

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ARISTOTELIAN UNIVERSITY OF THESSALONIKI

ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΠΕΤΗΡΙΔΑ

**ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ
ΔΑΣΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΤΟΜΟΣ – ΑΦΙΕΡΩΜΑ ΠΡΟΣ ΤΙΜΗ
ΤΟΥ ΟΜΟΤΙΜΟΥ ΚΑΘΗΓΗΤΗ ΛΟΥΚΑ Γ. ΑΡΒΑΝΙΤΗ**

**SCIENTIFIC ANNALS
OF THE DEPARTMENT
OF FORESTRY AND NATURAL ENVIRONMENT**

**DEDICATED TO
Dr. LOUKAS G. ARVANITIS, EMERITUS PROFESSOR**



**ΤΟΜΟΣ ΜΑ/1 – VOL. 41/1
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ – THESSALONIKI 1998**

**ΧΩΡΙΚΗ ΠΟΛΥΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ
ΜΑΚΡΟΠΡΟΘΕΣΜΗΣ ΔΑΣΙΚΗΣ
ΠΥΡΟ-ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΕΘΝΙΚΗ
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΛΙΜΑΚΑ**

N. ΚΟΥΤΣΙΑΣ

**Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεπισκόπησης,
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ.**

M. ΚΑΡΤΕΡΗΣ

**Εργαστήριο Δασικής Διαχειριστικής και Τηλεπισκόπησης,
Τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος**

K. ΚΑΛΑΜΠΟΚΙΔΗΣ

Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστημίου Αιγίου

**SPATIAL MULTIVARIATE ASSESSMENT OF
LONG-TERM FOREST FIRE DANGER IN NATIONAL
GEOGRAPHICAL SCALE**

N. KOUTSIAS

**Lab of Forest Management and Remote Sensing,
Dpt of Forestry and Natural Environment,
Aristotelian University of Thessaloniki**

M. KARTERIS

**Lab of Forest Management and Remote Sensing,
Dpt of Forestry and Natural Environment,
Aristotelian University of Thessaloniki**

K. KALABOKIDIS

Dept of Geography, University of Aegean

Περίληψη

Ερευνητικό αντικείμενο της εργασίας ήταν η μοντελοποίηση της χωρικής διάταξης των σημείων έναρξης των δασικών πυρκαγιών σε εθνικό επίπεδο, με στόχο την εκτίμηση του βαθμού επικινδυνότητας των γεωγραφικών μονάδων του χώρου που ορίζονται από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνιστώσες. Η μοντελοποίηση των παραγόντων που θεωρητικά επηρεάζουν το βαθμό επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών διεξήχθη χρησιμοποιώντας τη λογιστική παλινδρόμηση.

Ένα γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών το οποίο περιλαμβάνει περιβαλλοντικές συνιστώσες του χώρου και συνίσταται δεδομένα τοπογραφικά, βλαστητικά, κλιματικά, κοινωνικοοικονομικά, δημογραφικά, δορυφορικά, δεικτών δομή του τοποίου κ.λπ., και τα οποία ορίστηκαν ως ανεξάρτητες μεταβλητές, δημιουργήθηκε στο επίπεδο της Ελλάδος. Ως εξαρτημένη μεταβλητή χρησιμοποιήθηκαν τα σημεία έναρξης των δασικών πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν κατά τη χρονική διάρκεια 1985-1996. Η χωρική κατανομή του βαθμού επικινδυνότητας εμφάνισης δασικών πυρκαγιών στην περιοχή μελέτης παρουσιάζεται με τη μορφή θεματικού χάρτη ο οποίος δημιουργήθηκε βάσει των αποτελεσμάτων της λογιστικής παλινδρόμησης.

Summary

The research objective of this work was the spatial modeling and assessment of long-term forest fire danger in national geographical scale using spatial multivariate modeling of fire ignition points. The multivariate statistical method used was the logistic regression. A geographical information system, which includes environmental components and factors that influence forest fire danger, was created in the national geographical level. The depended variable was the fire ignition points occurred from 1985 to 1996. The accuracy of the models ranged between 48.70% to 75%.

Εισαγωγή

Στη Μεσογειακή Λεκάνη, η οποία μερικώς καλύπτεται από παραγωγικά και μη παραγωγικά δάση, θαμνότοπους, βοσκότοπους και χαμηλής βλάστησης περιοχές, οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν έναν κυρίαρχο παράγοντα διαταραχής. Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού τύπου βλάστησης, τα οποία έχουν σχηματιστεί ως το αποτέλεσμα μακρών μηχανισμών προσαρμογής σε ακραίες συνθήκες (όπως π.χ. πυρρόφιλα οικοσυστήματα, εύφλεκτοι τύποι βλάστησης κ.ά.) σε συνδυασμό με τα χαρακτηριστικά του Μεσογειακού κλίματος (όπως π.χ. ισχυροί άνεμοι ιδιαίτερα στη πυρκαγιολογική περίοδο, παρατεταμένα ξηρά καλοκαίρια κ.ά.) ευνοούν την έναρξη και διάδοση των δασικών πυρκαγιών. Οι δασικές πυρκαγιές ως μια κύρια οικολογική διεργασία ασκούν καθοριστικές επιδράσεις στο φυσικό κύκλο διαδοχής της βλάστησης καθώς και στη δομή και λειτουργία των οικοσυστημάτων. Όμως, ο μεγάλος αριθμός των δασικών πυρκαγιών, που εκδηλώνονται κάθε χρόνο και συχνά στις ίδιες πε-

ριοχές, αποτελεί μια πραγματική απειλή για τα φυσικά οικοσυστήματα (Chandler κ.ά. 1983).

Οι οικονομικές, κοινωνικές, οικολογικές, ατμοσφαιρικές και κλιματικές συνέπειες που σχετίζονται με την πυρική δραστηριότητα δεν αναδεικνύουν μόνο τη σημαντικότητα του προβλήματος αλλά επιβάλλουν την ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου πληροφοριακού συστήματος και διαχειριστικού σχεδιασμού για την πρόληψη, έγκαιρη επέμβαση και καταστολή. Οι δασικές πυρκαγιές συνιστούν ένα πολυαύνητο χωρικό φαινόμενο το οποίο επηρεάζεται από διάφορους περιβαλλοντικούς, ανθρωπογενείς και χωρικούς παράγοντες. Η αποτελεσματική διαχείριση αυτών απαιτεί την κατανόηση των λειτουργιών του καθενός παράγοντα ξεχωριστά, καθώς και των χωρο-χρονικών δομών και αλληλοσχετίσεων τους. Η μοντελοποίηση τους, χρησιμοποιώντας πολυδιάστατες χωρικές αναλύσεις, η οποία βασίζεται σε ιστορικά στατιστικά δεδομένα εμφάνισης των πυρκαγιών έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να συνεισφέρει στη χωροθέτηση ζωνών υψηλού κινδύνου εκδήλωσης πυρκαγιών (π.χ. Chou κ.ά. 1990, Chou 1992β, Καλαμποκίδης και Κούτσιας 2000). Η γνώση των περιοχών υψηλού κινδύνου θα προσανατολίσει τους αρμόδιους φορείς προς τη σωστή κατεύθυνση εφαρμογής προγραμμάτων πυροπροστασίας. Τέτοια προγράμματα θα εφαρμόζονται με προτεραιότητα χωρική και χρονική στις ζώνες υψηλού κινδύνου, ελαχιστοποιώντας το κόστος και μεγιστοποιώντας ταυτόχρονα την αποτελεσματικότητά τους. Από το σύστημα το οποίο θα βασίζεται στην εκ των προτέρων γνώση των πιθανών περιοχών εκδήλωσης πυρκαγιών καθώς και στη γνώση της συμπεριφοράς της φωτιάς αποτελεί ένα μεγάλο διαχειριστικό πλεονέκτημα. Η επίτευξη αυτού του στόχου προϋποθέτει την σε βάθος γνώση των παραμέτρων που επηρεάζουν την έναρξη και διάδοση των πυρκαγιών και συνεπώς διαμορφώνουν το βαθμό επικινδυνότητάς τους.

Ερευνητικό αντικείμενο της εργασίας είναι η μοντελοποίηση και χαρτογράφηση του βαθμού επικινδυνότητας των γεωγραφικών μονάδων του χώρου που ορίζονται από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνιστώσες. Η μοντελοποίηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων που θεωρητικά επηρεάζουν το βαθμό επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών διεξήχθη χρησιμοποιώντας τη λογιστική παλινδρόμηση. Το λογιστικό μοντέλο χρησιμοποιήθηκε διότι αποτελεί μια ιδανική μέθοδο ανάλυσης δεδομένων σε περιπτώσεις όπου η εξαρτημένη μεταβλητή εκφράζεται με δυαδικό τρόπο, δηλαδή δέχεται μόνο δύο τιμές. Το Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών το οποίο αναπτύχθηκε συνίσταται από δεδομένα τοπογραφικά, βλαστητικά, κλιματικά, κοινωνικοοικονομικά, δημογραφικά, δορυφορικά, δεικτών δομής τοπίου κ.ά. Τα σημεία έναρξης των δασικών πυρκαγιών που καταγράφηκαν την περίοδο 1985-1995 χρησιμοποιήθηκαν ως εξαρτημένη μεταβλητή για το λογιστικό μοντέλο. Σημεία τα οποία δεν έχει παρατηρηθεί καμία πυρκαγιά την αντίστοιχη περίοδο και καλύπτουν όλη την περιοχή μελέτης επιλέγηκαν με τυχαία δειγματοληψία.

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών και Συστήματα Επικινδυνότητας Δασικών Πυρκαγιών

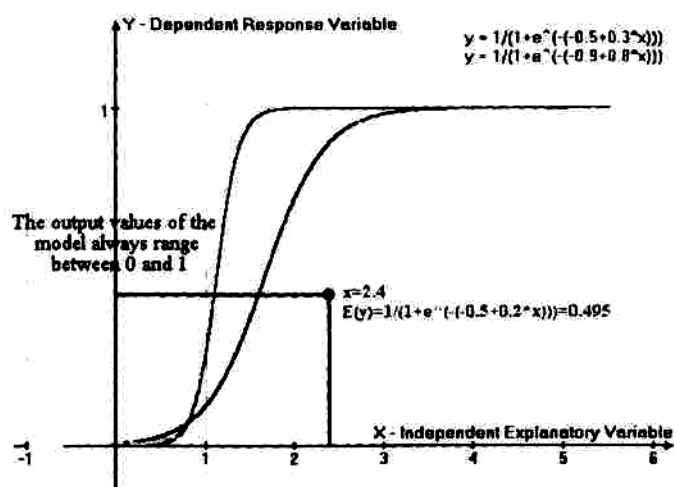
Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ), ως ένα σύγχρονο εργαλείο χωρικής επεξεργασίας και μοντελοποίησης δεδομένων του περιβάλλοντος, έχουν εφαρμοστεί με επιτυχία στη γεωγραφική ανάλυση εμφάνισης πυρκαγιών και εκτίμησης του κινδύνου αυτών (Chou 1992β, Καλαμποκίδης και Κούτσιος 2000). Χωρικά δεδομένα όσον αφορά την κατανομή στο χώρο και στο χρόνο της κάλυψης δασών και δασικών εκτάσεων, μετεωρολογικών δεδομένων, της τοπογραφίας και άλλων περιβαλλοντικών παραγόντων μπορούν με ευκολία και ταχύτητα να συνδυαστούν και επεξεργαστούν στα πλαίσια μιας καλά δομημένης τράπεζας πληροφοριών μέσω των εργαλείων και πλεονεκτημάτων που προσφέρουν τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών, η επιστήμη της πληροφορικής και η ψηφιακή αυτόματη επεξεργασία.

Η ανάπτυξη ενός δείκτη επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών καθώς επίσης και η διερεύνηση των στατιστικά σημαντικών παραγόντων που επηρεάζουν την έναρξη και διάδοση αυτών, απαιτεί να ληφθούν υπόψη ένα μεγάλο εύρος περιβαλλοντικών δεδομένων μεταξύ των οποίων μετεωρολογικά, τοπογραφικά και μοντέλα καύσιμης ύλης είναι τα πιο συνηθισμένα (Deeming κ.ά. 1978, Kalabokidis κ.ά. 1991).

Σύμφωνα με τους Chuviesco και Salas (1994), τα κριτήρια που εφαρμόζονται για το συνδυασμό και μοντελοποίηση αυτών των μεταβλητών συνοψίζονται στα εξής:

1. Χρησιμοποίηση ποιοτικών κριτηρίων για τον ορισμό τιμών επικινδυνότητας σε συγκεκριμένους συνδυασμούς των μεταβλητών (Brass κ.ά. 1983, Yoo κ.ά. 1985).
2. Αποδοχή διαφόρων δεικτών επικινδυνότητας, όπως για παράδειγμα το NFDRS των ΗΠΑ (Agee και Pickford 1985) ή κάποιων συνιστωσών του BEHAVE (Woods και Gossette 1992).
3. Ανάπτυξη νέων μοντέλων επικινδυνότητας, χρησιμοποιώντας συντελεστές βαρύτητας των μεταβλητών που επηρεάζουν τον κίνδυνο (Chuviesco και Congalton 1989, Vlieghe 1992).
4. Δημιουργία τοπικά προσανατολισμένων μοντέλων, όπου οι τιμές επικινδυνότητας της κάθε μεταβλητής εκτιμούνται από την ανάπτυξη μοντέλων παλινδρόμησης των μεταβλητών (Chou 1992β).

Ο συνδυασμός και μοντελοποίηση όλων των απαραίτητων μεταβλητών μέσω οποιασδήποτε μεθοδολογικής προσέγγισης, επιτυγχάνεται στα πλαίσια των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών εκφράζοντας τις γεωγραφικές μονάδες κάθε μεταβλητής είτε με τη μορφή διανυσματικών δεδομένων (vector data) είτε με τη μορφή δεδομένων κανάβου (raster data). Σύμφωνα με τον Chou (1992α), διανυσματικά τύπου δεδομένα είναι προτιμότερα στη διαχείριση των δασικών πυρκαγιών για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον, πολύγωνα τα οποία σχηματίζονται από χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος που σχετίζονται με τις δασικές πυρκαγιές προσδιορίζουν γεωγραφικές μονάδες κα-



Σχήμα 1. Η καμπύλη του λογιστικού μοντέλου παρουσιάζει δύο ασύμπτωτα σημεία, ένα ελάχιστο στην τιμή 0 και ένα μέγιστο στην τιμή 1.

Διάφορες εφαρμογές συναντώνται στη βιβλιογραφία αναφορικά με τη χρήση της λογιστικής παλινδρόμησης (Pereira και Itami 1991, Boxall και McFarlane 1995, Bian και West 1997, Narumalani κ.ά. 1997, van Deventer κ.ά. 1997). Ειδικότερα στο επιστημονικό πεδίο των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών, της τηλεπισκόπησης και των δασικών πυρκαγιών η λογιστική παλινδρόμηση έχει επιτυχώς εφαρμοστεί:

1. Στην πρόβλεψη της συχνότητας εμφάνισης των πυρκαγιών που οφείλονται σε ανθρωπογενή αίτια (Martell κ.ά. 1987).
2. Στην πρόβλεψη της θνησιμότητας των δασικών ειδών μετά την πυρκαγιά (Ryan και Reinhardt 1988).
3. Στη διερεύνηση στατιστικά σημαντικών συσχετίσεων μεταξύ διαφόρων δεικτών του Αμερικάνικου Εθνικού Συστήματος Εκτίμησης Κινδύνου Πυρκαγιών (NFDRS) και εμφάνισης πυρκαγιών (Loftsgaarden και Andrews 1992).
4. Στη μοντελοποίηση της πιθανότητας εμφάνισης δασικών πυρκαγιών για την εκτίμηση δεικτών επικινδυνότητας (Chou κ.ά. 1990, Chou 1992β, Καλαμποκίδης και Κούτσιας 2000).
5. Στη χαρτογράφηση των καμένων εκτάσεων χρησιμοποιώντας διαχρονικά δορυφορικά δεδομένα (Koutsias και Karteris, 1998), και δορυφορικά δεδομένα που έχουν αποκτηθεί μόνο μετά την πυρκαγιά (Koutsias και Karteris 2000).

3. Βασικές Έννοιες του Βαθμού Επικινδυνότητας

3.1. Έννοιες της Κλίμακας στη Διαχείριση των Πυρκαγιών

Η κλίμακα αποτελεί μια σημαντική συνιστώσα όλων των μελετών που αναφέρονται στο γεωγραφικό χώρο. Η καταγραφή, ανάλυση και απόδοση φαινομένων τα

οποία συμβαίνουν στο γεωγραφικό χώρο εμπεριέχουν την έννοια της κλίμακας ως μιας βασικής συνιστώσας η οποία προσδιορίζει ή και προσδιορίζεται από το επίπεδο προσέγγισης του ίδιου του φαινομένου. Σύμφωνα με τον Bian (1997), οι Lam και Quattrocchi (1992) διέκριναν τη χωρική κλίμακα σε χαρτογραφική, γεωγραφική, λειτουργική και στη διακριτική ικανότητα, αν και η έννοια της διακριτικής ικανότητας θεωρήθηκε σχετική με τις υπόλοιπες.

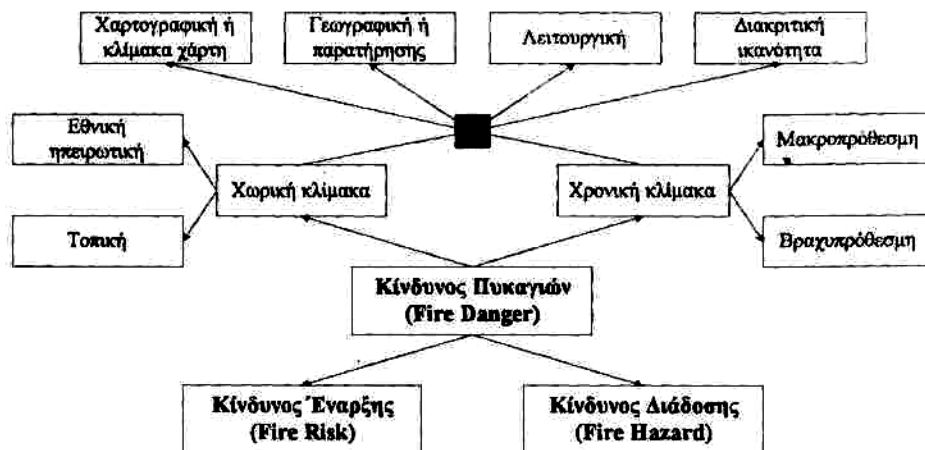
Η πρώτη, χαρτογραφική κλίμακα ή κλίμακα χάρτη, είναι η παραδοσιακή έννοια της κλίμακας και αναφέρεται στην κλίμακα του χαρτογραφικού υλικού ή χάρτη. Η δεύτερη, γεωγραφική κλίμακα ή κλίμακα παρατήρησης, χρησιμοποιείται κάτω από το γενικό πλαίσιο της χωρικής έκτασης εμφάνισης και λειτουργίας του υπό μελέτη φαινομένου. Ένας μεγάλης γεωγραφικής κλίμακας χάρτης απεικονίζει μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή στην οποία το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών αναφέρεται. Η τρίτη, λειτουργική κλίμακα, η οποία χρησιμοποιείται υπό την έννοια της επιχειρησιακής λειτουργικής διάστασης δηλώνει το επίπεδο της ιεραρχίας στο οποίο λειτουργεί ή συμβαίνει το φαινόμενο. Η μελέτη των συνεπειών των πυρκαγιών στο επίπεδο του δέντρου είναι πολύ διαφορετική από ότι στο επίπεδο του δάσους ή στο επίπεδο του τοπίου, αφού το τοπίο λειτουργεί σε μεγαλύτερη κλίμακα από ό,τι το δάσος και το δάσος σε μεγαλύτερη από ό,τι του δέντρου. Τέλος, η κλίμακα μέτρησης ή η χωρική διακριτική ανάλυση, η οποία αναφέρεται στη χωρική διακριτική ικανότητα και σχετίζεται με το μέγεθος του μικρότερου διακριτού αντικειμένου, απεικονίζει τον βαθμό της λεπτομέρειας απόδοσης και καταγραφής αντικειμένων και επιφανειών, και συνδέεται άμεσα με τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών και την τηλεπισκόπηση.

3.2. Συνιστώσες του Βαθμού Επικινδυνότητας

Η μοντελοποίηση και χαρτογράφηση του βαθμού επικινδυνότητας έναρξης και διάδοσης των δασικών πυρκαγιών μπορεί να εξεταστεί σε διάφορες χωρικές και χρονικές αναλύσεις. Χωρικά διακρίνεται σε εθνικό-περιφερειακό επίπεδο και σε τοπικό επίπεδο, ενώ χρονικά διακρίνεται σε βραχυπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο επίπεδο. Και τα δύο επίπεδα στα οποία αναφέρεται και εκτιμάται ο βαθμός επικινδυνότητας αποτελούν σημαντικές συνιστώσες για τη διαχείριση των πυρκαγιών. Περιφερειακές χωρικές κλίμακες χρησιμοποιούνται ώστε να τεθούν γενικά διαχειριστικά πλάνα και προσανατολισμοί, ενώ τοπικές χωρικές κλίμακες υιοθετούνται για συγκεκριμένες ενέργειες πρόληψης και καταστολής των πυρκαγιών σε μικρές περιοχές. Από την άλλη, βραχυπρόθεσμη εκτίμηση του κινδύνου απαιτείται για την έγκαιρη λήψη αποφάσεων σε δραστηριότητες άμεσης επέμβασης και καταστολής, ενώ μακροπρόθεσμη εκτίμηση του κινδύνου στοχεύει στη θέσπιση γενικών και περισσότερο μόνιμων διαχειριστικών πλάνων αναφορικά με την πρόληψη, έγκαιρη επέμβαση και καταστολή (Chuviesco κ.ά. 1998). Η βραχυπρόθεσμη εκτίμηση ιδεατά παρέχει ημερήσιες εκτιμήσεις του κινδύνου και συνεπώς απαιτεί μετεωρολογικά δεδομένα είτε από μετεωρολογικούς σταθμούς, είτε χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα τα οποία μεταβάλλ-

λονται ημερησίως ή ακόμη και κατά τη διάρκεια της ημέρας (Desbois κ.ά. 1997). Η μακροπρόθεσμη εκτίμηση του κινδύνου αναφέρεται συνήθως σε πιο μόνιμους παράγοντες οι οποίοι σχετίζονται με την έναρξη και τη διάδοση των πυρκαγιών όπως είναι η τοπογραφία, η δομή και σύσταση της βλάστησης, οι ανθρώπινες δραστηριότητες, οι γενικές κλιματικές δομές κ.ά. Οι παράγοντες αυτοί δεν μεταβάλλονται συχνά και μπορούν να θεωρηθούν σταθεροί κατά τη διάρκεια της πυρκαϊολογικής περιόδου. Η χρονική αυτή κλίμακα είναι αρκετά χρήσιμη για την καλύτερη κατανόηση χωρικών κατανομών του βαθμού επικινδυνότητας και για τη βελτίωση των διαχειριστικών πλάνων πρόληψης.

Τέλος αναφορικά με τη διάκριση του βαθμού επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών (Fire Danger) θα πρέπει να τονιστεί ότι αυτό συνίσταται από τον κίνδυνο έναρξης (Fire Risk) και τον κίνδυνο διάδοσης (Fire Hazard). Ο κίνδυνος έναρξης σχετίζεται κύρια με ανθρώπινες δραστηριότητες και γενικά μεγέθη που επηρεάζονται άμεσα ή έμμεσα από αυτές καθώς και παράγοντες που δηλώνουν τη γενικότερη κοινωνικοοικονομική κατάσταση. Ενώ ο κίνδυνος διάδοσης σχετίζεται άμεσα με τρεις ομάδες μεταβλητών, την καύσιμη ύλη, την τοπογραφία και τα μετεωρολογικά δεδομένα. Η σχηματική απεικόνιση των προαναφερομένων εννοιών παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Συναρτώσεις του βαθμού επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών και βασικές έννοιες της κλίμακας στις οποίες αυτός αναφέρεται.

4. Υλικά και Μέθοδοι

4.1. Γεωγραφική Βάση Δεδομένων

Η γεωγραφική τράπεζα πληροφοριών αποτελείται από περιβαλλοντικές συναρτώσεις και συμπεριλαμβάνει ομάδες μεταβλητών που αναφέρονται στην τοπογραφία, στη βλάστηση, στο κλίμα, στην κοινωνικοοικονομική και δημογραφική κατάσταση, σε δορυφορικά δεδομένα, σε δείκτες δομής του τοπίου κ.ά. Οι μεταβλητές αυτές αποτελε-

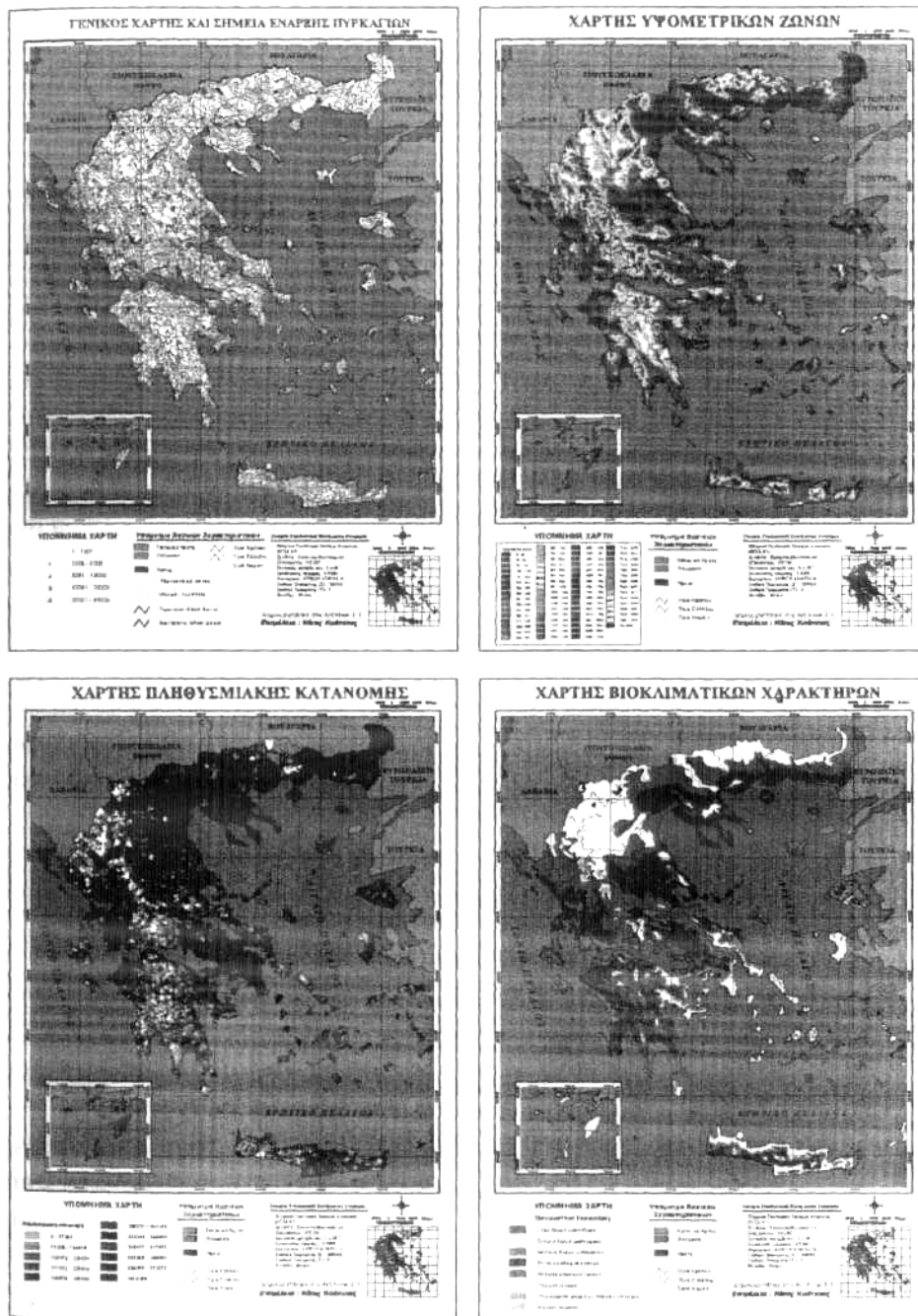
σαν τις γεωγραφικές μονάδες των ανεξάρτητων ή ερμηνευτικών μεταβλητών. Ιστορικά δεδομένα που αφορούν τα σημεία έναρξης των δασικών πυρκαγιών και που εκδηλώθηκαν στην Ελλάδα κατά την περίοδο 1985-1996, αποτελούν την εξαρτημένη μεταβλητή της γεωγραφικής βάσης. Οι πυρκαγιές οι οποίες εκδηλώθηκαν το 1996 δεν συμπεριλήφθηκαν στην ανάπτυξη του μοντέλου αλλά χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων.

Κάθε γεωγραφική μονάδα που αντιστοιχεί σε σημείο έναρξης κωδικοποιήθηκε με την τιμή 1 ενώ αυτές που αντιστοιχούν σε σημεία που δεν εκδηλώθηκε πυρκαγιά με την τιμή 0. Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι η προσέγγιση αυτή εμπεριέχει μια μικρή αδυναμία η οποία οφείλεται στην παραδοχή ότι τα σημεία στα οποία δεν έχει εκδηλωθεί καμία πυρκαγιά έχουν κωδικοποιηθεί με την τιμή 0, δηλαδή ότι ο κίνδυνος για αυτά είναι μηδαμινός. Συγκενρωτικά οι ομάδες των ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση παρουσιάζονται στον Πίνακα 1, ενώ στο Σχήμα 3 παρουσιάζονται οι χάρτες μερικών από τα δεδομένα των ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών.

Πίνακας 1

Ομαδοποίηση των ανεξάρτητων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση

A/A	Ομάδα μεταβλητών	Περιγραφή των συμπεριλαμβανομένων μεταβλητών
1	Βασικών περιβαλλοντικών	Συμπεριλαμβάνει μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται με βασικές συνιστώσες του περιβάλλοντος όπως τοπογραφικές (υψόμετρα, κλίσεις, εκθέσεις), δασικές κατηγορίες κάλυψης, εδαφολογικές και οδικού και υδρογραφικού δικτύου.
2	Δεικτών δομής τοπίου	Συμπεριλαμβάνει μεταβλητές οι οποίες χαρακτηρίζουν την δομή του τοπίου και οι οποίες δημιουργήθηκαν με το πρόγραμμα FRAGSTAS.
3	Δορυφορικών δεδομένων	Συμπεριλαμβάνει δορυφορικά δεδομένα του NOAA AVHRR όπως δεικτών βλάστησης, επιφανειακής θερμοκρασίας, ραδιομετρικών τιμών των φασματικών καναλιών κ.ά.
4	Πληθυσμιακών δεδομένων	Πληθυσμιακά δεδομένα των απογραφών 1961, 1971, 1981, 1991 στο επίπεδο του νομού και δομής του πληθυσμού σε σχέση με κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του πληθυσμού.
5	Δασικών κατηγοριών κάλυψης	Ποσοστά κάλυψης δασικών κατηγοριών στο επίπεδο του νομού.
6	Αγροτο-κτηνοτροφικών	Συμπεριλαμβάνει μεταβλητές οι οποίες χαρακτηρίζουν την αγροτο-κτηνοτροφική κατάσταση σε επίπεδο νομού.
7	Τουριστικών	Συμπεριλαμβάνει μεταβλητές οι οποίες χαρακτηρίζουν την τουριστική κατάσταση σε επίπεδο νομού.
8	Μεταβλητών κινδύνου	Στις μεταβλητές κινδύνου έναρξης συμπεριλαμβάνονται εκτός από την ομάδα των βασικών περιβαλλοντικών μεταβλητών και μεταβλητές όπως πληθυσμός, πληθυσμιακή πυκνότητα και τουριστικής ανάπτυξης δηλαδή μεταβλητές οι οποίες επηρεάζουν άμεσα την εκδήλωση δασικών πυρκαγιών.



Σχήμα 3. Χαρτογραφική παρουσίαση μερικών από των ανεξάρτητων και εξαρτημένων μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση.

4.2. Ερευνητικά Αντικειμενικά Ερωτήματα

Τα ερευνητικά ερωτήματα τα οποία διερευνήθηκαν με τη λογιστική παλινδρόμηση είναι τα παρακάτω:

1. Ποια είναι η επίδραση της χωρικής διακριτικής ικανότητας των δεδομένων στην ακρίβεια των μοντέλων. Οι χωρικές αναλύσεις που εξετάστηκαν είναι, τα 500, 1000 και 2000 μέτρα.
2. Ποια είναι η επίδραση της γεωγραφικής κλίμακας μέσα στην οποία εξετάζεται το φαινόμενο στην αποτελεσματικότητα της μοντελοποίησης. Η μοντελοποίηση εξετάστηκε στο χωρικό επίπεδο της χώρας, του διαμερίσματος και του νομού.
3. Ποια η επίδραση του χρονικού διαστήματος μέσα στο οποίο εξετάζεται το φαινόμενο στην αποτελεσματικότητα της μοντελοποίησης. Η μοντελοποίηση εξετάστηκε στα χρονικά διαστήματα του έτους και συνολικά όλων των ετών.
4. Ποια είναι η καλύτερη ανεξάρτητη ερμηνευτική μεταβλητή στην πρόβλεψη της εξαρτημένης. Η διερεύνηση του ερωτήματος βασίστηκε πρώτον στην βαθμονόμηση που δίνεται από το λογιστικό μοντέλο όταν χρησιμοποιούνται όλες οι μεταβλητές μαζί και δεύτερον στα αποτελέσματα ακρίβειας της μοντελοποίησης κάθε μεταβλητής ξεχωριστά.
5. Ποια είναι η καλύτερη ομάδα των ανεξάρτητων μεταβλητών για την πρόβλεψη της εξαρτημένης. Οι ομάδες μεταβλητών που εξετάστηκαν είναι: α) βασικών περιβαλλοντικών μεταβλητών β) δεικτών δομής του τοπίου γ) δορυφορικών εικόνων AVHRR δ) πληθυσμιακών μεταβλητών ε) δασικών κατηγοριών κάλυψης γης στ) αγροτο-κτηνοτροφικών μεταβλητών ζ) τουριστικών μεταβλητών και η) μεταβλητών κινδύνου έναρξης.

6. Αποτελέσματα και συζήτηση

6.1. Ερευνητικά Αντικειμενικά Ερωτήματα

6.1.1. Πρώτο ερευνητικό ερώτημα: Διερεύνηση της επίδρασης της χωρικής διακριτικής ανάλυσης των δεδομένων

Η μοντελοποίηση έδειξε ότι υπάρχει μια σχετική διαφοροποίηση στα αποτελέσματα. Μεταξύ των τριών αναλύσεων που χρησιμοποιήθηκαν καλύτερες συνολικές ακρίβειες έδωσε η βάση δεδομένων της οποίας η χωρική διακριτική ικανότητα είναι τα 2000 μέτρα με ποσοστό 64.10% έναντι 61.57% και 61.89% των 500 και 1000 μέτρων αντίστοιχα (Πίνακας 2). Τα αποτελέσματα αυτά αφορούν λογιστικά μοντέλα στα οποία οι ανεξάρτητες μεταβλητές επιλέγηκαν από την ίδια τη μέθοδο έτσι ώστε από τη μια να μεγιστοποιηθεί η ακρίβεια των αποτελεσμάτων και από την άλλη να συμπεριληφθούν στο λογιστικό μοντέλο μόνο μεταβλητές οι οποίες είναι στατιστικά σημαντικές. Για την αποφυγή λανθασμένων εκτιμήσεων, αφού το κάθε μοντέλο στις τρεις περιπτώσεις συμπεριλαμβάνει διαφορετικές μεταβλητές, αναπτύχθηκαν τρία λογιστικά μοντέλα ένα για κάθε χωρική ανάλυση χρησιμοποιώντας κοινές σταθερές ανεξάρτητες

μεταβλητές και οι οποίες επιλέγησαν χρησιμοποιώντας μεγέθη από τη βαθμονόμηση που δίνει η ανάλυση. Και σε αυτή την περίπτωση καλύτερο μοντέλο είναι αυτό που αντιστοιχεί στη βάση δεδομένων των 2000 μέτρων χωρικής διακριτικής ικανότητας με ποσοστό ακρίβειας 59.06% σε αντίθεση με των 500 και 1000 μέτρων των οποίων η ακρίβεια ανέρχεται στο 57.55% και για τις δύο περιπτώσεις (Πίνακας 2). Παρόμοια επίσης ήταν η συμπεριφορά των λογιστικών παλινδρομήσεων αναφορικά με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων και στην περίπτωση όπου χρησιμοποιήθηκαν άλλοι συνδυασμοί μεταβλητών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα ακρίβειας των λογιστικών παλινδρομήσεων και έχοντας υπόψη ότι η γεωγραφική κλίμακα αναφέρεται σε εθνικό επίπεδο φαίνεται ότι χαμηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας δεδομένα έχουν την τάση να επεξηγούν καλύτερα την εξαρτημένη μεταβλητή. Το συμπέρασμα αυτό διατυπώνεται με επιφύλαξη δεδομένου του περιορισμένου αριθμού διαφορετικών χωρικών αναλύσεων που χρησιμοποιήθηκαν στην μοντελοποίηση, αποτελεί όμως λογικό συνειρμό εάν ληφθεί υπόψη η γεωγραφική κλίμακα στην οποία εξετάζεται κάποιο φαινόμενο. Σε εθνικές περιφερειακές κλίμακες στις οποίες η περιοχή ενδιαφέροντος καταλαμβάνει μεγάλες εκτάσεις η συμπεριφορά φαινομένων καθώς και η επεξήγηση τους επηρεάζονται από παράγοντες και μεταβλητές οι οποίες αποδίδονται καλύτερα με χαμηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας δεδομένα. Σε τέτοιες κλίμακες τα φαινόμενα λειτουργούν και επηρεάζονται όχι τόσο από λεπτομερείς ή τοπικές διακυμάνσεις των μεταβλητών αλλά διαμορφώνονται από γενικότερες τάσεις οι οποίες αποδίδονται καλύτερα με δεδομένα και μεταβλητές γενικότερων επιπέδων. Συμπερασματικά, εάν ληφθεί επίσης υπόψη και η επιχειρησιακή διάσταση που πρέπει να διακρίνει ένα σύστημα επικινδυνότητας εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών, η χωρική διακριτική ικανότητα στην οποία αυτό θα πρέπει να αναπτυχθεί θα πρέπει να κυμαίνεται σε μικρές τάξεις μεγέθους ώστε από τη μια να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα του σε θέματα ακριβειών και από την άλλη να διασφαλισθεί η επιχειρησιακή του διάσταση.

Πίνακας 2

Ποσοστά ακρίβειας των μοντέλων σε κάθε χωρική διακριτική ικανότητα

Λογιστικό Μοντέλο	Χωρική διακριτική ικανότητα								
	500μ			1000μ			2000μ		
	0	1	Συν.	0	1	Συν.	0	1	Συν.
Επιλογή από το πρόγραμμα	61.67	61.46	61.57	62.05	61.72	61.89	64.39	63.80	64.10
Επιλογή βάση βαθμονόμησης	56.50	58.60	57.55	56.32	58.77	57.55	58.05	60.06	59.06
Βασικών περιβαλλοντικών	57.58	56.92	57.25	58.83	56.50	57.67	57.99	58.78	58.38
Δεικτών δομής τοπίου	65.49	45.85	55.68	60.16	50.26	55.22	64.62	44.73	54.78
Δορυφορικών δεδομένων	57.57	57.02	57.29	57.38	57.11	57.25	57.45	59.28	58.36
Πληθυσμιακών δεδομένων	58.35	57.87	58.11	57.19	60.81	59.00	59.95	58.31	59.13
Δασικών κατηγοριών κάλυψης	51.42	61.02	56.22	50.88	61.56	56.24	61.18	52.56	56.91
Μεταβλητών κινδύνου έναρξης				58.85	58.86	58.86	60.93	58.35	59.65

6.1.2. Δεύτερο ερευνητικό ερώτημα: Διερεύνηση της επίδρασης της γεωγραφικής κλίμακας μοντελοποίησης του φαινομένου

Η μοντελοποίηση ανέδειξε σημαντικές διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα. Στο γεωγραφικό επίπεδο του νομού, δηλαδή όταν η λογιστική παλινδρόμηση εφαρμόστηκε για κάποιο νομό ξεχωριστά τότε οι ακρίβειες των αποτελεσμάτων κυμάνθηκαν σε πολύ υψηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με αυτών που κυμάνθηκαν όταν η λογιστική παλινδρόμηση εφαρμόστηκε σε εθνικό επίπεδο δηλαδή σε όλη τη χώρα. Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων για την ομάδα μεταβλητών των δορυφορικών δεδομένων για το νομό της Χαλκιδικής ήταν 65.34% ενώ το αντίστοιχο για το γεωγραφικό διαμέρισμα της Πελοποννήσου ήταν 60.81% και για όλη την Ελλάδα ήταν 57.25% (Πίνακας 3). Επίσης για την περίπτωση της ομάδας των ανεξάρτητων μεταβλητών που ανήκουν στην κατηγορία του κινδύνου έναρξης τα ποσοστά των σωστά ταξινομημένων παρατηρήσεων της εξαρτημένης μεταβλητής ήταν 66.98%, 63.59% και 58.86% (Πίνακας 3) για τις γεωγραφικές κλίμακες του νομού, του διαμερίσματος και του συνόλου της χώρας αντίστοιχα. Παρόμοια ήταν τα αποτελέσματα και για άλλες ομάδες μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη λογιστικών μοντέλων. Το συμπέρασμα που προκύπτει αναφορικά με την αποτελεσματικότητα της μοντελοποίησης σε σχέση με το γεωγραφικό επίπεδο στο οποίο αυτή αναφέρεται είναι ότι ιεραρχικά μικρότερα γεωγραφικά επίπεδα αποδίδουν μεγαλύτερες ακρίβειες. Η συμπεριφορά αυτή της λογιστικής παλινδρόμησης των μοντελοποιήσεων είναι λογική και οφείλεται στο γεγονός ότι σε μικρότερες γεωγραφικές κλίμακες συναντάται μεγαλύτερη ομοιομορφία και συνεπώς παρέχονται μεγαλύτερα περιθώρια στο να προβλεφθεί η εξαρτημένη μεταβλητή. Οι δασικές πυρκαγιές σχετίζονται με διαφορετικούς παράγοντες και αιτίες ανάλογα των ιδιαίτερων κοινωνικοοικονομικών δομών και γεωφυσικών χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα σε ένα νομό ο οποίος χαρακτηρίζεται κυρίως ως αγροτο-κτηνοτροφικός η εκδήλωση δασικών πυρκαγιών οφείλεται σε διαφορετικούς λόγους από ότι σε ένα νομό ο οποίος χαρακτηρίζεται ως τουριστικός ή από ότι σε ένα νομό όπου ασκείται υψηλή πληθυσμιακή πίεση. Είναι φανερό ότι όσο μεγαλώνει ιεραρχικά η γεωγραφική κλίμακα τόσο μεγαλώνει και η ποικιλομορφία των παραγόντων οι οποίοι επιδρούν και επηρεάζουν ποικιλοτρόπως το υπό εξέταση φαινόμενο. Από την άλλη ένα μειονέκτημα το οποίο σχετίζεται με την γεωγραφική κλίμακα είναι η διαθέσιμη πληροφορία. Αυτό το οποίο συμβαίνει είναι ότι όσο το γεωγραφικό επίπεδο μικραίνει τόσο ελαττώνονται οι διαθέσιμες πληροφορίες ενώ παράλληλα αυξάνεται το κόστος συλλογής τους. Συμπερασματικά αυτό που πρέπει να ισχύει για το σύστημα επικινδυνότητας αναφορικά με την γεωγραφική κλίμακα στην οποία αυτό αναφέρεται είναι ότι αυτή καθορίζεται ανάλογα των διαθέσιμων πληροφοριών καθώς και του σκοπού και επιπέδου λήψης αποφάσεων και σχεδιασμού που αυτό απευθύνεται.

Πίνακας 3
Ποσοστά ακρίβειας των μοντέλων σε κάθε γεωγραφικό επίπεδο

Λογιστικό Μοντέλο	Γεωγραφικό επίπεδο		
	Ν. Χαλκιδικής	Δ. Πελοποννήσου	Επίπεδο Ελλάδας
Δεικτών δομής τοπίου	65.73	54.39	55.68
Δορυφορικών δεδομένων	65.34	60.81	57.29
Μεταβλητών κινδύνου έναρξης	66.98	60.57	
Βασικών περιβαλλοντικών	65.34	61.78	57.25
Επιλογή από το πρόγραμμα	66.67	64.48	61.57

6.1.3. Τρίτο ερευνητικό ερώτημα: Διερεύνηση της επίδρασης του χρονικού διαστήματος μοντελοποίησης του φαινομένου

Η μοντελοποίηση ανέδειξε σχετικές διαφοροποιήσεις στα αποτελέσματα. Πιο συγκεκριμένα η ακρίβεια των αποτελεσμάτων της ομάδας μεταβλητών που ανήκουν στην κατηγορία του κινδύνου έναρξης για όλες τις χρονιές μαζί ήταν 58.86% ενώ για κάθε χρονιά ξεχωριστά οι ακρίβειες κυμάνθηκαν μεταξύ του 56.54% και 62.45% (Πίνακας 4). Μολονότι η ακρίβεια στα αποτελέσματα μπορεί να είναι καλύτερη σε μερικές χρονιές εν τούτοις είναι προτιμότερο η μοντελοποίηση να γίνεται για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον και σημαντικότερο είναι ότι χρησιμοποιώντας μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αντικειμενικότητα στη δομή του μοντέλου το οποίο συνεπάγεται με μεγαλύτερη διαχρονική ισχύ. Δηλαδή μπορεί με μεγαλύτερη ασφάλεια να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς στην εκδήλωση των δασικών πυρκαγιών στις επόμενες χρονιές. Και δεύτερον είναι ότι χρησιμοποιώντας μεγαλύτερα διαστήματα αποφεύγονται ακραίες καταστάσεις οι οποίες τυγχάνουν όταν το υπό μελέτη φαινόμενο εξετάζεται σε μικρά χρονικά διαστήματα.

Πίνακας 4
Ποσοστά ακρίβειας των μοντέλων σε κάθε χρονικό επίπεδο

Μοντέλο	Χρονικό διάστημα μοντελοποίησης				Συνολικά Ακρίβεια %
	Ελάχιστη ακρίβεια		Μέγιστη ακρίβεια		
	Ακρίβεια %	Έτος	Ακρίβεια %	Έτος	
Μεταβλητών κινδύνου έναρξης	55.85	1994	62.45	1991	58.86
Επιλογή από το πρόγραμμα	59.02	1994	67.42	1991	61.89

6.1.4. Τέταρτο και πέμπτο ερευνητικό ερώτημα: Διερεύνηση της καλύτερης ερμηνευτικής μεταβλητής και της καλύτερης ομάδας ερμηνευτικών μεταβλητών

Τέλος για την τέταρτη και πέμπτη ερευνητική ερώτηση που έχει τεθεί και αφορά την διερεύνηση της απόδοσης των μεταβλητών και ομάδων μεταβλητών στην πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής τα στατιστικά μεγέθη τα οποία χρησιμοποιήθηκαν καθώς και οι μεθοδολογικές προσεγγίσεις για την διερεύνηση αυτών ήταν τα εξής:

1. Η βαθμονόμηση των μεταβλητών που δίνεται από τη λογιστική παλινδρόμηση σύμφωνα με το στατιστικό μέγεθος «Wald». Στην περίπτωση αυτή το μοντέλο επιλέγει μεταβλητές από το σύνολο των αρχικών μεταβλητών χρησιμοποιώντας δύο βασικά κριτήρια, πρώτον τη μεγιστοποίηση των ακριβειών και δεύτερον τη σημαντικότητα των μεταβλητών για το ίδιο το μοντέλο.
2. Οι συμπεριλαμβανόμενες από το λογιστικό μοντέλο μεταβλητές, τα ποσοστά πρόβλεψης της εξαρτημένης μεταβλητής καθώς και τα στατιστικά μεγέθη τα οποία χαρακτηρίζουν στατιστικά τη σημαντικότητα του μοντέλου.
3. Τα ποσοστά ακρίβειας και διάφορα άλλα στατιστικά μεγέθη που δηλώνουν την αποτελεσματικότητα του μοντέλου πρώτον για συγκεκριμένες ομαδοποιήσεις των αρχικών μεταβλητών οι οποίες εκφράζουν συγκεκριμένες συνιστώσες του περιβάλλοντος και των κοινωνικοοικονομικών δομών και δεύτερον για κάθε μεταβλητή ξεχωριστά.

Οι προσεγγίσεις αυτές επιλέχθηκαν διότι οι συντελεστές στα μοντέλα της λογιστικής παλινδρόμησης συμπεριλαμβανομένου και του πρόσημου τους δεν καταγράφουν την πραγματική σχέση της ανεξάρτητης μεταβλητής με την εξαρτημένη. Αυτό συμβαίνει διότι η συμπεριφορά κάποιας ανεξάρτητης μεταβλητής σε ένα πολυδιάστατο λογιστικό μοντέλο καθορίζεται και από την ύπαρξη των υπολοίπων μεταβλητών, το οποίο ενισχύεται όταν μεταξύ των ανεξάρτητων μεταβλητών υπάρχει υψηλή συσχέτιση. Σύμφωνα λοιπόν με τα παραπάνω κριτήρια οι μεταβλητές καθώς και οι ομάδες μεταβλητών που παρουσίασαν καλύτερα αποτελέσματα στην πρόβλεψη των σημείων έναρξης δασικών πυρκαγιών παρουσιάζονται στους Πίνακες 5 και 6 αντίστοιχα.

Πίνακας 5

Βαθμονόμηση των μεταβλητών σύμφωνα με το στατιστικό μέγεθος "Wald".
Συμπεριλαμβάνονται οι καλύτερες από το σύνολο των μεταβλητών

Μεταβλητή	Βαθμολογία
Διαφορά του πληθυσμού 1981-1991	413.2964
Ζώνες επιρροής του οδικού δικτύου	402.5002
Κατηγορίες δασικής βλάστησης	342.0236
Πληθυσμιακή πυκνότητα	312.4757
Βιολιματικοί χαρακτήρες	165.3953
Δείκτης τοπίου -	162.7469
Υψομετρικές ζώνες	139.2806
Μέγιστες τιμές του T5 (AVHRR) Ιουλίου	112.7364
Μέγιστες τιμές του NDVI (AVHRR) Σεπτεμβρίου	108.4416
Μέγιστες τιμές του T5 (AVHRR) Αυγούστου	106.0140
Μέγιστες τιμές του T4 (AVHRR) Αυγούστου	91.9801
Μέγιστες τιμές του NDVI (AVHRR) Αυγούστου	74.6957
Μέγιστες τιμές του T5 (AVHRR) Σεπτεμβρίου	74.0002
Μέγιστες τιμές του T4 (AVHRR) Σεπτεμβρίου	72.3665
Δείκτης τοπίου - έκταση patch	65.0427
Πληθυσμιακή πυκνότητα 1991	43.9808
Κατηγορίες εδαφών	38.8483
Πληθυσμιακά δεδομένα 1991	28.0188
Δείκτης τοπίου - LSIM	22.1679

Πίνακας 6
Ποσοστά ακρίβειας των ομάδων των μεταβλητών

Ομάδα μεταβλητών	Ποσοστά ακρίβειας		
	0	1	Σύνολο
Μεταβλητών κινδύνου έναρξης	60.93	58.35	59.65
Πληθυσμιακών δεδομένων	59.95	58.31	59.13
Βασικών περιβαλλοντικών	57.99	58.78	58.38
Δορυφορικών δεδομένων	57.45	59.28	58.36
Αγροτο-κτηνοτροφικών	48.37	65.77	57.01
Δασικών κατηγοριών κάλυψης	61.18	52.56	56.91
Δεικτών δομής τοπίου	64.62	44.73	54.78
Τουριστικών	77.26	22.45	50.05

6.2. Χαρτογράφηση του βαθμού επικινδυνότητας

Για την χαρτογράφηση του βαθμού επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών στο γεωγραφικό επίπεδο της χώρας αναπτύχθηκαν επτά λογιστικά μοντέλα. Τα πέντε από αυτά συμπεριλαμβάνουν τις καλύτερες ερμηνευτικές μεταβλητές σύμφωνα με τη στατιστική αξιολόγηση που έγινε στο προηγούμενο τμήμα, ενώ τα υπόλοιπα δύο μοντέλα αποτελούν τον χωρικό συνδυασμό αυτών. Οι θεματικοί χάρτες που προέκυψαν μετά την εφαρμογή των λογιστικών μοντέλων σε ολόκληρη τη γεωγραφική βάση συμπεριλαμβάνουν τέσσερις κατηγορίες επικινδυνότητας οι οποίες προσδιορίστηκαν με κατηγοριοποίηση των τιμών του κάθε μοντέλου. Το εύρος τιμών μετά την εφαρμογή των μοντέλων το οποίο είναι από 0 έως 1 ταξινομήθηκε σε τέσσερις κατηγορίες έχοντας ως κριτήριο την ισοπέδη κατανομή όλου του γεωγραφικού χώρου σε αυτά τα τέσσερα διαστήματα.

Η εκτίμηση της ακρίβειας χαρτογράφησης και συνεπώς η αξιολόγηση των μοντέλων έγινε χρησιμοποιώντας α) όλες τις πυρκαγιές οι οποίες εκδηλώθηκαν το 1996, β) μόνο αυτές που αντιστοιχούν σε καμένη έκταση μεγαλύτερη των 1000 στρεμμάτων, γ) μόνο αυτές που αντιστοιχούν σε καμένη έκταση μεγαλύτερη των 5000 στρεμμάτων και δ) όλες οι πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν το χρονικό διάστημα 1985-1995 και αντιστοιχούν σε καμένη έκταση μεγαλύτερη των 1000 στρεμμάτων. Αυτό που εξετάστηκε ήταν η χωρική κατανομή των πυρκαγιών που εκδηλώθηκαν στις παραπάνω περιπτώσεις σε κάθε κατηγορία κινδύνου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των ακριβειών καλύτερα μοντέλα χαρτογράφησης του βαθμού επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών είναι:

1. Κριτήριο αξιολόγησης όλες οι πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν το 1996

Καλύτερα ποσοστά ακρίβειας παρατηρήθηκαν στα μοντέλα 2, 7 και 4 στα οποία 63.53%, 60.32% και 51.80% των πυρκαγιών αντίστοιχα εκδηλώθηκε στις δύο μεγαλύτερου βαθμού επικινδυνότητας κατηγορίες.

2. Κριτήριο αξιολόγησης όλες οι πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν το 1996 και αντιστοιχούν σε έκταση μεγαλύτερη των 1000 στρεμμάτων.

Καλύτερα ποσοστά ακρίβειας παρατηρήθηκαν στα μοντέλα 2, 1 και 5 στα οποία το 69.64%, 57.14% και 53.57% των πυρκαγιών αντίστοιχα εκδηλώθηκε στις δύο μεγαλύτερου βαθμού επικινδυνότητας κατηγορίες.

3. Κριτήριο αξιολόγησης όλες οι πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν το 1996 και αντιστοιχούν σε έκταση μεγαλύτερη των 5000 στρεμμάτων.

Καλύτερα ποσοστά ακρίβειας παρατηρήθηκαν στα μοντέλα 2, 1 και 5 στα οποία το 55.17%, 53.01% και 53.01% των πυρκαγιών αντίστοιχα εκδηλώθηκε στις δύο μεγαλύτερου βαθμού επικινδυνότητας κατηγορίες.

4. Κριτήριο αξιολόγησης όλες οι πυρκαγιές που εκδηλώθηκαν στο χρονικό διάστημα 1985-1996 και αντιστοιχούν σε έκταση μεγαλύτερη των 5000 στρεμμάτων.

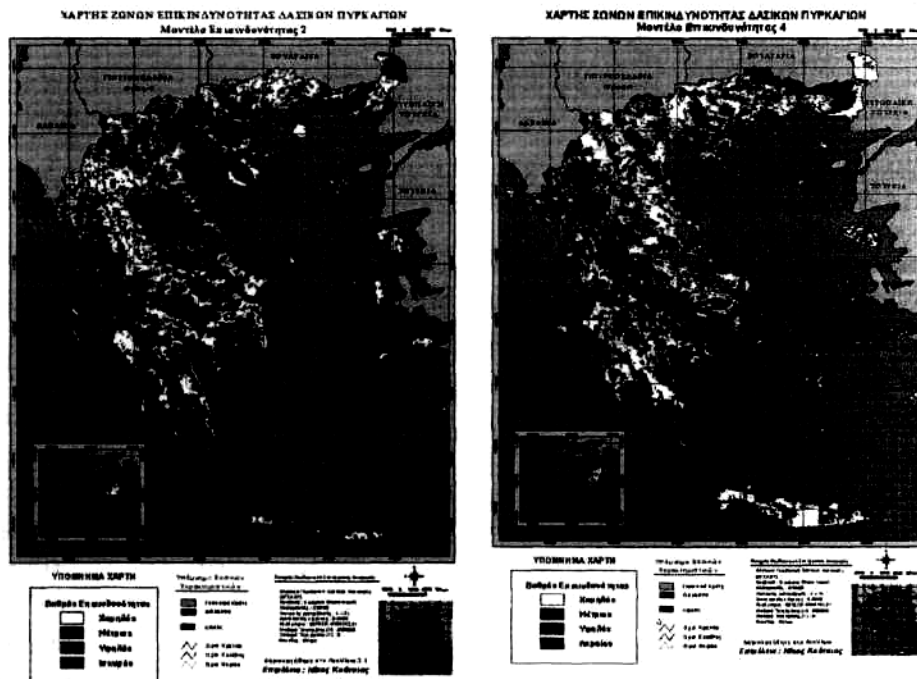
Καλύτερα ποσοστά ακρίβειας παρατηρήθηκαν στα μοντέλα 2, 1 και 5 στα οποία το 61.44%, 56.63% και 56.53% των πυρκαγιών αντίστοιχα εκδηλώθηκε στις δύο μεγαλύτερου βαθμού επικινδυνότητας κατηγορίες.

Τελική επεξεργασία χαρτογράφησης του βαθμού επικινδυνότητας αποτέλεσε ο χωρικός συνδυασμός των μοντέλων 2 και 4 με τον χάρτη κάλυψης ο οποίος συμπεριλαμβάνει τρεις θεματικές κατηγορίες δασικές, μη δασικές εκτάσεις και υδάτινα σώματα. Η χωρική επίθεση της πληροφορίας δημιούργησε νέες κατηγορίες κινδύνου ανά θεματική κατηγορία κάλυψης. Ο συνδυασμός των δύο επιπέδων έγινε θέτοντας τις δασικές εκτάσεις ως υψηλού βαθμού επικινδυνότητας, τις μη δασικές ως χαμηλού ενώ για τα υδάτινα σώματα δεν ορίστηκε βαθμός επικινδυνότητας. Η εκτίμηση της ακρίβειας όπως προσδιορίστηκε για τα αρχικά μοντέλα ήταν για το μοντέλο 2 48.70%, 58.82%, 75% και 55.91% για τις τέσσερις περιπτώσεις αντίστοιχα ενώ για το μοντέλο 4 48.70%, 59.95%, 75% και 59.58% αντίστοιχα.

Οι θεματικοί χάρτες του βαθμού επικινδυνότητας των δασικών πυρκαγιών παρουσιάζονται στα Σχήματα 4 και 5.

7. Συμπεράσματα

Έχοντας υπόψη ότι η γεωγραφική κλίμακα αναφέρεται σε εθνικό επίπεδο φαίνεται ότι χαμηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας δεδομένα έχουν την τάση να επεξηγούν καλύτερα την εξαρτημένη μεταβλητή. Σε εθνικές περιφερειακές κλίμακες στις οποίες η περιοχή ενδιαφέροντος καταλαμβάνει μεγάλες εκτάσεις η συμπεριφορά φαινομένων καθώς και η εξήγησή τους επηρεάζονται από παράγοντες και μεταβλητές οι οποίες αποδίδονται καλύτερα με χαμηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας δεδομένα. Συμπερασματικά, εάν ληφθεί υπόψη η επιχειρησιακή διάσταση που πρέπει να διακρίνει ένα σύστημα επικινδυνότητας εκδήλωσης δασικών πυρκαγιών, η χωρική διακριτική ικανότητα στην οποία αυτό θα πρέπει να αναπτυχθεί θα πρέπει να κυμαίνεται σε μικρές τάξεις μεγέθους ώστε από τη μια να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητά του σε θέματα ακριβειών και από την άλλη να διασφαλισθεί η επιχειρησιακή του διάσταση.



Σχήματα 4, 5. Χάρτες μακροπρόθεσμης δασικής πυρο-επικινδυνότητας σε εθνική κλίμακα.

Στο γεωγραφικό επίπεδο του νομού, δηλαδή όταν η λογιστική παλινδρόμηση εφαρμόστηκε για κάποιο νομό ξεχωριστά τότε οι ακρίβειες των αιποτελεσμάτων κυμάνθηκαν σε πολύ υψηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με αυτών που κυμάνθηκαν όταν η λογιστική παλινδρόμηση εφαρμόστηκε σε εθνικό επίπεδο δηλαδή σε όλη τη χώρα. Το συμπέρασμα που προκύπτει αναφορικά με την αποτελεσματικότητα της μοντελοποίησης σε σχέση με το γεωγραφικό επίπεδο στο οποίο αυτή αναφέρεται είναι ότι ιεραρχικά μικρότερα γεωγραφικά επίπεδα αποδίδουν μεγαλύτερες ακρίβειες. Η συμπεριφορά αυτή της λογιστικής παλινδρόμησης των μοντελοποιήσεων είναι λογική και οφείλεται στο γεγονός ότι σε μικρότερες γεωγραφικές κλίμακες συναντάται μεγαλύτερη ομοιομορφία και συνεπώς παρέχονται μεγαλύτερα περιθώρια στο να προβλεφθεί η εξαρτημένη μεταβλητή. Συμπερασματικά αυτό που πρέπει να ισχύει για το σύστημα επικινδυνότητας αναφορικά με την γεωγραφική κλίμακα στην οποία αυτό αναφέρεται είναι ότι αυτή καθορίζεται ανάλογα των διαθέσιμων πληροφοριών καθώς και του σκοπού και επιπέδου λήψης αποφάσεων και σχεδιασμού που αυτό απευθύνεται.

Μολονότι η ακρίβεια στα αποτελέσματα μπορεί να είναι καλύτερη σε μερικές χρονιές εν τούτοις είναι προτιμότερο η μοντελοποίηση να γίνεται για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα για δύο κυρίως λόγους. Πρώτον και σημαντικότερο είναι ότι χρησιμοποιώντας μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα επιτυγχάνεται μεγαλύτερη αντικειμενικότητα στη δομή του μοντέλου το οποίο συνεπάγεται με μεγαλύτερη διαχρονική ισχύ. Δηλαδή μπορεί με μεγαλύτερη ασφάλεια να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της συ-

μπεριφορές στην εκδήλωση των δασικών πυρκαγιών στις επόμενες χρονιές. Και δεύτερον είναι ότι χρησιμοποιώντας μεγαλύτερα διαστήματα αποφεύγονται ακραίες καταστάσεις οι οποίες τυγχάνουν όταν το υπό μελέτη φαινόμενο εξετάζεται σε μικρά χρονικά διαστήματα.

Το κύριο αντικείμενο της μελέτης αυτής ήταν η ανάδειξη της χρησιμότητας των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών τα οποία με τη βοήθεια κατάλληλων στατιστικών εργαλείων μπορούν να συνεισφέρουν πρώτον στην καλύτερη κατανόηση του φαινομένου των δασικών πυρκαγιών και δεύτερον στην προσφορά νέων πληροφοριών κατάλληλων για την αποτελεσματική διαχείριση αυτών. Επίσης η μελέτη αυτή ανέδειξε την αξία της λογιστικής παλινδρόμησης στην ερμηνεία και μοντελοποίηση φαινομένων τα οποία μπορούν να εκφραστούν με ένα δυαδικό τρόπο, κάτι συμβαίνει ή όχι.

Οι δασικές πυρκαγιές αποτελούν ένα πολυσύνθετο χωρικό φαινόμενο το οποίο επηρεάζεται έντονα από περιβαλλοντικούς και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες, καθώς επίσης και από τη χωρική αλληλοεπίδραση αυτών. Στα πλαίσια ενός καλοσχεδιασμένου συστήματος γεωγραφικών πληροφοριών, οι αναγκαίοι παράγοντες για την ερμηνεία φαινομένων όπως στην περίπτωση αυτή οι δασικές πυρκαγιές, μπορούν αποτελεσματικά να συνδυαστούν σε χωρικό επίπεδο δημιουργώντας έτσι τις αναγκαίες δομές και χωρικές συσχετίσεις για την ανάπτυξη μοντέλων επικινδυνότητας. Η τεχνολογία των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών μπορεί να στηρίξει την ανάπτυξη στρατηγικών, σε χωρική και χρονική κλίμακα, για την αποτελεσματική αντιμετώπιση του προβλήματος των δασικών πυρκαγιών.

Η γνώση των περιοχών υψηλού κινδύνου θα προσανατολίσει τους αρμόδιους φορείς προς τη σωστή κατεύθυνση εφαρμογής προγραμμάτων πυροπροστασίας. Η εφαρμογή τέτοιων προγραμμάτων θα τεκμηριώνεται ποσοτικά με καθορισμό χωρικών και χρονικών προτεραιοτήτων στις ζώνες υψηλού κινδύνου, ελαχιστοποιώντας το κόστος και μεγιστοποιώντας ταυτόχρονα την αποτελεσματικότητά τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Afifi, A.A., and V. Clark. 1990. *Computer-Aided Multivariate Analysis*. Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York. 505 p.
- Agee, J.K. and S.G. Pickford, 1985. *Vegetation and fuel mapping of North Cascades National Park*. Final Report, College of Forest Resources. Seattle.
- Bian L (1997) *Multiscale nature of spatial data in scaling up environmental models*. In: Quattrochi PA, Goodchild MF (eds) *Scale in remote sensing and GIS*. CRC Lewis publishers, Boca Raton, FL, pp 13-26
- Bian, L., and E. West, 1997. *GIS Modeling of Elk Calving Habitat in a Prairie Environment with Statistics*. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63: 161-167.

- Boxall, P.C., and B.L. McFarlane, 1995. Analysis of discrete, dependent variables in human dimensions research: participation in residential wildlife appreciation. *Wildlife Society Bulletin*, 23(2): 283-289.
- Brass, J., W.C. Likens, and R.R. Thornhill, 1983. *Wildland Inventory for Douglas and Carson City Countries, Nevada, Using Landsat and Digital Terrain Data*. NASA Technical Paper 2137, Moffet Field.
- Chandler, C., P. Cheney, P. Thomas, L. Traband, and D. Williams. 1983. *Fire in Forestry. Volume I. Forest Fire Behavior and Effects*. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons. 449 p.
- Chou, Y.H., 1992a. Status report USFS/UCR joint research on wildland fire management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 58(8): 1245-1248.
- Chou, Y.H., 1992b. Management of wildfires with a geographical information system. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6: 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: 1507-1513.
- Chuvieco, E., and J. Salas, 1994. Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. *International Journal of Geographic Information Systems*, 10(3): 333-345
- Chuvieco, E., and R.G. Congalton, 1989. Application of remote sensing and Geographic Information Systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sensing of Environment*, 29: 147-159.
- Deeming, J.E., R.E. Burgan, J.D. Cohen, 1978. *The National Fire-Danger Rating System*, US Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest & Range Experiment Station, General Technical Report INT-39. 63 p.
- 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.
- Καλαμποκίδης, Κ.Δ. και Ν. Κούτσιας, 1998. Γεωγραφική πολυμεταβλητή ανάλυση της χωρικής εμφάνισης δασικών πυρκαγιών. *Γεωτεχνικά επιστημονικά θέματα*, 11-Π(2): 37-47.
- Κούτσιας Ν, Karteris Μ., 1999, Burned area mapping using logistic regression modeling of a single post-fire Landsat-5 Thematic Mapper image. *International Journal of Remote Sensing* (In press)

- Koutsias, N., and Karteris M., 1998, Logistic regression modeling of multitemp
Thematic Mapper data for burned area mapping, *International Journal of
Remote Sensing*, 19(18): 3499-3514.
- Lam N, Quattrochi DA (1992) On the issues of scale, resolution and fractal ana
in the mapping sciences. *Professional Geographer* vol 44, No 1: 88-98
- Loftsgaarden, D.O., and P.L. Andrews, 1992. Constructing and Testing Log
Regression Models for Binary Data: Applications to the National Fire Da
Rating System. US Department of Agriculture, Forest Service, Intermou
Forest & Range Experiment Station, General Technical Report INT-286.
- Martell, D.L., S. Otakel, and B.J. Stocks, 1987. A logistic model for predicting
people-caused fire occurrence in Ontario. *Canadian Journal of F
Research*, 17: 394-401.
- Mendenhall, W., and T. Sincich, 1996. A second course in statistics: regre
analysis (New Jersey: Prentice-Hall, Inc.), 899 p.
- Narumalani, S., J.R. Jensen, J.D. Althausen, S. Burkhalter, and H.E. Macke
1997. Aquatic Macrophyte Modeling Using GIS and Logistic M
Regression. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63: 41-
Norusis, M.J., 1990. SPSS/PC+ Advanced Statistics™ 4.0 for the IBM PC/2
and PS/2 (SPSS Inc).
- Pereira, J.M.C., and R.M. Itami, 1991. GIS-Based Habitat Modeling Using L
Multiple Regression: A Study of the Mt. Graham Red Squirrel.
Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 57: 1475-1486.
- Ryan, K.C., and E.D. Reinhardt, 1988. Predicting postfire mortality of seven v
conifers. *Canadian Journal of Forest Research*, 18: 1291-1297.
- van Deventer, A.P., A.D. Ward, P.H. Gowda, and J.G. Lyon, 1997. Using Th
Mapper Data to Identify Contrasting Soil Plains and Tillage Pr
Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 63: 87-93.
- Vliegheer, B.M. de, 1992. Risk assessment for environmental degradation ca
fires using remote sensing and GIS in a Mediterranean region (South
Central Greece), *IGARSS'92, Houston*, 44-47.
- Woods, J.A. and F. Gossette, 1992. A Geographic Information System for bi
hazard management, *Proc. ACSM-ASPRS Symposium*, Washington,
- Yool, S.R., D.W. Eckhardt, J.E. Estes and M.J. Cosentino, 1985. Descri
brushfire hazard in southern California. *Annals of the Associ
American Geographers*, 75:417-430.