



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΑΛΛΑΓΗ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΚΑΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ
ΤΗΣ ΑΝΔΡΟΥ

Πτυχιακή εργασία

Ζουμή Ειρήνη

Αθήνα, [Ιούλιος 2017]



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ, ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ
ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ

ΑΛΛΑΓΗ ΧΡΗΣΕΩΝ/ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΓΗΣ ΣΕ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕ ΤΙΣ ΚΑΜΕΝΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ
ΤΗΣ ΑΝΔΡΟΥ

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καλογήρου Σταμάτης
Επίκουρος καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Καρύμπαλης Ευθύμιος
Αναπληρωτής καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο

Χαλκιάς Χρίστος
Αναπληρωτής καθηγητής, Τμήμα Γεωγραφίας, Χαροκόπειο
Πανεπιστήμιο

Αθήνα, [Ιούλιος 2017]

Η Ζουμή Ειρήνη

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

- 1) Είμαι ο κάτοχος των πνευματικών δικαιωμάτων της πρωτότυπης αυτής εργασίας και από όσο γνωρίζω η εργασία μου δε συκοφαντεί πρόσωπα, ούτε προσβάλει τα πνευματικά δικαιώματα τρίτων.
- 2) Αποδέχομαι ότι η ΒΚΠ μπορεί, χωρίς να αλλάξει το περιεχόμενο της εργασίας μου, να τη διαθέσει σε ηλεκτρονική μορφή μέσα από τη ψηφιακή Βιβλιοθήκη της, να την αντιγράψει σε οποιοδήποτε μέσο ή/και σε οποιοδήποτε μορφότυπο καθώς και να κρατά περισσότερα από ένα αντίγραφα για λόγους συντήρησης και ασφάλειας.

Αθήνα, Ιούλιος 2017

Ευχαριστίες

Για την πραγματοποίηση και την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, η συμβολή ορισμένων ανθρώπων ήταν καθοριστική. Θα ήθελα λοιπόν να τους εκφράσω ένα μεγάλο ευχαριστώ για τη βοήθεια που μου προσέφεραν, ο καθένας με το δικό του τρόπο, στην περάτωση της εργασίας μου.

Έτσι, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Καλογήρου Σταμάτη για την καθοδήγηση και την υποστήριξή του όχι μόνο κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας αλλά και καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Lorilla Roxanne Suzette και τον Κεφαλά Γεώργιο για το χρόνο, τη διάθεση και την πολύτιμη βοήθειά τους, καθώς και τους Δούκισσα Λεωνίδα, Σπυριδάκη Νικόλαο και όσους άλλους μίλησαν μαζί μου εξηγώντας μου τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η Άνδρος λόγω των πυρκαγιών και τις αιτίες τους.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και πιο συγκεκριμένα τον κ. Κοντοέ Χαράλαμπο και τους συνεργάτες του για την παροχή δεδομένων για τις πυρκαγιές που έπληξαν την Άνδρο.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στον Σκόνδρα Εμμανουήλ και στους γονείς μου για την υποστήριξή τους σε κάθε μικρή και μεγάλη προσπάθεια σε όλους τους τομείς της ζωής μου.

Σας ευχαριστώ,
Ειρήνη Ζουμή.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	4
Περίληψη	7
Abstract	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	9
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	11
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	12
Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό πλαίσιο	14
2.1 Ορισμοί.....	14
2.1.1 Χρήσεις και κάλυψη γης	14
2.1.2 Αλλαγές χρήσης και κάλυψης γης	15
2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τις χρήσεις/καλύψεις γης	16
2.3 Πυρκαγιές	18
Κεφάλαιο 3: Περιοχή μελέτης και δεδομένα	22
3.1 Περιοχή μελέτης.....	22
3.2 Επιλογή δορυφορικών εικόνων	25
3.3 Δεδομένα πυρκαγιών	27
Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία.....	28
4.1 Δορυφορική τηλεπισκόπηση.....	28
4.1.1 Εφαρμογή στην αλλαγή χρήσης/κάλυψης γης	28
4.1.2 Ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων	28
4.1.3 Έλεγχος ταξινόμησης	30
4.1.4 Μέθοδοι χαρτογράφησης χρήσεων/καλύψεων γης.....	31
4.1.5 Μέθοδοι ανίχνευσης και καταγραφής καμένων εκτάσεων.....	34
4.1.6 Τηλεπισκόπηση και πυρκαγιές στον ελλαδικό χώρο	37
4.2 Διάγραμμα ροής εργασιών	38
4.3 Μεθοδολογία χαρτογράφησης αλλαγών κάλυψης γης	39
4.3.1 Προεπεξεργασία δορυφορικών εικόνων	39
4.3.2 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση	43
4.3.3 Έλεγχος ταξινόμησης	45
4.3.4 Μεθοδολογία επεξεργασίας πυρκαγιών και ανίχνευση αλλαγών	46
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα	48
5.1 Αποτελέσματα ταξινομήσεων	48
5.2 Αποτελέσματα χαρτογράφησης χρήσης/κάλυψης γης	49

5.3 Αποτελέσματα αλλαγών με βάση τις πυρκαγιές	53
Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα.....	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	58
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι	67
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ	70

Περίληψη

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται τις αλλαγές χρήσεων/καλύψεων γης στην Άνδρο για την περίοδο 2000-2016 λαμβάνοντας υπ' όψιν τις πυρκαγιές που έπληξαν το νησί την ίδια περίοδο. Για να επιτευχθεί αυτό, η εργασία χωρίστηκε σε δύο μέρη: Στο πρώτο μέρος χρησιμοποιήθηκε ο χαρτογράφος φασματικής γωνίας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης ώστε να χαρτογραφηθούν οι καλύψεις γης. Πραγματοποιήθηκαν τρεις ταξινομήσεις για τα έτη 2000, 2008 και 2016 και ελέγχθηκε η ακρίβειά τους. Στο δεύτερο μέρος τα δεδομένα πυρκαγιών στην Άνδρο που καλύπτουν την περίοδο 1984-2016 χωρίστηκαν σε τρεις περιόδους και με βάση τις ταξινομήσεις διερευνήθηκαν οι μεταβολές καλύψεων γης στις πυρόπληκτες περιοχές.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, με τη χρήση του συγκεκριμένου αλγορίθμου η ακρίβεια των ταξινομήσεων ήταν εντός των επιτρεπτών ορίων αφού σε καμία περίπτωση δεν ήταν μικρότερη του 80%. Γενικά παρατηρήθηκε μεγάλη αραίωση των δασών της Άνδρου. Κατά την περίοδο μελέτης οι περισσότερες εκτάσεις που κάηκαν καταλαμβάνοντας αρχικά από πυκνή ή αραιή βλάστηση. Μετά τις φωτιές η βλάστηση μειώθηκε σε μεγάλο βαθμό και αντικαταστάθηκε από ανοιχτό έδαφος και καμένη γη.

Λέξεις κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, επιβλεπόμενη ταξινόμηση, χαρτογράφος φασματικής γωνίας, χρήση/ κάλυψη γης, καμένες εκτάσεις.

Abstract

This paper deals with changes in land use / land cover in Andros for the period 2000-2016 by taking into account the fires that affected the island during the same period. To achieve this, the work was divided into two parts: The first part used the spectral angle mapper of the supervised classification in order to map the land cover. Three classifications were made for the years 2000, 2008 and 2016 and their accuracy was checked. In the second part, the fire data in Andros covering the period 1984-2016 were divided into three periods. Using the three classifications as a base, the land cover changes on the burned areas were investigated.

The Spectral Angle Mapper (SAM) algorithm succeeds satisfactory results in terms of the classifications' accuracy assessments which was always over 80%. In general, there is a thinning of Andros forests. Specifically, during the study period, most of the areas burned were occupied by dense or sparse vegetation. Fires reduce the vegetation which was replaced by open ground and burnt land.

Keywords: Remote sensing, supervised classification, spectral angle mapper, land use/cover, burned areas.

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικ.1. Χάρτης περιοχής μελέτης: Νήσος Άνδρος.....σελ.24	σελ.24
Εικ.2. Χάρτης πυρκαγιών 1984-2016.....σελ.27	σελ.27
Εικ.3. Άνδρος 2000, 2008, 2016.....σελ.39	σελ.39
Εικ.4. Ψευδέγχρωμη εικόνα για τα έτη 2000, 2008, 2016.....σελ.39	σελ.39
Εικ.5. NDVI RGB για τα έτη 2000, 2008, 2016.....σελ.40	σελ.40
Εικ.6. Κανονικοποιημένος EVI για τα έτη 2000, 2008, 2016.....σελ.41	σελ.41
Εικ.7. Σύνθεση εικόνων συνιστωσών για τα έτη 2000, 2008, 2016.....σελ.42	σελ.42
Εικ.8. Δείκτης NBR για τα έτη 2000, 2008 και 2016.....σελ.42	σελ.42
Εικ.9. Χάρτης καλύψεων για το 2000.....σελ.50	σελ.50
Εικ.10. Χάρτης καλύψεων για το 2008.....σελ.51	σελ.51
Εικ.11. Χάρτης καλύψεων για το 2016.....σελ.52	σελ.52

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίν.1. Δεδομένα εικόνων	σελ.25
Πίν.2. Φασματικά κανάλια Landsat 4, 5 και 7 TM	σελ.25
Πίν.3. Φασματικά κανάλια Landsat 8 TM	σελ.26
Πίν.4. Διαχωριστική ικανότητα για το 2000.....	σελ.67
Πίν.5. Διαχωριστική ικανότητα για το 2008.	σελ.68
Πίν.6. Διαχωριστική ικανότητα για το 2016.	σελ.69
Πίν.7. Κατηγορίες κάλυψης γης και δείγματα.....	σελ.46
Πίν.8. Έλεγχος ταξινόμησης έτους 2008.	σελ.70
Πίν.9.Έλεγχος ταξινόμησης έτους 2016.	σελ.71
Πίν.10. Καμένες εκτάσεις ανά έτος.....	σελ.47

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχ.1: Ποσοστά απασχόλησης.....σελ.23	σελ.23
Σχ.2:Διάγραμμα ροής.....σελ.38	σελ.38
Σχ.3: Χαρτογράφος φασματικής γωνίας.....σελ.45	σελ.45
Σχ.4: Ποσοστά χρήσεων/καλύψεων γης για την περίοδο 2000-2016.....σελ.50	σελ.50
Σχ.5. Καλύψεις γης μετά τις πυρκαγιές 1984-2000.σελ.54	σελ.54
Σχ.6. Καλύψεις γης πριν και μετά τις πυρκαγιές 1998-2008.σελ.55	σελ.55
Σχ.7. Καλύψεις γης πριν και μετά τις πυρκαγιές 2006-2016.σελ.56	σελ.56

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Οι αλλαγές στην επιφάνεια του εδάφους (φυσικές ή ανθρωπογενείς) επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη χλωρίδα, την πανίδα και τους ανθρώπους που ζουν ή εκμεταλλεύονται μια περιοχή. Παράλληλα, οι φωτιές αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα σε ένα οικοσύστημα καθώς σε ορισμένες περιπτώσεις επηρεάζουν τόσο το φυσικό όσο και το ανθρωπογενές περιβάλλον. Αλλάζουν δυναμικά τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας καταστρέφοντας ότι προϋπήρχε και δημιουργώντας μια αλυσίδα προβλημάτων. Για το λόγο αυτό η καταγραφή των ενεργών πυρκαγιών αλλά και των καμένων εκτάσεων χρήζει ιδιαίτερης σημασίας και η συμβολή της τηλεπισκόπησης σε αυτή τη διαδικασία είναι καθοριστική, αφού όταν μια πυρκαγιά εκδηλωθεί συχνά ο εντοπισμός της είναι αδύνατος με οποιοδήποτε συμβατικό μέσο και συνεπώς η ανίχνευσή της είναι δυνατή μόνο μέσω δορυφόρου. Στην περίπτωση που στόχος είναι η ανίχνευση των εστιών και η παρακολούθηση της εξέλιξης της φωτιάς απαιτούνται δορυφορικές εικόνες με μεγάλη διακριτική ικανότητα (πχ AVHRR), ενώ όταν ο στόχος είναι η καταγραφή των ζημιών που προκλήθηκαν και οι αλλαγές που επέφερε η έλευση της φωτιάς, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εικόνες μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης και μικρότερης διακριτικής ικανότητας (LANDSAT, Quickbird) (Καρτάλης κ.α., 2013).

Επιπλέον, ο ελλαδικός χώρος πλήττεται κάθε χρόνο από πληθώρα πυρκαγιών με ολέθρια αποτελέσματα τόσο για το φυσικό όσο και για τον ανθρώπινο παράγοντα. Οι αλλαγές που επιφέρουν οι πυρκαγιές στην επιφάνεια της γης αποτελούν το έναυσμα για μια σειρά προβλημάτων που δημιουργούν μεταξύ άλλων και αναπόφευκτες αλλαγές στη χρήση της. Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης στην Ελλάδα αναπτύσσεται ολοένα και περισσότερο δίνοντας τη δυνατότητα σε πολλούς επιστήμονες, οι οποίοι ερευνούν συνολικά αλλά και σε επιμέρους περιοχές της χώρας το ζήτημα, καταγράφοντας τις αλλαγές που υφίσταται μία περιοχή μετά την έλευση της φωτιάς, να διευρύνουν τις έρευνές τους και μάλιστα με μεγαλύτερη εγκυρότητα από ότι στο παρελθόν.

Η παρούσα εργασία, συνδυάζει όλα τα παραπάνω διερευνώντας τόσο τις αλλαγές στις χρήσεις/καλύψεις γης, όσο και την αλληλεπίδρασή τους με το φαινόμενο των πυρκαγιών. Οι περισσότεροι ερευνητές επικεντρώνουν το ενδιαφέρον τους είτε στην αλλαγή χρήσεων/καλύψεων γης λόγω διαφόρων παραγόντων που τις επηρεάζουν (ανάμεσά τους και οι φωτιές), είτε στην ανίχνευση και χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων ή στους παράγοντες που συμβάλουν στην εξάπλωση των πυρκαγιών. Η Άνδρος αποτελεί μια ενδιαφέρουσα περίπτωση αφού πρόκειται για ένα νησί με πολύ υψηλή συχνότητα πυρκαγιών ειδικά σε σχέση και με τα υπόλοιπα νησιά των Κυκλάδων. Ωστόσο, οι πυρκαγιές που έχουν καταγραφεί τα τελευταία χρόνια είναι πολλές και εκτεταμένες με συγκέντρωση κυρίως στο βόρειο και το νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού.

Συνεπώς, κύριοι στόχοι της εργασίας είναι αφ' ενός η διερεύνηση της μεταβολής των χρήσεων/καλύψεων γης στο νησί της Άνδρου για τη χρονική περίοδο 2000 - 2016, και αφετέρου ο προσδιορισμός της επιρροής των πυρκαγιών στη

διαμόρφωση των νέων χρήσεων/καλύψεων γης. Για να επιτευχθούν οι προαναφερθέντες στόχοι η πτυχιακή εργασία διακρίνεται στα εξής στάδια:

- ❖ Χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης της Άνδρου την περίοδο 2000-2016 με ενδιάμεση χρονιά το 2008.
- ❖ Ανίχνευση των αλλαγών που παρατηρήθηκαν.
- ❖ Μελέτη των μεταβολών χρήσεων/καλύψεων γης στις πυρόπληκτες περιοχές.

Από την ανασκόπηση των διαφόρων μεθοδολογιών που χρησιμοποιούνται σε αντίστοιχες περιπτώσεις, επιλέχθηκε η επιβλεπόμενη ταξινόμηση με βάση την ψηφίδα (*pixel based*). Χρησιμοποιήθηκαν οι αλγόριθμοι με τον χαρτογράφο φασματικής γωνίας να παρουσιάζει τα καλύτερα αποτελέσματα. Σε ό,τι αφορά τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν, επιλέχθηκαν δορυφορικές εικόνες του θεματικού χαρτογράφου Landsat 5, 7 και 8. Ιδιαίτερα για το έτος 2016 όπου και υπάρχουν διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα από τον Landsat 8, δίνεται η δυνατότητα για ένα καλύτερο αποτέλεσμα αφού διαθέτει 10 φασματικά κανάλια (περιλαμβάνοντας δύο θερμικά κανάλια, ένα για νεφοκάλυψη και βελτίωση των ατμοσφαιρικών συνθηκών και ένα που αφορά την ακτογραμμή) αντί για 7 που είχαν οι προηγούμενοι. Οι δυνατότητες του συγκεκριμένου δορυφόρου δεν έχουν αξιοποιηθεί πλήρως καθώς τέθηκε σε τροχιά σχετικά πρόσφατα (11/02/2013). Τα δεδομένα για τις πυρκαγιές προήλθαν από την υπηρεσία του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών.

Σε ό,τι αφορά την ανάλυση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τρεις αλγόριθμοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης: ο χαρτογράφος φασματικής γωνίας, ο αλγόριθμος μέγιστης πιθανοφάνειας και ο αλγόριθμος τεχνητής νοημοσύνης. Τα καλύτερα αποτελέσματα παρουσίασε ο χαρτογράφος φασματικής γωνίας, οπότε και επιλέχθηκε για να υπολογιστούν οι αλλαγές στις χρήσεις/καλύψεις γης. Μετά τη χαρτογράφηση των αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης μελετήθηκαν οι πυρκαγιές και η συχνότητά τους και ενσωματώθηκαν στο τελικό αποτέλεσμα. Ακόμη για την καλύτερη κατανόηση του ζητήματος των πυρκαγιών στην Άνδρο αντλήθηκαν πληροφορίες με διάφορους παράγοντες του νησιού.

Με βάση όλα τα παραπάνω η πτυχιακή εργασία διαρθρώθηκε ως εξής:

Στο δεύτερο κεφάλαιο διευκρινίζονται σημαντικές έννοιες που διέπουν την εργασία και παρουσιάζονται διάφοροι ορισμοί για την κάθε μία. Παράλληλα, μέσα από μια ανασκόπηση της διεθνούς και ελληνικής βιβλιογραφίας, προσδιορίζονται ποικίλοι παράγοντες που επηρεάζουν και επηρεάζονται από τις αλλαγές χρήσεων/καλύψεων γης και τις πυρκαγιές. Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν. Στο τέταρτο κεφάλαιο μετά από μια ανασκόπηση των μεθοδολογιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη χαρτογράφηση χρήσεων/καλύψεων γης και πυρκαγιών, επιλέγεται η καταλληλότερη και παρουσιάζεται. Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα της εργασίας. Τέλος στο έκτο κεφάλαιο συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν.

Κεφάλαιο 2: Θεωρητικό πλαίσιο

2.1 Ορισμοί

Αρχικά κρίνεται σημαντικό να διασαφηνιστούν κάποιες βασικές έννοιες που διέπουν το σύνολο της εργασίας, όπως η χρήση και η κάλυψη γης και ο διαχωρισμός τους.

2.1.1 Χρήσεις και κάλυψη γης

“Σύμφωνα με τον ορισμό που δόθηκε από το Συμβούλιο της Καλιφόρνιας το 1973 ως χρήση γης ορίζεται η κατοχή ή διασφάλιση οποιασδήποτε χερσαίας ή υδάτινης επιφάνειας για κάθε ανθρώπινη δραστηριότητα και για οποιοδήποτε σκοπό” (Χουβαρδάς, 2007). Η έννοια της χρήσης γης (*land use*) σχετίζεται κυρίως με τον τρόπο χρήσης της γης από τον άνθρωπο, ως επί το πλείστον σε ότι αφορά το συνδυασμό της χρήσης γης με οικονομικές δραστηριότητες (Campbell, 2002). Σύμφωνα και με τον Καρτέρη (1991), οι ανθρώπινες δραστηριότητες που αναπτύσσονται στις χρήσεις γης δεν είναι άμεσα ορατές αλλά διαπιστώνονται εκ του αποτελέσματός τους. Οι Vos et al. (1992) ονόμασαν χρήση γης την όποια μόνιμη ή περιοδική ανθρώπινη επέμβαση υλικά ή/ και πνευματικά στους φυσικούς ή τεχνητούς πόρους με σκοπό την κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών. Συχνά παρατηρείται αλλαγή στις χρήσεις γης μιας περιοχής ακόμη και ανάμεσα στις εποχές ενός έτους (για παράδειγμα μια καλλιέργεια το καλοκαίρι μπορεί να λειτουργεί ως βοσκότοπος το χειμώνα).

Από την άλλη πλευρά η κάλυψη γης (*land cover*) περιγράφει τις κατηγορίες των στοιχείων που καλύπτουν την επιφάνεια του τοπίου, όπως κτίρια, λίμνες, δάση, βραχώδεις εξάρσεις κ.α. Όσον αφορά στην αναγνώριση των κατηγοριών χρήσης γης και κάλυψης γης, για την πρώτη δεν μπορούν να εξαχθούν ασφαλή συμπεράσματα με τη χρήση μεθόδων φωτοερμηνείας και τηλεπισκόπησης, καθώς δεν είναι πάντα εμφανείς, σε αντίθεση με τις κατηγορίες κάλυψης γης, οι οποίες είναι ευδιάκριτες. Αναφέρεται επίσης ότι στα μεσογειακά τοπία, τα οποία είναι διασπασμένα και ποικιλόμορφα, λόγω της έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας αιώνων, καθίσταται δυνατό από τις κατηγορίες κάλυψης γης να εξαχθούν οι αντίστοιχες κατηγορίες χρήσης γης (Bankov, 1998). Έτσι προτείνεται η χρήση των όρων χρήση/κάλυψη γης, συμφωνώντας με τους Καρτέρη κ.α. (1984), οι οποίοι είχαν διατυπώσει την ίδια άποψη. Η κάλυψη γης δηλαδή, αφορά την κατηγοριοποίηση των διαφόρων στοιχείων του εδάφους (τόσο ανθρωπογενών όσο και φυσικών) με βάση τις ορατές αποδείξεις των χρήσεων γης. Αποτελεί σαφώς πιο συγκεκριμένη έννοια από αυτή της χρήσης και οι οικονομικές δραστηριότητες δεν αποτελούν βασικό παράγοντα (Καρτάλης κ.α., 2013).

Ουσιαστικά η χρήση γης περιγράφει πώς χρησιμοποιείται το έδαφος ενώ κάλυψη γης είναι ιδιότητα της επιφάνειας (Παρχαρίδης, 2015). Ωστόσο οι δύο έννοιες είναι τόσο στενά συνδεδεμένες που επικρατεί μια σύγχυση ως προς το τι χαρακτηρίζεται χρήση και τι κάλυψη γης. Για παράδειγμα ένας ελαιώνας αποτελεί κάλυψη γης για

κάποιον που χαρτογραφεί την περιοχή αλλά χρήση γης για αυτόν που τον καλλιεργεί και αποκομίζει προϊόντα. Συνεπώς λόγω της υποκειμενικότητας στην οποία βασίζεται ο διαχωρισμός χρήσεων και καλύψεων γης οι δύο έννοιες πλέον θεωρούνται σχεδόν ταυτόσημες και μελετώνται ταυτόχρονα.

Οι κυριότερες παράμετροι που επηρεάζουν τις αλλαγές στις χρήσεις γης και οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες συγκεντρώθηκαν από τον Farina (1998) και το Χουβαρδά (2007) και είναι οι εξής:

- i. Η εντατικοποίηση της αγροτικής παραγωγής
- ii. Η επίδραση των πυρκαγιών
- iii. Η υλοτομία
- iv. Η επίδραση από τη βόσκηση
- v. Η εγκατάλειψη της γης
- vi. Η αστική ανάπτυξη (επέκταση των πόλεων)
- vii. Η κατασκευή τεχνητών υδάτινων μαζών (πχ φράγματα, λίμνες κλπ.)
- viii. Οι εξορύξεις
- ix. Η πολιτική απόλυτης προστασίας

2.1.2 Αλλαγές χρήσης και κάλυψης γης

Γενικά ο εντοπισμός και η ανάλυση των αλλαγών χρήσεων καλύψεων γης έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε ποικίλες περιοχές ανά τον κόσμο. Ωστόσο στην περίπτωση των μεσογειακών χωρών όπου ανήκει και η Ελλάδα, και λόγω των ιδιαίτερων κλιματικών και φυσικών συνθηκών που επικρατούν το ζήτημα χρήζει περεταίρω μελέτης (Serra, 2008).

Τις τελευταίες δεκαετίες, οι αλλαγές στις χρήσεις/καλύψεις γης στην Ελλάδα μπορούν να ενταχθούν σε τέσσερις μεγάλες κατηγορίες ως εξής: Μεταβολές αγροτικής γης σε αστική, μεταβολές αγροτικής γης σε δασική (συνήθως λόγω εγκατάλειψης της αγροτικής γης), μεταβολές δασικής γης σε αγροτική (επέκταση αγροτικής γης) και μεταβολές δασικής γης σε αστική (συνήθως λόγω της επέκτασης -νόμιμης και μη- του αστικού ιστού) (Μινέτος, 2009).

2.2 Παράγοντες που επηρεάζουν τις χρήσεις/καλύψεις γης

Οι χρήσεις/καλύψεις γης και οι αλλαγές τους αποτελούν σημαντικό παράγοντα σε ένα ευρύ φάσμα θεματικών ενοτήτων και ζητημάτων που σχετίζονται με την παγκόσμια αλλαγή. Μίας και ευθύνονται για το σύνολο της αλλαγής στην επιφάνεια της γης, επιδρούν μεταξύ άλλων στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, τους βιοχημικούς κύκλους της γης και κάθε είδους οικοσυστήματα (Turner et al., 1995). Επομένως η μελέτη τους μέσω διαφόρων μοντέλων προσφέρει σημαντική γνώση και βοήθεια για την πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων σε ποικίλους τομείς. Παράλληλα καθίσταται ευκολότερο να εντοπιστούν μοτίβα και συμπεριφορές που προκύπτουν από μια συγκεκριμένη αλλαγή χρήσης/κάλυψης γης όπως για παράδειγμα η επέκταση των αστικών περιοχών, αλλά και να ανιχνεύεται ο βαθμός σταθερότητας μιας κατάστασης είτε φυσικής είτε όχι (Veldkamp et al., 2001). Ωστόσο, οι χρήσεις/καλύψεις γης τείνουν να επηρεάζονται και οι ίδιες από ένα ευρύ σύνολο παραγόντων. Για να καταστεί καλύτερη η παρουσίαση των κυριότερων από αυτών ομαδοποιήθηκαν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τους παράγοντες που σχετίζονται με το αστικό περιβάλλον -κυρίως την επιρροή και της πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης-, και τους παράγοντες που σχετίζονται με το φυσικό περιβάλλον όπως είναι η διαχείριση των αγροτικών περιοχών και η επιρροή φυσικών παραγόντων όπως ποτάμια, κλιματικές συνθήκες κλπ.

Το αίτιο που οδηγεί στην αλλαγή των χρήσεων/καλύψεων γης δεν είναι μοναδικό. Εξετάζοντας αρκετές μελέτες περίπτωσης εξήχθησε το συμπέρασμα ότι ούτε η φτώχεια, ούτε το μέγεθος του πληθυσμού επηρεάζουν αποκλειστικά τις χρήσεις/καλύψεις γης. Ο παράγοντας που έχει στην πραγματικότητα τη μεγαλύτερη ισχύ είναι πώς ο ίδιος ο άνθρωπος αντιδρά στις οικονομικές ευκαιρίες που του παρουσιάζονται. Οι νέες χρήσεις γης που δημιουργούνται οφείλονται στις τοπικές και διεθνείς αγορές οι οποίες εφορμώντας από το προσωπικό τους συμφέρον αλλάζουν τα δεδομένα (Lambin et al., 2001).

Μία σημαντική μελέτη πραγματοποιήθηκε στην πόλη Morelia του Μεξικό, όπου αναλύθηκαν οι σχέσεις μεταξύ της ραγδαίας αστικής ανάπτυξης και της αλλαγής του τοπίου καθώς και μεταξύ της αστικής ανάπτυξης και της μεγέθυνσης του πληθυσμού. Αποδείχθηκε ότι όταν υπάρχει μεγάλη αστική ανάπτυξη και αλλάζουν οι χρήσεις/καλύψεις γης από καλλιεργούμενες και θαμνώδεις εκτάσεις σε αστικές περιοχές, οι πρώτες αποτελούν πλέον ασταθή κατηγορία, ευάλωτη να ενταχθεί εξ ολοκλήρου στον αστικό ιστό (López et al., 2001). Παράλληλα, από έρευνα που διεξήχθησε στο Ηνωμένο Βασίλειο κατά την οποία πάρθηκαν δείγματα από 11 περιοχές ώστε να συγκριθεί η ανάπτυξη του αστικού ιστού σε σχέση με τον περιορισμό του πρασίνου, αποδείχθηκε ότι σε όλες τις περιπτώσεις αστικών επεκτάσεων το απότοκο για το περιβάλλον ήταν αρνητικό. Αυτό δεν οδηγεί μόνο στη χειροτέρευση της ποιότητας ζωής των κατοίκων λόγω της έλλειψης πρασίνου και ανοιχτών χώρων, αλλά και στην αρνητική επίδραση στο φυσικό περιβάλλον και την ατμόσφαιρα (Pauleit et al., 2005). Τέλος, και στην περιοχή του Μπαγκλαντές η μεγάλη αστική ανάπτυξη επέφερε σημαντική μείωση των καλλιεργειών, εκτάσεων πρασίνου, υγρότοπων και άλλων βιότοπων (Dewan et al., 2009). Με βάση τα παραπάνω παραδείγματα φαίνεται ότι στην πλειονότητα των περιπτώσεων

αλλαγής χρήσης/κάλυψης γης σε αστική, επιβαρύνεται σε μεγάλο βαθμό το φυσικό περιβάλλον.

Πολύ λίγες μελέτες πραγματοποιούνται για περιοχές της Αφρικής, παρά το γεγονός ότι η δυναμική του φαινομένου είναι πολύ μεγάλη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της δυναμικής είναι η περίπτωση της Αιθιοπίας όπου ακόμη και πολιτικοί παράγοντες ενεπλάκησαν, επηρεάζοντας εν τέλη τις χρήσεις/καλύψεις γης. Τα τελευταία 40 χρόνια οι καλλιεργούμενες εκτάσεις στην Αιθιοπία αρχικά αυξάνονταν. Ωστόσο, μετά την αλλαγή της κυβέρνησης το 1974 ο έλεγχος της γης πέρασε στα χέρια μικροκαλλιεργητών. Οι τελευταίοι, φοβούμενοι τους μεγάλους γαιοκτήμονες για τους οποίους δούλευαν τα προηγούμενα χρόνια, σταμάτησαν να καλλιεργούν με αποτέλεσμα αρκετές εκτάσεις να εγκαταλειφθούν. Παράλληλα λίγα χρόνια αργότερα, εξαιτίας μιας ασθένειας των φυτών καταστράφηκε το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής με αποτέλεσμα μέσα σε ένα μόνο έτος οι αγρότες να χάσουν το 75% των καλλιεργήσιμων περιοχών. Η κυβέρνηση μετακίνησε τους αγρότες σε πιο εύφορες και ανεκμετάλλευτες περιοχές, οι οποίες σε σύντομο χρονικό διάστημα μετατράπηκαν σε αγροτικές, οι οποίες συνεχώς επεκτείνονταν. Αν ανάμεσα σε αυτά τα γεγονότα προστεθούν και τα ακραία καιρικά φαινόμενα όπως η ξηρασία γίνεται εμφανές πως οι χρήσεις/καλύψεις γης μπορούν να αλλάξουν αμέτρητες φορές υπό την επίδραση διαφόρων παραγόντων που δύναται να δρουν και ταυτόχρονα (Reid et al., 2000).

Μεγάλο ενδιαφέρον λοιπόν παρουσιάζει ο τρόπος με τον οποίο ένα φαινόμενο επηρεάζει διαφορετικά συγκεκριμένες περιοχές. Ακόμη ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μιας τέτοιας περίπτωσης είναι η περιοχή Shenzhen στην Κίνα, μια σημαντική οικονομική ζώνη όπου η αλλαγή στις χρήσεις/καλύψεις γης έχει μεγάλο αντίκτυπο. Με την επέκταση των αστικών ζωνών έχει αυξηθεί δραματικά ο κίνδυνος πλημμυρικών επεισοδίων σε σημείο να απειλείται η ασφάλεια των κατοίκων. Η μεταβολή αγροτικής γης σε αστική ουσιαστικά αύξησε το ποσοστό νερού που παραμένει στην επιφάνεια της γης (και δεν απορροφάται), ενώ παράλληλα μείωσε τις διεξόδους που έχει το συγκεντρωμένο νερό να απομακρυνθεί μέσω φυσικών διεργασιών (Shi et al., 2007).

Ένας επιπρόσθετος παράγοντας που επηρεάζει την αλλαγή χρήσεων/καλύψεων γης είναι η αποψίλωση των δασών της οποίας η μεγαλύτερη συνέπεια για το φυσικό περιβάλλον είναι η μείωση της βιοποικιλότητας. Επιπλέον σε ελάχιστες περιπτώσεις μετατρέπεται σε καλλιεργήσιμες εκτάσεις ή αναγεννάται γεγονός που οδηγεί σε αρνητική αλλαγή των χρήσεων/καλύψεων γης. Η μελέτη και η χαρτογράφηση των αλλαγών αυτών έχει σημαντικά οφέλη ως προς την κατανόηση του ζητήματος και την οργάνωση πολιτικών προστασίας των δασικών εκτάσεων (Velázquez et al., 2003). Άλλη μια καίρια αν και όχι τόσο γνωστή επίδραση έχουν οι αλλαγές χρήσεων/καλύψεων γης στα υπόγεια νερά. Ανάλογα με την αλλαγή χρήσης αλλάζει όχι μόνο η ποσότητα και η ροή των υπόγειων υδάτων αλλά και η σύστασή τους, με χαρακτηριστικό παράδειγμα την περιεκτικότητά τους σε άλατα. Επηρεάζονται (αν και σε μικρότερο βαθμό) ακόμη και από τις αλλαγές που υφίσταται η αγροτική γη κατά τη διάρκεια του χρόνου (Scanlon et al., 2005).

Ακολουθώντας, σημαντική είναι η επίδραση των αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης στις κλιματικές συνθήκες τόσο βραχυπρόθεσμα όσο και μακροπρόθεσμα. Για παράδειγμα η μεγάλη επέκταση των καλλιεργειών στην περιοχή του Αμαζονίου οδήγησε σε σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από τον Αμαζόνιο και μείωση της θερμοκρασίας στους κοντινούς ωκεανούς και τις αέριες μάζες που βρίσκονται από πάνω. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν καταγραφεί και σε άλλες περιοχές (Feddema et al., 2005).

Εν κατακλείδι, την επιρροή των χρήσεων/καλύψεων γης τόσο σε περιβαλλοντικούς όσο και σε κοινωνικο-οικονομικούς παράγοντες πραγματεύεται μια ακόμη έρευνα, χαρτογραφώντας τις αλλαγές αυτές στη Σαχάρα για 25 έτη. Χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες Landsat και εφαρμόζοντας τον αλγόριθμο ISODATA της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης διερευνήθηκαν οι αλλαγές στα δάση, τις αγροτικές περιοχές, την αραιή βλάστηση και τις άγονες περιοχές. Η μέθοδος ήταν αρκετά επιτυχής και κατέγραψε αύξηση στις άγονες περιοχές και στις καλλιέργειες και μείωση στις υπόλοιπες κατηγορίες (Brink et al., 2009).

2.3 Πυρκαγιές

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, η πυρκαγιά είναι ένα δυναμικό φαινόμενο που μπορεί μέσα σε λίγες μόνο ημέρες ή και ώρες να αλλάξει ριζικά την επιφάνεια της γης. Ως εκ τούτου η επιρροή της στο φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον είναι μεγάλη. Η μελέτη και η γνώση των αιτίων που μπορούν να προκαλέσουν την εμφάνισή της, των παραγόντων που την επηρεάζουν αλλά και επηρεάζονται από αυτή, και των επιπτώσεων που έχει χρήζουν μεγάλης προσοχής.

Γενικά οι αιτίες πρόκλησης πυρκαγιών είναι πάρα πολλές, ωστόσο στην πλειονότητά τους οφείλονται σε ανθρώπινες δραστηριότητες -συνηθέστερα αμέλεια ή εμπρησμός-. Η έναρξη και η εξάπλωσή τους, καθώς και το μέγεθός της εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τους κλιματικούς παράγοντες που επικρατούν στην περιοχή (Χριστοδουλοπούλου, 2013). Σε ένα γενικότερο πλαίσιο όμως τα αίτια των πυρκαγιών χωρίζονται στα φυσικά και τα ανθρωπογενή (Μαρονικολάκη 2013): Τα φυσικά αίτια περιλαμβάνουν πυρκαγιές από φυσικές αιτίες λόγω ακραίων καιρικών φαινομένων, αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής, κεραυνοί και ασθένειες των δέντρων του δάσους. Στα ανθρωπογενή αίτια εντάσσονται όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η αμέλεια και ο εμπρησμός. Η καύση ξερών χόρτων, το κάψιμο απορριμάτων και τα ατυχήματα θεωρούνται αμέλεια. Ωστόσο ολοένα και συχνότερα εκδηλώνονται πυρκαγιές με άγνωστη αιτία, γεγονός εξαιρετικά ανησυχητικό μιας και καταγράφεται μεγάλη αύξηση τέτοιων περιστατικών.

Σε θέματα που αφορούν το φυσικό περιβάλλον, έχει παρατηρηθεί πως οι συχνές φωτιές στην Αφρικανική Σαβάννα λειτουργούν ως ανασταλτικός παράγοντας στη μεγάλη πυκνότητα των θάμνων. Λόγω των πυρκαγιών και των κλιματικών συνθηκών (πχ ξηρασία) μεταβάλλεται διαρκώς η πυκνότητα των θάμνων και της αραιής βλάστησης επηρεάζοντας τη βόσκηση και τη ζωή της πανίδας καθώς και το μέγεθος

του πληθυσμού των οποίων η επιβίωση είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το περιβάλλον (Roques et al., 2001). Επιπλέον όσο μεγάλη κι αν είναι μια πυρκαγιά, η κάθε περιοχή καίγεται διαφορετικά και το γεγονός αυτό δημιουργεί ποικίλες διαφορετικές επιδράσεις της φωτιάς όπως για παράδειγμα το ποσοστό στο οποίο θα καεί ένα δέντρο και το βαθμό στον οποίο πεθαίνει κάθε διαφορετικό είδος βλάστησης (Kafka et al., 2001). Ωστόσο, πέρα από τα φυτά, οι πυρκαγιές επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό και τα ζώα που ζουν σε μια περιοχή. Μία μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην Αφρική εξετάζοντας την επίδραση της φωτιάς στους πληθυσμούς μικρών θηλαστικών έδειξε ότι αν και επιβιώνουν ευκολότερα μιας πυρκαγιάς σε σχέση με μεγαλύτερα ζώα, δυσκολεύονται αργότερα να τραφούν με αποτέλεσμα τη μετακίνησή τους σε υγιείς εκτάσεις ή το θάνατό τους από ασιτία. Η μετακινήσεις αυτές όμως τείνουν να επηρεάζουν τη χλωρίδα και την πανίδα των νέων περιοχών κατοικίας τους (Yarnell et al., 2008). Οι μετακινήσεις μικρών ζώων (όχι απαραίτητα θηλαστικών) και οι συνέπειες αυτών των μετακινήσεων απασχολούν πολλούς επιστήμονες. Ένα ακόμη παράδειγμα είναι οι μετακινήσεις ενός είδους σαλιγκαριού στη μεσόγειο τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στη φωτιά με αποτέλεσμα ο πληθυσμός τους να μειώνεται διαρκώς. Αν και η μετακίνησή τους είναι αργή, πραγματοποιείται και το είδος διασκορπίζεται σε κοντινές περιοχές (Kiss et al., 2003).

Σε ό,τι αφορά το ανθρωπογενές περιβάλλον, οι πυρκαγιές αποτελούν σημαντικό παράγοντα στην παγκόσμια αλλαγή επηρεάζοντας όχι μόνο τα οικοσυστήματα αλλά και τον τουρισμό μιας περιοχής ή ακόμη και τις δυνατότητες και τις επιλογές που έχει ο άνθρωπος ως προς τη χρήση της γης (Lavorel et al., 2007). Επιπλέον είναι γεγονός ότι μία και μόνο μεγάλη πυρκαγιά μπορεί να καταστρέψει μια πόλη (ή μέρος της) και να αλλάξει από τη μια μέρα στην άλλη η ζωή εκατοντάδων ανθρώπων που μπορεί να χάσουν την περιουσία τους, τις καλλιέργειές τους, την κατοικία τους ακόμη και τη ζωή τους από μια φωτιά. Επιπλέον, ο άνθρωπος οφείλει να προστατέψει την πανίδα και την άγρια ζωή ενός τόπου. Έτσι πρέπει να αφιερώσει χρόνο για τη μελέτη των οικολογικών αποτόκων της φωτιάς μιας και κάθε φωτιά έχει διαφορετική συμπεριφορά και κατά συνέπεια διαφορετική επίδραση σε ένα οικοσύστημα (Keramitsoglou et al., 2008). Ακόμη, η φωτιά επηρεάζει την υγεία των ανθρώπων που πλήττει, οι οποίοι παρουσιάζουν αυξημένα επίπεδα άγχους, κατάθλιψη, κατάχρηση ουσιών, διαταραχή των διαπροσωπικών τους σχέσεων και προβλήματα στην εργασία τους (Μαρονικολάκη 2013).

Παράλληλα και η ίδια η φωτιά δέχεται την επίδραση ποικίλων παραγόντων που τη μετριάζουν ή τη διογκώνουν, περιορίζουν τις συνέπειές της ή τις γιγαντώνουν. Στη Λέσβο, διερευνήθηκε η αλλαγή συμπεριφοράς της πυρκαγιάς λόγω διαφόρων παραγόντων όπως το είδος και το μέγεθος της βλάστησης καθώς και το είδος του αναγλύφου. Σε ό,τι αφορά τις περιβαλλοντικές συνθήκες αναλύθηκαν σενάρια υγρασίας τα οποία επηρεάζουν την ταχύτητα μετάδοσης αλλά και την ένταση της φωτιάς στη βλάστηση. Ακόμη επισημάνθηκε η αναγκαιότητα για υψηλής ευκρίνειας δορυφορικές εικόνες οι οποίες δίνουν καλύτερης ποιότητας χωρικά δεδομένα με απότοκο την καλύτερη και ακριβέστερη εκτίμηση της καταστάσεως (Ζουμπουλίδου 2007). Τέλος μια σημαντική έρευνα τόσο για τις περιβαλλοντικές όσο και για τις ανθρωπογενείς επιπτώσεις μιας πυρκαγιάς πραγματοποιήθηκε για τη Χίο όπου οι

καλλιέργειες και τα δάση πλήγηκαν ανεπανόρθωτα, δημιουργώντας μεταξύ άλλων και μεγάλο πρόβλημα στην οικονομία του νησιού που στηρίζεται στην καλλιέργεια της μαστίχας και σε άλλες καλλιέργειες. Επίσης μιας και το νησί έχει ξανακαεί δημιουργούνται περιβαλλοντικά ζητήματα όπως η διάβρωση των εδαφών, η αδυναμία αναγέννησης της βλάστησης κ.α. (Μιμίδου, 2014).

Οι κυριότερες επιπτώσεις των πυρκαγιών περιλαμβάνουν (Μαρονικολάκη, 2013):

- την καταστροφή της βλάστησης μιας και τα περισσότερα είδη σε υψηλά υψόμετρα δε μπορούν να επανέλθουν μετά από μία φωτιά σε αντίθεση με αρκετά είδη σε χαμηλότερα υψόμετρα -όπως τα πεύκα-, τα οποία μπορούν ακόμη και να ωφεληθούν εάν δεν καίγονται επαναλαμβανόμενα,
- τη διάβρωση του εδάφους το οποίο με την απουσία βλάστησης μένει εκτεθειμένο στα στοιχεία της φύσης και σε συνδυασμό με την εκάστοτε κλίση του μπορεί να παρουσιάζει αδυναμία αναγέννησης βλάστησης και να είναι επιρρεπές σε πλημμυρικά επεισόδια,
- επιπτώσεις στην πανίδα καθώς κάποια ζώα δεν καταφέρνουν να διαφύγουν ενώ σε πολλές περιπτώσεις καθίστανται αδύνατος ο επανεποικισμός όσων επιζούν,
- επιπτώσεις στον πρωτογενή τομέα παραγωγής ο οποίος αλληλεπιδρά άμεσα με το έδαφος,
- επιπτώσεις στους υδάτινους πόρους,
- και τέλος αλλαγή κλίματος και ατμοσφαιρική ρύπανση αφού πέρα από την προσωρινή μόλυνση του αέρα λόγω της φωτιάς, η ηλιακή ανάκλαση του εδάφους αυξάνεται εξαιτίας της απουσίας βλάστησης.

Γνωρίζοντας πλέον το αίτιο και τις επιπτώσεις μιας πιθανής πυρκαγιάς, είναι αναγκαίο ληφθούν μέτρα για την πρόληψή της, και εάν αυτό δεν είναι δυνατό, να ληφθούν μέτρα για την αποκατάσταση των καμένων εκτάσεων.

Όσον αφορά την πρόληψη, σημαντική είναι η ενίσχυση της δασοπυρόσβεσης μέσω της κατασκευής περισσότερων υδρογεωτρήσεων οι οποίες θα προσφέρουν πολύ μεγαλύτερες ποσότητες νερού σε σχέση με τις απλές δεξαμενές. Στις περιοχές όπου δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί περεταίρω ο υδροφόρος ορίζοντας χρήσιμη είναι η κατασκευή δεξαμενών μεγάλης χωρητικότητας σε στρατηγικά σημεία (Χουλιάρικα κ.α., 2013). Επιπροσθέτως η δημιουργία αντιπυρικών ζωνών οι οποίες θα ανακόπτουν την πορεία της φωτιάς, η δημιουργία δασικών δρόμων για την ευκολότερη πρόσβαση των μονάδων πυρόσβεσης και η ενίσχυση των δασικών τηλεπικοινωνιών είναι απαραίτητα για την έγκαιρη αντιμετώπιση των περιστατικών. Ένα ακόμη αποτελεσματικό μέτρο είναι και η κατασκευή παρατηρητηρίων στα δάση και τι ζώνες υψηλής επικινδυνότητας ώστε να γίνεται άμεσα αντιληπτό το ξέσπασμα μιας φωτιάς (Μαρονικολάκη, 2013). Μία ενδιαφέρουσα και χρήσιμη προσέγγιση παρουσίασαν οι Τσαγκάρη κ.α., οι οποίοι στα πλαίσια ενός ευρωπαϊκού προγράμματος, αξιολόγησαν μέσω ερωτηματολογίων τον κίνδυνο δασικής πυρκαγιάς και καταστροφής περιουσίας. Καταγράφοντας ένα σύνολο παραγόντων και αξιολογώντας τους κατέστησαν αποτελεσματικότερο τον αντιπυρικό σχεδιασμό της περιοχής.

Τέλος, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν κάποια βασικά μέτρα για την αποκατάσταση καμένων περιοχών (Λυριντζής κ.α., 2009):

- ❖ Αντιπλημμυρικά και αντιδιαβρωτικά έργα: Κατασκευή έργων ανάσχεσης (τάφροι, αύλακες κ.α.) ώστε βοηθηθεί η διείσδυση του νερού σε βαθύτερα στρώματα. Ωστόσο τα αντιπλημμυρικά έργα πρέπει να υλοποιούνται χωρίς υπερβολές. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσεται και η κατασκευή φραγμάτων καθώς και η απομάκρυνση εμποδίων από ανθρωπογενή ή φυσικά αίτια ώστε η πλημμυρική απορροή να μεταφέρεται απευθείας στο φυσικό αποδέκτη της (ρέμα, ποτάμι, χείμαρρος κλπ).
- ❖ Διαχείριση των καμένων δέντρων: Η μερική απομάκρυνση της καμένης ξυλείας μπορεί να αποφέρει οφέλη τόσο στην περιοχή (μείωση κινδύνου μελλοντικής πυρκαγιάς, μείωση διάβρωσης κλπ) όσο και στον ανθρώπινο παράγοντα. Πρέπει όμως να δοθεί ιδιέταιρη προσοχή σε αυτή την αντιμετώπιση διότι αν απομακρυνθεί μεγάλη ποσότητα κυρίως μεγάλων κορμών επιβαρύνεται επιπλέον η ανόρθωση του οικοσυστήματος και αυξάνεται ο κίνδυνος διάβρωσης.
- ❖ Οικονομική ενίσχυση πληγέντος πληθυσμού: Σε περίπτωση απώλειας κατοικιών λόγω της φωτιάς, αναγκαία είναι η άμεση κάλυψη των βασικών αναγκών (τροφή, διαμονή) των κατοίκων και η αποζημίωση για την αποκατάσταση των ζημιών.
- ❖ Αποκατάσταση της βλάστησης: Τα μέτρα για την αποκατάσταση της βλάστησης εξαρτώνται από τις εκάστοτε συνθήκες (μέγεθος καταστροφής, χαρακτηριστικά βλάστησης, περιοχής και οικοσυστήματος κλπ). Ωστόσο σε γενικές γραμμές απαραίτητη είναι η προστασία της περιοχής από τη βόσκηση και η αναδάσωση με κατάλληλα είδη (για παράδειγμα καλό είναι να αποφεύγεται η αναδάσωση με είδη που μπορούν να δημιουργήσουν διεκδίκηση περιουσίας όπως η ελιά, η μουριά, η συκιά κ.α.)

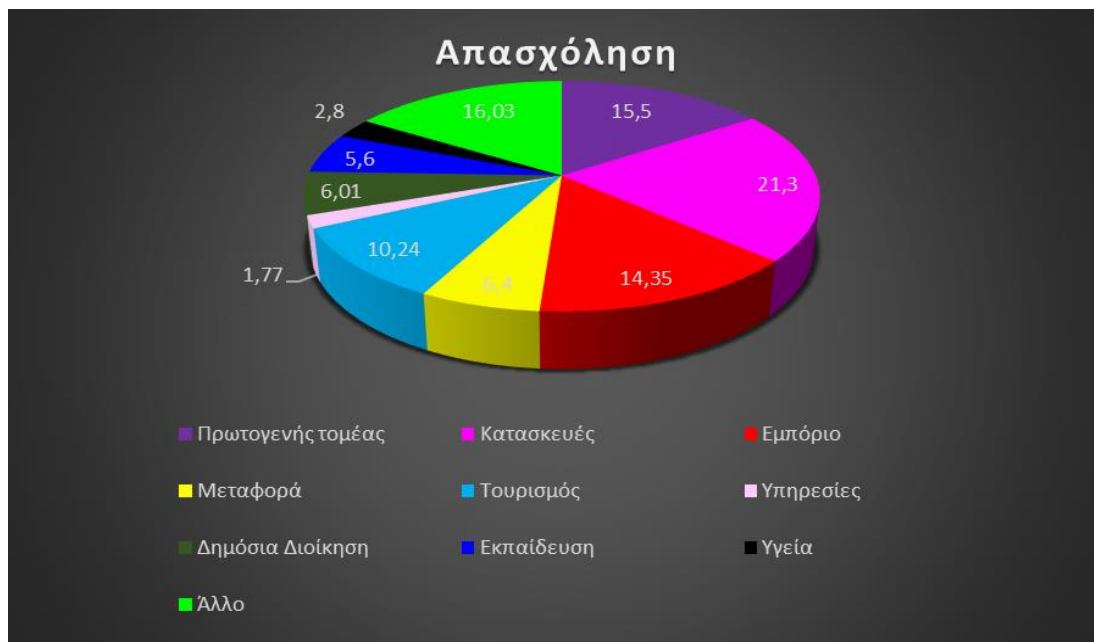
Κεφάλαιο 3: Περιοχή μελέτης και δεδομένα

3.1 Περιοχή μελέτης

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκε το νησί της Άνδρου το οποίο ανήκει στο νησιωτικό σύμπλεγμα των Κυκλάδων. Η Άνδρος αποτελεί το βορειότερο και δεύτερο μεγαλύτερο νησί των Κυκλάδων (μετά τη Νάξο) με έκταση 380 τετραγωνικά χιλιόμετρα και μήκος ακτογραμμής 176 χιλιόμετρα. Επιπλέον είναι το πλησιέστερο στην Αττική νησί των Κυκλάδων (Πηγή: Δήμος Άνδρου).

Τα βασικά γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της Άνδρου είναι οι βραχώδεις ακτές και οι πολλές βραχονησίδες που το περιβάλλουν. Η σύσταση του εδάφους ευνοεί ιδιαίτερα την ανάπτυξη πληθώρας χειμάρρων, ρεμάτων, πηγών και ποταμών με αποτέλεσμα την ύπαρξη πλούσιας βλάστησης στη Νότια και Νοτιοανατολική πλευρά του νησιού. Στη Βόρεια πλευρά του νησιού η βλάστηση είναι κατά κύριο λόγο θαμνώδης. Στην Παλαιόπολη (την αρχαία πρωτεύουσα του νησιού) υπάρχει ο μοναδικός καταρράκτης των Κυκλάδων. Ο ορεινός όγκος του νησιού συνίσταται από τέσσερις οροσειρές που το χωρίζουν σε πέντε σχεδόν παράλληλα τμήματα κατά μήκος. Αυτές είναι η Κουβάρα (975μ.), το Πέταλο (994μ.), ο Γερακώνας (765μ.) και οι Ράχες (750μ.) (πηγή: ιστοσελίδα δήμου Άνδρου). Ως ορεινό νησί δεν έχει πεδιάδες αλλά διαθέτει αρκετές κοιλάδες με εσπεριδοειδή, ελαιώνες, αμπέλια και άλλες καλλιέργειες (πηγή: Δήμος Άνδρου).

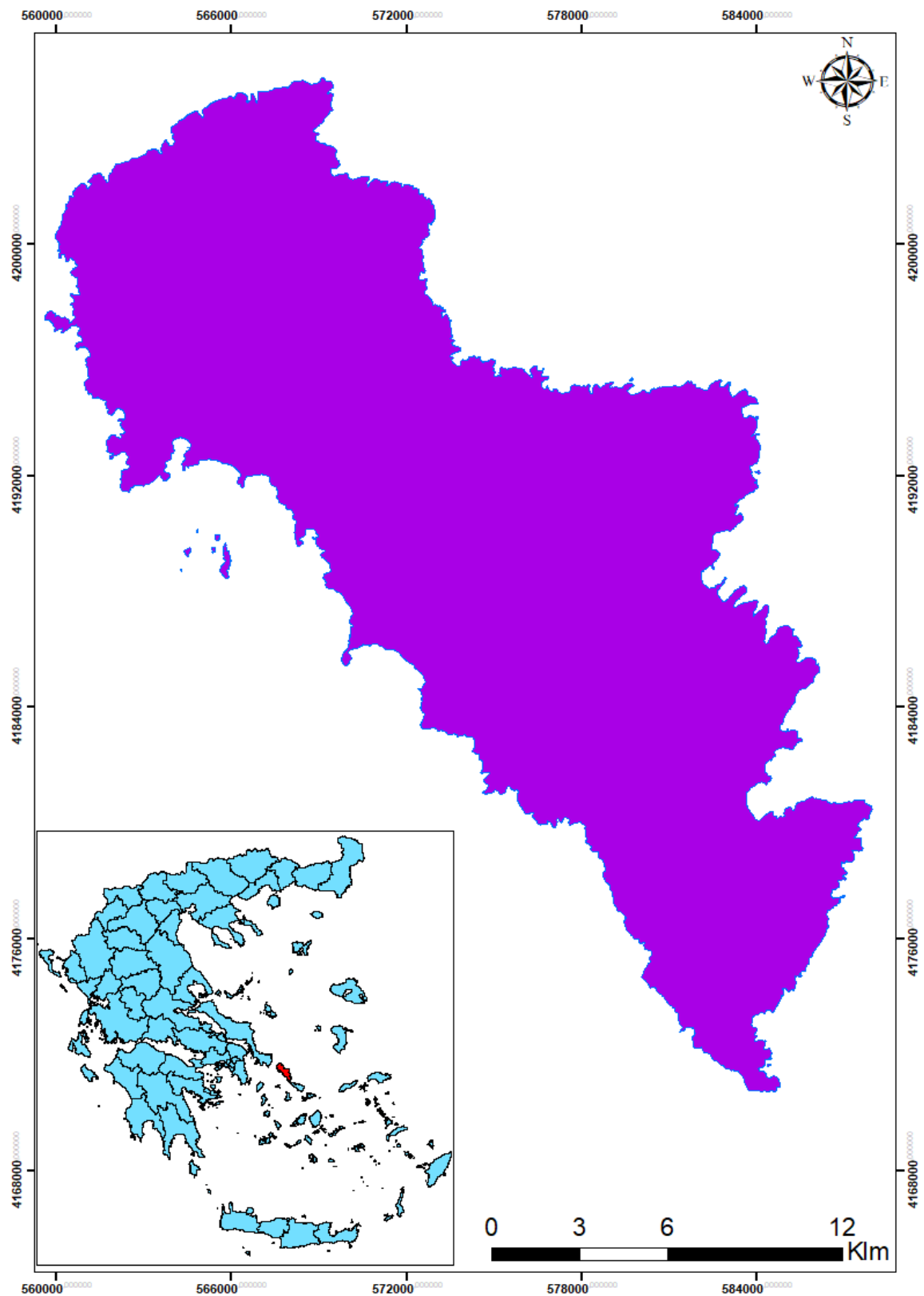
Σύμφωνα με την τελευταία απογραφή (2011) το νησί αριθμεί 9.170 μόνιμους κατοίκους (περίπου 1000 κάτοικοι λιγότεροι από την προηγούμενη απογραφή του 2001). Με την πάροδο των ετών σε όλο το σύνολο της χώρας υπήρξε αύξηση του αστικού ιστού. Ιδιαίτερα στα νησιά που συγκεντρώνουν μεγάλο αριθμό επισκεπτών την τουριστική περίοδο η αύξηση είναι μεγάλη. Ωστόσο ένα μεγάλο μέρος των κατοικιών χρησιμοποιείται λίγους μήνες του έτους σε περιόδους διακοπών και ο μόνιμος πληθυσμός συνήθως μειώνεται αντί να αυξάνεται. Συνεπώς αύξηση των οικημάτων σε συνεπάγεται σε καμία περίπτωση με αύξηση του πληθυσμού στην περίπτωση της Άνδρου. Οι περισσότεροι κάτοικοι ασχολούνται με τις κατασκευές, τον πρωτογενή τομέα, το εμπόριο και τον τουρισμό (Σχήμα 1). Το κλίμα είναι καθαρά μεσογειακό με ζεστά καλοκαίρια και κρύους χειμώνες (κυρίως λόγω των Βόρειων ανέμων που μειώνουν τη θερμοκρασία και συχνά φτάνουν μέχρι και 10 μποφόρ αποκόβοντας το νησί από την ξηρά) (Πηγή: Δήμος Άνδρου).



Σχήμα 1: Ποσοστά απασχόλησης.

Η πλειοψηφία των πετρωμάτων της Άνδρου αποτελείται από διάφορους τύπους σχιστολιθικών πετρωμάτων τα οποία είναι αδιαπέρατα. Δηλαδή το νερό δεν απορροφάται από τη γη ανάμεσα από το πέτρωμα αλλά σχηματίζει ποτάμια στην επιφάνεια. Το υπέδαφος περιέχει κοιτάσματα μαγγανίου, χρωμίου, αργυρούχου μολύβδου, αντιμονίου, ψευδαργύρου, χαλκού, νικελίου, και σιδήρου (Πηγή: Δήμος Άνδρου).

Τα τελευταία χρόνια πλήττεται από συχνές πυρκαγιές, γεγονός που έχει αρνητικό αντίκτυπο στη ζωή των κατοίκων, την πρωτογενή παραγωγή και το περιβάλλον του νησιού γενικότερα. Το πρόβλημα των πυρκαγιών ήταν τόσο μεγάλο που οδήγησε στην ίδρυση του Συλλόγου Εθελοντών Δασοπυροσβεστών Άνδρου (ΣΕΔΑ) το 2006. Οι συνολικές καμένες εκτάσεις της Άνδρου για την περίοδο 2001-2013 ανέρχονται σε 20.380 στρέμματα.



Εικόνα 1. Χάρτης περιοχής μελέτης: Νήσος Άνδρος.

3.2 Επιλογή δορυφορικών εικόνων

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση έγινε εμφανές το γεγονός ότι οι περισσότερες μελέτες επικεντρώνονται στη χαρτογράφηση και την ανίχνευση καμένων περιοχών με χρήση διαφόρων συνδυασμών αισθητήρων και δεικτών. Ωστόσο ενώ παράλληλα πραγματοποιήθηκαν αρκετές έρευνες που αφορούν την αλλαγή στην κάλυψη και τις χρήσεις γης ανά τον κόσμο για ποικίλους λόγους (πχ βιομηχανία, καλλιέργειες κα) εντοπίζεται κενό στο συνδυασμό των δύο θεματικών ενοτήτων: Την καταγραφή δηλαδή των καμένων εκτάσεων με παράλληλη μελέτη της αλλαγής στην κάλυψη και τις χρήσεις γης.

Για τη χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης χρησιμοποιήθηκαν οι εξής δορυφορικές εικόνες:

Πίνακας 1. Δεδομένα εικόνων.

Δορυφόρος	Έτος	Ημ/νία λήψης	Εποχή
Landsat 5 TM	2000	24/07/2000	Καλοκαίρι
Landsat 7 TM	2008	30/08/2008	Καλοκαίρι
Landsat 8 TM	2016	18/06/2016	Καλοκαίρι

Η απόκτηση των παραπάνω εικόνων έγινε μέσω της εφαρμογής *Eolisa* του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος (ESA), και της ιστοσελίδας *Earth Explorer* της Αμερικανικής Υπηρεσίας Γεωλογικών Εφαρμογών (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Και οι δύο πηγές παρέχουν πληθώρα δορυφορικών εικόνων

Οι θεματικοί χαρτογράφοι Landsat 4, 5 και 7 έχουν επαναληπτικότητα 16 ημερών και ύψος πτήσης 705 χιλιόμετρα. Οι ζώνες των μηκών κύματος για το Landsat 4, 5 και 7 παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Μερτίκας, 2009):

Πίνακας 2. Φασματικά κανάλια Landsat 4, 5 και 7 TM.

Δίαυλος	Φασματική θέση	Φασματική ζώνη	Ιδιότητες
1	Ιώδες, πράσινο	0.441-0.514μm	Διάκριση εδαφών, βλάστησης
2	Πράσινο	0.519-0.601 μm	Αξιολόγηση υγείας φυτών
3	Ερυθρό	0.631-0.692 μm	Διάκριση τύπων βλάστησης
4	Κοντινό υπέρυθρο	0.772-0.898 μm	Βιομάζα, χαρτογράφηση ακτογραμμής
5	Μέσο υπέρυθρο 1	1.547-1.749 μm	Υγρασία σε έδαφος και βλάστηση
6	Θερμικό υπέρυθρο	10.31-12.36 μm	Εντοπισμός ορυκτών
7	Μέσο υπέρυθρο 2	2.064-2.345 μm	Θερμικές καταγραφές
8	Παγχρωματικό	0.515-0.896 μm	

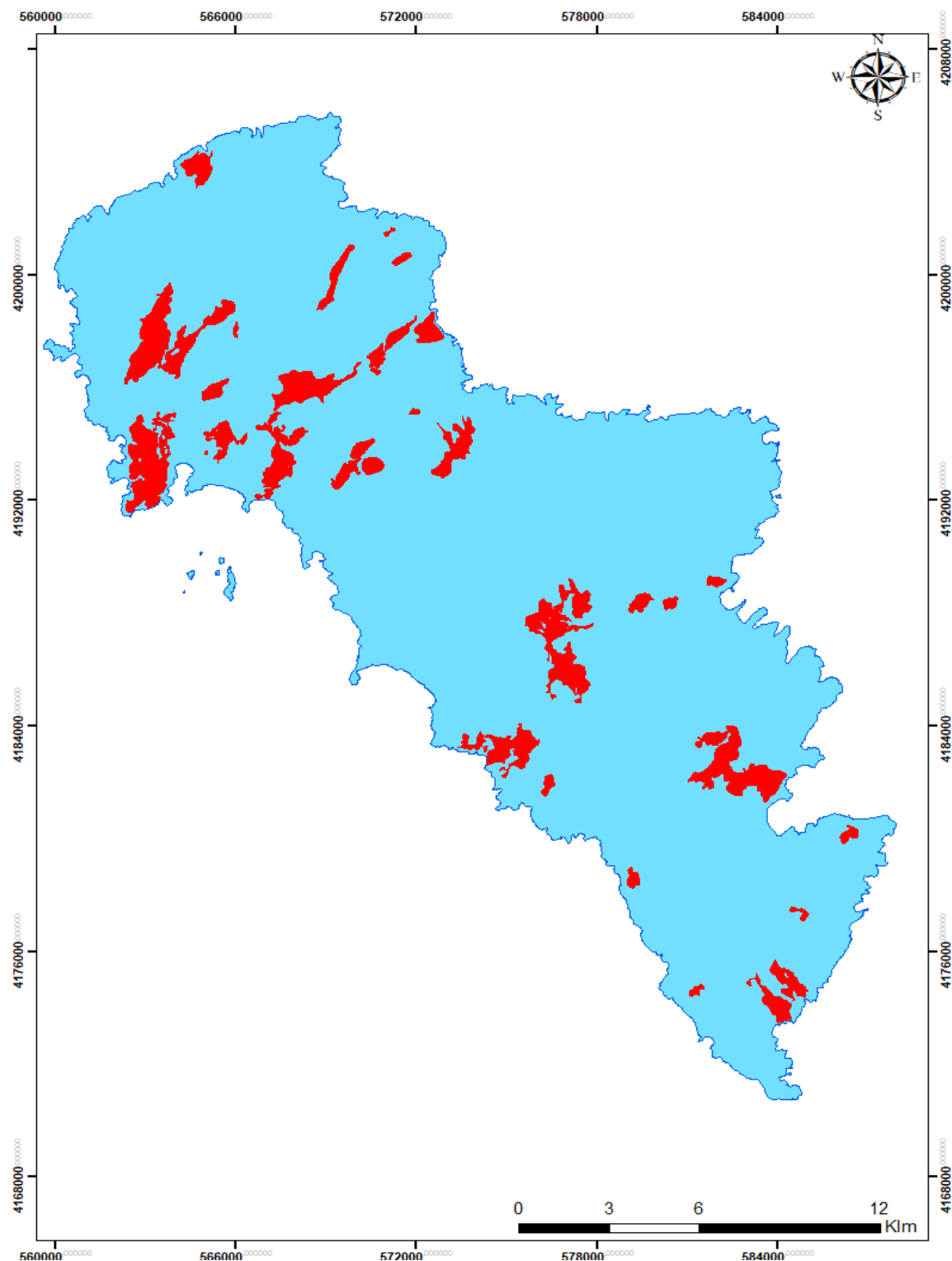
Ο νέος θεματικός χαρτογράφος Landsat 8 τέθηκε σε τροχιά το 2013. Ο αισθητήρας OLI που φέρει συλλέγει δεδομένα από το ορατό και το κοντινό και μέσο υπέρυθρο, ενώ παράλληλα συλλέγει και παγχρωματικά δεδομένα. Έχει δύο επιπλέον φασματικά κανάλια, ένα για τη μείωση των ατμοσφαιρικών επιρροών και ένα για την παρατήρηση ακτογραμμών. Έχει 30μ διακριτική ικανότητα όπως οι προηγούμενοι Landsat εκτός από τα δύο θερμικά κανάλια όπου έχουν 100μ. και το παγχρωματικό που έχει 15μ. Τα μήκη κύματος και τα φασματικά κανάλια του παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (πηγή: NASA):

Πίνακας 3. Φασματικά κανάλια Landsat 8 TM.

Δίαυλος	Φασματική θέση	Φασματική ζώνη
1	Ακτογραμμή/ατμόσφαιρα	0.435-0.451 μm
2	Μπλε	0.452-0.512 μm
3	Πράσινο	0.533-0.590 μm
4	Κόκκινο	0.636-0.673 μm
5	Κοντινό υπέρυθρο	0.851- 0.879 μm
6	Μέσο υπέρυθρο 1	1.566-1.651 μm
7	Μέσο υπέρυθρο 2	2.107-2.294 μm
8	Παγχρωματικό	0.503-0.676 μm
9	Νεφοκάλυψη	1.363-1.384 μm
10	Θερμικό 1	10.60-11.19 μm
11	Θερμικό 2	11.50-12.51 μm

3.3 Δεδομένα πυρκαγιών

Σε ό,τι αφορά τις πυρκαγιές τα δεδομένα προήλθαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών (*National Observatory of Athens*) το οποίο παραχώρησε για τη συγκεκριμένη εργασία 46 πολύγωνα με τις καταγεγραμμένες πυρκαγιές της Άνδρου από το 1984 έως το 2016. Οι εκτάσεις αυτές απεικονίζονται τον παρακάτω χάρτη:



Εικόνα 2. Χάρτης πυρκαγιών 1984-2016.

Κεφάλαιο 4: Μεθοδολογία

4.1 Δορυφορική τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση (*remote sensing*) είναι ο κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με την τεχνική απόκτησης πληροφοριών για αντικείμενα που βρίσκονται στη γήινη επιφάνεια. Η συλλογή της πληροφορίας πραγματοποιείται με την αξιοποίηση οργάνων τα οποία δεν έχουν καμία φυσική επαφή με τα αντικείμενα (Παρχαρίδης, 2015). Παραδείγματα καταγραφής τέτοιων πληροφοριών αποτελούν οι δορυφορικές εικόνες, οι εικόνες ραντάρ (SAR) και οι αεροφωτογραφίες. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση (*satellite remote sensing*) αφορά τις δύο πρώτες κατηγορίες όπου τα δεδομένα συλλέγονται από παθητικούς ή ενεργητικούς δορυφόρους. Ουσιαστικά η έννοια της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει τρεις παραμέτρους: Το αντικείμενο για το οποίο βρίσκεται υπό μελέτη, την τεχνική με την οποία θα συλλεχθούν πληροφορίες για το αντικείμενο και την ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν (Καρτάλης κ.α., 2013).

4.1.1 Εφαρμογή στην αλλαγή χρήσης/ κάλυψης γης

Οι αλλαγές στην κάλυψη γης επιφέρουν αλλαγές στις τιμές της ακτινοβολίας εντονότερες από τις αλλαγές που επιφέρουν για παράδειγμα οι ατμοσφαιρικές συνθήκες ή οι διαφορές στην υγρασία του εδάφους (Παρχαρίδης, 2015). Η μελέτη των αλλαγών αυτών έχει καίριο ρόλο στην επιστήμη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών καθώς οι λειτουργίες της γης και τα παράγωγά της καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα ζωής του ανθρώπου. Έτσι η μελέτη και η αναζήτηση καλύτερων μεθόδων τηλεπισκόπησης για τη χαρτογράφησή τους δε σταματάει ποτέ, ακολουθώντας αύξουσα πορεία ανάλογη με την ανάπτυξη της τεχνολογίας (Verbung et al., 2008).

4.1.2 Ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων

Η ταξινόμηση μιας δορυφορικής εικόνας αποσκοπεί στη δημιουργία ομάδων εικονοστοιχείων με κοινά χαρακτηριστικά και γίνεται με βάση τη φασματική τους ταυτότητα (για παράδειγμα βλάστηση, νερό κλπ). Η ταξινόμηση μπορεί να είναι είτε μη επιβλεπόμενη είτε επιβλεπόμενη. Στη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση τα εικονοστοιχεία εντάσσονται σε ομάδες με βάση τα στατιστικά τους χαρακτηριστικά εφαρμόζοντας αυτοματοποιημένους αλγορίθμους όπως ο ISODATA και ο K-means. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις από το χρήστη και βοηθά στην ταξινόμηση εδαφών που στην εικόνα δεν αναγνωρίζονται εύκολα. Αντίθετα, η επιβλεπόμενη ταξινόμηση απαιτεί καλή γνώση των φασματικών ταυτοτήτων από το χρήστη και ενδείκνυται για μικρό αριθμό ομάδων. Γίνεται καλύτερη απεικόνιση των χρήσεων/καλύψεων γης και τα αποτελέσματα διακρίνονται από μεγαλύτερη ακρίβεια. Ωστόσο συχνά εικονοστοιχεία με παρόμοιες φασματικές υπογραφές που δεν ανήκουν όμως στην ίδια ομάδα (για παράδειγμα μια καλλιέργεια κι ένα κομμάτι οικισμού) κατηγοριοποιούνται λανθασμένα (Καρτάλης κ.α., 2013). Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά οι

κυριότεροι αλγόριθμοι μη επιβλεπόμενης και επιβλεπόμενης ταξινόμησης (Μερτίκας, 2009):

➤ Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση:

- Ομαδοποίηση με μέσες τιμές (k-mean): κάθε ψηφίδα εντάσσεται σε μια κατηγορία με βάση την εγγύτητά της από το κέντρο της κλάσης.
- Isodata: πρόκειται για μια περαιτέρω εξέλιξη του προηγούμενου αλγορίθμου όπου εάν οι ψηφίδες σε μια κατηγορία είναι πολύ λίγες, τότε αυτή αυτόματα καταργείται, ενώ αν είναι πάρα πολλές η κατηγορία διαχωρίζεται σε δύο επιμέρους κλάσεις.
- Ιεραρχική ομαδοποίηση: Εδώ οι ψηφίδες εντάσσονται σε μία κατηγορία με βάση τη μέση απόσταση από το κέντρο της και παράγεται ένα διάγραμμα δένδροειδούς μορφής που παρέχει πληροφορίες για τις αποστάσεις με βάση τις οποίες έγινε η κατηγοριοποίηση.
- Ομαδοποίηση με ιστογράμματα: Πλέον δε χρησιμοποιείται η απόσταση αλλά το ιστογράμματος της κάθε ψηφίδας για την ένταξή της σε μια κλάση. Ωστόσο η πληθώρα των ιστογραμμάτων καταλαμβάνει αρκετή μνήμη στον υπολογιστή.

➤ Επιβλεπόμενη ταξινόμηση:

- Κανόνες του παραλληλεπιπέδου: Ορίζονται τα όρια της κάθε κλάσης (με βάση την ψηφιακή τιμή κάθε εικονοστοιχείου) τα οποία αντιστοιχούν σε ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο στους άξονες συντεταγμένων και με βάση αυτά τα πολύγωνα εντάσσονται οι ψηφίδες στις ομάδες.
- Μέθοδος ελάχιστης απόστασης: Συγκεντρώνονται δείγματα από τις φασματικές υπογραφές για κάθε ομάδα και με βάση την απόσταση της φασματικής υπογραφής κάθε εικονοστοιχείου από το κέντρο της φασματικής ομάδας που έχει δημιουργηθεί, εντάσσεται σε αυτή.
- Μέθοδος μέγιστης πιθανοφάνειας: Η μέθοδος αυτή αφορά την πιθανότητα που έχει η φασματική υπογραφή κάθε ψηφίδας να εντάσσεται σε μία ομάδα. Αν για παράδειγμα υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να εντάσσεται στην ομάδα των υδάτων από ότι σε αυτή του γυμνού πετρώματος θα ενταχθεί στα ύδατα.
- Χαρτογράφος Φασματικής Γωνίας: Ο αλγόριθμος αυτός υπολογίζει τη γωνία ανάμεσα στα φασματικά κανάλια μεταξύ ενός εικονοστοιχείου που έχει δηλωθεί τι είναι (για παράδειγμα μέσω μιας περιοχής ενδιαφέροντος) και ενός αγνώστων στοιχείων. Η γωνία αλλάζει μέγεθος σύμφωνα με τις επιλογές του χρήστη οπότε εάν τα αταξινομήτα στοιχεία είναι πάρα πολλά μπορεί να αυξήσει το μέγεθος.
- Αλγόριθμος τεχνητής νοημοσύνης (Support Vector Machine): Έχει αποδειχθεί πολύ αποτελεσματικός σε σύνθετες εικόνες.

Όλες οι προαναφερθείσες μέθοδοι ταξινόμησης εντάσσονται κυρίως στη λεγόμενη *pixel based* ταξινόμηση, δηλαδή στην ταξινόμηση μιας δορυφορικής εικόνας με βάση την κάθε ψηφίδα.

Μία άλλη εναλλακτική μέθοδο προσφέρει η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση (*object based/oriented classification*) η οποία άρχισε να αναπτύσσεται από το 2000 και μετά. Η ραγδαία αύξηση στη διαθεσιμότητα δορυφορικών δεδομένων οδήγησε στην αύξηση αρκετών ερευνών που χρησιμοποίησαν αντικειμενοστραφείς μεθόδους για την επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας. Επιτρέπει τη δημιουργία αντικειμένων χωρίζοντας την εικόνα σε τμήματα με κοινά χαρακτηριστικά. Με την κατάτμηση της δορυφορικής εικόνας ουσιαστικά δημιουργούνται ομάδες περιοχών οι οποίες διαθέτουν επιπρόσθετη φασματική πληροφορία σε σύγκριση με μια μεμονωμένη ψηφίδα. Ο αλγόριθμος της κατάτμησης χωρίζει την εικόνα σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από κάποιο βαθμό ομοιογένειας ως προς το αντικείμενο που απεικονίζεται και ταυτόχρονα η κάθε περιοχή περιέχει σημαντικό αριθμό ομάδων ψηφίδων. Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση είναι ότι σε εικόνες πολύ υψηλής ανάλυσης στην περίπτωση της βλάστησης κάθε ψηφίδα διαφέρει λόγω της πληθώρας ειδών και συνδυασμών βλάστησης η οποία είναι πολύ δύσκολο να απεικονισθεί ως ένα σύνολο. Ωστόσο, πλέον έχει αυξηθεί τόσο πολύ η πολυπλοκότητα των κανόνων στην αντικειμενοστραφή ταξινόμηση που όχι μόνο επιλύει ερευνητικά ερωτήματα αλλά δημιουργεί και πληθώρα νέων. Ενώ τώρα η επεξεργασία της εικόνας γίνεται τμηματικά, τίθεται ως μελλοντικός στόχος από τους ερευνητές η πλήρης αυτοματοποίηση της επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων (Blaschke, 2010).

Στην προκειμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί επιβλεπόμενη ταξινόμηση με βάση την ψηφίδα.

4.1.3 Έλεγχος ταξινόμησης

Ο έλεγχος ακρίβειας ταξινόμησης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα βήματα της διαδικασίας καθώς λαμβάνοντας πληθώρα τυχαίων σημείων ουσιαστικά ελέγχει αν όντως ανήκουν στην κατηγορία στην οποία εντάχθηκαν. Υπολογίζεται δηλαδή ο βαθμός στον οποίο η ταξινόμηση που έγινε είναι σωστή.

Έως τις αρχές της δεκαετίας του '80 οι περισσότερες μελέτες ανέφεραν απλά έναν αριθμό για να πιστοποιήσουν την ακρίβεια των ταξινομήσεων και ο έλεγχος ταξινόμησης ήταν αρκετά αποστασιοποιημένος από τα χωρικά δεδομένα καθώς υπολογιζόταν με βάση την ποσότητα των δεδομένων. Αργότερα αναγνωρίστηκαν αυτά τα προβλήματα και δημιουργήθηκαν νέες μέθοδοι για τον έλεγχο ταξινόμησης οι οποίες στηρίχτηκαν κυρίως στη συσχέτιση με τη χωρική πληροφορία. Η επικρατέστερη μέθοδος ήταν (και είναι ακόμη) η διαμόρφωση ενός πίνακα που περιέχει όλα τα σφάλματα και για κάθε κατηγορία ταξινόμησης. Καταμετράται δηλαδή κάθε ψηφίδα που βρίσκεται ενταγμένη σε λάθος κλάση. Από το σημείο αυτό κι έπειτα μπορούν να εφαρμοστούν ποικίλες μέθοδοι ερμηνείας, τόσο αναλυτικές όσο και στατιστικές. Παρ' όλα αυτά κάποια ζητήματα εξακολούθησαν να υπάρχουν. Για παράδειγμα εάν ο αρχικός πίνακας συμπληρωθεί λανθασμένα όλο το εγχείρημα είναι άσκοπο. Επιπρόσθετα, σε πολύπλοκες ταξινομήσεις όπου οι χρήσεις/καλύψεις γης δεν ταξινομούνται απλά σε δάσος και αστική ζώνη αλλά και στα διάφορα είδη βλάστησης μέσα στο δάσος, δυσχεραίνεται σε μεγάλο βαθμό ο

εντοπισμός των σφαλμάτων (Congalton, 1991). Δέκα χρόνια αργότερα ο ίδιος ερευνητής επιστρέφει αναπτύσσοντας περεταίρω την προηγούμενη μελέτη του: Για να εκτιμηθεί η επιρροή του κάθε σφάλματος στο τελικό αποτέλεσμα, πρέπει αυτό να χωριστεί σε τμήματα. Έτσι θα υπάρξει η δυνατότητα να εντοπιστεί το σφάλμα που δημιουργεί το μεγαλύτερο πρόβλημα στο αποτέλεσμα και, με τη βελτίωσή του να βελτιωθεί το σύνολο της ταξινόμησης (Congalton, 2001).

Στις προσπάθειες για βελτίωση του ελέγχου ταξινόμησης συνέβαλλε σημαντικά ο συντελεστής Kappa, ο οποίος στην αρχική μορφή του αξιολογούσε τον έλεγχο ταξινόμησης με βάση τα τυχαία σημεία που όμως δεν επαρκούν για την κατασκευή ενός αξιόλογου χάρτη. Έτσι δημιουργήθηκαν κάποιες παραλλαγές του συντελεστή Kappa που όμως παρέβαιναν θεμελιώδη εννοιολογικά αξιώματα και γι' αυτό το λόγο δημοσιεύτηκαν μελέτες με στόχο να αποτρέψουν την περεταίρω χρήση τους (Pontius et al., 2011). Ο συντελεστής χρησιμοποιείται ακόμη ευρέως στην αρχική μορφή του:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r x_{ii} - \sum_{i=1}^r (x_{i+} * x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r x_{+} + 1} \quad (1)$$

Όπου K: Συντελεστής Kappa,

r: Ο αριθμός σειρών και στηλών,

x_{ii}: Η "μήτρα" όπου ανακατεύονται οι παρατηρήσεις (ουσιαστικά ο πίνακας με τα σφάλματα),

N: Το σύνολο των παρατηρήσεων.

4.1.4 Μέθοδοι χαρτογράφησης χρήσεων/καλύψεων γης

Οι μελέτες που ακολουθούν εφαρμόζουν διάφορες μεθόδους ταξινόμησης σε ποικίλες δορυφορικές εικόνες (κατά κύριο λόγο όμως Landsat) οι οποίες εφαρμόζονται ολοένα και περισσότερο στο σχεδιασμό της χρήσης γης λόγω των πλεονεκτημάτων τους σε σχέση με πιο παραδοσιακές μεθόδους. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην πολιτεία του Οχάιο δημιουργήθηκε μια βάση δεδομένων κάλυψη γης που αποκτήθηκαν από LANDSAT δορυφόρους για κάθε κομητεία στην πολιτεία. Χρησιμοποιώντας ένα τμήμα της κομητείας του Franklin σαν μελέτη, δύο βάσεις δεδομένων LANDSAT, και ερμηνείες αεροφωτογραφιών του ελεγχόμενου εδάφους, έγιναν αρκετές δοκιμές ακριβείας προκειμένου να εκτιμηθεί καλύτερα το μέγεθος της έκτασης της ταξινόμησης και εξαλειφθούν τυχόν λάθη λόγω της κακής ευθυγράμμισης (Gordon et al., 1980). Αρκετά χρόνια αργότερα, πολυφασματικές σαρωμένες εικόνες του Landsat, στις οποίες συνδυάστηκαν δεδομένα του χειμώνα, της άνοιξης και του καλοκαιριού, χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση των χρήσεων γης στην Εσθονία για τα έτη 1990 και 1993. Η καλλιεργήσιμη γη διαχωρίστηκε από τις υπόλοιπες καλύψεις. Ωστόσο, δεν ήταν δυνατός ο διαχωρισμός των ενεργών και εγκαταλελειμμένων καλλιεργειών που αποτελούσε και έναν από τους κύριους στόχους της έρευνας (Peterson et al., 1998).

Η έρευνα των Weng et al. (2002) δείχνει ότι η ενσωμάτωση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και των GIS ήταν μια αποτελεσματική προσέγγιση για την ανάλυση της κατεύθυνσης, του ποσοστού, και του χωρικού προτύπου της αλλαγής της χρήσης γης. Η περαιτέρω ενσωμάτωση των δύο αυτών τεχνολογιών αποτέλεσε την πιο αποτελεσματική μέθοδο για την περιγραφή και την ανάλυση της διαδικασίας της αλλαγής των χρήσεων γης. Την ίδια χρονιά, οι Seto et al. (2002), δημιουργώντας τις μεταβλητές του Tasseled Cap (brightness, greenness και wetness) και συνδυάζοντάς τες παρήγαγαν τέσσερις σταθερές κλάσεις και πέντε μεταβλητές κατηγορίες με στόχο τη διερεύνηση των αλλαγών χρήσεων/καλύψεων γης. Το μεγαλύτερο μέρος της αλλαγής της χρήσης γης που παρατηρήθηκε, είναι η μετατροπή γεωργικής γης σε αστικές περιοχές. Οι χρωματικές συνθέσεις του Landsat 5 TM του 1990, 1993, 1996 και 1999 χρησιμοποιήθηκαν για τον εντοπισμό δειγμάτων εκπαίδευσης για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση στις παράκτιες περιοχές της Ban Don Bay και Surat Thani στην Ταϊλάνδη. Οι αλλαγές της χρήσης/κάλυψης γης από μια κατηγορία σε άλλες αποτυπώθηκαν με μεγάλη ακρίβεια με τις σύνθετες εικόνες του δείκτη βλάστησης NDVI, οι οποίες αποδείχθηκαν σε μεγάλο βαθμό κατάλληλες για την οριοθέτηση της επέκτασης των γεωργικών εκμεταλλεύσεων και τις αλλαγές χρήσης γης στην περιοχή Ban Don Bay (Muttitanon et al., 2005).

Οι Yuan et al. (2005), εφάρμοσαν επιβλεπόμενη ταξινόμηση σύμφωνα με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας σε εικόνες Landsat σε δύο αμερικανικές πόλεις. Οι χρήσεις/καλύψεις γης διαχωρίστηκαν σε καλλιέργειες, δάση, αστικές περιοχές, ύδατα και αραιή βλάστηση, ενώ για τον έλεγχο των ταξινομήσεων υπολογίστηκε και ο συντελεστής Kappa. Οι περισσότερες αλλαγές που παρατηρήθηκαν αφορούσαν αγροτική γη που έγινε αστική ζώνη και δασικές εκτάσεις που μετετράπησαν σε αστικές. Η ίδια μέθοδος εφαρμόστηκε δύο χρόνια αργότερα σε μεσογειακό περιβάλλον (πιο συγκεκριμένα στις ακτές της Τουρκίας). Οι κλάσεις μπήκαν σε αρκετή λεπτομέρεια περιλαμβάνοντας εκτός από τις βασικές κατηγορίες κάλυψης και κατηγορίες καλλιεργειών όπως καλαμποκιού και σίτου. Όμως κρίθηκε κατάλληλη κυρίως για την ταξινόμηση αστικών περιοχών αφού εκεί πραγματοποιήθηκαν οι ταξινομήσεις με τα μικρότερα σφάλματα (Berberoglu et al., 2007). Σε μία ακόμη μελέτη, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με αρκετά αξιόλογα αποτελέσματα για εικόνες του 1987 και του 2001. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης βελτιστοποιήθηκαν περαιτέρω με χρήση βοηθητικών δεδομένων, οπτικής ερμηνείας και εξειδικευμένης γνώσης της περιοχής μέσω GIS (Shalaby et al., 2007).

Οι Han et al. (2007), διερεύνησαν την αλλαγή χρήσεων/καλύψεων γης σε παράκτιες περιοχές εφαρμόζοντας αλγορίθμους μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και προσπαθώντας να συνδέσουν το αποτέλεσμα με κοινωνικο-οικονομικές αλλαγές. Σε αντίθεση με τις περισσότερες έρευνες που χρησιμοποίησαν μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, εδώ η ακρίβεια ταξινόμησης ήταν αρκετά υψηλή για όλα τα έτη. Ένα χρόνο αργότερα, οι Serra et al. (2008) επιχείρησαν να χαρτογραφήσουν τις αλλαγές στις χρήσεις/καλύψεις γης σε μια περιοχή νοτιοανατολικά της Ισπανίας χρησιμοποιώντας μια συνδυαστική μέθοδο επιβλεπόμενης και μη ταξινόμησης που δημιούργησαν οι ίδιοι πέντε χρόνια νωρίτερα με αξιόλογα αποτελέσματα σε

μεσογειακά περιβάλλοντα. Ταυτόχρονα παρουσίασαν στατιστικές αναλύσεις καταδεικνύοντας τη μηδενική, θετική ή αρνητική μεταβολή. Σημαντική αποδείχθηκε η μείωση των καλλιεργειών λόγω εγκατάλειψης και των δασών λόγω δασικών πυρκαγιών. Με μια διαφορετική προσέγγιση, χρησιμοποιώντας εικόνες ASTER και δεδομένα Corine χαρτογραφήθηκαν οι χρήσεις/καλύψεις γης σε μεσογειακές περιοχές της Τουρκίας. Η μέθοδος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα ERDAS χώρισε το έδαφος σε ύδατα, καλλιέργειες, πυκνή και αραιή βλάστηση, γυμνό έδαφος και αστικές περιοχές. Σε αυτά τα αποτελέσματα συνδυάστηκαν τα δεδομένα του Corine και παρήγαγαν ένα υψηλής ακρίβειας αποτέλεσμα (Yüksel et al., 2008).

Σε μία μελέτη στη μεσόγειο αυτή τη φορά, όπου χρησιμοποιήθηκαν ποικίλες μέθοδοι ταξινόμησης ώστε να αξιολογηθούν, αποδείχθηκε πως τα καλύτερα αποτελέσματα επιτεύχθηκαν με το συνδυασμό επιβλεπόμενης και μη ταξινόμησης. Ωστόσο ο έλεγχος ταξινόμησης σε κάθε κατηγορία είχε καλύτερα ή παρόμοια αποτελέσματα στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση από ότι στη μη επιβλεπόμενη (Rozenstein et al., 2011).

Οι παραπάνω έρευνες χρησιμοποιούν pixel based ταξινομήσεις με διαφόρους συνδυασμούς αλγορίθμων. Ωστόσο ολοένα και αυξανόμενες είναι και αυτές που χρησιμοποιούν την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση. Χάρη σε αυτή την προσέγγιση, που παρέχει όχι μόνο τη δυνατότητα να λαμβάνει υπ' όψιν πληθώρα δεδομένων αξιοποιώντας το περιεχόμενο και κατ' επέκταση τη σημαντικότητά τους, αλλά και να δέχεται και να εξάγει διανυσματικά δεδομένα αν χρειαστεί καθώς και να παρέχει υψηλού επιπέδου έλεγχο και ακρίβεια στις ταξινομήσεις, μπορεί να στηριχθεί η ανάπτυξη και η περεταίρω ανάλυση των δορυφορικών εικόνων σε σχέση με τις δυνατότητες που υπήρχαν παλαιότερα (Benz et al., 2004). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτό των Shackelford et al. (2003), οι οποίοι εφάρμοσαν αλγορίθμους επιβλεπόμενης ταξινόμησης με βάση την ψηφίδα κι έπειτα αντικειμενοστραφή ταξινόμηση σε αστική περιοχή. Στη δεύτερη περίπτωση η ακρίβεια της ταξινόμησης σε κάποιες κλάσεις έφτασε ακόμη και το 99% δημιουργώντας ένα χάσμα μεταξύ των δύο ταξινομήσεων.

Συνδυάζοντας εικόνες Landsat στις οποίες προστέθηκε ως επιπλέον κανάλι ένα ψηφιακό μοντέλο DEM και εφαρμόζοντας αντικειμενοστραφή ταξινόμηση, χαρτογραφήθηκαν διάφοροι τύποι δασικών περιοχών στην Αυστρία. Τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν με αποτελέσματα ταξινόμησης ανά ψηφίδα και δεν παρουσιάστηκαν ιδιαίτερες διαφοροποιήσεις. Έτσι διατυπώθηκε η άποψη πως ο συνδυασμός αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης σε εικόνες του θεματικού χαρτογράφου δεν ενδείκνυται για πυκνές δασικές περιοχές (Dorren et al. 2003).

Με τη βοήθεια εικόνων AVHRR και της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης χαρτογραφήθηκαν καμένες εκτάσεις στην Ισπανία. Με αυτό τον τρόπο οι συγγραφείς απέδειξαν πως η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση αφ' ενός αποτελεί μια χρήσιμη προσέγγιση στη χαρτογράφηση πυρκαγιών και αφ' ετέρου αυξάνει την απόδοση της εκάστοτε έρευνας ακόμη κι όταν τα δεδομένα είναι χαμηλής

διακριτικής ικανότητας δορυφορικές εικόνες όπως σε αυτή την περίπτωση (Gitas et al., 2004).

Άλλη μία ενδιαφέρουσα προσέγγιση αποτελεί η χρήση εικόνων Digital Airborne Imagery System (DAIS) και αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης με στόχο τη χαρτογράφηση της βλάστησης σε δασώδη, θαμνώδη και αραιή βλάστηση και άλλη χρήση γης. Οι τέσσερις αυτές κλάσεις διαχωρίστηκαν σε 48 κατά το δεύτερο στάδιο της ταξινόμησης (43 κλάσεις βλάστησης και 5 κλάσεις άλλων χρήσεων/καλύψεων όπως ύδατα κλπ). Η συγκεκριμένη έρευνα αποτελεί ένα καλό παράδειγμα της λεπτομέρειας στην οποία μπορεί να εμβαθύνει η αντικειμενοστραφής μέθοδος (Yu et al., 2006).

Λίγα χρόνια μετά, οι Mallinis et al. (2008), εφάρμοσαν αντικειμενοστραφή ταξινόμηση σε δορυφορική εικόνα Quickbird καταγράφοντας τα διαφορετικά είδη βλάστησης σε μεσογειακές δασικές περιοχές (συγκεκριμένα στην ευρύτερη περιοχή του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης). Τα δεντροδιαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση αξιολογήθηκαν με τον αλγόριθμο του πλησιέστερου γείτονα και για τον έλεγχο ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκαν μετρήσεις που αναδεικνύουν τη χωρική αυτοσυσχέτιση που πιθανόν να υπάρχει μεταξύ των μεταβλητών - Local Indicators of Spatial Association (LISA). Ο συνδυασμός αυτός αναδείχθηκε ως πολλά υποσχόμενος για μελλοντικές χαρτογραφήσεις σε δασικές περιοχές (Lorilla, 2015).

4.1.5 Μέθοδοι ανίχνευσης και καταγραφής καμένων εκτάσεων

Σε γενικό πλαίσιο, οι δυνατότητες από δορυφόρο σε δορυφόρο διαφέρουν όπως και οι μεθοδολογίες που χρησιμοποιούνται ανάλογα με τα διαθέσιμα δεδομένα. Στην περίπτωση της καταγραφής καμένων εκτάσεων ο αισθητήρας MODIS αποδείχθηκε ως ο πιο ακριβής και ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος, ενώ ακολουθεί ο MERIS-ENVISAT που πλέον δεν υφίσταται και τέλος ο LANDSAT (Padilla et al. 2015). Από την αξιολόγηση απουσιάζουν οι καινούριοι Sentinel των οποίων οι δυνατότητες δεν έχουν προλάβει να αξιοποιηθούν πλήρως. Παρ' όλα αυτά οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί ποικίλουν και αξιοποιούν όλα τα διαθέσιμα δεδομένα.

Αρχικά οι Kasischke et al. (1995) χρησιμοποιώντας δορυφορικές εικόνες AVHRR και το δείκτη βλάστησης NDVI ανίχνευσαν και εκτίμησαν πυρκαγιές σε δάση της Βόρειας Αλάσκας δείχνοντας έτσι τη χρησιμότητα των συγκεκριμένων εικόνων στον εντοπισμό πυρκαγιών. Στα βόρεια δάση του Καναδά για τον ίδιο σκοπό δημιούργησαν οι Ruiz et al. (2012) έναν αλγόριθμο που συνδυάζει ραδιομετρικές μεθόδους και ταξινόμηση σε χρονοσειρές AVHRR. Ωστόσο, ενώ ο αλγόριθμος αυτός υπολόγιζε στατιστικά τόσο πριν όσο και μετά τις φωτιές υπήρξαν αρκετές ανακρίβειες σε επίπεδο εικονοστοιχείου γεγονός που πλήττει σημαντικά την αξιοπιστία της συγκεκριμένης μελέτης. Χρησιμοποιώντας ίδιου αλλά και άλλου τύπου δορυφορικές εικόνες χαρτογράφησαν καμένες εκτάσεις οι Eva et al. (1998)

αυτή τη φορά σε τροπικό έδαφος στην κεντρική Αφρική. Μελέτησαν όχι μόνο τις αλλαγές που προκύπτουν μετά την έλευση της φωτιάς αλλά και κατά τη διάρκεια. Η μέθοδός τους βασίστηκε στη δημιουργία προσωρινών φασματικών προφίλ για κάθε εικονοστοιχείο ώστε να γίνει η ερμηνεία η οποία έπειτα επαληθεύτηκε μέσω της σύγκρισης με δεδομένα βίντεο. Παρόμοια αποτελέσματα εξήγαγαν οι Pereira et al. (1999), οι οποίοι μελέτησαν τη διαφορετική φασματική συμπεριφορά των καμένων εκτάσεων ανάλογα με το κανάλι που χρησιμοποιούνταν κάθε φορά. Ακόμη, επισήμαναν τη χρησιμότητα του θερμικού διαύλου σε περιπτώσεις που η φωτιά είναι πρόσφατη και άρα τα καμένα υλικά περιέχουν διαφορετική ποσότητα θερμότητας (ανάλογα με το χρόνο που πέρασε από το πέρασμα της φωτιάς). Οι Trigg et al. (2001) δημιούργησαν ένα φασματικό δέκτη ευαίσθητο στις αλλαγές λόγω πυρκαγιών σε ένα οικοσύστημα σαβάνας. Για να το πετύχουν αξιοποίησαν φασματικά κανάλια από εικόνες LANDSAT και MODIS. Σε οικοσύστημα σαβάνας επιχείρησαν να χαρτογραφήσουν καμένες εκτάσεις και οι Stroppiana et al. (2002) χρησιμοποιώντας ως βάση εικόνες Spot Vegetation για την κατασκευή ενός αλγορίθμου ανίχνευσης των καμένων περιοχών. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν το κοντινό υπέρυθρο ως το πιο ευαίσθητο φασματικό κανάλι για τα καμένα ενώ παράλληλα το μέσο υπέρυθρο εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το είδος της βλάστησης της κάθε περιοχής αλλά και από το χρονικό σημείο εκδήλωσης της φωτιάς.

Οι Garcia Haro et al. (2001) χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές μεθόδους οι οποίες επέτρεπαν την κατηγοριοποίηση των αλλαγών στην κάλυψη τη γης λόγω της φωτιάς. Όμως ακόμη και μελετώντας το ίδιο περιβάλλον οι χάρτες που δημιουργούνταν κάθε φορά διέφεραν μεταξύ τους λόγω των διαφορετικών πληροφοριών που χρησιμοποιούσε η κάθε μέθοδος.

Λίγα χρόνια αργότερα, αναδείχθηκε η χρησιμότητα του δορυφόρου SAC-C/MMRS στη χαρτογράφηση καμένων περιοχών παρόλο που η αρχική του σχεδίαση προοριζόταν για τη μελέτη χερσαίων και θαλάσσιων οικοσυστημάτων (Garcia et al., 2004). Υπολογίστηκαν αρκετοί δείκτες βλάστησης, ανάμεσά τους ο Burned Area Index (BAI), ο οποίος συνδυάζει το κοντινό υπέρυθρο και το ορατό κόκκινο, και ο Normalized Difference Infrared Index (NDII), ο οποίος συσχετίζει το κοντινό και το μέσο υπέρυθρο και συμβάλλει στο διαχωρισμό των καμένων περιοχών από το νερό και τις σκιές των σύννεφων.

Μιας και οι περιοχές της Μεσογείου πλήττονται συχνά από φωτιές σημασία δεν έχει μόνο η καταγραφή των αποτελεσμάτων αλλά και το να προστατευθούν οι εκτάσεις με υψηλή επικινδυνότητα. Η προστασία της πανίδας είναι εξίσου σημαντική με αυτή της χλωρίδας. Οι Kontoes et al. (2009), εφαρμόζοντας μια συνδυαστική μέθοδο βασισμένη σε ελεύθερα δορυφορικά δεδομένα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Διαστήματος, απέδειξαν ότι υπάρχουν τρόποι ευέλικτοι, οικονομικοί, αποτελεσματικοί, αλλά και με υψηλή χωρική ακρίβεια, που μπορούν να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση των καμένων εκτάσεων. Με την ίδια λογική, δημιουργήθηκε ένα πρόγραμμα εκτίμησης των περιοχών που διατρέχουν υψηλό κίνδυνο πυρκαγιάς στην Ισπανία λαμβάνοντας υπ' όψιν όσο το δυνατόν περισσότερους παράγοντες που θα μπορούσαν να αυξήσουν τις πιθανότητες

πρόκλησης φωτιάς σε μία περιοχή (κλιματικοί, ανθρωπογενείς κ.α.) κι έπειτα εντάσσοντάς τους σε στατιστικά μοντέλα (χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού R) (Chuvieco et al., 2010).

Οι Bastarrika et al. 2011 εφάρμοσαν δύο διαφορετικές τεχνικές σε εικόνες LANDSAT με στόχο τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων σε μεσογειακά οικοσυστήματα. Το πρώτο μέρος αφορά το διαχωρισμό των πραγματικά καμένων περιοχών από άλλες που παρουσίαζαν παρόμοια χαρακτηριστικά και το δεύτερο τη μείωση των επιρροών από αστάθμητους παράγοντες.

Τέλος ο αισθητήρας MODIS χρησιμοποιείται σε πληθώρα ερευνών για την ανίχνευση και την καταγραφή καμένων περιοχών. Ουσιαστικά οι καμένες εκτάσεις χαρακτηρίζονται από αποθέσεις στάχτης και απανθρακωμένων υλικών. Ο MODIS εκμεταλλεύεται αυτές τις αλλαγές στο περιβάλλον ώστε να εντοπίσει περιοχές που έχουν καεί (Roy et al., 2008). Η τροποποίηση του αλγορίθμου και ο τρόπος με τον οποίο τον εξελίσσει κάθε ερευνητής έχει ως απότοκο τη δημιουργία πολλών παραπλήσιων μεθόδων για την ανίχνευση καμένων εκτάσεων. Για παράδειγμα, συνδυάζοντάς τον και με δεδομένα LANDSAT οι Giglio et al. (2009) κατασκεύασαν έναν αυτοματοποιημένο αλγόριθμο που βασίζεται στην παρατήρηση ενεργών πυρκαγιών ώστε να ανιχνευθούν οι νέες καμένες εκτάσεις που προκύπτουν. Οι Moreira et al. (2012) χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τον αισθητήρα MODIS πραγματοποίησαν μια διαχρονική έρευνα ώστε να κατηγοριοποιήσουν τις καμένες εκτάσεις σε διάφορες περιοχές της Βραζιλίας. Παράλληλα, με χρονοσειρές του ίδιου αισθητήρα επιχείρησαν οι Hardtke et al. (2015) να αυτοματοποιήσουν τη διαδικασία ανίχνευσης των δασικών πυρκαγιών. Εφαρμόζοντάς τον σε διάστημα 11 ετών για πληθώρα περιοχών απέδειξαν την εγκυρότητά του. Ο αλγόριθμος αυτός αποτελεί βελτίωση για προγενέστερες μεθόδους και παράγει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα ενώ μπορεί να προσαρμοστεί και σε διαφορετικά περιβάλλοντα. Ένας ακόμη χρήσιμος αλγόριθμος για την καταγραφή καμένων εκτάσεων παρουσιάστηκε αξιοποιώντας για πρώτη φορά σε παγκόσμιο επίπεδο συνδυαστικά δεδομένα MODIS και MERIS (Alonso-Canas et al., 2015). Ο αλγόριθμος αρχικά υπολογίζει εκτάσεις που είναι εμφανών καμένες με χρήση των καναλιών του κοντινού υπέρυθρου και του θερμικού κι έπειτα εφαρμόζει σύνθετα κριτήρια με στόχο τη βελτίωση της χωρικής ανίχνευσης των καμένων περιοχών. Παρά το γεγονός ότι έπαψε η διαθεσιμότητα δεδομένων MERIS με τη λήξη της αποστολής του ENVISAT το 2012, η μέθοδος αυτή θα μπορούσε να εφαρμοστεί και στους καινούριους Sentinel οι οποίοι διαθέτουν ένα παρόμοιο αισθητήρα και παράλληλα διαθέτει αρκετές δυνατότητες για την ανίχνευση ενεργών πυρκαγιών.

4.1.6 Τηλεπισκόπηση και πυρκαγιές στον ελλαδικό χώρο

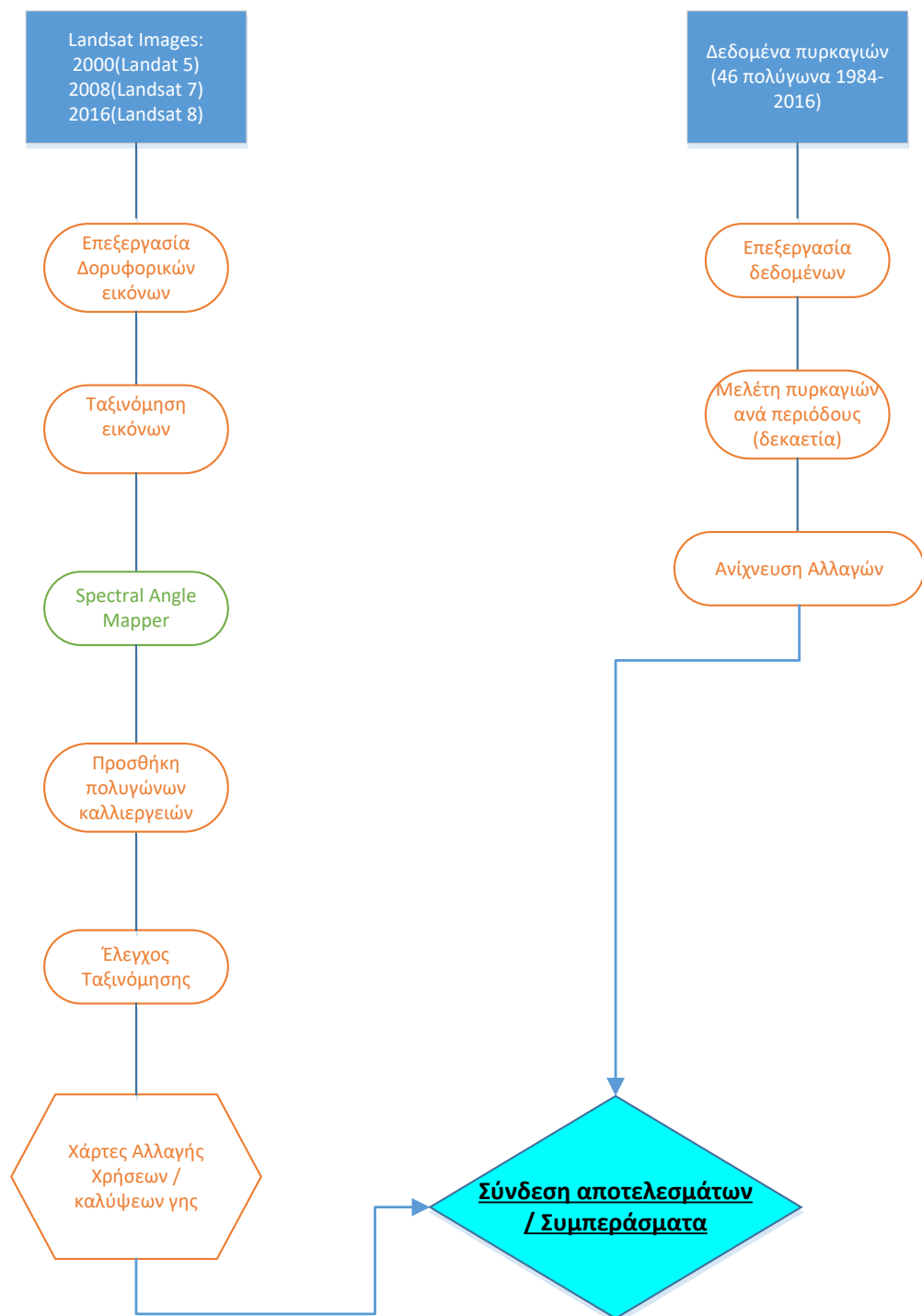
Στην Ελλάδα οι πυρκαγιές αποτελούν σημαντικό πρόβλημα, μιας και ειδικά κατά τους θερινούς μήνες ο κίνδυνος είναι μεγάλος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν οι πυρκαγιές του 2007 κατά τη διάρκεια των οποίων κάηκε το 6% της συνολικής βλάστησης της χώρας, ενώ χιλιάδες κάτοικοι στις πληγείσες περιοχές βρέθηκαν αντιμέτωποι με την καταστροφή της περιουσίας τους. Κρίσιμο ρόλο στην αντιμετώπιση παρόμοιων περιπτώσεων είναι η ανάπτυξη μιας αξιόπιστης μεθόδου που με βάση την τηλεπισκόπηση θα ανιχνεύει τις αναζωπυρώσεις με κύριο γνώμονα τα χαρακτηριστικά του καπνού που εκπέμπεται από μια περιοχή (Sifakis et al., 2011).

Ακόμη μία σημαντική μελέτη περίπτωσης που αναδεικνύει τη σημασία της χρήσης τηλεπισκόπησης πραγματοποιήθηκε για τις μεγάλες πυρκαγιές της Πελοποννήσου. Δίνοντας μεγάλη βάση στο κανάλι του κοντινού υπέρυθρου και χρησιμοποιώντας αντικειμενοστραφή ανάλυση, η ταξινόμηση χωρίστηκε σε δύο μέρη: Αρχικά ταξινομήθηκαν οι καμένες και μη εκτάσεις κι έπειτα οι καμένες με τη σειρά τους επαναταξινομήθηκαν με βάση το βαθμό στον οποίο κάηκαν (Gitas et al., 2008).

Τέλος τη διερεύνηση της εξέλιξης των χρήσεων γης στην περιοχή της Ανατολικής Αττικής είχε ως κύριο στόχο η Σιώρα (2012), χρησιμοποιώντας εικόνες LANDSAT και εφαρμόζοντας επιβλεπόμενη και μη ταξινόμηση για ένα διάστημα 25 ετών. Σε αυτή την έρευνα πραγματοποιήθηκε αντικειμενοστραφής προσέγγιση στο θέμα των χρήσεων γης. Η συγκεκριμένη προσέγγιση επιτρέπει τη λεπτομερέστερη ταξινόμηση κατηγοριών αντικειμένων όπως για παράδειγμα αντικείμενα που αντιπροσωπεύουν τη βλάστηση. Στην περιοχή της Αττικής και συγκεκριμένα στην Πάρνηθα πραγματοποιήθηκε άλλη μια έρευνα αυτή τη φορά με χρήση χρησιμοποίησε ένα σύνολο δορυφορικών εικόνων LANDSAT, ASTER και IKONOS οι οποίες επεξεργάστηκαν και αξιολογήθηκαν κι έπειτα εφαρμόστηκαν διάφοροι δείκτες βλάστησης για μια επιμέρους περιοχή της Πάρνηθας που κάηκε το 2007 (Πλένιου, 2013).

4.2 Διάγραμμα ροής εργασιών

Όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, οι κύριοι στόχοι της παρούσας εργασίας είναι αφ' ενός η διερεύνηση των αλλαγών χρήσεων καλύψεων γης για την περίοδο 2000-2016 και αφ' ετέρου η μελέτη των καμένων εκτάσεων την ίδια περίοδο και η σύνδεσή τους με τις αλλαγές που προέκυψαν. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται συνοπτικά η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την επίτευξη των στόχων:



Σχήμα 2:Διάγραμμα ροής.

4.3 Μεθοδολογία χαρτογράφησης αλλαγών κάλυψης γης

4.3.1 Προεπεξεργασία δορυφορικών εικόνων

Σε ό,τι αφορά την προεπεξεργασία των εικόνων ενώθηκαν όλα τα φασματικά κανάλια εκτός των θερμικών (μέσω *layer stacking*) και πραγματοποιήθηκε ραδιομετρική διόρθωση ώστε να μειωθούν οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας στις δορυφορικές εικόνες. Με την εφαρμογή της αποσκοπείται η ενιαία φασματική απόκριση των εικονοστοιχείων που δεν παρουσιάζουν μεταβολή της κάλυψής τους. Έτσι, οι διαφορές στις τιμές φωτεινότητας των εικονοστοιχείων αντιστοιχούν σε πραγματικές μεταβολές στην επιφάνεια της γης, γεγονός που υπό άλλες συνθήκες δε θα συνέβαινε (Song et al., 2001).

Έπειτα χρησιμοποιώντας το αρχείο ακτογραμμής της Άνδρου το νησί αποκόπηκε από την υπόλοιπη εικόνα. Οι εικόνες που δημιουργήθηκαν είναι οι εξής:



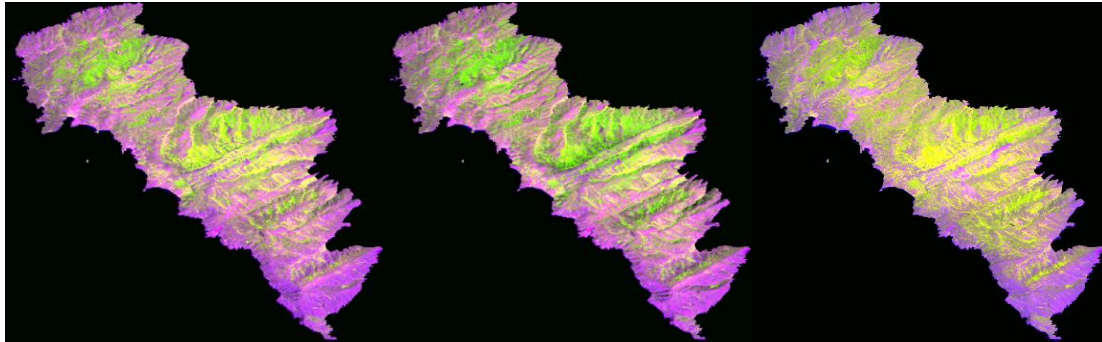
Εικόνα 3. Άνδρος 2000, 2008, 2016

Για τη διάκριση των διαφόρων καλύψεων γης στην εικόνα δημιουργήθηκαν αρκετές ψευδέγχρωμες εικόνες με ποικίλους συνδυασμούς φασματικών καναλιών όπως η παρακάτω η οποία αποτελεί συνδυασμό του κοντινού υπέρυθρου, του ορατού κόκκινου και του πράσινου ορατού. Με έντονο κόκκινο λοιπόν φαίνεται η βλάστηση και με άσπρο τα πετρώματα και το αστικό περιβάλλον.



Εικόνα 4. Ψευδέγχρωμη εικόνα για τα έτη 2000, 2008, 2016.

Παράλληλα, υπολογίστηκε μια σειρά δεικτών όπως ο δείκτης NDVI (Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς) ο οποίος με βάση το ορατό κόκκινο και το κοντινό υπέρυθρο δείχνει τη βλάστηση με βάση την ανακλαστικότητα της. Οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ -1 (μη βλάστηση – πχ αστικό περιβάλλον) και +1 (πλούσια βλάστηση):



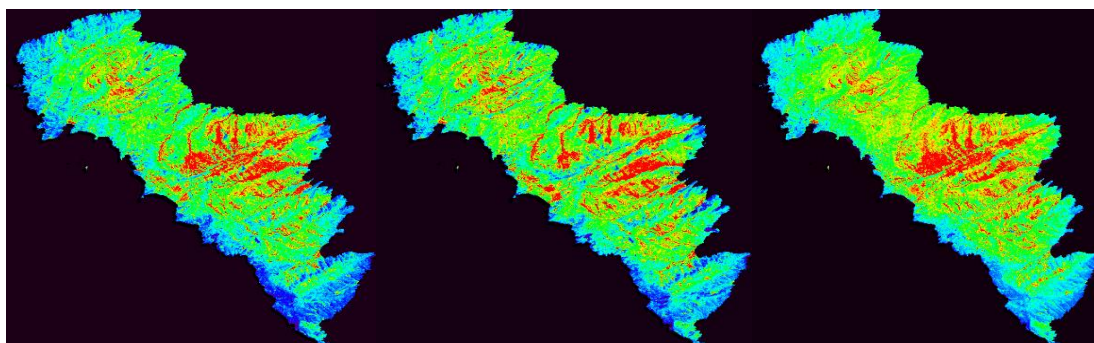
Εικόνα 5. NDVI RGB για τα έτη 2000, 2008, 2016.

Στην Εικόνα 5 παρατηρείται συγκέντρωση πυκνής βλάστησης στα κεντρικά κυρίως σημεία του νησιού (περιοχές με πράσινο χρώμα), και μεταβατική/θαμνώδης βλάστηση στις περιοχές με κίτρινο. Χαρακτηριστικά για το έτος 2008 υπάρχουν περισσότερες εκτάσεις πυκνής βλάστησης, ενώ το 2016 κυριαρχεί βλάστηση χαμηλότερης κλίμακας και πυκνότητας.

Ακολούθως υπολογίστηκε ο δείκτης EVI (Enhanced Vegetation Index) ο οποίος σε σχέση με το δείκτη NDVI αντιμετωπίζει τυχόν ευαισθησίες του δεύτερου και μειώνει τις επιδράσεις της ατμόσφαιρας στις τιμές του δείκτη. Ενώ ο NDVI στηρίζεται κυρίως στην ποσότητα της χλωροφύλλης, ο EVI παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία στις αλλαγές της φυλλικής επιφάνειας. Υπολογίστηκε με βάση τον εξής τύπο:

$$EVI = 2.5 * \frac{(NIR-RED)}{(NIR+6*RED-7.5*BLUE+1)} \quad (2)$$

Οι τιμές του κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1.



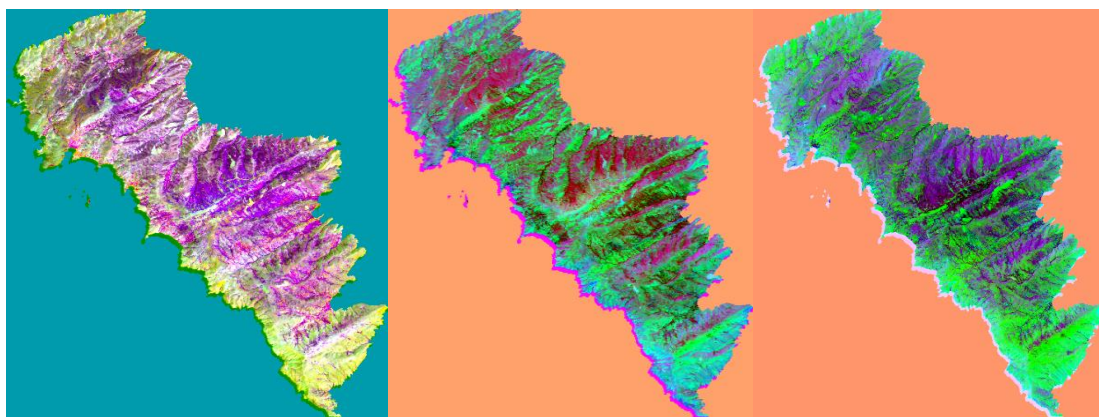
Εικόνα 6. Κανονικοποιημένος EVI για τα έτη 2000, 2008, 2016.

Τέλος, υπολογίστηκε και ο δείκτης NDMI (Normalized Difference Moisture Index) ο οποίος παρουσιάζει μεγάλη ευαισθησία στην περιεκτικότητα της βλάστησης σε υγρασία (και συνεπώς της υγιούς βλάστησης μιας και μια καμένη ή ξερή έκταση θα έχει χαμηλότερα ποσοστά υγρασίας από ένα υγιές δάσος), και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (3)$$

Ο NDMI λαμβάνει τιμές από -1 μέχρι +1 και με άσπρο χρώμα εμφανίζεται το νερό στο περίγραμμα του νησιού, ενώ όσο σκουραίνει τονίζονται περιοχές με όλο και λιγότερη υγρασία όπως τα γυμνά πετρώματα.

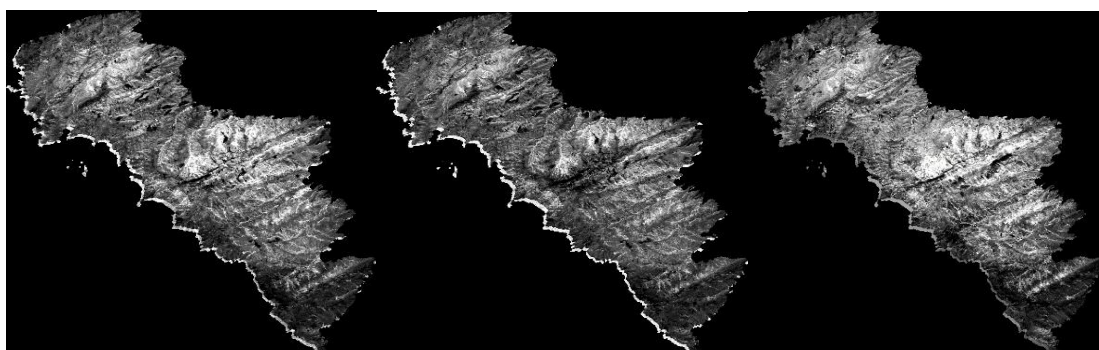
Έπειτα, έγινε ανάλυση των εικόνων σε εικόνες συνιστώσες (PCA). Με αυτόν τον τρόπο αποσυσχετίζονται τα δεδομένα και συγκεντρώνουμε την πληροφορία που υπάρχει στα φασματικά κανάλια σε μία εικόνα. Σε κάθε εικόνα συνιστώσα που δημιουργείται συνεισφέρουν όλα τα φασματικά κανάλια σε διαφορετικό βαθμό κάθε φορά και αναδεικνύονται διαφορετικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα στην πρώτη εικόνα συνιστώσα συγκεντρώνεται όλη η τοπογραφία (προσομοιάζοντας σε παγχρωματική), ενώ στις τελευταίες συγκεντρώνεται ο θόρυβος. Στην προκειμένη περίπτωση αφού αναλύθηκε η εικόνα κάθε χρονιάς σε κύριες συνιστώσες, ενώθηκαν οι τρεις πρώτες (PCA1, PCA2, PCA3). Συνήθως υπάρχει αρνητική συνεισφορά των εικόνων συνιστωσών, δηλαδή εάν τα εικονοστοιχεία της βλάστησης εμφανίζονταν πριν φωτεινά (λόγω του υπέρυθρου), τώρα θα εμφανιστούν σκοτεινά. Οι εικόνες που ακολουθούν προκύπτουν από την αντιστοίχιση της πρώτης εικόνας συνιστώσας στο κόκκινο, της δεύτερης στο πράσινο και της τρίτης στο μπλε:



Εικόνα 7. Σύνθεση εικόνων συνιστωσών για τα έτη 2000, 2008, 2016.

Επιπλέον, για τον εντοπισμό των καμένων εκτάσεων χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης Normalized Burned Index (NBR):

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR2)}{(NIR + SWIR2)} \quad (4)$$



Εικόνα 8. Δείκτης NBR για τα έτη 2000, 2008 και 2016.

4.3.2 Επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση δημιουργήθηκαν περιοχές ενδιαφέροντος σε κάθε εικόνα για 6 κατηγορίες: Αστικός ιστός, γυμνό έδαφος/πετρώματα, καμένες εκτάσεις, πυκνή βλάστηση (δάσος), θάμνοι και αραιή βλάστηση. Για τον καθορισμό του αριθμού εικονοστοιχείων κάθε κατηγορίας υπολογίστηκε με βάση τις απαιτήσεις του αλγορίθμου της μέγιστης πιθανοφάνειας που ορίζει πως το κάτω όριο της κλάσης είναι ο αριθμός των φασματικών καναλιών που συμμετέχουν στην ταξινόμηση (στην προκειμένη περίπτωση έχει αφαιρεθεί το θερμικό κανάλι από τις εικόνες) επί 50 και για το πάνω επί 100. Άρα για την εικόνα του 2000 (Landsat 5) και του 2008 (Landsat 7) κάθε κατηγορία πρέπει να έχει περίπου 500-600 εικονοστοιχεία ενώ για την εικόνα του 2016 (Landsat 8) 600-700 εικονοστοιχεία.

Έπειτα ελέγχθηκε η διαχωριστική ικανότητα των περιοχών ενδιαφέροντος. Για να θεωρηθεί καλή πρέπει η διαχωριστική ικανότητα όλων των κατηγοριών ανά ζεύγη μεταξύ τους να είναι τουλάχιστον 1.9. Για το έτος 2000 η αστικές περιοχές έχουν υψηλά επίπεδα διαχωρισμού με όλες τις κατηγορίες με εξαίρεση αυτή του γυμνού εδάφους. Οι υπόλοιπες κατηγορίες μεταξύ τους (αραιή και πυκνή βλάστηση, θάμνοι, καμένες περιοχές και γυμνό έδαφος) έχουν παντού υψηλά επίπεδα διαχωρισμού. Για το έτος 2008 το χαμηλότερο επίπεδο παρουσιάζεται πάλι μεταξύ αστικών περιοχών και γυμνών εκτάσεων, ακολουθούν η αραιή βλάστηση με τη θαμνώδη και η αραιή με την καμένη έκταση κι έπειτα οι υπόλοιπες κατηγορίες. Τέλος, για το 2016 χαμηλότερη διαχωριστική ικανότητα έχουν οι αστικές με τις γυμνές εκτάσεις, ακολουθούν οι αστικές με τις καμένες κι έπειτα όλες οι άλλες κατηγορίες. Αξίζει να σημειωθεί ότι και για τις τρεις χρονιές η χαμηλότερη διαχωριστική ικανότητα παρουσιάζεται ανάμεσα στα εικονοστοιχεία των πετρωμάτων και γυμνών εκτάσεων, και στα εικονοστοιχεία των αστικών περιοχών. Αυτό συμβαίνει διότι η συμπεριφορά και η φασματικές υπογραφές τους έχουν αρκετές ομοιότητες επομένως είναι δυσκολότερο να διαχωριστούν. Επιπλέον στις Κυκλάδες όπου η βλάστηση κατά γενική ομολογία είναι αραιή, υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις είτε με γυμνό έδαφος είτε με αραιή βλάστηση, μέσα στις οποίες υπάρχουν κτίσματα, γεγονός που καθιστά δυσκολότερη την ταξινόμησή τους (Παράρτημα Ι).

Εφόσον τα αποτελέσματα κρίθηκαν καλά δοκιμάστηκαν τρεις διαφορετικοί αλγόριθμοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης: ο αλγόριθμος της μέγιστης πιθανοφάνειας, ο χαρτογράφος φασματικής γωνίας και ο αλγόριθμος τεχνητής νοημοσύνης. Ο αλγόριθμος τεχνητής νοημοσύνης έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε συνδυασμό με δεδομένα Landsat για την καταγραφή και μελέτη καμένων περιοχών (Petrooulos et al., 2011). Ωστόσο, τα καλύτερα αποτελέσματα παρουσίασε ο χαρτογράφος φασματικής γωνίας ο οποίος και επιλέχθηκε για να γίνει ο έλεγχος ταξινόμησης και η ανίχνευση αλλαγών. Ο χαρτογράφος φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapper – SAM) όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα, εφαρμόζεται σε πολυφασματικές εικόνες και ουσιαστικά μετράει τη γωνία μεταξύ ενός γνωστού εικονοστοιχείου (για παράδειγμα οι περιοχές ενδιαφέροντος που ορίστηκαν) και ενός αγνώστου (σχήμα 2). Το μέγεθος της γωνίας (και κατά συνέπεια η αυστηρότητα της ταξινόμησης) ορίζεται από το χρήστη. Όσο μικρότερη είναι η

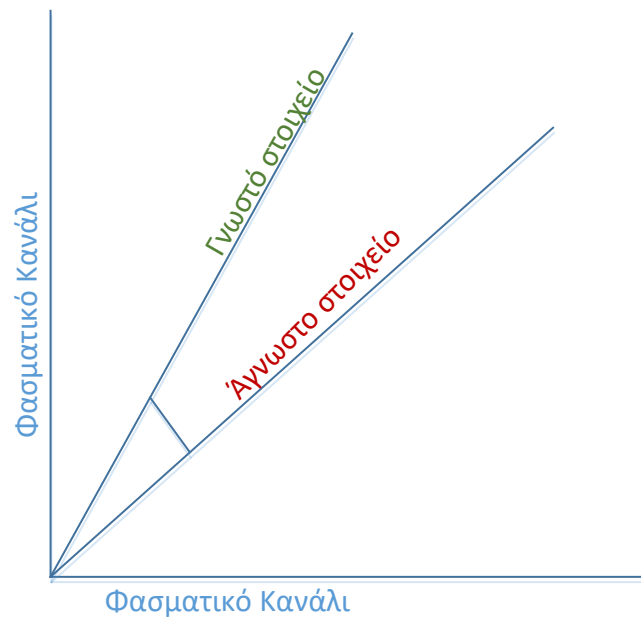
γωνία του αγνώστου εικονοστοιχείου από μία κατηγορία (για παράδειγμα αυτή των καμένων εκτάσεων), τόσο πιθανότερο είναι να ανήκει σε αυτή (De Carvalho et al., 2000).

$$A = \sigma \nu^{-1} \frac{\sum XY}{\sqrt{\sum X^2 \sum Y^2}} \quad (5)$$

Όπου A: Γωνία

X: Γνωστό εικονοστοιχείο

Y: Άγνωστο εικονοστοιχείο



Σχήμα 3. Χαρτογράφος Φασματικής Γωνίας

4.3.3 Έλεγχος ταξινόμησης

Μετά την ολοκλήρωση των ταξινομήσεων, πραγματοποιείται έλεγχος της ακρίβειάς τους. Ουσιαστικά μέσα από τη λήψη τυχαίων δειγμάτων τα οποία ελέγχονται με βάση εικόνες υψηλής ανάλυσης του Google Earth υπολογίζεται ο βαθμός ακρίβειας της κάθε ταξινόμησης. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε έλεγχος ταξινόμησης για τα έτη 2008 και 2016.

Για την εκτίμηση της ακρίβειας χρησιμοποιείται μια μήτρα σύγχυσης, μέσα από την οποία δύναται να υπολογιστούν διάφοροι δείκτες, όπως για παράδειγμα η ακρίβεια χρήστη, αναλυτή και η συνολική ακρίβεια (user, producer και overall accuracy) (Κεφαλάς, 2015).

Ο υπολογισμός του βέλτιστου αριθμού δειγμάτων έγινε μέσα από την παρακάτω σχέση (Congalton et al., 1999):

$$n = \frac{B\P(1-\Pi)}{b^2_i} \quad (6)$$

Όπου B: το μεγαλύτερο χ^2 για την πιθανότητα α/κ (με α : επίπεδο ακρίβειας 0,05 και κ :αριθμός των κατηγοριών:11)

Π : η % έκταση της κατηγορίας με το μεγαλύτερο ποσοστό κάλυψης.

Άρα για το 2008: $n = \frac{(8,05413157 * \text{ποσοστό αραϊής βλάστησης}) * (1-0,468)}{0,05^2} = \frac{(3,70490033222 * 0,532)}{(0,05)^2} = 869$ δείγματα.

Και για το 2016: $n = \frac{(8,05413157 * \text{ποσοστό αραϊής βλάστησης}) * (1-0,468)}{0,05^2} = \frac{(3,34246460155 * 0,532)}{(0,05)^2} = 781$ δείγματα.

Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα το σύνολο των δειγμάτων μοιράστηκε ισομερώς σε όλες τις κλάσεις.

Πίνακας 7.Κατηγορίες κάλυψης γης και δείγματα.

Κατηγορίες κάλυψης γης		Αριθμός δειγμάτων 2008	Αριθμός δειγμάτων 2016
1	Αρόσιμη έκταση	79	71
2	Καμένη έκταση	79	71
3	Θάμνοι	79	71
4	Δάση	79	71
5	Ελαιώνες	79	71
6	Γυμνό έδαφος	79	71
7	Άλλες χρήσεις	79	71
8	Μόνιμη καλλιέργεια	79	71
9	Αραιή βλάστηση	79	71
10	Αστική περιοχή	79	71
11	Αμπέλι	79	71
Σύνολο		869	781

Οι μήτρες σύγκρισης και οι δείκτες παρουσιάζονται στους πίνακες 8 και 9 στο παράρτημα II. Και στις δύο περιπτώσεις η ακρίβεια των ταξινομήσεων είναι τουλάχιστον 80%.

4.3.4 Μεθοδολογία επεξεργασίας πυρκαγιών και ανίχνευση αλλαγών

Η ανίχνευση των αλλαγών στις χρήσεις/καλύψεις γης την περίοδο 2000-2016 δε θα πραγματοποιηθεί μεμονωμένα αλλά σε συνάρτηση με τις πυρκαγιές. Εφόσον ο τελικός στόχος της εργασίας είναι να συνδεθούν οι φωτιές που έπληξαν το νησί από το 1984 έως το 2016 με τις αλλαγές στις χρήσεις/καλύψεις γης, η ανίχνευση των γενικότερων αλλαγών θα γίνει μέσω των καμένων εκτάσεων.

Αρχικά ενώθηκαν σε μία καταγραφή το σύνολο των πυρκαγιών και των εκτάσεων που κάηκαν κάθε έτος ώστε από 46 πολύγωνα να μείνουν 14. Ακόμη, ορίζεται ως σημείο 0 η δεκαετία κάνοντας την παραδοχή ότι 10 χρόνια μετά το κάψιμο μιας έκτασης το τοπίο έχει αλλάξει σε μεγάλο βαθμό και παύει πλέον να επηρεάζεται από την έλευση της φωτιάς (εκτός αν καεί επαναλαμβανόμενα). Όπως φαίνεται και στον πίνακα 7 τα πολύγωνα των πυρκαγιών καλύπτουν από το 1984 έως το 2016. Παράλληλα, οι ταξινομήσεις που έγιναν αφορούν το έτος 2000, 2008 και 2016. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα για κάθε φωτιά πριν το 2000 και με βάση την ταξινόμηση, να υπολογιστεί το ποσοστό κάθε κατηγορίας κάλυψης γης που αναπτύχθηκε μετά την κάθε φωτιά. Για το 2008 και το 2016 μπορεί να υπολογιστεί όχι μόνο τι καλύψεις γης αναπτύχθηκαν σε κάθε πληγείσα περιοχή, αλλά και τι ήταν προηγουμένως με βάση την προηγούμενη ταξινόμηση. Για παράδειγμα, για τη φωτιά του 2003 υπάρχουν στοιχεία για τις καλύψεις γης πριν τη φωτιά (με βάση την ταξινόμηση του 2000), και στοιχεία για τις καλύψεις μετά τη φωτιά (με βάση την ταξινόμηση του 2008).

Πίνακας 10. Καμένες εκτάσεις ανά έτος.

ID	Έτος	Καμένη Έκταση (τ.χλμ.)
1	1984	0.55 τ.χλμ
2	1986	3.86 τ.χλμ
3	1987	1.79 τ.χλμ
4	1995	0.08 τ.χλμ
5	1999	0.36 τ.χλμ
6	2003	0.6 τ.χλμ
7	2004	0.34 τ.χλμ
8	2006	0.12 τ.χλμ
9	2009	2.97 τ.χλμ
10	2010	3.05 τ.χλμ
11	2011	3.26 τ.χλμ
12	2012	5.62 τ.χλμ
13	2013	6.24 τ.χλμ
14	2016	2.61 τ.χλμ

Επομένως ο στόχος σε αυτό το σημείο είναι να εξεταστεί εάν υπάρχουν περιοχές που κάηκαν επαναλαμβανόμενα σε επίπεδο 10ετίας καθώς θα έχρηζαν ιδιαίτερης προσοχής. Στην περίπτωση της Άνδρου και με τα διαθέσιμα δεδομένα δεν υπήρξε καμία τέτοια περίπτωση. Έπειτα ομαδοποιήθηκαν οι φωτιές ανάλογα με το πώς θα μελετηθούν: για την ταξινόμηση του 2000 χρησιμοποιήθηκαν οι φωτιές 1984-1999 (μιας και δεν υπάρχουν περισσότερα δεδομένα), για την ταξινόμηση του 2008 οι φωτιές 1999-2006 (δεκαετία 1998-2008) και για την ταξινόμηση του 2016 οι φωτιές 2006-2016 (δεκαετία 2006-2016).

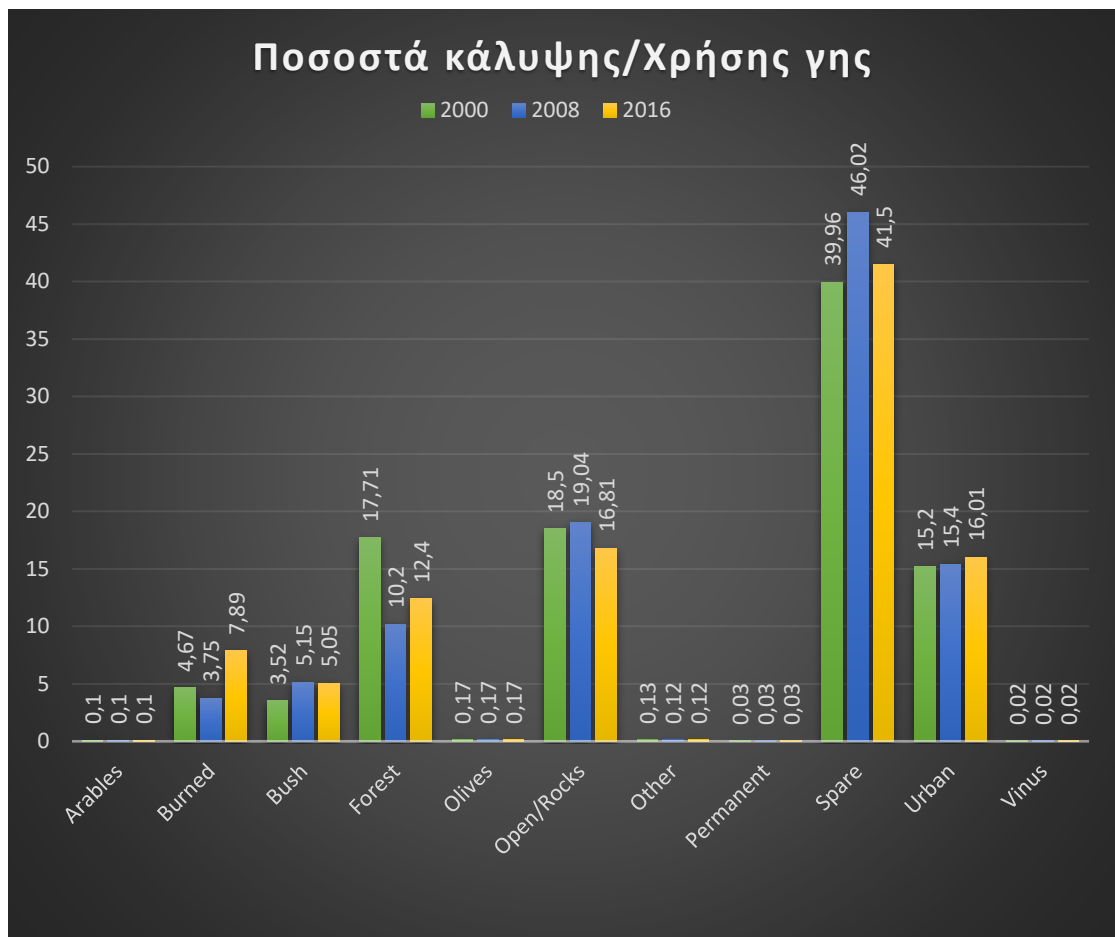
Κεφάλαιο 5: Αποτελέσματα

5.1 Αποτελέσματα ταξινομήσεων

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 4, με πράσινο χρώμα παρουσιάζονται τα ποσοστά των καλύψεων της Άνδρου από την ταξινόμηση του 2000, με μπλε χρώμα του 2008 και με κίτρινο του 2016. Από τους ελέγχους που πραγματοποιήθηκαν για την ακρίβεια των ταξινομήσεων, τα αποτελέσματα κρίθηκαν ικανοποιητικά καθώς η ακρίβεια σε κάθε περίπτωση ήταν πάνω από το επιτρεπτό όριο (80%). Είναι εμφανές ότι στις κατηγορίες των καλλιεργειών δεν υπάρχουν μεταβολές. Μία μικρή αύξηση παρουσιάζεται στο αστικό περιβάλλον (που αγγίζει το 1% σε διάστημα 16 ετών).

Σε ό,τι αφορά τις κατηγορίες της βλάστησης (αραιή, θαμνώδης και δάση), παρατηρείται μεγάλη μείωση των δασών (έως και 5% την περίοδο 2000-2016), ενώ οι θάμνοι παρουσιάζουν μικρή αύξηση. Η αραιή βλάστηση παρουσιάζει αύξηση την περίοδο 2000-2008, μείωση την περίοδο 2008-2016 αλλά σε γενικό πλαίσιο 2000-2016 η μεταβολή είναι θετική σε ποσοστό περίπου 2%. Εάν ληφθούν υπ' όψιν οι κατηγορίες των καμένων περιοχών (που ολοένα και αυξάνονται) και του γυμνού εδάφους που παρουσιάζει αύξηση έως το 2008 και μείωση έως το 2016 με συνολική αρνητική μεταβολή, μπορούν να εξαχθούν αρκετές ερμηνείες:

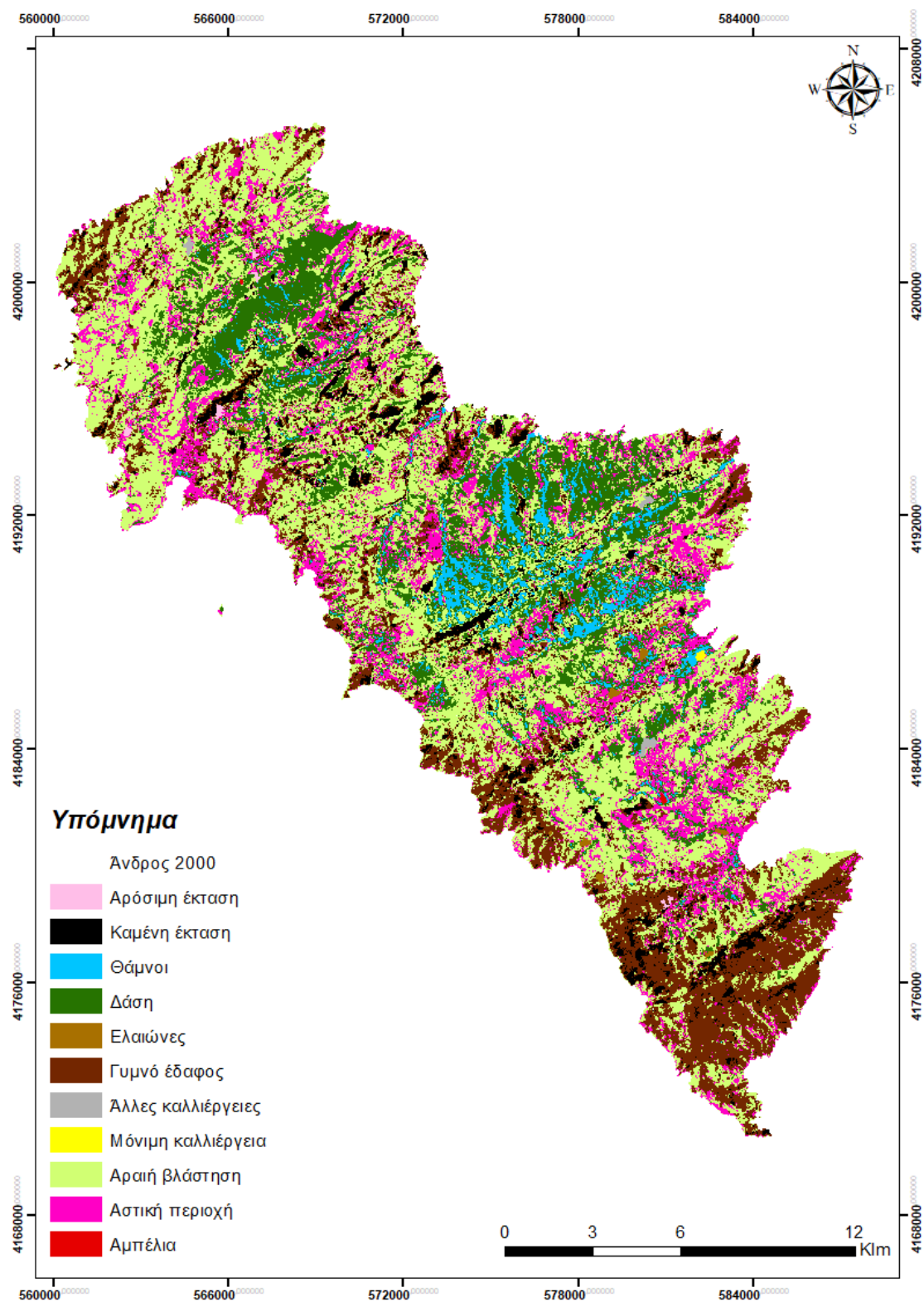
Στις πυρκαγιές καίγονται μεγάλες εκτάσεις ως επί το πλείστον δασικές ή θαμνώδεις. Στην περίοδο μελέτης ένα δάσος δεν προλαβαίνει να αναγεννηθεί και οι εκτάσεις που καίγονται μετατρέπονται σε γυμνό έδαφος έως ότου ανάλογα με την περιοχή, τις συνθήκες και τα χαρακτηριστικά της φωτιάς να καταληφθούν από αραιή βλάστηση η οποία αργότερα θα μετατραπεί σε θαμνώδη. Ουσιαστικά πρόκειται για ένα σύνολο εκτάσεων στο οποίο ο παράγοντας "πυρκαγιά" δημιουργεί ένα κύκλο μεταβολών που αποτυπώνονται στα αποτελέσματα των ταξινομήσεων. Αυτό μακροπρόθεσμα οδηγεί στη μείωση των δασών και την αντικατάστασή τους από γυμνό έδαφος, καμένη γη, αραιή ή θαμνώδη βλάστηση ανάλογα με το χρονικό διάστημα που μεσολάβησε από το κάψιμο της κάθε περιοχής και την επαναληψιμότητα της πυρκαγιάς.



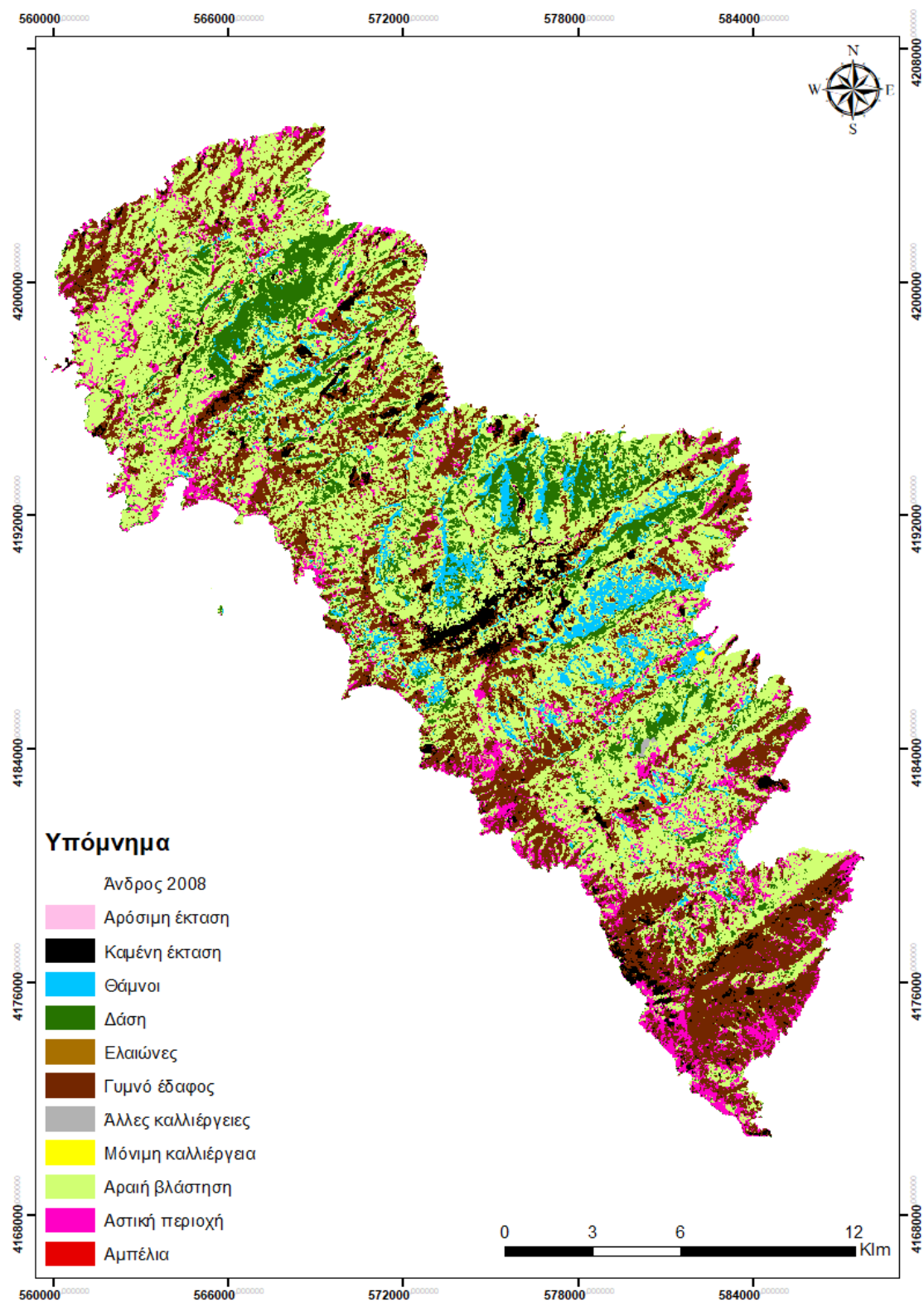
Σχήμα 4. Ποσοστά χρήσεων/καλύψεων γης για την περίοδο 2000-2016.

5.2 Αποτελέσματα χαρτογράφησης χρήσης/κάλυψης γης

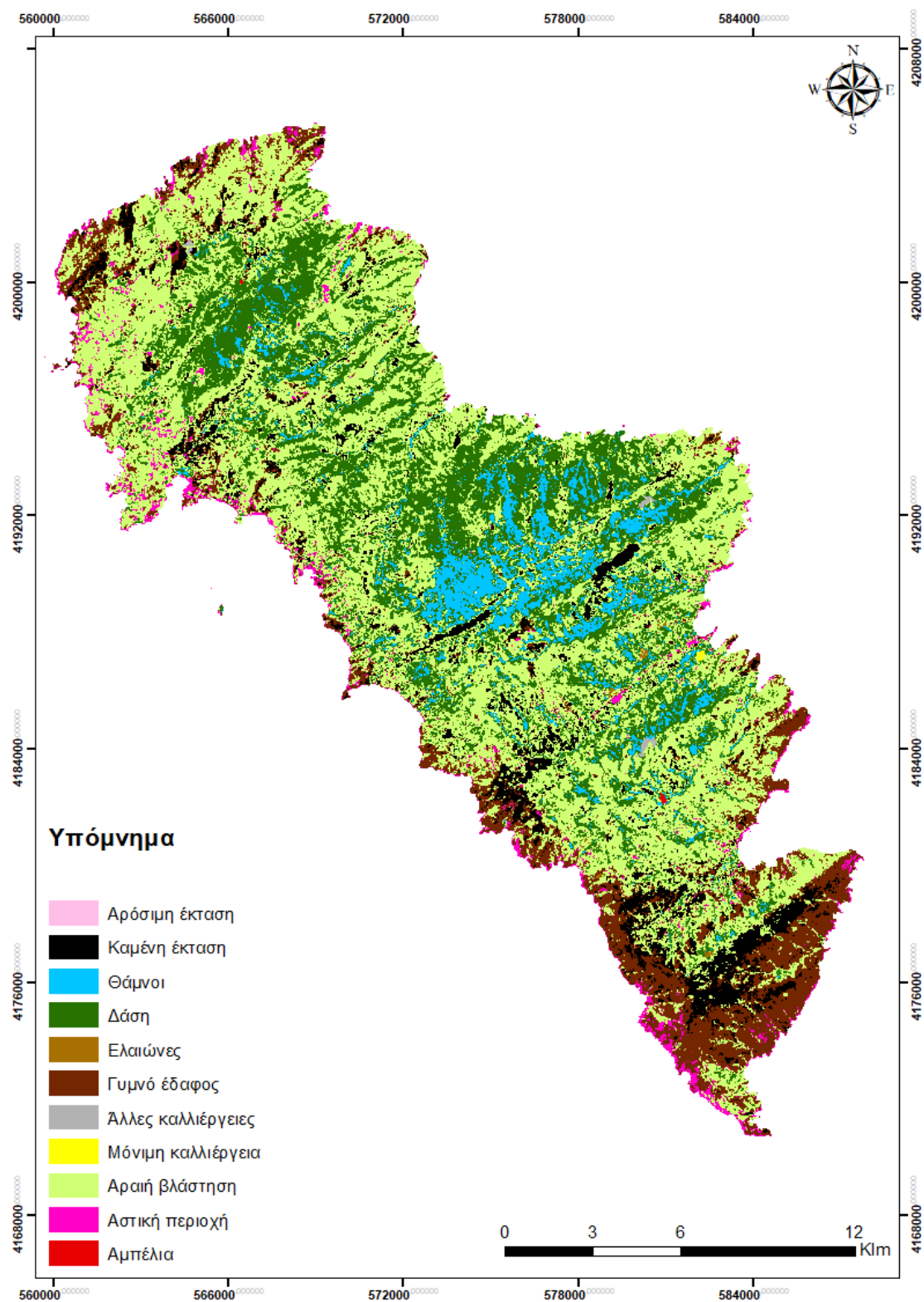
Η ανάλυση του σχήματος της προηγούμενης ενότητας αποτυπώνεται και στους παρακάτω χάρτες χρήσεων/καλύψεων γης της Άνδρου για κάθε έτος που ταξινομήθηκε (2000, 2008, 2016).



Εικόνα 9. Χάρτης καλύψεων για το 2000.



Εικόνα 10. Χάρτης καλύψεων για το 2008.

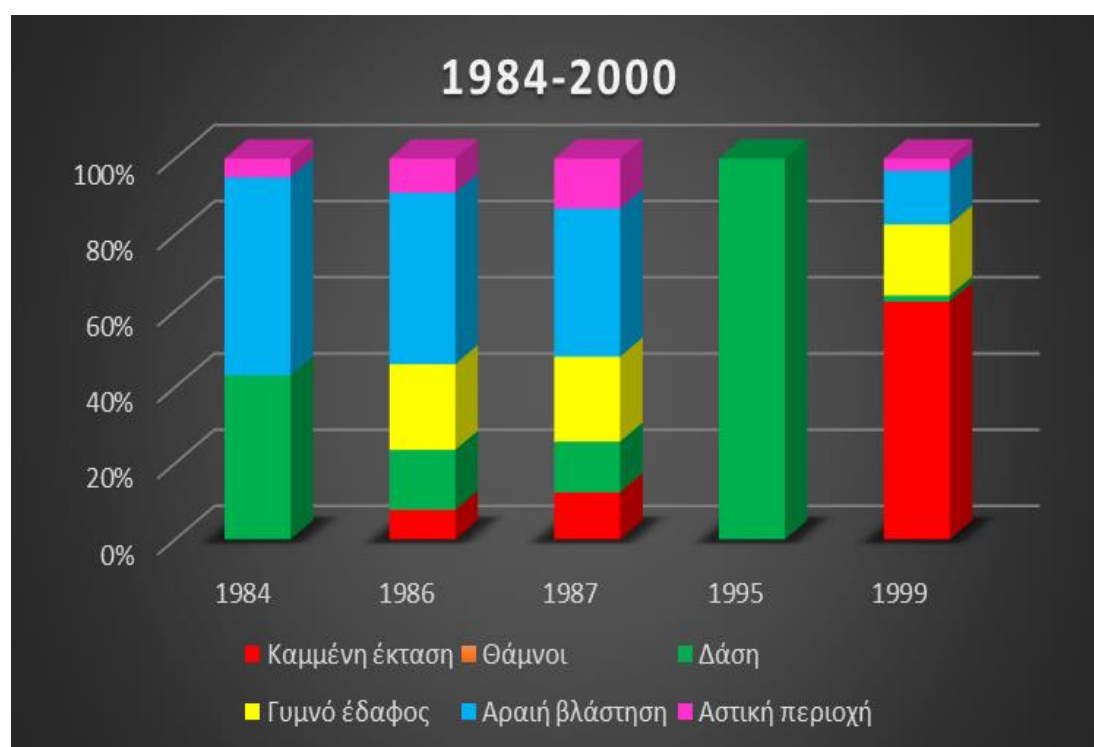


Εικόνα 11. Χάρτης καλύψεων για το 2016.

5.3 Αποτελέσματα αλλαγών με βάση τις πυρκαγιές

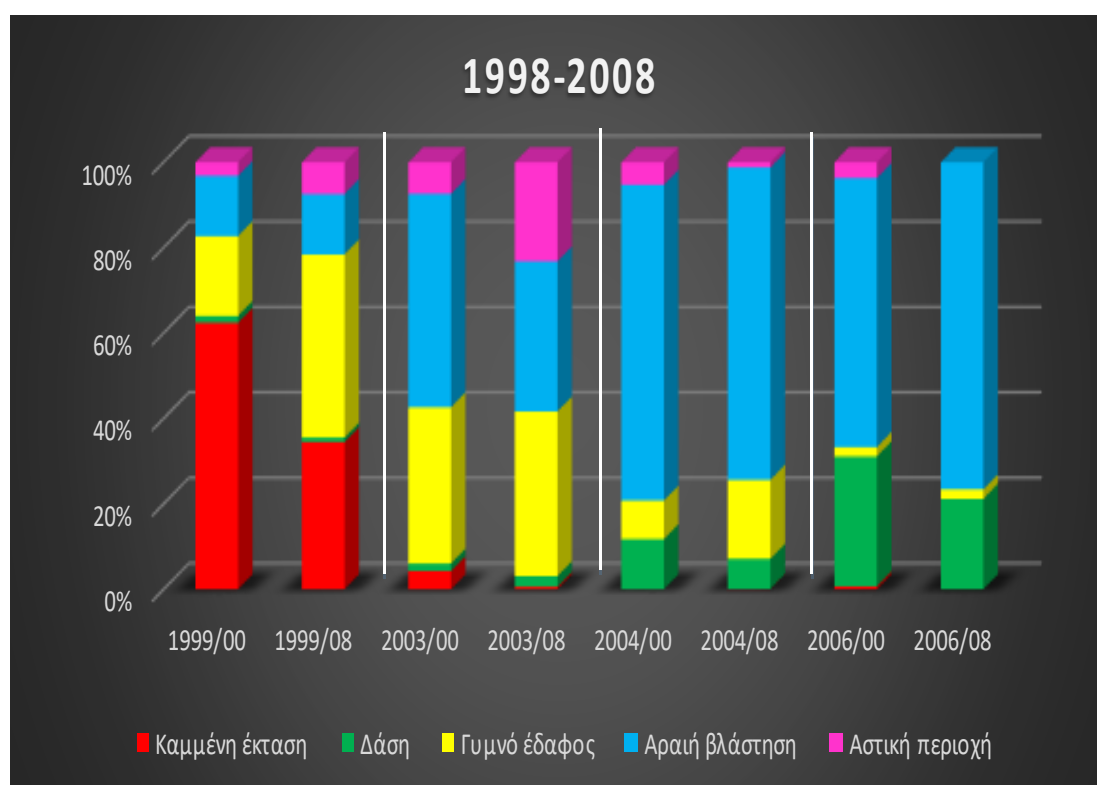
Για τη διερεύνηση των επιρροών των πυρκαγιών στην Άνδρο, αυτές χωρίστηκαν σε τρεις περιόδους: 1984-2000, 1998-2008 και 2006-2016. Με αυτόν τον τρόπο και χρησιμοποιώντας τις τρεις ταξινομήσεις που έγιναν, μελετήθηκε κάθε έκταση που κάηκε ως προς τις καλύψεις γης που την αποτελούν. Για τις πυρκαγιές από το 1984 έως το 2000 μπορούμε να δούμε μόνο την αλλαγή μετά τη φωτιά με βάση την ταξινόμηση του 2000, ενώ για τις δεκαετίες 1998-2008 και 2006-2016, μπορούμε να δούμε τις καλύψεις γης της έκτασης που κάηκε τόσο πριν όσο και μετά τη φωτιά.

Πιο συγκεκριμένα για την πρώτη περίοδο παρατηρούμε (Σχήμα 5) πως οι φωτιές που συνέβησαν αρκετά χρόνια πριν το 2000 είχαν το χρόνο να αναπτύξουν πυκνή ή αραιή βλάστηση ενώ η έκταση που κάηκε το 1999, το 2000 αποτελούνταν σχεδόν εξ ολοκλήρου από καμένη γη ή γυμνό έδαφος. Επίσης παρατηρούμε την ύπαρξη αστικών περιοχών στις εκτάσεις που κάηκαν γεγονός που σημαίνει είτε ότι υπήρχαν κτίσματα που δεν καταστράφηκαν, είτε δομήθηκαν τμήματα των περιοχών που επλήγησαν.



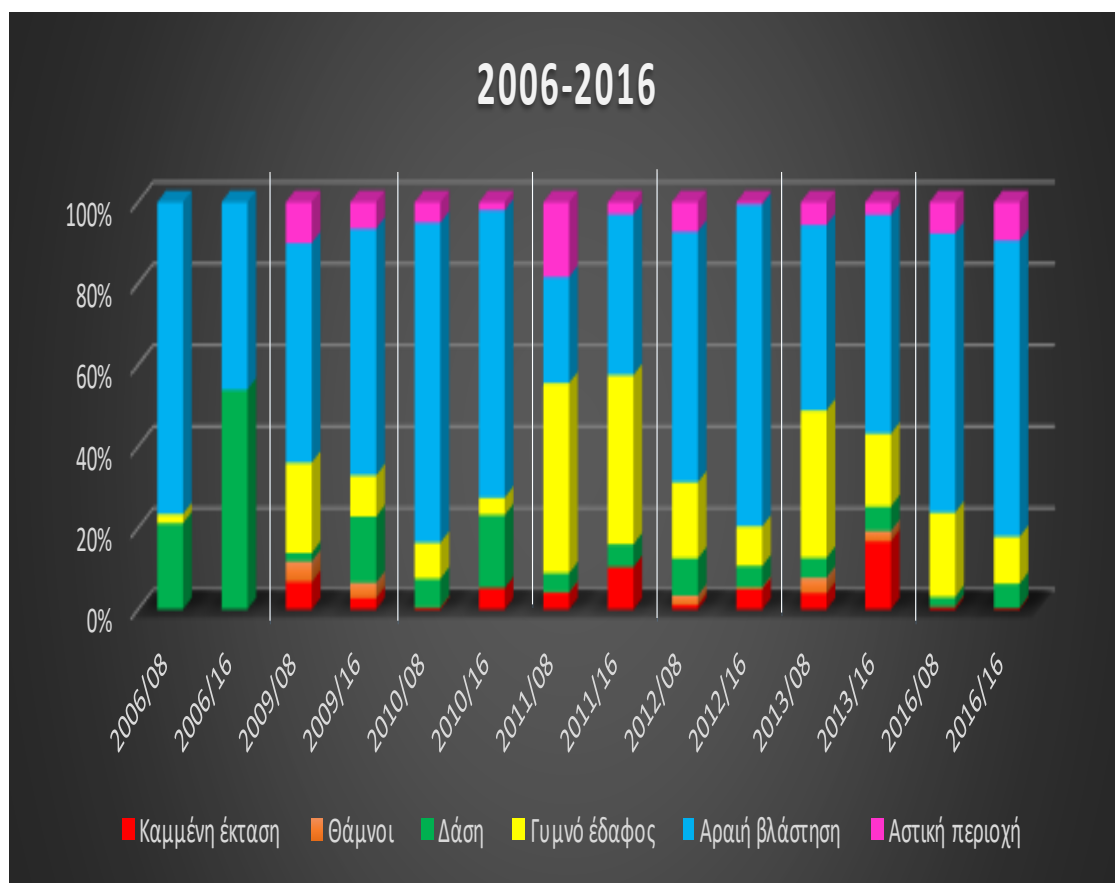
Σχήμα 5. Καλύψεις γης μετά τις πυρκαγιές 1984-2000.

Για τη δεκαετία 1998-2008, για κάθε φωτιά υπολογίστηκε το ποσοστό καλύψεων γης της έκτασης που κάηκε με βάση την ταξινόμηση του 2000 και του 2008 (Σχήμα 6). Έτσι είμαστε σε θέση να μελετήσουμε την αλλαγή των καλύψεων γης πριν -ή λίγο μετά στην περίπτωση του 1999- και την εξέλιξη μετά τη φωτιά (τα ζεύγη χωρίζονται στο σχήμα με τις άσπρες κάθετες γραμμές ώστε να είναι πιο ευδιάκριτος ο διαχωρισμός). Για την πυρκαγιά του 1999 είναι εμφανές ότι με την πάροδο των ετών η καμένη έκταση μειώθηκε και αντικαταστάθηκε από γυμνό έδαφος. Στην πυρκαγιά του 2003 μεγάλο μέρος της έκτασης η οποία προηγουμένως καταλαμβάνονταν από αραιή βλάστηση αντικαταστάθηκε από σπίνια.



Σχήμα 6. Καλύψεις γης πριν και μετά τις πυρκαγιές 1998-2008.

Τέλος, η δεκαετία 2006-2016 ήταν αυτή με τη μεγαλύτερη συχνότητα πυρκαγιών και μελετήθηκε με τον ίδιο τρόπο όπως η προηγούμενη. Στο Σχήμα 7, μπορούμε να δούμε κάθε έκταση από τι αποτελούνταν πριν -ή λίγο μετά στην περίπτωση του 2006- την πυρκαγιά (με βάση την ταξινόμηση του 2008) και πως εξελίχθηκε αργότερα (με βάση την ταξινόμηση του 2016). Σε ό,τι αφορά τη φωτιά του 2006, το 2016 εξαφανίστηκαν τα γυμνά πετρώματα και αντικαταστάθηκαν από πυκνή βλάστηση και αραιή, με μεγάλη αύξηση της πρώτης. Για τις φωτιές των ετών 2009 και 2010, αυξήθηκε επίσης η πυκνή βλάστηση και η αραιή ενώ μειώθηκε το γυμνό έδαφος. Αντίστοιχα αποτελέσματα ακολούθησαν για όλες τις πυρκαγιές της δεκαετίας. Παράλληλα στις πυρκαγιές από το 2011 και μετά, που βρίσκονται πιο κοντά στο 2016 από ότι στο 2008, υπάρχει αύξηση των καμένων εκτάσεων μιας και οι περιοχές δεν πρόλαβαν να ανακάμψουν.



Σχήμα 7. Καλύψεις γης πριν και μετά τις πυρκαγιές 2006-2016.

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Ως κύριοι στόχοι της πτυχιακής εργασίας ορίστηκαν η χαρτογράφηση των χρήσεων/καλύψεων γης της Άνδρου την περίοδο 2000-2016, η μελέτη των πυρκαγιών που έπληξαν το νησί και η διερεύνηση των μεταβολών που επέφεραν οι πυρκαγιές στις χρήσεις/καλύψεις γης. Για την επίτευξή τους, η εργασία χωρίστηκε σε δύο μέρη:

Όσον αφορά το πρώτο σκέλος της εργασίας, πραγματοποιήθηκαν τρεις επιβλεπόμενες ταξινομήσεις (για τα έτη 2000, 2008 και 2016) χρησιμοποιώντας το χαρτογράφο φασματικής γωνίας (Spectral Angle Mapper). Δημιουργήθηκαν 6 κατηγορίες κάλυψης γης: Αραιή βλάστηση, Θάμνοι, Δάση, Γυμνό έδαφος, Αστική περιοχή και Καμένη έκταση. Σε αυτές τις κατηγορίες προστέθηκαν τα πολύγωνα των καλλιεργειών (αρόσιμη γη, ελαιώνες, μόνιμες καλλιέργειες, αμπέλια, και άλλες καλλιέργειες) ώστε να δημιουργηθούν οι τελικοί χάρτες. Για τον υπολογισμό της ακρίβειας των ταξινομήσεων υπολογίστηκε ο βέλτιστος αριθμός δείγματος για την ταξινόμηση του 2008 και του 2016. Ο αριθμός αυτός διαιρέθηκε ισομερώς στο σύνολο το κλάσεων (δηλαδή για κάθε μία από τις 11 κατηγορίες κάλυψης γης λήφθηκαν ίσα δείγματα τα οποία ελέγχθηκαν μέσω Google earth ώστε να συμπληρωθούν οι πίνακες και να υπολογιστούν οι δείκτες. Η ακρίβεια για τις ταξινομήσεις του 2008 και 2016 υπολογίστηκε 80% και 81% αντίστοιχα.

Την περίοδο 2000-2008 παρατηρείται μια ελαφριά αύξηση των αστικών εκτάσεων, μικρή μείωση των καμένων εκτάσεων με ταυτόχρονη ραγδαία αύξηση στην αραιή βλάστηση και μεγάλη μείωση των δασών. Ακόμη υπάρχει μικρή αύξηση στο γυμνό έδαφος και τις θαμνώδεις περιοχές. Την περίοδο 2008-2016 τα δάση και οι αστικές περιοχές αυξάνονται ελαφρά, ενώ οι θάμνοι παρουσιάζουν μικρή μείωση. Οι καμένες εκτάσεις παρουσιάζουν απότομη άνοδο ενώ το γυμνό έδαφος μειώνεται. Τέλος, κατά τη συνολική περίοδο 2000-2016 οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν μικρή αλλά σταθερή αύξηση. Οι καμένες περιοχές, και η αραιή βλάστηση αυξάνονται τη στιγμή που όλες οι υπόλοιπες κατηγορίες μειώνονται. Υπάρχει λοιπόν μια ξεκάθαρη τάση αραίωσης της βλάστησης και αντικατάστασης των δασών από καμένη ή γυμνή γη και αραιή βλάστηση. Και τις τρεις περιόδους οι καλλιεργούμενες εκτάσεις παραμένουν σταθερές.

Γενικά στο νησί υπάρχει επέκταση των αστικών περιοχών (γεγονός λογικό και αναμενόμενο για οποιοδήποτε νησί με ανεπτυγμένο τουρισμό, σε κεντρικό σημείο κλπ), η οποία όμως δε συνεπάγεται και με αύξηση του πληθυσμού όπως στις περισσότερες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας. Τα νησιά αυτά έχουν όλο και λιγότερους μόνιμους κατοίκους με αποτέλεσμα αργά αλλά σταθερά να ερημώνουν το χειμώνα, ενώ το καλοκαίρι γεμίζουν από τουρίστες και παραθεριστές Έλληνες και ξένους.

Οι αυξομειώσεις στη βλάστηση, το γυμνό έδαφος και τις καμένες εκτάσεις συνδέονται αν εξεταστεί ο παράγοντας “φωτιά”. Πιο συγκεκριμένα, έχοντας τα πολύγωνα των πυρκαγιών από το 1984 έως το 2016 και με βάση τις ταξινομήσεις, υπολογίστηκε σε τι κάλυψη γης μετατράπηκε κάθε έκταση που κάηκε έως το 2000,

και για τις δεκαετίες 1998-2008 και 2006-2016 υπολογίστηκε τι κάλυψη γη υπήρχε πριν την κάθε πυρκαγιά καθώς και σε τι μετατράπηκε μετά. Την περίοδο 1984-2000 οι περισσότερες εκτάσεις μετατράπηκαν σε γυμνό έδαφος, καμένη γη και αραιή βλάστηση, ενώ μικρά ποσοστά εντάχθηκαν στον αστικό ιστό. Τη δεκαετία 1998-2008 κάηκαν εκτάσεις γυμνές, δάση και αραιή βλάστηση και μετατράπηκαν σε μεγάλες εκτάσεις γυμνού εδάφους και αραιής βλάστησης. Κάποια μικρά τμήματα μετατράπηκαν και σε αστικές περιοχές. Τη δεκαετία 2006-2016, κάηκαν πάλι μεγάλες εκτάσεις δασών, θάμνων και αραιής βλάστησης και οι περιοχές αυτές καταλήφθηκαν από γυμνό έδαφος, καμένη γη και αραιή βλάστηση.

Έτσι λοιπόν δημιουργείται ένας κύκλος όπου μεγάλες εκτάσεις (κυρίως δασικές και θαμνώδεις ή με αραιή βλάστηση) του νησιού καίγονται, μετατρέπονται σε καμένη γη κι έπειτα σε γυμνό έδαφος έως ότου να αρχίσει να αναπτύσσεται πάλι αραιή βλάστηση. Τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων και οι συνολικές μεταβολές στις καλύψεις γης επιβεβαιώνουν τα λεγόμενα των κατοίκων του νησιού: Αρκετοί δασοπυροσβέστες και κάτοικοι μιλούν για μεγάλη αλλοίωση του τοπίου της Άνδρου λόγω των πυρκαγιών (ιδιαίτερα στη ζώνη Πιτροφό - Μαινήτες). Για την πρόληψη και την αντιμετώπιση των πυρκαγιών υπάρχει συνεχής ενημέρωση και επικοινωνία μέσω διαδικτύου και κινητών τηλεφώνων, ενώ παράλληλα ο ΣΕΔΑ, το κλιμάκιο της πυροσβεστικής που υπάρχει στο νησί και οι πολίτες συνεργάζονται όσο το δυνατόν καλύτερα για να αντιμετωπίζουν έγκαιρα τα περιστατικά. Στις εκτάσεις που καίγονται δεν προλαβαίνει να αναγεννηθεί η βλάστηση λόγω του σύντομου χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί μεταξύ των πυρκαγιών. Σε αυτό συμβάλλει και το γεγονός ότι οι πυρκαγιές ξεσπούν συνήθως το καλοκαίρι και για την κατάσβεσή τους από αέρος χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό το οποίο επιβαρύνει ακόμη περισσότερο τα οικοσυστήματα. Επιπλέον από την επεξεργασία των πυρκαγιών είναι εμφανές ότι σε κάθε δεκαετία οι φωτιές είναι όλο και πιο συχνές και πιο εκτεταμένες, συνεπώς με την πάροδο των ετών η κατάσταση θα κλιμακώνεται εάν δεν πραγματοποιηθούν ενέργειες για τη μείωση των πυρκαγιών και την ανάκαμψη της βλάστησης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική Βιβλιογραφία

Αθανασίου, Γ. Μ., 2012, Σύγκριση δεδομένων τηλεπισκόπησης καμένων εκτάσεων για τον ελλαδικό χώρο.

Αλατζάς, Ε. Π., Alatzas, E. P., 2012, Μελέτη Εξέλιξης του Ιδιοκτησιακού Καθεστώτος και των Χρήσεων Γης στην Πόλη της Μυτιλήνης.

Βαϊόπουλος, Δ. Α., Νικολακόπουλος, Κ., & Σκιάνης, Γ. Α., 2002, Χαρτογράφηση καμένων περιοχών στη Ζάκυνθο με τη βοήθεια δεδομένων τηλεπισκόπησης= mapping of burnt areas at Zakynthos island using remote sensing data. *Πανελλήνια Γεωγραφικά Συνέδρια, Συλλογή Πρακτικών*, 2, 71-78.

Δήμος Άνδρου, <http://andros.gr/gr/>, τελευταία πρόσβαση [28/12/2016].

Ζουμπουλίδου, Ε., 2007, Χαρτογράφηση της συμπεριφοράς πυρκαγιών στη νήσο Λέσβο με χρήση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης και συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών.

Ιστοσελίδα NASA, <http://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8>, τελευταία πρόσβαση [15/01/2017].

Καρτάλης, Κ., Φειδάς, Χ., 2013, Αρχές και εφαρμογές δορυφορικής τηλεπισκόπησης, εκδόσεις Τζιόλα.

Καρτέρης Μ. & Τσομπανίκος Δ., 1984: «Σύστημα Ταξινόμησης Χρήσεων/Κάλυψης της Γης με την Τεχνική της Τηλεπισκόπησης», Πρακτικά Συνεδρίου “Ολοκληρωμένες Πληροφορίες Γης. Θεμέλιο για Ανάπτυξη”, Τμήμα Αγρονόμων – Τοπογράφων Μηχανικών, Πολυτεχνική Σχολή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Κεφαλάς, Γ., 2015, Δυναμική μεταβολή των χρήσεων/καλύψεων γης και του τοπίου των Ιονίων νήσων και η επίδραση των κοινωνικοοικονομικών παραμέτρων, Χαροκόπειο πανεπιστήμιο, ΜΔΕ.

Λυριντζής, Δ. Γ., Μπαλούτσος, Δ. Γ., Καρέτσος, Δ. Γ., Ξανθόπουλος, Δ. Γ., Μπουρλέτσικας, Α., Μάντακας, Γ., Καούκης, Κ., 2009, Αποκατάσταση καμένων περιοχών.

Μαρονικολάκη, Χ. Μ., & Maronikolaki, C. Μ., 2013, Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών στην υγεία και στο περιβάλλον, Διερεύνηση των στάσεων και των αντιλήψεων πολιτών του νομού Χανίων για τις επιπτώσεις των πυρκαγιών.

Μερτίκας, Σ., 2009, Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας, εκδόσεις Ίων.

Μιμίδου, Χ., 2014, Διερεύνηση των περιβαλλοντικών και ανθρωπογενών επιπτώσεων της πυρκαγιάς του 2012 στη Χίο με χρήση τηλεπισκόπησης και GIS, Γεωπονικό πανεπιστήμιο, ΜΔΕ.

Μινέτος, Δ., 2009, Οι πρόσφατες μεταβολές των χρήσεων γης στην Ελλάδα και οι επιπτώσεις τους στη βιώσιμη ανάπτυξη της υπαίθρου: μια θεωρητική και εμπειρική διερεύνηση.

Οικολογικός απολογισμός πυρκαγιών του 2013 στην Άνδρο: Γενικά στοιχεία, επιπτώσεις, προτάσεις. WWF Ελλάς, Αθήνα, Μάιος 2014.

Παρχαρίδης, Ι., 2015, Αρχές δορυφορικής τηλεπισκόπησης.

Ποϊραζίδης, Κ., Lorilla, R. S., Κεφαλάς, Γ., Βούλγαρης, Μ. Δ., 2013, Βασικές αρχές της τηλεπισκόπησης (επιμέλεια-απόδοση στα ελληνικά), ΑΤΕΙ Ιονίων νήσων.

Πλένιου, Μ., 2013, Πολλαπλής κλίμακας πολυφασματική αξιολόγηση και χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων (Doctoral dissertation).

Σιώρα, Ε. Ε., Siora, Ε. Ε., 2012, Διερεύνηση εξέλιξης χρήσεων γης με ταξινομήσεις δορυφορικών απεικονίσεων και οικονομετρικά πρότυπα.

Τσαγκάρη, Κ., Ξανθόπουλος, Γ., Ρούσσο, Α., Δασκαλάκου, Ε., Σαπουντζάκη, Κ., Καλογήρου, Σ., Εκτίμηση κινδύνου καταστροφής κατοικιών από δασικές πυρκαγιές στη ζώνη μίξης Δασών – Οικισμών: Μια προσέγγιση με τη βοήθεια εθελοντών.

Χουβαρδάς, Δ., 2007, Εκτίμηση της διαχρονικής επίδρασης των κτηνοτροφικών συστημάτων και των χρήσεων γης στα τοπία με τη χρήση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS).

Χουλιάρη, Σ., Κουκουράκης, Γ., 2013, Επιπτώσεις μεγάλης κλίμακας πυρκαγιάς στην γεωμορφολογία της Άνω Μεσσηνίας στη Πελοπόννησο—μέτρα πρόληψης.

Χριστοδουλοπούλου, Α., 2013, Η μόλυνση του περιβάλλοντος από τις πυρκαγιές (Doctoral dissertation, ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας).

Lorilla, R. S., 2015, Διαχρονική αξιολόγηση και χαρτογράφηση των οικοσυστημικών υπηρεσιών στα Ιόνια Νησιά, Χαροκόπειο πανεπιστήμιο, ΜΔΕ.

Διεθνής Βιβλιογραφία

Alonso-Canas, I., Chuvieco, E., 2015, Global burned area mapping from ENVISAT-MERIS and MODIS active fire data, *Remote Sensing of Environment*, 163, 140-152.

Bankov, N., 1998: «Dynamics Of Land Cover/Use Changes In Relation To Socio – Economic Conditions In The Psilorites Mountain Of Crete, Greece» MSc, Mediterranean Agronomic Institute Of Chania (M.A.I.Ch.), Chania.

Bastarrika, A., Chuvieco, E., Martín, M. P., 2011, Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors, *Remote Sensing of Environment*, 115(4), 1003-1012.

Benz, U. C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M., 2004, Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 58(3), 239-258.

Berberoglu, S., Curran, P. J., Lloyd, C. D., Atkinson, P. M., 2007, Texture classification of Mediterranean land cover, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9(3), 322-334.

Blaschke, T., 2010, Object based image analysis for remote sensing, *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(1), 2-16.

Brink, A. B., Eva, H. D., 2009, Monitoring 25 years of land cover change dynamics in Africa: A sample based remote sensing approach, *Applied Geography*, 29(4), 501-512.

Campell, B.J, 2002, Intoduction to remote sensing, 3rd edition, Virginia Polytechnic Institute an State University, The Guilford Publications Pres, New York, London.

Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, M. P., ... De La Riva, J., 2010, Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies, *Ecological Modelling*, 221(1), 46-58.

Cleve, C., Kelly, M., Kearns, F. R., Moritz, M., 2008, Classification of the wildland–urban interface: A comparison of pixel-and object-based classifications using high-resolution aerial photography, *Computers, Environment and Urban Systems*, 32(4), 317-326.

Congalton, R. G., 1991, A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, *Remote sensing of environment*, 37(1), 35-46.

Congalton R.G., Green K., 1999, *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*.

Congalton, R. G., 2001, Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information, *International Journal of Wildland Fire*, 10(4), 321-328.

De Carvalho, O. A., Meneses, P. R., 2000, February, Spectral correlation mapper (SCM): an improvement on the spectral angle mapper (SAM), In *Summaries of the 9th JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication 00-18 (Vol. 9), Pasadena, CA: JPL Publication.

Definiens, 2007, Next generation technologies revolutionizing oncology and diagnostics.

Dewan, A. M., Yamaguchi, Y., 2009, Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization, *Applied Geography*, 29(3), 390-401.

Dorren, L. K., Maier, B., Seijmonsbergen, A. C., 2003, Improved Landsat-based forest mapping in steep mountainous terrain using object-based classification, *Forest Ecology and Management*, 183(1), 31-46.

Dubinin, M., Potapov, P., Lushchekina, A., Radeloff, V. C., 2010, Reconstructing long time series of burned areas in arid grasslands of southern Russia by satellite remote sensing, *Remote Sensing of Environment*, 114(8), 1638-1648.

Eva, H., & Lambin, E. F., 1998, Burnt area mapping in Central Africa using ATSR data, *International Journal of Remote Sensing*, 19(18), 3473-3497.

Farina, A., 1998, Methods in landscape ecology, In *Principles and methods in landscape ecology*, Springer Netherlands, pp. 153-217.

Feddema, J. J., Oleson, K. W., Bonan, G. B., Mearns, L. O., Buja, L. E., Meehl, G. A., Washington, W. M., 2005, The importance of land-cover change in simulating future climates, *Science*, 310(5754), 1674-1678.

Garcia-Haro, F. J., Gilabert, M. A., Melia, J., 2001, Monitoring fire-affected areas using Thematic Mapper data, *International Journal of Remote Sensing*, 22(4), 533-549.

Garcia, M., & Chuvieco, E., 2004, Assessment of the potential of SAC-C/MMRS imagery for mapping burned areas in Spain, *Remote Sensing of Environment*, 92(3), 414-423.

Giglio, L., Loboda, T., Roy, D. P., Quayle, B., Justice, C. O., 2009, An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor, *Remote Sensing of Environment*, 113(2), 408-420.

Gitas, I. Z., Mitri, G. H., Ventura, G., 2004, Object-based image classification for burned area mapping of Creus Cape, Spain, using NOAA-AVHRR imagery, *Remote Sensing of Environment*, 92(3), 409-413.

Gitas, I. Z., Polychronaki, A., Katagis, T., Mallinis, G., 2008, Contribution of remote sensing to disaster management activities: A case study of the large fires in the Peloponnese, Greece, *International Journal of Remote Sensing*, 29(6), 1847-1853.

Gordon, S. I., 1980, Utilizing Landsat imagery to monitor land-use change: A case study in Ohio, *Remote Sensing of Environment*, 9(3), 189-196.

Han, D., Ren-Chao, W. A. N. G., Jia-Ping, W. U., Bin, Z. H. O. U., Zhou, S. H. I., & Li-Xia, D. I. N. G., 2007, Quantifying land use change in Zhejiang coastal region, China using multi-temporal Landsat TM/ETM+ images. *Pedosphere*, 17(6), 712-720.

Hardtke, L. A., Blanco, P. D., del Valle, H. F., Metternicht, G. I., Sione, W. F., 2015, Semi-automated mapping of burned areas in semi-arid ecosystems using MODIS time-series imagery, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 38, 25-35.

Kafka, V., Gauthier, S., Bergeron, Y., 2001, Fire impacts and crowning in the boreal forest: study of a large wildfire in western Quebec, *International Journal of Wildland Fire*, 10(2), 119-127.

Karteris M., 1991: «Remote Sensing and Geographic Information Systems», Department of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki. Greece.

Kasischke, E. S., French, N. H., 1995, Locating and estimating the areal extent of wildfires in Alaskan boreal forests using multiple-season AVHRR NDVI composite data, *Remote Sensing of Environment*, 51(2), 263-275.

Keramitsoglou, I., Kontoes, C., Sykioti, O., Sifakis, N., Xofis, P., 2008, Reliable, accurate and timely forest mapping for wildfire management using ASTER and Hyperion satellite imagery, *Forest ecology and management*, 255(10), 3556-3562.

Kiss, L., Magnin, F., 2003, The impact of fire on some Mediterranean land snail communities and patterns of post-fire recolonization, *Journal of Molluscan Studies*, 69(1), 43-53.

Kontoes C.C., 2008, Operational Land Cover Change Detection Using Change-Vector Analysis, *International Journal of Remote Sensing*, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 16, pp.4757-4779.

Kontoes, C. C., Poilve, H., Florsch, G., Keramitsoglou, I., Paralikidis, S., 2009, A comparative analysis of a fixed thresholding vs. a classification tree approach for operational burn scar detection and mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 11(5), 299-316.

Lambin, E. F., Turner, B. L., Geist, H. J., Agbola, S. B., Angelsen, A., Bruce, J. W., ... & George, P., 2001, The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths, *Global environmental change*, 11(4), 261-269.

Lavorel, S., Flannigan, M. D., Lambin, E. F., Scholes, M. C., 2007, Vulnerability of land systems to fire: Interactions among humans, climate, the atmosphere, and ecosystems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(1), 33-53.

López, E., Bocco, G., Mendoza, M., Duhau, E., 2001, Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: a case in Morelia city, Mexico, *Landscape and urban planning*, 55(4), 271-285.

Mallinis, G., Koutsias, N., Tsakiri-Strati, M., Karteris, M., 2008, Object-based classification using Quickbird imagery for delineating forest vegetation polygons in a Mediterranean test site, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63(2), 237-250.

Moreira de Araújo, F., Ferreira, L. G., Arantes, A. E., 2012, Distribution patterns of burned areas in the Brazilian biomes: an analysis based on satellite data for the 2002–2010 period, *Remote Sensing*, 4(7), 1929-1946.

Muttitanon, W., Tripathi, N. K., 2005, Land use/land cover changes in the coastal zone of Ban Don Bay, Thailand using Landsat 5 TM data, *International Journal of Remote Sensing*, 26(11), 2311-2323.

Padilla, M., Stehman, S. V., Ramo, R., Corti, D., Hantson, S., Oliva, P., ... Pereira, J. M., 2015, Comparing the accuracies of remote sensing global burned area products using stratified random sampling and estimation, *Remote sensing of environment*, 160, 114-121.

Pauleit, S., Ennos, R., Golding, Y., 2005, Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change—a study in Merseyside, UK, *Landscape and urban planning*, 71(2), 295-310.

Perakis, K., Moysiadis, A., Faraslis, I., Περάκης, Κ., Μωυσιάδης, Α., Φαρασλής, Ι., 2015, Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες.

Pereira, J. M., Sá, A. C., Sousa, A. M., Silva, J. M., Santos, T. N., Carreiras, J. M., 1999, Spectral characterization and discrimination of burnt areas, *Remote sensing of large wildfires*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 123-138.

Peterson, U., Aunap, R., 1998, Changes in agricultural land use in Estonia in the 1990s detected with multitemporal Landsat MSS imagery, *Landscape and urban planning*, 41(3), 193-201.

Petropoulos, G. P., Kontoes, C., Keramitsoglou, I., 2011, Burnt area delineation from a uni-temporal perspective based on Landsat TM imagery classification using support vector machines, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(1), 70-80.

Platt, R. V., & Rapoza, L., 2008, An Evaluation of an Object-Oriented Paradigm for Land Use/Land Cover Classification, *The Professional Geographer*, 60(1), 87-100, ISO 690

Pontius Jr, R. G., Millones, M., 2011, Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment, *International Journal of Remote Sensing*, 32(15), 4407-4429.

Reid, R. S., Kruska, R. L., Muthui, N., Taye, A., Wotton, S., Wilson, C. J., Mulatu, W., 2000, Land-use and land-cover dynamics in response to changes in climatic, biological and socio-political forces: the case of southwestern Ethiopia, *Landscape Ecology*, 15(4), 339-355.

Roques, K. G., O'Connor, T. G., Watkinson, A. R., 2001, Dynamics of shrub encroachment in an African savanna: relative influences of fire, herbivory, rainfall and density dependence, *Journal of Applied Ecology*, 38(2), 268-280.

Roy, D. P., Boschetti, L., Justice, C. O., Ju, J., 2008, The collection 5 MODIS burned area product—Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3690-3707.

Rozenstein, O., Karnieli, A., 2011, Comparison of methods for land-use classification incorporating remote sensing and GIS inputs, *Applied Geography*, 31(2), 533-544.

Ruiz, J. A. M., Riaño, D., Arbelo, M., French, N. H., Ustin, S. L., Whiting, M. L., 2012, Burned area mapping time series in Canada (1984–1999) from NOAA-AVHRR LTDR: A comparison with other remote sensing products and fire perimeters, *Remote Sensing of Environment*, 117, 407-414.

Scanlon, B. R., Reedy, R. C., Stonestrom, D. A., Prudic, D. E., Dennehy, K. F., 2005, Impact of land use and land cover change on groundwater recharge and quality in the southwestern US, *Global Change Biology*, 11(10), 1577-1593.

Serra, P., Pons, X., Saurí, D., 2008, Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: a spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors, *Applied Geography*, 28(3), 189-209.

Seto, K. C., Woodcock, C. E., Song, C., Huang, X., Lu, J., Kaufmann, R. K., 2000, Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM, *International Journal of Remote Sensing*, 23(10), 1985-2004.

Shackelford, A. K., Davis, C. H., 2003, A combined fuzzy pixel-based and object-based approach for classification of high-resolution multispectral data over urban areas, *IEEE Transactions on GeoScience and Remote sensing*, 41(10), 2354-2363.

Shalaby, A., Tateishi, R., 2007, Remote sensing and GIS for mapping and monitoring land cover and land-use changes in the Northwestern coastal zone of Egypt, *Applied Geography*, 27(1), 28-41.

Shi, P. J., Yuan, Y., Zheng, J., Wang, J. A., Ge, Y., Qiu, G. Y., 2007, The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China, *Catena*, 69(1), 31-35.

Sifakis, N. I., Iossifidis, C., Kontoes, C., Keramitsoglou, I., 2011, Wildfire Detection and Tracking over Greece Using MSG-SEVIRI Satellite Data. *Remote sensing*, 3(3), 524-538.

Singh, A., 1989, Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data, *International journal of remote sensing*, 10(6), 989-1003.

Song, Conghe, Curtis E. Woodcock, Karen C. Seto, Mary Pax Lenney, and Scott A. Macomber, 2001, Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, 75(2), pp.230–244.

Stroppiana, D., Pinnock, S., Pereira, J. M., Grégoire, J. M., 2002, Radiometric analysis of SPOT-VEGETATION images for burnt area detection in Northern Australia, *Remote Sensing of Environment*, 82(1), 21-37.

Trigg, S., Flasse, S., 2001, An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah. *International Journal of Remote Sensing*, 22(13), 2641-2647.

Turner, B. L., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., Leemans, R., 1995, Land-use and land-cover change. In Unknown Host Publication Title, International Geosphere-Biosphere Programme, Stockholm; Report, 35.

Velázquez, A., Durán, E., Ramírez, I., Mas, J. F., Bocco, G., Ramírez, G., Palacio, J. L., 2003, Land use-cover change processes in highly biodiverse areas: the case of Oaxaca, Mexico, *Global environmental change*, 13(3), 175-184.

Veldkamp, A., Lambin, E. F., 2001, Predicting land-use change.

Verburg, P. H., Van De Steeg, J., Veldkamp, A., Willemen, L., 2009, From land cover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization, *Journal of environmental management*, 90(3), 1327-1335.

Vos, W., Stortelder, A.H.F., 1992: «Vanishing Tuscan Landscapes. Landscape Ecology of a Submediterranean Montane Area», Solano Basin, Tuscany, Italy.

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(3), 273-284.

Yarnell, R. W., Metcalfe, D. J., Dunstone, N., Burnside, N., Scott, D. M., 2008, The impact of fire on habitat use by the short-snouted elephant shrew (*Elephantulus brachyrhynchus*) in North West Province, South Africa, *African Zoology*, 43(1), 45-52.

Yu, Q., Gong, P., Clinton, N., Biging, G., Kelly, M., Schirokauer, D., 2006, Object-based detailed vegetation classification with airborne high spatial resolution remote sensing imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(7), 799-811.

Yuan, F., Sawaya, K. E., Loeffelholz, B. C., Bauer, M. E., 2005, Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing, *Remote sensing of Environment*, 98(2), 317-328.

Yüksel, A., Akay, A. E., Gundogan, R., 2008, Using ASTER imagery in land use/cover classification of eastern Mediterranean landscapes according to CORINE land cover project, *Sensors*, 8(2), 1237-1251.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Διαχωριστική ικανότητα περιοχών ενδιαφέροντος

Πίνακας 4. Διαχωριστική ικανότητα για το 2000

```
Input File: LS5_2000_pca_deiktes_img_stack
ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Urban [Magenta] 358 points:
Spare [Cyan] 596 points: (1.97398730 1.99864403)
Burned [Red] 576 points: (1.93900860 1.99461212)
Bush [Blue] 523 points: (1.99616244 1.99999596)
Forest [Green] 540 points: (1.99983507 2.00000000)
Open/rock [Yellow] 377 points: (1.72638567 1.98780023)

Spare [Cyan] 596 points:
Urban [Magenta] 358 points: (1.97398730 1.99864403)
Burned [Red] 576 points: (1.91709895 1.99607062)
Bush [Blue] 523 points: (1.98216199 1.99974999)
Forest [Green] 540 points: (1.94711693 1.96845451)
Open/rock [Yellow] 377 points: (1.95766782 1.98674199)

Burned [Red] 576 points:
Urban [Magenta] 358 points: (1.93900860 1.99461212)
Spare [Cyan] 596 points: (1.91709895 1.99607062)
Bush [Blue] 523 points: (1.99812311 2.00000000)
Forest [Green] 540 points: (1.99861160 2.00000000)
Open/rock [Yellow] 377 points: (1.91519524 1.94766784)

Bush [Blue] 523 points:
Urban [Magenta] 358 points: (1.99616244 1.99999596)
Spare [Cyan] 596 points: (1.98216199 1.99974999)
Burned [Red] 576 points: (1.99812311 2.00000000)
Forest [Green] 540 points: (1.90422311 1.99793384)
Open/rock [Yellow] 377 points: (1.99980750 2.00000000)

Forest [Green] 540 points:
Urban [Magenta] 358 points: (1.99983507 2.00000000)
Spare [Cyan] 596 points: (1.94711693 1.96845451)
Burned [Red] 576 points: (1.99861160 2.00000000)
Bush [Blue] 523 points: (1.90422311 1.99793384)
Open/rock [Yellow] 377 points: (1.99999989 2.00000000)

Open/rock [Yellow] 377 points:
Urban [Magenta] 358 points: (1.72638567 1.98780023)
Spare [Cyan] 596 points: (1.95766782 1.98674199)
Burned [Red] 576 points: (1.91519524 1.94766784)
Bush [Blue] 523 points: (1.99980750 2.00000000)
Forest [Green] 540 points: (1.99999989 2.00000000)

Pair Separation (least to most):

Urban [Magenta] 358 points and Open/rock [Yellow] 377 points - 1.72638567
Bush [Blue] 523 points and Forest [Green] 540 points - 1.90422311
Burned [Red] 576 points and Open/rock [Yellow] 377 points - 1.91519524
Spare [Cyan] 596 points and Burned [Red] 576 points - 1.91709895
Urban [Magenta] 358 points and Burned [Red] 576 points - 1.93900860
Spare [Cyan] 596 points and Forest [Green] 540 points - 1.94711693
Spare [Cyan] 596 points and Open/rock [Yellow] 377 points - 1.95766782
Urban [Magenta] 358 points and Spare [Cyan] 596 points - 1.97398730
Spare [Cyan] 596 points and Bush [Blue] 523 points - 1.98216199
Urban [Magenta] 358 points and Bush [Blue] 523 points - 1.99616244
Burned [Red] 576 points and Bush [Blue] 523 points - 1.99812311
Burned [Red] 576 points and Forest [Green] 540 points - 1.99861160
Bush [Blue] 523 points and Open/rock [Yellow] 377 points - 1.99980750
Urban [Magenta] 358 points and Forest [Green] 540 points - 1.99983507
Forest [Green] 540 points and Open/rock [Yellow] 377 points - 1.99999989
```

Πίνακας 5. Διαχωριστική ικανότητα για το 2008

```

Input File: LS7_2008_pca_deiktes_img_stack
ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Burned [Red] 320 points:
  Forest [Green] 594 points: (1.99999027 2.00000000)
  Bush [Blue] 550 points: (1.99820005 2.00000000)
  Open/rock [Yellow] 631 points: (1.97876644 1.99201961)
  Spare [Cyan] 550 points: (1.87913005 1.94092215)
  Urban [Magenta] 532 points: (1.89569886 1.99905117)

Forest [Green] 594 points:
  Burned [Red] 320 points: (1.99999027 2.00000000)
  Bush [Blue] 550 points: (1.99611075 1.99993355)
  Open/rock [Yellow] 631 points: (1.99999646 2.00000000)
  Spare [Cyan] 550 points: (1.94760359 1.99659774)
  Urban [Magenta] 532 points: (1.99994121 2.00000000)

Bush [Blue] 550 points:
  Burned [Red] 320 points: (1.99820005 2.00000000)
  Forest [Green] 594 points: (1.99611075 1.99993355)
  Open/rock [Yellow] 631 points: (1.99096979 2.00000000)
  Spare [Cyan] 550 points: (1.80063933 1.90980096)
  Urban [Magenta] 532 points: (1.96622379 1.99584262)

Open/rock [Yellow] 631 points:
  Burned [Red] 320 points: (1.97876644 1.99201961)
  Forest [Green] 594 points: (1.99999646 2.00000000)
  Bush [Blue] 550 points: (1.99096979 2.00000000)
  Spare [Cyan] 550 points: (1.93587340 1.99780845)
  Urban [Magenta] 532 points: (1.60138362 1.94112421)

Spare [Cyan] 550 points:
  Burned [Red] 320 points: (1.87913005 1.94092215)
  Forest [Green] 594 points: (1.94760359 1.99659774)
  Bush [Blue] 550 points: (1.80063933 1.90980096)
  Open/rock [Yellow] 631 points: (1.93587340 1.99780845)
  Urban [Magenta] 532 points: (1.93875829 1.99986760)

Urban [Magenta] 532 points:
  Burned [Red] 320 points: (1.89569886 1.99905117)
  Forest [Green] 594 points: (1.99994121 2.00000000)
  Bush [Blue] 550 points: (1.96622379 1.99584262)
  Open/rock [Yellow] 631 points: (1.60138362 1.94112421)
  Spare [Cyan] 550 points: (1.93875829 1.99986760)

Pair Separation (least to most):

Open/rock [Yellow] 631 points and Urban [Magenta] 532 points - 1.60138362
Bush [Blue] 550 points and Spare [Cyan] 550 points - 1.80063933
Burned [Red] 320 points and Spare [Cyan] 550 points - 1.87913005
Burned [Red] 320 points and Urban [Magenta] 532 points - 1.89569886
Open/rock [Yellow] 631 points and Spare [Cyan] 550 points - 1.93587340
Spare [Cyan] 550 points and Urban [Magenta] 532 points - 1.93875829
Forest [Green] 594 points and Spare [Cyan] 550 points - 1.94760359
Bush [Blue] 550 points and Urban [Magenta] 532 points - 1.96622379
Burned [Red] 320 points and Open/rock [Yellow] 631 points - 1.97876644
Bush [Blue] 550 points and Open/rock [Yellow] 631 points - 1.99096979
Forest [Green] 594 points and Bush [Blue] 550 points - 1.99611075
Burned [Red] 320 points and Bush [Blue] 550 points - 1.99820005
Forest [Green] 594 points and Urban [Magenta] 532 points - 1.99994121
Burned [Red] 320 points and Forest [Green] 594 points - 1.99999027
Forest [Green] 594 points and Open/rock [Yellow] 631 points - 1.99999646

```

Πίνακας 6. Διαχωριστική ικανότητα για το 2016

```

Input File: LS8_2016_pca_deiktes_img_stack
ROI Name: (Jeffries-Matusita, Transformed Divergence)

Forest [Green] 657 points:
  Bush [Blue] 662 points: (1.96387441 1.99898779)
  Open/rocks [Yellow] 817 points: (1.99999990 2.00000000)
  Spare [Cyan] 673 points: (1.99892667 1.99978714)
  Urban [Magenta] 504 points: (1.99970542 2.00000000)
  Burned [Red] 533 points: (1.99999977 2.00000000)

Bush [Blue] 662 points:
  Forest [Green] 657 points: (1.96387441 1.99898779)
  Open/rocks [Yellow] 817 points: (1.99999299 2.00000000)
  Spare [Cyan] 673 points: (1.98904842 1.99890552)
  Urban [Magenta] 504 points: (1.99945788 2.00000000)
  Burned [Red] 533 points: (1.99999932 2.00000000)

Open/rocks [Yellow] 817 points:
  Forest [Green] 657 points: (1.99999990 2.00000000)
  Bush [Blue] 662 points: (1.99999299 2.00000000)
  Spare [Cyan] 673 points: (1.95501201 1.99746203)
  Urban [Magenta] 504 points: (1.83352710 1.99204954)
  Burned [Red] 533 points: (1.93669924 1.98019847)

Spare [Cyan] 673 points:
  Forest [Green] 657 points: (1.99892667 1.99978714)
  Bush [Blue] 662 points: (1.98904842 1.99890552)
  Open/rocks [Yellow] 817 points: (1.95501201 1.99746203)
  Urban [Magenta] 504 points: (1.98625865 2.00000000)
  Burned [Red] 533 points: (1.99752652 1.99996900)

Urban [Magenta] 504 points:
  Forest [Green] 657 points: (1.99970542 2.00000000)
  Bush [Blue] 662 points: (1.99945788 2.00000000)
  Open/rocks [Yellow] 817 points: (1.83352710 1.99204954)
  Spare [Cyan] 673 points: (1.98625865 2.00000000)
  Burned [Red] 533 points: (1.89974698 1.99338159)

Burned [Red] 533 points:
  Forest [Green] 657 points: (1.99999977 2.00000000)
  Bush [Blue] 662 points: (1.99999932 2.00000000)
  Open/rocks [Yellow] 817 points: (1.93669924 1.98019847)
  Spare [Cyan] 673 points: (1.99752652 1.99996900)
  Urban [Magenta] 504 points: (1.89974698 1.99338159)

Pair Separation (least to most):

Open/rocks [Yellow] 817 points and Urban [Magenta] 504 points - 1.83352710
Urban [Magenta] 504 points and Burned [Red] 533 points - 1.89974698
Open/rocks [Yellow] 817 points and Burned [Red] 533 points - 1.93669924
Open/rocks [Yellow] 817 points and Spare [Cyan] 673 points - 1.95501201
Forest [Green] 657 points and Bush [Blue] 662 points - 1.96387441
Spare [Cyan] 673 points and Urban [Magenta] 504 points - 1.98625865
Bush [Blue] 662 points and Spare [Cyan] 673 points - 1.98904842
Spare [Cyan] 673 points and Burned [Red] 533 points - 1.99752652
Forest [Green] 657 points and Spare [Cyan] 673 points - 1.99892667
Bush [Blue] 662 points and Urban [Magenta] 504 points - 1.99945788
Forest [Green] 657 points and Urban [Magenta] 504 points - 1.99970542
Bush [Blue] 662 points and Open/rocks [Yellow] 817 points - 1.99999299
Bush [Blue] 662 points and Burned [Red] 533 points - 1.99999932
Forest [Green] 657 points and Burned [Red] 533 points - 1.99999977
Forest [Green] 657 points and Open/rocks [Yellow] 817 points - 1.99999990

```

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Πίνακας 8.Έλεγχος ταξινόμησης έτους 2008.

Class	Arables	Burned	Bush	Forest	Olives	Open/rock	Other cultures	Permanent	Spare	Urban	Vinus		Users Accuracy
Arables	70,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	74,00	0,95
Burned	4,00	68,00	1,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00	5,00	1,00	0,00	82,00	0,83
Bush	0,00	0,00	38,00	29,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00	76,00	0,50
Forest	0,00	0,00	29,00	41,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	71,00	0,58
Olives	0,00	0,00	0,00	0,00	78,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	78,00	1,00
Open/rock	3,00	5,00	0,00	0,00	0,00	50,00	1,00	0,00	10,00	11,00	0,00	80,00	0,63
Other cultures	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	74,00	0,00	0,00	0,00	2,00	76,00	0,97
Permanent	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	79,00	0,00	0,00	0,00	79,00	1,00
Spare	2,00	2,00	11,00	8,00	1,00	7,00	1,00	0,00	53,00	0,00	0,00	85,00	0,62
Urban	0,00	4,00	0,00	0,00	0,00	19,00	0,00	0,00	1,00	67,00	0,00	91,00	0,74
Vinus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	77,00	77,00	1,00
Column Total	79,00	79,00	79,00	79,00	79,00	79,00	79,00	79,00	79,00	79,00	79,00	869,00	
Producers accuracy	0,89	0,86	0,48	0,52	0,99	0,63	0,94	1,00	0,67	0,85	0,97		
												Overall Accuracy	0,80
Class	Arables	Burned	Bush	Forest	Olives	Open/rock	Other cultures	Permanent	Spare	Urban	Vinus		
Arables	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	
Burned	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,09	
Bush	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,09	
Forest	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	
Olives	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	
Open/rock	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,09	
Other cultures	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	
Permanent	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,09	
Spare	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,10	
Urban	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,10	
Vinus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09	
	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09		
Θ1		0,80											
Θ2		0,09											
Κ		0,78											

Πίνακας 9.Έλεγχος ταξινόμησης έτους 2016.

Class	Arables	Burned	Bush	Forest	Olives	Open/rock	Other cultures	Permanent	Spare	Urban	Vinus			Users Accuracy
Arables	69,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	2,00	1,00	0,00	0,00		73,00	0,95
Burned	0,00	58,00	0,00	0,00	0,00	2,00	0,00	0,00	3,00	0,00	0,00		67,00	0,93
Bush	0,00	0,00	58,00	28,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,00	4,00	1,00		105,00	0,55
Forest	0,00	0,00	4,00	42,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		48,00	0,88
Olives	0,00	0,00	0,00	0,00	69,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00		70,00	0,99
Open/rock	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	53,00	1,00	0,00	2,00	23,00	0,00		85,00	0,62
Other cultures	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	69,00	0,00	0,00	0,00	0,00		69,00	1,00
Permanent	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	67,00	0,00	0,00	0,00		67,00	1,00
Spare	2,00	7,00	9,00	1,00	0,00	7,00	0,00	0,00	48,00	8,00	3,00		85,00	0,56
Urban	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	0,00	0,00	3,00	36,00	0,00		46,00	0,78
Vinus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	67,00		68,00	0,99
Column Total	71,00	71,00	71,00	71,00	71,00	71,00	71,00	71,00	71,00	71,00	71,00		781,00	
Producers accuracy	0,97	0,82	0,82	0,59	0,97	0,75	0,97	0,94	0,70	0,50	0,94			
													Overall Accuracy	0,81
Class	Arables	Burned	Bush	Forest	Oleves	Open/rock	Other cultures	Permanent	Spare	Urban	Vinus			
Arables	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,09	
Burned	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,09	
Bush	0,00	0,00	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00		0,13	
Forest	0,00	0,00	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,06	
Olives	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,09	
Open/rock	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00		0,11	
Other cultures	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00		0,09	
Permanent	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00		0,09	
Spare	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00		0,11	
Urban	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00		0,06	
Vinus	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09		0,09	
	0,09	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09			
	Θ1	0,82												
	Θ2	0,09												
	K	0,80												