

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



Πτυχιακή εργασία

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΕΝΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΜΑΡΙΑ ΦΩΚΑ

Λεμεσός 2013

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ – ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Πτυχιακή εργασία

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΜΕΝΩΝ
ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΜΑΡΙΑ ΦΩΚΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
Δρ. ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ ΧΑΤΖΗΜΙΤΣΗΣ

Λεμεσός 2013

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Μαρία Φωκά, 2013

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέπων καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας, Δρ. Διόφαντο Χατζημιτσή, Αναπληρωτή Καθηγητή στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου, για την καθοδήγηση του, καθόλο το χρονικό διάστημα διεξαγωγής της μελέτης. Επίσης, θα ήθελα να απευθύνω τις ευχαριστίες μου, στον κ. Κώστα Παπαγεωργίου, ερευνητικό συνεργάτη του κ. Χατζημιτσή και Λειτουργό Προστασίας του Τμήματος Δασών, ο οποίος συνέβαλε στη διεκπεραίωση των μετρήσεων του πεδίου με φασματοραδιόμετρο και παρείχε σημαντικές πληροφορίες, για τα δάση και τις καμένες περιοχές της Κύπρου. Τις ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω και στους κ. Δημήτριο Αλεξιάκη και κ. Άθω Αγαπίου, για τη βοήθεια που μου πρόσφεραν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη επικεντρώνεται στην αναγνώριση και στον εντοπισμό καμένων εκτάσεων με τη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων. Οι περιοχές μελέτης ορίστηκαν βάσει των στοιχείων, που δόθηκαν από το Τμήμα Δασών Κύπρου. Τα στοιχεία αυτά, αφορούσαν σημαντικές πυρκαγιές, που εκδηλώθηκαν στο παρελθόν σε δασικές περιοχές της Κύπρου. Ως κύριες περιοχές μελέτης επιλέχθηκαν τα χωριά Μέσανα, Νατά, Άγιος Ιωάννης και Πάνω Πύργος και ως υπό-περιοχή μελέτης το χωριό Βρέτσια. Για τις κύριες περιοχές μελέτης υπολογίστηκαν με τη χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat TM και ETM+ και χαρτογραφήθηκαν οι δείκτες βλάστησης NDVI και SAVI, καθώς και οι μεταβολές τους, που προκλήθηκαν λόγω των πυρκαγιών. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA). Κατά τη διαχρονική μελέτη και επεξεργασία των στατιστικών στοιχείων, των δεικτών κάθε καμένης έκτασης, των κύριων περιοχών μελέτης, διαπιστώθηκε ότι ο μέσος όρος των τιμών τους παρουσίαζε σημαντική μείωση μετά από το συμβάν της πυρκαγιάς. Οι εργασίες αυτές διεξήχθησαν, αφού πρώτα έγιναν μετρήσεις σε υλικά καμένης βιομάζας, με φασματοραδιόμετρο, στην υπό-περιοχή μελέτης Βρέτσια.

Συμπερασματικά, με την εφαρμογή των πιο πάνω μεθόδων Τηλεπισκόπησης, δίνεται η δυνατότητα καλύτερης διαχείρισης και παρακολούθησης των καμένων εκτάσεων, καθώς και της υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Οι πληροφορίες που προκύπτουν από τα δεδομένα του φασματοραδιομέτρου μπορούν να συγκριθούν ή να συνδυαστούν με πληροφορίες από δορυφορικές εικόνες. Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται η εξαγωγή πιο αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Μπορούν να δημιουργηθούν ακόμη και βάσεις δεδομένων, στις οποίες θα καταχωρούνται οι μετρήσεις πεδίου (φασματικές υπογραφές). Έτσι, έχοντας μια βάση δεδομένων των φασματικών υπογραφών των καμένων υλικών και με την προϋπόθεση ότι τα είδη βλάστησης των δασικών περιοχών είναι γνωστά, δεν είναι απαραίτητη η επίσκεψη στο πεδίο, σε περίπτωση που προκύψουν μελλοντικά νέες καμένες εκτάσεις. Η μελέτη τους θα γίνεται, με την αξιοποίηση των καταγραφών της βάσης δεδομένων σε συνδυασμό με τη χρήση δορυφορικών εικόνων.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	v
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	xii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ.....	xiv
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1 Τηλεπισκόπηση	4
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	4
1.2 Οι δορυφόροι Landsat	6
1.3 Το αντικείμενο της Τηλεπισκόπησης	7
2 Δάση και δασικές πυρκαγιές	14
2.1 Δομή και διάρθρωση των δασών.....	14
2.1.1 Οριζόντια διάρθρωση του δάσους.....	14
2.1.2 Κατακόρυφη διάρθρωση του δάσους.....	15
2.2 Οφέλη από τα δάση	16
2.3 Δασικές πυρκαγιές – Απειλή για τα δάση	17
2.3.1 Τα αίτια των δασικών πυρκαγιών.....	17
2.3.2 Παράγοντες που επιδρούν στην έναρξη και τη διάδοση της φωτιάς	19
2.3.3 Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών στο φυσικό περιβάλλον	22
3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	25
4 Εκθέσεις του διεθνή Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization - FAO) και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.....	33
4.1 Η Έκθεση Αξιολόγησης των Δασικών Πόρων 2010 του οργανισμού FAO	33
4.2 Η τεχνική αναφορά για τις Δασικές Πυρκαγιές σε Ευρώπη, Μέση Ανατολή και Βόρεια Αφρική (Joint Research Centre – European Commission)	38
5 Η βλάστηση στην Κύπρο.....	46

5.1	Τα κυριότερα είδη βλάστησης των Κυπριακών Δασών	48
5.2	Οι δασικές πυρκαγιές και οι αρμόδιοι φορείς αντιμετώπισης τους στην Κύπρο	50
5.3	Το πρόγραμμα αποκατάστασης των καμένων εκτάσεων στην Κύπρο	52
6	Μεθοδολογία	56
6.1	Περιοχές μελέτης.....	56
6.1.1	Κύριες περιοχές μελέτης	56
6.1.2	Υπό-περιοχή μελέτης.....	57
6.2	Δεδομένα	59
6.2.1	Δεδομένα από το Τμήμα Δασών	59
6.2.2	Δορυφορικά δεδομένα	59
6.3	Τα στάδια της μεθοδολογίας	63
6.3.1	Μεθοδολογία για τις κύριες περιοχές μελέτης	63
6.3.2	Μεθοδολογία για την υπό-περιοχή μελέτης	69
7	Αποτελέσματα	72
7.1	Αποτελέσματα από την εφαρμογή των δεικτών SAVI και NDVI	72
7.1.1	Αποτελέσματα δεικτών βλάστησης για την καμένη έκταση στην περιοχή των Μεσάνων.....	74
7.1.2	Αποτελέσματα δεικτών βλάστησης για την καμένη έκταση στην περιοχή της Νατάς.....	78
7.1.3	Αποτελέσματα δεικτών βλάστησης για την καμένη έκταση στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη.....	82
7.1.4	Αποτελέσματα δεικτών βλάστησης για την καμένη έκταση στην περιοχή του Πάνω Πύργου	86
7.2	Αποτελέσματα από την απεικόνιση των μεταβολών των δεικτών βλάστησης ..	89
7.3	Αποτελέσματά από την εφαρμογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Components Analysis-PCA).....	91
7.4	Αποτελέσματα από την επεξεργασία των μετρήσεων του φασματοραδιομέτρου – Βλάστηση και φασματικές υπογραφές	96

7.4.1	Βλάστηση και φασματικές υπογραφές	96
7.4.2	Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας	98
	Συμπεράσματα	105
	Βιβλιογραφία	108

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Οι σημαντικότεροι σταθμοί στην ιστορία της Τηλεπισκόπησης για το χρονικό διάστημα 1800 – 2002 (Θέμελης 2010)	6
Εικόνα 2: Τα τμήματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Χατζημιτσής 2010).....	8
Εικόνα 3: Τα βήματα της προ-εξεργασίας των δορυφορικών εικόνων (Χατζημιτσής 2010) .	10
Εικόνα 4: Η ηλιοσύγχρονη τροχιά των δορυφόρων Landsat (http://landsat.gsfc.nasa.gov/images/sun-sync.html).....	12
Εικόνα 5: Η κατακόρυφη διάρθρωση του εδάφους (Ντάφης 1998).....	16
Εικόνα 6: Αιτίες δασικών πυρκαγιών στην Κύπρο για τη χρονική περίοδο 2001-2010 (Τμήμα Δασών Κύπρου)	18
Εικόνα 7: Τα δάση παγκοσμίως (GFRA 2010)	34
Εικόνα 8: Μέση έκταση των δασών που επηρεάζεται ετησίως από πυρκαγιές ανά χώρα (GFRA 2010).....	35
Εικόνα 9: Ο αριθμός των πυρκαγιών με την αντίστοιχη συνολική καμένη έκταση, στη Μεσόγειο για τη χρονική περίοδο 1990-2008 (GFRA 2010)	37
Εικόνα 10: Ο αριθμός των πυρκαγιών (δεξιά) με την αντίστοιχη συνολική καμένη έκταση (αριστερά), στην υπόλοιπη Ευρώπη για τη χρονική περίοδο 1990-2008 (GFRA 2010).....	37
Εικόνα 11: Οι τάσεις των πυρκαγιών σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες για το χρονικό διάστημα 1998 – 2007 (GFRA 2010).....	38
Εικόνα 12: Οι πληροφορίες που καταχωρούνται στο σύστημα EFFIS για κάθε συμβάν πυρκαγιάς (JRC 2011).....	40
Εικόνα 13: Ο διαδικτυακός χάρτης του συστήματος EFFIS (JRC 2011).....	41
Εικόνα 14: Δορυφορική εικόνα, που παρουσιάζει τις πληγέντες περιοχές για το 2011 (JRC 2011).....	44
Εικόνα 15: Η κατανομή των δασών – κρατικών και ιδιωτικών – της Κύπρου (Τμήμα Δασών Κύπρου).....	46

Εικόνα 16: Αριθμός και έκταση δασικών πυρκαγιών για το διάστημα 2001-2010 (Τμήμα Δασών Κύπρου)	51
Εικόνα 17: Η τοποθεσία των κύριων περιοχών μελέτης Μέσανα, Νατά, Άγιος Ιωάννης και Πάνω Πύργος (https://maps.google.com/)	56
Εικόνα 18: Η τοποθεσία της υπό – περιοχής μελέτης Βρέτσια (https://maps.google.com/) ...	57
Εικόνα 19: Το καμένο δάσος στην περιοχή των Βρετσιών	58
Εικόνα 20: Ο διαδικτυακός χώρος της υπηρεσίας USGS.....	60
Εικόνα 21: Η δορυφορική εικόνα μορφής “.IMG” από αρχεία TIFF	62
Εικόνα 22: Το μοντέλο της ραδιομετρικής διόρθωσης	63
Εικόνα 23: Η ραδιομετρικά διορθωμένη εικόνα	64
Εικόνα 24: Τα μοντέλα, που δημιουργήθηκαν στο Model Maker, για τον υπολογισμό των δεικτών NDVI και SAVI.....	64
Εικόνα 25: Η απεικόνιση του δείκτη NDVI	65
Εικόνα 26: Η απεικόνιση του δείκτη SAVI.....	65
Εικόνα 27: Η απεικόνιση της διαφοράς μεταξύ των τιμών του δείκτη βλάστησης προ-πυρκαγιάς από τις τιμές του δείκτη μετά-πυρκαγιάς	67
Εικόνα 28: Το διάγραμμα ροής των εργασιών της μεθοδολογίας.....	68
Εικόνα 29: Ο τρόπος λειτουργίας του φασματοραδιομέτρου.....	70
Εικόνα 30: Μετρήσεις καμένων υλικών με φασματοραδιόμετρο στην υπό-περιοχή μελέτης	70
Εικόνα 31: Ο δείκτης NDVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς της περιοχής των Μεσάνων	74
Εικόνα 32: Ο δείκτης SAVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή των Μεσάνων	76
Εικόνα 33: Ο δείκτης NDVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή της Νατάς...	78
Εικόνα 34: Ο δείκτης SAVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή της Νατάς ...	80
Εικόνα 35: Ο δείκτης NDVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη	82

Εικόνα 36: Ο δείκτης SAVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη	84
Εικόνα 37: Ο δείκτης NDVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή του Πάνω Πύργου	86
Εικόνα 38: Ο δείκτης SAVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή του Πάνω Πύργου	88
Εικόνα 39: Οι μεταβολές του δείκτη NDVI (αριστερά) και του δείκτη SAVI (δεξιά) στην περιοχή των Μεσάνων.....	90
Εικόνα 40: Οι μεταβολές του δείκτη NDVI (αριστερά) και του δείκτη SAVI (δεξιά) στην περιοχή της Νατάς.....	90
Εικόνα 41: Οι μεταβολές του δείκτη NDVI (αριστερά) και του δείκτη SAVI (δεξιά) στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη	91
Εικόνα 42: Οι μεταβολές του δείκτη NDVI (αριστερά) και του δείκτη SAVI (δεξιά) στην περιοχή του Πάνω Πύργου.....	91
Εικόνα 43: Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA) για την περιοχή των Μεσάνων.....	93
Εικόνα 44: Η καμένη έκταση των Μεσάνων στην τέταρτη κύρια συνιστώσα.....	93
Εικόνα 45: Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA) για την περιοχή της Νατάς.....	94
Εικόνα 46: Η καμένη έκταση της Νατάς στη δεύτερη κύρια συνιστώσα	94
Εικόνα 47: Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA) για την περιοχή του Αγίου Ιωάννη	95
Εικόνα 48: Η καμένη έκταση του Αγίου Ιωάννη στην Τρίτη κύρια συνιστώσα.....	95
Εικόνα 49: Ο δείκτης NDVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή του Πάνω Πύργου	98
Εικόνα 50: Καμένοι θάμνοι στην υπό – περιοχή μελέτης	99
Εικόνα 51: Καμένο έδαφος καλυμμένο με γρασίδι στην υπό – περιοχή μελέτης.....	101
Εικόνα 52: Καμένο έδαφος καλυμμένο με χόρτα στην υπό – περιοχή μελέτης.....	102

Εικόνα 53: Πετρώδες έδαφος καλυμμένο με καμένους θάμνους στην υπό – περιοχή μελέτης
.....103

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τα τμήματα της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας.....	9
Πίνακας 2: Μέση έκταση των δασών που επηρεάζονται από πυρκαγιές ετησίως (2005)	36
Πίνακας 3: Οι δασικές περιοχές, που πλήγηκαν από πυρκαγιές για το χρονικό διάστημα 1990 – 2005	36
Πίνακας 4: Οι καμένες εκτάσεις, που έχουν εμβαδό πάνω από 40 ha, για το 2011	43
Πίνακας 5: Οι καμένες εκτάσεις στην Κύπρο ανά τύπο χρήσης γης για το 2011	44
Πίνακας 6: Εκτάσεις που κάηκαν από τις περιοχές του δικτύου Natura 2000, το 2011	44
Πίνακας 7: Ο αριθμός των δασικών πυρκαγιών ανά έτος και χώρα για το χρονικό διάστημα 1990 – 2011 Δεδομένα από το σύστημα EFFIS.....	45
Πίνακας 8: Το εμβαδό των καμένων εκτάσεων διάφορων χωρών για το χρονικό διάστημα 1990-2011.....	45
Πίνακας 9: Τα εθνικά δασικά πάρκα της Κύπρου	47
Πίνακας 10: Οι περιοχές προστασίας της φύσης στην Κύπρο	48
Πίνακας 11: Άλλες προστατευόμενες περιοχές – βουνοκορφές.....	48
Πίνακας 12: Τα κυριότερα δασοπονικά είδη των δασών	50
Πίνακας 13: Ιθαγενή είδη δέντρων της Κύπρου.....	53
Πίνακας 14: Οι περιοχές μελέτης και οι ημερομηνίες των πυρκαγιών σε αυτές.....	57
Πίνακας 15: Τα στοιχεία, που δόθηκαν από το Τμήμα Δασών σχετικά με τις πυρκαγιές για το χρονικό διάστημα 1964 – 2012	59
Πίνακας 16: Τα στοιχεία των δορυφορικών εικόνων, που χρησιμοποιήθηκαν για τις κύριες περιοχές μελέτης	60
Πίνακας 17: Τα στοιχεία των δορυφορικών εικόνων, που χρησιμοποιήθηκαν για την υπό-περιοχή μελέτης.....	61
Πίνακας 18: Τα κανάλια του δέκτη Landsat 7 ETM+	61
Πίνακας 19: Τα κανάλια του δέκτη Landsat 5 TM.....	62
Πίνακας 20: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών NDVI για την περιοχή Μέσανα.....	75

Πίνακας 21: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών SAVI για την περιοχή Μέσσανα	77
Πίνακας 22: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών NDVI για την περιοχή Νατάς.....	79
Πίνακας 23: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών SAVI για την περιοχή Νατάς	81
Πίνακας 24: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών NDVI για την περιοχή Αγίου Ιωάννη	83
Πίνακας 25: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών SAVI για την περιοχή Αγίου Ιωάννη	85
Πίνακας 26: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών NDVI για την περιοχή του Πάνω Πύργου ..	87
Πίνακας 27: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών SAVI για την περιοχή του Πάνω Πύργου ...	89

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 1: Η μείωση των τιμών NDVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή των Μεσάνων	75
Γράφημα 2: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη NDVI για την περιοχή των Μεσάνων.....	75
Γράφημα 3: Η μείωση των τιμών SAVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή των Μεσάνων	76
Γράφημα 4: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη SAVI για την περιοχή των Μεσάνων	77
Γράφημα 5: Η μείωση των τιμών NDVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή της Νατάς ...	78
Γράφημα 6: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη NDVI για την περιοχή της Νατάς.....	79
Γράφημα 7: Η μείωση των τιμών SAVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή της Νατάς	80
Γράφημα 8: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη SAVI για την περιοχή της Νατάς.....	81
Γράφημα 9: Η μείωση των τιμών NDVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη	82
Γράφημα 10: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη NDVI για την περιοχή του Αγίου Ιωάννη	83
Γράφημα 11: Η μείωση των τιμών SAVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη	84
Γράφημα 12: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη SAVI για την περιοχή του Αγίου Ιωάννη .	85
Γράφημα 13: Η μείωση των τιμών NDVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή του Πάνω Πύργου	87
Γράφημα 14: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη NDVI για την περιοχή του Πάνω Πύργου	87
Γράφημα 15: Η μείωση των τιμών SAVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή του Πάνω Πύργου	88
Γράφημα 16: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη SAVI για την περιοχή του Πάνω Πύργου.	89
Γράφημα 17: Τυπική φασματική υπογραφή υγιούς βλάστησης.....	97
Γράφημα 18: Οι μεταβολές της φασματικής υπογραφής ενός νέου και υγιές φυτού με την πάροδο του χρόνου (Philpot 2011).....	97
Γράφημα 19: Οι φασματικές υπογραφές των καμένων υλικών από τις μετρήσεις πεδίου	99

Γράφημα 20: Η φασματική υπογραφή καμένου θάμνου	100
Γράφημα 21: Η φασματική υπογραφή ψηλού καμένου θάμνου	100
Γράφημα 22: Η φασματική υπογραφή καμένου εδάφους καλυμμένου με γρασίδι.....	101
Γράφημα 23: Η φασματική υπογραφή καμένου εδάφους καλυμμένου με χόρτα	102
Γράφημα 24: Η φασματική υπογραφή πετρώδες εδάφους καλυμμένου με καμένους θάμνους	103

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, είναι ο εντοπισμός και η μελέτη καμένων δασικών περιοχών, με τη χρήση τηλεπισκοπικών μεθόδων. Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν την κυριότερη απειλή και ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα για τα δάση της Κύπρου (Τμήμα Δασών Κύπρου). Κάθε χρόνο, κυρίως κατά τη θερινή περίοδο, μεγάλες δασικές εκτάσεις γίνονται παρανάλωμα του πυρός.

Η χρήση των τεχνικών Τηλεπισκόπησης στην Κύπρο, για την αντιμετώπιση του φαινομένου των πυρκαγιών, είναι περιορισμένη. Μελετώντας τη διεθνή βιβλιογραφία, διαπιστώθηκε ότι οι εφαρμογές Τηλεπισκόπησης βρίσκουν τεράστια απήχηση, παγκοσμίως. Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης, δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης και διαχείρισης του περιβάλλοντος, καθώς και της άμεσης επέμβασης, σε περίπτωση που παρουσιαστεί πρόβλημα – απειλή.

Οι πυρκαγιές σε δασικές περιοχές, είναι ένα περιβαλλοντικό φαινόμενο παγκόσμιας κλίμακας, το οποίο μαστίζει πολλές χώρες, ακόμα και εκείνες που είναι τεχνολογικά και οικονομικά ανεπτυγμένες. Παρουσιάζεται κυρίως σε Μεσογειακά οικοσυστήματα, εύκρατα δάση, λιβάδια, σαβάνες και σε οικοσυστήματα ξηρών και ημίξηρων κλιμάτων.

Τα μεσογειακά δάση έχουν προσαρμοστεί εδώ και πολλά χρόνια στο μηχανισμό των πυρκαγιών, αφού αποτελούν κατεξοχήν πυριγενές φυσικό περιβάλλον. Επιπλέον, πρέπει να αναφερθεί ότι σε πολλές περιπτώσεις, οι πυρκαγιές χρησιμοποιούνται για σκοπούς διαχείρισης του περιβάλλοντος, όπως είναι η αλλαγή των χρήσεων μιας περιοχής και η διαφοροποίηση των βασικών συνιστωσών ενός οικοσυστήματος.

Παρόλα αυτά, οι οικονομικές, κοινωνικές, οικολογικές, ατμοσφαιρικές και κλιματικές συνέπειες, που προκύπτουν από τις μη ελεγχόμενες πυρκαγιές, αναδεικνύουν τη σημασία του προβλήματος. Τα τελευταία χρόνια η ανάπτυξη προγραμμάτων ανά το παγκόσμιο, που έχουν ως βάση τη χρήση τεχνικών Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), συνέβαλλαν σημαντικά στην παρακολούθηση, την επέμβαση και την πρόληψη του φαινομένου.

Οι δορυφορικές εικόνες, οι εικόνες από Radar και οι αεροφωτογραφίες αποτελούν μορφές καταγραφής πληροφορίας από κάποια απόσταση. Πλέον, μεγάλη απήχηση βρίσκει η χρήση δεδομένων, που ανακτώνται από τους δορυφορικούς ανιχνευτές. Αυτό, οφείλεται στο γεγονός ότι τα δορυφορικά δεδομένα διατίθενται στο διαδίκτυο, χωρίς απαραίτητα να επιβάλλεται στο κοινό κάποιο κόστος για την ανάκτηση τους.

Οι αισθητήρες που φέρουν οι δορυφόροι, ανιχνεύουν και καταγράφουν σε διάφορες φασματικές περιοχές την ανακλώμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Μέσω της ανάλυσης τηλεπισκοπικών δεδομένων από διαφορετικές εποχές, είναι εφικτή η ανίχνευση των μεταβολών στο χώρο. Οι τεχνικές της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης καθιστούν δυνατή την καταγραφή των περιοχών που κάηκαν, χαρτογραφώντας τα σημεία έναρξης της πυρκαγιάς, υπολογίζοντας την καμένη έκταση, εκτιμώντας τις οικονομικές και οικολογικές απώλειες και τις μακροπρόθεσμες συνέπειες. Επίσης, συμβάλλουν στην αξιολόγηση του κινδύνου των δασικών πυρκαγιών, στην καταγραφή της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, στην πρόληψη του φαινομένου και στην αποκατάσταση των πληγέντων περιοχών.

Για παράδειγμα, η πρόληψη των δασικών πυρκαγιών, μπορεί να επιτευχθεί μέσω του συνδυασμού τεχνικών Τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ. Οι περιοχές χαρτογραφούνται και καταχωρούνται ανάλογα με το βαθμό επικινδυνότητας σε γεωβάσεις. Μετά από το στάδιο της δημιουργίας βάσης δεδομένων, μπορεί να ακολουθήσει η μοντελοποίηση του φαινομένου, τόσο για την εκτίμηση και τον εντοπισμό των ζημιών, που προκάλεσαν πυρκαγιές, όσο και για το σχεδιασμό προγραμμάτων προστασίας των δασών.

Οι τηλεπισκοπικές τεχνικές και μέθοδοι δίνουν τη δυνατότητα μελέτης περιοχών μεγάλης ή μικρής κλίμακας. Η ανάκτηση τηλεπισκοπικών δεδομένων, μπορεί να γίνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα, γεγονός που οδηγεί στην αποτελεσματικότερη παρακολούθηση των δασικών πόρων και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Με αυτό τον τρόπο, πολλές από τις μετρήσεις πραγματοποιούνται σε πραγματικό χρόνο, επιτρέποντας ακόμη και την παρακολούθηση της πυρκαγιάς. Από τα τηλεπισκοπικά δεδομένα παράγεται πληροφορία για περιοχές δύσβατες και στις οποίες η πρόσβαση είναι ανέφικτη.

Η διαχείριση των καμένων δασών απαιτεί συνεχή παρατήρηση και παρακολούθηση των πληγέντων περιοχών, καθώς και επαναλαμβανόμενες μεθόδους χαρτογράφησης και ποσοτικοποίησης των ζημιών που έχει υποστεί το περιβάλλον. Η χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης είναι ίσως ο πλέον πρακτικότερος τρόπος για να επιτευχθούν οι σκοποί αυτοί. Με την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων και κυρίως δορυφορικών εικόνων, μπορούν να εξαχθούν σημαντικές πληροφορίες για την καμένη έκταση, όπως το εμβαδό της και η αλλοίωση των φασματικών χαρακτηριστικών της.

Οι καμένες περιοχές μπορούν να εντοπιστούν και να επισημανθούν, μελετώντας τη μεταβολή που παρουσιάζουν οι φασματικές υπογραφές τους πριν από την πυρκαγιά, σε σχέση με τις φασματικές υπογραφές τους μετά από την πυρκαγιά. Η σύγκριση των φασματικών

υπογραφών ενός καμένου τμήματος με αυτές της υπόλοιπης περιοχής, καθιστά πιο διακριτή την περιοχή της πυρκαγιάς. Η βλάστηση, όταν καεί, αλλάζει δραστικά ως προς τη χημική της σύσταση. Η χλωροφύλλη και η περιεχόμενη υγρασία των φυτών μειώνονται. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας της καμένης βλάστησης από αυτή της υγιούς.

Βάσει αυτής της αλλαγής της ανακλαστικότητας, έχουν δημιουργηθεί διάφοροι αλγόριθμοι, οι οποίοι εφαρμόζονται σε δορυφορικά δεδομένα, με σκοπό τη χαρτογράφηση των καμένων περιοχών. Οι παράμετροι, σύμφωνα με τις οποίες διακρίνονται οι διάφορες μεθοδολογίες χαρτογράφησης είναι: 1) ο αριθμός των δορυφορικών σκηνών που χρησιμοποιούνται για την εκτέλεση των εργασιών και 2) το είδος της επεξεργασίας στην οποία υπόκεινται τα δορυφορικά δεδομένα. Για την πρώτη παράμετρο οι μέθοδοι διαχωρίζονται σε δύο είδη, την *uni-temporal* μέθοδο, η οποία στηρίζεται μόνο σε μια εικόνα της περιοχής ενδιαφέροντος μετά την πυρκαγιά και την *bi-temporal*, κατά την πραγματοποίηση της οποίας μελετούνται οι φασματικές μεταβολές, που παρουσιάζουν πολλές απεικονίσεις πριν και μετά την πυρκαγιά (Koutsias et al. 1999; Αθανασίου 2011). Στη δεύτερη παράμετρο, ανήκουν οι μέθοδοι που περιλαμβάνουν σύνθετες προσεγγίσεις, όπως η ταξινόμηση των εικόνων και που χρησιμοποιούν ραδιομετρικούς εμπειρικούς δείκτες όπως οι NDVI, SAVI, LAI και πολλοί άλλοι (Αθανασίου 2011).

1 Τηλεπισκόπηση

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η απεικόνιση αντικειμένων από απόσταση, άρχισε να βρίσκει μεγάλη απήχηση κατά τη διάρκεια του Α' Παγκόσμιου Πολέμου. Τα αναγνωριστικά αεροπλάνα, πετώντας πάνω από τα στρατεύματα και τις δυνάμεις του εχθρού, κατέγραφαν τις κινήσεις του μέσω απλών φωτογραφικών μηχανών. Από τις φωτογραφίες έπαιρναν πληροφορίες για τη θέση και τις ενέργειες του εχθρού (http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/SEMSTS4PVFG_0.html).

Κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, οι τεχνικές βελτιώθηκαν πολύ περισσότερο. Για την προετοιμασία της απόβασης στη Νορμανδία χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες, με σκοπό να χαρτογραφηθούν οι ακτές και να εντοπιστούν τα ευνοϊκότερα σημεία προς απόβαση. Χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι χρησιμοποιήθηκε υπέρυθρο φιλμ, για την ταυτοποίηση της βλάστησης και το διαχωρισμό της από τα δίκτυα, που τοποθετούσαν οι εχθρικές δυνάμεις ως καμουφλάζ (http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/SEMSTS4PVFG_0.html).

Στη δεκαετία του '60 δημιουργήθηκαν φιλμ ευαίσθητα σε διάφορα μήκη κύματος. Τα φιλμ αυτά, χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση διάφορων χαρακτηριστικών του εδάφους όπως οι διάφοροι τύποι βλάστησης. Στη συνέχεια, άρχισε η μεταφορά και συστημάτων Radar από αεροσκάφη.

Το 1960 εκτοξεύθηκε ο πρώτος μετεωρολογικός δορυφόρος (TIROS), με σκοπό την καταγραφή μετεωρολογικών δεδομένων. Ο δορυφόρος αυτός εφοδιάζε καθημερινά τη Μετεωρολογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών, λαμβάνοντας φωτογραφίες, που παρουσίαζαν σχηματισμούς νεφών. Ουσιαστικά, μεγάλη ώθηση δόθηκε στην Τηλεπισκόπηση από το 1960 και μετά. Το γεγονός αυτό, οφείλεται κυρίως στον ψυχρό πόλεμο, ο οποίος ενέτεινε τον ανταγωνισμό στις διαστημικές και δορυφορικές έρευνες και στη δημιουργία της Αμερικάνικης NASA. Με την πάροδο του χρόνου τα δορυφορικά συστήματα καταγραφής, τα οποία αναπτύχθηκαν για στρατιωτικούς σκοπούς, άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε διάφορα επιστημονικά πεδία και εφαρμογές, όπως για παράδειγμα στη χαρτογράφηση χρήσεων γης, στη διαχείριση των οικοσυστημάτων του περιβάλλοντος, στην παρατήρηση και απογραφή καλλιεργειών, στην παρακολούθηση περιβαλλοντικών θεμάτων

κλπ. Ραγδαία ήταν και η εξέλιξη των συστημάτων Radar και των τεχνικών φωτογράφισης στο εγγύς υπέρυθρο και θερμικό κανάλι.

Σταδιακά, έκαναν την εμφάνιση τους νέα δορυφορικά συστήματα με καλύτερη χωρική, ραδιομετρική, φασματική και χρονική διακριτική ικανότητα. Τα συστήματα αυτά αναπτύχθηκαν, βελτιώθηκαν και συνεχίζουν να βελτιώνονται. Πλέον οι λειτουργίες τους, συνδέονται άμεσα με τεχνικές πληροφορικής και αυτοματισμού.

Η ραγδαία ανάπτυξη της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης τις δυο τελευταίες δεκαετίες σε συνδυασμό με τη μείωση του κόστους εκτόξευσης των δορυφορικών συστημάτων, διαχείρισης και επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων, οδήγησε με ταχύ ρυθμό στην πλήρη επικράτηση της, έναντι των άλλων μορφών Τηλεπισκόπησης όπως οι αεροφωτογραφίες (Kartalis et al. 2006).

Η δορυφορική Τηλεπισκόπηση μπορεί να συνεισφέρει σε πλήθος εφαρμογών, όπως στη γεωλογία, στη σεισμολογία, στη δασολογία, στη γεωργία, στην υδρολογία, στην τοπογραφία, στη μετεωρολογία, στη μελέτη της ατμόσφαιρας και του κλίματος, στην ωκεανογραφία, κ.ά. Έτσι, τα περισσότερα από τα παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα μπορούν να μελετώνται και να παρακολουθούνται από δορυφόρους (Kartalis et al. 2006).

Σήμερα, υπάρχουν διάφορα δορυφορικά συστήματα, που καταγράφουν πληροφορία σχεδόν σε όλα τα μέρη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο αριθμός των καναλιών και το μέγεθος της εικονοσηφίδας ποικίλουν, αφού καθορίζονται από τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα που χρησιμοποιείται.

Στην Εικόνα 1, παρουσιάζονται οι σημαντικότεροι σταθμοί στην ιστορία της Τηλεπισκόπησης, όπως αυτοί καταγράφηκαν από τον Campbell για τη χρονική περίοδο 1800-2002.

1800	Discovery of Infrared by Sir W. Herschel
1839	Beginning of Practice of Photography
1847	Infrared Spectrum Shown by J.B.L. Foucault
1859	Photography from balloons
1873	Theory of Electromagnetic Spectrum by J.C. Maxwell
1909	Photography from Airplanes
1916	World War I: Aerial Reconnaissance
1935	Development of Radar in Germany
1940	WW II: Applications of Non-Visible Part of EMS
1950-	Military Research and Development
1959	First Space Photograph of the Earth (Explorer-6)
1960	First TIROS Meteorological Satellite Launched
1970	Skylab Remote Sensing Observations from Space
1971	Launch of Landsat-1 (ERTS-1): MSS sensor
1972-	Rapid Advances in digital image processing
1978	Launch of Seasat (first spaceborne L-band radar)
1982	Launch of Landsat-4: new Generation of Landsat sensors TM
1986	French Commercial Earth Observation Satelliet SPOT
1986	Development Hyperspectral Sensors
1990-	Development High Resolution Spaceborne Systems First Commercial Developments in Remote Sensing
1991	Launch of the first European Remote Sensing Satellite ERS1 (active radar)
1998	Towards Cheap One-Goal Satellite Missions
1999	Launch of EOS-TERRA: NASA Earth Observing Mission
1999	Launch of IKONOS, very high spatial resolution sensor system
2001	Launch of Landsat-7 with new ETM+ sensor
2001	Launch of QuickBird, very high spatial resolution sensor system
2002	Launch of ESA's Envisat with 10 advanced instruments

Εικόνα 1: Οι σημαντικότεροι σταθμοί στην ιστορία της Τηλεπισκόπησης για το χρονικό διάστημα 1800 – 2002 (Θέμελης 2010)

1.2 Οι δορυφόροι Landsat

Το πρώτο δορυφορικό σύστημα που τέθηκε σε ισχύ, ήταν το ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite-1, αργότερα μετονομάστηκε σε Landsat 1) της εταιρίας Landsat. Αποτελείτο από τον πρώτο πολυφασματικό σαρωτή, ο οποίος εκτοξεύθηκε το 1972 και περιλάμβανε τέσσερα φασματικά κανάλια εύρους 100 nm περίπου. Η κάθε εικονομηφίδα του, αντιστοιχούσε σε επιφάνεια γης 80 m x 80 m. Αναπτύχθηκε από τη NASA, με σκοπό την παροχή σχεδόν παγκόσμιας κάλυψης της επιφάνειας της γης, ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Όλα τα μετέπειτα δορυφορικά προγράμματα αναπτύχθηκαν και ελέγχθηκαν βάσει του συγκεκριμένου συστήματος. Στη συνέχεια ακολούθησε η εκτόξευση των δορυφόρων Landsat 2 (1975), Landsat 3 (1978), Landsat 4 (1982), Landsat 5 (1984) και Landsat 7 (1999).

Η συσκευή Return Beam Vidicon (RBV) και ο πολυφασματικός σαρωτής (Multispectral Scanner – MSS), ήταν τα συστήματα, τα οποία έφεραν οι πρώτοι δορυφόροι Landsat 1, 2 και 3, για την καταγραφή εικόνων. Το σύστημα RBV παρείχε δεδομένα υψηλής γεωμετρικής ανάλυσης. Εντούτοις, η φασματική και ραδιομετρική ποιότητα των απεικονίσεων ήταν φτωχή, αφού το χρώμα και η φωτεινότητα των αντικειμένων δεν αποδιδόταν με ακρίβεια. Το αντίθετο συνέβαινε με τα δεδομένα, που παρείχε το σύστημα MSS. Οι απεικονίσεις του χαρακτηρίζονταν από υψηλή φασματική ανάλυση και από χαμηλή γεωμετρική ακρίβεια.

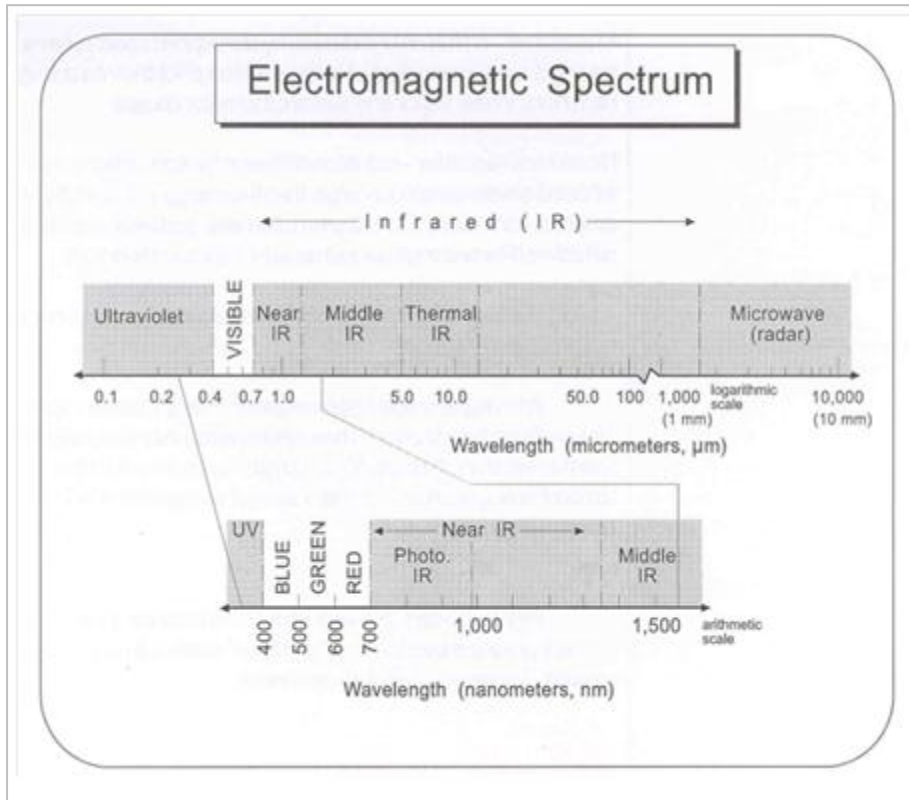
Οι δέκτες που χρησιμοποιήθηκαν για τους δορυφόρους Landsat 4 και 5 ήταν βελτιωμένοι τεχνολογικά σε σχέση με αυτούς των δορυφόρων Landsat 1, 2 και 3. Οι δορυφόροι Landsat 4 και 5 σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να φέρουν ένα σύστημα MSS και ένα “θεματικό χαρτογράφο” (Thematic Mapper – TM), ο οποίος θεωρείται η βελτιωμένη έκδοση του συστήματος MSS. Οι απεικονίσεις που προσφέρει ο “θεματικός χαρτογράφος”, έχουν υψηλή χωρική ανάλυση και λεπτομερή φασματική και ραδιομετρική πληροφορία.

Το 1993 πραγματοποιήθηκε η εκτόξευση του δορυφόρου Landsat 6, η οποία όμως απέτυχε. Ο δορυφόρος Landsat 7 εκτοξεύθηκε στις αρχές του 1999. Η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ετμόσφαιρας των ΗΠΑ (National Ocean and Atmospheric Administration – NOAA) είναι υπεύθυνη για την ομαλή λειτουργία του. Ο δορυφόρος αυτός καταγράφει οκτώ φασματικές ζώνες. Η χωρική διακριτική του ικανότητα στο παγχρωματικό, στο πολυφασματικό και στο θερμικό κανάλι είναι 15 m, 30 m και 60 m αντίστοιχα. Η συλλογή δεδομένων γίνεται με το σύστημα ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), το οποίο αποτελεί βελτιωμένη έκδοση του TM του δορυφόρου Landsat-5.

1.3 Το αντικείμενο της Τηλεπισκόπησης

Τηλεπισκόπηση είναι η αντίληψη αντικειμένων ή φαινομένων από κάποια απόσταση. Ορίζεται ως η επιστήμη συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από ένα στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς την απευθείας επαφή με αυτό (Μερτίκας 2006). Η δορυφορική Τηλεπισκόπηση είναι το πεδίο της Τηλεπισκόπησης, το οποίο περιλαμβάνει διαδικασίες λήψης πληροφοριών από αισθητήρες, που φέρονται από δορυφόρους.

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα θεωρείται η ταξινόμηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σύμφωνα με το μήκος κύματος ή σύμφωνα με τη συχνότητα ή σύμφωνα με την ενέργεια. Το φάσμα αυτό συνήθως εκτείνεται μεταξύ των κοσμικών ακτινών και των ραδιοκυμάτων (Μερτίκας 2006).



Εικόνα 2: Τα τμήματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Χατζημιτσής 2010)

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διακρίνεται στις εξής κατηγορίες:

Πίνακας 1: Τα τμήματα της Ηλεκτρομαγνητικής Ακτινοβολίας

Φασματική Ζώνη	Μήκος κύματος (λ)
Ακτίνες γάμμα	<0,03 nm
Ακτίνες X	0,03 nm – 300 nm
Υπεριώδης ακτινοβολία	300 nm – 380 nm
Ορατό	380 nm – 720 nm
Εγγύς Υπέρυθρο	720 nm – 1300 nm
Μέσο υπέρυθρο	1,30 μm – 3 μm
Άπω Υπέρυθρο	7 μm – 15 μm
Μικροκύματα	0,3 cm – 30 cm
Ραδιοφωνικά κύματα	≥30 cm

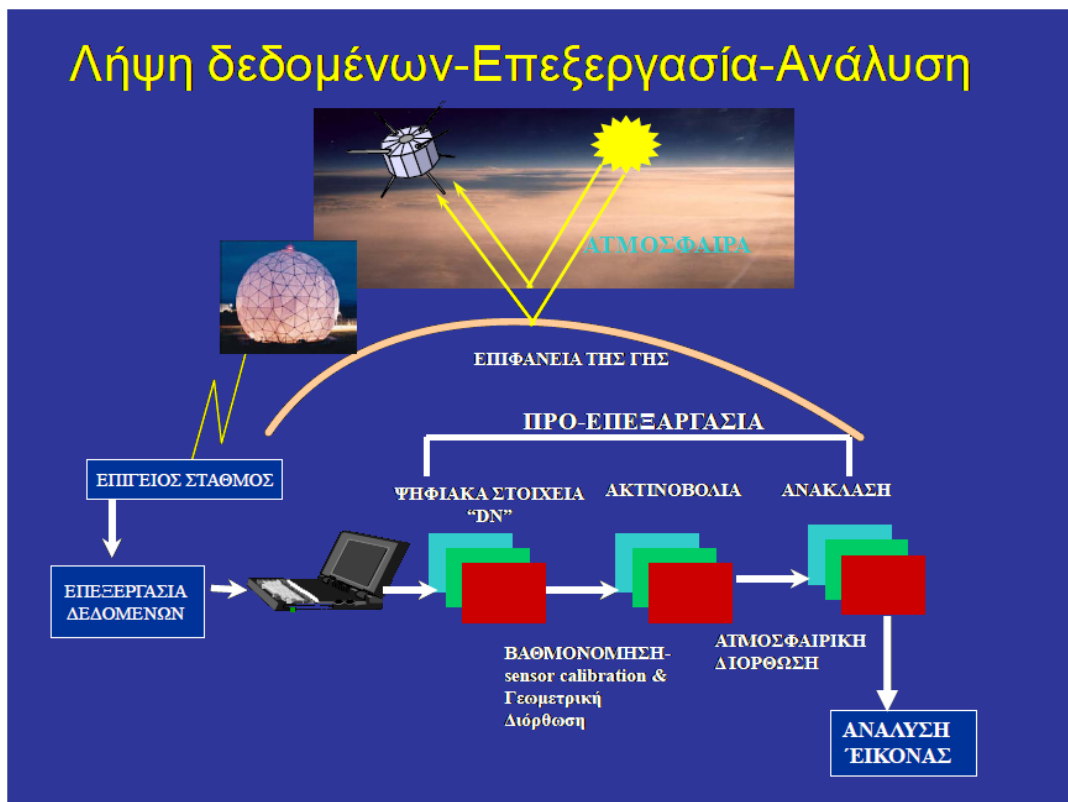
Οι ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές και στα όργανα Τηλεπισκόπησης, είναι η υπεριώδης, η ορατή, η υπέρυθρη και τα μικροκύματα.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από το μήκος του κύματος της και από τη συχνότητα του κύματος αυτού. Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσκρούσει σε ένα αντικείμενο μπορούν να προκύψουν τρεις τύποι αλληλεπίδρασης:

- Ανάκλαση
- Απορρόφηση
- Μετάδοση

Οι ανιχνευτές – δέκτες των δορυφόρων εντοπίζουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, που ανακλάται από ένα συγκεκριμένο στόχο και καταγράφουν – μετρούν την ένταση της στις διαφορετικές ζώνες του φάσματος. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αλληλεπιδρά με τη χημική σύσταση και τη δομή του υλικού, αλλά και με τις φυσικές ιδιότητες της επιφάνειας του όπως είναι η κλίση και η τραχύτητα. Δηλαδή, ο κύριος σκοπός της Τηλεπισκόπησης είναι η μέτρηση και η απεικόνιση της επιφάνειας της γης, η κατανομή των διάφορων αντικειμένων και φαινομένων στο χώρο, καθώς και ο καθορισμός της θέσης και των ιδιοτήτων τους (Μερτίκας 2006). Τηλεπισκοπική απεικόνιση, είναι η εικόνα, που έχει προκύψει από οποιαδήποτε φασματική καταγραφή.

Οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας έχουν σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα των εικόνων. Αυτός είναι και ο λόγος που οι δορυφορικές εικόνες πρέπει να περάσουν από τα στάδια της προ-επεξεργασίας, προτού αξιοποιηθούν. Το πρόβλημα των ατμοσφαιρικών επιδράσεων, επιλύεται με την ατμοσφαιρική διόρθωση. Οι άλλες δύο διορθώσεις, που εφαρμόζονται στις εικόνες, κατά την προ-επεξεργασία τους, είναι η γεωμετρική διόρθωση και η ραδιομετρική. Η ραδιομετρική διόρθωση περιλαμβάνει τη μετατροπή των ψηφιακών τιμών της εικόνας σε μονάδες ακτινοβολίας. Ακολούθως, οι τιμές ακτινοβολίας μετατρέπονται σε τιμές ανακλαστικότητας. Το τελικό προϊόν της διαδικασίας της ραδιομετρικής διόρθωσης είναι μια εικόνα, της οποίας οι εικονοψηφίδες αντιστοιχούν σε τιμές ανακλαστικότητας.



Εικόνα 3: Τα βήματα της προ-εξεργασίας των δορυφορικών εικόνων (Χατζημιτσής 2010)

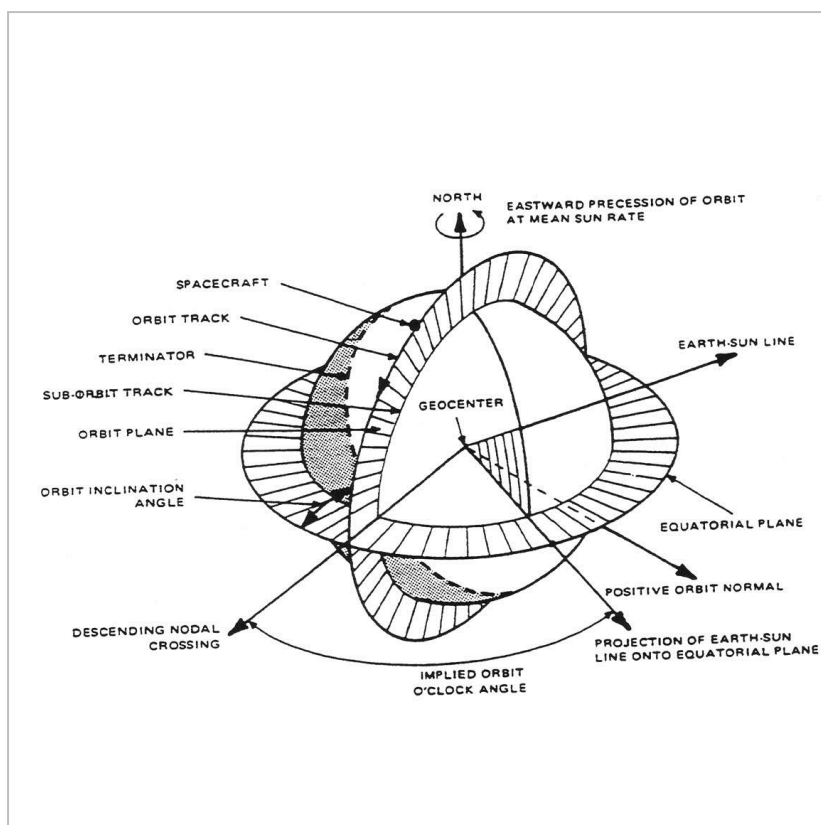
Εξετάζοντας το ανακλώμενο τμήμα σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, μπορεί να παραχθεί η φασματική απόκριση, δηλαδή η φασματική ταυτότητα του αντικειμένου. Κάθε υλικό παρουσιάζει ξεχωριστή κατανομή της ανακλώμενης, εκπεμπόμενης ή απορροφούμενης ακτινοβολίας σε συνάρτηση με το μήκος κύματος λ . Η μελέτη της φασματικής απόκρισης, καθιστά δυνατή τη διάκριση ενός αντικειμένου από κάποιο άλλο. Επίσης, η πληροφορία

αυτή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προσδιορισμό του σχήματος, του μεγέθους και των φυσικών ή χημικών ιδιοτήτων των αντικειμένων. Η μορφή της καμπύλης της φασματικής απόκρισης ενός αντικειμένου συναρτήσει του μήκους κύματος λ , ονομάζεται φασματική ταυτότητα ή φασματική υπογραφή και είναι μοναδική για κάθε αντικείμενο – φαινόμενο (Μερτίκας 2006).

Ένας βασικός τομέας μελέτης, στον οποίον χρησιμοποιείται ευρέως η Τηλεπισκόπηση, είναι αυτός της βλάστησης. Τα μέσα της Τηλεπισκόπησης δίνουν τη δυνατότητα της παρακολούθησης της υγείας των φυτών, της μελέτης των βιολογικών υλικών τους, καθώς και της παρατήρησης της δυναμικής συμπεριφοράς της βλάστησης μέσω του κύκλου ανάπτυξής της. Οι φασματικές υπογραφές της βλάστησης είναι χαρακτηριστικές, διευκολύνοντας έτσι τον εντοπισμό των μεταβολών της.

Μέσω της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης, είναι δυνατόν, να παραχθούν πληροφορίες ακόμη και για ολόκληρο τον πλανήτη. Οι αισθητήρες που τοποθετούνται στους τηλεσκοπικούς δορυφόρους, έχουν συνήθως χαμηλή τροχιά, με τα ύψη τους να κυμαίνονται από 500 km ως 900 km πάνω από τη γη. Οι περισσότεροι από αυτούς φέρουν παθητικούς δέκτες, οι οποίοι καταγράφουν στις φασματικές ζώνες του ορατού και σε μια ή περισσότερες φασματικές ζώνες του υπέρυθρου. Οι παθητικοί αισθητήρες ανιχνεύουν το ανακλώμενο φως και τη θερμότητα μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας. Για το λόγο αυτό, οι δορυφόροι πραγματοποιούν ηλιοσύγχρονες, σχεδόν πολικές τροχιές και είναι ρυθμισμένοι να περνούν πάνω από συγκεκριμένη περιοχή, την ίδια ηλιακή ώρα κάθε φορά.

Κατά την πραγματοποίηση μιας ηλιοσύγχρονης τροχιάς, ο δορυφόρος διέρχεται πάνω από τον κάθε παράλληλο της γης, σε ίδιο τοπικό χρόνο περίπου. Οι τροχιές αυτές είναι προσανατολισμένες, έτσι ώστε το τροχιακό επίπεδο του δορυφόρου να διατηρεί σταθερή γωνία με την ηλιακή δέσμη. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζονται οι ίδιες συνθήκες φωτισμού για τις απεικονίσεις μιας συγκεκριμένης περιοχής. Για παράδειγμα, οι δορυφόροι Landsat κινούνται από το Βορρά προς το Νότο κατά τη διάρκεια της μέρας και από το Νότο προς το Βορρά κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Εικόνα 4: Η ηλιοσύγχρονη τροχιά των δορυφόρων Landsat (<http://landsat.gsfc.nasa.gov/images/sun-sync.html>)

Οι δέκτες, οι οποίοι είναι παθητικοί και βασίζονται στην ανακλώμενη ηλιακή ενέργεια, πραγματοποιούν μετρήσεις μόνο κατά την κατιούσα τροχιά. Αντίθετα οι δορυφόροι που φέρουν ενεργητικούς δέκτες και δέκτες θερμικής ακτινοβολίας, μπορούν να λάβουν δεδομένα και μετρήσεις, χωρίς να εξαρτώνται από τον ηλιακό φωτισμό.

Γενικά, οι δέκτες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τους ενεργητικούς δέκτες και τους παθητικούς δέκτες. Ενεργητικοί δέκτες, είναι οι δέκτες Radar. Ο δέκτης λαμβάνει και καταγράφει την ανακλώμενη ενέργεια, την οποία ο ίδιος εκπέμπει. Τα ενεργητικά συστήματα καταγράφουν κυρίως στην περιοχή των μικροκυμάτων. Πλεονέκτημα των δεκτών αυτών, αποτελεί το γεγονός ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν και κατά τη διάρκεια της νύχτας, αλλά και κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες.

Οι παθητικοί – οπτικοί δέκτες βασίζονται στην ύπαρξη εξωτερικής πηγής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, όπως είναι για παράδειγμα ο ήλιος. Καταγράφουν στις περιοχές του ορατού φάσματος, του υπέρυθρου φάσματος και του θερμικού. Ο σκοπός για

τον οποίο θα χρησιμοποιηθεί η απεικόνιση καθορίζει και την περιοχή του φάσματος, στην οποία θα γίνουν οι μετρήσεις.

Μερικοί από τους δορυφόρους, που φέρουν ενεργητικούς δέκτες – Radar είναι οι δορυφόροι ERS (European Remote Sensing Satellite), Radarsat (Canada) κ.α. Οι δορυφόροι Landsat, SPOT, NOAA, IRS, IKONOS φέρουν παθητικούς δέκτες.

Η ποιότητα των δορυφορικών εικόνων συνίσταται από τους εξής τύπους διακριτικής ικανότητας:

➤ Χωρική

Εξαρτάται από το μέγεθος του εικονοστοιχείου της εικόνας.

➤ Φασματική

Η φασματική διακριτική ικανότητα καθορίζεται από το εύρος των περιοχών του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, στις οποίες καταγράφουν οι αισθητήρες.

➤ Ραδιομετρική

Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα προκύπτει από τον αριθμό των επιπέδων διαβάθμισης της έντασης της ακτινοβολίας, που παρουσιάζει μια εικόνα. Εκφράζεται σε bits και οι τιμές της κυμαίνονται στο διάστημα 8-14 bits.

➤ Χρονική

Η χρονική διακριτική ικανότητα καθορίζεται από τη συχνότητα, με την οποία λαμβάνει μετρήσεις ένας δορυφόρος.

2 Δάση και δασικές πυρκαγιές

2.1 Δομή και διάρθρωση των δασών

Το δάσος αποτελεί ένα πολύπλοκο και πολυσύνθετο σύστημα. Συνήθως, κάθε δάσος διαφέρει από τα υπόλοιπα. Αυτό οφείλεται στη διαφορετικότητα της φυσικής βλάστησης, που συναντάται σε αυτό καθώς και στη μοναδικότητα του οικοσυστήματος, που έχει δημιουργηθεί εκεί. Κάθε περιοχή που φιλοξενεί ένα τέτοιο σύνολο, χαρακτηρίζεται από μια συγκεκριμένη δομή και από συγκεκριμένες λειτουργίες και αλληλεπιδράσεις. Τα πιο πάνω συμβάλλουν στη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας (Χρονοπούλου 2007; Ντάφης 1998).

2.1.1 Οριζόντια διάρθρωση του δάσους

Ένα δάσος δε θεωρείται ενιαίο και ομοιόμορφο σε ολόκληρη την επιφάνεια του. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, αποτελείται από μια ποικιλία ειδών βλάστησης, τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους ηλικιακά και δομικά. Σύμφωνα με το Ντάφης 1998, οι επιφάνειες οι οποίες συνθέτουν ένα δάσος, διακρίνονται ανάλογα με την έκταση που καταλαμβάνουν και την οικολογική τους ιδιομορφία, σε συστάδες, λόχμες, ομάδες, συνδενδρίες και διάσπαρτα δέντρα.

➤ Συστάδα

Συστάδα θεωρείται μια επιμέρους δασική επιφάνεια, η οποία όσον αφορά τη δομή, τη σύνθεση, την ηλικία των δέντρων και τις συνθήκες αύξησης της, διαφέρει από το υπόλοιπο δάσος που την περιβάλλει και η οποία έχει τόση έκταση, ώστε να αποτελεί αντικείμενο ιδιαίτερου δασοκομικού χειρισμού. Ανάλογα με την έκταση της, διακρίνεται σε μικρή (0,3 – 1,0 ha) ή μεγάλη (> 1,0 ha).

➤ Λόχμη

Η λόχμη διακρίνεται όπως και η συστάδα, αλλά δεν μπορεί να αποτελέσει αντικείμενο για έναν ιδιαίτερο δασοκομικό χειρισμό, παρόλο που εμφανίζει ξεχωριστό χαρακτήρα. Αυτό οφείλεται στο ότι η συστάδα έχει μικρότερη επιφάνεια, αφού η έκταση της αντιστοιχεί σε ισοδύναμη κυκλική επιφάνεια με διάμετρο ίση με ένα έως δύο ύψη δέντρων.

➤ Ομάδα

Η ομάδα επίσης διακρίνεται, αλλά έχει πολύ μικρή επιφάνεια (η έκταση της αντιστοιχεί σε ισοδύναμη κυκλική επιφάνεια με διάμετρο μικρότερη από το ανώτερο μέσο ύψος της συστάδας) και οικολογικά δε διατηρεί ξεχωριστό χαρακτήρα.

➤ **Συνδενδρία**

Η συνδενδρία, ορίζεται ως η ομάδα με λίγα γειτονικά δέντρα, τα οποία διαφέρουν από τη συστάδα που τα περιβάλλει, όσον αφορά την ηλικία, τη σύνθεση σε δασοπονικά είδη ή τη δομή.

➤ **Διάσπαρτα δέντρα**

Διάσπαρτα δέντρα αποτελούν τα μεμονωμένα δέντρα, τα οποία βρίσκονται διασκορπισμένα μέσα στη συστάδα και τα οποία διαφέρουν από τα υπόλοιπα δέντρα.

2.1.2 Κατακόρυφη διάρθρωση του δάσους

Η κατακόρυφη διάρθρωση του δάσους διακρίνεται στην ορόφωση και τη συγκόμωση των συστάδων (Χρονοπούλου 2007; Ντάφης 1998).

➤ **Ορόφωση**

Το προφίλ μιας συστάδας διαχωρίζεται σε περισσότερους από έναν ορόφους. Ανάλογα με τον αριθμό των ορόφων, οι συστάδες διακρίνονται σε μονώροφες, διώροφες, τριώροφες και πολυώροφες.

Στις μονώροφες συστάδες οι κορυφές των δέντρων βρίσκονται σχεδόν στο ίδιο επίπεδο. Αντίστοιχα στις διώροφες συστάδες, οι κόμμες των δέντρων βρίσκονται σε δύο διαφορετικά επίπεδα. Οι συστάδες παρουσιάζουν περισσότερους από ένα ορόφους, είτε επειδή η ηλικία ομοειδών δέντρων είναι διαφορετική, άρα η δομή είναι προσωρινή και χάνεται με την πάροδο του χρόνου (η συστάδα εξελίσσεται σταδιακά σε μονώροφη), είτε λόγω μίξης δέντρων, που ανήκουν σε διαφορετικές κατηγορίες ύψους και άρα η ορόφωση είναι μόνιμη.

Συνήθως θεωρείται, κυρίως για πρακτικούς λόγους, ότι η κατακόρυφη δομή του δάσους αποτελείται από έξι ορόφους. Τα ιστάμενα δέντρα έχουν τρεις ορόφους: τον ανώροφο, το μεσώροφο και τον υπόροφο.

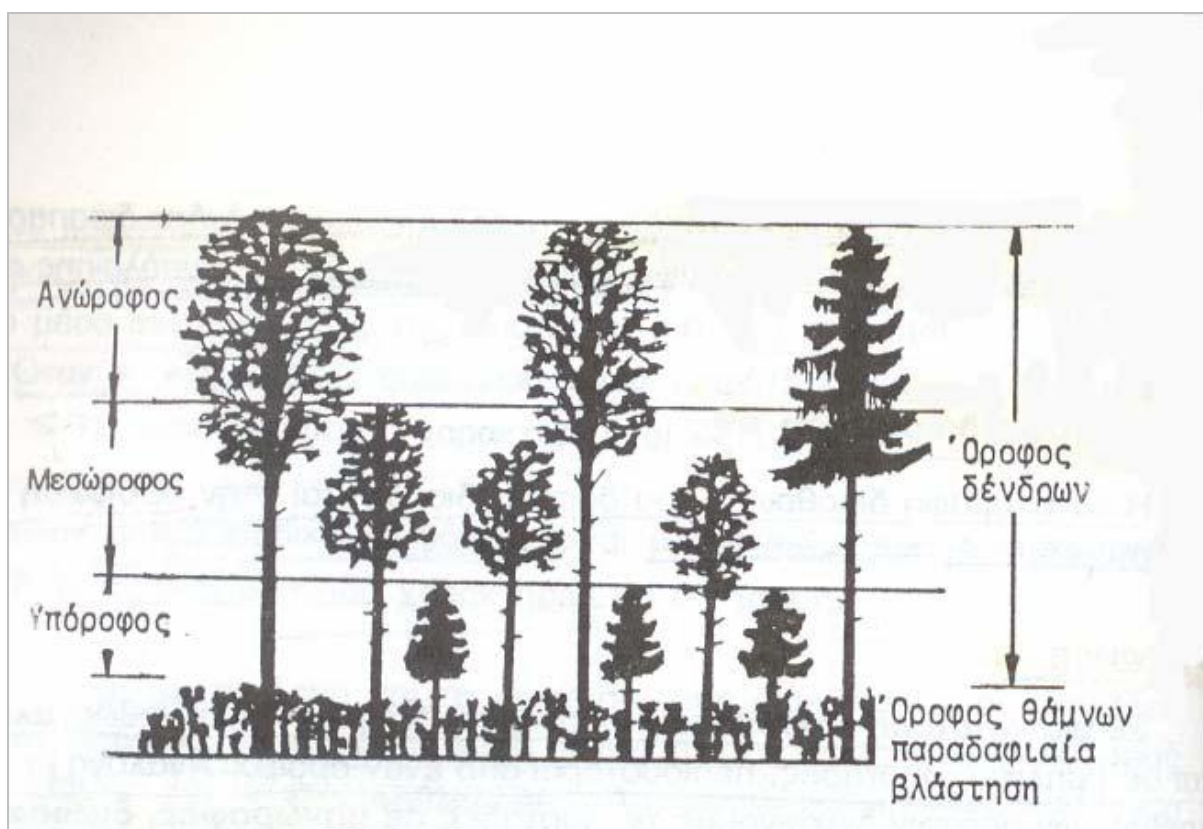
Στον ανώροφο ανήκουν τα ψηλότερα δέντρα, των οποίων το ύψος είναι μεγαλύτερο από τα $2/3$ του μέσου ανώτερου ύψους της συστάδας (μέσο ύψος των δέκα υψηλότερων δέντρων στο στρέμμα). Ο μεσώροφος δημιουργείται από δέντρα, των οποίων το ύψος κυμαίνεται από τα $2/3$ έως το $1/3$ του μέσου ανώτερου ύψους. Τέλος τα δέντρα που

ανήκουν στον υπόροφο έχουν ύψος μικρότερο από το 1/3 του μέσου ανώτερου ύψους, αλλά μεγαλύτερο από το ύψος των θάμνων (3 – 4 m).

Ο όροφος των θάμνων, ο όροφος των ποών και γραστέων και ο όροφος των βρύων αποτελούν τους υπόλοιπους τρεις ορόφους. Οι δύο τελευταίοι δημιουργούν την παραδαφιαία βλάστηση.

➤ Συγκόμωση

Συγκόμωση ορίζεται ως ο τρόπος με τον οποίο παρατίθενται οι κόμες των δέντρων καθώς και ο βαθμός σκίασης του εδάφους.



Εικόνα 5: Η κατακόρυφη διάρθρωση του εδάφους (Ντάφης 1998)

2.2 Οφέλη από τα δάση

Μερικά από τα οφέλη των δασών είναι τα εξής:

- Τα δάση επιδρούν στη θερμοκρασία του εδάφους και της ατμόσφαιρας, συμβάλλοντας στη διαμόρφωση του κλίματος.

- Συμμετέχουν στον κύκλο του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα επιφέροντας την απαιτούμενη ισορροπία.
- Εμποδίζουν την άμεση επίδραση του νερού της βροχής με την επιφάνεια του εδάφους, δηλαδή εμποδίζουν τη διάβρωση (συνεπώς και την υποβάθμιση) των εδαφών, περιορίζουν τις πλημμύρες και μειώνουν την εξάτμιση του νερού της βροχής.
- Επιπλέον, εμπλουτίζουν τον υπόγειο υδροφορέα και έχουν μεγάλη ταμειυτική ικανότητα, συγκρατώντας το νερό κατά την περίοδο βροχών.
- Παρέχουν πρώτες ύλες και αποτελούν ανανεώσιμο φυσικό πόρο, με μεγάλη οικονομική σημασία. Η εκμετάλλευση του ξύλου των δασών, πρέπει να γίνεται με βάση τις αρχές της αειφορικής διαχείρισης, έτσι ώστε να μην προκαλούνται ζημιές στα διάφορα οικοσυστήματα.
- Εξασφαλίζουν τις κατάλληλες συνθήκες, για την προστασία και τη διατήρηση της πανίδας και της χλωρίδας.
- Στις δασικές περιοχές, όπως και σε πολλές άλλες περιοχές, που υπάρχει πλούσια βλάστηση, παρατηρείται το φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής, κατά το οποίο παράγονται υδρατμοί. Οι υδρατμοί αυτοί απορροφούν μεγάλο ποσοστό της ακτινοβολίας, που εκπέμπεται προς τη γη.

2.3 Δασικές πυρκαγιές – Απειλή για τα δάση

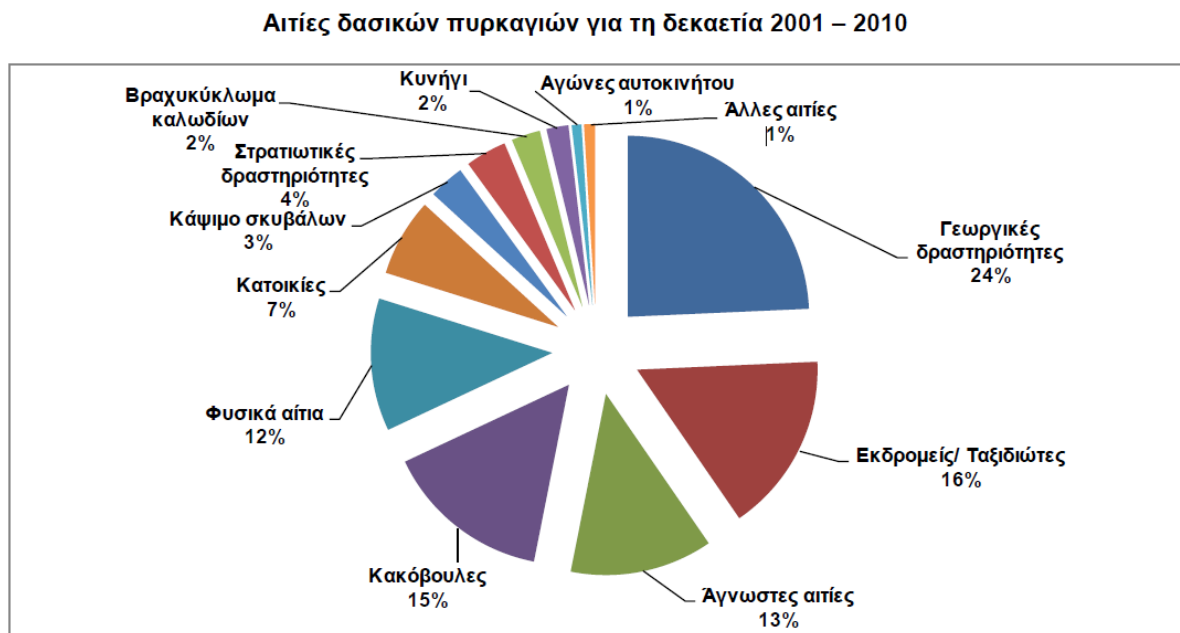
Η Κύπρος είναι μια χώρα, μικρή σε έκταση. Εντούτοις, παρουσιάζει σοβαρά οικολογικά προβλήματα. Ένα από αυτά είναι οι πυρκαγιές, που καταστρέφουν σημαντικούς φυσικούς πόρους του νησιού και συγκεκριμένα τα δάση και αποτελούν τη μεγαλύτερη απειλή για την ύπαρξη των δασών.

2.3.1 Τα αίτια των δασικών πυρκαγιών

Οι πυρκαγιές προκαλούνται είτε εσκεμμένα, είτε από αμέλεια. Τα αίτια προκύπτουν από τις διεργασίες φυσικών φαινομένων ή από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Στην Κύπρο σύμφωνα με τις στατιστικές, 9 στις 10 πυρκαγιές οφείλονται στον άνθρωπο (Τμήμα Δασών Κύπρου). Υπάρχει ένα ευρύ φάσμα παραγόντων, που συμβάλει στην αύξηση του κινδύνου δασικών πυρκαγιών στην Κύπρο, όπως είναι οι ψηλές θερμοκρασίες και η παρατεταμένη ξηρασία, οι δυνατοί άνεμοι, οι μεγάλες κλίσεις των δασικών εδαφών και η εύφλεκτη ξηροφυτική βλάστηση. Ένας άλλος επίσης σημαντικός παράγοντας, είναι και η συσσώρευση

βιομάζας, λόγω της εγκατάλειψης πολλών αγροτικών περιοχών. Ο αυξανόμενος τουρισμός και η μαζική έξοδος των κατοίκων των πόλεων για αναψυχή στα δάση, συμβάλουν επίσης σημαντικά στην αύξηση του κινδύνου πρόκλησης πυρκαγιών.

Στο πιο κάτω διάγραμμα (Εικόνα 6) παρουσιάζεται το ποσοστό ευθύνης, που αντιστοιχεί σε κάθε αιτία πρόκλησης πυρκαγιάς στην Κύπρο για το χρονικό διάστημα 2001-2010 (Τμήμα Δασών Κύπρου). Όπως παρατηρείται η κύρια αιτία δασικών πυρκαγιών είναι οι γεωργικές δραστηριότητες.



Εικόνα 6: Αιτίες δασικών πυρκαγιών στην Κύπρο για τη χρονική περίοδο 2001-2010 (Τμήμα Δασών Κύπρου)

A. Φυσικά αίτια

Οι κερανοί είναι ένα από τα φυσικά αίτια που προκαλούν τις πυρκαγιές. Συνήθως, πέφτουν σε δύσβατες και απρόσιτες περιοχές, παρατείνοντας έτσι το χρόνο που μεσολαβεί για την κατάσβεση της πυρκαγιάς. Ένα άλλο φυσικό αίτιο, από το οποίο προκύπτουν φωτιές είναι οι εκρήξεις ηφαιστειών.

B. Πυρκαγιές από αμέλεια

Οι πυρκαγιές αυτής της κατηγορίας προκαλούνται από:

- διάφορες γεωργικές δραστηριότητες και κυρίως το κάψιμο ξερών χόρτων, καλαμιών
- την απόρριψη αναμμένων τσιγάρων και σπύρων

- το άναμμα φωτιάς σε μη επιτρεπόμενους χώρους
- το κάψιμο σκουπιδιών σε μη οργανωμένους σκυβαλοτόπους
- στρατιωτικές ασκήσεις
- δραστηριότητες κυνηγών κυρίως κατά τους θερινούς μήνες
- διάφορες δραστηριότητες σε εξοχικές κατοικίες όπως η χρήση ηλεκτρικών εργαλείων
- βραχυκύκλωμα ηλεκτροφόρων καλωδίων
- εγκατάλειψη φωτιάς

Γ. Πυρκαγιές από πρόθεση

Οι εμπρηστές επιλέγουν να βάλουν φωτιά, τη χρονική στιγμή, που οι συνθήκες θα ευνοήσουν τη διάδοση και την εξάπλωση της φωτιάς. Συνεπώς, οι πυρκαγιές που προκαλούνται από εγκληματικές ενέργειες είναι οι πιο καταστροφικές. Συνήθως αποσκοπούν στην οικοπεδοποίηση, στη δημιουργία βοσκοτόπων, ή στο να πλήξουν την ασφάλεια και τον τουρισμό μιας περιοχής. Οι εμπρησμοί προκαλούνται και για λόγους αντεκδίκησης.

Δ. Άγνωστα αίτια

Υπάρχουν περιπτώσεις πυρκαγιών, που δεν μπορούν να εξηγηθούν ή να αποδειχθούν.

2.3.2 Παράγοντες που επιδρούν στην έναρξη και τη διάδοση της φωτιάς

Α. Μετεωρολογικές συνθήκες

Οι μετεωρολογικές συνθήκες είναι ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία, που ευνοούν την έναρξη πυρκαγιάς. Η ένταση της πυρκαγιάς και η ταχύτητα εξάπλωσης της εξαρτάται από αυτές. Καιρικά φαινόμενα που επηρεάζουν την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς, είναι οι βροχοπτώσεις, ο άνεμος, η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία του αέρα.

Μέσω των βροχοπτώσεων το έδαφος υγραίνεται, λειτουργώντας σαν κατασταλτικός παράγοντας για τη φωτιά. Παρόλα αυτά, οι χαμηλές βροχοπτώσεις δεν βοηθούν σημαντικά στο να αυξηθεί η περιεχόμενη υγρασία της βλάστησης, διότι επέρχεται γρήγορα η ξήρανση. Τα πιο πάνω καθορίζονται και από τη διάρκεια των βροχοπτώσεων και από τις καιρικές συνθήκες, που ακολουθούν μετά από αυτές.

Η δύναμη και η κατεύθυνση του ανέμου, όταν προκληθεί μια φωτιά, καθορίζουν τόσο την ένταση της, όσο την ταχύτητα και την αναζωπύρωση της. Το οξυγόνο που περιέχει ο άνεμος,

τροφοδοτεί την πυρκαγιά κατά την έναρξή της, η οποία εξαπλώνεται και διατηρείται. Η φωτιά κινείται επηρεαζόμενη από τη συμπεριφορά του ανέμου σε συνδυασμό με τις κλίσεις του εδάφους. Επιπλέον, ο άνεμος μεταφέρει την καιγόμενη βιομάζα (καύτρες) σε άλλα σημεία, δημιουργώντας νέα μέτωπα φωτιάς (σημειακές φωτιές), έξω από την περίμετρο της κύριας πυρκαγιάς. Η επικινδυνότητα αυξάνεται, όταν στην περιοχή παρουσιάζονται ξηροί άνεμοι.

Οι αυξημένες θερμοκρασίες, κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για την έναρξη και διάδοση της πυρκαγιάς. Συνήθως, οι πυρκαγιές προκαλούνται κατά τις μεσημεριανές ώρες, όταν δηλαδή η θερμοκρασία αυξάνεται, ο αέρας γίνεται θερμότερος και οι τιμές της σχετικής υγρασίας μειώνονται. Συνεπώς, η συχνότητα των πυρκαγιών μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή.

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει τη συχνότητα των δασικών πυρκαγιών, είναι η σχετική υγρασία του αέρα. Όταν η σχετική υγρασία του αέρα είναι μικρότερη από την υγρασία της υπάρχουσας καύσιμης ύλης, ο ατμοσφαιρικός αέρας εξατμίζει το νερό που περιέχεται στο έδαφος και στις άλλες επιφάνειες, που είναι εκτεθειμένες σε αυτόν. Η αλλαγή της υγρασίας της καύσιμης ύλης, όταν αυτή αποτελείται από ξηρές βελόνες, πεσμένα φύλλα, ξερά χόρτα, κλαδάκια κλπ. επέρχεται μέσα σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Έχει διαπιστωθεί ότι οι υψηλές τιμές σχετικής υγρασίας περιορίζουν την έκταση της πυρκαγιάς (Αντωνίου 2011).

Οι πιο πάνω παράγοντες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους και λειτουργούν αθροιστικά. Η ενδυνάμωση ή η αναχαίτιση της πυρκαγιάς εξαρτάται από αυτή την αλληλεπίδραση.

B. Τοπογραφικές συνθήκες

Η υγρασία και η θερμοκρασία διαφοροποιούνται ανάλογα με το υψόμετρο. Γενικά, η διαμόρφωση της βλάστησης μεταβάλλεται με την αύξηση του υψομέτρου (αύξηση της έντασης της ηλιακής ακτινοβολίας). Αυτός είναι και ο λόγος, που κατά την περίοδο του καλοκαιριού η πράσινη βλάστηση παρουσιάζεται μόνο στα μεγάλα υψόμετρα. Δηλαδή, εάν εκδηλωθεί πυρκαγιά σε ένα σχετικά ψηλό υψόμετρο, ακόμη και κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μέρων, η επαρκής ποσότητα υγρασίας που περιέχεται στη βλάστηση, θα καθυστερήσει τη διάδοση της.

Η θέση της πλαγιάς ως προς το επίπεδο του ορίζοντα, δηλαδή ο προσανατολισμός, είναι πολύ σημαντικός για την εξέλιξη της πυρκαγιάς. Ο παράγοντας αυτός είναι σχετικός με την

περιεκτικότητα της επιφάνειας σε υγρασία. Οι πλαγιές που έχουν νότιο προσανατολισμό, είναι ξηρότερες από αυτές που έχουν βόρειο προσανατολισμό. Η δασική ύλη ξηραίνεται γρηγορότερα, όταν ο προσανατολισμός της πλαγιάς είναι νότιος, δυτικός ή νοτιοδυτικός.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω η κλίση του εδάφους, επηρεάζει την ταχύτητα, με την οποία θα κινηθεί η πυρκαγιά. Η φωτιά εξαπλώνεται ταχύτερα, όταν το έδαφος παρουσιάζει μεγάλη κλίση. Το αντίθετο συμβαίνει όταν η κλίση του εδάφους είναι μικρή. Για παράδειγμα όταν η φωτιά ανεβαίνει σε έδαφος με μεγάλη κλίση, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, που αναπτύσσεται στα κατώτερα τοπογραφικά σημεία, παρατηρείται ξήρανση στα ανώτερα σημεία και συνεπώς διευκόλυνση της εξάπλωσης της φωτιάς. Επιπλέον, η υγρασία ενός εδάφους με μεγάλη κλίση, ελαττώνεται σε σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, αφού το νερό απορρέει γρηγορότερα.

Η μορφολογία του εδάφους επηρεάζει τη συμπεριφορά της φωτιάς, η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με το που βρίσκεται. Για παράδειγμα, τα χαρακτηριστικά ενός κάμπου ευνοούν τη διάδοση μιας πυρκαγιάς. Όταν η μορφολογία του εδάφους παρουσιάζει πολυπλοκότητα (φαράγγια και κορυφές βουνών), η πρόσβαση της φωτιάς στο χώρο περιορίζεται κατά πολύ (Αντωνίου 2011).

Γ. Χαρακτηριστικά της καύσιμης ύλης

Η εξέλιξη της πυρκαγιάς δεν εξαρτάται μόνο από τις μετεωρολογικές και τοπογραφικές συνθήκες μια περιοχής. Η φωτιά επηρεάζεται από τη σύνθεση, την ποιότητα και την ποσότητα της καύσιμης ύλης. Στην περίπτωση των δασικών πυρκαγιών, καύσιμη ύλη είναι η δασική βιομάζα, η οποία αποτελείται κυρίως από τα είδη της χλωρίδας του οικοσυστήματος, το νεκρό οργανικό υλικό που βρίσκεται στο έδαφος και την περιεχόμενη υγρασία όλων αυτών. Επιπλέον, η ποσότητα της καύσιμης ύλης αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα. Σε περιπτώσεις που υπάρχει στο έδαφος παχύ στρώμα ανόργανης ύλης, τότε η υγρασία διατηρείται σε υψηλά επίπεδα. Ως καύσιμη ύλη δε θεωρείται όλη η δασική βιομάζα. Η εμφάνιση και η διάδοση μιας πυρκαγιάς, εξαρτάται από το ύψος, την πυκνότητα και την περιεχόμενη υγρασία της βλάστησης, αλλά και από το μέγεθος, το σχήμα, το είδος και τη χημική σύσταση της καύσιμης δασικής ύλης. Όσο πιο ομοιόμορφη και συνεχόμενη είναι η κατανομή της καύσιμης ύλης, τόσο μεγαλύτερη και γρηγορότερη ανάφλεξη προκαλείται, οδηγώντας σε πλήρη καύση.

Το κλίμα της Κύπρου χαρακτηρίζεται από παρατεταμένα ξηρά καλοκαίρια και ισχυρούς ανέμους. Σε συνδυασμό με την εύφλεκτη ξηρή βλάστηση αποτελούν τους κύριους παράγοντες που ευνοούν την εκδήλωση και διάδοση των πυρκαγιών (Τμήμα Δασών Κύπρου).

Δ. Θερμοκρασία

Κατά την εξέλιξη μιας πυρκαγιάς, η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του εδάφους, καθορίζεται από τη μορφή και το είδος της καύσιμης ύλης, από την ένταση της πυρκαγιάς και από τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες του εδάφους (π.χ. αμμώδες ή βραχώδες). Η ύπαρξη φυλλοτάπητα (οργανικών ουσιών) στο έδαφος με αυξημένη υγρασία, εμποδίζει τη μετάδοση της θερμοκρασίας στα βαθύτερα στρώματα.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι όσο πιο αργά προχωρά μια πυρκαγιά, τόσο περισσότερο αυξάνεται η θερμοκρασία του εδάφους. Το αντίθετο συμβαίνει, όταν η πυρκαγιά διαδίδεται με γοργούς ρυθμούς.

2.3.3 Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών στο φυσικό περιβάλλον

Τα κυριότερα οικολογικά επακόλουθα των πυρκαγιών είναι η υποβάθμιση του περιβάλλοντος και η καταστροφή της βιοποικιλότητας.

Οι δασικές πυρκαγιές, συμβάλλουν στη σταδιακή ερημοποίηση των περιοχών. Η υποβάθμιση των δασών, αρχίζει με την πρώτη πυρκαγιά. Τα δάση μετατρέπονται σε θαμνότοπους. Όταν οι πυρκαγιές επαναλαμβάνονται συνεχώς σε μια περιοχή, εμποδίζουν την ανάκαμψη της και οδηγούν στην πλήρη υποβάθμιση της παραγωγικής της ικανότητας.

Οι ζημιές γίνονται ανεπανόρθωτες όταν μετά από μια φωτιά, ακολουθήσει βόσκηση. Έχει αποδειχθεί ότι η υπερβόσκηση μιας καμένης έκτασης, οδηγεί στην τέλεια καταστροφή της. Αποτέλεσμα αυτού είναι η παρεμπόδιση της φυσικής αναγέννησης. Το χώμα παρασύρεται, η περιοχή συνήθως ερημώνεται ή βραχοποιείται και περιορίζεται η αισθητική ομορφιά της περιοχής. Αυτά οφείλονται και στην εσφαλμένη διαχείριση του περιβάλλοντος.

Όσες πυρκαγιές δεν προκαλούνται για σκοπούς ενδυνάμωσης της βλάστησης, στα πλαίσια διαχειριστικών προγραμμάτων, υποβαθμίζουν το περιβάλλον και διαταράσσουν την ισορροπία του οικοσυστήματος. Καταστρέφουν την πανίδα του δασικού οικοσυστήματος, και μεταβάλλουν το βιοτικό (φυτά, ζώα) και αβιοτικό περιβάλλον (θερμοκρασία, φως, αέρας,

βροχή, χιόνι). Οι πυρκαγιές που συμβαίνουν στα μεσογειακά οικοσυστήματα, δημιουργούν διαφορετικές συνθήκες, που ευνοούν συνήθως τη δημιουργία νέων ειδών, φτωχότερων από τα προηγούμενα.

Οι πυρκαγιές επιδρούν στις φυσικοχημικές ιδιότητες του εδάφους, στην παραγωγικότητα του, και στη μερική ή ολική παράσυρση του από τις βροχές (Ρήγα 2010). Ο βαθμός της επίδρασης αυτής, καθορίζεται κυρίως από την ένταση της φωτιάς. Η φωτιά προκαλεί την καταστροφή της υπέργειας βιομάζας και τη δραστική μείωση της ποσότητας οργανικής ουσίας στην επιφάνεια του εδάφους. Το έδαφος υποβαθμίζεται με την απώλεια της οργανικής ύλης, των θρεπτικών στοιχείων και του αζώτου. Οι υδρόφοβες ουσίες που συγκεντρώνονται στο επιφανειακό στρώμα μετά τη φωτιά, επηρεάζουν τη διαπερατότητα του εδάφους και ενισχύεται η διάβρωση από τον άνεμο και τη βροχή (Ραδόγλου 1999).

Μετά από μεγάλες πυρκαγιές, όπου η βλάστηση έχει καεί ολοσχερώς, παρατηρείται αύξηση της επιφανειακής ροής, μεταφορά στερεών υλικών και δημιουργία πλημμύρων και χείμαρρων. Έμμεσο αποτέλεσμα θεωρείται η διάβρωση, η οποία εξαρτάται από το βαθμό καταστροφής της βλάστησης, την κλίση, το ποσοστό διαπερατότητας του εδάφους, το κλίμα όπως και την ταχύτητα αποκατάστασης ή επανεγκατάστασης της βλάστησης. (Χρονοπούλου 2007; Καϊλίδης 1993)

Οι δασικές πυρκαγιές μικρής έντασης δεν προκαλούν αλλοιώσεις στη δομή του εδάφους. Επιταχύνουν τη διαδικασία της ανακύκλωσης, επιστρέφοντας τα θρεπτικά συστατικά ξανά στο έδαφος. Σε περιπτώσεις όμως, που η πυρκαγιά καταστρέφει ψηλά δάση ή πυκνά θαμνώδη δάση, των οποίων η καύσιμη ύλη και το έδαφος περιέχει μικρό ποσοστό σχετικής υγρασίας, σε συνδυασμό με μεγάλης έντασης ανέμους, το αποτέλεσμα είναι καταστροφικό. Η θερμοκρασία καύσης στην επιφάνεια του εδάφους αυξάνεται σε τέτοιο βαθμό, ώστε να καταστρέφει όλο το οργανικό υλικό καθώς και τη δομή του εδάφους. Μια από τις συνέπειες του γεγονότος αυτού είναι και οι κατολισθήσεις.

Η μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας, τόσο στην επιφάνεια του εδάφους, όσο και στα διάφορα βάθη, οι μικρές μεταβολές που παρατηρούνται στο PH σε συνδυασμό με την καταστροφή της βλάστησης, επιδρούν στα είδη της μικροχλωρίδας και μικροπανίδας. Η στάχτη που παράγεται μετά από μια πυρκαγιά είναι αλκαλική, με αποτέλεσμα το αλκαλικό περιβάλλον που δημιουργείται, να ευνοεί την αύξηση των βακτηρίων. Ακόμα και όταν το έδαφος είναι υγρό, τα βακτήρια βρίσκουν πρόσφορο έδαφος να αναπτυχθούν και έτσι πολλαπλασιάζονται σε μεγαλύτερους αριθμούς από ότι πριν από την πυρκαγιά. Αντίθετα, αν

το έδαφος είναι ξηρό τότε η αύξηση του πληθυσμού των βακτηρίων αρχίζει μετά την πρώτη μέτρια – μεγάλη βροχή (Χρονοπούλου 2007).

Συνοψίζοντας, οι καμένες περιοχές καταλήγουν να μετατρέπονται σε υποβαθμισμένους βραχότοπους με μικρή βιοποικιλότητα, ανύπαρκτη σχεδόν παραγωγικότητα και αδυναμία να προστατευτούν από πλημμυρικά φαινόμενα (Χρονοπούλου 2007; Ξανθόπουλος 1998).

Πρέπει να αναφερθεί ότι κατά τη διάρκεια εξέλιξης πυρκαγιάς, που καταστρέφει ένα δασικό τοπίο, απελευθερώνονται αέρια, τα οποία ευθύνονται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Τα δάση λειτουργούν ως ένα είδος φίλτρου. Μετά από την εκδήλωση μιας πυρκαγιάς αυξάνονται τα αιωρούμενα σωματίδια και η ρύπανση της ατμόσφαιρας. Το γεγονός αυτό εντείνει τις επιπτώσεις στο μικροκλίμα, οι οποίες παρουσιάζονται σταδιακά με το πέρασμα του χρόνου. Οι συνθήκες διαβίωσης και η ποιότητα ζωής του πληθυσμού υποβαθμίζεται αφού η μόλυνση της ατμόσφαιρας προκαλεί ποικίλα προβλήματα υγείας (π.χ. αναπνευστικά προβλήματα).

Οι πυρκαγιές δεν επηρεάζουν μόνο τα δάση και τις λειτουργίες τους, αλλά επιφέρουν οικονομικές και κοινωνικές ζημιές. Κατά τη διάρκεια πυρκαγιών που συνέβησαν στο παρελθόν, χάθηκαν ανθρώπινες ζωές, καταστράφηκαν περιουσίες, γεωργικές καλλιέργειες κτλ. Η οικονομία μιας χώρας που έχει πληγεί από πυρκαγιές, ζημιώνει σημαντικά, ανάλογα με το μέγεθος των καταστροφών.

3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Μέχρι σήμερα, πολλοί ερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει τεχνικές Τηλεπισκόπησης και έχουν αξιοποιήσει εφαρμογές της, τόσο για τον εντοπισμό όσο και για τη διαχείριση καμένων εκτάσεων.

Οι Χριστακόπουλος et al. (2007), διερεύνησαν τη δυνατότητα ανάπτυξης, ενός μοντέλου προσδιορισμού των προς αναδάσωση καμένων εκτάσεων μεσογειακών οικοσυστημάτων. Η περιοχή μελέτης ήταν ο Εθνικός Δρυμός Σουνίου. Για το σκοπό της έρευνας, χρησιμοποιήθηκε εδαφολογικός χάρτης και χάρτης γαιοϊκανότητας της περιοχής Λαυρίου κλίμακας 1:5000, χάρτης με τα όρια της πυρκαγιάς του έτους 2000 κλίμακας 1:5000, ορθοφωτοχάρτες της περιοχής Σουνίου του έτους 1998 και μια δορυφορική εικόνα IKONOS με τέσσερα κανάλια του έτους 2004. Οι ορθοφωτοχάρτες, χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για σκοπούς γεωαναφοράς.

Καθορίστηκαν βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων, τέσσερις κλάσεις δυναμικότητας για την ανάπτυξη δασών και αναδάσωσης, με την επεξεργασία των εδαφολογικών χαρτών και την εξαγωγή διανυσματικών δεδομένων. Έγινε η απαιτούμενη προ-επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας IKONOS (με τέσσερα κανάλια διακριτικής ικανότητας 4 m). Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση της εικόνας IKONOS της περιοχής, σε πέντε κλάσεις βλάστησης. Μέσω ψηφιοποίησης, που έγινε στο χάρτη που απεικόνιζε την πυρκαγιά του έτους 2000, εξάχθηκαν διανυσματικά στοιχεία για τα όρια της πυρκαγιάς. Ο χάρτης των κλάσεων δυναμικότητας, η ταξινομημένη δορυφορική εικόνα, τα διανυσματικά αρχεία που προέκυψαν από το χάρτη της πυρκαγιάς, αλλά και τους εδαφολογικούς χάρτες, χρησιμοποιήθηκαν ως στοιχεία εισόδου στο μοντέλο προσδιορισμού των προς αναδάσωση εκτάσεων. Για τη διεκπεραίωση των εργασιών χρησιμοποιήθηκαν το ERDAS MODELER και ArcGIS. Λήφθηκαν υπόψη παράμετροι όπως η σχέση της ποιότητας του εδάφους με την ανάπτυξη των δασών, το βραχώδες του εδάφους και η κάλυψη της βλάστησης. Το αποτέλεσμα που έδωσε το μοντέλο, ήταν ένας θεματικός χάρτης με τις προς αναδάσωση εκτάσεις.

Πραγματοποιήθηκε επαλήθευση του αποτελέσματος, με τη χρήση επιφανειών επαλήθευσης του μοντέλου. Αυτό επιτεύχθηκε, συσχετίζοντας τις μετρήσεις που έγιναν στο πεδίο, με τα δεδομένα, που προσδιορίστηκαν ηλεκτρονικά.

Οι Smith et al. (2001) χρησιμοποίησαν πίνακες ακρίβειας του γκριζου χρώματος των εικόνων (Gray Level Co-occurrence Matrices – GLCM) και αλγορίθμους ταξινόμησης των στοιχείων με βάση την υφή τους, σε συνδυασμό με δεδομένα χαμηλής διακριτικής ικανότητας, για την ανίχνευση καμένων περιοχών στο Νότιο Σουδάν. Η μελέτη βασίστηκε σε τρεις εικόνες ATSR-2, 512 km x 512 km που απεικόνιζαν περιοχές σαβάνας. Ο προσδιορισμός των καμένων περιοχών σε αυτές τις εικόνες έγινε στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Ως συγκριτικά στοιχεία για την εκτίμηση της ακρίβειας, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες της περιοχής 100 km x 100 km, από οπτικό αισθητήρα (OPS), διακριτικής ικανότητας 18 m. Όλες οι εικόνες προέρχονταν από λήψεις, που έγιναν την ίδια περίπου χρονική περίοδο. Σε κάθε εικόνα ATSR-2 εφαρμόστηκε μια συνάρτηση ευθυγράμμισης των δεδομένων (bowtie alignment) για την παραγωγή των πινάκων GLCM. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε η τεχνική του χαμηλοπερατού φίλτρου, για την απομάκρυνση των τιμών υψηλής συχνότητας. Πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση των στοιχείων GLCM με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης (Minimum Distance) αλλά και με τον αλγόριθμο ISODATA, θέτοντας κατώφλια για τις τιμές επτά κλάσεων. Τα αποτελέσματα και από τις δύο ταξινομήσεις μελετήθηκαν οπτικά, για την εξαγωγή ενός τελικού σετ δεδομένων. Στις εικόνες από οπτικό αισθητήρα, πραγματοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Έγινε η υπόθεση ότι οι εικόνες αυτές απεικόνιζαν την πραγματική κατάσταση. Επιλέχθηκαν 22 περιοχές δείγματος (9 km x 9 km) και τα στοιχεία των δύο τύπων εικόνων συγκρίθηκαν με τη χρήση συντελεστών συσχέτισης Pearson. Η ακρίβεια των ταξινομήσεων αξιολογήθηκε με βάση το δείκτη Kappa.

Οι Γκάνας και Νικολάου (2002) ασχολήθηκαν με τη μεθοδολογία του προγράμματος APERTURE (environmentAl tyPological spacE mappE R faciliTating the implemenTation of eURopean lEgislation), που αφορά τη σύνταξη περιβαλλοντικών χαρτών, από δορυφορικά δεδομένα περιοχών, με σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα. Η εφαρμογή του προγράμματος αυτού, είχε ως σκοπό τη νομική αναχαίτιση παράνομων ενεργειών, που οδηγούν στην περιβαλλοντική υποβάθμιση και στην αλλαγή των χρήσεων γης. Η περιοχή που μελετήθηκε από τους προαναφερόμενους, ήταν οι καμένες εκτάσεις του Πεντελικού όρους. Χρησιμοποιήθηκε μια εικόνα Landsat 5 TM του έτους 1998, με μέγεθος εικονοστοιχείου 30 m x 30 m, η λήψη της οποίας έγινε λίγες μέρες μετά την πυρκαγιά. Πραγματοποιήθηκε γεωμετρική διόρθωση της δορυφορικής εικόνας και μετατροπή της σε όρθο-εικόνα με τη χρήση ψηφιακού μοντέλου εδάφους 20 m.

Οι ψηφιακές τιμές μετατράπηκαν σε φασματικές τιμές ακτινοβολίας και ακολούθως υπολογίστηκε ο δείκτης NDVI. Οι πραγματικές τιμές NDVI προσαρμόστηκαν σε διάστημα

των 8 bit, δηλαδή ανάχθηκαν σε ακέραια κλίμακα των τόνων του γκρι. Έγινε κατηγοριοποίηση των τόνων, που προέκυψαν, σε δέκα ομάδες (0=καθόλου βλάστηση-9=υγιής βλάστηση). Τέλος πραγματοποιήθηκε η αυτόματη χαρτογράφηση των καμένων περιοχών. Όλες οι ψηφιακές εργασίες έγιναν στο λογισμικό EASE PACE 6.2.

Οι Χατζημιτσής και Ρετάλης (2000) αναφέρονται στη συνδυασμένη χρήση τεχνικών Τηλεπισκόπησης για την εξαγωγή πληροφορίας σχετικά με τη διαχρονική αλλαγή της κάλυψης και την αποτύπωση καμένων εκτάσεων στο νησί Σκιάθος (Βόρειες Σποράδες).

Χρησιμοποιήθηκαν τρεις εικόνες Landsat από τη θερινή περίοδο των ετών 1988, 1999 και 2000. Πραγματοποιήθηκε η απαιτούμενη προ-επεξεργασία των εικόνων. Έγινε μετατροπή των ψηφιακών τιμών σε τιμές ακτινοβολία και από τιμές ακτινοβολίας σε τιμές ανακλαστικότητας, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων.

Υπολογίστηκαν οι δείκτες βλάστησης NDVI και MSAVI. Στο λογισμικό ERDAS IMAGINE πραγματοποιήθηκε μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων σε επτά κατηγορίες χρήσεων γης μέσω της εφαρμογή του αλγορίθμου ISODATA. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τους δείκτες συγκρίθηκαν με αυτά της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης και αξιολογήθηκαν αποκλίσεις και σφάλματα.

Ο Αθανασίου (2011), στα πλαίσια της μεταπτυχιακής του διατριβής, με θέμα τη σύγκριση τηλεπισκοπικών δεδομένων καμένων εκτάσεων για τον Ελλαδικό χώρο χρησιμοποίησε δύο κατηγορίες δεδομένων: τοπογραφικά (υψόμετρο, κλίση, έκθεση και δείκτης υγρασίας) και χρήσεις γης-κάλυψης γης των καμένων εκτάσεων.

Ανακτήθηκε υψομετρική πληροφορία για τον ελλαδικό χώρο, από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους ASTER GDEM της NASA. Στο λογισμικό ENVI δημιουργήθηκε ένα ενιαίο αρχείο για όλη της Ελλάδα πλεγματικής μορφής. Με την εισαγωγή των δεδομένων στο πρόγραμμα ArcMap αποκόπηκε η περιοχή ενδιαφέροντος. Ακολούθησε η μετατροπή του ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε δύο πλεγματικά αρχεία ακέραιων τιμών που φέρουν πληροφορία για την κλίση και την έκθεση της επιφάνειας του εδάφους αντίστοιχα. Επίσης χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS για τον υπολογισμό του δείκτη υγρασίας (Wetness Index – WI) σε σχέση με την κλίση του εδάφους. Εφαρμόστηκε ο τύπος του δείκτη υγρασίας για τη δημιουργία ενός νέου πλεγματικού αρχείου που δίνει σε κάθε σημείο της περιοχής μια τιμή WI.

Η εργασία στηρίχθηκε σε ένα διανυσματικό αρχείο κάλυψης της γης τριών επίπεδων διάκρισης χρήσεων γης, που ανακτήθηκε από το πρόγραμμα CORINE Land Cover 2000. Οι

απεικονίσεις των καμένων περιοχών προέρχονται από πλεγματικά δεδομένα του συστήματος MODIS των ετών 2005, 2006 και 2007, με 12 αρχεία για κάθε έτος. Από το Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών των Δασικών Πυρκαγιών (European Forest Fires Information System – EFFIS) λήφθηκαν διανυσματικά δεδομένα των καμένων εκτάσεων για τις ίδιες χρονιές.

Πραγματοποιήθηκε συνδυασμένη χρήση των πιο πάνω δεδομένων στο ArcGIS για το διαχωρισμό του χώρου σε πολύγωνα που αντιστοιχούν σε χρήσεις γης και στην ακριβή έκταση τους. Συγκρίθηκαν και αξιολογήθηκαν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις εφαρμογές που προαναφέρθηκαν.

Οι Bucini και Lambin (2001), διεκπεραίωσαν μελέτη για μια μικρή περιοχή, στο νοτιοδυτικό μέρος της Κεντρικής Αφρικής, η οποία αποτελείται από μια ποικιλία οικοτύπων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση προέκυψε ένας χάρτης των αλλαγών κάλυψης γης από δύο εικόνες Landsat TM του έτους 1990, ένας χάρτης της βλάστησης της Κεντρικής Αφρικής και ένας χάρτης των καμένων εκτάσεων. Οι δύο εικόνες διορθώθηκαν γεωμετρικά και ατμοσφαιρικά και υπολογίστηκε ο δείκτης NDVI. Ο χάρτης, των μεταβολών της κάλυψης της γης προέκυψε από τη διαφορά των τιμών NDVI των δύο εικόνων. Πραγματοποιήθηκε ο προσδιορισμός τιμών-κατωφλίων της μεταβολής της έντασης, μέσω οπτικής φωτοερμηνείας με σκοπό το διαχωρισμό των ακριβών αλλαγών στην κάλυψη της γης. Προέκυψαν δύο κατώφλια για τις τιμές της τυπικής απόκλισης, από τη μέση τιμή της διαφοράς. Το ένα κατώφλι αναδεικνύει τις αρνητικές μεταβολές της κάλυψης γης, δηλαδή τη μείωση της βλάστησης και το άλλο, τις θετικές μεταβολές, δηλαδή την αύξηση της βλάστησης. Για να εξηγηθεί η κάθε περίπτωση δημιουργήθηκαν διαφορετικά μοντέλα. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε μια χρονοσειρά χαρτών καμένης έκτασης, οι οποίοι προήρθαν από την εφαρμογή μιας μεθόδου που βασίζεται στο χρονικό φασματικό προφίλ των εικονοστοιχείων. Η μέθοδος αυτή, επιτρέπει την ανάλυση των χρονοσειρών των δεδομένων του μικροκυματικού και θερμικού καναλιού. Η ορθότητα των αποτελεσμάτων επιβεβαιώθηκε με τη χρήση ενός βίντεο που λήφθηκε από αεροσκάφος και δεδομένων Landsat TM. Για τον προσδιορισμό της κάλυψης της βλάστησης, παράχθηκε από δεδομένα πεδίου και εικόνες Landsat TM, ένας λεπτομερής χάρτης οικοτύπων μικρής κλίμακας.

Ο χάρτης των μεταβολών κάλυψης γης, συσχετίστηκε με τους χάρτες των καμένων εκτάσεων και της βλάστησης, με σκοπό να αναλυθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ πυρκαγιών και κάλυψης γης. Η χωρική σχέση μεταξύ των διάφορων οικοτύπων και των πυρκαγιών μελετήθηκε μέσω απλής ανάλυσης συχνοτήτων. Οι επιπτώσεις των πυρκαγιών στις μεταβολές της κάλυψης γης, για τους διάφορους τύπους βλάστησης αναλύθηκε με πολύ-παραγοντική παλινδρόμηση.

Η μελέτη των Matthias Boer et al. (2008) επικεντρώθηκε στο δάσος Jarrah, το οποίο βρίσκεται στην περιοχή Perth Hills, της Δυτικής Αυστραλίας. Τα δάση της περιοχής αποτελούνται κυρίως από ψηλούς ευκαλύπτους. Η μελέτη βασίστηκε στις μεταβολές του δείκτη φυλλικής επιφάνειας, για τον εντοπισμό των αλλαγών, που επέφεραν οι πυρκαγιές στο δάσος. Με τη χρήση μετρήσεων πεδίου και απεικονίσεων Landsat TM, δημιουργήθηκε ένα εμπειρικό μοντέλο για την πρόβλεψη του δείκτη LAI, με βάση τις φασματικές υπογραφές της βλάστησης. Οι μετρήσεις πεδίου περιλάμβαναν και ψηφιακές φωτογραφίες επιφανειών 40 m x 40 m με σκοπό την ποσοτικοποίηση του δείκτη LAI, του θόλου των κορυφών των δέντρων. Επίσης μέσω φωτογραφήσεων 4 m x 4 m μετρήθηκε η βιομάζα των υποτρόφων, από την καταστρεμμένη συγκομιδή. Δημιουργήθηκαν μοντέλα παλινδρόμησης με τη χρήση του δείκτη NBR (Normalized Burn Ratio), του δείκτη του NDVI και του δείκτη SR (Simple Ratio) ως ανεξάρτητες μεταβλητές. Εξάχθηκαν χάρτες του δείκτη LAI πριν και μετά τις πυρκαγιές, από την εφαρμογή του μοντέλου παλινδρόμησης, που βασίστηκε στη μέθοδο της απλής αναλογίας SR, σε δύο εικόνες Landsat TM. Στη συνέχεια υπολογίστηκε η ποσότητα Δ LAI, αφαιρώντας τις τιμές του δείκτη LAI προ-πυρκαγιών από τις τιμές LAI μετά-πυρκαγιών.

Η Χρονοπούλου (2007), στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας της, ασχολήθηκε με την περίπτωση της πυρκαγιάς της 28ης Ιουνίου 2007 στο όρος Πάρνηθα. Χρησιμοποίησε δύο δορυφορικές εικόνες μια Landsat 7 ETM+ πριν από την πυρκαγιά, μια ψευδόχρωμη εικόνα από το δορυφόρο SPOT μετά την πυρκαγιά και το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Ψ.Μ.Ε.) του Νομού Αττικής το οποίο δόθηκε από το Τμήμα Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου.

Όσον αφορά την εικόνα Landsat 7 ETM+, κατά το στάδιο της χαρτογράφησης, επιλέχθηκαν τα κανάλια 4, 3 και 2 της εικόνας, λόγω του ότι τα χαρακτηριστικά της βλάστησης είναι πιο ευδιάκριτα σε αυτά τα κανάλια. Η χαρτογράφηση της πυρκαγιάς πραγματοποιήθηκε μέσω της επέκτασης Image Analysis και του εργαλείου Seed, του προγράμματος ArcGIS. Το εργαλείο Seed, έχει την ιδιότητα να αναγνωρίζει τις περιοχές με τα ίδια χαρακτηριστικά, δηλαδή με το ίδιο εύρος φάσματος και δημιουργεί πολύγωνα. Για την εκτέλεση της διαδικασίας αυτής επιλέχθηκε η μέθοδος του παραλληλεπιπέδου. Η ακρίβεια της διαδικασίας, εξαρτάται από την εμπειρία και τις γνώσεις του χρήστη, όσον αφορά τη φωτοερμηνεία. Για το λόγο αυτό, έγιναν επαναληπτικές δοκιμές. Μετρήθηκε το εμβαδό του τελικού πολυγώνου που προέκυψε για την καμένη έκταση. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο

δείκτης NDVI για τις δύο εικόνες (πριν και μετά την πυρκαγιά) και χαρτογραφήθηκαν οι τιμές του.

Ο Hesbon Ocheo (2003), μελέτησε την υποβάθμιση και την καταστροφής των δασών από πυρκαγιές έχοντας ως περιοχή ενδιαφέροντος το δάσος Aberdare.

Το δάσος Aberdare βρίσκεται στην Κεντρική Κένυα και σε αυτό μαζεύεται το νερό κατά τις περιόδους βροχοπτώσεων. Ανακτήθηκαν από το Τοπικό Κέντρο Χαρτογράφησης των Πόρων για Ανάπτυξη (Regional Center for Mapping of Resources for Development-RCMRD) μια εικόνα για το έτος 1987 και μια για το 2000, καθώς και τοπογραφικοί χάρτες της περιοχής μελέτης. Για τη διεκπεραίωση των εργασιών χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό επεξεργασίας εικόνων IDRISI 32. Οι δύο δορυφορικές εικόνες μετατράπηκαν σε ψευδόχρωμες με τη χρήση των καναλιών 2, 3, 4. Μετά από τις κατάλληλες διορθώσεις, αποκόπηκε από τις δύο εικόνες, η περιοχή ενδιαφέροντος. Έγινε στις υπό-εικόνες εφαρμογή μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τη χρήση της μονάδας Cluster και του αλγορίθμου ανάλυσης Cluster, του προγράμματος επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων. Το εμβαδό των εκτάσεων που αντιστοιχεί σε κάθε τάξη υπολογίστηκε από τη μονάδα Area. Από τα κανάλια 2 και 3 των υπό – εικόνων δημιουργήθηκε μια εικόνα NDVI για κάθε έτος. Ο δείκτης NDVI μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν σχετική μέτρηση για την παρακολούθηση της βιομάζας. Ακολούθως υπολογίστηκε, εντοπίστηκε και μελετήθηκε στο λογισμικό IDRISI 32 η διαφορά μεταξύ των δύο εικόνων NDVI.

Η μελέτη των Akingbogun et al. (2012), εξετάζει την υποβάθμιση της βλάστησης και τις αλλαγές στην κάλυψη της γης στο δάσος Eleyele Lake (της πόλης Ibadan στην πολιτεία Oyo της Νιγηρίας), που προκλήθηκαν μεταξύ του διαστήματος 1972 – 2000. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις δορυφορικές εικόνες Landsat ETM για τις χρονολογίες 1972, 1984 και 2000, οι οποίες ανακτήθηκαν από το Εθνικό Πρακτορείο Διαστημικής Έρευνας και Ανάπτυξης (National Space Research and Development Agency – NASRDA). Επίσης, ως βοηθητικό δεδομένο χρησιμοποιήθηκε ένας τοπογραφικός χάρτης. Πραγματοποιήθηκε η σάρωση και εισαγωγή των εικόνων στο πρόγραμμα ArcView. Ακολούθησε η απαιτούμενη προεργασία. Προέκυψε μια τέταρτη εικόνα, η οποία απεικόνιζε τις μελλοντικές μεταβολές. Τα αποτελέσματα των μεταβολών που αναμενόταν να παρουσιαστούν μελλοντικά και συγκεκριμένα το 2004 υπολογιστήκαν – προβλέφθηκαν και μοντελοποιήθηκαν μέσω της διαδικασίας Markovian transition estimator, η οποία βασίστηκε στα δεδομένα της μέχρι τώρα κατάστασης. Έτσι, προέκυψε η τέταρτη εικόνα που αντιστοιχούσε στη χρονολογία 2004. Στο πρόγραμμα IDRISI32, δημιουργήθηκαν στις εικόνες οι περιοχές εκπαίδευσης μέσω της ψηφιοποίησης

της κάθε τάξης κάλυψης γης. Εκτελέστηκε και για τις τέσσερις εικόνες, επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Gaussian) με τη μέθοδο της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood). Ο παρατηρητής είχε εις γνώση του την επί τόπου κατάσταση της περιοχής, χάρη στις μετρήσεις πεδίου, που έκανε. Οι μετρήσεις πεδίου χρησιμοποιήθηκαν για την αξιολόγηση των ταξινομήσεων. Οι παραγόμενοι χάρτες παρουσίαζαν την κυριότερη χρήση γης για την κάθε χρονολογία. Σχεδιάστηκε μια βάση δεδομένων, σχετική με τις χρήσεις γης, στο πρόγραμμα ArcGIS, μοντελοποιώντας τα δεδομένα και συσχετίζοντας τα με χωρικές απεικονίσεις. Για το σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε η σάρωση αναλογικών χαρτών της περιοχής, η απαιτούμενη επεξεργασία και η ψηφιοποίησή τους, από την οποία προέκυψαν διανυσματικές πληροφορίες. Η ταξινομημένη εικόνα 1972 συγκρίθηκε με τις ταξινομημένες εικόνες 1984 και 2000, με τη χρήση της μεθόδου Overlay δηλαδή μέσω της αλληλεπικάλυψής τους. Από τη σύγκριση αυτή, προέκυψαν δύο νέες εικόνες που παρουσίαζαν τις διαφορές του κάθε ζεύγους εικόνων. Ο εντοπισμός των διαφορών, επιτεύχθηκε με το πρόγραμμα ERDAS IMAGINE. Υπολογίστηκε ο δείκτης NDVI για τις τρεις ταξινομημένες εικόνες (1972,1984,2000) και για τις δύο νέες που προέκυψαν από τις διαφορές.

Ο Jose M. C. Pereira (1992), μελέτησε τα αποτυπώματα πυρκαγιών, που συνέβησαν στην Κεντρική Πορτογαλία. Η βλάστηση της περιοχής ενδιαφέροντος, απαρτίζεται κυρίως από θαμνότοπους, πεύκους, ευκαλύπτους και μικρές αγροτουριστικές εκτάσεις.

Τα δεδομένα, που είχε στη διάθεση του, ήταν δύο δορυφορικές εικόνες Landsat-5 TM, μια εικόνα για το Νοέμβριο του 1989 και μια εικόνα για το Νοέμβριο του 1990. Η περιοχή που κάλυπταν οι εικόνες, αντιστοιχούσε σε μια επιφάνεια εδάφους 185 km x 185 km. Από αυτές αποκόπηκε μια υπό – περιοχή με διαστάσεις 18,75 km x 11,82 km. Κάθε εικόνα αποτελείτο από επτά κανάλια, από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν τα έξι (εκτός από το θερμικό). Η προ-επεξεργασία των εικόνων περιλάμβανε τη γεωμετρική τους διόρθωση, με τη χρήση τοπογραφικών χαρτών και σημείων ελέγχου, που ορίστηκαν στους χάρτες. Οι εικόνες ανασυστάθηκαν, με τη μέθοδο του κοντινότερου γειτονικού εικονοστοιχείου, έτσι ώστε να αποκτήσουν το ίδιο μέγεθος με τους τοπογραφικούς χάρτες.

Χρησιμοποιήθηκε η συμβατική μέθοδος της Ανάλυσης των Κυρίων Συνιστωσών (Principal Components Analysis – PCA) και εξάχθηκαν οι πρώτες πέντε κύριες συνιστώσες. Το αποτέλεσμα επαλήθευσε προηγούμενες βιβλιογραφίες, αφού η μεταβολή ήταν εμφανέστερη στην τέταρτη συνιστώσα. Εμφανής ήταν και στη δεύτερη συνιστώσα, γεγονός που δεν

αναμενόταν. Υπολογίστηκαν τα στατιστικά για την κάθε συνιστώσα σε συνάρτηση με το κάθε κανάλι που συμμετείχε στη διαδικασία.

Επίσης εφαρμόστηκε και η επιλεκτική ανάλυση κυρίων συνιστωσών. Κατά την εκτέλεση αυτής της μεθόδου, επιλέγεται η εισαγωγή, μόνο των καναλιών, στα οποία αναμένεται ότι θα είναι ορατή η μεταβολή του χώρου. Αυτό είναι το σημείο, στο οποίο διαφοροποιείται η επιλεκτική ανάλυση κυρίων συνιστωσών, από τη συμβατική ανάλυση. Έγινε η επιλογή των καναλιών του υπέρυθρου (4) των δύο εικόνων. Εξάχθηκαν μόνο δύο συνιστώσες. Η αλλαγή φαινόταν εντονότερα στη δεύτερη συνιστώσα. Το αποτέλεσμα της, έμοιαζε σημαντικά με αυτό της τέταρτης συνιστώσας, που προέκυψε από τη συμβατική μέθοδο.

Τέλος συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα από τις δύο μεθόδους. Στη συγκεκριμένη μελέτη, οι δύο αναλύσεις εφαρμόστηκαν, με σκοπό την τυποποίηση των δεδομένων.

4 Εκθέσεις του διεθνή Οργανισμού Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization - FAO) και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής

4.1 Η Έκθεση Αξιολόγησης των Δασικών Πόρων 2010 του οργανισμού FAO

Ο οργανισμός FAO σε συνεργασία με τις χώρες μέλη του, παρακολουθεί τα δάση ανά τον κόσμο από το 1946. Τα δεδομένα των εκτιμήσεων του, αφορούν συνήθως ένα διάστημα πέντε έως δέκα χρόνων. Οι αξιολογήσεις του οργανισμού, παρέχουν σημαντικές πληροφορίες, δίνοντας τη δυνατότητα στις χώρες, να εφαρμόσουν σχέδια και στρατηγικές, που στοχεύουν στη διαχείριση του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα των δασών.

Το έτος 2010 ορίστηκε ως το Διεθνές έτος Βιοποικιλότητας από τα Ηνωμένα Έθνη. Κατά τη διάρκεια του έτους αυτού, δημοσιεύτηκε από τον FAO, η έκθεση αξιολόγησης των δασικών πόρων ανά το παγκόσμιο (Global Forest Resources Assessment 2010 – GFRA 2010). Η βιοποικιλότητα των δασών, έρχεται αντιμέτωπη συνεχώς με κινδύνους, οι οποίοι την υποβαθμίζουν σε μεγάλο βαθμό. Παρόλα αυτά, τα τελευταία χρόνια, έχει παρατηρηθεί ότι πολλές χώρες αναπτύσσουν προγράμματα διατήρησης, βελτίωσης και προστασίας των δασικών τοπίων. Η μη βιώσιμη διαχείριση, οι κλιματικές αλλαγές, οι δασικές πυρκαγιές, οι επιδρομές εντόμων, οι επιδημίες και οι φυσικές καταστροφές είναι οι κυριότερες απειλές για τα δάση.

Γενικά οι εκθέσεις του οργανισμού, εξετάζουν τις υφιστάμενες συνθήκες της κάθε περιόδου, για 90 μεταβλητές και τις τάσεις για όλους τους τύπους δασών σε 233 χώρες, για 4 χρονικούς σταθμούς αναφοράς 1990, 2000, 2005 και 2010. Η έκθεση εκτίμησης των δασικών πόρων, που έγινε το 2010 (GFRA 2010), είναι και η πιο πρόσφατη. Περιλαμβάνει δεδομένα, που αφορούν τις 233 χώρες και είναι αποτέλεσμα εργασιών, που διήρκεσαν τέσσερα χρόνια. Στην προσπάθεια εξαγωγής εκτιμήσεων και αποτελεσμάτων συμμετείχαν περισσότεροι από 900 εμπειρογνώμονες, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται 178 επίσημα εθνικοί αντιπρόσωποι μαζί με τις ομάδες τους.

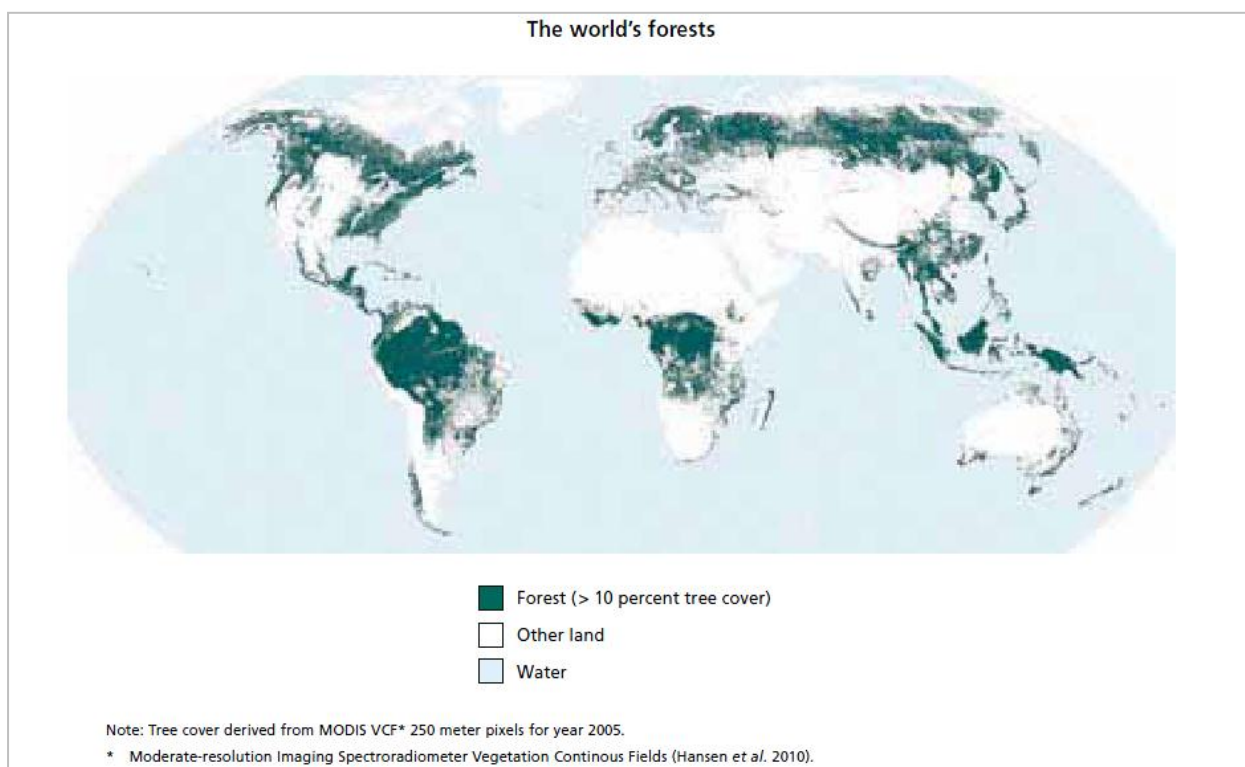
Σύμφωνα με τον οργανισμό FAO, η συνολική δασική γη ανά τον κόσμο, μόλις που ξεπερνά τα τέσσερα δισεκατομμύρια εκτάρια, αριθμός που αντιστοιχεί στο 31% της συνολικής επιφάνειας της ξηράς. Η καθαρή απώλεια δασών εάν συνυπολογιστούν τα δάση που

αποκαθίστανται, ήταν για την περίοδο 2000 – 2010, σχεδόν 5.2 εκατομμύρια εκτάρια ανά έτος. Περίπου δεκατρία εκατομμύρια εκτάρια δασικών περιοχών καταστράφηκαν και μετατράπηκαν σε άλλες χρήσεις (π.χ. χρήσεις αγροτουρισμού) παγκοσμίως και ανά έτος μεταξύ της περιόδου 2000 – 2010.

Η έκταση των δασικών περιοχών που είναι ενταγμένες στο πρόγραμμα σχεδιασμού της προστασίας της βιοποικιλότητας παρουσίασε από το 1990 αύξηση της τάξης των 95 εκατομμυρίων εκταρίων (περίοδος 2000 – 2010). Σήμερα το 12% των δασών ανά το παγκόσμιο, δηλαδή, πάνω από 460 εκατομμύρια εκτάρια έχουν περιληφθεί στο πρόγραμμα διατήρησης. Εννοείται ότι οι πρακτικές και οι πολιτικές που εφαρμόζονται για τη διαχείριση του περιβάλλοντος έχουν περιθώρια βελτίωσης.

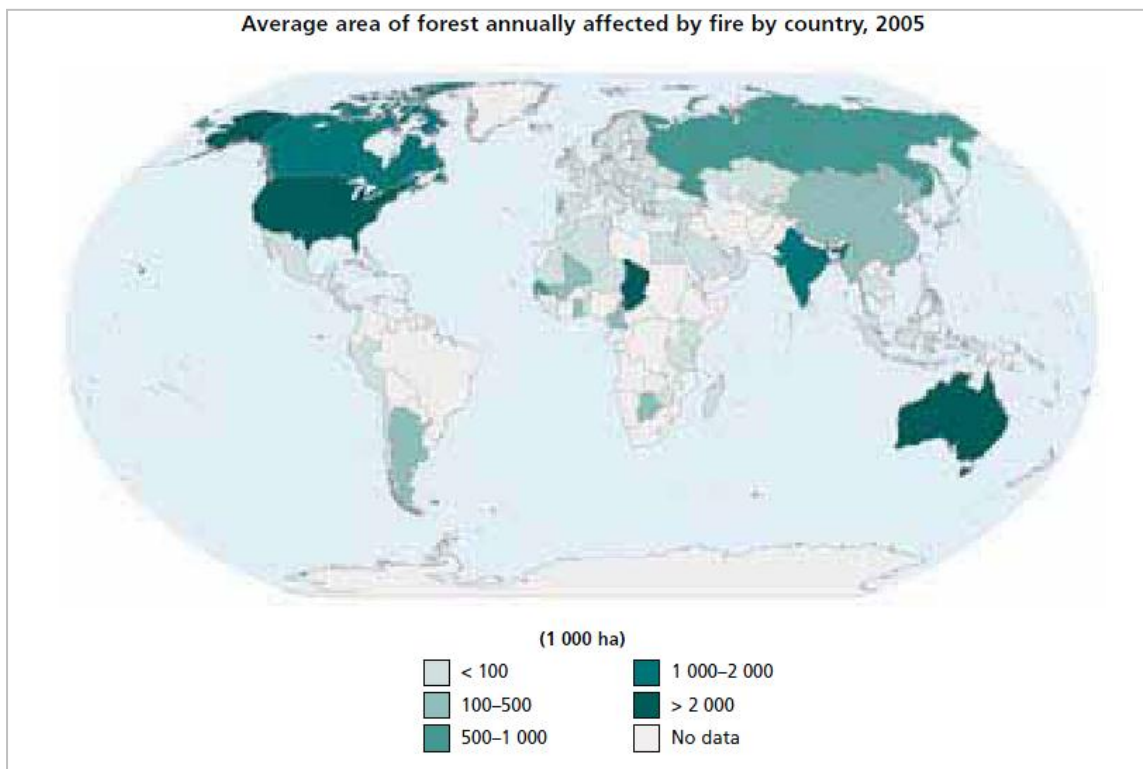
Τα εθνικά πάρκα και οι προστατευόμενες περιοχές καλύπτουν πάνω από το 10% της συνολικής δασικής περιοχής της κάθε χώρας. Στις περιοχές αυτές λαμβάνονται μέτρα για τη διατήρηση της βιοποικιλότητας, την προστασία των υδάτινων πόρων και του εδάφους και τη διατήρηση της πολιτιστικής κληρονομιάς.

Σύμφωνα με το βοηθό γενικού διευθυντή Eduardo Rojas του FAO, είναι αναπόφευκτη η προσαρμογή των δασών στις κλιματικές αλλαγές. Παρόλα αυτά αναμένεται ότι τα δάση θα συμβάλλουν στο μετριασμό των ακραίων καιρικών φαινομένων.



Εικόνα 7: Τα δάση παγκοσμίως (GFRA 2010)

Το ποσοστό της συνολικής παγκόσμιας δασικής γης που επηρεάζεται κάθε χρόνο από πυρκαγιές ανέρχεται στο 1%. Εντούτοις, το ποσοστό αυτό, θεωρείται από τον ίδιο τον οργανισμό πολύ μικρό και ότι δεν αντικατοπτρίζει την πραγματική κατάσταση. Υπάρχει έλλειψη πληροφοριών για πολλές χώρες και κυρίως για την Αφρική. Επίσης, υποτιμάται ο αριθμός, από τις ίδιες τις χώρες, που δηλώνουν τις πυρκαγιές. Οι φωτιές που συμβαίνουν στα πλαίσια διαχειριστικών προγραμμάτων, αντιστοιχούν σε ένα ποσοστό μικρότερο από 10% του συνόλου των πυρκαγιών που εκδηλώνονται (GFRA 2010).



Εικόνα 8: Μέση έκταση των δασών που επηρεάζεται ετησίως από πυρκαγιές ανά χώρα (GFRA 2010)

Πίνακας 2: Μέση έκταση των δασών που επηρεάζονται από πυρκαγιές ετησίως (2005)

Average area of forest annually affected by fire by region and subregion, 2005				
Region/subregion	Information availability		Area of forest affected by fire	
	Number of countries	% of total forest area	1 000 ha	% of forest area
Eastern and Southern Africa	8	29.3	452	0.6
Northern Africa	5	10.0	17	0.2
Western and Central Africa	8	19.7	7 849	11.9
Total Africa	21	22.4	8 318	5.4
East Asia	5	100.0	549	0.2
South and Southeast Asia	8	83.3	1 859	0.7
Western and Central Asia	16	51.7	50	0.2
Total Asia	29	87.9	2 457	0.5
Europe excl. Russian Federation	41	96.6	270	0.1
Total Europe	42	99.4	1 262	0.1
Caribbean	7	74.1	15	0.3
Central America	4	72.6	107	0.7
North America	4	100.0	3 437	0.5
Total North and Central America	15	98.9	3 558	0.5
Total Oceania	6	82.5	3 903	2.4
Total South America	5	14.0	333	0.3
World	118	65.2	19 831	0.7

Πηγή: GFRA 2010

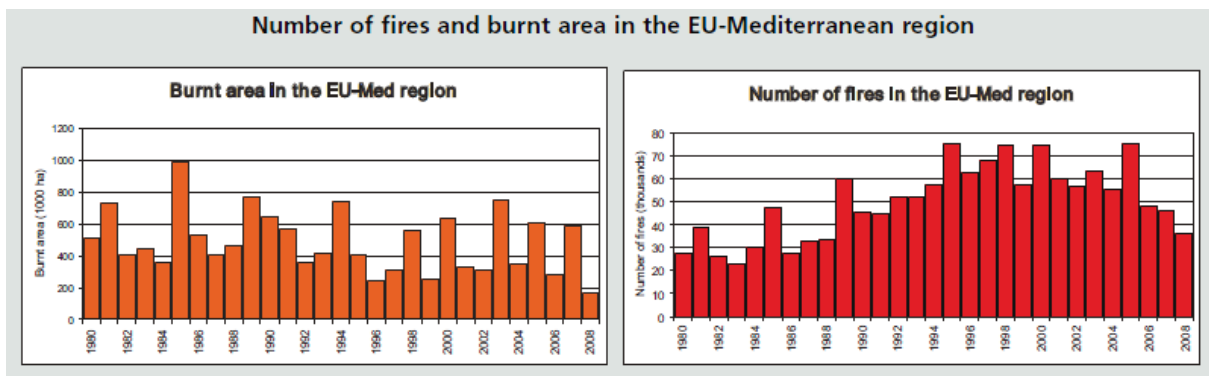
Πίνακας 3: Οι δασικές περιοχές, που πλήγηκαν από πυρκαγιές για το χρονικό διάστημα 1990 – 2005

Trends in area of forest annually affected by fire by region and subregion, 1990–2005					
Region/subregion	Information availability		Area of forest affected by fire (1 000 ha)		
	Number of countries	% of total forest area	1990	2000	2005
Eastern and Southern Africa	6	25.0	88	50	53
Northern Africa	4	9.6	14	21	16
Western and Central Africa	4	9.2	12 141	8 462	7 157
Total Africa	14	15.6	12 243	8 533	7 226
East Asia	5	100.0	318	417	549
South and Southeast Asia	7	82.2	3 090	2 149	1 852
Western and Central Asia	13	48.7	19	79	47
Total Asia	25	87.1	3 427	2 644	2 448
Europe excl. Russian Federation	36	80.2	273	225	261
Total Europe	37	96.2	896	1 387	1 252
Caribbean	6	73.8	11	18	15
Central America	0	–	–	–	–
North America	4	100.0	2 781	3 112	3 437
Total North and Central America	10	96.8	2 793	3 130	3 452
Total Oceania	5	4.2	0	0	0
Total South America	5	14.0	490	708	333
World	96	59.0	19 849	16 402	14 710

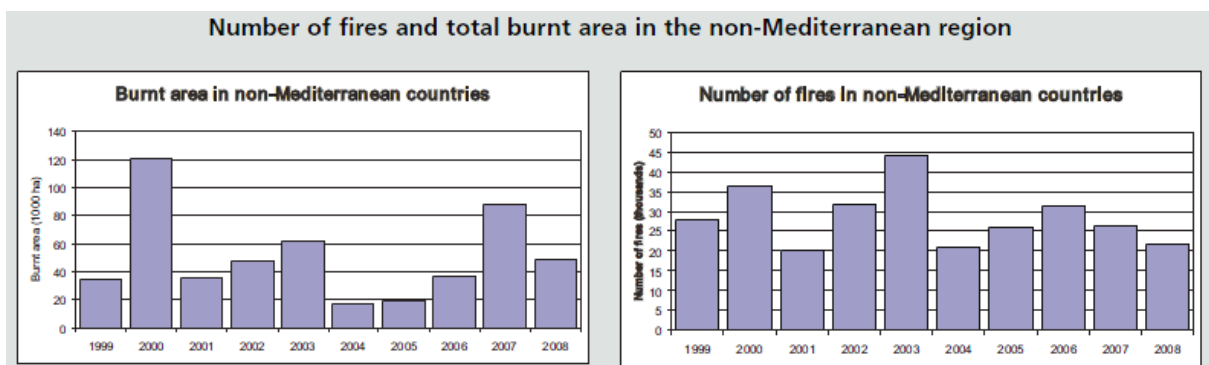
Πηγή: GFRA 2010

Τα δεδομένα, που παρουσιάζονται πιο κάτω για τις Ευρωπαϊκές χώρες, προέρχονται από το σύστημα EFFIS. Μέχρι το 2010 ήταν διαθέσιμα τα δεδομένα μόνο 21 χωρών, παρόλο που στο δίκτυο συμμετέχουν συνολικά 26 χώρες. Τα στοιχεία ανακτήθηκαν από την κάθε χώρα ξεχωριστά. Ο αριθμός των ετών, για τον οποίο υπάρχουν πληροφορίες, διαφέρει για την κάθε χώρα. Οι μεγαλύτερες χρονοσειρές δεδομένων είναι αυτές που αφορούν την περιοχή της Μεσογείου.

Η συχνότητα των πυρκαγιών για την κάθε χώρα, καθορίζεται από τον ετήσιο αριθμό πυρκαγιών, που εκδηλώνονται σε αυτή. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι περισσότερες πυρκαγιές που καταγράφονται για την Ευρώπη, συμβαίνουν στην περιοχή της Μεσογείου (στην οποία ανήκει και η Κύπρος). Για το λόγο αυτό η μεσογειακή περιοχή μελετάται ξεχωριστά από την υπόλοιπη Ευρώπη.

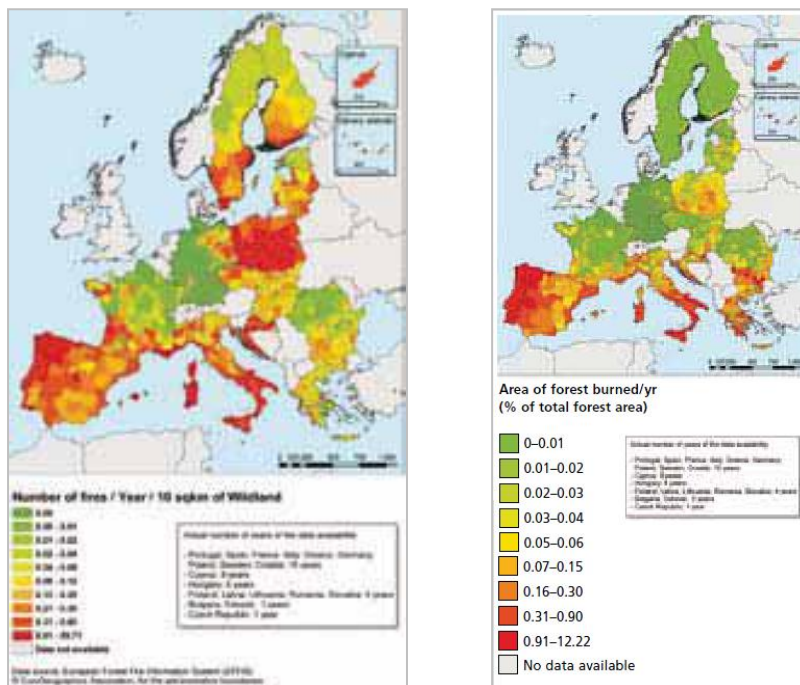


Εικόνα 9: Ο αριθμός των πυρκαγιών με την αντίστοιχη συνολική καμένη έκταση, στη Μεσόγειο για τη χρονική περίοδο 1990-2008 (GFRA 2010)



Εικόνα 10: Ο αριθμός των πυρκαγιών (δεξιά) με την αντίστοιχη συνολική καμένη έκταση (αριστερά), στην υπόλοιπη Ευρώπη για τη χρονική περίοδο 1990-2008 (GFRA 2010)

Στο πρώτο διάγραμμα της Εικόνας 10, απεικονίζεται η μέση πυκνότητα των δασικών πυρκαγιών, καθώς και η χωρική τους κατανομή τη χρονική περίοδο 1998-2007. Στο δεύτερο διάγραμμα, έχει χαρτογραφηθεί το ετήσιο ποσοστό των καμένων περιοχών σε σχέση με τη συνολική δασική γη, στην οποία υπάγεται η κάθε μια. Τα πιο κάτω αποτελέσματα – διαγράμματα, προέκυψαν από έρευνα, στην οποία περιλήφθηκαν οι εξής μεσογειακές χώρες: Κύπρος, Γαλλία, Ελλάδα, Ιταλία, Πορτογαλία και Ισπανία. Οι υπόλοιπες χώρες που λήφθηκαν υπόψη κατά την πραγματοποίηση της μελέτης είναι οι: Βουλγαρία, Κροατία, Τσεχία, Εσθονία, Φιλανδία, Γερμανία, Ουγγαρία, Λετονία, Λιθουανία, Πολωνία, Ρουμανία, Σλοβακία, Σουηδία, Ελβετία και Τουρκία.



Εικόνα 11: Οι τάσεις των πυρκαγιών σε διάφορες ευρωπαϊκές χώρες για το χρονικό διάστημα 1998 – 2007 (GFRA 2010)

4.2 Η τεχνική αναφορά για τις Δασικές Πυρκαγιές σε Ευρώπη, Μέση Ανατολή και Βόρεια Αφρική (Joint Research Centre – European Commission)

Η ίδρυση του Ευρωπαϊκού Συστήματος Πληροφοριών για τις δασικές πυρκαγιές (EFFIS), είχε ως στόχο την παροχή αξιόπιστων πληροφοριών για τις δασικές πυρκαγιές σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Οι δραστηριότητες και οι έρευνες, για τη δημιουργία του συστήματος, άρχισαν το

έτος 1998 και οι πρώτες του λειτουργίες έγιναν το έτος 2000. Το 2003, το σύστημα συμπεριλήφθηκε επίσημα στο πλαίσιο των Διακανονισμών της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (EC) Νο 2152/2003 (Forest Focus) του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου και Κοινοβουλίου, σχετικά με τη διαχείριση των δασών και των περιβαλλοντικών αλληλεπιδράσεων.

Το σύστημα EFFIS δημιουργήθηκε από τις υπηρεσίες της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, σε συνεργασία με τις σχετικές υπηρεσίες, που είναι υπεύθυνες, για τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών των κρατών μελών της Ευρώπης, αλλά και άλλων ευρωπαϊκών χωρών. Αποτελεί το σημείο συγκέντρωσης των πληροφοριών για τις δασικές πυρκαγιές, σκοπεύοντας στην υποστήριξη της κάθε χώρας, όσον αφορά το θέμα αυτό. Επίσης, παρέχει υπηρεσίες, που εμπίπτουν στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όπως είναι το Διαχειριστικό και Πληροφοριακό Κέντρο προστασίας των πολιτών (Monitoring and Information Centre – MIC of Civil Protection) και το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο (European Parliament), με ενημερωμένες και εναρμονισμένες πληροφορίες (χρήση συγκεκριμένης μονάδας μέτρησης), για τις δασικές πυρκαγιές στην Ευρώπη.

Μέλη της ΕΕ, αλλά και γειτονικές χώρες, συνεργάζονται με το σύστημα από το 1998 για τον σκοπό αυτό. Το σύστημα EFFIS έδωσε τη δυνατότητα, στις χώρες που συμμετέχουν, να ανταλλάξουν μεταξύ τους καλές πρακτικές, για την αναχαίτιση και την καταπολέμηση των πυρκαγιών, πρακτικές αποκατάστασης και διάφορες άλλες δραστηριότητες, που σχετίζονται με τη διαχείριση της φωτιάς. Επί του παρόντος το EFFIS επεκτάθηκε και σε άλλες χώρες, με υψηλό ή αυξημένο κίνδυνο πυρκαγιών. Μέχρι τώρα έχουν εγγραφεί ως μέλη στην Ομάδα Εμπειρογνομόνων για τις Δασικές Πυρκαγιές (Expert Group on Forest Fires – EGFF), 37 χώρες, από τις οποίες οι 23 είναι κράτη-μέλη της ΕΕ, μεταξύ τους και η Κύπρος, οι δέκα ανήκουν μόνο γεωγραφικά στην Ευρώπη και οι υπόλοιπες τέσσερις αποτελούν χώρες της Μέσης Ανατολής και της Νότιας Αφρικής.

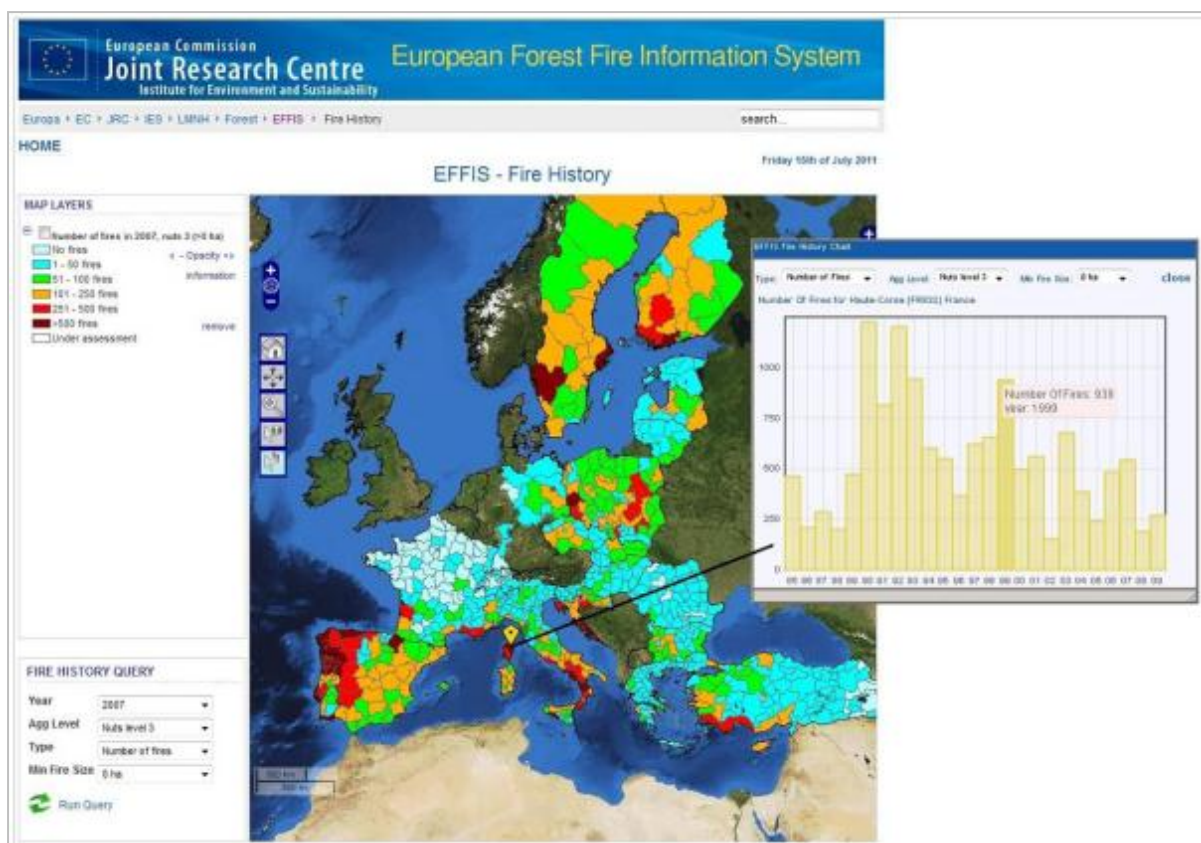
Η ετήσια έκθεση EFFIS για τις δασικές πυρκαγιές έχει μετατραπεί σε ένα σημαντικό αρχείο, που παρέχει πληροφορίες για την πρόβλεψη της εξέλιξη του κινδύνου των πυρκαγιών, αξιολογήσεις για τις ζημιές που προκάλεσαν οι πυρκαγιές και στατιστικά δεδομένα. Το κεφάλαιο, στο οποίο γίνεται ο απολογισμός για την κάθε χώρα, δίνει τη δυνατότητα να προωθηθούν στρατηγικές και πολιτικές για την αντιμετώπιση του φαινομένου.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, σκοπός του συστήματος είναι η παροχή πληροφοριών για την προστασία των δασών από τις πυρκαγιές και την αντιμετώπιση των συνθηκών πριν και μετά την εμφάνιση μιας πυρκαγιάς. Επίσης συγκεντρώνει τα δεδομένα των πυρκαγιών των

κρατών μελών διαμέσου των εθνικών προγραμμάτων για τις δασικές πυρκαγιές. Ένας διαδικτυακός χάρτης έχει αναρτηθεί στην ιστοσελίδα του συστήματος που επιτρέπει στους χρήστες, να έχουν πρόσβαση σε ένα ευρύ φάσμα πληροφοριών για τις δασικές πυρκαγιές και άλλων σχετικών δεδομένων.

ID	Unique Fire identifier	FIREID
TIME OF FIRE	Date of first alert [YYYYMMDD]	DATEAL
	Time of first alert [HHMM]	TIMEAL
	Date of first intervention [YYYYMMDD]	DATEIN
	Time of first intervention [HHMM]	TIMEIN
	Date of fire extinction [YYYYMMDD]	DATEEX
	Time of fire extinction [HHMM]	TIMEEX
LOCATION OF FIRE	Province Code (national nomenclature)	PROVCODE
	NUTS3 code	NUTS3
	Commune Code (national nomenclature)	CODECOM
	Commune Name (national nomenclature)	NAMECOM
	Latitude [decimal degrees]	NORTH
	Longitude [decimal degrees]	EAST
SIZE OF FIRE (Ha)	Burnt Area FOREST	BAFOR
	Burnt Area OTHER WOODED LAND	BAOW
	Burnt Area OTHER NON WOODED NATURAL LAND	BAONW
	Burnt Area AGRICULTURE AND OTHER ARTIFICIAL LAND	BAAGR
CAUSE OF FIRE	Presumed Cause (EU categories code)	CAUSE_EU
	Presumed Cause (Country detailed categories code)	CAUSE_CO

Εικόνα 12: Οι πληροφορίες που καταχωρούνται στο σύστημα EFFIS για κάθε συμβάν πυρκαγιάς (JRC 2011)



Εικόνα 13: Ο διαδικτυακός χάρτης του συστήματος EFFIS (JRC 2011)

Το σύστημα διαθέτει ημερησίως, χάρτες μετεωρολογικής επικινδυνότητας για πυρκαγιές και προβλέψεις για κίνδυνο πυρκαγιών έξι μέρες πριν. Οι χάρτες του ενημερώνονται με τις τελευταίες πυρκαγιές και τις περιμέτρους τους. Η προκαλούμενη ζημιά υπολογίζεται από τους χάρτες καμένης γης του συστήματος EFFIS. Από το 2000, η χαρτογράφηση της καμένης περιοχής πραγματοποιείται μέσω δορυφορικών απεικονίσεων. Κατά τη διάρκεια του έτους 2003, χάρη στη διαθεσιμότητα ημερήσιων δορυφορικών απεικονίσεων από τον αισθητήρα MODIS, που φέρουν οι δορυφόροι TERRA και AQUA, γίνονται συχνές ενημερώσεις της συνολικής καμένης περιοχής στην Ευρώπη. Από το 2007, το σύστημα ενημερώνεται πάνω από δύο φορές τη μέρα. Επιπλέον, διεξάγονται αναλύσεις των χρήσεων γης, που έχουν επηρεαστεί από τις πυρκαγιές. Η καμένη περιοχή, που χαρτογραφείται από το σύστημα, αντιπροσωπεύει κατά μέσο όρο το 75% – 80%, της συνολικής καμένης περιοχής, της Ευρώπης κάθε χρόνο.

Άλλες μονάδες μέτρησης που έχουν αναπτυχθεί, είναι η αποτίμηση της ατμοσφαιρικής εκπομπής από τις δασικές πυρκαγιές, αλλά και για τις κοινωνικοοικονομικές συνέπειες των δασικών πυρκαγιών στην Ευρώπη.

Οι στατιστικές πληροφορίες του συστήματος εξήχθησαν από τη χρήση της βάσης δεδομένων του European CORINE Land Cover 2000 (CLC). Οι χαρτογραφημένες καμένες περιοχές αλληλεπικαλύφθηκαν με δεδομένα από το CLC, επιτρέποντας την παραγωγή αποτελεσμάτων από την αξιολόγηση των ζημιών.

Η έκθεση Γρήγορης Αποτίμησης της Ζημιάς (Rapid Damage Assessment) του EFFIS βασίζεται σε ανάλυση δορυφορικών απεικονίσεων MODIS. Ο αισθητήρας αυτός είναι ενσωματωμένος στους δορυφόρους TERRA (πρωινές λήψεις) και AQUA (απογευματινές λήψεις). Τα δεδομένα MODIS έχουν δύο κανάλια (red and near-infrared bands) με χωρική διακριτική 250 m και πέντε κανάλια (blue, green, and three short-wave Infrared bands) με χωρική διακριτική ικανότητα 500 m.

Η χαρτογράφηση των καμένων περιοχών προκύπτει από τα ημερήσια δεδομένα του υπέρυθρου και του εγγύς υπέρυθρου καναλιού. Παρόλα αυτά, χρησιμοποιούνται και τα κανάλια με χωρική διακριτική ικανότητα 500 m, αφού παρέχουν συμπληρωματική πληροφορία, μέσω της οποίας βελτιώνεται ο διαχωρισμός της καμένης γης.

Αυτού του είδους απεικονίσεων δίνουν τη δυνατότητα λεπτομερούς χαρτογράφησης πυρκαγιών των περίπου 50 εκτάρων και μεγαλύτερη. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μη χαρτογραφούνται περιοχές που έχουν μικρότερη έκταση από 40 εκτάρια και στη χαρτογράφηση να λαμβάνεται υπόψη μόνο ένα μέρος των καμένων εκτάσεων. Κατά μέσο όρο η καμένη έκταση των τουλάχιστον 40 εκτάρων υπολογίζεται γύρω στο 75% της συνολικής καμένης περιοχής κάθε χρόνο στη νοτιότερη Ευρώπη.

Στον πιο κάτω πίνακα παρουσιάζεται η συνολική καμένη έκταση από πυρκαγιές μεγαλύτερες των 40 εκταρίων από την ανάλυση δορυφορικών απεικονίσεων. Οι καμένες περιοχές μπορεί να περιλαμβάνουν ακόμη και αγροτουριστικές και αστικές περιοχές, που κάηκαν κατά τη διάρκεια δασικών πυρκαγιών.

Σύμφωνα με τα δεδομένα της Έκθεσης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, οι νότιες χώρες είναι αυτές που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη έκθεση στις δασικές πυρκαγιές.

Το σύστημα παρακολουθεί το φαινόμενο των πυρκαγιών στην Ευρώπη και στην περιοχή της Μεσογείου και συχνά αποστέλλει ενημερώσεις στις υπηρεσίες της Ευρωπαϊκής Ένωση κατά τη διάρκεια της εποχής που εμφανίζονται συχνότερα οι πυρκαγιές.

Πίνακας 4: Οι καμένες εκτάσεις, που έχουν εμβαδό πάνω από 40 ha, για το 2011

*Τα εμβαδά υπολογίστηκαν με τη χρήση δορυφορικών απεικονίσεων

<i>Country</i>	<i>Area (Ha)</i>	<i>Number of Fires</i>
Albania	53308.75	201
Algeria	52984.35	279
Belgium	2180.39	3
Bosnia	17100.3	34
Bulgaria	11589.64	23
Croatia	17379.58	31
Cyprus	939.24	3
France	4830.67	23
FYROM	20463.8	47
Greece	36872.79	89
Ireland	16675.47	15
Italy	37557.18	253
Montenegro	17763.93	50
Morocco	4666.83	15
Norway	641.27	1
Portugal	64840.52	319
Romania	333.24	1
Serbia	1056.9	4
Spain	64598.1	304
Sweden	142.64	1
Switzerland	73.93	1
The Netherlands	147.58	1
Tunisia	3520.34	17
Turkey	8984.94	11
United Kingdom	17195.03	44
TOTAL	455847.4	1770

Πηγή: JRC 2011

Σύμφωνα με την έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής, η εποχή των πυρκαγιών το 2011, στην Κύπρο ήταν ήπια, με συνολική καμένη έκταση 939,24 εκτάρια, που προέκυψε από τρεις πυρκαγιές κατά τη διάρκεια του Ιουλίου και του Αύγουστου. Τα 54,24 από αυτά τα εκτάρια ήταν μέρος προστατευόμενων περιοχών του προγράμματος NATURA 2000, που αντιστοιχεί στο ποσοστό 5,58% της συνολικής καμένης περιοχής και στο 0,03% της συνολικής έκτασης των περιοχών Natura 2000 της χώρας. Στον Πίνακα 5 παρουσιάζεται η κατανομή της καμένης περιοχής ανά τύπο χρήσης γης από τη βάση δεδομένων CLC (645,76 εκτάρια ήταν δάση και 293,48 εκτάρια ήταν αγροτουριστικές περιοχές).

Πίνακας 5: Οι καμένες εκτάσεις στην Κύπρο ανά τύπο χρήσης γης για το 2011

<i>Land cover</i>	<i>Area burned</i>	<i>% of total</i>
Forest/Other Wooded Land	645.76	68.75%
Agricultural Areas	293.48	31.25%
<i>Total:</i>	<i>939.24</i>	<i>100%</i>

Πηγή: JRC 2011



Εικόνα 14: Δορυφορική εικόνα, που παρουσιάζει τις πληγμένες περιοχές για το 2011 (JRC 2011)

Πίνακας 6: Εκτάσεις που κάηκαν από τις περιοχές του δικτύου Natura 2000, το 2011

<i>Country</i>	<i>Area (Ha)</i>
Belgium	2144.01
Bulgaria	9352.87
Cyprus	52.44
France	690.97
Greece	11849.27
Ireland	9629.84
Italy	11986.65
Portugal	16904.78
Romania	333.24
Spain	27254.97
Sweden	142.64
The Netherlands	147.58
United Kingdom	8535.57
TOTAL	99024.83

Πηγή: JRC 2011

Πίνακας 7: Ο αριθμός των δασικών πυρκαγιών ανά έτος και χώρα για το χρονικό διάστημα 1990 – 2011
Δεδομένα από το σύστημα EFFIS

Country	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Austria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	954 ^a	912 ^b	750 ^b	-	218	192	356
Bulgaria	-	73	602	1196	667	114	246	200	578	320	1710	825	402	452	294	241	393	1479	582	314	222	635
Croatia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7797	4024	4692	6923	2853	3368	3571	5176	-	-	-	-
Cyprus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	285	299	243	427	221	185	172	111	114	91	133	85
Czech Rep.	-	-	-	-	-	1331	1421	1398	2563	1402	1499	483	604	1754	873	619	697	-	-	-	-	-
Estonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	356	111	89	65	248	64	71	47	30	24
Finland	-	-	-	-	-	-	1475	1585	370	1528	826	822	2546	1734	816	1069	3046	1204	1456	1242	1412	1215
FYROM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	652	573	80	99	523
Germany	-	1846	3012	1694	1696	1237	1748	1467	1032	1178	1210	587	513	2524	626	496	930	779	818	858	780	888
Hungary	-	-	-	-	-	-	-	-	-	229	811	419	382	375	104	150	97	603	502	608	109	2021 ^c
Latvia	604	225	1510	965	763	582	1095	768	357	1196	915	272	1720	900	647	365	1929	425	700	823	316	360
Lithuania	-	-	1180	634	715	472	894	565	258	1022	654	287	1596	885	468	301	1545	251	301	471	104	142
Poland	575 ^c	3528	11858	8821	10710	7681	7924	6818	6166	9820	12428	4480	10101	17088	7219	12803	11828	8305	9091	9161	4880	9220
Romania	131	42	187	159	121	62	72	37	59	138	688	268	516	203	34	64	105	478	91	190	70	340
Slovakia	-	-	-	-	366	254	662	535	1056	426	824	311	570	872	153	287	237	463	182	347	127	303
Slovenia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	224	51	73	112	140	74	120	32	114
Sweden	-	-	-	-	-	-	4854	7057	2503	4707	4708	4831	6490	8282	4955	4573	4618	3737	5420	4180	3120	3534
Switzerland	235	148	70	76	74	87	108	135	91	45	49	48	67	154	49	63	46	39	46	52	57	76
Turkey	1750	1481	2117	2545	3239	1770	1645	1339	1932	2075	2353	2631	1471	2177	1762	1530	2227	2829	2135	1793	1861	1954

Πηγή: JRC 2011

Οι συνολικοί αριθμοί, του Πίνακα 7, δεν αντιστοιχούν πάντα με τους δημοσιευμένους αριθμούς πυρκαγιών για τους εξής λόγους:

- Οι πυρκαγιές αγροτικών περιοχών καταχωρούνται στη βάση δεδομένων EFFIS, σε περίπτωση που δηλωθούν, αλλά αποκλείονται από τους υπολογισμούς των δασικών πυρκαγιών.
- Κάποιες χώρες δεν δίνουν λεπτομερείς αναφορές για ολόκληρη την επικράτεια τους.

Πίνακας 8: Το εμβαδό των καμένων εκτάσεων διάφορων χωρών για το χρονικό διάστημα 1990-2011

Country	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Austria	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74 ^a	75 ^a	48 ^a	-	22	37	78
Bulgaria	-	511	5243	18164	18100	550	906	595	6967	8291	57406	20152	6513	5000	1137	1456	3540	42999	5289	2271	6526	6883
Croatia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	129883	27251	74945	77359	8988	21407	18782	63719	-	-	-	-
Cyprus	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8034	4830	2196	2349	1218	1838	1160	4483	2392	885	2000	1599
Czech Rep.	-	-	-	-	-	403	2043	359	1132	336	375	87	178	1236	335	227	53	-	-	-	-	-
Estonia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2082	207	379	87	2638	292	1280	59	25	19
Finland	-	-	-	-	-	-	433	1146	131	609	266	187	590	666	358	495	1617	576	830	576	520	580
FYROM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32665	5915	1307	737	17308
Germany	-	920	4908	1493	1114	592	1381	599	397	415	581	122	122	1315	274	183	482	256	538	757	522	214
Hungary	-	-	-	-	-	-	-	-	-	756	1595	-	1227	845	247	3531	625	4636	2404	6463	878	8055 ^b
Latvia	258	69	8412	570	326	535	927	448	211	1544	1341	311	2222	559	486	120	3387	272	364	646	92	115
Lithuania	-	-	769	274	279	321	478	226	93	494	352	113	746	436	253	51	1199	38	112	287	22	293
Poland	7341	2567	4375 ^c	8290	9171	5306	14120	6598	4019	8307	7013	3429	5593	28554	4338	7387	5912	2844	3028	4400	2126	2850
Romania	444	277	729	518	312	208	227	68	137	379	3607	1001	3536	762	124	162	946	2529	373	974	206	2195
Slovakia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	557	904	305	595	1567	157	524	280	679	118	510	192	403
Slovenia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	161	2100	138	280	1420	128	75	177	121	288
Sweden	-	-	-	-	-	-	1588	5873	422	1771	1552	1254	2626	4002	1883	1562	5710	1090	6113	1537	540	945
Switzerland	1705	96	27	34	404	444	286	1685	261	30	68	17	697	640	23	41	108	282	65	43	26	222
Turkey	13742	8081	12232	15393	38128	7676	14922	6316	6764	5804	26353	7394	8514 ^d	6644	4876	2821	7762	11664	29749 ^e	4679	3317	3612

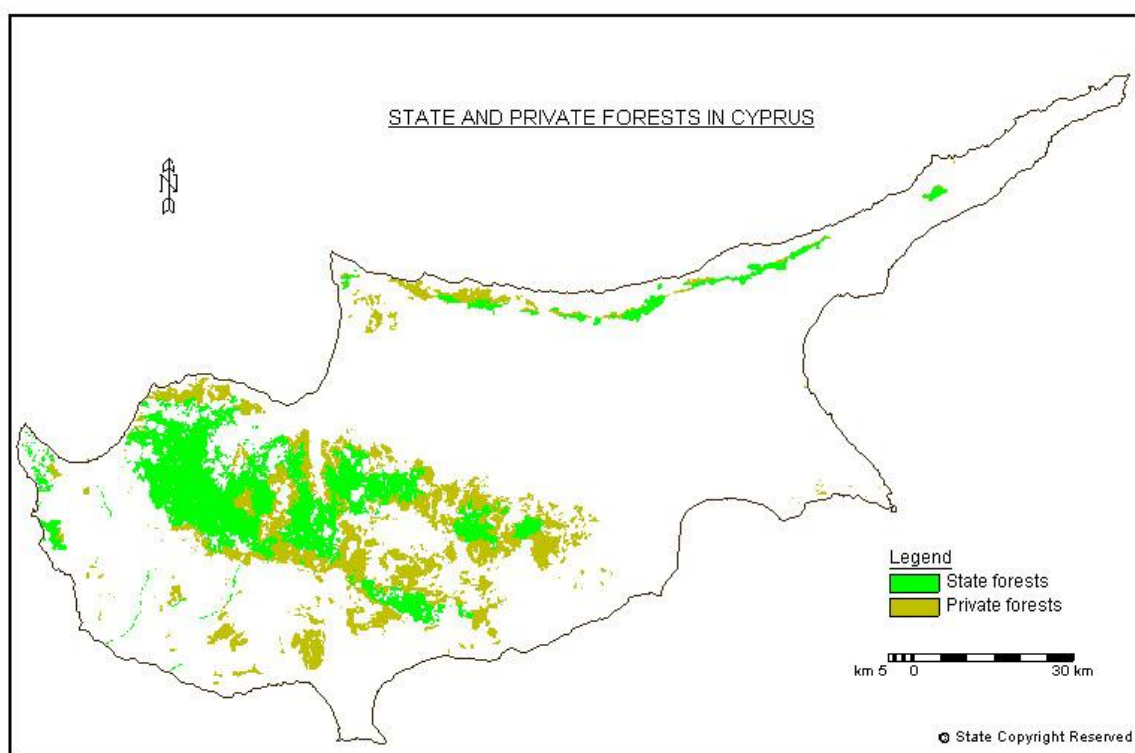
Πηγή: JRC 2011

5 Η βλάστηση στην Κύπρο

Το Τμήμα Δασών του Υπουργείου Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, είναι η αρμόδια Αρχή, για τη διαχείριση και την προστασία των κρατικών δασών. Τα δάση της Κύπρου, κυρίως για διοικητικούς σκοπούς, διαχωρίζονται σε τρεις περιφέρειες:

- Δασική Περιφέρεια Πάφου με έδρα το Σταυρό της Ψώκας
- Δασική Περιφέρεια Τροόδους με έδρα τα Πλατάνια
- Δασική Περιφέρεια Λευκωσίας/Λάρνακας με έδρα την Αθαλάσσα

Το μεγαλύτερο ποσοστό των ψηλών δασών αποτελούν κρατική ιδιοκτησία. Τα κρατικά δάση των ελεύθερων περιοχών, καταλαμβάνουν περίπου το 75%, της συνολικής κρατικής δασικής έκτασης της χώρας. Τα ιδιωτικά δάση αντιστοιχούν στο 31,25 % της συνολικής δασικής έκτασης της χώρας και βρίσκονται σε μικρά διασκορπισμένα τεμάχια. Τα περισσότερα από αυτά αποτελούν εγκαταλελειμμένη γεωργική γη.



Εικόνα 15: Η κατανομή των δασών – κρατικών και ιδιωτικών – της Κύπρου (Τμήμα Δασών Κύπρου)

Η διαχείριση των κρατικών δασών, έχει ως στόχο, την προστασία τους από τις πυρκαγιές, τη βελτίωση της παραγωγικότητάς τους και την αναδάσωση των καμένων και φτωχών – κγυμνών εκτάσεων. Η αλλαγή της χρήσης γης των Κρατικών δασών, απαγορεύεται από τον “Περί Δασών Νόμο” (1967, 1987 και 1991), ακόμη και σε περίπτωση δασών, που έχουν καταστραφεί. Αντίθετα, η χρήση της γης των ιδιωτικών δασών, μπορεί ανά πάσα στιγμή, να μετατραπεί σε οποιαδήποτε άλλη μορφή χρήσης, εφόσον καμία νομοθεσία, δε διαφυλάσσει την υφιστάμενη. Στα ιδιωτικά δάση, με βάση τον περί Προστασίας της Υπαίθρου Νόμο, παρέχεται μόνο μερική προστασία, από το Τμήμα Δασών και από την Επαρχιακή Διοίκηση.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία, τα Κρατικά δάση κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Κύρια κρατικά δάση
 - Μόνιμες δασικές περιοχές
 - Εθνικά δασικά πάρκα (Πίνακας 8)
 - Περιοχές προστασίας της φύσης (Πίνακας 9)
- Δευτερεύοντα κρατικά δάση
 - Δάση πολλαπλής χρήσης
 - Κοινοτικά δάση
 - Δημοτικά δάση
 - Δενδροκομεία
 - Περιοχές βόσκησης

Πίνακας 9: Τα εθνικά δασικά πάρκα της Κύπρου

A/A	Όνομασία	Έκταση (ha)
1	Παιδαγωγική Ακαδημία	45
2	Δάσος Λιοπετρίου	89
3	Αθαλάσσα	840,2
4	Τρόδος	9147,0
5	Κάβο Γκρέκο	384,9
6	Πολεμίδα	125,4
7	Ριζοελιά	97
8	Άγιος Νίκανδρος	25,92
9	Πέτρα του Ρωμιού	349,2
10	Μαχαιράς	4523,6

Πηγή: Τμήμα Δασών Κύπρου

Πίνακας 10: Οι περιοχές προστασίας της φύσης στην Κύπρο

A/A	Όνομασία	Έκταση (ha)
1	Τρίπυλος	823
2	Πικρομηλούδι	108,3
3	Λιβάδι του Ππασιά	14,5
4	Χιονίστρα	69
5	Προεδρική κατοικία (κρυός ποταμός)	28,4
6	Μαδαρή	1187,8
7	Μαύροι Γκρεμμοί	2557,6

Πηγή: Τμήμα Δασών Κύπρου

Πίνακας 11: Άλλες προστατευόμενες περιοχές – βουνοκορφές

A/A	Όνομα	Θέση	Περιοχή
1	Σταυροβούνι	Σταυροβούνι	Λάρνακα
2	Ξυλιάς	Κόρνος	Λάρνακα
3	Σταυρόπευκος	Οδού	Λάρνακα
4	Παπούτσα - Αετόμουτη	Παλαγχόρι	Λευκωσία
5	Πλατύ	Άλωνα	Λευκωσία
6	Δράκοντας	Πεδουλάς	Λευκωσία
7	Άγιος Ηλίας	Τρείς Ελιές	Λεμεσός
8	Πιπή	Πυργά - Μοσφιλωτή	Λευκωσία

Πηγή: Τμήμα Δασών Κύπρου

5.1 Τα κυριότερα είδη βλάστησης των Κυπριακών Δασών

Τα δάση της Κύπρου αποτελούνται κατεξοχήν από το δέντρο τραχεία πεύκη (*Pinus brutia*). Εκτιμάται ότι η έκταση που καταλαμβάνει η τραχεία πεύκη, ανέρχεται συνολικά στα 137.744 εκτάρια (σε κρατικά και ιδιωτικά δάση). Το συγκεκριμένο δέντρο φύεται παντού. Η πεδιάδα της Μεσαορίας είναι η μόνη περιοχή, που δε συναντάται. Μεγάλα δάση τραχείας πεύκης υπάρχουν στις οροσειρές του Τροόδου και Πενταδακτύλου. Συνήθως, ο υπόροφος των δασών αυτών είναι πλούσιος και αποτελείται από φρύγανα και μακί (*maquis*). Επίσης η τραχεία πεύκη μπορεί να φύεται μαζί με άλλα είδη δέντρων, όπως η μαύρη πεύκη (*Pinus nigra*), το κυπριακό κέδρο, το κυπαρίσσι και η αγριελιά.

Η μαύρη πεύκη υπάρχει στις ψηλότερες κορυφές (υψόμετρο \approx 1400 m και 1952 m) του Τροόδου και κυρίως στον Όλυμπο. Ο υπόροφος των δασών μαύρης πεύκης συνίσταται από μια ποικιλία θάμνων, μονοετών και πολυετών φυτών, ενδημικών αλλά και σπάνιων.

Το δάσος του κέδρου (*Cedrus brevifolia*), περιορίζεται στην περιοχή Τριπύλου, στο δάσος της Πάφου. Ο κέδρος εμφανίζεται σε αμιγείς, αλλά και σε μεικτές συστάδες με την τραχεία πεύκη και τη λατζιά (*Quercus alnifolia*), (Τμήμα Δασών 2006).

Η άρκευθος η δυσσομότατη (*Juniperus foetidissima*), η οποία ανήκει στην οικογένεια των Κυπαρισσίδων, περιορίζεται, όπως και η μαύρη πεύκη, στα ψηλότερα σημεία της οροσειράς του Τροόδου. Εμφανίζεται είτε σε αμιγείς, είτε σε μεικτές συστάδες, μαζί με τη μαύρη πεύκη. Η άρκευθος η υψηλή (*Juniperus excelsa*), συναντάται σε αμιγείς συστάδες, ή φύτευται, δημιουργώντας μεικτές συστάδες κυρίως με τη λατζιά, στις περιοχές της Μαδαρής, στις κορυφές της Παπούτσας και στην οροσειρά Τροόδου (υψόμετρο \approx 1300 m και 1610 m). Ένα άλλο είδος της οικογένειας αυτής, που φύτευται στα δάση της Κύπρου, είναι η άρκευθος η οξύδερος (*Juniperus oxycedrus*).

Ιθαγενές κωνοφόρο δέντρο, το οποίο δημιουργεί είτε αμιγείς, είτε μεικτές συστάδες μαζί με την τραχεία πεύκη, αποτελεί και το κυπαρίσσι (*Cupressus sempervirens*). Το υψόμετρο των περιοχών, στις οποίες συναντάται, κυμαίνεται από πολύ χαμηλό έως μέσο-ψηλό (\approx 1400 m). Οι περισσότερες συστάδες κυπαρισσιού βρίσκονται στην οροσειρά του Πενταδακτύλου.

Τα πλατύφυλλα δέντρα, συνθέτουν δάση, κυρίως, στις όχθες των ποταμών και των ρεμάτων. Τα παραποτάμια δάση, αποτελούνται συνήθως από τον πλάτανο (*Platanus orientalis*), τον σκλήθρο (*Alnus orientalis*) και τη λεύκη (*Salix alba*).

Η χαρουπιά (*Ceratonia siliqua*) και η άγρια ελιά (*Olea europaea*), αποτελούν χαμηλά αειθαλή δέντρα και φύονται είτε φυσικά, είτε τεχνητά. Η βελανιδιά (*Quercus infectoria*) συνθέτει μικρές αμιγείς, ή μεικτές συστάδες με τον τρέμιθο (*Pistacia atlantica*) και συναντάται σε χωριά όπως ο Αγρός και η Παναγιά.

Σχετικά μεγάλο μέρος της έκτασης των δασών, καταλαμβάνει η θαμνώδης βλάστηση (maquis). Αποτελείται κυρίως από τη σχινιά (*Pistacia lentiscus*), τον αόρατο (άρκευθος η φοινικική – *Juniperus phoenicea*) και το ρασί. Η χαμηλή βλάστηση, συνίσταται, επίσης από φρύγανα όπως είναι το μαζίν, η ρασιά, η σπατσιά, η ξυσταριά, το θρουμπί κ.α.

Πίνακας 12: Τα κυριότερα δασοπονικά είδη των δασών

Κρατικών Δασών	Ιδιωτικών Δασών
<ul style="list-style-type: none"> • Τραχεία Πεύκη • Μαύρη Πεύκη • Τραχεία & Μαύρη Πεύκη (μεικτές συστάδες) • Κέδρος • Κέδρος & Τραχεία Πεύκη (μεικτές συστάδες) • Τραχεία Πεύκη & Λατζιά (μεικτές συστάδες) • Αόρατος • Ευκάλυπτος • Πλάτανος & Σκλήθρος (παραποτάμια βλάστηση) 	<ul style="list-style-type: none"> • Τραχεία Πεύκη • Κυπαρίσσι • Χαρουπιά & Άγρια Ελιά (μεικτές συστάδες) • Αόρατος • Ευκάλυπτος • Πλάτανος & Σκλήθρος (παραποτάμια βλάστηση) • Βελανιδιά

Πηγή: Τμήμα Δασών Κύπρου

5.2 Οι δασικές πυρκαγιές και οι αρμόδιοι φορείς αντιμετώπισης τους στην Κύπρο

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο οι δασικές πυρκαγιές είναι η κύρια αιτία υποβάθμισης των δασών της Κύπρου. Το Τμήμα Δασών έχει ταξινομήσει τις πυρκαγιές με βάση τη νομική ευθύνη αντιμετώπισης του, από την αντίστοιχη αρμόδια αρχή, ως εξής:

Δασικές Πυρκαγιές

Θεωρούνται όλες οι πυρκαγιές, που εκδηλώνονται εντός των ορίων των κρατικών δασών, αλλά και αυτές που παρουσιάζονται εντός μιας απόστασης δύο χιλιομέτρων από τις παρυφές του δάσους. Δασική πυρκαγιά, αποτελεί και οποιαδήποτε άλλη φωτιά μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τα κρατικά δάση. Με βάση των περί Δασών Νόμο, την ευθύνη για τον έλεγχο και περιορισμό των πυρκαγιών αυτών, την έχει το Τμήμα Δασών.

Πυρκαγιές Υπαιθρου

Περιλαμβάνουν τις πυρκαγιές, που ξεσπούν στην ύπαιθρο και σε απόσταση μεγαλύτερη των δύο χιλιομέτρων από τα όρια του κρατικού δάσους. Ανάλογα με την περιοχή, στην οποία εκδηλώνεται η φωτιά, υπεύθυνη είναι η αντίστοιχη Επαρχιακή Διοίκηση με βάση τον “Περί Προλήψεως και Καταστολής Πυρκαγιών στην Ύπαιθρο Νόμο”.

Αστικές Πυρκαγιές

Θεωρούνται όλες οι πυρκαγιές, που εκδηλώνονται μέσα σε κατοικημένες περιοχές, ή εντός μιας απόστασης 13 χιλιομέτρων από τις κατοικημένες περιοχές. Την ευθύνη της κατάσβεσης τους έχει η Πυροσβεστική Υπηρεσία, με βάση τον περί Αστυνομίας Νόμο.

Αριθμός πυρκαγιών σε κρατική δασική γη και έκταση που κάηκε		
Έτος	Αριθμός πυρκαγιών	Κρατική δασική γη που κάηκε (ha)
2001	23	380
2002	28	20
2003	27	11
2004	15	14
2005	30	43
2006	24	112
2007	27	619
2008	39	13
2009	29	5
2010	31	63
Σύνολο	273	1280

Ο μέσος ετήσιος αριθμός πυρκαγιών σε κρατική δασική γη για τη δεκαετία είναι 27 πυρκαγιές και η μέση ετήσια καμένη έκταση κρατικού δάσους για τη δεκαετία είναι 128 εκτάρια. Συνολικά κατά τη δεκαετία 2001-2010 σημειώθηκαν 273 πυρκαγιές σε κρατική δασική γη οι οποίες κατέκαψαν 1280 εκτάρια κρατικού δάσους.

Αριθμός δασικών πυρκαγιών με σημείο έναρξης σε κρατική δασική γη και σε απόσταση ενός χιλιομέτρου από την οροθετική του κρατικού δάσους και έκταση που κάηκε (κρατική και ιδιωτική γη)		
Έτος	Αριθμός πυρκαγιών	Ολική έκταση που κάηκε (ha)
2001	58	1100
2002	82	69
2003	71	311
2004	82	135
2005	72	95
2006	102	260
2007	75	1397
2008	117	119
2009	71	77
2010	93	276
Σύνολο	823	3839

Ο μέσος ετήσιος αριθμός πυρκαγιών με σημείο έναρξης σε κρατική δασική γη και σε απόσταση ενός χιλιομέτρου από την οροθετική του κρατικού δάσους για τη δεκαετία είναι 82 πυρκαγιές και η μέση ετήσια καμένη έκταση είναι 384 εκτάρια. Συνολικά κατά τη δεκαετία 2001-2010 σημειώθηκαν 823 δασικές πυρκαγιές οι οποίες κατέκαψαν συνολικά 3839 εκτάρια κρατικής και ιδιωτικής γης.

Εικόνα 16: Αριθμός και έκταση δασικών πυρκαγιών για το διάστημα 2001-2010 (Τμήμα Δασών Κύπρου)

5.3 Το πρόγραμμα αποκατάστασης των καμένων εκτάσεων στην Κύπρο

Στα πλαίσια της αειφόρου διαχείρισης των Κυπριακών Δασών η εκτίμηση της κατάστασης των δασικών πόρων αλλά και η διαχρονική παρακολούθηση των μεταβολών πραγματοποιείται μέσω Κριτηρίων και Δεικτών.

Για την ανάπτυξη αυτών των Κριτηρίων και Δεικτών, αναλήφθηκαν οι εξής πρωτοβουλίες:

- του Ελσίνκι, Πανευρωπαϊκά Κριτήρια και Δείκτες από την Υπουργική Διάσκεψη για την Προστασία των Δασών (MCPFE – Ministerial Conference for the Protection of Forests in Europe)
- του Διεθνή Οργανισμού Τροπικής Ξυλείας (ITTO – International Tropical Timber Organization)
- του Μόντρεαλ (Montreal Process)
- της Ξηράς Ζώνης της Αφρικής
- της Εγγύς Ανατολής

Η Κύπρος, με την ένταξή της στην Ευρωπαϊκή Ένωση, κλήθηκε να υιοθετήσει τα Πανευρωπαϊκά Κριτήρια και Δείκτες, για αειφόρο διαχείριση των δασών και να τα προσαρμόσει στις ιδιάζουσες δασοπονικές συνθήκες του τόπου μας (Τμήμα Δασών Κύπρου 2006).

Η βιολογική και φυσική κληρονομιά της Κύπρου είναι πλούσια και μοναδική. Το γεγονός αυτό, απορρέει από τη γεωγραφική της θέση και τα ασυνήθιστα γεωλογικά και μετεωρολογικά χαρακτηριστικά της (Τμήμα Δασών Κύπρου 2006; Δελλά 1988). Σήμερα στην Κύπρο υπάρχουν περισσότερα από 1960 είδη φυτών (είδη, υποείδη, ποικιλίες και υβρίδια) με τα κωνοφόρα είδη να κυριαρχούν στα δάση. Τα ενδημικά είδη αποτελούν το 7% του συνολικού αριθμού (140). Επίσης συναντώνται σε διάφορες περιοχές του νησιού, διάσπαρτα ή σε μικρές συστάδες συγκεκριμένα είδη φυλλοβόλων.

Ιθαγενή είδη δέντρων θεωρούνται έξι κωνοφόρα και έξι πλατύφυλλα, όπως φαίνονται στον πιο κάτω πίνακα. Αυτά είναι και τα είδη δέντρων που πρέπει να φύονται στα δάση με βάση τα κριτήρια που τίθενται από το MCPFE (Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe).

Πίνακας 13: Ιθαγενή είδη δέντρων της Κύπρου

	Κωνοφόρα	Πλατύφυλλα
1	<i>Pinus brutia</i>	<i>Platanus orientalis</i>
2	<i>Pinus nigra sub spp. pallasiana</i>	<i>Alnus orientalis</i>
3	<i>Cedrus brevifolia</i>	<i>Salix alba</i>
4	<i>Juniperus foetidissima</i>	<i>Ceratonia siliqua</i>
5	<i>Juniperus excelsa</i>	<i>Olea europaea</i>
6	<i>Cupressus sempervirens</i>	<i>Quercus infectoria sub-spp. veneris</i>

Πηγή: Τμήμα Δασών Κύπρου

Οι υλοτομίες και οι δασοκομικές δραστηριότητες, πραγματοποιούνται μόνο στις Μόνιμες Δασικές Περιοχές. Τα Εθνικά Δασικά πάρκα, χρησιμοποιούνται για σκοπούς αναψυχής. Οι περιοχές προστασίας της φύσης, απλά διαφυλάσσονται.

Τα οικοσυστήματα των Μεσογειακών περιβαλλόντων έχουν υποστεί την περιοδική δράση της φωτιάς εδώ και χιλιάδες χρόνια, αναπτύσσοντας εξελικτικά μηχανισμούς που τους εξασφαλίζουν τόσο την επιβίωση όσο και την ταχεία αναγέννηση και επανάκαμψη. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι επιστήμονες υποστηρίζουν ότι η φωτιά θεωρείται ένας οικολογικός παράγοντας, με τον οποίο έχουν εξελιχθεί και στον οποίο έχουν προσαρμοστεί τα δασικά οικοσυστήματα, που συναντώνται σε περιοχές με μεσογειακό κλίμα (Αριανούτσου & Φαραγγιτάκης 2007). Χαρακτηριστικό αυτής της προσαρμογής, είναι η αναγέννηση των καμένων δασικών περιοχών μετά την πυρκαγιά. Η μεσογειακή βλάστηση αναπαράγεται μετά από μια πυρκαγιά από σπόρους ή με παραβλαστήματα, οδηγώντας στην αποκατάστασή της μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Εννοείται ότι για να επιτευχθεί αυτό, θα πρέπει η διαδικασία της αναγέννησης να μην επηρεαστεί από κατασταλτικούς παράγοντες. (Καζάνης & Αριανούτσου 1998).

Η φυσική αλλά και η τεχνητή αναδάσωση αποτελούν σημαντικό μέσο για τη διατήρηση, τη συντήρηση και την προστασία του συνόλου των δασικών πόρων. Με τη φυσική αναγέννηση εξασφαλίζεται η συντήρηση της γενετικής ποικιλότητας, της φυσικής σύνθεσης των ειδών, της δομής και της οικολογικής δυναμικής. Η εφαρμογή της τεχνητής αποκατάστασης υποβοηθά τη φυσική, σε περιπτώσεις που ένα δάσος αδυνατεί να ανακάμψει από μόνο του. Η

τεχνητή αναδάσωση αποτελεί μια πολιτική που συμβάλλει στην επίτευξη της βιώσιμης διαχείρισης των δασικών πόρων.

Οι τύποι αναγέννησης διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Φυσική αναγέννηση
- Φυσική αναγέννηση που ενισχύεται με σπορά ή και φύτευση
- Αναγέννηση με φύτευση ή και σπορά
- Βλάστηση λοχμών

Στην Κύπρο το δασοκομικό σύστημα, που εφαρμόζεται για τη διαχείριση των κηπευτών δασών, είναι το επιλογικό σύστημα. Η ώριμη ξυλεία, δηλαδή τα παλαιότερα και μεγαλύτερα δέντρα, ανεξάρτητα από την πυκνότητα συγκέντρωσης τους, αφαιρούνται σταδιακά και σε σχετικά σύντομα χρονικά διαστήματα (χρόνος περιφοράς: 10 – 15 χρόνια). Η λειτουργία τους συστήματος αυτού, ενθαρρύνει τη συνεχή ανανέωση των δασικών συστάδων και διατηρεί τη μορφή των κηπευτών δασών.

Οι κανόνες προσήμανσης για τα Κρατικά Δάση Τραχείας Πεύκης και Μαύρης Πεύκης, οι οποίοι έχουν αναθεωρηθεί το 1991, στοχεύουν στην αποκατάσταση της ζημιάς μέσω της φυσικής αναδάσωσης και επιδιώκουν την ανομήλικη δομή των συστάδων.

Οι κανόνες αυτοί προβλέπουν τρεις διαφορετικούς τύπους τεχνητής αναδάσωσης μέσω υλοτομίας. Κατά την προπαρασκευαστική φάση, αφαιρούνται ώριμα δέντρα, τα οποία αποτελούν τα γηραιότερα και τα πιο ανεπιθύμητα για την παραγωγή σπόρου, μειώνοντας τη συγκόμωση γύρω στο 70%. Ακολούθως, μετά από 10-15 χρόνια, που είναι η περίοδος περιφοράς, εφαρμόζεται η υλοτομία σποράς. Κατά το στάδιο αυτό, αφαιρούνται και πάλι δέντρα ώριμα και καχεκτικά. Η συγκόμωση μειώνεται στο 50%. Στόχος της υλοτομίας της σποράς, είναι η προετοιμασία του δάσους για τη αναβλάστηση νέων αρτίφυτρων. Η φωτοδότιδα υλοτομία, αποτελεί το τελικό στάδιο και εφαρμόζεται 10-15 χρόνια μετά από την υλοτομία της σποράς. Απομακρύνονται όλα τα εναπομείναντα δέντρα, για την απελευθέρωση της νέας βλάστησης. Σε σημεία όπου η φυσική αναγέννηση δεν ήταν επιτυχής, εκτελείται η τεχνητή αναδάσωση. Γενικά, όταν τα αποτελέσματα της φυσικής αναγέννησης δεν είναι εμφανή εντός ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, τότε πραγματοποιείται φύτευση ή σπορά για την ενίσχυση της διαδικασίας της αποκατάστασης.

Όταν σε ένα δάσος, που έχει πληγεί από πυρκαγιά, υπάρχουν δέντρα σπορείς ομοιόμορφα κατανεμημένα στο χώρο (στην καμένη έκταση), η περιοχή δεν ενοχλείται από ανθρώπινες

δραστηριότητες. Αντίθετα αφήνεται για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, συνήθως πέντε έως επτά χρόνια, να ανακάμψει από μονή της. Υπάρχουν περιπτώσεις, κατά τις οποίες η μηχανική παρέμβαση αποφεύγεται και διεξάγονται από το Τμήμα μόνο διαδικασίες ενίσχυσης της φυσικής αναγέννησης. Κάποια δέντρα, όπως για παράδειγμα, η τραχεία πεύκη, είναι προσαρμοσμένη στις συνθήκες της φωτιάς και αναπαράγεται επιτυχώς μετά από μια πυρκαγιά. Ο χρόνος που χρειάζεται κάθε φυτό για να αρχίσει να ανακάμπτει ποικίλει ανάλογα με το είδος του. Εάν η φυσική αναγέννηση αποτύχει, εφαρμόζεται φύτευση ή σπορά.

Η φυσική αναγέννηση είναι μια διαδικασία που συνεχίζει να εκτελείται και μετά την αποκατάσταση των βλαβών (Ραδόγλου 1999). Η διεργασία της εξαρτάται και από τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής, τα θρεπτικά συστατικά του εδάφους, τον ανταγωνισμό μεταξύ των φυτών που αναγεννιούνται αλλά και από εξωγενείς παράγοντες όπως είναι η βόσκηση. Οι συνεχείς πυρκαγιές, οι οποίες συμβαίνουν σε πιο σύντομα διαστήματα από αυτά που χρειάζεται η γλωρίδα για να ωριμάσει, οδηγεί αρχικά στην απόλυτη υποβάθμιση της παραγωγικής ικανότητας του εδάφους καταλήγοντας στην ερημοποίηση της περιοχής.

Σε περιοχές που έχουν κηρυχθεί ή πρόκειται να κηρυχθούν ως Φυσικά Αποθέματα, Μνημεία της Φύσης ή άλλες περιοχές απόλυτης προστασίας, δεν πραγματοποιείται καμία δασοκομική δραστηριότητα, εκτός από εξαιρετικές περιπτώσεις.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η μηχανική φύτευση και σπορά χρησιμοποιούνται και για την ενίσχυση υφιστάμενων αραιών συστάδων σε διάφορες δασικές περιοχές του νησιού. Όταν η σύνθεση και η κάλυψη της βλάστησης είναι ικανοποιητική, ακόμα και αν αυτή αποτελείται μόνο από θαμνώδεις είδη, δεν εφαρμόζεται καμία τεχνική δάσωσης.

Τα οικοσυστήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται από σπανιότητα (σε ευρωπαϊκό επίπεδο), τα Εθνικά Δασικά Πάρκα και οι περιοχές που υπάγονται στο δίκτυο Natura 2000, έχουν προτεραιότητα, όσον αφορά τα έργα δασώσεων και αναδασώσεων. Εάν αποφασιστεί η δάσωση περιοχής με προστατευόμενα ή σπάνια είδη φυτών, ή με άλλα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, πραγματοποιείται αρχικά, η απαιτούμενη μελέτη. Ακολουθούν οι δασοκομικές εργασίες, οι οποίες γίνονται με μεγάλη προσοχή, έτσι ώστε να μη διαταραχθεί η ισορροπία του οικοσυστήματος.

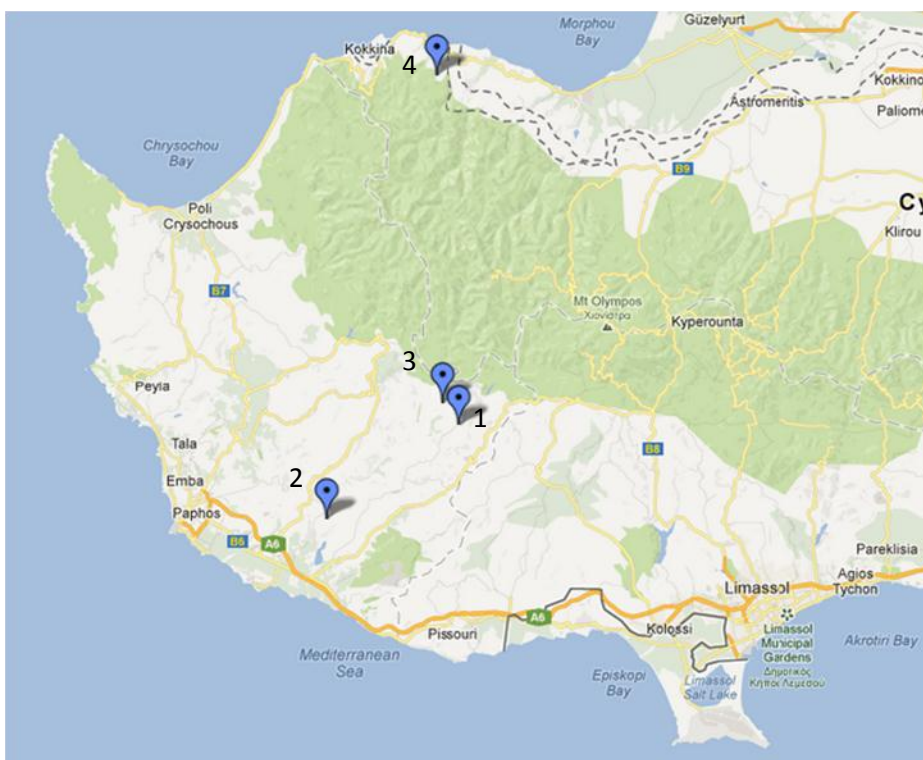
Είναι απαραίτητο οι όλες οι νέες φυτείες να συντηρούνται και να αρδεύονται τα πρώτα τρία χρόνια της ζωής τους.

6 Μεθοδολογία

6.1 Περιοχές μελέτης

6.1.1 Κύριες περιοχές μελέτης

Μελετήθηκαν οι καμένες περιοχές περίξ των χωριών Μέσανα, Νατά και Άγιος Ιωάννης της Επαρχίας Πάφου και του χωριού Πάνω Πύργος της Επαρχίας Λευκωσίας. Οι ημερομηνίες κατά τις οποίες κάηκαν οι εν λόγω περιοχές αναγράφονται στον Πίνακα 13.



Εικόνα 17: Η τοποθεσία των κύριων περιοχών μελέτης Μέσανα, Νατά, Άγιος Ιωάννης και Πάνω Πύργος (<https://maps.google.com/>)

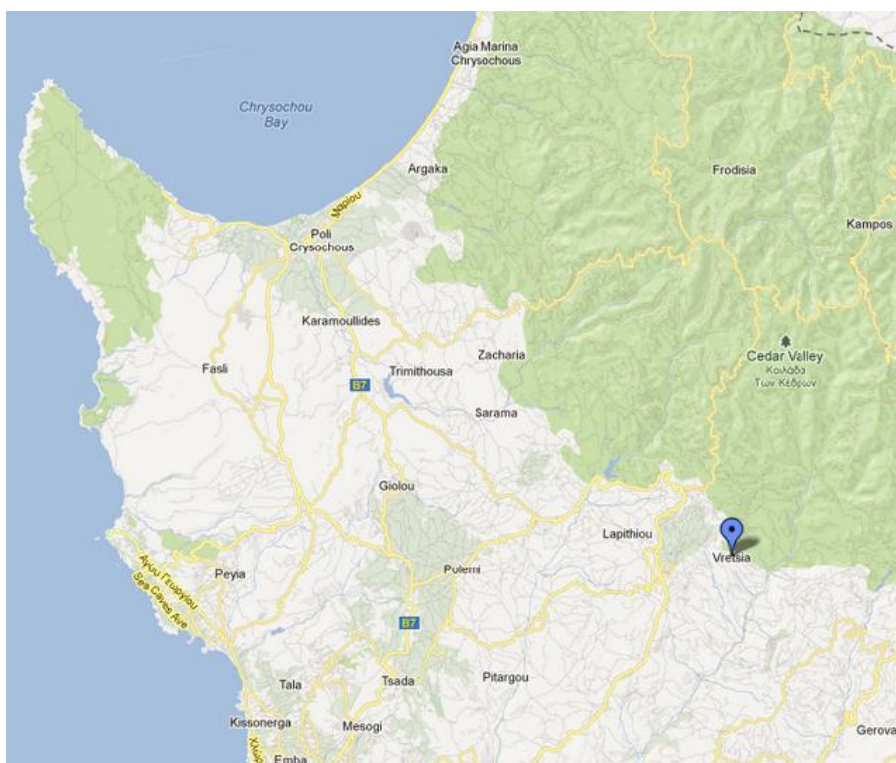
Πίνακας 14: Οι περιοχές μελέτης και οι ημερομηνίες των πυρκαγιών σε αυτές

A/A	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ	ΕΠΑΡΧΙΑ	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ
1	30/06/2001	Πάφος	Μέσσανα
2	04/07/2007	Πάφος	Νατά
3	25/05/2006	Πάφος	Άγιος Ιωάννης
4	04/07/1998	Λευκωσία	Πάνω Πύργος

6.1.2 Υπό-περιοχή μελέτης

Για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής, ορίστηκε και μια υπό-περιοχή μελέτης, στην οποία διεξήχθησαν μετρήσεις πεδίου με φασματοραδιόμετρο.

Ως υπό-περιοχή μελέτη, επιλέγηκε ένα από τα δάση, που βρίσκονται στην περιοχή του χωριού Βρέτσια, στην Επαρχία Πάφου. Το συγκεκριμένο δάσος βρίσκεται κοντά στα σύνορα του Κρατικού Δάσους. Το χωριό Βρέτσια είναι ένα εγκαταλελειμμένο τουρκοκυπριακό χωριό και βρίσκεται νοτιοδυτικά των παρυφών της οροσειράς του Τροόδους.



Εικόνα 18: Η τοποθεσία της υπό – περιοχής μελέτης Βρέτσια (<https://maps.google.com/>)

Στις 27 Σεπτεμβρίου 2012 ξέσπασε μεγάλη πυρκαγιά, η οποία κατέστρεψε περίπου 1km² άγριας βλάστησης, εγκαταλελειμμένων αμπελιών, ελαιόδεντρων και αμυγδαλιών. Επιλέγηκε η περιοχή αυτή, λόγω του ότι η ημερομηνία που κάηκε ήταν η πιο κοντινή, στην ημερομηνία που θα πραγματοποιούνταν οι μετρήσεις. Έτσι θα αποτελούσε ένα πολύ καλό δείγμα μελέτης της μεταβολή των φασματικών χαρακτηριστικών της καμένης περιοχής.



Εικόνα 19: Το καμένο δάσος στην περιοχή των Βρετσιών

6.2 Δεδομένα

6.2.1 Δεδομένα από το Τμήμα Δασών

Αρχικά δόθηκαν από το Τμήμα Δασών οι πιο κάτω πληροφορίες για σημαντικές πυρκαγιές που συνέβησαν διάφορες χρονιές.

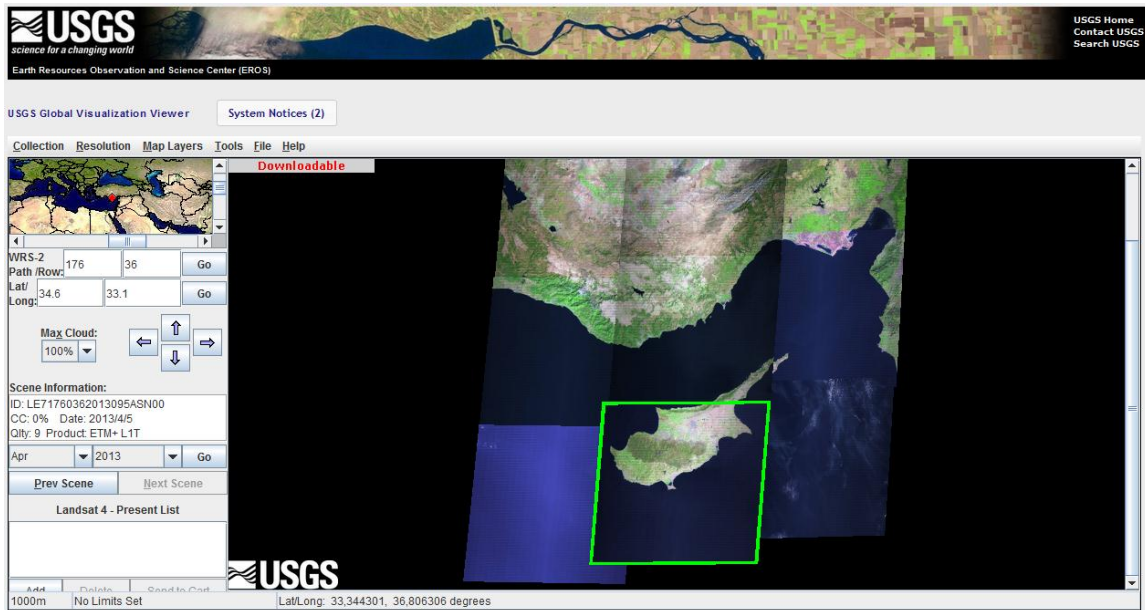
Πίνακας 15: Τα στοιχεία, που δόθηκαν από το Τμήμα Δασών σχετικά με τις πυρκαγιές για το χρονικό διάστημα 1964 – 2012

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ	ΕΠΑΡΧΙΑ	ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ
17/08/1964	Πάφος	Βρέτσια
05/07/1993	Πάφος	Αναρίτα
09/07/1994	Λευκωσία	Αμπελίκου
03/08/1997	Πάφος	Βροδύσια
08/08/1997	Λευκωσία	Πάνω Πύργος
04/07/1998	Λευκωσία	Πάνω Πύργος
03/08/2000	Πάφος	Στένη
15/11/2000	Πάφος	Πραστιό
30/06/2001	Πάφος	Μέσανα
06/07/2003	Λεμεσός	Κάτω Κιβίδες
03/03/2006	Πάφος	Αγία Μαρίνα Χρυσοχούς
25/05/2006	Πάφος	Άγιος Ιωάννης
29/06/2007	Λεμεσός	Μονιάτης
04/07/2007	Πάφος	Νατά
11/07/2011	Πάφος	Αγία Μαρίνα Χρυσοχούς
27/09/2012	Πάφος	Βρέτσια

6.2.2 Δορυφορικά δεδομένα

Έγινε προσπάθεια να ανευρεθούν δορυφορικές εικόνες, οι οποίες θα απεικόνιζαν τις πιο πάνω περιοχές λίγο πριν από την πυρκαγιά αλλά και μετά από αυτήν. Από την ιστοσελίδα

της υπηρεσίας USGS (United States Geological Survey), glovis.usgs.gov, ανακτήθηκαν 14 δορυφορικές εικόνες για τις τέσσερις κύριες περιοχές μελέτης.



Εικόνα 20: Ο διαδικτυακός χώρος της υπηρεσίας USGS

Πίνακας 16: Τα στοιχεία των δορυφορικών εικόνων, που χρησιμοποιήθηκαν για τις κύριες περιοχές μελέτης

	Εικόνα	Ημερομηνία
2	LE71760362000316EDC00	2000-11-11
4	LE71760362001142SGS00	2001-05-22
5	LE71760362001238SGS01	2001-08-26
6	LE71760362002033SGS00	2002-02-02
7	LE71760362002225SGS00	2002-08-13
9	LE71760362005297ASN00	2005-10-24
10	LE71760362006156ASN00	2006-06-05
11	LE71760362007127ASN00	2007-05-07
12	LE71760362007239ASN00	2007-08-27
17	LT51760361998110AAA01	1998-04-20
18	LT51760361998254XXX02	1998-09-11
19	LT51760362000212XXX02	2000-07-30
20	LT51760362003188MTI01	2003-07-07
21	LT51760362006260MOR00	2006-09-17

Για την υπό-περιοχή μελέτης, ανακτήθηκαν και πάλι από την υπηρεσία USGS, δύο ακόμη δορυφορικές εικόνες. Η εικόνα 23 προέρχεται από το δέκτη Landsat 5 TM και λήφθηκε πριν από το συμβάν της πυρκαγιάς στο υπό-μελέτη δάσος. Ενώ η εικόνα 26, λήφθηκε από το δέκτη Landsat 7 ETM + μετά από την πυρκαγιά.

Πίνακας 17: Τα στοιχεία των δορυφορικών εικόνων, που χρησιμοποιήθηκαν για την υπό-περιοχή μελέτης

	Εικόνα	Ημερομηνία
23	LT51760362011274MOR00	2011-10-01
26	LE71760362013095ASN00	2013-04-05

Οι εικόνες προέρχονται από τους δορυφόρους Landsat 7 ETM+ και Landsat 5 TM. Κάποιες από αυτές έχουν ανακτηθεί από τον αισθητήρα, που παράγει εικόνες με γραμμές σάρωσης. Το γεγονός αυτό δυσκόλεψε κατά πολύ τη μελέτη.

Το σύστημα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+ καταγράφει σε οκτώ διαφορετικά κανάλια. Σε κάθε λήψη συλλέγει ταυτόχρονα οκτώ εικόνες, μια για κάθε κανάλι. Ο δέκτης Landsat 5 TM χρησιμοποιεί για τις απεικονίσεις του επτά κανάλια. Τα τμήματα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, που αντιστοιχούν στα κανάλια των δύο δορυφόρων, αναγράφονται στους Πίνακες 18 και 19.

Πίνακας 18: Τα κανάλια του δέκτη Landsat 7 ETM+

Αριθμός Καναλιού	Διαστήματα Μηκών Κύματος (μm)	Φάσμα Η/Μ	Χωρική Διακριτική Ικανότητα (m)
1	0.45-0.52	Μπλε	30
2	0.52-0.60	Πράσινο	30
3	0.63-0.69	Κόκκινο	30
4	0.76-0.90	Εγγύς Υπέρυθρο	30
5	1.55-1.75	Μέσο Υπέρυθρο	30
6	10.40-12.50	Θερμικό Υπέρυθρο	60 * (30)
7	2.08-2.35	Μέσο Υπέρυθρο	30
8	0.52-0.90	Παγχρωματικό	15

Πηγή: http://landsat.gsfc.nasa.gov/education/compositor/invisible_light.html

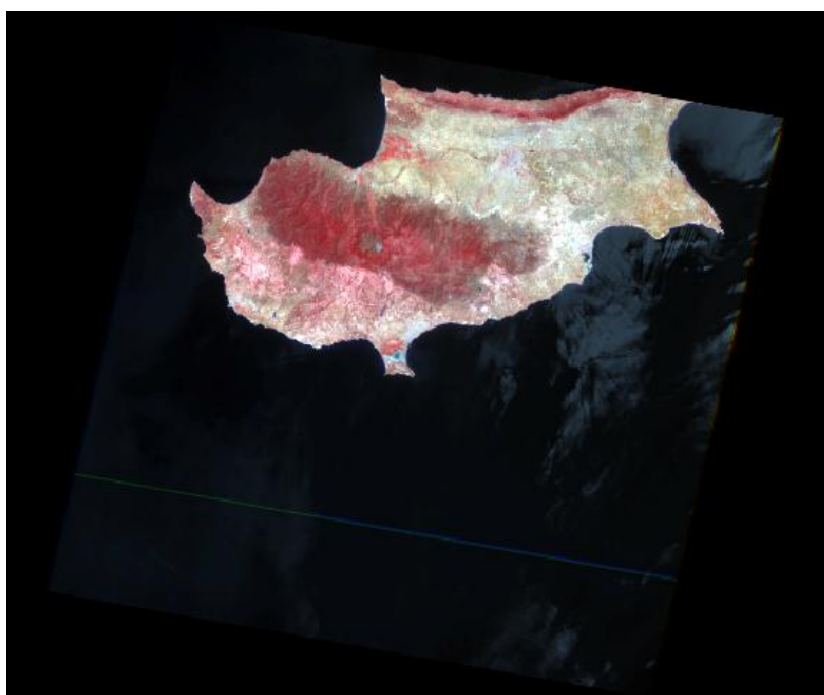
Πίνακας 19: Τα κανάλια του δέκτη Landsat 5 TM

Αριθμός Καναλιού	Διαστήματα Μηκών Κύματος (μm)	Φάσμα Η/Μ	Χωρική Διακριτική Ικανότητα (m)
1	0.45-0.52	Μπλε	30
2	0.52-0.60	Πράσινο	30
3	0.63-0.69	Κόκκινο	30
4	0.76-0.90	Εγγύς Υπέρυθρο	30
5	1.55-1.75	Μέσο Υπέρυθρο	30
6	10.40-12.50	Θερμικό Υπέρυθρο	120 * (30)
7	2.08-2.35	Μέσο Υπέρυθρο	30

Πηγή: http://landsat.gsfc.nasa.gov/education/compositor/invisible_light.html

Τα αρχεία που λήφθηκαν από την υπηρεσία USGS είναι της μορφής TIFF. Για το κάθε κανάλι της κάθε εικόνας δίνεται ένα αρχείο TIFF. Στο πρόγραμμα Erdas Imagine με την εντολή “Layer Stack” δημιουργήθηκαν οι εικόνες σε μορφή “.IMG”, από τα κανάλια (TIFF) που ήταν διαθέσιμα για την κάθε μια.

Τα δεδομένα, που χρησιμοποιήθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας διπλωματικής εργασίας είχαν πλεγματική μορφή και ήταν γεωμετρικά διορθωμένα και γεωαναφερόμενα από την υπηρεσία USGS GLOVIS.

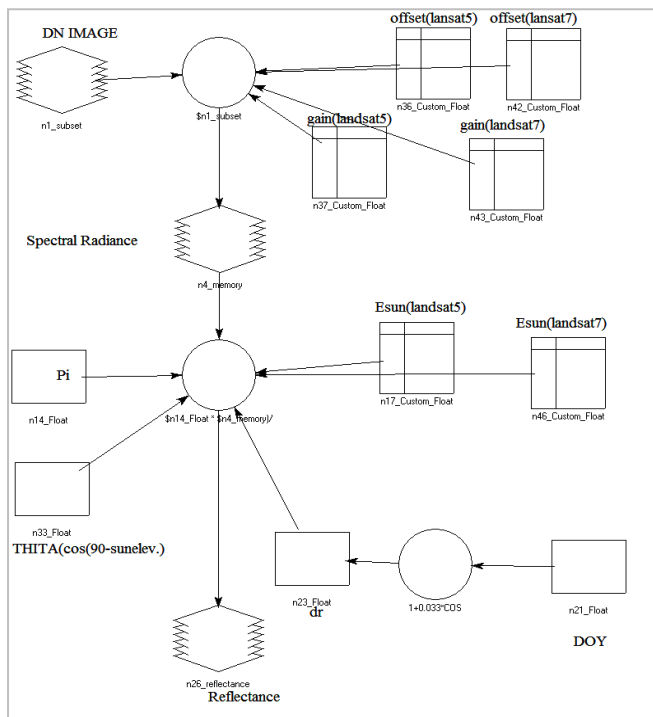


Εικόνα 21: Η δορυφορική εικόνα μορφής “.IMG” από αρχεία TIFF

6.3 Τα στάδια της μεθοδολογίας

6.3.1 Μεθοδολογία για τις κύριες περιοχές μελέτης

Αρχικά πραγματοποιήθηκε η ραδιομετρική διόρθωση των εικόνων στο λογισμικό Erdas Imagine. Η ραδιομετρική διόρθωση, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, επιτυγχάνεται με τη μετατροπή των ψηφιακών τιμών των εικονοστοιχείων σε μονάδες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και στη συνέχεια σε τιμές ανακλαστικότητας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο Modeler-Model Maker και το μοντέλο ραδιομετρικής διόρθωσης (Εικόνα 22).

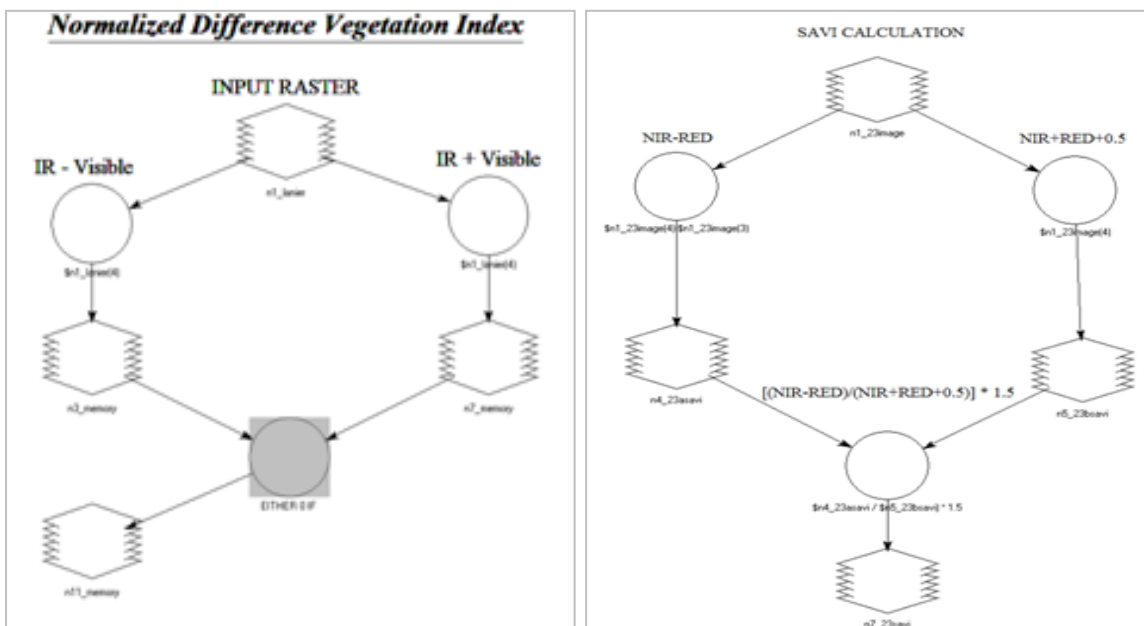


Εικόνα 22: Το μοντέλο της ραδιομετρικής διόρθωσης

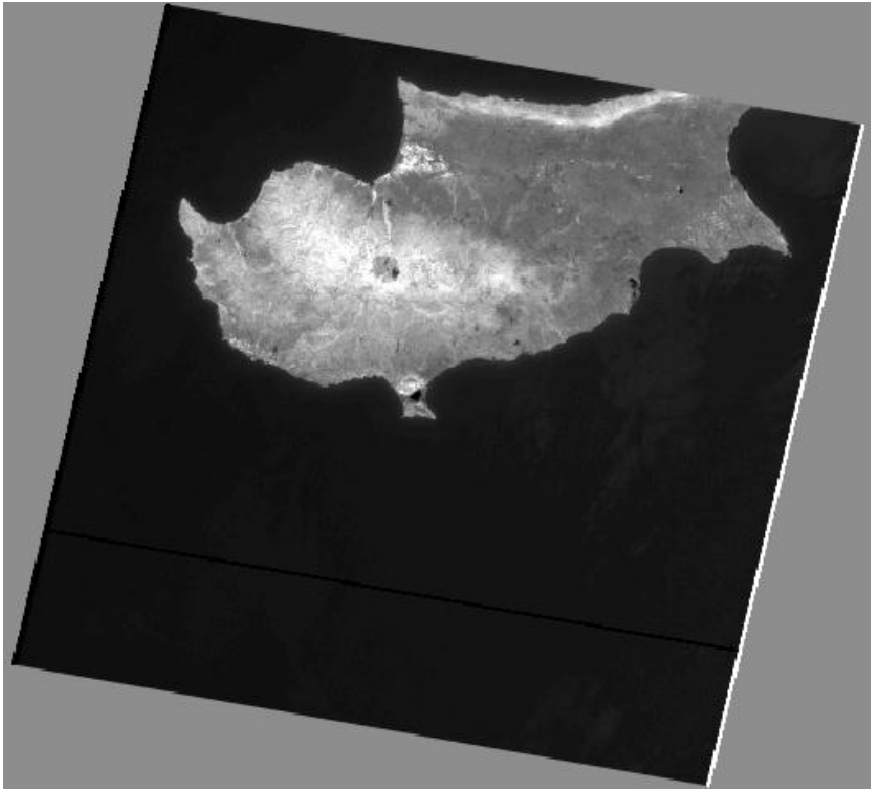


Εικόνα 23: Η ραδιομετρικά διορθωμένη εικόνα

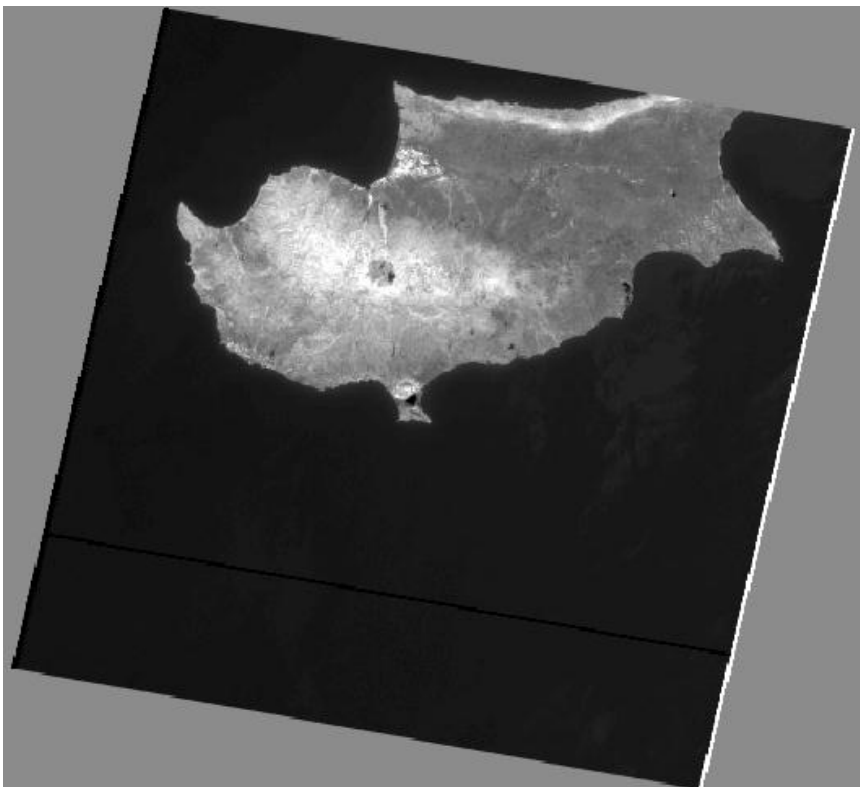
Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν και δημιουργήθηκαν οι χάρτες των δεικτών βλάστησης NDVI (Εικόνα 25) και SAVI (Εικόνα 26). Χρησιμοποιήθηκε και πάλι το εργαλείο Modeler-Model Maker του προγράμματος Erdas. Στο Model Maker έγιναν τα μοντέλα για τον υπολογισμό των δεικτών (Εικόνα 24).



Εικόνα 24: Τα μοντέλα, που δημιουργήθηκαν στο Model Maker, για τον υπολογισμό των δεικτών NDVI και SAVI



Εικόνα 25: Η απεικόνιση του δείκτη NDVI



Εικόνα 26: Η απεικόνιση του δείκτη SAVI

Για τη σύγκριση της κατάστασης μιας περιοχής πριν και μετά την πυρκαγιά χρησιμοποιήθηκε ένα ζεύγος εικόνων. Η κάθε περιοχή ενδιαφέροντος αποκόπηκε με την εντολή “Subset Image”.

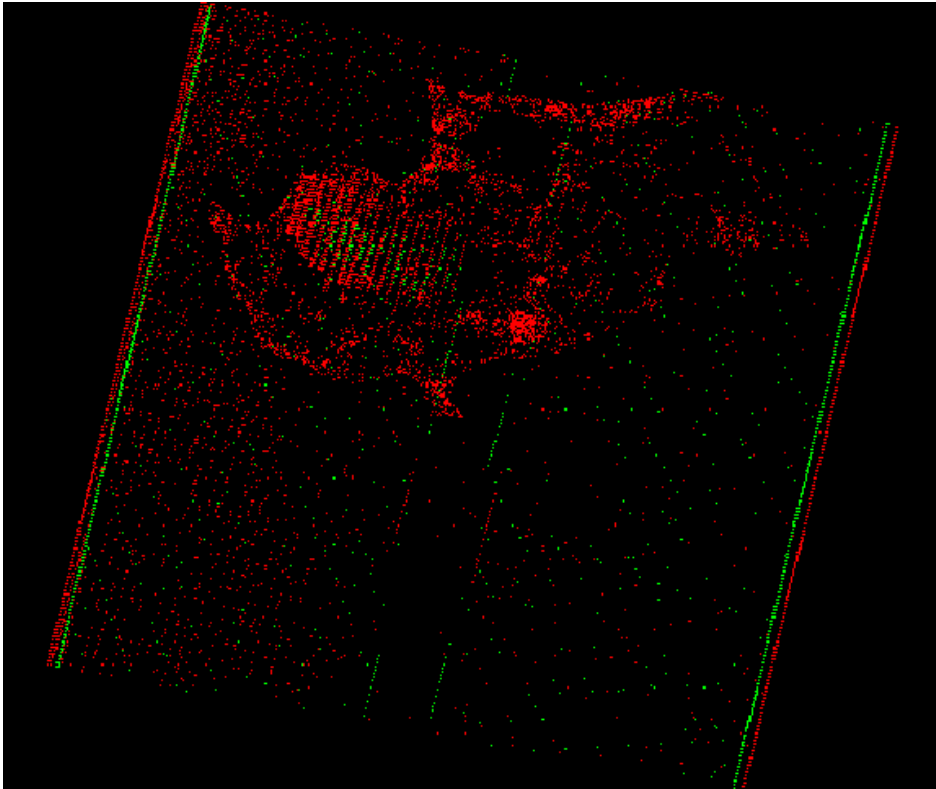
Μέσω της χρήσης των δύο δεικτών NDVI και SAVI, έγινε η διάκριση της μεταβολή της βλάστησης, λόγω της πυρκαγιάς, τόσο οπτικά όσο και ποσοτικά. Για τις περιοχές μελέτης εξάχθηκε από το πρόγραμμα, ένα ιστόγραμμα, το οποίο απεικονίζει τον κάθε δείκτη βλάστησης πριν και μετά από την πυρκαγιά.

Στη συνέχεια, οι δείκτες NDVI και SAVI μελετήθηκαν πιο λεπτομερώς. Για την κάθε περιοχή, εκτός από την περίπτωση του χωριού Πάνω Πύργος, επιλέγηκε ένα σύνολο εικόνων, των οποίων οι ημερομηνίες ήταν κοντά στην ημερομηνία της πυρκαγιάς. Η μια εικόνα από το σύνολο είχε ληφθεί μετά από την πυρκαγιά, ενώ οι υπόλοιπες πριν από αυτή. Δηλαδή σε κάθε περιοχή μελέτης αντιστοιχούσε ένα σύνολο απεικονίσεων δείκτη NDVI και ένα σύνολο απεικονίσεων SAVI αντίστοιχα.

Οι πυρκαγιές αναγνωρίστηκαν μέσω φωτοερμηνείας. Δημιουργήθηκαν με τη χρήση των AOI Tools (από το Viewer) τα όρια των πυρκαγιών στις εικόνες. Με αυτά τα όρια αποκόπηκαν οι εικόνες των δεικτών βλάστησης (πριν και μετά την πυρκαγιά), που αντιστοιχούσαν σε κάθε καμένη περιοχή. Καταγράφηκαν τα στατιστικά των δεικτών, της κάθε κομμένης περιοχής.

Στις εικόνες, που περιλάμβαναν γραμμές σάρωσης, σχεδιάστηκαν διαφορετικές περιοχές ενδιαφέροντος (AOI), με σκοπό τον αποκλεισμό των γραμμών και συνεπώς και των τιμών τους, από τις περιοχές μελέτης. Οι γραμμές σάρωσης, οι οποίες γενικά δεν προσφέρουν καμία αξιοποιήσιμη πληροφορία, επηρέαζαν τα στατιστικά που προέκυπταν για τους δείκτες. Αποτέλεσμα αυτού, ήταν να παρουσιαστούν δυσκολίες, κατά την εξήγηση των τιμών και κατά την εξαγωγή συμπερασμάτων. Η επεξεργασία των στατιστικών δεδομένων, πραγματοποιήθηκε στο πρόγραμμα Microsoft Office Excel.

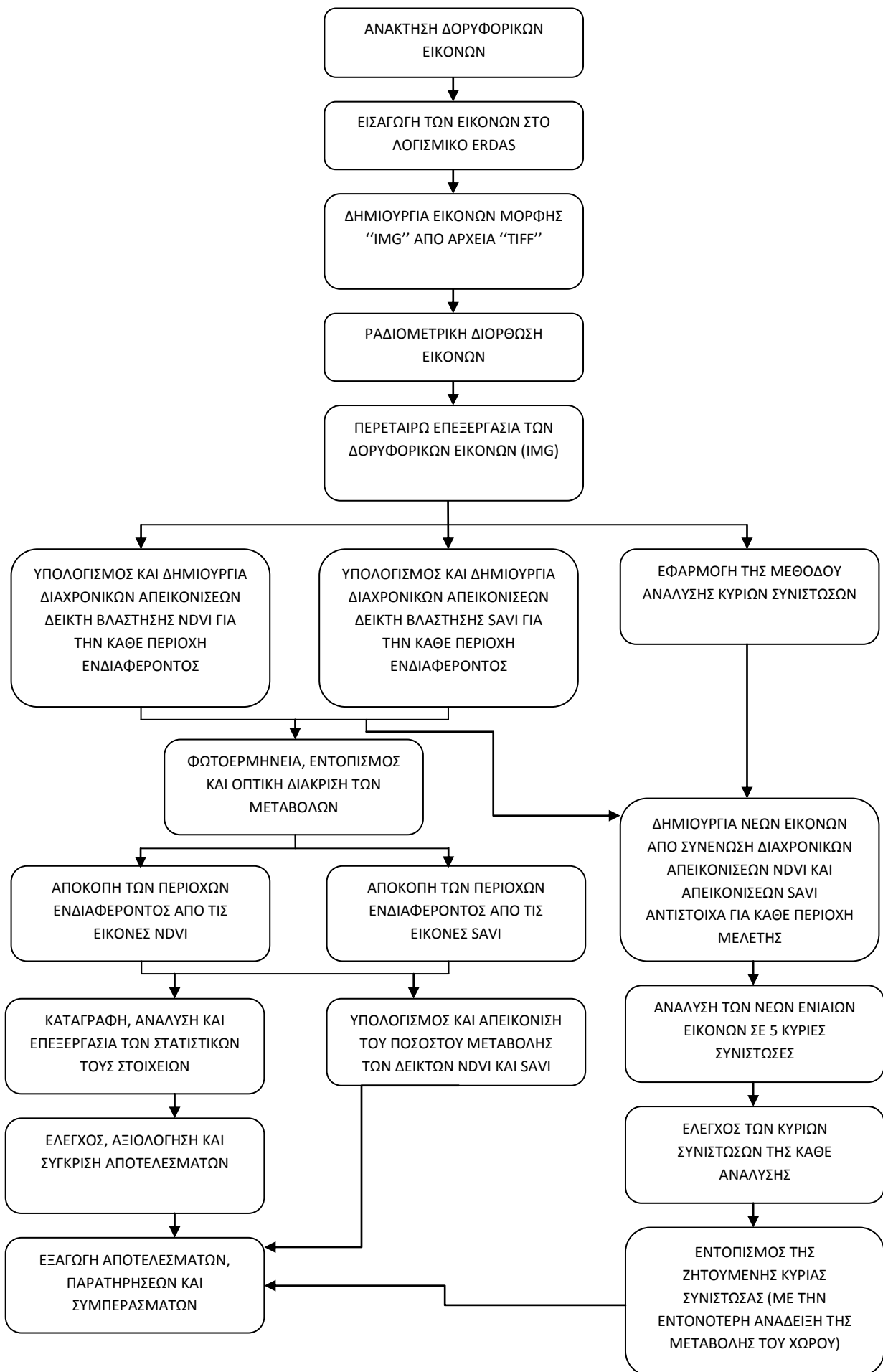
Στη συνέχεια, ακολουθώντας τις εντολές Interpreter-Utilities-Change Detection, υπολογίστηκε από το λογισμικό ο χάρτης μεταβολής (Εικόνα 27) των δεικτών NDVI και SAVI, που προκάλεσαν οι πυρκαγιές σε κάθε περιοχή. Εισάχθηκαν στο λογισμικό μια εικόνα προ-πυρκαγιάς και μια μετά-πυρκαγιάς. Πριν από την εκτέλεση της διαδικασίας ορίστηκε ένα ποσοστό κάτω από το οποίο οι μεταβολές (μείωση ή αύξηση) δεν θα ήταν ορατές. Δοκιμάστηκαν διάφορες τιμές ποσοστών για την κάθε περίπτωση. Οι δοκιμές σταματούσαν όταν το ποσοστό, ήταν τέτοιο ώστε να είναι ορατή η μεταβολή στο χώρο.



Εικόνα 27: Η απεικόνιση της διαφοράς μεταξύ των τιμών του δείκτη βλάστησης προ-πυρκαγιάς από τις τιμές του δείκτη μετά-πυρκαγιάς

Τέλος με την εκτέλεση των εντολών Interpreter-Spectral Enhancement-Principal Components Analysis, εφαρμόστηκε η Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA). Για το σκοπό αυτό, το σύνολο των εικόνων του δείκτη NDVI, για την κάθε περιοχή – εκτός από αυτή του Πάνω Πύργου – συνενώθηκε δημιουργώντας μια ενιαία απεικόνιση. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τις απεικονίσεις SAVI. Επιλέχθηκε να αναλυθούν οι εικόνες, που προέκυψαν από τη συνένωση, σε πέντε κύριες συνιστώσες. Ελέγχθηκε η κύρια συνιστώσα, του κάθε επιπέδου, με σκοπό τον εντοπισμό αυτής που παρουσίαζε εντονότερα τη μεταβολή του χώρου, λόγω της πυρκαγιάς. Η μέθοδος δε χρησιμοποιήθηκε για την περίπτωση της περιοχής του Πάνω Πύργου, λόγω του ότι δεν είχαμε στη διάθεση μας επαρκή αριθμό δορυφορικών εικόνων.

Τα στάδια της πιο πάνω μεθοδολογίας φαίνονται και στην Εικόνα 27.



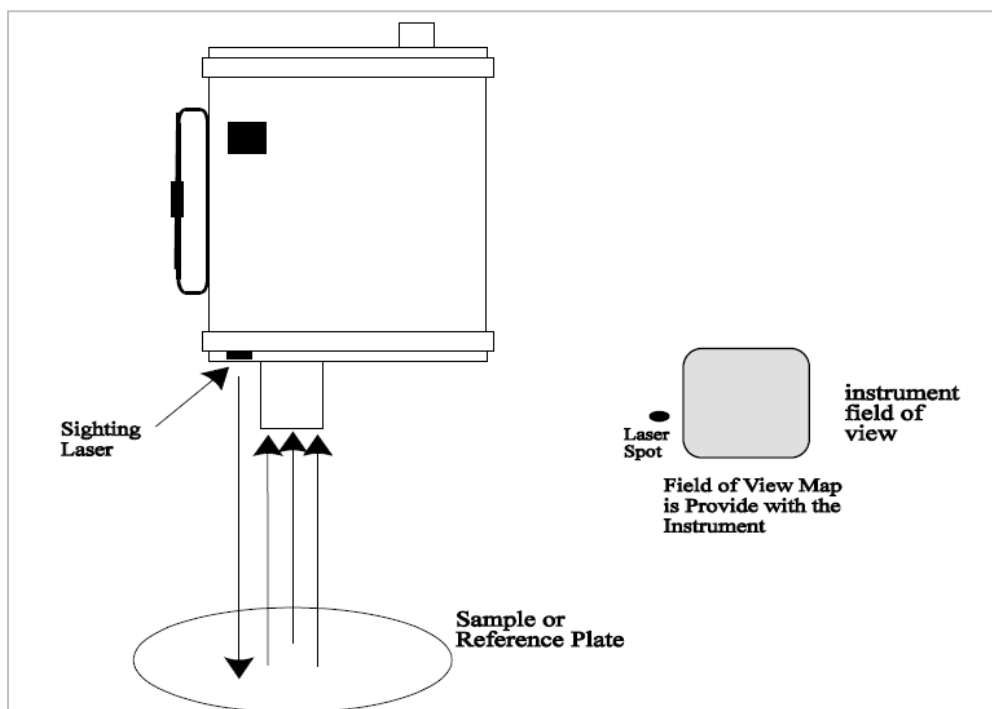
Εικόνα 28: Το διάγραμμα ροής των εργασιών της μεθοδολογίας

6.3.2 Μεθοδολογία για την υπό-περιοχή μελέτης

Διεξήχθησαν μετρήσεις πεδίου την Κυριακή, 21/10/2012 και το Σάββατο, 27/10/2012, στο καμένο δάσος στην περιοχή των Βρετσιών της Επαρχίας Πάφου.

Για τους σκοπούς της συγκεκριμένης μελέτης χρησιμοποιήθηκε το φορητό φασματοραδιόμετρο πεδίου SVC GER 1500, το οποίο λειτουργεί στο διάστημα των 350 nm – 1050 nm μήκων κύματος. Καλύπτει δηλαδή το υπεριώδες, το ορατό και το εγγύς υπέρυθρο φάσμα. Η δίοδος του, περιλαμβάνει 512 διακριτούς ανιχνευτές, που τις δίνουν τη δυνατότητα να διαβάσει και να καταγράφει σε 512 φασματικά κανάλια. Το πλάτος του κάθε καναλιού είναι ίσο με 1,5 nm. Οι μετρήσεις, οι οποίες αποθηκεύονται στο φασματοραδιόμετρο, μπορούν να μεταφερθούν στον Η/Υ μέσω του λογισμικού SVC. Η μνήμη του οργάνου επιτρέπει την καταγραφή 470 μετρήσεων. Έχει ανάλυση FWHM (Full width at half maximum) ίση με 3,2 nm. Το οπτικό του πεδίο κυμαίνεται μεταξύ του διαστήματος 4std – 8std. Τα δεδομένα που καταγράφονται με το φασματοραδιόμετρο GER 1500 αποθηκεύονται με τη μορφή ASCII.

Γενικά, τα φασματοραδιόμετρα είναι όργανα, τα οποία μετρούν τη φασματική επιστροφή της ακτινοβολίας, αφότου αυτή προσπέσει σε μια επιφάνεια και ανακλαστεί. Είναι σχεδιασμένα, έτσι ώστε να λειτουργούν στο ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Ανήκουν στην κατηγορία των παθητικών δεκτών και καταγράφουν ενέργεια (Watts), ποσοτικοποιημένες μονάδες καθώς και την ανακλώμενη και μεταδιδόμενη ακτινοβολία. Συνήθως, χρησιμοποιούνται σε περιβαλλοντικές εφαρμογές. Βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στη μέτρηση φασματικών και φωτομετρικών παραμέτρων. Μέσω των μετρήσεων ενός φασματοραδιομέτρου ελέγχεται και εξακριβώνεται εάν τα χρώματα μιας απεικόνισης είναι σωστά. Στην Εικόνα 29 φαίνεται ο τρόπος λειτουργίας του φασματοραδιομέτρου.



Εικόνα 29: Ο τρόπος λειτουργίας του φασματοραδιομέτρου

Πριν από τη λήψη μετρήσεων των διάφορων καμένων υλικών του πεδίου, γινόταν μια μέτρηση στη λευκή επιφάνεια αναφοράς (white spectralon panel), η οποία θεωρείται ότι ανακλά το 99,9% της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας . Τα δεδομένα αποθηκεύονταν στο φασματοραδιόμετρο, για τη μεταφορά τους στον Η/Υ.



Εικόνα 30: Μετρήσεις καμένων υλικών με φασματοραδιόμετρο στην υπό-περιοχή μελέτης

Ακολούθησε η επεξεργασία των μετρήσεων, που συλλέχθηκαν στο πεδίο, στο πρόγραμμα Microsoft Office Excel. Όπως προαναφέρθηκε, το φασματοραδιόμετρο μετρά σε 512 διαφορετικά κανάλια. Από αυτά, επιλέχθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν μόνο εκείνα, των οποίων οι τιμές αντιστοιχούν στις τιμές των καναλιών των δορυφορικών εικόνων Landsat.

Αποτέλεσμα της επεξεργασίας, ήταν η εξαγωγή των φασματικών υπογραφών υλικών καμένης βιομάζας για το διάστημα μηκών κύματος 450 nm – 900 nm.

Τέλος, με σκοπό τη διάκριση της πυρκαγιάς χαρτογραφήθηκε ο δείκτης NDVI μιας εικόνας, που απεικόνιζε την περιοχή πριν από την πυρκαγιά και μιας εικόνας της περιοχής μετά από την πυρκαγιά.

7 Αποτελέσματα

7.1 Αποτελέσματα από την εφαρμογή των δεικτών SAVI και NDVI

Οι δείκτες βλάστησης υπολογίζονται συνήθως από εμπειρικούς τύπους. Τα αποτελέσματα, που προκύπτουν, από την εφαρμογή τους, αποτελούν αδιάστατες ραδιομετρικές τιμές, οι οποίες δίνουν πληροφορίες για την κατάσταση της βλάστησης και υπολογίζουν την ποσότητα της βιομάζας. Οι συγκεκριμένοι δείκτες λαμβάνουν υπόψη τους τις τιμές των καναλιών του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου. Η δημιουργία τους βασίζεται στο γεγονός ότι η βλάστηση, σε σχέση με άλλες επιφάνειες, αντανακλά μικρότερη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στο κανάλι του κόκκινου και μεγαλύτερη στο κανάλι του εγγύς υπέρυθρου. Το σημαντικότερο πρόβλημα που προκύπτει κατά τον υπολογισμό των δεικτών αυτών, έγκειται στη μικρή ευαισθησία που παρουσιάζουν σε περιπτώσεις ψηλού ύψους βλάστησης.

Δείκτης βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Ο δείκτης NDVI αποτελεί τον πιο γνωστό δείκτη βλάστησης και έχει δημιουργηθεί από τους Rouse et al. (1974). Ο δείκτης NDVI χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της πυκνότητας της βλάστησης σε μια περιοχή.

$$NDVI = \frac{\rho_{IR} - \rho_R}{\rho_{IR} + \rho_R}$$

Οι τιμές που υπολογίζονται από το δείκτη NDVI σχετίζονται με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης των φυτών. Η βλάστηση παρουσιάζει μικρή ανακλαστικότητα στο κανάλι του κόκκινου λόγω της απορρόφησης της ακτινοβολίας από τη χλωροφύλλη. Αντίθετα επιστρέφει μεγάλη ανακλαστικότητα στο κανάλι του εγγύς υπέρυθρου, λόγω της κυτταρικής δομής των φύλλων.

Ο λόγος, που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του δείκτη δίνει τιμές από -1 έως 1. Όταν ο δείκτης είναι ίσος με 1 σε συγκεκριμένα σημεία, σημαίνει ότι η βλάστηση είναι πλούσια και υγιής. Η πυκνή και υγιής βλάστηση αντιστοιχεί σε θετικές τιμές, ενώ τα σύννεφα και το χιόνι χαρακτηρίζονται από αρνητικές τιμές δείκτη. Οι τυπικές τιμές βλάστησης κυμαίνονται από 0,2 μέχρι 1. Τα υγιή φυτά, τα οποία βρίσκονται σε πολύ καλή κατάσταση δίνουν τιμές πάνω από 0,6 (Wang et al. 2004; Jarocinska et al. 2009). Το νερό, το οποίο έχει χαμηλή

ανακλαστικότητα και στα δύο κανάλια, αναπόφευκτα θα παίρνει τιμές κοντά στο 0 και ελαφρώς αρνητικές. Τα εδάφη ανακλούν περισσότερη ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο, παρά στο κόκκινο και γι' αυτό έχουν συνήθως μικρές θετικές τιμές.

Δείκτης βλάστησης SAVI (Soil Adjusted Vegetation Indices)

Ο δείκτης SAVI δημιουργήθηκε από τον Huete (1988), για να περιορίσει την επίδραση του εδάφους και της ατμόσφαιρας, κατά τη λήψη της πληροφορίας που σχετίζεται με τη βλάστηση, αλλά και για να μειώσει την υπερευαισθησία των δεικτών στις μεταβολές του ύψους της βλάστησης. Για τον σκοπό αυτό, κατά τον υπολογισμό του δείκτη SAVI χρησιμοποιείται η παράμετρος L, η οποία καθορίζεται από τις συνθήκες του εδάφους και την πυκνότητα της βλάστησης. Δηλαδή, είναι απαραίτητη η γνώση της ποσότητας της βλάστησης πριν από τον υπολογισμό του δείκτη (Huete 1988). Η παράμετρος στην περίπτωση του SAVI αποτελεί σταθερά και ισούται με 0.5, λαμβάνοντας υπόψη μόνο πρώτης τάξης μεταβολές εδάφους. Αντίθετα κατά τον υπολογισμό του δείκτη SAVI οι τιμές της ποικίλουν.

$$SAVI = (1 + L) \frac{(\rho_{IR} - \rho_R)}{(\rho_{IR} + \rho_R + L)}$$

Στις πιο κάτω εικόνες, που προέκυψαν από τη μεθοδολογία, η μεταβολή της βλάστησης, μετά από κάθε πυρκαγιά, είναι εμφανέστατη. Στα ιστογράμματα (Γράφημα 1, 3 κτλ.) της κάθε περιοχής, παρουσιάζονται οι τιμές του δείκτη βλάστησης συναρτήσει της αθροιστικής συχνότητας των εικονοστοιχείων, πριν από την πυρκαγιά με πράσινο χρώμα και μετά από την πυρκαγιά με κόκκινο χρώμα.

Η μετατόπιση των τιμών του δείκτη και συγκεκριμένα η μείωση τους, μετά από κάθε πυρκαγιά είναι σημαντική. Αυτό παρατηρείται, κυρίως, για τις περιοχές των Μεσάνων, Νατάς και Πάνω Πύργου, αφού στην περίπτωση του Αγίου Ιωάννη η μεταβολή δεν είναι τόσο έντονη.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, κάθε καμένη έκταση απομονώθηκε και αποκόπηκε από την ευρεία περιοχή, με βάση τα όρια της. Μελετήθηκαν διαχρονικά οι τιμές και συγκεκριμένα οι μέσοι όροι (MEAN) των δεικτών NDVI και SAVI για τις καμένες περιοχές. Από την

εξαγωγή και την παρατήρηση των διαγραμμάτων (Γράφημα 2, 4 κτλ.) διαπιστώνεται ότι ο μέσος όρος των τιμών μετά από την πυρκαγιά είναι ο μικρότερος, εάν συγκριθεί με τους μέσους όρους των τιμών πριν από αυτή.

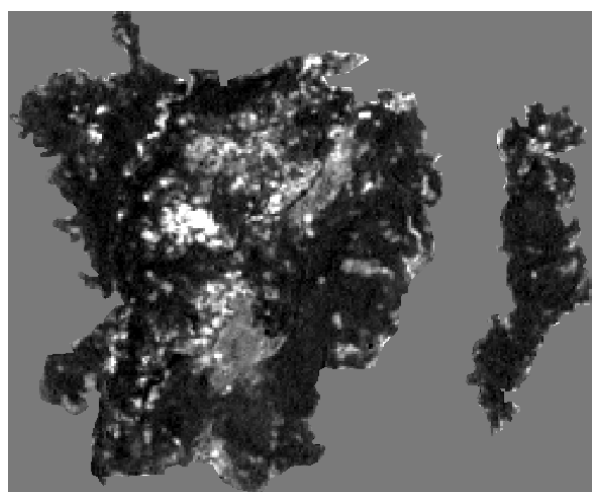
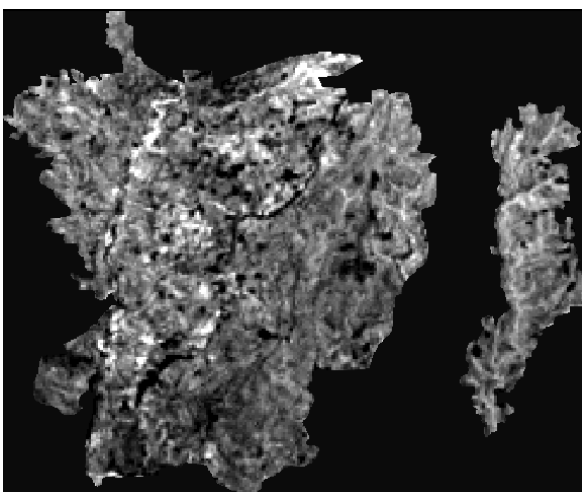
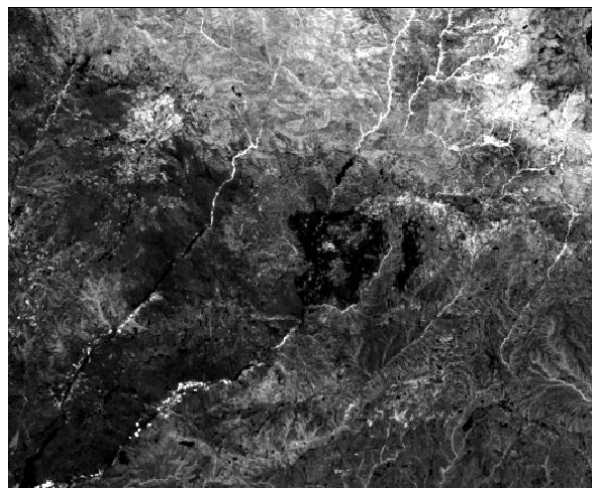
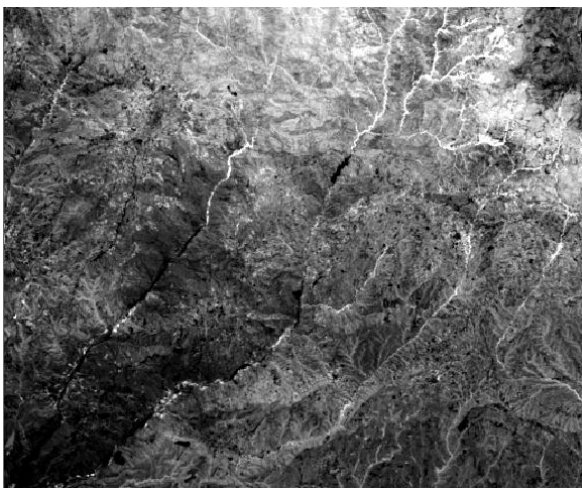
Οι παρατηρήσεις για τα αποτελέσματα, ισχύουν και για τους δύο δείκτες, που χρησιμοποιήθηκαν.

7.1.1 Αποτελέσματα δεικτών βλάστησης για την καμένη έκταση στην περιοχή των Μεσάνων

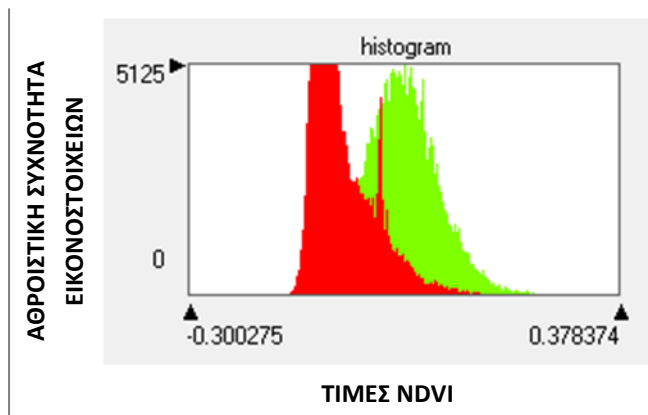
Δείκτης NDVI

Πριν από την πυρκαγιά

Μετά από την πυρκαγιά



Εικόνα 31: Ο δείκτης NDVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς της περιοχής των Μεσάνων

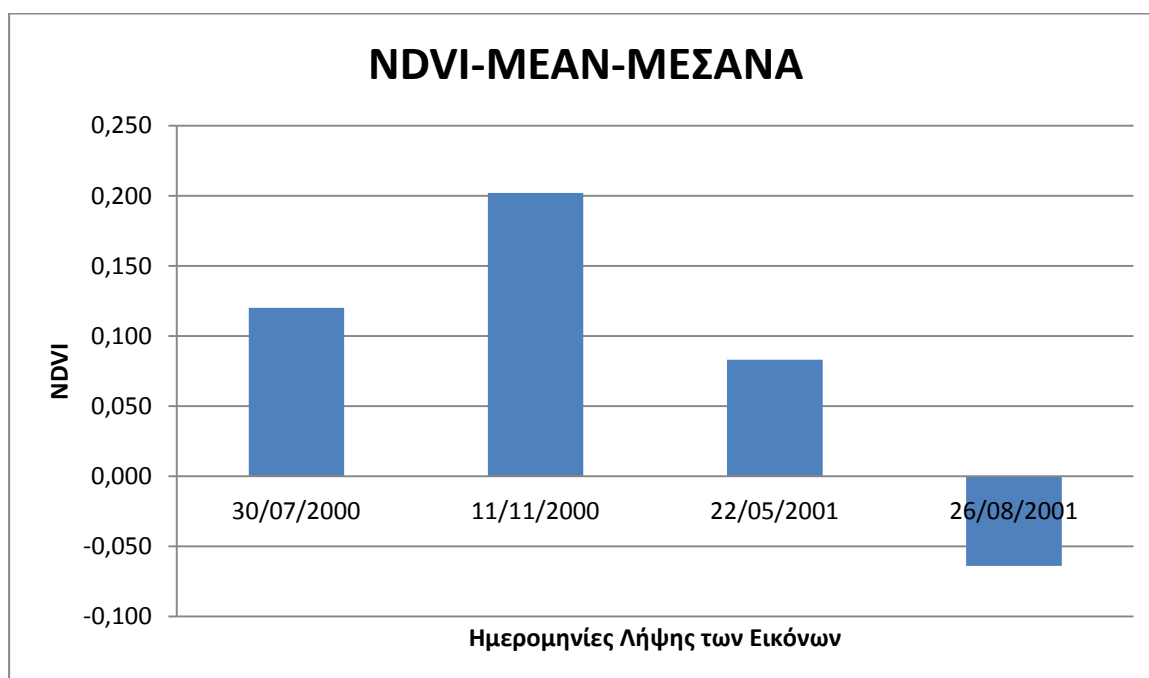


Γράφημα 1: Η μείωση των τιμών NDVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή των Μεσάνων

Πίνακας 20: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών NDVI για την περιοχή Μέσανα

(Ημερομηνία πυρκαγιάς: 30/06/2001)

ΕΙΚΟΝΑ	MIN	MAX	MEAN	STD	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
19	-0,029	0,470	0,120	0,050	30/07/2000
2	0,068	0,582	0,202	0,043	11/11/2000
4	-0,172	0,347	0,083	0,048	22/05/2001
5	-0,300	0,376	-0,064	0,053	26/08/2001

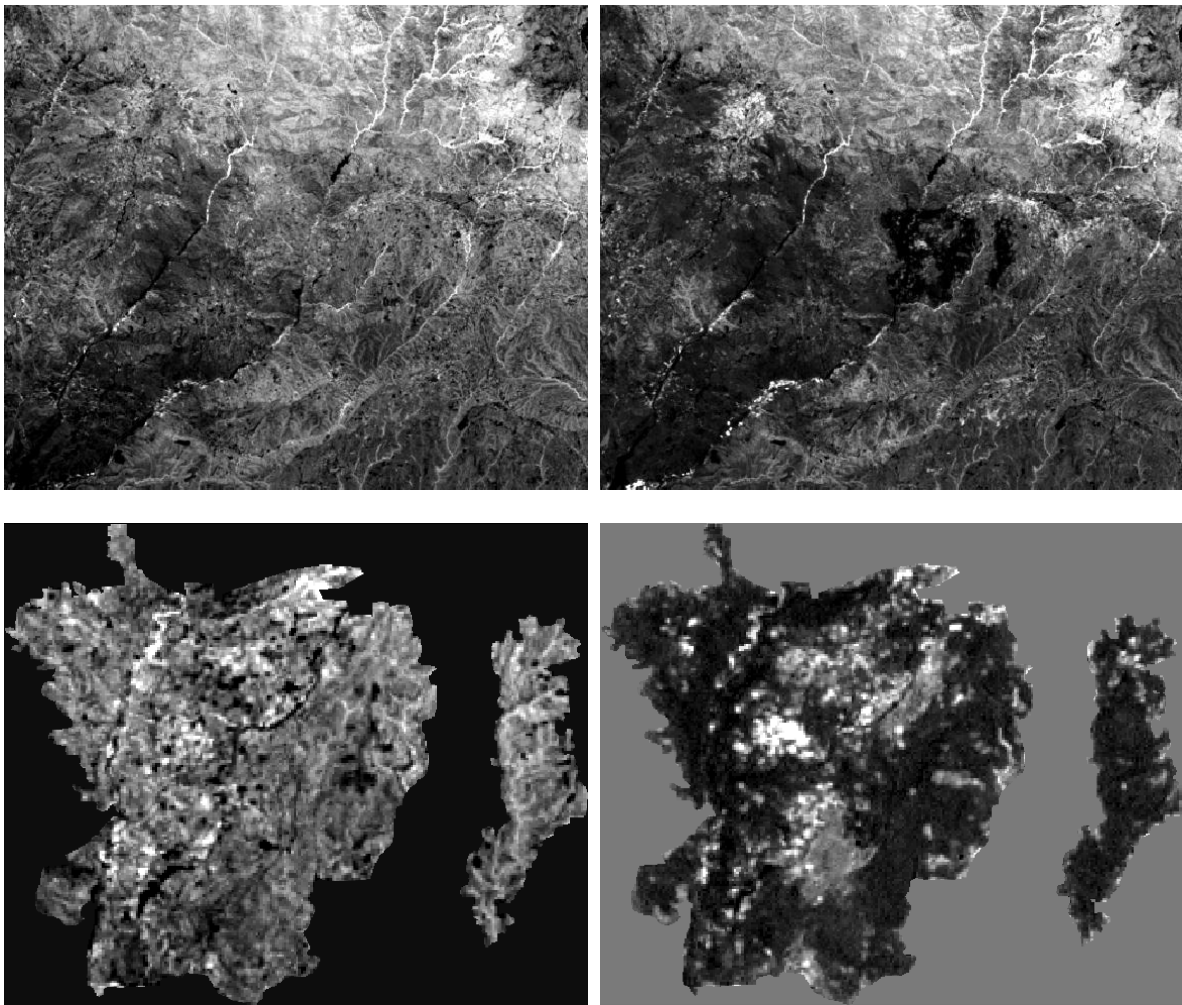


Γράφημα 2: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη NDVI για την περιοχή των Μεσάνων

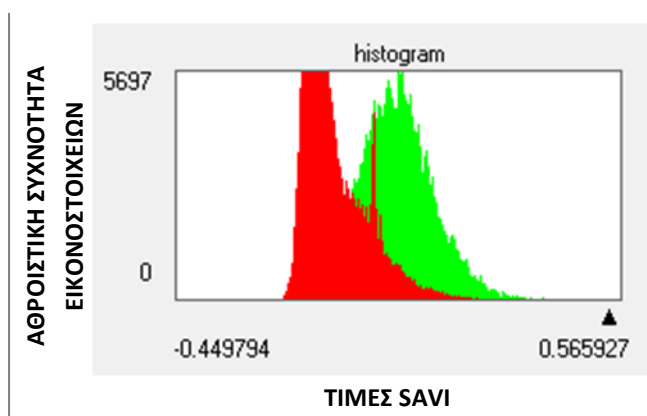
Δείκτης SAVI

Πριν από την πυρκαγιά

Μετά από την πυρκαγιά



Εικόνα 32: Ο δείκτης SAVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή των Μεσάνων

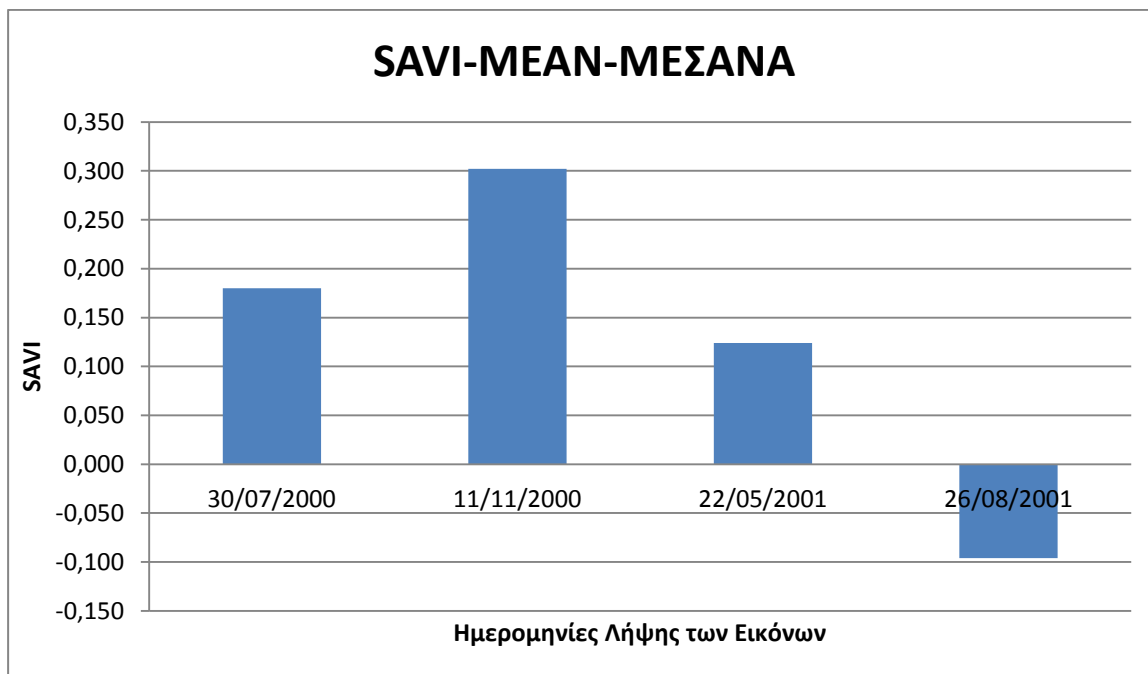


Γράφημα 3: Η μείωση των τιμών SAVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή των Μεσάνων

Πίνακας 21: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών SAVI για την περιοχή Μέσσανα

(Ημερομηνία παραγωγής: 30/06/2001)

ΕΙΚΟΝΑ	MIN	MAX	MEAN	STD	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
19	-0,044	0,702	0,180	0,074	30/07/2000
2	0,101	0,870	0,302	0,064	11/11/2000
4	-0,257	0,519	0,124	0,071	22/05/2001
5	-0,450	0,562	-0,096	0,079	26/08/2001



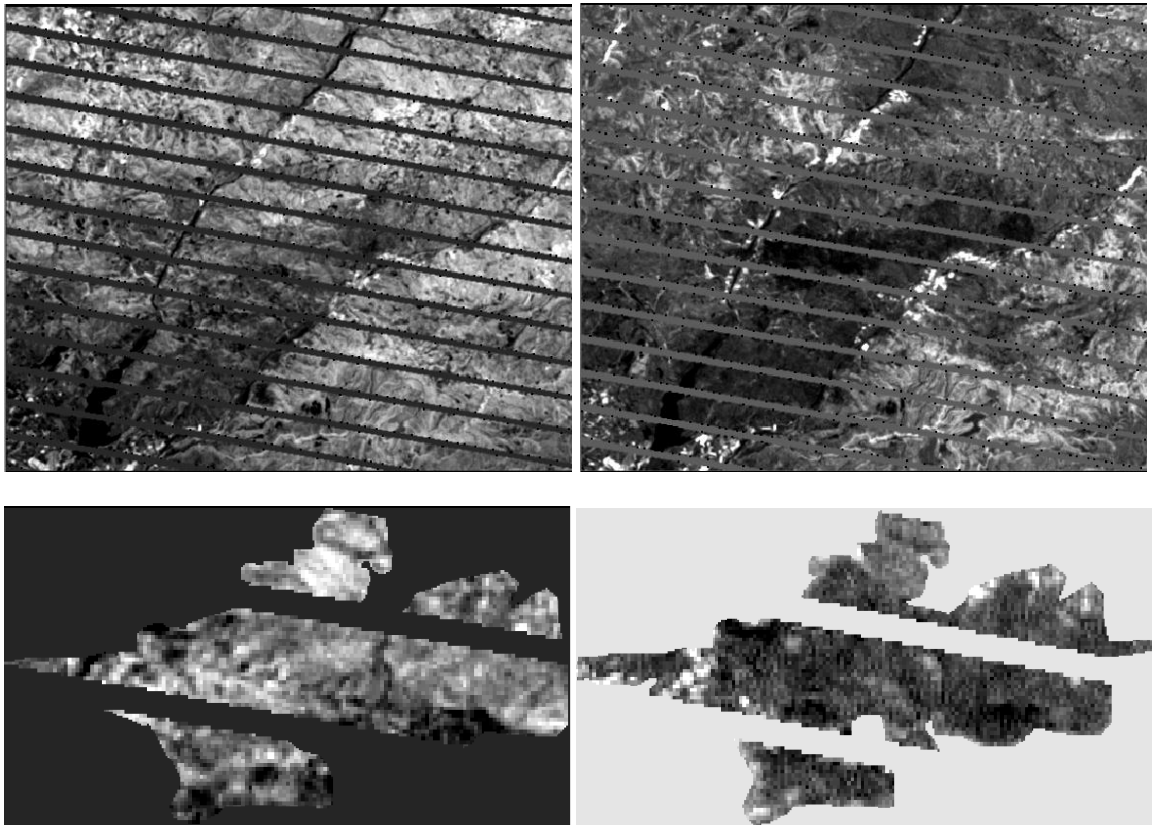
Γράφημα 4: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη SAVI για την περιοχή των Μεσάνων

7.1.2 Αποτελέσματα δεικτών βλάστησης για την καμένη έκταση στην περιοχή της Νατάς

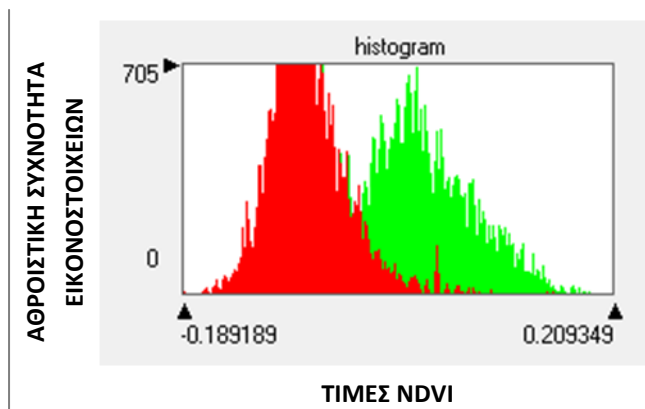
Δείκτης NDVI

Πριν από την πυρκαγιά

Μετά από την πυρκαγιά



Εικόνα 33: Ο δείκτης NDVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή της Νατάς

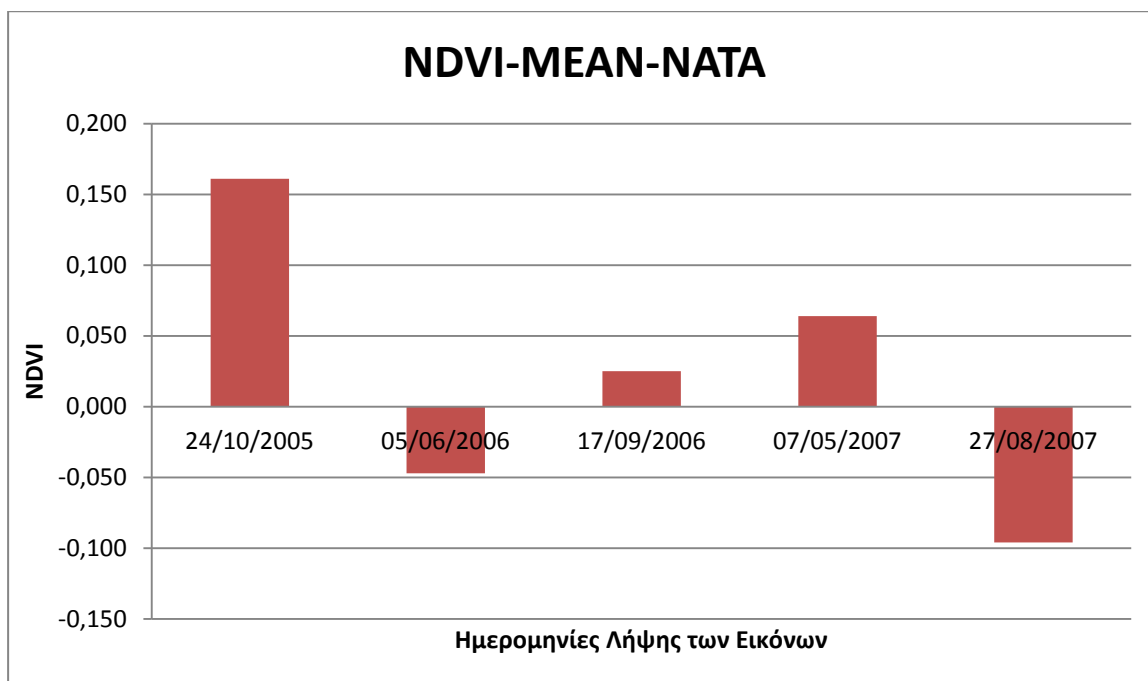


Γράφημα 5: Η μείωση των τιμών NDVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή της Νατάς

Πίνακας 22: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών NDVI για την περιοχή Νατάς

(Ημερομηνία πυρκαγιάς: 04/07/2007)

ΕΙΚΟΝΑ	MIN	MAX	MEAN	STD	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
9	0,038	0,386	0,161	0,028	24/10/2005
10	-0,136	0,172	-0,047	0,028	05/06/2006
21	-0,109	0,240	0,025	0,026	17/09/2006
11	-0,098	0,208	0,064	0,042	07/05/2007
12	-0,189	0,134	-0,096	0,031	27/08/2007

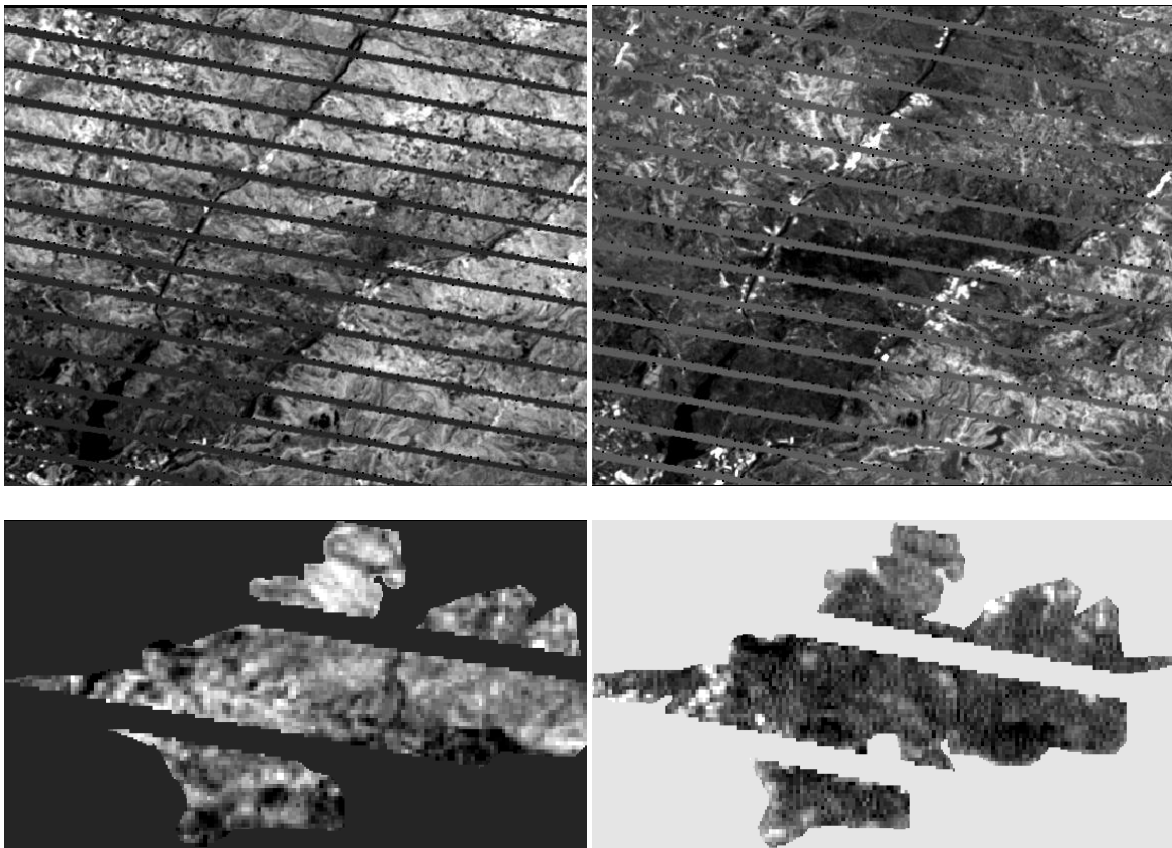


Γράφημα 6: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη NDVI για την περιοχή της Νατάς

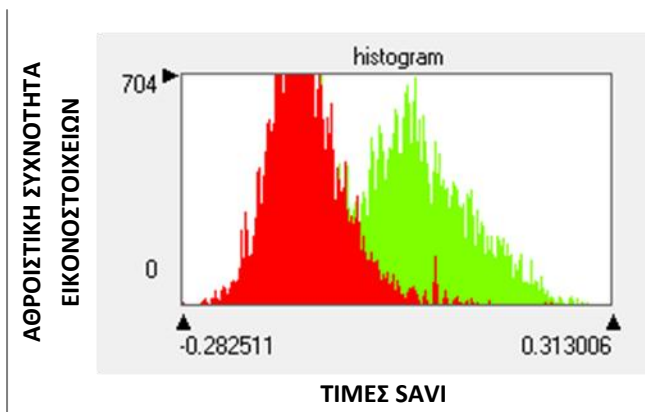
Δείκτης SAVI

Πριν από την πυρκαγιά

Μετά από την πυρκαγιά



Εικόνα 34: Ο δείκτης SAVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή της Νατάς

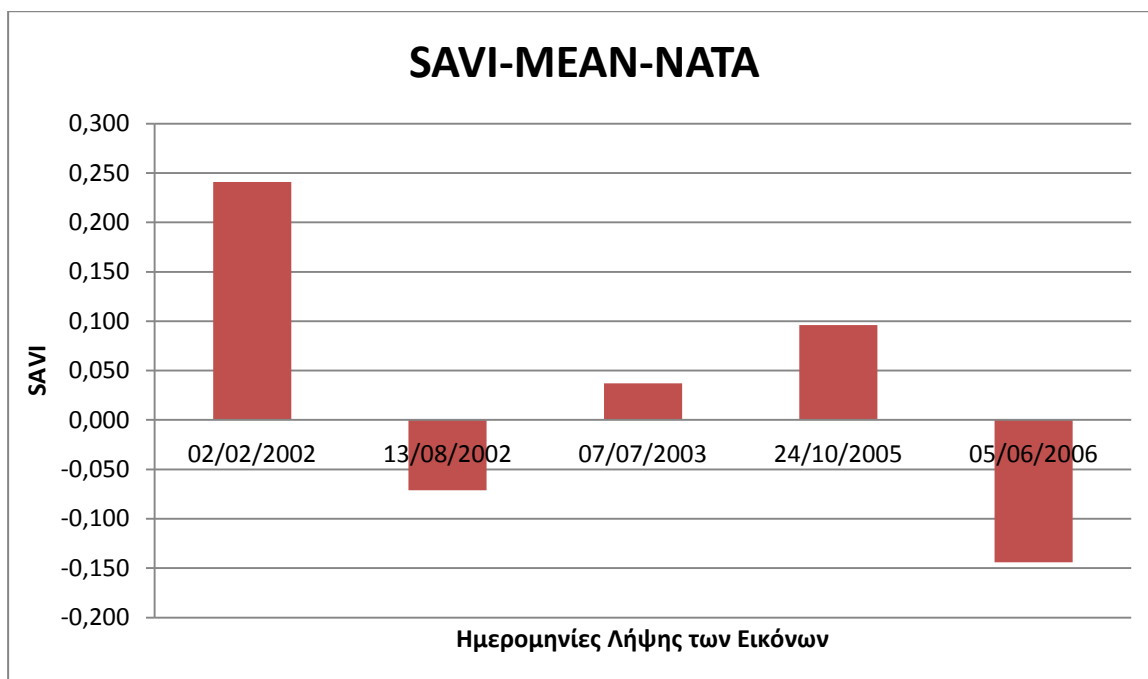


Γράφημα 7: Η μείωση των τιμών SAVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή της Νατάς

Πίνακας 23: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών SAVI για την περιοχή Νατάς

(Ημερομηνία πυρκαγιάς: 04/07/2007)

ΕΙΚΟΝΑ	MIN	MAX	MEAN	STD	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
9	0,056	0,576	0,241	0,042	24/10/2005
10	-0,204	0,258	-0,071	0,041	05/06/2006
21	-0,162	0,358	0,037	0,039	17/09/2006
11	-0,147	0,311	0,096	0,063	07/05/2007
12	-0,282	0,201	-0,144	0,047	27/08/2007



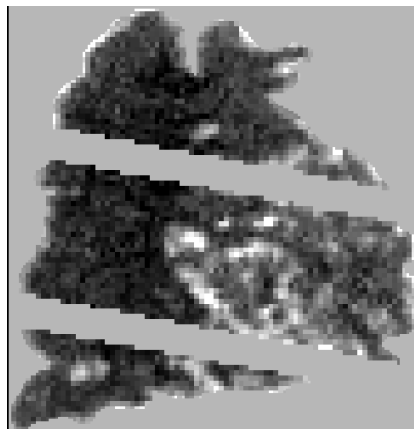
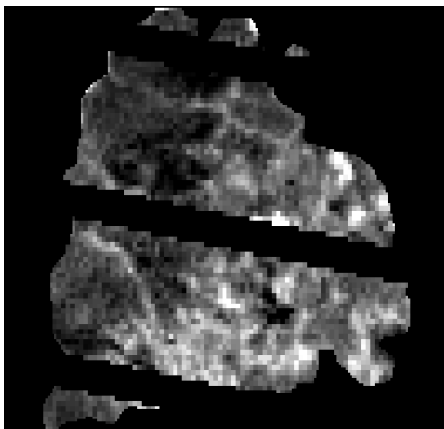
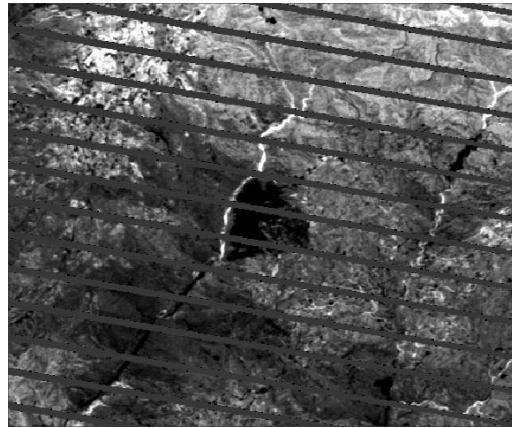
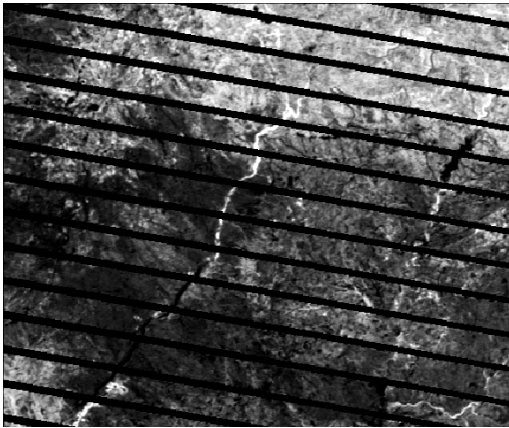
Γράφημα 8: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη SAVI για την περιοχή της Νατάς

7.1.3 Αποτελέσματα δεικτών βλάστησης για την καμένη έκταση στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη

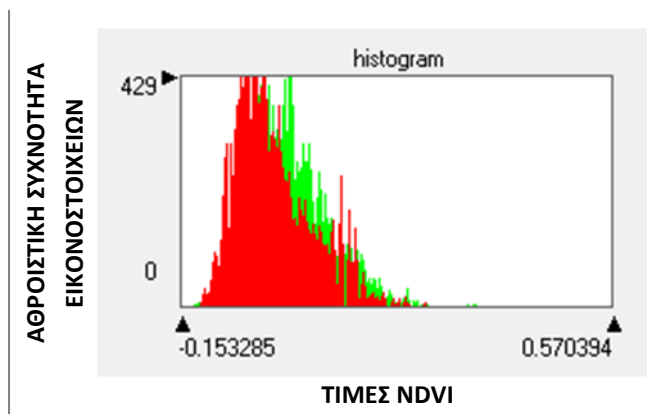
Δείκτης NDVI

Πριν από την πυρκαγιά

Μετά από την πυρκαγιά



Εικόνα 35: Ο δείκτης NDVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη

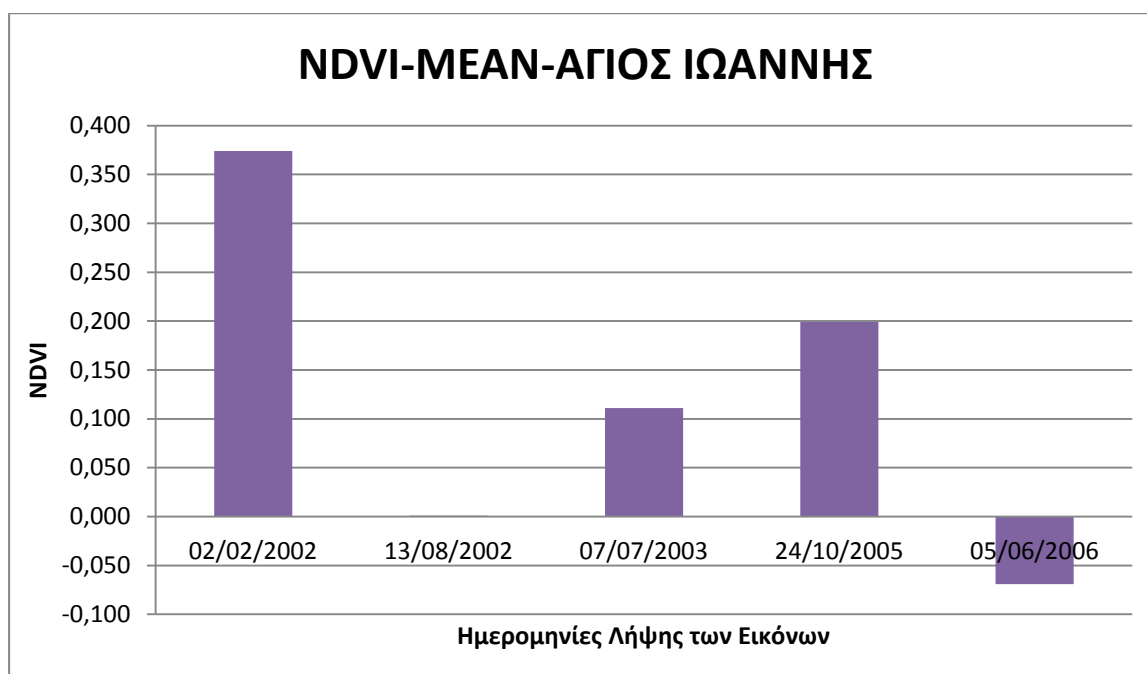


Γράφημα 9: Η μείωση των τιμών NDVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη

Πίνακας 24: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών NDVI για την περιοχή Αγίου Ιωάννη

(Ημερομηνία πυρκαγιάς: 25/05/2006)

ΕΙΚΟΝΑ	MIN	MAX	MEAN	STD	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΕΣ ΛΗΨΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
6	0,028	0,568	0,374	0,089	02/02/2002
7	-0,093	0,273	0,001	0,045	13/08/2002
20	-0,031	0,510	0,111	0,072	07/07/2003
9	0,077	0,566	0,199	0,048	24/10/2005
10	-0,153	0,246	-0,069	0,037	05/06/2006

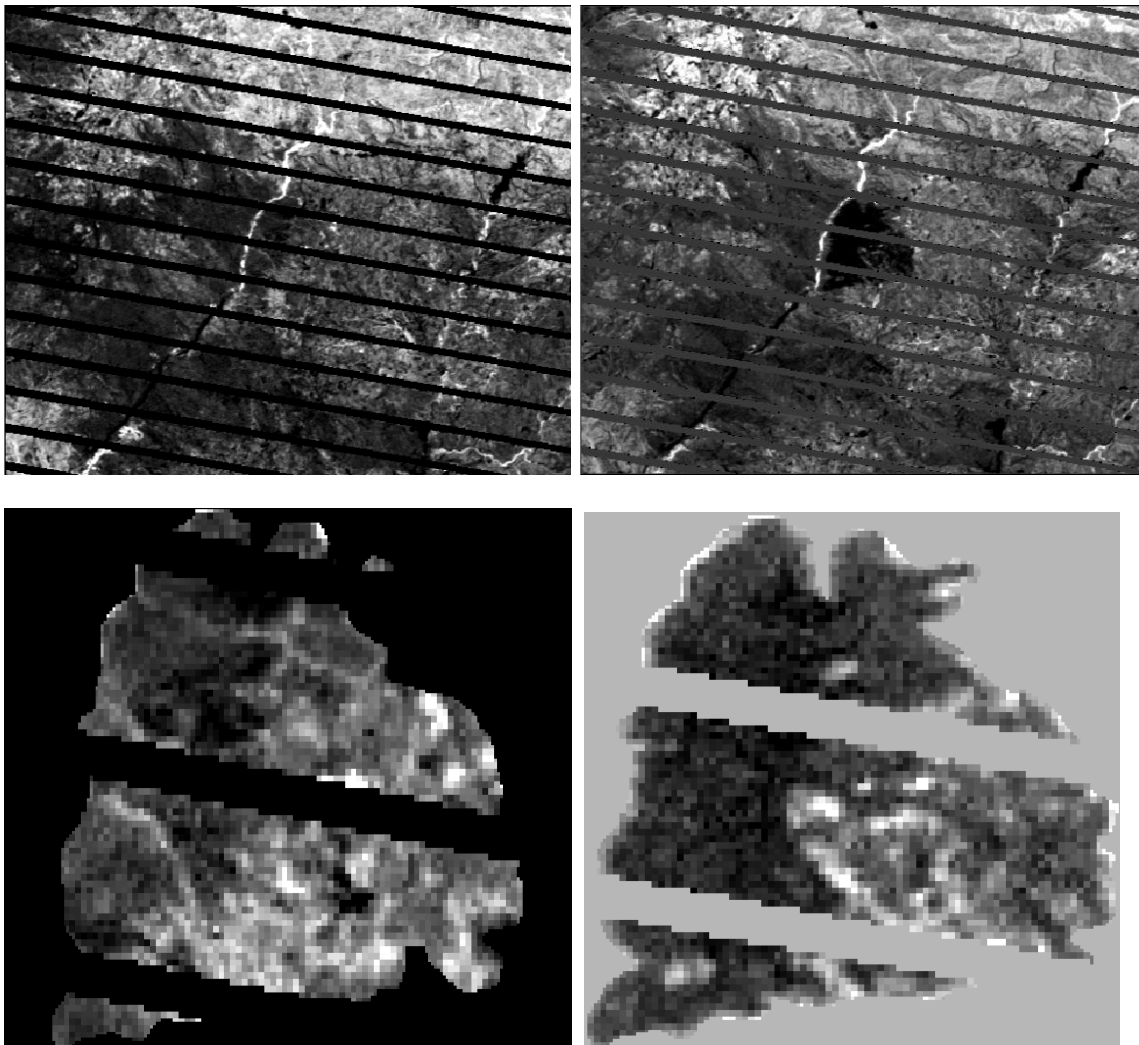


Γράφημα 10: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη NDVI για την περιοχή του Αγίου Ιωάννη

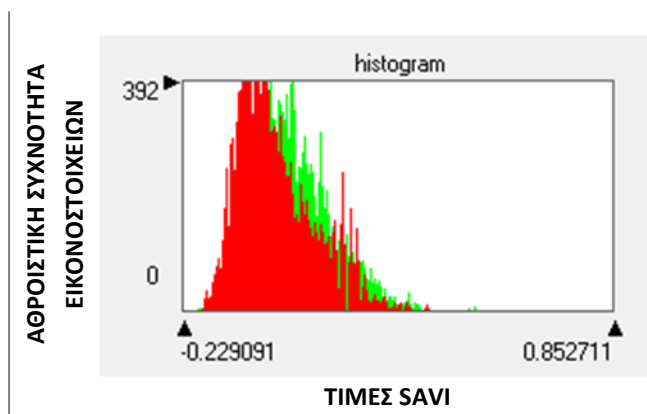
Δείκτης SAVI

Πριν από την πυρκαγιά

Μετά από την πυρκαγιά



Εικόνα 36: Ο δείκτης SAVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη

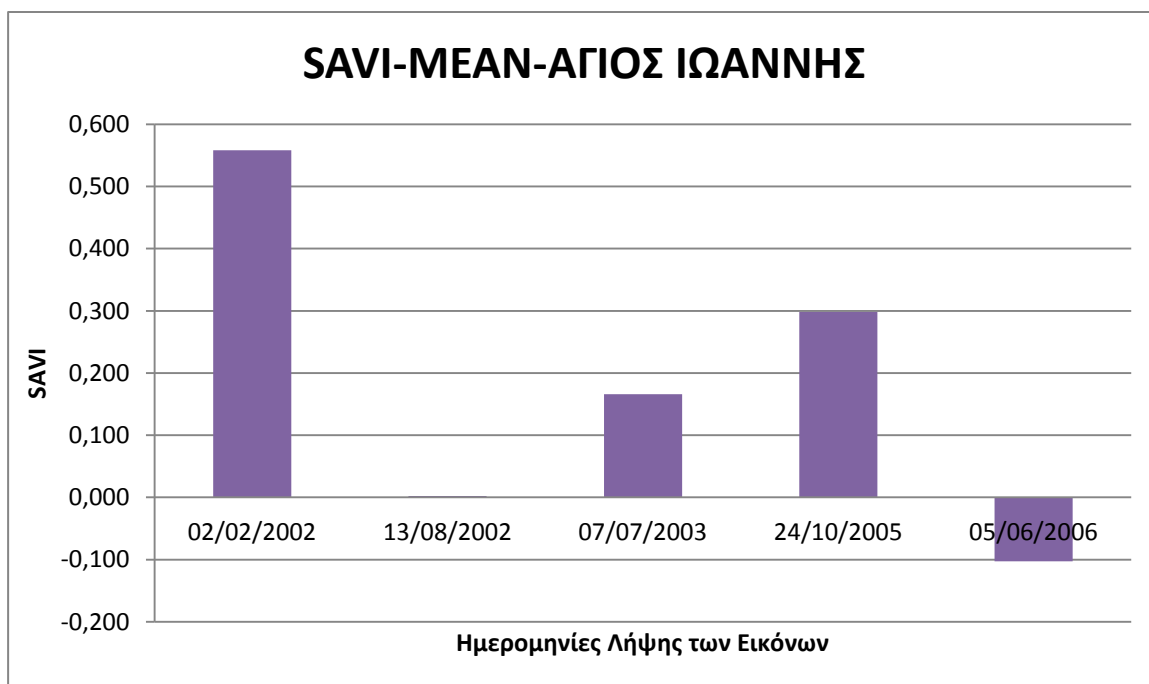


Γράφημα 11: Η μείωση των τιμών SAVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη

Πίνακας 25: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών SAVI για την περιοχή Αγίου Ιωάννη

(Ημερομηνία πυρκαγιάς: 25/05/2006)

ΕΙΚΟΝΑ	MIN	MAX	MEAN	STD	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
6	0,042	0,848	0,558	0,134	02/02/2002
7	-0,139	0,408	0,002	0,067	13/08/2002
20	-0,046	0,762	0,166	0,107	07/07/2003
9	0,115	0,848	0,298	0,071	24/10/2005
10	-0,229	0,369	-0,103	0,055	05/06/2006



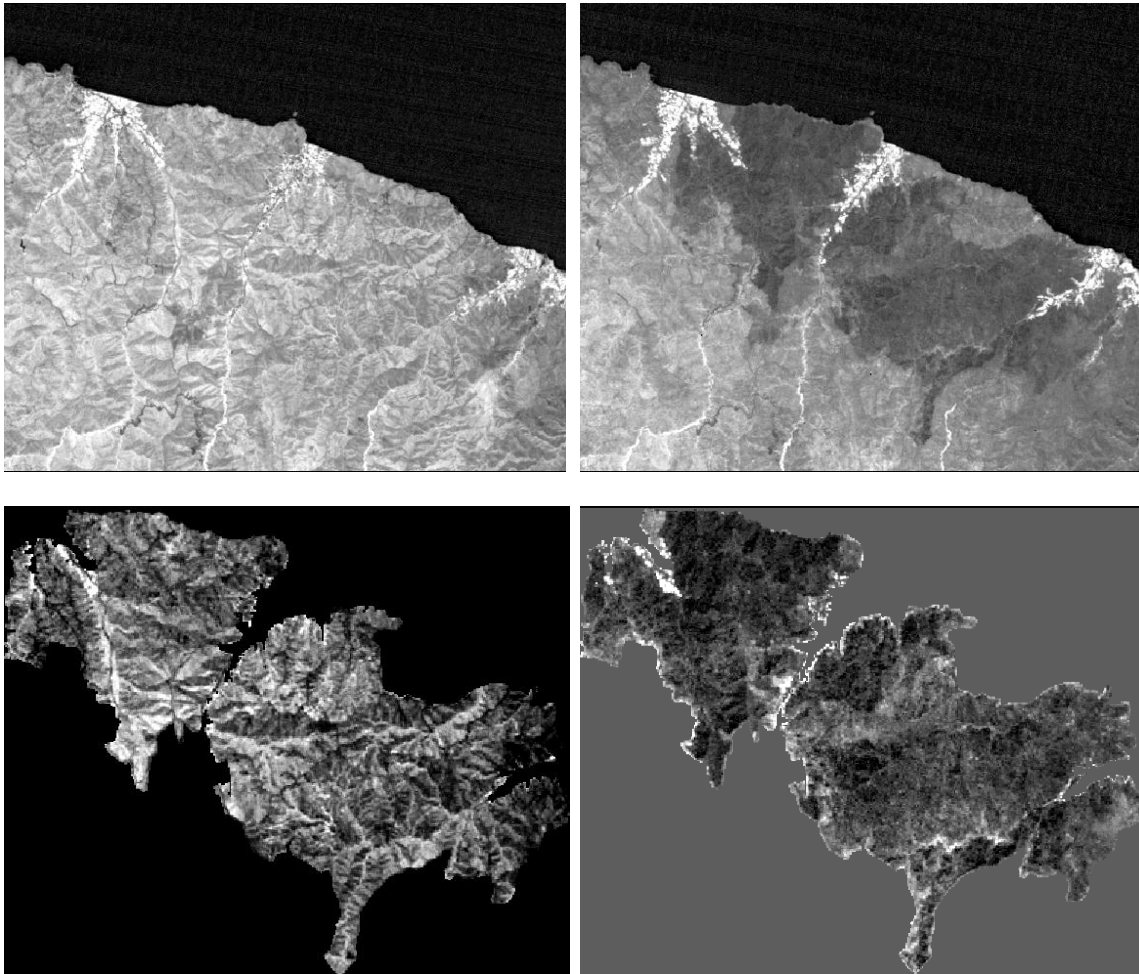
Γράφημα 12: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη SAVI για την περιοχή του Αγίου Ιωάννη

7.1.4 Αποτελέσματα δεικτών βλάστησης για την καμένη έκταση στην περιοχή του Πάνω Πύργου

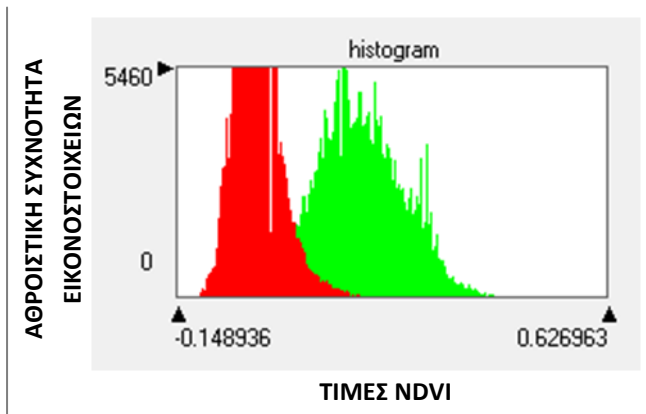
Δείκτης NDVI

Πριν από την πυρκαγιά

Μετά από την πυρκαγιά



Εικόνα 37: Ο δείκτης NDVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή του Πάνω Πύργου

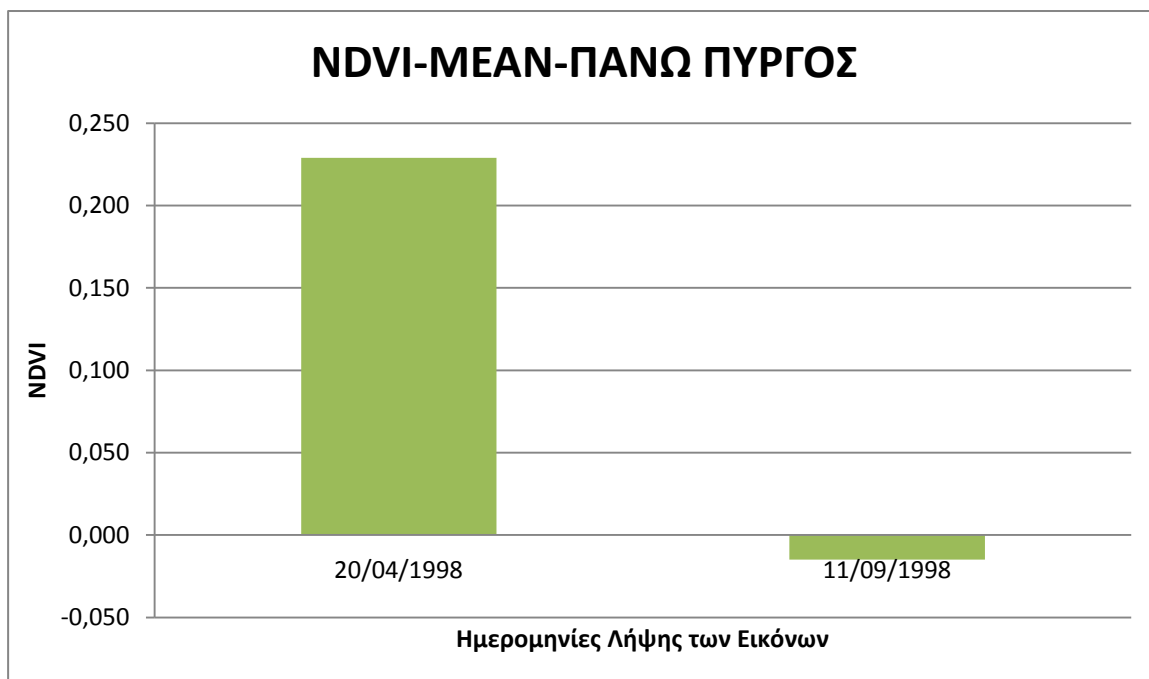


Γράφημα 13: Η μείωση των τιμών NDVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή του Πάνω Πύργου

Πίνακας 26: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών NDVI για την περιοχή του Πάνω Πύργου

(Ημερομηνία πυρκαγιάς: 04/07/1998)

ΕΙΚΟΝΑ	MIN	MAX	MEAN	STD	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
17	-0,060	0,624	0,229	0,07	20/04/1998
18	-0,149	0,577	-0,015	0,048	11/09/1998

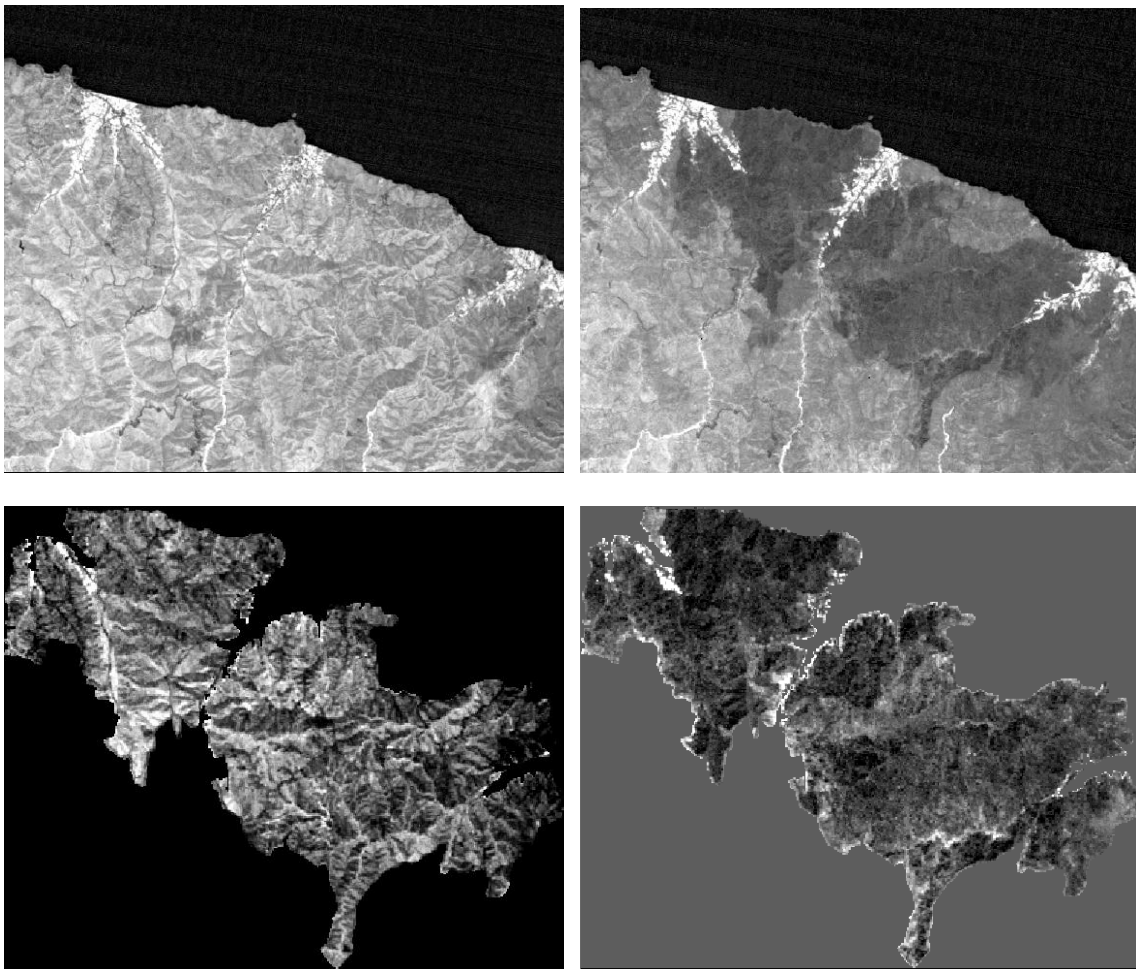


Γράφημα 14: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη NDVI για την περιοχή του Πάνω Πύργου

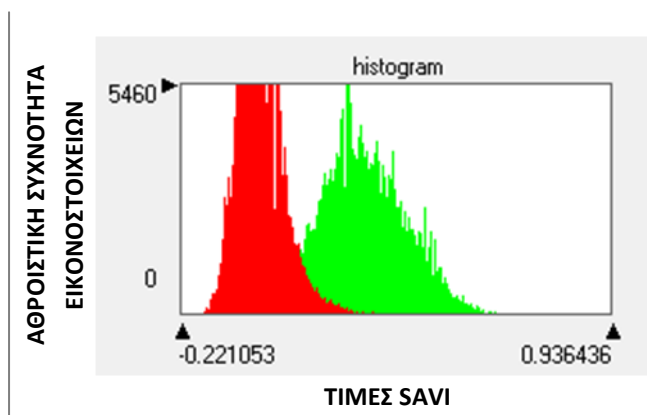
Δείκτης SAVI

Πριν από την πυρκαγιά

Μετά από την πυρκαγιά



Εικόνα 38: Ο δείκτης SAVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή του Πάνω Πύργου

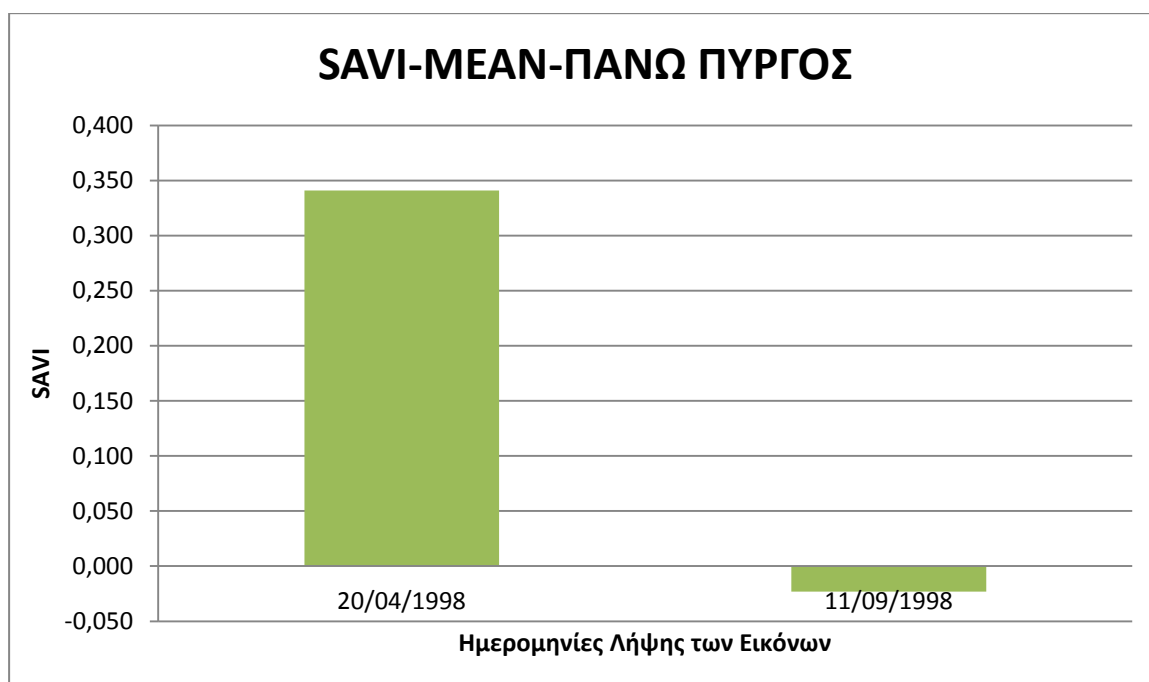


Γράφημα 15: Η μείωση των τιμών SAVI μετά από την πυρκαγιά στην περιοχή του Πάνω Πύργου

Πίνακας 27: Τα στατιστικά στοιχεία των τιμών SAVI για την περιοχή του Πάνω Πύργου

(Ημερομηνία πυρκαγιάς: 04/07/1998)

ΕΙΚΟΝΑ	MIN	MAX	MEAN	STD	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΛΗΨΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ
17	-0,090	0,932	0,341	0,104	20/04/1998
18	-0,221	0,863	-0,023	0,072	11/09/1998

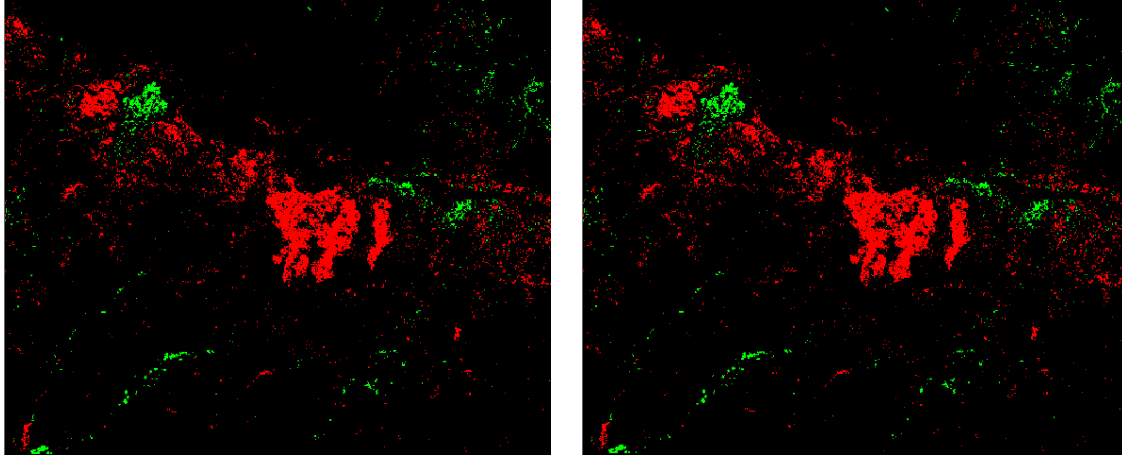


Γράφημα 16: Οι μέσες τιμές των εικόνων δείκτη SAVI για την περιοχή του Πάνω Πύργου

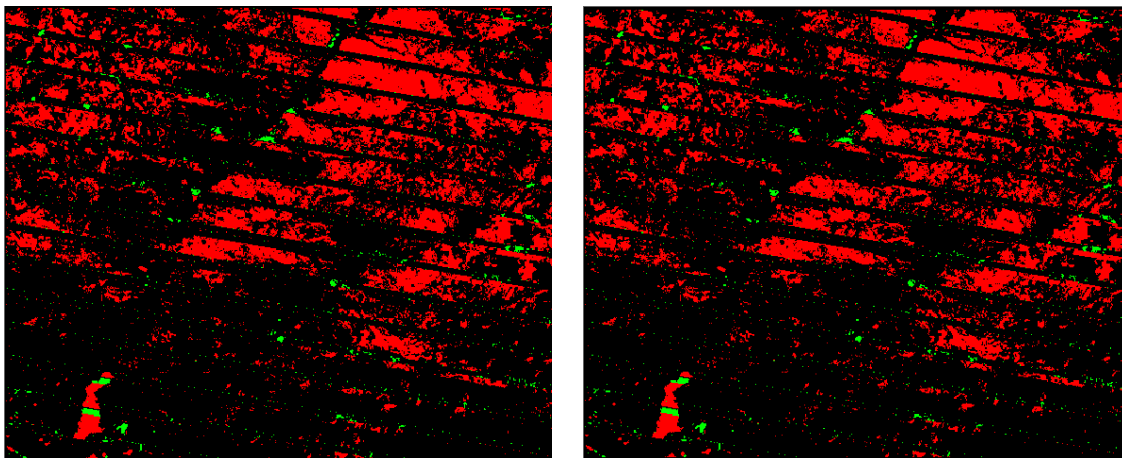
7.2 Αποτελέσματα από την απεικόνιση των μεταβολών των δεικτών βλάστησης

Η μείωση της βλάστησης απεικονίζεται με κόκκινο χρώμα, ενώ η αύξηση της παρουσιάζεται με πράσινο χρώμα. Η καμένη έκταση στην περιοχή Μέσανα έγινε ορατή, όταν το ποσοστό της μεταβολής ορίστηκε πάνω από 8% (Εικόνα 39). Στην περίπτωση της περιοχής Νατάς, τα αποτελέσματα θεωρήθηκαν ικανοποιητικά, όταν το ποσοστό μεταβολής ήταν πάνω από 10% (Εικόνα 40). Οι μεταβολές λόγω πυρκαγιάς στις περιοχές Αγίου Ιωάννη και Πάνω Πύργου,

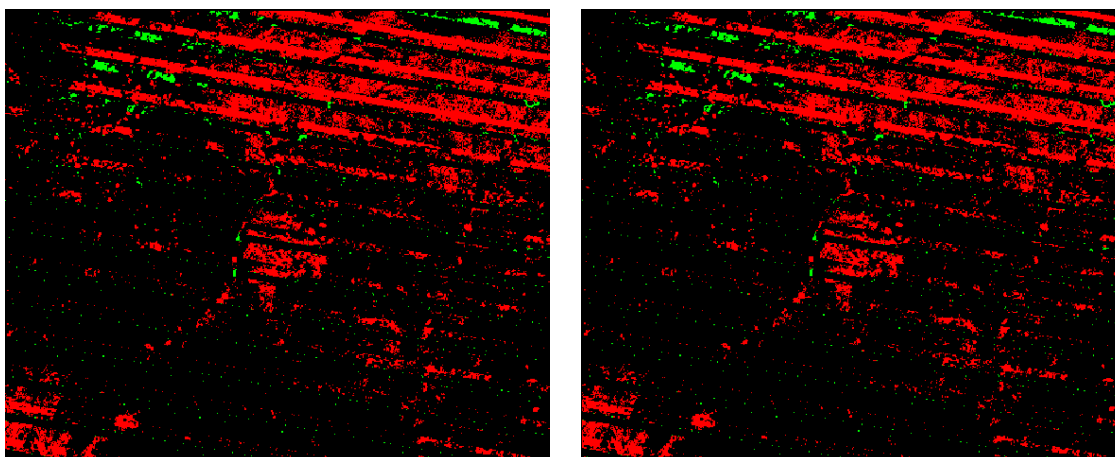
οι οποίες φαίνονται στις Εικόνες 41 και 42 αντίστοιχα, έγιναν διακριτές, όταν το ποσοστό μεταβολής ορίστηκε πάνω από 15%. Η επιλογή των ποσοστών αυτών, ισχύει και για τους δύο δείκτες βλάστησης NDVI και SAVI.



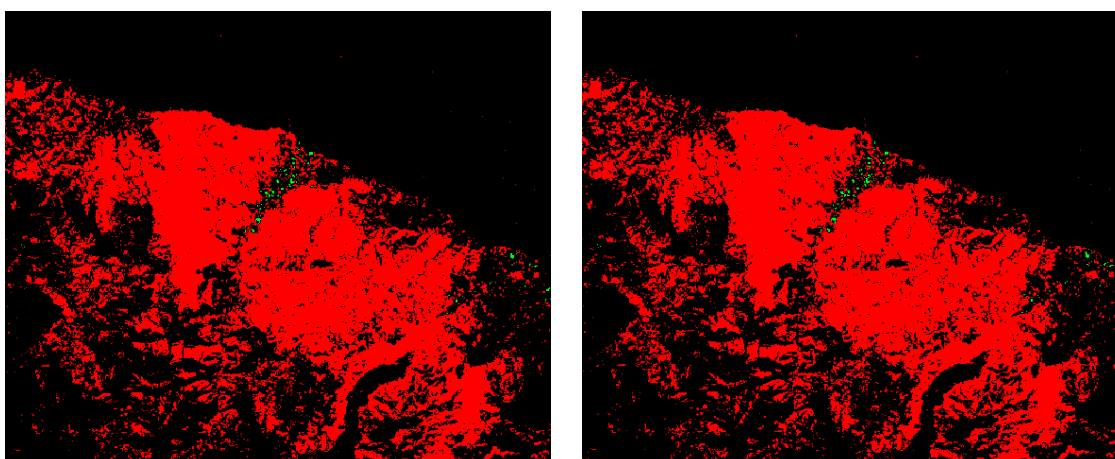
Εικόνα 39: Οι μεταβολές του δείκτη NDVI (αριστερά) και του δείκτη SAVI (δεξιά) στην περιοχή των Μεσάνων



Εικόνα 40: Οι μεταβολές του δείκτη NDVI (αριστερά) και του δείκτη SAVI (δεξιά) στην περιοχή της Νατάς



Εικόνα 41: Οι μεταβολές του δείκτη NDVI (αριστερά) και του δείκτη SAVI (δεξιά) στην περιοχή του Αγίου Ιωάννη



Εικόνα 42: Οι μεταβολές του δείκτη NDVI (αριστερά) και του δείκτη SAVI (δεξιά) στην περιοχή του Πάνω Πύργου

7.3 Αποτελέσματά από την εφαρμογή της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (Principal Components Analysis-PCA)

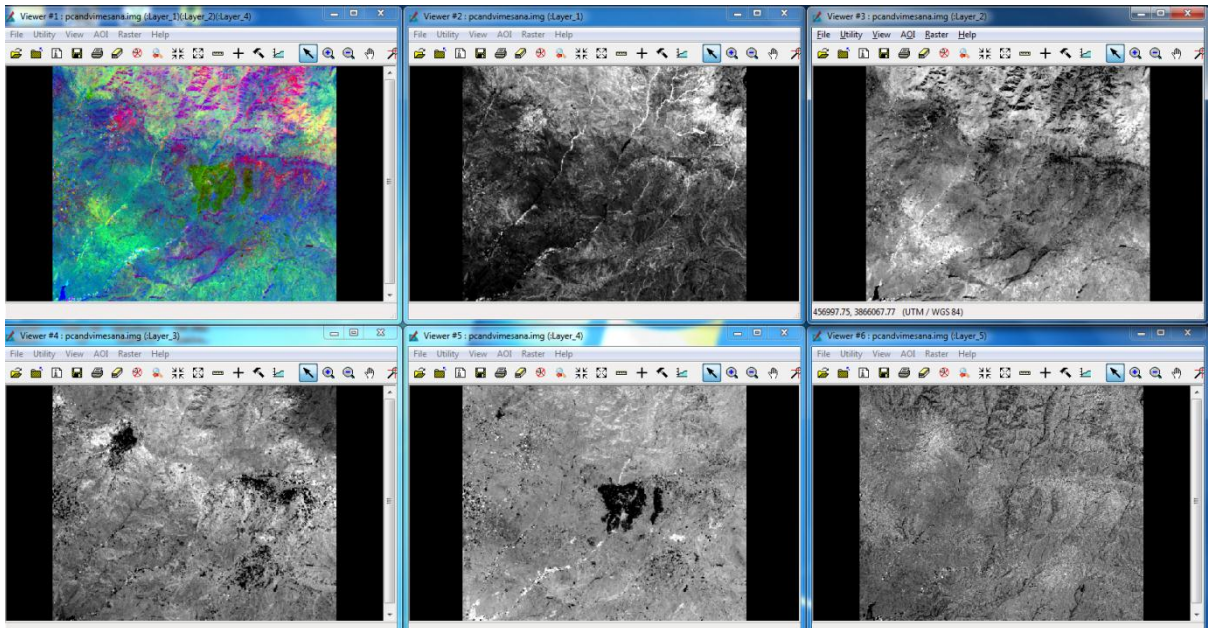
Η Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών, αποτελεί μια στατιστική μέθοδο επεξεργασίας εικόνων, με την εκτέλεση της οποίας, είναι δυνατός ο εντοπισμός των διαχρονικών μεταβολών του χώρου. Είναι ένας ορθογώνιος γραμμικός μετασχηματισμός, ο οποίος μεταφέρει δεδομένα απεικονίσεων από ένα σύστημα συντεταγμένων σε ένα νέο. Δηλαδή, μέσω της τεχνικής αυτής, τα δεδομένα των απεικονίσεων, χαρτογραφούνται σε ένα νέο σύστημα συντεταγμένων. Σε αυτό το σύστημα, δημιουργείται ένα διανυσματικό επίπεδο, όπου η

μέγιστη διασπορά που προκύπτει από την ανάλυση των φασματικών υπογραφών, καταλήγει στην πρώτη συντεταγμένη (πρώτη κύρια συνιστώσα). Η δεύτερη μέγιστη διασπορά αποτελεί τη δεύτερη συντεταγμένη (δεύτερη κύρια συνιστώσα) και ούτω καθεξής (Pereira 1992; Singh & Harrison 1985). Οι συνιστώσες που προκύπτουν μετά από την τρίτη κύρια συνιστώσα έχουν πολύ μικρή διασπορά. Σε διαχρονικές μελέτες, που αφορούν τον εντοπισμό της μεταβολής, η σημαντικότερη πληροφορία εντοπίζεται στις τελευταίες συνιστώσες, με την πρώτη κύρια συνιστώσα να είναι η λιγότερο χρήσιμη (Pereira, 1992; Singh & Harrison, 1985). Αυτό, οφείλεται στην υψηλή συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων των περιοχών, που παραμένουν σταθερές διαχρονικά, αλλά και στη χαμηλή συσχέτιση των δεδομένων των περιοχών, που μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου (Pereira 1992; Singh & Harrison 1985). Απαραίτητη προϋπόθεση, για να εξαχθούν σωστά αποτελέσματα από τη μέθοδο, είναι η σύνθεση μιας χρονοσειράς δεδομένων, τα οποία εκτός από μεταβολές, περιλαμβάνουν και χαρακτηριστικά του χώρου που μένουν αμετάβλητα. Όταν τηρείται αυτή η προϋπόθεση, οι περιοχές με τοπική μεταβολή ενισχύονται στις ψηλότερου επιπέδου συνιστώσες (Pereira 1992; Richards 1986).

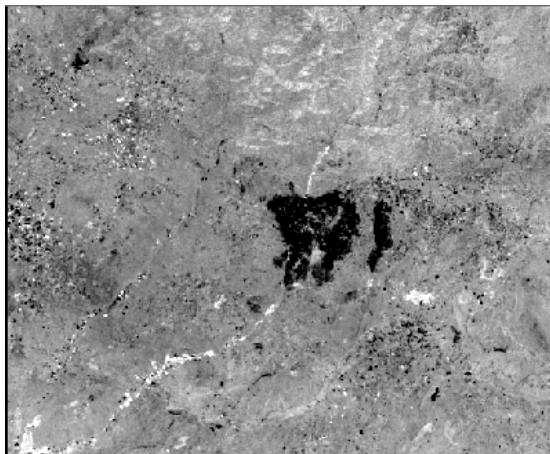
Η συνολική πληροφορία που υπάρχει στα δεδομένα, διατηρείται κατά την εφαρμογή του μετασχηματισμού, τα μέσα τετραγωνικά σφάλματα μειώνονται και δημιουργούνται ασυσχέτιστοι παράγοντες. Αποτέλεσμα αυτού, είναι η σημαντική μείωση της διάστασης των απεικονίσεων και παράλληλα ο αποκλεισμός διευθύνσεων που περιέχουν θόρυβο (Θέμελης 2010; Moik 1980).

Πιο κάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την Ανάλυση των Κυρίων Συνιστωσών, των απεικονίσεων, που αποτελούν σύνθεση εικόνων δείκτη NDVI. Η εφαρμογή της μεθόδου, έδωσε παρόμοια αποτελέσματα και για τις εικόνες, που αποτελούνταν από χάρτες δείκτη SAVI.

Η καμένη δασική έκταση στην περιοχή των Μεσάνων διακρίνεται έντονα στην τέταρτη κύρια συνιστώσα (Εικόνα 44).

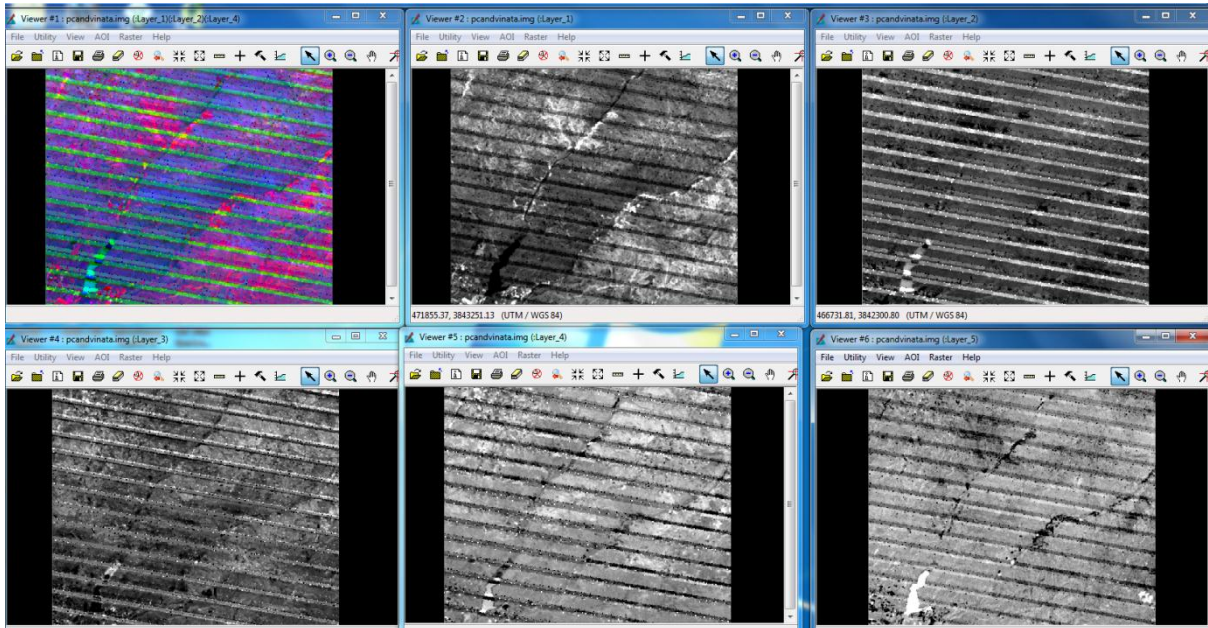


Εικόνα 43: Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA) για την περιοχή των Μεσάνων

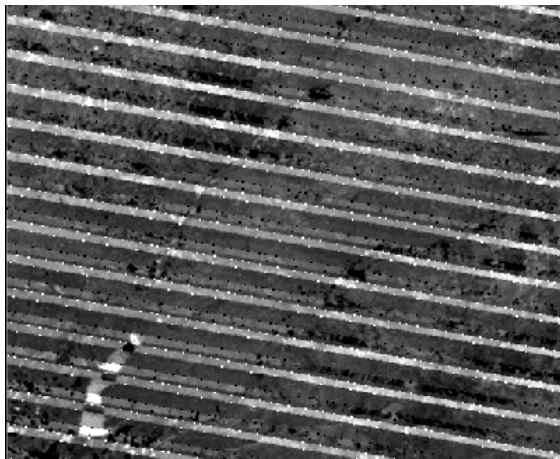


Εικόνα 44: Η καμένη έκταση των Μεσάνων στην τέταρτη κύρια συνιστώσα

Στην περίπτωση της περιοχής Νατάς, η καμένη έκταση διαφαίνεται στη δεύτερη κύρια συνιστώσα (Εικόνα 46).

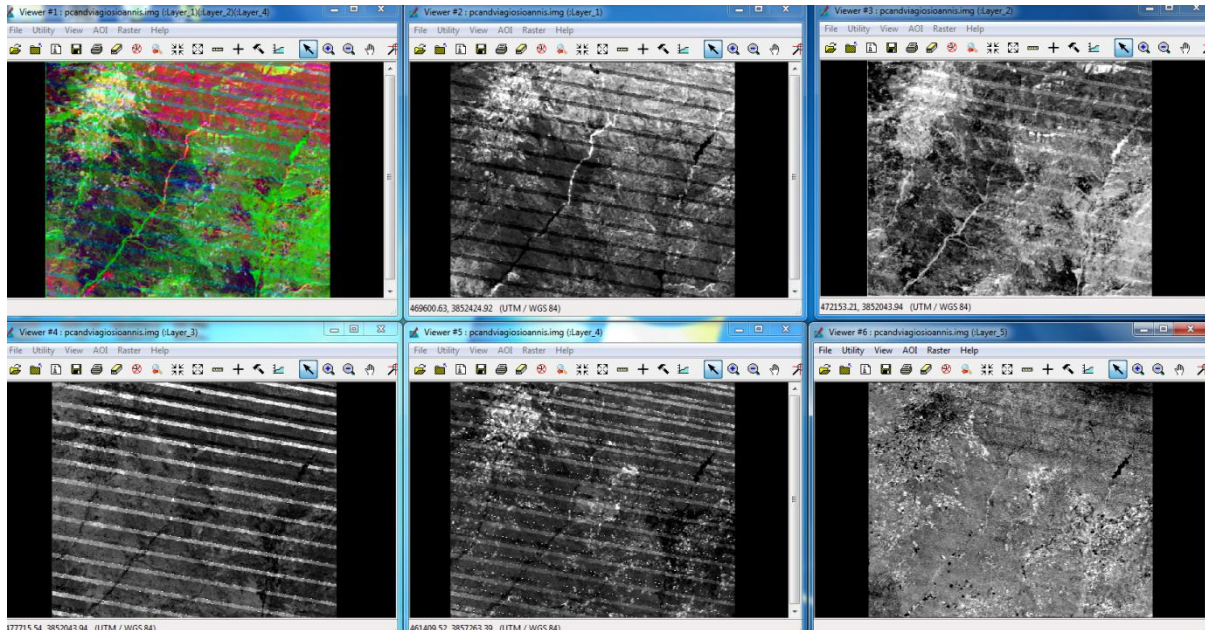


Εικόνα 45: Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA) για την περιοχή της Νατάς

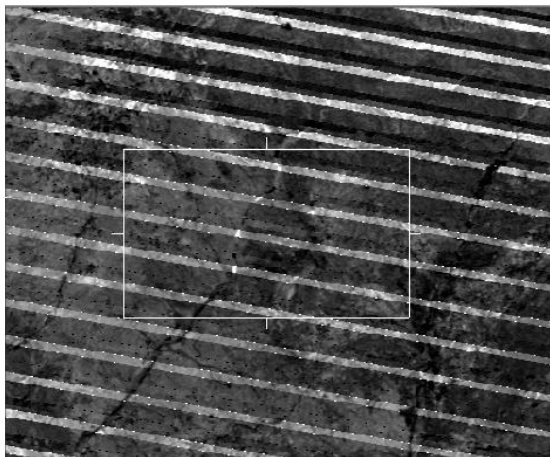


Εικόνα 46: Η καμένη έκταση της Νατάς στη δεύτερη κύρια συνιστώσα

Η μεταβολή στην περιοχή Αγίου Ιωάννη λόγω της καμένης έκτασης, εντοπίζεται στην τρίτη κύρια συνιστώσα, παρόλο που το αποτόπωμα της πυρκαγιάς είναι αμυδρό (Εικόνα 48).



Εικόνα 47: Το αποτέλεσμα από την εφαρμογή της μεθόδου Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA) για την περιοχή του Αγίου Ιωάννη



Εικόνα 48: Η καμένη έκταση του Αγίου Ιωάννη στην Τρίτη κύρια συνιστώσα

7.4 Αποτελέσματα από την επεξεργασία των μετρήσεων του φασματοραδιομέτρου – Βλάστηση και φασματικές υπογραφές

7.4.1 Βλάστηση και φασματικές υπογραφές

Βασικό συστατικό των υγιών φύλλων των φυτών είναι η χλωροφύλλη, η οποία έχει ισχυρή απορρόφηση στο κόκκινο και το μπλε του ορατού φάσματος και ισχυρή ανακλαστικότητα στο πράσινο. Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας στο εγγύς υπέρυθρο ανακλάται και μεταδίδεται με ελάχιστη απορρόφηση.

Αυτός είναι ο λόγος που η υγιής βλάστηση (Γράφημα 17) φαίνεται στο ανθρώπινο μάτι πράσινη. Όταν η βλάστηση ασθενεί, φαίνεται κίτρινη, διότι μειώνεται η ποσότητα της χλωροφύλλης. Με τη μείωση της χλωροφύλλης, μειώνεται η απορρόφηση στο κόκκινο τμήμα του ορατού φάσματος και παρουσιάζεται υψηλή ανακλαστικότητα σε αυτό.

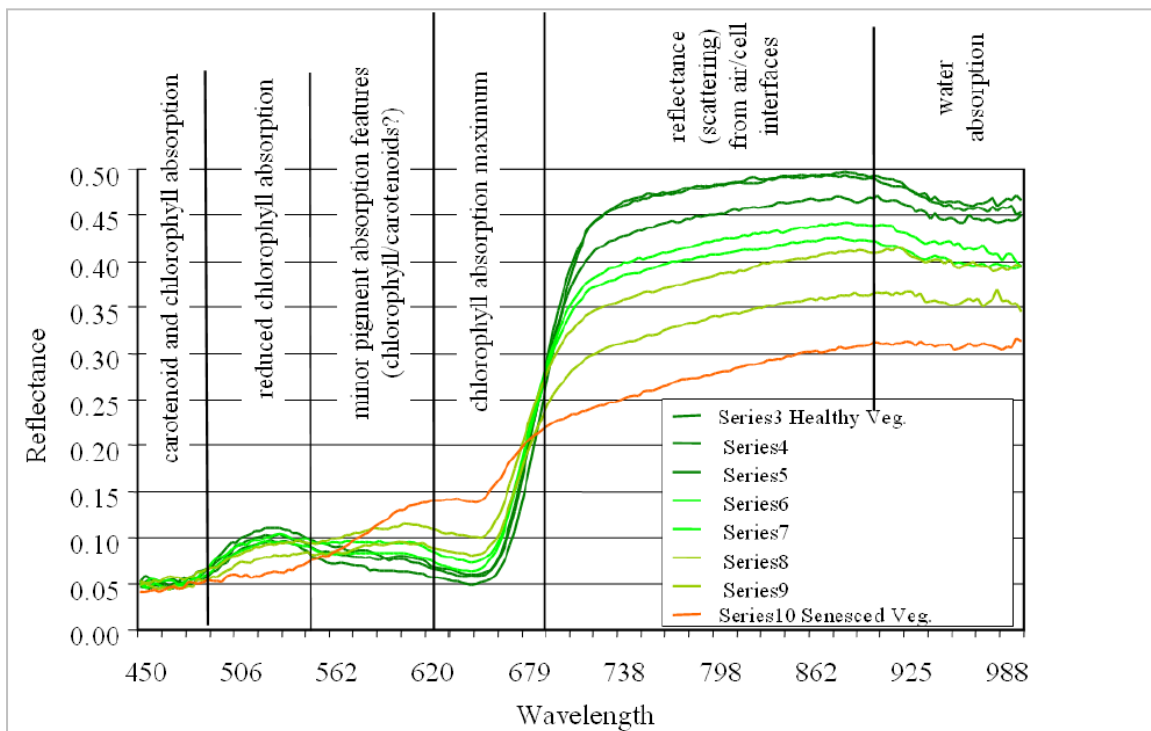
Η φασματική υπογραφή της καμένης βλάστησης και της περιοχής που υπέστη ζημιές από πυρκαγιά μεταβάλλεται. Τα αποτελέσματα αυτής της μεταβολής είναι ορατά στις δορυφορικές εικόνες, ακόμη και μετά από κάποιο χρονικό διάστημα. Οι καμένες περιοχές μπορούν να εντοπιστούν και να επισημανθούν, μελετώντας τη μεταβολή που παρουσιάζουν οι φασματικές υπογραφές τους πριν από την πυρκαγιά σε σχέση με τις φασματικές υπογραφές τους μετά από την πυρκαγιά. Η σύγκριση των φασματικών υπογραφών ενός καμένου τμήματος με αυτές της υπόλοιπης περιοχής, καθιστά πιο διακριτή την περιοχή της πυρκαγιάς. Η βλάστηση, όταν καεί, αλλάζει δραστικά ως προς τη χημική της σύσταση. Η χλωροφύλλη και η περιεχόμενη υγρασία των φυτών μειώνονται. Αποτέλεσμα αυτού είναι η διαφοροποίηση της ανακλαστικότητας της καμένης βλάστησης από αυτή της υγιούς.

Η μορφή μιας φασματικής υπογραφής καμένης βλάστησης στο ορατό φάσμα εξαρτάται από το είδος της και από το βαθμό της ζημιάς που έχει υποστεί. Η συμπεριφορά των φασματικών υπογραφών μιας περιοχής που έχει καεί, δεν είναι ίδια σε όλα της τα σημεία. Επίσης η φασματική υπογραφή ενός σημείου προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς μπορεί να είναι ίδια, να παρουσιάζει αύξηση ή μείωση ανάλογα από τον τύπο της βλάστησης. Οι φασματικές υπογραφές καμένων περιοχών δεν είναι συγκεκριμένη, ούτε είναι δυνατόν να τυποποιηθεί. Έντονη μείωση της ανακλαστικότητας της καμένης βλάστησης, παρατηρείται κυρίως στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι. Για το λόγο αυτό οι καμένες περιοχές μελετούνται κυρίως στο κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο κανάλι.

Μέχρι τώρα έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι για τον εντοπισμό, την αναγνώριση και διάκριση των καμένων περιοχών. Παρόλα αυτά δεν υπάρχει καμιά εγγύηση ότι τα αποτελέσματα που δίνουν οι μέθοδοι αυτές είναι ακριβή. Καθίσταται αναγκαία η χρήση ποικίλων εργαλείων και τεχνικών, έτσι ώστε να ανακτώνται μετρήσεις και τιμές, οι οποίες θα μπορούν να συγκριθούν, με σκοπό την εξαγωγή ορθών αποτελεσμάτων.



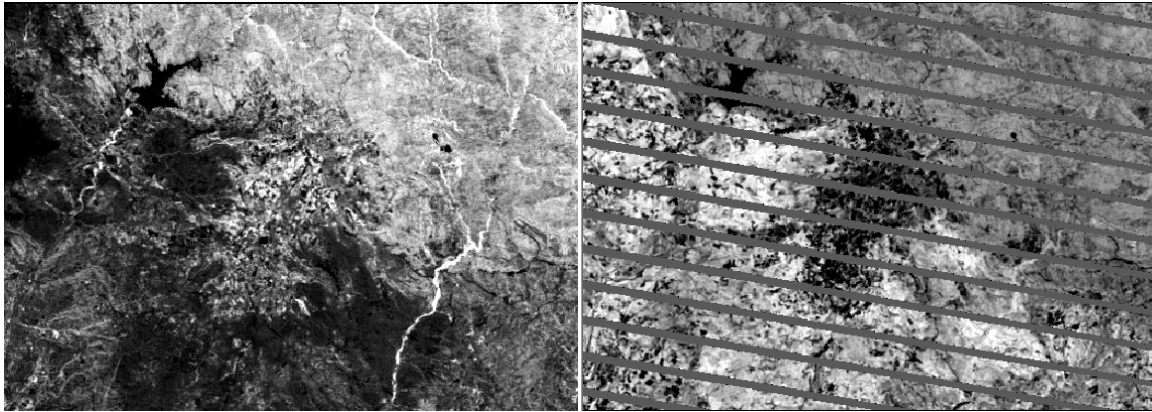
Γράφημα 17: Τυπική φασματική υπογραφή υγιούς βλάστησης



Γράφημα 18: Οι μεταβολές της φασματικής υπογραφής ενός νέου και υγιές φυτού με την πάροδο του χρόνου (Philpot 2011)

7.4.2 Τα αποτελέσματα της μεθοδολογίας

Τα αποτελέσματα από την απεικόνιση του δείκτη NDVI της καμένης έκτασης στην περιοχή των Βρετσιών φαίνεται στην Εικόνα 49.

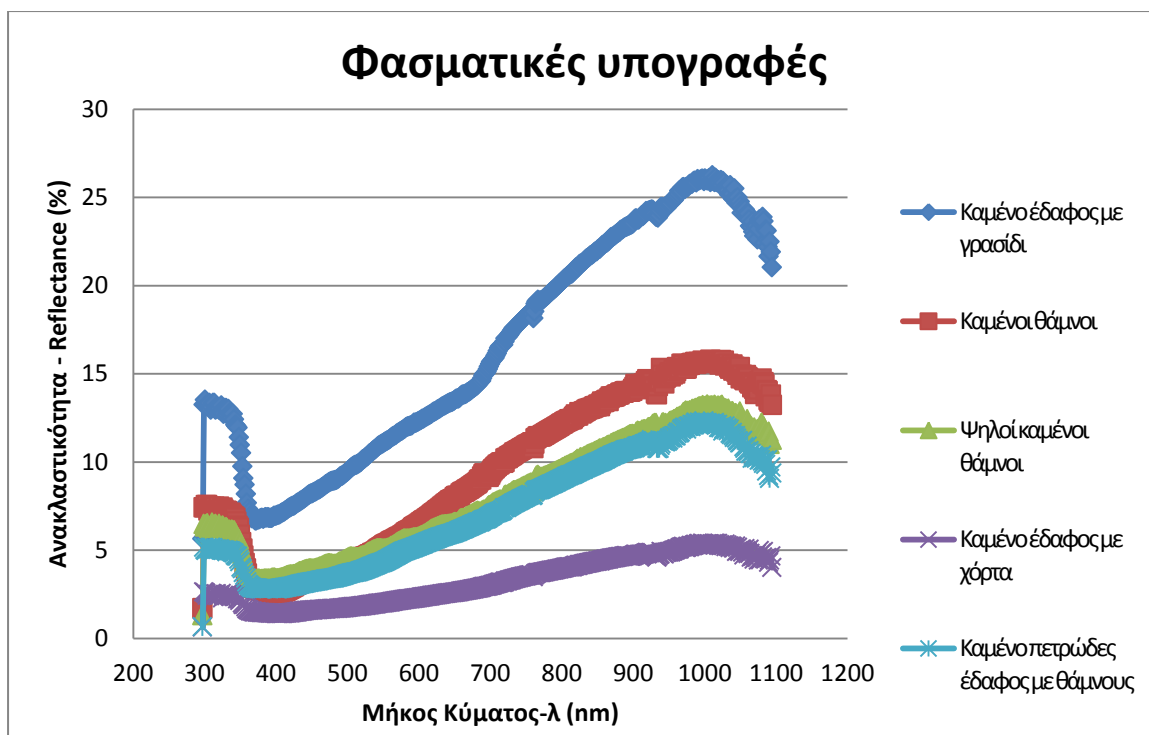


Εικόνα 49: Ο δείκτης NDVI προ-πυρκαγιάς και μετά-πυρκαγιάς στην περιοχή των Βρετσιών

Οι μετρήσεις του φασματοραδιομέτρου χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία γραφημάτων, που αναπαριστούν τη συμπεριφορά της ανακλαστικότητας των καμένων υλικών.

Στο Γράφημα 19 παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές όλων των καμένων υλικών. Κατά τη δημιουργία του Γραφήματος 19 λήφθηκαν υπόψη όλα τα κανάλια, στα οποία καταγράφει το φασματοραδιόμετρο. Στα υπόλοιπα Γραφήματα φαίνονται οι φασματικές υπογραφές του κάθε υλικού ξεχωριστά. Το διάστημα των μηκών κύματος περιορίστηκε στην περίπτωση τους, μόνο στα κανάλια που χρησιμοποιούν οι δορυφόροι Landsat.

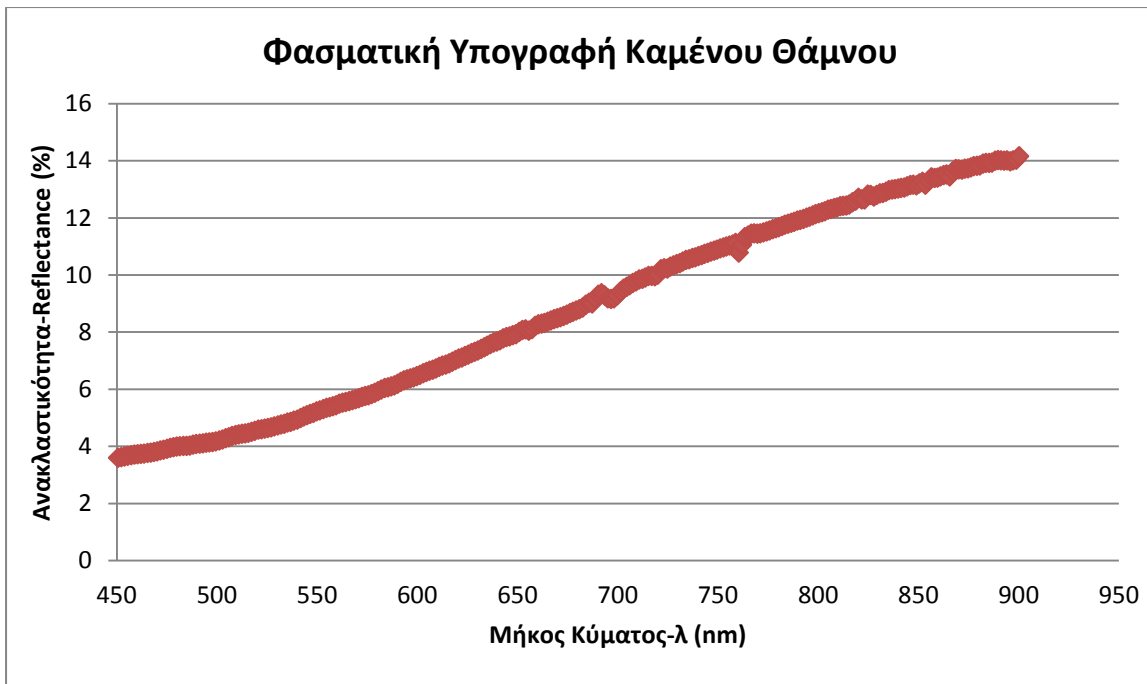
Η συμπεριφορά της ανακλαστικότητας των καμένων υλικών ήταν η αναμενόμενη, όπως φαίνεται στο Γράφημα 19. Παρατηρείται μείωση της ανακλαστικότητας στο κανάλι του Πράσινου και αύξηση σε αυτό του κόκκινου. Αντίθετα, το κανάλι του εγγύς υπέρυθρου παρουσιάζει σχετικά μειωμένες τιμές ανακλαστικότητας.



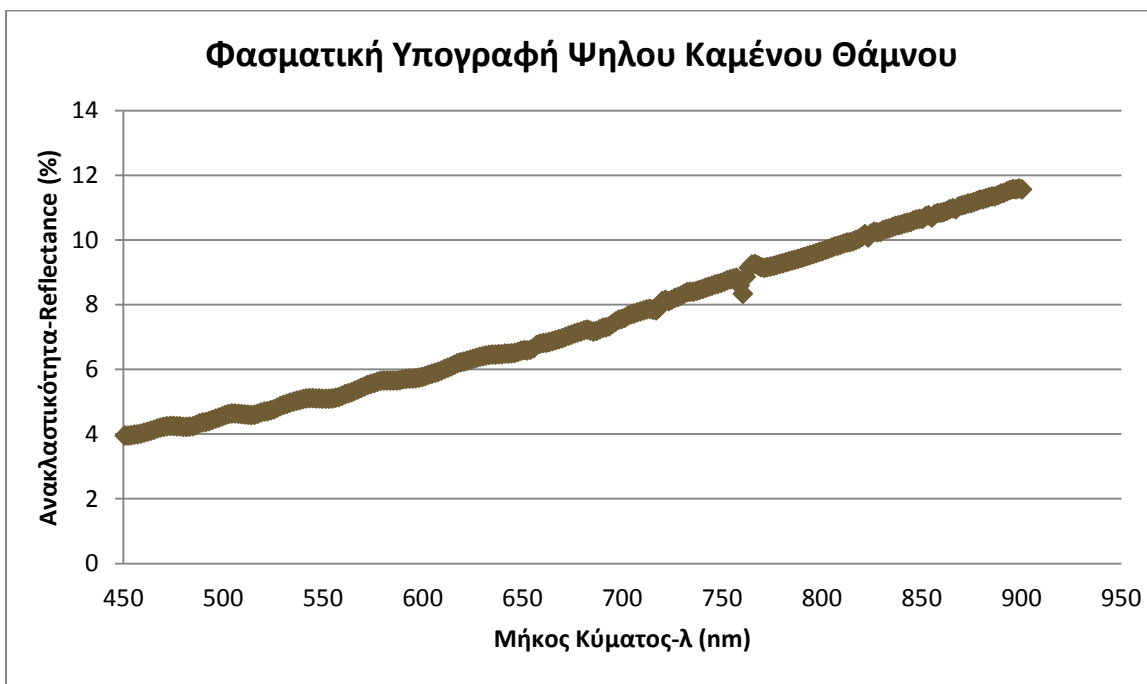
Γράφημα 19: Οι φασματικές υπογραφές των καμένων υλικών από τις μετρήσεις πεδίου



Εικόνα 50: Καμένοι θάμνοι στην υπό – περιοχή μελέτης



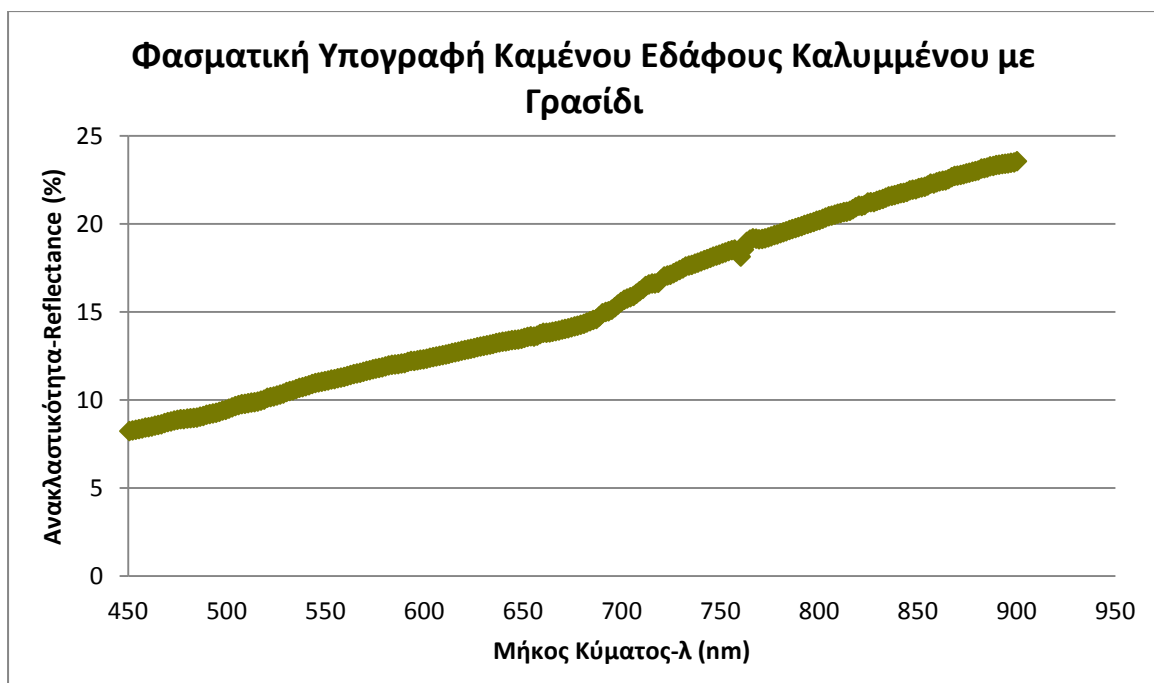
Γράφημα 20: Η φασματική υπογραφή καμένου θάμνου



Γράφημα 21: Η φασματική υπογραφή ψηλού καμένου θάμνου



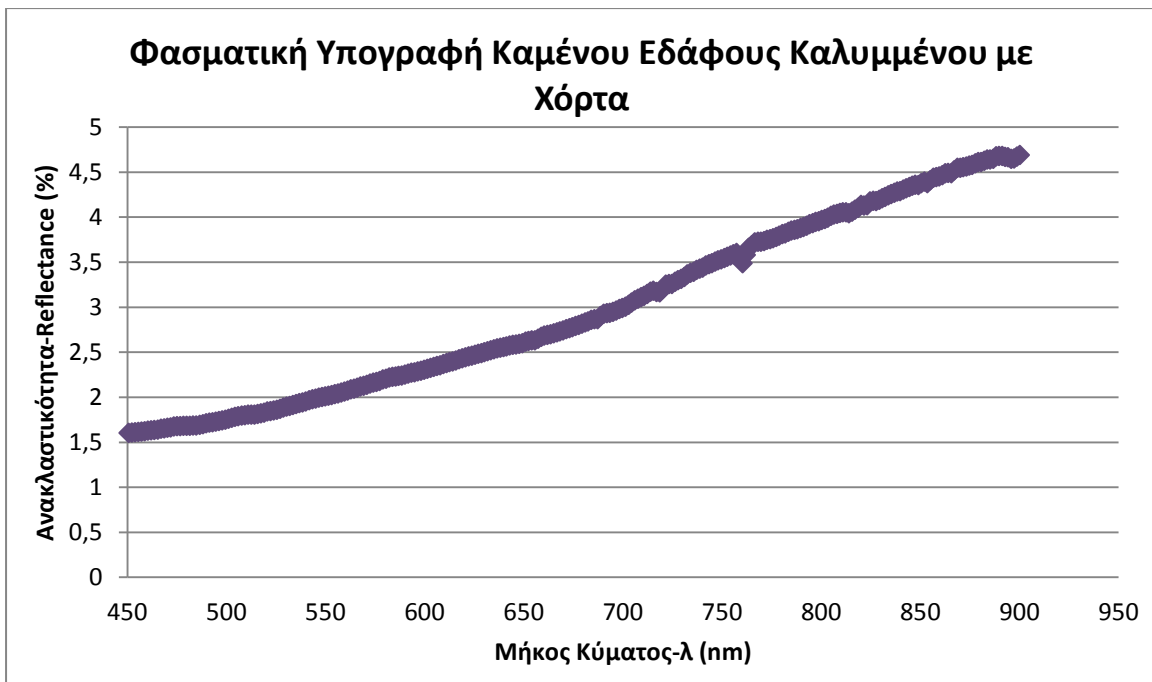
Εικόνα 51: Καμένο έδαφος καλυμμένο με γρασίδι στην υπό – περιοχή μελέτης



Γράφημα 22: Η φασματική υπογραφή καμένου εδάφους καλυμμένου με γρασίδι



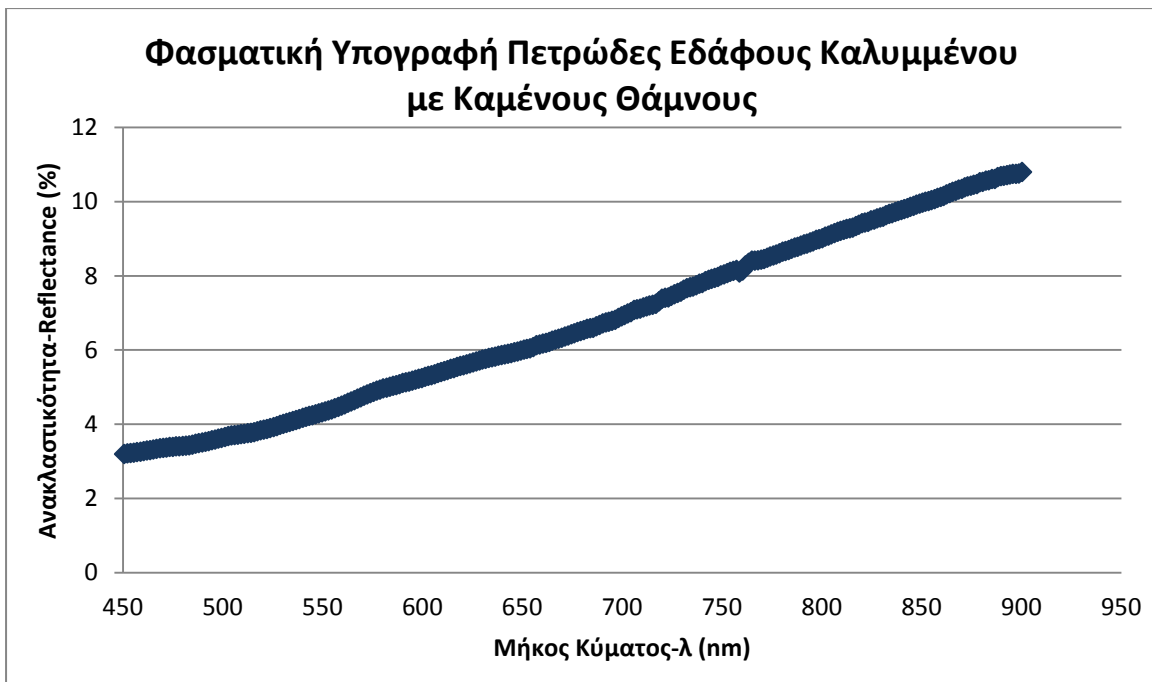
Εικόνα 52: Καμένο έδαφος καλυμμένο με χόρτα στην υπό – περιοχή μελέτης



Γράφημα 23: Η φασματική υπογραφή καμένου εδάφους καλυμμένου με χόρτα



Εικόνα 53: Πετρώδες έδαφος καλυμμένο με καμένους θάμνους στην υπό – περιοχή μελέτης



Γράφημα 24: Η φασματική υπογραφή πετρώδες εδάφους καλυμμένου με καμένους θάμνους

Οι Παπαγεωργίου et al. (2012), έχουν προχωρήσει στην ανάλυση φασματικών υπογραφών, καμένων δασικών εκτάσεων, μέσω φασματοραδιομετρικών μετρήσεων, στην περιοχή της Πόλης Χρυσοχούς, στην Πάφο. Μελετώντας τις φασματικές υπογραφές, διαπίστωσαν ότι στο φάσμα των 680 nm, η ανακλαστικότητα κυμαίνεται από 17 έως 20 %. Επίσης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η συμπεριφορά, των φασματικών υπογραφών των καμένων εκτάσεων, αποκλίνει σημαντικά, από αυτή των ομαλών φασματικών υπογραφών. Οι φασματικές υπογραφές της υγιούς βλάστησης, παρουσιάζουν στα διαγράμματά τους, μια κορυφή στο κανάλι του κόκκινου, γεγονός που δε συμβαίνει με τις φασματικές υπογραφές της καμένης βλάστησης. Τα ίδια, περίπου, αποτελέσματα προέκυψαν από τις φασματοραδιομετρικές μετρήσεις που λήφθηκαν για τους σκοπούς της παρούσας πτυχιακής μελέτης (Γραφήματα 19-24).

Συμπεράσματα

Για κάθε κύρια περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των στατιστικών μιας χρονοσειράς εικόνων δεικτών NDVI και SAVI. Οι μέσες τιμές του δείκτη NDVI των καμένων εκτάσεων κυμαίνονται από -0,149 μέχρι -0,300, ενώ για το δείκτη SAVI οι μέσες τιμές βρίσκονται μεταξύ των τιμών -0,221 και -0,450. Από τη μελέτη των στατιστικών, των εικόνων του δείκτη NDVI, διαπιστώνεται ότι οι τιμές των καμένων εκτάσεων είναι παρόμοιες. Τα ίδια συμπεράσματα εξάχθηκαν και για το δείκτη SAVI.

Οι διαφορές που προέκυψαν μεταξύ των μέσων τιμών του ίδιου δείκτη των καμένων περιοχών, οφείλονται σε πολλούς παράγοντες. Η ημερομηνία λήψης των εικόνων, το είδος και η ποικιλότητα της βλάστησης, η τοποθεσία, οι τοπογραφικές, γεωγραφικές, κλιματικές και μορφολογικές παράμετροι της καμένης έκτασης, καθώς και η ένταση της πυρκαγιάς επηρεάζουν δραστικά τις τιμές.

Η ποικιλομορφία και η ανομοιογένεια, είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, που παρουσιάζουν η χωρική κατανομή και η διάταξη των βιοτικών, αβιοτικών, χλωριστικών και οικολογικών συνιστωσών των μεσογειακών οικοσυστημάτων. Η μορφή και η δομή που παρουσιάζουν τα μεσογειακά οικοσυστήματα, δυσκολεύουν τόσο την ερμηνεία, όσο και τη ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων.

Για να γίνει εφικτή η ανάλυση και περιγραφή των καμένων μεσογειακών περιοχών, απαιτούνται δεδομένα υψηλής ακρίβειας. Η ακρίβεια αυτή καθορίζεται κυρίως από την ελάχιστη χωρική μονάδα στην οποία θα επικεντρωθεί μια μελέτη. Η παρακολούθηση ενός ανομοιογενούς περιβάλλοντος επιβάλλει να δοθεί σημασία ακόμη και στην πιο μικρή λεπτομέρεια. Για παράδειγμα μια συνεχής επιφάνεια που περιλαμβάνει ομοιόμορφη βλάστηση, μπορεί να παρατηρηθεί και να παρακολουθηθεί μέσω χωρικών δεδομένων μικρότερης ακρίβειας.

Στη συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν εικόνες Landsat, με μέγεθος εικονοστοιχείου 30 m x 30 m. Οι μετρήσεις πεδίου, που έγιναν στην περιοχή των Βρετσιών, έχουν καλύτερη διακριτική ικανότητα, από τις εικόνες Landsat. Στο μέλλον, ενδέχεται να χρησιμοποιηθούν εικόνες υψηλότερης χωρικής ανάλυσης, όπως αυτές του δορυφόρου Quickbird. Ωστόσο, ο δορυφόρος Landsat χαρακτηρίζεται από καλή χρονική διακριτική ικανότητα αφού παρέχει δορυφορικές λήψεις ανά τακτά χρονικά διαστήματα (16 ημερών). Το γεγονός αυτό καθιστά τα δεδομένα του, κατάλληλα για τη συστηματική παρακολούθηση και διαχείριση των

καμένων εκτάσεων. Οι μετρήσεις και τα αποτελέσματα της παρούσας πτυχιακής θα μπορούσαν να αποτελέσουν το υπόβαθρο μιας μελλοντικής μελέτης.

Διαπιστώθηκε ότι μέσω επίγειων μετρήσεων των φασματικών υπογραφών, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να ερμηνεύει καμένα δάση. Μια βιβλιοθήκη αποτελούμενη από επίγειες μετρήσεις φασματικών υπογραφών, θα ήταν ένα σημαντικό εργαλείο για τη διαδικασία της εκτίμησης και της αξιολόγησης. Σε περίπτωση, που επιθυμείται η αποφυγή της επίσκεψης στο πεδίο, οι καμένες εκτάσεις θα παρακολουθούνται και θα εκτιμούνται, συνδυάζοντας τη χρήση των πληροφοριών της βιβλιοθήκης με την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων υψηλής διακριτικής ικανότητας. Τα λογισμικά επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα υπολογιστικών μεθόδων. Για παράδειγμα, το εμβασμό μιας καμένης έκτασης μπορεί να μετρηθεί αυτόματα από το λογισμικό (Seed Tool). Επίσης, μπορεί να πραγματοποιηθεί ταξινόμηση (Classification) στην υπό μελέτη περιοχή. Εάν όμως απαιτείται μεγάλη ακρίβεια στους υπολογισμούς, είναι προτιμότερο να διεξαχθούν μετρήσεις πεδίου, που θα σχετίζονται με όρια της πυρκαγιάς και τα φασματικά της χαρακτηριστικά. Ακριβείς πληροφορίες θα ήταν δυνατόν να προκύψουν και από τη χρήση ενός Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους.

Οι φορείς που είναι υπεύθυνοι για τη διαχείριση των δασών, θα μπορούσαν να διαθέσουν ένα συγκεκριμένο ποσό για την ανάκτηση υψηλής ανάλυσης εικόνων. Το κόστος των δεδομένων είναι σχεδόν μηδαμινό σε σχέση με το χρήμα και το χρόνο που θα εξοικονομήσουν στη συνέχεια. Η χρήση δορυφορικών εικόνων αποτελεί πλέον μια πρακτική και γρήγορη λύση για τη διαχείριση και τη μέτρηση των καμένων εκτάσεων.

Οι μετρήσεις πεδίου με φασματοραδιόμετρο και δέκτες GPS, οι τεχνικές δορυφορικής Τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με ένα ΓΣΠ, δίνουν τη δυνατότητα δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων στην οποία θα καταχωρούνται τα περιγραφικά δεδομένα, τα χαρακτηριστικά καθώς και ο βαθμός επικινδυνότητας των δασικών περιοχών. Με αυτό τον τρόπο, όχι μόνο θα είναι εφικτή η άμεση χαρτογράφηση και παρατήρηση των πληγέντων περιοχών, αλλά θα εντοπίζονται και θα επισημαίνονται οι επικίνδυνες περιοχές μέσω της δημιουργίας χαρτών επικινδυνότητας. Αυτό θα συνέβαλλε και στη βελτίωση των μέτρων πρόληψης και πυροπροστασίας.

Στη χώρα μας δε δίνεται μεγάλη προσοχή στο περιβάλλον, παρόλο που τα τελευταία χρόνια οι προσπάθειες για την προστασία του εντάθηκαν. Η Κύπρος είναι ένα μικρό νησί. Οι πυρκαγιές που συμβαίνουν κάθε χρόνο, καίνε σχετικά τεράστιες δασικές περιοχές. Οι ζημιές

που απορρέουν είναι πολύ μεγάλες και λειτουργούν αθροιστικά, αν ληφθεί υπόψη ο χρόνος που χρειάζεται ένα δάσος για να ανακάμψει. Ήδη η Κύπρος αντιμετωπίζει προβλήματα όπως η ερημοποίηση και οι ακραίες κλιματικές μεταβολές. Οι πυρκαγιές κάνουν τη δυσάρεστη κατάσταση που επικρατεί χειρότερη, με άμεσο επακόλουθο την κακή ποιότητα ζωής. Τα δάση αποτελούν έναν ανεκτίμητο φυσικό πλούτο, ο οποίος θα μπορούσε να διαφυλαχθεί με τις μεθόδους και τις τεχνικές που προαναφέρθηκαν.

Βιβλιογραφία

Boer M., Macfarlane C., N. Jaymie, Sadler R., Wallance J., Grierson P. (2009). “Remote sensing of forest canopies to quantify burn severity.” Background briefings on emergency issues for fire managers from AFAC and Bushfire CRC., Issue 31.

Pereira M. C. Jose (1992). “Burned area mapping with conventional and selective Principal Components Analysis.”

Ochego H. (2003). “Application of Remote Sensing in Deforestation Monitoring: A Case Study of the Aberdares (Kenya).” 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco

Bucini G., Lambin F. E. “Fire Impacts on vegetation in Central Africa: a remote-sensing-based statistical analysis.” Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve

Calado J. T., DaCamara C. C. “Monitoring burnt areas in Portugal using NOAA/AVHRR imagery.” Centro de Geofísica da Universidade de Lisboa, Lisboa

A. M. S. Smith, M. J. Wooster, A. K. Powell, D. Usher (2002). “Texture based feature extraction: application to burn scar detection in Earth observation satellite sensor imagery.” *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23, no. 8, 1733–1739

Ayoola Akinola Akingbogun, Oloyede S.O.A Kosoko and D. K. Aborisade (2012). “Remote sensing and GIS application for forest reserve - Degradation prediction and monitoring.” *FIG Young Surveyors Conference , Workshop 1.2*, 6208

“Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2011.” (2011) JRC and Directorate – General Environment, European Commission, Rome

“Global Forest Resources Assessment 2010.” (2010). Fao Forestry Paper, Rome

Nikos Koutsias N., Plenio M., Nioti F., Mallinis G. (2010). “Spectral signatures of burned surfaces: Evidence from hyperspectral remote sensing data.” *Proc. ‘Hyperspectral 2010 Workshop*, Frascati

Pereira J. M. C. (2003). “Remote sensing of burned areas in tropical savannas.” *International Journal of Wildland Fire*, 12, 259-270

E. Chuvieco, M. P. Martin, A. Palacios (2002). “Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination.” *International Journal Remote Sensing*, 2002, Vol. 23, No 23, 5103-5110

Jackson Ray D., Huete Alfredo R. (1991). “Interpreting vegetation indices.” Elsevier Science Publishers

Haboudane D., Miller John R., Pattey E., Zacro-Tejada, Strachan Ian B. (2004) “Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture.” *Remote Sensing of Environment* 90, 337-352

Papageorgiou K., Hadjimitsis D. G., Agapiou A., Themistokleous K., Chrysoulakis N., Koutsias N. (2012). “Spectral Signatures of *Pinus brutia* post fire regeneration in Paphos forest, using ground spectroradiometers.” 32nd EARSeL Symposium 2012, Mykonos Island

Μερτίκας Π. Σ. (2009). “Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας.” Εκδότικος όμιλος ΙΩΝ, Αθήνα

Γκάνας Α. και Νικολάου Ε. (2002). “Πρόγραμμα APPERTURE: Συνεργεία περιβαλλοντικού δικαίου – τηλεπισκόπησης για την έκδοση και ενημέρωση χαρτών χρήσεων γης σε ευαίσθητες περιοχές.”

Αθανασίου Μ. Γ. (2011). “Σύγκριση δεδομένων τηλεπισκόπησης καμένων εκτάσεων για τον ελληνικό χώρο.” B.S., Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

Χρονοπούλου Κ. Γ. (2007). “Διαχείριση των Δασικών Πυρκαγιών με τη χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών: Η περίπτωση της πυρκαγιάς της 28ης Ιουνίου 2007 στο όρος Πάρνηθα.” M.S., Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα

Χριστακόπουλος Π., Χατζόπουλος, Παρώνης Δ., Ανδρου Α. “Προσδιορισμός των προς ανάδασωση εκτάσεων στον Εθνικό Δρυμό Σουνίου με τη χρήση μοντέλων, Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών και δορυφορικών εικόνων IKONOS.”

G. H. Mitri, and I. Z. Gitas (2004). “A semi-automated object-oriented model for burned area mapping in the Mediterranean region using Landsat-TM imagery *International Journal of Wildland Fire.*”, 13, 367–376

Χατζημιτσής Δ., Ρετάλης Α. (2000). “Η χρήση των τεχνικών της δορυφορικής τηλεπισκόπησης για την εκτίμηση και την καταγραφή των καμένων εκτάσεων και των αλλαγών κάλυψης γης στην Σκιάθο.”

Polychronaki A. and Gitas I. Z. (2012). “Burned Area Mapping in Greece Using SPOT-4 HRVIR Images and Object-Based Image Analysis.” *Remote Sens.*, 4, 424-438 Thessaloniki

Αντωνίου Μ. (2011). “Δημιουργία χάρτη επικινδυνότητας δασικών πυρκαγιών με χρήση αντικειμενοστραφούς ανάλυσης, τηλεπισκοπικών και χαρτογραφικών δεδομένων σε επίπεδο χώρας.” Μ.Σ., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Ρήγα Χ. (2010). “Διερεύνηση των επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον: Η περίπτωση του Νομού Ηλείας.” Β.Σ. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα

Θέμελης Α. (2010). “Classification of urban surface via hyperspectral imaging systems in Remote Sensing.” Β.Σ., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

“Πρακτικά επιστημονικού συνεδρίου: Αποκατάσταση καμένων εκτάσεων” (2001). Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας, Αθήνα

Κοτσώνη Γ. (2009). “Ανάπτυξη ενός συστήματος διαχείρισης δασικών πυρκαγιών στην περιοχή της Πάρνηθας με τη χρήση της τεχνολογίας των συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών.” Μ.Σ., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

“Η ζωή μας με τις δασικές πυρκαγιές: Η άποψη της επιστήμης Μια συνεισφορά στο διάλογο Επιστήμης – Πολιτικής.” (2009). EFI Discussion, Paper 15, European Forest Institute

Στότη Δ. Π. (2012). “Εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων (Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, Τηλεπισκόπηση) στη μελέτη της οικολογικής διαδοχής καμένων οικοσυστημάτων του νομού Ηλείας.” Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα

“Οικολογική έρευνα στην Ελλάδα: Τάσεις, προκλήσεις, εφαρμογές.” (2012). 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Οικολογίας, Αθήνα

Κόντος Σ. (2011). “Λόγοι καναλιών πολυφασματικών εικόνων τηλεπισκόπησης και θεματικές εφαρμογές τους στον ελλαδικό χώρο. Ανάπτυξη σε περιβάλλον Wiki.” Β.Σ., Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

“Κριτήρια και δείκτες για αειφόρο διαχείριση των Κυπριακών Δασών.” (2006).

Τμήμα Δασών Κύπρου, Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος Γεωργία.
http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/DMLindex_gr/DMLindex_gr?OpenDocument

ESA – European Space Agency. (http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_GR/SEMSTS4_PVFG_0.html).