Οι φασματικές ιδιότητες των καμένων εκτάσεων συγκριτικά με άλλες κατηγορίες κάλυψης γης χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα

Μ. Πλένιου*, Δ. Φωτάκης, Η. Καρμίρης
Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών, ΕΛΓΟ-ΔΗΜΗΤΡΑ, Βασιλικά, Θεσσαλονίκη 57006
*Email: mpleniou@fri.gr

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας έρευνας είναι η διερεύνηση και ο χαρακτηρισμός των φασματικών ιδιοτήτων των περιοχών καμένης βλάστησης, συγκριτικά με άλλες κατηγορίες κάλυψης γης (φυσικοί βοσκότοποι, γεωργικές περιοχές, δάση κλπ.), χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα. Για το σκοπό αυτό, επιλέχτηκε ως περιοχή μελέτης η μεγάλης έντασης πυρκαγιά που συνέβη στην Πάρνηθα το 2007 και αποκτήθηκαν ως βασική πηγή πληροφοριών δορυφορικές εικόνες πριν και μετά την πυρκαγιά, οι οποίες προέρχονται από το δορυφορικό πολυφασματικό αισθητήρα LANDSAT (http://glovis.usgs.gov/). Αρχικά οριοθετήθηκαν στη δορυφορική εικόνα μετά την πυρκαγιά δειγματοληπτικές επιφάνειες οι οποίες αντιστοιχούν σε καμένες εκτάσεις αλλά και σε άλλα σημαντικά είδη κάλυψης γης, κάνοντας χρήση της πανευρωπαϊκής βάσης δεδομένων κάλυψης γης CORINE 2000. Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι ραδιομετρικές τιμές των εικονοστοιχείων δειγματοληψίας τους και εκτιμήθηκαν απλά στατιστικά μεγέθη με σκοπό τη δημιουργία των φασματικών υπογραφών κάθε κατηγορίας και το χαρακτηρισμό των φασματικών χαρακτηριστικών τους, συμπεριλαμβανομένου και την κατηγορία της καμένης βλάστησης.

***Λέξεις κλειδιά**:* δασικές πυρκαγιές, τηλεπισκόπηση, χρήσεις γης, LANDSAT, φασματικές υπογραφές

Εισαγωγή

Προϋπόθεση για την εξασφάλιση της αειφορικής ανάπτυξης είναι η παρατήρηση και η προστασία της βλάστησης. Ένας από τους μεγαλύτερους κινδύνους που αντιμετωπίζουν τα δασικά οικοσυστήματα είναι οι πυρκαγιές, αναλόγως των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους (Kasischke and Stocks 2000, Ryan 2002). Οι πυρκαγιές αποτελούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον κυρίως γιατί επηρεάζουν τη βιοποικιλότητα (Cowling et al. 1996), τη λειτουργία των οικοσυστημάτων (Rundel 1981), καθώς και τη δομή των φυτοκοινοτήτων (Bond *et al.* 2005, Pausas *et al.* 2008). Επομένως η παρατήρηση της βλάστησης συνδέεται άμεσα και ειδικότερα στις μεσογειακές περιοχές όπως είναι η Ελλάδα, με τον κίνδυνο έναρξης πυρκαγιάς.

Η χρησιμοποίηση των δορυφορικών δεδομένων για την παρατήρηση της βλάστησης είναι πλέον διαδεδομένη καθώς παρέχει μία απεριόριστη βασική πηγή πληροφοριών ενός μεγάλου μέρους της επιφάνειας της γης και μπορούν να ληφθούν μετρήσεις για την ίδια περιοχή σε τακτική βάση (Donoghue 2002). Αυτά τα περιοδικά φασματικά δεδομένα στα διάφορα μήκη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που έχουν αποκτηθεί από διάφορους δορυφορικούς αισθητήρες, μπορούν με τη βοήθεια της επεξεργασίας και της ερμηνείας τους μέσω ενός υπολογιστή να συμβάλλουν σε μία καλύτερη, οικονομικά αποδοτική, αντικειμενική και ταχύτατη μέθοδο παρακολούθησης και χαρτογράφησης (Koutsias *et al.* 1999). Οι δορυφόροι καταγράφουν σε διάφορα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος την ηλεκτρομαγνητική

ακτινοβολία που εκπέμπουν και ανακλούν τα διάφορα αντικείμενα. Έτσι, στην Τηλεπισκόπηση, όλες οι επιφάνειες χαρακτηρίζονται από συγκεκριμένη συμπεριφορά ανάκλασης ή εκπομπής και διακρίνονται από τις συγκεκριμένες φασματικές υπογραφές τους. Δύο καταστάσεις που ασκούν έντονη επίδραση στα φασματικά χαρακτηριστικά των καμένων εκτάσεων είναι i) η εναπόθεση στάχτης στο έδαφος μετά την πυρκαγιά (μικρή διάρκεια) και ii) η απομάκρυνση της βλάστησης (Robinson 1991, Pereira *et al.* 1997). Ωστόσο, η δεύτερη κατάσταση είναι πιο μόνιμη και μπορεί να προκληθεί και από άλλους παράγοντες όπως είναι η υλοτόμηση, η βόσκηση, άλλες φυσικές καταστροφές (ανεμορριψίες, λειψυδρίες) ή η δράση εντόμων και παθογόνων οργανισμών.

Οι φασματικές υπογραφές επηρεάζονται από διάφορους παράγοντες και πιθανότατα να διαφοροποιούνται, ανάλογα με την κατάσταση της επιφάνειας. Για παράδειγμα, η φασματική υπογραφή της βλάστησης εξαρτάται από το είδος της βλάστησης, όπως και αυτής του εδάφους ποικίλει από περιοχή σε περιοχή. Παρόλα αυτά η τηλεπισκόπηση παρουσιάζει διάφορα προβλήματα και περιορισμούς, με το μεγαλύτερο να αναφέρεται στις φασματικές ομοιότητες των καμένων επιφανειών συγκριτικά με άλλους τύπους κάλυψης γης (Pereira et al. 1999). Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η διερεύνηση και ο χαρακτηρισμός των φασματικών ιδιοτήτων των περιοχών καμένης βλάστησης, συγκριτικά με άλλες κατηγορίες κάλυψης γης (φυσικοί βοσκότοποι, γεωργικές περιοχές, δάση κλπ.), χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα.

Υλικά και μέθοδοι

Ως περιοχή μελέτης επιλέχτηκε η μεγάλης έντασης πυρκαγιά που συνέβη στην Πάρνηθα το 2007. Η περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της σπάνιας χλωρίδας και πανίδας (Εθνικός Δρυμός-1961, Ευρωπαϊκού δικτύο “Natura 2000” -GR3000001, SPA 2009/147/ΕΚ, καταφύγιο θηραμάτων), που απαντάται στην περιοχή. Στις 28 Ιουνίου 2007 εκδηλώθηκε μία μεγάλη πυρκαγιά, η οποία έκαψε το μεγάλο μέρος του δάσους της κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica)* και της χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis)*, πολλά ζώα του πληθυσμού του κόκκινου ελαφιού (*Cervus elaphus*, είδος υπό εξαφάνιση), πουλιά (πολλά από αυτά έχουν χαρακτηριστεί αυστηρά προστατευόμενα είδη), καθώς και πολλά άλλα σπάνια είδη φυτών με διεθνή και ευρωπαϊκή αξία.

Ως βασική πηγή πληροφοριών χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες πριν (26/09/1991) και μετά την πυρκαγιά (05/09/2007), οι οποίες προέρχονται από το δορυφορικό πολυφασματικό αισθητήρα LANDSAT TM-5 (http://glovis.usgs.gov/) (**Εικόνα 3**). Οι παρατηρήσεις μέσω του LANDSAT δορυφόρου διαχειρίζονται από κοινού η NASA (National Aeronautics and Space Administration) και το αμερικανικό Γεωλογικό Ινστιτούτο (http://glovis.usgs.gov/). Ο LANDSAT TM-5 είναι εφοδιασμένος με θεματικό χαρτογράφο TM (Thematic Mapper), ο οποίος εξασφαλίζει υψηλή χωρική ανάλυση, βελτιωμένη γεωμετρική ακρίβεια, μεγαλύτερη ραδιομετρική λεπτομέρεια και αρκετά πιο λεπτομερή φασματική πληροφορία (**Πίνακας 2**).



Εικόνα 3. Οι δορυφορικές εικόνες LANDSAT πριν και μετά την πυρκαγιά.

Πίνακας 2. Χαρακτηριστικά δορυφόρου LANDSAT 5 TM.

		Διακριτική ικανότητα		
Φασματικοί δίαυλοι	**Φασματική**	**Χωρική**	**Χρονική**	**Ραδιομετρική**
1: Μπλε	0.45 - 0.52μm			
2: Πράσινο	0.52 - 0.60μm			
3: Κόκκινο	0.63 - 0.69μm	30 μέτρα	16 ημέρες	8 bits
4: Κοντινό υπέρυθρο	0.76 - 0.90μm			
5: Μέσο υπέρυθρο	1.55 - 1.75μm			
6: Θερμικό υπέρυθρο	10.40 - 12.50μm	120 μέτρα	16 ημέρες	8 bits
7: Μέσο υπέρυθρο	2.08 - 2.35μm	30 μέτρα	16 ημέρες	8 bits

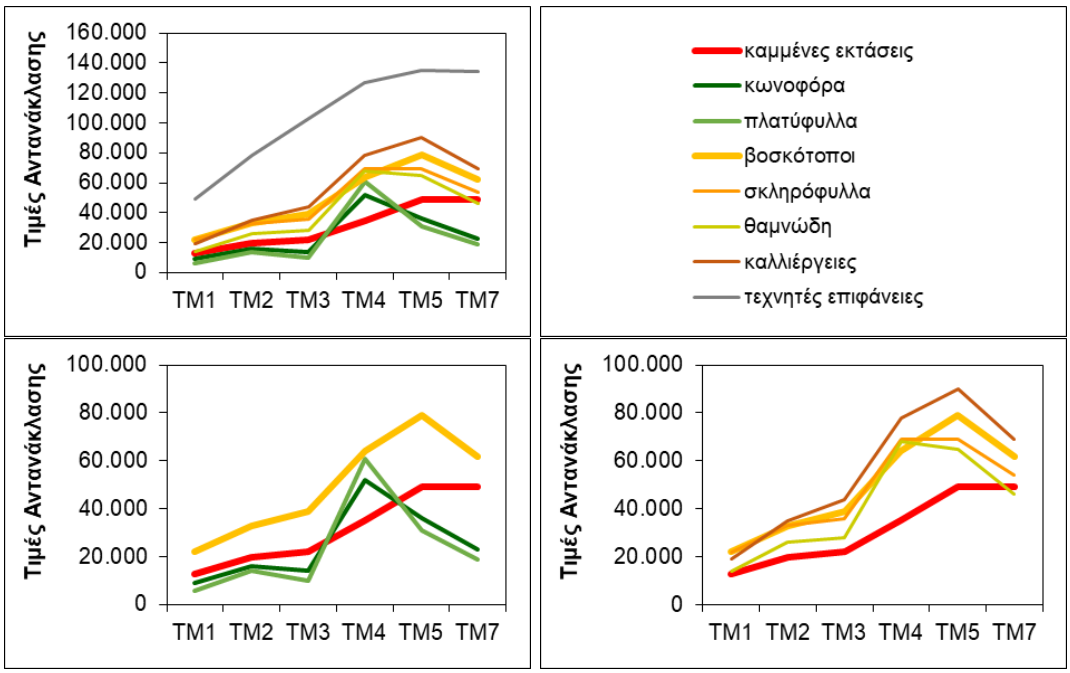
Τα δορυφορικά δεδομένα λόγω σφαλμάτων πρέπει να επεξεργάζονται πριν την ανάλυσή τους. Η προεπεξεργασία περιλαμβάνει τη γεωμετρική, τη ραδιομετρική αλλά και την ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων. Οι εικόνες προσαρμόστηκαν στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ 87) και εφαρμόστηκε ατμοσφαιρική διόρθωση και μετατροπή των ψηφιακών τιμών σε δορυφορική φασματική ακτινοβολία (Rogan and Franklin 2001). Η μετά την πυρκαγιά δορυφορική εικόνα LANDSAT-5 TM παρουσιάζεται με το συνδυασμό διαύλων RGB 742, ο οποίος δημιουργεί συνθέσεις έγχρωμων εικόνων και μας επιτρέπει εύκολη διάκριση αντικειμένων (Koutsias and Karteris 1998).

Έπειτα από τις απαραίτητες διορθώσεις, στη δορυφορική εικόνα μετά την πυρκαγιά οριοθετήθηκαν δειγματοληπτικές επιφάνειες οι οποίες αντιστοιχούν σε καμένες εκτάσεις αλλά και σε άλλα σημαντικά είδη κάλυψης γης, κάνοντας χρήση της πανευρωπαϊκής βάσης δεδομένων κάλυψης γης CORINE 2000. Οι δειγματοληπτικές επιφάνειες που επιλέχτηκαν να μελετηθούν και οι οποίες καλύπτουν την περιοχή μελέτης, σύμφωνα με τις κατηγορίες του CORINE, ήταν εκτός από τις καμένες εκτάσεις οι εξής: i) Δάση και ημιφυσικές περιοχές α) δάση (δάσος κωνοφόρων, δάσος πλατυφύλλων, μικτό δάσος), β) συνδυασμοί θαμνώδους ή /και ποώδους βλάστησης (φυσικοί βοσκότοποι, σκληροφυλλική βλάστηση, μεταβατικές δασώδεις και θαμνώδεις εκτάσεις), ii) γεωργικές περιοχές α) αρόσιμη γη (μη αρδευόμενη αρόσιμη γη, σύνθετες καλλιέργειες, γη που χρησιμοποιείται κυρίως για γεωργία μαζί με σημαντικά τμήματα φυσικής βλάστησης) και iii) τεχνητές επιφάνειες α) αστικός ιστός (ασυνεχής αστικός ιστός) β) βιομηχανικές εμπορικές ζώνες και δίκτυα μεταφορών (βιομηχανικές και εμπορικές ζώνες) γ) ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης (χώροι εξορύξεως ορυκτών). Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν οι ραδιομετρικές τιμές των εικονοστοιχείων

δειγματοληψίας που αντιστοιχούσαν στις επιφάνειες και εκτιμήθηκαν απλά στατιστικά μεγέθη με σκοπό τη δημιουργία των φασματικών υπογραφών κάθε κατηγορίας και το χαρακτηρισμό των φασματικών χαρακτηριστικών τους, συμπεριλαμβανομένου και την κατηγορία της καμένης βλάστησης.

Αποτελέσματα και συζήτηση

Από τις γραφικές αναπαραστάσεις των φασματικών υπογραφών είναι προφανές ότι τύποι κάλυψης γης, οι οποίοι δεν μεταβάλλονται μεταξύ της πριν και της μετά την πυρκαγιά δορυφορική εικόνα, παρουσιάζουν παρόμοιες φασματικές τιμές (**Εικόνα 4**).



Εικόνα 4. Φασματικές υπογραφές κατηγοριών κάλυψης γης στα δορυφορικά δεδομένα LANDSAT-5 TM.

Η φασματική καμπύλη της βλάστησης έχει μικρή ανάκλαση στο ορατό τμήμα (TM1, TM2, TM3) και πολύ μεγάλη στο εγγύς υπέρυθρο (TM4), ενώ στο μέσο υπέρυθρο η ανακλαστικότητα μειώνεται (TM5, TM7). Σε αυτά τα μήκη κύματος η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία απορροφάται από την περιεχόμενη υγρασία του φύλλου. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επιδρούν και διαμορφώνουν αυτήν την καμπύλη είναι η δομή του φύλλου, οι χρωστικές ουσίες και η περιεχόμενη υγρασία (Κούτσιας 2001). Οι μεταβολές αυτές που συμβαίνουν στις φασματικές ζώνες του κοντινού και μέσου υπέρυθρου αποδεικνύονται χρήσιμες για το διαχωρισμό διάφορων τύπων κάλυψης γης. Αντίθετα, στα φασματικά χαρακτηριστικά των καμένων περιοχών παρατηρείται μείωση της ανακλαστικότητας των στο εγγύς υπέρυθρο (TM4) και αύξηση στο μέσο (TM5, TM7). Επίσης, το ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος αποδεικνύεται να μην είναι τόσο αποτελεσματικό για τη διάκριση των καμένων εκτάσεων, σε αντίθεση με το υπέρυθρο τμήμα που έχουν παρατηρηθεί έντονες αλλαγές στις τιμές ανάκλασης όσον αφορά τις εκτάσεις μετά από πυρκαγιά. Πιο συγκεκριμένα, η έντονη μείωση της ανακλαστικότητας των καμένων εκτάσεων στο κοντινό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος οφείλεται στην καταστροφή της δομής των φύλλων και η έντονη αύξηση της ανακλαστικότητας των καμένων εκτάσεων στο μέσο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος οφείλεται στη μείωση της διαθέσιμης υγρασίας του φυλλώματος, λόγω της καύσης της βλάστησης, με αποτέλεσμα οι καμένες

εκτάσεις να παρουσιάζουν μεγαλύτερες ραδιομετρικές τιμές από ότι η υγιής βλάστηση σε αυτό το τμήμα του φάσματος.

Σχετικά με τις υπόλοιπες κατηγορίες (βοσκότοποι, σκληρόφυλλα, θαμνώδη, καλλιέργειες) και συγκρίνοντας τις φασματικές τους υπογραφές με αυτή που αντιστοιχεί στις καμένες επιφάνειες παρατηρούνται υψηλότερες τιμές ανάκλασης στο κανάλι TM4 και έντονη μείωση από το κανάλι TM5 στο TM7, αντίθετα ακριβώς από τις καμένες εκτάσεις, όπου παρατηρείται μία μικρή αύξηση. Σε αυτήν την περίπτωση γίνεται αντιληπτό ότι ο αισθητήρας εκείνος που καταγράφει την ενέργεια σε αυτό το μήκος κύματος επιτρέπει το διαχωρισμό τους. Επιπροσθέτως, οι βοσκότοποι φαίνεται να μπορούν να διακριθούν καλύτερα στο μέσο υπέρυθρο τμήμα, όπου παρατηρείται αύξηση στο κανάλι TM5 σε σχέση με τις άλλες δύο κατηγορίες (σκληρόφυλλα, θαμνώδη), όπου εκεί η τιμή μειώνεται.

Συμπεράσματα – Προτάσεις

Συμπερασματικά, γίνεται αντιληπτό ότι οι διαφορετικές κατηγορίες κάλυψης γης διαχωρίζονται σχετικά εύκολα μεταξύ τους φασματικά, με την προϋπόθεση ότι σε κάθε περίπτωση επιλέγεται να μελετηθεί το κατάλληλο τμήμα του φάσματος. Αυτό το γεγονός, καθιστά την επιστήμη της Τηλεπισκόπησης ιδιαίτερα χρήσιμη προσφέροντας σημαντικές πληροφορίες με ταχύτητα και αντιμετωπίζοντας το πρόβλημα της περιορισμένης προσβασιμότητας των περιοχών, ιδιαίτερα στη λεκάνη της Μεσογείου. Το μεγαλύτερο πρόβλημα αναφέρεται στις φασματικές ομοιότητες των καμένων επιφανειών συγκριτικά με άλλους τύπους κάλυψης γης (Pereira et al. 1999). Επομένως, για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων είναι σημαντική η κατανόηση των φασματικών ιδιοτήτων των καμένων, συγκριτικά και με άλλες κατηγορίες κάλυψης γης (φυσικοί βοσκότοποι, γεωργικές περιοχές, δάση κλπ.).

Βιβλιογραφία

Bond W., F. Woodward and G. Midgley. 2005. The global distribution of ecosystems in a world without fire. The New Phytologist, 165: 525-538.

Cowling R., P. Rundel, B. Lamont, M. Arroyo and M. Arianoutsou. 1996. Plant diversity in Mediterranean-climate regions. Trends Ecol. Evol., 11: 362-366.

Donoghue D.N.M. 2002. Remote sensing: Environmental change. Progress in Physical Geography, 26: 144-151.

Kasischke E.S. and B. Stocks. 2000. Fire, climate change, and carbon cycling in the boreal forest. Spinger-Verlag, New York. 461p.

Koutsias N. and M. Karteris. 1998. Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. Int. J. Rem. Sens., 19: 3499-3514.

Koutsias N., M. Karteris, A. Fernandez-Palacios, C. Navarro, J. Jurado, R. Navarro and R. Lobo. 1999. Burned land mapping at local scale, pp 157-187. *In Chuvieco E. (ed) Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean basin,* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Pausas J., J. Llovet, A. Rodrigo and R. Vallejo. 2008. Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin?- A review. Int. J. Wildl. Fire, 17: 713-723.

Pereira J., E. Chuvieco, A. Beaudoin and N. Desbois. 1997. Remote sensing of burned areas: A review, pp. 127-183. *In: Chuvieco E. (Editor), A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires.* Universidad de Alcala, Alcala de Henares, Spain.

Pereira J., A. Sa, A. Sousa, J. Silva, T. Santos and J. Carreiras. 1999. Spectral characterisation and discrimination of burnt areas, pp 123-138. *In Chuvieco E. (ed) Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean basin.* Springer-Verlag.

Robinson J. 1991. Fire from space: Global fire evaluation using infrared remote sensing. Int. J. Rem. Sens., 12, 1991.

Rogan J. and J. Franklin. 2001. Mapping wildfire burn severity in southern California forests and shrublands using Enhanced Thematic Mapper imagery. Geocarto Int., 16: 89-99.
Rundel P. 1981. Fire as an ecological factor. *In 'Encyclopedia of plant physiology'. (Eds O.L. Lange, P.S. Nobel, C.B. Osmond and H. Ziegler)*, pp. 501-538. Springer-Verlag:Berlin.
Ryan K. 2002. Dynamic interactions between forest structure and fire behavior in boreal ecosystems. Silva Fenn., 36: 13-39.
Κούτσιας Ν. 2001. Η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών στη Φασματική Αξιολόγηση και Χαρτογράφηση Καμένων Εκτάσεων στα Μεσογειακά Οικοσυστήματα. Διδακτορική διατριβή.

Spectral properties of burned areas compared to other land cover types using satellite data

M. Pleniou*, D. Fotakis, I. Karmiris
Hellenic Agricultural Organisation «DIMITRA», Forest Research Institute, 57006 Vassilika, Thessaloniki
*Email: mpleniou@fri.gr

Summary

The aim of our study is to explore the spectral properties of burned surfaces, as compared to spectral signatures of other land cover types (natural pastures, agricultural areas, forest etc) using satellite data. For that purpose, a study case was established in one very destructive wildfire occurred in Parnitha in 2007. Satellite data from LANDSAT sensor (http://glovis.usgs.gov/) were acquired before and after the fire. Sampling plots were initially allocated over the post-fire Landsat satellite image, that correspond to burned surfaces and other land cover types, using CORINE land cover maps. Additionally, radiometric values of the pixels of the sampling plots were extracted and simple statistics were estimated to create signature data plots and characterize the spectral properties of various land cover categories, including the category of burned areas.

***Keywords**:* forest fires, remote sensing, land cover types, LANDSAT, spectral signatures