

Εφαρμογές δορυφορικών δεδομένων υψηλής και πολύ υψηλής ευκρίνειας στη χαρτογράφηση και παρακολούθηση καμένων εκτάσεων

Μ. Καρτέρης, Γ. Μαλλίνης και Ν. Κούτσιας

*Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεπισκόπησης
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Τ.Θ. 248, Θεσσαλονίκη 54006*

Εισαγωγή

Η οικολογική ισορροπία του πλανήτη μας δέχεται σοβαρές πιέσεις με αποτέλεσμα να κινδυνεύει να διαταραχθεί λόγω της ανεύθυνης στάσης μας ως προς το περιβάλλον και τη μη σωστή χρήση των φυσικών πόρων. Ο ρόλος των δασών στη διατήρηση αυτής της ισορροπίας είναι πρωταρχικής σημασίας, αλλά δυστυχώς, χιλιάδες στρέμματα καίγονται κάθε χρόνο παγκοσμίως.

Μια από τις σοβαρότερες απειλές των δασών, ειδικά σε χώρες που βρίσκονται γύρω από την Μεσόγειο, όπως είναι η Ελλάδα, είναι οι δασικές πυρκαγιές. Το Μεσογειακό κλίμα της Ελλάδας, το οποίο χαρακτηρίζεται από παρατεταμένα ξηρά καλοκαίρια και ισχυρούς ανέμους, σε συνδυασμό με τους εύφλεκτους τύπους βλάστησης, είναι οι κύριοι παράγοντες που ευνοούν την εκδήλωση και διάδοση των δασικών πυρκαγιών. Χρόνο με το χρόνο, το μέγεθος των καμένων εκτάσεων και ο αριθμός των πυρκαγιών αυξάνονται. Ειδικότερα οι δασικές πυρκαγιές συμβάλλουν στη διαμόρφωση της οικολογίας, αφού επηρεάζουν το φυσικοχημικό περιβάλλον, ενεργούν ως ρυθμιστής της συσσώρευσης της βιομάζας, προσδιορίζουν τη δομή και διάταξη των βιοτόπων, ρυθμίζουν τη βιοποικιλότητα καθώς και άλλα χαρακτηριστικά και διαδικασίες των οικοσυστημάτων όπως παραγωγικότητα, κύκλο θρεπτικών συστατικών κ.λπ., επηρεάζουν την αισθητική του τοπίου, το βαθμό διάβρωσης κ.λπ. Το μεγάλο οικονομικό και κοι-

νωνικό κόστος των δασικών πυρκαγιών όπως επίσης και η ανυπολόγιστη ζημιά που προκαλείται στα δασικά οικοσυστήματα, καθιστά επιτακτική την ανάγκη για αποτελεσματική πρόληψη και καταστολή των δασικών πυρκαγιών. Οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα πολύπλοκο φυσικό φαινόμενο το οποίο επηρεάζεται από τους παράγοντες τοπογραφία, καιρικές συνθήκες και καύσιμη ύλη. Παραδοσιακά, οι διαχειριστές δασικών πυρκαγιών χρησιμοποιούσαν σύνθετη συμπερασματική λογική για να κατανοήσουν τη συμπεριφορά της πυρκαγιάς και κατ'επέκταση η χωρική κατανομή του κινδύνου πυρκαγιάς προσεγγιζόταν πολύ χονδρικά. Έτσι, η αναγκαιότητα για σύγχρονες τεχνικές στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών, όσον αφορά στην αποτελεσματική απόκτηση, ανάλυση και έκθεση χωρικών πληροφοριών, σε λιγότερο χρόνο και με λιγότερο κόστος, έφερε στο προσκήνιο τη χρήση της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών.

Το πρόβλημα των πυρκαγιών στην Ελλάδα είναι πολύ σημαντικό. Σύμφωνα με επίσημα στοιχεία, τα τελευταία τριάντα χρόνια εκδηλώθηκαν πάνω από 25.000 πυρκαγιές και κάηκαν πάνω από 6.600.000 στρέμματα δασών, δασικών εκτάσεων και λιβαδιών.

Η Δασική και η Πυροσβεστική Υπηρεσία καταβάλλουν σημαντικές προσπάθειες και αναπτύσσουν ανάλογα προγράμματα για την ελαχιστοποίηση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών. Τέτοια όμως προγράμματα για να έχουν επιτυχία πρέπει να βασίζονται αφενός μεν στην πληρότητα και ακρίβεια συλλογής των αναγκαίων δεδομένων, αφετέρου δε στην ορθή υλοποίηση των απαραίτητων ενεργειών κατά τις τρεις κύριες φάσεις που χαρακτηρίζουν τη διαχείριση των πυρκαγιών, δηλαδή πριν από την έναρξη της πυρκαγιάς, κατά τη διάρκεια αυτής και μετά την κατάσβεση.

Όσον αφορά στην τρίτη φάση, σημειώνεται ότι μετά από κάθε πυρκαγιά η Δασική Υπηρεσία εφαρμόζει ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα διαδικασιών, που έχουν ως στόχο την προστασία και ανάπτυξη της καμένης έκτασης. Όπως παραδείγματος χάρη, κήρυξη της έκτασης ως αναδασωτέας, απαγόρευση βοσκής, εκτεταμένες, κατά περίπτωση, αναδασώσεις κ.λπ. Για να σχεδιαστούν όμως, οργανωθούν και υλοποιηθούν αποτελεσματικά τέτοια προγράμματα, απαιτείται μια πλήρης, και σε ετήσια βάση, γνώση τόσο της χωρικής κατανομής των καμένων εκτάσεων όσο και των λοιπών ποσοτικών και ποιοτικών χαρακτηριστικών των εκτάσεων αυτών. Τονίζεται ότι η αντιμετώπιση των αποτελεσμάτων και επιδράσεων των πυρκαγιών αναβαθμίζεται σημαντικά, όταν εκτός της ετήσιας απογραφής των καμένων εκτάσεων, η διαδικασία επεκταθεί και στα επόμενα έτη. Δηλαδή, αν αναπτυχθεί ένα σύστημα διαχρονικών πληροφοριών που θα αφορά τις καμένες εκτάσεις.

Η απογραφή των καμένων εκτάσεων σε εθνικό επίπεδο είναι μια διαδικα-

οία κοπιώδης, δαπανηρή και ίσως αδύνατη με βάση την υφιστάμενη κατάσταση, εξαιτίας της έλλειψης εξειδικευμένου προσωπικού και των απαραίτητων μέσων στη Δασική Υπηρεσία στην αρμοδιότητα της οποίας από το 1999 έχει περιέλθει η χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων.

Η ανάπτυξη των δορυφορικών συστημάτων, της τηλεπισκόπησης, των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, καθώς και των ηλεκτρονικών υπολογιστών, δίνουν τα τελευταία χρόνια, νέα ώθηση τόσο στην έρευνα όσο και στην εφαρμογή διαφόρων επιστημονικών θεμάτων και προβλημάτων που αφορούν και σχετίζονται με την προστασία και διαχείριση των φυσικών οικοσυστημάτων. Η συμβολή των νέων αυτών τεχνολογιών στην επίλυση του προβλήματος της αποτελεσματικής και με ακρίβεια συνολικής απογραφής και χαρτογράφησης όλων των καμένων εκτάσεων στο τέλος της αντιπυρικής περιόδου, είναι το κεντρικό θέμα της παρουσίασης αυτής.

Καταγραφή άμεσων επιπτώσεων μετά τις πυρκαγιές

Οι οικονομικές, κοινωνικές, οικολογικές, ατμοσφαιρικές και κλιματικές συνέπειες που συνδέονται άμεσα ή έμμεσα με την εκδήλωση των πυρκαγιών, δεν αναδεικνύουν μόνο το μέγεθος του προβλήματος, αλλά επιβάλλουν και την ανάπτυξη ενός αποτελεσματικού πληροφοριακού συστήματος το οποίο θα στηρίζεται σε προχωρημένες, αξιόπιστες και ταχύτατες διαδικασίες παρακολούθησης. Η καταγραφή των περιοχών που επλήγησαν από τις δασικές πυρκαγιές, αναφορικά με την ακριβή θέση των σημείων έναρξης και της χαρτογράφησης και υπολογισμού της καμένης έκτασης σε πρώτο στάδιο όπως επίσης και τα επίπεδα καταστροφής ανά δασικό είδος, αποτελούν τη βάση για την εκτίμηση των οικονομικών απωλειών, τον προσδιορισμό των οικολογικών διαταραχών, τη χαρτογράφηση των αλλαγών χρήσεων/κάλυψης γης και τέλος την εκτίμηση μακροπρόθεσμων συνεπειών (Karteris, 1995; Pereira et al., 1997; Κούτσιας, 2001).

Το πρώτο στάδιο που αφορά την απογραφή των καμένων επιφανειών, επιδρά επί της στρατηγικής της διαχείρισης των πυρκαγιών και έχει αναλυθεί σε πολλές επιστημονικές μελέτες τηλεπισκόπησης (Minick and Shain, 1981; Mychasiw, 1983; Tanaka et al., 1983; Lee and Liu, 1984; Milne, 1986; Chuvieco and Congalton, 1988; Jakubauskas et al., 1990; Camacho, 1994; Martin et al., 1994; Kritikos et al., 1994; Silva, 1996; Martin and Chuvieco, 1995; Koutsias and Karteris, 1998, 2000; Koutsias et al., 1999; Koutsias et al., 2000; Κούτσιας, 2001 κ.λπ.). Οι μελέτες αυτές διενεργήθηκαν με τη χρήση είτε υψηλής διακριτικής ικανότητας δορυφορικών δεδομένων όπως LANDSAT και SPOT, είτε χαμηλής διακριτικής ικανότητας όπως NOAA. Οι ερευνητές έχουν αναφέρει διάφορες δυσκολίες κατά τον εντοπισμό, διάκριση, αναγνώριση και χαρτογράφηση των κα-

μένων επιφανειών από τον περιβάλλοντα χώρο. Τέτοιες δυσκολίες σχετίζονται με τη σύγκριση μεταξύ καμένων επιφανειών και σκιών, ελαφρώς καμένης και υγιούς βλάστησης κ.λπ. (Chuvieco and Congalton 1988). Παρόλα αυτά τα προβλήματα, η ακρίβεια χαρτογράφησης γενικά έχει φτάσει το 90% (Κούτσιος, 2001).

Γενικά, τα δορυφορικά δεδομένα μπορεί να θεωρηθούν ως μια γρήγορη και αξιόπιστη διαχειριστική πηγή συλλογής γενικών στατιστικών που αφορούν τις καμένες επιφάνειες. Ωστόσο, το ποια δορυφορικά δεδομένα είναι τα πλέον κατάλληλα, εξαρτάται από την απαιτούμενη συχνότητα ή χρονικό διάστημα συλλογής δεδομένων, καθώς και από την κλίμακα του επιπέδου παρακολούθησης.

Ο NOAA (AVHRR) παρέχει ημερήσια δεδομένα σε περιφερειακή κλίμακα. Ωστόσο η χαμηλή διακριτική ικανότητα (1.1 km) των δεδομένων παρέχει ένα συγκεκριμένο βαθμό γενικότητας, η οποία περιορίζει τη χρησιμότητα αυτών, ειδικά στις περιπτώσεις πυρκαγιών μικρού μεγέθους ή όταν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια χαρτογράφησης.

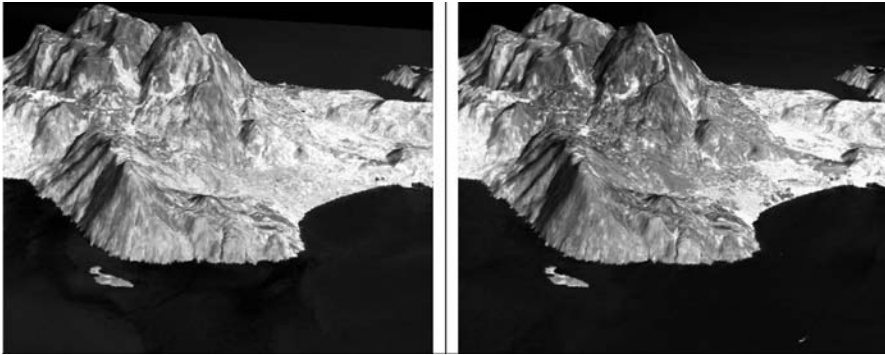
Αντίθετα, αν απαιτείται ο εντοπισμός, παρακολούθηση και λεπτομερής εκτίμηση και χαρτογράφηση των καμένων επιφανειών καθώς και άλλων στατιστικών σε μηνιαία βάση ή στο τέλος της αντιπυρικής περιόδου, τότε οι διαθέσιμοι υψηλής διακριτικής ικανότητας δορυφόροι παρέχουν ικανοποιητική διαχρονική κάλυψη και χωρική λεπτομέρεια. Συνδυασμός των δεδομένων αυτών με αντίστοιχα των δορυφόρων ή των συστημάτων radar, βελτιώνουν τη συνολική συνεισφορά της τηλεπισκόπησης στη διαχείριση των πυρκαγιών.

Οι εκτιμήσεις αυτές των καμένων επιφανειών μπορεί να βελτιωθούν, αν διαμέσου ενός γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών εισαχθούν και άλλα βοηθητικά δεδομένα. Πράγματι η εισαγωγή τοπογραφικών δεδομένων και η τρισδιάστατη απεικόνιση του ανάγλυφου των καμένων επιφανειών, έχει ως αποτέλεσμα τον υπολογισμό των πραγματικών (κεκλιμένων) επιφανειών και όχι των προβολών τους (Kritikos et al., 1994). Τέτοια προσέγγιση έχει σημαντικές πρακτικές επιδράσεις και οφέλη, όπως πιο ακριβείς στατιστικές των καμένων επιφανειών, καλύτερο σχεδιασμό των επιχειρήσεων απομάκρυνσης των καμένων κορμών, πιο βελτιωμένες οικονομικές εκτιμήσεις και επεξεργασίες για την τεχνητή αναδάσωση των καμένων επιφανειών, την πληρέστερη ανάπτυξη μέτρων φύλαξης κ.λπ.

Το βασικό στοιχείο σε όλη την ψηφιακή διαδικασία είναι η φασματική ταυτότητα των καμένων επιφανειών. Ερευνητικά αποτελέσματα (Tanaka et al., 1983; Chuvieco and Congalton, 1988; Lopez Garcia and Caselles, 1991; Karteris and Kritikos, 1992) έχουν δείξει ότι υπάρχει μια ιδιαίτερη φασματική συμπεριφορά των καμένων επιφανειών στο μη ορατό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Η χαρτογράφηση της καμένης έκτασης αλλά και της έντασης μιας φωτιάς με τη χρήση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης στηρίζεται κατά κύριο λόγο στην

απόθεση σε στάχτη μετά την καύση και στην τροποποίηση της δομής της βλάστησης, που παρουσιάζονται μετά την πυρκαγιά (Chuvieco and Congalton, 1988; Pereira and Setzer, 1993; Pereira, 1999), ενώ αντίθετα η σταδιακή αντικατάσταση της στάχτης από τη φασματική υπογραφή της υγιούς βλάστησης είναι η βάση για την παρακολούθηση της αναγέννησης και αποκατάστασης της βλάστησης (Viedma et al., 1997; Pereira et al., 1999).



Εικόνα 1. Πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες Landsat TM, πριν και μετά την μεγάλη πυρκαγιά της Σάμου, όπου φαίνεται η δυνατότητα τρισδιάστατης απεικόνισης του ανάγλυφου των καμένων εκτάσεων (Πηγή: Κούτσιας, 2001).

Η δεύτερη σημαντική περίπτωση, σχετίζεται με την εκτίμηση των επιπτώσεων της φωτιάς στη βλάστηση. Τα διαχρονικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών δεδομένων επιτρέπουν στους διαχειριστές πυρκαγιών τη βελτίωση των γνώσεών τους σχετικά με τις επιπτώσεις στη βλάστηση αμέσως μετά την πυρκαγιά. Αποτελέσματα ταξινόμησης δορυφορικών δεδομένων που λήφθηκαν πριν τη φωτιά, σε συνδυασμό με αυτά μετά τη φωτιά (περίμετρος της καμένης επιφάνειας) παρέχουν χωρικές και ποσοτικές πληροφορίες σχετικά με τις ζημιές ανά δασοπονικό τύπο, είδος κ.λπ. (Karteris and Kritikos, 1992; Camacho, 1994). Επιπλέον αυτών, πληροφορίες σχετικά με το βαθμό έντασης των ζημιών αποδίδουν καλύτερα την κατάσταση των επιπτώσεων των πυρκαγιών. Ωστόσο η ακρίβεια κατηγοριοποίησης μεσαίου και ελαφρού βαθμού έντασης επιπτώσεων είναι σχετικά μικρή και απαιτείται περαιτέρω έρευνα για βελτίωση των αποτελεσμάτων.

Πράγματι, ερωτήσεις όπως ποιες συστάδες ή τμήματα αυτών έχουν καεί; σε ποιο βαθμό και ποια ένταση; ποιες είναι οι απώλειες του ξυλώδους όγκου; κ.λπ., απαιτούν σωστά υποστηριζόμενες απαντήσεις με σκοπό:

α) να αναλυθούν οι βραχυπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες επιδράσεις επί

της δομής, σύνθεσης και ανάπτυξης των δασικών οικοσυστημάτων και εκτιμηθούν οι οικολογικές και περιβαλλοντικές επιπτώσεις και

β) να δοθούν οι αναγκαίες πληροφορίες στο διαχειριστή για την εφαρμογή των κατάλληλων διαχειριστικών μέτρων. Η τηλεπισκόπηση και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών παρέχουν τέτοιες πληροφορίες γρήγορα και με μεγάλη ακρίβεια.

Η λήψη υψηλής διακριτικής ικανότητας δορυφορικών δεδομένων, αμέσως μετά την πυρκαγιά, επιτρέπει τον εντοπισμό της υγιούς βλάστησης εντός της καμένης επιφάνειας. Τέτοιες πληροφορίες συνήθως δεν συλλέγονται με τις κλασικές επίγειες διαδικασίες, κυρίως εξαιτίας του τρόπου με τον οποίο γίνεται η καταγραφή. Έτσι τα δορυφορικά δεδομένα παρέχουν ένα πλήθος πληροφοριών τα οποία δεν είναι διαθέσιμα στους κλασικούς χάρτες των καμένων επιφανειών. Ο μόνος περιορισμός κατά την ανάλυση είναι ο προσδιορισμός της ελάχιστης χαρτογραφικής μονάδας. Αυτό επηρεάζει όχι μόνο το υπό συζήτηση θέμα, αλλά και όλες τις υπόλοιπες, μετά την πυρκαγιά, πληροφορίες, όπως αριθμός πυρκαγιών, συνολική έκταση καμένων επιφανειών κ.λπ. Γι' αυτό απαιτείται η λήψη απόφασης σε περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.

Ιδιαιτερότητες και ανάγκες που προκύπτουν από τη χαρτογράφηση σε επιχειρησιακό επίπεδο των καμένων εκτάσεων

Σύμφωνα με τον Κούτσια (2001) ένα από τα ιδιαίτερα και πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των οικοσυστημάτων και της δομής του Μεσογειακού τοπίου, είναι η ποικιλομορφία και ανομοιογένεια σε ότι αφορά τη χωρική κατανομή και διάταξη των βιοτικών, αβιοτικών, χλωριστικών και οικολογικών συνιστωσών. Δίνοντας μια μικρή περιγραφή, οι Forman and Gordon (1986) ανέφεραν ότι το Μεσογειακό τοπίο είναι μια «σύνθεση μικρών, μεγάλων, διακριτών και μη διακριτών τμημάτων (patches)». Αυτή η σύνθετη χωρική δομή του Μεσογειακού τοπίου δημιουργεί ένα πλήθος ερωτημάτων, τα οποία σχετίζονται με τη βέλτιστη κλίμακα μετρήσεων που πρέπει να γίνουν για τον ακριβή προσδιορισμό του υπό μελέτη φαινομένου στο γεωγραφικό χώρο.

Το κατακεραματισμένο Μεσογειακό τοπίο αποτελεί το αδύναμο σημείο της εφαρμοσμένης τηλεπισκόπησης, επειδή ο μεγάλος αριθμός των αλλαγών που παρατηρούνται στη σύνθεση του τοπίου καθώς και η πολυπλοκότητα και ανομοιογένειά του δημιουργούν δυσκολίες στην ερμηνεία και ψηφιακή επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων. Αυτός ο ιδιαίτερος τύπος προτύπου συγκρινόμενος με τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών δεδομένων επηρεάζει και διαμορφώνει την ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης, δηλαδή το μικρότερο διακριτό αντικείμενο που μπορεί να προσδιοριστεί και επεξεργαστεί (Goodchild

and Quattrochi, 1997). Σε περιπτώσεις όπου η χωρική διακριτική ικανότητα του δορυφορικού συστήματος είναι μικρή, τότε η ποιότητα και συνεπώς η δυναμική διαχωριστική ικανότητα της φασματικής πληροφορίας είναι περιορισμένη.

Όταν η γεωγραφική κλίμακα της περιοχής εφαρμογής είναι μεγάλη, όπως στην περίπτωση της εθνικής κλίμακας, τότε είναι φανερό ότι υπάρχει ένα περιορισμένο όριο, το οποίο η χωρική διακριτική ικανότητα των δορυφορικών δεδομένων δεν μπορεί να υπερβεί. Η ελάχιστη αυτή χωρική διακριτική ικανότητα επηρεάζεται από περιορισμούς για την αποθήκευση των δεδομένων, την επεξεργασία τους καθώς και το κόστος. Η ελάχιστη αυτή τιμή δεν μπορεί να προσδιοριστεί επακριβώς. Έχει όμως αποδειχθεί, ότι ακόμη και μικρές διαφορές στη χωρική διακριτική ικανότητα, επιφέρουν σημαντικές επιδράσεις στις εκτιμούμενες συνιστώσες του τοπίου (Gluck and Rempel, 1995).

Στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες, η επιχειρησιακή καταγραφή των δασικών πυρκαγιών καθώς επίσης και των συνεπειών τους, διεξάγονται με μεθόδους, οι οποίες κατά βάση χρησιμοποιούν μετρήσεις μεγάλης ακρίβειας, δεν παρέχονται όμως λεπτομερειακές περιγραφές των χαρακτηριστικών των πυρκαγιών στο γεωγραφικό χώρο, εξαιτίας των υψηλών απαιτήσεων σε χρόνο και κόστος. Ως αποτέλεσμα, στατιστικές βάσεις δεδομένων καλύπτουν μόνο κάποια γενικά χαρακτηριστικά των πυρκαγιών σε μικρή χωρική διακριτική ικανότητα, τα οποία δεν επιτρέπουν την λεπτομερειακή αξιολόγηση των βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων συνεπειών τους (Martin et al., 1994; Chuvieco, 1995). Από την προοπτική του διαχειριστή, η έλλειψη αυτών των λεπτομερειακών περιγραφών αποτελεί ένα βασικό μειονέκτημα, το οποίο επιδρά σημαντικά στα διαχειριστικά πλάνα που αφορούν ενέργειες προστασίας και ανάκτησης των περιοχών αυτών. Η εκτίμηση της αναγέννησης της βλάστησης, της περαιτέρω υποβάθμισης εξαιτίας της διάβρωσης του εδάφους, των βραχυπρόθεσμων ή μακροπρόθεσμων συνεπειών στη δυναμική της χλωρίδας και πανίδας και των επιπτώσεων στο τοπικό βιοκλίμα είναι μόνο μερικά παραδείγματα τα οποία αναδεικνύουν τη σημασία και τον ρόλο αυτών των λεπτομερειακών στατιστικών περιγραφών (Isaacson et al., 1982; Martin et al., 1994; Chuvieco, 1995; Karteris, 1995; Pereira et al., 1997). Μερικά από αυτά τα προβλήματα και τους περιορισμούς ανακάμπουν μερικώς με τη χρήση της δορυφορικής τεχνολογίας και ιδιαίτερα όταν χρησιμοποιούνται δεδομένα υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας όπως αυτά του Θεματικού Χαρτογράφου του LANDSAT-5.

Επιπρόσθετα, ένα σημαντικό στοιχείο, το οποίο επιβάλλει τη χρησιμοποίηση τέτοιων δεδομένων, σχετίζεται με κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των περισσότερων Ευρωπαϊκών-Μεσογειακών χωρών:

- Η δομή των δασών και δασικών εκτάσεων,
- Τα χαρακτηριστικά των πυρκαγιών,

- Η κλίμακα μετρήσεων

Αναφορικά με το πρώτο γνώρισμα, η σύνθετη και κατακερματισμένη δομή των Μεσογειακών φυσικών οικοσυστημάτων δεν επιτρέπει την πλήρη κατανόηση και περιγραφή τους με μεγάλης κλίμακας μετρήσεις. Αντίθετα, υψηλότερη διακριτική ικανότητα είναι περισσότερο κατάλληλη. Όμως, ένα σημείο που πρέπει να τονιστεί είναι, ότι υπάρχει μια ελάχιστη τιμή της διακριτικής ανάλυσης, η οποία δεν μπορεί να υπερβεί γιατί πρώτον, δεν θα επιτραπεί η επιχειρησιακή εφαρμογή του και δεύτερον, πολύ λεπτές διακριτικές αναλύσεις δεν επιτρέπουν την μελέτη φαινομένων, τα οποία μπορεί να συμβαίνουν σε μεγαλύτερες επιχειρησιακές κλίμακες. Ο Chuviesco (1995), με σκοπό να εξηγήσει γιατί απαιτείται πιο λεπτομερειακή χαρτογράφηση και περιγραφή των καμένων εκτάσεων, επισήμανε δυο λόγους, οι οποίοι συνδέονται με τη δομή των Μεσογειακών τοπίων. Ο πρώτος λόγος αναφέρεται στη χωρική συνύπαρξη της δασικής και γεωργικής γης, η οποία κάνει την εκτίμηση των καμένων εκτάσεων δύσκολη και ο δεύτερος αναφέρεται στη σύνθετη δομή και πολύπλοκη σύνθεση του Μεσογειακού τοπίου.

Αναφορικά με το δεύτερο γνώρισμα, οι δασικές πυρκαγιές στη Μεσογειακή Λεκάνη παίζουν έναν ιδιαίτερο ρόλο, ως ένα φυσικό φαινόμενο το οποίο σχετίζεται με την ύπαρξη συγκεκριμένων τύπων βλάστησης όπως π.χ. πυρόφιλα οικοσυστήματα (Chandler et al., 1983), αλλά και ως ένα διαχειριστικό εργαλείο, το οποίο χρησιμοποιείται στη γεωργία και κτηνοτροφία για μετατροπή της δασικής γης σε άλλες χρήσεις γης (Pereira et al., 1997). Όμως ανεξάρτητα της αιτίας και του σκοπού, η πλειονότητα των δασικών πυρκαγιών σχετίζεται άμεσα ή έμμεσα με ανθρωπίνες δραστηριότητες και ενέργειες, ενώ φυσικοί λόγοι όπως είναι οι κερανοί αποτελούν ένα ελάχιστο ποσοστό. Αυτός ο ιδιαίτερος χαρακτήρας των Μεσογειακών δασικών πυρκαγιών, ιδιαίτερα όταν αυτές χρησιμοποιούνται ως ένα διαχειριστικό εργαλείο για τη μακροπρόθεσμη ή βραχυπρόθεσμη μετατροπή του τοπίου, απαιτεί τη λεπτομερειακή χαρτογράφηση και περιγραφή των καμένων εκτάσεων, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η καλύτερη κατανόηση του προβλήματος και επίσης να βελτιωθούν οι ενέργειες πρόληψης και προστασίας.

Τέλος, αναφορικά με το τρίτο χαρακτηριστικό πρέπει να τονιστεί ότι το εύρος της κλίμακας μέτρησης μέσα στην οποία συμβαίνει κάποιο φαινόμενο, προσδιορίζει τα αντίστοιχα μέσα με τα οποία εξετάζεται το φαινόμενο. Δίνοντας ένα παράδειγμα, στη Μεσογειακή Λεκάνη όπου οι δασικές πυρκαγιές είναι σχετικά μικρές, τα εργαλεία καταγραφής αυτών δεν μπορεί να είναι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη μεγάλων πυρκαγιών, όπως οι πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν στο Yellowstone Park το 1988 και έκαψαν συνολικά 3300 km². Η περιοχή αυτή η οποία ισούται με το 2,5% της Ελληνικής επικράτειας αντι-

στοιχεί με το 12,3% της συνολικής δασικής έκτασης. Συγκριτικά, η συνολική καμένη έκταση στην Ελλάδα το 1988, μια από τις πιο καταστροφικές χρονιές των τελευταίων ετών, ήταν περίπου 1100 km².

Πλεονεκτήματα που θα προκύψουν από την εφαρμογή 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 στη χώρα μας σε συνδυασμό με τη δημιουργία μιας χωρικά προσανατολισμένης βάσης δεδομένων, θα 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:

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

συστημάτων της χώρας, με τη βοήθεια της νέας βασικής υποδομής δεδομένων και πληροφοριών.

- Η ένταξη όλων των δεδομένων και πληροφοριών στο υπό ανάπτυξη δίκτυο ηλεκτρονικών υπολογιστών της Δασικής Υπηρεσίας.
- Η 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.
- Η δυνατότητα ελέγχου και συντονισμού από την αρμόδια κεντρική υπηρεσία των αντίστοιχων πληροφοριών που υποβάλλονται από τις περιφερειακές διοικήσεις.
- Η 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.λπ.
- Η ενημέρωση πάνω σε νέες τεχνικές συλλογής, επεξεργασίας, ανάλυσης και παρουσίασης δεδομένων, οι οποίες βασίζονται στη χρήση της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών υπολογιστών.
- Η απόκτηση εμπειριών σχετικά με τη χρήση και ανάλυση δορυφορικών δεδομένων και τη δημιουργία ψηφιακής τράπεζας πληροφοριών των καμένων εκτάσεων.
- Το χαμηλό κόστος συλλογής, ανάλυσης και αποτελεσματικής ενημέρωσης των δεδομένων και πληροφοριών που αφορούν τις καμένες εκτάσεις καθώς και άλλες δασικές παραμέτρους.
- Η 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.
- Η 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)
- Η δυνατότητα άμεσης παρακολούθησης της εξέλιξης και των αλλαγών χρή-

σεων γης που πιθανόν να πραγματοποιηθούν μετά από πυρκαγιά (καταπατήσεις, αναδασωτικές εργασίες, διαβρωτικά φαινόμενα κ.λπ.).

Όπως γίνεται λοιπόν αντιληπτό από τα παραπάνω, η προτεινόμενη χρήση δορυφορικών δεδομένων αποτελεί μια εντελώς πρωτοπόρα για τα ελληνικά δεδομένα επιχειρησιακή πρόταση, η οποία εμπεριέχει πολλαπλά, όπως αναφέρθηκε, οφέλη. Τα αποτελέσματα και προϊόντα του έργου αυτού θα 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 κήκκαν, οι τυχόν καταπατήσεις, η εξέλιξη των αναδασώσεων, ο ρυθμός επανόδου της βλάστησης, η εκτίμηση των διαβρώσεων, κ.λπ.

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 ουσιαδές 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.

Επιχειρησιακή εφαρμογή της δορυφορικής τηλεπισκόπησης για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων στην Ελλάδα

Στο εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεπισκόπησης, έχει αναπτυχθεί (Κούτσιας, 2001) μια πρότυπη μεθοδολογική προσέγγιση και έχει εφαρμοστεί σε μερικές από τις σημαντικότερες πυρκαγιές των τελευταίων ετών, η οποία αποβλέπει στην επιχειρησιακή χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων στον ελληνικό χώρο με όλες τις ιδιομορφίες που αυτός παρουσιάζει και έχουν αναφερθεί. Οι άξονες πάνω στους οποίους στηρίχθηκε το όλο εγχείρημα και οι οποίοι θα πρέπει να διέπουν κάθε επιχειρησιακό σύστημα χαρτογράφησης καμένων εκτάσεων είναι:

1. *Μεγιστοποίηση της ακρίβειας χαρτογράφησης.* Ανάλογα της μεθοδολογικής προσέγγισης διαμορφώνεται και επηρεάζεται η ακρίβεια των αποτελεσμάτων χαρτογράφησης.

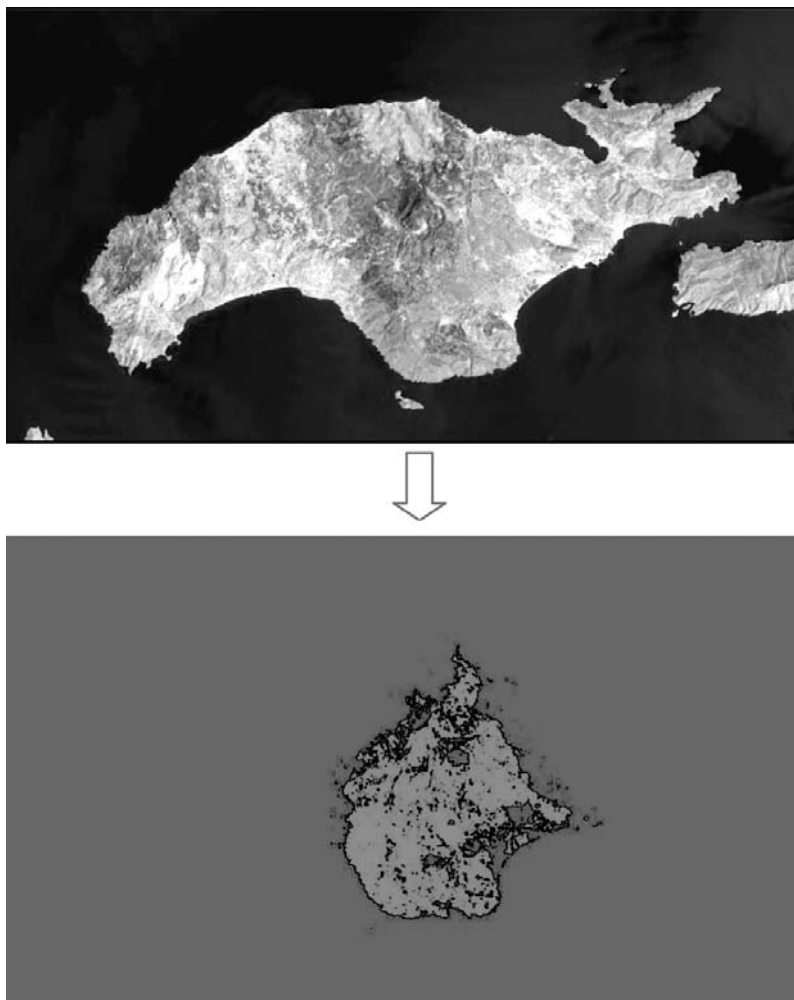
- II. *Αύξηση της αντικειμενικότητας.* Ανάπτυξη μεθόδων κατά τις οποίες θα ελαχιστοποιείται η παρέμβαση του προσωπικού αποκτά ιδιαίτερη σημασία.
- III. *Ελαχιστοποίηση χρονικών απαιτήσεων.* Η ελαχιστοποίηση των χρονικών απαιτήσεων αποκτά ιδιαίτερη σημασία στο επίπεδο της επιχειρησιακής διάστασης.
- IV. *Ανάπτυξη ημιαυτόματων διαδικασιών.* Η ανάπτυξη μεθόδων, οι οποίες από τη μια θα μεγιστοποιούν την ακρίβεια χαρτογράφησης και από την άλλη θα υλοποιούνται μέσω αυτόματων διαδικασιών, σχετίζεται με θέματα επιχειρησιακού προσανατολισμού, αντικειμενικότητας, κόστους, χρονικών απαιτήσεων.
- V. *Επιχειρησιακή διάσταση.* Η επιχειρησιακή διάσταση που θα πρέπει να διακρίνει ένα ολοκληρωμένο και σύγχρονο σύστημα χαρτογράφησης των καμένων εκτάσεων σε εθνικό επίπεδο, ιδιαίτερα σε μεγάλη γεωγραφική κλίμακα, διαμορφώνεται από πολλούς παράγοντες μεταξύ των οποίων η ακρίβεια, το κόστος και οι χρονικές απαιτήσεις είναι από τους πιο σημαντικούς.

Για την κάλυψη των παραπάνω αναγκών καθώς και αυτών που προκύπτουν από τις ιδιομορφίες του ελληνικού χώρου προτείνεται η χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων LANDSAT. Μεταξύ των πλεονεκτημάτων χρησιμοποίησης τέτοιων δορυφορικών δεδομένων μεγάλης χωρικής διακριτικής ικανότητας συμπεριλαμβάνονται τα εξής (Κούτσιος κ.ά., 1999):

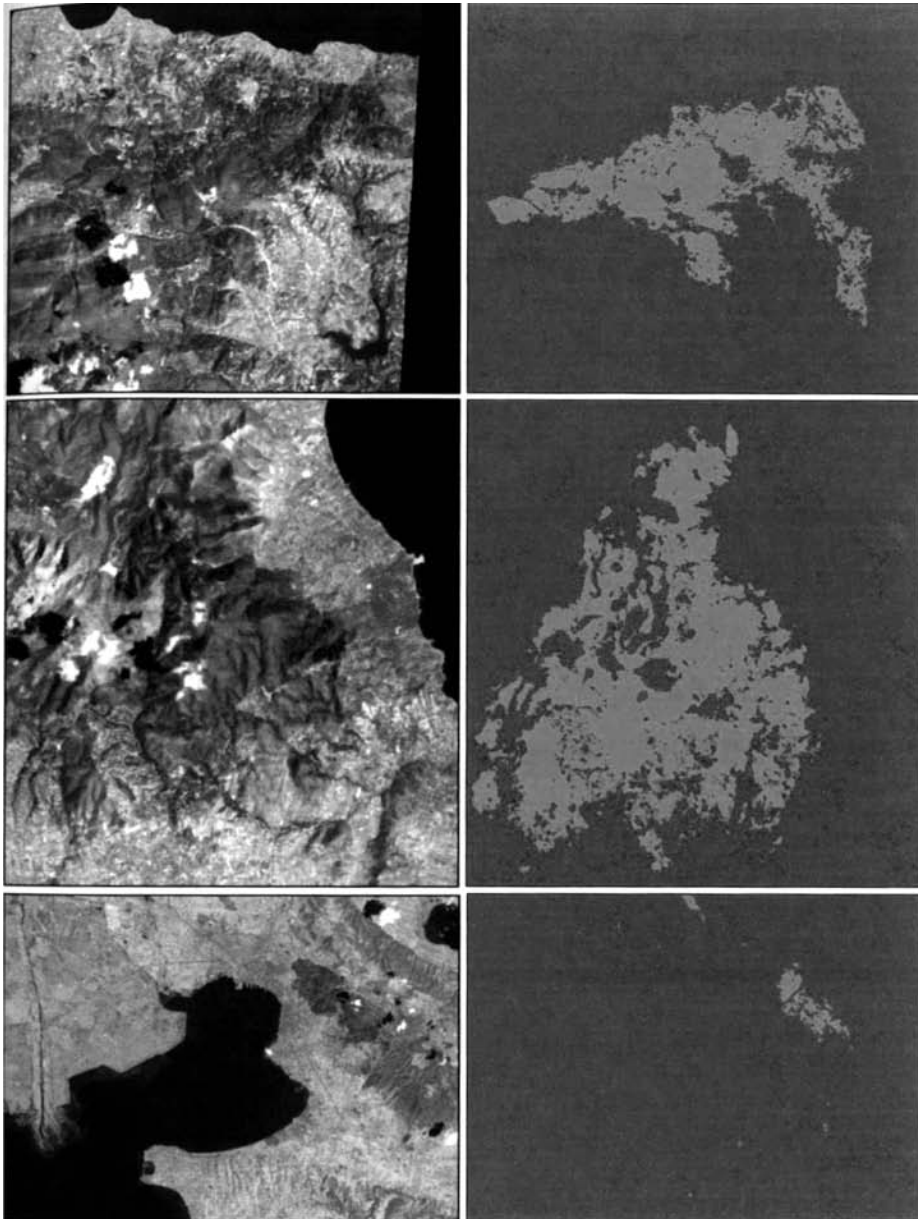
- Δυνατότητα χαρτογράφησης τόσο της περιμέτρου όσο και της καμένης έκτασης. Σχετίζεται με την ανάπτυξη μιας ακριβούς και λεπτομερειακής βάσης δεδομένων των πυρκαγιών,
- Δυνατότητα χαρτογράφησης μη καμένων περιοχών που βρίσκονται μέσα στην περίμετρο της πυρκαγιάς. Σχετίζεται με την τροποποίηση του τοπίου μετά την πυρκαγιά αναφορικά με τη χωρική δομή και διάταξη του,
- Δυνατότητα χαρτογράφησης της έντασης της πυρκαγιάς και των επιπέδων καταστροφής. Σχετίζεται με την εκτίμηση μακροπρόθεσμων συνεπειών των πυρκαγιών στο τοπίο όπως φυσική αναγέννηση, περαιτέρω υποβάθμιση λόγω διάβρωσης κ.λπ.,
- Δυνατότητα χαρτογράφησης των δασικών ειδών που έχουν καεί. Σχετίζεται με την εκτίμηση οικολογικών συνεπειών μετά την πυρκαγιά, διαδοχή της βλάστησης και επανόρθωσης των καμένων εκτάσεων κ.λπ. Οι μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν περιγράφονται αναλυτικά από τον Κούτσια (2001), και σε όλες τις περιπτώσεις η ακρίβεια της ταξινόμησης ξεπέρασε το 85% και ο συντελεστής Kappa το 0,75, τη στιγμή που σύμφωνα με τους Montserud και Leamans (1992), τιμές του Kappa 0,75 ή μεγαλύτερες, δείχνουν «πολύ καλή μέχρι εξαιρετη απόδοση» γεγονός επιβεβαιωτικό της επιτυχούς χαρτογράφησης και της δυνατότητας για επιχειρησιακή εφαρμογή της.

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζεται μια δορυφορική εικόνα του ETM του

LANDSAT-7, η οποία καλύπτει μια από τις περιοχές εφαρμογής, τη νήσο Σάμο μετά τη πυρκαγιά του 2000. Η εικόνα αυτή ταξινομήθηκε με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης (Κούτσιας και Καρτέρης, 1998), με ακρίβεια 88,7%, με συνέπεια οι καμένες περιοχές (κόκκινο χρώμα) να χαρτογραφηθούν με μεγάλη επιτυχία.

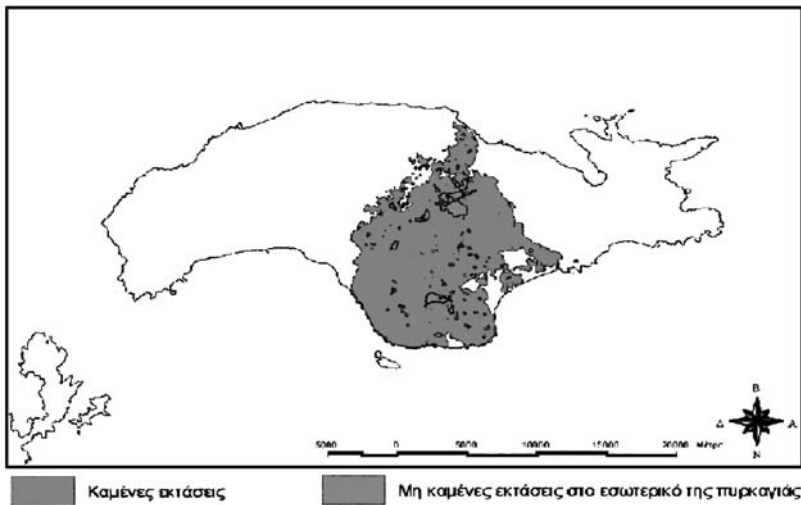


Εικόνα 2. Δορυφορική εικόνα LANDSAT 7-ETM, της Σάμου. Διακρίνονται με αποχρώσεις του ροζ οι καμένες εκτάσεις, ενώ ακριβώς από κάτω με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι καμένες εκτάσεις όπως αυτές χαρτογραφήθηκαν με τη μέθοδο της λογιστικής παλινδρόμησης (Πηγή: Κούτσιας, 2001).



Εικόνα 3. Δορυφορικές εικόνες LANDSAT-5 της Μαλακάσας (πάνω εικόνα), της Πεντέλης (μεσαία εικόνα) και του Σείχ-Σου (κάτω εικόνα). Στη δεξιά στήλη με κόκκινο χρώμα απεικονίζεται η χαρτογραφηθείσα καμένη έκταση κάθε περιοχής. (Πηγή: Κούτσιας, 2001).

Στην Εικόνα 3 επίσης, απεικονίζονται άλλες τρεις διαφορετικές περιοχές στις οποίες εκδηλώθηκαν πυρκαγιές την προηγούμενη δεκαετία, και συγκεκριμένα στη Μαλακάσα (1992), στη Πεντέλη (1995) και στο Σείχ-Σου (1997). Και για τις τρεις αυτές περιοχές χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα LANDSAT-5 για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων με τη μέθοδο των λογικών κανόνων (Κούτσιας, 2001). Όπως διακρίνεται στην εικόνα, και στις τρεις αυτές περιπτώσεις, οι καμένες εκτάσεις απομονώθηκαν επακριβώς.



Εικόνα 4. Απεικόνιση των καμένων εκτάσεων καθώς και των μη καμένων εντός αυτών, με μορφή διανύσματος (Πηγή: Κούτσιας, 2001).

Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε για τη πλήρη αξιοποίηση της χαρτογράφησης των καμένων εκτάσεων σε επιχειρησιακό επίπεδο ουσιώδες είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών. 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. Έτσι μετά την τελική αξιολόγηση των θεματικών αποτελεσμάτων της ταξινόμησης των καμένων εκτάσεων, αυτές θα μετατρέπονται σε διανυσματική μορφή, έτσι ώστε να εισαχθούν στο Γ.Σ.Π. και όπου θα είναι δυνατή η εισαγωγή και συνδυασμός άλλων πληροφοριών, όπως κλιματολογικά στοιχεία, πληροφορίες για την κατάσταση της βλάστησης κ.λπ. ενώ θα

είναι ευκολότερη και η επικοινωνία με άλλες βάσεις δεδομένων και η αυτόματη ενημέρωσή τους (NATURA, CORINE).

Στην Εικόνα 4 παρουσιάζεται η χαρτογραφημένη καμένη έκταση σε μορφή διανύσματος, ενώ ιδιαίτερα σημαντική είναι η απομόνωση και ο διαχωρισμός των μη καμένων περιοχών, συμβάλλοντας έτσι στη ρεαλιστικότερη εκτίμηση του μεγέθους της καμένης έκτασης.

Παραδείγματα επιχειρησιακής εφαρμογής δορυφορικών δεδομένων για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων (Case-studies).

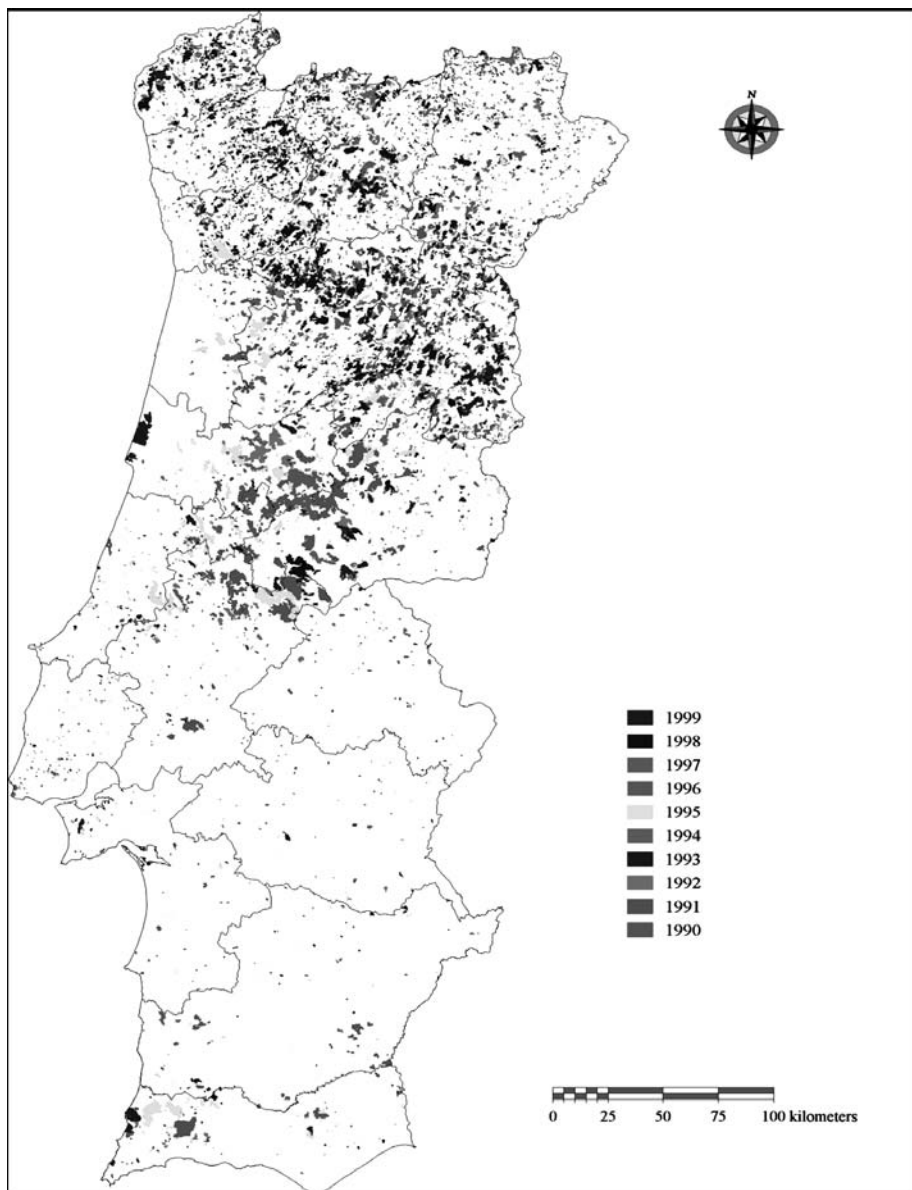
Σε πολλές χώρες τα δορυφορικά δεδομένα χρησιμοποιούνται ήδη επιχειρησιακά στην ολοκληρωμένη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών. Το θετικό είναι ότι η εφαρμογή αυτών των νέων τεχνολογιών δεν περιορίζεται σε χώρες τεχνολογικά και οικονομικά προηγμένες, αλλά επεκτείνεται και σε κράτη της Αφρικής και της Ασίας όπου η διάθεση πόρων για την εισαγωγή τέτοιων καινοτομιών είναι περιορισμένη.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τρεις διαφορετικές περιπτώσεις χαρτογράφησης σε επιχειρησιακό επίπεδο των καμένων εκτάσεων, αλλά και σε μια εξ αυτών του βαθμού και της έντασης της πυρκαγιάς και των επιπέδων καταστροφής. Κάθε μια από τις περιπτώσεις παρουσιάζει ορισμένες ιδιαιτερότητες κυρίως ως προς το είδος δορυφορικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται; ωστόσο σε κάθε περίπτωση ο αρχικός στόχος της ακριβούς χαρτογράφησης επιτυγχάνεται πλήρως.

Πορτογαλία

Η Πορτογαλία αποτελεί μια από τις χαρακτηριστικότερες περιπτώσεις όπου πραγματοποιείται σε επιχειρησιακό επίπεδο και σε ετήσια βάση, για το σύνολο της χώρας χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων, και μάλιστα χρησιμοποιώντας δεδομένα πολύ υψηλής ευκρίνειας. Η δραστηριότητα αυτή ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1990, από τη πορτογαλική δασική υπηρεσία (Direcção Geral das Florestas), ενώ η επιτυχία του όλου εγχειρήματος αποδεικνύεται από τη μέχρι σήμερα συνεχή του.

Η περίπτωση της Πορτογαλίας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον καθώς υπάρχουν πολλές ομοιότητες με τη χώρα μας τόσο στο μέγεθος και την έκταση του προβλήματος των καμένων εκτάσεων όσο και με τις συνθήκες (φυσιογεωγραφία, κλίμα, ανθρωπογενείς επιδράσεις) που επηρεάζουν το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών.



Εικόνα 5. Καμένες εκτάσεις, στη Πορτογαλία κατά τη διάρκεια των ετών 1990-1999, χαρτογραφημένες με δεδομένα του θεματικού χαρτογράφου του LANDSAT. Η καμένη έκταση αντιστοιχεί σε 1.1 εκατομμύρια ha, ή 12,5% της συνολικής έκτασης της χώρας. Πηγή: Department of Forestry, Instituto Superior de Agronomia, Technical University of Lisbon.

Οι καμένες εκτάσεις χαρτογραφούνται με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων του θεματικού χαρτογράφου (TM) του LANDSAT, χωρικής διακριτικής ικανότητας 30 μέτρων ενώ ο τελικός χάρτης των καμένων εκτάσεων παράγεται σε κλίμακα 1:100.000 (Εικόνα 5). Όσον αφορά στην ελάχιστη έκταση καμένης έκτασης που χαρτογραφείται, παρατηρείται μια ποιοτική βελτίωση διαχρονικά, καθώς από τα 25 εκτάρια η οποία ήταν η ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης κατά τη διάρκεια των δύο πρώτων χρόνων επιχειρησιακής λειτουργίας, από το 1995 έως σήμερα και δεδομένης της επιτυχίας του συστήματος έχει κατέλθει στα 5 εκτάρια. Ωστόσο ο ρόλος του ανθρώπινου παράγοντα παραμένει σημαντικός, καθώς τα αποτελέσματα ελέγχονται οπτικά από ειδικευμένους επιστήμονες, ενώ σε περιπτώσεις όπου η υπολογισθείς με μεθόδους τηλεπισκόπησης καμένη έκταση διαφέρει σημαντικά από τις μετρήσεις πεδίου της Δασικής Υπηρεσίας, γίνεται επιτόπιος περαιτέρω έλεγχος.

Καναδάς

Ο Καναδάς είναι επίσης μια χώρα, η οποία αποτελεί επιτυχημένο παράδειγμα χρησιμοποίησης σε επιχειρησιακό επίπεδο της δορυφορικής τηλεπισκόπησης για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων και της δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων με στατιστικά στοιχεία, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν από διεθνείς οργανισμούς, επιστημονικές επιτροπές σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο, καθώς και για τη διαχείριση και προστασία των φυσικών πόρων σύμφωνα με τις αρχές τις αειφορίας και των διεθνών συνθηκών (πρωτόκολλο του Κυότο).

Η χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων είναι μέρος ενός ευρύτερου έργου Παρακολούθησης, Χαρτογράφησης και Μοντελοποίησης (Fire M3). Ο τομέας που αφορά τη χαρτογράφηση στηρίζεται σε πρώτη φάση στη χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων NOAA-AVHRR διακριτικής ικανότητας ενός χιλιομέτρου, ενώ η ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης έχει καθοριστεί στα 200 εκτάρια. Σε δεύτερη φάση η χρησιμοποίηση δορυφορικών δεδομένων υψηλότερης ευκρίνειας (LANDSAT, SPOT), θα επιτρέψει την ανάπτυξη των συντελεστών εκείνων οι οποίοι στηρίζονται σε κριτήρια χωρικής συσχέτισης και με τοπικής κλίμακας εφαρμοσιμότητα, θα συμβάλλουν στην κατά το δυνατόν ακριβέστερη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων. Τα μέχρι τώρα αποτελέσματα καταδεικνύουν πως η εφαρμογή του συγκεκριμένου συστήματος είναι οικονομικοτεχνικά συμφέρουσα.

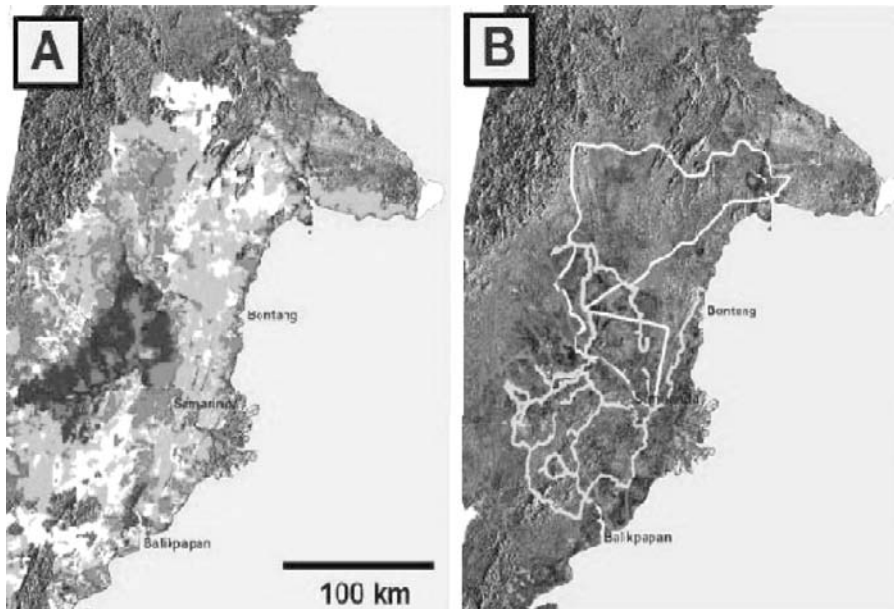
Ινδονησία

Το ολοκληρωμένο πρόγραμμα διαχείρισης δασικών πυρκαγιών (Integrated Forest Fire Management Project, IFFM/GTZ), έχει προκύψει από τη συνεργα-

σία μεταξύ των αρμόδιων φορέων των κυβερνήσεων της Ινδονησίας και της Γερμανίας. Το πρόγραμμα αυτό χρησιμοποιεί την δορυφορική τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, για την επιτυχημένη διαχείριση και αντιμετώπιση του προβλήματος των πυρκαγιών.

Στηρίζεται στη χρησιμοποίηση διαφόρων τύπων δορυφορικών δεδομένων ανάλογα με την εργασία για την οποία προορίζονται. Για τον εντοπισμό εστιών πυρκαγιάς καθώς και για την παραγωγή χαρτών ξηρασίας και επικινδυνότητας χρησιμοποιούνται δορυφορικές εικόνες NOAA-AVHRR, ενώ αντίθετα για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων και τη δόμηση μιας βάσης δεδομένων με τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης, χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα κυρίως ERS-2 SAR αλλά και LANDSAT TM (Εικόνα 6).

Και σε αυτό το πρόγραμμα τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι ότι, αν και η δυνατότητα ακριβούς εκτίμησης του ποσοστού καταστροφής της βλάστησης με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων είναι κάπως περιορισμένη, η χαρτογράφηση και η οριοθέτηση της περιμέτρου των καμένων εκτάσεων είναι απολύτως επιτυχημένη και επιχειρησιακά εφαρμόσιμη (Ruecker and Siegert, 2000).



Εικόνα 6. Χάρτης εκτίμησης του ποσοστού καταστροφής της προϋπάρχουσας βλάστησης, στην Ινδονησία (A) και (B) χαρτογράφηση των ορίων των καμένων εκτάσεων κατόπιν μετρήσεων πεδίου. Και στις δύο εικόνες χρησιμοποιείται το ίδιο υπόβαθρο (ERS 2 SAR). Πηγή: Ruecker and Siegert, 2000.

Συμπεράσματα

Τα πολυάριθμα και επιτυχημένα παραδείγματα της εφαρμογής της δορυφορικής τηλεπισκόπησης στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών και μάλιστα στην μετά την καταστολή φάση, η οποία ξεκινάει με την οριοθέτηση και τη χαρτογράφηση της καμένης έκτασης, καταδεικνύουν την ανάγκη για παρόμοια δράση και στην Ελλάδα.

Για την ανάπτυξη τέτοιων επιχειρησιακών συστημάτων χαρτογράφησης και στη συνέχεια, διαχείρισης των δασικών πυρκαγιών, δύο εναλλακτικά μοντέλα υπάρχουν βάση της διεθνούς εμπειρίας. Η πρώτη προσέγγιση στηρίζεται στη λογική της ενσωμάτωσης εντός της λειτουργικής δομής του τελικού χρήστη, ο οποίος είναι και ο άμεσα υπεύθυνος και ενδιαφερόμενος για την αντιμετώπιση του προβλήματος (η Δασική Υπηρεσία κυρίως), όλης της απαραίτητης τεχνολογίας και τεχνογνωσίας για την οργάνωση και λειτουργία του συστήματος. Το μοντέλο αυτό ακολουθείται από τις Ηνωμένες Πολιτείες και τον Καναδά και σίγουρα απαιτεί σημαντικούς οικονομικούς πόρους για τη δημιουργία της απαραίτητης υλικοτεχνικής υποδομής, προσδίδοντας ωστόσο μια κάποια αυτονομία στο φορέα.

Η δεύτερη προσέγγιση, η οποία εφαρμόστηκε με μεγάλη επιτυχία στην Πορτογαλία και στην Ισπανία, στηρίζεται στην ενσωμάτωση εντός της δομής του ενδιαφερόμενου φορέα των τελικών αποτελεσμάτων μετά την επεξεργασία και ανάλυση των δορυφορικών εικόνων, που έχουν πραγματοποιηθεί από τα ερευνητικά ιδρύματα. Μια πιθανή εφαρμογή αυτού του μοντέλου για τη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων στην Ελληνική επικράτεια, εκτός από άμεσα υλοποιήσιμη, όπως επισημάνθηκε σε προηγούμενη ενότητα, είναι προφανώς και οικονομικά συμφέρουσα, καθώς η δημιουργία εντός της Δασικής Υπηρεσίας ενός τέτοιου συστήματος θα απαιτούσε εκτός από σημαντικό χρονικό διάστημα για το σχεδιασμό και υλοποίηση του, την πρόσληψη ειδικευμένου προσωπικού και την προμήθεια αξιόλογης υλικοτεχνικής υποδομής.

Ίσως λοιπόν η δημιουργία ενός φορέα ο οποίος θα συντονίζει και θα εποπτεύει τη συνεργασία της Δασικής αλλά και της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας με το πανεπιστήμιο και τους ειδικούς ερευνητές, να είναι η πιο ενδεδειγμένη και άμεσα υλοποιήσιμη λύση, η οποία θα συμβάλλει στη βέλτιστη διαχείριση του προβλήματος των πυρκαγιών και την προστασία των φυσικών πόρων στη χώρα μας.

Βιβλιογραφία

- Caetano M.S., L.A.K. Mertes and J.M.C. Pereira (1994): «Using spectral mixture analysis for fire severity mapping». In: D.X.Viegas (ed). *Proceedings of the 2nd International Conference on Forest Fire Research*, Vol. II, pp. 667-677.
- Camacho Olmedo M.T. (1994): «Use of remote sensing in the visible spectrum for the study of burnt areas: The example of the Madres massif (Eastern Pyrenees, France)». In: P. Kennedy and M. Karteris (eds). *Proceedings of International Workshop «Satellite Technology and GIS for Mediterranean Forest Mapping and Fire Management»*, Aristotelian University, Thessaloniki, Greece, pp. 85-95.
- Chandler C.P. Cheney, P. Thomas, L. Trabaud and Williams D. (1983): «Fire in Forestry». Volume I. *Forest Fire Behavior and Effects*. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, 449 p.
- Chuvieco E. (1995): «Mapping landscape change in fire-altered areas from remote sensing considering temporal and spatial resolution». In: Ben, D. and Hubert, G. (eds). *Remote sensing in landscape ecological mapping*. Joint Research Center, Institute for remote sensing applications, EUR 16265 EN, pp 101-111.
- Chuvieco E., Martin M.P. and Dominguez L. (1993): «Using AVHRR-NOAA images for forest fire detection and mapping in Mediterranean countries», Pecora 12 Symposium, Sioux Falls, pp. 433-440.
- Chuvieco E. and Congalton R.G. (1988): «Mapping and Inventory of Forest Fires from Digital Processing of TM Data». *Geocarto International* 4(1): 41-53.
- Chuvieco E. and Martin M.P. (1994): «Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images». *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(5):563-570.
- Forman RTT and Gordon M. (1986): «*Landscape Ecology*». John Wiley & Sons, New York.
- Goodchild M.F. and Quattrochi P.A. (1997): «Introduction: Scale, multiscaling, Remote sensing and GIS». In: Quattrochi, P.A. and Goodchild M.F. (eds). *Scale in remote sensing and GIS*. CRC Lewis publishers, Boca Raton, FL, pp 1-11.
- Isaacson D.L., Smith H.G. and Alexander C.J. (1982): «Erosion hazard reduction in a wildfire damaged area». In: Johannsen S. (ed). *Remote sensing for resource management*. Soil Conservation Society of America, Ankeny, pp 179-190.
- Jakubauskas M.E., Lulla K.P. and Mausel P.W. (1990): «Assessment of Vegetation Change in a Fire-Altered Forest Landscape». *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56(3): 371-377.
- Karteris M. (1995): «Burned land mapping and post-fire effects». In: Chuvieco, E. (ed). *Remote Sensing and GIS applications to forest fire management*. Universidad de Alcala de Henares, Spain, pp. 35-44.
- Karteris M.A. and Kritikos G. (1992): «Assessment of forest fire damages in Holy Mount Athos». In: Folving/Ertner/Svendson (eds). *Proceedings of Workshop «Remote Sensing for Forestry Applications»*. Danish Society of Remote Sensing, Copenhagen, JRC, Institute for Remote Sensing Applications, ISPRA, Italy, pp. 197-210.
- Koutsias N., Karteris M., Fernadez-Palacios A., Navarro C., Jurado J., Navarro R., Lobo

- A. (1999): «Burned Land Mapping at Local Scale». In: E. Chuvieco (ed). *Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean Basin*. Springer-Verlag, Berlin, pp. 157-187.
- Koutsias N., Karteris M., Chuvieco E. (2000): «The Use of Intensity-Hue-Saturation Transformation of Landsat-5 Thematic Mapper Data for Burned Land Mapping: *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*, Vol 66(7): 829-839.
- Koutsias N. and Karteris M. (1998): «Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping», *Int. Journal of Remote Sensing*, 19(18):3499-3514.
- Koutsias N. and Karteris M. (2000): «Burned area mapping using logistic regression modeling of a single post-fire Landsat-5 Thematic Mapper image». *International Journal of Remote Sensing*, 21(4):673-688.
- Kritikos G., Charalambidis A., Karteris M. and Schroeder M. (1994): «Assessment of forest fire damages in Attica using remote sensing and GIS techniques». In: P. Kennedy and M. Karteris (eds). Proceedings of the International Workshop «*Satellite Technology and GIS for Mediterranean Forest Mapping and Fire Management*», J.R.C., Aristotelian University, Thessaloniki, Greece, pp. 221-233.
- Κούτσιος Ν. (2001): «*Η Δορυφορική Τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών στη Φασματική Αξιολόγηση και Χαρτογράφηση των Καμένων Εκτάσεων στα Μεσογειακά Οικοσυστήματα*». Διδακτορική Διατριβή. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Τμήμα Δασολογίας και Φυσιικού Περιβάλλοντος, Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεπισκόπησης.
- Lee J.Y. and Liu M.N. (1984): «Updating forest cover maps in Saskatchewan using LANDSAT digital data». Proceedings «*Satellite Remote Sensing: Review and Preview*. Remote Sensing Society», Reading, U.K., pp. 383-387.
- Lopez Garcia, M.J. and Caselles V. (1991): «Mapping Burns and Natural Reforestation Using Thematic Mapper Data». *Geocarto International* 7(1): 31-37.
- Martin M.P. and Chuvieco E. (1994): «Mapping and Evaluation of Burned Land from Multitemporal Analysis of AVHRR NDVI Images». In: P. Kennedy and M. Karteris (eds). Proceedings of the International Workshop «*Satellite Technology and GIS for Mediterranean Forest Mapping and Fire Management*», J.R.C., Aristotelian University, Thessaloniki, Greece, pp. 71-83.
- Martin M.P., Viedma O. and Chuvieco E. (1994): «*High versus low resolution satellite images to estimate burned areas in large forest fires*». D.X. Viegas (ed). Proceedings of the 2nd International Conference on Forest Fire Research, Vol. II, pp. 653-663.
- Milne A.K. (1986): «The Use of Remote Sensing in Mapping and Monitoring Vegetational Change Associated with Bushfire Events in Eastern Australia. *Geocarto International* 2(1): 25-32.
- Minick G.R. and Shain W.A. (1981): «Comparison of satellite imagery and conventional aerial photography in evaluating a large forest fire». *Proceedings of the 7th International Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data*, Lab. of Applications of Remote Sensing, Purdue Univ., W. Lafayette, Indiana, pp. 544-546.

- Montserud R.A. and Leamans R. (1992): «Comparing global vegetation maps with the kappa statistic». *Ecological Modelling*, 62, pp. 275-293
- Pereira J.M.C. and Setzer A.W. (1993): «Spectral characteristics of fire scars in Landsat-5 TM images of Amazonia». *Int. Journal Remote Sensing* 11(14): 2061-2078.
- Pereira J.M.C., Cadete L. and Vasconcelos M.J.P. (1994): «An Assessment of the Potential of NOAA/AVHRR HRPT Imagery for Burned Area Mapping in Portugal». In: D.X. Viegas (ed). *Proceedings of the 2nd International Conference on Forest Fire Research*, pp. 665-666.
- Pereira J.M.C., Chuvieco E., Beaudoin A. and Desbois N. (1997): «Remote sensing of burned areas». In: E. Chuvieco (ed). *A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires*, University of Alcalá, Alcalá de Henares, Spain, pp. 127-183.
- Pereira J.M.C. (1999): «A comparative evaluation of NOAA AVHRR vegetation indices for burned surface detection and mapping». *IEEE Transactions on Geosciences & Remote Sensing*, 37: 217-226.
- Ruecker G. and Siegert F. (2000): «Burn scar mapping and fire damage assessment using ERS-2 SAR images in East Kalimantan», Indonesia. *IAPRS*, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000.
- Tanaka S., Kimura H. and Suga Y. (1983): «Preparation of a 1:25000 Landsat map for assessment of burned area on Etajima Island». *International Journal of Remote Sensing*, 4(1):17-31.
- Pereira J.M.C., Flasse S., Hoffman A., Pereira J.A.R., Gonzelez Alonso F., Bartalev S., Lynham T.J., Korovin G. and Lee B. (2001): «Operational use of Remote Sensing for fire management: Regional case studies». In: F.J. Ahern, J.G. Goldammer and C.O. Justice (eds). *Global and Regional Vegetation Fire Monitoring from Space: Planning a Coordinated International effort*. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands, pp. 47-70.

