

Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών στη διαχείριση πυρκαγιών του φυσικού περιβάλλοντος

Κ. Δ. Καλαμποκίδης¹

Περίληψη

Η διαχείριση των πυρκαγιών του φυσικού περιβάλλοντος απαιτεί τη χρήση ενός όγκου δεδομένων τα οποία μεταβάλλονται δυναμικά, παρέχοντας πολλές δυνατότητες εφαρμογής των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ). Η συγκρότηση ενός συστήματος διαχείρισης πληροφοριών για αντιπυρική προστασία κρίνεται αναγκαία για να εφοδιάσει τα ΓΣΠ, με απαραίτητα στοιχεία που έχουν αναφορά στο χώρο και στο χρόνο. Η εισαγωγή, αποθήκευση και διαχείριση των στοιχείων αυτών στηρίζεται σε υπερασύγχρονες μεθόδους αυτοματοποίησης των εργασιών με τηλεπισκόπηση, ΓΣΠ, παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS) και ψηφιακή χαρτογράφηση. Με την εκ των προτέρων δημιουργία παρόμοιας πληροφορικής υποδομής και κυρίως με τις αναλυτικές δυνατότητες των ΓΣΠ, καθίσταται ταχεία και ρεαλιστική η παροχή βοήθειας σε προληπτικό αντιπυρικό σχεδιασμό, πραγματικές επιχειρήσεις κατάσβεσης καθώς και εργασίες αποκατάστασης καμένων εκτάσεων.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών απαιτεί τη συνεχή χρήση ενός μεγάλου αριθμού πληροφοριών που μεταβάλλονται δυναμικά, δημιουργώντας την ανάγκη και την ευκαιρία μαζί μηχανοργάνωσης των εργασιών. Τα τελευταία χρόνια Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ ή GIS) χρησιμοποιούνται ευρέως για ιδανική κάλυψη ανίχνευσης από πυροφυλάκια, σχεδιασμό και διαδρομή ενσέρων περιπολιών, εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης και εξάπλωσης μιας πυρκαγιάς, σύγκριση εναλλακτικών σχεδίων αντιπυρικής δράσης, αριστοποίηση της διάθεσης και κατανομής πυροσβεστικών δυνάμεων και άλλα.

Τα ΓΣΠ έχουν γενικά την επιχειρησιακή δυνατότητα να παίξουν σημαντικό ρόλο στη: (1) συλλογή, αποθήκευση, ανάλυση και παρουσίαση γεωγραφικών δεδομένων του περιβάλλοντος τα οποία γίνονται διαθέσιμα με αποτελεσματικό και οικονομικό τρόπο, και (2) διευκόλυνση της ανάπτυξης νέων και αξιόπιστων μοντέλων για την περιγραφή των διαδικασιών και παραγόντων που οδηγούν σε διάφορα καταστροφικά επεισόδια.

Στην παρούσα εργασία καθορίζονται συνοπτικά η έννοια της διαχείρισης δασικών πυρκαγιών, η τράπεζα πληροφοριών των πυρκαγιών καθώς και οι κύριες λειτουργίες των ΓΣΠ, και δίδονται χαρακτηριστικά παραδείγματα συγκεκριμένων εφαρμογών ΓΣΠ για την αντιπυρική προστασία των φυσικών οικοσυστημάτων.

¹ Περιβαλλοντική Χαρτογραφία, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 811 00 Μυτιλήνη, Τηλ. (0251) 36.455 Fax (0251) 36.459, E-mail: kalabokidis@aegean.gr

ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Η φωτιά είναι αναπόσπαστο στοιχείο των φυσικών οικοσυστημάτων και επηρεάζει όλους εκείνους τους λόγους για τους οποίους οι σύγχρονες κοινωνίες διαχειρίζονται τα δασικά οικοσυστήματα (π.χ. ξυλεία, άγρια ζωή, βοσκή, υδατική οικονομία, αναψυχή, υγιεινή). Η επίδραση της φωτιάς στο δάσος είναι κάθετη σε όλες τις χρήσεις του, με την έννοια ότι εάν καεί για παράδειγμα ένα δασικό οικοσύστημα με στόχο την παραγωγή βοσκήσιμης ύλης τότε και όλοι οι υπόλοιποι σκοποί διαχείρισής του θα επηρεασθούν συγχρόνως.

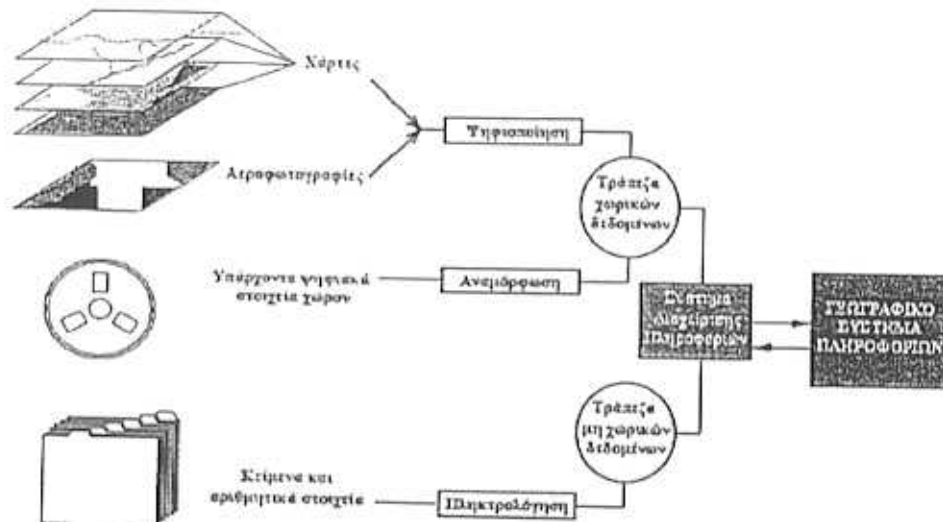
Μέσα σε αυτά τα πλαίσια, η διαχείριση δασικών πυρκαγιών περιλαμβάνει ως στόχους την πρόληψη, τη διευθέτηση της καύσιμης ύλης, το προδιαγεγραμμένο κάψιμο, την ανίχνευση, την κατάσβεση και τις επιπτώσεις της φωτιάς. Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι χρησιμοποιούνται ως μέσα η συμπεριφορά και η οικολογία φωτιάς με βάση συγκεκριμένες τεχνολογικές, βιολογικές και φυσικο-χημικές πληροφορίες πυρκαγιών.

ΤΡΑΠΕΖΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ

Η συγκρότηση μιας τράπεζας πληροφοριών για αντιπυρική διαχείριση κρίνεται αναγκαία για να εξυπηρετήσει τα ΓΣΠ, με στοιχεία που έχουν αναφορά και βάση στο χώρο και στο χρόνο. Αυτή η τράπεζα πληροφοριών μπορεί να περιλαμβάνει σε ψηφιακή μορφή χάρτες:

- Βλάστησης
- Μοντέλων καύσιμης ύλης
- Υδρολεκανών, υδάτινων όγκων και χειμάρρων
- Τοπογραφικών στοιχείων (κλίση, έκθεση, υψόμετρο)
- Δικτύου δρόμων και αντιπυρικών ζωνών
- Διοικητικών και ιδιοκτησιακών ορίων
- Ειδικών περιοχών με υψηλή προτεραιότητα προστασίας
- Ιστορικών αρχείων πυρκαγιών (αίτια, σημείο έναρξης, καμένη έκταση, μετεωρολογικά στοιχεία, τύπος βλάστησης)
- Κλιματικών και μετεωρολογικών συνθηκών (άνεμοι, βροχοπτώσεις, ξηρασία, θερμοκρασία, σχετική υγρασία, βαρομετρική πίεση, κεραυνοί, καταιγίδες, περιεχόμενη υγρασία καύσιμης ύλης)
- Εγκαταστάσεων και βάσεων αρχικής προσβολής
- Βάσεων δασοπροσβεστικών αεροσκαφών και αεροδρομίων
- Προδιαγραφών και περιορισμών των διαφόρων τύπων αεροσκαφών
- Επίγειων και αερομεταφερόμενων δυνάμεων πυρόσβεσης.

Η εισαγωγή, αποθήκευση και διαχείριση των πληροφοριών αυτών στηρίζεται σε υπερασύγχρονες μεθόδους αυτοματοποίησης των εργασιών με συστήματα τηλεπισκόπησης, γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, παγκόσμια συστήματα εντοπισμού θέσης (GPS) και ψηφιακή χαρτογράφηση (Σχήμα 1). Με την εκ των προτέρων δημιουργία παρόμοιας πληροφορικής υποδομής και χρησιμοποιώντας τις αναλυτικές δυνατότητες των ηλεκτρονικών υπολογιστών, καθίσταται ταχεία και ρεαλιστική η παροχή βοήθειας σε προληπτικό αντιπυρικό σχεδιασμό, πραγματικές επιχειρήσεις κατάσβεσης και εργασίες αποκατάστασης καμένων εκτάσεων.



Σχήμα 1: Συγκρότηση τράπεζας δεδομένων

Οι επεξεργαστικές λειτουργίες των ΓΣΠ έχουν απογραφικό και αναλυτικό χαρακτήρα, και μπορούν να ταξινομηθούν σε τέσσερις κατηγορίες (Aronoff 1989, Berry 1993, Burrough 1987):

- Αυτοματοποιημένη Χαρτογραφία, με χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών για εισαγωγή, παρουσίαση και παραγωγή ψηφιακών χαρτών.
- Χωρική Βάση Δεδομένων, για την αποθήκευση και οργάνωση χαρτών και πληροφοριών.
- Χωρική Στατιστική Ανάλυση, για το χαρακτηρισμό της κατανομής και της μορφής των χαρτογραφικών στοιχείων στο γεωγραφικό χώρο.
- Χαρτογραφική Μοντελοποίηση, για τη διενέργεια σύνθετων χαρτογραφικών αναλύσεων.

Οι δύο πρώτες λειτουργίες έχουν αποδειχθεί ότι είναι ο κύριος κορμός των σύγχρονων εφαρμογών των ΓΣΠ, ενώ οι δύο τελευταίες λειτουργίες αποτελούν ουσιαστικά τα κυρίαρχα και ξεχωριστά γνωρίσματα της τεχνολογίας των ΓΣΠ.

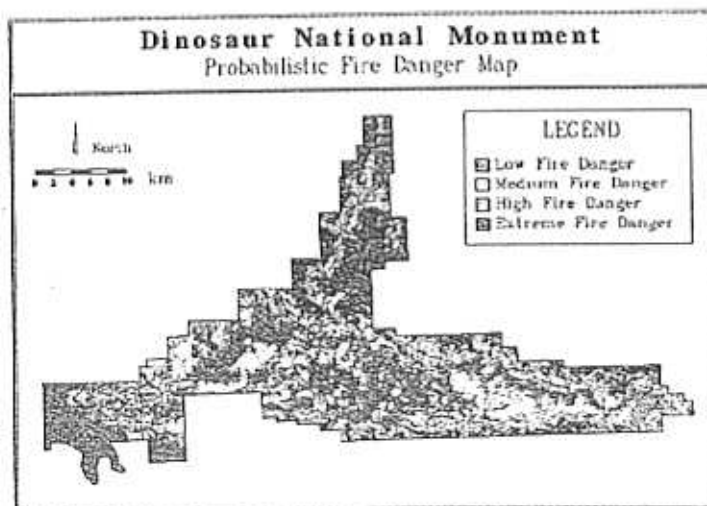
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΩΝ

Μοντέλα του χώρου και ΓΣΠ μπορούν να βελτιώσουν την πρόβλεψη συμπεριφοράς της φωτιάς και των μοντέλων της, όπως για παράδειγμα του BEHAVE (Andrews 1986, Burgan and Rothermel 1984). Έρευνα προσομοίωσης της χωρικής εξάπλωσης της πυρκαγιάς εξέτασε τη δυνατότητα εφαρμογής του αλγόριθμου διάδοσης πυρκαγιάς από το BEHAVE, σε ένα κατά χώρο αναλυμένο περιβάλλον στο Εθνικό Δάσος Λος Πάντρες της Καλιφόρνια, ΗΠΑ (Kalabokidis et al. 1991). Η βάση δεδομένων δημιουργήθηκε από στοιχεία του ανάγλυφου (κλίση, έκθεση, υψόμετρο), της βλάστησης, των μετεωρολογικών συνθηκών, και του δικτύου των δρόμων και των υδρολεκανών. Έγινε χρήση ενός άριστου συνδυασμού λογισμικών που περιελάμβανε συστήματα γραφικών (SURFER), ψηφιακής ανάλυσης δορυφορικών εικόνων (ERDAS), ψηφιακών μοντέλων υψόμετρου (DEM) και ΓΣΠ (pMAP). Η προσομοίωση στηρίχθηκε στις θεματικές παραμέτρους του τοπογραφικού ανάγλυφου, της ταχύτητας διάδοσης και της έντασης της φωτιάς στο χώρο. Σαν αποτέλεσμα, δημιουργήθηκαν ψηφιακοί χάρτες με χρονικές (ανά ώρα) καμπύλες εξάπλω-

σης και έντασης της πυρκαγιάς.

Από την έρευνα αυτή, όπως και άλλες σχετικές εφαρμογές (Burgan and Shasby 1984, Finney 1996, Vasconcelos and Guertin 1992), έχει προκύψει ότι τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών καθώς και η ανάλυση εξάπλωσης της φωτιάς στο χώρο προσφέρουν πολλές υποσχέσεις για πιο ρεαλιστική εκτίμηση της συμπεριφοράς των δασικών πυρκαγιών.

Τα ΓΣΠ χρησιμοποιήθηκαν για τη στατιστική εκτίμηση του κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιών, μέσα από τη γεωγραφική πολυμεταβλητή ανάλυση των επιμέρους παραγόντων που διέπουν το φαινόμενο των πυρκαγιών (Kalabokidis 1997). Η ανάλυση στηρίχθηκε σε 11 ανεξάρτητες μεταβλητές ανάγλυφου, βλάστησης, καιρικών φαινομένων και ανθρωπίνων επιδράσεων που σε συνδυασμό με στατιστικά στοιχεία πυρκαγιών των τελευταίων 50 ετών δημιούργησαν στο λογισμικό ARC/INFO ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών. Μέσα από αυτό το σύστημα αναπτύχθηκε ένα στατιστικό χωρικό μοντέλο εμφάνισης πυρκαγιών για το Εθνικό Μνημείο των Δεινοσαύρων στο Κολοράντο, ΗΠΑ. Το μοντέλο με τη γεωγραφική βάση δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν για τη χαρτογράφηση του κινδύνου πυρκαγιών, ο οποίος αναλύθηκε σε τέσσερα επίπεδα στατιστικών πιθανοτήτων - χαμηλής, μέτριας, υψηλής και ακραίας επικινδυνότητας (Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Στατιστική εκτίμηση κινδύνου εμφάνισης πυρκαγιών

Από τα παραπάνω καθίσταται προφανές ότι η γεωγραφική ανάλυση παρέχει ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την κατασκευή χωρικών μοντέλων εμφάνισης και εξάπλωσης πυρκαγιών (Chou et al. 1990), γιατί με τη διανυσματική προσέγγιση δίνεται η δυνατότητα καθορισμού πολυάριθμων ομοιογενών περιβαλλοντικών μονάδων και η γρήγορη επεξεργασία σύνθετων χωρικών συσχετισμών.

Υπάρχει ακόμη μια πληθώρα από άλλες ενδιαφέρουσες εφαρμογές των ΓΣΠ στη χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων (Rothermel et al. 1994), εκτίμηση του κινδύνου δασικών πυρκαγιών (Chuvieco and Congalton 1989, Chuvieco and Salas 1996), μοντελοποίηση τρισδιάστατων διαγνωστικών πεδίων ανέμου (Zack and Minnich 1991) και σχεδιασμό αντιπυρικής διαχείρισης (Chou 1992, Hamilton et al. 1989) τόσο σε ευρωπαϊκό όσο και σε διεθνές επίπεδο (Kennedy and Karteris 1994, Kessell et al. 1984, Kourtz 1984). Επίσης, η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει χρηματοδοτήσει συγκεκριμένα ερευνητικά προγράμματα με πολλαπλές εφαρμογές των ΓΣΠ στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών (π.χ. FIREMEN, FIRES, FOMFIS, MEFISTO, MEGAFIRES, ΠΡΟΜΗΘΕΑΣ).

Μία πολύ σημαντική χρήση των ΓΣΠ είναι και στο σχεδιασμό και την εκτέλεση της απαραίτη-



Σχήμα 3: Πυρκαγιά 6/7/97 στο περιστικό δάσος - πάρκο Θεσσαλονίκης

της αποκατάστασης και μεταπυρικής προστασίας των καμένων οικοσυστημάτων. Παρόμοιες ανάγκες προέκυψαν πρόσφατα και με την πυρκαγιά του 1997 στο περιστικό δάσος-πάρκο της Θεσσαλονίκης (Σέιχ-Σου) για την άμεση λήψη αποφάσεων μεταπυρικής διαχείρισης. Για το σκοπό αυτό, το Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών

Θεσσαλονίκης σε συνεργασία με την Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας έχει παράγει και επεξεργασθεί μέσω του ARC/INFO χαρτογραφικά επίπεδα της καμένης έκτασης (περίπου 16 χιλιάδες στρέμματα) και άλλων κρίσιμων θεματικών παραμέτρων, για την ακριβή απογραφή των μεταπυρικών αποτελεσμάτων και αναδάσωση του Σέιχ-Σου με ταχύτητα και οικονομία (Σχήμα 3).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούν ένα πολύτιμο εργαλείο διαχείρισης των φυσικών οικοσυστημάτων, κύρια λόγω των τεράστιων αναλυτικών δυνατοτήτων που παρέχουν. Θα πρέπει όμως να γίνει αντιληπτό ότι τα ΓΣΠ δεν χρησιμοποιούνται μόνο για εντυπωσιακές παρουσιάσεις (π.χ. έγχρωμοι χάρτες) ή απλούς συνδυασμούς χαρτογραφικών επιπέδων, αλλά και για ουσιαστικές αναλύσεις πολλαπλών μεταβλητών στο γεωγραφικό χώρο. Επίσης, τα ΓΣΠ δίνουν την ευκαιρία στο χρήστη για τη σύγκριση διαφόρων εναλλακτικών σεναρίων (του τύπου "τι-γίνεται-εάν") χωρίς να υπάρχει το οικονομικό και οικολογικό κόστος εκτέλεσής των.

Από όλα τα παραπάνω, γίνονται κατανοητά τα οφέλη και πλεονεκτήματα της χρήσης ΓΣΠ στην παροχή βοήθειας για ορθολογική λήψη αποφάσεων σε έργα αντιπυρικής προστασίας (πρόληψη - καταστολή - αποκατάσταση). Για να υπάρχει όμως πλήρης αξιοποίηση των χρήσεων των ΓΣΠ, θα πρέπει οι σωστές πληροφορίες να είναι διαθέσιμες στη σωστή κλίμακα (δηλαδή χωρική, χρονική και θεματική ακρίβεια), δεδομένου ότι (α) η εισαγωγή λανθασμένων στοιχείων παράγει εκθετικά περισσότερο λανθασμένες πληροφορίες (πολλαπλασιασμός του σφάλματος), και (β) περισσότερες πληροφορίες δεν παράγουν υποχρεωτικά και περισσότερη γνώση ("μαύρη τρύπα της γνώσης").

Καλή γνώση των περιορισμών και των λειτουργικών δυνατοτήτων των ΓΣΠ αποτρέπει τη λανθασμένη και επικίνδυνη χρήση των πληροφοριών, και αποτρέπει ολέθρια λάθη και καταστροφικές αποφάσεις. Τα ΓΣΠ αποτελούν μια δελεαστική, γρήγορη και επικίνδυνη τεχνολογία κατάλληλη για ανάπτυξη από ειδικούς σε πλήρη συνεργασία με τους τελικούς χρήστες, λόγω της αυτονόητης κρίσιμότητας που έχει η ορθή λήψη αποφάσεων στη δασο-πυροπροστασία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Andrews, P.L. 1986. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system - BURN subsystem, part

1. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. INT-194.
- Aronoff, S. 1989. Geographic Information Systems: a management perspective. WDL Publications, Ottawa, Canada.
- Berry, J.K. 1993. Beyond Mapping: concepts, algorithms, and issues in GIS. GIS World, Inc. Fort Collins, CO, USA.
- Burgan, R.E., and R.C. Rothermel. 1984. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system-FUEL subsystem. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. INT-167.
- Burgan, R.E., and M.B. Shasby. 1984. Mapping broad-area fire potential from digital fuel, terrain, and weather data. *Journal of Forestry* 82(4):228-231.
- Burrough, P.A. 1987. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford University Press, New York.
- Chou, Y.H. 1992. Management of wildfires with a geographical information system. *International Journal of Geographical Information Systems* 6(2):123-140.
- Chou, Y.H., R.A. Minnich, L.A. Salazar, J.D. Power, and R.J. Dezzani. 1990. Spatial autocorrelation of wildfire distribution in the Idyllwild Quadrangle, San Jacinto Mountain, California. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 56(11):1507-1513.
- Chuvieco, E., and R.G. Congalton. 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of the Environment* 29:147-159.
- Chuvieco, E., and J. Salas. 1996. Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographical Information Systems* 10(3):333-345.
- Finney, M.A. 1996. FARSITE: fire area simulator. Ver. 2. Users guide and technical documentation. Systems for Environmental Management, Missoula, Montana, USA.
- Hamilton, P.H., L.A. Salazar, and K.E. Palmer. 1989. Geographic information systems: providing information for wildland fire planning. *Fire Technology* February 5-23.
- Kalabokidis, K.D. 1996. Multivariate and GIS analyses of large fire probability in Dinosaur National Monument, Colorado, USA. Subcontract Final Report. In *Fuels Modification to Reduce Large Fire Probability* by P.N. Omi. 1997. Final Report to the USDI Fire Research Committee. Western Forest Fire Center, CSU, Fort Collins. Pp. 67-112.
- Kalabokidis, K.D., C.M. Hay, and Y.A. Hussin. 1991. Spatially resolved fire growth simulation. In *Proceedings 11th Conference on Fire and Forest Meteorology*, April 16-19, 1991, Missoula, MT. Society of American Foresters, Bethesda, Maryland. Pp. 188-195.
- Kennedy, P.J., and M. Karteris. 1994. International workshop on satellite technology and GIS for Mediterranean forest mapping and fire management. European Commission, DG-XIII, EUR 15861 EN, Luxembourg.
- Kessel, S.R., R.B. Good, and A.J.M. Hopkins. 1984. Implementation of two new resource information systems in Australia. *Environmental Management* 8(3):251-270.
- Kourtz, P. 1984. Decision-making for centralized forest fire management. *The Forestry Chronicle* December 320-327.
- Rothermel, R.C., R.A. Hartford, and C.H. Chase. 1994. Fire growth maps for the 1988 Greater Yellowstone area fires. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. INT-304.
- Vasconcelos, M., and D.P. Guertin. 1992. FIREMAP: simulation of fire growth with a Geographic Information System. *International Journal of Wildland Fire* 2:87-96.
- Zack, J.A., and R.A. Minnich. 1991. Integration of geographic information systems wind field model for fire management. *Forest Science* 37(2):560-573.