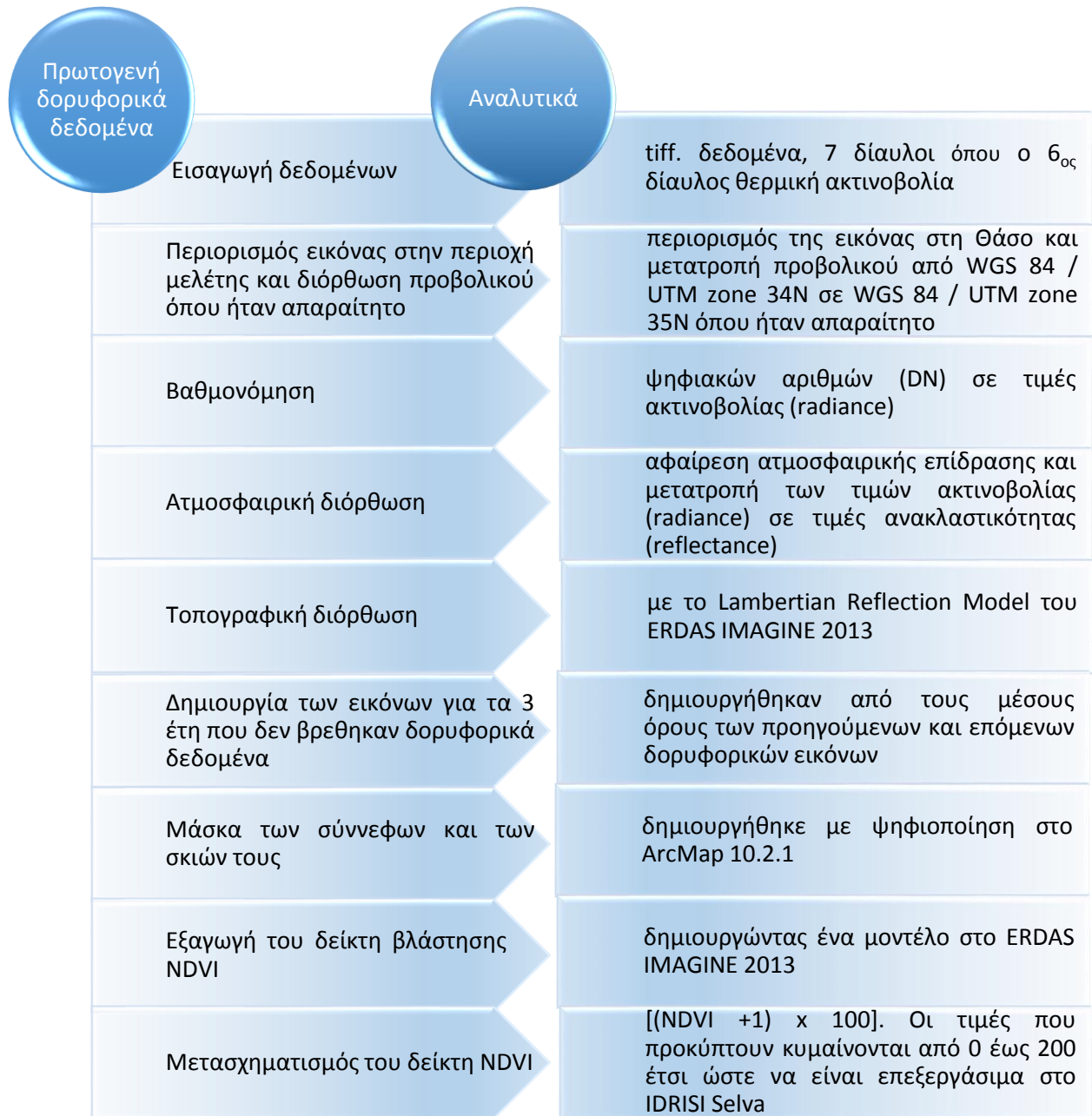
Στις επόμενες παραγράφους θα παρουσιαστούν οι μέθοδοι που επιλέχθηκαν στην παρούσα εργασία, για την διόρθωσή τους.

Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής της προεπεξεργασίας των δεδομένων (Διάγραμμα ροής 2).

4.1. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΒΟΛΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Για να καταστεί δυνατό να δημιουργηθεί συγκρίσιμη χρονοσειρά εικόνων είναι απαραίτητο τα δεδομένα να απεικονίζουν μόνο την περιοχή μελέτης, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι καλύτερα ερμηνεύσιμα, αλλά και να έχουν το ίδιο προβολικό σύστημα, έτσι ώστε να μην δημιουργούνται προβλήματα (μη πραγματικές αλλαγές) λόγω χωρικών διαφοροποιήσεων.

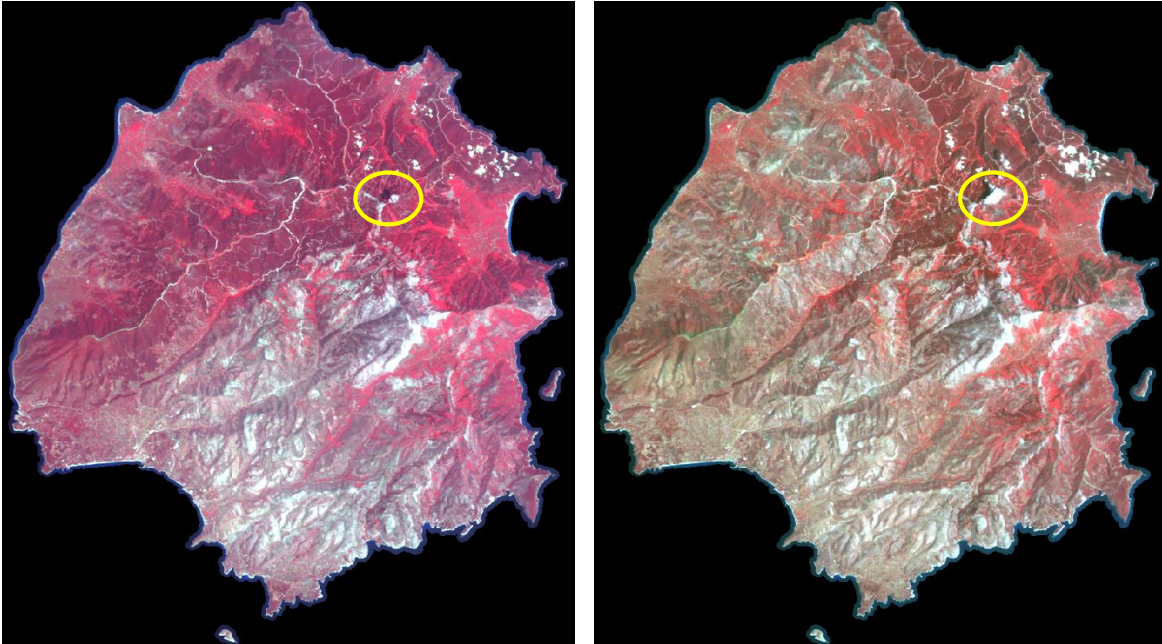
Τα αρχικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διατριβή απεικονίζουν μεγαλύτερη έκταση από την περιοχή μελέτης. Έτσι έγινε περιορισμός των δεδομένων στο νησί της Θάσου με τη βοήθεια των ορίων των νομών (Πηγή: ΕΚΧΑ). Στη συγκεκριμένη μελέτη η προβολή που χρησιμοποιήθηκε είναι η Παγκόσμια Εγκάρσια Μερκατορική προβολή (Universal Traverse Mercator projection, UTM). Πιο συγκεκριμένα τα περισσότερα δεδομένα είχαν προβολικό σύστημα WGS 84 / UTM zone 35N, ενώ κάποια WGS 84 / UTM zone 34N. Έτσι όπου ήταν απαραίτητο έγινε μετατροπή του WGS 84 / UTM zone 34N σε WGS 84 / UTM zone 35N.



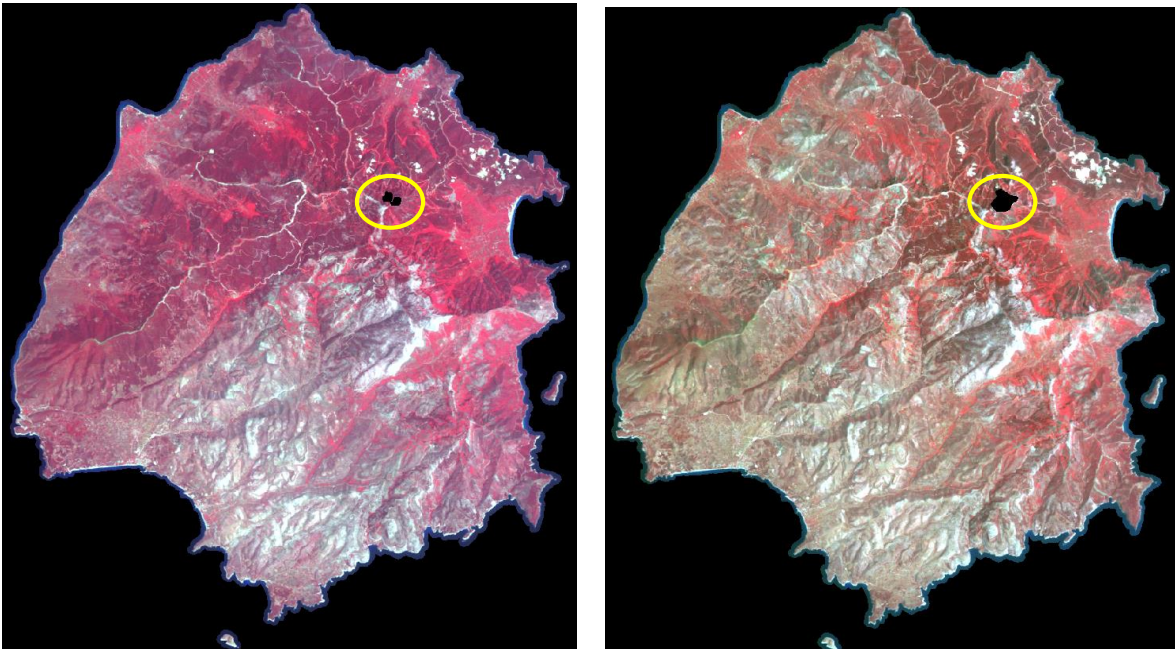
Διάγραμμα ροής 2: Προεπεξεργασία δορυφορικών δεδομένων.

4.2. ΑΠΑΛΟΙΦΗ ΣΥΝΝΕΦΩΝ

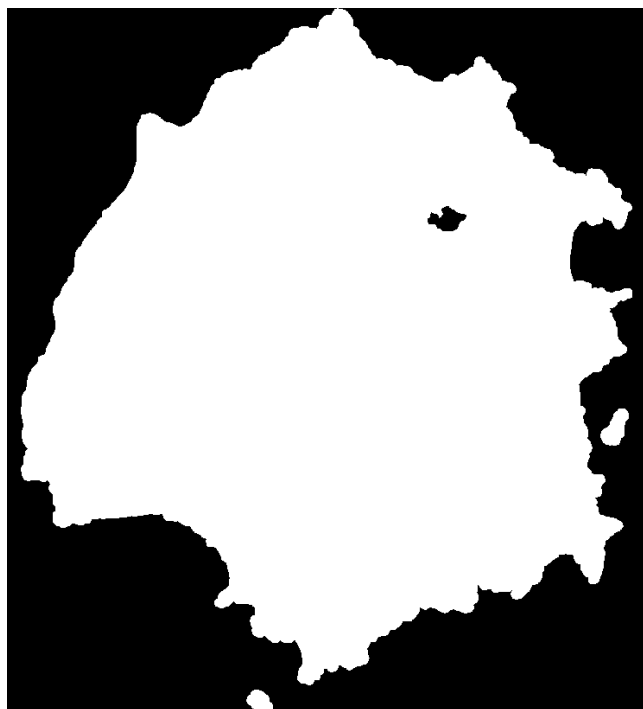
Οι εικόνες του 1989 και του 1995 είχαν περίπου στο ίδιο σημείο από ένα συννεφάκι και τη σκιά τους. Για αυτά δημιουργήθηκε μάσκα (αφού προηγήθηκε ατμοσφαιρική και τοπογραφική διόρθωση), η οποία εφαρμόστηκε σε όλες τις εικόνες έτσι ώστε να αποφευχθούν προβλήματα και αποκλίσεις στα αποτελέσματα.



Εικόνα 22: Landsat 5 TM 24/6/1989 και 25/6/1995 αντίστοιχα, με ένα σύννεφο στην κάθε μία.



Εικόνα 21: Landsat 5 TM 24/6/1989 και 25/6/1995 αντίστοιχα, απαλλαγμένες από σύννεφα.



Εικόνα 23: Η κοινή μάσκα από τις παραπάνω εικόνες των ετών 1989-1995 η οποία εφαρμόστηκε σε όλες τις εικόνες της χρονοσειράς.

4.3. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ

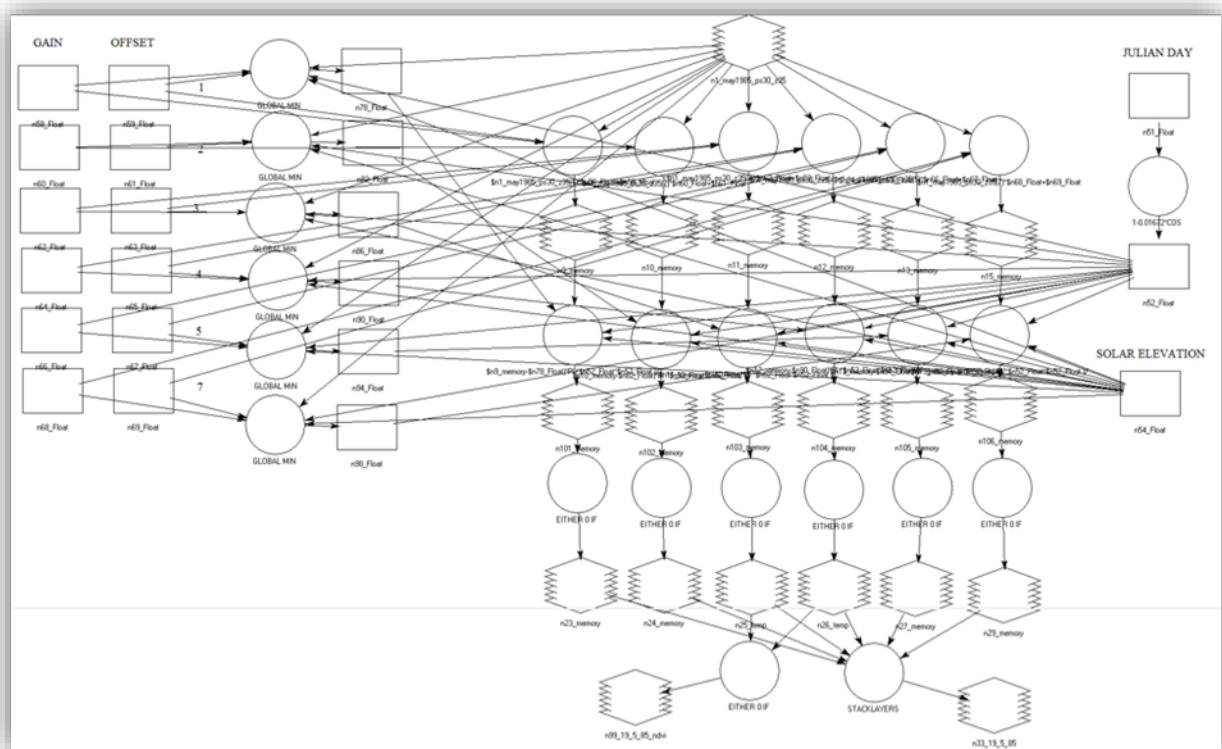
4.3.1. Βαθμονόμηση και ατμοσφαιρική διόρθωση στις δορυφορικές εικόνες LANDSAT

Η επίδραση της ατμόσφαιρας μπορεί να προσδιοριστεί και να απομακρυνθεί από τα δεδομένα τηλεπισκόπησης χρησιμοποιώντας το κατάλληλο μοντέλο για την διόρθωσή της. Η επιλογή της μεθόδου είναι συνάρτηση της φύσης του προβλήματος, του τύπου των διαθέσιμων δεδομένων τηλεπισκόπησης, του είδους και της ποιότητας των διαθέσιμων πληροφοριών για τις ατμοσφαιρικές συνθήκες κατά τη λήψη, της ύπαρξης επίγειων μετρήσεων ανάκλασης και της επιθυμητής ακρίβειας των βιοφυσικών παραμέτρων που θα εκτιμηθούν από τα δεδομένα τηλεπισκόπησης (Cracknell and Hayes 1993). Οι μέθοδοι απομάκρυνσης της επίδρασης της ατμόσφαιρας μπορούν να διακριθούν σε απόλυτες και σχετικές (Jensen 2005). Στην τεχνική της απόλυτης ατμοσφαιρικής διόρθωσης η ψηφιακή τιμή που καταγράφεται από το δορυφόρο μετατρέπεται σε πραγματική ανακλαστικότητα στην επιφάνεια. Ενώ στην τεχνική σχετικής ατμοσφαιρικής διόρθωσης της ατμοσφαιρικής επίδρασης όπου η ίδια ψηφιακή τιμή στις διορθωμένες εικόνες αντιστοιχεί στην ίδια ανακλαστικότητα ανεξάρτητα από την πραγματική τιμή της ανακλαστικότητας στην επιφάνεια του εδάφους (Chavez and MacKinnon 1994).

Λόγω της μεταβαλλόμενης επίδρασης της ατμόσφαιρας στις δορυφορικές εικόνες με διαφορετικές ημερομηνίες λήψης, θεωρήθηκε αναγκαία η εφαρμογή αλγορίθμου ατμοσφαιρικής διόρθωσης σε όλες τις δορυφορικές εικόνες. Η μέθοδος ατμοσφαιρικής διόρθωσης που κρίθηκε ως η πιο κατάλληλη για εφαρμογή για την απαλοιφή της επίδρασης της ατμόσφαιρας στα

δορυφορικά δεδομένα ήταν η σχετική μέθοδος του σκοτεινού σημείου (Chavez 1996), η οποία εφαρμόστηκε σε όλες τις εικόνες (Hadjimitsis et al. 2000).

Ο Chavez το 1996 δημιούργησε ένα μοντέλο το οποίο συνδυάζει την βαθμονόμηση και την ατμοσφαιρική διόρθωση. Με τη λογική αυτή ο Δρ. Τουκίλογλου Π. δημιούργησε ένα μοντέλο το οποίο περιγράφεται παρακάτω και για την σωστή εκτέλεση του, απαιτείται η εισαγωγή των παρακάτω παραμέτρων: μια εικόνα με 7 κανάλια με τιμές ψηφιακών αριθμών (DN), ηλιακή γωνία πρόσπτωσης (sun elevation) σε μοίρες, η μέρα του χρόνου που έγινε η λήψη της εικόνας (Πίνακας 10), οι κατάλληλες τιμές Gain και Offset για την εικόνα ανάλογα με τον τύπο της (Landsat MSS, TM ή ETM) (Πίνακας 11, Πίνακας 12, Πίνακας 13) και τέλος προσπίπτουσα ηλιακή ένταση ακτινοβολίας ανά κανάλι (Solar Spectral Irradiances – ESUN (W/(m² μm))) που είναι η ισχύς της ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω σε μια επιφάνεια, ανά μονάδα επιφάνειας. Το μοντέλο φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 24.



Εικόνα 24: Μοντέλο ατμοσφαιρικής διόρθωσης.

Αρχικά εισάγεται η αρχική εικόνα σε ψηφιακές τιμές (DN). Με τον παρακάτω τύπο οι DN μετατρέπονται σε ειδική ένταση ακτινοβολίας που καταγράφει ο δέκτης στην κορυφή της ατμόσφαιρας (Top Of the Atmosphere-TOA Radiance) L_{TOA} :

$$L_{TOA} = Gain * DN + Offset$$

όπου:

L_{TOA} = είναι η ειδική ένταση ακτινοβολίας σε $w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$ (“Luminance”),

DN = είναι οι ψηφιακές τιμές (0, 255),

Gain = είναι τιμές που γνωρίζουμε από τα μεταδεδομένα των εικόνων και φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Offset = είναι τιμές που γνωρίζουμε από τα μεταδεδομένα των εικόνων και φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Στην περίπτωση των εικόνων Landsat 7 ETM+ δεν ήταν διαθέσιμες οι τιμές Gain και Offset και υπολογίστηκαν όπως φαίνεται παρακάτω:

$$\text{Offset} = L_{\min} \text{ σε } w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1},$$

$$\text{Gain} = \frac{(L_{\max} - L_{\min})}{(Q_{\max} - Q_{\min})} \text{ σε } w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}.$$

(L_{\max} , L_{\min}) = οι υψηλότερες και χαμηλότερες καταγεγραμμένες τιμές ειδικής έντασης ακτινοβολίας σε $w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$

Οι χαμηλότερες και υψηλότερες καταγεγραμμένες τιμές ειδικής έντασης ακτινοβολίας σχετίζονται με την αντίστοιχη ψηφιακή τιμή (DN), όπου η χαμηλότερη ψηφιακή τιμή (Q_{\min}) και η υψηλότερη (Q_{\max}) είναι αντίστοιχα ίσες με 0 και 255.

Πίνακας 11: Coefficients Gain και Offset για τις εικόνες Landsat 2 MSS Ιανουάριος 22, 1975 - Φεβρουάριος 25, 1982 και ESUN σε $W/(m^2 \mu m)$. (Πηγή: ESA)

Landsat 2 MSS January 22, 1975 - February 25, 1982					
Band	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters) ¹	Gain	Offset	ESUN $W/(m^2 \mu m)$
1	0.5-0.6	60	1.003935	8	1829
2	0.6-0.7	60	0.66929	6	1539
3	0.7-0.8	60	0.574805	6	1268
4	0.8-1.1	60	0.498687	3.66667	886.6

Πίνακας 12: Coefficients Gain και Offset για τις εικόνες Landsat 5 TM από το 1991 και πριν και από το 1992 και μετά. (Πηγή: ESA)

Landsat 5 TM							
Band	1	2	3	4	5	6 ²	7
LUT 07 - Acq Mar,1, 1984 → Dec, 31, 1991							
Offset	-1,52	-2,84	-1,17	-1,51	-0,37	1,2378	-0,15
Gain	0,668706	1,31702	1,03988	0,872588	0,119882	0,055158	0,065294
LUT 07 - Since Acq Jan,1, 1992 → present							
Offset	-1,52	-2,84	-1,17	-1,51	-0,37	1,2378	-0,15
Gain	0,762824	1,44251	1,03988	0,872588	0,119882	0,055158	0,065294
ESUN	1957	1826	1554	1036	215	-	80.67
Wavelength (micrometers)	0.45-0.52	0.52-0.6	0.63-0.69	0.76-0.9	1.55-1.75	10.4-12.5	2.08-2.35
Resolution(m)	30	30	30	30	30	120*(30)	30

¹ Το πρωτότυπο μέγεθος εικονοστοιχείου του αισθητήρα MSS ήταν 79 x 57 m. Όμως το σύστημα παραγωγής τώρα επαναπροσδιορίζει (resample) τα δεδομένα στα 60m.

² Αυτοί οι διάλυτοι δεν χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς για τη δημιουργία της τελικής εικόνας είτε γιατί είναι θερμικοί είτε στην περίπτωση της ETM+ γιατί είναι παγχρωματικούς.

Πίνακας 13: Οι υψηλότερες και χαμηλότερες καταγεγραμμένες τιμές ειδικής έντασης ακτινοβολίας σε $w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$, έτσι ώστε να γίνει ο υπολογισμός των Gain και Offset για τις εικόνες Landsat 7 ETM+ πριν και μετά από 1/7/2000 και το ESUN. (Πηγή: ESA)

Landsat 7 ETM+ Spectral Radiance Range ³ ($w/(m^2 * sr * \mu m)$)								
Band Number	Processed Before July 1, 2000				Processed After July 1, 2000			
	Low Gain		High Gain		Low Gain		High Gain	
	LMIN	LMAX	LMIN	LMAX	LMIN	LMAX	LMIN	LMAX
1	-6.2	297.5	-6.2	194.3	-6.2	293.7	-6.2	191.6
2	-6.0	303.4	-6.0	202.4	-6.4	300.9	-6.4	196.5
3	-4.5	235.5	-4.5	158.6	-5.0	234.4	-5.0	152.9
4	-4.5	235.0	-4.5	157.5	-5.1	241.1	-5.1	157.4
5	-1.0	47.70	-1.0	31.76	-1.0	47.57	-1.0	31.06
6 ²	0.0	17.04	3.2	12.65	0.0	17.04	3.2	12.65
7	-0.35	16.60	-0.35	10.932	-0.35	16.54	-0.35	10.80
8 ²	-5.0	244.00	-5.0	158.40	-4.7	243.1	-4.7	158.3
Band Number	Wavelength (micrometers)			Resolution (meters)			ESUN λ	
1	0.45-0.52			30			1997	
2	0.52-0.60			30			1812	
3	0.63-0.69			30			1533	
4	0.77-0.90			30			1039	
5	1.55-1.75			30			230.8	
6 ²	10.40-12.50			60 * (30)			-	
7	2.09-2.35			30			84.90	
8 ²	0.52-0.90			15			1362	

Στη συνέχεια, γίνεται η υπόθεση ότι σε κάθε κανάλι της δορυφορικής εικόνας υπάρχει τουλάχιστον ένα εικονοστοιχείο (σκοτεινό αντικείμενο - dark object) το οποίο έχει πολύ χαμηλή τιμή ανακλαστικότητας, της τάξεως του 1%. Υποτίθεται επίσης ότι η χαμηλότερη τιμή ανακλαστικότητας του κάθε καναλιού της εικόνας προέρχεται από το σκοτεινό αυτό αντικείμενο (Moran et al. 1992; Chavez 1996). Αν η ανάκλαση του σκοτεινότερου αυτού αντικειμένου είναι μεγαλύτερη του 1% τότε η διαφορά αυτή θεωρείται ότι προέρχεται από την επίδραση της ατμόσφαιρας (Moran et al. 1992; Chavez 1996). Η χαμηλότερη καταγεγραμμένη τιμή ειδικής έντασης ακτινοβολίας (L_{min}) υπολογίζεται μέσω της ελάχιστης τιμής DN με τον παρακάτω τύπο:

$$L_{min} = DN_{min} * Gain + Offset$$

Μετά, υπολογίζεται η τιμή ειδικής έντασης ακτινοβολίας για ανακλαστικότητα 1% ($L_{1\%}$) όπως φαίνεται παρακάτω:

$$L_{1\%} = \frac{ESUN * \cos\theta * 0.01}{\pi * d^2}$$

Όπου:

$L_{1\%}$ = η ειδική ένταση ακτινοβολίας για ανακλαστικότητα 1%

ESUN = προσπίπτουσα ηλιακή ένταση ακτινοβολίας (irradiance) σε $w.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$

³ Στις ETM+ από τα μεταδεδομένα των εικόνων βρίσκουμε εάν θα τον υπολογισμό των Gain/Offset θα χρησιμοποιήσουμε το Low ή το High για κάθε δίαυλο. Χαρακτηριστικά έχουμε: Δίαυλος 1: High, Δίαυλος 2: High, Δίαυλος 3: High, Δίαυλος 4: Low, Δίαυλος 5: High, Δίαυλος 7: High.

θ = είναι η ηλιακή γωνία ζενίθ σε μοίρες (Εικόνα 25)
 d = είναι η απόσταση Γης-Ήλιου σε αστρονομικές μονάδες.
 όπου:

$$d = \frac{1}{(1 - 0.016729 \cdot \cos(0.9856(DOY - 4)))}$$

DOY = είναι η ημέρα του χρόνου της εικόνας από 1 έως 365-366.

Στη συνέχεια κάνουμε την παραδοχή ότι αν δεν υπήρχε η επίδραση της ατμόσφαιρας το L_{min} και το $L_{1\%}$ θα είχαν ίδια τιμή. Έτσι αφαιρώντας τις δύο τιμές μεταξύ τους θα έχουμε την ατμοσφαιρική επίδραση σε ειδική ένταση ακτινοβολίας (Radiance) (L).

$$L_{atm} = L_{min} - L_{1\%}$$

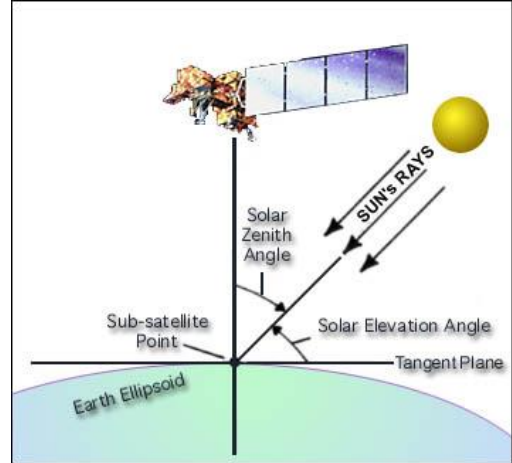
Έτσι η ατμοσφαιρικά διορθωμένη ένταση ακτινοβολίας (L) θα είναι:

$$L = L_{TOA} - L_{atm}$$

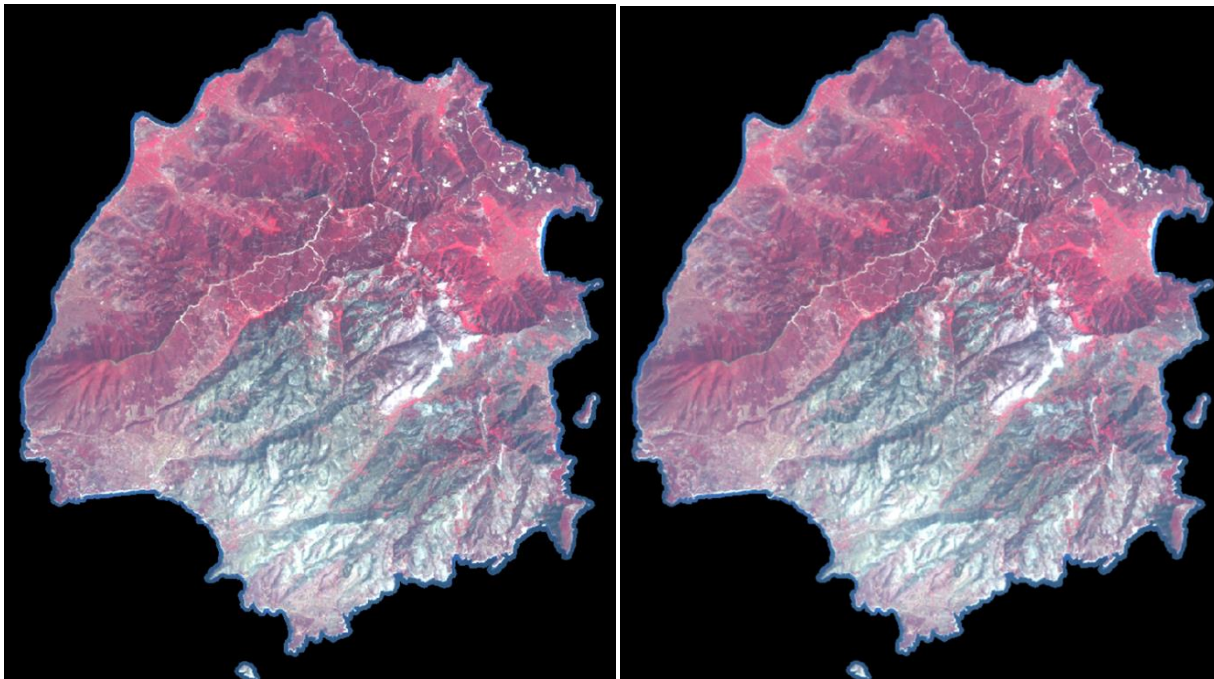
Σύμφωνα με το έγγραφο της ESA *Full Resolution System Corrected data*, ο τύπος για τη μετατροπή της ειδικής έντασης ακτινοβολίας σε ανακλαστικότητα (R) είναι:

$$R = \frac{(\pi \cdot L \cdot d^2)}{ESUN \cdot \cos \theta}$$

Μετά το πέρας της βαθμονόμησης και ατμοσφαιρικής διόρθωσης που έγινε για κάθε κανάλι για όλες τις εικόνες έχουμε για κάθε έτος ένα αποτέλεσμα. Παρακάτω εμφανίζεται η πολυφασματική εικόνα του 1986 πριν και μετά το μοντέλο ραδιομετρικής και ατμοσφαιρικής διόρθωσης που εφαρμόστηκε (Εικόνα 26).



Εικόνα 25: Η ηλιακή γωνία πρόσπτωσης και ηλιακή γωνία ζενίθ.



Εικόνα 26: Αρχική εικόνα 1986 ψηφιακών τιμών (DN) (αριστερά) ατμοσφαιρικά διορθωμένη εικόνα 1986 (Reflectance) (δεξιά).

4.4. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ

Ο αντικειμενικός στόχος της τοπογραφικής κανονικοποίησης είναι η μείωση της επίδρασης του ανάγλυφου έτσι ώστε οι ψηφιακές τιμές (DN) της εικόνας να μπορούν απευθείας να συνδεθούν με τα βιοφυσικά στοιχεία επιφάνειας χωρίς η σκίαση ή η λαμπρότητα (ως αποτέλεσμα της γεωμετρίας ήλιου – απεικονιστή – στόχου) να δημιουργούν πρόβλημα (Costa-Posada 1997).

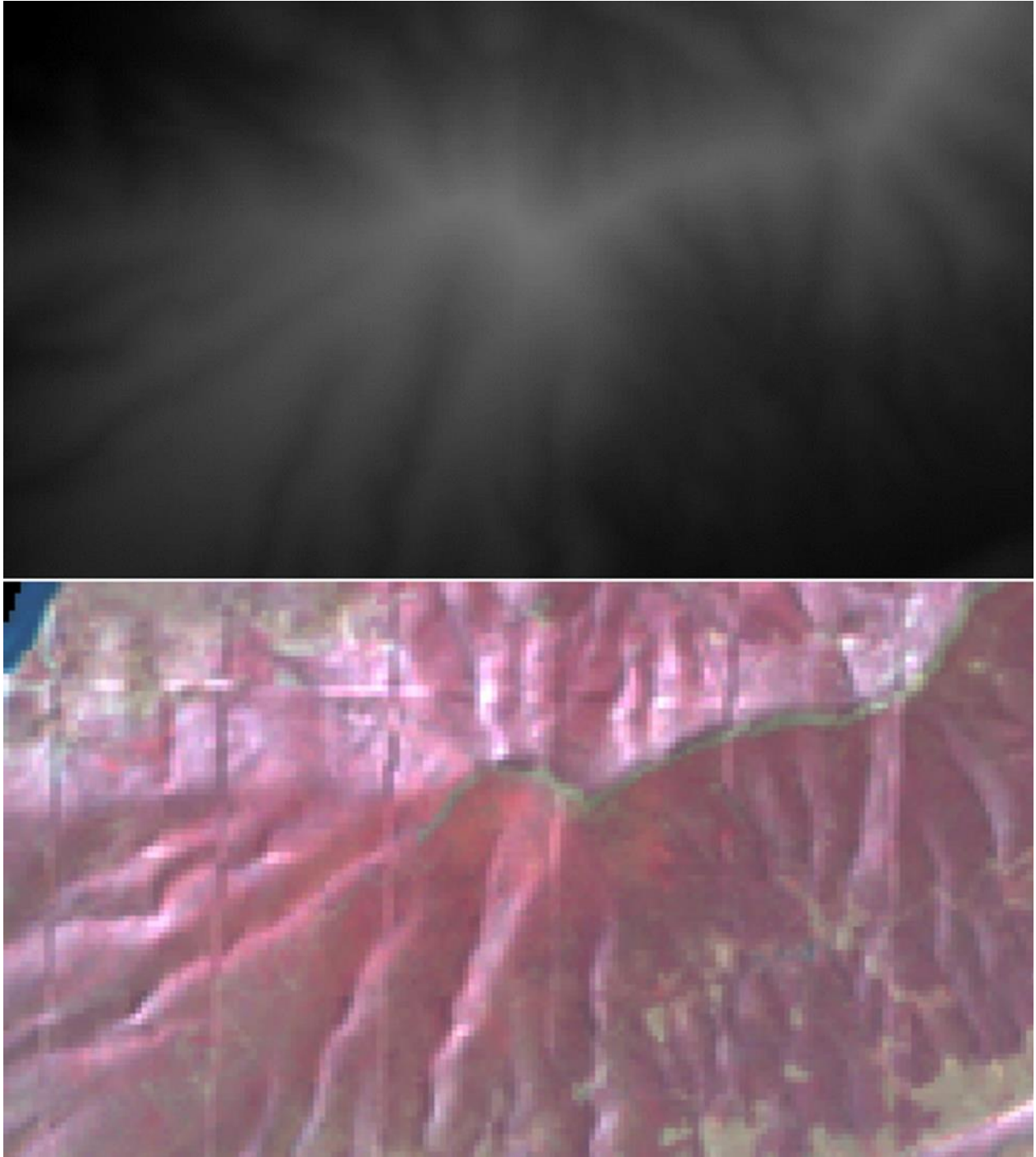
Σε αυτή τη διατριβή χρησιμοποιήθηκε το Λαμπερτιανό μοντέλο αφού δεν υπάρχουν δεδομένα Συνάρτησης Δι-διευθυνσιακής Κατανομής Ακτινοβολίας (BRDF – Bidirectional Reflectance Distribution Function) έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί μη-Λαμπερτιανό μοντέλο. Ακόμα η επεξεργασία των στοιχείων γίνεται στον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI), όπου μελέτες έχουν δείξει πως η τοπογραφική επίδραση μπορεί ακόμα και να αγνοηθεί (Matsushita et al. 2007). Ωστόσο έγινε τοπογραφική διόρθωση έτσι ώστε να εξαλειφθούν κάποιες σκιάσεις και να εξαχθούν καλύτερα αποτελέσματα.

Η λειτουργία Topographic Normalize του λογισμικού Erdas IMAGINE 2013 χρησιμοποιεί ένα Λαμπερτιανό μοντέλο ανάκλασης για την εξομάλυνση της τοπογραφικής επίδρασης σε εικόνες με εύρος διαύλων στην ορατή και υπέρυθρη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Για να γίνει χρήση αυτού του μοντέλου απαιτούνται τα εξής στοιχεία:

- Η ηλιακή γωνία πρόσπτωσης σε μοίρες και το αζιμούθιο κατά το χρόνο λήψης της εικόνας τα οποία συνοδεύουν τις εικόνες στα μεταδεδομένα τους
- Το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο (Digital Elevation Model – DEM) και
- Η αρχική εικόνα μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση

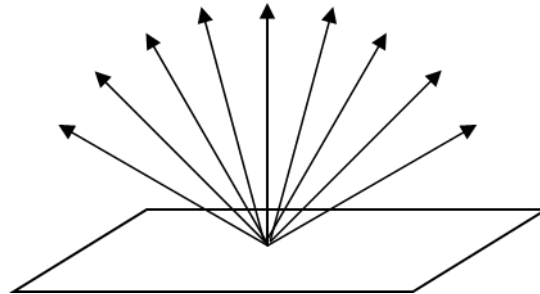
Να σημειωθεί ότι στη διάθεσή μας είχαμε δύο DEM. Το ένα των 30 μέτρων και το άλλο των 5. Παρατηρήθηκε μια συστηματική αλλοίωση που φαίνεται στην παρακάτω Εικόνα 27 και στα 2 DEM. Για τη διόρθωση και εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων έγινε χωρική παρεμβολή του DEM των 5 μέτρων με κυβική περιέλιξη (cubic convolution) και αλλαγή του μεγέθους του εικονοστοιχείου μειώνοντας τη χωρική ανάλυση σε 30m για να είναι ίδιο με το μέγεθος των εικονοστοιχείων των δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό εξαλείφθηκαν οι αλλοιώσεις και διορθώθηκε το πρόβλημα.



Εικόνα 27: Αλλοίωση του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου και μεταφορά του προβλήματος στην εικόνα μετά την τοπογραφική διόρθωση.

4.4.1. Το Λαμπερτιανό μοντέλο ανάκλασης (Lambertian)

Το Λαμπερτιανό μοντέλο ανάκλασης υποθέτει ότι η επιφάνεια αντανακλά την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία ομοιόμορφα σε όλες τις κατευθύνσεις και ότι οι διακυμάνσεις της ανακλαστικότητας οφείλονται στην ποσότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας Εικόνα 28.



Εικόνα 28: Λαμπερτιανό μοντέλο ανάκλασης.

Η ακόλουθη εξίσωση παράγει τις κανονικοποιημένες (τοπογραφικά διορθωμένες) τιμές φωτεινότητας (Smith et al. 1980; Colby 1991):

$$BV_{normal \lambda} = BV_{observed \lambda} / \cos i$$

όπου:

$BV_{normal \lambda}$ = κανονικοποιημένες τιμές φωτεινότητας

$BV_{observed \lambda}$ = τιμές φωτεινότητας που παρατηρήθηκαν

$\cos i$ = το συνημίτονο της γωνίας πρόσπτωσης

Γωνία πρόσπτωσης

Η γωνία πρόσπτωσης υπολογίζεται ως εξής:

$$\cos i = \cos (90 - \theta_s) \cos \theta_n + \sin (90 - \theta_s) \sin \theta_n \cos (\varphi_s - \varphi_n)$$

όπου:

i = η γωνία μεταξύ των ηλιακών ακτίνων και την κάθετο προς την επιφάνεια

θ_s = η ηλιακή γωνία πρόσπτωσης

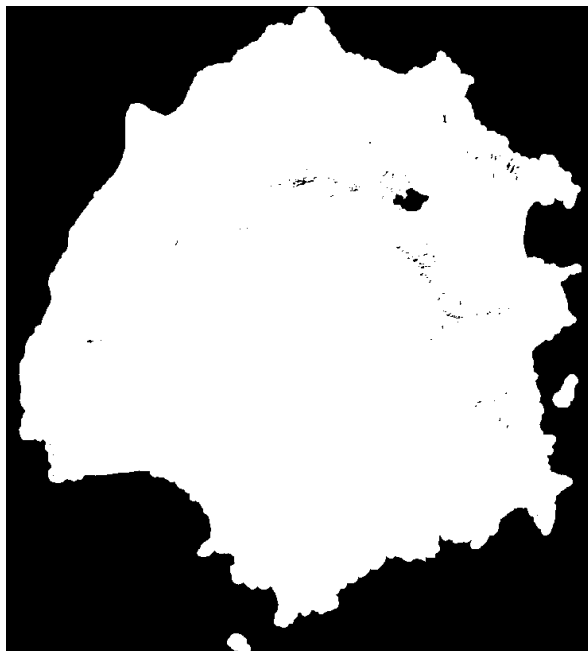
φ_s = το αζιμούθιο του ήλιου

θ_n = η κλίση του κάθε στοιχείου της επιφάνειας

φ_n = η πλευρά του κάθε στοιχείου της επιφάνειας

Αν η επιφάνεια έχει κλίση θ μοίρες, τότε η πλευρά είναι απροσδιόριστη και το i είναι απλά $90 - \theta_s$.

Επίσης μετά την τοπογραφική κανονικοποίηση των δεδομένων παρατηρήθηκαν ακραίες τιμές για τις οποίες δημιουργήθηκε και εφαρμόστηκε μάσκα (η οποία συνδυάστηκε με τη μάσκα των σύννεφων) σε όλα τα δεδομένα ώστε να μην δημιουργηθούν σφάλματα στα αποτελέσματα (Εικόνα 29).



Εικόνα 29: Η μάσκα που εφαρμόστηκε σε όλη τη χρονοσειρά μετά την αφαίρεση των νεφών και την τοπογραφική διόρθωση

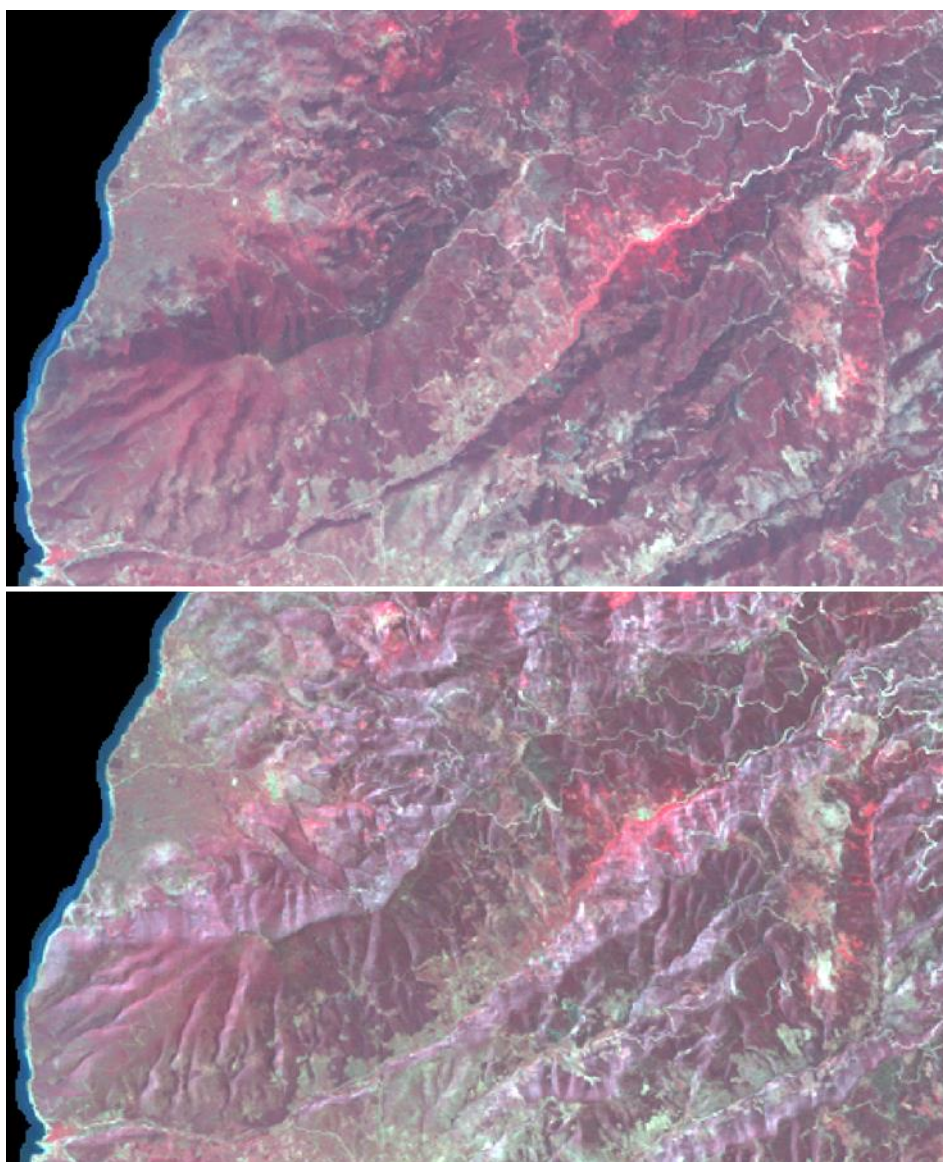
Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η επεξεργασία των στοιχείων γίνεται στον κανονικοποιημένο δείκτη βλάστησης (NDVI), όπου από μελέτες φάνηκε πως η τοπογραφική επίδραση μπορεί ακόμα και να αγνοηθεί (Matsushita et al. 2007). Ωστόσο έγινε τοπογραφική διόρθωση έτσι ώστε να εξαλειφθούν κάποιες σκιάσεις και να εξαχθούν καλύτερα αποτελέσματα. Στις Εικόνα 30 και Εικόνα 32 φαίνονται κάποια παραδείγματα πριν και μετά την τοπογραφική κανονικοποίηση.



Εικόνα 30: Πριν την τοπογραφική διόρθωση (αριστερά) και μετά (δεξιά). Η εικόνα είναι του 1985.

Layer	Band	FILE PIXEL	Layer	Band	FILE PIXEL
1		0.035	1		0.055
2	Blue	0.080	2	Blue	0.123
3	Green	0.062	3	Green	0.096
4	Red	0.170	4	Red	0.262
5		0.087	5		0.134
6		0.052	6		0.080

Εικόνα 31: Παράδειγμα μεταβολής των τιμών των εικονοστοιχείων πριν (δεξιά) και μετά (αριστερά) τη γεωμετρική διόρθωση σε σκιασμένη περιοχή.

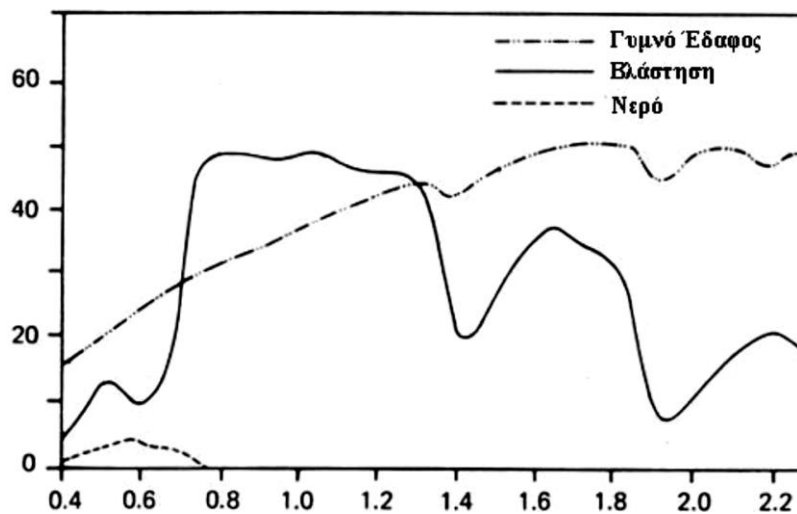


Εικόνα 32: Εικόνα πριν (πάνω) και μετά (κάτω) την τοπογραφική διόρθωση.

4.5. ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ (NDVI) (NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX)

Εκτίμηση Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) από δορυφορικές εικόνες

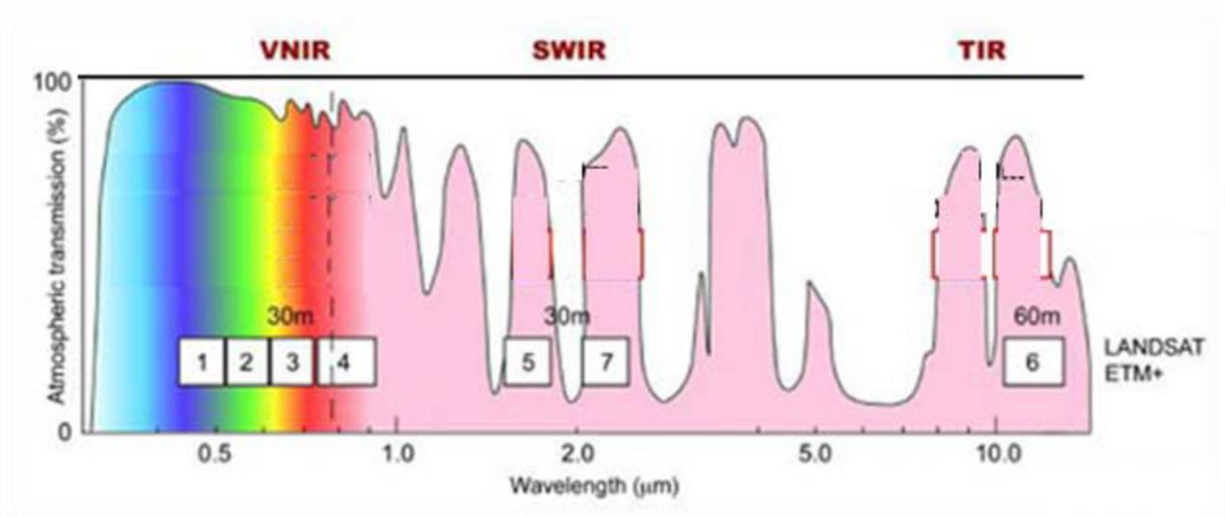
Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης (NDVI) αποτελεί μια τεχνική επεξεργασίας των φασματικών υπογραφών μιας δορυφορικής εικόνας με σκοπό την άντληση πληροφοριών σχετικά με τη φυτοκάλυψη – βλάστηση μιας περιοχής και την παραγωγή ενός χάρτη ακριβούς φυτοκάλυψης αυτής. Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι είναι συνδεδεμένος με πολλές ιδιότητες των φυτών. Είναι χρήσιμος για τον προσδιορισμό της κατάστασης της υγείας των φυτών, παρουσιάζει φαινολογικές αλλαγές, συνεισφέρει στην εκτίμηση της πράσινης βιομάζας και της απόδοσης των καλλιεργειών, καθώς και σε άλλες εφαρμογές.



Εικόνα 33: Ανάκλαση του γυμνού εδάφους, της βλάστησης και του νερού σε σχέση με το μήκος κύματος. (Πηγή: Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστική και Τηλεπισκόπησης, Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος – Α.Π.Θ., Ελλάδα).

ακτινοβολίας σε μήκη κύματος μικρότερα από 0,7μm. Στην περιοχή από 0,7μm μέχρι 1,3μm εμφανίζεται ισχυρή ανάκλαση που οφείλεται στην ασυνέχεια του δείκτη διάθλασης μεταξύ του αέρα και των κυψελών των φύλλων.

Τέλος βασίζεται στην χρήση των φασματικών περιοχών 4 (υπέρυθρη ακτινοβολία, 0,76 – 0,90μm) και 3 (κόκκινη ορατή ακτινοβολία, 0,63 – 0,69μm) με τέτοιο τρόπο, ώστε να εκμεταλλευθεί το γεγονός ότι η ορατή κόκκινη ακτινοβολία απορροφάται επιλεκτικά από την χλωροφύλλη, ενώ αντίθετα επικρατεί η αντανάκλαση από την βλάστηση όσο η ακτινοβολία τείνει προς την υπέρυθη φασματική περιοχή. Η παρουσία της χλωροφύλλης στη βλάστηση οδηγεί σε απορρόφηση της ηλιακής



Εικόνα 34: τα ηλεκτρομαγνητικά μήκη κύματος και οι διάυλοι του δορυφόρου Landsat.

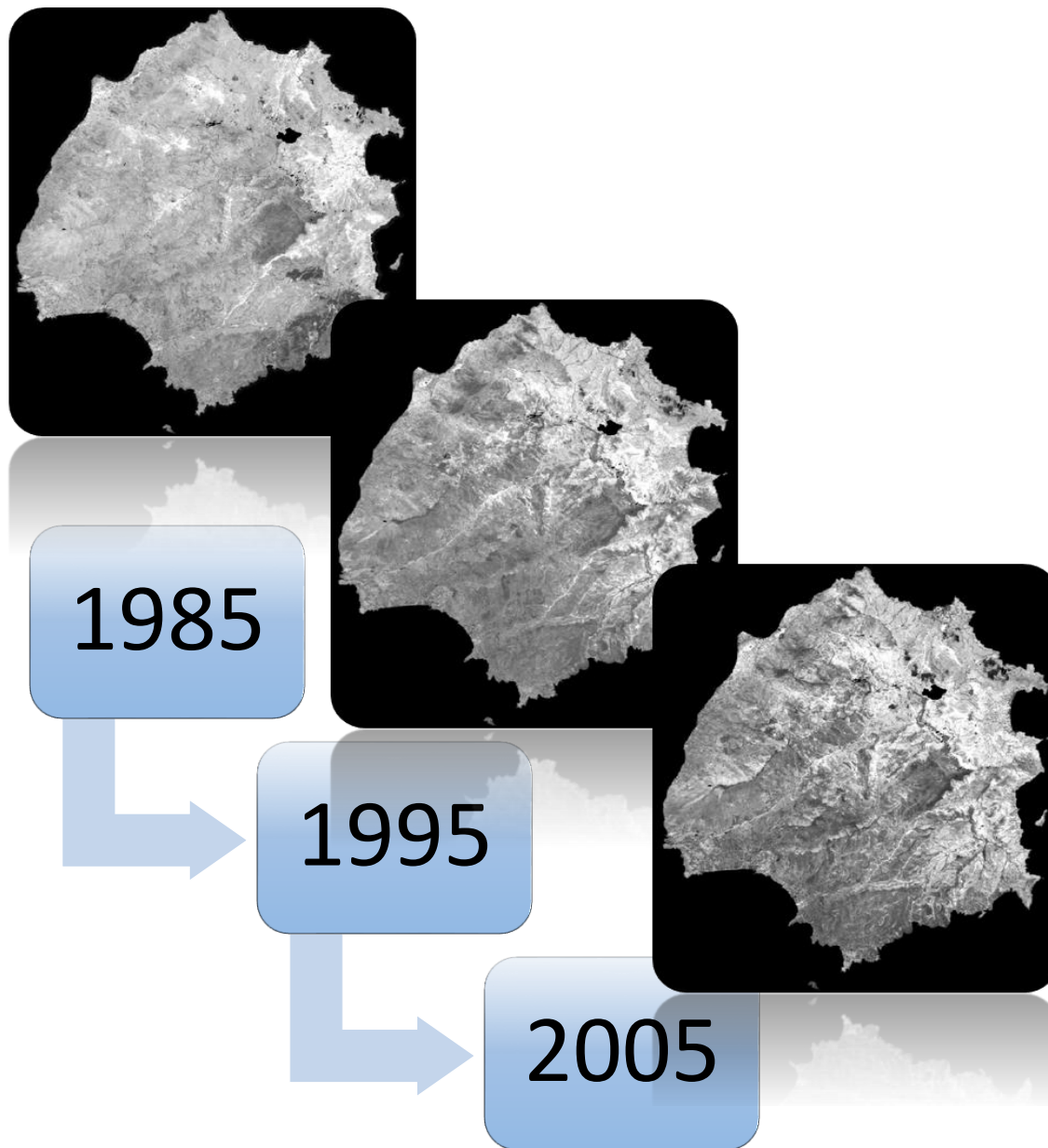
Πίνακας 14: Οι δύο αισθητήρες που παρέχουν εικόνες υψηλής ανάλυσης στο ορατό και υπέρυθρο εύρος του φάσματος.

Instruments	Mission(s)	Type	Wavebands, mkm	Spatial Resolution, m	Swath width, km
TM Thematic Mapper	Landsat-4,5	Imaging multi-spectral radiometer (VIS/IR)	VIS: B1: 0.45-0.52 B2: 0.52-0.60 B3: 0.63-0.69 NIR: 0.76-0.90 SWIR: 1.55-1.75 2.08-2.35 TIR: 10.4-12.5	VIS-SWIR: 30 TIR: 120	185
ETM+ Enhanced Thematic Mapper Plus	Landsat-7	Imaging multi-spectral radiometer (VIS/IR)	VIS: B1: 0.45-0.52 B2: 0.52-0.60 B3: 0.63-0.69 NIR: 0.76-0.90 SWIR: 1.55-1.75 2.08-2.35 TIR: 10.4-12.5 Panchromatic: 0.5-0.9	Panchromatic: 15 VIS-SWIR: 30 TIR: 60	185

Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) είναι ο εξής:

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

όπου με NIR συμβολίζεται η φασματική περιοχή της υπέρυθρης ακτινοβολίας (Landsat διάυλος 4) και με RED η φασματική περιοχή της κόκκινης ορατής ακτινοβολίας (Landsat διάυλος 3). Ο δείκτης αυτός αποδίδεται στον (Rouse et al. 1973) αν και η σύλληψή ενός τέτοιου δείκτη έγινε από τον (Kriegler et al. 1969).



Εικόνα 35: : Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης των ετών 1985-1995-2005.

Ο δείκτης NDVI μπορεί να πάρει τιμές από «-1» (μηδενική φυτοκάλυψη) μέχρι «+1» (πλήρης φυτοκάλυψη). Για την ευκολότερη επεξεργασία των δεδομένων γίνεται μετασχηματισμός του. Η καθιερωμένη τεχνική είναι: $[(NDVI + 1) \times 100]$. Οι τιμές που προκύπτουν κυμαίνονται από 0 έως 200.

Ο υπολογισμός NDVI αφορά τις εικόνες όλης της χρονοσειράς η οποία είναι για 28 έτη 1984-2011 ενώ 3 εικόνες που έλειπαν, συμπληρώθηκαν με το μέσο όρο της προηγούμενης και της

επόμενης έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η περαιτέρω ανάλυση με τη χρήση του λογισμικού Idrisi Selva.

4.6. ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Λόγω της πρόσφατης απελευθέρωσης των δορυφορικών δεδομένων Landsat, δεν έχουν αναπτυχθεί αυτοματοποιημένες διαδικασίες προεπεξεργασίας και επεξεργασίας των εικόνων αυτών και μάλιστα συγκεντρωμένα σε ένα λογισμικό. Για την προεπεξεργασία των δεδομένων κρίθηκε απαραίτητο να ακολουθηθεί η εξής διαδικασία σε όλες τις εικόνες LANDSAT έτσι ώστε να δημιουργηθεί χρονοσειρά όσο το δυνατόν απαλλαγμένη από αλλοιώσεις οι οποίες θα επηρέαζαν τα αποτελέσματα της μελέτης.

- ✓ Αρχικά έγινε ο περιορισμός των δεδομένων στην περιοχή μελέτης και διορθώθηκε το προβολικό σύστημα όπου ήταν απαραίτητο, σε WGS84/UTM zone 35N.
- ✓ Στη συνέχεια έγινε βαθμονόμηση των ψηφιακών αριθμών (DN) σε τιμές ακτινοβολίας (radiance) και ατμοσφαιρική διόρθωση με αφαίρεση της ατμοσφαιρικής επίδρασης και μετατροπή των τιμών ακτινοβολίας (radiance) σε τιμές ανακλαστικότητας (reflectance).
- ✓ Ακολούθησε τοπογραφική διόρθωση με το Lambertian Reflection Model του ERDAS IMAGINE 2013.
- ✓ Για τα 3 έτη που δεν βρέθηκαν δορυφορικά δεδομένα δημιουργήθηκαν εικόνες από τους μέσους όρους των προηγούμενων και επόμενων δορυφορικών εικόνων.
- ✓ Τέλος, έγινε μάσκα των σύννεφων και των σκιών τους με ψηφιοποίηση στο ArcMap10.2.1 και εξήχθη ο δείκτης βλάστησης NDVI ο οποίος μετασχηματίστηκε.

5. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΕ ΖΕΥΓΗ ΕΙΚΟΝΩΝ ΣΤΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η ανίχνευση των αλλαγών στη χρονοσειρά έγινε με την επεξεργασία της διαφοράς, του δείκτη NDVI των εικόνων ανά δύο, σε διαδοχικά ζεύγη της χρονοσειράς, αλλά και για το ζεύγος της πρώτης εικόνας με την τελευταία, με δύο διαφορετικές μεθόδους:

1. Μετά την εξαγωγή της απλής διαφοράς των εικόνων του δείκτη NDVI, έγινε εφαρμογή της μεθόδου κατωφλίωσης Karur και
2. Μετά τη διαφορά του δείκτη NDVI, έγινε η εξαγωγή των τυποποιημένων τιμών (z-scores) της εικόνας διαφοράς και κατάταξή τους σε έξι κλάσεις ανά 2 για όλη τη χρονοσειρά αντίστοιχα.

5.1. 1^η ΜΕΘΟΔΟΣ (ΔΙΑΦΟΡΑ NDVI-KAPUR THRESHOLDING)

5.1.1. Μεθοδολογία

Μέθοδος Κατωφλίωσης Εντροπίας Karur

Μετά την αφαίρεση του δείκτη NDVI επιλέχθηκε και εφαρμόστηκε η αυτόματη μέθοδος κατωφλίωσης (auto-thresholding) εντροπίας του Karur et al. (1985) από τα εργαλεία του ENVI (ENVI Tools) του λογισμικού ArcMap. Με τον τρόπο αυτό επιτεύχθηκε ο διαχωρισμός των εικονοστοιχείων που παρουσιάζουν μεγάλη μείωση στην εικόνα διαφοράς.

Κατά τον Patra et al. (2011) αυτή η μέθοδος δίνει καλά αποτελέσματα στην σε σχέση με τις άλλες μεθόδους που ήταν διαθέσιμες στο ENVI Tools όπως η μέθοδος του Kittler ή του Otsu που δεν χρειάζεται ορισμός παραμέτρων από το χρήστη αλλά και από άλλες μεθόδους ασαφούς λογικής (Fuzzy) που απαιτούν ορισμό παραμέτρων από το χρήστη όπως η μέθοδος του Huang.

Σε αυτή τη μέθοδο (Karur et al. 1985), το βέλτιστο όριο προσδιορίζεται με βάση την έννοια της εντροπίας (Shannon 1948). Θεωρεί την εικόνα διαφοράς ως δύο κατηγορίες γεγονότων, με κάθε κατηγορία να χαρακτηρίζεται από μια Συνάρτηση Πυκνότητας Πιθανότητας (Probability Density Function - PDF). Δύο κατανομές πιθανοτήτων, μια για τις μη αλλαγές (ω_u) και μια για τις αλλαγές (ω_c), εξάγονται από την αρχική κατανομή της εικόνας διαφοράς (D) σε τόνους του γκρι υποθέτοντας μια t τιμή ορίου όπου

$$\omega_u: \frac{p_0}{P_{\omega_u}}, \frac{p_1}{P_{\omega_u}}, \dots, \frac{p_t}{P_{\omega_u}}, \quad \text{και} \quad \omega_c: \frac{p_{t+1}}{P_{\omega_c}}, \frac{p_{1+2}}{P_{\omega_c}}, \dots, \frac{p_{L-1}}{P_{\omega_c}}$$

Οι εντροπίες των αμετάβλητων (ω_u) και των αλλαγμένων (ω_c) κλάσεων υπολογίζονται στη συνέχεια ως εξής:

$$H_{\omega_u}(t) = - \sum_{i=0}^t \frac{p_i}{P_{\omega_u}} \log_2 \left(\frac{p_i}{P_{\omega_u}} \right)$$

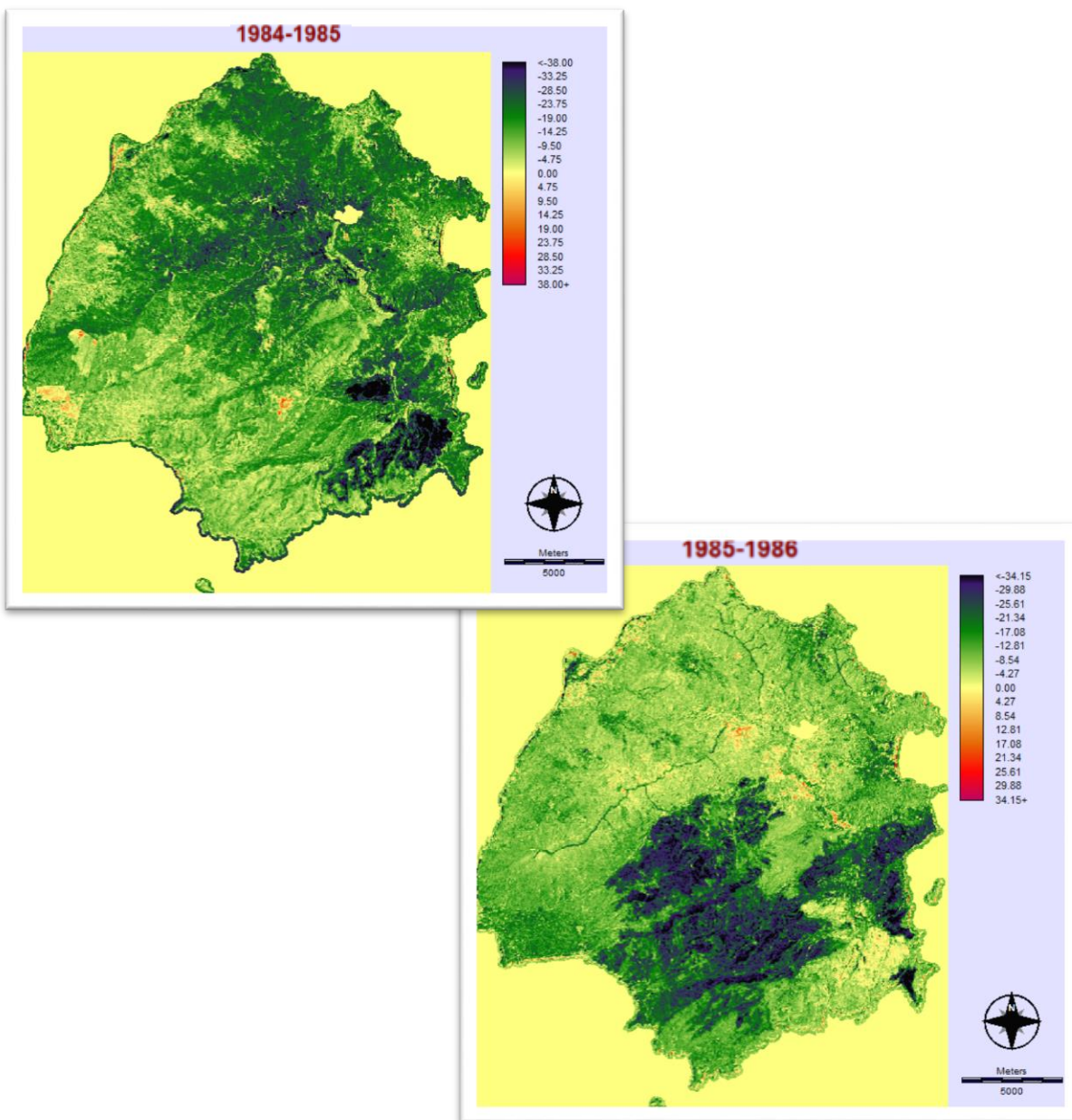
$$H_{\omega_c}(t) = - \sum_{i=t+1}^{L-1} \frac{p_i}{P_{\omega_c}} \log_2 \left(\frac{p_i}{P_{\omega_c}} \right)$$

Η μέθοδος μεγιστοποιεί τότε το άθροισμα της εντροπίας $\{H_{\omega_u}(t) + H_{\omega_c}(t)\}$ των δύο αυτών συναρτήσεων έτσι ώστε να συγκλίνουν σε μία τιμή κατωφλίου χρησιμοποιώντας τον ακόλουθο κανόνα:

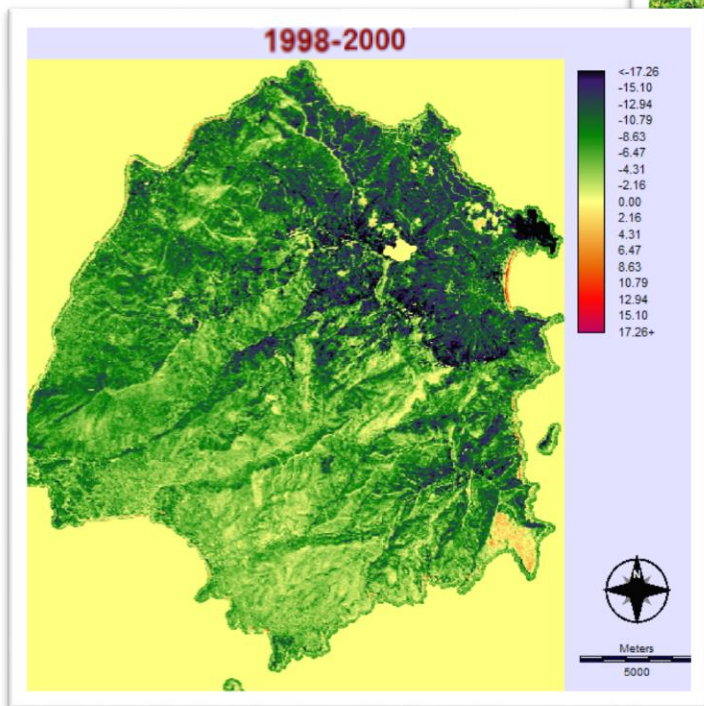
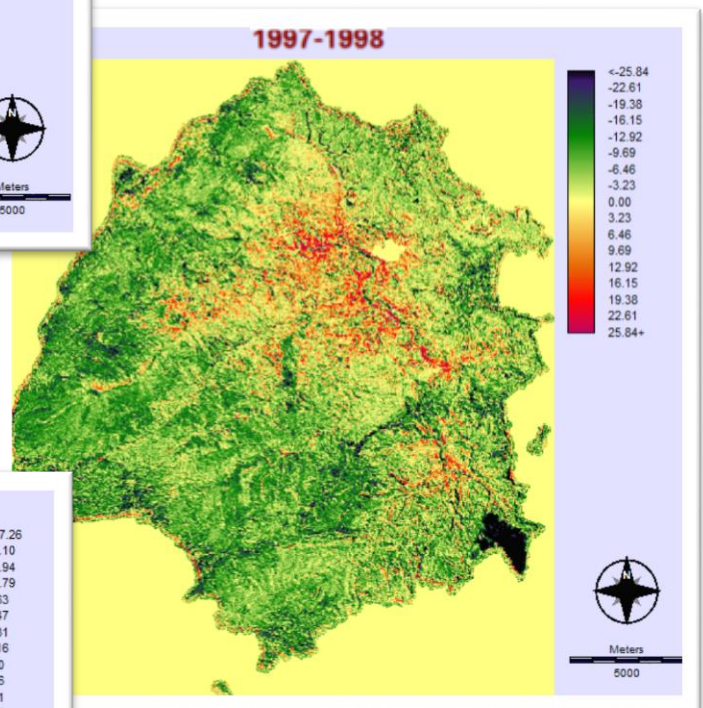
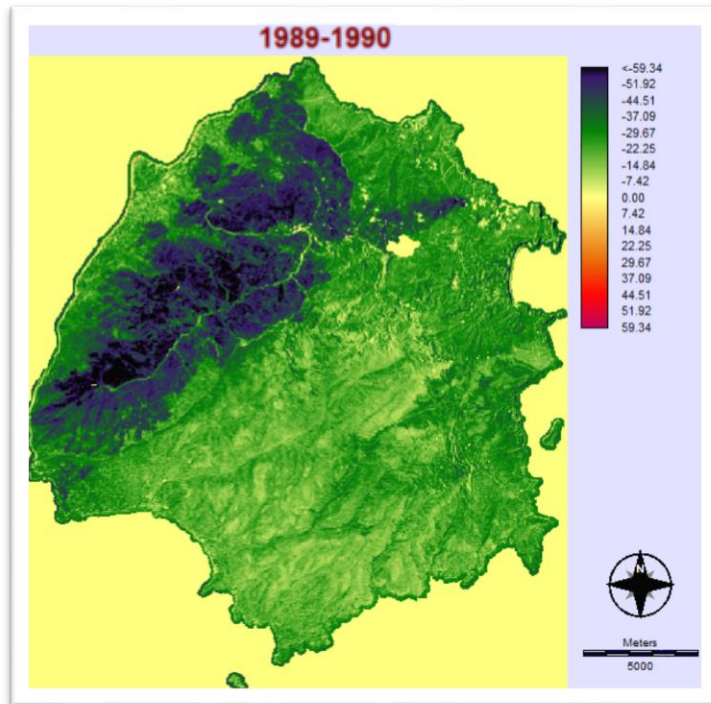
$$t_1 = Arg \max_{t \in Z} \{H_{\omega_u}(t) + H_{\omega_c}(t)\}$$

5.1.2. Αποτελέσματα

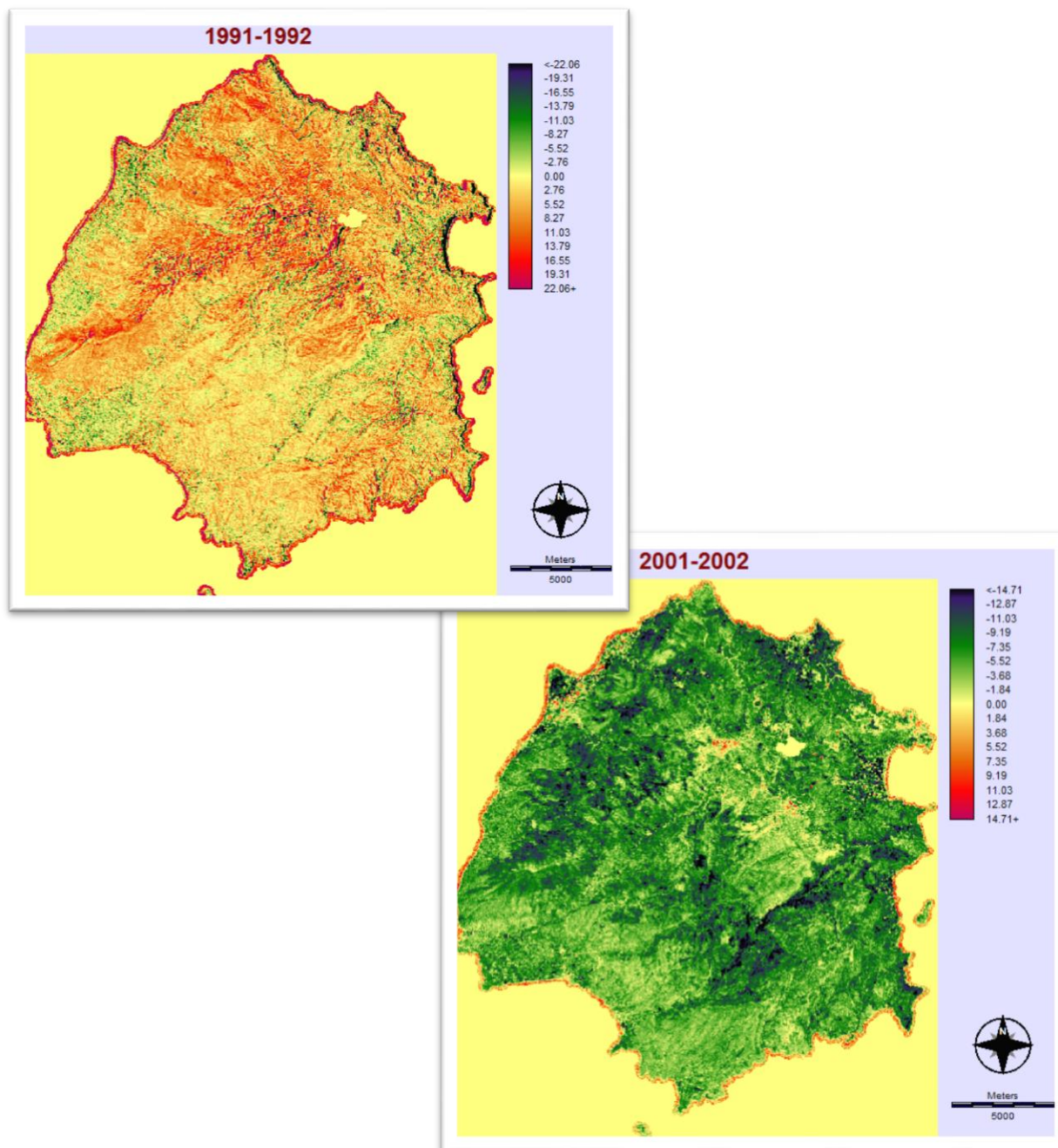
Μετά από απλή αφαίρεση των εικόνων του δείκτη NDVI τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω για τα έτη όπου παρατηρούνται έντονες διαφορές, όπως πυρκαγιές, και για έτη που δεν παρατηρούνται σημαντικές αυξήσεις ή μειώσεις.



Εικόνα 36: Το αποτέλεσμα της διαφοράς των εικόνων του δείκτη NDVI για τα έτη 1984-1985 και 1985-1986.



Εικόνα 37: Το αποτέλεσμα της διαφοράς των εικόνων του δείκτη NDVI για τα έτη 1989- 1990, 1998-2000 και 2000-2001.



Εικόνα 38: Το αποτέλεσμα της διαφοράς των εικόνων του δείκτη NDVI για τα έτη 1991-1992 και 2001-2002.

Στο Παραρτημα 1 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μετά από την κατοφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur et al. (1985), στις εικόνες διαφοράς Εικόνα 36, Εικόνα 37, Εικόνα 38. Με κόκκινο χρώμα φαίνονται οι περιοχές στις οποίες παρατηρείται μεγάλη μείωση του NDVI ενώ με μπλε οι περιοχές όπου παρατηρείται μεγάλη αύξηση.

Μετά από οπτική εκτίμηση των αποτελεσμάτων αυτών (Παραρτημα 1, Karur) διαπιστώνεται ότι οι έντονες βραχυχρόνιες αλλαγές που παρατηρούνται είναι περιορισμένες. Πιο συγκεκριμένα παρατηρούνται εκτεταμένες περιοχές που εμφανίζουν μείωση του NDVI συγκεντρωμένες σε κάποια έκταση του νησιού και όχι διάσπαρτες. Αυτές οι αλλαγές οφείλονται

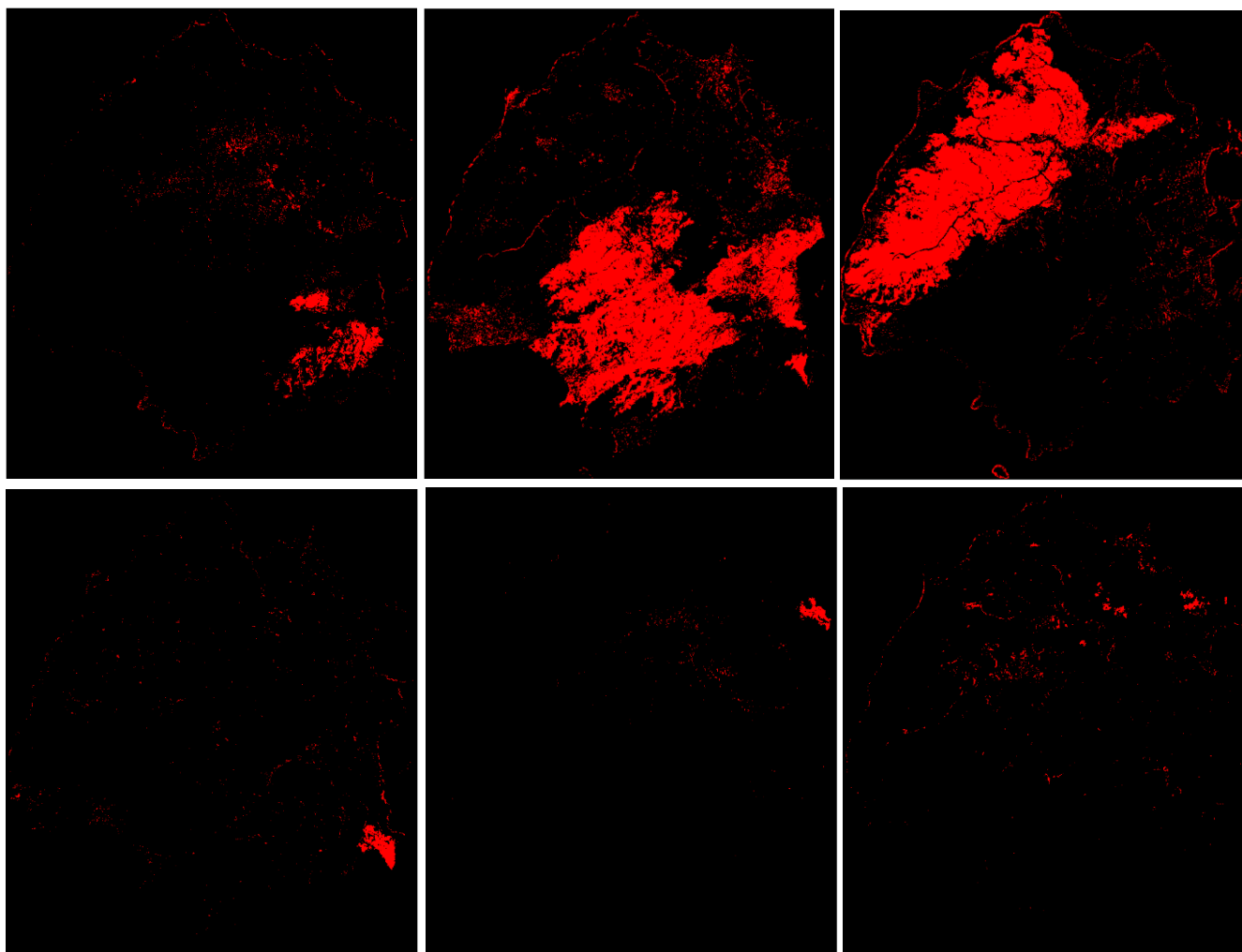
σε πυρκαγιές (σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα και δεδομένα δασαρχείου). Ωστόσο στην Εικόνα 78 διαφοράς 1989-1990 παρατηρείται εκτός από την πυρκαγιά και μια τριγωνική περιοχή πάνω στο μέσο περίπου της εικόνας το οποίο δεν οφείλεται στην φωτιά. Για το λόγο αυτό, αξιολογήθηκαν οπτικά τα αρχικά δεδομένα, και παρατηρήθηκε πως σε αυτό το σημείο στην εικόνα της πυρκαγιάς υπάρχει καπνός ο οποίος δεν απομακρύνθηκε (λήφθηκε υπόψη) κατά την προεπεξεργασία των εικόνων.

Ακόμα παρατηρούνται μεταβολές στην ακτογραμμή, φαινόμενο φυσιολογικό και αναμενόμενο αφού η ακτογραμμή εναλλάσσεται από έτος σε έτος είτε λόγω διάβρωσης, είτε λόγω διαφοροποίησης του βάρους του πυθμένα.

Τέλος, φαίνονται μικρότερης έκτασης μειώσεις ή αυξήσεις οι οποίες της βλάστησης, μετά από οπτική ερμηνεία των δεδομένων, βρέθηκε πως οφείλονται είτε σε σκιάσεις λόγω ανάγλυφου και ώρας της ημέρας, οι οποίες δεν αφαιρέθηκαν με την τοπογραφική διόρθωση, είτε σε διανοίξεις δρόμων ή πλατωμάτων για εργοτάξια ή άλλες ανθρώπινες παρεμβάσεις. Στην εικόνα διαφοράς 1986-1987 αλλά 2000-2001 παρατηρείται εκτεταμένη αύξηση η οποία στη μεν πρώτη οφείλεται στην αναγέννηση μετά την πυρκαγιά του 1985, ενώ στη δεύτερη ο λόγος είναι η εποχή των δύο εικόνων. Η προγενέστερη εικόνα του 2000 είναι της 24^{ης} Αυγούστου, όποτε και έχει καμφθεί η βλάστηση λόγω της ξηράς περιόδου που προηγήθηκε, ενώ η μεταγενέστερη του 2001 είναι στην αρχή του καλοκαιριού την 1^η Ιουνίου οπότε και η βλάστηση είναι πολύ έντονη αφού η ξηρά περίοδος δεν έχει αρχίσει ακόμα.

Στην Εικόνα 97 φαίνεται η διαφορά μετά την κατωφλίωσή της, της πρώτης εικόνας του 1984 και της τελευταίας του 2011. Στην εικόνα αυτή φαίνονται οι αλλαγές που συντελέστηκαν από την πρώτη χρονιά της χρονοσειράς μας στην τελευταία. Παρατηρούμε λοιπόν ότι οι έντονες και εκτεταμένες αλλαγές είναι μειώσεις και μάλιστα συνδέοντας το αποτέλεσμα με τα βιβλιογραφικά αλλά και με οπτική ανάλυση πρόσφατων εικόνων υψηλής ανάλυσης του κτηματολογίου διαπιστώνεται πως πρόκειται για διανοίξεις λατομείων. Οι υπόλοιπες αλλαγές που παρατηρούνται μετά την οπτική ανάλυση διαπιστώνεται πως οφείλονται σε διανοίξεις δρόμων, σε δημιουργία εργοταξίων κ.λπ..

Παρακάτω φαίνονται συγκεντρωμένες οι εικόνες των ετών όπου παρατηρούνται οι πυρκαγιές και τα λατομεία, οι μεγάλες μειώσεις στις οποίες υπάρχουν δεδομένα αναφοράς (εκτός από την φωτιά στο νότιο ανατολικό μέρος του νησιού το 1998) έτσι ώστε να γίνει εκτίμηση της ακρίβειας.



Εικόνα 39: Οι εικόνες όπου παρατηρούνται οι πυρκαγιές του 1984, 1985, 1986, 1998, 2000 και τα λατομεία αντίστοιχα, οι μεγάλες, εκτεταμένες μειώσεις του δείκτη NDVI που εντοπίζονται με την πρώτη μέθοδο επεξεργασίας.

5.1.3. Εκτίμηση Ακρίβειας 1^{ης} Μεθόδου

Εκτίμηση της ακρίβειας

Μια από τις πλέον κλασσικές μεθόδους αξιολόγησης της ακρίβειας είναι ο πίνακας σφαλμάτων αναγνώρισης (error confusion matrix) ή αλλιώς πίνακας σφαλμάτων (error matrix) (Congalton and Green 2008) στον οποίο αντιπαρατίθενται δεδομένα ταξινόμησης με δεδομένα αναφοράς, τα οποία συλλέγονται συνήθως στο πεδίο. Από τον πίνακα σφαλμάτων μπορούν να εξαχθούν περιγραφικά στατιστικά (π.χ. η ακρίβεια χρήστη (User's Accuracy – UA), η ακρίβεια παραγωγού (Producer's Accuracy-PA), η ολική ακρίβεια (Overall Accuracy – OV), ο συντελεστής Kappa, η πιθανότητα να έχει γίνει λάθος και να έχει χαρακτηριστεί ένα εικονοστοιχείο ως καμένο ενώ δεν είναι (P_f).

Για να πραγματοποιηθεί η παραπάνω σύγκριση είναι απαραίτητο να υπάρχουν δεδομένα αναφοράς (reference data) τα οποία είτε συλλέγονται στο πεδίο, είτε είναι επίσημα δεδομένα δασαρχείου, είτε είναι αξιόπιστα αποτελέσματα άλλων ερευνών.

Η ακρίβεια παραγωγού εκτιμά το σφάλμα παράλειψης (omission error) ή αποκλεισμού, και σχετίζεται με την πιθανότητα επί τοις εκατό, σωστής αντιστοίχισης των δεδομένων αναφοράς στην κλάση της ταξινόμησης. Ονομάζεται έτσι γιατί ο παραγωγός της ταξινόμησης ενδιαφέρεται για την ορθότητα της ταξινόμησης σε κάθε κλάση. Η ακρίβεια χρήστη εκτιμά το σφάλμα ανάθεσης (commission error) και αναφέρεται στον βαθμό ακρίβειας με τον οποίο η ταξινόμηση αντιπροσωπεύει την πραγματικότητα (Καρτέρης 1999). Το απλούστερο περιγραφικό στατιστικό των πινάκων είναι η ολική ακρίβεια, η οποία προκύπτει από τη διαίρεση των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων, προς τα συνολικά του σημείου αναφοράς. Ο ολικός συντελεστής Kappa, εκφράζει την ανάλογη ελάττωση του σφάλματος που δημιουργείται κατά τη διαδικασία της ταξινόμησης, συγκρινόμενη με μια τελείως τυχαία ταξινόμηση. Ο συντελεστής παίρνει συνεχείς τιμές από 0 έως 1 και μια τιμή π.χ. 0.88 εκφράζει ότι η ταξινόμηση απέφυγε το 88% των σφαλμάτων που θα προέκυπταν σε μια τελείως τυχαία ταξινόμηση. Ο συντελεστής «K» θεωρείται αξιόπιστο μέτρο εκτίμησης της ακρίβειας της ταξινόμησης (Hudson and Ramm 1987; Congalton 2009) διότι υπολογίζεται από όλα τα στοιχεία του πίνακα σφαλμάτων και διότι αντισταθμίζει την πιθανότητα του τυχαίου στην ταξινόμηση (Zhang and Goodchild 2002).

Επιπλέον η ακρίβεια εκτιμήθηκε επίσης με τη μέτρηση της πιθανότητας «λάθος συναγερμού» (probability of false alarm (P_f)) (Giglio et al. 2008).

$$[P_f = \frac{M_{fn}}{M_{ff} + M_{nn}}]$$

Όπου M_{ff} ο αριθμός των σωστά χαρακτηρισμένων εικονοστοιχείων φωτιάς, M_{nn} ο αριθμός των σωστά χαρακτηρισμένων εικονοστοιχείων μη φωτιάς, M_{nf} ο αριθμός των εικονοστοιχείων που βρέθηκαν ως μη φωτιά στην ταξινόμηση αλλά ήταν φωτιά στα δεδομένα αναφοράς και M_{fn} είναι ο αριθμός των εικονοστοιχείων που βρέθηκαν ως φωτιά από τη μέθοδο ενώ ήταν μη φωτιά στα δεδομένα αναφοράς. Στη δική μας περίπτωση το P_f περιγράφει την πιθανότητα ένα εικονοστοιχείο να είναι λανθασμένα χαρακτηρισμένο ως καμένο (Dragozi et al. 2014).

Εκτίμηση ακρίβειας της 1^{ης} μεθόδου

Για να αξιολογηθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων αυτών δημιουργήθηκαν πίνακες σφαλμάτων και ως δεδομένα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν οι περίμετροι των πυρκαγιών σύμφωνα με τα αποτελέσματα της μελέτης του Mitri μετά από Object Based Classification (Mitri and Gitas 2004) και η περίμετρος των λατομείων έτσι όπως ψηφιοποιήθηκαν από τις εικόνες υψηλής ακρίβειας του Κτηματολογίου.

Επίσης υπολογίστηκε ο εκτιμητής Kappa καθώς και η πιθανότητα να έχει γίνει λάθος στον χαρακτηρισμό και να έχει χαρακτηριστεί κάποιο εικονοστοιχείο ως καμένο ή ως λατομείο ενώ δεν ήταν (P_f) σύμφωνα με τα δεδομένα αναφοράς.

Ακόμα στους χάρτες φαίνεται με κόκκινο η περιοχή όπου και η ταξινόμηση και τα δεδομένα αναφοράς συμφωνούν ότι δεν υπάρχει καμένη περιοχή, με ανοιχτό κίτρινο οι περιοχές όπου η ταξινόμηση εντόπισε καμένα εικονοστοιχεία ενώ τα δεδομένα αναφοράς δε συμφωνούν, με πράσινο είναι η περιοχή όπου η ταξινόμηση δεν εντόπισε καμένα εικονοστοιχεία ενώ τα δεδομένα αναφοράς δηλώνουν φωτιά και τέλος, με πορτοκαλί χρώμα φαίνεται η περιοχή όπου η ταξινόμηση και τα δεδομένα αναφοράς συμφωνούν ότι υπάρχει καμένη περιοχή.

Εκτίμηση ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984

Πίνακας 15: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1984.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	17538	2295	19833	88.43	11.57
1	11883	5917	17800	33.24	66.76
Column Total	29421	8212	37633		
User's Accuracy (%)	59.61	72.05			
Errors Of Commission (%)	40.39	27.95			
Overall Accuracy (%)	62.33				
Kappa	0.23				
P _f	0.098				



Εικόνα 40: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984.

Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

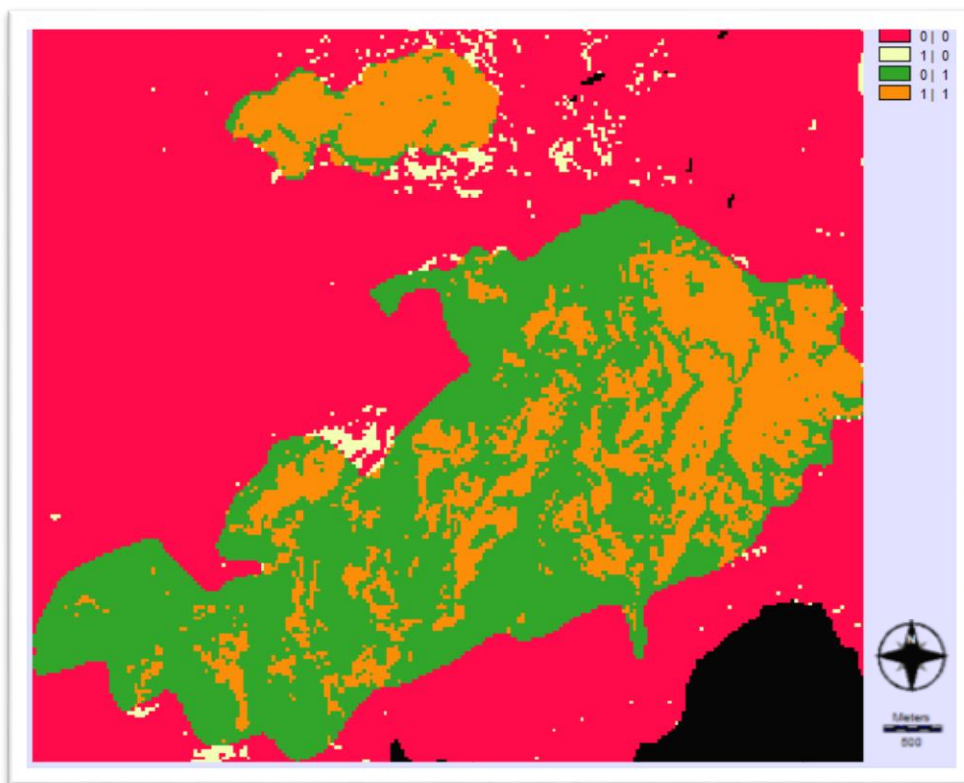
Η ακρίβεια παραγωγού είναι περίπου 33% ενώ η ακρίβεια χρήστη περίπου 72% οπότε η μέθοδος υποεκτιμά την καμένη περιοχή. Ωστόσο κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο αφού τα δεδομένα αναφοράς για την συγκεκριμένη πυρκαγιά ήταν αρκετά αδρομερή και δεν είχαμε διαθέσιμα πιο λεπτομερή δεδομένα. Ακόμα η συνολική ακρίβεια είναι περίπου 62%, ο συντελεστής Kappa 0.23 και ο απόλυτος αριθμός της πιθανότητας να έχει χαρακτηριστεί εσφαλμένα ως καμένο κάποιο εικονοστοιχείο είναι πολύ μικρός, 0.093.

Όμως, επειδή η περιοχή όπου η μέθοδος έδειξε φωτιά ενώ τα δεδομένα αναφοράς δεν συμφωνούν, ήταν μεγάλη όπως φαίνεται στον παραπάνω χάρτη με ανοιχτό κίτρινο, διαπιστώθηκε με οπτική ερμηνεία των αρχικών δεδομένων ότι όντως πρόκειται για καμένη περιοχή. Έτσι ψηφιοποιήθηκε η επιπλέον καμένη έκταση από τα αρχικά δεδομένα και έγινε εκ νέου ο πίνακας σφαλμάτων τα αποτελέσματα του οποίου φαίνονται παρακάτω:

Εκτίμηση ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984, με την επιπλέον καμένη ψηφιοποιημένη επιφάνεια

Πίνακας 16: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1984 με την επιπλέον ψηφιοποιημένη καμένη επιφάνεια.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	27266	747	28013	97.33	2.67
1	12155	7465	19620	38.05	61.95
Column Total	39421	8212	47633		
User's Accuracy (%)	69.17	90.90			
Errors Of Commission (%)	30.83	9.10			
Overall Accuracy (%)	72.91				
Kappa	0.39				
P _f	0.021				



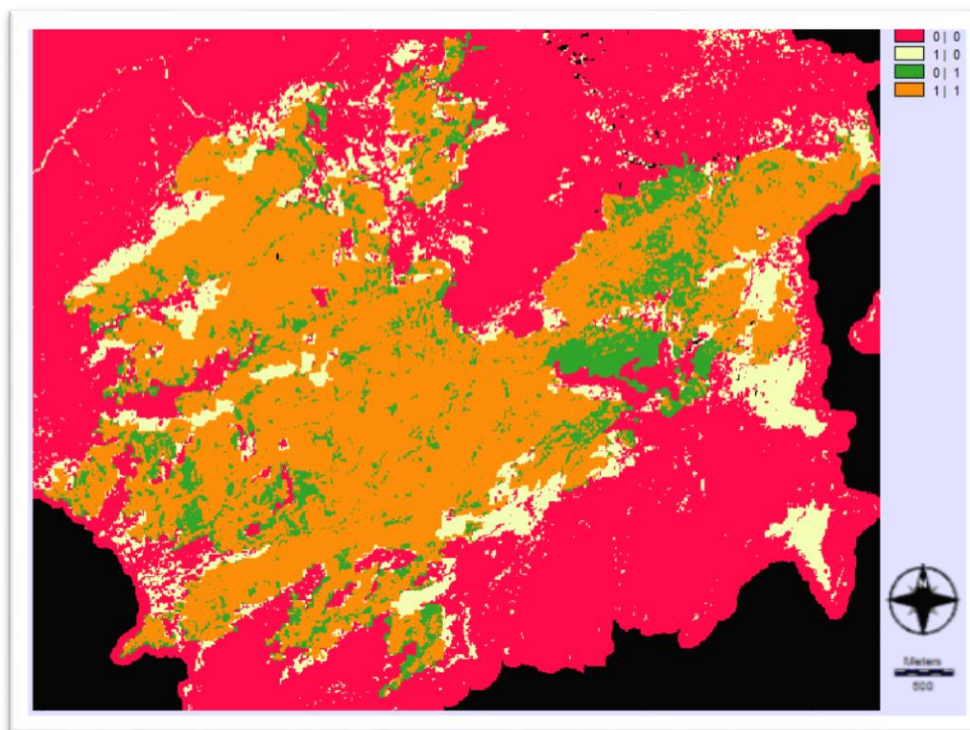
Εικόνα 41: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984, με την επιπλέον καμένη ψηφιοποιημένη επιφάνεια.
Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Έτσι διαπιστώνουμε ότι η συνολική ακρίβεια αυξάνεται σε 73% περίπου από 62% που ήταν ενώ η πιθανότητα λάθους μειώνεται σε 0.021. Ωστόσο σύμφωνα με την ακρίβεια παραγωγού και χρήστη που φαίνεται στον Πίνακας 16 η μέθοδος εξακολουθεί να υποεκτιμά την καμένη περιοχή όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Εκτίμηση ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1985

Πίνακας 17: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1985.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	119444	22835	142279	83.95	16.05
1	17489	72804	90293	80.63	19.37
Column Total	136933	95639	232572		
User's Accuracy (%)	87.23	76.12			
Errors Of Commission (%)	12.77	23.88			
Overall Accuracy (%)	82.66				
Kappa	0.64				
P _f	0.118				



Εικόνα 42: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1985.

Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Όπως φαίνεται στον Πίνακας 17, η ακρίβεια παραγωγού είναι 81% περίπου ενώ η ακρίβεια χρήστη 76%. Είναι αρκετά κοντά πράγμα που σημαίνει ότι για την πυρκαγιά του 1985 η μέθοδος κάνει αρκετά καλή εκτίμηση της καμένης έκτασης.

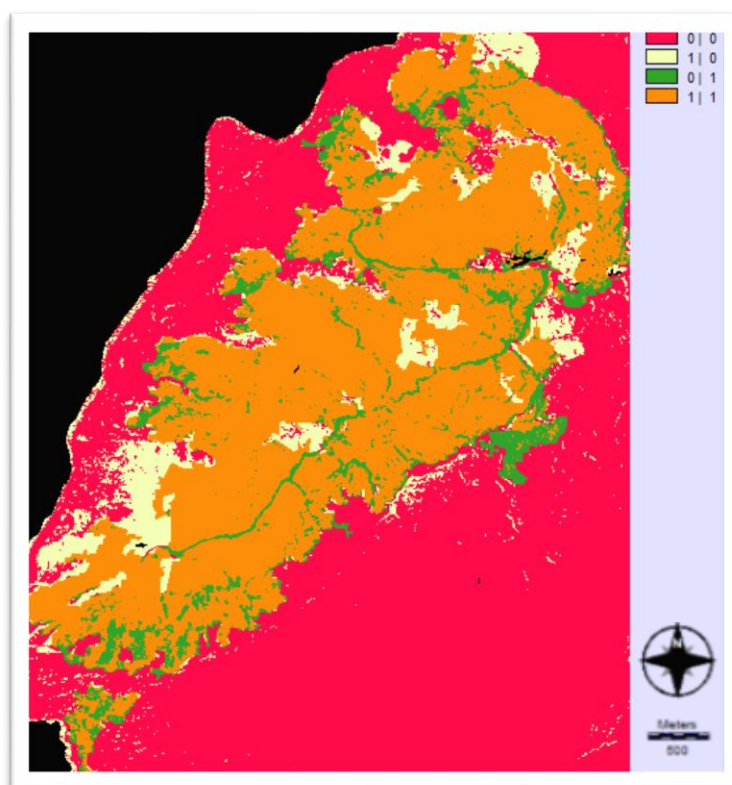
Η συνολική ακρίβεια είναι περίπου 83%, η πιθανότητα λάθους αρκετά μικρή 0.118 ενώ ο συντελεστής Kappa είναι 0.64.

Παρατηρείται στην Εικόνα 42, κάτω δεξιά, μια τριγωνική περιοχή την οποία η μέθοδος παρουσιάζει ως μεγάλη μείωση της βλάστησης, ενώ τα δεδομένα αναφοράς δεν συμφωνούν. Για το λόγο αυτό έγινε διερευνήθηκαν οπτικά τα αρχικά δεδομένα και διαπιστώθηκε πως πρόκειται για σκίαση η οποία δεν εξαλείφθηκε κατά την τοπογραφική διόρθωση. Έτσι γίνεται κατανοητό ότι η ακρίβεια θα είναι ακόμα μεγαλύτερη εάν δεν ληφθεί υπόψη η σκίαση αυτή.

Εκτίμηση ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1989

Πίνακας 18: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1989.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	121625	17498	139123	87.42	12.58
1	14463	80244	94707	84.73	15.27
Column Total	136088	97742	233830		
User's Accuracy (%)	89.37	82.10			
Errors Of Commission (%)	10.63	17.90			
Overall Accuracy (%)	86.33				
Kappa	0.72				
P _f	0.086				



Εικόνα 43: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1989.

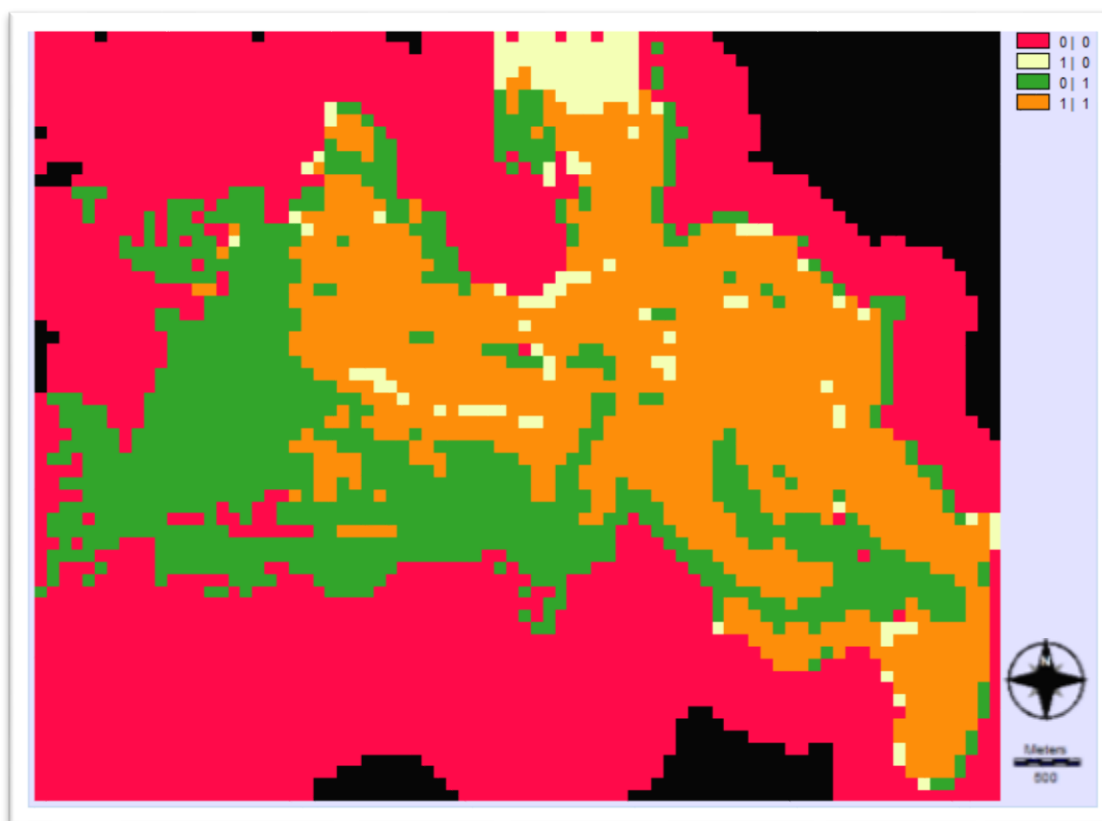
Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Στον πίνακα σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1989 η ακρίβεια παραγωγού και η ακρίβεια χρήστη, 85% και 82% αντίστοιχα, είναι αρκετά κοντά και η συνολική ακρίβεια είναι 86% περίπου πράγμα που σημαίνει πως η μέθοδος εντοπίζει αρκετά καλά την πυρκαγιά. Ακόμα η πιθανότητα να έχει χαρακτηριστεί κάποιο εικονοστοιχείο ως καμένο ενώ δεν ήταν (P_f) είναι 0.086 ενώ ο συντελεστής Kappa έχει τιμή 0.72.

Εκτίμηση ακρίβειας για την πυρκαγιά του 2000

Πίνακας 19: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 2000.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	2285	138	2423	94.30	5.70
1	1001	1180	2181	54.10	45.90
Column Total	3286	1318	4604		
User's Accuracy (%)	69.54	89.53			
Errors Of Commission (%)	30.46	10.47			
Overall Accuracy (%)	75.26				
Kappa	0.49				
P_f	0.039				



Εικόνα 44: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 2000.

Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Τέλος, για την πιο πρόσφατη πυρκαγιά του 2000 φαίνεται πως η μέθοδος υποεκτιμά την πυρκαγιά αφού η ακρίβεια παραγωγού είναι 54% ενώ η ακρίβεια χρήστη είναι 90% περίπου. Αυτό είναι πιθανό να οφείλεται στην ένταση της φωτιάς ή/και στην συνολική έκτασή της που καταλαμβάνει πολύ μικρό μέρος του νησιού/της εικόνας την οποία λαμβάνει υπόψη η μέθοδος καταφλίωσης Karur για να κάνει το διαχωρισμό σε τρεις κλάσεις με τη συνάρτηση πυκνότητας - πιθανότητας που χρησιμοποιεί. Με οπτική εκτίμηση βρέθηκε πως στα σημεία ασυμφωνίας όπου τα δεδομένα αναφοράς δηλώνουν καμένη έκταση ενώ η μέθοδος δεν εντοπίζει μεγάλη αλλαγή (πράσινο) ο δείκτης NDVI της διαφοράς των εικόνων είναι αρκετά μεγαλύτερος από την περιοχή συμφωνίας ως προς την ύπαρξη φωτιάς των δεδομένων αναφοράς με το αποτέλεσμα της μεθόδου (πορτοκαλί). Η συνολική ακρίβεια είναι 75.26% ο συντελεστής Kappa 0.49 ενώ και πάλι πολύ μικρή η πιθανότητα P_f η οποία είναι 0.039.

Εκτίμηση ακρίβειας για τα λατομεία της Θάσου

Πίνακας 20: Πίνακας σφαλμάτων για τα λατομεία του νησιού.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	36078	456	36534	98.75	1.25
1	1041	965	2006	48.11	51.89
Column Total	37119	1421	38540		
User's Accuracy (%)	97.20	67.91			
Errors Of Commission (%)	2.80	32.09			
Overall Accuracy (%)	96.12				
Kappa	0.54				
P_f	0.012				



Εικόνα 45: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για τα λατομεία του νησιού.
Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Για τα λατομεία παρατηρούμε ότι έχουμε πάνω από 96% συνολική ακρίβεια, τιμή του P_f 0.012, συντελεστή Kappa 0.54. Οι τιμές της ακρίβειας παραγωγού και χρήστη είναι αντίστοιχα 48% και 68% περίπου πράγμα που δηλώνει υποεκτίμηση της έκτασης των λατομείων από τη μέθοδο. Αυτό ήταν αναμενόμενο αφού η το αποτέλεσμα έχει προέλθει από εικόνα διαφοράς του 1984 και του 2011. Στην εικόνα του 1984 υπήρχε ήδη κάποια μικρή έκταση του λατομείου η οποία φυσικά υπήρχε μέχρι και το 2011 με αποτέλεσμα να μην υπάρχει διαφορά στη συγκεκριμένη περιοχή. Έτσι μέρος των λατομείων δεν κατατάχθηκε στις μεγάλες μειώσεις του NDVI με αποτέλεσμα την υποεκτίμησή τους.

5.2. 2^η ΜΕΘΟΔΟΣ (ΔΙΑΦΟΡΑ NDVI-ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ Z-SCORE)

5.2.1. Μεθοδολογία

Διαφορά Εικόνων Ανα Δύο και Ταξινόμηση των z-score

Η δεύτερη μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι η διαφορά των εικόνων του NDVI ανά 2, μετατροπή του αποτελέσματος σε τυποποιημένες τιμές και αυτόματη ταξινόμησή τους σε έξι κλάσεις με τη βοήθεια του λογισμικού Idrisi Selva.

Τυποποιημένες Τιμές (Standardized Values ή z-scores)

Οι τυποποιημένες τιμές είναι ένα μέτρο σχετικής θέσης και ονομάζονται αλλιώς Z-τιμές (Z-values). Ορίζεται ως τυποποιημένη τιμή ο αριθμός των τυπικών αποκλίσεων κατά τις οποίες μια παρατήρηση βρίσκεται πάνω ή κάτω από το μέσο. Ο γενικός τρόπος υπολογισμού της Z-τιμής ενός συνόλου παρατηρήσεων είναι $Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$ όπου X η συγκεκριμένη παρατήρηση. Για το

δείγμα η τυπική τιμή υπολογίζεται αντικαθιστώντας το μ με \bar{X} και το σ με S. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι Z-τιμές είναι καθαροί αριθμοί (δεν εκφράζονται σε κάποια μονάδα μέτρησης) συνεπώς είναι ιδιαίτερα χρήσιμες όταν θέλουμε να συγκρίνουμε αποδόσεις που έχουν μετρηθεί σε διαφορετικές κλίμακες.

Από τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι μια αρνητική Z-τιμή αποτελεί ένδειξη ότι μια παρατήρηση βρίσκεται κάτω από το μέσο ενώ μια θετική Z-τιμή αποτελεί ένδειξη ότι η αντίστοιχη παρατήρηση είναι μεγαλύτερη από το μέσο (Πανάρετος and Ξεκαλάκη 1997).

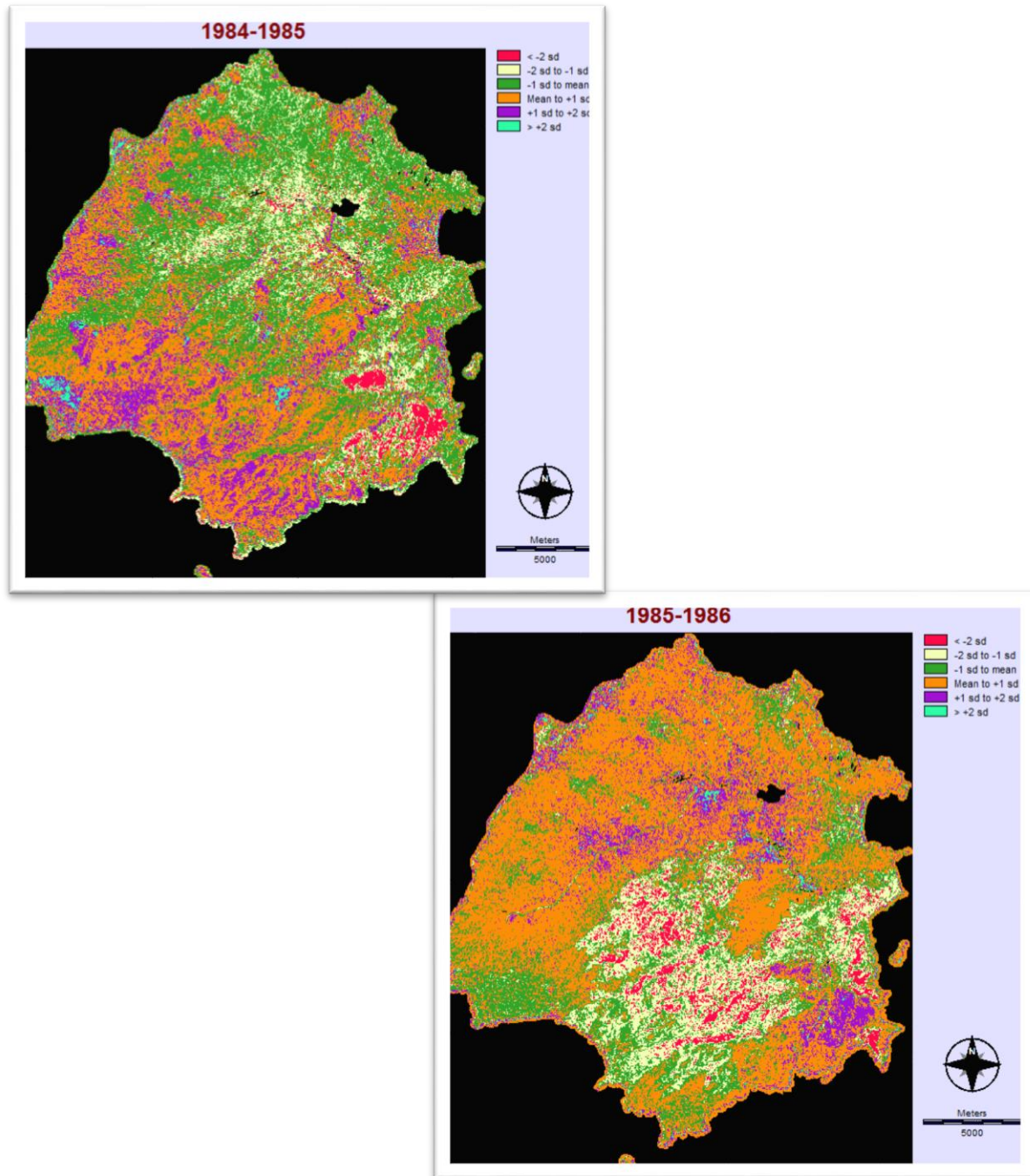
Η κατηγοριοποίηση των τυποποιημένων τιμών χρησιμοποιεί μια διαδικασία κατά την οποία χωρίζονται οι τυποποιημένες τιμές της απλής διαφοράς των εικόνων σε 6 κλάσεις ως εξής:

Πίνακας 21: Κατηγοριοποίηση των τυποποιημένων τιμών της εικόνας διαφοράς σε έξι κλάσεις. Πηγή: Idrisi Selva

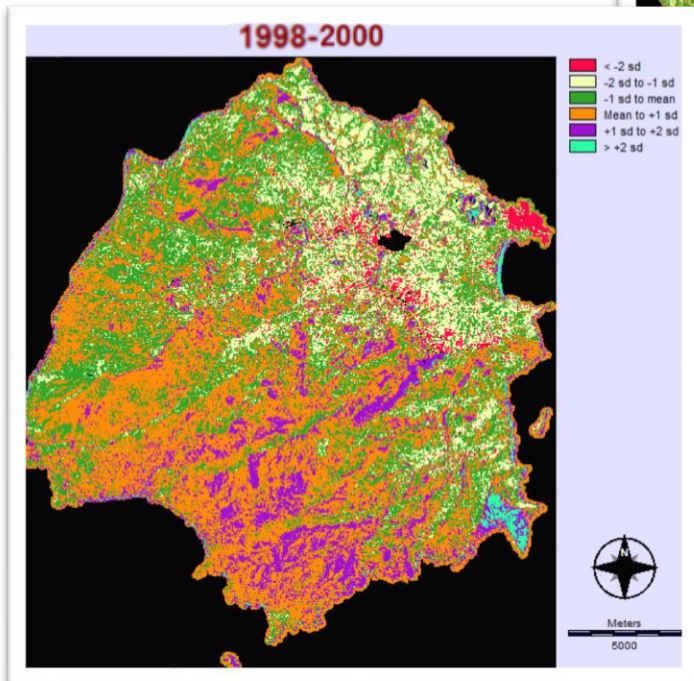
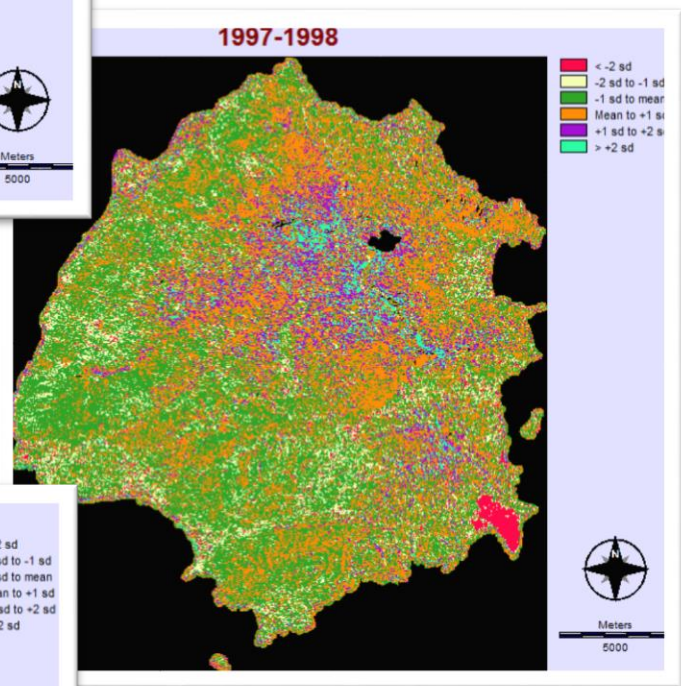
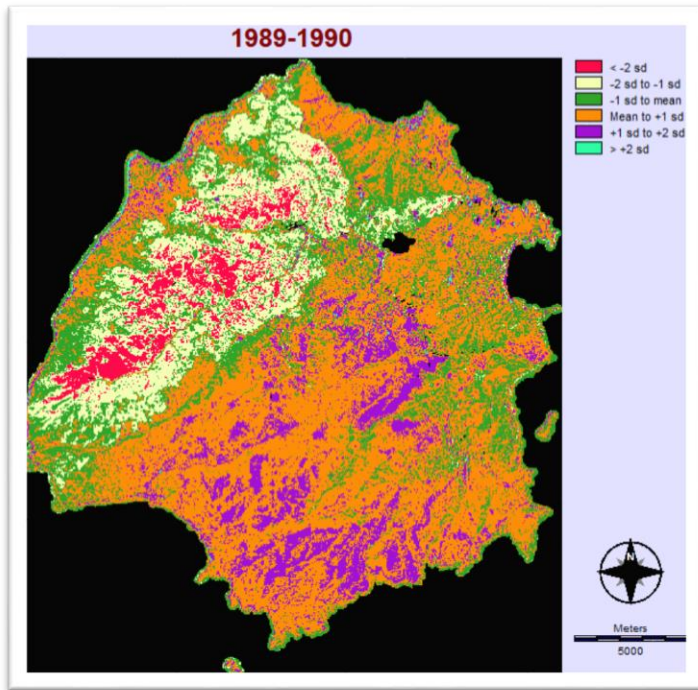
New Value:	To all values from:	To just less than:
1	-999	-2
2	-2	-1
3	-1	0
4	0	1
5	1	2
6	2	999

5.2.2. Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα αυτής της διαδικασίας φαίνονται παρακάτω σε έτη όπου παρατηρούνται πυρκαγιές (με οπτική ερμηνεία) και για έτη που δεν παρατηρούνται μεγάλες αυξήσεις ή μειώσεις του δείκτη NDVI.



Εικόνα 46: Οι χάρτες του αποτελέσματος της διαφοράς των εικόνων με τη 2η μέθοδο για τα έτη 1984-1985 και 1985-1986.



Εικόνα 47: Οι χάρτες του αποτελέσματος της διαφοράς των εικόνων με τη 2^η μέθοδο για τα έτη 1989-1990, 1997-1998 και 1998-2000.

Στη συνέχεια, για να γίνει η μέθοδος συγκρίσιμη με την προηγούμενη ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

θεωρήθηκαν ως μεγάλες αλλαγές οι δύο ακραίες κλάσεις, δηλαδή η μεγάλη μείωση και η μεγάλη αύξηση του NDVI και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στις εικόνες στο Παραρτημα 1 στις εικόνες της μεθόδου των z-score.

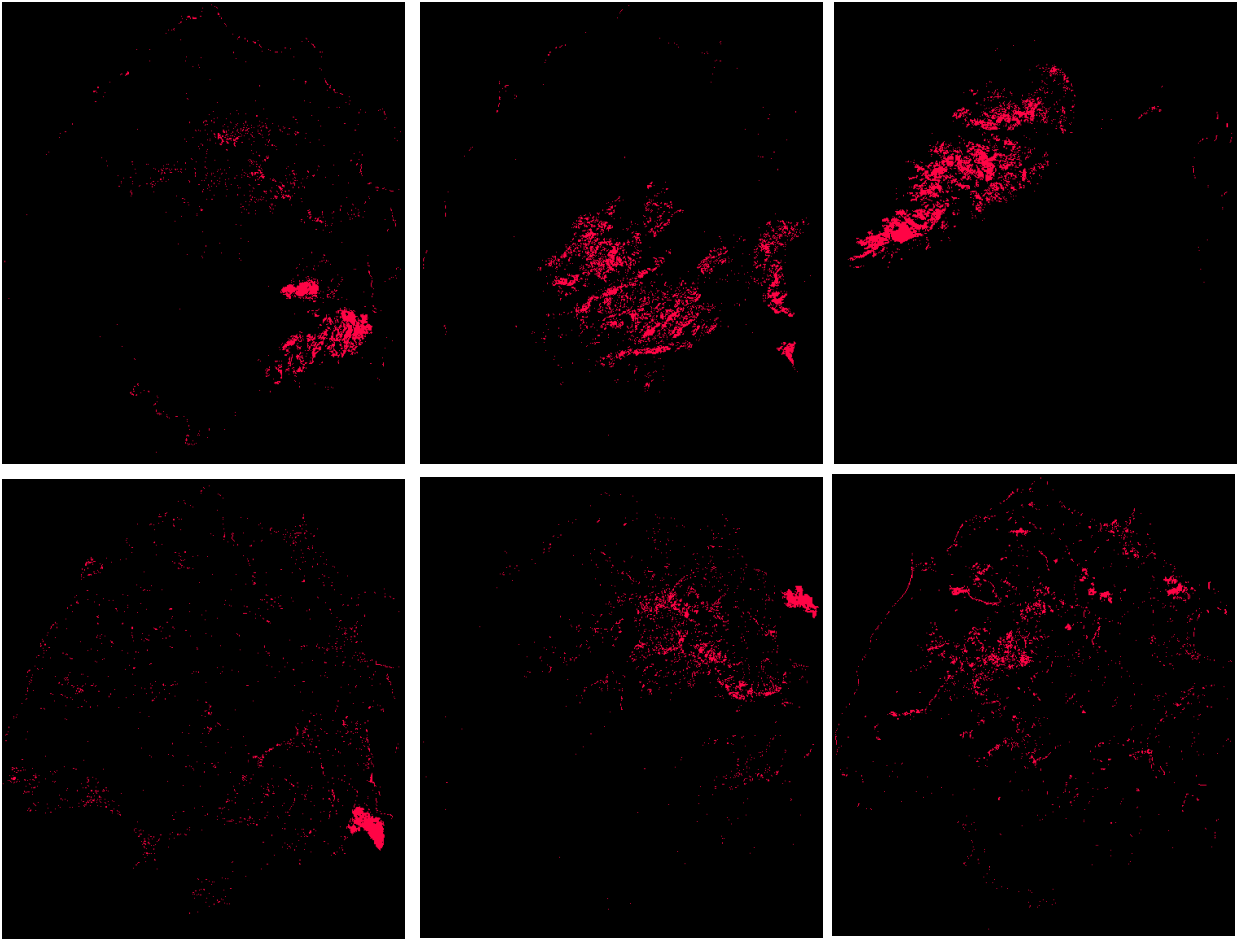
Μετά από οπτική εκτίμηση όπως και στην προηγούμενη μέθοδο, διαπιστώνεται ότι οι έντονες βραχυχρόνιες αλλαγές που παρατηρούνται είναι περιορισμένες. Παρατηρούνται και εδώ σε κάποια έτη εκτεταμένες περιοχές που εμφανίζουν μείωση του NDVI συγκεντρωμένες σε κάποια έκταση του νησιού και όχι διάσπαρτες. Αυτές οι αλλαγές οφείλονται σε πυρκαγιές (σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα και δεδομένα δασαρχείου).

Επίσης παρατηρούνται και στη μέθοδο αυτή μεταβολές στην ακτογραμμή, φαινόμενο φυσιολογικό και αναμενόμενο όπως ήδη αναφέρθηκε, αφού η ακτογραμμή εναλλάσσεται από έτος σε έτος είτε λόγω διάβρωσης, είτε λόγω διαφοροποίησης του βάθους του πυθμένα.

Μικρότερης έκτασης διάσπαρτες αλλαγές που παρατηρούνται οφείλονται σε διακυμάνσεις της βλάστησης είτε λόγω αναγέννησης μετά από φωτιά, είτε λόγω σκιάσεων οι οποίες δεν απομακρύνθηκαν κατά την τοπογραφική διόρθωση είτε, σε κάποιες περιπτώσεις, διαφορετικού μήνα λήψης της εικόνας νωρίτερα ή αργότερα στη θερινή περίοδο. Για μικρότερης κλίμακας αλλαγές δεν υπάρχουν δεδομένα πεδίου ώστε να γίνει η ταυτοποίησή τους.

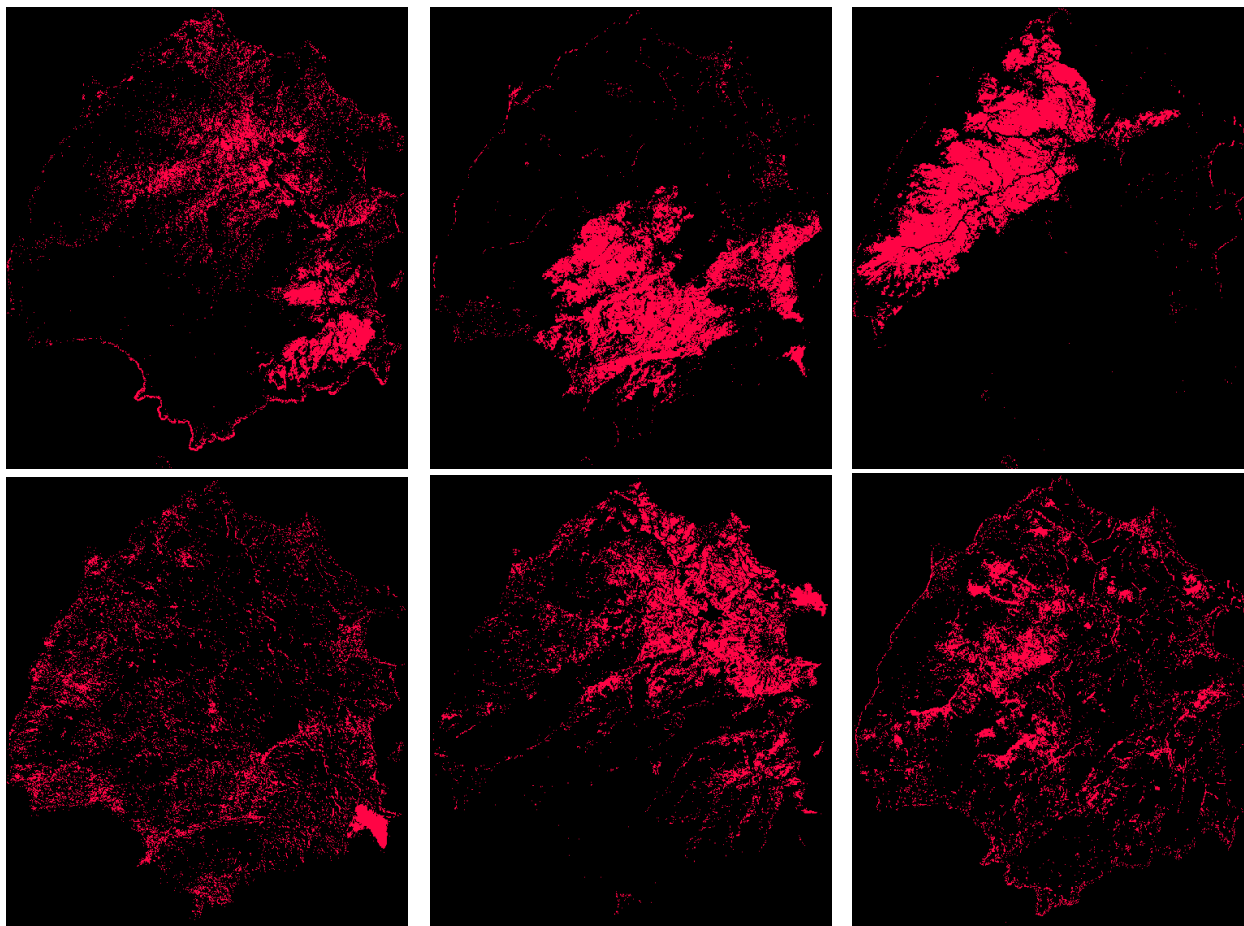
Στην Εικόνα 98 στο Παραρτημα 1 φαίνεται η διαφορά του 1984 και της τελευταίας χρονιάς 2011. Στην εικόνα αυτή φαίνονται οι αλλαγές που συντελέστηκαν από την πρώτη χρονιά της χρονοσειράς στην τελευταία. Παρατηρούμε και εδώ ότι οι περισσότερες αλλαγές είναι μειώσεις και όπως και από τα αποτελέσματα της προηγούμενης μεθόδου πρόκειται για διανοίξεις λατομείων (η διαπίστωση έγινε από βιβλιογραφικά δεδομένα και από οπτική ανάλυση από τα αρχικά δεδομένα αλλά και από δεδομένα από το Κτηματολόγιο). Οι υπόλοιπες αλλαγές που παρατηρούνται μετά την οπτική ανάλυση διαπιστώνεται πως οφείλονται σε διανοίξεις δρόμων, σε δημιουργία εργοταξίων, αλλαγή βλάστησης σε κορυφογραμμές και αλλαγή των δασοορίων/απογύμνωση κορυφών κ.λπ..

Παρακάτω φαίνονται συγκεντρωμένες οι εικόνες των περιοχών όπου εντοπίζονται μεγάλες μειώσεις του NDVI και ερμηνεύονται ως πυρκαγιές ή λατομεία.



Εικόνα 48: Οι εικόνες όπου παρατηρούνται οι πυρκαγιές του 1984, 1985, 1986, 1998, 2000 και τα λατομεία αντίστοιχα, οι μεγάλες, εκτεταμένες μειώσεις του δείκτη NDVI που εντοπίζονται με την δεύτερη μέθοδο επεξεργασίας για την μία ακραία κλάση.

Ωστόσο οφείλεται να παρατηρηθεί πως διαπιστώθηκε ότι εάν, αντί για τις δύο ακραίες κλάσεις κρατήσουμε το άθροισμα των δύο πρώτων και των δύο τελευταίων κλάσεων για τον χαρακτηρισμό των μεγάλων αλλαγών, στις περιπτώσεις των μεγάλων σε έκταση πυρκαγιών έχουμε καλύτερα αποτελέσματα τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω. Ωστόσο περιλαμβάνουν μεγαλύτερο αριθμό αλλαγμένων εικονοστοιχείων διάσπαρτων στις εικόνες πράγμα που οφείλεται και σε μικρότερες διακυμάνσεις του NDVI και μας απομακρύνει από το στόχο του εντοπισμού των μεγάλων μόνο αλλαγών. Στην εικόνα φαίνεται το αποτέλεσμα αυτής της διαφορετικής προσέγγισης για τις εικόνες των μεγάλων αλλαγών για τις οποίες γίνεται και εκτίμηση ακρίβειας.



Εικόνα 49: Οι εικόνες όπου παρατηρούνται οι πυρκαγιές του 1984, 1985, 1986, 1998, 2000 και τα λατομεία αντίστοιχα, οι μεγάλες, εκτεταμένες μειώσεις του δείκτη NDVI που εντοπίζονται με την δεύτερη μέθοδο επεξεργασίας για το άθροισμα της ακραίας κλάσης και της αμέσως επόμενης της.

5.2.3. Εκτίμηση Ακρίβειας 2^{ης} Μεθόδου

Για την αξιολόγηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων αυτών δημιουργήθηκαν πίνακες σφαλμάτων και ως δεδομένα αναφοράς χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια που χρησιμοποιήθηκαν και στην πρώτη μέθοδο σύγκρισης των εικόνων.

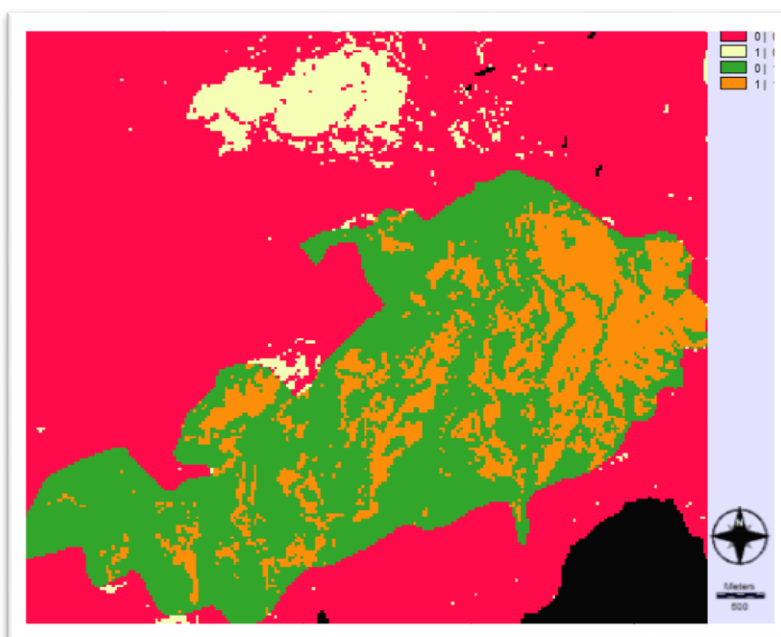
Επίσης, όπως στην προηγούμενη μέθοδο, υπολογίστηκε ο εκτιμητής Kappa καθώς και η πιθανότητα να έχει γίνει λάθος στον χαρακτηρισμό και να έχει χαρακτηριστεί κάποιο εικονοστοιχείο ως καμένο ή ως λατομείο ενώ δεν ήταν (P_i) σύμφωνα με τα δεδομένα αναφοράς.

Τέλος, οι χάρτες ερμηνεύονται κατά τον ίδιο τρόπο. Με κόκκινο χρώμα φαίνεται η περιοχή όπου και η ταξινόμηση και τα δεδομένα αναφοράς συμφωνούν ότι δεν υπάρχει καμένη περιοχή, με ανοιχτό κίτρινο οι περιοχές όπου η ταξινόμηση εντόπισε καμένα εικονοστοιχεία ενώ τα δεδομένα αναφοράς δε συμφωνούν, με πράσινο χρώμα είναι η περιοχή όπου η ταξινόμηση δεν εντόπισε καμένα εικονοστοιχεία ενώ τα δεδομένα αναφοράς δηλώνουν φωτιά και τέλος, με πορτοκαλί χρώμα φαίνεται η περιοχή όπου η ταξινόμηση και τα δεδομένα αναφοράς συμφωνούν ότι υπάρχει καμένη περιοχή. Αντίστοιχα η ίδια ερμηνεία ισχύει και για τους χάρτες όπου έχουμε λατομεία.

Εκτίμηση ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1989 από τις ακραίες κλάσεις

Πίνακας 22: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	27641	2192	29833	92.65	7.35
1	12178	5622	17800	31.58	68.42
Column Total	39819	7814	47633		
User's Accuracy (%)	69.42	71.95			
Errors Of Commission (%)	30.58	28.05			
Overall Accuracy (%)	69.83				
Kappa	0.27				
P _f	0.066				



Εικόνα 50: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.

Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Εδώ φαίνεται ο πίνακας και ο χάρτης εκτίμησης της ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984 όπως απεικονίζεται από την δεύτερη μέθοδο. Για την ύπαρξη πυρκαγιάς παρατηρείται υψηλή ακρίβεια χρήστη (71.95%) και χαμηλή ακρίβεια παραγωγού (31.58%) πράγμα που σημαίνει πως η μέθοδος υποεκτιμά την έκταση της πυρκαγιάς. Όπως και στην πρώτη μέθοδο αυτό το αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο αφού τα δεδομένα αναφοράς ήταν αρκετά αδρομερή. Ωστόσο, η πιθανότητα λάθους P_f είναι 0.066 και η συνολική ακρίβεια 69.83%.

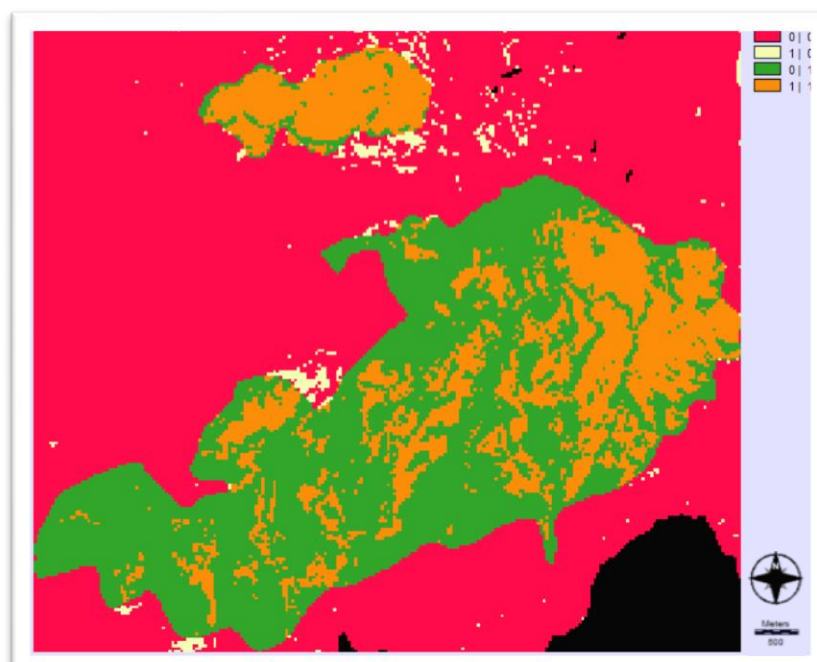
Επίσης παρατηρήθηκε, όπως και στην προηγούμενη μέθοδο, πως η περιοχή η οποία φέρεται ως καμένη από τη μέθοδο ενώ δεν υπάρχει συμφωνία με τα δεδομένα αναφοράς είναι όντως καμένη μετά από φωτοερμηνεία των αρχικών δεδομένων και έτσι τα διορθωμένα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

Εκτίμηση ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1989 από τις ακραίες κλάσεις, με την επιπλέον ψηφιοποιημένη επιφάνεια

Πίνακας 23: Πίνακας σφαλμάτων για τη φωτιά του 1984 με τη μέθοδο z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις 2 ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα, με την επιπλέον ψηφιοποιημένη καμένη επιφάνεια.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	27355	658	28013	97.65	2.35
1	12464	7156	19620	36.47	63.53
Column Total	39819	7814	47633		
User's Accuracy (%)	68.70	91.58			
Errors Of Commission (%)	31.30	8.42			
Overall Accuracy (%)	72.45				
Kappa	0.38				
P _f	0.019				

Η συνολική ακρίβεια αυξάνεται σε 73% περίπου, ο εκτιμητής P_f μειώνεται σε 0.019 όμως παραμένει η υποεκτίμηση της μεθόδου με ακρίβεια παραγωγού 37% περίπου ενώ ακρίβεια χρήστη λιγότερο από 92%.



Εικόνα 51: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα, με την επιπλέον ψηφιοποιημένη καμένη επιφάνεια.

Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

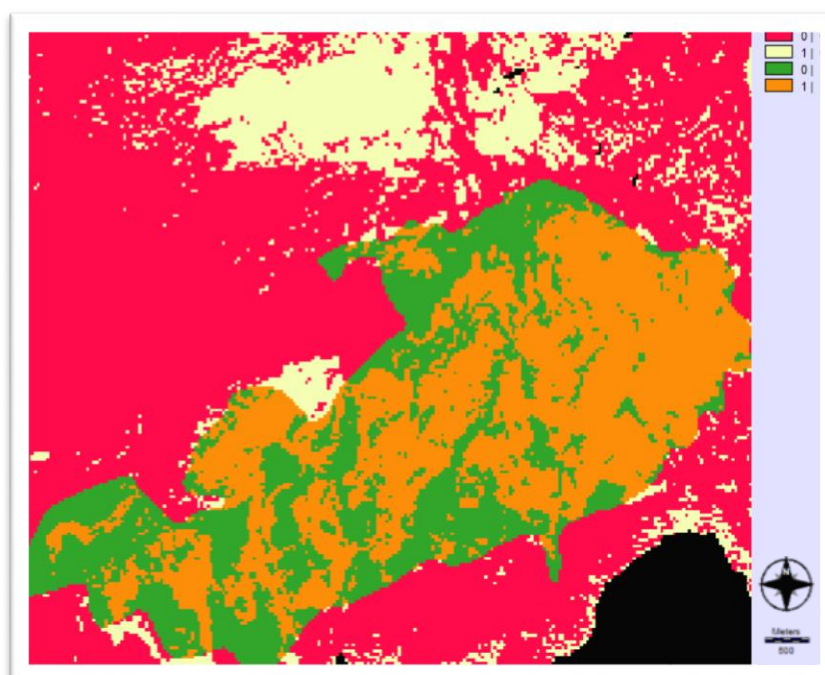
Ωστόσο κατά τη μέθοδο αυτή τα αποτελέσματά ήταν σε έξι κλάσεις οι από τις οποίες συμπτύχθηκαν οι 4 μεσαίες έτσι ώστε να καταλήξουμε με 3 κλάσεις, μια μεγάλων μειώσεων, μία μεγάλων αυξήσεων και μία μεσαία όπου δεν υπάρχουν μεγάλες αυξήσεις ή μειώσεις έτσι ώστε οι δύο μέθοδοι να είναι συγκρίσιμες.

Εκτίμηση ακρίβειας για τη πυρκαγιά του 1984 από το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα

Παρατηρήθηκε πως αν γινόταν με διαφορετικό τρόπο η σύμπτυξη των κλάσεων, δηλαδή ανά 2, οι δύο πρώτες κλάσεις για τις μεγάλες μειώσεις, οι δύο μεσαίες για τις μη αλλαγές και οι δύο τελευταίες για τις μεγάλες αυξήσεις τα αποτελέσματα θα διαμορφώνονταν ως εξής:

Πίνακας 24: Πίνακας σφαλμάτων για τη φωτιά του 1984 με τη μέθοδο z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	23618	6215	29833	79.17	20.83
1	7507	10293	17800	57.83	42.17
Column Total	31125	16508	47633		
User's Accuracy (%)	75.88	62.35			
Errors Of Commission (%)	24.12	37.65			
Overall Accuracy (%)	71.19				
Kappa	0.38				
P _f	0.183				



Εικόνα 52: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.

Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

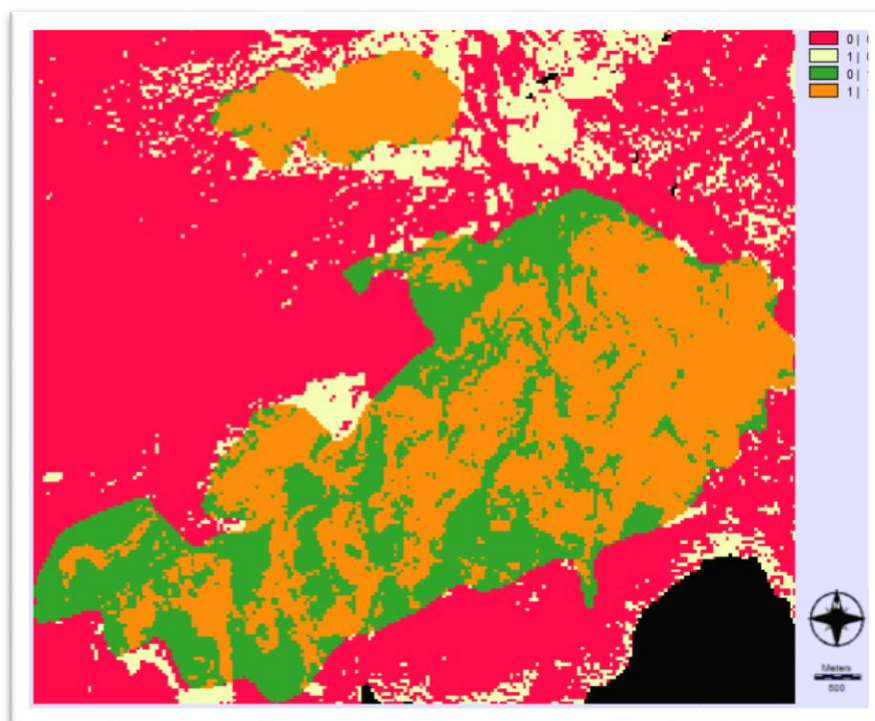
Χωρίς να προσθέσουμε την επιπλέον καμένη περιοχή που εντοπίστηκε και διαπιστώθηκε με φωτοερμηνεία θα έχουμε 58% και 62% περίπου ακρίβεια παραγωγού και χρήστη αντίστοιχα που είναι αρκετά κοντά για να θεωρήσουμε πως η μέθοδος δίνει αρκετά καλά αποτελέσματα. Συνολική ακρίβεια πάνω από 71%, συντελεστή Kappa 0.38 και P_f ίσο με 0.183.

Εκτίμηση ακρίβειας για τη πυρκαγιά του 1984 από το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα, με την επιπλέον ψηφιοποιημένη καμένη επιφάνεια

Εάν προστεθεί και η επιπλέον καμένη περιοχή τα αποτελέσματα διαμορφώνονται ως εξής:

Πίνακας 25: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI, με την επιπλέον ψηφιοποιημένη καμένη επιφάνεια.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	23529	4484	28013	83.99	16.01
1	7596	12024	19620	61.28	38.72
Column Total	31125	16508	47633		
User's Accuracy (%)	75.60	72.84			
Errors Of Commission (%)	24.40	27.16			
Overall Accuracy (%)	74.64				
Kappa	0.47				
P_f	0.126				



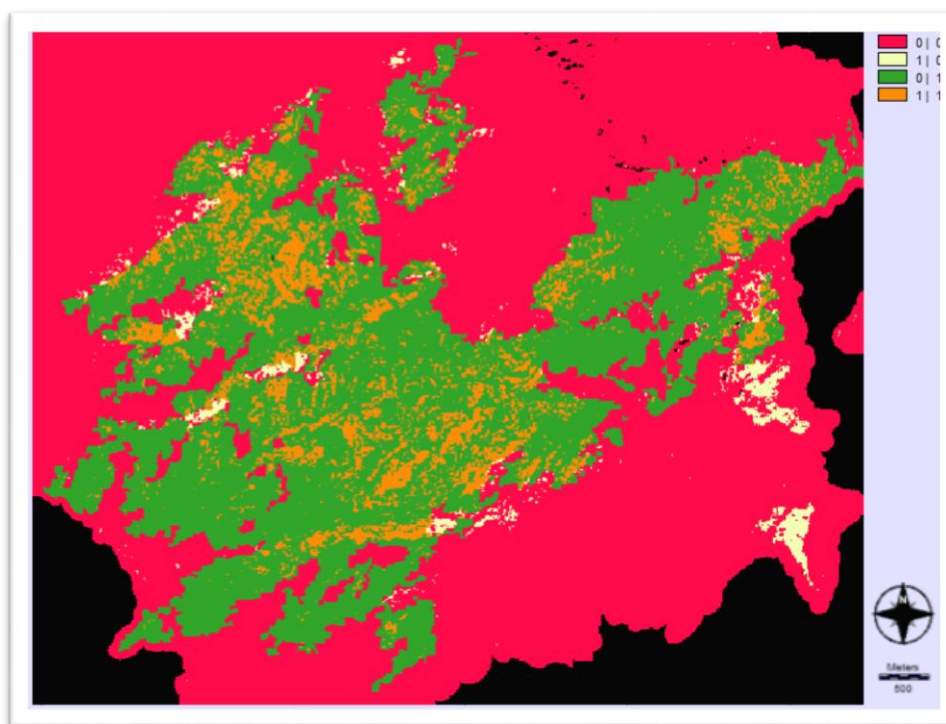
Εικόνα 53: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1984 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI, με την επιπλέον ψηφιοποιημένη καμένη επιφάνεια. Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Η συνολική ακρίβεια αυξάνεται σε 75% περίπου, ο συντελεστής Kappa αυξάνεται σε 0.47 και ο εκτιμητής P_f μειώνεται σε 0.126.

Εκτίμηση ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1985 από τις ακραίες κλάσεις

Πίνακας 26: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1985 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	138520	3759	142279	97.36	2.64
1	75085	16208	91293	17.75	82.25
Column Total	213605	19967	233572		
User's Accuracy (%)	64.85	81.17			
Errors Of Commission (%)	35.15	18.83			
Overall Accuracy (%)	66.24				
Kappa	0.18				
P_f	0.024				



Εικόνα 54: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1985 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα. Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Για την πυρκαγιά του 1985 τα αποτελέσματα είναι περίπου ίδια με την πυρκαγιά του 1984, με τη μέθοδο να υποεκτιμά την φωτιά όπως φαίνεται από τον Πίνακα 26 και τη συνολική ακρίβεια 66% περίπου, τον συντελεστή Kappa 0.18 και τον εκτιμητή P_f 0.024.

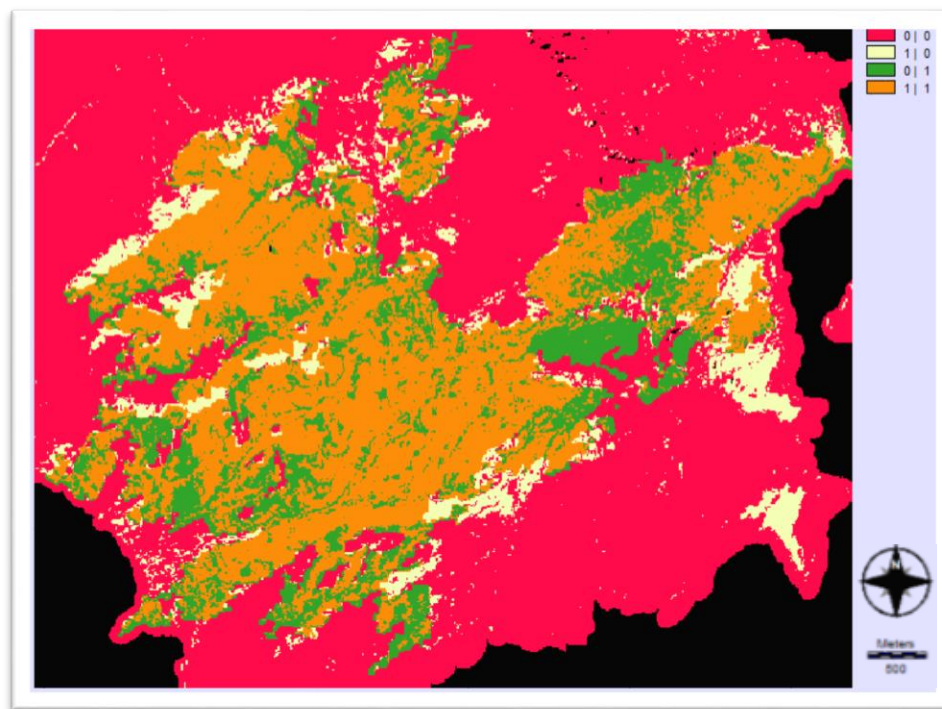
Όπως και παραπάνω με διαφορετική διαχείριση των κλάσεων, προσθέτοντας δηλαδή την 1^η κλάση που αντιπροσωπεύει τις μεγάλες αλλαγές και τη 2^η κλάση, τα αποτελέσματα διαμορφώνονται ως εξής:

Εκτίμηση ακρίβειας για τη πυρκαγιά του 1985 από το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα

Πίνακας 27: Πίνακας σφαλμάτων για τη φωτιά του 1985 με τη μέθοδο z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	126122	16157	142279	88.64	11.36
1	29463	60830	90293	67.37	32.63
Column Total	155585	76987	232572		
User's Accuracy (%)	81.06	79.01			
Errors Of Commission (%)	18.94	20.99			
Overall Accuracy (%)	80.38				
Kappa	0.58				
P _f	0.086				

Παρατηρούμε ότι η ακρίβεια παραγωγού και η ακρίβεια χρήστη είναι αρκετά κοντά δηλώνοντας πως η μέθοδος υποεκτιμά ελαφρώς την έκταση της πυρκαγιάς με ακρίβεια πάνω από 80%, Kappa 0.58 και πιθανότητα λάθους πολύ χαμηλή ίση με 0.086.



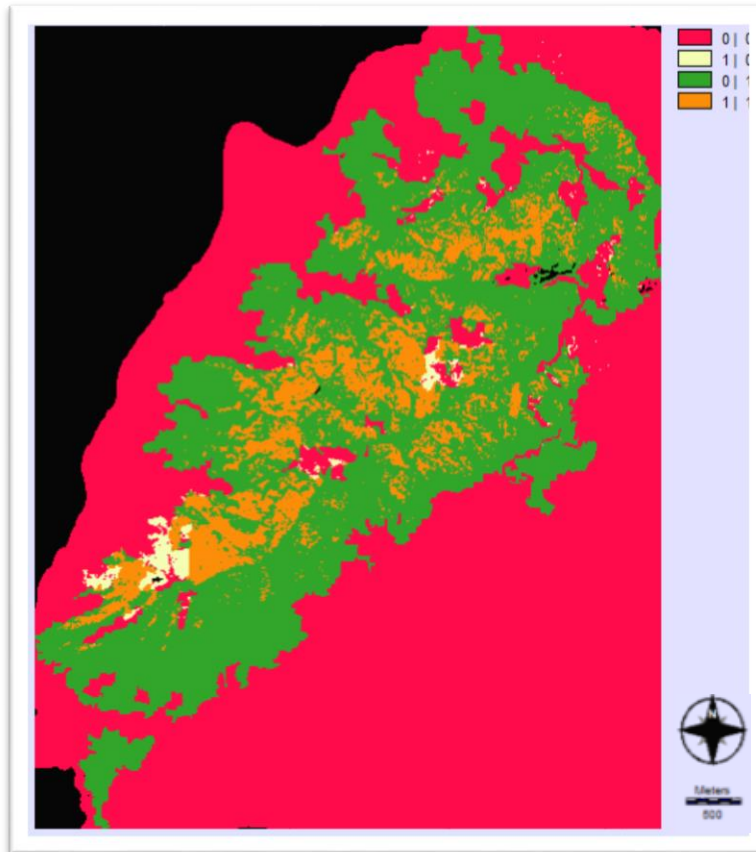
Εικόνα 55: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1985 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.

Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Εκτίμηση ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1989 από τις ακραίες κλάσεις

Πίνακας 28: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1989 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	137197	1926	139123	98.62	1.38
1	76023	18684	94707	19.73	80.27
Column Total	213220	20610	233830		
User's Accuracy (%)	64.35	90.66			
Errors Of Commission (%)	35.65	9.34			
Overall Accuracy (%)	66.66				
Kappa	0.21				
P _f	0.012				



Εικόνα 56: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1989 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.

Υπόμνημα: 1^η στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, 2^η στήλη: δεδομένα αναφοράς.

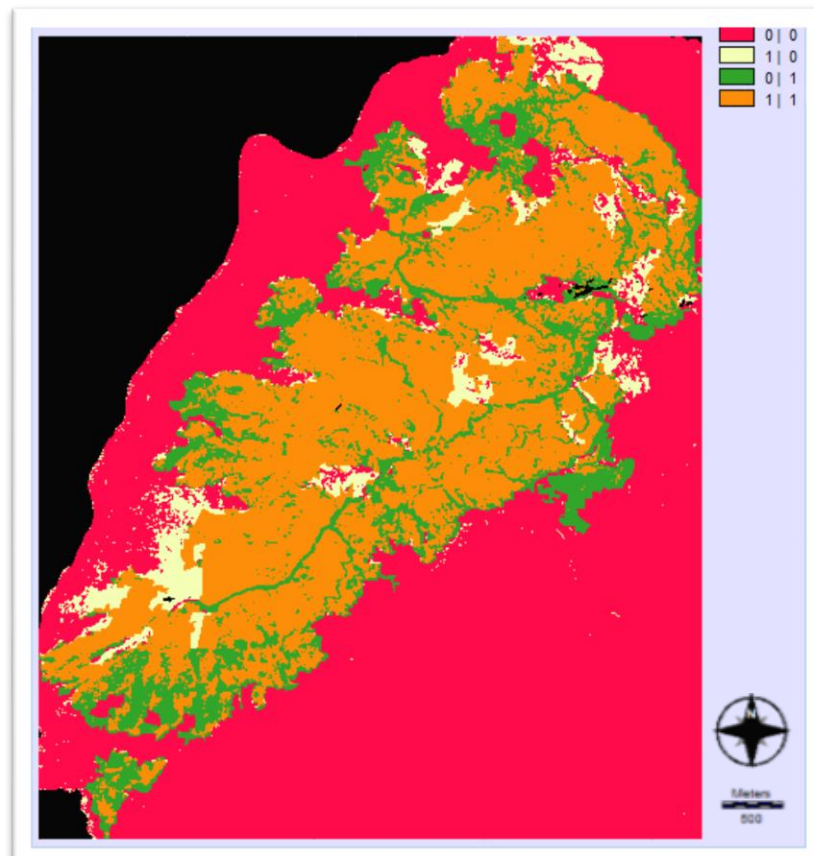
Συνεχίζοντας και στην περίπτωση αυτή, παρατηρείται πως τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με τη μέθοδο να υποεκτιμά κατά πολύ την πυρκαγιά και μάλιστα παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη η έκταση της φωτιάς τόσο μεγαλύτερη και η υποεκτίμηση. Προσθέτοντας όμως και

την επόμενη κλάση τα αποτελέσματα διαμορφώνονται τελείως διαφορετικά και παρουσιάζονται παρακάτω:

Εκτίμηση ακρίβειας για τη πυρκαγιά του 1984 από το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα

Πίνακας 29: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 1989 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	129091	10032	139123	92.79	7.21
1	26833	67874	94707	71.67	28.33
Column Total	155924	77906	233830		
User's Accuracy (%)	82.79	87.12			
Errors Of Commission (%)	17.21	12.88			
Overall Accuracy (%)	84.23				
Kappa	0.66				
P _f	0.051				



Εικόνα 57: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 1989 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.
Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

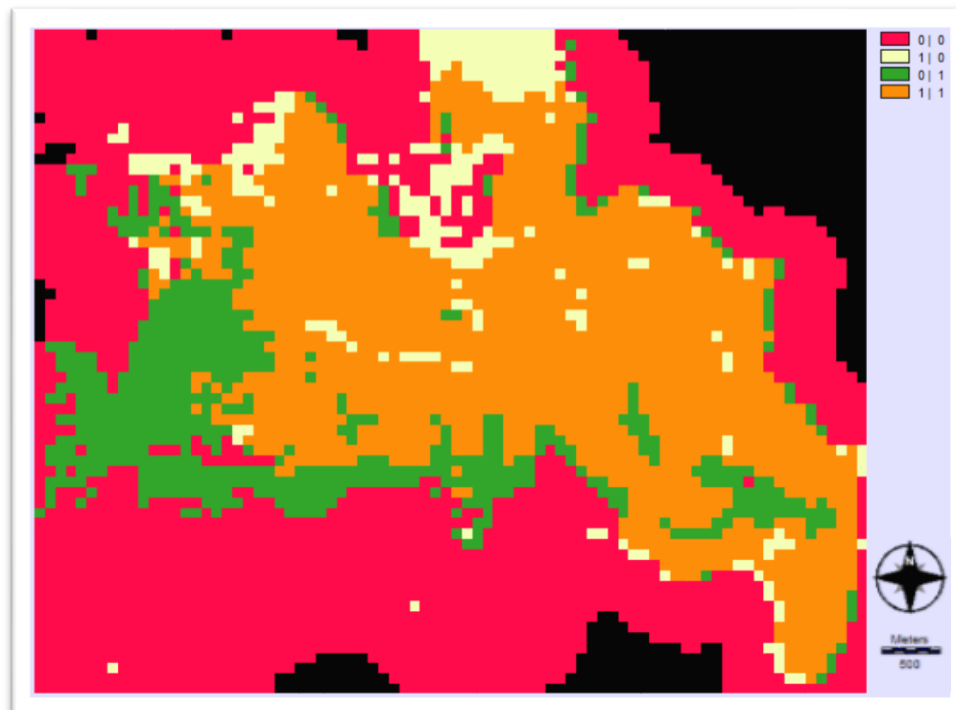
Με τον τρόπο αυτό παρατηρείται πως η μέθοδος υποεκτιμά ελαφρώς την πυρκαγιά και μάλιστα από την Εικόνα 90 γίνεται φανερό πως η υποεκτίμηση περιορίζεται κυρίως στη περίμετρο της, πράγμα που ερμηνεύεται εφόσον στην περίμετρο η πυρκαγιά δεν έχει τόσο μεγάλη ένταση και η μείωση του NDVI δεν είναι τόσο έντονη.

Έχουμε λοιπόν ακρίβεια παραγωγού 72% περίπου ενώ ακρίβεια χρήστη 87%, συνολική ακρίβεια για την πυρκαγιά του 1989 πάνω από 84%, συντελεστή Kappa ίσο με 0.66 και P_f ίσο με 0.051.

Εκτίμηση ακρίβειας για την πυρκαγιά του 2000 από τις ακραίες κλάσεις

Πίνακας 30: Πίνακας σφαλμάτων για την πυρκαγιά του 2000 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	2151	272	2423	88.77	11.23
1	603	1578	2181	72.35	27.65
Column Total	2754	1850	4604		
User's Accuracy (%)	78.10	85.30			
Errors Of Commission (%)	21.90	14.70			
Overall Accuracy (%)	80.99				
Kappa	0.62				
P_f	0.072				



Εικόνα 58: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 2000 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα. Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

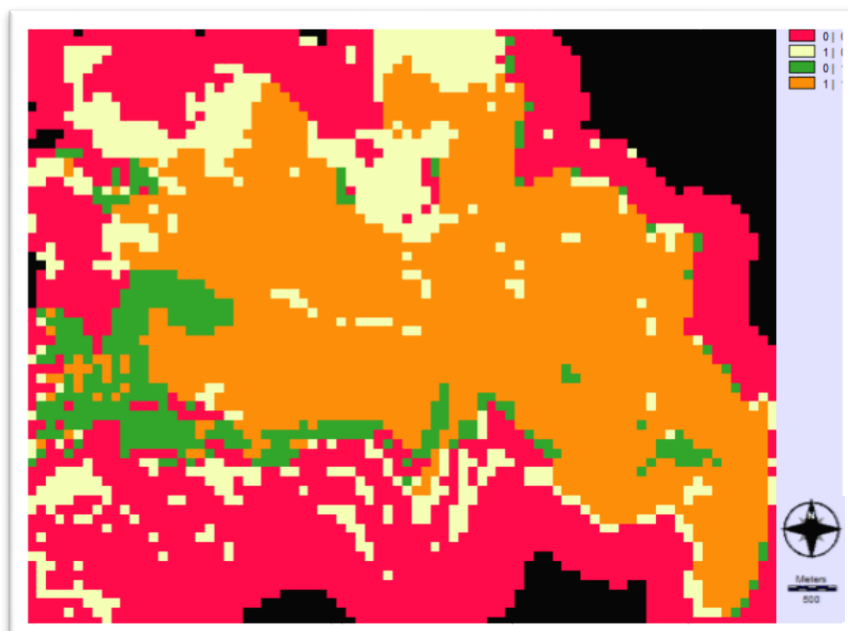
Για την φωτιά του 2000 τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά από ότι στις προηγούμενες περιπτώσεις. Η μέθοδος με ακρίβεια παραγωγού 72% και ακρίβεια χρήστη 85% υποεκτιμά ελαφρώς την πυρκαγιά (και μάλιστα παρατηρείται πως τα σημεία όπου η μέθοδος δεν εντοπίζει καμένη περιοχή ενώ τα δεδομένα αναφοράς δηλώνουν το αντίθετο (με πράσινο χρώμα) είναι περίπου τα ίδια με την προηγούμενη μέθοδο). Η συνολική ακρίβεια είναι αρκετά μεγάλη 81%, ο συντελεστής Kappa ίσος με 0.62 και το P_f ίσο με 0.072.

Ωστόσο για να διαπιστώσουμε αν έχει την ίδια συμπεριφορά η μέθοδος σε αυτή την μικρού μεγέθους πυρκαγιά προσθέτουμε στην 1^η κλάση και τη 2^η όπως και προηγουμένως και έχουμε:

Εκτίμηση ακρίβειας για την πυρκαγιά του 2000 από το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα

Πίνακας 31: Πίνακας σφαλμάτων για τη φωτιά του 2000 με τη μέθοδο z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	1774	649	2423	73.22	26.79
1	337	1844	2181	84.55	15.45
Column Total	2111	2493	4604		
User's Accuracy (%)	84.04	73.97			
Errors Of Commission (%)	15.96	26.03			
Overall Accuracy (%)	78.58				
Kappa	0.57				
P_f	0.179				



Εικόνα 59: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για την πυρκαγιά του 2000 με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.

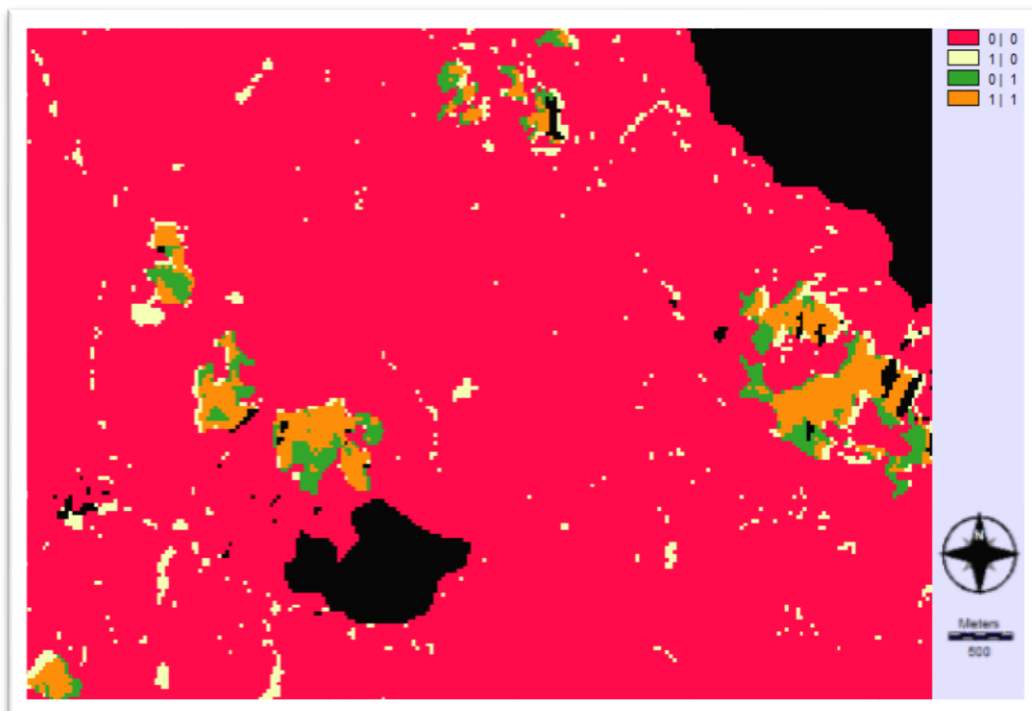
Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Παρατηρείται λοιπόν υπερεκτίμηση της φωτιάς με ακρίβεια παραγωγού 85% ενώ ακρίβεια χρήστη 74% περίπου, μείωση της συνολικής ακρίβειας σε 78.58%, μείωση του συντελεστή Kappa σε 0.57 και αύξηση της πιθανότητας σφάλματος P_f σε 0.179.

Εκτίμηση ακρίβειας για τα λατομεία από τις ακραίες κλάσεις

Πίνακας 32: Πίνακας σφαλμάτων για τα λατομεία του νησιού με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	35417	1117	36534	96.94	3.06
1	788	1218	2006	60.72	39.28
Column Total	36205	2335	38540		
User's Accuracy (%)	97.82	52.16			
Errors Of Commission (%)	2.18	47.84			
Overall Accuracy (%)	95.06				
Kappa	0.54				
P_f	0.030				



Εικόνα 60: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για τα λατομεία του νησιού με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές τις δύο ακραίες κλάσεις για μείωση ή αύξηση του NDVI αντίστοιχα. Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

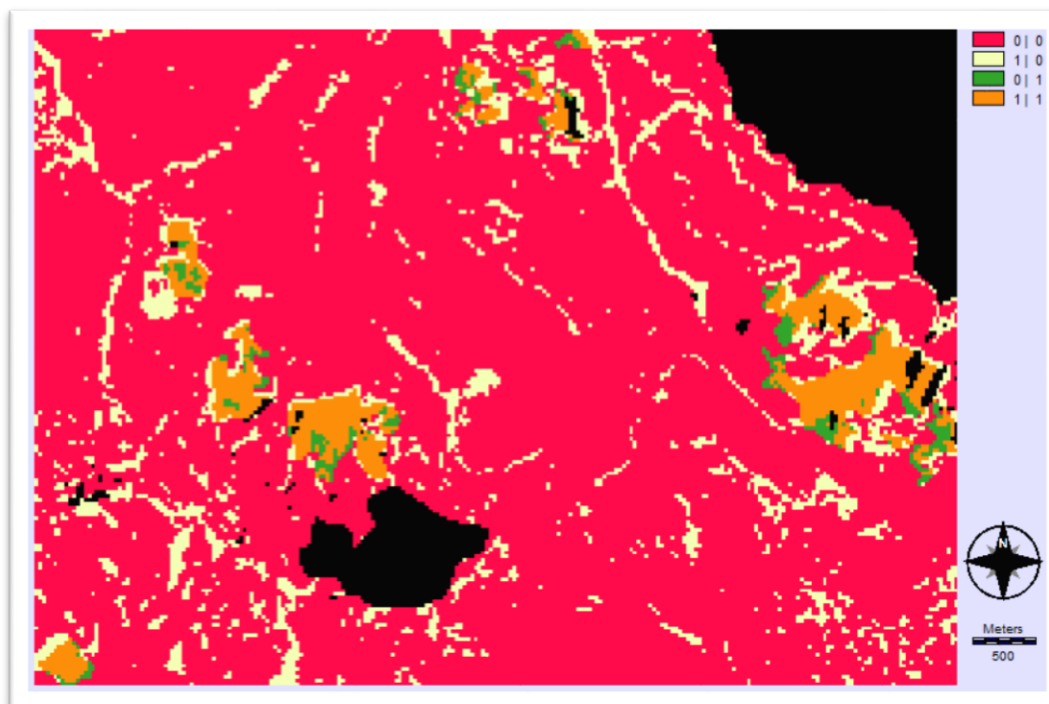
Όσον αφορά τις μακροχρόνιες αλλαγές και ειδικότερα τα λατομεία για τα οποία υπάρχουν δεδομένα αναφοράς παρατηρούμε ότι η μέθοδος έχει αρκετά καλά αποτελέσματα με ελαφριά υπερεκτίμηση του αποτελέσματος με ακρίβεια παραγωγού περίπου 61% και ακρίβεια χρήστη 52%, συνολική ακρίβεια 95%, συντελεστή Kappa 0.54 και τιμή του εκτιμητή P_f ίση με 0.030.

Για να διαπιστώσουμε όμως ότι αυτά είναι τα καλύτερα αποτελέσματα που μπορούμε να έχουμε και αφού παραπάνω προσθέταμε και τη δεύτερη κλάση ακολουθήθηκε και σε αυτή την περίπτωση η ίδια διαδικασία και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω:

Εκτίμηση ακρίβειας για τα λατομεία από το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα

Πίνακας 33: Πίνακας σφαλμάτων για τα λατομεία με τη μέθοδο των z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	32647	3887	36534	89.36	10.63
1	436	1570	2006	78.27	21.74
Column Total	33083	5457	38540		
User's Accuracy (%)	98.68	28.77			
Errors Of Commission (%)	1.32	71.23			
Overall Accuracy (%)	88.78				
Kappa	0.37				
P _f	0.114				



Εικόνα 61: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για τα λατομεία με τη μέθοδο z-score θεωρώντας ως μεγάλες αλλαγές το άθροισμα της ακραίας κλάσης με την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα για αύξηση ή μείωση του NDVI. Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Παρατηρείται λοιπόν υπερεκτίμηση των λατομείων με ακρίβεια παραγωγού 78% ενώ ακρίβεια χρήστη 71%, μείωση της συνολικής ακρίβειας σε 88.78%, μείωση του συντελεστή Kappa σε 0.37 και αύξηση της πιθανότητας σφάλματος P_f σε 0.114.

5.3. ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύθηκαν οι δύο μεθοδολογίες που ακολουθήθηκαν για την ανίχνευση των αλλαγών χρησιμοποιώντας ζεύγη εικόνων στη χρονοσειρά των δεδομένων.

- ✓ Κοινό στοιχείο των δύο μεθόδων αποτελεί η διαφορά του δείκτη NDVI σε διαδοχικά ζεύγη εικόνων αλλά και του ζεύγους της πρώτης και της τελευταίας εικόνας ως πρώτο στάδιο.
- ✓ Στη συνέχεια, στην πρώτη μέθοδο χρησιμοποιείται η μέθοδος καταφλίωσης του Karim από όπου εξάγεται μία εικόνα με 3 κατηγορίες: των μεγάλων αυξήσεων, των μη αλλαγών και των μεγάλων μειώσεων.
- ✓ Στη δεύτερη μέθοδο μετατρέπεται η διαφορά του NDVI σε τυποποιημένες τιμές z-score και γίνεται αυτόματη κατάταξή τους σε έξι κλάσεις. Στη συνέχεια, για να γίνουν συγκρίσιμα τα αποτελέσματα, σε 1^ο στάδιο θεωρείται η πρώτη κλάση ως μεγάλες αυξήσεις, οι 4 επόμενες ως μη αλλαγές και η τελευταία κλάση ως μεγάλες μειώσεις, ενώ σε 2^ο στάδιο ο διαχωρισμός γίνεται ως εξής: θεωρούνται οι δύο πρώτες κλάσεις ως μεγάλες αυξήσεις, οι δύο επόμενες ως μη αλλαγές και οι δύο τελευταίες ως μεγάλες μειώσεις.
- ✓ Με τον τρόπο αυτό εντοπίζονται οι ραγδαίες/απότομες αλλαγές στα ζεύγη της χρονοσειράς.
- ✓ Σημαντικό χαρακτηριστικό και των δύο μεθόδων, αποτελεί το γεγονός ότι δεν απαιτείται εισαγωγή παραμέτρων από το χρήστη, πράγμα που κάνει τις μεθόδους αντικειμενικές και δεν περιορίζει την εφαρμογή τους, εφόσον υπάρχουν διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα.
- ✓ Στη συνέχεια, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η εκτίμηση της ακρίβειας για τις πυρκαγιές και τα λατομεία, αφού αυτές ήταν αλλαγές που εντοπίστηκαν και για τις οποίες είχαμε δεδομένα αναφοράς.
- ✓ Τα ποσοστά ακρίβειας είναι αρκετά ικανοποιητικά. Ωστόσο στο κεφάλαιο 7 θα γίνει η σύγκρισή τους έτσι ώστε να φανεί αν κάποια από τις δύο μεθόδους υπερτερεί στατιστικά σημαντικά ή όχι.

6. ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΟΛΟΚΛΗΡΗ ΤΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του συνόλου της χρονοσειράς του δείκτη NDVI.

- Αρχικά, παρουσιάζεται και γίνεται εφαρμογή του στατιστικού ελέγχου Mann-Kendall για την ανίχνευση των τάσεων σε ολόκληρη χρονοσειρά και γίνεται εκτίμηση της ακρίβειας.
- Ακόμα, παρουσιάζεται η αλλαγή κάλυψης γης στις περιοχές που παρατηρείται στατιστικά σημαντική θετική (αυξητική) τάση με τη βοήθεια του ελέγχου Mann Kendall, σύμφωνα με τα δύο land cover του WWF για τα έτη 1987 και 2007
- Τέλος, εξάγονται χρονικά προφίλ σε διάφορες περιοχές του νησιού και με τον τρόπο αυτό φαίνεται η εξέλιξη της βλάστησης της εκάστοτε περιοχής.

6.1. MANN-KENDALL

Τα περιβαλλοντικά δεδομένα, παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες που δυσχεραίνουν τη στατιστική τους ανάλυση και την εξαγωγή ουσιαστών και αξιόπιστων συμπερασμάτων με τις κλασσικές στατιστικές μεθόδους (έλεγχοι υποθέσεων με προαπαιτούμενη γνώση της κατανομής, μοντέλα χρονολογικών σειρών κ.λπ.). Το γεγονός αυτό οφείλεται σε τιμές που λείπουν, σε ακραίες τιμές και στις τιμές των ορίων που δεν ανιχνεύονται πάντα με ακρίβεια. Τα παραπάνω προβλήματα είναι ιδιαίτερα συχνά στα περιβαλλοντικά δεδομένα εξ' αιτίας της δυσκολίας που παρουσιάζει η μέτρηση και συλλογή τους, και οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως, η ευαισθησία των μηχανημάτων μέτρησης, η ασυνέχεια στις μετρήσεις λόγω βλαβών κ.λπ..

Η απαίτηση για την εφαρμογή νέων τεχνικών οδήγησε σε προτάσεις νέων μεθόδων ή προσαρμογές παλαιότερων που βασίζονται κυρίως σε μη παραμετρικές μεθόδους οι οποίες είναι οι κατάλληλες να εφαρμόζονται και σε μικρά σετ δεδομένων (π.χ. μικρές χρονοσειρές δορυφορικών εικόνων) οδηγώντας σε αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι τεχνικές αυτές είναι πρακτικές, εύκολα εφαρμόσιμες καθώς δεν απαιτούν τη γνώση της συγκεκριμένης κατανομής των δεδομένων. Επίσης δεν επηρεάζονται από τα συνήθη κενά των μετρήσεων (missing values), λάθος μετρήσεις και ακραίες τιμές που πολύ συχνά εμφανίζονται. Ένας στατιστικός έλεγχος που εφαρμόζεται συχνά είναι ο έλεγχος Mann-Kendall.

6.1.1. Έλεγχος Mann-Kendall Για Την Εύρεση Της Τάσης

Ο έλεγχος είναι μεταξύ της ισχύς της μηδενικής υπόθεσης H_0 και της εναλλακτικής της H_1 όπως παρακάτω:

H_0 : οι παρατηρήσεις είναι τυχαία κατανομημένες στο χρόνο

H_1 : υπάρχει τάση στα δεδομένα (αύξουσα ή φθίνουσα)

Η ανάλυση των τάσεων Mann-Kendall χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο για την ανίχνευση τάσεων των δεδομένων χρονοσειρών (Cao et al. 2011; de Jong et al. 2011; Gao et al. 2012; Li and Guo 2012). Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της στατιστικής Mann-Kendall είναι ότι

επηρεάζεται λιγότερο από ακραίες τιμές (Neeti and Eastman 2011; Neeti et al. 2012). Σε σύγκριση με τη συμβατική ανάλυση παλινδρόμησης, η στατιστική Mann-Kendall είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για μικρά μεγέθη δείγματος (S. Yue and Wang 2004). Όλες οι τιμές των συνδυασμών ανά ζεύγη των τιμών διαχρονικά αξιολογούνται σε κάθε εικονοστοιχείο και γίνεται μια καταμέτρησή τους αν αυξάνονται ή μειώνονται στο χρόνο. Η στατιστική Mann-Kendall είναι απλά η σχετική συχνότητα των αυξήσεων μείον τη σχετική συχνότητα των μειώσεων των τάσεων.

Η εξίσωση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της τάσης Mann Kendall (S) είναι η εξής:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sig } n(x_i - x_j)$$

και

$$\text{sig } n(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{εάν } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{εάν } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{εάν } (x_i - x_j) < 0 \end{cases}$$

όπου n είναι το μήκος των δεδομένων χρονοσειρών, x_i και x_j είναι οι παρατηρήσεις κατά τη στιγμή i και j αντίστοιχα.

Στην τάση Mann-Kendall, η εξαρτημένη μεταβλητή είναι η σειρά των δεδομένων είναι και ο χρόνος είναι η ανεξάρτητη μεταβλητή. Όταν η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι κάτι άλλο εκτός από το χρόνο, η στατιστική είναι γνωστή ως Mann-Kendall tau. Ο συντελεστής Mann-Kendall tau (τ), επίσης γνωστός ως συντελεστής συσχέτισης Kendall (Kendall 1938; Mann 1945; Kendall 1962; Eastman et al. 2013). Είναι μια μη-παραμετρική μέθοδος για τον έλεγχο της στατιστικής εξάρτησης των παρατηρήσεων από δύο τυχαίες μεταβλητές X και Y. Για μια χρονοσειρά, υποθέτουμε ότι x_i και x_j είναι οι παρατηρήσεις σε χρόνο i και j, αντίστοιχα. Τότε κάθε ζεύγος παρατηρήσεων ((i, x_i) και (j, x_j)) λέγεται ότι είναι σύμφωνο (concordance-C) αν ισχύει $i > j$ και $x_i > x_j$, ή αν $i < j$ και $x_i < x_j$, ενώ είναι ασύμφωνο (discordance-D), αν ισχύει $i < j$ και $x_i > x_j$ ή αν $i > j$ και $x_i < x_j$. Σε περίπτωση που $i \neq j$ και $x_i = x_j$, το ζευγάρι δεν είναι ούτε σύμφωνο ούτε ασύμφωνο. Έτσι ο συντελεστής Mann-Kendall tau (τ) είναι η σχετική συχνότητα των concordances μείον την σχετική συχνότητα των discordances και μπορεί να υπολογιστεί ως (Li et al. 2013):

$$\tau = \frac{2S}{n(n-1)} \quad \text{ή} \quad \tau = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j)}{C_2^n}$$

όπου C_2^n είναι ο συνολικός αριθμός των συνδυασμών κατά ζεύγη των n παρατηρήσεων και μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$C_2^n = \frac{1}{2}n(n-1)$$

Ο συντελεστής Mann-Kendall tau (τ) κυμαίνεται από - 1 έως 1. Αν $\tau = 1$ σημαίνει μια σταθερή αυξητική τάση, ενώ $\tau = - 1$ σημαίνει μια σταθερή πτωτική τάση. Ο συντελεστής τ αναμένεται να είναι μηδενικός, εάν δεν υπάρχει σταθερή τάση.

6.1.2. Mann-Kendall Significance

Η επιλογή Mann-Kendall significance στο λογισμικό Idrisi Selva παράγει ένα ζεύγος εικόνων - μια εικόνα σημαντικότητας που εκφράζεται ως z-score και μία δεύτερη εικόνα που

εκφράζει την πιθανότητα ότι η παρατηρούμενη τάση θα μπορούσε να συμβεί κατά τύχη (p-value). Για να κυριολεκτήσουμε, η επιλογή αυτή εκφράζει τη σημασία μιας τάσης Mann-Kendall. Ωστόσο, χρησιμοποιείται συνήθως και ως trend test για την τάση Theil-Sen.

Τα επίπεδα σημαντικότητας μιας τάσης αξιολογούνται με τη χρήση τυποποιημένων z-score ή p-value. Η εξίσωση για τον υπολογισμό της σημαντικότητας Mann Kendall (Mann Kendall significance) (z και p) είναι η ακόλουθη (Neeti and Eastman 2011):

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{για } S > 0 \\ 0 & \text{για } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{για } S < 0 \end{cases}$$

και

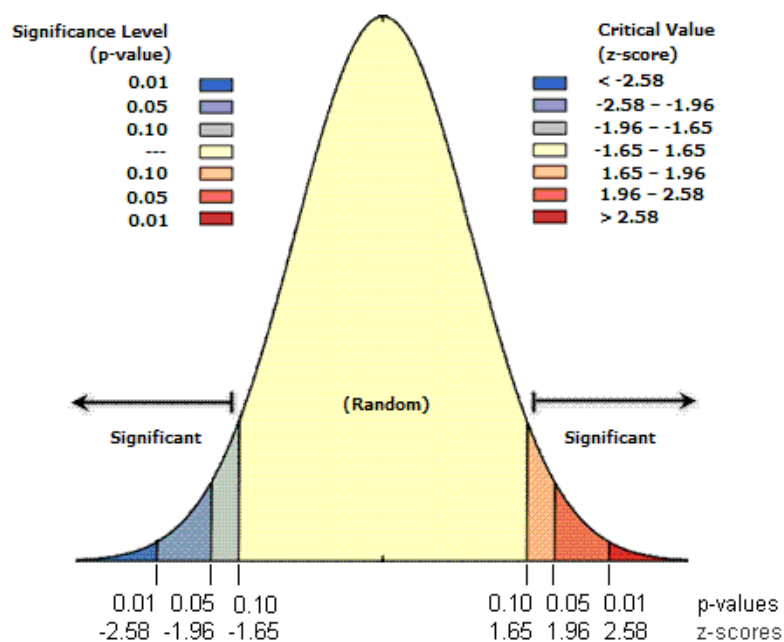
$$p = 2[1 - \phi(|z|)]$$

όπου

$$\phi(|z|) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{|z|} e^{-t^2} dt$$

Η στατιστική Z ακολουθεί την τυπική κανονική κατανομή με μηδενική μέση τιμή και μοναδιαία διακύμανση κατά τη μηδενική υπόθεση (χωρίς τάση). Μια θετική τιμή Z υποδεικνύουν μια ανοδική τάση, ενώ μια αρνητική τιμή δείχνει πτωτική τάση. Η πιθανότητα (p) αντιπροσωπεύει το μέτρο συλλογής αποδείξεων για να απορριφθεί η μηδενική υπόθεση.

Η τιμή p είναι μια πιθανότητα ότι το παρατηρούμενο χωρικό μοτίβο δημιουργήθηκε από κάποια τυχαία διαδικασία. Όταν η p-τιμή είναι πολύ μικρή, σημαίνει ότι είναι πολύ απίθανο (μικρή πιθανότητα) ότι το παρατηρούμενο χωρικό πρότυπο είναι αποτέλεσμα των τυχαίων διαδικασιών, ώστε να μπορούμε να απορρίψουμε την μηδενική υπόθεση. Η τιμή p με τα z-scores συνδέονται με τον παρακάτω τρόπο (Εικόνα 62).

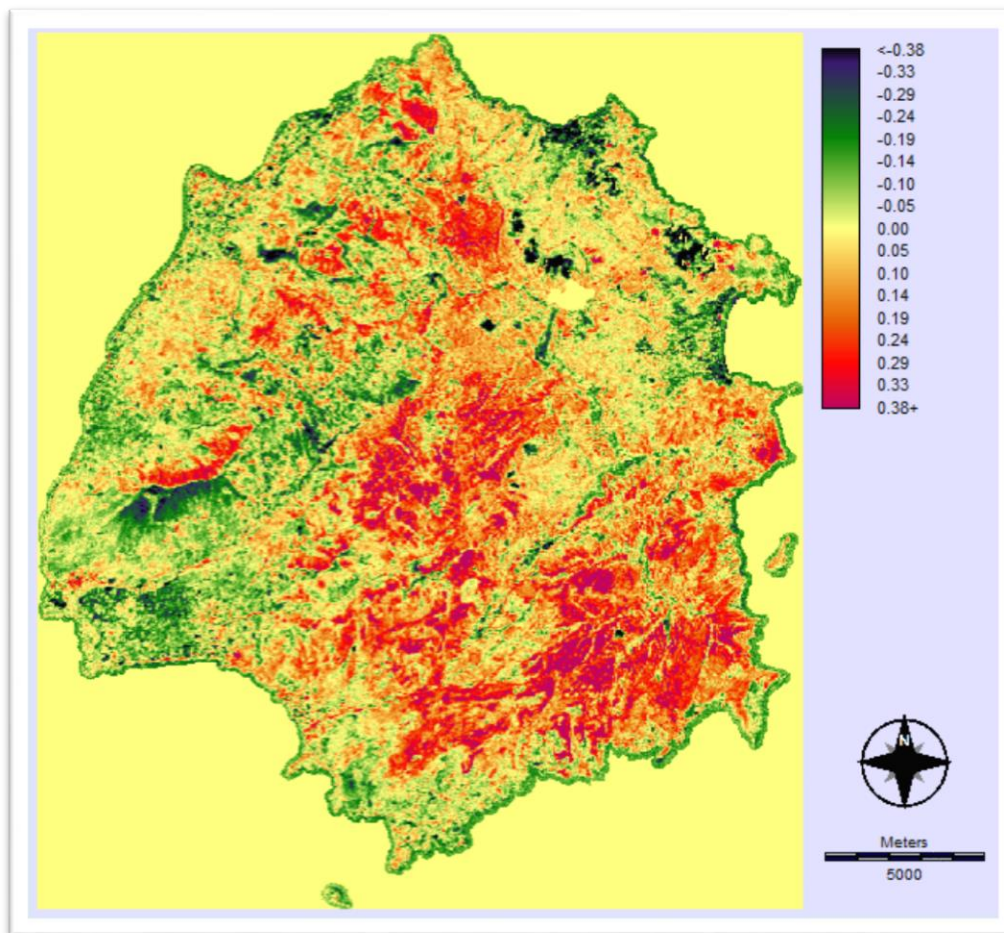


Εικόνα 62: Τιμές p και κριτικές τιμές για την κανονική κατανομή.

6.1.3. Αποτελέσματα – Εκτίμηση Ακρίβειας

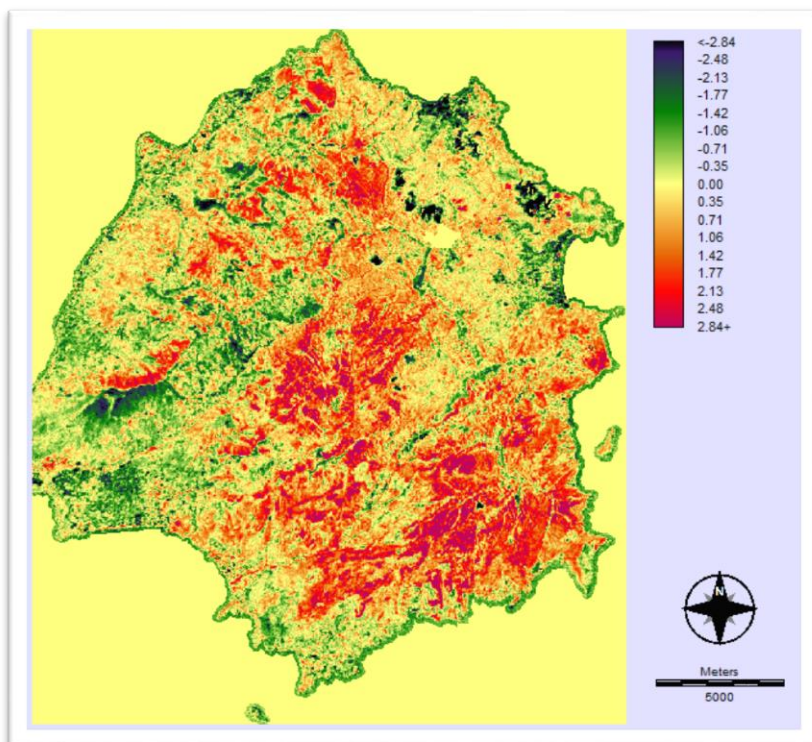
Τεστ Mann Kendall

Η ανάλυση του τεστ Mann Kendall χρησιμοποιείται σε χρονοσειρές δεδομένων έτσι ώστε να γίνει ανίχνευση για το αν υπάρχει τάση στα δεδομένα. Ο συντελεστής Mann-Kendall tau (τ) κυμαίνεται από - 1 έως 1. Αν $\tau = 1$ σημαίνει μια σταθερή αυξητική τάση, ενώ $\tau = - 1$ σημαίνει μια σταθερή πτωτική τάση. Ο συντελεστής τ αναμένεται να είναι μηδενικός, εάν δεν υπάρχει σταθερή τάση. Παρακάτω βλέπουμε το χάρτη που παράχθηκε από το πρόγραμμα Idrisi Selva για ολόκληρη τη χρονοσειρά των εικόνων του δείκτη NDVI. Με σκούρο πράσινο έως μαύρο φαίνονται οι περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη αρνητική τάση στη χρονοσειρά, ενώ με έντονο κόκκινο οι περιοχές όπου παρατηρείται μεγάλη θετική τάση, συνεχής αύξηση του δείκτη NDVI διαχρονικά από το 1984 έως το 2011.

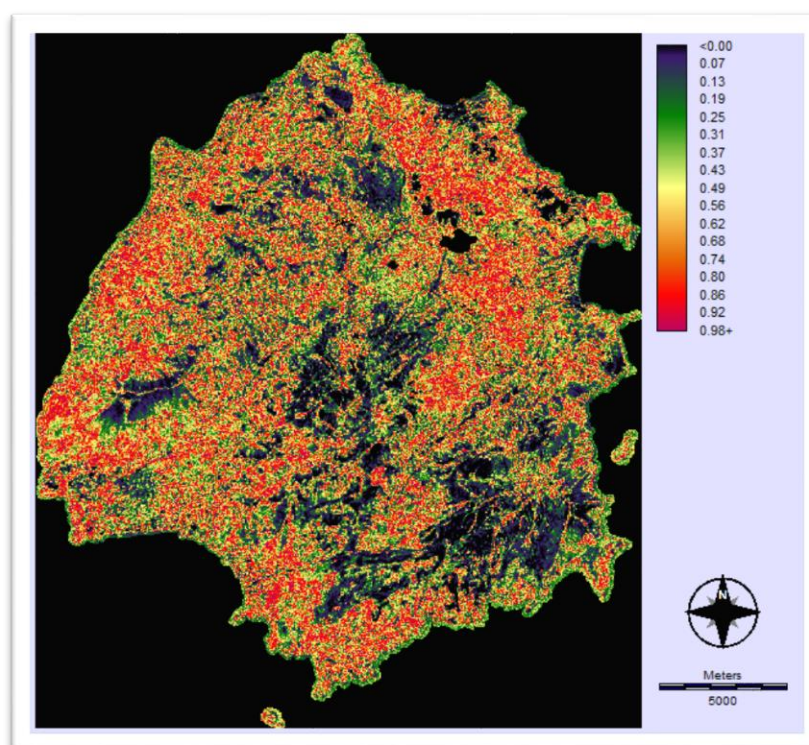


Εικόνα 63: Mann Kendall τεστ στη χρονοσειρά των δεδομένων από το 1984 έως το 2011.

Η επιλογή Mann-Kendall significance στο λογισμικό Idrisi Selva παράγει ένα ζεύγος εικόνων - μια εικόνα σημαντικότητας που εκφράζεται ως z-score και μία δεύτερη εικόνα που εκφράζει την πιθανότητα ότι η παρατηρούμενη τάση θα μπορούσε να συμβεί κατά τύχη (p-value). Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω:

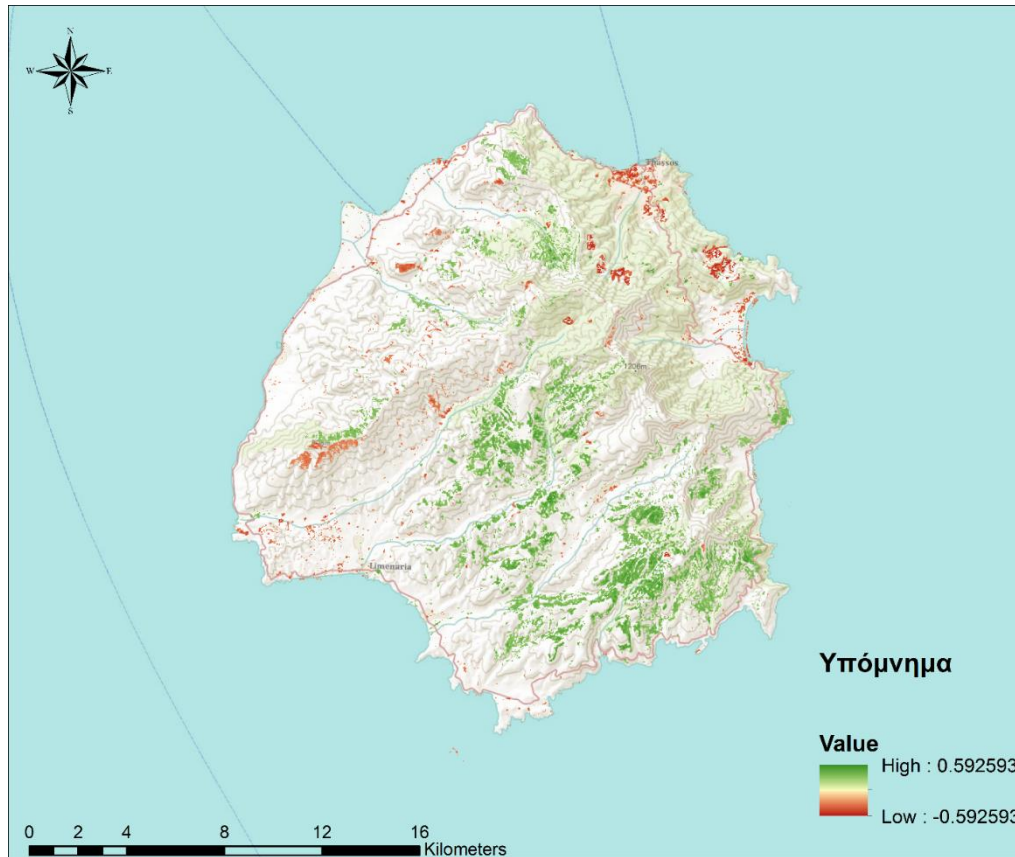


Εικόνα 64: Χάρτης σημαντικότητας που εκφράζεται ως z-score.



Εικόνα 65: Χάρτης που εκφράζει την πιθανότητα ότι η παρατηρούμενη τάση θα μπορούσε να συμβεί κατά τύχη (p-value).

Στην Εικόνα 66 παρακάτω φαίνονται οι περιοχές του νησιού όπου παρατηρούνται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις κατά 95% του δείκτη NDVI, με κόκκινο χρώμα οι αρνητικές και με πράσινο οι θετικές. Με οπτική ανάλυση στα δεδομένα υψηλής ανάλυσης του κτηματολογίου βρέθηκε ότι οι περιοχές όπου παρουσιάζεται στατιστικά σημαντική αρνητική τάση περιλαμβάνουν τα κυρίως τα λατομεία, αλλά και περιοχές όπως απογύμνωση κορυφών, διανοίξεις δρόμων και εργοταξίων και κάποιες περιοχές μικρότερες οι οποίες φαίνονται να έχουν καλλιεργηθεί.



Εικόνα 66: Στατιστικά σημαντικές αλλαγές σύμφωνα με το τεστ Mann Kendall.

Εκτίμηση ακρίβειας των αποτελεσμάτων της τάσης Mann Kendall για τα λατομεία

Πίνακας 34: Πίνακας σφαλμάτων για τα λατομεία του νησιού σύμφωνα με το τεστ Mann Kendall.

Classified →	0	1	Row Total	Producer's Accuracy (%)	Errors Of Omission (%)
Reference 0	36076	458	36534	98.75	1.25
1	382	1624	2006	80.96	19.04
Column Total	36458	2082	38540		
User's Accuracy (%)	98.95	78.00			
Errors Of Commission (%)	1.04	21.99			
Overall Accuracy (%)	97.82				
Kappa	0.78				
P _f	0.012				



Εικόνα 67: Χάρτης εκτίμησης ακρίβειας για τα λατομεία στο αποτέλεσμα των σημαντικών στατιστικών αλλαγών με το τεστ Mann Kendall.

Υπόμνημα: πρώτη στήλη: χαρακτηρισμός από τη μέθοδο, δεύτερη στήλη: δεδομένα αναφοράς.

Όπως φαίνεται από τον πίνακα εκτίμησης της ακρίβειας ο εκτιμητής Mann Kendall για ακρίβεια 95% για τα λατομεία της περιοχής (μακροχρόνιες αλλαγές), τα οποία και μπορούμε να αξιολογήσουμε αφού έχουμε δεδομένα αναφοράς δίνει πολύ καλά αποτελέσματα. Η ακρίβεια παραγωγού και η ακρίβεια χρήστη είναι πολύ κοντά με τιμές 81% και 78% αντίστοιχα. Η συνολική ακρίβεια αγγίζει το 98%, ο συντελεστής Kappa είναι 0.78 και ο καθαρός αριθμός της πιθανότητας λάθους P_f είναι πολύ χαμηλός ίσος με 0.012.

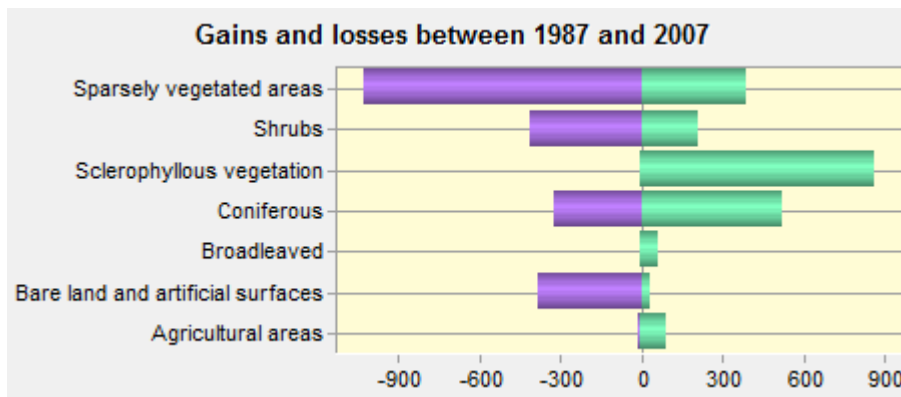
6.2. ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΛΥΨΗΣ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η αλλαγή κάλυψης γης στις περιοχές που παρατηρείται στατιστικά σημαντική, για $\alpha=0.05$, θετική (αυξητική) τάση με τη βοήθεια του τεστ Mann Kendall, σύμφωνα με τα δύο land cover του WWF για τα έτη 1987 και 2007.

Τα land cover του WWF περιελάμβαναν τις εξής τάξεις:

Sparsely vegetated areas	→ Περιοχές με αραιή βλάστηση
Shrubs	→ Θαμνότοποι
Sclerophyllous vegetation	→ Σκληρόφυλλα
Coniferous	→ Κωνοφόρα
Broadleaved	→ Πλατύφυλλα
Bare land and artificial surfaces	→ Άγονα / Τεχνητές εκτάσεις
Agricultural areas	→ Αγροτικές εκτάσεις

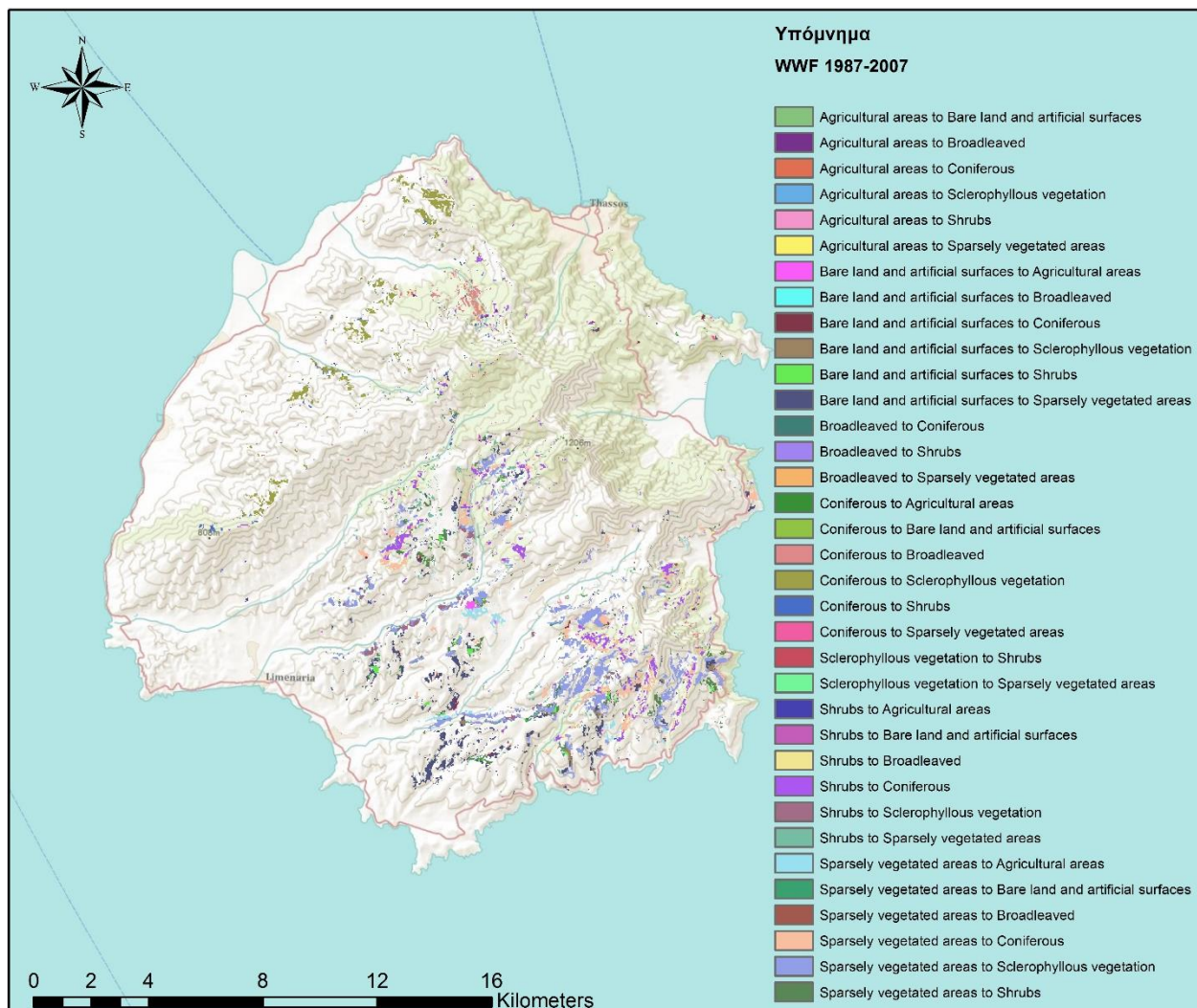
Στο παρακάτω γράφημα φαίνονται σε εκτάρια οι αυξήσεις και οι μειώσεις των χρήσεων γης σύμφωνα με τα land cover που προαναφέρθηκαν, στις περιοχές όπου ο NDVI έχει στατιστικά σημαντική αυξητική τάση.



Γράφημα 1: Οι αυξήσεις και οι μειώσεις των χρήσεων γης σε εκτάρια στις περιοχές όπου ο NDVI έχει στατιστικά σημαντική αυξητική τάση.

Από το παραπάνω γράφημα φαίνεται πως οι περιοχές με αραιή βλάστηση έχουν μειωθεί αρκετά, αντικαταστάθηκαν δηλαδή από κάποια άλλη τάξη. Επίσης μειώσεις παρατηρούνται στους θαμνότοπους, στην τάξη των κωνοφόρων και στις γυμνές εκτάσεις. Αντίθετα όλες οι τάξεις παρουσιάζουν αύξηση των εκταρίων τους με τα σκληρόφυλλα να έχουν την μεγαλύτερη επέκταση.

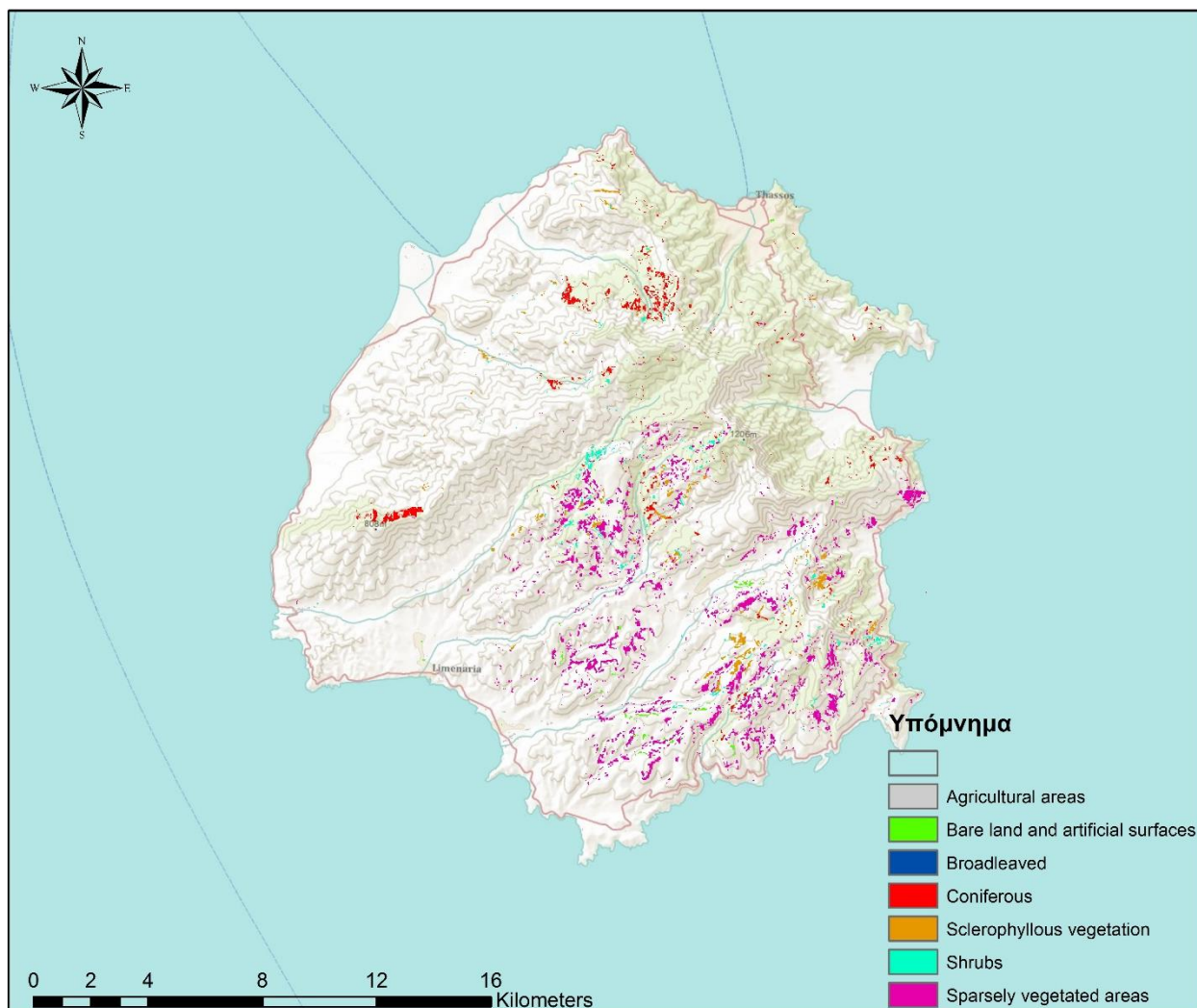
Παρακάτω στην Εικόνα 68 φαίνεται η εξέλιξη κάθε τάξης, η μεταβολή της από το 1987 στο 2007 ενώ στην Εικόνα 69 φαίνονται οι περιοχές όπου η κάλυψη γης έμεινε σταθερή. Στους Πίνακες 35 και Πίνακας 36 φαίνεται η έκταση σε εκτάρια των αλλαγών αυτών και των τάξεων που παρέμειναν σταθερές, αντίστοιχα.



Εικόνα 68: Χάρτης του λογισμικού ArcMap 10.2.1 στον οποίο φαίνεται η εξέλιξη κάθε τάξης στις περιοχές όπου υπάρχει στατιστικά σημαντική θετική τάση σύμφωνα με το τεστ Mann Kendall, σύμφωνα με τα Land cover του WWF για τα έτη 1987 και 2011.

Πίνακας 35: Η έκταση της των αλλαγών κάλυψης στις περιοχές όπου υπάρχει στατιστικά σημαντική θετική τάση σύμφωνα με το τεστ Mann Kendall, σύμφωνα με τα Land cover του WWF για τα έτη 1987 και 2011.

Μεταβολή κάλυψης γης	Έκταση (ha)
Agricultural areas to Bare land and artificial surfaces	0.99
Agricultural areas to Broadleaved	1.89
Agricultural areas to Coniferous	2.34
Agricultural areas to Sclerophyllous vegetation	3.24
Agricultural areas to Shrubs	4.41
Agricultural areas to Sparsely vegetated areas	2.34
Bare land and artificial surfaces to Agricultural areas	13.86
Bare land and artificial surfaces to Broadleaved	0.18
Bare land and artificial surfaces to Coniferous	21.87
Bare land and artificial surfaces to Sclerophyllous vegetation	34.29
Bare land and artificial surfaces to Shrubs	37.98
Bare land and artificial surfaces to Sparsely vegetated areas	277.56
Broadleaved to Coniferous	0.27
Broadleaved to Shrubs	0.99
Broadleaved to Sparsely vegetated areas	1.98
Coniferous to Agricultural areas	2.7
Coniferous to Bare land and artificial surfaces	1.44
Coniferous to Broadleaved	51.03
Coniferous to Sclerophyllous vegetation	220.5
Coniferous to Shrubs	41.58
Coniferous to Sparsely vegetated areas	3.18
Sclerophyllous vegetation to Shrubs	1.17
Sclerophyllous vegetation to Sparsely vegetated areas	2.25
Shrubs to Agricultural areas	6.57
Shrubs to Bare land and artificial surfaces	3.96
Shrubs to Broadleaved	11.43
Shrubs to Coniferous	243
Shrubs to Sclerophyllous vegetation	55.35
Shrubs to Sparsely vegetated areas	91.17
Sparsely vegetated areas to Agricultural areas	72.72
Sparsely vegetated areas to Bare land and artificial surfaces	20.88
Sparsely vegetated areas to Broadleaved	4.23
Sparsely vegetated areas to Coniferous	250.83
Sparsely vegetated areas to Sclerophyllous vegetation	566.38
Sparsely vegetated areas to Shrubs	125.73



Εικόνα 69: Χάρτης του λογισμικού ArcMap 10.2.1 στον οποίο φαίνονται οι περιοχές όπου υπάρχει στατιστικά σημαντική θετική τάση σύμφωνα με το τεστ Mann Kendall και η κάλυψη είναι ίδια σύμφωνα με τα Land cover του WWF για τα έτη 1987 και 2011.

Πίνακας 36: Η έκταση της κάλυψης γης ανά κατηγορία που έχει παραμείνει σταθερή.

Σταθερή κάλυψη γης	Έκταση (ha)
Agricultural areas	43.11
Bare land and artificial surfaces	38.61
Broadleaved	0.18
Coniferous	215.82
Sclerophyllous vegetation	158.76
Shrubs	98.95
Sparsely vegetated areas	828.72

6.3. ΧΡΟΝΙΚΑ ΠΡΟΦΙΛ (TEMPORAL PROFILES) ΤΗΣ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑΣ

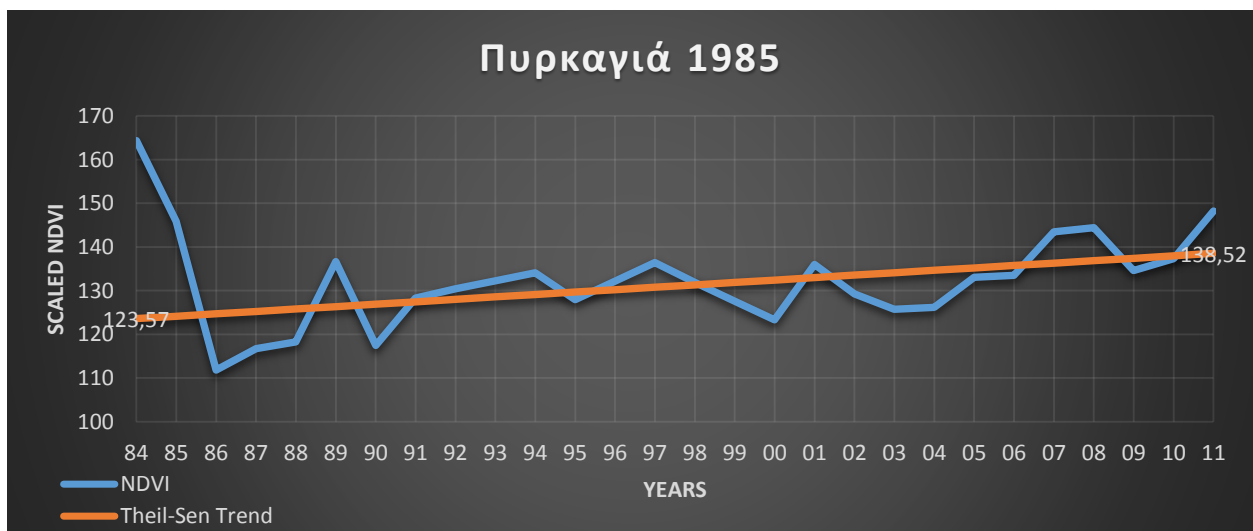
Από τη χρονοσειρά του δείκτη NDVI των δεδομένων εξήχθησαν χρονικά προφίλ τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω σε γραφήματα για πολύγωνα όπως πχ. περίμετροι πυρκαγιών, λατομείων, αλλά και μια σταθερή έκταση κωνοφόρων σύμφωνα με τα land cover του WWF των ετών 1987 και 2007. Με τον τρόπο αυτό φαίνεται η εξέλιξη της βλάστησης της εκάστοτε περιοχής.

Παρατηρούμε ότι για την φωτιά του 1984 φαίνεται χαμηλός ο δείκτης NDVI στο γράφημα. Επίσης βλέπουμε πολύ χαμηλές τιμές και στο έτος 1986. Αυτό συμβαίνει γιατί οι δύο φωτιές ήταν κοντά χωρικά και σε κάποια σημεία μπορεί να υπάρχει επικάλυψη. Γενικά η τιμή του NDVI, άρα και η βλάστηση, έχει ανακάμψει και η τάση στη χρονοσειρά παρατηρείται ανοδική.



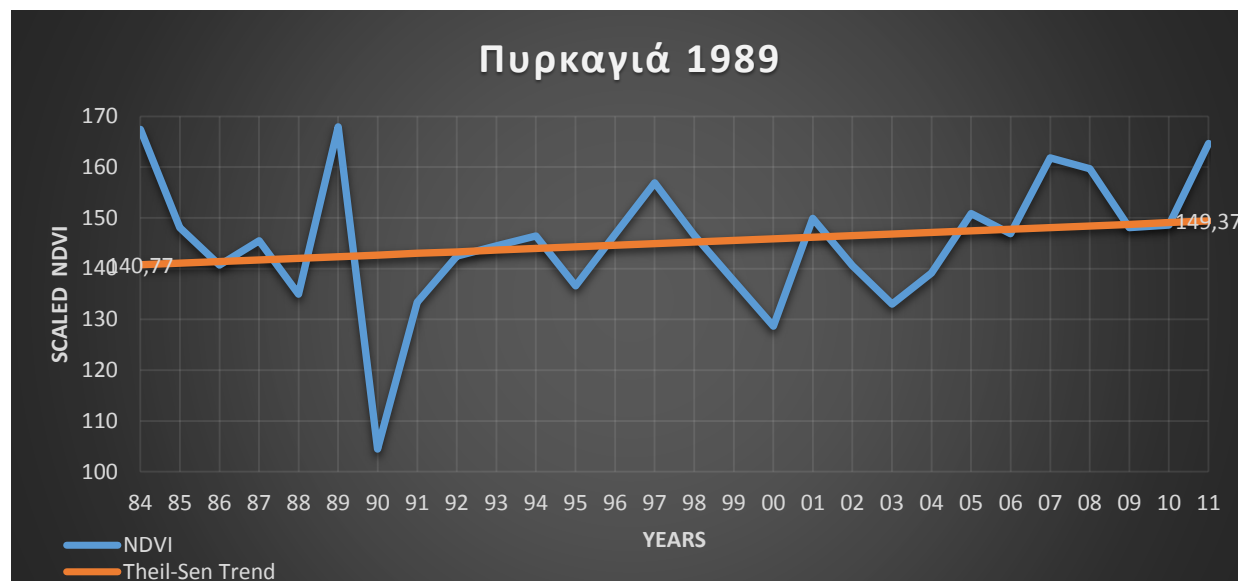
Γράφημα 2: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για την πυρκαγιά του 1984.

Για την φωτιά του 1985 ο δείκτης NDVI φαίνεται να έχει χαμηλές τιμές στο γράφημα. Όπως και για την πυρκαγιά του 1984 παρατηρείται ότι η τιμή του NDVI, άρα και η βλάστηση, έχει ανακάμψει και η τάση στη χρονοσειρά παρατηρείται ανοδική.

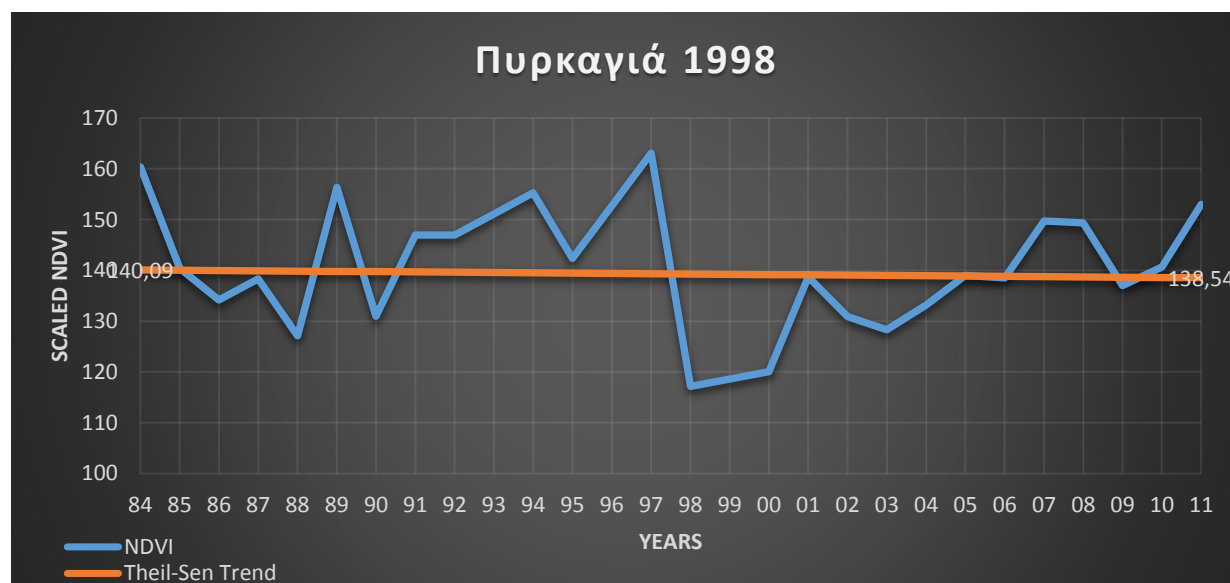


Γράφημα 3: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για την πυρκαγιά του 1985.

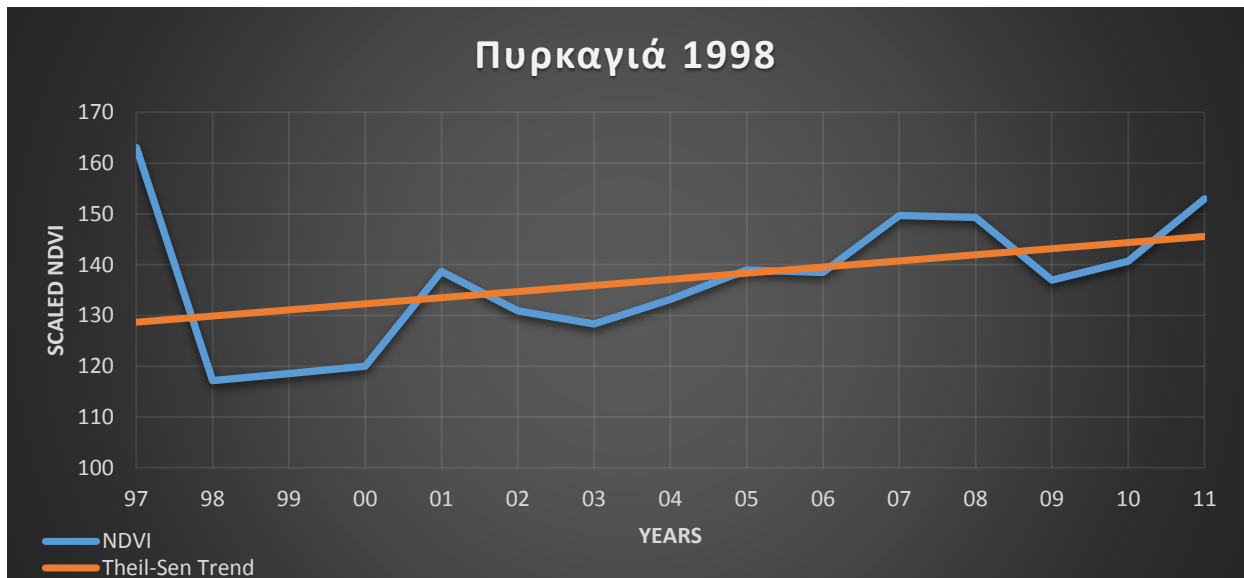
Παρόμοια είναι τα αποτελέσματα των χρονικών προφίλ των πυρκαγιών των ετών 1989 και 1998. Ωστόσο για να φανεί καλύτερα η ανάκαμψη της βλάστησης μετά τη φωτιά του 1989 αλλά και του 2000 παρακάτω έγινε και ένα γράφημα για τη μισή περίπου χρονοσειρά έτσι να μην επηρεάζεται η τάση από τα προηγούμενα έτη και να φαίνεται καλύτερα η πορεία της βλάστησης μετά την καταστροφή της.



Γράφημα 4: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για την πυρκαγιά του 1989.



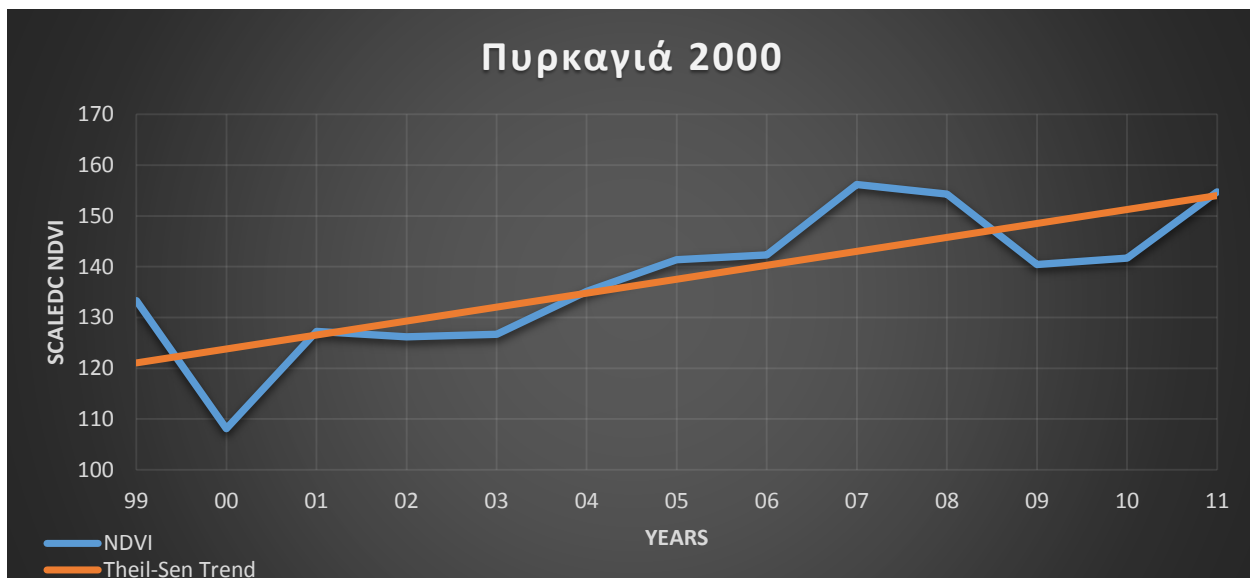
Γράφημα 5: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για την πυρκαγιά του 1998.



Γράφημα 6: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1997-2011 για την πυρκαγιά του 1998.

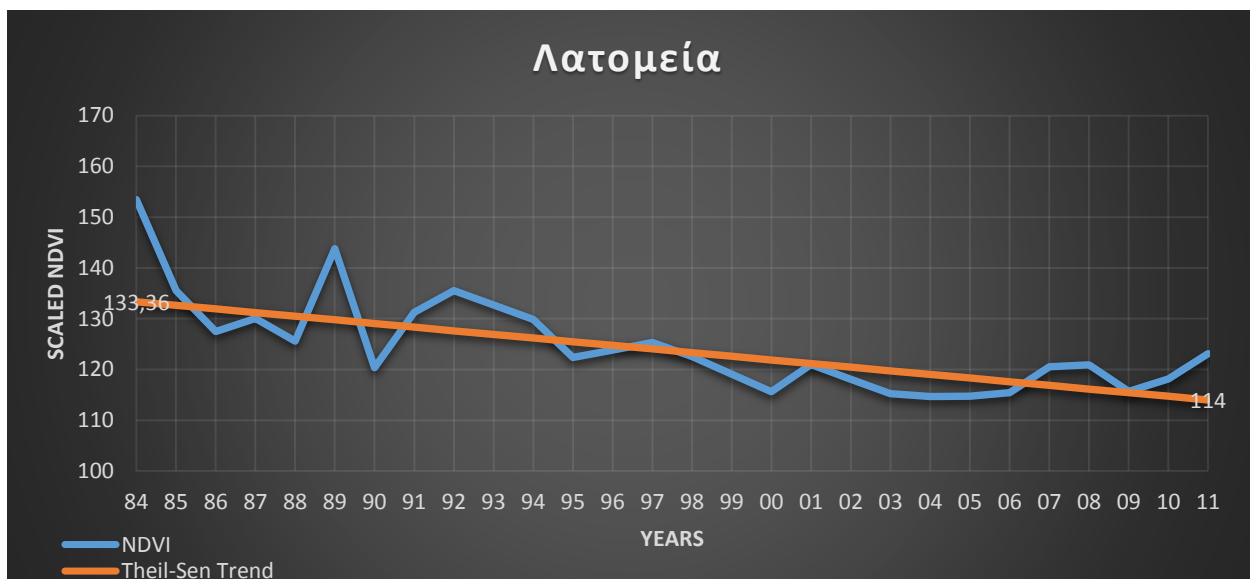


Γράφημα 7: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για την πυρκαγιά του 2000.



Γράφημα 8: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1999-2011 για την πυρκαγιά του 2000.

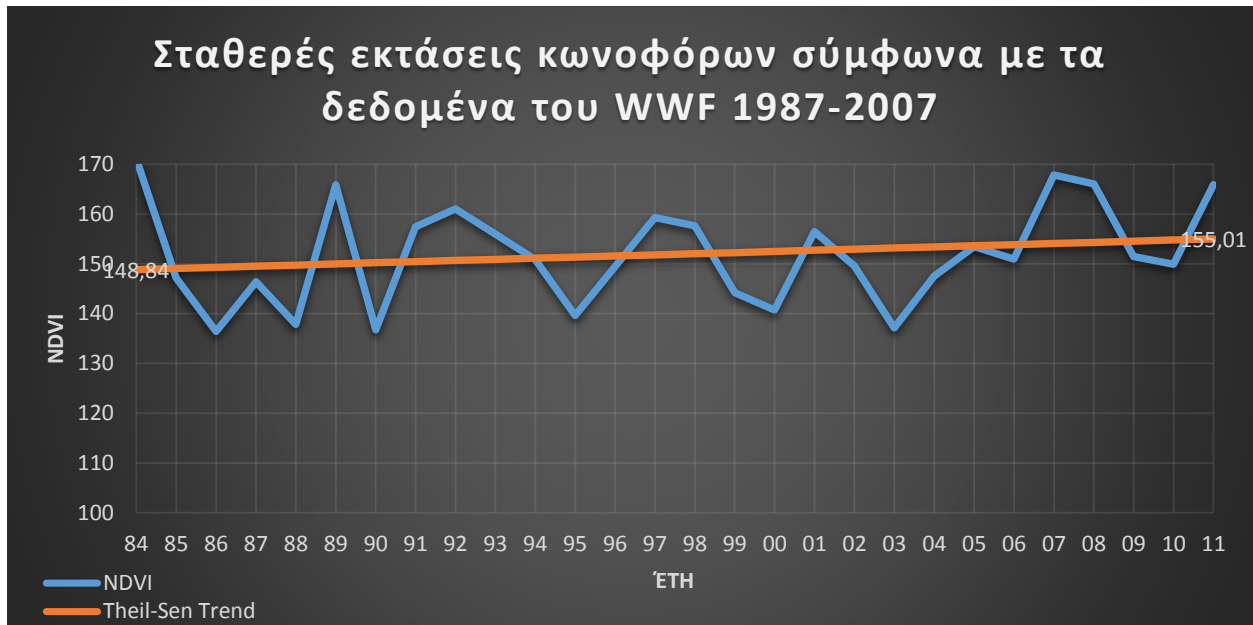
Παρακάτω παρουσιάζεται το χρονικό προφίλ για όλο το μήκος της χρονοσειράς για τα λατομεία της περιοχής που όπως φαίνεται έχουν αρνητική τάση, πράγμα αναμενόμενο αφού συνεχίζεται η διάνοιξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των ετών για τα οποία γίνεται αυτή η μελέτη.



Γράφημα 9: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για τα λατομεία της Θάσου.

Τέλος, παρακάτω βλέπουμε το χρονικό προφίλ των περιοχών όπου σύμφωνα με το Land cover του WWF το 1987 και το 2007 είχαν κάλυψη κωνοφόρας βλάστησης. Αυτό έγινε για να δειχθεί η διαφορά των χρονικών προφίλ με τις περιοχές οι οποίες επλήγησαν από καταστροφές ή μεταλλεύονται. Παρατηρείται σταθερότητα ως προς την τάση, πράγμα που θέλαμε να δείξουμε. Ωστόσο παρατηρείται επίσης μια «εποχικότητα» του NDVI, μια αύξηση και μείωσή του ανά περίπου 5 έτη. Αυτό το φαινόμενο δεν ήταν στο πλαίσιο να ερευνηθεί στη διατριβή αυτή. Ωστόσο

υπάρχουν βιβλιογραφικές αναφορές ως προς την παρατήρησή του όμως δεν έχει επεξηγηθεί επαρκώς.



Γράφημα 10: Χρονικό προφίλ της χρονοσειράς 1984-2011 για σταθερές εκτάσεις κωνοφόρων σύμφωνα με τα δεδομένα του WWF 1984-2007.

6.4. ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται σε ολόκληρη της χρονοσειρά εφαρμογή της στατιστικής Mann Kendall η οποία κάνει ανίχνευση των τάσεων, θετικών ή αρνητικών, στη χρονοσειρά. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η Mann Kendall Significance και προσδιορίζονται οι περιοχές όπου παρατηρείται στατιστικά σημαντική, για $\alpha=0.05$, θετική ή αρνητική τάση του NDVI.

- ✓ Στις περιοχές αυτές όπου εντοπίζεται αρνητική τάση, είναι εμφανείς οι εκτάσεις των λατομείων και γίνεται εκτίμηση της ακρίβειας.
- ✓ Αντίθετα, στις περιοχές όπου εντοπίζεται στατιστικά σημαντική αυξητική τάση, χαρακτηρίζονται οι αλλαγές κάλυψης γης, σύμφωνα με τα δύο land cover του WWF για τα έτη 1987 και 2007, αλλά και οι περιοχές που έμειναν σταθερές.
- ✓ Τέλος, εξάγονται χρονικά προφίλ από τη χρονοσειρά για τις πυρκαγιές, τα λατομεία, αλλά και μια σταθερή έκταση κωνοφόρων σύμφωνα με τα land cover του WWF. Με τον τρόπο αυτό φαίνεται η εξέλιξη της βλάστησης της εκάστοτε περιοχής.

7. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΜΕΘΟΔΩΝ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η σύγκριση των μεθόδων ανίχνευσης των αλλαγών που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω με τη χρήση του τεστ Mc-Nemar. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο χάρτης με τις περιμέτρους των πυρκαγιών καθώς και ο χάρτης με τις περιμέτρους των λατομείων και την εξέλιξή τους.

7.1. TEST MC-NEMAR

7.1.1. McNemar test

Το τεστ McNemar είναι ένα μη παραμετρικό τεστ, το οποίο εφαρμόζεται σε δύο εξαρτημένα δείγματα και αξιολογεί αν αυτά προέρχονται από δύο διαφορετικούς πληθυσμούς. Εφαρμόζεται συχνά σε προβλήματα ταξινόμησης κάλυψης γης προκειμένου να συγκριθούν δυο μέθοδοι ταξινόμησης στα δεδομένα της περιοχής μελέτης (Foody 2004; de Leeuw et al. 2006; Foody 2009a, b). Το τεστ εφαρμόζεται σε ένα σύνολο δεδομένων αναφοράς (κατά κανόνα το σύνολο δοκιμής), εξετάζοντας τις εξόδους των δύο ταξινομητών στο κοινό αυτό σύνολο. Η μόνη προϋπόθεση που τίθεται είναι το δείγμα να έχει επιλεγεί τυχαία από τον πληθυσμό. Στην περίπτωση αυτή, ως πληθυσμός μπορούν να θεωρηθούν όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας, ενώ το δείγμα αποτελείται από τα εικονοστοιχεία εκείνα για τα οποία υπάρχει χαρακτηρισμός αναφοράς και ανήκουν στο σύνολο δοκιμής (Stavrakoudis et al. 2012).

Το τεστ McNemar θεωρεί κανονική κατανομή δειγματοληψίας και η στατιστική του υπολογίζεται από τη σχέση:

$$z_r = \frac{f_{12} - f_{21}}{\sqrt{f_{12} + f_{21}}}$$

Όπου:

- f_{12} Είναι τα εικονοστοιχεία που έκανε σωστά ο ταξινομητής 1 και λάθος ο ταξινομητής 2
- f_{21} Είναι τα εικονοστοιχεία που έκανε σωστά ο ταξινομητής 2 και λάθος ο ταξινομητής 1

Η κρίσιμη τιμή της κανονικής κατανομής όπως φαίνεται στην Εικόνα 62 για $\alpha=0.05\%$ $z_c=1.65$ ή $z_c^2=2.72$.

Η μηδενική υπόθεση H_0 είναι ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στα αποτελέσματα των δύο ταξινομητών για $\alpha=0.05\%$ αν $z_r^2 < z_c^2=2.72$ ή $|z_r| < z_c = 1.65$.

Η εναλλακτική υπόθεση H_1 είναι ότι υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για $\alpha=0.05\%$ αν $z_r^2 > z_c^2=2.72$ ή $|z_r| > z_c = 1.65$.

Πολλές πηγές προτείνουν την εφαρμογή μιας διόρθωσης συνέχειας στον υπολογισμό της στατιστικής του τεστ McNemar. Αυτή η διόρθωση απαιτείται γιατί η κανονική κατανομή θεωρείται συνεχής κατανομή για να προσεγγίσει μια διακριτή κατανομή πιθανοτήτων, αφού το τεστ εφαρμόζεται σε διακριτή εξαρτημένη μεταβλητή. Η θεώρηση συνεχούς κατανομής προς

προσέγγιση διακριτής κατανομής διογκώνει την πιθανότητα εμφάνισής σφάλματος Τύπου I και έτσι η διόρθωση της συνέχειας ελαττώνει λίγο την απόλυτη τιμή της στατιστικής προσπαθώντας να αντισταθμιστεί αυτό το σφάλμα.

Η διορθωμένη τιμή της στατιστικής z_r υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$z_r = \text{sign}(f_{12} - f_{21}) \frac{|f_{12} - f_{21}| - 1}{\sqrt{f_{12} + f_{21}}}$$

Όπου $\text{sign}(x)$ η συνάρτηση προσήμου:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} -1, & \text{αν } x < 0 \\ 0, & \text{αν } x = 0 \\ 1, & \text{αν } x > 0 \end{cases}$$

7.1.2. Εφαρμογή του Test McNemar

Εφαρμόστηκε το τεστ McNemar έτσι ώστε να αξιολογηθεί ποια μέθοδος δίνει καλύτερα αποτελέσματα. Για την εφαρμογή του τεστ πραγματοποιήθηκε τυχαία δειγματοληψία στις τέσσερις πυρκαγιές για τις δύο μεθόδους, τη μέθοδο διαφοράς των εικόνων και καταφλίωσης του αποτελέσματος με τη μέθοδο Kapur (διαφορά Kapur), με τη μέθοδο διαφοράς των εικόνων και μετατροπή σε z-score και ταξινόμηση σε 6 κλάσεις εκ των οποίων ως μεγάλες αλλαγές θεωρούνται οι δύο ακραίες (z-score class 1). Ακόμα για τη μέθοδο των z scores εφαρμόστηκε το τεστ και για τα αποτελέσματα τα οποία παρήχθησαν όταν ως μεγάλες αλλαγές θεωρούνται οι δύο ακραίες προσθέτοντας σε αυτές την αμέσως επόμενη ή προηγούμενη αντίστοιχα (z-score class 2). Για τη δειγματοληψία πάρθηκαν 1000 σημεία σε κάθε μία εκτός από την πυρκαγιά του 2000 όπου τα σημεία ήταν 500 λόγω της μικρής έκτασής της. Το ίδιο έγινε και για την περιοχή των λατομείων με δειγματοληψία 1000 σημείων και συγκρίθηκαν και τα αποτελέσματα του τεστ Mann Kendall (Mann Kendall test). Στους πίνακες παρακάτω παρουσιάζονται οι τιμές του τεστ McNemar. Στις δύο προτελευταίες γραμμές του πίνακα παρουσιάζονται τα κανονικοποιημένα ποσοστά τα οποία υπολογίζονται ως εξής:

1^η μέθοδος που συγκρίνεται: $\pi_{12}=f_{12}/(f_{12}+f_{21})$

2^η μέθοδος που συγκρίνεται: $\pi_{21}=f_{21}/(f_{12}+f_{21})$

Επίσης όπως αναφέρεται παραπάνω η διαφορά θεωρείται στατιστικά σημαντική για $\alpha=0.05$ εάν έχουμε $|z_r| > z_c = 1.65$ ή $z_r^2 > z_c^2 = 2,72$

Πίνακας 37: Πίνακας σύγκρισης, για τις πυρκαγιές, της μεθόδου διαφοράς Kapur με τη μέθοδο z-score class 1.

	1984	1985	1989	2000
z_r value	1.79	10.29	12.31	-1.52
z_r^2 value	3.2	105.88	151.54	2.31
f_{12}	5	259	286	16
f_{21}	0	71	57	27
Κανον/μένη διαφορά (Kapur) (%)	100	78	83	37
Κανον/μένη z-score class (%)	0	22	17	63
Σημαντική διαφορά	✓	✓	✓	-

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως μεταξύ της μεθόδου διαφοράς Karur και της μεθόδου z-score class 1 υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με την πρώτη να δίνει καλύτερα αποτελέσματα για τις πυρκαγιές των ετών 1984, 1985 και 1989 ενώ για την πυρκαγιά του 2000 να μην η δεύτερη μέθοδος είναι καλύτερη όπως φαίνεται από τα κανονικοποιημένα ποσοστά αλλά όχι με στατιστικά σημαντική διαφορά.

Πίνακας 38: Πίνακας σύγκρισης, για τις πυρκαγιές, της μεθόδου διαφοράς Karur με τη μέθοδο z-score class 2.

	1984	1985	1989	2000
z_r value	-0.69	0.47	2.54	-1.95
z_r^2 value	0.48	0.22	6.45	3.8
f_{12}	79	85	53	47
f_{21}	89	78	29	69
Κανον/μένη διαφορά (Karur) (%)	47	52	65	41
Κανον/μένη z-score class (%)	53	48	35	59
Σημαντική διαφορά	-	-	✓	✓

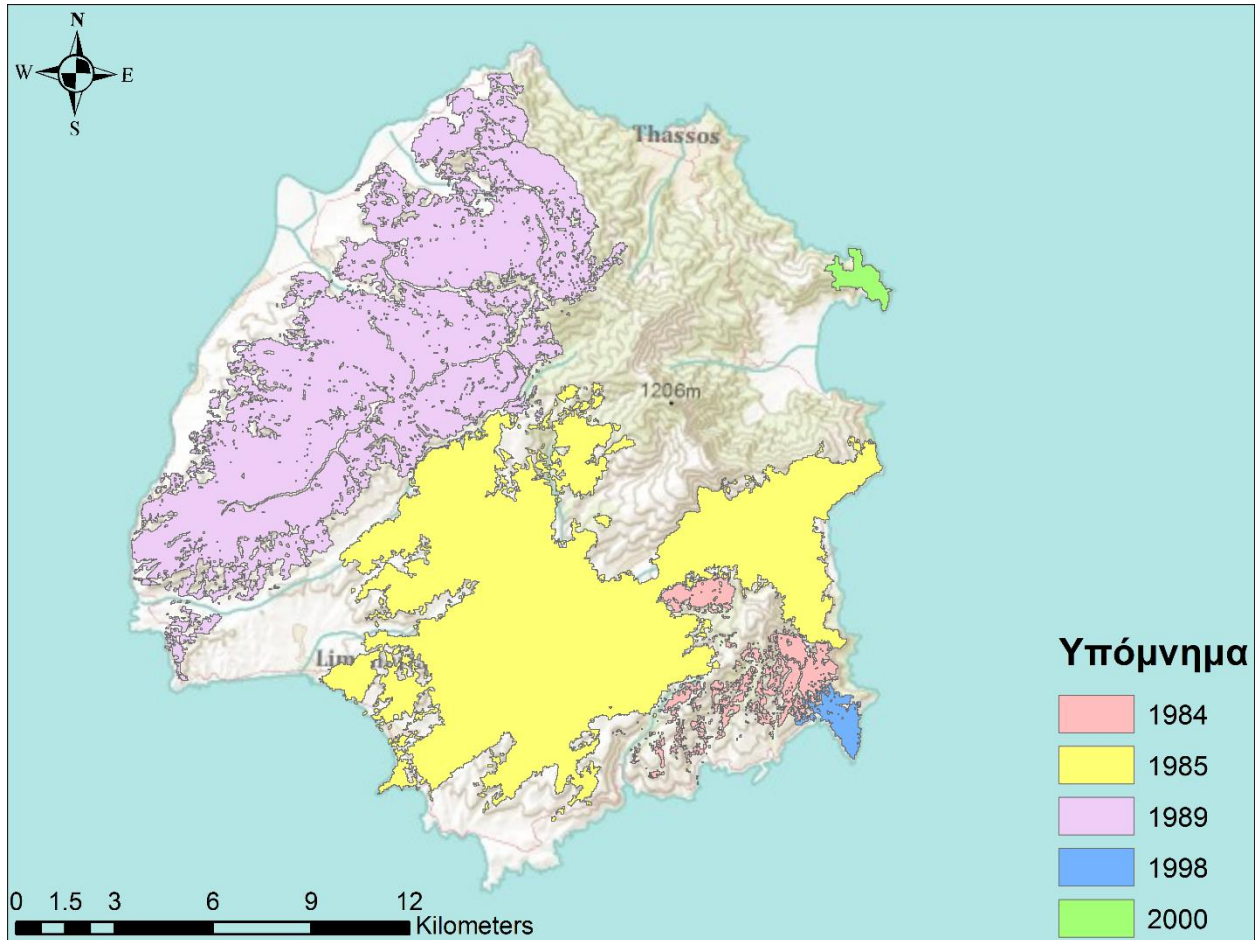
Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται πως μεταξύ της μεθόδου διαφοράς Karur και της μεθόδου z-score class 2 υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές με την πρώτη να δίνει καλύτερα αποτελέσματα για την πυρκαγιά του 1989 ενώ τη δεύτερη για αυτή του 2000 ενώ δεν φαίνεται να υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές για τις άλλες δύο πυρκαγιές των ετών 1984 και 1985.

Πίνακας 39: Πίνακας σύγκρισης, για τα λατομεία, της μεθόδου διαφοράς Karur με τη μέθοδο z-score class 1 (στήλη 1), της μεθόδου διαφοράς Karur με τη μέθοδο z-score class 2 (στήλη 2), της μεθόδου z-score class 1 με τη μέθοδο Mann Kendall test (στήλη 3), της μεθόδου z-score class 2 με τη μέθοδο Mann Kendall test (στήλη 4), της μεθόδου διαφοράς Karur με τη μέθοδο Mann Kendall test (στήλη 5).

	Λατομεία	Λατομεία	Λατομεία	Λατομεία	Λατομεία
z_r value	2.22	6.84	-3.17	-8.66	-3.13
z_r^2 value	4.93	46.79	10.5	75	9.80
f_{12}	11	69	11	10	7
f_{21}	2	8	33	103	26
Κανον/μένη διαφορά (Karur) (%)	85	90	-	-	21
Κανον/μένη z-score class (%)	15	10	25	9	-
Κανον/μένη Mann Kendall test (%)	-	-	75	91	79
Σημαντική διαφορά	✓	✓	✓	✓	✓

Τέλος, εφαρμόζεται η στατιστική του McNemar στα λατομεία και έχουμε σε όλες τις συγκρίσεις στατιστικά σημαντικές διαφορές. Πιο αναλυτικά παρατηρούμε ότι η διαφορά Karur δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση με τη διαφορά z-score class 1 και 2, ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις καλύτερα είναι τα αποτελέσματα που δίνει το τεστ Mann Kendall.

7.2. ΧΑΡΤΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ



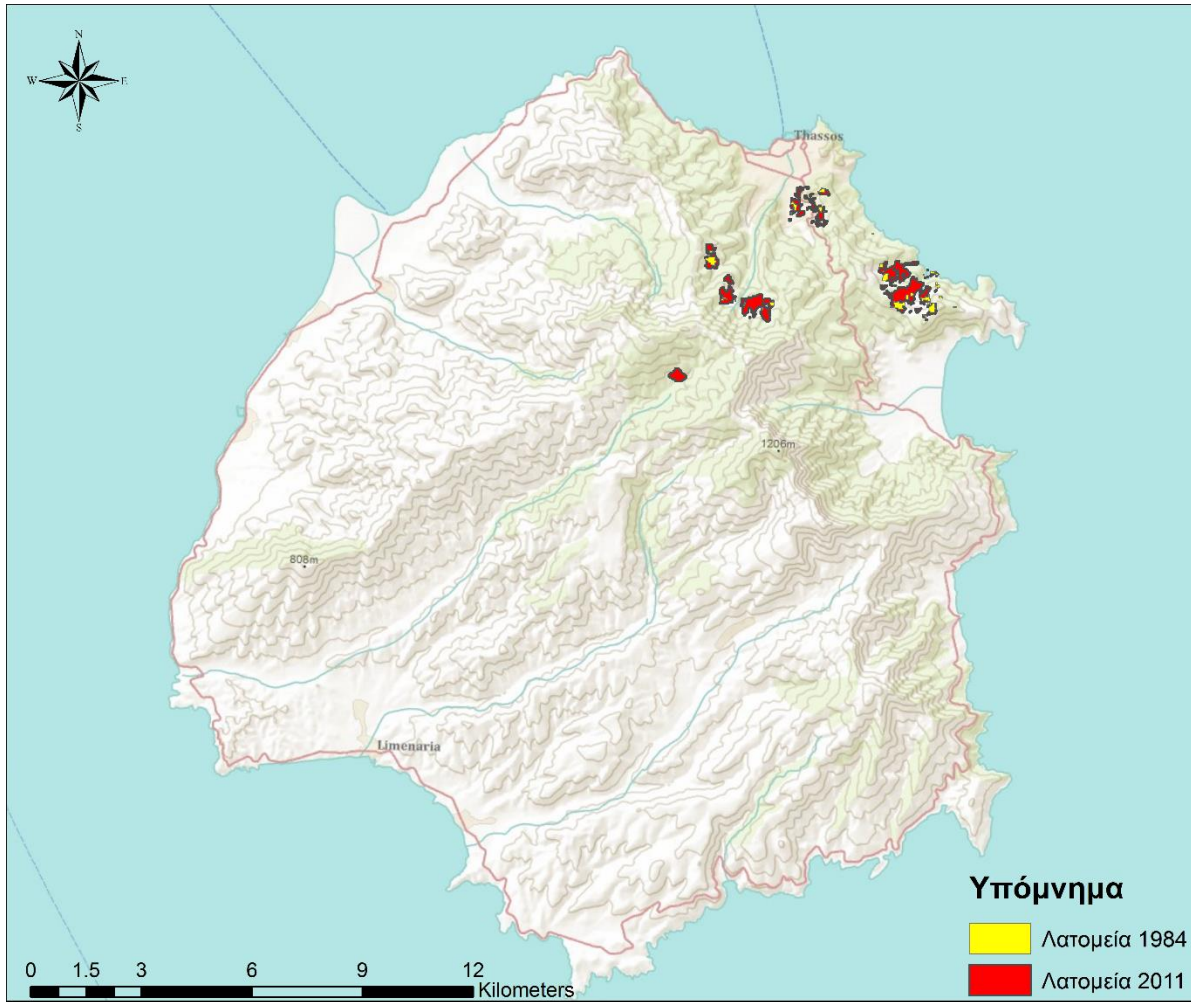
Εικόνα 70: Οι περίμετροι των πυρκαγιών.

Πίνακας 40: Η έκταση των πυρκαγιών.

Έτος	Έκταση (ha)
1984	711.09
1985	9209.7
1989	8648.46
1998	224.37
2000	148.05

Οι περίμετροι των πυρκαγιών που φαίνονται στον παραπάνω χάρτη έχουν εξαχθεί από τα αποτελέσματα της πρώτης μεθόδου της διαφοράς του δείκτη NDVI και της κατωφλίωσης με τη μέθοδο Karur, εκτός από την πυρκαγιά του 2000 η οποία εξήχθη με τη μέθοδο των z-score class 1 η οποία έδωσε καλύτερα αποτελέσματα.

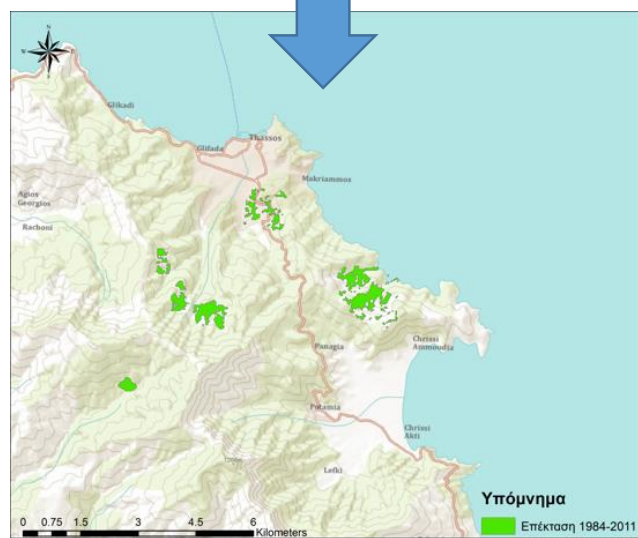
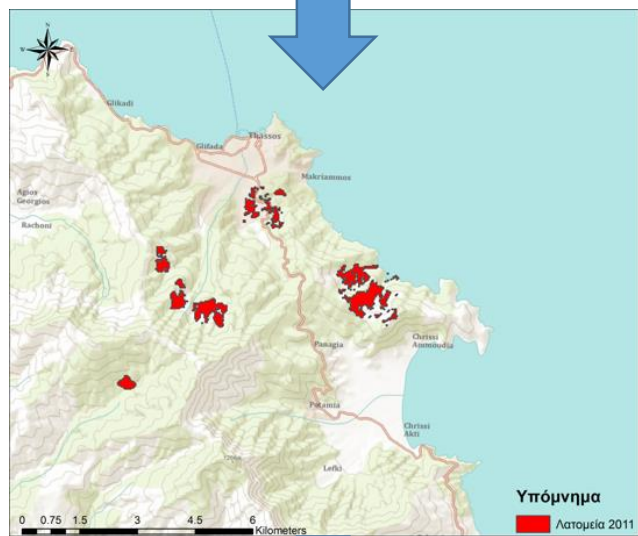
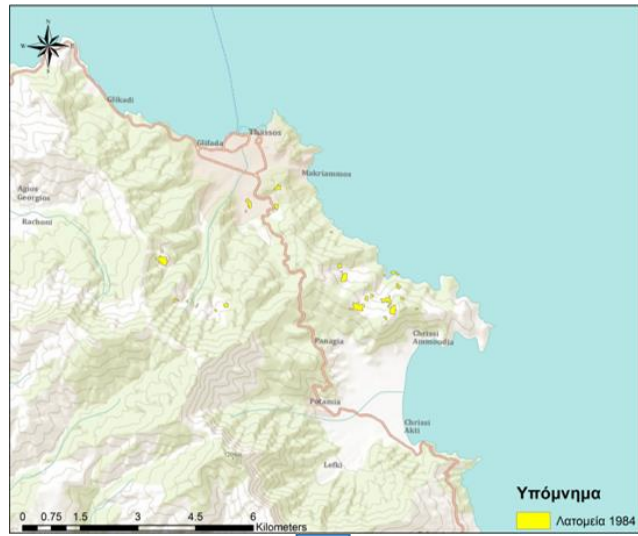
7.3. ΧΑΡΤΗΣ ΛΑΤΟΜΕΙΩΝ



Εικόνα 71: Τα λατομεία όπως ήταν το 1984 και όπως βρέθηκαν το 2011 όπως φάνηκε από το τεστ Mann Kendall.

Πίνακας 41: Η έκταση των λατομείων.

Έτος	Έκταση (ha)
1984	30.72
2011	188.46
Επέκταση	157.74



Εικόνα 72: Χάρτες των λατομείων και η επέκτασή τους.

7.4. ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Στο κεφάλαιο αυτό έγινε σύγκριση των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την ανίχνευση των αλλαγών με το τεστ Mc-Nemar.

- ✓ Η πρώτη μέθοδος, η οποία χρησιμοποιεί την κατωφλίωση του Karur, παρουσίασε τα καλύτερα αποτελέσματα στις περισσότερες πυρκαγιές, με εξαίρεση την πυρκαγιά του 2000, για την οποία τα αποτελέσματα της δεύτερης μεθόδου ήταν ελαφρώς καλύτερα, γεγονός που ίσως οφείλεται στην μικρή έκταση της πυρκαγιάς. Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι καλύτερη μέθοδος για να εφαρμοστεί και να ανιχνευθούν ραγδαίες αλλαγές, όπως είναι οι πυρκαγιές, είναι η πρώτη.
- ✓ Ακόμα, για τις ήπιες αλλαγές και συγκεκριμένα για τα λατομεία, η πρώτη μέθοδος (Karur) έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από τη δεύτερη (z-score). Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι ο εκτιμητής Mann-Kendall υπερέχει ως προς τον εντοπισμό των λατομείων και από τις δύο μεθόδους οι οποίες χρησιμοποιούν ζεύγη εικόνων, αφού λαμβάνει υπόψη του ολόκληρη τη χρονοσειρά των εικόνων.
- ✓ Τέλος, παρουσιάστηκαν οι εκτάσεις των πυρκαγιών και των λατομείων, καθώς και η επέκτασή τους σε χάρτες, όπως εξήχθησαν από τα καλύτερα αποτελέσματα των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

8.1. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ο κύριος σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η ανίχνευση των αλλαγών κάλυψης γης αλλά και του φυσικού περιβάλλοντος της Θάσου γενικότερα, για την περίοδο 1984-2011 με χρονοσειρά δορυφορικών εικόνων Landsat. Η εμπειρία αυτής της διατριβής αποδεικνύει ότι είναι δυνατόν να εντοπιστούν τόσο μεγάλες όσο και μικρότερες αλλαγές χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες Landsat.

Ωστόσο, λόγω της πρόσφατης απελευθέρωσης των δορυφορικών δεδομένων Landsat, δεν έχουν αναπτυχθεί αυτοματοποιημένες διαδικασίες προεπεξεργασίας και επεξεργασίας των εικόνων αυτών και μάλιστα συγκεντρωμένα σε ένα λογισμικό. Έτσι η διαδικασία συγκέντρωσης και προεπεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων, τα οποία ήταν περίπου ίδιας χρονικής περιόδου και χωρίς νεφοκάλυψη για 28 συναπτά έτη, ήταν δύσκολη και χρονοβόρα. Ακόμα, μετά τη δημιουργία της χρονοσειράς αντιμετωπίστηκαν προβλήματα συμβατότητας των προγραμμάτων επεξεργασίας που χρησιμοποιήθηκαν. Ωστόσο ξεπεράστηκαν και τέλος, έγινε επιλογή του δείκτη NDVI για την εφαρμογή της μεθόδου και την ανάλυση των δεδομένων, αφού η κάλυψη γης και οι αλλαγές της, επηρεάζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τη βλάστηση.

Αναφορικά με τους επιμέρους στόχους τα συμπεράσματα μπορούν να συνοψιστούν ως εξής:

1^{ος} στόχος: Ο εντοπισμός των αλλαγών της κάλυψης γης με βάση δύο μεθόδους που στηρίζονται στη σύγκριση ζευγών εικόνων της χρονοσειράς. Οι μέθοδοι αυτές είναι:

1. Η διαφορά του δείκτη NDVI και εφαρμογή της μεθόδου κατωφλίωσης του Karur.
2. Η διαφορά του δείκτη NDVI και ταξινόμηση των τυποποιημένων τιμών z-score.

Στην χρονοσειρά που δημιουργήθηκε, εφαρμόστηκαν σε διαδοχικά ζεύγη εικόνων αλλά και στο ζεύγος της εικόνας του πρώτου και του τελευταίου έτους της χρονοσειράς οι δύο μέθοδοι ανίχνευσης αλλαγών. Με τον τρόπο αυτό, εντοπίστηκαν και εκτιμήθηκαν οι ραγδαίες αλλαγές στα διαδοχικά έτη, αλλά και οι αλλαγές μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου έτους της χρονοσειράς. Οι κυριότερες αλλαγές που εντοπίστηκαν και για τις οποίες υπήρχαν δεδομένα αναφοράς, έτσι ώστε να γίνει εκτίμηση ακρίβειας, ήταν οι πυρκαγιές και τα λατομεία. Συγκεκριμένα, εντοπίστηκε η πυρκαγιά του 1984, του 1985, του 1989, του 1998 (για την οποία δεν υπήρχαν δεδομένα αναφοράς) και του 2000 όπως επίσης και τα λατομεία.

2^{ος} στόχος: Ο εντοπισμός των αλλαγών της κάλυψης γης χρησιμοποιώντας ολόκληρη τη χρονοσειρά με βάση τον εκτιμητή Mann Kendall.

Με το τεστ Mann Kendall εκτιμήθηκε η τάση (αυξητική ή μειωτική) του δείκτη NDVI για ολόκληρη τη χρονοσειρά. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε η Mann Kendall Significance και προσδιορίστηκαν οι περιοχές όπου παρατηρείται στατιστικά σημαντική ($\alpha=0.05$), θετική ή αρνητική τάση του NDVI. Στις περιοχές όπου εντοπίζεται αρνητική τάση, βρέθηκε ότι η μέθοδος εντοπίζει με πολύ καλή ακρίβεια τα λατομεία (συνολική ακρίβεια 97,82%). Επίσης, στις περιοχές όπου εντοπίζεται αυξητική τάση, παρήχθησαν χάρτες των μεταβολών της κάλυψης γης, αλλά και χάρτης διατήρησής της ίδιας κατηγορίας κάλυψης, σύμφωνα με τα δύο land cover του WWF για

τα έτη 1987 και 2007. Ακόμα, βρέθηκαν οι περίμετροι των λατομείων και έγινε υπολογισμός της επέκτασής τους. Τέλος, δημιουργήθηκαν χρονικά προφίλ περιοχών στις οποίες συντελέστηκαν αλλαγές αλλά και περιοχών που θεωρούνται σταθερές έτσι ώστε να γίνει παρακολούθηση περιοχών στο χρόνο και να φανεί η εξέλιξή τους.

3^{ος} στόχος: Η σύγκριση των παραπάνω μεθόδων εντοπισμού των αλλαγών κάλυψης γης με σκοπό να εκτιμηθεί η σχετική τους ακρίβεια και να βρεθούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μεθόδου.

Για τη σύγκριση των μεθόδων εντοπισμού των αλλαγών χρησιμοποιήθηκε το τεστ McNemar. Τα αποτελέσματα έδειξαν πως η πρώτη μέθοδος (Karur) έδωσε μεγαλύτερη ακρίβεια σε όλες τις φωτιές του νησιού, εκτός από αυτή του 2000, όπου η δεύτερη μέθοδος έδωσε ελαφρώς μεγαλύτερη ακρίβεια, πράγμα που ίσως οφείλεται στην μικρή έκταση της πυρκαγιάς. Σύμφωνα με τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι καλύτερη μέθοδος για να εφαρμοστεί και να ανιχνευθούν ραγδαίες αλλαγές, όπως είναι οι πυρκαγιές, είναι η πρώτη, η διαφορά του δείκτη NDVI σε ζεύγη και η εφαρμογή της μεθόδου κατωφλίωσης Karur. Έτσι παρήχθησαν οι περίμετροι των πυρκαγιών και έγινε ο υπολογισμός των καμένων εκτάσεων.

Για τις ήπιες αλλαγές και συγκεκριμένα για τα λατομεία, η πρώτη μέθοδος έδωσε καλύτερα αποτελέσματα από τη δεύτερη. Ωστόσο η τελευταία μέθοδος του εκτιμητή Mann-Kendall είχε τα καλύτερα αποτελέσματα μετά από τη σύγκριση των μεθόδων.

Ολοκληρώνοντας θα πρέπει να αναφερθεί ότι πολύ θετικό χαρακτηριστικό της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε, αποτελεί το γεγονός ότι βρίσκει εφαρμογή σε αντίστοιχα δεδομένα για οποιαδήποτε περιοχή με αρκετά καλά αποτελέσματα όπως διαπιστώθηκε. Αυτό συμβαίνει γιατί δεν υφίσταται απαίτηση ορισμού παραμέτρων από το χρήστη. Με τον τρόπο αυτό, γίνεται κατανοητό ότι οι μέθοδοι διέπονται από το χαρακτηριστικό της αντικειμενικής προσέγγισης των δεδομένων και τα αποτελέσματα δεν είναι προκατειλημμένα. Είναι δυνατή η εφαρμογή της σε μεγάλο όγκο δεδομένων, για πολλά έτη, χωρίς μεγάλες απαιτήσεις σε δυσεύρετα δεδομένα (δορυφορικά, πεδίου κ.α.).

8.2. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ – ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Στην παρούσα μελέτη έγινε προσπάθεια να φανούν οι έντονες αλλαγές κάλυψης σε μια χρονοσειρά ετήσιων δορυφορικών δεδομένων Landsat για 28 συνεχόμενα έτη για μια περιοχή της Ελλάδας. Εντοπίστηκαν τα πλεονεκτήματα και οι αδυναμίες κάθε μεθόδου που ακολουθήθηκε, αναφέρθηκαν τα συμπεράσματα της έρευνας, και προκύπτουν συνεπακόλουθα κάποια ερωτήματα άξια προς διερεύνηση και προβληματισμό.

Η αυτοματοποίηση της προεπεξεργασίας των δεδομένων λόγω του ότι ο μεγάλος όγκος τους την κάνει δύσκολη και χρονοβόρα και ειδικότερα της διαδικασίας αφαίρεσης νεφών ή/και σκιών οι οποίες δεν αφαιρούνται με την τοπογραφική διόρθωση και εμφανίζουν αλλαγές οι οποίες δεν είναι πραγματικές.

Επίσης θα μπορούσε να γίνει εξαγωγή και χρήση και άλλων δεικτών έτσι ώστε να βρεθούν και άλλου τύπου αλλαγές, εκτός από αλλαγές στη βλάστηση, ιδιαίτερα για περιοχές όπου δεν υπάρχει βλάστηση σε αντίθεση με το νησί της Θάσου όπου δεν αντιμετωπίζεται τέτοιο πρόβλημα.

Τέλος, με επιπλέον δεδομένα πεδίου, τα οποία κρίνονται απαραίτητα για αναγνώριση και επικύρωση των αλλαγών που εντοπίζονται, θα μπορούσαν να αναγνωριστούν επιπλέον αλλαγές και μικρότερης έκτασης.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Ahl, D.E., Gower, S.T., Mackay, D.S., Burrows, S.N., Norman, J.M., & Diak, G.R. (2004). Heterogeneity of light use efficiency in a northern Wisconsin forest: implications for modeling net primary production with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 93, 168-178
- Al-doski, J., Mansor, S.B., & Shafri, H.Z.M. (2013). Change Detection Process and Techniques. *Civil and Environmental Research*, 3, 37-45
- Alexandridis, T.K., Takavakoglou, V., Crisman, T.L., & Zalidis, G.C. (2007). Remote sensing and GIS techniques for selecting a sustainable scenario for Lake Koronia, Greece. *Environmental management*, 39, 278-290
- Baker, J., Briggs, S., Gordon, V., Jones, A., Settle, J., Townshend, J., & Wyatt, B. (1991). Advances in classification for land cover mapping using SPOT HRV imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 12, 1071-1085
- Barrett, H.H., Denny, J., Wagner, R.F., & Myers, K.J. (1995). Objective assessment of image quality. II. Fisher information, Fourier crosstalk, and figures of merit for task performance. *JOSA A*, 12, 834-852
- Brown, M.E., Pinzón, J.E., Didan, K., Morisette, J.T., & Tucker, C.J. (2006). Evaluation of the consistency of long-term NDVI time series derived from AVHRR, SPOT-Vegetation, SeaWiFS, MODIS, and Landsat ETM+ sensors. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 44, 1787-1793
- Burrough, P.A. (1991). Sampling Designs for Quantifying Map Unit Composition. In M.J. Mausbach, & L.P. Wilding (Eds.), *Spatial Variabilities of Soils and Landforms* (pp. 89-125): Soil Science Society of America
- Campbell, J.B. (2002). *Introduction to remote sensing*. CRC Press
- Cao, L., Xu, J., & Yang, Y. (2011). Vegetation coverage change trend in inner mongolia of China during 1998-2008. In *Advances in Intelligent and Soft Computing* (pp. 159-163)
- Carlson, T.N., & Ripley, D.A. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62, 241-252
- Cees, V., & Farifteh, J. (2001). ILWIS user's Guide. *International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) Enschede, Netherland*, 43-47
- Chavez, P.S. (1996). Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 62, 1025-1035
- Chavez, P.S., & MacKinnon, D.J. (1994). Automatic detection of vegetation changes in the southwestern United States using remotely sensed images. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 60, 571-583

- CHAVEZ, P.t., & Kwarteng, A.Y. (1989). Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal component analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55, 339-348
- Chen, J., Jönsson, P., Tamura, M., Gu, Z., Matsushita, B., & Eklundh, L. (2004). A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. *Remote Sensing of Environment*, 91, 332-344
- Colby, J.D. (1991). Topographic normalization in rugged terrain. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, 531-537
- Collins, J.B., & Woodcock, C.E. (1996). An assessment of several linear change detection techniques for mapping forest mortality using multitemporal Landsat TM data. *Remote sensing of Environment*, 56, 66-77
- Congalton, R.G. (2009). Accuracy and Error Analysis of Global and Local Maps: Lessons Learned and Future Considerations. *Remote Sensing of Global Croplands for Food Security*, 441
- Congalton, R.G., & Green, K. (2008). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press
- Costa-Posada, C. (1997). The topographic effect in visible and near infrared satellite imagery. In: PhD Thesis, University of Cambridge, Cambridge, UK
- Cracknell, A., & Hayes, L. (1993). *Atmospheric Corrections to Passive Satellite Remote Sensing Data*. London: Taylor & Francis
- Dafis, S. (1976). Classification of forest vegetation of Greece. *Ministry of Agriculture. General Directorate of Forests., No. 36*
- de Jong, R., de Bruin, S., de Wit, A., Schaepman, M.E., & Dent, D.L. (2011). Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, 115, 692-702
- de Leeuw, J., Jia, H., Yang, L., Liu, X., Schmidt, K., & Skidmore, A. (2006). Comparing accuracy assessments to infer superiority of image classification methods. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 223-232
- Despotakis, V., Giaoutzi, M., & Nijkamp, P. (1991). Spatial depiction of local sustainable development
- Dragozi, E., Gitas, I.Z., Stavrakoudis, D.G., & Theocharis, J.B. (2014). Burned Area Mapping Using Support Vector Machines and the FuzCoC Feature Selection Method on VHR IKONOS Imagery. *Remote Sensing*, 6, 12005-12036
- Eastman, J., & Fulk, M. (1993). Time series analysis of remotely sensed data using standardized Principal Components Analysis. In, *Proceedings 25th International Symposium on Remote Sensing and Global Environmental Change* (pp. 4-8)

- Eastman, J.R., Sangermano, F., Machado, E.A., Rogan, J., & Anyamba, A. (2013). Global trends in seasonality of normalized difference vegetation index (NDVI), 1982–2011. *Remote Sensing*, *5*, 4799-4818
- Ekstrand, S. (1996). Landsat TM-based forest damage assessment: correction for topographic effects. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, *62*, 151-162
- Foody, G.M. (2004). Thematic Map Comparison. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, *70*, 627-633
- Foody, G.M. (2009a). Classification accuracy comparison: hypothesis tests and the use of confidence intervals in evaluations of difference, equivalence and non-inferiority. *Remote Sensing of Environment*, *113*, 1658-1663
- Foody, G.M. (2009b). Sample size determination for image classification accuracy assessment and comparison. *International Journal of Remote Sensing*, *30*, 5273-5291
- Gao, J., Williams, M.W., Fu, X., Wang, G., & Gong, T. (2012). Spatiotemporal distribution of snow in eastern Tibet and the response to climate change. *Remote Sensing of Environment*, *121*, 1-9
- Geerken, R., Batikha, N., Celis, D., & DePauw, E. (2005a). Differentiation of rangeland vegetation and assessment of its status: Field investigations and MODIS and SPOT VEGETATION data analyses. *International Journal of Remote Sensing*, *26*, 4499-4526
- Geerken, R., Zaitchik, B., & Evans, J. (2005b). Classifying rangeland vegetation type and coverage from NDVI time series using Fourier Filtered Cycle Similarity. *International Journal of Remote Sensing*, *26*, 5535-5554
- Giglio, L., Csiszar, I., Restás, Á., Morisette, J.T., Schroeder, W., Morton, D., & Justice, C.O. (2008). Active fire detection and characterization with the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER). *Remote Sensing of Environment*, *112*, 3055-3063
- Gitas, I. (1999). Geographical information systems and remote sensing in mapping and monitoring fire-altered forest landscapes. *University of Cambridge, Cambridge*
- Gitas, I.Z., Radoglou, K., Devereux, B.J., & Spanos, I. (2000). Comparative study of the post fire ecosystem recovery of *Pinus brutia* in Thasos by using experimental plots and geographical information systems. In, *International Conference on Protection and Restoration of the Environment* (pp. 651-658). Thasos, Greece
- Green, E., Mumby, P., Edwards, A., Clark, C., & Ellis, A. (1998). The assessment of mangrove areas using high resolution multispectral airborne imagery. *Journal of Coastal Research*, 433-443
- Hadjimitsis, D., Clayton, C., & Hope, V. (2000). The importance of accounting for atmospheric effects in satellite remote sensing: a case study from the Lower Thames Valley Area, UK. *Space and Robotics 2000*, 194-201

- Hadjimitsis, D.G. (1999). The application of atmospheric correction algorithms in the satellite remote sensing of reservoirs. In: University of Surrey
- Henebry, G.M. (1993). Detecting change in grasslands using measures of spatial dependence with Landsat TM data. *Remote sensing of environment*, 46, 223-234
- Hodgson, M., & Shelley, B. (1994). Removing the topographic effect in remotely sensed imagery. *Erdas Monitor*, 6, 4-6
- Holben, B., & Justice, C. (1981). An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 2, 115-133
- Holben, B.N. (1986). Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 7, 1417-1434
- Hope, A., Kimball, J., & Stow, D. (1993). The relationship between tussock tundra spectral reflectance properties and biomass and vegetation composition. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1861-1874
- Hope, A., Pence, K., & Stow, D. (2004). NDVI from low altitude aircraft and composited NOAA AVHRR data for scaling Arctic ecosystem fluxes. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 4237-4250
- Hsieh H.C. , C.C.C. (1995). An analysis of vegetation greenness of Fu-shan with SPOT XS multitemporal data. *Bulletin of Taiwan Forest Research Institute New Series*, 10 (1), pp. 105-120 (in Chinese with English abstract)
- Hudson, W.D., & Ramm, C.W. (1987). Correct formulation of the kappa-coefficient of agreement. In (pp. 421-422): AMER SOC PHOTOGRAMMETRY 5410 GROSVENOR LANE SUITE 210, BETHESDA, MD 20814-2160
- Hussin, Y., & de Gier, A. (1994). HARGYONO, 1994, Forest cover change detection analysis using remote sensing: a test for the spatially resolved area production model. In, *Fifth European Conference and Exhibition on Geographic Information Systems, EGIS* (pp. 1825-1834)
- Jat, M.K., Garg, P., & Khare, D. (2008). Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques. *International journal of Applied earth Observation and Geoinformation*, 10, 26-43
- Jensen, J.R. (1996). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. Prentice-Hall Inc.
- Jensen, J.R. (2005). *Introductory digital image processing 3rd edition*. In: Upper Saddle River: Prentice Hall
- Jeyaseelan, A.T., & Thiruvengadachari, S. (1993). Suspected Mt. Pinatubo aerosol impact on the NOAA AVHRR NDVI over India. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 603-608

- Kapur, J., Sahoo, P.K., & Wong, A.K. (1985). A new method for gray-level picture thresholding using the entropy of the histogram. *Computer vision, graphics, and image processing*, 29, 273-285
- Karteris, M.A., Meliadis, I.M., Kritikos, G.S., & Nikolaidis, A. (1992). Forest classification and mapping of Mediterranean forests and maquis with satellite data. *Mediterranean Agronomic Institute of Chania, Chania, Greece*
- Kaufmann, R.K., Zhou, L., Knyazikhin, Y., Shabanov, V., Myneni, R.B., & Tucker, C.J. (2000). Effect of orbital drift and sensor changes on the time series of AVHRR vegetation index data. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 38, 2584-2597
- Kendall, M. (1962). Rank correlation methods Hafner. *New York*, 126
- Kendall, M.G. (1938). A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 81-93
- Kriegler, F., Malila, W., Nalepka, R., & Richardson, W. (1969). Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. In, *Remote Sensing of Environment*, VI (p. 97)
- Lambin, E.F., & Strahlers, A.H. (1994). Change-vector analysis in multitemporal space: a tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 48, 231-244
- Lawrence, R.L., & Ripple, W.J. (1999). Calculating change curves for multitemporal satellite imagery: Mount St. Helens 1980–1995. *Remote Sensing of Environment*, 67, 309-319
- Li, Z., & Guo, X. (2012). Detecting climate effects on vegetation in northern mixed prairie using NOAA AVHRR 1-km time-series NDVI data. *Remote Sensing*, 4, 120-134
- Li, Z., Huffman, T., McConkey, B., & Townley-Smith, L. (2013). Monitoring and modeling spatial and temporal patterns of grassland dynamics using time-series MODIS NDVI with climate and stocking data. *Remote Sensing of Environment*, 138, 232-244
- Liang, S. (2005). *Quantitative remote sensing of land surfaces*. John Wiley & Sons
- Lillesand, T.M., & Kiefer, R.W. (1994). Remote sensing and image interpretation. In: Wiley, New York
- Lin, W.-T., Lin, C.-Y., & Chou, W.-C. (2006). Assessment of vegetation recovery and soil erosion at landslides caused by a catastrophic earthquake: a case study in Central Taiwan. *Ecological Engineering*, 28, 79-89
- Lunetta, R.S., Knight, J.F., Ediriwickrema, J., Lyon, J.G., & Worthy, L.D. (2006). Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote sensing of environment*, 105, 142-154
- Makedos, I. (1987). The Pinus brutia forest of Thasos. *Pinus halepensis and Pinus brutia forests (Ecology, Management and Development)*(V. Papanastasis, ed.), *Hellenic association of Foresters, Chalkida, Greece*

- Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 245-259
- Mas, J.-F. (1999). Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. *International journal of remote sensing*, 20, 139-152
- Mather, P.M. (2004). Computer Processing of Remotely Sensed Data: An Introduction. In: Brisbane: John Wiley and Sons
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. (2007). Sensitivity of the enhanced vegetation index (EVI) and normalized difference vegetation index (NDVI) to topographic effects: a case study in high-density cypress forest. *Sensors*, 7, 2636-2651
- McMichael, C.E. (1999). Estimating CO₂ exchange at two sites in Arctic tundra ecosystems during the growing season using a spectral vegetation index. *International journal of remote sensing*, 20, 683-698
- Meliadis, I., & Karteris, M.A. (1992). Application of satellite technology in land cover/use mapping. In, *Μεσόγειος: Περιβάλλον, Αγροτική Ανάπτυξη, Ποιότητα Ζωής. 1ο Διεθνές Συνέδριο για το Περιβάλλον*. Αθήνα, 21 - 24 Μαρτίου 1993.: Γεωτεχνικό Επιμελητήριο της Ελλάδος, 12 σελίδες.
- Mitri, G., & Gitas, I. (2004). A performance evaluation of a burned area object-based classification model when applied to topographically and non-topographically corrected TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 2863-2870
- Moran, M.S., Jackson, R.D., Slater, P.N., & Teillet, P.M. (1992). Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output. *Remote Sensing of Environment*, 41, 169-184
- Morawitz, D.F., Blewett, T.M., Cohen, A., & Alberti, M. (2006). Using NDVI to assess vegetative land cover change in Central Puget Sound. *Environmental Monitoring and Assessment*, 114, 85-106
- Morisette, J., Khorram, S., & Mace, T. (1999). Land-cover change detection enhanced with generalized linear models. *International Journal of Remote Sensing*, 20, 2703-2721
- Moshen, A. (1999). Environmental Land Use Change Detection and Assessment Using with Multi-temporal Satellite Imagery. *Zanjan university*
- Mountrakis, D. (1985). Geology of Greece. *Thessaloniki*, 207
- Myneni, R., & Asrar, G. (1994). Atmospheric effects and spectral vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 47, 390-402
- Myneni, R.B., Keeling, C., Tucker, C., Asrar, G., & Nemani, R. (1997). Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 386, 698-702

- Nakos, G. (1995). Desertification in the Mediterranean Area: A Decision Support System for the prevention of desertification resulting from forest fires. *Institute of Mediterranean Forest Ecosystems*
- Neeti, N., & Eastman, J.R. (2011). A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. *Transactions in GIS, 15*, 599-611
- Neeti, N., Rogan, J., Christman, Z., Eastman, J.R., Millones, M., Schneider, L., Nickl, E., Schmook, B., Turner II, B.L., & Ghimire, B. (2012). Mapping seasonal trends in vegetation using AVHRR-NDVI time series in the Yucatán Peninsula, Mexico. *Remote Sensing Letters, 3*, 433-442
- Nemani, R.R., Running, S.W., Pielke, R.A., & Chase, T.N. (1996). Global vegetation cover changes from coarse resolution satellite data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), 101*, 7157-7162
- Patra, S., Ghosh, S., & Ghosh, A. (2011). Histogram thresholding for unsupervised change detection of remote sensing images. *International Journal of Remote Sensing, 32*, 6071-6089
- Pei, S., Fu, H., & Wan, C. (2008). Changes in soil properties and vegetation following enclosure and grazing in degraded Alxa desert steppe of Inner Mongolia, China. *Agriculture, ecosystems & environment, 124*, 33-39
- Peters, A.J., Reed, B.C., Eve, M.D., & McDaniel, K.C. (1992). Remote sensing of broom snakeweed (*Gutierrezia sarothrae*) with NOAA-10 spectral image processing. *Weed Technology, 10*, 1015-1020
- Pilon, P., Howarth, P., Bullock, R., & Adeniyi, P. (1988). An enhanced classification approach to change detection in semi-arid environments. *Photogrammetric engineering and remote sensing (USA)*
- Pittas, A. (2003). Application of remote sensing methods for monitoring the evolution of lake Koronia's water body. . In, *9th National Conference of the Greek Hydro-technical Association*. Thessaloniki
- Rao, C., & Chen, J. (1999). Revised post-launch calibration of the visible and near-infrared channels of the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) on the NOAA-14 spacecraft. *International Journal of Remote Sensing, 20*, 3485-3491
- Read, J., & Lam, N.S.-N. (2002). Spatial methods for characterising land cover and detecting land-cover changes for the tropics. *International Journal of Remote Sensing, 23*, 2457-2474
- Richards, J.A. (1993). *Remote sensing digital image analysis: An introduction (2nd ed.)*. Heidelberg: SpringerVerlag
- Richter, R. (1996). A spatially adaptive fast atmospheric correction algorithm. *International Journal of Remote Sensing, 17*, 1201-1214

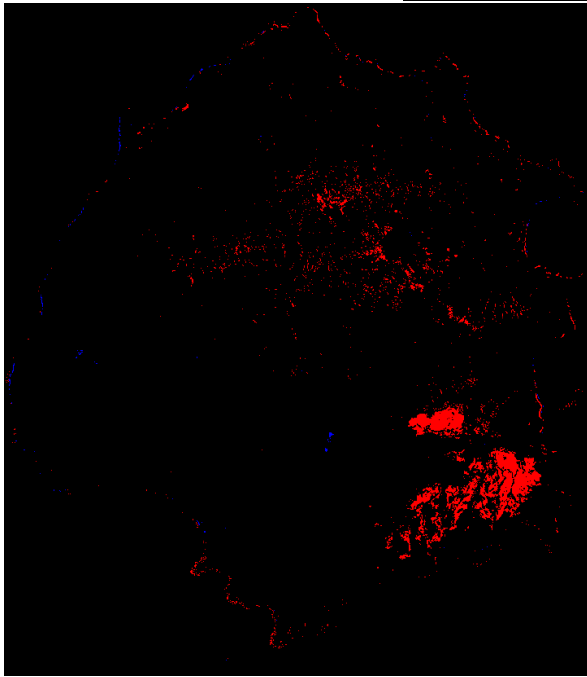
- Rogan, J., Franklin, J., & Roberts, D.A. (2002). A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote Sensing of Environment*, 80, 143-156
- Roughgarden, J., Running, S., & Matson, P.A. (1991). What does remote sensing do for ecology? *Ecology*, 1918-1922
- Rouse, J., Haas, R., & Schell, J. (1973). W. Deering, D.(1973). *Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.*
- Rowan, L.C., Kingston, M.J., & Crowley, J.K. (1986). Spectral reflectance of carbonatites and related alkalic igneous rocks: selected samples from four North American localities. *Economic Geology*, 81, 857-871
- S. Yue, & Wang, C. (2004). The Mann–Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resources Management*, 18, 201-218
- Sabins, F.F. (1999). Remote sensing for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 14, 157-183
- Sellers, P.J. (1985). Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 1335-1372
- Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, The, 27, 379-423
- Sheng, Y., Chen, W., Xiao, Q., & GUO, L. (1995). Macro classification of vegetation in China with NOAA/NDVIs. *Chinese Science Bulletin*, 40, 839-844
- Singh, A. (1986). Change detection in the tropical forest environment of northeastern India using Landsat. *Remote sensing and tropical land management*, 237-254
- Singh, A. (1989). Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International journal of remote sensing*, 10, 989-1003
- Singh, A., & Harrison, A. (1985). Standardized principal components. *International Journal of Remote Sensing*, 6, 883-896
- Smith, J., Lin, T.L., & Ranson, K. (1980). The Lambertian assumption and Landsat data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46, 1183-1189
- Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P., & Macomber, S.A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, 75, 230-244
- Spanos, I. (1992). Structure analysis and natural regeneration of Pinus brutia forests in Thasos island. In: Ph. D. Thesis. Aristotle University of Thessaloniki, Department of Forestry and Natural Environment, Thessaloniki, Greece

- Spanos, I. (1994). Natural regeneration of *Pinus brutia* on the burnt areas in the north-western areas of the Island of Thasos. *Geotech Science*, 4, 33-39
- Spanos, I.A., Radoglou, K.M., & Raftoyannis, Y. (2001). Site quality effects on post-fire regeneration of *Pinus brutia* forest on a Greek island. *Applied Vegetation Science*, 4, 229-236
- Stavrakoudis, D.G., Galidaki, G.N., Gitas, I.Z., & Theocharis, J.B. (2012). A genetic fuzzy-rule-based classifier for land cover classification from hyperspectral imagery. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 50, 130-148
- Stow, D., Tinney, L., & Estes, J. (1980). Deriving land use/land cover change statistics from LANDSAT: a study of prime agricultural land. In, *Proceedings... International Symposium on Remote Sensing of Environment*
- Stow, D.A. (1995). Monitoring ecosystem response to global change: multitemporal remote sensing analyses. *Global Change and Mediterranean-Type Ecosystems* (pp. 254-286): Springer
- Tahnk, W., & Coakley Jr, J. (2001). Improved calibration coefficients for NOAA-14 AVHRR visible and near-infrared channels. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 1269-1283
- Tao, F., Yokozawa, M., Zhang, Z., Xu, Y., & Hayashi, Y. (2005). Remote sensing of crop production in China by production efficiency models: models comparisons, estimates and uncertainties. *Ecological modelling*, 183, 385-396
- Tieszen, L.L., Reed, B.C., Bliss, N.B., Wylie, B.K., & DeJong, D.D. (1997). NDVI, C3 and C4 production, and distributions in Great Plains grassland land cover classes. *Ecological applications*, 7, 59-78
- Toutin, T. (2004). Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 1893-1924
- Treitz, P.M., & Howarth, P.J. (1999). Hyperspectral remote sensing for estimating biophysical parameters of forest ecosystems. *Progress in Physical Geography*, 23, 359-390
- Trishchenko, A.P., Cihlar, J., & Li, Z. (2002). Effects of spectral response function on surface reflectance and NDVI measured with moderate resolution satellite sensors. *Remote Sensing of Environment*, 81, 1-18
- Vincini, M., & Frazzi, E. (2003). Multitemporal evaluation of topographic normalization methods on deciduous forest TM data. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 41, 2586-2590
- Wang, F. (1993). A knowledge-based vision system for detecting land changes at urban fringes. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 31, 136-145
- Weng, Q. (2002). Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of environmental management*, 64, 273-284

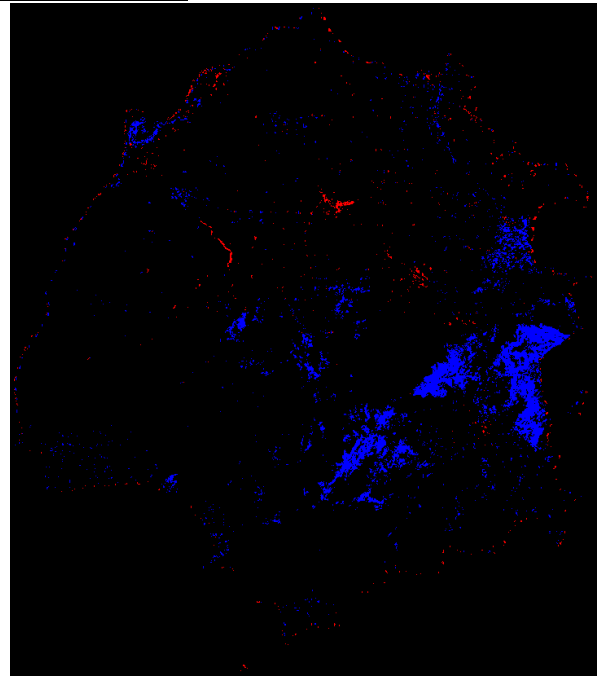
- Wessels, K., Prince, S., Zambatis, N., MacFadyen, S., Frost, P., & Van Zyl, D. (2006). Relationship between herbaceous biomass and 1-km² Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) NDVI in Kruger National Park, South Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 951-973
- Yuan, F. (2008). Land-cover change and environmental impact analysis in the Greater Mankato area of Minnesota using remote sensing and GIS modelling. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 1169-1184
- Yue, T.X., Chen, S., Xu, B., Liu, Q., Li, H., Liu, G., & Ye, Q. (2002). A curve-theorem based approach for change detection and its application to Yellow River Delta. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 2283-2292
- Zhang, J., & Goodchild, M. (2002). Uncertainty in geographical information, Research monographs in geographic information systems. In: New York: Taylor & Francis
- Zhang, Q., Wang, J., Peng, X., Gong, P., & Shi, P. (2002). Urban built-up land change detection with road density and spectral information from multi-temporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 3057-3078
- Zhang, X., Friedl, M.A., Schaaf, C.B., Strahler, A.H., Hodges, J.C., Gao, F., Reed, B.C., & Huete, A. (2003). Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote sensing of environment*, 84, 471-475
- Καρτέρης, Μ.Α. (1990). *Δασική Αεροφωτογραφία Β' Έκδοση*. Θεσσαλονίκη: University Studio Press
- Καρτέρης, Μ.Α. (1999). Τηλεπισκόπηση Περιβάλλοντος. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμήμα Δασολογίας & Φ. Π., Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής & Τηλεπισκόπησης 87, 193, 224
- Καρτέρης, Μ.Α. (2004). *Τηλεπισκόπηση Περιβάλλοντος*. Πανεπιστημιακές σημειώσεις, Τμήμα Δασολογίας & Φυσ. Περι/ντος, Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής & Τηλεπισκόπησης.
- Λιαρικός, Κ., Μαραγκού, Π., Παπαγιάννης, Θ. (επιμ. έκδοσης) (2012). Η Ελλάδα τότε και τώρα: Διαχρονική χαρτογράφηση των καλύψεων γης, 1987-2007. *WWF Ελλάς, Αθήνα*
- Πανάρετος, Ι., & Ξεκαλάκη, Ε. (1997). *Εισαγωγή στη Στατιστική Σκέψη (Τόμος 1 Περιγραφική Στατιστική)*.
- Παπαδοπούλου, Δ., Μεταπτυχιακή διατριβή (2008). “Συγχώνευση Δορυφορικών δεδομένων πολύ Υψηλής Ευκρίνειας”
- Συλλαίος, Ν., Γήτας, Ι., & Συλλαίος, Γ. (2007). Εισαγωγή στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και στην Τηλεπισκόπηση, 345-347

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

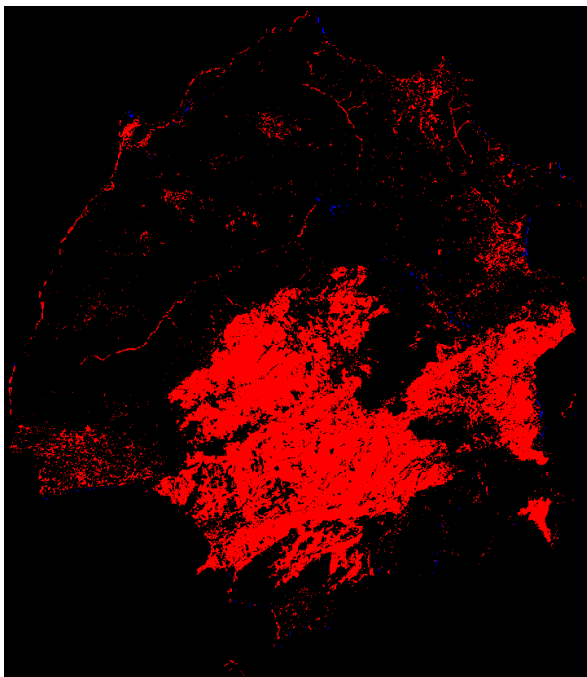
Κατωφλίωση με τη μέθοδο Karur



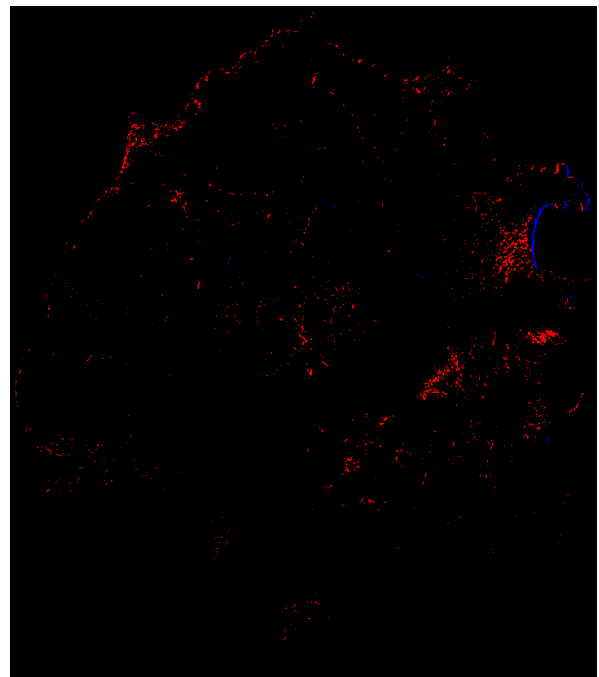
Εικόνα 73: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1984-1985.



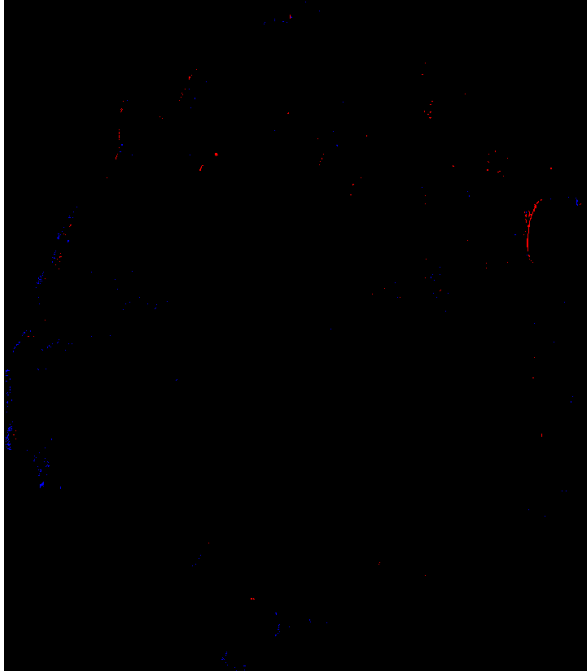
Εικόνα 75: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1986-1987.



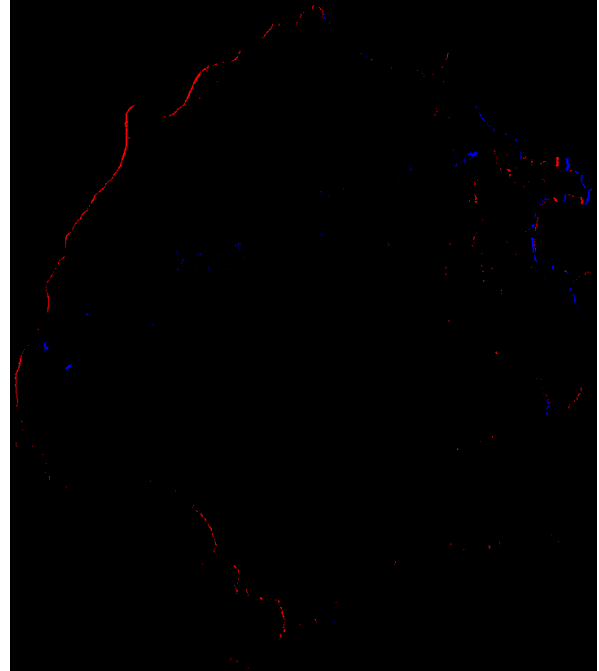
Εικόνα 74: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1985-1986.



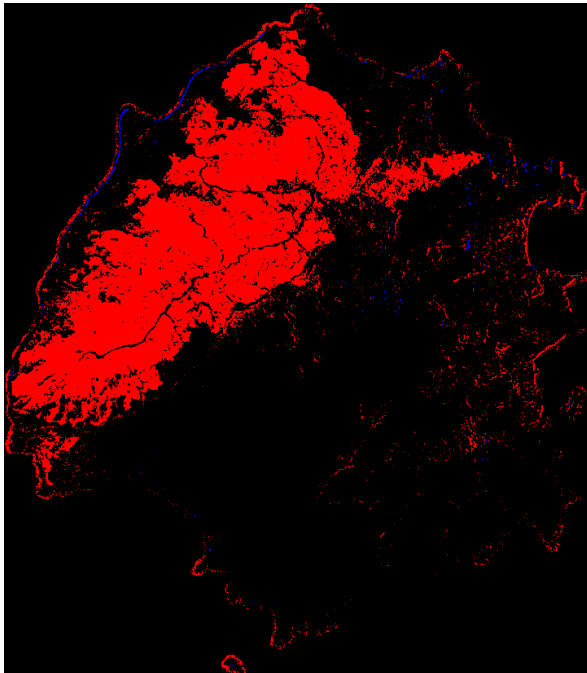
Εικόνα 76: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1987-1988.



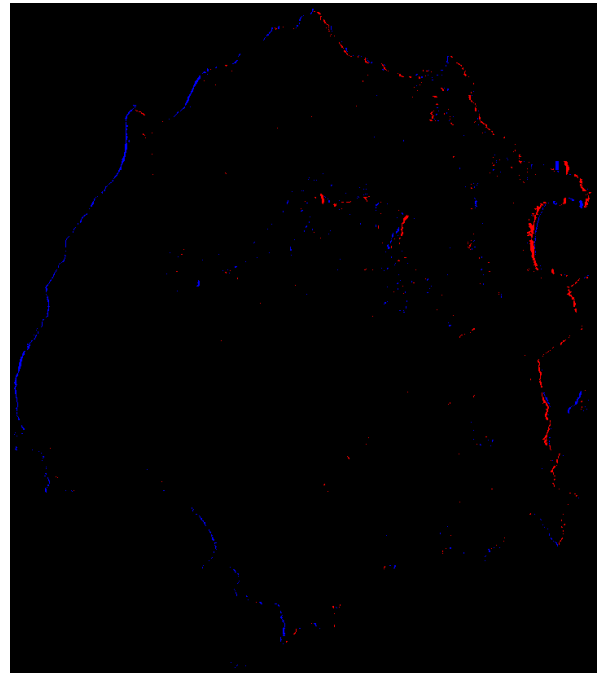
Εικόνα 77: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1988-1989.



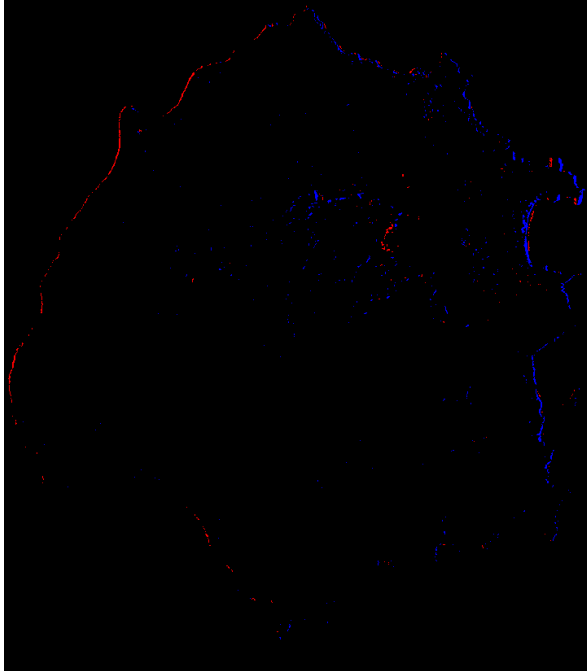
Εικόνα 79: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1990-1991.



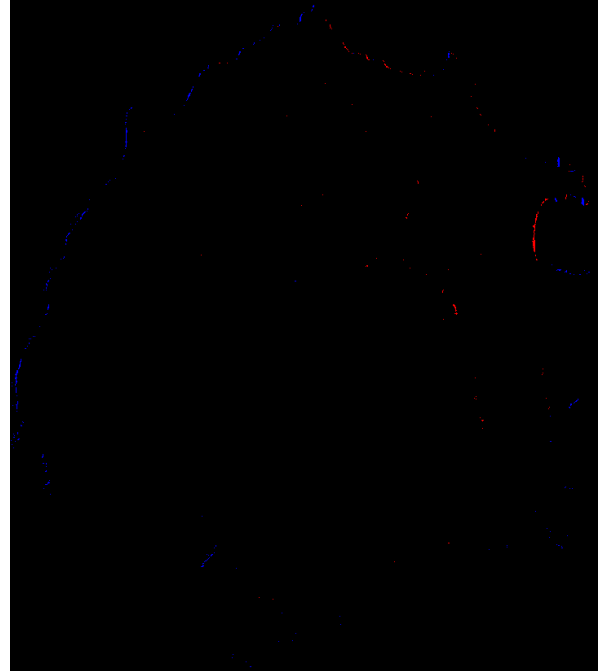
Εικόνα 78: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1989-1990.



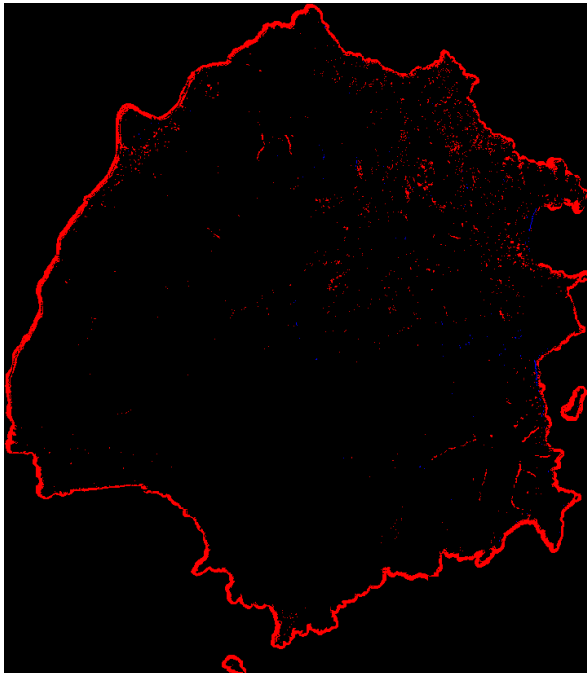
Εικόνα 80: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1991-1992.



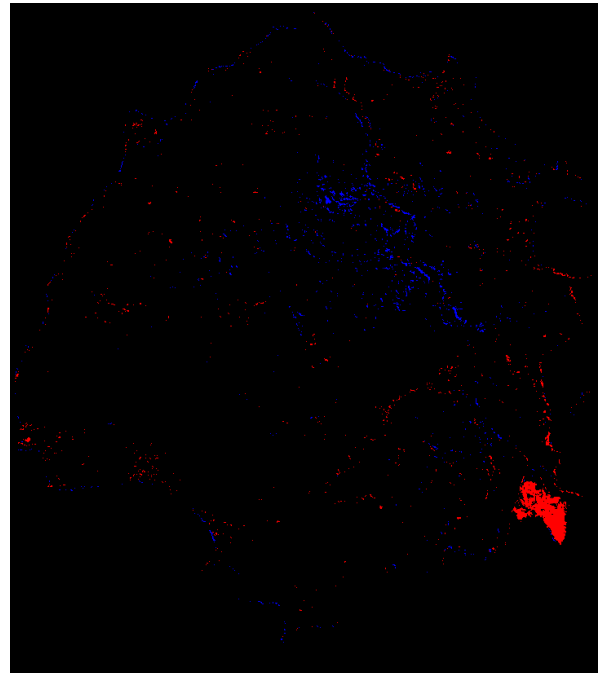
Εικόνα 81: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1992-1994.



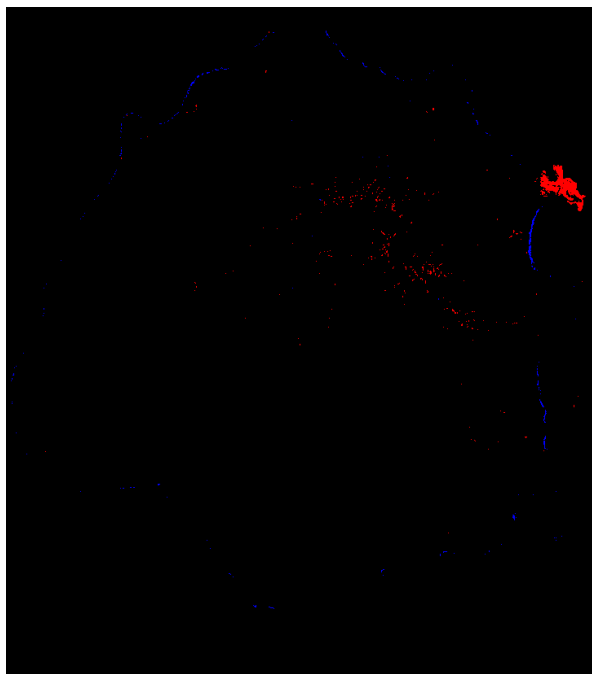
Εικόνα 83: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1995-1997.



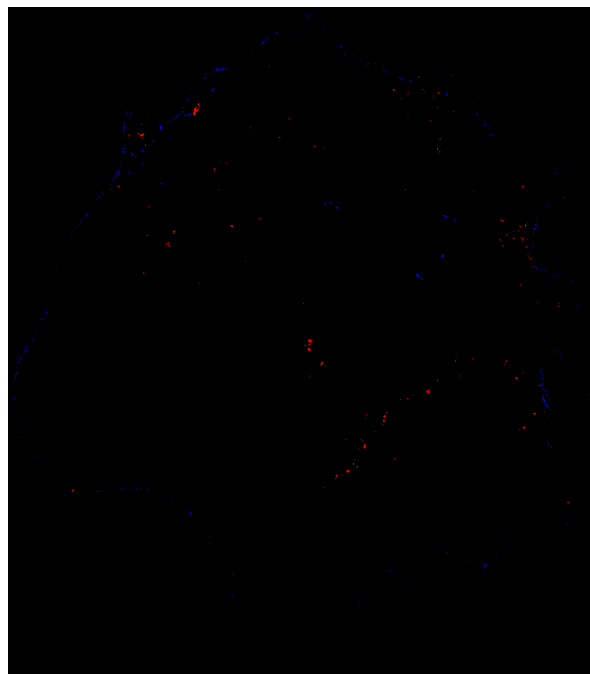
Εικόνα 82: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1994-1995.



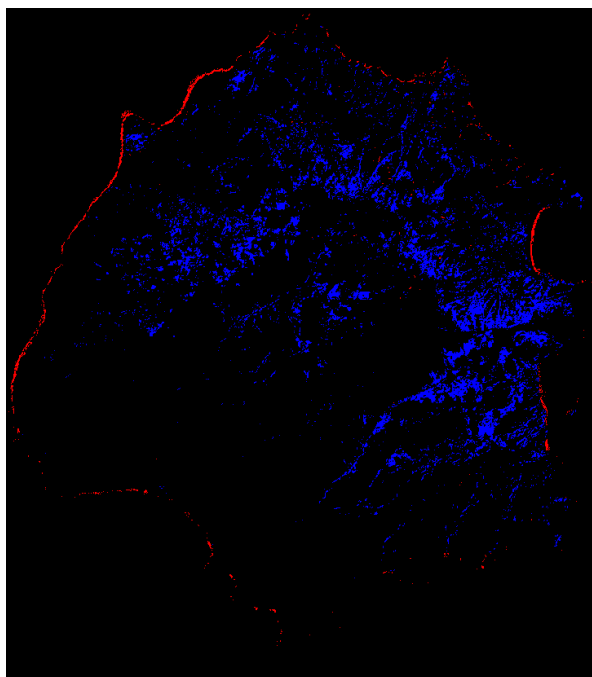
Εικόνα 84: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1997-1998.



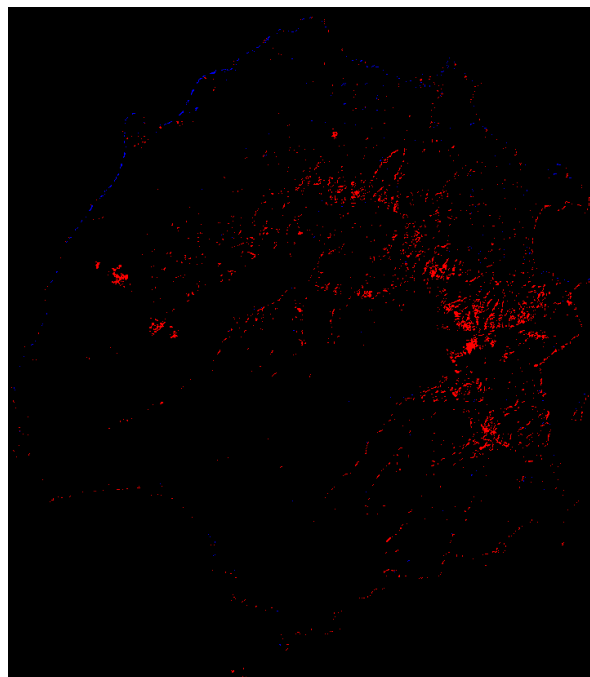
Εικόνα 85: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1998-2000.



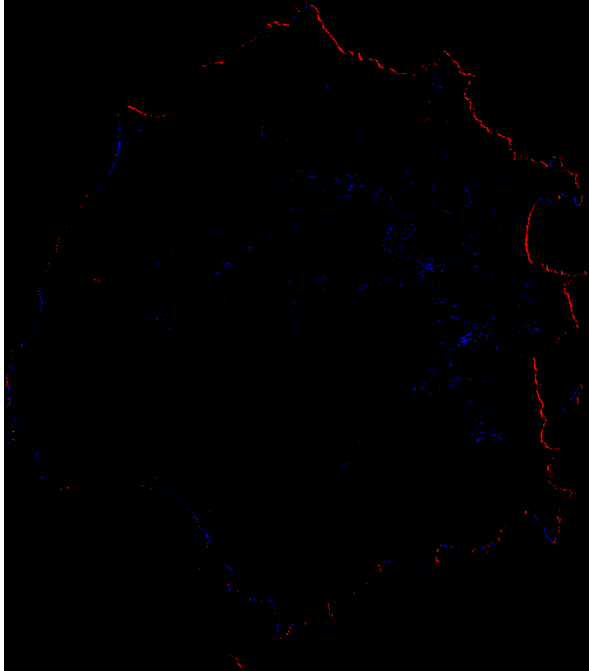
Εικόνα 87: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2001-2002.



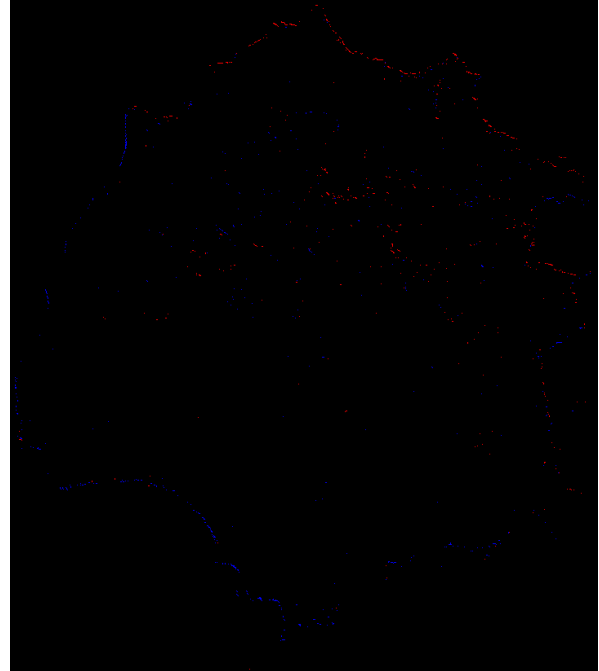
Εικόνα 86: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2000-2001.



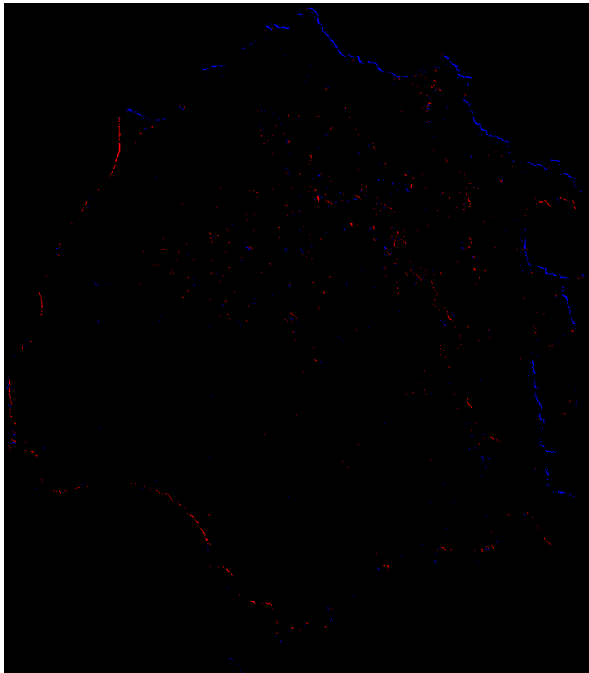
Εικόνα 88: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2002-2003.



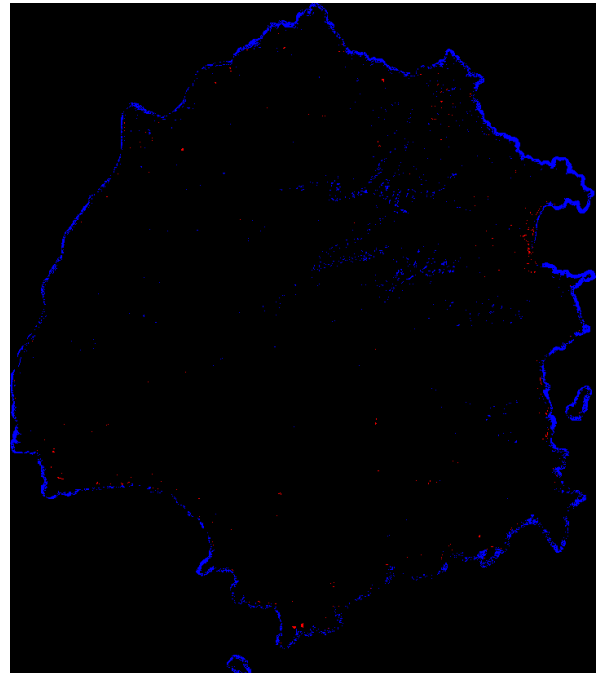
Εικόνα 89: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2003-2004.



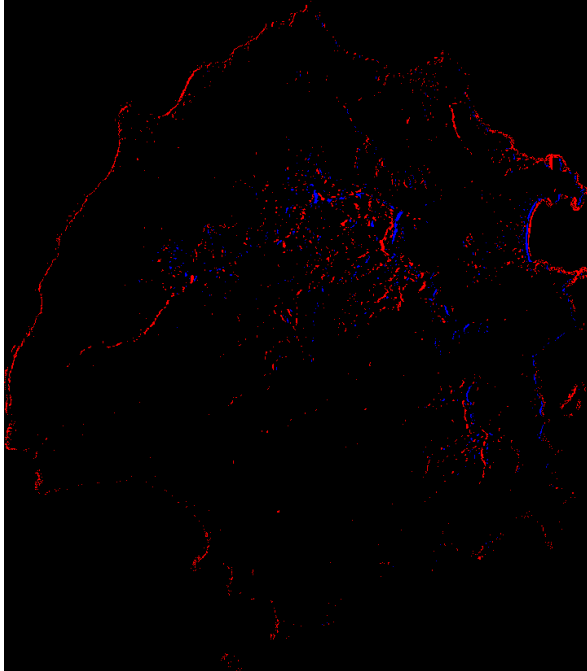
Εικόνα 91: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2005-2006.



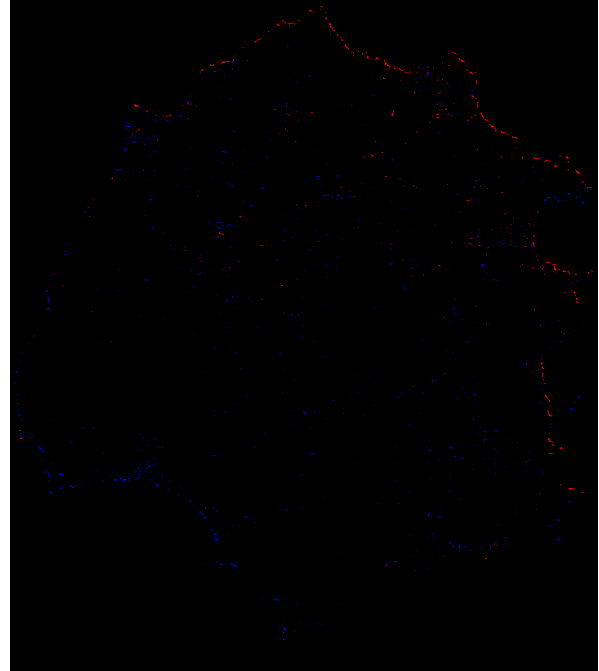
Εικόνα 90: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2004-2005.



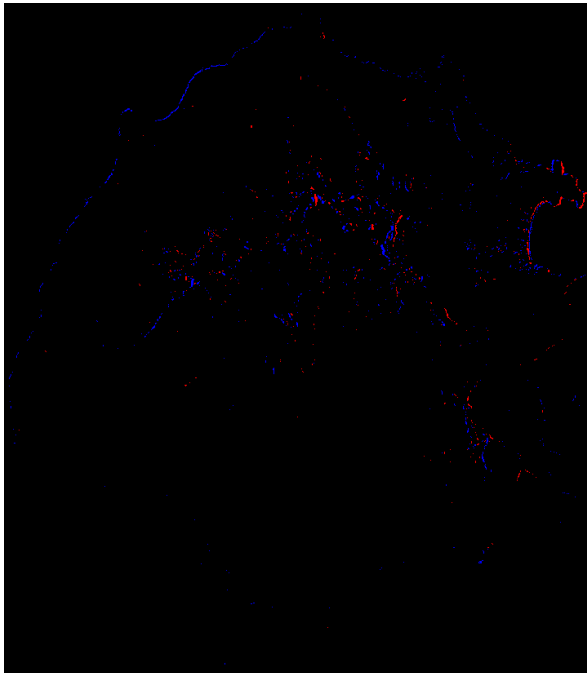
Εικόνα 92: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2006-2007.



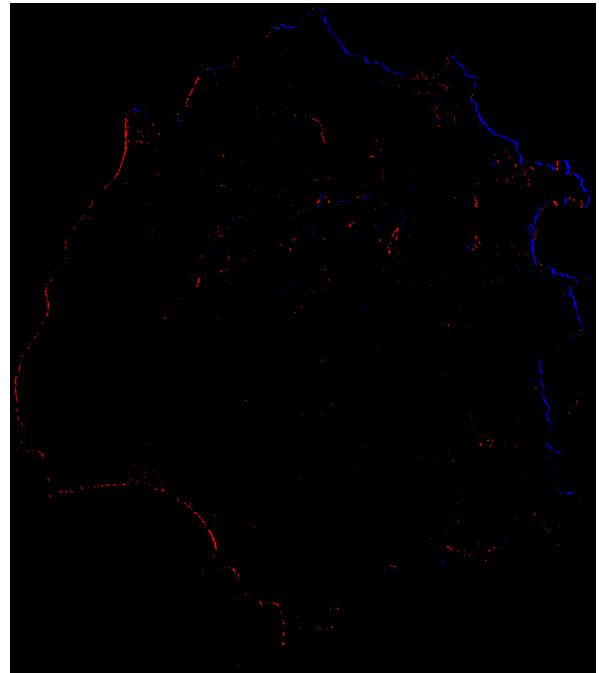
Εικόνα 93:Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2007-2008.



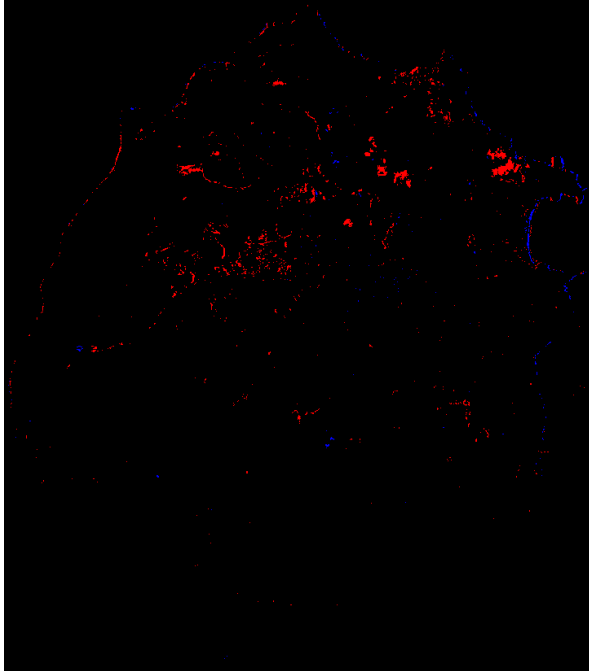
Εικόνα 95:Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2009-2010.



Εικόνα 94:Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2008-2009.

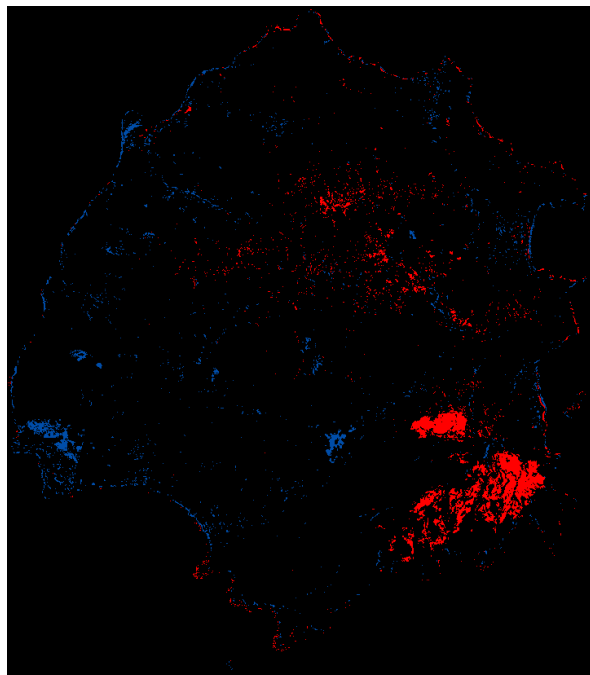


Εικόνα 96:Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 2010-2011.

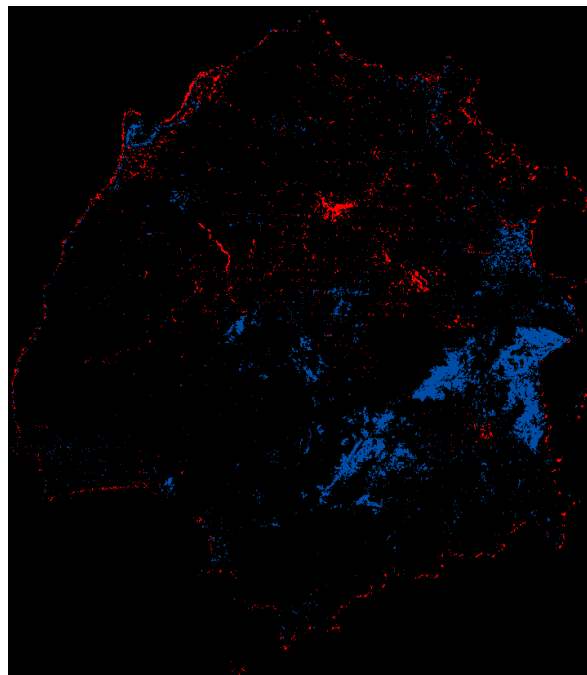


Εικόνα 97: Αποτελέσματα μετά από την κατωφλίωση (thresholding), με τη μέθοδο Karur, στην εικόνα διαφοράς 1984-2011.

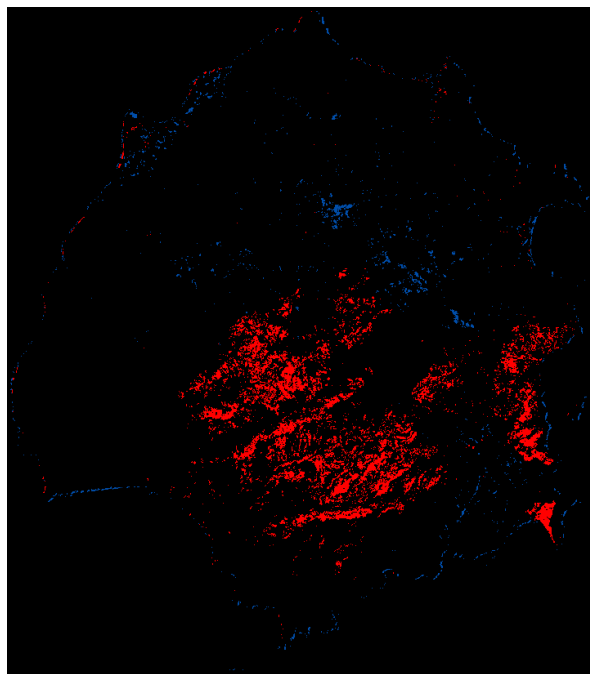
Οι δύο ακραίες κλάσεις της ταξινόμησης των z-score



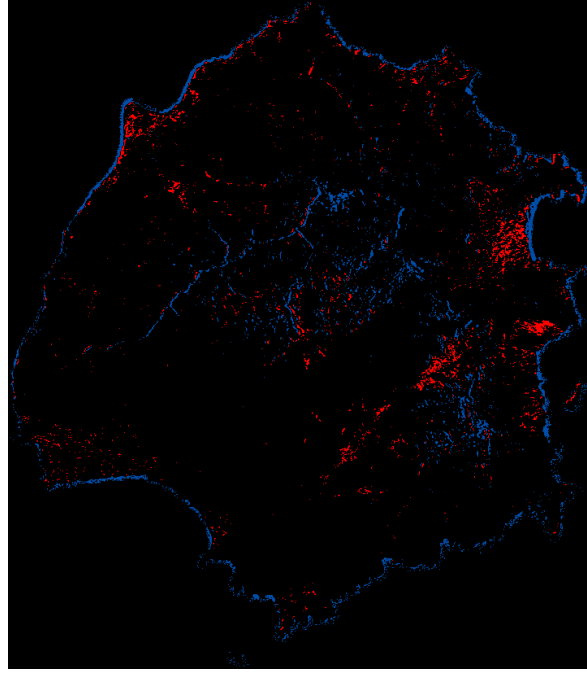
Εικόνα 98: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων και αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε έξι κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1984-1985.



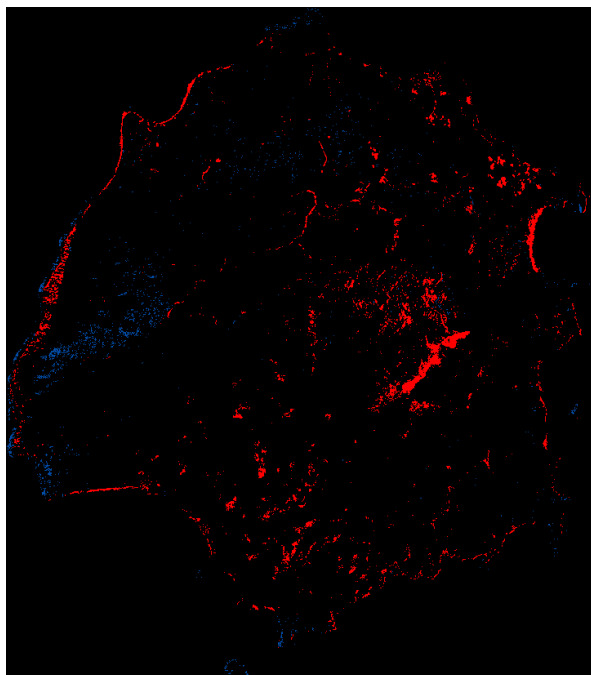
Εικόνα 100: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων & ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1986-1987.



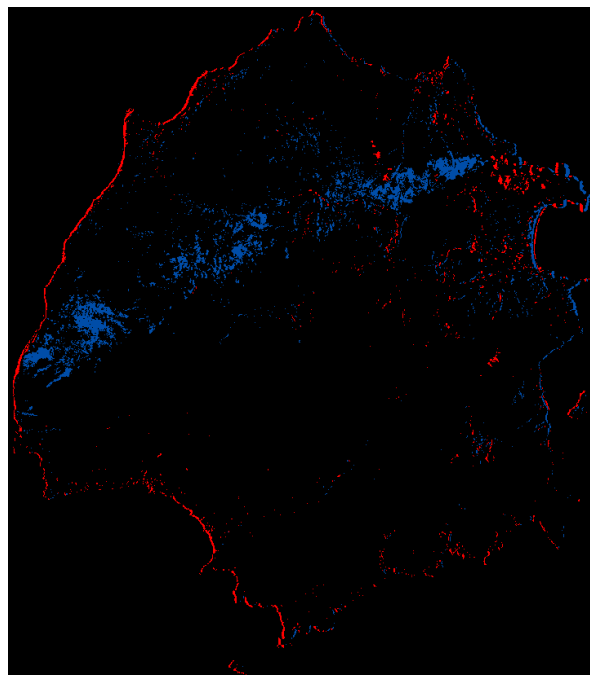
Εικόνα 99: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων και αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε έξι κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1985-1986.



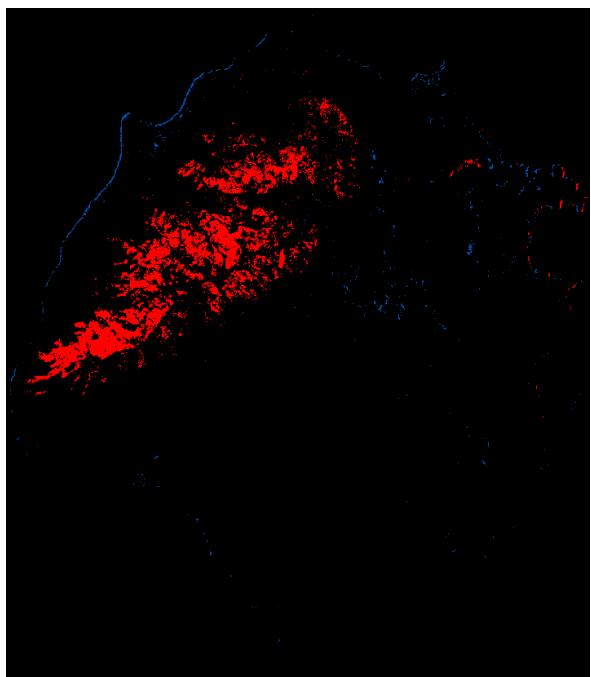
Εικόνα 101: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων και αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε έξι κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1987-1988.



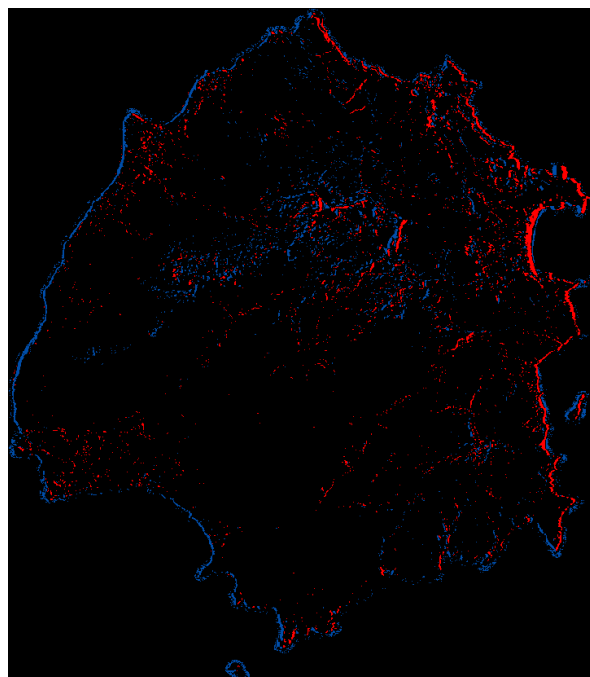
Εικόνα 102: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1988-1989.



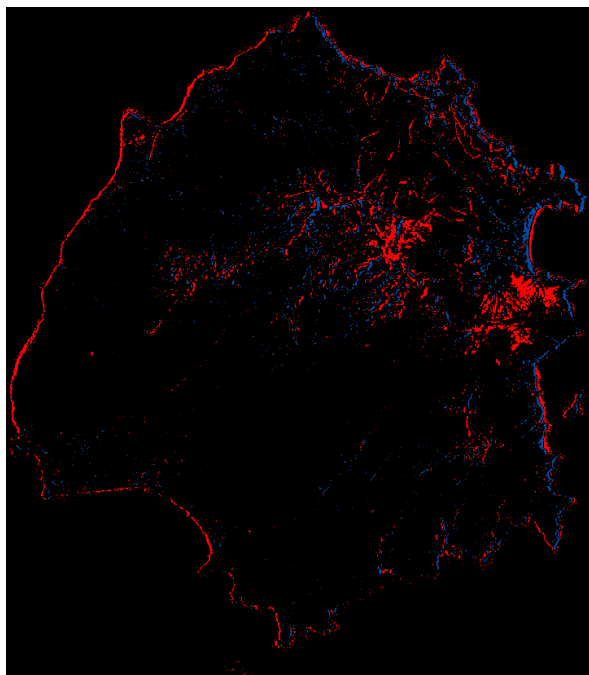
Εικόνα 104: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1990-1991.



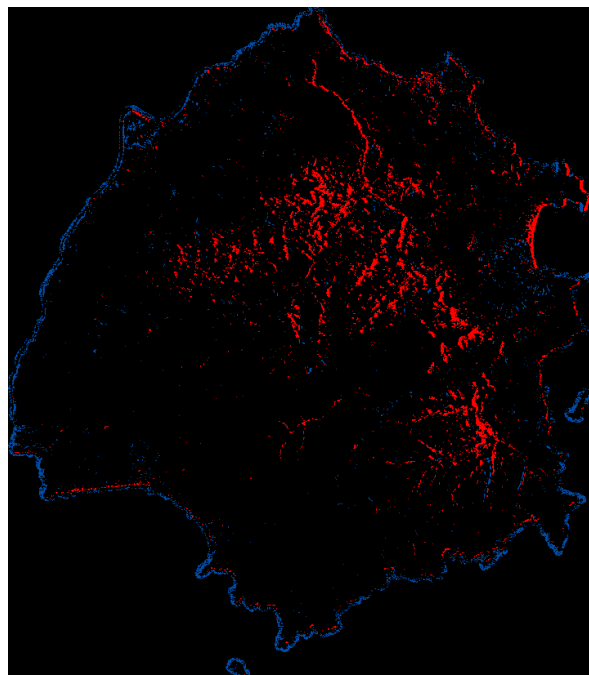
Εικόνα 103: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1989-1990.



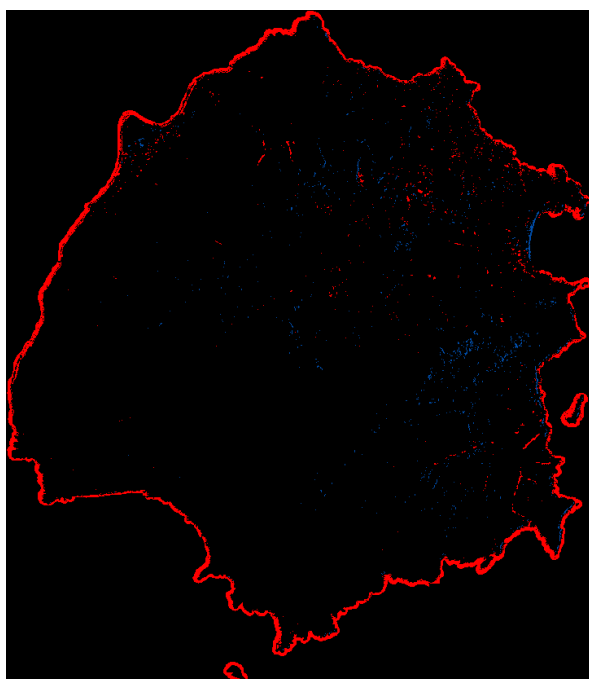
Εικόνα 105: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1991-1992.



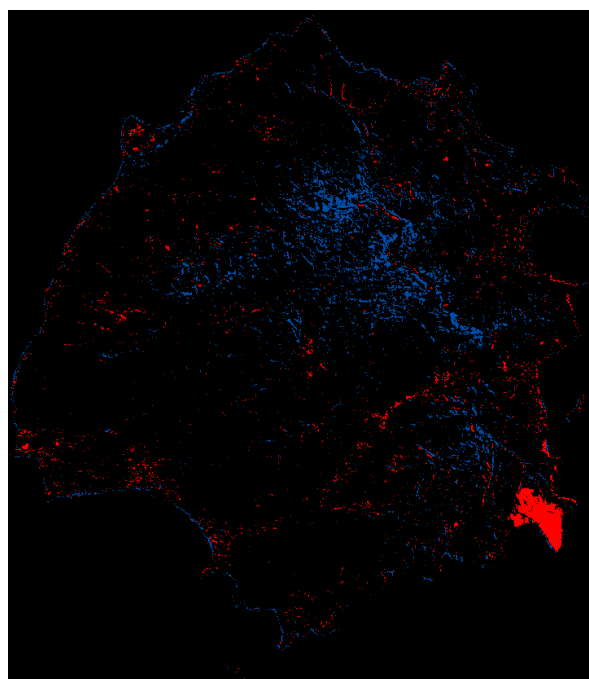
Εικόνα 106: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων και αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1992-1994.



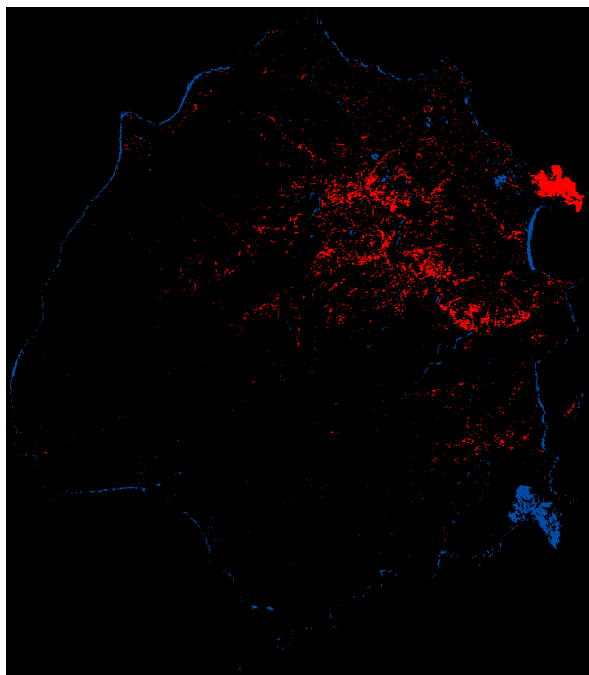
Εικόνα 108: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων και αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1995-1997.



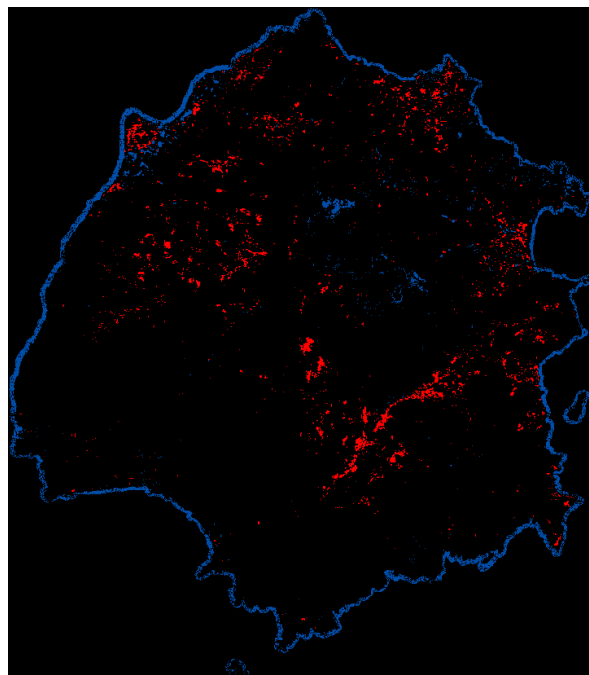
Εικόνα 107: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων και αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1994-1995.



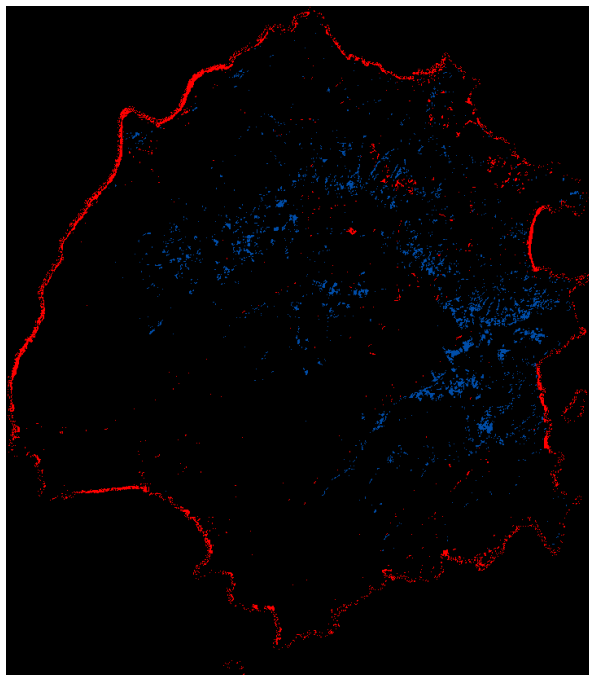
Εικόνα 109: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1997-1998.



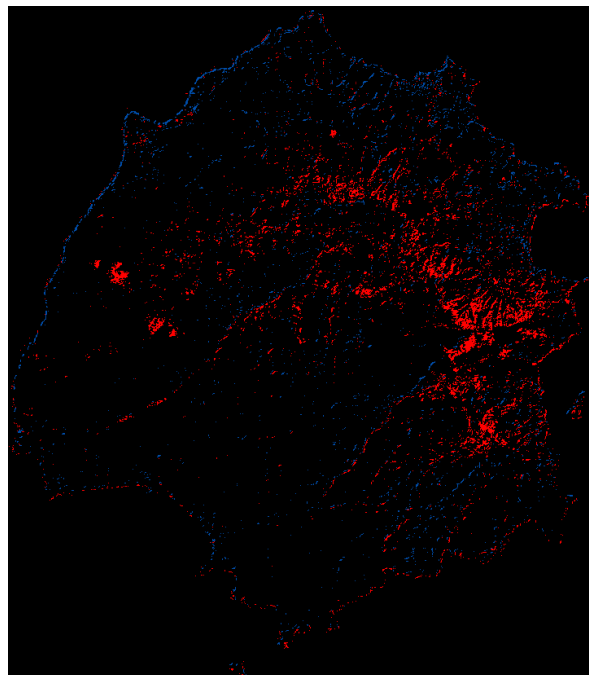
Εικόνα 110: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1998-2000.



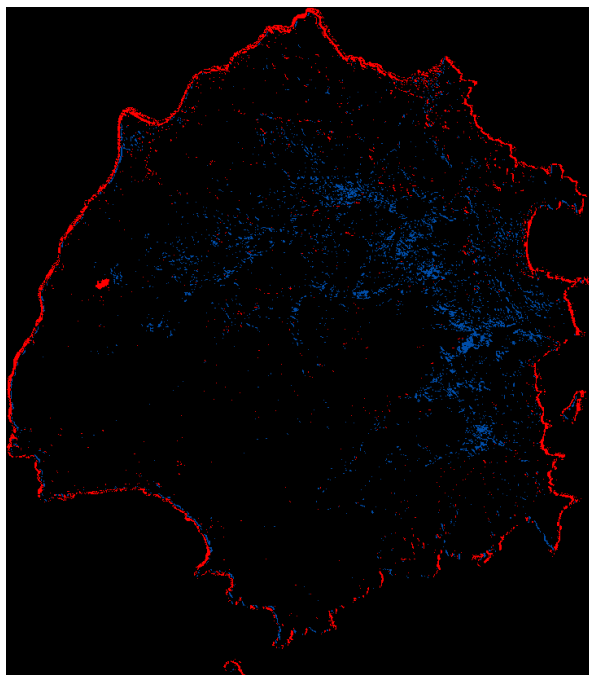
Εικόνα 112: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2001-2002.



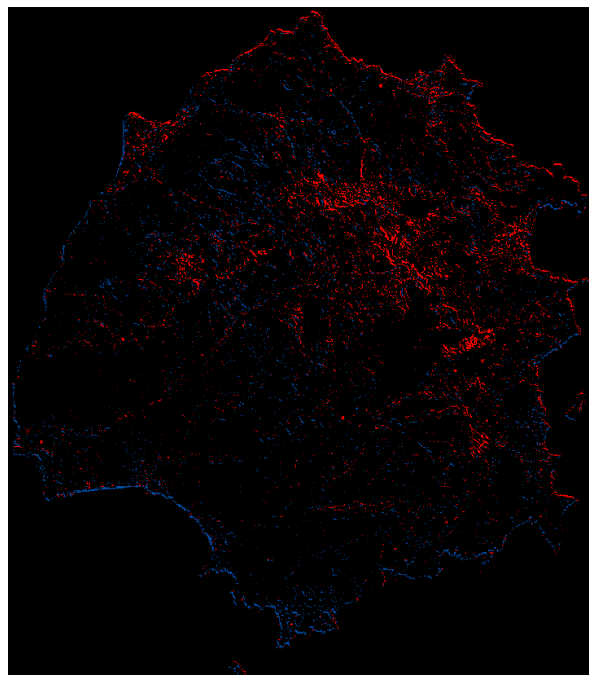
Εικόνα 111: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2000-2001.



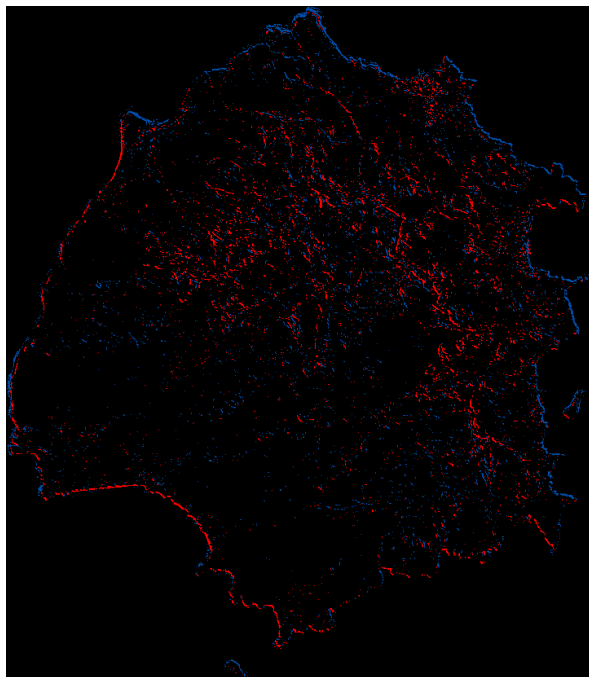
Εικόνα 113: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2002-2003.



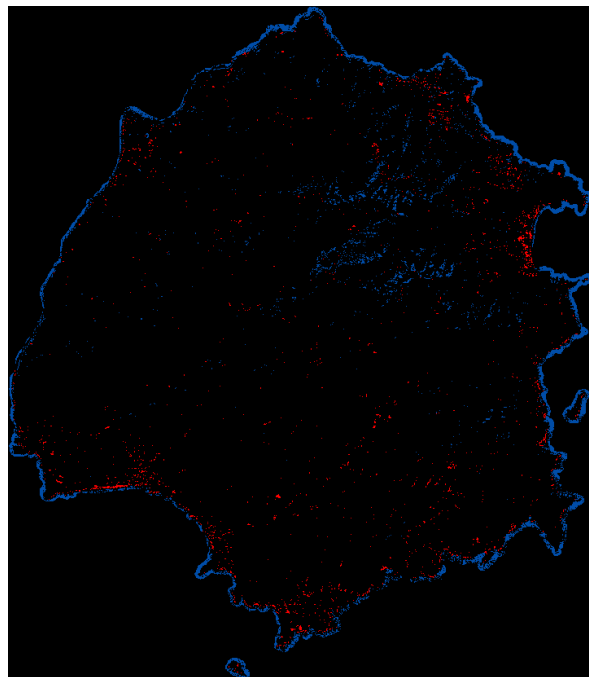
Εικόνα 114: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2003-2004.



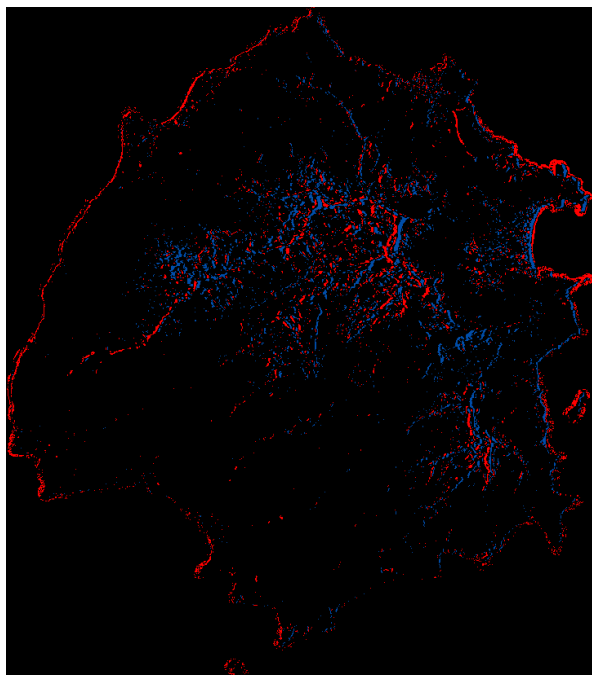
Εικόνα 116: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2005-2006.



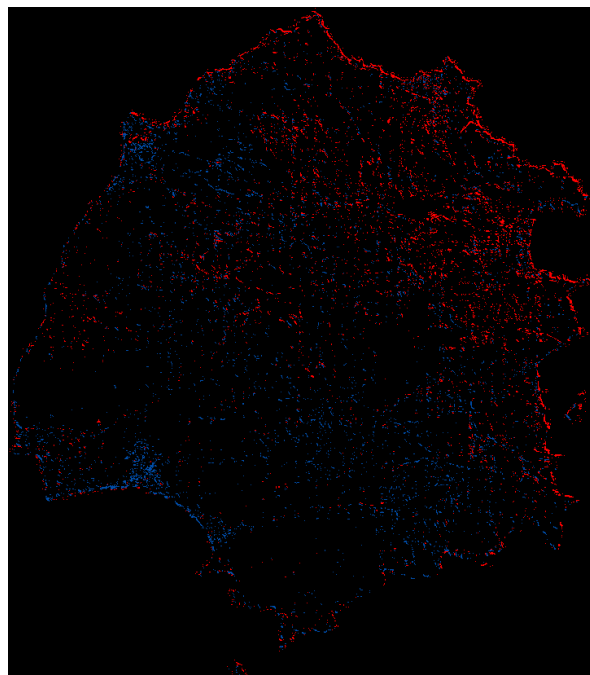
Εικόνα 115: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2004-2005.



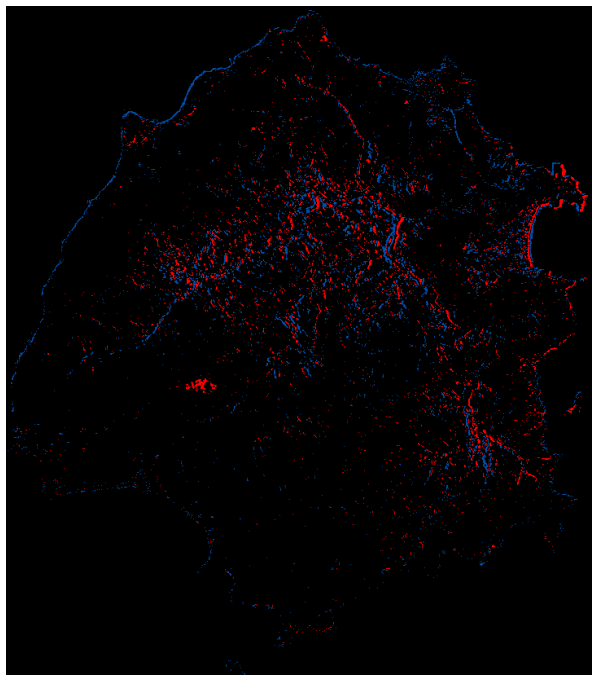
Εικόνα 117: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2006-2007.



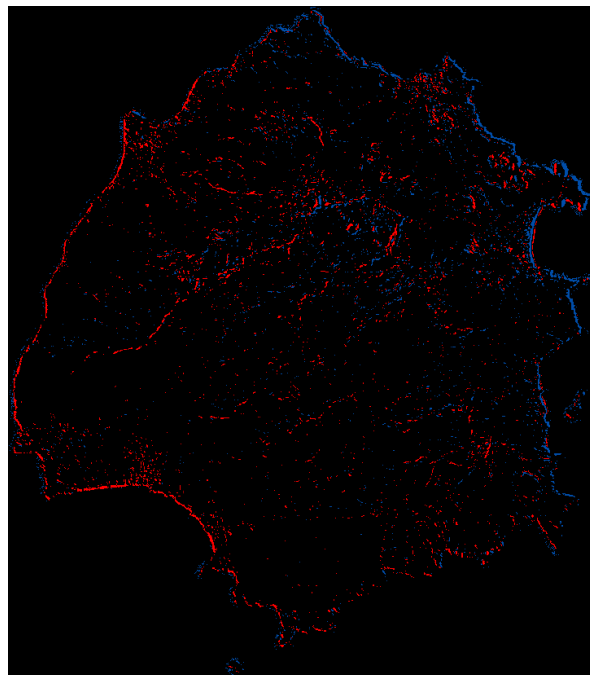
Εικόνα 118: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2007-2008.



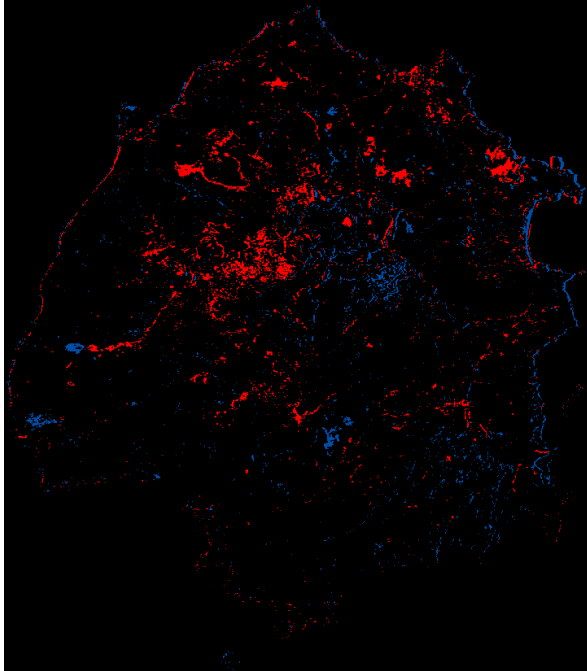
Εικόνα 120: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2009-2010.



Εικόνα 119: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2008-2009.



Εικόνα 121: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων & αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε 6 κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 2010-2011.



Εικόνα 122: Αποτελέσματα των δύο ακραίων κλάσεων (πολύ μεγάλων μειώσεων και αυξήσεων του NDVI) μετά τη διαφορά των εικόνων και ταξινόμησή τους σε έξι κλάσεις, στην εικόνα διαφοράς 1984-2011.