

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

**ΧΡΗΣΗ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΓΙΑ
ΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑΣ ΣΤΗ ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ
ΚΑΙ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΠΥΡΟΠΛΗΚΤΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ**

Σπουδαστές : 1) ΠΕΤΑΛΛΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ
2) ΖΑΝΝΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Εποπτεύοντες Καθηγητές: ΙΩΑΝΝΗΣ ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ
ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΥΡΙΑΔΗΣ

ΠΑΤΡΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2010

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα από τα πλέον καταστροφικά φυσικά φαινόμενα, το οποίο και είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τα ελληνικά οικοσυστήματα. Αποτελεί δε, φαινόμενο έρευνας και μελέτης εδώ και δεκαετίες.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια καταγραφής αυτού του φαινομένου δίνοντας στοιχεία που αφορούν τόσο στις αιτίες όσο και στις επιπτώσεις του, ενώ παράλληλα μελετάται και η δυνατότητα διαχείρισης αυτού του φαινομένου μέσω της χρήσης των σύγχρονων τεχνολογιών.

Έτσι, αναλύονται όσο το δυνατόν σαφέστερα και με σύντομο τρόπο - καθώς πρόκειται για ένα θέμα ιδιαίτερος εκτενές - πως τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και ειδικότερα η Τηλεπισκόπηση και η Φωτοερμηνεία μπορούν να βοηθήσουν στην ανίχνευση και αντιμετώπιση του φαινομένου αλλά επίσης και ποια η χρησιμότητά τους στο στάδιο της αποκατάστασης των πληγισών περιοχών έπειτα από την εκδήλωση των δασικών πυρκαγιών.

Τέλος δίνονται παραδείγματα χρήσης των σύγχρονων τεχνολογιών σε επιλεγμένες περιοχές (Πελοπόννησο, Ζάκυνθο) με αποτύπωση των δεικτών βλάστησης NDVI, LAI, fCover, LAIxCab, fAPAR και της φασματικής υπογραφής της βλάστησης πριν και μετά τη φωτιά.

Ευχαριστούμε για την πολύτιμη συμβολή της στην καταγραφή-αποτύπωση-επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων για τις περιοχές μελέτης τους επιβλέποντες καθηγητές Κωνσταντίνο Μαυρίδη και Ιωάννη Γιαννάκη για το ενδιαφέρον τους, τις υποδείξεις τους, και τη συνεχή καθοδήγηση τους για τις σημαντικές υποδείξεις και διορθώσεις με αποτέλεσμα τη βελτίωση της πτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε ως πτυχιακή εργασία του τμήματος Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πατρών.

Σκοπός της είναι η εισαγωγή στο φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών και της διαχείρισής τους με τη βοήθεια των σύγχρονων τεχνολογιών όπως αυτές έχουν αναπτυχθεί.

Όπως είναι φυσικό το θέμα των δασικών πυρκαγιών είναι τεράστιο και απασχολεί τους επιστήμονες ανά τον κόσμο από τα αρχαία χρόνια έως και τη νεότερη ιστορία. Για αυτό και στην παρούσα εργασία έχει γίνει προσπάθεια να καλυφθεί με όσο το δυνατό σαφέστερο και πιο σφαιρικό τρόπο. Η πρόθεση, μάλιστα, ήταν να μπορεί να αντιληφθεί τόσο ο πιο εξειδικευμένος επιστήμονας όσο και ο απλός ευαισθητοποιημένος πολίτης τη δυνατότητα που υπάρχει σήμερα για τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών με σύγχρονες μεθόδους. Ιδιαίτερα μάλιστα όσον αφορά στην Ελλάδα, ύστερα από το εφιαλτικό καλοκαίρι του 2007 κάτι τέτοιο κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμο και απαραίτητο.

Αναλυτικότερα, στο πρώτο κεφάλαιο του κυρίου μέρους της εργασίας γίνεται μια αναφορά στην δασική νομοθεσία και ιδιαίτερα στις κοινοτικές οδηγίες 79/409/ΕΟΚ, 91/244/ΕΟΚ και 92/43/ΕΟΚ. Επίσης γίνεται αναφορά στο δίκτυο προστατευόμενων περιοχών Natura 2000 και στην Ελληνική νομοθεσία για τα δάση.

Οι δασικές πυρκαγιές και ο ρόλος της φωτιάς στη δημιουργία και ανάπτυξη των μεσογειακών οικοσυστημάτων, σε Ελλάδα και Μεσόγειο, αποτελούν το αντικείμενο του δεύτερου κεφαλαίου με αναφορά στις αιτίες των συχνών πυρκαγιών στα Μεσογειακά οικοσυστήματα, το μεσογειακό κλίμα, την ιδιαίτερη σχέση φωτιάς και μεσογειακών οικοσυστημάτων, την προσαρμογή της μεσογειακής βλάστησης στις δασικές πυρκαγιές, την αναγέννηση μετά τη φωτιά, αλλά και την παράμετρο λειτουργίας της φωτιάς ως παράγοντα συνεξέλιξης.

Η πρόληψη, καταστολή-κατάσβεση και η μεταπυρική διαχείριση-αποκατάσταση αποτελούν το αντικείμενο του τρίτου κεφαλαίου που αναφέρεται στα στάδια των δασικών πυρκαγιών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι σύγχρονες τεχνολογίες και η χρησιμότητά τους στις δασικές πυρκαγιές. Παρουσιάζονται δηλαδή, στοιχεία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), της Φωτοερμηνείας και της Τηλεπισκόπησης, οι γεωμετρικές και ραδιομετρικές διορθώσεις ψηφιακών εικόνων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρατίθεται εφαρμογή τηλεπισκόπησης σε επιλεγμένες περιοχές μελέτης (Ζακύνθου, Πελοποννήσου). Αναλύονται τα πλεονεκτήματα εφαρμογής σε επιχειρησιακό επίπεδο της χαρτογράφησης και απογραφής των καμένων εκτάσεων με δορυφορικά δεδομένα και γίνεται υπολογισμός δεικτών βλάστησης και της φασματικής υπογραφής της βλάστησης συγκριτικά, για θερινούς μήνες 2007 έως 2009, με σκοπό την

εξαγωγή συμπερασμάτων από την επίδραση της φωτιάς του 2007 στην Πελοπόννησο και της πρόσφατης φωτιάς του 2009 στην Ζάκυνθο.

Στο έκτο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα από τη μελέτη αυτή και παρατίθενται κάποιες προτάσεις.

Στην παρούσα εργασία τίθεται ουσιαστικά το ερώτημα κατά πόσο οι σύγχρονες μέθοδοι τηλεπισκόπησης μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη και πόσο χρήσιμες μπορούν να φανούν τελικά. Μπορούν πράγματι να αποτελέσουν εργαλείο διαχείρισης της φωτιάς; Μπορούν να μας δώσουν στοιχεία φυσικής αποκατάστασης; Ειδικά όσον αφορά στην Ελλάδα, η χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών βρίσκεται σε αρχικά στάδια (καθαρά σε ερευνητικό επίπεδο) και έχουν γίνει μικρά βήματα ως προς την εκμετάλλευση των σύγχρονων μεθόδων. Ευχή όλων είναι οι αρμόδιοι φορείς και όχι μόνο, να μπορέσουν μέσα και από τις δυνατότητες που παρέχουν σήμερα οι σύγχρονες τεχνολογίες να εφαρμόσουν ένα καλοσχεδιασμένο σύστημα υποστήριξης αποφάσεων αναφορικά με τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών ώστε στο μέλλον να μην ξαναζήσει κανείς γεγονότα όπως το καλοκαίρι του 2007 στην Πελοπόννησο και την Πάρνηθα (Αττική) αλλά και στην Ζάκυνθο το καλοκαίρι του 2009.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΤΙΤΛΟΣ ΕΝΟΤΗΤΑΣ	ΣΕΛΙΔΑ
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΔΑΣΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΣΕ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΜΕΣΟΓΕΙΟ	12
Γενικά	12
Θεμελιώδη στοιχεία πυρκαγιάς - μετάδοση φωτιάς	13
Αιτίες των συχνών πυρκαγιών στα Μεσογειακά οικοσυστήματα	14
Μεσογειακό κλίμα	15
Η Ιστορία της Φωτιάς στη Μεσόγειο	19
Σχέση φωτιάς - μεσογειακών οικοσυστημάτων	20
Αναγέννηση μετά τη Φωτιά	23
Η Φωτιά ως Παράγοντας Συνεξέλιξης	27
Προσαρμογή της μεσογειακής βλάστησης στις δασικές πυρκαγιές	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ	34
Πρόληψη	34
Καταστολή - κατάσβεση	37
Μεταπυρική διαχείριση - αποκατάσταση	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ	41
Ιστορική εξέλιξη των GIS	41
Ορισμός και Αρχή Λειτουργίας των Γ.Σ.Π.	43

Μοντέλα GIS	44
Εφαρμογές των GIS	45
ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ - ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ	46
Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα	48
Χαρακτηριστικά ψηφιακών φωτογραφιών	51
Φωτοερμηνεία	54
Ψηφιακή τηλεπισκόπηση	58
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ	60
ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ	69
Πλεονεκτήματα εφαρμογής σε επιχειρησιακό επίπεδο της χαρτογράφησης και απογραφής των καμένων εκτάσεων με δορυφορικά δεδομένα	70
Δορυφόρος ENVISAT - MERIS	72
Βάση δεδομένων EOLISA - Λογισμικό BEAM -VISAT	74
Τηλεπισκόπηση και χρήση της φασματικής απόκρισης	77
Διαδικασία λήψης Spectrum	78
Δείκτης NDVI - υπολογισμός δείκτη βλάστησης	79

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) και ο ρόλος του στην εκτίμηση του ποσοστού βλάστησης περιοχής.	82
Παράγοντες μελέτης του αλγορίθμου TOA-VEG (αλγόριθμος βλάστησης)	84
Ραδιομετρική διόρθωση μέσω του λογισμικού	89
Γεωμετρική διόρθωση μέσω του λογισμικού	90
Επεξεργαστής Πιθανότητας Νέφωσης (Cloud Probability Processor)	91
Επιλογή και επεξεργασία περιοχών μελέτης	93
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	129
Συμπεράσματα για NDVI και γραφήματα φάσματος	129
Συμπεράσματα για δείκτες βλάστησης	130
Συμπεράσματα - προτάσεις για διαχείριση επιλεγμένων περιοχών	132
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	135

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η φωτιά προκαλεί καταστροφή της υπέργειας βιομάζας και δραστική μείωση της ποσότητας οργανικής ουσίας στην επιφάνεια του εδάφους. Εξαφανίζονται οι ευεργετικές επιδράσεις του δάσους και της βιοποικιλότητας. Υπάρχει απώλεια της ζωοκοινότητας και καταστροφή του ειδικού περιβάλλοντος διαβίωσης των ειδών. Η φωτιά επίσης επηρεάζει τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του εδάφους. Υπάρχει υποβάθμιση του εδάφους με την απώλεια της οργανικής ύλης των θρεπτικών στοιχείων και του αζώτου (C, N₂). 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. Ως συνέπειες έχουμε περισσότερη ξηρασία και περισσότερη επιφανειακή απορροή και διάβρωση.

Γενικά οι πυρκαγιές που συμβαίνουν στα οικοσυστήματα των Μεσογειακών πεύκων εκτός των άμεσων συνεπειών, δημιουργούν διαφορετικές συνθήκες και σημαντικός αριθμός ειδών χρησιμοποιεί τις συνθήκες που δημιουργούνται για να αναγεννηθούν. Δημιουργούνται καλύτερες συνθήκες για ψυχανθή είδη. Επίσης ενισχύεται η αναγεννητική ικανότητα πολλών ειδών καθώς και των πεύκων που είναι σημαντικό είδος στα Ελληνικά δάση και αποτελεί μεγάλο ποσοστό από την καμμένη ξυλώδη βλάστηση.

Ετσι, το να γνωρίζουμε το ποσοστό της καμμένης έκτασης, τα είδη που καταστράφηκαν και τα πλήρη στοιχεία της καμμένης έκτασης θα βοηθήσουν στην γρηγορότερη αναγέννηση του τοπίου. Ο συνδυασμός κλασσικών τεχνικών (π.χ. αναδάσωση) αλλά και σύγχρονων τεχνολογικά μεθόδων (π.χ. Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών) θα βοηθήσουν στη καλύτερη αντιμετώπιση του σοβαρού αυτού προβλήματος που έχει καταστρέψει μεγάλο ποσοστό δασικών εκτάσεων και οδηγεί σε καταστροφή μεγάλες περιοχές του Ελλαδικού χώρου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ: ΔΑΣΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Η Ε.Ε. και η διατήρηση - προστασία της φυσικής μας κληρονομιάς

Η Ευρωπαϊκή Ένωση επιδιώκει τη διασφάλιση της βιοποικιλότητας μέσω της διατήρησης των φυσικών ενδιαιτημάτων καθώς και της άγριας πανίδας και χλωρίδας στο έδαφος των κρατών μελών. Προς τούτο δημιουργήθηκε ένα οικολογικό δίκτυο ειδικών ζωνών προστασίας, το «*Natura 2000*». Η συνοχή του δικτύου εξασφαλίζεται και από άλλες δραστηριότητες που προβλέπεται να αναληφθούν στους τομείς του ελέγχου και της επιτήρησης, της επανεισαγωγής αυτοχθόνων ειδών καθώς και της εισαγωγής αλλοχθόνων ειδών, της έρευνας και της εκπαίδευσης.

Κοινοτική Νομοθεσία

Κοινοτική Οδηγία 79/409/ΕΟΚ και Οδηγία 91/244/ΕΟΚ

Η έκδοση της Οδηγίας 79/409/ΕΟΚ «περί διατηρήσεως των αγρίων πτηνών» και Οδηγία 91/244/ΕΟΚ για την τροποποίηση της οδηγίας 79/409/ΕΟΚ αφορούν τη θεσμοθέτηση περιοχών με στόχο την προστασία των ειδών των πουλιών που ζουν σε άγρια φυσικά και σε άγρια κατάσταση στη Ευρώπη. Πολύ σημαντικό σημείο της 79/409 (άρθρο 4.1-2) είναι η υποχρέωση των κρατών - μελών να χαρακτηρίζουν ως «**Ζώνες Ειδικής Προστασίας**» τις πιο κατάλληλες περιοχές που φιλοξενούν πληθυσμούς και οικοτόπους των πουλιών αυτών και άλλων μεταναστευτικών ειδών.

Κοινοτική Οδηγία 92/43/ΕΟΚ

Η έκδοση της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ (ΕΕ αριθ. L.206/22.7.92) «για την προστασία και διατήρηση των φυσικών οικοτόπων, της άγριας πανίδας και της αυτοφυούς χλωρίδας» που είναι ευρύτερα γνωστή ως **HABITAT DIRECTIVE**, έγινε στα πλαίσια της διάσκεψης του Ρίο (Ιούνιος 1992). Στη διάσκεψη αυτή η Κοινότητα και τα κράτη μέλη υπέγραψαν από κοινού τη Σύμβαση σχετικά με τη Βιολογική Ποικιλομορφία.

Σκοπός της οδηγίας ήταν η συμβολή στην προστασία της βιολογικής ποικιλομορφίας, μέσω της διατηρήσεως των φυσικών οικοτόπων (ενδιαιτημάτων), καθώς και της αυτοφυούς χλωρίδας και άγριας πανίδας στο ευρωπαϊκό έδαφος των κρατών μελών όπου εφαρμόζεται η Συνθήκη, λαμβάνοντας συγχρόνως υπ' όψη τις οικονομικές, κοινωνικές, πολιτιστικές και περιφερειακές απαιτήσεις.

Με την Οδηγία 92/43 ιδρύεται το ευρωπαϊκό οικολογικό δίκτυο Ειδικών Ζωνών Διατήρησης με τον τίτλο **Natura 2000**. Πρόκειται για περιοχές οι οποίες φιλοξενούν συγκεκριμένους τύπους οικοτόπων και/ ή είδη χλωρίδας και πανίδας που χαρακτηρίζονται ως Κοινοτικής σημασίας. Στόχος της 92/43 είναι η προστασία ή/και η αποκατάσταση αυτών των τύπων οικοτόπων και ειδών. Για την ίδρυση του δικτύου, κάθε κράτος-μέλος συντάσσει κατάλογο περιοχών.

Δίκτυο προστατευόμενων περιοχών Natura 2000

Στο χώρο της Ευρωπαϊκής Ένωσης, με βάση την Οδηγία 92/43/ΕΟΚ, δημιουργείται το Δίκτυο Προστατευόμενων Περιοχών **Natura 2000**. Στο Δίκτυο αυτό εντάσσονται περιοχές, όπου απαντούν οικοτόποι και είδη, που αναφέρονται στην Οδηγία 92/43/ΕΟΚ (Τόποι Κοινοτικής Σημασίας) και περιοχές σημαντικές για τη διατήρηση των πουλιών, που αναφέρονται στην Οδηγία 79/409/ΕΟΚ (Ζώνες Ειδικής Προστασίας για την ορνιθοπανίδα). Με τη δημιουργία του Δικτύου, επιδιώκεται να διατηρηθούν οι οικοτόποι και να προστατευτούν και διαχειριστούν τα είδη αυτοφυών φυτών και αγρίων ζώων (χλωρίδα και πανίδα) και να ανορθωθούν οι λειτουργίες των ενδιαιτημάτων και οι πληθυσμοί των ειδών, όπου χρειάζεται. Η ίδρυση του δικτύου είναι αποτέλεσμα πολύχρονων προσπαθειών των κρατών-μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, των ακαδημαϊκών φορέων, των περιβαλλοντικών οργανώσεων και των πολιτών.

Πριν την εφαρμογή της Οδηγίας 92/43/ΕΟΚ, οι επιστημονικές πληροφορίες που αφορούσαν τα πιο αξιόλογα οικοσυστήματα της Ελλάδας προέρχονταν από την απογραφή των ευαίσθητων οικοσυστημάτων του προγράμματος ταχείας αναγνώρισης της χώρας (1984-1985), τα προγράμματα οικολογικής αναγνώρισης του Υφυπουργείου Νέας Γενιάς (1983-1985), τα προγράμματα προστασίας υδροτόπων Διεθνούς σημασίας, του Θαλάσσιου Πάρκου Βορείων Σποράδων, του κόλπου Λαγανά Ζακύνθου και του δάσους Δαδιάς (1984-1995), το πρόγραμμα CORINE-Βιότοποι της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (1984-1990), την απογραφή Ελληνικών υδροτόπων του Ελληνικού Κέντρου Βιοτόπων-Υδροτόπων, ΕΚΒΥ (1994), την απογραφή σημαντικών περιοχών για τα πουλιά της Ελλάδος, της Ορνιθολογικής Εταιρείας σε συνεργασία με την οργάνωση BirdLife International (1995), τη διαχείριση των δασών και δασικών εκτάσεων, ιδιαίτερα των Εθνικών Δρυμών (Υπουργείο Γεωργίας), διδακτορικές διατριβές, εργασίες και προγράμματα των ΑΕΙ και ερευνητικών ιδρυμάτων της χώρας.

Τα διαθέσιμα στοιχεία, αν και πολύ αξιόλογα, δεν περιελάμβαναν όλες τις πληροφορίες για τους τύπους οικοτόπων, που αναφέρονται στην Οδηγία.

Για την αντιμετώπιση των υποχρεώσεων που απορρέουν από την Οδηγία, το ΕΚΒΥ σε συνεργασία με τα τμήματα Βιολογίας των Πανεπιστημίων Αθηνών, Θεσσαλονίκης και Πατρών καθώς και με άλλους ερευνητικούς οργανισμούς και ιδρύματα της χώρας υλοποίησε το έργο με τίτλο: «Καταγραφή, Αναγνώριση, Εκτίμηση και Χαρτογράφηση των Τύπων Οικοτόπων και των Ειδών Χλωρίδας και Πανίδας της Ελλάδας (Οδηγία 92/43/ΕΟΚ)» στο διάστημα από 1/6/1994 έως 31/1/1996. Το έργο χρηματοδοτήθηκε κατά 75% από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή ως έργο Life - Φύση 2000. Τα Υπουργεία ΠΕΧΩΔΕ και Γεωργίας το συγχρηματοδότησαν κατά 25% και παρακολούθησαν την εξέλιξη του.

Η ένταξη μιας περιοχής στο δίκτυο **Natura 2000** δεν αποκλείει την ανάπτυξη όταν αυτή δεν επιδρά αρνητικά στις οικολογικές αξίες. Συχνά μπαίνει το ερώτημα τι επιτρέπεται και τι απαγορεύεται σε μια περιοχή του δικτύου. Η απάντηση δεν είναι τόσο εύκολη, γιατί δεν υπάρχει ένας συγκεκριμένος

κατάλογος δράσεων που να επιτρέπονται ή να απαγορεύονται στις συγκεκριμένες περιοχές. Πρέπει πρώτα να εκτιμηθεί η οικολογική αξία και κατάσταση του κάθε φυσικού χώρου, ώστε να μπορεί να υπολογιστεί η επίπτωση που θα έχει ένα έργο, εφόσον γίνει μέσα στο χώρο αυτό.

Ελληνική νομοθεσία για τα δάση

Αμέσως μετά την απελευθέρωση από τον τουρκικό ζυγό υπήρξαν αρκετοί νόμοι που ασχολήθηκαν με τα δάση, με πιο σημαντικό αυτόν του 1836 *«Περί ιδιωτικών δασών»*. Η ελληνική δασοπονία οργανώθηκε ουσιαστικά με τον πρώτο Δασικό Κώδικα του 1924 και με το Προεδρικό Διάταγμα του 1928 *«Περί διαχείρισεως δασών»*.

Σήμερα βασικός δασικός νόμος της χώρας είναι ο **N. 998/79**. Επιπλέον, ειδική αναφορά στα δάση γίνεται στα **άρθρα 24 και 117** του Συντάγματος (προστασία του περιβάλλοντος και αναδασώσεις).

Το **άρθρο 24** του Συντάγματος ορίζει την *υποχρέωση της πολιτείας και των οργάνων της, να προστατέψουν το φυσικό περιβάλλον*.

Ο **Νόμος 1650/1986** *«για την προστασία του περιβάλλοντος»* είναι ο κύριος ελληνικός νόμος, που αναφέρεται στην προστασία της φύσης και του περιβάλλοντος στη χώρα μας και ορίζει τις κατηγορίες των προστατευόμενων περιοχών όπως προηγούμενα τις αναφέραμε.

Ο **Νόμος 2742/1999** *«Χωροταξικός σχεδιασμός και αειφόρος ανάπτυξη»* αφορά τη διοίκηση και διαχείριση *«περιοχών, στοιχείων και συνόλων της φύσης και του τοπίου, βάσει των κατηγοριών που αναφέρονται στον Ν. 1650/86*. Αφορά επίσης και στις *«Ειδικές Ζώνες Διατήρησης»*, δηλαδή τις περιοχές του εθνικού καταλόγου περιοχών **Natura 2000**, που συστήνεται βάσει τις Οδηγίας 92/43/ ΕΟΚ.

Η δασική νομοθεσία είναι γενικά πολύ προστατευτική, αφού απαγορεύει ρητά τη μεταβολή χρήσης των δασών και των δασικών εκτάσεων, ειδικά έπειτα από πυρκαγιά. Στην πράξη όμως έχουν φανεί πολλές ασάφειες και αδυναμίες σε ότι αφορά την εφαρμογή της, γεγονός που έχει οδηγήσει στη σημερινή κατάσταση των δασών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ: ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ ΣΕ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΜΕΣΟΓΕΙΟ

Γενικά

Ο ρόλος της φωτιάς στη δημιουργία και ανάπτυξη των μεσογειακών οικοσυστημάτων ή παρεξηγήθηκε ή δεν έγινε κατανοητός και αυτό επειδή η επίδραση της συνδυάστηκε με τις ανθρώπινες μεταπυρικές οικονομικές δραστηριότητες όπως της μη ελεγχόμενης βοσκής, των οικοπεδοποιήσεων, των κάθε είδους καταπατήσεων κ.λ.π.

Για να κατανοήσουμε τον πραγματικό ρόλο της φωτιάς στην οικολογία του μεσογειακού χώρου, θα πρέπει να κάνουμε μια μεγάλη υπέρβαση και να ξεχάσουμε ότι μάθαμε ή γνωρίζαμε μέχρι σήμερα γι' αυτές. Να κοιτάξουμε με θάρρος το πρόβλημα κατάματα, να σεβαστούμε τις φωτιές ως ένα φυσικό φαινόμενο, να τις γνωρίσουμε σε βάθος, να τις απομυθοποιήσουμε, για να παύσουμε να τις φοβόμαστε και να μάθουμε επιτέλους να ζούμε με την παρουσία τους.

Εδώ και μερικές δεκαετίες στη συνείδηση όλων των Ελλήνων οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν το μεγαλύτερο περιβαλλοντικό πρόβλημα της χώρας. Χωρίς καμιά επιφύλαξη, από τον πρώτο πολίτη της χώρας, μέχρι και το μικρότερο παιδάκι που μόλις άρχισε να συνειδητοποιεί το περιβάλλον που ζει, ρίχνουμε όλοι το ανάθεμα στις πυρκαγιές, θεωρώντας, ότι είναι η μοναδική αιτία της αποδάσωσης της χώρας. Η φιλοσοφία που αναπτύχθηκε τις τελευταίες δεκαετίες, με την ολοκληρωτική καταδίκη όλων των δασικών πυρκαγιών, αποβλέπει μάλλον χονδρικά στην απόρριψη της όποιας ιστορικής οικολογικής ωφελιμότητας της φωτιάς και αυτό ίσως είναι που κάνει την ουσιαστική αντιμετώπισή τους μη αποδοτική.

Εφόσον κατανοηθεί ο πραγματικός ρόλος της φωτιάς στη δημιουργία και διατήρηση των μεσογειακών οικοσυστημάτων και η σχέση που ανέπτυξε με αυτά στο πέρασμα των αιώνων, τότε και μόνο τότε ολόκληρη η κοινωνία μας θα αντιδρά με ψυχραιμία την περίοδο έξαρσης του φαινομένου και πολλά λάθη από αυτά που γίνονται πριν, κατά τη διάρκεια και μετά την πυρική περίοδο, θα αποφεύγονται.

Κανείς δεν παραγνωρίζει ότι οι δασικές πυρκαγιές προκαλούν ποικίλες καταστροφές οι οποίες πολλές φορές καταλήγουν σε τραγωδίες, όπως συνέβη τα καλοκαίρια του 1993 και του 1998, του 2000 και του 2007 όπου εκτός των περιουσιών θρηγήσαμε και πολλούς νεκρούς. Και μόνο ο λόγος αυτός είναι αρκετός, για να κάνει ακόμη πιο δύσκολη την προσπάθεια να γραφτεί το συγκεκριμένο κεφάλαιο. Διότι εάν δεν κατανοηθεί, θα φαντάζει ως ασέβεια προς όλους αυτούς που έχασαν στις φλόγες αγαπημένα πρόσωπα. Και δεν είναι αυτή η πρόθεσή μας. Αντίθετα περιγράφοντας την ουσία του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών και τη δύναμη που περιέχουν οι φλόγες, θα φανεί ο τιτάνιος

αγώνας που γίνεται από όλους τους δασοπυροσβέστες και το μέγεθος της θυσίας αυτών που έφυγαν κατά την εκτέλεση του καθήκοντος.

Πριν μπούμε στην ουσία του φαινομένου, πρέπει να γίνει η βασική διάκριση μεταξύ των πυρκαγιών που προκαλούνται από φυσικά φαινόμενα ή τυχαία γεγονότα, της ακούσιας πρόκλησης φωτιάς, των δόλιων εμπρησμών και του ελεγχόμενου πυρός. Τα όσα αναφέρονται στη συνέχεια για την οικολογική σχέση φωτιάς και μεσογειακών οικοσυστημάτων αφορά τις πυρκαγιές που προκαλούνται από φυσικά φαινόμενα ή τυχαία γεγονότα. Όμως όπως θα δούμε στη συνέχεια και εάν ακόμη βελτιωθούμε ως κοινωνία σε τέτοιο βαθμό, ώστε να μην προκαλούμε εμπρησμούς, οι πρόκληση πυρκαγιών από φυσικές αιτίες, θα είναι πάντα μια πραγματικότητα. Δηλαδή δασικές πυρκαγιές θα υπάρχουν είτε υπάρχουν εμπρηστές, είτε όχι. Επομένως η αναγκαιότητα να γνωρίσουμε την ουσία του φαινομένου, δεν μειώνεται στο ελάχιστο από την παραπάνω διάκριση.

Θεμελιώδη στοιχεία πυρκαγιάς - μετάδοση φωτιάς

Η φωτιά είναι αποτέλεσμα μιας χημικής διεργασίας για την οποία απαιτείται η συνύπαρξη τριών θεμελιωδών στοιχείων κατάλληλα συνδυασμένων μεταξύ τους. Τα στοιχεία αυτά είναι η καύσιμη ύλη, η θερμότητα και το οξυγόνο. Συχνά, παρουσιάζονται στα βιβλία σαν πλευρές ενός τριγώνου που ονομάζεται “**το τρίγωνο της φωτιάς**”. Αν αφαιρεθεί έστω και μία από τις πλευρές του τριγώνου, τότε το τρίγωνο παύει να υπάρχει. Το ίδιο ισχύει και για την ύπαρξη της φωτιάς εάν αφαιρεθεί η καύσιμη ύλη, ή το οξυγόνο ή η θερμότητα. Πάνω σ’ αυτή την αρχή στηρίζονται όλες οι μέθοδοι πρόληψης και καταστολής των δασικών πυρκαγιών.



Σχήμα 1. Το τρίγωνο της φωτιάς.

Η θερμότητα της φλόγας μεταδίδεται στη γύρω καύσιμη ύλη και την προθερμαίνει μέχρι να φθάσει και αυτή σε θερμοκρασία ανάφλεξης. Έτσι η φλόγα προχωρά σε νέα θέση και η πυρκαγιά εξαπλώνεται. Η μετάδοση της θερμότητας γίνεται και με τους τρεις γνωστούς τρόπους δηλαδή:

- με επαφή, από ένα σημείο της καύσιμης ύλης σε ένα άλλο χάρη στην αγωγιμότητα αυτής στη θερμότητα,
- με επαγωγή, δηλαδή με μεταφορά και διάχυση των θερμών αερίων της καύσης και

- με ακτινοβολία που προέρχεται από τη φλόγα.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών εμπίπτουν σε τρεις βασικές κατηγορίες:

- Χαρακτηριστικά καύσιμης ύλης
- Καιρικές συνθήκες
- Τοπογραφικές συνθήκες

Αιτίες των συχνών πυρκαγιών στα Μεσογειακά οικοσυστήματα

Οι αιτίες των αυξημένων πυρκαγιών των μεσογειακών πευκοδασών είναι:

α. Τα δάση της χαλεπίου και της τραχείας πεύκης βρίσκονται πολύ κοντά σε κατοικημένες περιοχές και σε περιοχές όπου τους επικίνδυνους καλοκαιρινούς μήνες ο πληθυσμός αυξάνει σημαντικά, λόγω τουρισμού.

β. Σπάνια τα δάση αυτά βρίσκονται χωρίς τη συνοδεία των πολύ εύφλεκτων αείφυλλων θάμνων. Ο πυκνός υπόροφος αυξάνει, όχι μόνο τον κίνδυνο πυρκαγιάς αλλά και μετατρέπει ακίνδυνες έρπουσες πυρκαγιές, σε καταστροφικές επικόρυφες.

γ. Η χαλέπιος πεύκη κατά κύριο λόγο και η τραχεία πεύκη κατά δεύτερο, περιέχουν μεγάλες ποσότητες ρητίνης, που είναι ένα ιδιαίτερα εύφλεκτο υλικό.

δ. Λόγω της φωτοφιλίας των μεσογειακών πεύκων, έχουμε πολύ εύκολη ξήρανση των κατώτερων κλαδιών που σκιάζονται τα οποία αποτελούν μια πρώτης τάξης καύσιμη ύλη.

ε. Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μια έξαρση των πυρκαγιών των παραλιακών πευκοδασών, που οφείλεται κυρίως σε δύο λόγους. Ο πρώτος είναι η κατακόρυφη αύξηση της αξίας των παραλιακών οικοπέδων, που οδηγεί σε εκούσιους εμπρησμούς. Ο δεύτερος είναι η εγκατάλειψη της αγροτικής απασχόλησης από τους κατοίκους των μικρών πόλεων και των χωριών, οι οποίοι έπαιρναν σημαντικό ποσό καύσιμης ύλης για οικιακή χρήση.

στ. Ανάμεσα από τα δάση υπάρχουν διάσπαρτα σιταροχώραφα. Πολλές πυρκαγιές ξεκινούν από το κάψιμο της καλαμιάς, ιδίως όταν αυτή γίνεται σε ημέρες υψηλού κινδύνου.

Είναι δύσκολο να αναγνωριστούν γενικοί κανόνες, οι οποίοι να καθορίζουν την κατά χώρο κατανομή της φωτιάς. Αυτή εξαρτάται από πολυάριθμους τοπικούς παράγοντες. Εκείνο που μπορεί να ειπωθεί είναι ότι οι πυρκαγιές παρουσιάζουν ευθεία αναλογία με τους ανθρώπινους πληθυσμούς. Όσο οι πληθυσμοί αυξάνουν, αυξάνουν και τα επεισόδια πυρκαγιών και το αντίθετο. Πολλές φωτιές ξεκινούν από τα πρανή των αυτοκινητοδρόμων ή των σιδηροτροχιών και γύρω από περιοχές εγκαταστάσεων κάμπινγκ ή προσωρινές διαμονές καλοκαιρινών επισκεπτών.

Ένα μεγάλο ποσοστό πυρκαγιών συμβαίνει κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (το 45%-65% μεταξύ Ιουλίου και Σεπτεμβρίου). Υπάρχει μια μικρή έξαρση την άνοιξη από το Φεβρουάριο μέχρι τον Απρίλιο (20%-35%), (όταν καίγονται τα κλαδιά των αποκλαδώσεων).

Οι περισσότερες πυρκαγιές ξεσπούν κατά τη διάρκεια της ημέρας. Το 80% ξεκινούν μεταξύ 9 π.μ. και 6 μ.μ. και από αυτές το 70 % μεταξύ 11 π.μ. και 5 μ.μ..

Υπάρχουν πολλές αιτίες πρόκλησης πυρκαγιών, οι οποίες βέβαια ποικίλουν από χώρα σε χώρα. Στην Μεσογειακή Ευρώπη (Γαλλία, Ιταλία, Ελλάδα, Ισπανία) ο αυξημένος αριθμός θερινών τουριστών προκαλεί πολλές πυρκαγιές από αμέλεια. Εκατομμύρια τουρίστες συσσωρεύονται στις μεσογειακές παραλίες, στο μικρό χρονικό διάστημα μεταξύ Ιουνίου και Σεπτεμβρίου. Πικνίκ, φωτιές στα κάμπινγκ, αναμμένα τσιγάρα που πετιούνται από αυτοκίνητα και τρένα, σπασμένα μπουκάλια που λειτουργούν ως εστιακοί φακοί, αποτελούν μερικές μόνο από τις αιτίες πρόκλησης πυρκαγιών από αμέλεια. Στις υπανάπτυκτες περιοχές οι εμπρησμοί από τους βοσκούς κατέχουν ακόμη πολύ σοβαρό ποσοστό. Αυτό συμβαίνει στην Κορσική και σε ορισμένες περιοχές της Ιταλίας, Ελλάδας, Τουρκίας, Ισπανίας και Αλγερίας.

Στην Ευρώπη που υπάρχουν στατιστικά δεδομένα εδώ και αρκετές δεκαετίες, θα μπορούσαμε να σημειώσουμε ορισμένες τάσεις. Έτσι παρατηρούμε, ότι ενώ ο αριθμός των δασικών πυρκαγιών αυξήθηκε, οι καμένες εκτάσεις παρέμειναν οι ίδιες ή και κάπως ελαττώθηκαν. Ο μέσος όρος της καμένης έκτασης από τη φωτιά μειώθηκε κυρίως χάρη στην ανάπτυξη των συστημάτων πρόληψης και καταπολέμησης της φωτιάς.

Για τον Ελληνικό χώρο οι αιτίες πυρκαγιών υπολογίστηκαν ως εξής:

Πίνακας 1. Αιτίες πυρκαγιών.

1. Αμέλειες	42,8%
1.1 Καύση καλαμιάς-ξερόκλαδων	12,8%
1.2 Τσιγάρα-σπίρτα	17,8%
1.3 Βολές από στρατιωτικές ασκήσεις	0,7%
1.4 Σύρματα ΔΕΗ - τραίνα ΟΣΕ	0,7%
1.5 Σπινθήρες μηχανών	2,1%
1.6 Εργαζόμενοι στην ύπαιθρο	2,9%
1.7 Εκδρομείς-κυνηγοί	1,3%
1.8 Κάπνισμα μελισσιών	0,5%
1.9 Καύση σκουπιδιών	6,1%
2. Πρόθεση	29,3%
3. Άγνωστες αιτίες	25,7%
4. Κεραυνοί	2,2%

Μεσογειακό κλίμα

Για να κατανοήσουμε το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών είναι απαραίτητο, να εξετάσουμε το χώρο που αυτές εμφανίζονται συχνότερα και τις ιδιαιτερότητές του. Κύριο χαρακτηριστικό των περιοχών του πλανήτη που

εμφανίζουν τακτικά θερινές πυρκαγιές, είναι ότι, όλες βρίσκονται υπό την επίδραση του μεσογειακού κλίματος.

Μεσογειακό κλίμα καλείται ο κλιματικός τύπος, που τα καλοκαίρια είναι πολύ θερμά και ξηρά και οι χειμώνες ήπιοι και μέτρια βροχεροί. Κύριο χαρακτηριστικό δηλαδή είναι οι λιγιστές βροχές, που και αυτές πέφτουν τη χειμερινή περίοδο.

Επομένως, στις περιοχές με μεσογειακό κλίμα, η φυσική βλάστηση είναι υποχρεωμένη να αναπτύσσεται με ελάχιστο νερό, που αποθηκεύεται στο έδαφος κατά τη βροχερή περίοδο. Το καλοκαίρι όταν η βιολογική δραστηριότητα των φυτών είναι έντονη, το διαθέσιμο νερό είναι ελάχιστο. Επομένως για να επιβιώσουν τα φυτά, έπρεπε να προσαρμόσουν τις βιολογικές τους δραστηριότητες με τέτοιο τρόπο ώστε να διαχειρίζονται το νερό με μεγάλη οικονομία και χωρίς καμία σπατάλη.

Στη χώρα μας ο μεσογειακός κλιματικός τύπος συναντάται στην παραλιακή, λοφώδη και υποορεινή περιοχή (δηλαδή περιβάλλει την ηπειρωτική χώρα από την άκρη της θάλασσας μέχρι και σε υψόμετρο 700 μέτρων στο βορρά και 1000 μέτρων στο νότο). Εκτός από τις υψηλές κορυφές των βουνών της Κρήτης ολόκληρη η νησιώτικη χώρα βρίσκεται επίσης υπό την επίδρασή του.

Υπάρχουν στον πλανήτη πέντε περιοχές με κλίμα μεσογειακού τύπου. Και οι πέντε περιοχές βρίσκονται μεταξύ του 30° και του 40° παραλλήλων βόρεια και νότια του ισημερινού στα νότιο-δυτικά των μεγάλων ηπειρωτικών μαζών. Αυτές οι περιοχές είναι για μεν την Ευρασιατική ηπειρωτική μάζα η Μεσογειακή Λεκάνη, για τη Βόρεια Αμερική η Καλιφόρνια, για τη Νότια Αμερική η Χιλή, η Νότια Αφρική και τη Νοτιοδυτική και Νότια Αυστραλία. Η γεωγραφική ζώνη μεταξύ των 30° και 40° παραλλήλων, είναι η περιοχή όπου η καμπύλη του βαθμού θέρμανσης (σύμφωνα με το γεωγραφικό πλάτος) έχει τη μεγαλύτερη ταύτιση με τη καμπύλη ακτινοβολίας του πλανήτη. Δηλαδή όση ηλιακή ακτινοβολία δέχεται, τόση ανακλάται στο διάστημα.

Επίσης οι περιοχές αυτές βρίσκονται στο μεταίχμιο μεταξύ ξηρών και θερμών περιοχών το ισημερινού και των ψυχρών και υγρών περιοχών των πόλων.

Σε παγκόσμια κλίμακα η κατανομή του μεσογειακού κλίματος και του οικοσυστήματος που το συνοδεύει, έχει πιθανά την πιο περιορισμένη κατανομή από κάθε άλλη κλιματική ζώνη ή μέγιστο τύπο οικοσυστήματος. Θεωρείται σχετικά πρόσφατα δημιουργημένος τύπος κλίματος. Εμφανίστηκε για πρώτη φορά κατά τον πλειστόκαινο. Ο κλιματικός αυτός τύπος ταυτίστηκε με τα ψυχρά ωκεάνια κλίματα και πιστεύεται, ότι εάν αυτά εξαφανιστούν, τότε μαζί τους θα χαθεί και το μεσογειακό κλίμα, αποτελώντας ένα περαστικό επεισόδιο της γεωλογικής κλίμακας.

Παρά την τεράστια απόσταση που χωρίζει τις πέντε περιοχές του πλανήτη με μεσογειακό κλίμα, παρά το ότι μεταξύ τους μεσολαβούν εκατοντάδες χιλιόμετρα ωκεανών, οι όμοιες κλιματικές συνθήκες συνετέλεσαν, ώστε να

δημιουργηθεί ένας ομοιόμορφος τύπος βλάστησης ιδιαίτερης μορφής και σύνθεσης προσαρμοσμένος στις ιδιόμορφες τοπικές θερμικές και υδατικές συνθήκες. Τα σημαντικότερα στοιχεία που χαρακτηρίζουν τη μεσογειακή βλάστηση είναι ότι τα φυτά που τη συνθέτουν έχουν σχεδόν στο σύνολό τους πολύ σκληρά φύλλα (σκληρόφυλλα), που δεν τα ρίχνουν κατά τη περίοδο του χειμώνα (αείφυλλα).

Ο συγκεκριμένος τύπος βλάστησης πήρε διαφορετικά ονόματα στις διάφορες περιοχές του πλανήτη στα οποία εμφανίζεται.

Έτσι ονομάζονται: maquis στη Γαλλία και στο Ισραήλ, macchia στην Ιταλία, matorral στη Χιλή και την Ισπανία, chaparral στην Καλιφόρνια, renosterveld στη Νότια Αφρική και mallee στην Αυστραλία.

Κοινό όμως επιστημονικό όνομα, που χαρακτηρίζει διεθνώς τη μεσογειακή βλάστηση, είναι "αείφυλλοι, σκληρόφυλλοι θάμνοι", (όρο τον οποίο χρησιμοποιούμε στην Ελλάδα) ή απλούστερα μεσογειακή βλάστηση.

Στις περιοχές όπου το διαθέσιμο για τα φυτά υδατικό δυναμικό χειροτερεύει λόγω τυχαίων γεγονότων όπως π.χ. η απογύμνωση των εδαφών από συχνές πυρκαγιές ή λόγω έντονης βοσκής, αναπτύσσεται μια συγγενική μορφή μεσογειακής βλάστησης αραιότερη και χαμηλότερη αποτελούμενη κυρίως από ημισφαιρικούς αγκαθώδεις γενικά φυλλοβόλους θάμνους, που είναι πιο καλά προσαρμοσμένοι στα υποβαθμισμένα αυτά εδάφη. Οι Έλληνες τα ονομάζουμε φρύγανα, οι Ισραηλινοί batha, οι Γάλλοι και οι Ισπανοί garrigue. Στην Ελλάδα αποτελούν συνήθως κυρίαρχους σχηματισμούς στα μικρότερα Αιγαιοπελαγίτικα νησιά, εκεί όπου η βοσκή ασκείται σε περιορισμένες εκτάσεις. Τα φρύγανα διατηρούν πολλά από τα μορφολογικά και φυσιολογικά χαρακτηριστικά των αείφυλλων σκληρόφυλλων θάμνων.

Ποιες λοιπόν προσαρμογές ανέπτυξαν τα φυτά της μεσογειακής βλάστησης, ώστε να μπορούν να διαχειρίζονται το ελάχιστο εδαφικό νερό, με τρόπο που να τα καλύπτει για ολόκληρο το καλοκαίρι; Εκτός από την αειφυλλία και την σκληροφυλλία, άλλα χαρακτηριστικά που απέκτησαν τα φυτά για την επιβίωσή τους είναι: η μείωση της βιολογικής δραστηριότητας κατά την περίοδο μακράς περιόδου ξηρασίας, η αλληλοπάθεια, η ανάπτυξη βαθύτερου ριζικού συστήματος σε σχέση με το υπέργειο τμήμα των φυτών. Είναι προσαρμογές που έδωσαν στα φυτά την ικανότητα να επιβιώνουν στις ακραίες τοπικές μεσογειακές κλιματικές συνθήκες και να ανταποκρίνονται με ιδιαίτερους μηχανισμούς απέναντι στη πυρκαγιά.

Και να πως λειτουργούν οι βασικότερες από τις προσαρμογές των φυτών και τα καθιστούν ικανά επιβίωσης στις ακραίες υδατικές μεσογειακές συνθήκες.

Αειφυλλία

Τα περισσότερα φυτά περνούν τη χειμερινή περίοδο γυμνά από φύλλα. Ρίχνοντας τα φύλλα τους περνούν τη χειμερινή περίοδο με ασφάλεια, αφού μειώνονται όλες οι βασικές λειτουργίες της ζωής. Την επόμενη άνοιξη με την αύξηση των θερμοκρασιών αρχίζουν να βγαίνουν νέα φύλλα, ώστε να αρχίσει η

φωτοσύνθεση που αποτελεί τη βάση της ζωής. Για να παραχθεί όμως η βιομάζα των φύλλων, χρειάζεται να καταναλωθούν τεράστιες ποσότητες νερού, από τα αποθέματα του εδάφους. Αυτό είναι δυνατό σε περιοχές με ομοιόμορφη κατανομή των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους.

Όμως στις μεσογειακές συνθήκες εάν τα φυτά έριχναν τα φύλλα τους, θα έπρεπε να καταναλώσουν όλο το διαθέσιμο νερό κατά τη διάρκεια της άνοιξης, χωρίς τη δυνατότητα να το αναπληρώσουν, αφού τα καλοκαίρια πολλές φορές είναι τελείως άνυδρα. Αυτό θα ήταν καταστροφικό. Κρατώντας τα φύλλα τους κατά τη διάρκεια του χειμώνα εξοικονομούν ακόμη και πενταπλάσια ποσότητα πολύτιμου εδαφικού νερού και το χρησιμοποιούν με μεγάλη οικονομία καθ' όλη τη διάρκεια της θερινής περιόδου.

Σκληροφυλλία

Όταν υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλες ποσότητες νερού εξατμίζονται περνώντας μέσα από τη λεπτή επιδερμίδα των φύλλων. Το φαινόμενο λέγεται εφυμενική διαπνοή. Τα μεσογειακά φυτά, προκειμένου να περιορίσουν την εφυμενική διαπνοή, δημιουργούν κάτω ακριβώς από την επιδερμίδα ένα στρώμα κηρωδών ουσιών, οι οποίες είναι αδιάβροχες. Με τον τρόπο αυτόν εξασφαλίζεται εξοικονόμηση της εσωτερικής υγρασίας του φυτού και περιορίζεται η σπατάλη του. Το κηρώδες στρώμα δίνει στα φύλλα τη χαρακτηριστική σκληρότητα, από όπου πήραν και το χαρακτηρισμό «σκληρόφυλλη βλάστηση».

Μείωση της βιολογικής δραστηριότητας

Η διαπνοή είναι μία από τις βασικές λειτουργίες των φυτών. Χωρίς τη διαπνοή είναι αδύνατη η φωτοσύνθεση. Με τη διαπνοή διαχέεται στο περιβάλλον, η υγρασία που ανεβαίνει μέσω του ριζικού συστήματος στα φύλλα. Η διαπνοή εκτελείται από μικρά ανοίγματα που υπάρχουν στην επιδερμίδα του κάτω μέρους του φύλλου και ονομάζονται στομάτια ή στόματα.

Όταν στις συχνές περιόδους ξηρασίας των μεσογειακών περιοχών το νερό του εδάφους φθάνει σε οριακές τιμές, τα στόματα κλείνουν και σταματά η διαπνοή και μαζί της μειώνεται η βιολογική δραστηριότητα των φυτών. Δηλαδή τα μεσογειακά φυτά προκειμένου να αντέξουν στην έλλειψη υγρασίας, πέφτουν σε ένα είδος θερινής νάρκης, περιμένοντας να βελτιωθεί η υδρονομική κατάσταση του εδάφους. Είναι μια εκπληκτική αντίδραση προσαρμογής, χάρη στην οποία εξοικονομούν υγρασία, ώστε να μην κινδυνέψουν σε καμιά περίπτωση να μείνουν χωρίς νερό κατά τη μακρά θερινή περίοδο.

Αλληλοπάθεια

Κάθε κοινωνία φυτών αναπτύσσεται σε ανοιχτούς χώρους. Εκατομμύρια σπόροι διαφόρων ετήσιων και πολυετών φυτών, κυρίως αγρωστώδη, μεταφέρονται με τον άνεμο. Κάθε ένα από τα φυτά αυτά, εάν φύτευε, για να αναπτύξει τη βιομάζα του, θα απαιτούσε μέρος του ελάχιστου εδαφικού νερού.

Προκειμένου να αντιμετωπισθεί η μείωση των αποθεμάτων νερού στο έδαφος, οι μεσογειακές φυτοκοινωνίες ανέπτυξαν δύο αμυντικούς μηχανισμούς αποτροπής της φύτευσης νέων φυτών.

Ο πρώτος αφορά τις ασφυκτικές συνθήκες που δημιουργούν οι πυκνότατοι θάμνοι, οι οποίοι κυριολεκτικά κρύβουν τον ήλιο από το έδαφος και εξαφανίζουν κάθε δυνατότητα φύτευσης νέων σπόρων.

Ο δεύτερος είναι το φαινόμενο της αλληλοπάθειας. Ορισμένοι μεσογειακοί θάμνοι ανέπτυξαν την ικανότητα να τροφοδοτούν το έδαφος με ορισμένες ουσίες, οι οποίες λειτουργούν ως δηλητήρια. Συγκεκριμένα εμποδίζουν την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος των νεαρών φυτών. Με αυτόν τον τρόπο εμποδίζεται η φύτευση νέων φυτών άρα εξοικονομούνται μεγάλες ποσότητες υγρασίας. Για το λόγο αυτόν μέσα στα μεσογειακά δάση δεν υπάρχουν τα συνηθισμένα αγρωστωδή που συναντάμε σε άλλους δασικούς τύπους.

Όμως και οι δύο μηχανισμοί αποτροπής φύτευσης επιδρούν συγχρόνως και προς τους σπόρους των μεσογειακών θάμνων και πεύκων. Και οι μεν θάμνοι πολλαπλασιάζονται με την πρεμνοβλάστηση και τη ριζοβλάστηση, τα πεύκα όμως δεν διαθέτουν τέτοια ικανότητα. Έτσι οι σπόροι τους πέφτουν στο έδαφος, χωρίς να μπορούν να επιβιώσουν πέρα από λίγους μήνες στις υπάρχουσες ασφυκτικές συνθήκες.

Με λίγα λόγια τα μεσογειακά πεύκα αδυνατούν να ανανεωθούν, εκτός και εάν υπάρξει προσωρινή απελευθέρωση του εδάφους από τον ανταγωνισμό των πυκνών θάμνων και την αλληλοπάθεια που προκαλούν. Η φύση δεν διαθέτει ούτε πριόνια, ούτε τσεκούρια. Έτσι ένα πεύκο μπορεί να ρίχνει για δεκάδες χρόνια χιλιάδες σπόρους και από αυτούς να μην φυτρώσει ποτέ ούτε ένας. Με το πέρασμα των χρόνων θα γερνά χωρίς να αφήσει διαδόχους. Αυτό φυσικά σημαίνει υποβάθμιση, που από ένα σημείο και μετά είναι μη αναστρέψιμη.

Η Ιστορία της Φωτιάς στη Μεσόγειο

Οι φωτιές θεωρούνται από πολλούς ως ένας καταστροφικός παράγοντας. Η αντίληψη αυτή είναι απλοϊκή και δεν λαμβάνει υπόψη της το γεγονός ότι οι πυρκαγιές είναι στοιχεία του βιοκλίματος των μεσογειακών περιοχών και λαμβάνουν χώρα σε αυτές τις περιοχές για πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα. Αυτό σημαίνει ότι η φωτιά αποτελεί έναν σημαντικό οικολογικό παράγοντα των μεσογειακών οικοσυστημάτων και ο ρόλος της θα πρέπει να αξιολογηθεί μετά από επισταμένη έρευνα. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν διεξαχθεί πολυάριθμες μελέτες πάνω σ' αυτό το θέμα και παρ' ότι υπάρχουν ακόμη πολλά αναπάντητα ερωτήματα, ο ρόλος της φωτιάς ως οικολογικού παράγοντα έχει κατανοηθεί σε σημαντικό βαθμό.

Τα τοπία της Μεσογειακής λεκάνης είναι σχετικώς νεαρά γεωλογικά συστήματα. Απέκτησαν τη σημερινή μορφή τους στο τέλος της Τριτογενούς περιόδου και η τελική διαμόρφωση τους έγινε κατά τη διάρκεια του Πλειστόκαινου. Το τυπικό μεσογειακό κλίμα άρχισε να καθιερώνεται στη Μεσογειακή λεκάνη πριν από $3,2 \times 10^6$ χρόνια. Ακολούθησαν οι

επαναλαμβανόμενες ταλαντώσεις κυρίως των βροχοπτώσεων κατά την εποχή του Πλειστόκαινου ($2,3 \times 10^6$ -10.000 χρόνια από σήμερα) για να οδηγηθούμε στη σημερινή κατάσταση.

Ο πρώτος Hominidae που έφτασε στην περιοχή της Μεσογείου ήταν ο Homo erectus πιθανόν πριν από 1×10^6 χρόνια. Ο Homo erectus έμαθε να διατηρεί τη φωτιά πριν από τουλάχιστον 500.000 χρόνια. Μέχρι τότε όλες οι πυρκαγιές οφείλονταν σε φυσικά αίτια. Αν και τα ίχνη της χρήσης της φωτιάς χάνονται στο παρελθόν, ωστόσο είναι πολύ πιθανόν οι προϊστορικοί άνθρωποι να χρησιμοποίησαν τη φωτιά (εκτός από τη θέρμανση και το μαγείρεμα) και για το κυνήγι και τη συλλογή τροφής καίγοντας τα πυκνά και αδιαπέραστα δάση της εποχής. Η φωτιά πιθανότατα έχει παίξει ρόλο στη συνεξέλιξη ανθρώπου και φυσικού τοπίου.

Το επόμενο μεγάλο βήμα γίνεται προς το τέλος της εποχής του Πλειστόκαινου όταν ο άνθρωπος μαθαίνει να «δημιουργεί» τη φωτιά. Η χρήση της για το κυνήγι και τη συλλογή τροφής «εκσυγχρονίζεται». Το πέρασμα στη γεωργία και την κτηνοτροφία γίνεται πριν 11.000 χρόνια και η χρήση της φωτιάς εντατικοποιείται και επεκτείνεται. Κατά τους ιστορικούς χρόνους η χρήση της φωτιάς μαζί με τη βόσκηση, τις υλοτομίες και τις αγροτικές καλλιέργειες (συχνά σε αναβαθμίδες) έχουν οδηγήσει στο παρόν πολυπαραγοντικό, ημιφυσικό Μεσογειακό τοπίο.

Σχέση φωτιάς - μεσογειακών οικοσυστημάτων

Καθαρισμένο έδαφος κατάλληλο για φύτευση σπόρων, χωρίς ανταγωνισμούς και αλληλοπάθεια, τα φυτά βρίσκουν μόνο μετά από πυρκαγιά.

Αυτή ακριβώς είναι και η πραγματική σχέση μεταξύ μεσογειακής βλάστησης και φωτιάς. Δηλαδή η φωτιά καθάριζε ανέκαθεν το έδαφος, προκειμένου να δημιουργούνται κατάλληλες συνθήκες ανανέωσης του δάσους, με νέα δένδρα. Μετά από χιλιάδες χρόνια, τα μεσογειακά οικοσυστήματα έχουν χάσει την ικανότητα αναγέννησης σε ακαθάριστες περιοχές. Χωρίς τις φωτιές τα μεσογειακά δάση θα παύσουν να υπάρχουν τουλάχιστον με τη μορφή που τα γνωρίζουμε σήμερα.

Η δυνατότητα δημιουργίας πυρκαγιάς δεν έλειψε ποτέ από τα μεσογειακά κλίματα, αφού οι θερινές καταιγίδες με αστραπές και κεραυνούς είναι συνηθισμένο φαινόμενο. Η πιθανότητα πρόκλησης πυρκαγιάς στην κατάξερη βλάστηση είναι μεγάλη. Υπολογίζεται ότι, πριν την εμφάνιση του ανθρώπου, κάθε δασική συστάδα καίγονταν τουλάχιστον μια φορά κάθε 100-130 χρόνια από φυσικά αίτια. Από την επόμενη ημέρα κάθε πυρκαγιάς το νέο μεσογειακό δάσος που δημιουργείται, ετοιμάζεται να καεί και πάλι. Τα πεύκα πλημμυρίζουν από ρητίνες και οι θάμνοι ξεχειλίζουν από αιθέρια έλαια. Στο έδαφος συγκεντρώνονται τόνοι από βελόνες, ξερά κλαδιά, νεκρούς θάμνους. Κάθε χρόνο συσσωρεύονται, μέσα στα δάση απίστευτες ποσότητες καύσιμου υλικού, που αναμένουν το τυχαίο γεγονός, την αμέλεια ή το δόλο για να ξανακαούν και

μετουσιωθούν και πάλι μέσα από τις στάχτες σε νέο πιο φρέσκο και πιο ζωντανό δάσος.

Το ότι οι δασικές πυρκαγιές δεν ελέγχονται από τον άνθρωπο, όσο και αν ο τελευταίος ανέπτυξε υψηλές τεχνολογίες και αύξησε τις δυνάμεις του, οφείλεται στο ότι ο δεσμός φωτιά-δάσος είναι πολύ πιο ισχυρός, από ότι μπορούμε να φαντασθούμε. Η συνενύρεσή τους κάποια στιγμή στο χώρο και στον χρόνο και τα αποτελέσματα που δημιουργούν τοπικά, δεν είναι τυχαίο γεγονός, αλλά το αναπόφευκτο στάδιο μιας διαδικασίας, η οποία επαναλαμβάνεται χιλιάδες χρόνια. Η διαδικασία αυτή έχει αρχή, μέση και τέλος. Η αρχή γίνεται με την εξασφαλισμένη φυσική αναγέννηση, που θα περιγραφεί στη συνέχεια. Η μέση διαρκεί από την εποχή της ωρίμανσης του δάσους, όπου με μεγάλη υπομονή κύτταρο - κύτταρο η φύση το ξανασχεδιάζει, τοποθετώντας κάθε δένδρο και θάμνο στην ακριβή του θέση, βοηθώντας το να παίζει το ρόλο που πρέπει στην επιβίωση ολόκληρου του οικοσυστήματος. Το τέλος έρχεται με την πυρκαγιά. Και μετά ξανά ο κύκλος.

Εάν δεν υπάρξει πυρκαγιά, δεν υπάρχει κύκλος, ούτε και διαδικασία. Εάν καταφέρουμε οι άνθρωποι να τελειοποιήσουμε τα μέσα μας και η δασοπυροσβεστική απόδοσή μας φθάσει στο αποκόρυφο, τότε το μόνο που θα επιτύχουμε είναι να επιφέρουμε ακόμη μια διαταραχή από τις χιλιάδες που έχουμε κάνει και ταλαιπωρούμε τον πλανήτη και τους εαυτούς μας. Η διαταραχή που θα επιφέρει η υπερπροστασία, μπορεί να είναι μη αναστρέψιμη, αφού όταν θα ολοκληρώσουν το βιολογικό τους κύκλο και τα τελευταία πεύκα χωρίς να αφήσουν απογόνους, όταν δηλαδή τελειώσουν οι σπόροι, θα τελειώσει και το μεσογειακό δάσος, όπως το ξέρουμε μέχρι σήμερα. Μπορεί να μετατραπεί σε θαμνοτόπος, μπορεί σε φρυγανοτόπος, μπορεί σε ανοιχτό λιβάδι. Κανείς δεν ξέρει και κανείς δεν μπορεί να προβλέψει. Ούτε μπορούμε να μοντελοποιήσουμε την εξέλιξη. Δεν ήμαστε σε θέση να διαβάσουμε τη φύση και να αντιγράψουμε τη μελλοντική της συμπεριφορά.

Είναι φυσικό να ανησυχούμε για την ύπαρξη των δασών μας μετά από κάθε φωτιά. Εάν όμως πράγματι οι φωτιές κατέστρεφαν τα δάση, τότε η χώρα μας και οι υπόλοιπες περιοχές με μεσογειακό κλίμα θα ήταν μια απέραντη έρημος από την αρχαία ακόμη εποχή. Εκείνο που πρέπει να μας ανησυχεί ως κοινωνία, είναι οι συχνές πυρκαγιές. Η μείωση των μεσοδιαστημάτων των πυρκαγιών, εξαιτίας της κακής μας συμπεριφοράς αποτελεί μια πολύ σοβαρή διαταραχή. Δάση που ξανακαίγονται πριν ωριμάσουν βιολογικά και πριν δημιουργήσουν απόθεμα σπόρων, οδηγούνται σε μη αναστρέψιμες υποβαθμίσεις. Και θα πρέπει να στρέψουμε την προσοχή όλοι μας στο σημείο αυτό. Να μην καίγονται νεαρά ανώριμα δάση. Η προτεραιότητα στην προστασία πρέπει να δοθεί σε αυτά τα δάση. Άλλωστε η καύσιμη βιομάζα είναι λίγη και η αντιμετώπιση αυτών των πυρκαγιών είναι εύκολη υπόθεση.

Οι Δασοπυροσβεστικές Υπηρεσίες των ΗΠΑ, της Αυστραλίας, της Γαλλίας, της Ιταλίας λειτουργούν υποδειγματικά, έχουν βελτιώσει τα μέσα και τον εξοπλισμό τους και παρά το ότι δεν έχουν εκεί το κίνητρο του εκούσιου

εμπρησμού για ιδιοκτησιακούς λόγους, βλέπουμε συχνά τεράστιες πυρκαγιές σε έκταση και διάρκεια να κατατρώγουν όχι μόνο δάση αλλά και ολόκληρους οικισμούς.

Εκείνο που καταγράφει ο παρατηρητής της συμπεριφοράς των ανθρώπων είναι ότι σε καμιά περιοχή με μεγάλες πυρκαγιές, οι δασοπυροσβεστικές δυνάμεις δεν εισπράττουν την εχθρότητα ή την απαξίωση που αντιμετωπίζουν στη χώρα μας. Ο ένας λόγος είναι ότι εκεί οι πολίτες είναι ενημερωμένοι. Γνωρίζουν την αλήθεια για το φαινόμενο και αναλαμβάνουν προσωπικά το ρίσκο της κατοίκησης σε δασική περιοχή. Ο άλλος λόγος είναι ότι οι σχεδιασμοί αντιμετώπισης εκεί δίνουν προτεραιότητα όχι στην καθ' εαυτού κατάσβεση, όσο στη μείωση των αρνητικών επιπτώσεων των δασικών πυρκαγιών στις ανθρώπινες κοινωνίες.

Θα έπρεπε επομένως αντί μετά από κάθε πυρκαγιά να επικρίνουμε τις δασοπυροσβεστικές δυνάμεις για ανικανότητα αντιμετώπισης του φαινομένου, να τις επιβραβεύουμε για το κάθε δένδρο, σπίτι ή ζωή που καταφέρνουν να σώσουν από τις φλόγες. Κανείς δεν είναι υπεράνθρωπος για να τοποθετηθεί με αξιώσεις ενάντια στις επιθυμίες και στις ανάγκες της φύσης. Την απαξιώτικη αντιμετώπιση της κοινωνίας μας την δέχθηκε παλιότερα η Δασική Υπηρεσία, ενώ τα τελευταία χρόνια αυτή μεταφέρθηκε στην Πυροσβεστική Υπηρεσία, όταν της ανατέθηκε η ευθύνη της κατάσβεσης.

Συμπερασματικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τα εξής:

1. Θεωρητικά δεν υπάρχει μεσογειακό δάσος που δεν θα καεί στο άμεσο μέλλον με ή χωρίς τη συμμετοχή του ανθρώπου
2. Δεν υπάρχει ώριμο μεσογειακό δάσος που κάηκε και προστατεύθηκε, χωρίς να αναγεννηθεί με φυσικό τρόπο. Αντίθετα σε περιοχές που δεν κάηκαν τον τελευταίο αιώνα, παρατηρούμε ότι τα πεύκα λιγοστεύουν κάθε χρόνο, χωρίς να έχουν δυνατότητα αναγέννησης.
3. Το επιστημονικό ερώτημα και προβληματισμός είναι: «εάν αναπτύξουμε την τεχνολογία και την αποτελεσματικότητα των δασοπυροσβεστικών μέτρων και καταφέρουμε να σβήνουμε κάθε φωτιά στη γένεσή της, θα σώσουμε τα μεσογειακά δάση»; Μήπως μετατρέψουμε τις περιοχές με μεσογειακό κλίμα σε απέραντους θαμνότοπους, αφού τα πεύκα θα έχουν εξαφανισθεί;
4. Στην οικολογική σχέση μεταξύ πυρκαγιών και μεσογειακών οικοσυστημάτων βρίσκεται η απάντηση γιατί οι πυρκαγιές δεν αντιμετωπίζονται εύκολα. Ο άνθρωπος είναι ακόμη τεχνολογικά αδύναμος να αντιμετωπίσει πολλά από τα φυσικά φαινόμενα, όπως οι σεισμοί, οι πλημμύρες ή οι τυφώνες. Ανάμεσα σε αυτά είναι και οι δασικές πυρκαγιές.

5. Τα μεσογειακά οικοσυστήματα με την οργάνωση που διαθέτουν, είναι βέβαιο ότι θα αντιδρούν σε κάθε προσπάθεια αλλαγής του αιώνιου κύκλου φωτιάς-αναγέννησης.
6. Το οικολογικό πρόβλημα που δημιουργείται τις τελευταίες δεκαετίες οφείλεται κυρίως στη διαταραχή της συχνότητας των επαναλήψεων των πυρκαγιών. Ενώ δηλαδή χωρίς την παρουσία του ανθρώπου εκτιμάται ότι τα μεσογειακά οικοσυστήματα καίγονταν μια φορά τον αιώνα, σήμερα παρουσιάζονται οι φωτιές πολύ συχνότερα.
7. Η σχέση φωτιάς και οικοσυστημάτων σε περιοχές με μεσογειακό κλίμα εμφανίζεται και στις πέντε περιοχές του πλανήτη που βρίσκονται υπό την επίδραση του συγκεκριμένου κλίματος.

Παρακάτω ακολουθούν οι προσαρμογές που αναπτύχθηκαν στα διάφορα μεσογειακά είδη, για να μπορούν να αναγεννώνται μετά την καταστροφή τους από πυρκαγιά. Κρίνεται όμως σκόπιμο να γίνει αναφορά στην αναγέννηση μετά τη φωτιά.

Αναγέννηση μετά τη Φωτιά

Φυτά και Φυτοκοινότητες

Είδαμε ότι η χρήση της φωτιάς από τον άνθρωπο διαρκεί λίγες χιλιάδες χρόνια. Το διάστημα αυτό εξελικτικά είναι πολύ μικρό για να επηρεάσει σημαντικά τις προσαρμογές των φυτών στη φωτιά, αλλά θα μπορούσε να είναι υπεύθυνη για την εξάπλωση εκείνων που έχουν ήδη αναπτύξει τα πυρο-χαρακτηριστικά.

Τα μεσογειακά φυτά διαθέτουν γενικά, 3 στρατηγικές για να αντιμετωπίσουν τη φωτιά:

- παραγωγή μεγάλου αριθμού σπερμάτων των οποίων η φύτευση διεγείρεται άμεσα ή έμμεσα από τη φωτιά,
- επαναβλάστηση από υπόγεια όργανα (αναβλάστηση) και
- παθητική ανοχή της φωτιάς με τη βοήθεια χοντρού φλοιού ή και αυξητικών συνηθειών που αποτρέπουν τις πυρκαγιές κόμης.

Καταρχήν θα πρέπει να τονιστεί ότι μεταξύ των δύο στρατηγικών υπάρχουν και όλες οι ενδιάμεσες, δηλαδή φυτά που σπερμοβλαστάνουν αλλά και αναβλαστάνουν σε διαφορετικό βαθμό. **Υποχρεωτικώς αναβλαστάνοντα** φυτά είναι τα περισσότερα αείφυλλα σκληρόφυλλα φανερόφυτα, καθώς και τα αναρριχητικά. Παραδείγματα τέτοιων φυτών είναι τα ακόλουθα είδη: *Quercus coccifera*, *Q. ilex*, *Arbutus unedo*, *A. andrachne*, *Pistacia lentiscus*, *Phillyrea latifolia*, *Myrtus communis*, *Olea europaea*, *Erica arborea*, *Spartium junceum*, *Calicotome villosa*, *Smilax aspera*, *Asparagus acutifolius* κ.λ.π. Αυτά τα φυτά έχουν βαθύ και καλά διακλαδισμένο ριζικό σύστημα το οποίο τους δίνει τη δυνατότητα να βλαστήσουν αμέσως μετά τη φωτιά, μέσα στο καλοκαίρι, κινητοποιώντας αποθηκευμένους υδατάνθρακες από τις ρίζες.

Υποχρεωτικώς σπερμοβλαστώνοντα είδη είναι όλα τα ετήσια φυτά, μερικά φρύγανα όπως οι λαδανιές (*Cistus spp.*) και το θυμάρι (*Coridothymus capitatus*) και τα Μεσογειακά κωνοφόρα *Pinus halepensis ssp. halepensis* και *P. halepensis ssp. brutia*. Η φύτευση των σπερμάτων μετά τη φωτιά θεωρείται ότι επάγεται με τους εξής τρόπους:

- διάσπαση του αδιαπέραστου καλύμματος των σπερμάτων από την αναπτυσσόμενη θερμότητα κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Αυτό έχει αποδειχτεί ότι ισχύει για τις λαδανιές, για τα περισσότερα ψυχανθή (*Leguminosae*) τα οποία έχουν αδιαπέραστα στο νερό σπέρματα και πιθανότατα και για άλλες φυτικές οικογένειες (*Convolvulaceae* κ.λ.π.),
- από την καταστροφή των φυτοτοξικών ουσιών που υπάρχουν στο έδαφος,
- από την ενεργοποίηση του φυτοχρώματος λόγω της απομάκρυνσης του φυλλώματος. Αυτό έχει δείχτεί για τα σπέρματα του *Sarcopoterium spinosum*.
- ελευθέρωση μετά τη φωτιά σπερμάτων που βρίσκονται κατά τη διάρκειά της προστατευμένα μέσα σε κώνους (περίπτωση κωνοφόρων).

Ένας μεγάλος αριθμός χαμαιφύτων, κρυπτοφύτων και ημικρυπτοφύτων είναι **δυνητικώς σπερμοβλαστώνοντα και δυνητικώς αναβλαστώνοντα**: *Sarcopoterium spinosum*, *Anthyllis hermanniae*, *Asphodelus spp.*, *Brachypodium retusum*, *Poa bulbosa* κ.λ.π. Τα φυτά αυτά αρχίζουν να παραβλαστώνουν μόνο μετά το φθινόπωρο όταν έχουν προηγηθεί βροχές και η υγρασία του εδάφους είναι αρκετή.

Η ικανότητα της αναγέννησης μετά τη φωτιά που διαθέτουν τα παραπάνω φυτά προσδίδει και στα οικοσυστήματα στα οποία συμμετέχουν τη δυνατότητα να επανέλθουν στην προ της φωτιάς κατάσταση τους.

Σύγχρονοι ερευνητές που ασχολούνται με τη διαδοχή της βλάστησης μετά από φωτιά στη Μεσογειακή Ευρώπη συμφωνούν στο ότι η φωτιά ουσιαστικά δεν αλλάζει ούτε τη χλωρίδα ούτε τη δομή των φυτοκοινοτήτων. Συνοπτικά, τα κοινά συμπεράσματα τα οποία εξάγουν είναι τα εξής:

1. η αφθονία των ποών (κυρίως θεροφύτων) είναι έντονη κατά τη διάρκεια των πρώτων ετών στις καμένες περιοχές,
2. από τα είδη που κυριαρχούν στην ώριμη αναγεννημένη βλάστηση, η πλειοψηφία είναι παρούσα από τα πρώτα χρόνια μετά τη φωτιά,
3. η εγκαθίδρυση των προ της φωτιάς κοινοτήτων είναι ένα γρήγορο φαινόμενο και
4. καθώς οι καμένες κοινότητες ενηλικιώνονται και επιστρέφουν σε μια κατάσταση παρόμοια μ' αυτή των άκαυτων συστημάτων, η δομή τους γίνεται όλο και πιο πολύπλοκη με πολυάριθμα στρώματα.

Οι ποώδεις όροφοι κυριαρχούν στα αρχικά στάδια και στη συνέχεια μειώνονται και αντικαθίστανται από τους θάμνους και τα δέντρα. Κατά τον ίδιο τρόπο η φυτομάζα αυξάνεται από ποώδης σε ξυλώδης.

Ζώα και Ζωοκοινότητες

Οικολογική διαδοχή δεν συμβαίνει μόνο στα φυτά αλλά και στους ζωικούς οργανισμούς μιας περιοχής που καίγεται. Το θέμα αυτό έχει μελετηθεί λιγότερο απ' ό τι η διαδοχή της βλάστησης αλλά ήδη μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα. Καταρχήν θα πρέπει να τονιστεί ότι οι ζωικές κοινότητες των μεσογειακών οικοσυστημάτων αντιδρούν απέναντι στο φαινόμενο των πυρκαγιών με πολλούς και διαφορετικούς τρόπους. Οι τρόποι αυτοί διαφέρουν τόσο μεταξύ των ζωικών ομάδων όσο και μεταξύ των ηπείρων. Μια πυρκαγιά, όσο έντονη και αν είναι, δε θανατώνει όλα τα ζώα της περιοχής. Τα περισσότερα σπονδυλωτά μπορούν να ξεφύγουν από την άμεση θανάτωση, ενώ το ίδιο ισχύει και για την πανίδα των βαθύτερων στρωμάτων του εδάφους. Γενικά, οι φωτιές σκοτώνουν τα μικρά και με περιορισμένη κινητικότητα ζώα, που δεν έχουν πού να καταφύγουν κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς. Τη μεγαλύτερη μεταπυρική ικανότητα επαναφοράς την παρουσιάζουν τα πτηνά, ενώ τα θηλαστικά και τα ερπετά εμφανίζουν σημαντικές αλλαγές τόσο στη σύνθεση όσο και στην αφθονία των ειδών μετά τη φωτιά. Από τα ασπόνδυλα, οι μεγαλύτερες απώλειες απαντούν στις ομάδες που ζουν στη στρωμή και οι οποίες για να επανέλθουν θα πρέπει να περάσουν αρκετά χρόνια μέχρι να ξαναδημιουργηθεί η στρωμή. Αντίθετα, τα έντομα που ζουν στα φύλλα των φυτών επανέρχονται γρήγορα μετά τη φωτιά.

Εδάφη και Θρεπτικά Στοιχεία

Από τα όσα αναφέρθηκαν είναι προφανές ότι η φωτιά και οι Μεσογειακοί οργανισμοί έχουν ένα μακρύ και κοινό παρελθόν αλληλεπιδράσεων. Το αν η φωτιά μπορεί να αποτελέσει έναν καταστροφικό παράγοντα υποβάθμισης εξαρτάται σ' ένα σημαντικό βαθμό από την επίδραση της στα εδάφη. Οι επιδράσεις της στα εδάφη είναι ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα.

Οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια μιας φωτιάς, καταστρέφουν το οργανικό υλικό των ανώτερων εκατοστών του εδάφους προκαλώντας αλλαγές στις φυσικές ιδιότητές του και συσσωρεύοντας υδρόφοβες ενώσεις στα κατώτερα στρώματα. Αυτές οι αλλαγές σε συνδυασμό με την απώλεια της βλάστησης αυξάνουν την επιφανειακή απορροή του νερού και τη διάβρωση. Αυτό δε σημαίνει ότι η φωτιά αυτόματα συνεπάγεται τη διάβρωση και τη μείωση της γονιμότητας του εδάφους. Οι παράγοντες που αναφέρονται ως καθοριστικοί είναι η κλίση των εδαφών, οι φυσικές και χημικές τους ιδιότητες (υφή και δομή του εδάφους), η ένταση της πυρκαγιάς, (που με τη σειρά της εξαρτάται από το είδος και την ποσότητα της καύσιμης ύλης, την εποχή της πυρκαγιάς, τη στρωμή, το ανάγλυφο κλπ.), η συχνότητα επανάληψης των πυρκαγιών και οι κλιματικές συνθήκες κυρίως της αμέσως μετά τη φωτιά περιόδου.

Οι παράγοντες αυτοί είναι αλληλένδετοι όπως φαίνεται και από τον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 2. Σύνοψη των περιβαλλοντικών παραγόντων που επηρεάζουν τη συμπεριφορά της φωτιάς.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ
Καύσιμη ύλη	Καθορίζει τη μέγιστη διαθέσιμη ενέργεια της καύσης Η τοποθέτηση των καυσίμων επηρεάζει τον αερισμό (π.χ. σφιχτά στοιβαγμένα καύσιμα), την κατακόρυφη (π.χ. στο θόλο των δέντρων) και την οριζόντια εξάπλωση της φωτιάς (π.χ. καύσιμα εδάφους σε κηλίδες) Ο λεπτός καταμερισμός των τεμαχίων καύσιμης ύλης μπορεί να επηρεάσει την πιθανότητα της αρχικής ανάφλεξης Η χημική σύσταση των καυσίμων αυξάνει (πχ. ρητίνες και έλαια), ή μειώνει (π.χ. περιεχόμενο σε μεταλλικά στοιχεία) την ευφλεκτικότητα τους.
Βιοκλίμα περιοχής	Καθορίζει την παραγωγικότητα της βλάστησης και συνεπώς το ρυθμό συσσώρευσης καύσιμης ύλης.
Βροχοπτώσεις και υγρασία	Αυξάνουν την υγρασία των καυσίμων, μειώνουν την πιθανότητα ανάφλεξης, την ταχύτητα της καύσης και την ταχύτητα εξάπλωσης.
Άνεμος	Προκαλεί ξήρανση των καυσίμων Αυξάνει το διαθέσιμο προς καύση οξυγόνο Προθερμαίνει και ανάβει την καύσιμη ύλη μπροστά από το μέτωπο της πυρκαγιάς, μπορεί να δημιουργήσει νέες εστίες φωτιάς πολύ μπροστά από το μέτωπο της πυρκαγιάς Οι αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου μπορούν να αυξήσουν το

	μέτωπο της πυρκαγιάς.
Τοπογραφία	Δημιουργεί ποικιλότητα στο μικροκλίμα (π.χ. υγρασία καυσίμων, αλληλεπίδραση με τον άνεμο) Επιτρέπει την προθέρμανση και ανάφλεξη των καυσίμων σε φωτιές που καίνε από τη βάση προς την κορυφή μιας πλαγιάς Παρέχει φυσικά εμπόδια στην επέκταση της φωτιάς Καθορίζει εν μέρει την κατανομή φυτοκοινοτήτων διαφορετικής ευφλεκτικότητας.
Πηγή: WHELAN (1995)	

Άλλη μια λανθασμένη γενίκευση που συχνά γίνεται είναι ότι μετά από φωτιά μειώνεται η παραγωγικότητα των εδαφών εξαιτίας της απώλειας θρεπτικών στοιχείων. Το στοιχείο που συνήθως εξαερώνεται είναι το άζωτο λόγω της μεγαλύτερης πτητικότητας του. Σε μικρότερο βαθμό εξαερώνονται το S και ο P ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία (Mg, Ca, Na) ελευθερώνονται σχεδόν πλήρως στη στάχτη. Τα στοιχεία αυτά βρίσκονται υπό διαλυτή μορφή και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τα φυτά ή να χαθούν λόγω της διάβρωσης.

Το άζωτο που έχει χαθεί, επανέρχεται στο οικοσύστημα με τους εξής τρόπους: **1.** τη δράση μικροβίων του εδάφους, **2.** τη δράση συμβιωτικών με τα φυτά μικροοργανισμών οι οποίοι αναπτύσσουν φυμάτια στις ρίζες πολλών φυτών (κυρίως της οικογένειας Leguminosae) και **3.** ένα ποσοστό αζώτου επιστρέφει με το νερό της βροχής.

Παρά τις απώλειες, μετά από μια φωτιά οι διαθέσιμες μορφές των παραπάνω θρεπτικών στοιχείων αυξάνονται κυρίως λόγω της προσθήκης της στάχτης και της αυξημένης ορυκτοποίησης. Με εξαίρεση τις πολύ έντονες φωτιές η μικροβιακή δραστηριότητα είναι αυξημένη στις καμένες περιοχές με αποτέλεσμα διαδικασίες όπως η ορυκτοποίηση και η νιτροποίηση να γίνονται ταχύτερα. Η αύξηση των θρεπτικών στοιχείων μετά τη φωτιά ευνοεί την ανάπτυξη των φυτών και η επανάκαμψη της βλάστησης περιορίζεται με τη σειρά της τις απώλειες θρεπτικών στοιχείων.

Η Φωτιά ως Παράγοντας Συνεξέλιξης

Κάθε κομμάτι της Μεσογειακής γης έχει καεί επανειλημμένα τα τελευταία χιλιάδες (ή και εκατομμύρια) χρόνια. Έχει υποστηριχθεί μάλιστα ότι τα φυτά που καίγονται για δεκάδες χιλιάδες χρόνια δεν επέλεξαν μόνο μηχανισμούς επιβίωσης αλλά και έμφυτες ευφλεκτικές ιδιότητες που συνεισφέρουν στη διαίωση των πυροεξαρτώμενων φυτοκοινοτήτων. Με άλλα λόγια, οι

πυροεξαρθώμενες φυτοκοινότητες καίγονται συχνότερα από τις μη πυροεξαρθώμενες επειδή η φυσική επιλογή ευνόησε την ανάπτυξη χαρακτηριστικών που τις καθιστούν πιο εύφλεκτες. Το μοντέλο αυτό φαίνεται να ταιριάζει στα Μεσογειακά οικοσυστήματα: πολλά φυτά θεωρούνται εύφλεκτα, ενώ συχνά η φωτιά τα βοηθά να αναγεννηθούν και να επεκτείνουν την επικράτειά τους. Η παραπάνω υπόθεση έχει και πολλά ελαττώματα. Το κυριότερο απ' αυτά είναι το ότι τα χαρακτηριστικά που συνδέονται με την ευφλεκτικότητα έχουν και άλλες σημαντικές λειτουργίες, με αποτέλεσμα να μην μπορεί κανείς να εξηγήσει την εξέλιξή τους μονοσήμαντα.

Είναι πραγματικά δύσκολο, αν όχι αδύνατο και ουτοπικό, να διαχωριστεί ο ρόλος της φωτιάς από τις άλλες οικολογικές παραμέτρους των Μεσογειακών οικοσυστημάτων. Η πυρκαγιά είναι ένας σημαντικός οικολογικός παράγοντας και η επίδρασή της, όπως συμβαίνει με όλους τους οικολογικούς παράγοντες, μπορεί να είναι ευνοϊκή ή δυσμενής ανάλογα με τη μορφή της, την έντασή της, τη συχνότητα επανάληψης, τη σύνθεση του οικοσυστήματος στο οποίο εμφανίζεται και από τη συνεπίδραση άλλων παραγόντων και κυρίως της βόσκησης.

Τις τελευταίες δεκαετίες οι πολυάριθμες μελέτες που έγιναν στα μεσογειακά οικοσυστήματα έδειξαν ότι η φωτιά είναι σημαντική ως παράγοντας για την αναπαραγωγή, την αναγέννηση και την επέκταση πολλών ειδών, για την απομάκρυνση φυτοτοξικών ουσιών της στρωμνής και για την ανακύκλωση των θρεπτικών στοιχείων. Οι πυρκαγιές με τη μακροχρόνια δράση τους στα Μεσογειακά οικοσυστήματα έχουν οδηγήσει στην ύπαρξη μιας ισορροπίας μεταξύ φυτοκοινοτήτων και περιβάλλοντος. Η ισορροπία αυτή περιλαμβάνει ένα μωσαϊκό τοπίο με μεγάλη βιοποικιλότητα, που δέχεται ποικίλες διαταραχές με αποτέλεσμα τα διάφορα κομμάτια του μωσαϊκού να βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια οπισθοδρομικής ή προοδευτικής διαδοχής. Τα οικοσυστήματα αυτά έχουν συνεξελιχθεί με τις διαταραχές αυτές και κάθε προσπάθεια εγκαθίδρυσης μιας υποθετικής κορύφωσης (climax) με το σταμάτημα όλων των ανθρωπογενών διαταραχών και της φωτιάς, θα ήταν μάταιη.

Προσαρμογή της μεσογειακής βλάστησης στις δασικές πυρκαγιές

Τα φυτά, πρώτα από όλα, έπρεπε να εξασφαλίσουν την επιβίωσή τους, από την ίδια τη φωτιά, προκειμένου να χρησιμοποιήσουν το καθαρισμένο έδαφος και να επιτύχουν τη συνέχειά τους.

Είναι όμως δυνατόν; Μπορεί η φύση να μετατρέψει τον θάνατο σε ζωή, την καταστροφή σε δημιουργία; Μπορεί ο Φοίνικας να μην ήταν ένας μύθος; Τα δένδρα δεν έχουν πόδια για να τρέξουν και δεν ανοίγουν φωλιές στο έδαφος για να προφυλαχθούν, όπως συμβαίνει με τα ζώα και ούτε φτερά για να πετάξουν, όπως κάνουν τα πουλιά. Πως λοιπόν εκμεταλλεύονται το γυμνό έδαφος που δημιουργεί προσωρινά η φωτιά, αφού και τα ίδια είναι μοιραία θύματά της;

Καθώς οι έρευνες της οικολογικής σχέσης φωτιάς και δάσους στη χώρα μας και παγκόσμια προχωρούν, ξετυλίγεται ένα νέο κουβάρι αποκτούμενης γνώσης, για μια απίστευτη δυναμική αντίδρασης της φύσης που καθοδηγείται από μια λογική πολύ πέρα από την ανθρώπινη.

Πυρόφυτα

Η μεσογειακή βλάστηση ανέπτυξε ειδικούς μηχανισμούς επιβίωσης από τις φλόγες των δασικών πυρκαγιών. Οι πρώτοι μελετητές αυτής της συμπεριφοράς εκτίμησαν, ότι τα μεσογειακά είδη επιθυμούν τη φωτιά γι' αυτό τα ονόμασαν "πυρόφιλα". Η λέξη αυτή αντικαταστάθηκε αργότερα από τη λέξη "πυρόφυτα", για να αποφευχθούν πιθανές παρεξηγήσεις, αλλά και να επισημανθεί το γεγονός, ότι τα φυτά αυτά μπορούν να διεξέλθουν μιας δασικής πυρκαγιάς χάρη στους μηχανισμούς αντοχής που διαθέτουν απέναντι στη φωτιά, αλλά και της ταχύτατης φυσικής αναγέννησής τους μετά από αυτήν. Τα πυρόφυτα είδη διακρίνονται σε παθητικά και σε ενεργητικά πυρόφυτα.

Παθητικά πυρόφυτα

Τα παθητικά πυρόφυτα εμφανίζουν υψηλό βαθμό αντοχής στις φλόγες και τις υψηλές θερμοκρασίες της φωτιάς, ως αποτέλεσμα ποικίλων μηχανισμών (μηχανικών, φυσικοχημικών κ.ά.), όπως είναι για παράδειγμα η φελλοφόρος δρυς με τον παχύ φλοιό που δύσκολα καίγεται και προστατεύει το κάμβιο (το ζωντανό τμήμα του φυτού) από την υπερθέρμανση, το αρμυρίκι, ο ίταμος και διάφορες δρύες που παρουσιάζουν χαμηλή ευπάθεια στη φωτιά, λόγω υψηλής περιεκτικότητας μεταλλικών στοιχείων στο ξύλο τους, η κουκουναριά που με τη φυσική αποκλάδωση απομακρύνει τα κλαδιά της από το έδαφος και τις έρπουσες πυρκαγιές, καθώς και διάφορα γεώφυτα και φτέρες που φυλάσσουν τα αναπαραγωγικά τους όργανα κάτω από το έδαφος, όπου δεν κινδυνεύουν από τις φλόγες.

Ενεργητικά πυρόφυτα

Τα ενεργητικά πυρόφυτα είναι αυτά που ο μηχανισμός αναπαραγωγής τους ενεργοποιείται αμέσως μετά τη φωτιά. Ο μηχανισμός αυτός οδηγεί στη φυσική αναγέννηση της βλάστησης, είτε μέσω της βλαστητικής οδού (ριζοβλάστηση και πρεμνοβλάστηση), όπως συμβαίνει στο πουρνάρι, στην κουμαριά, στο ρείκι, στην άρκευθο και στους υπόλοιπους μεσογειακούς θάμνους, είτε μέσω των σπόρων που προστατεύονται (συνήθως μέσα στους κώνους ή μέσα στο έδαφος) κατά τη διάρκεια της φωτιάς, για να ελευθερωθούν αμέσως μετά και να οδηγήσουν στην αναγέννηση της καμένης έκτασης, όπως συμβαίνει με τα κωνοφόρα είδη της μεσογειακής βλάστησης, δηλαδή τη χαλέπιο και την τραχεία πεύκη καθώς και με τα λαδάνια.

Αξίζει εδώ να αναφερθούμε αναλυτικότερα στο μηχανισμό αντίστασης και προσαρμογής των ενεργητικά πυροφύτων ειδών στις συνθήκες που

διαμορφώνονται στις πυρόπληκτες περιοχές και ιδίως σε ότι αφορά τους αείφυλλους θάμνους και τα κωνοφόρα είδη.

Προσαρμογή των αείφυλλων - σκληρόφυλλων θάμνων και φρύγανων

Οι αείφυλλοι θάμνοι και τα φρύγανα ανανεώνουν ένα μέρος των φύλλων τους ακόμη και το καλοκαίρι, με αποτέλεσμα να διατηρείται συνεχώς ένα παχύ στρώμα καύσιμης ύλης πάνω στο έδαφος, γεγονός που ευνοεί την εκδήλωση και μετάδοση της φωτιάς. Στο φυλλόστρωμα αυτό πρέπει να συνυπολογιστεί και η νεκρή βιομάζα των ετήσιων ποωδών φυτών που φυτρώνουν στα διάκενα και στα μονοπάτια του δάσους. Οι θάμνοι της μεσογειακής βλάστησης περιέχουν συνήθως αιθέρια έλαια και αρωματικές ουσίες που είναι κατά κανόνα εύφλεκτα υλικά.

Τα θρεπτικά συστατικά των θάμνων αποθηκεύονται στο πλούσιο ριζικό σύστημα, ενώ τα ριζώματα δηλαδή οι κοιμώμενοι οφθαλμοί διατηρούνται ανενεργοί σε ολόκληρη τη ζωή του φυτού, λίγο κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, ώστε να προστατεύονται από τις φλόγες. Η κουμαριά, το δενδρώδες ρείκι, η άρκευθος, το φιλλίκι και άλλοι θάμνοι παράγουν τους νέους βλαστούς από το «ρίζωμα» που βρίσκεται κάτω από το έδαφος και μοιάζει με ρόζο. Ο ρόζος είναι ανθεκτικός στις υψηλές θερμοκρασίες και δύσφλεκτος. Για το λόγο αυτόν χρησιμοποιείται στην κατασκευή της πίπας των καπνιστών.

Όταν καεί το δάσος, τον πρώτο χρόνο η ταχύτητα ανάπτυξης των πρεμνοβλαστημάτων είναι πολύ μεγάλη (διότι οι θάμνοι εκμεταλλεύονται τις αποθησαυριστικές ουσίες που συγκέντρωσαν στις ρίζες τους). Οι περισσότεροι θάμνοι έχουν επίσης την ικανότητα να ριζοβλαστάνουν αμέσως μετά την φωτιά ενεργοποιώντας κοιμώμενους οφθαλμούς των ριζών, που βρίσκονται πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Το πουρνάρι, για παράδειγμα, βλαστάνει εκτός από τη βάση του κορμού και από τις ρίζες. Η ταχύτατη παραβλάστηση και η σύντομη κάλυψη του εδάφους από τα νέα παραβλαστήματα και ριζοβλαστήματα, έχει ευεργετικά αποτελέσματα στην προστασία του εδάφους από ενδεχόμενες διαβρώσεις

Οι έρευνες έδειξαν ότι οι θάμνοι που «ενοχοποιούνται» για το φαινόμενο της αλληλοπάθειας, όπως η σουσουρά, πρεμνοβλαστάνουν με καθυστέρηση δύο ή τριών χρόνων, δίνοντας έτσι τον απαραίτητο χρόνο βλάστησης των σπόρων της πεύκης.

Οι αείφυλλοι σκληρόφυλλοι θαμνότοποι και οι φρυγανότοποι αποτελούν περίπου το 37% της μεσογειακής βλάστησης, δηλαδή καταλαμβάνουν γύρω στα 250.000 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Οι καιγόμενες κάθε χρόνο εκτάσεις σε αυτού του είδους τη βλάστηση, μπορεί να υπολογιστούν περίπου στο 50% της συνολικής έκτασης που καίγεται ετησίως. Το ποσοστό αυτό είναι πολύ υψηλό σε απόλυτες τιμές, αλλά πολύ χαμηλό σε οικονομική και κοινωνική σημασία, σε σχέση με το κόστος που υπάρχει στην περίπτωση πυρκαγιάς των δασών της χαλεπίου πεύκης.

Η κατάσβεση των πυρκαγιών των αείφυλλων-σκληρόφυλλων θάμνων είναι εξαιρετικά δύσκολη, ιδίως όταν φυσούν ισχυροί άνεμοι, εξαιτίας της πυκνής καύσιμης βιομάζας που συγκεντρώνουν και των αναρίθμητων καύτρων που δημιουργούνται. Επί πλέον τα θαμνοτόπια αυτά διατηρήθηκαν στις πλέον ακατάλληλες για προσπέλαση οχημάτων περιοχές, όπως σε βραχώδεις εκτάσεις ή σε εκτάσεις με πολύ έντονες κλίσεις, όπου η προσπάθεια κατάσβεσης γίνεται πολύ δύσκολη.

Προσαρμογή των πεύκων

Η χαλέπιος και η τραχεία πεύκη είναι τα πιο διαδεδομένα πεύκα στη χώρα μας. Καταλαμβάνουν μια έκταση περίπου 567.700 εκτάρια δηλαδή το 8.71% των ελληνικών δασών και το 50% της όλης έκτασης που καλύπτουν όλα μαζί τα κωνοφόρα μας. Γεωγραφικά τα δυο αυτά είδη πεύκων δεν συναντώνται πουθενά, διότι η μεν χαλέπιος εμφανίζεται δυτικά της νοητής γραμμής Στρυμονικός Κόλπος - δυτικό όριο Κρήτης και η τραχεία πεύκη ανατολικά της.

Υπολογίζεται ότι κατά την αρχαιότητα καταλάμβαναν έκταση περίπου 1.250.000 εκταρίων (διπλάσια δηλαδή από τη σημερινή). Το 30% από τις εκτάσεις αυτές (περίπου 375.000 εκτάρια) αποδόθηκαν στη γεωργία και άλλες οικονομικές ανθρώπινες δραστηριότητες. Παρατηρούμε λοιπόν ότι παρά την κατασπατάληση από τον άνθρωπο σε ξύλευση, από την έντονη βοσκή και από τις επαναλαμβανόμενες πυρκαγιές (φυσικές και εμπρησμοί) μόλις 300.000 εκτάρια υποβαθμίστηκαν τελείως και έχασαν οριστικά τα δάση τους. Η χαλέπιος και η τραχεία κατάφεραν να επιβιώσουν κυριολεκτικά από τη φωτιά και το τσεκούρι και να διατηρούνται σήμερα κυρίαρχες στις απρόσιτες ή στις λιγότερο γόνιμες περιοχές της χώρας (ασβεστολιθικές, γρανιτικές κ.λπ.).

Σήμερα τα δάση της χαλεπίου και της τραχείας καίγονται περίπου 2 φορές μέσα σε κάθε αιώνα, στις περιστατικές περιοχές ακόμη συχνότερα. Πριν από την εμφάνιση του ανθρώπου ο μόνος τρόπος για να καεί μια έκταση ήταν κυρίως ο κεραυνός και πιθανά και τα ηφαίστεια. Σήμερα οι πυρκαγιές από τους κεραυνούς περιορίζονται μόλις στο 1,6% για τις Μεσογειακές χώρες (2.2% για τη χώρα μας). Οι εκτάσεις που καίγονται κάθε χρόνο εξαιτίας των κεραυνών, υπολογίζονται μόλις στο 2,3% του συνόλου των καμένων εκτάσεων. Όμως θα πρέπει να λάβουμε υπόψη όταν παλιά, πριν την εμφάνιση του ανθρώπου, ξέσπαγε μια πυρκαγιά, μπορεί και να έκαιγε για εβδομάδες, διότι τα δάση ήταν συνεχή σε βουνά και σε πεδιάδες και μόνο τυχαία περιστατικά θα μπορούσαν να τη σβήσουν (βροχή, αλλαγή κατεύθυνσης αέρα, φυσικά εμπόδια κ.λπ.).

Πώς λοιπόν η χαλέπιος και η τραχεία μπορεί να επιβιώνουν και να αναπτύσσονται μετά από τις τόσο καταστρεπτικές πυρκαγιές; Τι πράγματι συμβαίνει και ποιες προσαρμοστικές δυνάμεις κρύβουν;

Τα θερμόβια πεύκα αρχίζουν να σπερμοφορούν από πολύ νωρίς (ακόμη και από ηλικία 10 ετών). Οι κώνοι (κουκουνάρια) ωριμάζουν συνήθως Απρίλη ή Μάη τον τρίτο χρόνο από την εμφάνιση του άνθους. Πολλοί από τους κώνους αυτούς ανοίγουν και οι σπόροι πέφτουν στο έδαφος, ενώ άλλοι ανοίγουν την

επόμενη χρονιά ή και τη μεθεπόμενη. Ένας σημαντικός αριθμός όμως κώνων διατηρείται κλειστός στα κλαδιά, περιέχοντας σπόρους σε πλήρη βλαστική ικανότητα συνήθως μέχρι 5 χρόνια (μερικές φορές και περισσότερο). Η συμπεριφορά αυτή αποτελεί σπάνιο οικολογικό φαινόμενο. Συνήθως οι καρποί με τους σπόρους όταν ωριμάσουν πέφτουν στο έδαφος.

Οι κώνοι σε κανονικές πυρκαγιές, όπου οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται φθάνουν τους 400° έως 700°C δεν καταστρέφονται και προστατεύουν τους σπόρους, ώστε να μην χάνουν τη φυτρωτική τους ικανότητα.

Σε κάθε ώριμο πεύκο κανονικής ανάπτυξης, δημιουργούνται κάθε χρόνο περίπου κατά Μ.Ο. 300 κώνοι. Από αυτούς παραμένουν κλειστοί επάνω στο δένδρο γύρω στους 100 και σε κάθε έναν περίπου κώνο περικλείονται γύρω στους 70 βιώσιμοι σπόρων. Δηλαδή σε κάθε δένδρο χαλεπίου ή τραχειάς πεύκης υπάρχει απόθεμα περίπου 7.000 σπόρων, πέρα από αυτούς που ωριμάζουν την ίδια χρονιά.

Όταν ξεσπάσει πυρκαγιά, οι υψηλές θερμοκρασίες ενεργοποιούν ειδικούς μηχανισμούς, οι οποίοι προκαλούν άνοιγμα των κώνων μέσα στις επόμενες 48 ώρες, αφού το γυμνό πια έδαφος έχει κρυώσει. Ανοίγοντας οι κώνοι, διασκορπίζουν τα σπέρματα σε μια απόσταση που υπολογίστηκε ότι είναι τριπλάσια με τετραπλάσια περίπου από το ύψος που βρίσκεται ο κώνος. Ο διασκορπισμός αυτός υποβοηθείται από πτερύγια που διαθέτουν τα σπέρματα.

Εάν υποθέσουμε, ότι το μέσο του ύψους μιας χαλεπίου πεύκης βρίσκεται στα 10 μέτρα, τότε θα πρέπει να αναμένεται, ότι κάθε δένδρο θα καλύπτει επιφάνεια γύρω στα 4 στρέμματα, στην οποία θα διασκορπιστούν τα 7.000 αποθεματικά σπέρματα. Η έκταση αυτή γίνεται μεγαλύτερη σε κεκλιμένα εδάφη, όπου λόγω του βάρους των σπόρων ή ακόμη και με τη βοήθεια του νερού των βροχών, μετακινούνται προς τα κατόντη. Εάν λάβουμε υπόψη, ότι σε κάθε στρέμμα υπάρχουν εκατοντάδες τέτοια δένδρα μπορούμε να αντιληφθούμε τον αριθμό των σπόρων που διασκορπίζονται μετά από κάθε πυρκαγιά.

Όλοι αυτοί οι σπόροι, αμέσως μετά τα φθινοπωρινά πρωτοβρόχια, φυτρώνουν, δίνοντας μετά μερικές εβδομάδες στο περιβάλλον την όψη κήπου με γκαζόν. Από τα χιλιάδες νεαρά φυτάρια, μέσα από τη διαδικασία του ανταγωνισμού και της φυσικής επιλογής, τελικά θα επιβιώσουν λίγα, τα οποία όμως θα έχουν τα καλύτερα γενετικά χαρακτηριστικά και θα παρουσιάζουν τις καλύτερες προσαρμογές για το τοπικό περιβάλλον.

Τον πρώτο χρόνο το νεαρό φυτό δημιουργεί πλούσιο ριζικό σύστημα που φθάνει μέχρι και 1,5 μέτρο, εάν το επιτρέπει το έδαφος. Επειδή τα πεύκο είναι λιτοδίαιτο είδος, σε βάθος έχει την ικανότητα να αναπτύσσεται στα πλέον ακραία από κλιματεδαφικής άποψης περιβάλλοντα. Αυτό εξηγεί την καταπληκτική ικανότητα ανάπτυξης των πευκοδασών στις πλέον υποβαθμισμένες περιοχές και εκεί όπου η οικονομική δραστηριότητα του ανθρώπου έχει διαταράξει ριζικά πολλούς από τους οικολογικούς παράγοντες.

Για το λόγο αυτόν θα πρέπει κατά τη συλλογή των σπόρων για τα φυτάρια να λαμβάνεται πρόνοια, ώστε να αφήνεται σημαντικό ποσοστό κώνων σε κάθε

δένδρο και η κωνοσυλλογή να γίνεται ομοιόμορφα από ολόκληρη την επιφάνεια.

Μια άλλη μορφή ενεργητικής πυροφυτικής αντίδρασης είναι αυτή που ανέπτυξαν τα φρύγανα της οικογένειας Cistaceae, τα γνωστά λαδάνια. Αυτά αναπτύσσονται συχνά σε πυκνούς σχηματισμούς, με ψηλό βαθμό κάλυψης, σε ξεχερσωμένες εκτάσεις και σε πυρόπληκτες ζώνες. Τα λαδάνια δημιουργούν πολύ μικρούς και ελαφρούς σπόρους, οι οποίοι όταν ωριμάζουν, πέφτουν και εισχωρούν βαθιά σε σχισμές του εδάφους, όπου είναι αδύνατο να φθάσουν οι φλόγες. Στο έδαφος οι σπόροι μπορεί να διατηρηθούν σε λήθαργο μέχρι και τρία χρόνια, διατηρώντας τη φυτρωτική τους ικανότητα. Όταν το έδαφος απογυμνωθεί, είτε λόγω ξεχερσώματος, είτε λόγω πυρκαγιάς και υπερθερμανθεί κατά τη διάρκεια των θερμών ημερών, οι σπόροι δραστηριοποιούνται και φυτρώνουν.

Την ταχύτατη κάλυψη του εδάφους με λαδάνια συμπληρώνουν και σπόροι από τις γύρω άκαυτες περιοχές, οι οποίοι λόγω του πολύ μικρού βάρους μεταφέρονται εκατοντάδες μέτρα από τους ανέμους. Τα λαδάνια παίζουν σπουδαίο οικολογικό ρόλο στην επιβίωση των μικρών πεύκων, υποστηρίζοντάς τα τόσο από τις υπερθερμάνσεις του εδάφους κατά το καλοκαίρι, όσο και από τους χειμερινούς παγετούς.

Από την ιδιόμορφη αυτή οικολογική συμπεριφορά των ειδών της μεσογειακής βλάστησης προκύπτει ένα βασικό συμπέρασμα, το οποίο πρέπει να έχει υπόψη του ο μεταπτυχικός σχεδιαστής της αποκατάστασης των καμένων οικοσυστημάτων.

Τα είδη της μεσογειακής βλάστησης, λόγω της άριστης προσαρμογής τους και της αντοχής τους στις ιδιαιτερότητες του μεσογειακού κλίματος, είναι αναντικατάστατα. Αυτό σημαίνει ότι οποιαδήποτε προσπάθεια εισαγωγής νέων ειδών που δεν διαθέτουν τους μηχανισμούς επιβίωσης στην έλλειψη εδαφικού νερού και στις συχνές πυρκαγιές, πρέπει να θεωρηθεί εξ αρχής ως αποτυχημένη, δεδομένου ότι η φωτιά είναι ένα φυσικό φαινόμενο, που δεν μπορεί να αποκλειστεί σε ξηροθερμικές κλιματικές συνθήκες. Σε περίπτωση αλλαγής του είδους, οι αρνητικές οικολογικές συνέπειες μιας ενδεχόμενης πυρκαγιάς είναι πολύ μεγαλύτερες και συχνά μη αναστρέψιμες. Αντίθετα, οι πυρκαγιές στη μεσογειακή ζώνη αλλά και οι αναδασώσεις με είδη της μεσογειακής βλάστησης, δεν συνδέονται κατ' ανάγκη με μη αναστρέψιμες επιπτώσεις, εκτός αν εξωγενείς παράγοντες (υπερβόσκηση, οικοπεδοποίηση κ.ά.) διαταράξουν τη φυσική πορεία των πραγμάτων. Πρέπει η προσοχή των διαχειριστών των δασών και των δασοπυροσβεστικών δυνάμεων να εστιασθεί κυρίως στην προσπάθεια προστασίας κατά προτεραιότητα νεαρών δασοσυστάδων (δηλαδή που κήκαν πρόσφατα), ώστε να τις δοθεί η δυνατότητα ολοκλήρωσης των αυστηρών φυσικών οικολογικών κύκλων και διεργασιών που προσδιόρισε η φύση για τα μεσογειακά δασικά οικοσυστήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ: ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Τα στάδια του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών είναι τρία: η **πρόληψη**, η **καταστολή** και η **μεταπυρική διαχείριση** των καμένων εκτάσεων. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τα στάδια αυτά περιγράφοντας από τη μια την επικρατούσα κατάσταση στη χώρα μας και από την άλλη κάνοντας συγκεκριμένες προτάσεις, ώστε να διορθωθεί ότι είναι δυνατόν να διορθωθεί.

Πρόληψη

Τα μέτρα πρόληψης εξαρτώνται από την απόδοση της Δασικής Υπηρεσίας που ενώ πραγματοποίησε θαύματα, διατηρώντας σε μεγάλο βαθμό τα δάση, κατά τη διάρκεια δύο παγκοσμίων πολέμων, εμφυλίων σπαραγμών και της σύγχρονη επέλασης των καταπατητών, εν τούτοις απαξιώθηκε από το κράτος και τους πολίτες του, θεωρήθηκε υπαίτια για την ανθρώπινη αδυναμία ελέγχου των φυσικών φαινομένων, δεν προστατεύθηκε από το Γεωτεχνικό Επιμελητήριο, τα Πανεπιστημιακά και τα Ερευνητικά Ιδρύματα και τελικά οδηγήθηκε στο σημερινό μαρασμό και την κούραση που προκαλεί η απογοήτευση, της μη αναγνώρισης και της άδικης συμπεριφοράς.

Χωρίς αξιόλογες χρηματοδοτήσεις, χωρίς προσωπικό και μέσα η πρόληψη κινείται στη φιλοσοφία της μείωσης της καύσιμης ύλης, της δημιουργίας εμποδίων στη φωτιά, στην οργάνωση και αύξηση των μέσων καταστολής, στη μείωση χρόνου πρώτης προσβολής κ.λ.π.

Όμως παρ' όλη την καλή διάθεση και την τεράστια προσπάθεια των εμπλεκόμενων υπηρεσιών τα αποτελέσματα δεν είναι καθόλου ικανοποιητικά, και αυτό διότι κανένας κεντρικός σχεδιασμός δεν έχει λάβει υπόψη τη γενεσιουργό αιτία οποιασδήποτε φωτιάς που είναι το αναμμένο σπύρτο. Εάν δεν υπάρξει το σπύρτο δεν υπάρχει φωτιά. Εάν προλάβουμε επομένως τη φωτιά από αμέλεια θα έχουμε μειώσει τις φωτιές κατά 70%, ίσως και παραπάνω.

Όμως και τα προληπτικά έργα που γίνονται πολλές φορές δημιουργούν περισσότερα προβλήματα από ότι οι ίδιες οι φωτιές, ή γίνονται με τρόπο μη ορθό. Για παράδειγμα:

Μείωση της καύσιμης ύλης. Στην προσπάθεια να μειώσουμε τα καύσιμα υλικά μέσα στο δάσος και να μην μεταφέρεται η φωτιά από δένδρο σε δένδρο αφαιρούμε σημαντικά στοιχεία του οικοσυστήματος κυρίως τους θάμνους. Όμως ένα οικοσύστημα είναι μια κοινωνία φυτών, που το κάθε ένα προσφέρει σημαντικό έργο στο σύνολο, όπως ακριβώς γίνεται με τις ανθρώπινες κοινωνίες.

Εάν απομακρύνουμε τους επαγγελματικούς κλάδους, εκτός από έναν αυτός που θα μείνει θα είναι αδύνατον να επιβιώσει μόνος του. Το ίδιο γίνεται και με τα φυτά. Η αφαίρεση των στοιχείων του τα μετατρέπει σε ανάπηρα οικοσυστήματα, τα οποία γίνονται ευπαθή σε προσβολές μυκήτων και κυρίως

εντόμων και τα περισσότερα καταντούν καμπιοτροφεία, με αποτέλεσμα να κινδυνεύουν να καταρρεύσουν στο πρώτο ακραίο κλιματικό επεισόδιο (ξηρασία, παγετός κλ.π.).

Δημιουργία εμποδίων στη φωτιά. Οι αντιπυρικές ζώνες γνωρίζουμε όλοι ότι γίνονται στην τύχη ή μάλλον βασίζονται στο ένστικτο ή στην επιθυμία του μπουλντοζιέρη. Όμως ο βάνουσος τραυματισμός του τοπίου θα έχει πρακτική σημασία, μόνο εφόσον η αντιπυρική γίνεται με στοιχειώδη σχεδιασμό, ο οποίος λαμβάνει υπόψη του τουλάχιστον την κατεύθυνση των επικρατούντων για κάθε περιοχή ανέμων.

Δηλαδή αντιπυρική κάθετη προς τους επικρατούντες ανέμους, προσφέρει την μικρότερη απόσταση προστασίας, ενώ η παράλληλη δεν προσφέρει καμιά απολύτως υπηρεσία. Η λογική που επικρατεί παγκοσμίως είναι ότι η γωνία 450 προσφέρει τη μεγαλύτερη απόσταση προστασίας (εφαπτομένη 450 =1).

Από υλικό δορυφορικών εικόνων βλέπουμε πολλές φορές έναν τυχαίο σχεδιασμό αντιπυρικών, ο οποίος περισσότερο πληγώνει, δημιουργώντας διακοπές της οικολογικής συνέχειας παρά προστατεύει το δάσος.

Οργάνωση και αύξηση των μέσων καταστολής. Σε ότι αφορά στα μέσα καταστολής αυτό είναι καθαρά θέμα της κεντρικής εξουσίας, όμως ήμαστε υποχρεωμένοι να κρίνουμε την επικρατούσα κατάσταση. Σήμερα η Ελληνική κοινωνία έχει πεισθεί και για το λόγο αυτόν πιέζει τρομακτικά για αύξηση των μέσων καταστολής. Τα πυροσβεστικά αεροπλάνα και ελικόπτερα έχουν αναχθεί σε ναυαρχίδες της δασοπυρόσβεσης και όταν αυτά απουσιάζουν δεν κινείται τίποτε. Από την άλλη πιστεύουμε ότι η αύξηση των πυροσβεστικών οχημάτων, του προσωπικού και των υδρολογικών έργων θα έλυναν ως δια μαγείας το πρόβλημα και οι φωτιές θα έσβηναν αμέσως με την εμφάνισή τους. Όμως η φωτιά σβήνει σίγουρα μόνο στα πρώτα 5 λεπτά από την έκρηξή της. Για να γίνει αυτό, η επιτροπή της βουλής που ασχολήθηκε με τη δασοπροστασία υπολόγισε ότι χρειάζονται μόνο για τις περιοχές α' βαθμού επικινδυνότητας 3.800 πυροσβεστικά οχήματα και 30.000 μόνιμο και εποχικό προσωπικό. Έτσι κανείς δημόσιος φορέας δεν έχει ασχοληθεί με την καλύτερη οργάνωση της πρόληψης η οποία μπορεί να συνοψισθεί στα εξής βασικά σημεία:

- τον έγκαιρο εντοπισμό των πυρκαγιών,
- την έγκαιρη πρώτη προσβολή,
- τον επαρκή συντονισμό των εμπλεκόμενων δυνάμεων,
- την καλή εκπαίδευση των δασοπυροσβεστών,
- την καλή πληροφόρηση των πολιτών σε θέματα δασικών πυρκαγιών.

Έγκαιρος εντοπισμός των πυρκαγιών. Στη χώρα μας ο εντοπισμός γίνεται ακόμη από τους σταθερούς και μετακινούμενους πυροφύλακες, η απόδοση των οποίων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες (αριθμός, θέση παρατήρησης αντοχής κ.λ.π.). Η χρήση του προγράμματος ΣΙΘΩΝ του ΙΔΕ (Ινστιτούτο

Δασικών Ερευνών), το οποίο χρησιμοποιώντας την υπερσύγχρονη τεχνολογία (δημιουργίας ευρυζωνικών δικτύων και ΓΣΠ) και αποτελεί τη σύγχρονη απάντηση στο πρόβλημα του άμεσου εντοπισμού των πυρκαγιών, θα μπορούσε να δώσει λύση στη μείωση του χρόνου πρώτης προσβολής, στον άριστο συντονισμό των εμπλεκόμενων δυνάμεων.

Προτάσεις

Οι προτάσεις μας στο θέμα της πρόληψης είναι:

Πρέπει άμεσα να αποκτήσουμε «κεντρική εθνική πολιτική» πρόληψης των δασικών πυρκαγιών, η οποία να είναι υποχρεωτική ως προς την εφαρμογή της στην περιφέρεια. Έτσι η πρόληψη θα αποκτήσει εθνικό και ενιαίο χαρακτήρα, και δεν θα εξαρτάται από: τις γνώσεις, τα μέσα και το μεράκι των υπαλλήλων που επιφορτίζονται τη συγκεκριμένη ευθύνη.

Όπως σε όλες τις προηγμένες πυρόπληκτες χώρες το βάρος των σχεδιασμών της πρόληψης των δασικών πυρκαγιών πρέπει να εστιασθεί κυρίως στην προσπάθεια να μην ανάψει το σπίρτο και να δοθεί μεγάλη έμφαση της προσπάθειας πρόληψης προς την κατεύθυνση της μείωσης των πυρκαγιών από αμέλεια. Το άναμμα του σπίρτου γίνεται από τον άνθρωπο και στόχος της προσπάθειάς μας πρέπει να είναι η ενημέρωση των πολιτών σε θέματα που έχουν σχέση με τους ακούσιους εμπρησμούς.

Από την άλλη πρέπει η Κεντρική Δασική Υπηρεσία, ως ο μοναδικός φορέας πρόληψης να αποκτήσει φωνή στα ΜΜΕ, διατηρώντας την αποκλειστικότητα στην ενημέρωση που σχετίζεται με την πρόληψη.

Πρέπει να απαγορευθεί σε αναρμόδιους, οι οποίοι έχουν λόγο και άποψη επί παντός επιστητού να αναφέρονται γενικώς στα θέματα των δασικών πυρκαγιών.

Διότι η παραπληροφόρηση οδήγησε στην επικρατούσα αντίληψη ότι πίσω από κάθε φωτιά βρίσκεται και ένας κακόβουλος εμπρηστής. Έτσι:

- οι πυρκαγιές οφείλονται σε καταπατητές,
- οι φωτιές των αιγαιοπελαγίτικων νησιών σε πράκτορες άλλων χωρών που επιβουλεύονται τον τουρισμό μας,
- οι πυρκαγιές των παραλιακών δασών μας σε αποσταθεροποιητές της πολιτικής μας ζωής κ.λ.π.

Και η ιδέα αυτή πέρασε σήμερα σε ολόκληρη την ελληνική κοινωνία, βολεύοντας:

- το Δήμαρχο διότι απαλλάσσεται η χωματερή του,
- τις δασοπυροσβεστικές υπηρεσίες για τη χαμηλή απόδοσή τους,
- τις κυβερνήσεις για τις μειωμένες πιστώσεις σε μέσα κατάσβεσης κ.ο.κ.

Έτσι από τη στιγμή που δεν έχουμε πρόθεση να κάψουμε το δάσος πιστεύουμε ότι δεν μπορούμε και να το κάνουμε καταλήγοντας να αποτελούμε τη σύγχρονη κοινωνία που δεν προσέχει ούτε που πετά το τσιγάρο της ή το μπουκάλι της.

Θα πρέπει η Κεντρική Δασική Υπηρεσία, ως ο φορέας που έχει την ευθύνη της πρόληψης, να είναι ο δέκτης προτάσεων των άλλων υπηρεσιών και των άλλων υπουργείων, τα οποία αφού θα επεξεργάζεται, με δική της ευθύνη θα μεταφέρει τις αποφάσεις για τις πρέπουσες ενέργειες προς τις περιφερειακές μονάδες και τους πολίτες. Κανείς δεν πρέπει και δεν δικαιούται να παίρνει πρωτοβουλίες υλοποίησης προληπτικών έργων χωρίς την άδεια και την έγκριση της κεντρικής δασικής υπηρεσίας.

Ακόμη και την ενημέρωση των πολιτών για θέματα πρόληψης των πυρκαγιών (σποτάκια, πινακίδες, ενημερωτικά έντυπα κ.λ.π.) θα πρέπει να γίνει με το συντονισμό και την ευθύνη της Κεντρικής Δασικής Υπηρεσίας, η οποία οφείλει να ζητήσει τη γνώμη μιας ολιγομελούς ομάδας εξειδικευμένων στην πρόληψη επιστημόνων, οι οποίοι με τη συνδρομή επαγγελματιών στο χώρο της ενημέρωσης θα προωθήσει το πρόγραμμα σε θέματα πρόληψης των δασικών πυρκαγιών.

Η Επιτροπή Σχεδιασμού Πρόληψης Δασικών Πυρκαγιών θα πρέπει να κινηθεί προς τις εξής κατευθύνσεις:

1. Να επανακαθορίσει τη βασική έννοια **«πρόληψη των δασικών πυρκαγιών»** και τους στόχους της.

2. Να επανακαθορίσει τις **αναγκαιότητες** όλων των κλασσικών έργων πρόληψης εξάπλωσης των δασικών πυρκαγιών.

3. Να προβλέψει, ώστε οι σχεδιασμοί να περιλαμβάνουν και την **εξασφάλιση οικολογικών αναγκών των φυτών**.

4. Να καθορίσει **χάρτες δασών** που κινδυνεύουν από μόνιμη υποβάθμιση εξαιτίας των δασικών πυρκαγιών.

5. Να καθορίσει τον τρόπο **ενημέρωσης των πολιτών** για την αποφυγή πρόκλησης πυρκαγιών από αμέλεια και γενικά για την ασφαλή διαβίωση.

Καταστολή - κατάσβεση

Πρόσφατα συμπληρώσαμε 10 χρόνια από τη μεταφορά της ευθύνης της δασοπυρόσβεσης από τη δασική στην πυροσβεστική υπηρεσία. Αυτά τα 10 χρόνια υπήρξαμε μάρτυρες τρομακτικών καταστροφών σε δάση, περιουσίες και ανθρώπινες ζωές. Η κατάσταση με την αύξηση της εμπειρίας της πυροσβεστικής υπηρεσίας θα περίμενε κανείς να βελτιωθεί, όμως αντί αυτού υπήρξαμε μάρτυρες του εφιαλτικού 2007, που τα γεγονότα του 1998 και 2000 μοιάζουν απλά με ταραγμένα όνειρα.

Τα πλεονεκτήματα της μεταφοράς ευθύνης δεν φαίνεται να μας πείθουν. Δεν είναι μόνο η κατακόρυφη αύξηση της καμένης δασικής έκτασης (2.600.000 στρέμματα το 2000, πάνω από 3.000.000 το 2007 και πάνω από 4.000.000 μέχρι σήμερα), είναι και ότι αυτή τη δεκαετία κάηκαν περισσότερα χωριά και οικισμοί, από όσα μεμονωμένα σπίτια κάηκαν από ιδρύσεως και λειτουργίας της δασικής υπηρεσίας. Πέθαναν επίσης περισσότεροι άνθρωποι μόνο σε ένα χρόνο (2007), από όσοι σε ολόκληρο αιώνα.

Υπάρχουν ένα σωρό ερωτήματα που η απάντησή τους θα έλυνε αρκετά προβλήματα. Τέτοια ενδεικτικά ερωτήματα είναι:

- Γιατί εκτοπίστηκε η Δασική Υπηρεσία από τη διαδικασία κατάσβεσης;
- Γιατί την αρμοδιότητα της πρόληψης την έχει το τοπικό Δασαρχείο, ενώ την καταστολή η Πυροσβεστική Υπηρεσία;
- Γιατί ποτέ ένας φορέας δεν ζήτησε μια απλή γνώμη, μια ιδέα, μια συμμετοχή από το Υπουργείο Γεωργικής Ανάπτυξης εποπτεύει τα δύο Δασικά Ερευνητικά Ινστιτούτα, όπου εκτελούνται σημαντικά ερευνητικά προγράμματα που αφορούν στις δασικές πυρκαγιές;

Η λύση είναι σύνθετη, ίσως όμως επιβεβλημένη. Θα πρέπει να δημιουργηθεί *Ενιαίος Φορέας Δασοπροστασίας*, ο οποίος υπήρξε και πρόταση της διακομματικής επιτροπής της βουλής. Ένας ανεξάρτητος φορέας, ο οποίος θα λειτουργεί μόνο για τις δασικές πυρκαγιές. Θα είναι αυτοτελής, αλλά θα έχει και την πρωτοβουλία του συντονισμού όλων των εμπλεκόμενων φορέων δασοπυρόσβεσης (δασική και πυροσβεστική υπηρεσία. Πολιτική προστασία, Ο.Τ.Α. κ.λ.π.).

Μεταπυρική διαχείριση - αποκατάσταση

Μετά την περίοδο των πυρκαγιών οι πολίτες τρομοκρατημένοι από τις εικόνες των ΜΜΕ και την παραπληροφόρηση πιέζουν τον κορμό της εξουσίας (δήμαρχο, νομάρχη, κυβέρνηση) για άμεση αποκατάσταση. Και οι κυβερνήσεις αντί να λειτουργήσουν με νηφαλιότητα και ως βαλβίδα εκτόνωσης της πίεσης, αυξάνουν την πίεση προς τη δασική υπηρεσία απαιτώντας άμεσα μέτρα, χωρίς σχεδιασμό και πρόγραμμα.

Έτσι τα έργα που καλούνται να υλοποιήσουν οι δασικές υπηρεσίες είναι οι δενδροφυτεύσεις και τα αντιδιαβρωτικά και αντιπλημμυρικά έργα.

Η διαδικασία των αναδασώσεων είναι μια δύσκολη υπόθεση. Προϋποθέτει ότι οι σχεδιαστές τους θα πρέπει να ταυτίσουν τη λογική τους με τη λογική της φύσης, που έχει αποκτήσει δομές και νομοτέλειες που σφυρηλατήθηκαν κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων χρόνων. Τα φυσικά οικοσυστήματα που αναπτύσσονται σε κάθε κομματάκι γης του πλανήτη μόνο τυχαία δεν βρίσκονται εκεί. Μέσα από τις διαδικασίες της προσαρμογής και της φυσικής επιλογής στη φύση υπάρχει μια διαρκής εξέλιξή τους, αλλά πάντα και ανάλογα με τις κλιματικές συγκυρίες διατηρείται μια ισορροπία μεταξύ τους.

Μέσα όμως στα ίδια τα οικοσυστήματα υπάρχει μια σταθερή διαδικασία όπου κάθε φυτικό είδος αποκτά το χώρο που το ανήκει, πάντα όμως σε μια ισορροπία με τα υπόλοιπα, που σταθεροποιεί το σύνολο του πληθυσμού και κάνει βιώσιμη ολόκληρη τη φυτοκοινωνία.

Τα τελευταία χρόνια ο άνθρωπος παρεμβαίνει στη φύση με τα τεχνολογικά μέσα που επινόησε πολύ εύκολα και σε μεγάλες εκτάσεις. Η δύναμη που απέκτησε τον κάνει να παραβλέπει τις ανάγκες της φύσης για ισορροπία και σταθερότητα. Η ευκολία με την οποία μπορεί να ξηλώσει δάση και να φυτέψει νέα είδη, τον έκαναν να αισθάνεται δυνατότερος, σοφότερος και

σημαντικότερος από τη φύση. Τις προσωπικές εμπειρίες που αποκτά στα 30-35 χρόνια που είναι ενεργός επαγγελματικά τις θεωρεί πολύ ορθότερες από τα εκατομμύρια χρόνια που λειτουργεί η φύση.

Έτσι προχωρούμε σε απαρίθμηση των δυνατοτήτων μεταπυρικής διαχείρισης:

1. **Φύτευση νέων δέντρων στην περιοχή που κάηκε.** Η απόφαση αυτή οδηγεί στις εξής δυνατότητες:
 - Εισαγωγή νέων ειδών κα μάλιστα φυλλοβόλων που θεωρούνται δύσφλεκτα,
 - Φύτευση των ιδίων ειδών που προπήρχαν.
2. **Καμία απολύτως κίνηση απλά προστασία της καμένης έκτασης** από καταπατήσεις και βόσκηση.
3. **Συνδυασμός των ανωτέρω μεθόδων.**
4. **Φύτευση σπόρων αντί για δέντρα.**

Πέρα από αυτές τις δυνατότητες μεταπυρικής διαχείρισης προτείνεται:

- άμεσα οι δασικές υπηρεσίες να στελεχωθούν με νέους επιστήμονες, ενημερωμένους για τις σύγχρονες οικολογικές απόψεις και τις σύγχρονες τεχνολογίες,
- να μην επιτρέπεται η χρήση φυτών ανεξέλεγκτα από μη κρατικούς φορείς,
- να σταματήσουν οι αναδασώσεις φιέστες, όπου η επιστημονική γνώση θυσιάζεται στη διαδικασία,
- να σχεδιασθεί και να υλοποιηθεί άμεσα πρόγραμμα ενημέρωσης των πολιτών, σε θέματα αναδασώσεων,
- να υλοποιείται αναδάσωση όπου απαιτείται, μόνο κατόπιν σύμφωνης γνώμης αρμόδιων επιστημόνων και να γίνεται διαφύλαξη αυτών των περιοχών,
- να καθοριστούν βασικές αρχές, με υποχρεωτική εφαρμογή σε περιφερειακό επίπεδο, ώστε να σταματήσουν οι αυτοσχεδιασμοί, οι υποκειμενισμοί και κυρίως να δημιουργηθεί αίσθημα ευθύνης που θα αντλείται από τις ουσιαστικές γνώσεις, για όσους καλούνται να τις πραγματοποιήσουν
- να αυξηθεί σημαντικά η παραγωγή μεσογειακών ειδών σε φυτώρια ώστε να δοθεί η δυνατότητα στους διαχειριστές των καμένων εκτάσεων να εμπλουτίσουν τα οικοσυστήματα με όλα τα στοιχεία που έχουν όταν βρίσκονται σε φυσική κατάσταση,
- να αποφεύγεται η χρήση ξενικών ειδών, αφού στην πραγματικότητα δεν συντρέχει κανείς λόγος γι' αυτό,
- να σχεδιάζονται οι αναδασώσεις αποβλέποντας στην αντιγραφή της φύσης.

Ιδιαίτερη πρόταση άμεσης μεταπυρικής διαχείρισης αποτελεί η κατασκευή **κλαδοπλεγμάτων**. Τα κλαδοπλέγματα αποτελούν σήμερα μια από τις βασικές εργασίες για τη μείωση των κινδύνων διάβρωσης. Όμως πιστεύουμε ότι η χρήση τους θα πρέπει να γίνεται με την απαιτούμενη μελέτη, τουλάχιστον σε ότι αφορά στο χρόνο αποικοδόμησής τους.

Μελέτες σε μόνιμες πειραματικές επιφάνειες έδειξαν ότι η διατήρησή τους στο χώρο τοποθέτησής τους μπορεί να ξεπεράσει και τα δεκαπέντε χρόνια (για λεπτά υλικά). Όμως στην πραγματικότητα η εμπειρία από την τοποθέτησή τους στο περιαστικό δάσος της Θεσσαλονίκης δείχνουν ότι κλαδιά πάχους μεγαλύτερα από 1 εκατοστό, χρειάζονται χρόνο μεγαλύτερο από 15 χρόνια, που σημαίνει ότι όλο αυτό το διάστημα το υπό αναγέννηση δάσος θα κινδυνεύει άμεσα από την πρόκληση νέας πυρκαγιάς που θα συντηρηθεί από τα κλαδοπλέγματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ: ΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), ευρύτερα γνωστά ως **GIS (Geographical Information Systems)** διαχειρίζονται με αποτελεσματικό τρόπο τη γεωγραφική πληροφορία και μαζί τα δεδομένα που μπορούν να συσχετιστούν με αυτή. Στην ευρεία διάδοση των GIS συνέβαλαν:

- α) η ανάπτυξη λογισμικού,
- β) η δημιουργία και διάθεση αξιόπιστων ψηφιακών δεδομένων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα συστήματα αυτά (π.χ. ψηφιακοί χάρτες),
- γ) η αυξημένη υπολογιστική ισχύς των ηλεκτρονικών υπολογιστών (PCs), και
- δ) η συσχέτιση των συστημάτων GIS με τα συστήματα παρακολούθησης οχημάτων, δικτύων ή άλλων αντικειμένων πάνω στη γη, μέσω της τεχνολογίας των δορυφόρων και των τηλεπικοινωνιών.



Εικόνα 1. Δορυφορική εικόνα.

Ιστορική εξέλιξη των GIS

Τα χωρικά δεδομένα και οι μέθοδοι αποτύπωσης και διανομής της γης απασχόλησαν τις ανθρώπινες κοινωνίες από τη στιγμή που ο άνθρωπος σταμάτησε τη νομαδική ζωή και άρχισε η δημιουργία οργανωμένων οικισμών. Με την πάροδο των αιώνων αναπτύχθηκαν οι διάφορες επιστήμες και ανάμεσα σε αυτές η Γεωδαισία και η Χαρτογραφία. Παράλληλα άρχισε να γίνεται απαραίτητη η συγκέντρωση και αξιοποίηση πληροφοριών για τη γη και τις χρήσεις της.

Ο πρώτος γνωστός συνδυασμός χαρτογραφικού υλικού και άλλων περιγραφικών πληροφοριών εμφανίστηκε στους γεωγραφικούς άτλαντες στα

μέσα του 19ου αιώνα. Σε πολλές περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκαν επάλληλοι χάρτες οι οποίοι, βασισμένοι στο ίδιο υπόβαθρο, απεικόνιζαν διαφορετικές λεπτομέρειες τοπικά ή χρονικά. Η τεχνική αυτή: που χρησιμοποιείται ακόμη σήμερα, όταν λείπει η δυνατότητα ψηφιακής επεξεργασίας, θυμίζει πολύ τα επίπεδα σχεδίασης (layers) που χρησιμοποιούνται στα προγράμματα CAD και Γ.Σ.Π.

Γεωγραφικοί άτλαντες σε διάφορες χώρες από τα μέσα του 19ου αιώνα συσχέτιζαν χωρικές και περιγραφικές πληροφορίες (π.χ. Ιρλανδία, για τους ιρλανδικούς σιδηροδρόμους - απεικονίζονται με τη μορφή επάλληλων χαρτών στοιχεία για τον πληθυσμό, τη γεωλογία και την τοπογραφία, Ολλανδία - απεικονίζονται δημογραφικές και στατιστικές πληροφορίες), Ο Dr. John Snow χρησιμοποίησε ένα χάρτη που σημείωνε τους τόπους κατοικίας των θυμάτων της επιδημίας χολέρας στο Λονδίνο το 1854, για να συμπεράνει ότι η μετάδοση της ασθένειας οφειλόταν σε μολυσμένη κοινόχρηστη βρύση.

Η επιστημονική και συστηματική ανάπτυξη των ΓΣΠ άρχισε από τις δεκαετίες του 1940 και 1950. Τότε εμφανίστηκαν και οι πρώτοι ηλεκτρονικοί υπολογιστές σε παρόμοιες εφαρμογές, Στα μέσα περίπου της δεκαετίας του 1960 αναφέρονται οι πρώτες εφαρμοσμένες και ολοκληρωμένες ττροοττάθειες. Η ανάπτυξη των ΓΣΠ βασίσθηκε, μεταξύ άλλων σε βελτιώσεις στα υπολογιστικά συστήματα, ειδικά στο θέμα της διαχείρισης γραφικών στοιχείων, στην ανάπτυξη των θεωριών συσχέτισης του χώρου με ανθρωπολογικά, δημογραφικά κα! γεωγραφικά στοιχεία, και στην ανάπτυξη των διαδικασιών προστασίας του "περιβάλλοντος.

Το πρώτο μεγάλο ΓΣΠ που αναπτύχθηκε ήταν το Canada Geographic Information System. Το σύστημα αυτό δημιουργήθηκε κατά τη δεκαετία του 60 με σκοπό να παράγει στατιστικά αγροτικά στοιχεία για την αποτελεσματικότερη ανάπτυξη των χρήσεων γης στις αγροτικές περιοχές του Καναδά. Τα στοιχεία που περιείχε αναπτύσσονταν σε επτά χαρτογραφικά επίπεδα με τη μορφή των επάλληλων, αλλά ψηφιοποιημένων με ειδικό σαρωτή, χαρτών. Την ίδια περίπου εποχή ένας αρκετά μεγάλος αριθμός λογισμικών προϊόντων για αυτοματοποιημένη χαρτογραφία και ΓΣΠ άρχισε να παράγεται στο Laboratory of Computer Graphics and Spartial Analysis του Πανεπιστημίου του Harvard.

Το 1969 ιδρύθηκε η εταιρεία Environmental Systems Research Institute (ESRI) η οποία παρήγαγε λογισμικό βασισμένο στις τεχνικές και εφαρμογές του Harvard. Το 1980 η ESRI παρουσίασε στην αγορά το ARC/INFO. Το ARC/INFO ήταν το πρώτο πρόγραμμα ΓΣΠ που εκμεταλλεύθηκε τις δυνατότητες των super-mini ηλεκτρονικών υπολογιστών που κατασκευάστηκαν από εταιρείες, όπως η IBM.

Άλλα λογισμικά πακέτα ΓΣΠ που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως στις Η.Π.Α, κατά τις δεκαετίες του 1960 και 1970 είναι:

- Το Minnesota Land Management Information System (MLMIS),
- Το NARIS για την αποθήκευση και διαχείριση δεδομένων του φυσικού περιβάλλοντος,

- Το MIDAS για τη διαχείριση του δασικού περιβάλλοντος,
- Το STORET για την καταγραφή υδρολογικών δεδομένων.

Όλα τα παραπάνω συστήματα λειτουργούσαν σε συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών με υψηλό κόστος και ιδιαίτερη δυσχέρεια στη λειτουργία. Τα περισσότερα από τα πρώτα συστήματα ΓΣΠ έπαυσαν να χρησιμοποιούνται από τις αρχές της δεκαετίας του 1980, οπότε η κατασκευή Workstations (Sun, HP, Apollo, Intergraph) οδήγησε στη σύνταξη νέου λογισμικού σε λειτουργικό σύστημα UNIX. Αυτά τα υπολογιστικά συστήματα ήταν οι κύριες πλατφόρμες χρήσης των ΓΣΠ μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990. Με τη δημιουργία ισχυρών Personal Computer (PC) και τα λειτουργικά συστήματα WINDOWS η σύνταξη λογισμικού για ΓΣΠ μπήκε σε μια νέα εποχή με ιδιαίτερα φιλικό προς το χρήστη περιβάλλον εργασίας (user interface) και ιδιαίτερα χαμηλό κόστος ανάπτυξης και λειτουργίας. Σήμερα δεκάδες εταιρείες σε όλο τον κόσμο παράγουν λογισμικό για εφαρμογές ΓΣΠ.

Ορισμός και Αρχή Λειτουργίας των Γ.Σ.Π.

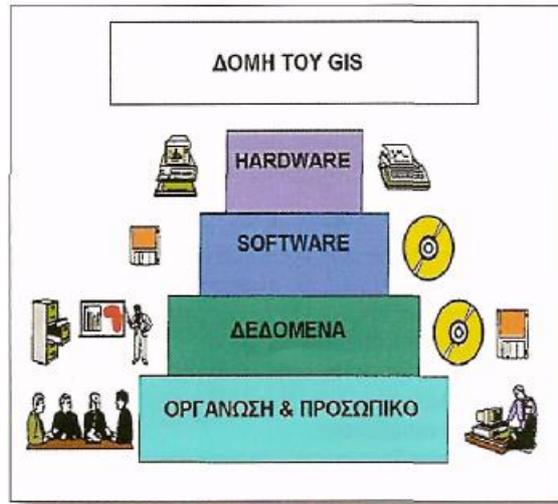
Γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών, χαρακτηρίζεται ένα οργανωμένο σύνολο από τέσσερα δομικά στοιχεία που περιλαμβάνουν:

- 1) υλικό εξοπλισμό (hardware),
- 2) λογισμικό (software),
- 3) γεωγραφικά δεδομένα,
- 4) οργάνωση και προσωπικό, με σκοπό: τη συλλογή, καταχώριση, διαχείριση, ανάλυση, επεξεργασία και απόδοση, κάθε μορφής πληροφορίας που σχετίζεται με τη γεωγραφική πληροφορία.

Ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών είναι ένα εργαλείο χαρτογράφησης και ανάλυσης των στοιχείων που υπάρχουν και των γεγονότων που συμβαίνουν στο γεωγραφικό χώρο. Η τεχνολογία των GIS ολοκληρώνει τις λειτουργίες των συνήθων εφαρμογών βάσεων δεδομένων, όπως αναζήτηση και στατιστική ανάλυση, με τα πλεονεκτήματα της οπτικής απεικόνισης και της γεωγραφικής ανάλυσης που προσφέρουν οι χάρτες. Οι ικανότητες αυτές διακρίνουν τα GIS από τα άλλα πληροφοριακά συστήματα και τα καθιστούν πολύτιμα σε ένα μεγάλο εύρος δημοσίων οργανισμών και ιδιωτικών επιχειρήσεων, για την επεξήγηση γεγονότων, την εκτίμηση αποτελεσμάτων, το σχεδιασμό στρατηγικών, τη λήψη αποφάσεων.

Το σύστημα GIS μοντελοποιεί το χώρο συγκεντρώνοντας και συνδυάζοντας ένα πλήθος πληροφοριών. Για το σκοπό αυτό αποθηκεύει δεδομένα σε ένα σύνολο από διαφορετικές θεματικές βαθμίδες (layers), όπως για παράδειγμα πόλεις, δρόμοι, κτίρια, αγωγοί, γεωγραφικό ανάγλυφο, λίμνες, ποτάμια, λοιπά σημεία ενδιαφέροντος. Οι θεματικές αυτές βαθμίδες συνδέονται μεταξύ τους μέσω γεωγραφικών συντεταγμένων, σε δύο διαστάσεις (γεωγραφικό μήκος και πλάτος), ακόμα και σε τρεις διαστάσεις. Αυτή είναι η απλή αλλά εξαιρετικά ισχυρή αρχή λειτουργίας των GIS που αποδεικνύεται πολύτιμη για την επίλυση πλήθους πραγματικών προβλημάτων. Το πιο ζωτικό δομικό στοιχείο ενός GIS

είναι τα δεδομένα και για το λόγο αυτό οι βάσεις δεδομένων βρίσκονται στην καρδιά ενός τέτοιου συστήματος.



Εικόνα 2. Δομή του GIS.

Το GIS διαθέτει μία βάση γεωγραφικών δεδομένων ή αλλιώς ένα ψηφιοποιημένο χάρτη ο οποίος υλοποιεί και το μοντέλο του χώρου, όπως αυτό περιγράφηκε παραπάνω με τις θεματικές βαθμίδες.

Ταυτόχρονα περιλαμβάνει και μία βάση περιγραφικών δεδομένων που συνδέονται με τα δεδομένα του χώρου. Το κατάλληλο λογισμικό ενός GIS για τη διαχείριση βάσεων δεδομένων και οπτικής απεικόνισης τους, επιτρέπει το συνδυασμό αυτών των δεδομένων και την απεικόνιση τους σε μορφή συνδυασμένων πληροφοριών πάνω σε χάρτες.

Μοντέλα GIS

Στα Γ.Σ.Π. υπάρχουν δυο βασικές δομές (μοντέλα) δεδομένων:

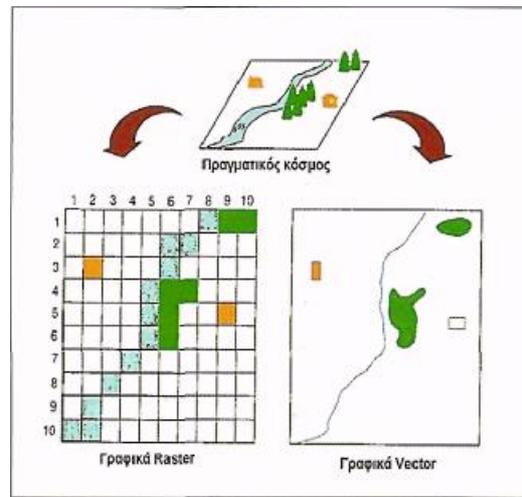
- η μορφή **raster** ή **ψηφιδωτή** και
- η μορφή **vector** ή **διανυσματική**.

Τα διανυσματικά συστήματα αποθηκεύουν τη γεωγραφική πληροφορία σε αναλυτική μορφή συντεταγμένων, ενώ τα ψηφιδωτά συστήματα αποθηκεύουν την πληροφορία σε μορφή πλέγματος ψηφιδών.

Στα διανυσματικά GIS η καταγραφή και η επεξεργασία των χωρικών πληροφοριών γίνεται με τη χρήση της γεωμετρίας των διανυσμάτων που περιλαμβάνει σημεία, γραμμές και πολύγωνα, με τα οποία αντιπροσωπεύονται αντιστοίχως τα εξής γεωμετρικά στοιχεία του χώρου: τόποι, γραμμικά στοιχεία και επιφάνειες.

Τα ψηφιδωτά GIS βασίζονται στην αρχή των στοιχειωδών επιφανειών (raster, cells, pixels). Οι στοιχειώδεις επιφάνειες είναι συνήθως τετράγωνα ή παραλληλόγραμμα και ενίοτε τριγωνικής ή εξαγωνικής μορφής. Δημιουργείται δηλαδή ένα πλέγμα πάνω από μία εικόνα (συνήθως ψηφιακά σαρωμένος χάρτης), το οποίο διαχωρίζει την εικόνα σε πολύ μικρά στοιχειώδη κομμάτια-

ψηφίδες, παρόμοιες με αυτές που βλέπει κανείς όταν μεγεθύνει υπερβολικά μία ψηφιακή φωτογραφία.



Εικόνα 3. Βασικές δομές (μοντέλα) δεδομένων (raster, vector).

Οι ψηφιδωτοί χάρτες (raster ή grid) υστερούν στη δημιουργία των χωρικών συσχετίσεων που επιτυγχάνουν οι διανυσματικοί (vector) χάρτες. Για το λόγο αυτό τα σύγχρονα GIS χρησιμοποιούν διανυσματικούς χάρτες, ενώ συνοδεύονται και από ειδικές εφαρμογές μετατροπής των χαρτών από raster σε vector μορφή.

Εφαρμογές των GIS

Με τα GIS μπορούμε να εκτελέσουμε ποικίλους υπολογισμούς με τα γεωγραφικά δεδομένα και οποιαδήποτε άλλη πληροφορία μπορεί να συνδυαστεί με αυτά, όπως για παράδειγμα είναι ο υπολογισμός των αποστάσεων μεταξύ τοποθεσιών ή και ο χρόνος μιας διαδρομής. Επίσης, μπορούμε να δημιουργήσουμε πίνακες που να περιλαμβάνουν τα διάφορα χαρακτηριστικά του ψηφιακού χάρτη ή να προσθέσουμε οποιαδήποτε επιπλέον πληροφορία πάνω στο χάρτη. Μία σημαντική δυνατότητα που προσφέρουν τα GIS είναι το ότι προσδιορίζουν τις διαθέσιμες πληροφορίες στο γεωγραφικό χώρο.

Η δυνατότητα αυτή ονομάζεται «γεωκωδικοποίηση» (geocoding).

Το πεδίο εφαρμογής των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών είναι ιδιαίτερα ευρύ και περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως:

- Καταγραφή και διαχείριση της δημόσιας και ιδιωτικής ακίνητης περιουσίας (κτηματολόγιο),
- Πολεοδομικός και χωροταξικός σχεδιασμός,
- Διαχείριση οδικών δικτύων,
- Εθνική άμυνα και κατανομή στρατιωτικών εγκαταστάσεων,

- Αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών και προστασία του περιβάλλοντος με τη δυνατότητα δημιουργίας σεναρίων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης και άσκηση των υπηρεσιών στην αντιμετώπιση τους,
- Διαχείριση των φυσικών πόρων και των καλλιεργειών,
- Διαχείριση των δικτύων των οργανισμών κοινής ωφέλειας (ηλεκτρικό, τηλέφωνο, νερό, αποχέτευση, φυσικό αέριο, καλωδιακή τηλεόραση),
- Παρακολούθηση των οικονομικών, εμπορικών, βιομηχανικών και βιοτεχνικών δραστηριοτήτων για τον καλύτερο σχεδιασμό της ανάπτυξης της εθνικής οικονομίας,
- Παρακολούθηση της υγείας του πληθυσμού, εντοπισμό επιδημιών στη γένεση τους, σχεδιασμό νοσηλευτικών κέντρων σε σχέση με την κατανομή του πληθυσμού,
- Καταγραφή, τεκμηρίωση και προβολή των αρχαιολογικών ευρημάτων και μνημείων της χώρας,
- Παρακολούθηση της εκπαίδευσης του πληθυσμού, συσχέτιση πληθυσμιακών δεδομένων και σχεδιασμού νέων εγκαταστάσεων εκπαίδευσης,
- Διαχείριση δημογραφικών στοιχείων για την μακροπρόθεσμη πολιτική ανάπτυξης.

ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ - ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Γενικά

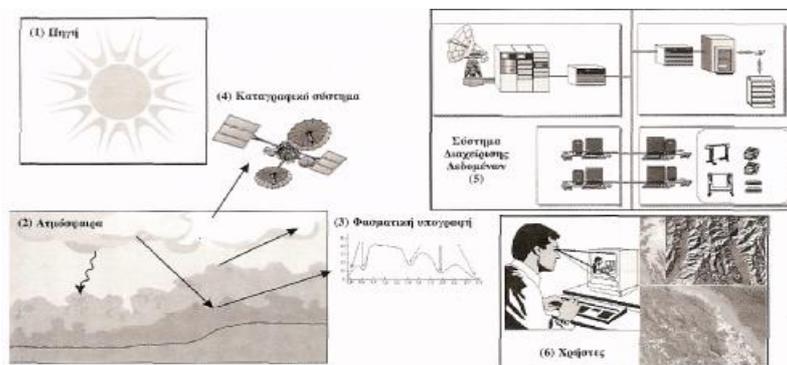
Η φωτοερμηνεία-τηλεπισκόπηση είναι ένα ταχέως αναπτυσσόμενο αντικείμενο που εξελίσσεται μεθοδολογικά, με την ανάπτυξη καινούργιων τεχνικών ενώ παράλληλα νέα, πιο εξελιγμένα καταγραφικά συστήματα τίθενται σε τροχιά, στην Γη αλλά και σε άλλους πλανήτες (Αρης, Σελήνη) παρέχοντας, νέου τύπου δεδομένα/εικόνες με την ερμηνεία και επεξεργασία των οποίων δεν είμαστε εξοικωμένοι. Ιδιαίτερα στην χαρτογράφηση άλλων πλανητών (Mars Global Surveyor), η φωτοερμηνεία-τηλεπισκόπηση αποτελεί το μόνο μέσο το οποίο έχουμε στην διάθεση μας για να προσδιορίσουμε τις φυσικοχημικές και γεωμορφολογικές παραμέτρους.

Από την άλλη πλευρά η ανάπτυξη διεθνών προγραμμάτων (TERRA, LANDMAP κ.α.) που αποσκοπούν στην χαρτογράφηση της γήινης επιφάνειας για περιβαλλοντικούς κυρίως λόγους, επιτρέπουν την διαθεσιμότητα δορυφορικών δεδομένων, σε όλο και μεγαλύτερη κλίμακα, ελεύθερα, χωρίς κόστος, σε όποιον το επιθυμεί. Παράδειγμα αποτελούν οι δορυφορικές εικόνες ASTER (διατίθενται δωρεάν από την US Geological Survey) που επιτρέπουν την χαρτογράφηση των καλύψεων γης, τον προσδιορισμό βιοφυσικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και τη σύνθεση τοπογραφικών χαρτών σε κλίμακα 1:100.000.

Στην τηλεπισκόπηση έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς οι ζώνες του ορατού και του εγγύς υπέρυθρου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ως οι κύριες φασματικές ζώνες ανίχνευσης. Οι ανιχνευτές τηλεπισκόπησης ανιχνεύουν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από κάποια επιφάνεια και καταγράφουν -μετρούν την έντασή της σε διαφορετικές ζώνες του φάσματος.

Η τηλεπισκόπηση ασχολείται με την μελέτη της ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή ανακλάται από τα αντικείμενα της γης και ορίζεται ως η μελέτη αντικειμένων και φαινομένων από απόσταση. Δηλαδή είναι η συλλογή, ανάλυση και ερμηνεία πληροφοριών μέσω καταγραφικών οργάνων τα οποία δεν είναι σε επαφή με το υπο-μελέτη αντικείμενο. Ο όρος χρησιμοποιείται για πληροφορίες που καταγράφονται σε μορφή εικόνας από καταγραφικά συστήματα που μεταφέρονται από αεροπλάνα ή από δορυφορικά συστήματα.

Ένα ιδεατό σύστημα τηλεπισκόπησης θα περιελάμβανε:



Εικόνα 4. Στοιχεία ιδεατού συστήματος τηλεπισκόπησης.

1. Μια ομοιόμορφη **πηγή ενέργειας** που θα παρέχει ενέργεια σε όλα τα μήκη κύματος κατά ένα γνωστό, σταθερό και υψηλής απόδοσης τρόπο, ανεξάρτητα από τον χώρο και τον χρόνο.

2. Μια αμελητέα και άνευ επιδράσεων **ατμόσφαιρα**. Μια ατμόσφαιρα που δεν επιδρά στην ακτινοβολία της πηγής είτε η ακτινοβολία συνέχιζε το δρόμο της προς τη γήινη επιφάνεια είτε ερχόταν από αυτήν.

3. Μοναδική αλληλεπίδραση της ύλης και της ενέργειας στην επιφάνεια της γης (υλικά στην επιφάνεια της γης με μοναδικές **φασματικές υπογραφές**). Αυτή η μοναδικότητα θα είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ανακλωμένων σημάτων που θα είναι χαρακτηριστικά, γνωστά και μοναδικά για το κάθε υλικό.

4. Ένας **τέλειος δέκτης** με υψηλό δείκτη ευαισθησίας σε όλα τα μήκη κύματος, που θα παρέχει δεδομένα μεγάλης χωρικής λεπτομέρειας σε απόλυτες τιμές φωτεινότητας για όλο το φάσμα.

5. Ένα **σύστημα διαχείρισης-επεξεργασίας δεδομένων** σε πραγματικό χρόνο. Στο σύστημα αυτό μόλις παραχθεί η φασματική απόκριση ενός αντικειμένου της γήινης επιφάνειας, θα λαβαίνει χώρα άμεση επεξεργασία η οποία θα οδηγεί στιγμιαία στην αναγνώριση του αντικειμένου.

6. Ένα τέλειο γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα που θα ολοκληρώνει τα δεδομένα σε μια γεωγραφική βάση δεδομένων επιτρέποντας την πρόσβαση σε αυτά από πολλούς χρήστες σε πραγματικό χρόνο έτσι ώστε να υποβοηθά τη λήψη αποφάσεων.

Στην πραγματικότητα η πηγή ενέργειας είτε φυσική όπως αυτή του ήλιου (παθητικά καταγραφικά συστήματα) είτε οι τεχνητές πηγές ενέργειας (που χρησιμοποιούν τα ενεργητικά καταγραφικά συστήματα) δεν είναι ομοιόμορφη. Η ατμόσφαιρα πάντα αλλοιώνει την ισχύ και την φασματική κατανομή της ενέργειας που διέρχεται από αυτή. Στην επιφάνεια της γης εντελώς διαφορετικοί τύποι υλικών έχουν μεγάλη φασματική ομοιότητα έτσι η διάκριση-αναγνώριση τους είναι αδύνατη. Κανένας δέκτης δεν είναι ευαίσθητος σε όλα τα μήκη κύματος. Επίσης υπάρχουν περιορισμοί στο πόσο μικρό μπορεί να είναι ένα αντικείμενο για να καταγραφεί η φασματική του απόκριση σε σχέση με το ύψος στο οποίο λειτουργεί το καταγραφικό σύστημα. Ο όγκος των δεδομένων που προκύπτει από τα τηλεπισκοπικά καταγραφικά συστήματα είναι τεράστιος και είναι αδύνατη η στοιχειώδης επεξεργασία όλων αυτών των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον η επεξεργασία σε καμία περίπτωση δεν είναι αυτοματοποιημένη και απαιτείται ουσιαστική ανθρώπινη παρέμβαση.



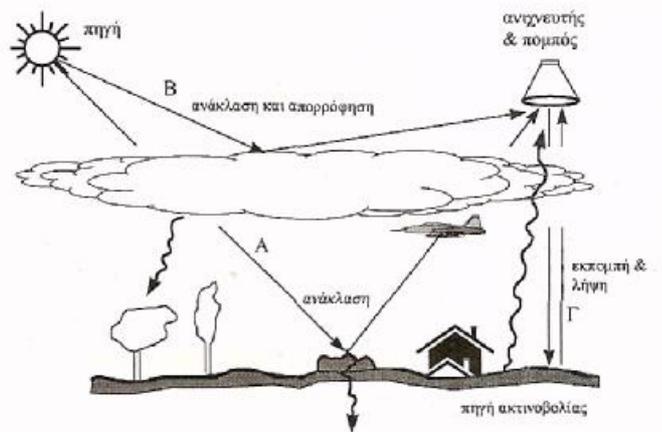
Εικόνα 5. Δορυφορικές εικόνες.

Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα είναι η ταξινόμηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σύμφωνα με το μήκος κύματος ή τη συχνότητα και συμπεριλαμβάνει τις κοσμικές ακτίνες (ακτίνες γ), το οπτικό φάσμα και τα ραδιοκύματα. Για την τηλεπισκόπηση, το πιο σημαντικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι εκείνο που δημιουργείται από την ακτινοβολία του ήλιου.

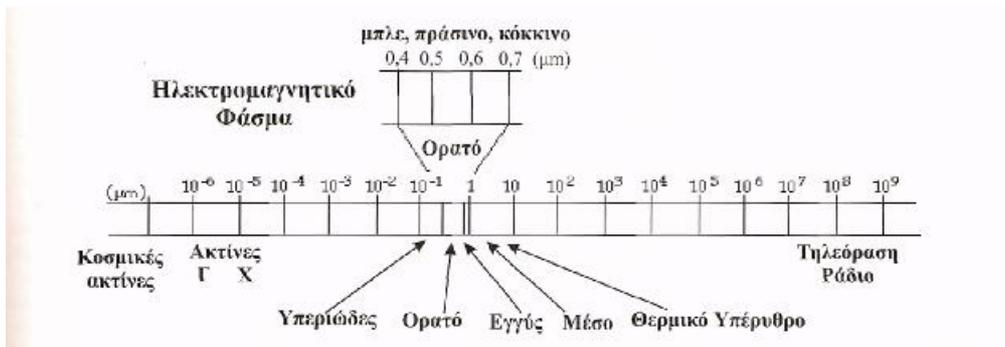
Ένα τμήμα του φάσματος δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία αφού διέρθει από την ατμόσφαιρα προσπίπτει στην επιφάνεια της γης ανακλάται και καταγράφεται στον δέκτη. Επιπλέον ένα τμήμα της ακτινοβολίας απορροφάται από την γη και επανεκπέμπεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (θερμική). Η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται και αυτή για τον σχηματισμό

ειδικών απεικονίσεων, η ερμηνεία των οποίων διαφέρει από τις φωτογραφίες που καταγράφονται στο οπτικό φάσμα.



Εικόνα 6. Απλοποιημένο διάγραμμα πρωτογενούς συστήματος τηλεπισκόπησης.

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διακρίνεται σε ζώνες που παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Κάθε φασματική ζώνη (π.χ. ορατό) περιέχει μία σειρά υποδιαιρέσεων (π.χ. μπλε, πράσινο, κόκκινο). Οι υποδιαιρέσεις του φάσματος ορίζονται μάλλον αυθαίρετα ενώ στην πραγματικότητα η μετάβαση από ζώνη σε ζώνη είναι βαθμιαία.



Φασματική Ζώνη	Μήκος Κύματος
Ακτίνες Γάμα	< 0.03 nm
Ακτίνες Χ	0.03 – 300 nm
Υπεριώδης Ακτινοβολία <ul style="list-style-type: none"> Εξαιρετικά υπεριώδεις → 0.01-0.2 μm Άπω υπεριώδεις → 0.20-0.30 μm Εγγύς υπεριώδεις 0.30-0.38 μm 	0.01 – 0.38 μm
Ορατό <ul style="list-style-type: none"> Μπλε → 0.4- 0.5 μm Πράσινο → 0.5-0.6 μm Ερυθρό → 0.6-0.7 μm 	0.38 – 0.72 μm
Εγγύς Υπέρυθρο	0.72 - 1.3 μm
Μέσο Υπέρυθρο	1.3 – 3 μm
Άπω Υπέρυθρο	3 – 15 μm
Μικροκύματα	0.3-30 cm
Ραδιοφωνικά Κύματα	>30 cm

Εικόνα 7. Οι ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ($1\text{nm}=10^{-9}\text{ m}$, $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{ m}$, $1\text{mm}=10^{-3}\text{ m}$, $1\text{cm}=10^{-2}\text{ m}$).

Σαν εικόνα θεωρείται οποιαδήποτε φασματική καταγραφή ανεξάρτητα από το μήκος κύματος ή το καταγραφικό σύστημα που την δημιουργεί ενώ αντίθετα η φωτογραφία καταγράφεται σε μήκη κύματος από 0.3-0.9 m.

Το ανακλώμενο φάσμα (τα μήκη κύματος του οποίου μπορούν να ανακλαστούν και να διαθλασθούν με φακούς) εκτείνεται από 0.38-30 μm και ορίζει το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας που χρησιμοποιείται στην τηλεπισκόπηση.

Υπεριώδης Ακτινοβολία

Εκτείνεται από 0.01 μm έως 0.38 μm. Οι εικόνες σε υπεριώδη καταγραφή έχουν χαμηλή αντίθεση εικόνας και μικρή διαχωριστική ικανότητα λόγω της ισχυρής ατμοσφαιρικής σκέδασης που λαβαίνει χώρα σε αυτά τα μήκη κύματος. Χρησιμοποιείται σπάνια. Μια εφαρμογή είναι η ανίχνευση πετρελαιοκηλίδων στην θάλασσα.

Ορατό φάσμα

Διαιρείται στα τρία βασικά χρώματα που ονομάζονται πρωτεύοντα αθροιστικά χρώματα επειδή κανένα από αυτά δεν μπορεί να αναπαραχθεί από τη σύνθεση άλλων χρωμάτων. Εκτείνονται προσεγγιστικά από 0.4-0.5 μm (μπλε), 0.5-0.6 μm (πράσινο) και 0.6-0.7 μm (κόκκινο). Όλα τα υπόλοιπα χρώματα μπορούν να αναπαραχθούν από την σύνθεση των τριών πρωτευόντων χρωμάτων.

Υπέρυθρος Ακτινοβολία

Το διάστημα (0.7-1.3) και (1.3-3) μm περιλαμβάνει την εγγύς και μέση υπέρυθη ακτινοβολία αντίστοιχα και συμπεριλαμβάνει το φωτογραφικό υπέρυθρο (0.7-0.9 μm) που χρησιμοποιείται στις υπέρυθρες φωτογραφίες. Η ζώνη αυτή αντιστοιχεί στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο και ανακλάται στην επιφάνεια της γης (ανακλώμενο υπέρυθρο). Η ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο συμπεριφέρεται όπως το ορατό φάσμα. Συνεπώς οι εφαρμογές

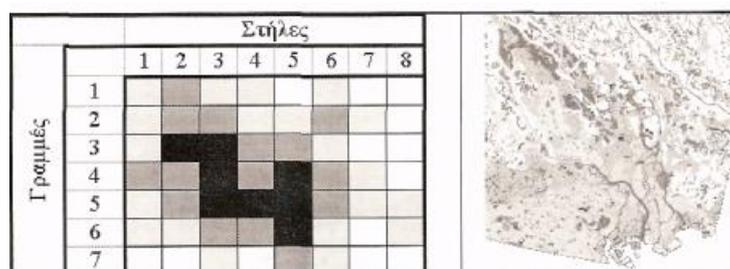
της τηλεπισκόπησης που αναλύουν εικόνες στο εγγύς υπέρυθρο χρησιμοποιούν φίλτρα και φιλμ με χαρακτηριστικά παρόμοια με εκείνης της συμβατικής φωτογραφίας που καταγράφεται στο ορατό. Αντίθετα το διάστημα με μήκος κύματος (3-14 μ m) αποτελεί την άπω υπέρυθρη ζώνη, αντιπροσωπεύει το τμήμα της ακτινοβολίας που επανεκπέμπεται από την γη και ουσιαστικά αποτελεί θερμική ενέργεια για αυτό το λόγο ονομάζεται θερμικό υπέρυθρο.

Μικροκυματική Ακτινοβολία

Τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση είναι εκείνα από 1mm μέχρι 1m. Η φασματική ζώνη με τα πιο μικρά μήκη κύματος έχει παρόμοιες ιδιότητες με τη θερμική ενέργεια του άπω υπέρυθρου. Οι μεγάλοι μήκους κύματος ακτινοβολίες εμπίπτουν στα ραδιοκύματα και χρησιμοποιούνται για επαγγελματικές ραδιοεκπομπές.

Χαρακτηριστικά ψηφιακών φωτογραφιών

Οι ψηφιακές εικόνες αποτελούνται από διακριτά στοιχεία (εικονοστοιχεία-ψηφίδες). Σε κάθε εικονοστοιχείο (x,y) καταγράφεται η τιμή της έντασης της ακτινοβολίας $f(x,y)$ σε κάποια δεδομένη περιοχή του φάσματος (κανάλι). Η φωτεινότητα της εικόνας στην θέση (x,y) είναι ανάλογη της τιμής $f(x,y)$. Άρα η ψηφιακή εικόνα αποτελεί μια διακριτή αναπαράσταση της φυσικής πραγματικότητας σε μορφή πίνακα στον οποίο οι γραμμές και οι στήλες αντιστοιχίζονται στις συντεταγμένες της εικόνας και η ένταση της ακτινοβολίας σε μια απόχρωση του γκρι.



Εικόνα 8. Ψηφιακή δορυφορική εικόνα

Τρεις έννοιες είναι απαραίτητες να κατανοηθούν προκειμένου να αξιολογηθεί η ποιότητα και το περιεχόμενο μιας ψηφιακής εικόνας.

Χωρική Διακριτική Ικανότητα

Έχει σχέση με το μέγεθος του εικονοστοιχείου το οποίο προσδιορίζει το ελάχιστο δυνατό μέγεθος αντικειμένου που μπορεί να διακριθεί στην φωτογραφία. Παραδείγματα δορυφόρων με διαφορετική χωρική διακριτική ικανότητα στο παγχρωματικό είναι α) Landsat TM με 15m, β) SPOT με 2.5m, γ) IRS με 6m , και ο IKONO5 με 1m.

	1	2	3	4	5	6		1	2	3
1							1			
2							2			
3							3			
4										
5										
6										

Εικόνα 9. Με γκρι απεικονίζεται η ξηρά ενώ με λευκό η θάλασσα. Η αριστερή εικόνα καταγράφηκε με μέγεθος εικονοστοιχείου υποδιπλάσιο (1/2) σε σχέση με την δεξιά που γενικεύει την ακτογραμμή (μείωση της χωρικής διακριτικής ικανότητας).



Εικόνα 10. Χωρική διακριτική ικανότητα. Η αριστερή φωτογραφία, έχει μέγεθος εικονοστοιχείου 6 μέτρα η μεσαία 12 μέτρα και η δεξιά 24 μέτρα .

Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα

Ρυθμίζει τον αριθμό των διαβαθμίσεων που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας. Παραδείγματα δορυφόρων με διαφορετική ραδιομετρική διακριτική ικανότητα είναι:

- Landsat TM και SPOT με 256 διαβαθμίσεις,
- IRS με 64 διαβαθμίσεις και
- IKONOS με 2048 διαβαθμίσεις.

Δηλαδή κάθε ψηφιακό καταγραφικό σύστημα καταγράφει ένα ελάχιστο (H_{min}) και ένα μέγιστο (H_{max}) ποσό ενέργειας σε ένα φασματικό κανάλι. Η διαφορά $H_{max}-H_{min}$ τυποποιείται σε ένα ακέραιο αριθμό διαβαθμίσεων από 0 έως μια τιμή B (όπου B η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα). Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα έχει άμεση σχέση με το ελάχιστο ποσοστό ενέργειας που απαιτείται να προσληφθεί στο καταγραφικό σύστημα για να μεταβληθεί η διαβάθμιση του γκριζου με την οποία θα αναπαρασταθεί στην οθόνη.

16 διαβαθμίσεις του γκρι																
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

4 διαβαθμίσεις του γκρι																
B	1				2				3				4			

2 διαβαθμίσεις του γκρι																
Γ	1 (θάλασσα)								2 (ξηρά)							

Εικόνα 11. Η γραμμή της φωτογραφίας (Α) έχει καταγραφεί με 16 διαβαθμίσεις τον γκρι, η ίδια γραμμή καταγράφηκε με 4 διαβαθμίσεις τον γκρι (Β), ενώ στην συνέχεια (Γ) καταγράφηκε με 2 διαβαθμίσεις.

Το αποτέλεσμα είναι ότι ομάδες εικονοστοιχείων στην Β και Γ καταγραφή να εμφανίζονται με το ίδιο βαθμό φωτεινότητας. Εάν το λευκό απεικονίζει εικονοστοιχείο της ξηράς ενώ το μαύρο εικονοστοιχείο της θάλασσας και οι ενδιάμεσες διαβαθμίσεις τον γκρι την μετάβαση, παρατηρούμε ότι η μείωση της ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας επηρεάζει την χωρική διακριτική ικανότητα.

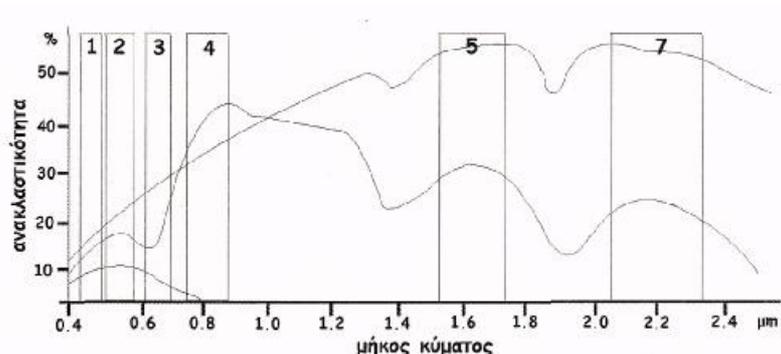


Εικόνα 12. Μεταβολή της ραδιομετρικής διακριτικής ικανότητας, ο αριθμός των διαβαθμίσεων μειώνεται από 256 επίπεδα (αριστερά) σε 16 επίπεδα (μεσαία εικόνα) και σε 2 (δεξιά εικόνα).

Φασματική Δειγματοληψία

Κάθε υλικό παρουσιάζει ξεχωριστή κατανομή ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε σχέση με το μήκος κύματος λ (φασματική απόκριση). Η καμπύλη φασματικής απόκρισης δηλαδή η καταγραφή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ως προς το μήκος κύματος ονομάζεται φασματική υπογραφή του αντικειμένου και είναι μοναδική για κάθε υλικό.

Η μελέτη της φασματικής υπογραφής ενός αντικειμένου μας επιτρέπει να επιλέξουμε τα τμήματα του φάσματος στα οποία είναι ευκολότερη η διάκριση ενός αντικειμένου από το περιβάλλον. Η φασματική δειγματοληψία ενός καταγραφικού συστήματος αναφέρεται στον τρόπο (σε ποια κανάλια-ζώνες) με τον οποίο καταγράφεται η ανακλώμενη ακτινοβολία-ενέργεια.



Εικόνα 13. Φασματικές υπογραφές νερού, βλάστησης, εδάφους και η φασματική δειγματοληψία τον Θεματικού Χαρτογράφου του LANDSAT.

Πίνακας 3. Οι εφαρμογές των καναλιών του Θεματικού Χαρτογράφου (Thematic Mapper, συντομογραφία TM) του δορυφόρου Landsat.

Κανάλι	Εύρος Φασματικού Καναλιού (μήκος κύματος σε μm)	Εφαρμογές
1	0.45-0.52 Μπλε	Σχεδιάστηκε για να διεισδύει στις υδάτινες επιφάνειες. Πολύ χρήσιμο για την χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών, την διάκριση διαφόρων ειδών φυτοκάλυψης, την χαρτογράφηση δασικών περιοχών, τον εντοπισμό ανθρωπογενών κατασκευών.
2	0.52-0.60 Πράσινο	Σχεδιάστηκε για να μετράει το μέγιστο της ανάκλισης της φασματικής καμπύλης της βλάστησης. Πολύ χρήσιμο για διάκριση διαφόρων ειδών βλάστησης, ανθρωπογενών κατασκευών.
3	0.63-0.69 Κόκκινο	Σχεδιάστηκε για να καταγράφει στην περιοχή απορρόφησης της χλωροφύλλης. Χρήσιμο για διάκριση διαφορετικών ειδών φυτών, ανθρωπογενών κατασκευών.
4	0.76-0.90 Εγγύς Υπέρυθρο	Χρήσιμο για τον προσδιορισμό ειδών βλάστησης την περιεχόμενη βιομάζα, την διάκριση υδάτινων επιφανειών, την χαρτογράφηση της περιεχόμενης υγρασίας στο έδαφος.
5	1.55-1.75 Μέσο Υπέρυθρο	Χρήσιμο για προσδιορισμό της υγρασίας των φυτών, της υγρασίας του εδάφους, στην διάκριση νεφών από επιφάνειες με χιόνια.
6	10.4-12.5 Απώ (Θερμικό) Υπέρυθρο	Χρήσιμο για εφαρμογές θερμικής χαρτογράφησης, στην διάκριση διαφορών στην περιεχόμενη υγρασία του εδάφους, στον εντοπισμό ασθενειών της βλάστησης.
7	2.08-2.35 Μέσο Υπέρυθρο	Χρήσιμο για την διάκριση ορυκτών και πετρωμάτων, τον προσδιορισμό της περιεχόμενης υγρασίας της βλάστησης.

Φωτοερμηνεία

Φωτοερμηνεία είναι η διεργασία συλλογής δεδομένων και σύνθεσης στοιχείων από μία φωτογραφία έτσι ώστε να επιτευχθεί ο προσδιορισμός φυσικών και ανθρωπογενών αντικειμένων και διεργασιών. Όταν παρατηρούμε φωτογραφία διαπιστώνουμε την ύπαρξη αντικειμένων ποικίλου σχήματος και μεγέθους που αντιστοιχούν σε αντικείμενα του φυσικού περιβάλλοντος ή σε ανθρωπογενής κατασκευές. Μερικά από αυτά μπορεί να ερμηνευτούν άμεσα ενώ άλλα δυσκολότερα ή και καθόλου, ανάλογα με τις ικανότητες και την εμπειρία του παρατηρητή. Μια συστηματική μελέτη φωτοερμηνείας περιλαμβάνει την συλλογή πολλών χαρακτηριστικών. Τα χαρακτηριστικά που

θεωρούνται κάθε φορά διαφέρουν ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής της φωτοερμηνείας.

Οι αρχάριοι φωτοερμηνευτές συχνά αντιμετωπίζουν προβλήματα στην ερμηνεία των αεροφωτογραφι δορυφορικών τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Οι κύριοι λόγοι είναι ότι:

- Η επιφάνεια της γης καταγράφεται σε κλίμακα παρατήρησης με την οποία οι φωτοερμηνευτές δεν είναι εξοικειωμένοι.
- Επιπλέον η καταγραφή (φασματική δειγματοληψία) γίνεται αρκετές φορές σε μήκη κύματος πέραν του ορατού φάσματος με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ανάλογη εμπειρία-γνώση για το πώς εμφανίζονται-ερμηνεύονται συγκεκριμένα φαινόμενα-αντικείμενα σε αυτές τις περιοχές του φάσματος.
- Η γεωμετρία των ψηφιακών δορυφορικών εικόνων είναι διαφορετική από αυτή των αεροφωτογραφιών. Αυτό έχει σχέση και με τον διαφορετικό τρόπο καταγραφής της εικόνας.

Φωτοερμηνευτικά Χαρακτηριστικά

Η τυποποίηση της φωτοερμηνευτικής γνώσης για ένα συγκεκριμένο αντικείμενο γίνεται με μια σειρά από ιδιότητες (φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά) στις οποίες αντιστοιχίζονται συγκεκριμένες τιμές. Η περιγραφή των αντικειμένων με βάση τα φωτοερμηνευτικά τους χαρακτηριστικά παρουσιάζει κάποια μεθοδολογικά πρόβλημα. Οι κύριες αιτίες είναι ότι τα φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά αποτελούν ποιοτικές κατά κύριο λόγο περιγραφές των χαρακτηριστικών που παρατηρεί ο ερμηνευτής στην εικόνα, οι οποίες εκφράζονται διαμέσου της φυσικής (ανθρώπινης γλώσσας από την φύση της, ασαφής και ανακριβής). Πολλά φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά έχουν σχετικές τιμές, όπως για παράδειγμα ο φωτογραφικός τόνος που εξαρτάται από τη φασματική δειγματοληψία (φασματικό κανάλι), το ύψος του ηλίου την στιγμή της λήψης, από την εποχή, το κλίμα κ.α. Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει μία πλήρης και συστηματοποιημένη περιγραφή των φωτοερμηνευτικών χαρακτηριστικών. Τα κύρια φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά είναι:

- **Σχήμα.** Αναφέρεται στην γενική μορφή, διάταξη, ή περίγραμμα μεμονωμένων αντικειμένων ή ακόμη και ο ύψος του αντικειμένου στην περίπτωση στερεοσκοπικής παρατήρησης.
- **Μέγεθος.** Θεωρείται σε συνάρτηση με την κλίμακα της φωτογραφίας. Συνήθως λαμβάνονται υπόψη και τα σχετικά μεγέθη των άλλων αντικειμένων.
- **Σκιάσεις.** Το σχήμα ή το περίγραμμα των σκιάσεων συσχετίζεται άμεσα με το μέγεθος και το σχήμα του αντικειμένου, αποτελεί μία εκτίμηση για το σχετικό ύψος των αντικειμένων. Οι σκιές δημιουργούν προβλήματα αφού είναι σχεδόν αδύνατη η συλλογή φασματικών πληροφοριών από τις περιοχές που καλύπτουν. Το μέγεθος τους εξαρτάται από το ύψος του

ηλίου, την ύπαρξη νέφωσης και από τον προσανατολισμό και το σχετικό ύψος των αντικειμένων.

- **Φωτογραφικός Τόνος.** Αναφέρεται στην φωτεινότητα (σχετική) των αντικειμένων στις εικόνες. Αντιπροσωπεύει το σχετικό ποσό φωτός που ανακλάται από ένα αντικείμενο και καταγράφεται από το συγκεκριμένο καταγραφικό όργανο (φωτογραφική μηχανή, πολυφασματικός σαρωτής, κ.α.). Ο φωτογραφικός τόνος εξαρτάται, πέραν της ανακλαστικότητας της επιφάνειας του αντικειμένου και από:
 1. την σχετική θέση/προσανατολισμού του αντικειμένου σε σχέση με την εκπεμπόμενη ακτινοβολία (π.χ. ήλιος),
 2. το γεωγραφικό πλάτος (το ποσό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας μειώνεται με την αύξηση του πλάτους στην περίπτωση που η πηγή ενέργειας είναι ο ήλιος),
 3. το είδος του καταγραφικού μέσου (ευαισθησία φωτογραφικού φιλμ, κανάλι πολυφασματικού σαρωτή, κ.α.).
- **Φωτογραφική Υφή.** Προσδιορίζει την συχνότητα αλλαγής των τόνων και την χωρική τους τοποθέτηση σε μία αεροφωτογραφία. Παράγεται από την συνάθροιση μονάδων τόσων μικρών που είναι σχεδόν αδύνατο να διακριθούν αυτόνομα στην αεροφωτογραφία. Είναι χρήσιμο στοιχείο για την διάκριση αντικειμένων που έχουν τον ίδιο τόνο.
- **Πρότυπο/Μορφή.** Αναφέρεται στην χωρική-γεωμετρική τοποθέτηση συγκεκριμένων υποαντικειμένων (είναι τα μικρότερα σε μέγεθος αντικείμενα-υποσύνολα ενός αντικειμένου).
- **Διάταξη.** Είναι η κατά χώρο διεύθυνση των αντικειμένων και μπορεί να είναι φυσική ή ανθρωπογενής.
- **Σχέση με το Περιβάλλον/Συσχέτιση.** Αναναφέρεται στην βάση γνώσης (εκ των προτέρων γνώση) που έχει αναπτύξει ο φωτοερμηνευτής και του επιτρέπει να συσχετίζει τα αντικείμενα ή την θέση αυτών με άλλα αντικείμενα ή φυσικές διεργασίες και καταστάσεις.

Κλειδες Φωτοερμηνείας

Για την υποβοήθηση της φωτοερμηνείας και ιδιαίτερα των αρχάριων φωτοερμηνευτών έχουν δημιουργηθεί κλειδες φωτοερμηνείας ή αναγνώρισης (φωτοερμηνευτικά κλειδιά). Οι κλειδες φωτοερμηνείας έχουν δύο μορφές επιλογικές ή διχοτομικές):

- **Επιλογικές Κλειδες Φωτοερμηνείας.** Είναι διαγράμματα κατακόρυφων είτε πλάγιων είτε επίγειων φωτογραφιών, που δείχνουν την τυπική εμφάνιση των υπό φωτοερμηνεία αντικειμένων ή καταστάσεων. Τα παραπάνω συνοδεύονται από περιγραφές των μορφολογικών καθώς και των φωτογραφικών στοιχείων της φωτοερμηνείας. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στον φωτοερμηνευτή μετά από σύγκριση να επιλέξει την περίπτωση που ταιριάζει περισσότερο στο αντικείμενο ή κατάσταση που ερμηνεύει.

- **Διχοτομικές Κλείδες Φωτοερμηνείας.** Αυτές έχουν διαμορφωθεί έτσι ώστε η φωτοερμηνεία να γίνεται σταδιακά από τις γενικές στις ειδικές κατηγορίες αντικειμένων ή καταστάσεων, με την μορφή ζευγών εναλλακτικών λύσεων από τις οποίες κάθε φορά, ο φωτοερμηνευτής απορρίπτει την μία μέχρι που να καταλήξει στην πιθανή τελική κατηγορία.

Φωτοερμηνευτικό κλειδί για τον Προσδιορισμό της ΘεμΔι

Η τάξη ΘεμΔι (Θεματική Διακριτική Ικανότητα) είναι ένας αριθμός από 0 έως 9 που καθορίζεται με φωτοερμηνεία και προσδιορίζει τις εφαρμογές και το θεματικό πληροφοριακό περιεχόμενο της εικόνας. Η αξιολόγηση της ΘεμΔι δορυφορικών εικόνων είναι πολύ δύσκολο να προσδιορισθεί ποσοτικά για αυτό και ο προσδιορισμός της γίνεται ποιοτικά, με φωτοερμηνευτικά κλειδιά.

Πίνακας 4. Απαιτούμενη κλίμακα για την ανίχνευση-αναγνώριση επιλεγμένων αντικειμένων.

υδροηλεκτρικό φράγμα	1:30.000 - 1:10.000
σιδηροδρομικό δίκτυο	1:30.000 - 1:8.000
οδικό δίκτυο	1:30.000 - 1:5.000
σταθμός φυσικού αερίου	1:20.000 - 1:8.000
βλάστηση	1:20.000 - 1:8.000
ραντάρ	1:10.000 - 1:5.000
αεροπλάνο	1:10.000 - 1:2.000

Ο προσδιορισμός της τάξης γίνεται με βάση την ανίχνευση, διάκριση ή αναγνώριση συγκεκριμένων αντικειμένων που είναι είτε φυσικά (βλάστηση, υδρογραφία, λιθολογία, γεωμορφές) είτε γεωργικά είτε αστικά-βιομηχανικά. Υπενθυμίζουμε ότι:

Ανίχνευση είναι ο προσδιορισμός της ύπαρξης ενός αντικειμένου ή δραστηριότητας από ελάχιστο αριθμό στοιχείων,

Διάκριση είναι ο προσδιορισμός 2 γειτονικών αντικειμένων που έχουν ήδη ανιχνευθεί ότι είναι διαφορετικού τύπου (ανήκουν σε άλλες τάξεις) με βάση ένα ή περισσότερα φωτοερμηνευτικά χαρακτηριστικά,

Αναγνώριση αναφέρεται στη δυνατότητα να προσδιορισθεί η ταυτότητα ενός αντικειμένου (π.χ. δρόμος 1ης τάξης, γήπεδο καλαθοσφαίρισης, κ.α.) ή δραστηριότητας με αναγνώριση του είδους, της τάξης ή της κατηγορίας στην οποία ανήκει και με βάση μόνο τα φωτοερμηνευτικά του χαρακτηριστικά.

Πίνακας 5. Περιγραφικό κλειδί για την αξιολόγηση της θεματικής διακριτικής ικανότητας (ΘέμΔΙ) μιας παγχρωματικής εικόνας.

Τάξη 0:	Η ερμηνεία είναι σχεδόν αδύνατη λόγω της πολύ χαμηλής διακριτικής ικανότητας, της κακής εκτύπωσης, της νέφωσης, των σκιών κ.α.
Τάξη 1:	<u>Ανίχνευση</u> λιμενικών εγκαταστάσεων μεσαίου μεγέθους. <u>Διάκριση</u> αεροδιαδρόμων από μεγάλους χώρους στάθμευσης. <u>Διάκριση</u> μεταξύ των κύριων χρήσεων-καλύψεων γης (αστική, γεωργική, δάσος, νερό, γυμνό έδαφος). <u>Αναγνώριση</u> του προτύπου του υδρογραφικού δικτύου (δενδρικό, κ.α.) σε μικρή κλίμακα (εκτεταμένη περιοχή).
Τάξη 2:	<u>Ανίχνευση</u> V κυματισμού μεγάλων πλοίων, πολύ μεγάλων (>600 στρέμματα) αρδευόμενων εκτάσεων, πολύ μεγάλων κτιρίων (νοσοκομεία, βιομηχανίες). <u>Αναγνώριση</u> κύριων αυτοκινητοδρόμων (1 ^{ης} τάξης).
Τάξη 3:	<u>Ανίχνευση</u> ανεξάρτητων κτιρίων σε οικιστικές περιοχές, τραινών. <u>Αναγνώριση</u> ποτάμιων οδών που είναι δυνητικά πλωτές από φορηγίδες. <u>Διάκριση</u> φυσικού δάσους από οπωροφόρα.
Τάξη 4:	<u>Αναγνώριση</u> αγροικιών, σιλό ή άλλων μεγάλων γεωργικών βιομηχανικών κτιρίων. <u>Αναγνώριση</u> διπλών σιδηροδρομικών γραμμών. <u>Ανίχνευση</u> γηπέδων μπάσκετ και τένις σε αστικές περιοχές. <u>Ανίχνευση</u> του ίχνους οχημάτων σε αγροτικές περιοχές.
Τάξη 5:	<u>Ανίχνευση</u> α) μεγάλων ζώων (ελέφαντα, καμηλοπάρδαλη) σε περιοχές με πολύ χαμηλή βλάστηση, β) αυτοκινήτων. <u>Αναγνώριση</u> α) ομπρέλας (προστασία από ήλιο) ή σκηνής για πάνω από 2 άτομα β) των μεμονωμένων βαγονιών σιδηροδρομικών οχημάτων καθώς και του τύπου τους (ντιζελ, ατμομηχανές), γ) δένδρων με κωνική διάταξη όπως τα έλατα. <u>Διάκριση</u> κωνοφόρων από φυλλοβόλα την περίοδο πτώσης των φύλλων.
Τάξη 6:	<u>Ανίχνευση</u> πατημασιών σε γυμνές από βλάστηση περιοχές. <u>Ανίχνευση</u> δενδρυλλίων όπως η ινδική κάνναβη (απαγορευμένες καλλιέργειες) βάση της υψής. <u>Διάκριση</u> αγρών με καλαμπόκι από αγρούς με σιτάρι, βρώμη. <u>Αναγνώριση</u> του τύπου των αυτοκινήτων (επιβατικό από αγροτικό ή ημιφορητό). <u>Αναγνώριση</u> κολώνων τηλεπικοινωνιών ή ηλεκτρικού δικτύου σε οικιστικές περιοχές.
Τάξη 7:	<u>Αναγνώριση</u> ώριμων φυτών βαμβακιού σε αγρό που είναι γνωστό ότι είναι σπαρμένος με βαμβάκι. <u>Ανίχνευση</u> των σκαλοπατιών μιας σκάλας. <u>Ανίχνευση</u> βράχων σε ακάλυπτες περιοχές ενός δάσους.
Τάξη 8:	<u>Αναγνώριση</u> κυκλοφοριακής σήμανσης. <u>Ανίχνευση</u> πινακίδων αυτοκινήτων.
Τάξη 9:	<u>Αναγνώριση</u> των στηλών ενός φράκτη. <u>Αναγνώριση</u> των γραμμώσεων των σιδηροτροχιών.

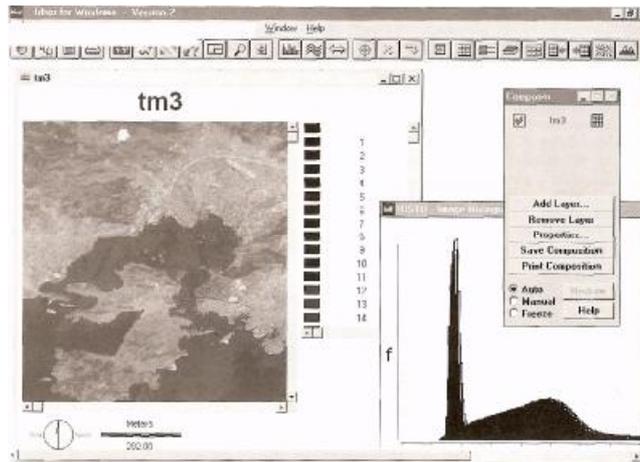
Ψηφιακή τηλεπισκόπηση

Η ψηφιακή τηλεπισκόπηση ασχολείται με την ανάλυση δορυφορικών εικόνων με ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Τέτοιες εικόνες μπορούν να προέλθουν από μετατροπή αναλογικών εικόνων σε ψηφιακές με χρήση σαρωτών είτε από ψηφιακά καταγραφικά συστήματα.

Τρεις είναι οι κύριοι στόχοι της ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας:

1. η γεωμετρική και η ραδιομετρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων,
2. η βελτίωση της ποιότητας των εικόνων έτσι ώστε να διευκολυνθεί η ερμηνεία τους,
3. η εξαγωγή φυσικών ή ανθρωπογενών αντικειμένων, η παραμετρική τους αναπαράσταση και η ενσωμάτωσή τους σε ένα γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα.

Βασικά στοιχεία μιας μονάδας για την ψηφιακή επεξεργασία εικόνας είναι η κεντρική μονάδα υπολογιστή, οθόνη, οι μονάδες αποθήκευσης και αναπαραγωγής δεδομένων, οι περιφερειακές μονάδες (εκτυπωτές, ψηφιοποίησης, ψηφιακοί σαρωτές).



Εικόνα 14. Κεντρική οθόνη και μενού επιλογών λογισμικού περιβάλλοντος επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων.

Οι βασικές λειτουργίες ενός λογισμικού ψηφιακής επεξεργασίας εικόνας είναι:

- γεωμετρικές και ραδιομετρικές διορθώσεις,
- ενίσχυση της αντίθεσης φωτεινότητας της εικόνας,
- αριθμητική δορυφορικών εικόνων (φίλτρα, πράξεις μεταξύ φασματικών καναλιών, ανάλυση κυρίων συνιστωσών κ.α.),
- ταξινόμηση εικόνας, εντοπισμός θεματικών τάξεων, σύνθεση θεματικών χαρτών,
- ανάλυση υπερφασματικών και μικροκυματικών δεδομένων,
- έμπειρα συστήματα, σύνθεση βάσεων γνώσης,
- ολοκλήρωση δορυφορικών εικόνων με ψηφιακά μοντέλα εδάφους και σύνθεση ψηφιακών υψομετρικών μοντέλων εδάφους από δορυφορικές εικόνες.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

Γενικά

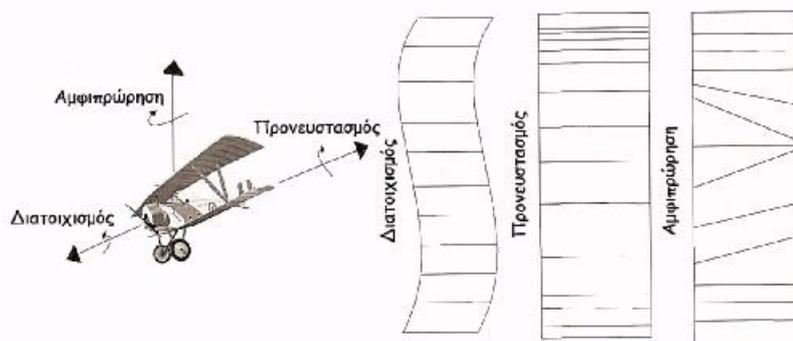
Οι ψηφιακές εικόνες συλλέγονται από καταγραφικά συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε δορυφόρους και εμπεριέχουν συστηματικές και μη συστηματικές γεωμετρικές παραμορφώσεις.

Μερικοί παράγοντες που παραμορφώνουν την γεωμετρία της εικόνας έχουν σχέση με την αλληλεπίδραση του συστήματος δορυφόρου-γης και είναι

- α) η κίνηση της πλατφόρμας (δορυφόρου),
- β) η περιστροφή της γης,
- γ) η επίδραση της καμπυλότητας της γης κ.α.

Επιπλέον, η παραμόρφωση που υφίσταται μία δορυφορική εικόνα εξαρτάται από τον τρόπο λειτουργίας του φασματικού σαρωτή (συστήματος λήψης) και κατά συνέπεια του τρόπου καταγραφής της εικόνας.

Κάποιες από αυτές τις παραμορφώσεις (περιστροφή της γης, καμπυλότητα της γης, πανοραμική παραμόρφωση, προσανατολισμός εικόνας κατά μεσημβρινό κ.α.) μπορούν να διορθωθούν με τη χρήση των δεδομένων της τροχιάς του δορυφόρου σε συνδυασμό με την γεωμετρία του συγκεκριμένου καταγραφικού συστήματος. Άλλες παραμορφώσεις (μεταβολή στην ταχύτητα-ύψος του δορυφόρου, διατοιχισμός, προνευστασμός, αμφιπρόσθιση, κ.α.) διορθώνονται με τη συσχέτιση των συντεταγμένων των εικονοστοιχείων της ψηφιακής εικόνας (φωτοσταθερά) με τις αντίστοιχες συντεταγμένες στο έδαφος, έτσι όπως αυτές προσδιορίζονται σε έναν τοπογραφικό χάρτη ή με ένα GPS στο ύπαιθρο.



Εικόνα 15. Οι γωνίες στροφής ενός καταγραφικού συστήματος και οι γεωμετρικές παραμορφώσεις σε παράλληλες - ισοδιάστατες γραμμές λόγω των γωνιών στροφής.

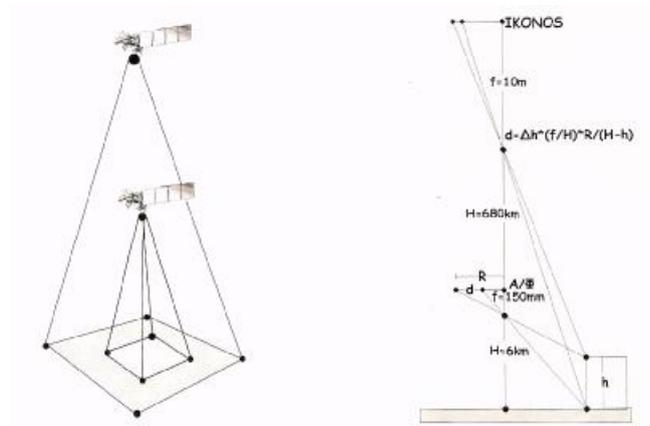
Σε γενικές γραμμές η θέση και ο προσανατολισμός ενός καταγραφικού συστήματος στο χώρο μπορεί να περιγραφεί από έξι παραμέτρους. Οι

παράμετροι αυτοί είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες (χ , γ , ζ) και οι γωνίες στροφής της ω (διατοιχισμός), ϕ (προνευστασμός και κ (αμφιπρόρρηση).

Είδη Γεωμετρικών Παραμορφώσεων Δορυφορικών Εικόνων

1. Γεωμετρία Απεικόνισης: περιλαμβάνει την κλίμακα, την τοπογραφική εκτροπή, και το μοντέλο της απεικόνισης.

Η κλίμακα της δορυφορικής εικόνας σε μία περιοχή με έντονο ανάγλυφο η κλίμακα θα μεταβάλλεται ανάλογα με το υψόμετρο. Συνήθως σαν συνολική εκτίμηση χρησιμοποιείται (α) μέσος όρος της κλίμακας δύο η περισσότερων θέσεων, ή (β) η μέση τιμή της κλίμακας για το υψηλότερο και χαμηλότερο σημείο.

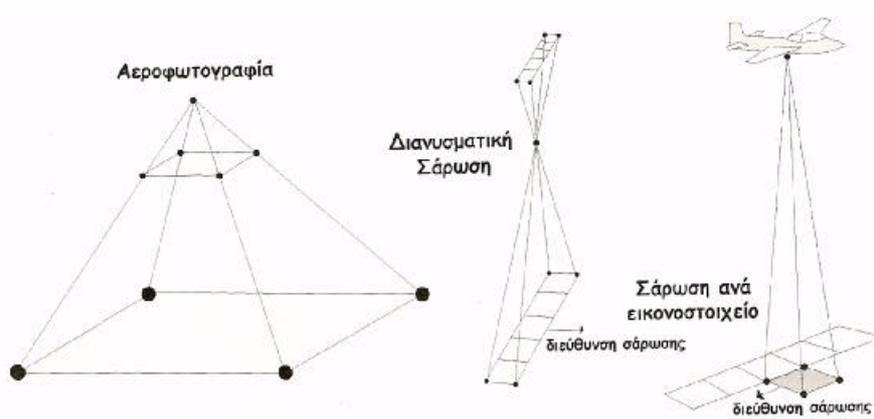


Εικόνα 16. Η μεταβολή της ύψους πτήσης επηρεάζει την κλίμακας και την κάλυψη.

Η τοπογραφική εκτροπή προκαλεί προβλήματα που σχετίζονται με την μη ορθογραφική θέση των περισσότερων σημείων του ανάγλυφου οδηγώντας στην παραμόρφωση του σχήματος και των διαστάσεων των αντικειμένων.

Το Μοντέλο της απεικόνισης σημαίνει ότι μία δορυφορική εικόνα μπορεί να ληφθεί κάτω από τρία γεωμετρικά μοντέλα απεικόνισης:

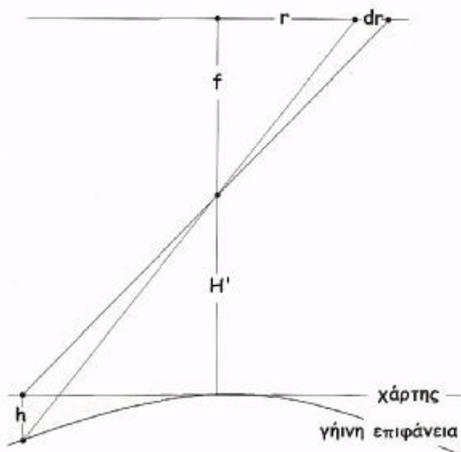
- κεντρική προβολή (διαστημική φωτογραφία),
- διανυσματική σάρωση,
- σάρωση ανά εικονοστοιχείο.



Εικόνα 17. Γεωμετρικά μοντέλα α) Κεντρική προβολή (Metric Camera LFC), β) Διανυσματική σάρωση (SPOT) και γ) Σάρωση ανά. εικονοστοιχείο (TM).

2. Καμπυλότητα της γης

Είναι πολύ σημαντική και πρέπει πάντοτε να εφαρμόζεται επειδή η δορυφορική εικόνα καλύπτει πολύ μεγάλη περιοχή της γης στην οποία η καμπυλότητα μεταβάλλεται. Η μετατόπιση λόγω της καμπυλότητας της γης σε μια δορυφορική φωτογραφία (κεντρική προβολή) έχει αντίθετη φορά με την τοπογραφική εκτροπή (ακτινικά από το πρωτεύον σημείο) και είναι μεγαλύτερη όσο πιο μακριά προβάλλεται το σημείο από το πρωτεύον σημείο.

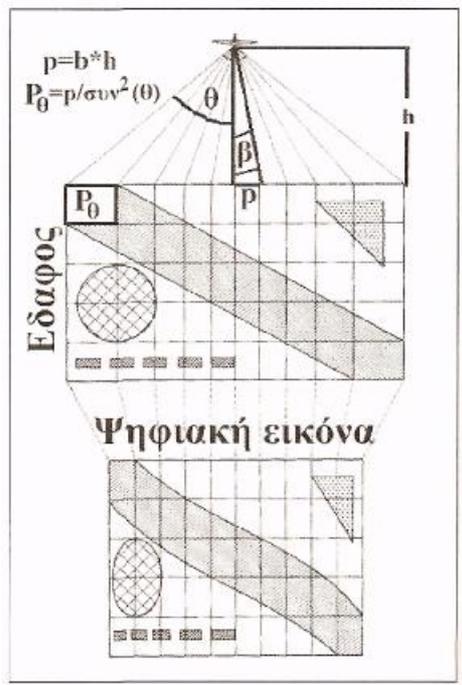


H' : ύψος πτήσης,
 r : ακτινική απόσταση από το πρωτεύον σημείο,
 K : ακτίνα γης (6372,2 Km),
 f : εστιακή απόσταση

Εικόνα 18. Η επίδραση της καμπυλότητας της γης.

3. Πανοραμική παραμόρφωση

Στους σαρωτές το στιγμιαίο οπτικό πεδίο είναι σταθερό και έτσι τα εικονοστοιχεία έχουν μεγαλύτερες διαστάσεις στα περιθώρια της εικόνας από ότι στο ναδίρ. Για αυτό υπεισέρχεται παραμόρφωση όταν η εικόνα απεικονίζεται με εικονοστοιχεία σταθερών διαστάσεων στην οθόνη του H/Y.

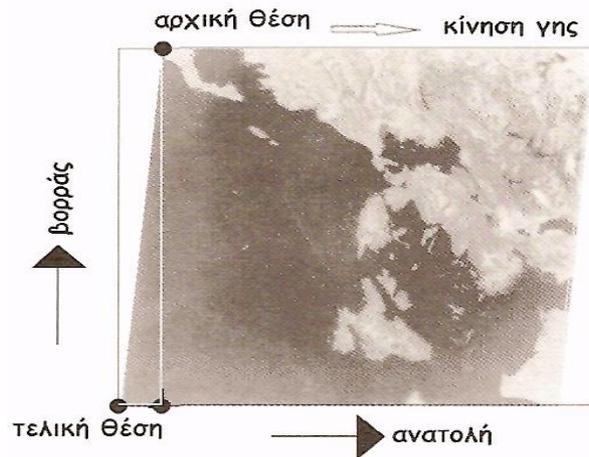


Εικόνα 19. Πανοραμική παραμόρφωση και η παραμόρφωση στις διαστάσεις γεωμετρικών στόχων (κύκλος, τρίγωνο, λουρίδα, ορθογώνια παραλληλόγραμμο) στο έδαφος.

4. Επίδραση της περιστροφής της γης

Η επίδραση της περιστροφής της γης είναι εμφανής σε σαρωτές όπως ο Θεματικός Χαρτογράφος του Landsat και ο HRV του SPOT οι οποίοι απαιτούν πεπερασμένο χρόνο για την καταγραφή των δεδομένων της εικόνας σε αντίθεση με τα φωτογραφικά συστήματα στα οποία η λήψη της εικόνας είναι στιγμιαία. Στην διάρκεια του χρόνου λήψης, η γη περιστρέφεται γύρω από τον άξονα της με κατεύθυνση από δυτικά προς ανατολικά ενώ ο δορυφόρος κινείται στο επίπεδο της τροχιάς του (π.χ. ο Landsat κινείται από Βορρά προς Νότο με κλίση τροχιακού επιπέδου 99° από τον ισημερινό).

Στην περίπτωση του Θεματικού Χαρτογράφου για να αποδοθεί η σωστή θέση των εικονοστοιχείων της εικόνας (διαστάσεων 184 Km x 184 Km) στο έδαφος, πρέπει να μετατοπισθεί το κατώτατο μέρος της εικόνας δυτικά κατά 11 Km (μέγεθος ίσο με την μετατόπιση που επήλθε κατά την διάρκεια της λήψης). Η μετατόπιση εξαρτάται από την ταχύτητα του δορυφόρου και τις διαστάσεις της εικόνας που καταγράφεται.



Εικόνα 20. Η επίδραση της περιστροφής της γης στον πολυφασματικό σαρωτή θεματικό χαρτογράφο.

5. Μη συστηματικές γεωμετρικές παραμορφώσεις

Οφείλονται στην μεταβολή των στοιχείων τροχιάς του δορυφόρου και στην αλλαγή της θέσης της κάμερας. Επιπλέον οι σαρωτές Landsat που χρησιμοποιούν περιστρεφόμενα κάτοπτρα πρέπει να εμφανίζουν σταθερή ταχύτητα σάρωσης. Στην πράξη η ταχύτητα του μοτέρ του περιστρεφόμενου κατόπτρου μεταβάλλεται ιδιαίτερα στα όρια της λουρίδας όταν αλλάζει η κατεύθυνση σάρωσης. Άλλες μη συστηματικές παραμορφώσεις είναι η μεταβολή στην ταχύτητα-ύψος του δορυφόρου, κ.ά.

Η διόρθωση των μη παραμετρικών παραμορφώσεων γίνεται με την εφαρμογή πολυωνυμικών μαθηματικών μοντέλων σε συνδυασμό με ψηφιακά μοντέλα εδάφους.



Εικόνα 21. Η πρώτη εικόνα του SPOT-5 (παγχρωματική εικόνα με χωρική διακριτική ικανότητα 2.5 μέτρα), λήφθηκε πάνω από την Ελευσίνα.

Παραμετρικά Μοντέλα Γεωμετρικών Διορθώσεων

Οι παραμορφώσεις που υφίσταται μία εικόνα μπορεί να είναι γραμμικές ή μη γραμμικές. Στην προσπάθεια μας να τις απαλείψουμε χρησιμοποιούμε διαδοχικά παραμετρικά και μη παραμετρικά μοντέλα. Τα παραμετρικά μοντέλα λαβαίνουν υπόψη τους είτε:

α) αναλυτικά μαθηματικά μοντέλα των υφιστάμενων παραμορφώσεων (για παράδειγμα τη περιστροφή της γης σε σχέση με την χρονική διάρκεια καταγραφής των εικονοστοιχείων της εικόνας), είτε

β) δεδομένα που καταγράφονται μαζί με την δορυφορική εικόνα και αφορούν για παράδειγμα την θέση του δορυφόρου, τον γεωμετρικό προσανατολισμό του σαρωτή.

Το μειονέκτημα είναι ότι τα δεδομένα αυτά δεν καταγράφονται συνεχώς αλλά σε περιοδικά χρονικά διαστήματα και έτσι είναι διαθέσιμα μόνο για ορισμένο αριθμό εικονοστοιχείων.

Οι παραμετρικές διορθώσεις που μπορούν να εφαρμοστούν αφορούν τη διόρθωση λόγω περιστροφής της γης, τον προσανατολισμό της εικόνας ως προς τον μεσημβρινό (οι τροχιές των χαρτογραφικών δορυφόρων κλίνουν σε σχέση με τη διεύθυνση του ισημερινού), πανοραμική διόρθωση, κ.α. Τα παραμετρικά μοντέλα δεν μπορούν να υποκαταστήσουν τα μη παραμετρικά επειδή τα τροχιακά δεδομένα ενός δορυφόρου καθώς και το ύψος και η ταχύτητα του δεν καταγράφονται συνεχώς.

Μη Παραμετρικά Μοντέλα Γεωμετρικών Διορθώσεων

Μετά την εφαρμογή των παραμετρικών διορθώσεων χρησιμοποιούνται μη παραμετρικά μοντέλα στην προσπάθεια να διορθώσουμε την γεωμετρία της εικόνας για υπολειπόμενες παραμορφώσεις. Σ' αυτά χρησιμοποιούμε πληροφορία που αφορά την θέση σημείων (π.χ. διασταυρώσεις οδικών αρτηριών κ.α.) που μπορούμε να διακρίνουμε ευκρινώς τόσο στην δορυφορική εικόνα (φωτοσταθερά) όσο και πάνω στην επιφάνεια της γης ή σε χαρτογραφικές αναπαραστάσεις της γήινης επιφάνειας. Τα σημεία αυτά ονομάζονται σημεία επίγειου ελέγχου και η θέση τους στην επιφάνεια της γης συνήθως υπολογίζεται από κάποιο χάρτη που είναι διαθέσιμος, μπορεί όμως να υπολογιστεί και με επιτόπου μετρήσεις (συνήθως με GPS). Η υπόθεση που κάνουμε είναι ότι με την χρήση των συντεταγμένων των σημείων επίγειου θα υλοποιήσουμε ένα μετασχηματισμό συντεταγμένων για όλα τα σημεία της δορυφορικής εικόνας ως προς τον χάρτη. Οι συντρέχουσες προϋποθέσεις προκειμένου να υλοποιηθεί σωστά ο μετασχηματισμός είναι ότι:

- τα σημεία επίγειου ελέγχου να κατανέμονται ομοιόμορφα πάνω στην εικόνα,

- να είναι γνωστό το μοντέλο της παραμόρφωσης της δορυφορικής εικόνας (γραμμικό, πολυωνυμικό κ.α.).

ΡΑΔΙΟΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

Γενικά

Επιπλέον των επιδράσεων στη γεωμετρία της εικόνας, υπάρχουν και οι επιδράσεις στη ραδιομετρία της εικόνας, που οφείλονται σε διαφορετικούς παράγοντες, όπως είναι ο θόρυβος του συστήματος λήψης, η κακή ή ελαττωματική λειτουργία των αισθητήρων και η ατμόσφαιρα. Σκοπός της ραδιομετρικής ρύθμισης της εικόνας είναι να απαλειφθούν ή να ελαττωθούν οι ασυμβατότητες μεταξύ ανιχνευτών, οι ελαττωματικές λειτουργίες τους και οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις.

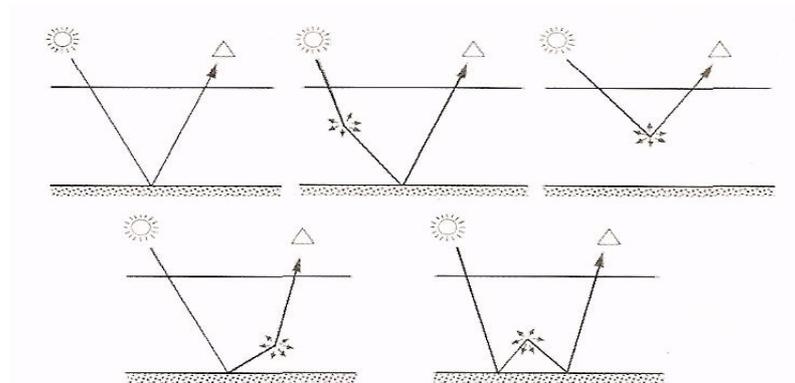
Υπάρχουν δύο τύποι ραδιομετρικών παραμορφώσεων της εικόνας που θα πρέπει να διορθωθούν:

1. η σχετική φωτεινότητα μιας συγκεκριμένης ψηφίδας μπορεί να παραμορφώνεται από διάυλο σε διάυλο, ή από ανιχνευτή σε ανιχνευτή, και
2. η ακτινοβολία σε έναν συγκεκριμένο διάυλο καταγραφής ενδέχεται να είναι διαφορετική από την ακτινοβολία του στόχου στο έδαφος

Το πρώτο είδος ραδιομετρικής παραμόρφωσης αφορά εικόνες στις οποίες δεν καταγράφονται συγκεκριμένες γραμμές σάρωσης ή απορρυθμίζονται οι καταγραφές των γραμμών σάρωσης. Τέτοια προβλήματα εμφανίζονται συχνά και οφείλονται στα όργανα σάρωσης ή δειγματοληψίας κατά τη διάρκεια μετάδοσης ή καταγραφής των δεδομένων εικόνας ή κατά την αναπαραγωγή των μαγνητικών μέσων καταγραφής, κ.λ.π. Το δεύτερο είδος της παραμόρφωσης προέρχεται κυρίως από την παρουσία της ατμόσφαιρας, που ως μέσο διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας δημιουργεί τέτοιες ραδιομετρικές παραμορφώσεις.

Η ένταση της ακτινοβολίας που φθάνει σε ένα καταγραφικό σύστημα εξαρτάται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, το ύψος του ηλίου, την θέση του καταγραφικού συστήματος, τα χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας (τοπογραφία), τα χαρακτηριστικά του καταγραφικού συστήματος, κ.α. Από την άλλη πλευρά η περιοχή μελέτης μπορεί να καλύπτεται με περισσότερες από μία δορυφορικές εικόνες που έχουν ληφθεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (αλλάζουν οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, ύψος ηλίου είναι διαφορετικό, κ.α.). Σε άλλες περιπτώσεις το ζητούμενο είναι ο εντοπισμός αλλαγών από δορυφορικές εικόνες που έχουν καταγραφεί σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και πιθανώς και από διαφορετικά καταγραφικά συστήματα. Η ραδιομετρική διόρθωση πρέπει να γίνει πριν την εφαρμογή τεχνικών επεξεργασίας εικόνας όπως οι λόγοι φασματικών καναλιών, η ταξινόμηση, κ.α. και κατά περίπτωση πριν την

εφαρμογή των γεωμετρικών διορθώσεων (εκτός ίσως μόνο από την τοπογραφική διόρθωση).



Εικόνα 22. Η επίδραση της ατμόσφαιρας στην διάδοση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Κατηγορίες ραδιομετρικών διορθώσεων

Οι ραδιομετρικές διορθώσεις διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Διορθώσεις που γίνονται για να περιοριστούν στο ελάχιστο δυνατό τα σφάλματα λειτουργίας των αισθητήρων του σαρωτή και να βελτιστοποιηθεί το δυναμικό εύρος λειτουργίας του. Η διόρθωση επηρεάζει την βασική στάθμη και τις ενισχυτικές διατάξεις των αισθητήρων.

2. Διορθώσεις που εφαρμόζονται προκειμένου να περιοριστεί η ραδιομετρική επίδραση εξωγενών παραγόντων (επίδραση της γήινης ατμόσφαιρας) στο λαμβανόμενο σήμα, κατά τη διαδρομή της ακτινοβολίας μέχρι τον σαρωτή. Για παράδειγμα η διάχυση της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα έχει ως συνέπεια την αύξηση των τιμών φωτεινότητας των εικονοστοιχείων σε κάθε κανάλι εκτός ίσως των υπέρυθρων καναλιών.

3. Διόρθωση για την επίδραση της τοπογραφίας στα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά της εικόνας που απαιτεί την ύπαρξη ενός ψηφιακού μοντέλου εδάφους για την εφαρμογή της.

Τα καταγραφικά συστήματα που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση ταξινομούνται σε 3 κατηγορίες:

- α) φωτογραφικά συστήματα,
- β) πολυφασματικοί σαρωτές,
- γ) εικονοληπτικά συστήματα ραντάρ.

Σε αυτές τις σημειώσεις θα δοθεί έμφαση στην δεύτερη κατηγορία. Τα σφάλματα που προκύπτουν μπορεί:

α) να έχουν τυχαία κατανομή ή να δημιουργούν ένα συγκεκριμένο πρότυπο (π.χ. ζωνοποίηση),

β) να επηρεάζουν τις υψηλές ή τις χαμηλές συχνότητες (Fourier frequencies) και

γ) να είναι συνάρτηση του μήκους κύματος της ακτινοβολίας, κ.α.

Πρώτα εφαρμόζονται διορθώσεις για το φαινόμενο ζωνοποίησης και μετατρέπονται οι ψηφιακές τιμές φωτεινότητας (brightness values) των εικονοστοιχείων σε τιμές ακτινοβολίας που φθάνει στο καταγραφικό σύστημα (spectral radiances). Στην συνέχεια διορθώνεται η επίδραση της ατμόσφαιρας βάση της θεωρίας διάδοσης της ηλιακής ακτινοβολίας (διάχυση, απορρόφηση, ακτινοβολία ατμοσφαιρικής διαδρομής). Τέλος και σε περιοχές μελέτης με έντονο ανάγλυφο όπως η Ελλάδα, η επίδραση της τοπογραφίας διορθώνεται από ψηφιακά μοντέλα εδάφους.



Εικόνα 23. Άποψη ελληνικού χώρου με διορθωμένα γεωμετρικά και ραδιομετρικά δορυφορικά δεδομένα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Γενικά

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι η χρήση διαθέσιμων υπολογιστικών εργαλείων επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων με σκοπό την εκτίμηση της δυνατότητας χρησιμοποίησή τους για τη διαχείριση των πυρόπληκτων περιοχών. Γίνεται δηλαδή μια προσπάθεια απάντησης στο ερώτημα κατά πόσο οι σύγχρονες μέθοδοι τηλεπισκόπησης μπορούν να εφαρμοστούν στην πράξη και πόσο είναι χρηστικές και εφαρμόσιμες.

Όσον αφορά το πρωτόλειο υλικό μελέτης, έγινε χρήση δεδομένων από την ιστοσελίδα (Eoli-sa) της ESA και λήψη δορυφορικών εικόνων πλήρους ανάλυσης (Full Resolution) για την περιοχή μελέτης από τον δορυφόρο ENVISAT που κάνει χρήση του Μεσαίας Ανάλυσης Φασματόμετρου Απεικόνισης (MEdium Resolution Imaging Spectrometer - MERIS) και το οποίο είναι ένα από τα κύρια μέσα εγκατεστημένα στην πλατφόρμα της ESA. Αποτελεί ένα προγραμματιζόμενο, μεσαίας ανάλυσης φάσματος, απεικονιστικό φασματόμετρο που λειτουργεί στο πεδίο φάσματος της ηλιακής ανάκλασης κάνοντας χρήση 15 φασματικών μπαντών που μπορούν να επιλεγούν με εντολή από το έδαφος. Το μέσο αυτό σαρώνει την επιφάνεια της Γης με τη μέθοδο ωθητικής σάρωσης (push-broom).

Η μεθοδολογία - διαδικασία μελέτης της εργασίας έγινε με χρήση 30 δορυφορικών εικόνων που λήφθηκαν με τη χρήση του λογισμικού Eoli-sa όπου έγινε χωρική επιλογή των περιοχών Ζακύνθου και Πελοποννήσου από την ευρύτερη διαθέσιμη περιοχή στις δορυφορικές εικόνες. Έγινε δε, χρήση των δύο διαθέσιμων λογισμικών BEAM-VISAT 4.6.1 και 4.7-RC1 μιας και το καθένα έχει και δυνατότητες που αλληλοσυμπληρώνονται

Η διαδικασία της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων περιγράφεται ως κάτωθι:

- επιλογή περιοχής ενδιαφέροντος από το σύνολο της δορυφορικής εικόνας,
- γεωμετρική - ατμοσφαιρική διόρθωση στην επιλεγείσα εικόνα,
- χρήση επιλογών του λογισμικού για την επιλογή του καταλληλότερου συνδυασμού καναλιών (bands) για την παρουσίαση της εικόνας,
- επιλογή σημείων (περιοχή Ζακύνθου και Πελοποννήσου) από την δορυφορική εικόνα για τον υπολογισμό και εκτίμηση των παραμέτρων (Δείκτης NDVI, Φασματική υπογραφή, Δείκτες βλάστησης LAI, fCOVER, LAIxCab, fAPAR).

Από την επεξεργασία των εικόνων και από τα προκύψαντα αριθμητικά αποτελέσματα μπορούν να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα για την εκτίμηση των ζημιών από τις πυρκαγιές, την επιλογή της στρατηγικής αποκατάστασης των πυρόπληκτων περιοχών και τις προτάσεις βελτίωσης των

σχετικών διαδικασιών από μέρους της σχετικής επιστημονικής κοινότητας και του κρατικού μηχανισμού.

Πλεονεκτήματα εφαρμογής σε επιχειρησιακό επίπεδο της χαρτογράφησης και απογραφής των καμένων εκτάσεων με δορυφορικά δεδομένα

Η χρησιμοποίηση σε επιχειρησιακό επίπεδο της δορυφορικής τηλεπισκόπησης για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων σε συνδυασμό με τη δημιουργία μιας χωρικά προσανατολισμένης βάσης δεδομένων, έχει μια πολυδιάστατη σκοπιμότητα, σημαντικά πλεονεκτήματα καθώς και βελτιώσεις της υφιστάμενης δομής, συλλογής και ανάλυσης δεδομένων που αφορούν τις δασικές πυρκαγιές. Πιο συγκεκριμένα τα πολλαπλά οφέλη συνοψίζονται στα εξής:

- πλήρης απογραφή, ψηφιακή καταγραφή και χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων της χώρας στο τέλος της αντιπυρικής περιόδου. Τέτοια δεδομένα δεν υπάρχουν σήμερα,
- δημιουργία αντίστοιχης λεπτομερούς ψηφιακής τράπεζας πληροφοριών,
- ανάπτυξη ψηφιακού γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών για την περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση των σχετικών δεδομένων.
- λεπτομερέστερη και με μεγαλύτερη ακρίβεια χαρτογραφική απόδοση των χωρικών και περιγραφικών (θεματικών) χαρακτηριστικών και δεδομένων των καμένων εκτάσεων (έκταση, σχήμα, κατανομή, υψομετρική ζώνη)
- ύπαρξη φωτογραφικού (από τα αντίστοιχα δεδομένα) υπόβαθρου με όλα τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει μια φωτογραφία,
- ταχύτατη ενημέρωση και εφοδιασμός των αρμόδιων φορέων με ψηφιακά, χωρικά και περιγραφικά δεδομένα των καμένων εκτάσεων,
- τυποποιημένη και αντικειμενική προσέγγιση, επεξεργασία και ανάλυση των δεδομένων των καμένων εκτάσεων,
- κατάρτιση θεματικών χαρτών των καμένων εκτάσεων, άμεσης πρακτικής εφαρμογής, για τη σωστή διαχείριση και προστασία αυτών,
- προσδιορισμός των επικίνδυνων ζωνών εμφάνισης και εξέλιξης των πυρκαγιών. Αυτό δίνει τη δυνατότητα ορθολογικής διαχείρισης των καμένων εκτάσεων, αφού η εφαρμογή προγραμμάτων αντιπυρικής προστασίας οφείλει να προσανατολιστεί χωρικά και χρονικά στις επικίνδυνες αυτές ζώνες,
- δημιουργία πλαισίου και θεμελίωση των προϋποθέσεων γενικότερης ορθολογικής λήψης αποφάσεων για την εξυπηρέτηση της μελλοντικής ανάπτυξης και σχεδίασης μοντέλων διαχείρισης και προστασίας των φυσικών οικοσυστημάτων της χώρας, με τη βοήθεια της νέας βασικής υποδομής δεδομένων και πληροφοριών,
- ένταξη όλων των δεδομένων και πληροφοριών στο υπό ανάπτυξη δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών της Δασικής Υπηρεσίας,

- δημιουργία λεπτομερούς ψηφιακού ιστορικού αρχείου δασικών πυρκαγιών το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για τη διαχρονική μελέτη, αφενός μεν της προϋπάρχουσας των πυρκαγιών κατάστασης των οικοσυστημάτων, αφετέρου δε των επιπτώσεων των πυρκαγιών και των μετέπειτα εξελίξεων των οικοσυστημάτων,
- δυνατότητα ελέγχου και συντονισμού από την αρμόδια κεντρική υπηρεσία των αντιστοιχούν πληροφοριών που υποβάλλονται από τις περιφερειακές διοικήσεις,
- δυνατότητα ανάπτυξης αποτελεσματικότερης δασικής πολιτικής σχετικά με την αντιπυρική προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων. Η χρήση των ίδιων δορυφορικών δεδομένων και για άλλες πρακτικές εφαρμογές σχετιζόμενες με την επίλυση σημαντικών προβλημάτων που απασχολούν τη Δασική Υπηρεσία, όπως χαρτογράφηση διαχειριζόμενων και μη διαχειριζόμενων δασών και δασικών εκτάσεων, εκτίμηση βιομάζας, χωρική κατανομή θαμνώνων κ.λ.π.,
- ενημέρωση πάνω σε νέες τεχνικές συλλογής, επεξεργασίας, ανάλυσης και παρουσίασης δεδομένων, οι οποίες βασίζονται στη χρήση της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών,
- απόκτηση εμπειριών σχετικά με τη χρήση και ανάλυση δορυφορικών δεδομένων και τη δημιουργία ψηφιακής τράπεζας πληροφοριών των καμένων εκτάσεων,
- χαμηλό κόστος συλλογής, ανάλυσης και αποτελεσματικής ενημέρωσης των δεδομένων και πληροφοριών που αφορούν τις καμένες εκτάσεις καθώς και άλλες δασικές παραμέτρους,
- συνέχιση της έρευνας πάνω στον τομέα των τεχνικών της τηλεπισκόπησης και των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών για το σχεδιασμό, λήψη αποφάσεων και γενικότερα τη διαχείριση και προστασία του φυσικού περιβάλλοντος,
- διευκόλυνση της επικοινωνίας και ταχύτατης ανταλλαγής δεδομένων και πληροφοριών με τις αρμόδιες κεντρικές υπηρεσίες άλλων Υπουργείων καθώς και της Ευρωπαϊκής Ένωσης, αφού θα υπάρχει ένα ολοκληρωμένο, τυποποιημένο, λεπτομερές, ακριβές και ψηφιακό σύστημα καταγραφής, αποθήκευσης, επεξεργασίας, ανάλυσης και παραγωγής όλων των χωρικών και περιγραφικών δεδομένων των καμένων εκτάσεων (π.χ. EUROSTAT),
- δυνατότητα άμεσης παρακολούθησης της εξέλιξης και των αλλαγών χρήσεων γης που πιθανόν να πραγματοποιηθούν μετά από πυρκαγιά (καταπατήσεις, αναδασωτικές εργασίες, διαβρωτικά φαινόμενα κ.λ.π.),

Όπως γίνεται λοιπόν αντιληπτό από τα παραπάνω, η χρήση δορυφορικών δεδομένων αποτελεί μια επιχειρησιακή πρόταση, η οποία εμπεριέχει πολλαπλά, όπως αναφέρθηκε, οφέλη. Τα αποτελέσματα και προϊόντα του έργου αυτού

μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο από τη Δασική και Πυροσβεστική Υπηρεσία όσο και από άλλες εθνικές υπηρεσίες και οργανισμούς, διευκολύνοντας και υποστηρίζοντας με αυτό τον τρόπο την επικοινωνία μεταξύ τους αλλά και με την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Αν μάλιστα η χρήση αυτών των νέων τεχνολογιών συνεχιστεί και τα επόμενα έτη σε συνεχή βάση, τότε τα πλεονεκτήματα των υπόψη διαδικασιών πολλαπλασιάζονται γεωμετρικά. Παραδείγματος χάρη, είναι δυνατόν να εκτιμηθούν οι κατηγορίες της βλάστησης που κάηκαν, οι τυχόν καταπατήσεις, η εξέλιξη των αναδασώσεων, ο ρυθμός επανόδου της βλάστησης, η εκτίμηση των διαβρώσεων κ.λ.π.

Σε όλες τις παραπάνω διαδικασίες που αφορούν την επίδραση των πυρκαγιών επί των δασικών οικοσυστημάτων, η συνεισφορά των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών είναι μεγάλη και ουσιαστική. Η ανάλυση των επιπτώσεων των πυρκαγιών διευκολύνεται με τη χρήση των συστημάτων αυτών. Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών θεωρούνται ως ένα ουσιώδες εργαλείο απογραφής, παρακολούθησης και ανάλυσης των βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων επιπτώσεων καθώς και της ανάπτυξης και εφαρμογής διαχειριστικών εναλλακτικών λύσεων και σεναρίων. Είναι ένα εργαλείο που συμβάλλει στην ορθολογικότερη λήψη των αποφάσεων.

Δορυφόρος ENVISAT - MERIS

Το Μάρτιο του 2002, η Ευρωπαϊκή Διαστημική Υπηρεσία (European Space Agency, ESA) ξεκίνησε τη λειτουργία του Envisat, έναν προηγμένο δορυφόρο παρατήρησης πολικής τροχιάς της γης ο οποίος παρέχει μετρήσεις της ατμόσφαιρας, ωκεανού, γης και πάγου. Ο κύριος σκοπός του προγράμματος Envisat είναι η τροφοδότηση της Ευρώπης με μια ενισχυμένη δυνατότητα για παρατήρηση τηλεπισκόπησης της γης από το διάστημα, με στόχο την περαιτέρω αύξηση της ικανότητας των συμμετεχόντων κρατών να λάβουν μέρος στη μελέτη και παρακολούθηση της Γης και του περιβάλλοντός της.

Οι κύριοι στόχοι είναι:

- παροχή συνεχών μετρήσεων ξεκινώντας με τους δορυφόρους ERS (European Remote Sensing), περιλαμβάνοντας αυτές που προέρχονται από παρατηρήσεις βασισμένες σε ραντάρ,
- ενίσχυση της αποστολής ERS ιδιαίτερα τις αποστολές σε ωκεανούς και πάγους,
- επέκταση πεδίου παρατηρούμενων παραμέτρων για κάλυψη των αναγκών σε αυξανόμενη γνώση παραγόντων που προσδιορίζουν το περιβάλλον,
- παροχή σημαντικής συμβολής σε περιβαλλοντικές σπουδές, ιδιαίτερα στην περιοχή της ατμοσφαιρικής χημείας και σπουδών ωκεανού,
- αποτελεσματική παρατήρηση και οργάνωση των φυσικών πόρων της γης,
- καλύτερη κατανόηση των φυσικών και όχι μόνο διαδικασιών λειτουργίας της γης και του περιβάλλοντός της.

Ο Envisat ταξιδεύει σε πολική τροχιά σύγχρονη του ήλιου σε υψόμετρο περίπου 800 km. Ο επαναλαμβανόμενος κύκλος αναφοράς τροχιάς είναι 35 μέρες, και για τους περισσότερους αισθητήρες παρέχεται πλήρης κάλυψη της υδρογείου μέσα σε 1 έως 3 ημέρες.

Το Μεσαίας Ανάλυσης Φασματόμετρο Απεικόνισης (**M**Edium **R**esolution **I**maging **S**pectrometer (**MERIS**)) είναι ένα από τα κύρια μέσα εγκατεστημένα στην πλατφόρμα της ESA. Είναι ένα προγραμματιζόμενο, μεσαίας ανάλυσης φάσματος, απεικονιστικό φασματόμετρο που λειτουργεί στο πεδίο φάσματος της ηλιακής ανάκλασης. Δεκαπέντε φασματικές μπάντες μπορούν να επιλεγούν με εντολή από το έδαφος. Το μέσο αυτό σαρώνει την επιφάνεια της Γης με τη μέθοδο ωθητικής σάρωσης (push-broom).

Γραμμικές συστοιχίες CCD παρέχουν χωρική δειγματοληψία μέσω της κατεύθυνσης της τροχιάς ενώ η κίνηση του δορυφόρου παρέχει σάρωση στην κατά μήκος κατεύθυνση.

Ο MERIS είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να μπορεί να αποκτά δεδομένα πάνω από τη Γη όποτε οι συνθήκες φωτισμού είναι κατάλληλες. Το πεδίο προβολής των 68.5° του οργάνου γύρω από το κατώτατο σημείο καλύπτει μια λωρίδα πλάτους περίπου 1150 km. Αυτό το ευρύ πεδίο προβολής μοιράζεται μεταξύ πέντε όμοιων οπτικών ενοτήτων που είναι τοποθετημένες σε διαμόρφωση σχήματος ανεμιστήρα.

Ο ENVISAT μεταφέρει 8 όργανα τηλεπισκόπησης τα οποία εν συντομία είναι:

- προηγμένο συνθετικού ανοίγματος ραντάρ, **Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR)**
- παγκόσμια παρατήρηση όζοντος με απόκρυψη αστεριών, **Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars (GOMOS)**: GOMOS θα μετρά χημικές συγκεντρώσεις κατά τη διάρκεια απόκρυψης αστεριών. GOMOS κάνει 600 μετρήσεις την ημέρα για όζον, NO₂, NO₃, OCIO, θερμοκρασία και ατμούς νερού.
- συμβολόμετρο Michelson για παθητική ατμοσφαιρική ήχηση, **Michelson Interferometer for PAssive Atmospheric (MIPAS)**: MIPAS είναι ένα φασματόμετρο μετατροπής Fourier για τη μέτρηση υψηλής ανάλυσης αερίων εκπομπών στη γη. Ο MIPAS θα αποκτήσει στοιχεία για ίχνη αερίων όπως όζον, μεθάνιο, υδρατμούς και άλλα.
- μεσαίας ανάλυσης φασματόμετρο απεικόνισης, **Medium-resolution imaging spectrometer (MERIS)**: το οποίο αναλύεται διεξοδικά παραπάνω μιας και είναι εκείνο το όργανο από το οποίο πήραμε υλικό για την εργασία μας.
- ραδιόμετρο μικροκυμάτων, **MicroWave Radiometer (MWR)**: στόχος του είναι η μέτρηση της ολοκληρωμένης ατμοσφαιρικής στήλης υδρατμών και του υγρού περιεχομένου των σύννεφων που χρησιμοποιούνται για τη διόρθωση του υψόμετρου του ραντάρ.
- ραντάρ υψομέτρου, **Radar Altimeter-2 (RA-2)**.

- ραδιόμετρο προηγμένης σάρωσης τροχιάς, **Advanced Along-track Scanning Radiometer (AATSR)**,
- καταγραφέα τροχιάς και ενσωματωμένος στο δορυφόρο ραδιοεντοπισμός, **Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS)**.

Βάση δεδομένων EOLISA - Λογισμικό BEAM -VISAT

Για να βρούμε τα απαραίτητα Envisat MERIS αρχεία για να κατεβάσουμε, χρησιμοποιήσαμε EOLISA λογισμικό. Το **EOLI-SA (EarthNet OnLine Interactive Stand Alone)** συνδυάζει τα πλεονεκτήματα τόσο των online και offline καταλόγων της βάσης δεδομένων και το εργαλείο αυτό παρέχει πρόσβαση στην online καταλόγους της ESA.

Για την επεξεργασία των αρχείων ENVISAT MERIS, χρησιμοποιήθηκε το VISAT λογισμικό βασισμένο στην εργαλειοθήκη BEAM. Η **BEAM** είναι μια εργαλειοθήκη για την προβολή, ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων τηλεπισκόπησης τύπου ράστερ (raster). Αρχικά αναπτύχθηκε για τη διευκόλυνση της χρήσης των δεδομένων των εικόνων του Envisat , αλλά η BEAM υποστηρίζει μια σειρά άλλων μορφότυπων δεδομένων raster όπως GeoTIFF και NetCDF αλλά και δεδομένα άλλων αισθητήρων όπως MODIS, AVNIR, PRISM και CHRIS/Proba. Η VISAT είναι μια επιτραπέζια εφαρμογή που χρησιμοποιείται για οπτικοποίηση, ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων τηλεπισκόπησης. Και η VISAT και το EOLISA μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελεύθερα από κάθε ενδιαφερόμενο χρήστη.

Τα κύρια στοιχεία εκτός της VISAT του BEAM είναι:

- Μια ομάδα επιστημονικών επεξεργαστών δεδομένων που μπορούν να τρέξουν είτε από τη γραμμή εντολών είτε απευθείας από τα μενού του VISAT
- Ένα εργαλείο μετατροπέα δεδομένων που επιτρέπει στο χρήστη να μετατρέψει πρωτόλεια δεδομένα στη πρότυπη διαμόρφωση του BEAM-DIMAP σε GeoTIFF, σε HDF-5 ή σε RGB εικόνες.

Ο επόμενος πίνακας ταξινομεί τις μορφές των αρχείων δεδομένων που υποστηρίζονται από το BEAM :

Πίνακας 6. Ταξινόμηση αρχείων δεδομένων που υποστηρίζονται από το BEAM.

ΟΡΓΑΝΟ	ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ-FORMAT ΑΡΧΕΙΩΝ
MERIS	Envisat	Envisat N1
MERIS Binned Level-3	Envisat	netCDF
AATSR	Envisat	Envisat N1
ASAR	Envisat	Envisat N1
ATSR	ERS	ERS
ATSR	ERS	Envisat N1
SAR	ERS	Envisat N1
Chris	Proba	HDF4
AVNIR-2	ALOS	CEOS
PRISM	ALOS	CEOS
MODIS	Aqua, Terra	HDF
AVHRR/3	NOAA-KLM	NOAA -METOP
TM Thematic Mapper	Landsat 5	Fast Format
NASA Ocean Color (OBPG)	MODIS A/T, SeaWiFS, OCTS, CZCS	HDF

Ανοικτό λογισμικό και λογισμικό ανοικτού κώδικα (open source)

Το λογισμικό αναδεικνύεται πλέον σε εργαλείο ανάπτυξης όλων των τομέων της οικονομικής και κοινωνικής ζωής. Σημαντική ώθηση στην αγορά, έχει δώσει τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη των εφαρμογών ανοικτού ή ελεύθερου λογισμικού. Η δυναμική είσοδος του ανοικτού λογισμικού στην αγορά δημιουργεί νέες συνθήκες ανταγωνισμού με οφέλη για τον καταναλωτή και ταυτόχρονα αποτελεί μια ευκαιρία για την περαιτέρω ανάπτυξη του κλάδου τόσο στην Ευρώπη όσο και στη χώρα μας.

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή αναγνωρίζοντας την αξία του ανοικτού λογισμικού - μιας ιδέας που ξεκίνησε από τη δεκαετία του 1960 - χρηματοδοτεί ήδη από το 1999 σχετικά έργα και μελέτες.

Το ελεύθερο λογισμικό ορίζεται ως το λογισμικό που διανέμεται υπό τέτοιο καθεστώς ώστε ο χρήστης να απολαμβάνει τα ακόλουθα «είδη ελευθερίας»:

- την ελευθερία να χρησιμοποιήσει το πρόγραμμα για κάθε σκοπό,

- την ελευθερία να μελετήσει τον τρόπο με τον οποίο λειτουργεί το πρόγραμμα και να το προσαρμόσει στις ανάγκες του. Η πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα είναι προϋπόθεση για αυτό,
- την ελευθερία να αναδιανείμει αντίγραφα, ώστε να μπορεί να βοηθήσει τον κάθε ενδιαφερόμενο,
- την ελευθερία να βελτιώσει το πρόγραμμα και να παρέχει τις βελτιώσεις στο κοινό, έτσι ώστε να ωφεληθεί ολόκληρη η κοινότητα. Προφανώς η πρόσβαση στον πηγαίο κώδικα αποτελεί και στην περίπτωση αυτή, την απαραίτητη προϋπόθεση.

Οι πιο γνωστές άδειες χρήσης Ελεύθερου Λογισμικού είναι οι **GNU Public License (GPL)** και **Library** (ή «Lesser») **GNU Public License (LGPL)**. Εκτός από το ελεύθερο λογισμικό πρέπει να γίνει αναφορά και στο λογισμικού ανοικτού κώδικα (Open Source). Ως Open Source χαρακτηρίζεται το μοντέλο διάθεσης λογισμικού, όπου ο πηγαίος κώδικας είναι διαθέσιμος σε όποιον ενδιαφέρεται για αυτόν. Οι όροι διανομής του λογισμικού αυτού πρέπει να πληρούν συγκεκριμένα κριτήρια, τα βασικότερα από τα οποία είναι:

- η ελεύθερη χρήση,
- η αντιγραφή/αναδιανομή και μεταβολή/βελτίωσή του (ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες του ατόμου/συνόλου που τον μεταβάλλει).

Οι όροι αυτοί περιγράφονται στην άδεια χρήσης του λογισμικού. Υπάρχουν διάφορες άδειες χρήσης, με πιο διαδεδομένες τις BSD License και MIT License. Η άδεια χρήσης BSD, επιτρέπει τις αλλαγές, χωρίς επαναδιανομή του πηγαίου κώδικα. Από τα παραπάνω ενδέχεται να δημιουργηθεί η απορία για το ποια είναι η διαφορά μεταξύ Ελεύθερου Λογισμικού και Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα. Καταρχήν πρέπει να διευκρινιστεί ότι οι δύο όροι αναφέρονται σε παρόμοιες «ιδεολογίες». Τόσο η μια ιδεολογία όσο και η άλλη, προσπαθούν να προωθήσουν τη δημιουργία καλύτερου λογισμικού και γενικά να προωθήσουν την «κοινή γνώση». Η κύρια διαφορά τους είναι ότι ενώ το Ελεύθερο Λογισμικό δίνει έμφαση στην ελευθερία (για μάθηση, προσαρμογή, βελτίωση), το Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα δίνει έμφαση στη δημιουργία καλύτερου λογισμικού μέσω της συνεργασίας των προγραμματιστών και των μηχανικών όλου του κόσμου. Συνεπώς, το Λογισμικό Ανοικτού Κώδικα είναι λιγότερο αυστηρό και *πιο φιλικό* προς τις εταιρίες που επιθυμούν να αξιοποιήσουν αλγορίθμους που υπάρχουν σε έργα τύπου Λογισμικού Ανοικτού Κώδικα.

Ένα τέτοιο λογισμικό είναι και αυτό που χρησιμοποιούμε για την επεξεργασία των εικόνων MERIS, το BEAM VISAT 4.6.1 και 4.7. Σκοπός είναι η διάδοση του σχετικού λογισμικού από την ESA έτσι ώστε να αποτελεί ένα πρότυπο και χρηστικό εργαλείο για κάθε μελετητή και η χρήση του να μην αποκλείει τον χρήστη από ανταλλαγή και επεξεργασία στοιχείων με άλλα διαθέσιμα σχετικά λογισμικά.

Τηλεπισκόπηση και χρήση της φασματικής απόκρισης

Στις μέρες μας, οι δορυφορικές εικόνες αποτελούν μία από τις πιο διαδεδομένες μορφές καταγραφής δεδομένων, που η εφαρμογή τους ποικίλει ανάλογα με τις χαρακτηριστικές τους ιδιότητες (χωρική διακριτική ικανότητα, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση).

Βασική αρχή λειτουργίας των τηλεπισκοπικών ανιχνευτών (ψηφιακών σαρωτών) είναι ότι η γήινη επιφάνεια απορροφά, εκπέμπει ή ανακλά την ηλιακή ακτινοβολία που δέχεται. Έτσι, διαφορετικά υλικά ανακλούν και απορροφούν με διαφορετικό τρόπο στα διάφορα μήκη κύματος. Η κατανομή της ανακλώμενης, εκπεμπόμενης ή απορροφόμενης ακτινοβολίας από μια επιφάνεια σε σχέση με το μήκος κύματος λ καλείται ως φασματική απόκριση. Κάθε υλικό παρουσιάζει διαφορετική φασματική απόκριση η μελέτη της οποίας μας επιτρέπει τη διάκριση μιας επιφάνειας από κάποια άλλη και την εξαγωγή πληροφορίας σχετικά με το σχήμα, το μέγεθος, τις φυσικές ακόμα και τις χημικές ιδιότητές της. Η μορφή της καμπύλης της φασματικής απόκρισης μιας επιφάνειας σε σχέση με το μήκος κύματος λ καλείται φασματική υπογραφή της επιφάνειας και είναι μοναδική για κάθε επιφάνεια.

Η βλάστηση έχει μια μοναδική φασματική υπογραφή η οποία καθιστά ικανό τον άμεσο διαχωρισμό της από άλλους τύπους εδαφοκάλυψης σε μια εικόνα στο ορατό ή στο εγγύς υπέρυθρο. Οι φωτοχρωστικές ουσίες του φύλλου των φυτών (κυρίως η χλωροφύλλη) απορροφούν κυρίως στο ορατό φάσμα για τη φωτοσύνθεση. Η υγιής πράσινη βλάστηση απορροφά ισχυρά στο ορατό φάσμα και ιδιαίτερα στην ερυθρή ακτινοβολία (0.63-0.69 μm), ενώ ταυτόχρονα ανακλά ισχυρά στο κοντινό υπέρυθρο μέρος του φάσματος (0.76-0.90 μm).

Κατά συνέπεια, στο ερυθρό η φασματική υπογραφή της βλάστησης παρουσιάζει ελάχιστο, ενώ στο εγγύς υπέρυθρο παρουσιάζει τοπικό μέγιστο.

Η αντίθεση (διαφορά) μεταξύ της ανάκλασης στο ερυθρό και στο κοντινό υπέρυθρο είναι μια ευαίσθητη μέτρηση της ποσότητας της βλάστησης. Έτσι, τα τηλεπισκοπικά δεδομένα από το ερυθρό (RED) και το κοντινό υπέρυθρο (NIR) μπορούν να συνδυαστούν και να αποτελέσουν τους λεγόμενους δείκτες βλάστησης - vegetation indices. Οι δείκτες βλάστησης είναι πολύ καλοί φασματικοί μετασχηματισμοί δύο ή περισσότερων καναλιών μιας δορυφορικής εικόνας, συνήθως του ερυθρού και του κοντινού υπέρυθρου, και έχουν σχεδιαστεί για να βελτιώνουν το σήμα της βλάστησης ώστε να επιτρέπουν αξιόπιστες χωρικές και χρονικές συγκρίσεις της επίγειας φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και των δομικών μεταβολών της κόμης.

Ο περισσότερο χρησιμοποιημένος δείκτης βλάστησης είναι ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI).

Το συγκριτικό πλεονέκτημα του Κανονικοποιημένου Δείκτη Βλάστησης (NDVI) με τους άλλους δείκτες είναι οι ιδιότητες που προκύπτουν από το γεγονός ότι είναι λόγος. Η κανονικοποίηση μέσω διαίρεσης με άθροισμα ελαχιστοποιεί την πιθανότητα διαίρεσης με μηδέν. Επίσης, ο δείκτης NDVI

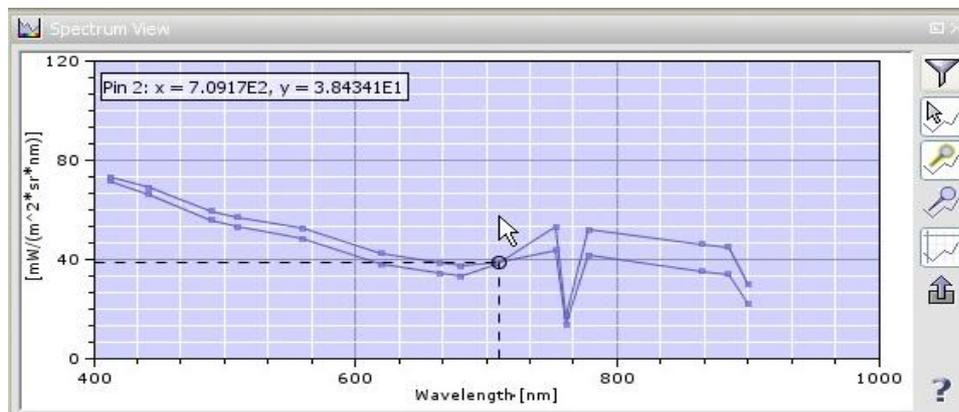
βοηθάει στην εξομάλυνση διαφόρων εξωτερικών παραγόντων, όπως οι αλλαγές στις συνθήκες φωτισμού, η επιφανειακή κλίση και η έκθεση.

Ο λόγος που ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI) σχετίζεται με τη βλάστηση είναι ότι στο κοντινό υπέρυθρο μέρος του φάσματος η ανάκλαση της υγιούς βλάστησης αυξάνει πάρα πολύ (40-50%) λόγω της εσωτερικής δομής των φύλλων, ενώ στην περιοχή του ορατού (μπλε ως ερυθρό) η ανάκλαση της υγιούς βλάστησης είναι πολύ μικρότερη (20% ή λιγότερη) εξαιτίας της μεγάλης απορρόφησης της ακτινοβολίας από τη χλωροφύλλη για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Το εύρος των τιμών του NDVI κυμαίνεται από -1 έως +1. Μεγάλες τιμές του δείκτη αντιπροσωπεύουν πυκνή βλάστηση με υγιές και πράσινο φύλλωμα, εξαιτίας της μεγάλης διαφοράς ανακλαστικότητας μεταξύ του κοντινού υπέρυθρου και του ορατού φάσματος.

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI) χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο ως έμμεσος παράγοντας στη μελέτη των βιοφυσικών ιδιοτήτων της βλάστησης, όπως βιομάζα και ο δείκτης έκτασης φυλλώματος (Leaf Area Index-LAI).

Διαδικασία λήψης Spectrum

Όταν ανοίγεται ένα προϊόν δεδομένων (επεξεργασμένη δορυφορική εικόνα) που περιέχει μπάντες φάσματος, μπορεί να εξεταστεί το φάσμα για δεδομένη θέση εικονοστοιχείου μέσω του μενού View/ Tool Windows και από εκεί να επιλεγεί Spectrum, είτε μέσω του σχετικού εικονιδίου από την επιφάνεια εργασίας. Η μορφή του είναι όπως η παρακάτω:



Εικόνα 24. Περιβάλλον λογισμικού.

Με μετακίνηση του κέρσορα πάνω στην όψη της εικόνας, το φάσμα θα εμφανίζεται για την εκάστοτε θέση του εικονοστοιχείου. Η εικόνα του φάσματος παρουσιάζει τις εντάσεις των μπαντών φάσματος και η εικόνα θα είναι άδεια εάν η εικόνα δεν έχει μπάντες φάσματος. Όταν επιλεγεί ένα σημείο (pin-καρφίτσα) στο διάγραμμα φάσματος (με δείκτη τον κύκλο) μπορεί να εμφανιστεί η τιμή του φάσματος, το σημείο σε x,y συντεταγμένες και το μήκος κύματος στο σημείο εκείνο.

Δείκτης NDVI - υπολογισμός δείκτη βλάστησης

Ο δείκτης κανονικοποιημένης (ή εξομαλυμένης) διαφοράς Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) είναι ένας αριθμητικός δείκτης που χρησιμοποιεί τις ζώνες του ορατού και εγγύς υπέρυθρου του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και υιοθετήθηκε για την ανάλυση μετρήσεων τηλεπισκόπησης και αξιολόγηση όποτε ο παρατηρούμενος στόχος περιέχει πράσινη βλάστηση ή όχι.

Οι δείκτες βλάστησης (vegetation index) είναι ποσοτικές εκφράσεις οι οποίες υπολογίζονται από τις τιμές λαμπρότητας των εικονοστοιχείων (pixel) και σχετίζονται κυρίως με τη βιομάζα ή την κατάσταση της βλάστησης. Με τους δείκτες βλάστησης υπολογίζονται οι τιμές λαμπρότητας των pixel της βλάστησης και χρησιμοποιούνται ως μέσο παρακολούθησης της παραγωγής και διάκρισης της βλάστησης καθώς και για διαχρονικές συγκρίσεις.

Ο δείκτης NDVI βρήκε ευρεία εφαρμογή στις σπουδές βλάστησης και χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των αποδόσεων των καλλιεργειών, επιδόσεις βοσκοτόπων και τη φέρουσα ικανότητα μεταξύ άλλων. Συχνά συνδέεται άμεσα με άλλες παραμέτρους του εδάφους, όπως το % της εδαφοκάλυψης, φωτοσυνθετική δραστηριότητα των φυτών, επιφανειακά ύδατα, ευρετήριο φύλλων περιοχής και το ποσό της βιομάζας.

Ο δείκτης NDVI χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1973 από το Δρ. John Rouse του Κέντρου Τηλεπισκόπησης του Πανεπιστημίου Texas A&M, αν και η σύλληψη της ιδέας δημιουργίας ενός τέτοιου δείκτη ανήκει στον Krigler (1969).

Για προσδιορισμό της πυκνότητας του πράσινου σε ένα τεμάχιο γης, οι ερευνητές πρέπει να παρατηρήσουν τα διακριτά χρώματα (μήκη κύματος) του ορατού και του εγγύς-υπέρυθρου ηλιακού φωτός ανακλώμενο από τα φυτά. Όπως μπορεί κανείς να δει μέσω ενός πρίσματος πολλά διαφορετικά μήκη κύματος δημιουργούν το φάσμα του ηλιακού φωτός.

Όταν το ηλιακό φως προσκρούει σε αντικείμενα, συγκεκριμένα μήκη κύματος του φάσματος απορροφώνται και άλλα μήκη κύματος ανακλώνται. Το χρώμα στα φύλλα των φυτών, η χλωροφύλλη απορροφά έντονα ορατό φως (από 0,4 έως 0,7 μm) για χρήση στη φωτοσύνθεση. Η δομή των κυττάρων των φύλλων, από την άλλη πλευρά, αντανακλά σε μεγάλο βαθμό εγγύς υπέρυθρο φως (από 0,7 έως 1,1 μm).

Σε γενικές γραμμές, η υγιής βλάστηση θα απορροφήσει το μεγαλύτερο μέρος του ορατού φωτός που πέφτει πάνω του, και αντανακλά ένα μεγάλο μέρος του εγγύς-υπέρυθρου φωτός. Η μη υγιής βλάστηση ή αραιή βλάστηση αντανακλά περισσότερο ορατό φως και λιγότερο εγγύς-υπέρυθρο φως. Γυμνά εδάφη από την άλλη πλευρά εκφράζουν συγκρατημένη αύξηση τόσο το κόκκινο και το υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Δεδομένου ότι γνωρίζουμε τη συμπεριφορά των φυτών σε όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες NDVI με εστίαση στις ζώνες δορυφόρων που είναι πιο ευαίσθητες στις πληροφορίες βλάστησης (εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας και κόκκινο).

Επομένως όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά μεταξύ της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας και της κόκκινης ανάκλασης, πιο πολύ βλάστηση πρέπει να υπάρχει. Ο αλγόριθμος NDVI αφαιρεί τις τιμές της κόκκινης ανάκλασης από την εγγύς υπέρυθρη και τη διαιρεί με το άθροισμα των εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας και των κόκκινων ζωνών.

Έτσι:

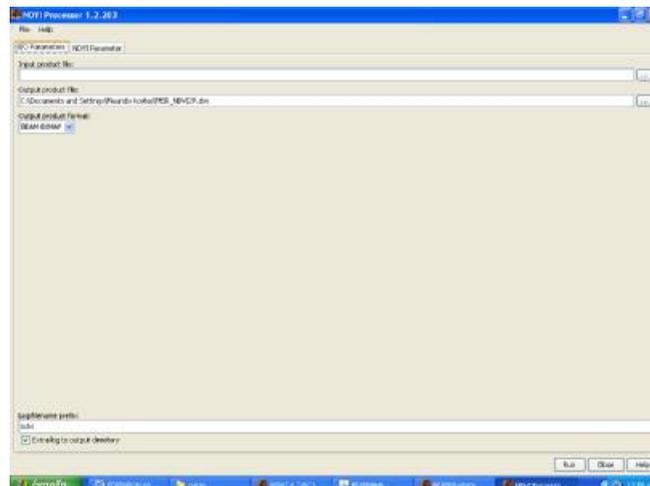
$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

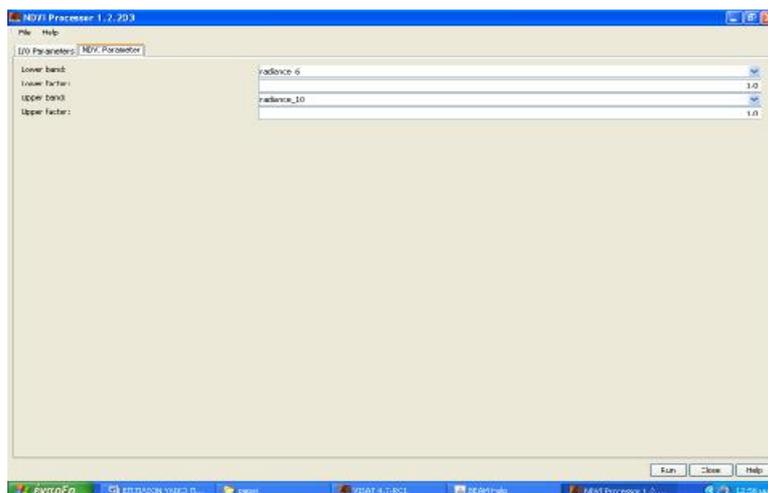
Η διατύπωση αυτή μας επιτρέπει να αντιμετωπίσουμε το γεγονός ότι δύο πανομοιότυπα τεμάχια της βλάστησης θα μπορούσαν να έχουν διαφορετικές τιμές, για παράδειγμα, το ένα σε μεγάλη ηλιοφάνεια και το άλλο σε ένα θολό ουρανό. Τα φωτεινά pixels θα έχουν όλα μεγαλύτερες τιμές και κατά συνέπεια μια μεγαλύτερη απόλυτη διαφορά μεταξύ των ζωνών. Αυτό αποφεύγεται με τη διαίρεση του αθροίσματος των ανακλάσεων.

Θεωρητικά, οι τιμές NDVI αξίες παρουσιάζονται ως αναλογία που κυμαίνεται στην τιμή -1 με 1, αλλά στην πράξη εξαιρετικά αρνητικές τιμές αντιπροσωπεύουν το νερό, τιμές κοντά στο μηδέν αντιπροσωπεύουν το γυμνό έδαφος και τιμές πάνω από 0 αντιπροσωπεύουν πυκνή βλάστηση.

Διαδικασία υπολογισμού του δείκτη NDVI στο λογισμικό

Παρακάτω φαίνεται το λογισμικό περιβάλλον σύμφωνα με το οποίο γίνεται ο υπολογισμός του δείκτη NDVI:





Ο δείκτης NDVI στο χρησιμοποιηθέν λογισμικό προκύπτει από την ακόλουθη εξίσωση:

$$NDVI = \frac{(IR_factor * near_IR - red_factor * red)}{(IR_factor * near_IR + red_factor * red)}$$

Εφαρμοζόμενος σε εικόνες MERIS και ακτινοβολίες TOA (Top Of Atmosphere), και χρήση των παρακάτω συντελεστών και μπαντών:

Εγγύς IR band:	radiance_10	(753.75 nm)
Συντελεστής IR :	2.0	
Κόκκινη band:	radiance_6	(620.00 nm)
Συντελεστής κόκκινου factor:	1.0	

οδηγεί στην παρακάτω τελική χρηστική εξίσωση που χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των εικόνων και τη λήψη δεδομένων του συντελεστή NDVI:

$$NDVI = \frac{(IR_factor * radiance_{10} - red_factor * radiance_6)}{(IR_factor * radiance_{10} + red_factor * radiance_6)}$$

Επιπλέον ο επεξεργαστής υπολογίζει επιπλέον σημαίες μπαντών (ndvi flags) με την εξής κωδικοποίηση:

Θέση Bit	Περιγραφή
Bit 0	Η υπολογισθείσα τιμή για NDVI είναι μηδέν ή άπειρο
Bit 1	Η υπολογισθείσα τιμή για NDVI είναι μικρότερο από μηδέν

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) και ο ρόλος του στην εκτίμηση του ποσοστού βλάστησης περιοχής.

Η περιγραφή της δομής της φυτικής κόμης είναι απαραίτητη ώστε να κατανοήσουμε την πορεία ανάπτυξης των φυτών, αφού επιδρά σε βάθος στη δομή δημιουργώντας μια σχέση αλληλεπίδρασης μεταξύ φυτού και περιβάλλοντος. Η αρχιτεκτονική του υπέργειου τμήματος των φυτών μιας καλλιέργειας δεν επηρεάζει μόνο τις ροές ενέργειας και μάζας μεταξύ του φυτού και του περιβάλλοντος του, αλλά μπορεί επίσης να αποκαλύψει μια στρατηγική του φυτού που έχει να κάνει με της μεγάλης διάρκειας διαδικασίες, όπως η προσαρμογή σε φυσικούς, χημικούς ή βιοτικούς παράγοντες που αντανακλούν την ζωτική δραστηριότητα των οργανισμών ή τις ιδιορρυθμίες της ανάπτυξης.

Ως φυτική κόμη (plant canopy), ορίζουμε το σύνολο των υπέργειων οργάνων μιας φυτοκοινωνίας ενώ το μέγεθος, τη διάταξη και οργάνωσή τους στο χώρο ως δομή της φυτικής κόμης (plant canopy structure). Ένας πιο λεπτομερής ορισμός της δομής, θα προσέθετε ότι η διάταξη και οργάνωση στο χώρο αναφέρεται σε παραμέτρους όπως το σχήμα, το μέγεθος, τον προσανατολισμό και τη χωρική κατανομή των διάφορων φυτικών οργάνων ή στοιχείων, όπως είναι τα φύλλα, οι βλαστοί, οι βραχίονες, τα άνθη και οι καρποί. Ωστόσο, στη δομή της φυτικής κόμης, βαρύνουσα σημασία έχουν τα φύλλα, καθώς είναι αυτά που κυρίως διαμορφώνουν τον τύπο της δομής ή διαφορετικά την αρχιτεκτονική της.

Η αρχιτεκτονική της φυτικής κόμης διαδραματίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε μια φυτοκοινωνία, καθώς καθορίζει τις ροές ενέργειας και μάζας ανάμεσα στα φυτά και στο περιβάλλον τους, ενώ ρυθμίζει και μια σειρά από φυσιολογικές λειτουργίες. Πιο συγκεκριμένα, ο τύπος της δομής, καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο διαδίδεται η ηλιακή ακτινοβολία μέσα στη φυτική κόμη, διαμορφώνοντας αυτό που ονομάζουμε ως «το μικροκλίμα της ακτινοβολίας». Ακόμα, η παρουσία και η δομή της φυτικής κόμης ασκεί μεγάλη επίδραση στην κατακόρυφη μεταβολή της θερμοκρασίας και της υγρασίας.

Επιπλέον, επιδρά στην πρόσληψη και μεταφορά των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων, στη ροή του ανέμου, στη διαμόρφωση της εδαφικής θερμοκρασίας και υγρασίας αλλά και της ροής της θερμότητας στο έδαφος. Έτσι η φυτική κόμη μπορεί να είναι σημαντική στον καθορισμό του φυσικού περιβάλλοντος άλλων οργανισμών μέσα στη φυτοκοινωνία και στην επιτυχή ή όχι εγκατάσταση και ανάπτυξή τους.

Η δομή της φυτικής κόμης είναι δυνατόν να επηρεάσει με έμμεσο τρόπο:

1. φυσιολογικές διαδικασίες, όπως αυτές της φωτοσύνθεσης, της αναπνοής, της κυτταρικής αύξησης και της φωτομορφογένεσης.

2. την μόλυνση και μετάδοση των παθογόνων.

3. την αύξηση και τον πολλαπλασιασμό των εντόμων.

4. τον ανταγωνισμό μεταξύ των ειδών μιας φυτοκοινωνίας.

Έχει έμμεση επίδραση στην υγρασία και την θερμοκρασία του εδάφους και μπορεί επίσης να επηρεάσει την ανάπτυξη του ριζικού συστήματος καθώς και τις απώλειες νερού λόγω εξάτμισης. Επηρεάζει τις διαδικασίες αποικοδόμησης των φυτικών υπολειμμάτων και την ανάπτυξη μικροβιακών πληθυσμών στο έδαφος.

Σε μια φυτοκοινωνία ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI) είναι καθοριστικός για την εκτίμηση του ποσού της φωτοσυνθετικά ενεργού ακτινοβολίας που δεσμεύεται από την βλάστηση. Στη βλάστηση το ποσοστό συσσώρευσης βιομάζας καθορίζεται από τη συναφή φωτοσυνθετικά ενεργό ακτινοβολία και από το δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (leaf area index - LAI) αντανακλά σε μεγάλο βαθμό την πραγματική παραγωγική ικανότητα, δηλαδή την απόδοση μιας φυτοκοινωνίας. Η γνώση των μεταβολών του δείκτη, καθ' όλη την χρονική διάρκεια μελέτης, αποτελεί ένα μέτρο της παραγωγικότητάς της, καθώς και ένα τρόπο για την κατανόηση και παρακολούθηση οντογενετικών αλλαγών και χαρακτηριστικών ανάπτυξης.

Οι τιμές του LAI κυμαίνονται από 3 έως 6 για τα περισσότερα είδη της βλάστησης σε εύκρατες περιοχές. Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες σε μεσογειακά και τροπικά κλίματα και κυμαίνονται από 6 έως 11 .

Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας αυξάνεται εκθετικά κατά την περίοδο της έντονης ανάπτυξης των φυτών, αποκτά μια μέγιστη τιμή κατά την περίοδο της άνθησης (αναπαραγωγική περίοδος) και ακολούθως υφίσταται μείωση στο διάστημα πριν από το τέλος της περιόδου, που οφείλεται στη γήρανση και στη σταδιακή πτώση των μεγαλύτερων σε ηλικία φύλλων των φυτών της καλλιέργειας .

Σε φυσικά οικοσυστήματα και φυτοκοινωνίες, ο LAI αυξάνει κατά τρόπο που εξαρτάται από το ισοζύγιο του νερού, την επάρκεια σε θρεπτικά στοιχεία, την κατανομή του φωτός μέσα στη φυτική κόμη και μια σειρά από άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες (π.χ θερμοκρασία).

Ως φωτοσυνθετικά ενεργός ηλιακή ακτινοβολία (PAR) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ορίζεται το μέρος του ηλιακού φάσματος με μήκος κύματος 400 ως 700 nm, το οποίο μπορεί να αξιοποιηθεί από τον φωτοσυνθετικό μηχανισμό των φυτών για την σύνθεση της οργανικής ύλης.

Ως αξιοποιήσιμη PAR ορίζεται η διαφορά μεταξύ της φωτοσυνθετικά ενεργού ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στην κορυφή της φυτικής κόμης και αυτής που διαπερνά το φύλλωμα και φθάνει στην βάση του φυτού. Η διαφορά αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί από τα φυτά μέσω του μηχανισμού της φωτοσύνθεσης.

Στη διεργασία της φωτοσύνθεσης συμμετέχει το σύνολο των φύλλων του φυτού. Η μείωση της ακτινοβολίας στα φυτά εξαρτάται κυρίως από την πυκνότητα του φυλλώματος και τη διεύθυνση των φύλλων της κόμης. Η πυκνότητα φυλλώματος μπορεί να εκφραστεί ποσοτικά από το δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Σύμφωνα με το νόμο της απόσβεσης Lambert-Beer, η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας μειώνεται σχεδόν εκθετικά με την αύξηση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Εάν η διάταξη σε στρώματα του φυλλώματος είναι ομοιογενής, η πτώση της ακτινοβολίας μπορεί να υπολογιστεί από τη τροποποίηση της εξίσωσης απόσβεσης των Monsi και Saeki's,

$$I = I_0 * e^{-k * LAI}$$

όπου:

I : η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας στην κορυφή της φυτικής κόμης,

I₀: η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας σε ένα οποιοδήποτε σημείο μέσα στη φυτική κόμη,

k: ο συντελεστής απόσβεσης της ηλιακής ακτινοβολίας για αυτήν την ιδιαίτερη ομάδα φυτών και

LAI: ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας.

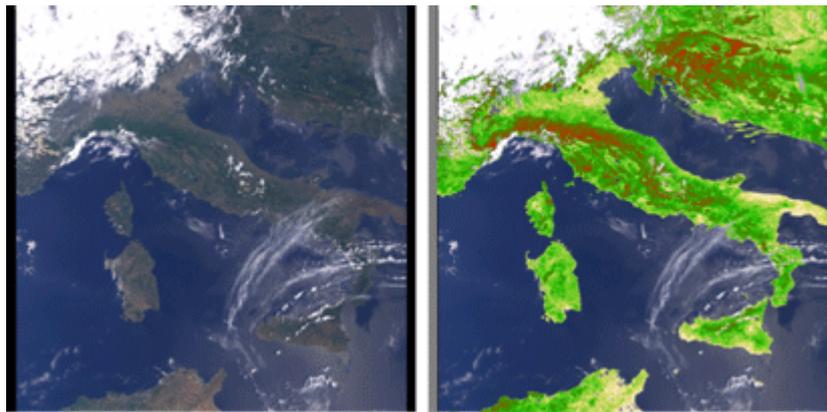
Ο συντελεστής απόσβεσης δείχνει το βαθμό μείωσης της ακτινοβολίας μέσα στη φυτική κόμη για έναν δεδομένο δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Στις δασικές περιοχές, όπου τα φύλλα τείνουν να έχουν έναν όρθιο προσανατολισμό (περισσότερα από 3/4 των φύλλων είναι σε γωνία μεγαλύτερη από 45⁰ από τον οριζόντιο), ο συντελεστής απόσβεσης είναι μικρότερος από 0,5, και στη μέση της φυτικής κόμης η ένταση της ακτινοβολίας είναι τουλάχιστον μισή από αυτή της εξωτερικής ακτινοβολίας.

Παράγοντες μελέτης του αλγορίθμου TOA-VEG (αλγόριθμος βλάστησης)

Ο προτεινόμενος αλγόριθμος που ονομάζεται TOA-VEG βασίζεται στην εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων πάνω σε βάση δεδομένων που η προσομοίωση γίνεται μέσω μοντέλων μεταφοράς ακτινοβολίας. Απαιτεί TOA (Top Of Atmosphere-Πάνω από την ατμόσφαιρα) MERIS ανακλάσεις και σχετική γεωμετρία ως εισροές και επιτρέπει τον υπολογισμό των τεσσάρων βιοφυσικών μεταβλητών βλάστησης, που αναλύονται παρακάτω:

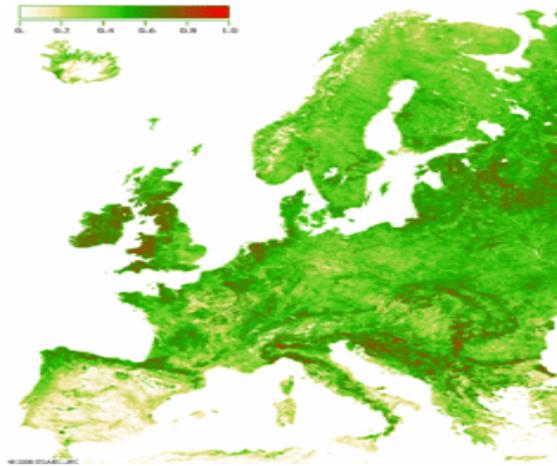
fAPAR: αντιστοιχεί στο κλάσμα της ενεργού φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας που απορροφάται από την κομοστέγη (πάνω μέρος της βλάστησης-φυλλωμάτων) και εξαρτάται τόσο από την κομοστέγη τη δομή όσο και τις συνθήκες φωτισμού. Για να είναι σταθερός με τις απαιτήσεις των περισσότερων μελετητών, οι οποίοι ασχολούνται με την καθημερινή ολοκληρωμένη αξία fAPAR καθώς και με άλλα προϊόντα fAPAR που εξετάζουν την τιμή της στιγμιαίας fAPAR κατά το χρόνο της δορυφορικής τροχιάς υπό συνθήκες μη νέφωσης, έχει γίνει ευρέως αποδεκτό η χρήση του fAPAR στις 10:00 σε συνθήκες μη νέφωσης. Ο δείκτης fAPAR αφορά μόνο τα πράσινα μέρη (περιεχόμενο χλωροφύλλης φυλλωμάτων υψηλότερο από 15 μg.cm⁻²) της κομοστέγης.

Αυτό το βιογεωφυσικό προϊόν διαδραματίζει έναν κρίσιμο ρόλο στη φωτοσυνθετική διαδικασία και χρησιμοποιείται τακτικά στα διαγνωστικά και προβλεπτικά μοντέλα για τον υπολογισμό της πρωτογενούς παραγωγικότητας της βλάστησης. Έχει καθιερωθεί ως θεμελιώδης παράμετρος επιφάνειας από διεθνείς οργανισμούς, συμπεριλαμβανομένου του διεθνούς συστήματος παρατήρησης του κλίματος (GCOS), επιφορτισμένη με την παροχή στοιχείων σχετικά με το κλιματικό σύστημα της Γης. Εδώ δείχνεται σαν ενδεικτικό παράδειγμα ένας χάρτης FAPAR της Ιταλίας.



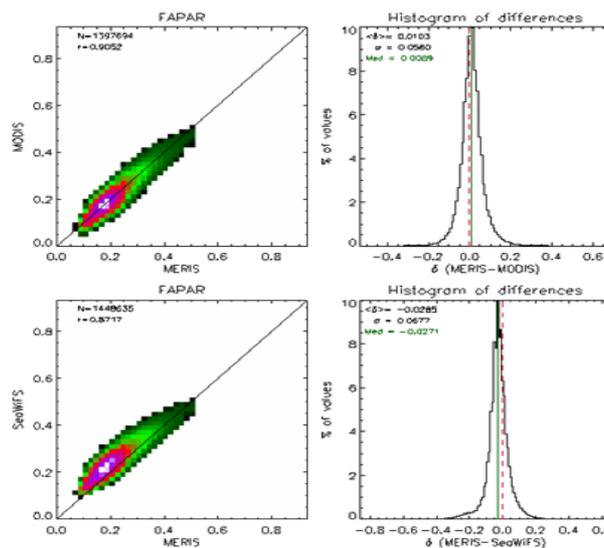
Εικόνα 25. Χάρτης FAPAR της Ιταλίας.

Οι κόκκινες περιοχές αντιστοιχούν σε γεωργικές ζώνες για τις οποίες υπάρχει μεγάλη φωτοσυνθετική δραστηριότητα και ως εκ τούτου υψηλή παραγωγικότητα βλάστησης και κίτρινο σε άσπρο περιοχές δείχνουν χαμηλό βαθμό φωτοσυνθετικής δραστηριότητας. Ο γενικός αλγόριθμος αποτελεί σημαντικό βιοφυσικό δείκτη και προέρχεται από πολυ-φασματικές μετρήσεις που εκτελούνται από χωρικούς αισθητήρες, χωρίς εκ των προτέρων γνώση για την κάλυψη γης. Η λήψη και η επεξεργασία τέτοιων στοιχείων αποσκοπεί στην εξασφάλιση της διαθεσιμότητας μακρών χρονολογικών σειρών του παγκόσμιου FAPAR με το συνδυασμό προϊόντων που προέρχονται από διαφορετικούς αισθητήρες. *Το τελευταίο αυτό μέτρο είναι βασικής σημασίας για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών τάσεων, προκειμένου να κατευθύνουν τη χάραξη πολιτικής και για τη στήριξη της βιώσιμης ανάπτυξης.*



Εικόνα 26. Χάρτης Ευρώπης FAPAR από MERIS.

Η σύγκριση αυτή διεξάγεται με τη χρήση καθημερινών (στιγμαιαίων) προϊόντων σε γεωγραφικά περιορισμένες περιοχές, καθώς και 10-ημέρα και μηνιαία σύνθετα προϊόντα πάνω από την Ευρώπη.



Εικόνα 27. Γραφήματα σημείων και ιστογράμματα διαφορών μεταξύ τιμών FAPAR από διαφορετικούς αισθητήρες. Το N δείχνει τον αριθμό των pixels, r τη διόρθωση, $\langle \delta \rangle$ το μέσο των διαφορών, σ την τυπική απόκλιση και Med τη μέση τιμή των διαφορών.

fCover: αντιστοιχεί στο κλάσμα ανοίγματος για την κατεύθυνση ναδίρ. Πρόκειται για μια εγγενή μεταβλητή της κομοστέγης που δεν εξαρτάται από μεταβλητές όπως η γεωμετρία του φωτισμού σε σύγκριση με τον fAPAR. Για το λόγο αυτό, είναι ένας πολύ καλός υποψήφιος για την αντικατάσταση των κλασικών δεικτών βλάστησης για την παρακολούθηση της πράσινης βλάστησης. Και αυτός ο δείκτης αφορά μόνο τα πράσινα μέρη (περιεχόμενο χλωροφύλλης φυλλωμάτων υψηλότερο από $15 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) της κομοστέγης θα λαμβάνεται υπόψη.

LAI (Leaf Area Index, Δείκτης Φυλλικής Επιφάνειας): ορίζεται ως το ήμισυ της ανεπτυγμένης περιοχή στοιχείων πράσινης βλάστησης (περιεχόμενο χλωροφύλλης φυλλωμάτων υψηλότερο από $15 \mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) ανά μονάδα του οριζόντιου εδάφους. Η τιμή του LAI της βλάστησης, όπως εκτιμάται από την τηλεπισκόπηση θα περιλαμβάνει όλους τους συνεισφέροντες παράγοντες πρασίνου, δηλαδή συμπεριλαμβανομένων όλων των φυτών που υπάρχουν κάτω από τις κομοστέγες.

LAIxCab: το ποσό της χλωροφύλλης μπορεί να υπολογιστεί τόσο σε επίπεδο φυλλωμάτων όσο και σε επίπεδο κομοστέγης, από τον πολλαπλασιασμό του επιπέδου περιεχομένου χλωροφύλλης φυλλώματος με τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας. Δεδομένου γενικά, ότι μέσης κλίμακας ανάλυση MERIS χρησιμοποιείται με ετερογενή pixels, το προϊόν LAIxCab είναι περισσότερο το επίπεδο περιεχομένου της χλωροφύλλης των φυλλωμάτων. Ο υπολογισμός αυτού του παράγοντα συνδυάζει δύο στοιχεία σε κάθε εικονοστοιχείο και είναι πιο αξιόπιστος μιας και δεν εξαρτάται μόνο από το ποσό της χλωροφύλλης αλλά και την πυκνότητα της βλάστησης μιας και ο κάθε παράγοντας αποσπασματικά δεν θα μας προσέφερε αξιόπιστες πληροφορίες εάν δεν ήταν σε κάποιο επίπεδο τιμής. Έτσι ο παράγοντας αυτός προτιμάται έναντι του παράγοντα περιεχομένου χλωροφύλλης φυλλωμάτων.

Προσδιορισμός αλγορίθμου MERIS TOA-VEG

Οι αλγόριθμοι και η σχετική μέθοδος ατμοσφαιρικών διορθώσεων (για την αποφυγή δεδομένων μη συναφών με τα χαρακτηριστικά της δορυφορικής εικόνας) συνδυάζονται και χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση της ανάκλασης στις εξεταζόμενες ζώνες (bands-μπάντες) MERIS (412 nm, 442 nm, 490 nm, 510 nm, 560 nm, 620 nm, 665 nm, 681,25 nm, 708,75 nm, 753,75 nm, 778,75 nm, 865 nm, 885 nm). Οι μπάντες απορρόφησης του οξυγόνου και του νερού δεν έχουν χρησιμοποιηθεί, επειδή θα μετέφεραν σημαντικά συνδεόμενα στοιχεία αβεβαιότητας ενώ παρέχουν μόνο ελάχιστης σπουδαιότητας και χρησιμότητας πληροφορίες για την επιφάνεια. Οι οπτικές ιδιότητες του φόντου προσομοιώνονται χρησιμοποιώντας μια συλλογή από τυπικά φάσματα ανάκλασης εδάφους, νερού και χιονιού. Ένας παράγοντας φωτεινότητας χρησιμοποιείται για την παροχή πρόσθετης ευελιξίας της ανάκλασης του φόντου. Τέλος, προς όφελος των μέσης ανάλυσης παρατηρήσεων των MERIS, μικτά pixels προσομοιώνονται με μεταβλητά κλάσματα του καθαρού υπόβαθρου και καθαρής βλάστησης. Η προσομοίωση των ζωνών MERIS απαιτεί 15 μεταβλητές εισόδου που βασίζονται σε προκαθορισμένο σχέδιο προκειμένου να ληφθεί μια πιο ομοιόμορφη περιοχή βλάστησης της υλοποιούμενης μελέτης της κομοστέγης. Για την παροχή αυξημένων επιδόσεων του νευρωνικού δικτύου, οι κατανομές κάθε μεταβλητής εισόδου είναι κοντά στις πραγματικές κατανομές όταν είναι εφικτό, αν και ρεαλιστικοί συνδυασμοί

κατανομών επίσης χρησιμοποιούνται. Αυτό επιτυγχάνεται με την θεώρηση αντιπροσωπευτικής κατανομής των στόχων πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, που περιορίζει τη γεωμετρία παρατήρησης, καθώς και τα πιθανά ποσά βλάστησης. Ένας συνολικός αριθμός 73,728 περιπτώσεων προσομοιώνεται. Τα μισά από αυτό το σύνολο των δεδομένων χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση των δικτύων, το ένα τέταρτο για την αξιολόγηση της υπερ-εξειδίκευσης και το τελευταίο τέταρτο για την ποσοτικοποίηση των θεωρητικών αποδόσεων.

Νευρωνικά δίκτυα πίσω-διάδοσης έχουν εκπαιδευτεί για κάθε υπό εξέταση μεταβλητή. Η αρχιτεκτονική έχει βελτιστοποιηθεί που έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία 2 κρυμμένων στρωμάτων εφαπτομενικών-σιγμοειδών νευρώνων που αντιστοιχούν σε ένα σύνολο περίπου 300 συντελεστών για ρύθμιση, και παρέχοντας ένα καλό λόγο (50-100), με το μέγεθος των εκπαιδευόμενων στοιχείων της βάσης δεδομένων. Οι θεωρητικές αποδόσεις αξιολογήθηκαν πάνω στα δεδομένα της προσομοίωσης και αυτό επιτρέπει την παροχή εκτιμήσεων των αβεβαιοτήτων. Βρίσκονται κοντά στο 0,06 (απόλυτη τιμή) για το fAPAR και το fCover, και κοντά στο 25% (σχετική τιμή) για το LAI και το LAIxCab που δείχνει κάποια απώλεια της ευαισθησίας για τις μεγαλύτερες τιμές του LAI και LAIxCab που οφείλονται σε φαινόμενα κορεσμού.

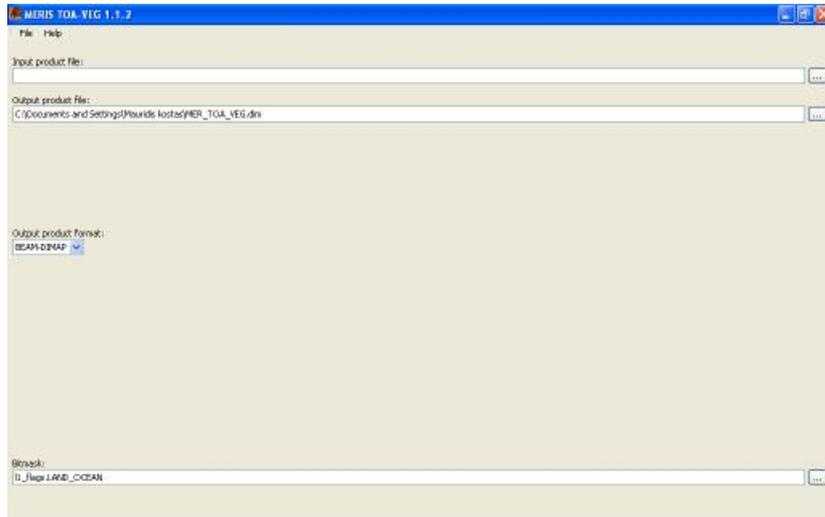
Επικύρωση του αλγόριθμου

Διάφορες ασκήσεις επικύρωσης του αλγόριθμου έχουν πραγματοποιηθεί σε δορυφορικές εικόνες πλήρους και μειωμένης ανάλυσης. Ειδικότερα, ο αλγόριθμος έχει επικυρωθεί πάνω σε επίγειες μετρήσεις (δεδομένα από VALERI, MODLAND, Bigfoot και CCRS) και σε σύγκριση σε πάνω από 26 τοποθεσίες με άλλα προϊόντα (MODIS, CYCLOPES, ECOCLIMAP). Τα κύρια αποτελέσματα είναι τα ακόλουθα:

- Η χρονική συνέπεια μεταξύ των προϊόντων MERIS TOA-VEG, MODIS, CYCLOPES και ECOCLIMAP προϊόντα είναι πολύ καλή και ο κύκλος της βλάστησης ανιχνεύεται καλά.
- Τα προϊόντα MERIS δείχνουν μια σχετικά καλή συμφωνία με τα προϊόντα MODIS για LAI κάτω από 2,0. Πάνω από LAI 2,0 η τιμή του LAI του MODIS είναι συστηματικά υψηλότερη από εκείνη των MERIS.
- Η καλύτερη συμφωνία παρατηρήθηκε μεταξύ των προϊόντων CYCLOPES και MERIS για όλους τους τύπους κάλυψης, σε σύγκριση με CYCLOPES και MODIS.
- Όσον αφορά τη συνοχή μεταξύ των προϊόντων, TOA-VEG υπάρχει μια σχετικά ισχυρή σχέση μεταξύ LAI και fAPAR.
- Η ποιότητα των αποτελεσμάτων δεν είναι εξασφαλισμένη όταν η ηλιακή γωνία ζενίθ είναι μεγαλύτερη από 60° λόγω των περιορισμών στην αντιπροσωπευτικότητα του μοντέλου μεταφοράς ακτινοβολίας της κομοστέγης που χρησιμοποιείται για την εκπαίδευση των νευρωνικών δικτύων.

Τα συμπεράσματα της άσκησης επικύρωση είναι ότι τα προϊόντα TOA-VEG επιδεικνύουν αρκετά καλά αποτελέσματα, αλλά όταν ο LAI είναι πάνω από 2,0 μπορεί να υποτιμηθεί από τον επεξεργαστή.

Το λογισμικό περιβάλλον στο πρόγραμμα VISAT 4.6.1 (μόνο σε αυτήν την έκδοση είναι πλήρως διαθέσιμο και τεκμηριωμένο) δίνεται παρακάτω:

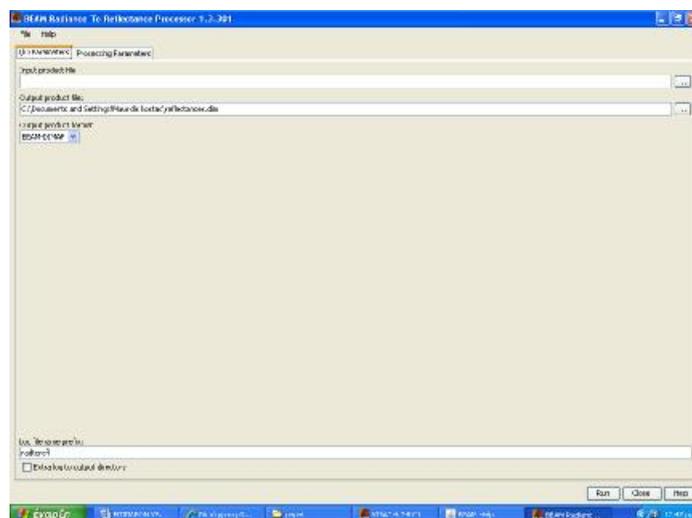


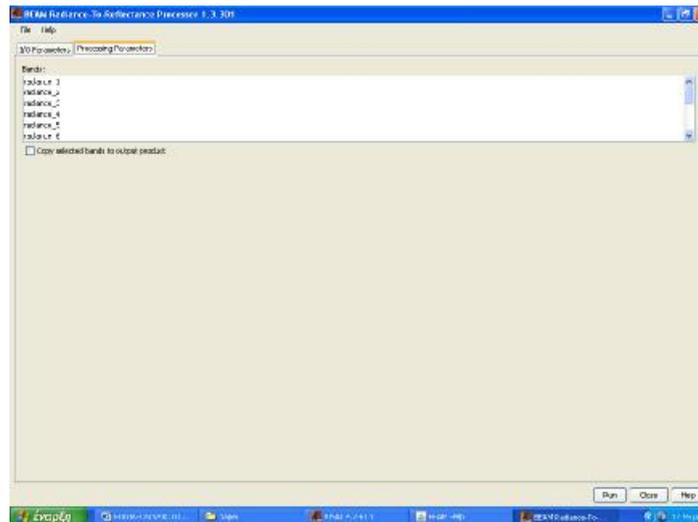
Ραδιομετρική διόρθωση μέσω του λογισμικού

Ραδιομετρική διόρθωση μέσω του λογισμικού VISAT 4.7: ο επεξεργαστής για την ραδιομετρική διόρθωση {στο μενού εντολών στα Tools επιλέγω την εντολή Radiance-To-Reflectance Conversion Processor (MERIS)} μετατρέπει τις ακτινοβολίες TOA , LTOA σε ανακλάσεις:

$$R_{(TOA)}(I) = \frac{\rho L_{(TOA)}(I)}{E_o(I) \cos \theta}$$

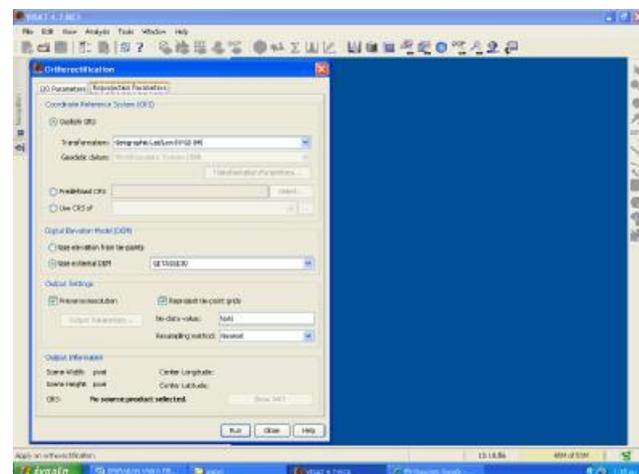
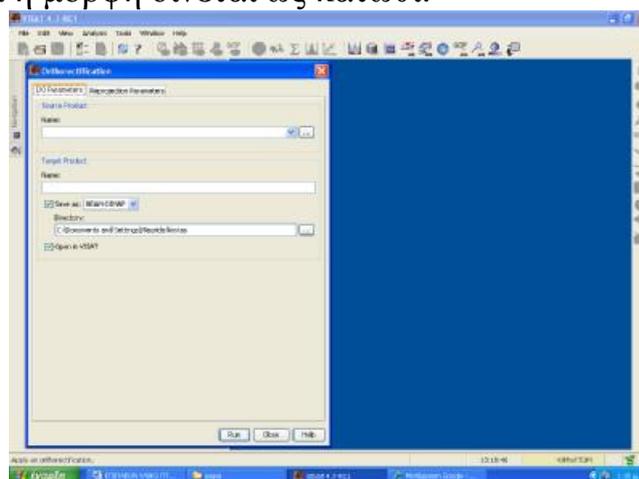
όπου: E_o και θ είναι αντίστοιχα ο **ηλιακός φασματικός ακτινοβολισμός** και η **ηλιακή γωνία ζενίθ**.





Γεωμετρική διόρθωση μέσω του λογισμικού

Η γεωμετρική διόρθωση μέσω του λογισμικού γίνεται με τις εντολές από το μενού εντολών: **Orthorectification (ορθοαναγωγή) & reprojection (επαναπροβολή)** και η μορφή δίνεται ως κάτωθι:



Η εντολή αυτή εφαρμόζεται σε επιλεγμένες όψεις του χάρτη που θέλουμε να επεξεργαστούμε και να λάβουμε ποιο σωστές πληροφορίες αφαιρώντας παράγοντες που αφαιρούν στοιχεία και αξιοπιστία από την εικόνα του χάρτη, σε συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων και δημιουργεί ένα νέο προϊόν (εικόνα) που θα περιέχει διορθωμένες τιμές των εικονοστοιχείων (pixels) λαμβάνοντας υπόψη στο χρησιμοποιούμενο ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου (**Digital Elevation Model (DEM)**). Εάν δεν επιθυμούμε να πραγματοποιηθεί και γεωδαιτική διόρθωση χρησιμοποιούμε την εντολή Reprojection.

Επεξεργαστής Πιθανότητας Νέφωσης (Cloud Probability Processor)

Ο επεξεργαστής Πιθανότητας Νέφωσης (Cloud Probability Processor) του BEAM υλοποιεί την ανίχνευση των νεφών σε μια δορυφορική εικόνα. Το προϊόν εξόδου που δημιουργήθηκε περιέχει μία raster εικόνα και αναφέρει την πιθανότητα ότι το τρέχον εικονοστοιχείο είναι ένα εικονοστοιχείο σύννεφου, και προσφέρει τρεις επιπλέον σημαίες (σημαίες-flags) για δηλώσει αυτό το εύρημα. Οι τρεις σημαίες υποδεικνύουν εικονοστοιχεία που είναι νέφωση (πιθανότητα >80%), χωρίς νέφωση (πιθανότητα<20%) ή όπου είναι αβέβαιο (20% <πιθανότητα <80%).

Ο επεξεργαστής αυτός χρησιμοποιεί έναν συντηρητικό αλγόριθμο ανίχνευσης νεφών σε καθαρό ουρανό που βασίζεται σε τεχνητά νευρωνικά δίκτυα και αναπτύχθηκε από τον Rene Preusker του πανεπιστημίου Free University Berlin.

Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί 9 φασματικές ζώνες του MERIS, το λόγο της ζώνης 11 και 10, γεγονός που αποτελεί ένδειξη της απορρόφησης που οφείλεται στο οξυγόνο, την πίεση επιφανείας ECMWF και το ακριβές μήκος κύματος της μπάντας 11 ως είσοδο (input). Ως έξοδο, παράγει μια τιμή πιθανότητας (0 ... 1) που δείχνει αν ένα pixel μπορεί να θεωρηθεί ως ένα σύννεφο ή μη. Μια τέτοια πιθανότητα επιτρέπει έναν πιο ευέλικτο τρόπο να εργαστεί με προσδιορισμένα σύννεφα σε σύγκριση με μια δυαδική μάσκα σύννεφου.

Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί δύο διαφορετικά τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Το πρώτο χρησιμοποιείται πάνω από τον ανοιχτό ωκεανό και το δεύτερο πάνω από τη γη. Η διάκριση μεταξύ του ωκεανού και της γης γίνεται σύμφωνα με τις πληροφορίες υψόμετρου. Εάν το υψόμετρο είναι χαμηλότερο από -50 μέτρα το δίκτυο του ωκεανού χρησιμοποιείται.

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του αλγορίθμου, χρησιμοποιώντας το μοντέλο μεταφοράς ακτινοβολίας MOMO, προσομοίωση της ακτινοβολίας των νεφών και μη στην κορυφή της ατμόσφαιρας έχουν παραχθεί και ένα τεχνητό νευρωνικό δίκτυο (ANN) έχει εκπαιδευτεί στη διαδικασία αυτή. Αυτό το νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιείται τώρα στον επεξεργαστή πιθανότητας νέφωσης, όπου θα τροφοδοτείται με τις reflectances (αντανakλάσεις) και την πίεση. Μια μετα-επεξεργασία εφαρμόζεται μετά το δίκτυο (nn2prop) που ιεραρχεί την έξοδο του νευρωνικού δικτύου σε μια τιμή πιθανότητας

Τα σύννεφα είναι εύκολα στην ανίχνευση, όταν μια χειρωνακτική ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων γίνεται όμως η αυτόματη ανίχνευση τους είναι αρκετά δύσκολη. Τα σύννεφα έχουν τέσσερις ειδικές ιδιότητες ακτινοβολίας που επιτρέπουν τον εντοπισμό τους:

- τα σύννεφα είναι λευκά,
- τα σύννεφα είναι φωτεινά,
- τα σύννεφα είναι υψηλότερα από την επιφάνεια και
- τα σύννεφα είναι κρύα.

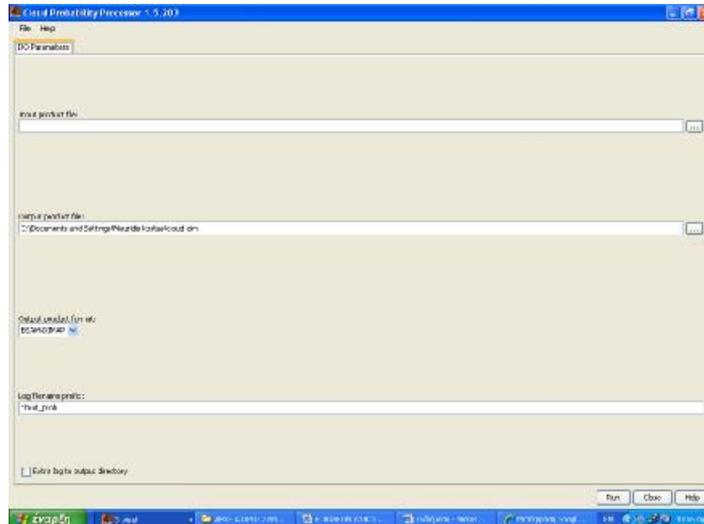
Ωστόσο σύννεφα, τα οποία είναι το πιο μεταβλητό ατμοσφαιρικό στοιχείο, δείχνουν σπάνια τις τέσσερις ιδιότητές τους ταυτόχρονα. Τα αραιά σύννεφα δείχνουν ένα μέρος των φασματικών ιδιοτήτων της υποκείμενης επιφάνειας, και τα χαμηλά σύννεφα είναι μερικές φορές αρκετά θερμότερα. Επιπλέον, ορισμένοι τύποι επιφάνειας, όπως το χιόνι και ο πάγος έχουν φασματικές ιδιότητες που είναι πολύ παρόμοιες με ορισμένες από τις ιδιότητες των σύννεφων.

Ως εκ τούτου απλοί αλγόριθμοι συχνά αποτυγχάνουν και τα υφιστάμενα συστήματα ανίχνευσης νέφωσης κάνουν χρήση αριθμού διαφορετικών δοκιμών για να υπολογίσουν την πολυπλοκότητα. Ο MERIS μετρά ακτινοβολίες σε 15 κανάλια μεταξύ 400nm και 1000nm. Έτσι, οι πολύτιμες θερμικές πληροφορίες και πληροφορίες σχετικά με την απορρόφηση στο υγρό και πάγο σε 1.6μm και 3μm δεν είναι διαθέσιμες. Η ανίχνευση νέφωσης για MERIS πρέπει να βασιστεί κυρίως στις ιδιότητες 1, 2 και 3. Επιπλέον, μια μικρή απορρόφηση του χιονιού σε 900nm θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση του χιονιού από τα χαμηλά σύννεφα.

Σε γενικές γραμμές, οι αλγόριθμοι εντοπισμού νέφωσης μπορούν να χωριστούν σε δύο κατηγορίες: συντηρητικά καθαρός ουρανός και συντηρητικά με νέφωση. Οι αλγόριθμοι συντηρητικά καθαρού ουρανού δομούνται έτσι ώστε η πιθανότητα μιας πρώτης τάξης σφάλματος για το σαφή εντοπισμό καθαρού ουρανού είναι πολύ χαμηλή, με άλλα λόγια: αν ένα pixel εντοπίζεται ως καθαρό, η πιθανότητα νέφωσης θα πρέπει να είναι πολύ χαμηλή. Αυτό έχει συχνά ως αποτέλεσμα ότι πολλά εικονοστοιχεία χωρίς νέφωση εντοπίζονται ως νέφωση. Το αντίθετο ισχύει για τους συντηρητικούς αλγόριθμους νέφωσης. Εδώ η πιθανότητα πρώτης τάξης σφάλματος στην ανίχνευση νέφωσης είναι χαμηλή, με αποτέλεσμα πολλά εικονοστοιχεία με νέφωση να λείπουν. Αυτό οδηγεί σε δύο διαφορετικές ονοματολογίες.

Αμιγείς (καθαροί) συντηρητικοί αλγόριθμοι "καθαρός ουρανός" σημειώνουν εικονοστοιχεία σαν χωρίς νέφωση ή σαν πιθανή νέφωση, όπου οι αλγόριθμοι αυτοί ανιχνεύουν εικονοστοιχείο νέφωσης ή πιθανώς μη νέφωσης. Ωστόσο, στην πράξη, οι περισσότεροι αλγόριθμοι εντοπισμού νέφωσης προσπαθούν να ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα σφάλματος πρώτης και δεύτερης τάξης στην ανίχνευση νέφωσης ή μη νέφωσης μόνο με την τάση για νέφωση ή μη αντίστοιχα. Το τι είδους αλγόριθμο ανίχνευσης νεφών θα πρέπει να χρησιμοποιούμε είναι κυρίως θέμα των διαδοχικών αλγορίθμων. Αλγόριθμοι

που βασίζονται σε εικονοστοιχεία νέφωσης χρειάζονται μια συντηρητική ανίχνευσης νέφωσης και αντιστρόφως. Κλιματολογικές εφαρμογές απαιτούν συχνά ισορροπημένο εντοπισμό για να μην υπάρχει υπόνοια σφάλματος και σαφώς λάθη στις εκτιμήσεις μας.



Επιλογή και επεξεργασία περιοχών μελέτης

Οι διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες δίνονται στον πίνακα παρακάτω:

Πίνακας 7. Διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες ελλαδικού και ευρύτερου μεσογειακού χώρου.

A/A	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΑΣ
1	26/7/2007	Πιθανή φωτιά Αιγιάλεια – Δυτικά της Καλαμάτας
2	26/7/2007	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
3	27/7/2007	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
4	29/7/2007	Περιοχή μελέτης
5	29/7/2007	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
6	30/7/2007	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
7	1/8/2007	Περιοχή μελέτης
8	1/8/2007	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
9	2/8/2007	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
10	20/8/2007	Περιοχή μελέτης

11	26/8/2007	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
12	26/8/2007	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
13	30/8/2007	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
14	30/8/2007	Καπνοί από φωτιά στην πελοπόννησο
15	8/9/2007	Δ.Ε. (Δεν υπήρχαν στοιχεία προς επεξεργασία)
16	9/9/2007	Περιοχή μελέτης
17	28/9/2007	Περιοχή μελέτης
18	4/10/2007	Περιοχή μελέτης
19	7/10/2007	Εκτεταμένη νεφοκάλυψη περιοχής μελέτης
20	10/10/2007	Περιοχή μελέτης με μερική νεφοκάλυψη
21	17/10/2007	Δ.Ε. (Δεν υπήρχαν στοιχεία προς επεξεργασία)
22	13/10/2007	Δ.Ε. (Δεν υπήρχαν στοιχεία προς επεξεργασία)
23	14/10/2007	Δ.Ε. (Δεν υπήρχαν στοιχεία προς επεξεργασία)
24	5/11/2007	Περιοχή μελέτης με εκτεταμένη νεφοκάλυψη
25	27/11/2007	Περιοχή μελέτης με εκτεταμένη νεφοκάλυψη
26	1/12/2007	Περιοχή μελέτης με νέφωση
27	6/12/2007	Περιοχή μελέτης με νέφωση
28	7/12/2007	Περιοχή μελέτης
29	20/1/2008	Περιοχή μελέτης
30	29/1/2008	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
31	18/2/2008	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
32	25/6/2008	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
33	27/6/2008	Περιοχή μελέτης
34	14/7/2009	Περιοχή μελέτης
35	17/7/2009	Περιοχή μελέτης
36	26/7/2009	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)
37	26/7/2009	Δ.Ε. (Εκτός περιοχής μελέτης)

38	15/8/2009	Περιοχή μελέτης
39	18/8/2009	Περιοχή μελέτης
40	21/8/2009	Φωτιά στη Ζάκυνθο κοντά στις Βολίμες
41	22/8/2009	Φωτιά ΒΑ Αττική και Λακωνία
42	24/8/2009	Φωτιά ΝΑ Βοιωτία
43	25/8/2009	Περιοχή μελέτης με νέφωση
44	27/8/2009	Περιοχή μελέτης
45	28/8/2009	Περιοχή μελέτης
46	31/8/2009	Περιοχή μελέτης με νέφωση
47	3/9/2009	Περιοχή μελέτης με νέφωση
48	3/2/2010	Περιοχή μελέτης με νέφωση

Από όλες τις παραπάνω 48 διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες επιλέξαμε τις 30 που περιλαμβάνουν τις περιοχές της Ζακύνθου, και της Πελοποννήσου για επεξεργασία σχετικά με τις πυρκαγιές και τις επιπτώσεις τους στην χλωρίδα των περιοχών αυτών.

Ο πίνακας των δορυφορικών εικόνων που θα χρησιμοποιηθούν είναι ο παρακάτω:

Πίνακας 8. Επιλεγμένες δορυφορικές εικόνες περιοχών μελέτης (Πελοποννήσου, Ζακύνθου).

A/A	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ	ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΑΣ
1	26/7/2007	Πιθανή φωτιά Αιγιάλεια - Ανατολική Κυπαρισσία
2	29/7/2007	Περιοχή μελέτης
3	1/8/2007	Περιοχή μελέτης
4	20/8/2007	Περιοχή μελέτης
5	30/8/2007	Καπνοί από φωτιά στην πελοπόννησο
6	9/9/2007	Περιοχή μελέτης
7	28/9/2007	Περιοχή μελέτης
8	4/10/2007	Περιοχή μελέτης

9	7/10/2007	Εκτεταμένη νεφοκάλυψη περιοχής μελέτης
10	10/10/2007	Περιοχή μελέτης με μερική νεφοκάλυψη
11	5/11/2007	Περιοχή μελέτης με εκτεταμένη νεφοκάλυψη
12	27/11/2007	Περιοχή μελέτης με εκτεταμένη νεφοκάλυψη
13	1/12/2007	Περιοχή μελέτης με νέφωση
14	6/12/2007	Περιοχή μελέτης με νέφωση
15	7/12/2007	Περιοχή μελέτης
16	20/1/2008	Περιοχή μελέτης
17	27/6/2008	Περιοχή μελέτης
18	14/7/2009	Περιοχή μελέτης
19	17/7/2009	Περιοχή μελέτης
20	15/8/2009	Περιοχή μελέτης
21	18/8/2009	Περιοχή μελέτης
22	21/8/2009	Φωτιά στη Ζάκυνθο κοντά στις Βολίμες
23	22/8/2009	Φωτιά ΒΑ Αττική και Λακωνία
24	24/8/2009	Φωτιά ΝΑ Βοιωτία
25	25/8/2009	Περιοχή μελέτης με νέφωση
26	27/8/2009	Περιοχή μελέτης
27	28/8/2009	Περιοχή μελέτης
28	31/8/2009	Περιοχή μελέτης με νέφωση
29	3/9/2009	Περιοχή μελέτης με νέφωση
30	3/2/2010	Περιοχή μελέτης με νέφωση

Παρακάτω παρατίθενται ανά έτος (2007, 2008, 2009) οι 30 επιλεγμένες δορυφορικές εικόνες των περιοχών μελέτης (Ζακύνθου και Πελοποννήσου) που προέκυψαν από προεπεξεργασία και αποκοπή της περιοχής ενδιαφέροντος από τις ληφθείσες δορυφορικές εικόνες, αλλά και αποτύπωση του δείκτη NDVI για την συνολική χωρίς προεπεξεργασία και αποκοπή των ιδίων δορυφορικών εικόνων.

Εικόνα 28. Απεικόνιση 15 επιλεγμένων δορυφορικών εικόνων έτους 2007.



26-07-2007



NDVI 26-07-2007



29-07-2007



NDVI 29-07-2007



01-08-2007



NDVI 01-08-2007



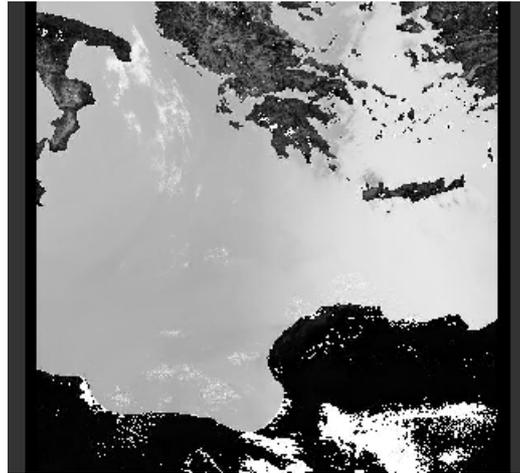
20-08-2007



NDVI 20-08-2007



30-08-2007



NDVI 30-08-2007



09-09-2007

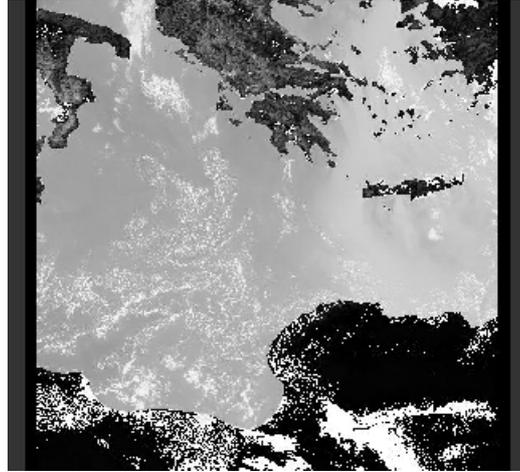


NDVI 09-09-2007



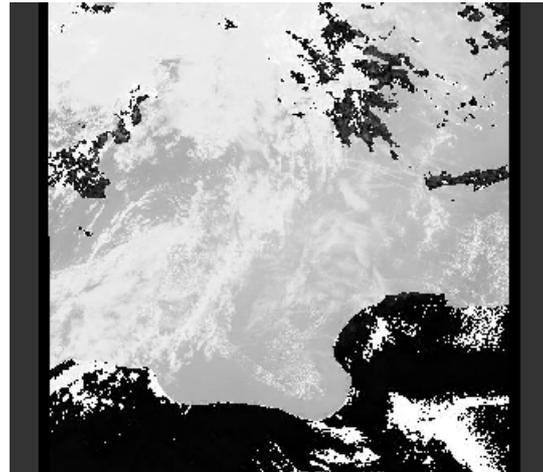
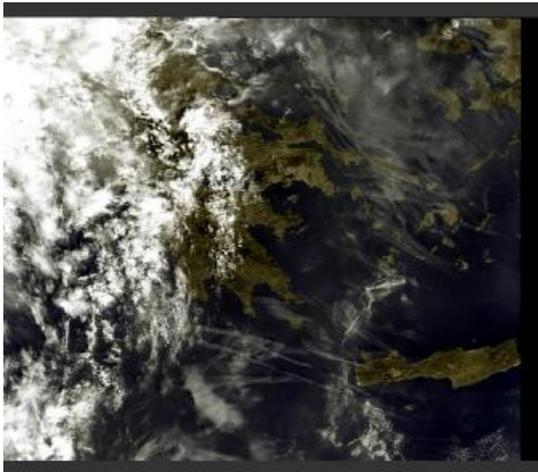
28-09-2007

NDVI 28-09-2007



04-10-2007

NDVI 04-10-2007

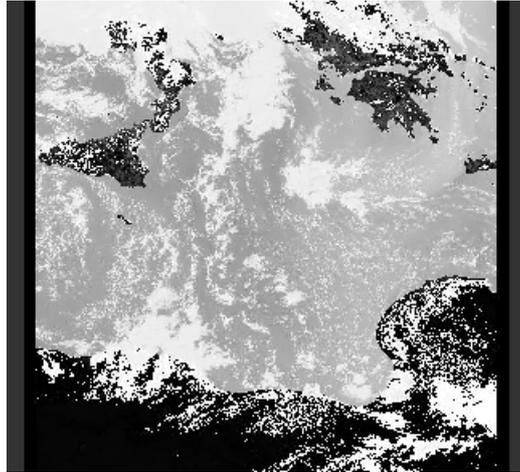


07-10-2007

NDVI 07-10-2007



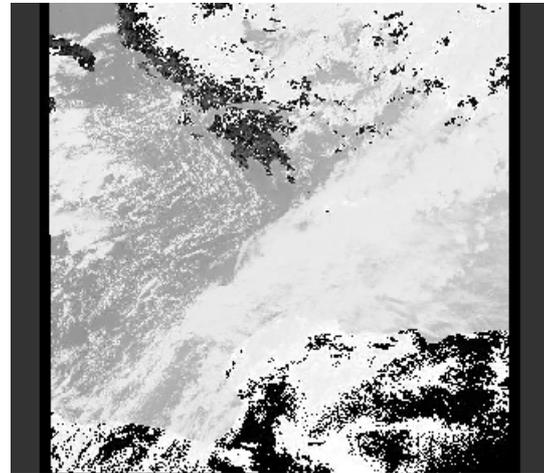
10-10-2007



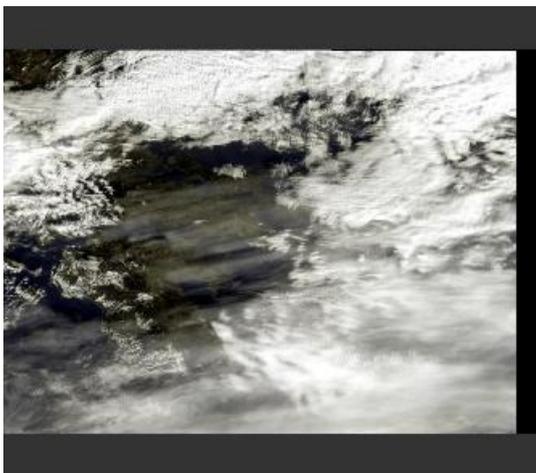
NDVI 10-10-2007



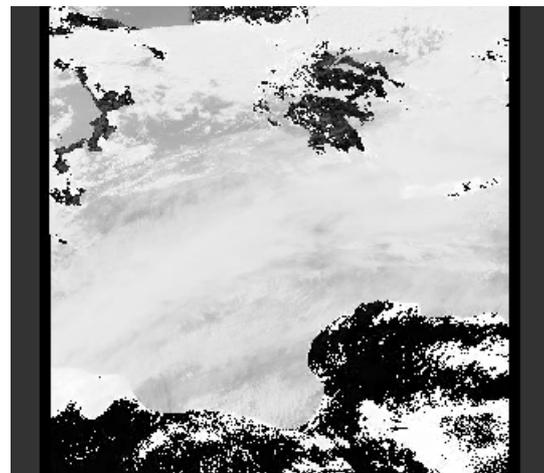
05-11-2007



NDVI 05-11-2007



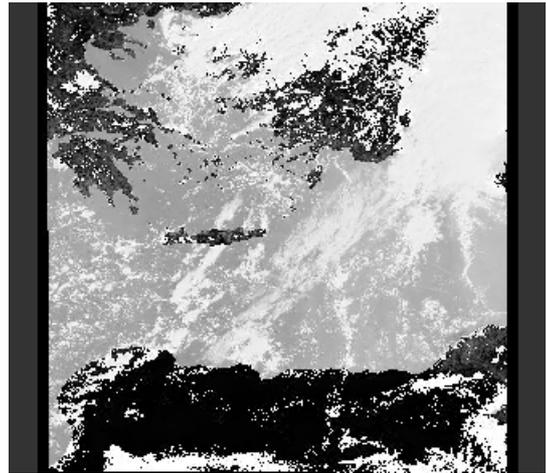
27-11-2007



NDVI 27-11-2007



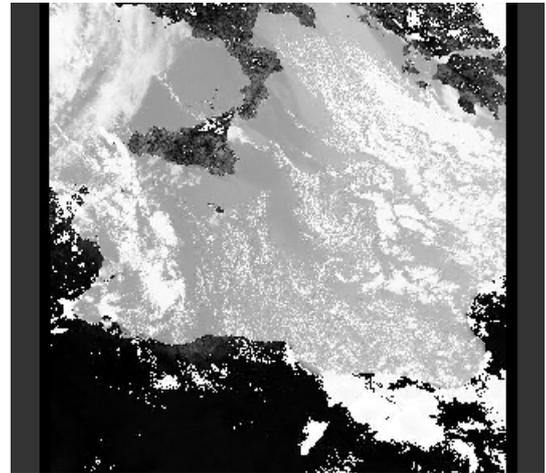
01-12-2007



NDVI 01-12-2007



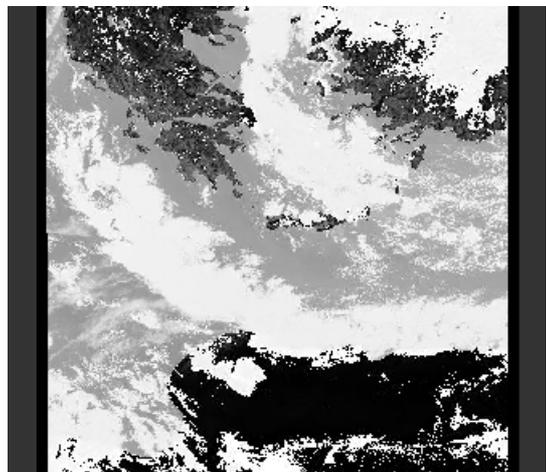
06-12-2007



NDVI 06-12-2007



07-12-2007

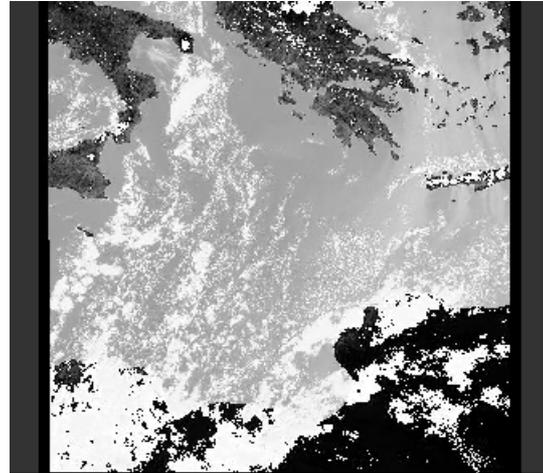


NDVI 07-12-2007

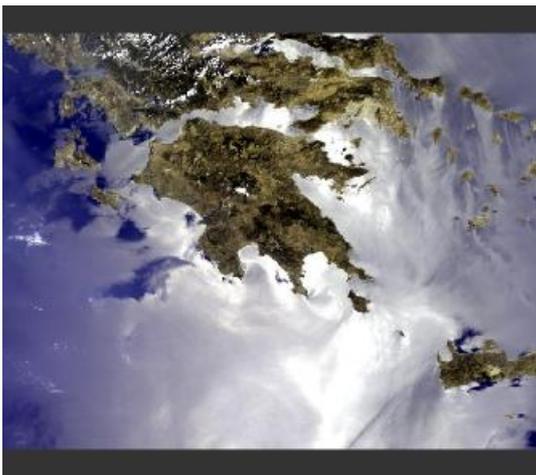
Εικόνα 29. Απεικόνιση 2 επιλεγμένων δορυφορικών εικόνων έτους 2008.



20-01-2008



NDVI 20-01-2008



27-06-2008



NDVI 27-06-2008

Εικόνα 30. Απεικόνιση 12 επιλεγμένων δορυφορικών εικόνων έτους 2009.



14-07-2009



NDVI 14-07-2009



17-07-2009



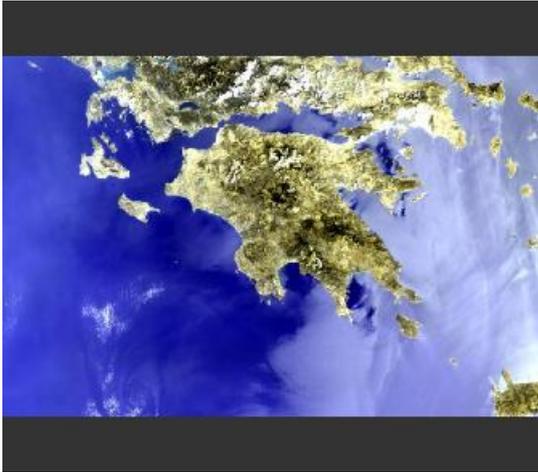
NDVI 17-07-2009



15-08-2009



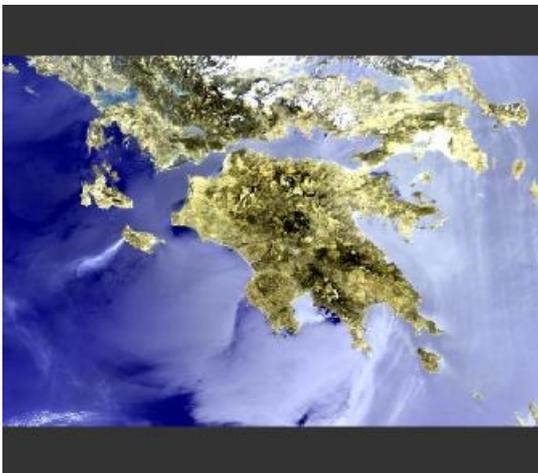
NDVI 15-08-2009



18-08-2009



NDVI 18-08-2009



21-08-2009



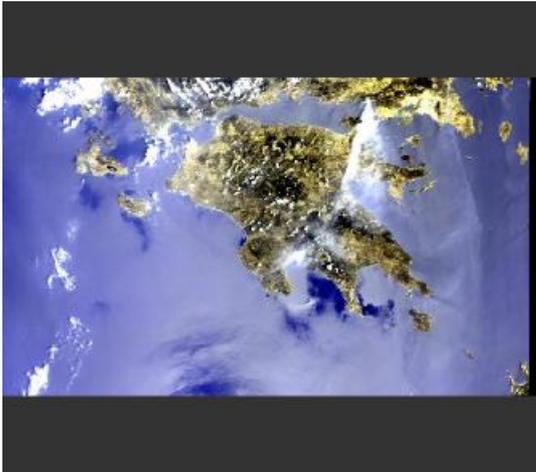
NDVI 21-08-2009



22-08-2009



NDVI 22-08-2009



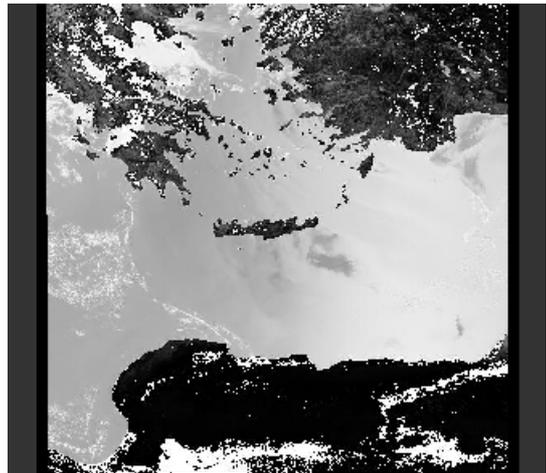
24-08-2009



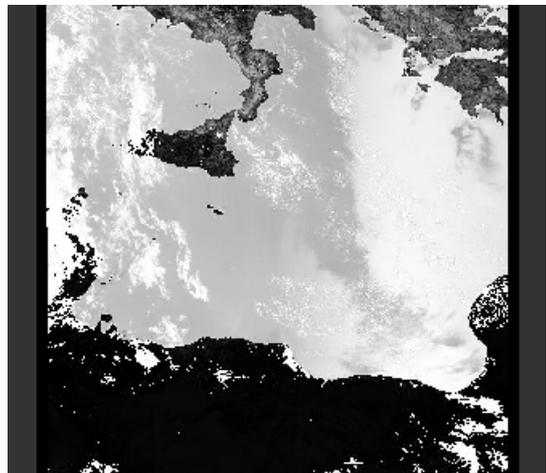
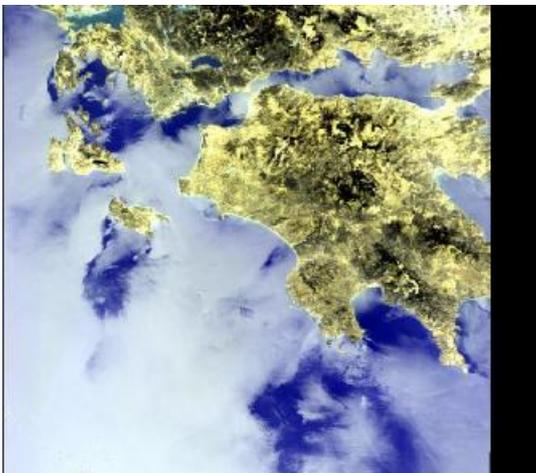
NDVI 24-08-2009



25-08-2009



NDVI 25-08-2009



27-08-2009

NDVI 27-08-2009



28-08-2009

NDVI 28-08-2009



31-08-2009

NDVI 31-08-2009



03-09-2009

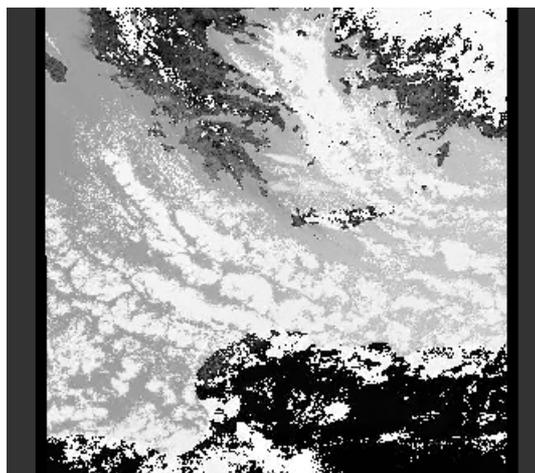


NDVI 03-09-2009

Εικόνα 31. Απεικόνιση επιλεγμένης δορυφορικής εικόνας έτους 2010.



03-02-2010

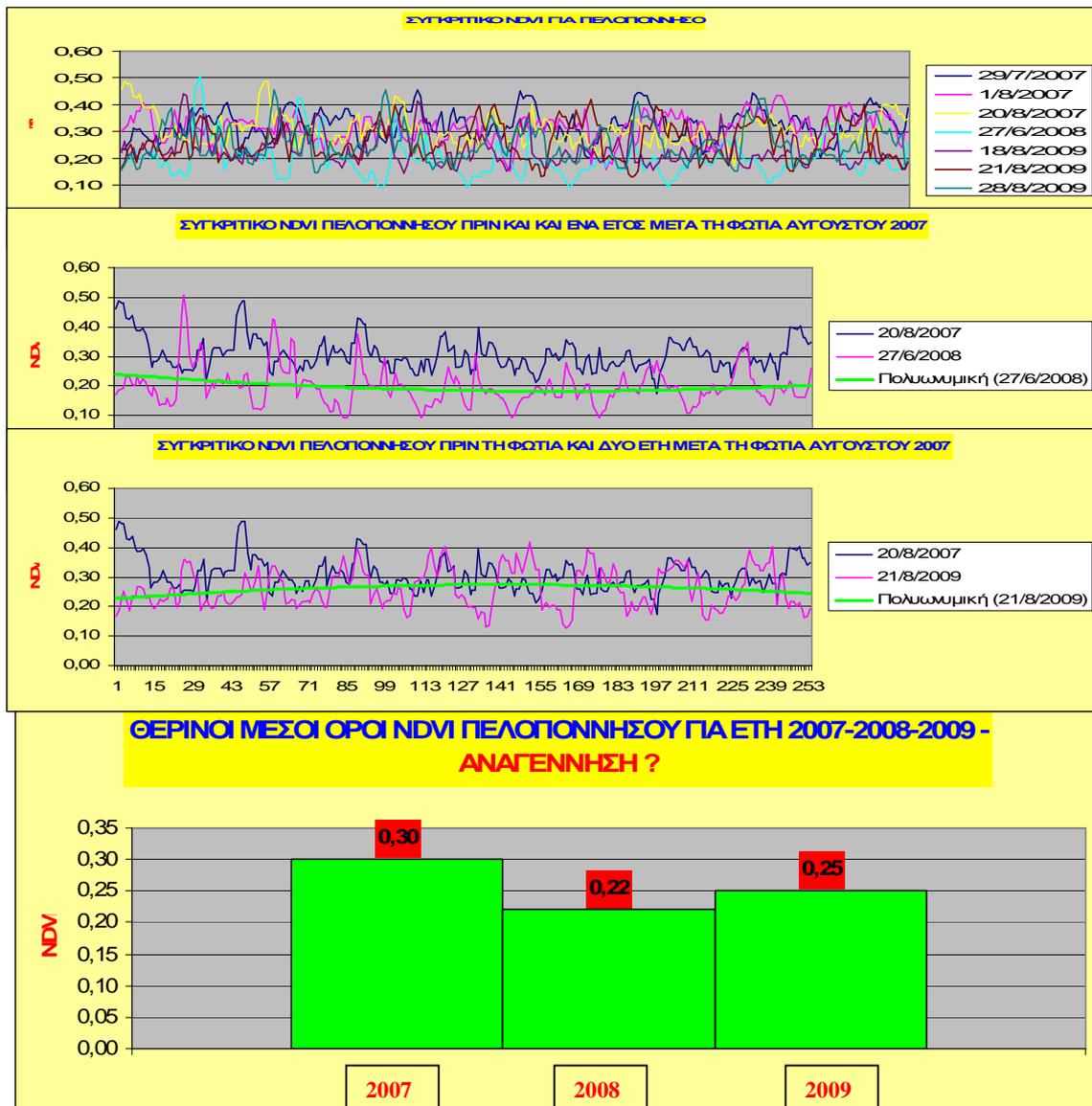


NDVI 03-02-2010

Βασιζόμενοι στις γνωστές ημερομηνίες εκδήλωσης πυρκαγιών στις περιοχές Πελοποννήσου και Ζακύνθου (έτη 2007 και 2009 αντίστοιχα) έγινε επιλογή 7 δορυφορικών εικόνων θερινών μηνών των ετών 2007, 2008 και 2009 για καταγραφή με αριθμητικά δεδομένα μέσω του λογισμικού του δείκτη NDVI, που παρατίθεται παρακάτω συγκριτικά για Πελοπόννησο και Ζάκυνθο συνολικά, αλλά και πριν την πυρκαγιά και ένα έτος μετά και πριν την πυρκαγιά και δύο έτη μετά (μόνο για Πελοπόννησο). Η επιλογή των **7 δορυφορικών εικόνων** θερινών μηνών περιλαμβάνει τις ημερομηνίες: **29/07/07, 01/08/07, 20/08/07, 27/06/08, 18/08/09, 21/08/09, 28/08/09.**

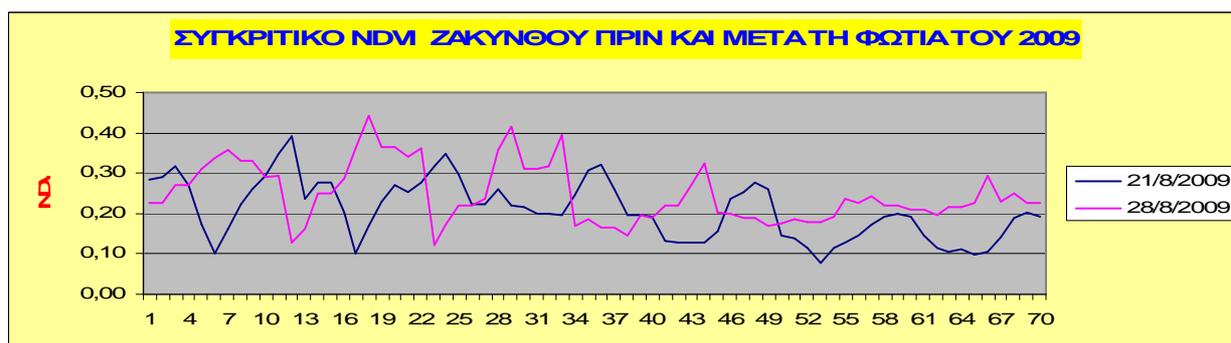
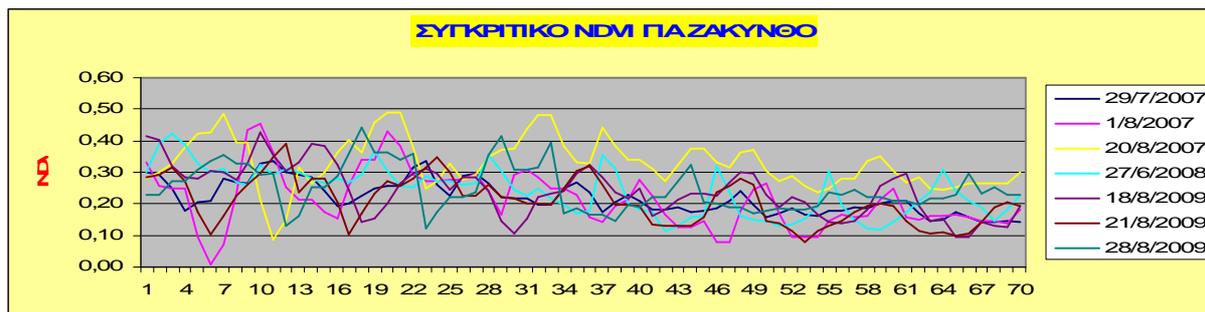
Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων (πολυωνυμική συνάρτηση) δίνει υποψία πιθανής αναγέννησης στην Πελοπόννησο.

Πίνακας 9. Συγκριτική απεικόνιση NDVI για τα έτη 2007, 2008 και 2009 και θερινών μέσων όρων NDVI Πελοποννήσου.



Με δεδομένη την εκδήλωση πυρκαγιάς στην Ζάκυνθο το 2009 δεν είναι προφανώς δυνατή η καταγραφή με αριθμητικά δεδομένα μέσω του λογισμικού του δείκτη NDVI πριν την πυρκαγιά και ένα έτος μετά και πριν την πυρκαγιά και δύο έτη μετά, τη δεδομένη χρονική στιγμή, παρά μόνο μια συγκριτική καταγραφή, όπως προαναφέρθηκε, του δείκτη NDVI για θερινούς μήνες των ετών 2007, 2008 και 2009 (χρονικό σημείο εκδήλωσης της πυρκαγιάς). Προφανώς η στατιστική ανάλυση δεδομένων μπορεί να επεξεργαστεί μελλοντικώς με τις κατάλληλες χρονικά μετρήσεις (έτη 2009, 2010 και 2011).

Πίνακας 10. Συγκριτική απεικόνιση NDVI Ζακύνθου.



Κρίθηκε σκόπιμη έτσι, η διερεύνηση και άλλων δεικτών με σκοπό την εξαγωγή πιο ασφαλών συμπερασμάτων. Επιλέχθηκαν συγκεκριμένοι δείκτες βλάστησης και παρακάτω παρατίθενται οι απεικονίσεις NDVI και των υπόλοιπων δεικτών βλάστησης LAI, fCover, LAIxCab, fAPAR καθώς και η φασματική υπογραφή στοχευμένων τοποθεσιών (έγχρωμα τετράγωνα απεικονίσεων) για τις 7 διαθέσιμες και επιλεγμένες δορυφορικές εικόνες θερινών μηνών των ετών 2007, 2008 και 2009 των περιοχών μελέτης (Ζακύνθου και Πελοποννήσου).

Με τη χρήση του Pin Manager από το μενού του λογισμικού BEAM-VISAT έγινε στόχευση με pin (καρφίτσα-βελόνα) πάνω στη δορυφορική εικόνα για την επιλογή του σημείου ή σημείων ενδιαφέροντος, που σχετίζονται άμεσα με τα σημεία που έχουν επιλεγεί από διαθέσιμες εικόνες (όπως στην περίπτωση μας), για να είναι δυνατή η μελλοντική σύγκριση αποτελεσμάτων. Η στόχευση θα μπορούσε να γίνει και με επιλογή του σημείου ή σημείων ενδιαφέροντος, από έρευνα πεδίου με χρήση GPS, από δημοσιευμένα στοιχεία και από χάρτες της περιοχής ενδιαφέροντος.

Η επιλογή της κατάλληλης μπάντας (band) ή συνδυασμός μπαντών της δορυφορικής εικόνας που δείχνει πιο εμφανή τα στοιχεία ενδιαφέροντος (π.χ. πυρκαγιά) έγινε έτσι ώστε να είναι δυνατή η φωτοερμηνεία και κατόπιν η επεξεργασία της εικόνας με τα εργαλεία του λογισμικού, με σκοπό από τη λήψη στοιχείων την απόφαση ενεργειών αποκατάστασης και προστασία της από

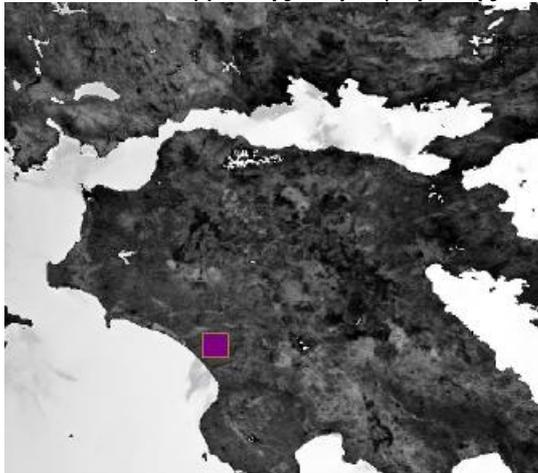
αλλαγή χρήσης των πυρόπληκτων περιοχών. Στη δεδομένη εργασία έγινε επιλογή από τις 15 μπάντες του προγράμματος των μπαντών 2, 4, 5, 7, 8, 10, 13, 14 για την καλύτερη εμφάνιση των εικόνων.

Επίσης η επιλογή των pixel μελέτης έγινε έτσι ώστε να μην υπάρχει νέφωση (με χρήση μάσκας), να μην είναι ακτογραμμή (coastline) και να μην είναι άκυρο-χωρίς πληροφορίες (invalid) ή επανεμφανιζόμενο .

Η διαδικασία προσθήκης χρωμάτων για την καλύτερη οπτική απεικόνιση, στις επεξεργασμένες εικόνες των δεικτών βλάστησης NDVI, LAI, fCover, LAI x Cab, fAPAR, έγινε με χρήση της δυνατότητας που μας δίνει το πρόγραμμα BEAM μέσω της εντολής Colour manipulation. Με το εργαλείο αυτό επιλέγουμε απο το πλήθος της παλέτας χρωμάτων την πιο κατάλληλη για την δική μας περίπτωση απεικόνιση. Οι δύο πιο συχνά χρησιμοποιούμενες παλέτες για τους δείκτες βλάστησης είναι οι meris_veg_index και η spectrum_large. Για την δική μας εφαρμογή έγινε επιλογή της spectrum_large που μας δείχνει πιο καθαρά αποτελέσματα προς αξιοποίησή τους στην λήψη δεδομένων και αποφάσεων για τη βλάστηση στο χώρο μελέτης.

Ακολουθεί παράθεση των απεικονήσεων NDVI, SPECTRUM και άλλων δεικτών βλάστησης LAI, fCover, LAIxCab, fAPAR στοχευμένης τοποθεσίας Πελοποννήσου και Ζακύνθου των 7 επιλεγμένων δορυφορικών εικόνων.

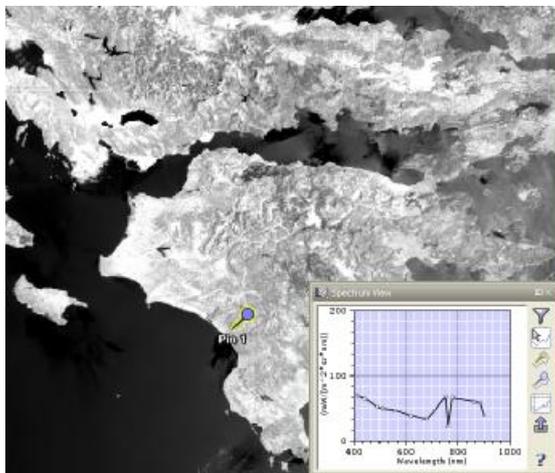
Εικόνα 32. Απεικόνιση NDVI - SPECTRUM και άλλων δεικτών βλάστησης LAI, fCover, LAIxCab, fAPAR στοχευμένης τοποθεσίας Πελοποννήσου και Ζακύνθου επιλεγμένης δορυφορικής εικόνας 290707.



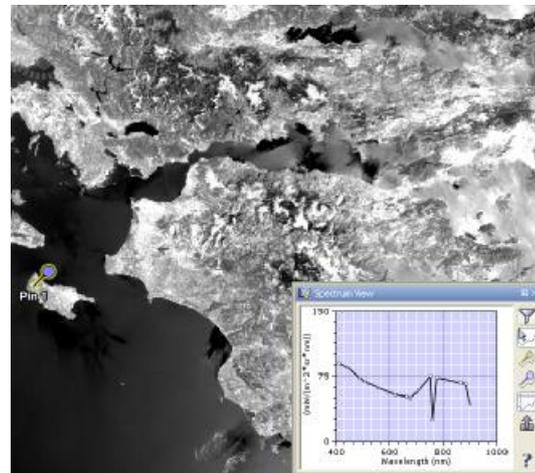
NDVI-PEL-290707



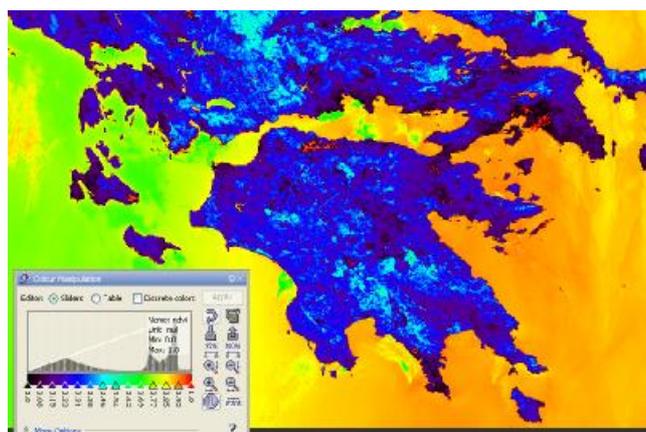
NDVI-ZAK-290707



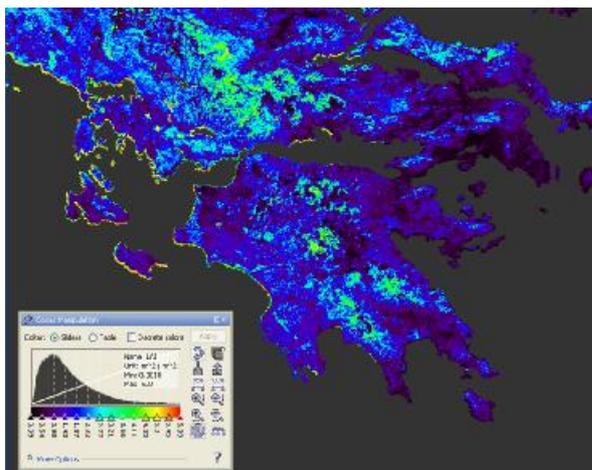
SPECTRUM-PEL-290707



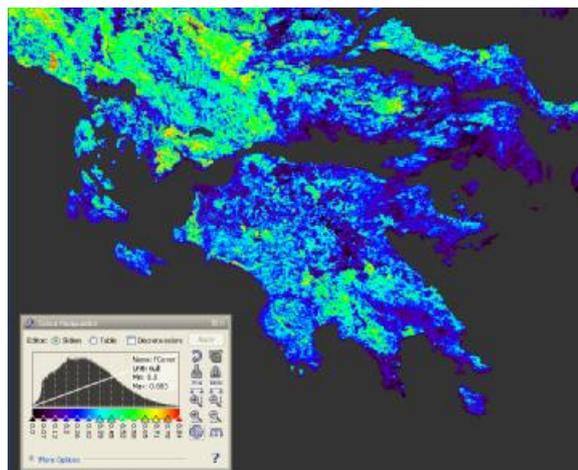
SPECTRUM-ZAK-290707



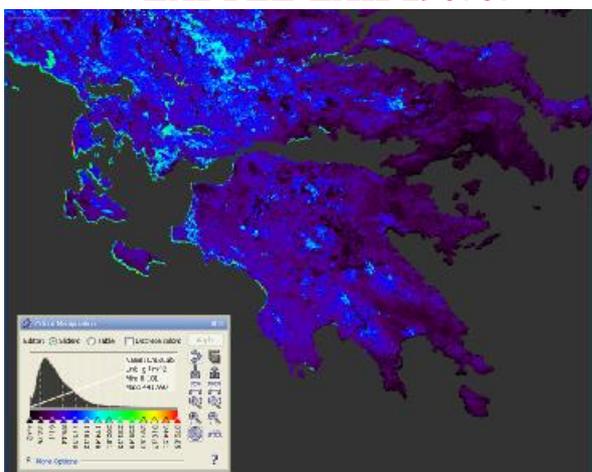
NDVI PEL-ZAK-290707



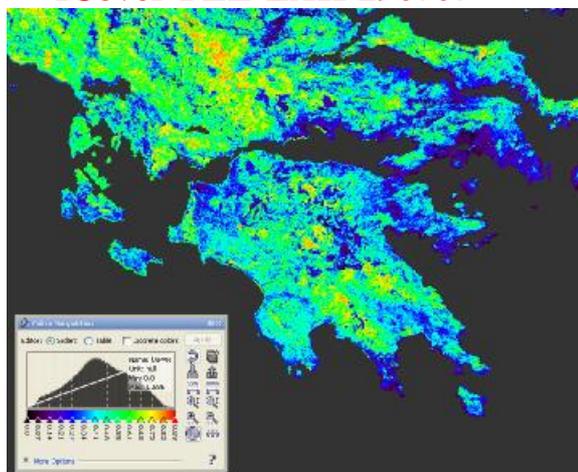
LAI-PEL-ZAK-290707



fCover-PEL-ZAK-290707



LAIxCab-PEL-ZAK-290707



fAPAR-PEL-ZAK-290707

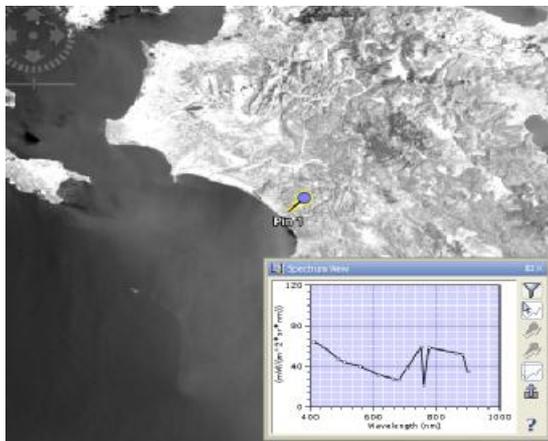
Εικόνα 33. Απεικόνιση NDVI - SPECTRUM και άλλων δεικτών βλάστησης LAI, fCover, LAIxCab, fAPAR στοχευμένης τοποθεσίας Πελοποννήσου και Ζακύνθου επιλεγμένης δορυφορικής εικόνας 010807.



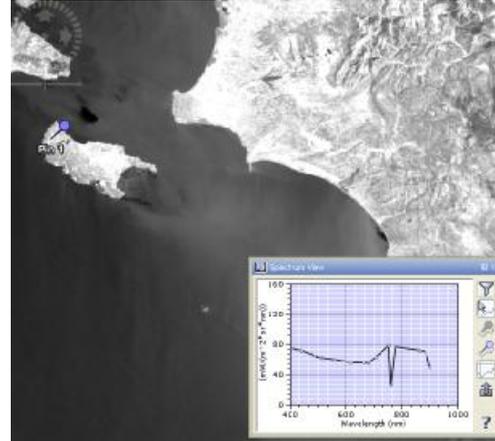
NDVI-PEL-010807



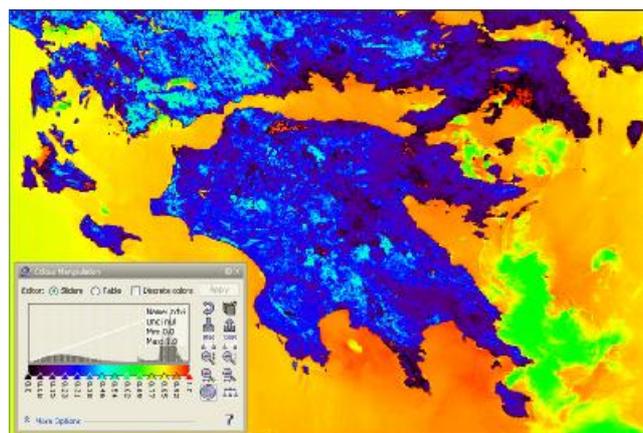
NDVI-ZAK-010807



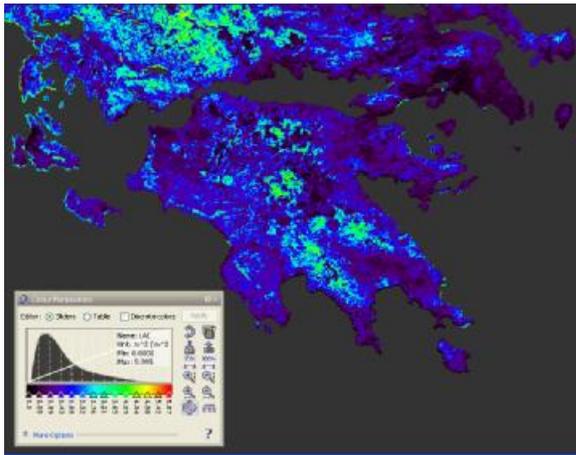
SPECTRUM-PEL-010807



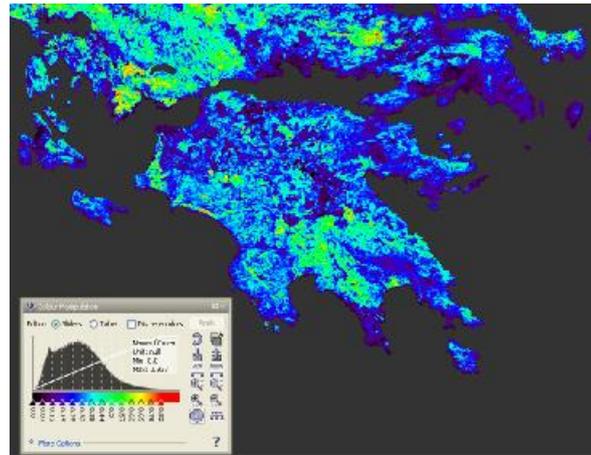
SPECTRUM-ZAK-010807



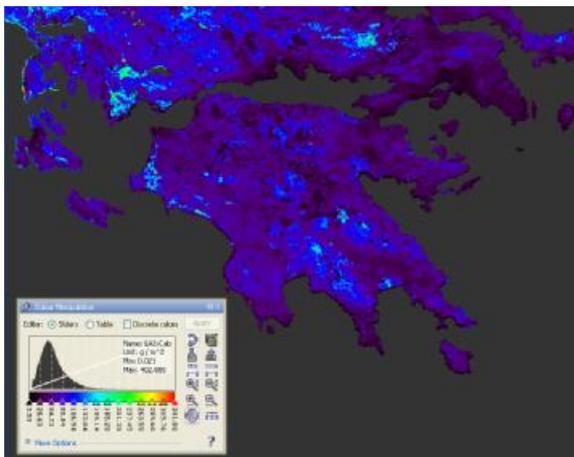
NDVI PEL-ZAK-010807



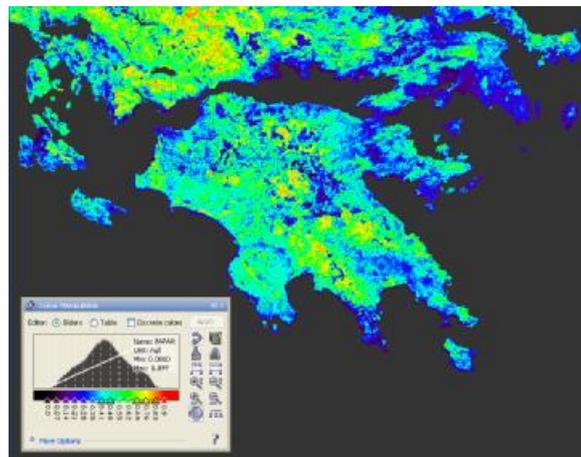
LAI-PEL-ZAK-010807



fCover-PEL-ZAK-010807



LAIxCab-PEL-ZAK-010807

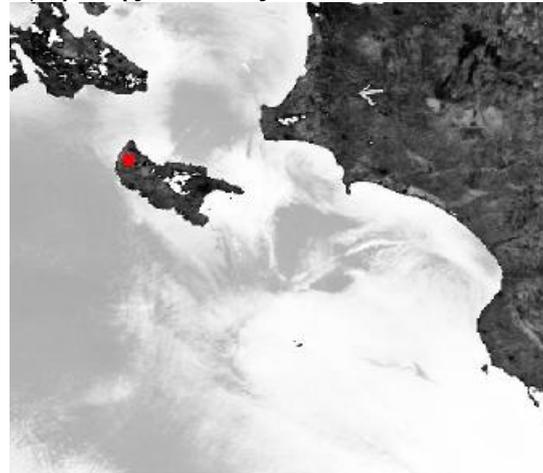


fAPAR-PEL-ZAK-010807

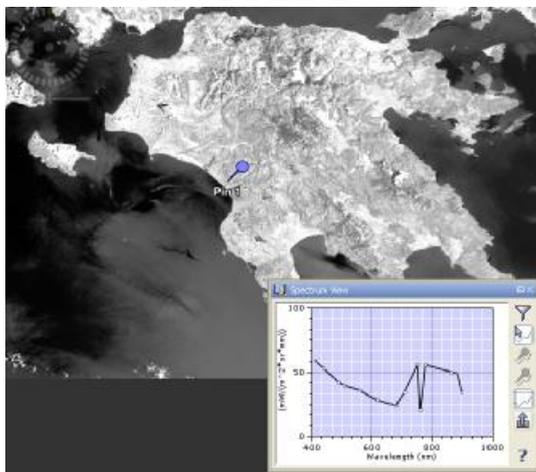
Εικόνα 34. Απεικόνιση NDVI - SPECTRUM και άλλων δεικτών βλάστησης LAI, fCover, LAIxCab, fAPAR στοχευμένης τοποθεσίας Πελοποννήσου και Ζακύνθου επιλεγμένης δορυφορικής εικόνας 200807.



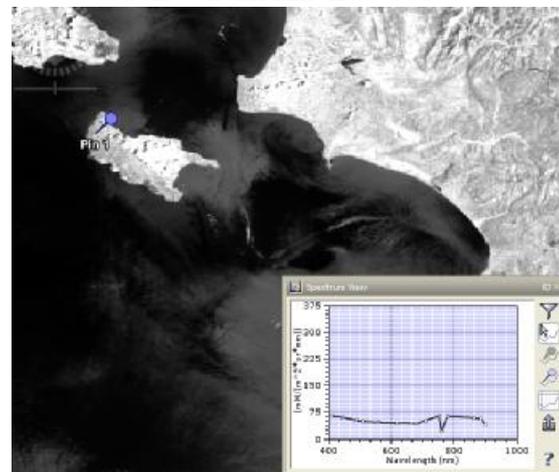
NDVI-PEL-200807



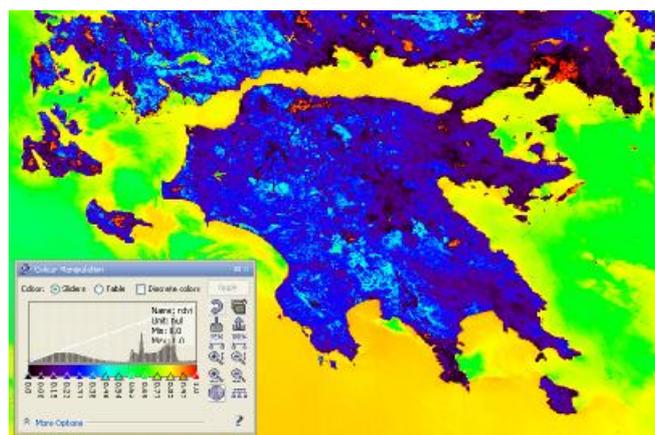
NDVI-ZAK-200807



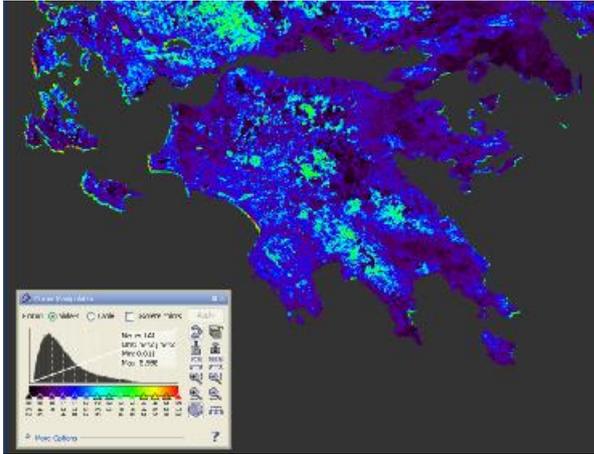
SPECTRUM-PEL-200807



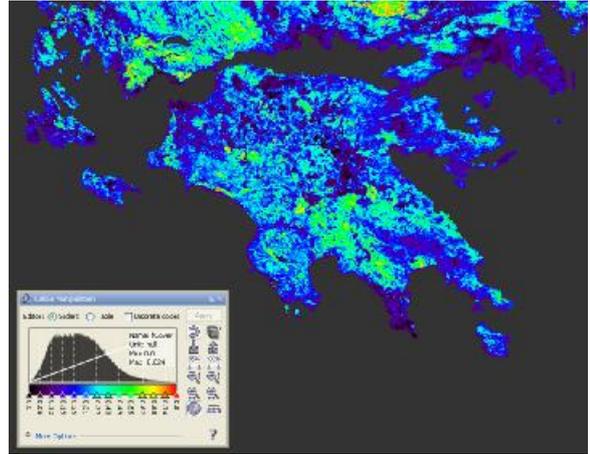
SPECTRUM-ZAK-200807



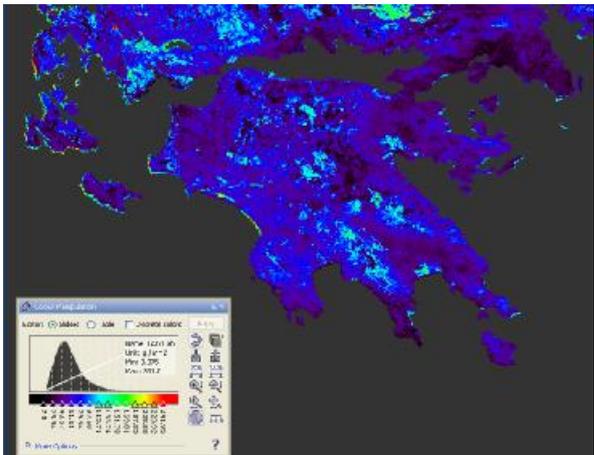
NDVI PEL-ZAK-200807



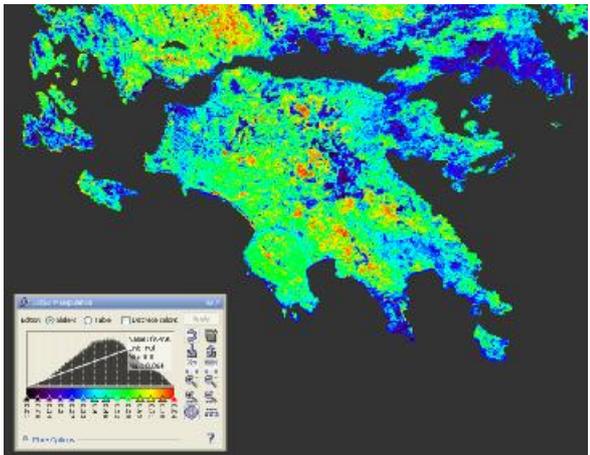
LAI-PEL-ZAK-200807



fCover-PEL-ZAK-200807



LAIxCab-PEL-ZAK-200807



fAPAR-PEL-ZAK-200807

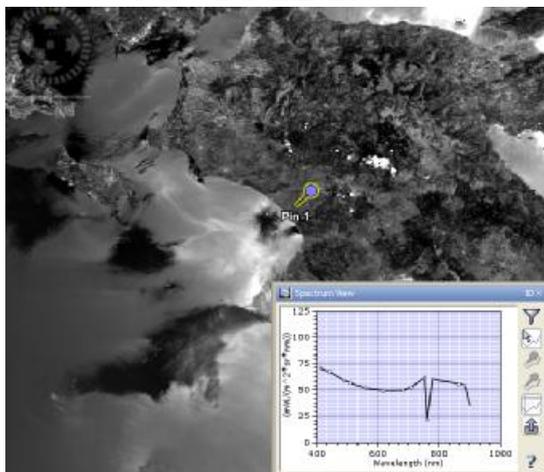
Εικόνα 35. Απεικόνιση NDVI - SPECTRUM και άλλων δεικτών βλάστησης LAI, fCover, LAIxCab, fAPAR στοχευμένης τοποθεσίας Πελοποννήσου και Ζακύνθου επιλεγμένης δορυφορικής εικόνας 270608.



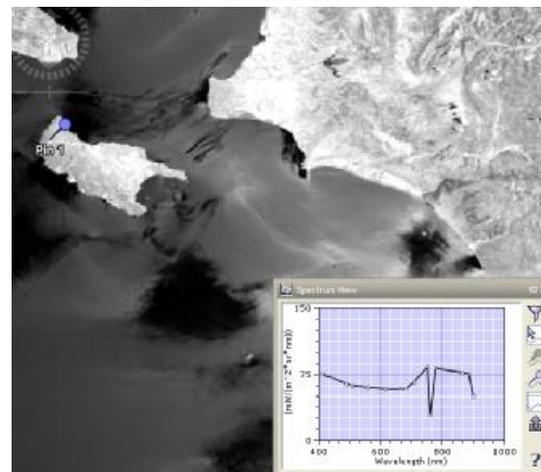
NDVI-PEL-270608



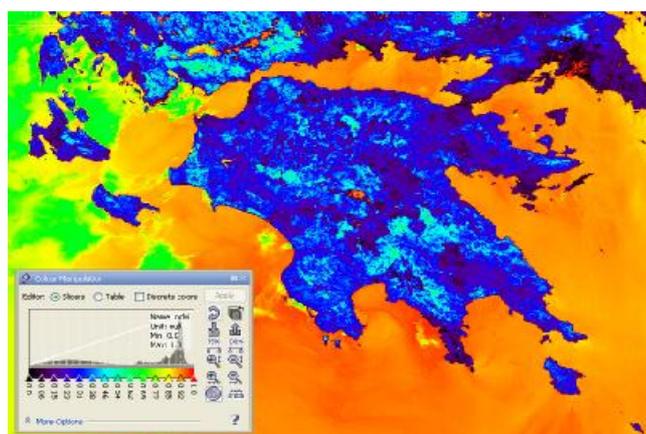
NDVI-ZAK-270608



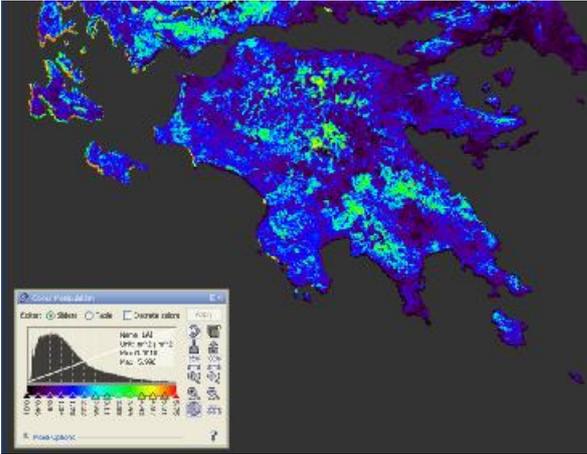
SPECTRUM-PEL-270608



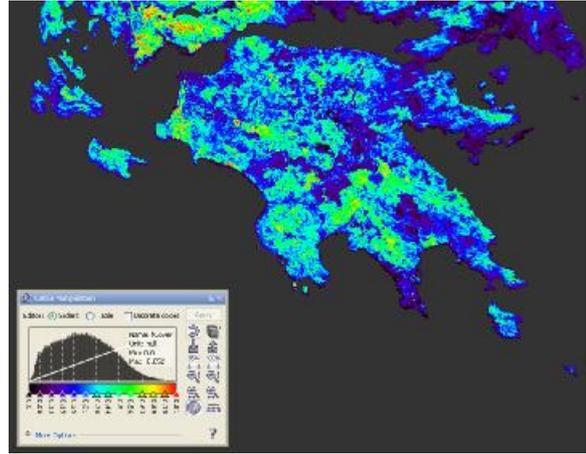
SPECTRUM-ZAK-270608



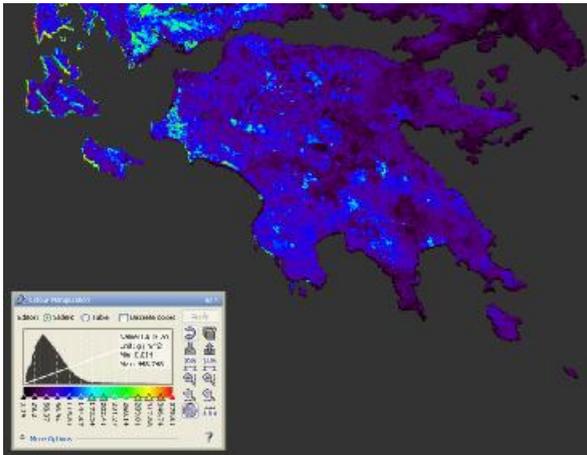
NDVI PEL-ZAK-270608



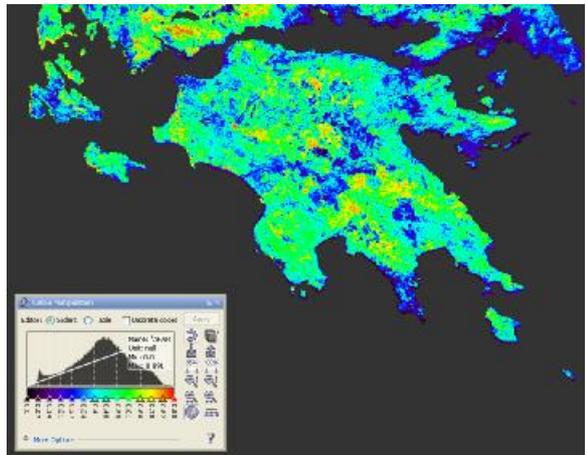
LAI-PEL-ZAK-270608



fCover-PEL-ZAK-270608



LAIxCab-PEL-ZAK-270608



fAPAR-PEL-ZAK-270608

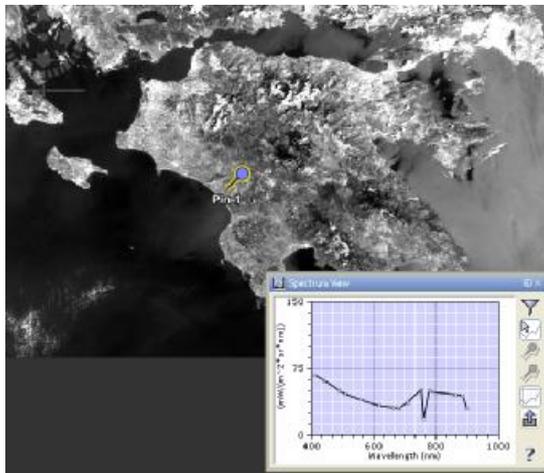
Εικόνα 36. Απεικόνιση NDVI - SPECTRUM και άλλων δεικτών βλάστησης LAI, fCover, LAIxCab, fAPAR στοχευμένης τοποθεσίας Πελοποννήσου και Ζακύνθου επιλεγμένης δορυφορικής εικόνας 180809.



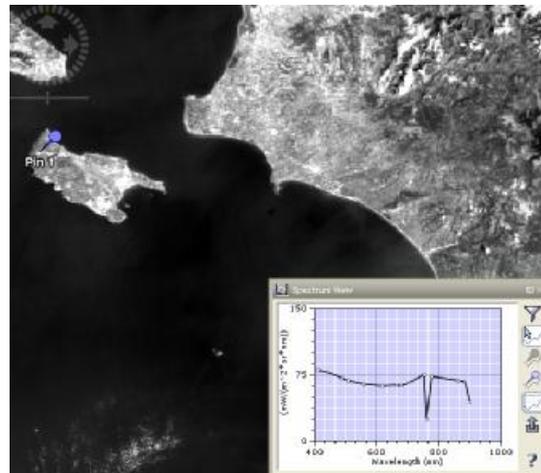
NDVI-PEL-180809



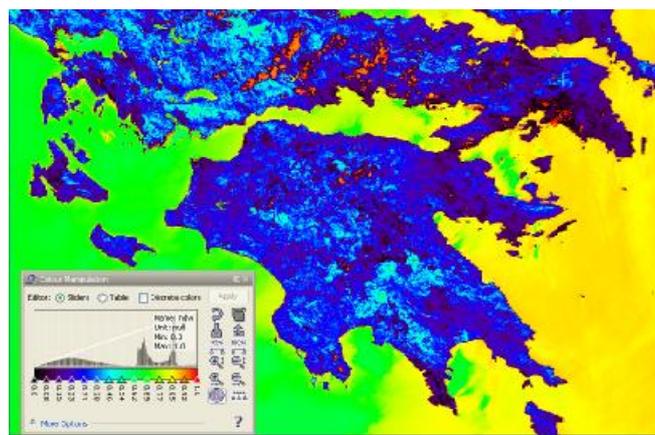
NDVI-ZAK-180809



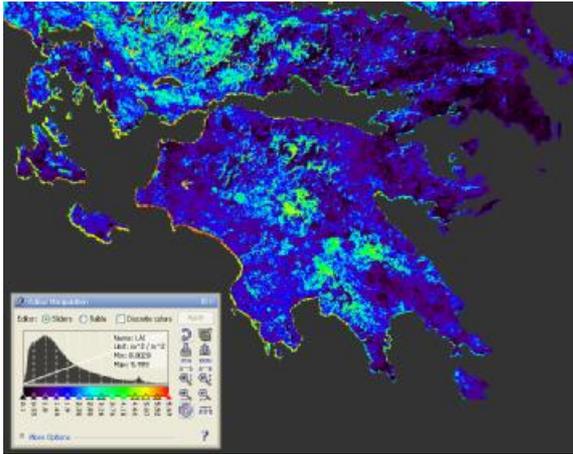
SPECTRUM-PEL-180809



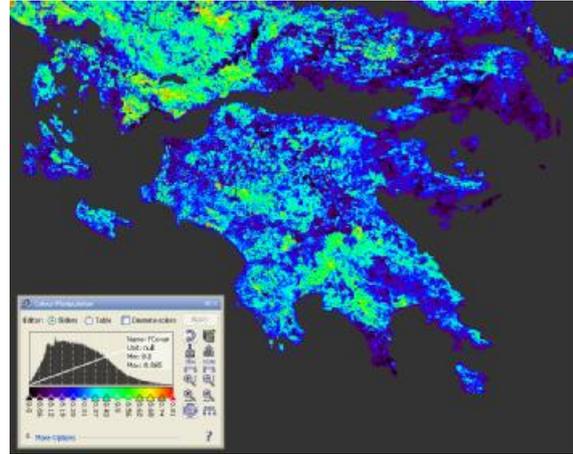
SPECTRUM-ZAK-180809



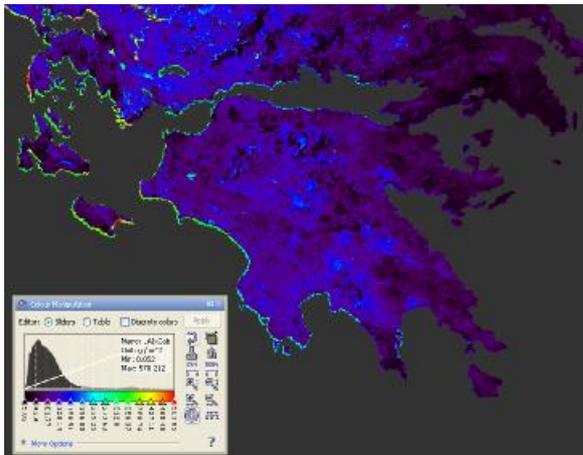
NDVI PEL-ZAK-180809



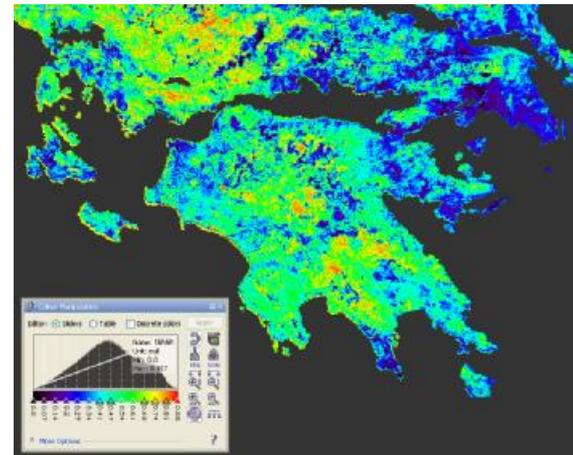
LAI-PEL-ZAK-180809



fCover-PEL-ZAK-180809



LAIxCab-PEL-ZAK-180809



fAPAR-PEL-ZAK-180809

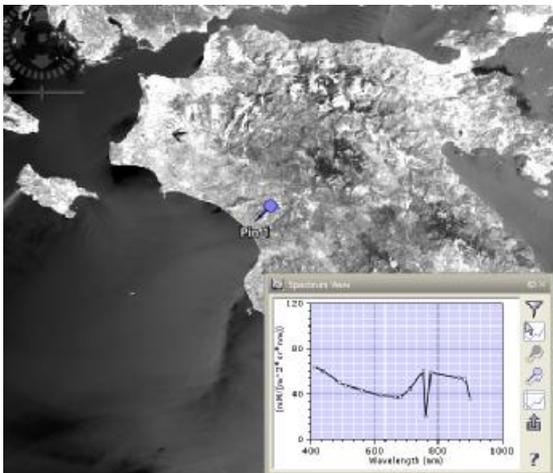
Εικόνα 37. Απεικόνιση NDVI - SPECTRUM και άλλων δεικτών βλάστησης LAI, fCover, LAIxCab, fAPAR στοχευμένης τοποθεσίας Πελοποννήσου και Ζακύνθου επιλεγμένης δορυφορικής εικόνας 210809.



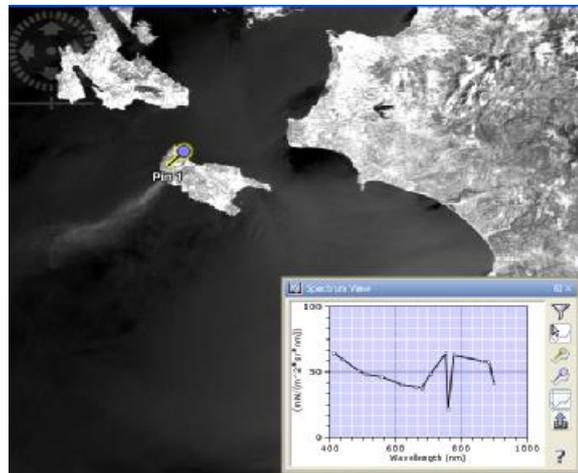
NDVI-PEL-210809



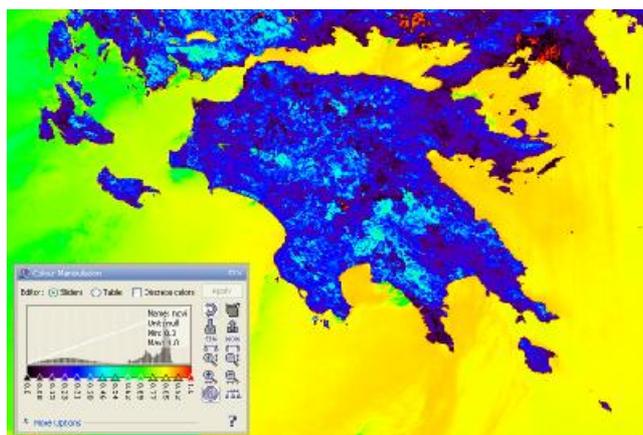
NDVI-ZAK-210809



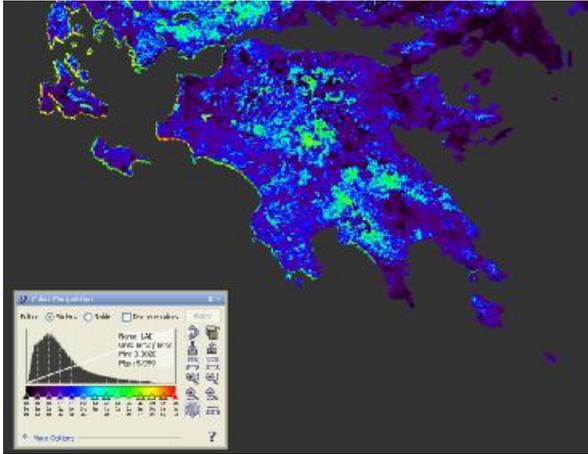
SPECTRUM-PEL-210809



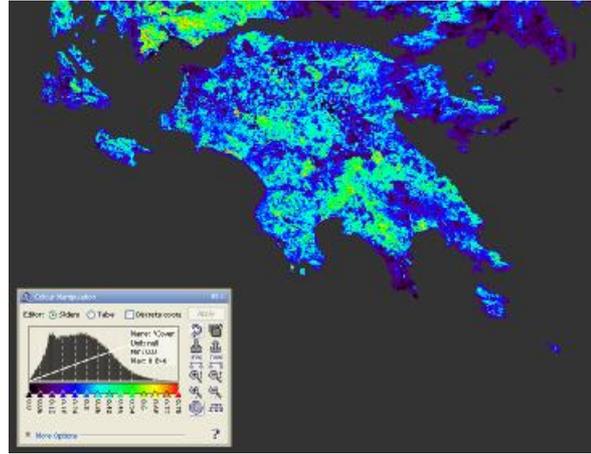
SPECTRUM-ZAK-210809



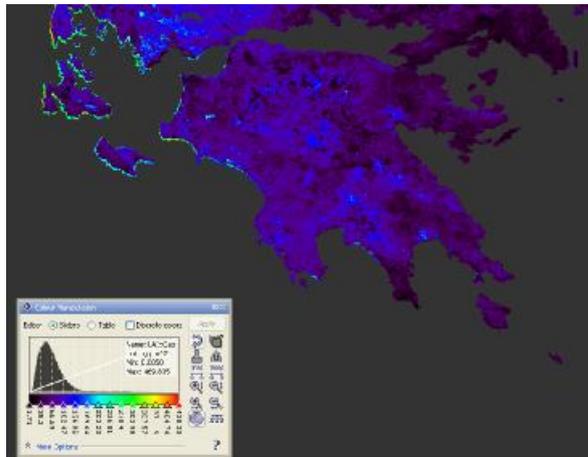
NDVI PEL-ZAK-210809



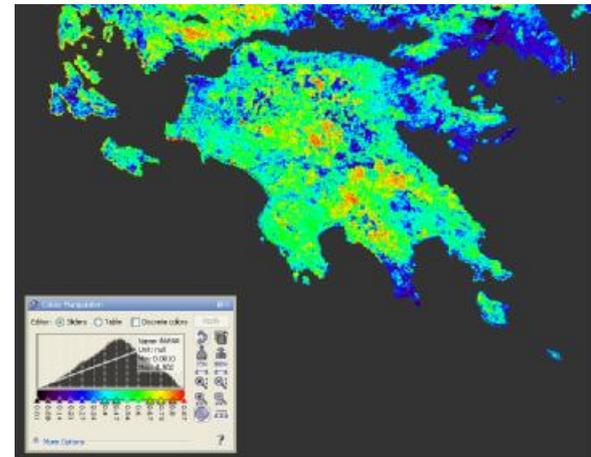
LAI-PEL-ZAK-210809



fCover-PEL-ZAK-210809



LAIxCab-PEL-ZAK-210809

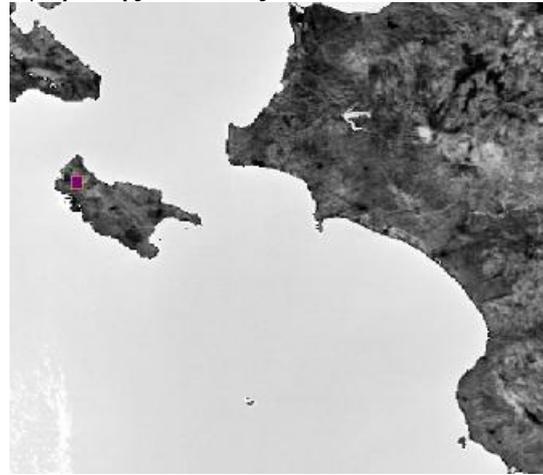


fAPAR-PEL-ZAK-210809

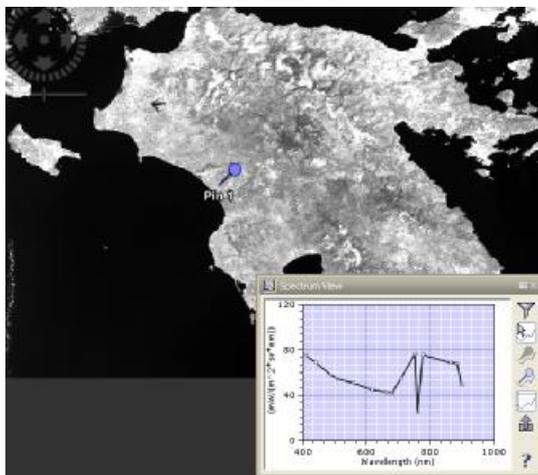
Εικόνα 38. Απεικόνιση NDVI - SPECTRUM και άλλων δεικτών βλάστησης LAI, fCover, LAIxCab, fAPAR στοχευμένης τοποθεσίας Πελοποννήσου και Ζακύνθου επιλεγμένης δορυφορικής εικόνας 280809.



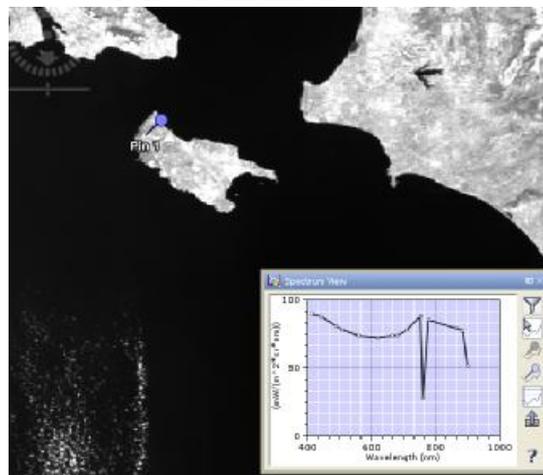
NDVI-PEL-280809



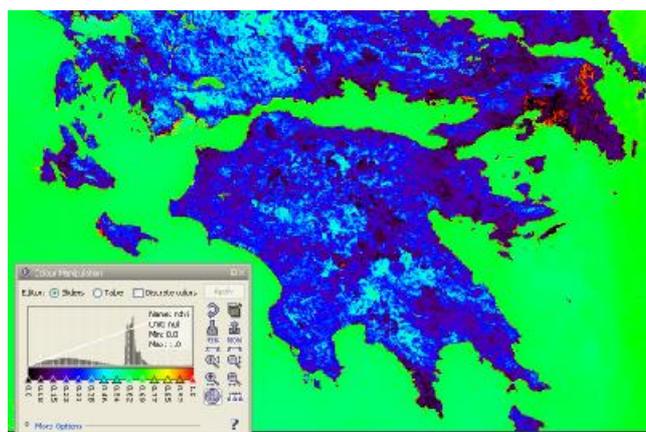
NDVI-ZAK-280809



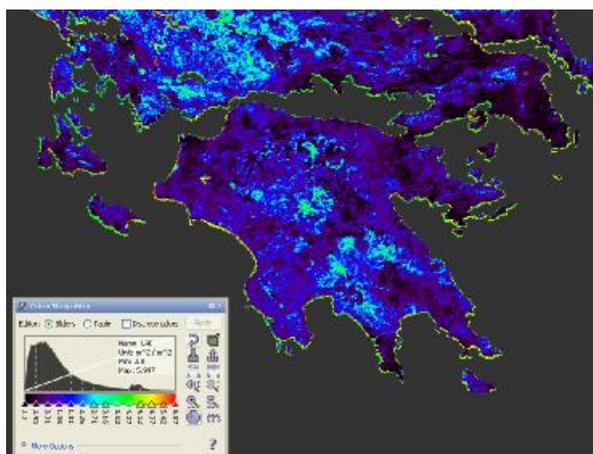
SPECTRUM-PEL-280809



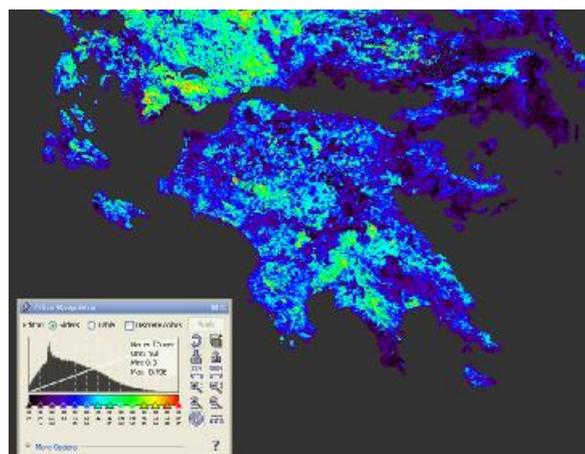
SPECTRUM-ZAK-280809



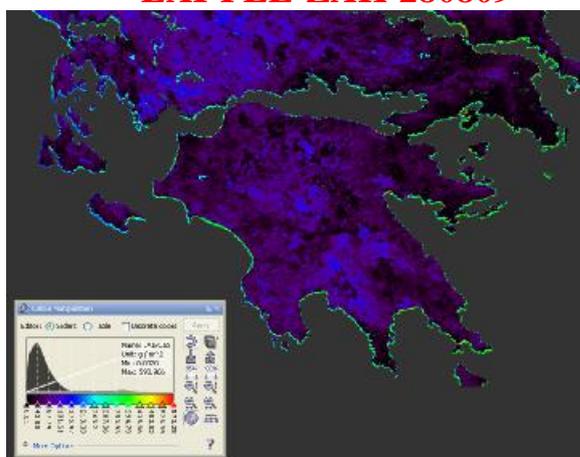
NDVI PEL-ZAK-280809



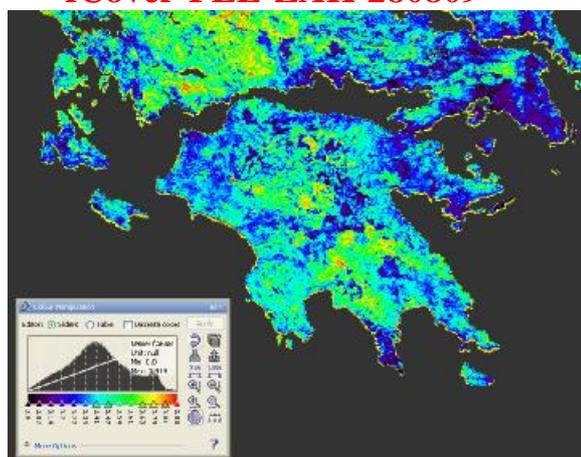
LAI-PEL-ZAK-280809



fCover-PEL-ZAK-280809



LAIxCab-PEL-ZAK-280809



fAPAR-PEL-ZAK-280809

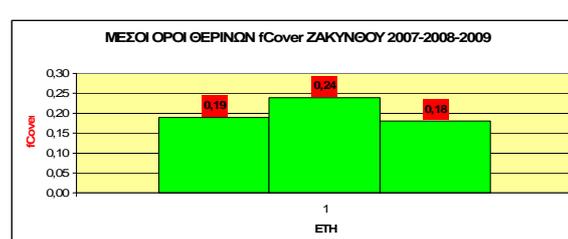
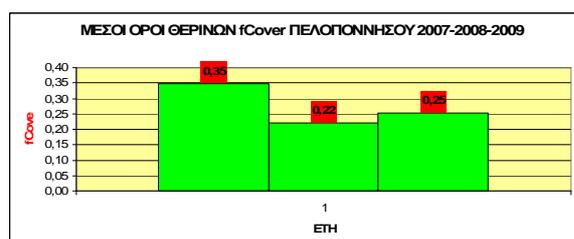
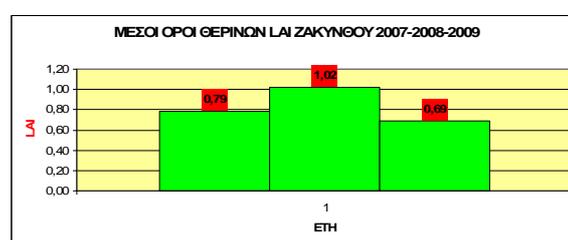
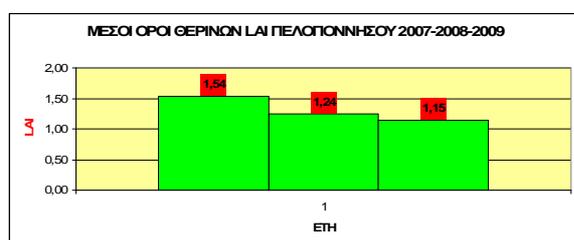
Παρακάτω ακολουθούν οι πίνακες και τα διαγράμματα των δεικτών βλάστησης της στοχευμένης τοποθεσίας από τις 7 επιλεγμένες δορυφορικές εικόνες Πελοποννήσου- Ζακύνθου.

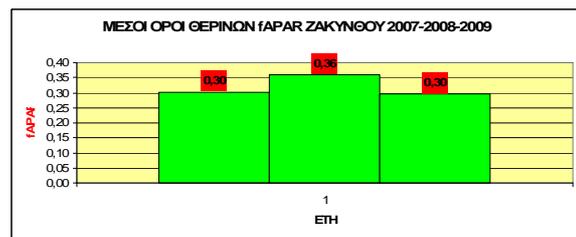
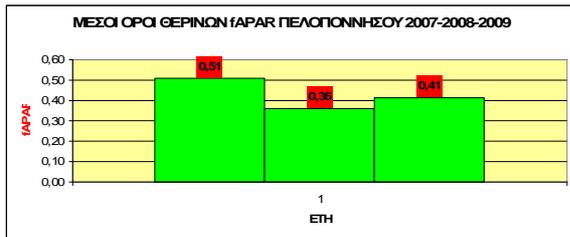
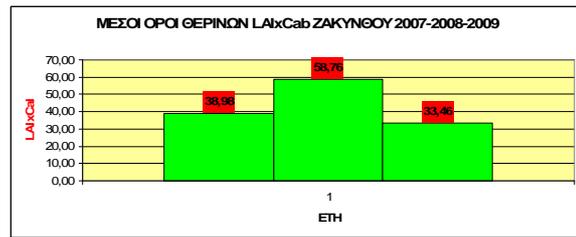
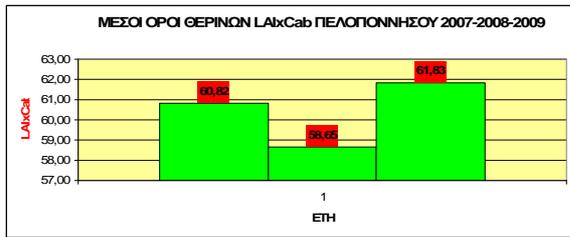
Πίνακας 11. Δείκτες βλάστησης στοχευμένης τοποθεσίας επιλεγμένων δορυφορικών εικόνων Πελοποννήσου.

ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	LAI	fCover	LAIxCab	fAPAR
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ PEL 290707	1,53	0,35	69,23	0,47
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ PEL 010807	1,51	0,34	53,90	0,50
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ PEL 200807	1,58	0,35	59,32	0,56
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ PEL 2007	1,54	0,35	60,82	0,51
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ PEL 270608	1,24	0,22	58,65	0,36
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ PEL 2008	1,24	0,22	58,65	0,36
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ PEL 180809	1,33	0,27	77,91	0,43
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ PEL 210809	1,33	0,27	64,31	0,46
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ PEL 280809	0,78	0,22	43,27	0,35
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ PEL 2009	1,15	0,25	61,83	0,41

Πίνακας 12. Δείκτες βλάστησης στοχευμένης τοποθεσίας επιλεγμένων δορυφορικών εικόνων Ζακύνθου.

ΖΑΚΥΝΘΟΣ	LAI	fCover	LAIxCab	fAPAR
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΖΑΚ 290707	0,86	0,22	48,06	0,30
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΖΑΚ 010807	0,66	0,17	33,52	0,26
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΖΑΚ 200807	0,84	0,18	35,35	0,34
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΖΑΚ 2007	0,79	0,19	38,98	0,30
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΖΑΚ 270608	1,02	0,24	58,76	0,36
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΖΑΚ 2008	1,02	0,24	58,76	0,36
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΖΑΚ 180809	0,78	0,17	32,98	0,30
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΖΑΚ 210809	0,77	0,17	41,29	0,31
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΖΑΚ 280809	0,53	0,20	26,10	0,28
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΖΑΚ 2009	0,69	0,18	33,46	0,30





Εικόνα 39. Μέσοι όροι δεικτών βλάστησης στοχευμένης τοποθεσίας επιλεγμένων δορυφορικών εικόνων Πελοποννήσου και Ζακύνθου για τα έτη 2007 - 2008 - 2009.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην εργασία αυτή έγινε χρήση δορυφορικών εικόνων EnviSat Meris Full Resolution. Για την επεξεργασία των αρχείων EnviSat Meris, χρησιμοποιήθηκε το Visat λογισμικό βασισμένο στην εργαλειοθήκη Beam που είναι μια εργαλειοθήκη για την προβολή, ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων τηλεπισκόπησης τύπου ράστερ (raster).

Το χρησιμοποιούμενο λογισμικό είναι ανοικτού κώδικα (open source) και βελτιώνεται συνεχώς με τη συνδρομή των χρηστών του σ' όλο τον κόσμο. Έτσι υπάρχει συχνή επικοινωνία με το σχετικό forum (διαδικτυακό τόπο συζήτησης) για την ανταλλαγή απόψεων και πληροφοριών σχετικών με τη χρήση του λογισμικού καθώς και την εγκατάσταση επιπλέον δυνατοτήτων σε αυτό σε μελλοντικό χρόνο, διαδικασία που ακολουθήθηκε και στην παρούσα εργασία.

Συμπεράσματα για NDVI και γραφήματα φάσματος

Βασιζόμενοι στη δομή του βασικού δείκτη μελέτης NDVI και μετά την εφαρμογή του στις δύο περιοχές μελέτης (τμήμα Ζακύνθου και τμήμα Πελοποννήσου) παρατηρούμε μέσω των τιμών που προέκυψαν ότι αύξηση της τιμής του δείκτη σημαίνει υψηλή βλάστηση ενώ μείωση της τιμής του δείκτη σημαίνει χαμηλή βλάστηση (κάτι που προκύπτει μετά από μια πυρκαγιά ή καταστροφή μέρους της βλάστησης από άλλους παράγοντες).

Δηλαδή ο δείκτης NDVI μειώθηκε (από 0,30 σε 0,22) μετά την πυρκαγιά του 2007 στην περιοχή μελέτης Πελοποννήσου και συγκρινόμενος μετά αρκετό χρονικό διάστημα (θερινούς μήνες ένα και δύο έτη μετά) αυξήθηκε (από 0,22 σε 0,25) κάτι που επιβεβαιώνει την αναγέννηση των πυρόπληκτων περιοχών και την αύξηση της βλάστησης. Βέβαια τα αποτελέσματα δεν είναι ακριβώς ίδια και στην περιοχή της Ζακύνθου μιας και εξαρτώνται από το είδος της βλάστησης, το βαθμό αναγέννησης της βλάστησης και από την πολιτική διαχείρισης των πυρόπληκτων περιοχών (π.χ. αναδάσωση) για Πελοπόννησο και την έλλειψη δεδομένων για τη Ζάκυνθο τη δεδομένη χρονική στιγμή.

Με δεδομένη την εκδήλωση πυρκαγιάς στην Ζάκυνθο το 2009 δεν είναι προφανώς δυνατή η καταγραφή με αριθμητικά δεδομένα μέσω του λογισμικού του δείκτη NDVI πριν την πυρκαγιά και ένα έτος μετά και πριν την πυρκαγιά και δύο έτη μετά, τη δεδομένη χρονική στιγμή, παρά μόνο μια συγκριτική καταγραφή, όπως προαναφέρθηκε, του δείκτη NDVI για θερινούς μήνες των ετών 2007, 2008 και 2009 (χρονικό σημείο εκδήλωσης της πυρκαγιάς). Προφανώς η στατιστική ανάλυση δεδομένων μπορεί να επεξεργαστεί μελλοντικώς με τις κατάλληλες χρονικά μετρήσεις (έτη 2009, 2010 και 2011).

Βέβαια πρέπει να τονιστεί και να ληφθεί υπόψη ότι όλες οι περιοχές μέσα στη περίμετρο της φωτιάς δεν πρέπει να θεωρούνται πάντα σαν καμένη γη. Τα άκαυτα κομμάτια γης μέσα στην περίμετρο της φωτιάς όπως, η μη καμένη βλάστηση και το γυμνό έδαφος προσδιορίζονται και θεωρούνται σαν μη καμένη

γή χρησιμοποιώντας τον δείκτη NDVI και έναν χάρτη της περιοχής μελέτης, αλλιώς τα αποτελέσματα δεν θα είναι αξιόπιστα και σαφώς τα συμπεράσματα θα διαφέρουν πολύ από την πραγματικότητα κάτι που μακροπρόθεσμα θα βλάψει την λήψη ορθής απόφασης διαχείρισης της περιοχής σε σχέση με τη βλάστηση. Επομένως τα εικονοστοιχεία (pixels) μέσα στην περίμετρο της φωτιάς με παρόμοιες τιμές NDVI (όπως αυτές και της υγιούς βλάστησης στον περιβάλλοντα χώρο) πρέπει να σχετίζονται με άκαυτα κομμάτια γης.

Τα ανωτέρω αποτελέσματα θα πρέπει να μελετηθούν περαιτέρω από επιστήμονες με υπόβαθρο περιβαλλοντικό και δασολογικό για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων, λαμβάνοντας υπόψη τις ειδικές τους γνώσεις σχετικά με τις συγκεκριμένες περιοχές, όπως το είδος της βλάστησης, τη γεωμορφολογία και άλλες παραμέτρους.

Όσον αφορά τα φάσματα (που υπολογίστηκαν κατόπιν ατμοσφαιρικής διορθώσεως) μας δείχνουν τη διαφορετική φασματική υπογραφή κάθε περιοχής που οφείλεται στη διαφορετική δομή της βλάστησης σε κάθε χρονική περίοδο. Έτσι μπορούμε μέσω του γραφήματος να εξαχθούν συμπεράσματα πλούσιας ή όχι βλάστησης συγκρίνοντας την φασματική υπογραφή πριν και μετά την πυρκαγιά. Επιπλέον, από τα υπολογιζόμενα φάσματα των περιοχών μελέτης με τη χρήση σχετικών πινάκων (που περιέχουν τιμές φάσματος για τη βλάστηση της περιοχής) μπορεί να γίνει αποτίμηση του είδους της βλάστησης και να παραχθούν περαιτέρω πληροφορίες σχετικά με τη ζημία που προκάλεσαν οι πυρκαγιές στο κάθε είδος βλάστησης της περιοχής. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η λήψη σωστών διαγραμμάτων φάσματος εξαρτάται και από την ώρα λήψης της εικόνας (που διαφέρει στις διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήσαμε), τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες αλλά και τις χρησιμοποιούμενες μπάντες της δορυφορικής εικόνας ή συνδυασμού αυτών.

Συμπεράσματα για δείκτες βλάστησης

Λαμβάνοντας υπόψη τα αριθμητικά δεδομένα μέσω των όρων του LAI προκύπτει μείωση της τιμής του από 1,54 το 2007, σε 1,24 το 2008 και 1,15 το 2009 για την περιοχή μελέτης της Πελοποννήσου που δείχνει την μικρή παραγωγική ικανότητα της φυτοκοινωνίας της περιοχής μελέτης. Αυτό οφείλεται στη υποβάθμιση της βλάστησης μετά τις πυρκαγιές του 2007, αφού αντικαθίστανται οι δενδρώδεις σχηματισμοί από ποώδη φυτά και φυτά με μικρότερη φυλλική κάλυψη.

Γνωρίζοντας ότι ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας LAI αυξάνεται εκθετικά κατά την περίοδο της έντονης ανάπτυξης των φυτών, αποκτά μια μέγιστη τιμή κατά την περίοδο της άνθησης (αναπαραγωγική περίοδος) και ακολούθως υφίσταται μείωση στο διάστημα πριν από το τέλος της περιόδου (οφειλόμενη στη γήρανση και στη σταδιακή πτώση των μεγαλύτερων σε ηλικία φύλλων των φυτών της καλλιέργειας), θα αναμέναμε υψηλότερες τιμές (μεταξύ 3 και 6 που ισχύει για εύκρατες περιοχές), που δεν προκύπτουν όμως καθώς οι διαθέσιμες

δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν για τη λήψη των μέσων όρων LAI ήταν θερινών μηνών.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αριθμητικά δεδομένα μέσων όρων του **fCover** προκύπτει μεταβολή της τιμής του από 0,35 το 2007, σε 0,22 το 2008 και 0,25 το 2009 για την περιοχή μελέτης της Πελοποννήσου που δείχνει τη μεταβολή του κλάσματος ανοίγματος βλάστησης ανεξάρτητα από τη γεωμετρία του φωτισμού. Φαίνεται λοιπόν μείωση φωτοσυνθετικής δραστηριότητας ένα έτος μετά την πυρκαγιά του 2007 (από 0,35 το 2007 σε 0,22 το 2008) και αύξηση φωτοσυνθετικής δραστηριότητας δύο έτη μετά (από 0,22 το 2008 σε 0,25 το 2009).

Λαμβάνοντας υπόψη τα αριθμητικά δεδομένα μέσων όρων του **LAIxCab** προκύπτει μεταβολή της τιμής του από 60,82 το 2007, σε 58,65 το 2008 και 61,83 το 2009 για την περιοχή μελέτης της Πελοποννήσου που δείχνει τη μεταβολή του ποσού της χλωροφύλλης αλλά και της πυκνότητας της βλάστησης. Η αξιοπιστία του δείκτη που πηγάζει από το γεγονός ότι ο υπολογισμός αυτού του παράγοντα συνδυάζει δύο στοιχεία σε κάθε εικονοστοιχείο (χλωροφύλλη και πυκνότητα βλάστησης) μας δίνει το ποσό της χλωροφύλλης που μπορεί να υπολογιστεί τόσο σε επίπεδο φυλλωμάτων όσο και σε επίπεδο κομοστέγης, από τον πολλαπλασιασμό του επιπέδου περιεχομένου χλωροφύλλης φυλλώματος με τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας (με περισσότερη βαρύτητα στο επίπεδο περιεχομένου χλωροφύλλης φυλλώματος σύμφωνα με τη μέση κλίμακα ανάλυση MERIS που χρησιμοποιεί ετερογενή pixels).

Φαίνεται λοιπόν μείωση του δείκτη ένα έτος μετά την πυρκαγιά του 2007 (από 60,82 το 2007 σε 58,65 το 2008) και αύξηση του δείκτη δύο έτη μετά (από 58,65 το 2008 σε 61,83 το 2009) που οριοθετεί ενδείξεις φυσικής αναγέννησης.

Λαμβάνοντας υπόψη τα αριθμητικά δεδομένα μέσων όρων του **fAPAR** προκύπτει μεταβολή της τιμής του από 0,51 το 2007, σε 0,36 το 2008 και 0,41 το 2009 για την περιοχή μελέτης της Πελοποννήσου που δείχνει τη μεταβολή του βαθμού φωτοσυνθετικής δραστηριότητας που αφορά μόνο τα πράσινα μέρη εξ' ορισμού του δείκτη fAPAR (περιεχόμενο χλωροφύλλης φυλλωμάτων υψηλότερο από $15\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-2}$) της κομοστέγης.

Φαίνεται λοιπόν μείωση φωτοσυνθετικής δραστηριότητας ένα έτος μετά την πυρκαγιά του 2007 (από 0,51 το 2007 σε 0,36 το 2008) και αύξηση φωτοσυνθετικής δραστηριότητας δύο έτη μετά (από 0,36 το 2008 σε 0,41 το 2009). Απόκλιση από πραγματικά δεδομένα μπορεί να οφείλονται στις συνθήκες νέφωσης και στη χρονική στιγμή λήψης των δορυφορικών εικόνων (αποδεκτή χρήση fAPAR στις 10:00 π.μ. σε συνθήκες μη νέφωσης).

Η γνώση μεταβολής της τιμής του fAPAR είναι βασικής σημασίας για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών τάσεων, προκειμένου να κατευθύνουν τη χάραξη πολιτικής και για τη στήριξη της βιώσιμης ανάπτυξης.

Τα δεδομένα δεικτών βλάστησης που αφορούν την επιλεγμένη περιοχή της Ζακύνθου δεν είναι χρονικά επαρκή και αξιοποιήσιμα καθώς η πυρκαγιά είναι πρόσφατη χρονικά (2009) και μπορεί με την αποκτηθείσα εμπειρία και

περισσότερα δεδομένα (ετών 2010 και 2011) να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής διερεύνησης.

Συμπεράσματα - προτάσεις για διαχείριση επιλεγμένων περιοχών

Η φωτιά αποτελεί φυσικό παράγοντα των Μεσογειακών οικοσυστημάτων. Μάλιστα είναι χαρακτηριστικό πως υπάρχουν είδη βλάστησης που έχουν αναπτύξει σαφείς στρατηγικές επιβίωσης που εξασφαλίζουν τη διαίωνισή τους όταν οι πυρκαγιές εμφανίζονται με τη φυσική συχνότητά τους. Παραδείγματα αποτελούν η άμεση πρεμνοβλάστηση πολλών δασικών ειδών (πυρναρι, σχίνος, κουμαριά) που κάηκε το υπέργειο τμήμα τους καθώς και η αποθήκευση σπόρων στους κώνους των πεύκων που απελευθερώνονται κατά ή αμέσως μετά την πυρκαγιά.

Τα οικοσυστήματα δε, που πλήττονται περισσότερο από τις πυρκαγιές είναι τα δάση χαλεπίου πεύκης και των αειφύλλων σκληροφύλλων. Η υψηλή ευπάθεια αυτών των οικοσυστημάτων στη φωτιά και η συχνή εμφάνιση μεγάλων πυρκαγιών, οφείλονται:

- στις *κλιματολογικές συνθήκες* που επικρατούν στη ζώνη βλάστησης, στην οποία αυτά αναπτύσσονται, με κύρια χαρακτηριστικά την ξηρή καλοκαιρινή περίοδο μεγάλης διάρκειας, τις υψηλές μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες, το χαμηλό ύψος βροχοπτώσεων και τους ισχυρούς ανέμους και
- στην *ευφλεκτικότητα της βλάστησης*, που οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητά της σε εκχυλίσματα (ρετσίνι, έλαια) στη χαμηλή περιεκτικότητά σε υγρασία κατά την καλοκαιρινή περίοδο, στη συνέχεια και στη μεγάλη πυκνότητά της.

Λύση στα παραπάνω μπορεί να δώσει η ανάπτυξη των σύγχρονων τεχνολογιών και κυρίως των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, της Τηλεπισκόπησης και του Παγκοσμίου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (GPS). Ειδικά όσον αφορά στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών κατά την *πρόληψη-πυροπροστασία*, μπορούν να χρησιμοποιηθούν

- στον εντοπισμό των επικίνδυνων περιοχών και
- στη δημιουργία χαρτών επικινδυνότητας, έτσι ώστε τα μέτρα προφύλαξης να εντατικοποιηθούν σε συγκεκριμένες περιοχές. Επίσης, είναι δυνατή η χωροθέτηση σταθμών πυρανίχνευσης, τόσο επανδρωμένων όσο και αυτόματων.

Κατά την *καταστολή*, βοηθούν

- στο συντονισμό των δυνάμεων πυρόσβεσης. Παρέχουν στοιχεία (π.χ. μετεωρολογικά) σε πραγματικό χρόνο και χρησιμοποιώντας βάσεις δεδομένων που έχουν πληροφορίες για την καύσιμη ύλη, τις κλιματικές συνθήκες και την τοπογραφία μπορούν να υπολογίσουν την εξέλιξη της πυρκαγιάς με διάφορα μοντέλα διάδοσής της.

Μετά την πυρκαγιά, χρησιμοποιώντας Γ.Σ.Π. οι υπεύθυνοι διαχείρισης μπορούν να υπολογίσουν τη δασική έκταση που έχει καεί και να εκπονήσουν ένα σχέδιο ολοκληρωμένης προστασίας και διαχείρισής της.

Η τηλεπισκόπηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για:

- τη χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης καθώς και των καμένων εκτάσεων,
- την καταγραφή των ζημιών που προκλήθηκαν από μια δασική πυρκαγιά όπως αυτές απεικονίζονται με τη χρήση δορυφόρων και
- τη χαρτογράφηση του τύπου και της σοβαρότητας των δασικών πυρκαγιών.

Η ακριβής και λεπτομερής χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων, του βαθμού καταστροφής της βλάστησης, καθώς και η χαρτογράφηση της υγιούς βλάστησης μέσα στην περίμετρο των πυρκαγιών αποτελούν σημαντικές πληροφορίες που βοηθούν στην καλύτερη διαχείριση των περιοχών που κάηκαν. Οι παραπάνω πληροφορίες χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων για να εκτιμηθούν:

- οι οικονομικές ζημιές,
- οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις,
- η καταγραφή αλλαγών στην χρήση και κάλυψη της γης και
- η μοντελοποίηση ατμοσφαιρικών και κλιματικών επιπτώσεων από την καύση της βιομάζας.

Μια από τις σημαντικές εφαρμογές των σύγχρονων τεχνολογιών αποτελούν τα μοντέλα καύσιμης ύλης τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση συμπεριφοράς πυρκαγιών είτε σε εφαρμογές που αφορούν προληπτικό σχεδιασμό είτε σε πραγματικές επιχειρήσεις καταστολής αυτών, λαμβάνοντας υπόψη την τοπογραφία και τις μετεωρολογικές συνθήκες.

Το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο σήμερα μοντέλο πρόβλεψης της συμπεριφοράς της φωτιάς είναι το ημιεμπειρικό μοντέλο του Rothermel (Rothermel 1972). Σε αυτό βασίσθηκαν τα νομογράμματα πρόβλεψης συμπεριφοράς της φωτιάς του Albinι (Albinι 1976), το πρωτόπορο για την εποχή του και ακόμη χρησιμοποιούμενο σύστημα πρόβλεψης της συμπεριφοράς πυρκαγιών με Η/Υ που ονομάστηκε BEHAVE (Burgan and Rothermel 1984, Andrews 1986, Andrews and Chase 1989), αλλά και το σύγχρονο σύστημα προσομοίωσης της εξάπλωσης των πυρκαγιών στο χώρο που ονομάστηκε FARSITE.

Παραδείγματα διαχείρισης δασικών πυρκαγιών με τη χρήση σύγχρονων τεχνολογιών αποτελούν:

- η ανάλυση επικινδυνότητας,
- η ανάλυση ορατότητας καθώς και
- η προσομοίωση της δασικής πυρκαγιάς

από τα οποία και φαίνεται πως πράγματι μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμα εργαλεία για τη διαχείρισή τους.

Βασικό στοιχείο όμως για την πλήρη καταγραφή μιας πυρκαγιάς αποτελεί η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων για την οποία, όπως προκύπτει από τα δελτία

πυρκαγιών των δασαρχείων καθώς και της πυροσβεστικής υπηρεσίας, χρειάζονται τα εξής δεδομένα: Ημερομηνία έναρξης πυρκαγιάς, Ώρα έναρξης πυρκαγιάς, Ημερομηνία κατάσβεσης πυρκαγιάς, Ώρα κατάσβεσης πυρκαγιάς, Ημερομηνία αναζωπύρωσης πυρκαγιάς, Ώρα αναζωπύρωσης πυρκαγιάς, Ημερομηνία ανακατάσβεσης πυρκαγιάς, Ώρα ανακατάσβεσης πυρκαγιάς, Νομός, Δήμος, Τοποθεσία, Πιθανή θέση έναρξης, Πιθανή αιτία, Εξακρίβωση δράστη, Καμένη δασική έκταση (σε στρέμματα), Είδος βλάστησης που καταστράφηκε, Ιδιοκτησιακό καθεστώς, Σχετική υγρασία, Θερμοκρασία, Ένταση ανέμου, Διεύθυνση ανέμου, Κλίση, Έκθεση, Υψόμετρο, Πέτρωμα, Πυκνότητα χορτοτάπητα, Πυκνότητα καμένης βλάστησης, Μορφή πυρκαγιάς.

Στα παραπάνω μπορεί να προστεθεί και η χωρική πληροφορία που προέρχεται από δεδομένα Τηλεπισκόπησης ή GPS και τα οποία σε περιβάλλον ΓΣΠ μπορούν να δώσουν την πλήρη εικόνα της. Μπορεί επιπλέον να δοθεί η εξέλιξη του μετώπου της πυρκαγιάς και να καταγραφεί ουσιαστικά το ιστορικό αυτής (που ξεκίνησε και πως εξελίχθηκε).

Τα δελτία πυρκαγιάς πολλές φορές είναι ελλιπή, πράγμα που οφείλεται είτε στην αμέλεια, είτε στην άγνοια των εκάστοτε υπαλλήλων και αυτό καθιστά ιδιαίτερα δύσκολη τη δημιουργία μιας λειτουργικής βάσης δεδομένων για τη μετέπειτα λήψη πολύτιμων συμπερασμάτων.

Συμπερασματικά, φαίνεται πως τόσο τα Γ.Σ.Π. όσο και η Τηλεπισκόπηση και το GPS μπορούν, αν εφαρμοστούν από εξειδικευμένους επιστήμονες και χρήστες, μπορούν να αποτελέσουν πολύτιμο αρωγό κατά τη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών.

Από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας προκύπτει πως στην Ελλάδα βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο καθώς καμία εφαρμογή δε βρέθηκε να έχει τεθεί σε λειτουργία από τους αρμόδιους φορείς. Οι περισσότερες των εργασιών που βρέθηκαν και αφορούσαν στον ελληνικό χώρο προσέγγιζαν το θέμα θεωρητικά και είχαν εκπονηθεί από πανεπιστημιακά και ερευνητικά ιδρύματα. Οι δημόσιοι φορείς που χρησιμοποιούν σύγχρονες τεχνολογίες είναι λίγοι και το προσωπικό που απασχολείται στους παραπάνω ελάχιστα - ως επί το πλείστον - έχει έρθει σε επαφή με τις σύγχρονες τεχνολογίες. Η τεχνογνωσία στις περισσότερες υπηρεσίες είναι ελλιπής ενώ ακόμα και εκείνες που έχουν προμηθευτεί τα κατάλληλα πακέτα προϊόντων δεν έχουν το κατάλληλο προσωπικό να τα αξιοποιήσουν. Ας ελπίσουμε πως στην Ελλάδα να μην χρειαστεί να περάσουν αρκετά χρόνια μέχρι οι σύγχρονες τεχνολογίες να χρησιμοποιηθούν από όλους τους αρμόδιους στην διαχείριση των φυσικών καταστροφών και ειδικότερα των δασικών πυρκαγιών. Κάτι τέτοιο άλλωστε προϋποθέτει χρόνο και χρήμα, που δε φαίνεται - ακόμα τουλάχιστον - να διατίθεται.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Αριανούτσου, Μ., (1995).** *Τα κα(η)μένα Μεσογειακά οικοσυστήματα - προσπάθειες αποκατάστασης και απόπειρες βιασμού.* Νέα Οικολογία, 133: 27-29.
- Βαϊόπουλος, Δ., Ευελπίδου, Ν., Βασιλόπουλος Α., (2001).** *Εκτίμηση της κατανομής των πυρκαγιών ως φυσική καταστροφή στα νησιά του βορείου Ιονίου πελάγους με τη χρήση GIS.* Ελληνική Εταιρεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο “Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών-Δυνατότητες και Εφαρμογές, Προοπτικές και Προκλήσεις”.
- Βασιλάκος, Χ., Χατζόπουλος, Ι., Καλαμποκίδης, Κ., Παπαπαναγιώτου, Ευ., (2001).** *Σχεδιασμός δικτύου ανίχνευσης δασικών πυρκαγιών με χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών.* Ελληνική Εταιρεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο “Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών-Δυνατότητες και Εφαρμογές, Προοπτικές και Προκλήσεις”.
- Γήτας, Ι., (2007).** *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Τηλεπισκόπηση στη Δασική Πράξη.* Πρακτικά συνεδρίου Δασοπροστασίας της Γενικής Διεύθυνσης Ανάπτυξης και Προστασίας Δασών και Φυσικών Πόρων του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων, 19-24 Μαρτίου 2007, Αθήνα
- Καϊλίδης, Δ., (1993).** *Δασικές Πυρκαγιές,* Τρίτη έκδοση. Εκδόσεις Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
- Καρτέρης, Μ., (1999).** *Γεωγραφικά Περιβαλλοντικά Συστήματα Πληροφοριών,* Εκδόσεις ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Καρτέρης, Μ., (1999).** *Τηλεπισκόπηση Περιβάλλοντος,* Εκδόσεις ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη.
- Κωνσταντινίδης, Π., ().** *Μαθαίνοντας να ζούμε με τις δασικές πυρκαγιές.*
- Κωνσταντινίδης, Π., Γκατζογιάννης, Στ., (2001).** *Επιλογή δασικών ειδών για αναδασώσεις σε πυρόπληκτες περιοχές.* ΕΘΙΑΓΕ, ISBN: 960-86160-9-3, Θεσσαλονίκη.
- Κωνσταντινίδης, Π., (2007).** *Αποκατάσταση καμένων εκτάσεων.* Πρακτικά Επιστημονικού Συνεδρίου, Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης - ΕΘ.Ι.ΑΓ.Ε. Αθήνα.
- Μηλιάρης Γ., (2006).** *Φωτοερμηνεία Τηλεπισκόπηση.* Εκδόσεις Ίων.
- Ξανθόπουλος, Γ., (1998).** *Δασικές Πυρκαγιές στην Ελλάδα: Παρελθόν, Παρόν και Μέλλον.*

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Arianoutsou, M., Ne'eman, G., (2000).** *Post-fire regeneration of natural Pinus halepensis forests in the East Mediterranean basin.* In: G. Ne'eman, L. Trabaud (eds.), *Ecology, biogeography and management of Pinus halepensis and P. brutia forest eco-systems in the Mediterranean basin*, Backhuys Publishers, Leiden, pp. 269-289.
- Dimitrakopoulos, A.P., (2002).** *Mediterranean fuel models and potential fire behaviour in Greece,* *International Journal of Wildland Fire* 11(2) 127 – 130.
- Koutsias, N., Karteris, M., Fernandez-Palacios, A., Navarro, C., Jurado, J., Navarro, R.M., Lobo, A., (1999).** *Burnt land mapping at local scale.* In *Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean.* Basin, E. Chuvieco (Ed.), (Berlin: Springer).
- Naveh, Z., (1975).** *The evolutionary significance of fire in the Mediterranean region.* *Vegetatio*, 29(3): 199-208.
- Renz, C., (1940).** *Die Tektonik der griechischen Gebirge.* - Pragm. Akad. Athinon, 8, 171 S., Athen.
- Tsagaris, V., Giannopoulos, N., Anastassopoulos, V., (2004).** *Colour display strategies for enhanced representation of MERIS data,* ENVISAT Symposium, September 2004, Salzburg, Austria.
- Whelan, R.J., (1995).** *The ecology of fire.* Cambridge University Press, p.p. 346.

ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

<http://forest.jrc.ec.europa.eu/documents/2000/eurimagefires.pdf>

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2705822>

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3415223>

<http://www.gis.unbc.ca/courses/geog432/projects/2006/richmond/index.htm>

http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php

<http://www.calmit.unl.edu/storm/newpage31.htm>

http://fapar.jrc.ec.europa.eu/WWW/Data/Pages/FAPAR_Projects/FAPAR_ESA/FAPAR_ESA.php

Help Documentation of Beam and Eolisa software.