

ΧΩΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΦΩΤΙΑΣ / ΑΝΘΡΩΠΟΥ / ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΣΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ ΑΓΙΟΥ ΟΡΟΥΣ ΚΑΙ ΣΙΘΩΝΙΑΣ

Κώστας Καλαμποκίδης*, Παύλος Κωνσταντινίδης, Χρήστος Βασιλάκος*****

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η βλάστηση είναι ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος. Η γνώση των αιτίων που διαμορφώνουν τη σύνθεση και την κατανομή της αποτελεί το κλειδί της αειφόρου ανάπτυξης για ολόκληρες εκτάσεις, και ιδιαίτερα για την εκτίμηση της γεωργικής παραγωγής, τη διαχείριση των δασικών περιοχών και το σχεδιασμό των χρήσεων γης. Η βλάστηση δεν είναι απλά αποτέλεσμα επίδρασης του περιβάλλοντος, της φωτιάς ή του ανθρώπου, αλλά και η ίδια επηρεάζει και τροποποιεί αυτά με τη σειρά της. Στην παρούσα εργασία διερευνάται η βλάστηση των χερσονήσων Σιθωνίας και Αγίου Όρους στη Χαλκιδική, με τη χρησιμοποίηση των δυνατοτήτων που δίνει η γεωπληροφορική (πολυμεταβλητή ψηφιακή επεξεργασία στο χώρο και το χρόνο), και ειδικότερα εφαρμόζοντας στατιστικά μοντέλα λογιστικής παλινδρόμησης σε Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ). Ψηφιακά δεδομένα βλάστησης αναλύονται στατιστικά σε κλίμακα τοπίου με ορισμένους από τους βασικότερους παράγοντες που τα διαμόρφωσαν (όπως κλίμα, γεωμορφολογία, ιστορία φωτιάς, χρήσεις γης και ανθρωπίνες δραστηριότητες), ώστε να υπολογιστεί ο βαθμός και το μέγεθος της επίδρασής τους.

Spatial Analysis of Wildfire / Human / Environmental Impact on Vegetation of Mount Athos and Sithonia

Kostas Kalambokidis, Pavlos Konstantinidis, Christos Vasilakos

ABSTRACT

Wildfire, weather and vegetation patterns are key elements of the natural environment viewed in human perspective. Knowledge of the causes that configure the structure and spatial distribution of vegetation is the cornerstone in sustainable development, especially in agricultural production, forest management, and land-use planning. Strong correlation exists among physical and human elements of the environment that determine wildfire and vegetation dynamics. This paper examines the differences in spatial distribution of wildfires and vegetation in two peninsulas of northern Greece with the use of modern geo-informatics procedures and technology (i.e., multivariate digital processing in time and space). Logistic regression models were applied in a spatial database that has been developed and managed within a Geographic Information System (GIS). Cartographic vegetative information was statistically correlated with basic impact factors (e.g. climate, geomorphology, fire history, land use, and human activities) to estimate the rate and magnitude of their influence in a landscape scale.

* Επίκουρος Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας, e-mail: kalambokidis@aegean.gr.

** Εντεταλμένος Ερευνητής, ΕΘΙΑΓΕ, Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών.

*** Υποψήφιος Διδάκτωρ, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Περιβάλλοντος.

1. Εισαγωγή

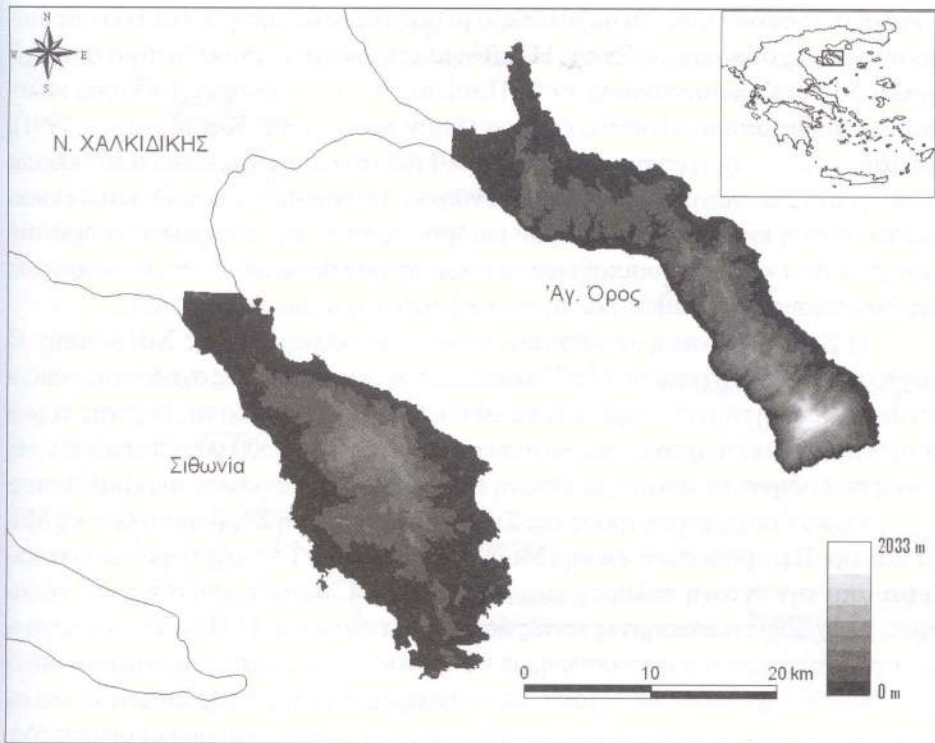
Η δυναμική του τοπίου και των δασικών πυρκαγιών διαμορφώνεται και διαφοροποιείται ανάλογα με το χώρο (τοπική έως παγκόσμια κλίμακα) και τη χρονική βάση αναφοράς (βραχυπρόθεσμα έως μακροπρόθεσμα). Σύγχρονο εργαλείο ανάλυσης και μοντελοποίησης δεδομένων του περιβάλλοντος και των πυρκαγιών (π.χ. βλάστηση, καιρός και έδαφος) αποτελούν τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών, που μπορούν να διαχειριστούν με επιτυχία χωρικές και χρονικές πληροφορίες σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών (Chou 1992, Chuvieco & Congalton 1989, Salas & Chuvieco 1994, Salas et al. 1994).

Συνολικό δείκτη των χαρακτηριστικών του περιβάλλοντος αποτελεί η βλάστηση, που βρίσκεται συνεχώς κάτω από μια δυναμική εξέλιξης και αποτελεί την έκφραση της προσαρμογής του συνόλου των φυτών ενός τόπου στις συνθήκες του περιβάλλοντος που επικρατούν ανά πάσα στιγμή στον τόπο αυτό. Η μελέτη της σύνθεσης της βλάστησης και των αλληλεπιδράσεών της με τη φωτιά δίνει πληροφορίες για διάφορους σημαντικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η τοπογραφία, το έδαφος, τα αποθέματα υγρασίας, οι ανθρώπινες δραστηριότητες, η συχνότητα πυρκαγιών κ.λπ., που στην πραγματικότητα δημιουργούν άπειρους συνδυασμούς.

Επομένως, η εκτίμηση της επίδρασης των διαφόρων παραγόντων είναι πρακτικά δύσκολη. Όμως, με την ανάπτυξη της επιστήμης της φυτοκοινωνιολογίας, επιχειρείται η ομαδοποίηση των παραγόντων αυτών και ο υπολογισμός της επίδρασής τους σε συνδυασμό με τα διάφορα φυτικά είδη που συμμετέχουν στη διαμόρφωση της βλάστησης. Όπως είναι λογικό, η κάθε έρευνα λειτουργεί υποχρεωτικά αφαιρετικά, αφού από το πλήθος των οικολογικών παραγόντων επιλέγει κανείς κάθε φορά μερικούς από αυτούς και τους μελετά σε σχέση με την επίδρασή τους στη φύση. Οι νέες τεχνολογίες δίνουν δυνατότητες εκτίμησης όλο και περισσότερων παραγόντων, όμως και πάλι ο αριθμός τους αφορά ελάχιστα σε σχέση με την πραγματικότητα, συνυπολογίζοντας βέβαια και το ποιοι παράγοντες διερευνώνται και σε ποιο βαθμό.

Η γνώση του βαθμού επίδρασης των διαφόρων παραγόντων του περιβάλλοντος στη διαμόρφωση της βλάστησης, και μάλιστα σε συνδυασμούς αυτών των παραγόντων, παρουσιάζει τεράστιο ενδιαφέρον, αφού η καταγραφή, χαρτογράφηση και αξιολόγησή τους μπορεί να βοηθήσει τους διαχειριστές των δασών να αποφύγουν λάθη κατά την ενάσκηση της εφαρμοσμένης δασοπονίας. Η βιολογική ισορροπία δεν είναι στατικό αλλά δυναμικό φαινόμενο, και η φύση αποτελεί ένα πεδίο συνεχούς αλλαγής φαινομένων και καταστάσεων, τις οποίες οι επιστήμονες πρέπει να παρακολουθούν ώστε να αποφεύγονται, για τον οικονομούντα άνθρωπο, ανεπιθύμητες μεταβολές. Καμιά στιγμή της φύσης δεν είναι όμοια με την προηγούμενη. Ακόμη, ο βαθμός στον οποίο ο άνθρωπος παράγοντας επηρεάζει τη φύση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να καθορίζει την άσκηση της οποιασδήποτε οικονομικής/αγροτικής πολιτικής, αναστέλλοντας λειτουργίες που δρουν αρνητικά για το περιβάλλον, όπως για παράδειγμα η υπερβόσκηση, που οδηγεί σε υποβάθμιση μεγάλες δασικές εκτάσεις.

Στην εργασία αυτήν επιχειρείται η μελέτη του τρόπου διαμόρφωσης της βλάστησης υπό την επίδραση του περιβάλλοντος, της συχνότητας των πυρκαγιών σε κάθε περιοχή και του βαθμού της ανθρώπινης παρουσίας και δραστηριότητας. Οι διάφοροι τύποι της βλάστησης και η εμφάνιση των πυρκαγιών αναλύθηκαν μέσω της χρήσης της γεωπληροφορικής τεχνολογίας (ψηφιακή επεξερ-

**Σχήμα 1.**

Οι δύο περιοχές μελέτης στη Χαλκιδική και το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους των χερσονήσων της Σιθωνίας και του Αγίου Όρους

γασία πολλών μεταβλητών στο χρόνο και στο χώρο), ειδικότερα με την εφαρμογή μοντέλων λογιστικής παλινδρόμησης σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ).

Η αναγκαιότητα συσχετίσεων και ανάλυσης περιγραφικών στατιστικών δεδομένων με αντίστοιχα χωρικά δεδομένα, καθώς επίσης και η αναγκαιότητα απόδοσης των δεδομένων και των πληροφοριών στη διάσταση του χώρου, καθιστούν τα ΣΓΠ ένα ευέλικτο και ισχυρό αναλυτικό εργαλείο. Τα πλεονεκτήματά με βάση τα οποία έγινε η επιλογή των ΣΓΠ ως εργαλείου γεωγραφικής ανάλυσης των επιδράσεων φωτιάς, ανθρώπου και περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης είναι οι δυνατότητες:

- εισαγωγής και ανάλυσης υπό ψηφιακή μορφή χωρικών και περιγραφικών δεδομένων·
- συσχέτισης και ανάλυσης περιφερειακών στατιστικών δεδομένων με αντίστοιχα χωρικά δεδομένα·
- ανάπτυξης μοντέλων για τη διαχείριση και επεξεργασία των δεδομένων·
- επεξεργασίας μεγάλου αριθμού δεδομένων, κάτι το οποίο με κλασικές μεθόδους πρακτικά είναι αδύνατο να ολοκληρωθεί·
- παρουσίασης των τελικών αποτελεσμάτων σε οποιαδήποτε κλίμακα και τύπο χαρτών.

2. Περιοχή μελέτης

Οι χερσονήσοι της Σιθωνίας και του Αγίου Όρους στη Χαλκιδική επιλέχθηκαν ως περιοχές μελέτης (Σχ. 1) διότι είναι παρόμοιου ανάγλυφου και ανήκουν στην ίδια κλιματική ζώνη, έτσι ώστε πολλοί παράγοντες του περιβάλλοντος να είναι ανάλογοι και τα αποτελέσματα να είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους. Παρ' όλες τις

οικολογικές ομοιότητες, το μεγαλύτερο μέρος της βλάστησης είναι τελείως διαφορετικό στις δύο χερσονήσους. Η Σιθωνία αποτελείται αποκλειστικά από αείφυλλα δάση (Κωνσταντινίδης 1990, Παυλίδης 1976), ενώ το Άγιο Όρος καλύπτεται κυρίως από φυλλοβόλα δένδρα (Γκανιάτσας 1963, Καρτέρης κ.ά. 1991). Επειδή οι δύο περιοχές την τελευταία χιλιετία εξελίσσονται κάτω από τελείως διαφορετικές κοινωνικοοικονομικές συνθήκες, θεωρήθηκε μια πολύ καλή ευκαιρία να γίνει η εκτίμηση του βαθμού επίδρασης τόσο των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων όσο και των φυσικογεωγραφικών χαρακτηριστικών στη διαμόρφωση της βλάστησής τους καθώς και τη χωρική κατανομή των πυρκαγιών.

Η Σιθωνία είναι η μεσαία από τις τρεις χερσονήσους της Χαλκιδικής. Ο πληθυσμός της ανέρχεται σε 17.672 κατοίκους, κατανεμημένους σχεδόν ομοιόμορφα σε ολόκληρη τη χερσόνησο (ΕΣΥΕ 2002). Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, οι παράκτιες περιοχές δέχονται περισσότερους από 300.000 επισκέπτες, γεγονός που οδηγεί σε ιδιαίτερα έντονη επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος.

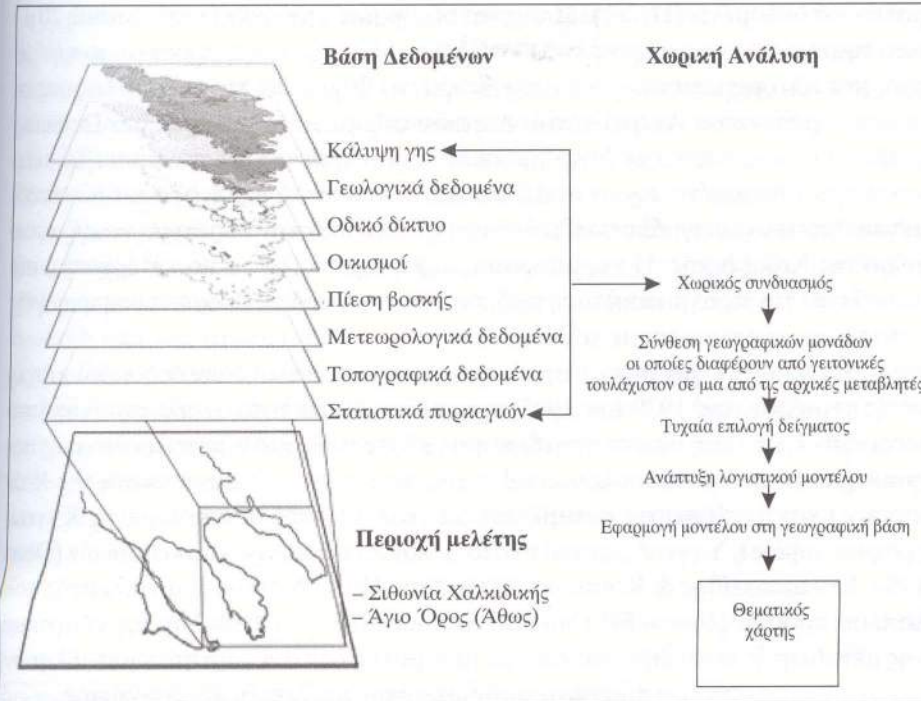
Γεωλογικά η χερσόνησος της Σιθωνίας ανήκει στη Σερβομακεδονική Μάζα και την Περιοδοπική Ζώνη (Μουντράκης 1985). Το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται από την έντονη πολυμορφία, με στενές και πλατιές κοιλάδες και χαράδρες, βραχώδεις απόκρημνες ακτές και ποικίλες κλίσεις. Ο Πολυέλαιος αποτελεί την υψηλότερη ορεινή κορυφή, με υψόμετρο 823 μ. Αξιόλογα ποτάμια συνεχούς ροής ή λίμνες δεν υπάρχουν. Στην ανατολική πλευρά της Σιθωνίας και σε ένα μεγάλο τμήμα του λοφώδους οροπεδίου τα πυριγενή πετρώματα δίνουν εδάφη όξινα, αβαθή, με μεγάλη ποσότητα λίθων και μικρή γονιμότητα. Στη δυτική πλευρά τα εδάφη προέρχονται από μαλακούς ασβεστόλιθους και είναι πλούσια σε βάσεις και ελεύθερα ανθρακικά. Το κλίμα είναι ευμεσογειακό, με ελαφρώς χαμηλότερες θερμοκρασίες πάνω από τα 600 μ. (μεσο-μεσογειακό). Σύμφωνα με το κατά Korpen (1936) σύστημα ταξινόμησης, η Σιθωνία ανήκει στους τύπους κλίματος Csa και Csb.

Η χερσόνησος του Αγίου Όρους αποτελεί την ανατολική χερσόνησο της Χαλκιδικής. Είναι περιοχή αραιοκατοικημένη, με διάσπαρτους 2.300 περίπου καλόγερους και λαϊκούς στις 20 μονές, που βρίσκονται περιμετρικά της χερσονήσου, και τις πολλές σκήτες (ΕΣΥΕ 2002).

Γεωλογικά η χερσόνησος του Αγίου Όρους ανήκει στο κρυσταλλοπαγές συγκρότημα της Ροδόπης. Το ανάγλυφο χαρακτηρίζεται ως ορεινό και ημιορεινό, ενώ η χερσόνησος στερείται αξιόλογων πεδιάδων. Στο νότιο τμήμα δεσπόζει η κορυφή του Άθωνα (2.033 μ.). Τα εδάφη ανήκουν στα ερυθρά και ορφνά παραμεσόγεια εδάφη στην περιοχή των αείφυλλων πλατύφυλλων, ενώ στη ζώνη των φυλλοβόλων πλατύφυλλων εμφανίζονται τυπικά ορφνά δασικά εδάφη περισσότερο ή λιγότερο εκπλυνόμενα. Το κλίμα στη χαμηλότερη ζώνη είναι ευμεσογειακό και μεσο-μεσογειακό στη ζώνη των αείφυλλων, εξασθενημένο ύψυγρο μεσογειακό στη ζώνη των φυλλοβόλων, και ορεινό μεσογειακό ή μεταβατικό προς το ηπειρωτικό στην ορεινή ζώνη του Άθωνα.

3. Μεθοδολογία

Για το γεωγραφικό χώρο των χερσονήσων Σιθωνίας και Άθωνος στη Χαλκιδική δημιουργήθηκε με τη χρήση των λογισμικών ARC/INFO και ARC/VIEW ένα σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών το οποίο αποτελείται από περιβαλλοντικές συνιστώσες του χώρου, όπως τοπογραφία, γεωλογία, βλαστητικά και με-



Σχήμα 2.
Διαγραμματική παρουσίαση της μεθοδολογίας

τεωρολογικά δεδομένα, κατηγορίες κάλυψης γης και ανθρώπινες δραστηριότητες (Σχ. 2). Η χωρικά δομημένη βάση γεωγραφικών δεδομένων στο ΣΓΠ έδωσε τη δυνατότητα μελέτης και ποσοτικής ανάλυσης σημαντικών στατιστικά συσχετίσεων (Σχ. 2).

3.1. Λογιστική παλινδρόμηση

Η προσέγγιση της λογιστικής παλινδρόμησης χρησιμοποιήθηκε ως η πλέον κατάλληλη μέθοδος ανάλυσης δεδομένων για την εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης ενός γεγονότος, σε περιπτώσεις δηλαδή που η εξαρτημένη μεταβλητή εκφράζεται με δυαδικό τρόπο – ήτοι δέχεται μόνο δύο τιμές (Bachmann & Allgower 1998, Hosmer & Lemeshow 1989, Καλαμποκίδης & Κούτσιας 2000, Schoning et al. 1997, Vasconcelos et al. 2001). Το λογιστικό μοντέλο συσχέτισης περιγράφεται από την εξίσωση (Mendehall & Sincich 1996, Sharma 1996):

$$f(z) = \frac{1}{1 + e^{-(b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k)}} \quad (1)$$

όπου X_k = ποιοτικές ή ποσοτικές ανεξάρτητες μεταβλητές και b_k = εκτιμώμενοι συντελεστές.

Στην παρούσα εργασία δημιουργήθηκε βάση γεωγραφικών δεδομένων προερχόμενη από ψηφιοποιήσεις αναλογικών χαρτών (κλίμακας από 1:200000 έως 1:50000 από ΓΓΜΕ, ΓΥΣ και ΕΣΥΕ), διόρθωση και κατηγοριοποίηση χαρακτηριστικών. Κάθε θεματικό επίπεδο λαμβάνεται ως ανεξάρτητη ή επεξηγηματική μεταβλητή. Πολυμεταβλητές αναλύσεις έγιναν με εξαρτημένη μεταβλητή την εμφάνιση πυρκαγιάς και τον τύπο της βλάστησης σε κάθε χερσόνησο. Επίσης, έγινε ένας διαχωρισμός των μεταβλητών σε συνεχείς και κατηγορικές.

Ως συνεχείς μεταβλητές ορίστηκαν το υψόμετρο, η έκθεση και τα μετεω-

ρολογικά δεδομένα (Πίν. 1). Η ψηφιοποίηση των ισοϋψών (ισοδιάσταση 20 μ.) από τοπογραφικούς χάρτες της ΓΥΣ έδωσε στοιχεία αναφορικά με το υψόμετρο, και από τις ισοϋψείς δημιουργήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους σε μορφή Τριγωνικού Ακανόνιστου Δικτύου σύμφωνα με το κριτήριο Delaunay (ESRI 1997) και έπειτα με διγραμμική παρεμβολή σε μορφή κανάβου. Τα μετεωρολογικά δεδομένα έχουν προέλθει από στατιστική επεξεργασία των δεδομένων 5 μετεωρολογικών σταθμών που βρίσκονται στον ευρύτερο γεωγραφικό χώρο της Χαλκιδικής. Η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία εισέρχονται στο μοντέλο με την πραγματική τους τιμή, ενώ όσον αφορά τη βροχόπτωση η τιμή της μεταβάλλεται σύμφωνα με τον Πίν. 1.

Ενδεικτικά, για τη χαρτογράφηση των μετεωρολογικών δεδομένων (χρονικής περιόδου από 1970 έως 1995) χρησιμοποιήθηκε η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση με εξαρτημένη μεταβλητή τις μέσες τιμές κάθε μετεωρολογικής παραμέτρου (από 5 μετεωρολογικούς σταθμούς στην ευρύτερη περιοχή της Χαλκιδικής) και ανεξάρτητες μεταβλητές τις γεωγραφικές συντεταγμένες X (γεωγραφικό μήκος), Y (γεωγραφικό πλάτος), και Z (υψόμετρο) των σταθμών (Dean 1994, Καλαμποκίδης & Κούτσιας 2000). Στον Πίν. 2 δίδεται ο συντελεστής πολλαπλού προσδιορισμού R² (δηλαδή το ποσοστό της μεταβολής της εξαρτημένης μεταβλητής που εξηγείται από τις μεταβολές των ανεξάρτητων μεταβλητών) για κάθε ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στην πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση των μετεωρολογικών δεδομένων. Το μεγαλύτερο μέρος της μεταβολής των μετεωρολογικών παραμέτρων εξηγείται απόλυτα από τις συγκεκριμένες εξισώσεις παλινδρόμησης με τις γεωγραφικές συντεταγμένες των σταθμών (Πίν. 2), όμως ο βαθμός αξιοπιστίας της μεθόδου επηρεάζεται σαφώς αφενός από την πολυπλοκότητα του κλίματος και αφετέρου από την ισχύ των υποθέσεων της στατιστικής ανάλυσης των μετεωρολογικών δεδομένων (Σιάρδος 2000). Τελικά, ως ανεξάρτητη μεταβλητή στο λογιστικό μοντέλο λαμβάνεται η συνεχής τιμή της κάθε μετεωρολογικής παραμέτρου αναλυμένη στο χώρο.

Πίνακας 1.
Συνεχείς μεταβλητές

Περιγραφή μεταβλητής	Πηγή	Τιμή μεταβλητής	Υπόμνημα
Έκθεση	Ψηφιακό μοντέλο εδάφους	0 90 180 270	0°-45° & 315°-360° 45° - 135° 135° - 225° 225° - 315°
Υψόμετρο	Ψηφιοποίηση ισοϋψών 20 μ. από χάρτες ΓΥΣ (κλίμακα 1:50000, εκδ. 1969)	100 300 500 ...	0 - 200 200 - 400 400 - 600 ...
Βροχόπτωση (καλοκαίρι, Ιούλιος, Αύγουστος)	Δεδομένα 5 μετεωρολογικών σταθμών της ευρύτερης περιοχής (1970-1995)	0 25 50 ...	0 - 12,5 mm 12,5 - 37,5 mm 37,5 - 62,5 mm ...
Βροχόπτωση (ετήσια)		... 500 525 550 ...	... 500 - 512,5 mm 512,5 - 537,5 mm 537,5 - 562,5 mm ...

Πίνακας 2.

Αποτελέσματα στατιστικού μεγέθους R² (συντελεστής πολλαπλού προσδιορισμού) πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης των μετεωρολογικών δεδομένων

Μεταβλητή	R ²
Σχετική Υγρασία - καλοκαίρι	0,997
Σχετική Υγρασία - Ιούλιος	1,000
Σχετική Υγρασία - Αύγουστος	0,969
Σχετική Υγρασία - ετήσια	0,990
Βροχόπτωση - καλοκαίρι	0,984
Βροχόπτωση - Ιούλιος	0,851
Βροχόπτωση - Αύγουστος	0,996
Βροχόπτωση - ετήσια	0,995
Θερμοκρασία - καλοκαίρι	0,998
Θερμοκρασία - Ιούλιος	0,998
Θερμοκρασία - Αύγουστος	0,996
Θερμοκρασία - ετήσια	0,985
Θερμοκρασία Μέγιστη - καλοκαίρι	0,999
Θερμοκρασία Μέγιστη - Ιούλιος	0,999
Θερμοκρασία Μέγιστη - Αύγουστος	0,999
Θερμοκρασία Μέγιστη - ετήσια	1,000
Θερμοκρασία Ελάχιστη - ετήσια	0,713

Για την εισαγωγή των κατηγορικών μεταβλητών στις αναλύσεις καθώς και ορισμένων συνεχών μεταβλητών, δημιουργήθηκαν ψευδο-μεταβλητές (dummy variables) και αποδόθηκε δυαδική τιμή κατηγοριοποίησης (Πίν. 3). Χαρακτηριστικά, δημιουργήθηκαν 3 ψευδο-μεταβλητές προκειμένου να μελετηθεί η γεωλογία των δύο χερσονήσων. Ας σημειωθεί ότι το είδος των πετρωμάτων λαμβάνεται ως ανεξάρτητη μεταβλητή (πέτρωμα 1, πέτρωμα 2, πέτρωμα 3).

Το υδρογραφικό δίκτυο (Πίν. 3) προήλθε από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) (Loesch 2000) και κατηγοριοποιήθηκε με το κριτήριο του Shreve (1967), σύμφωνα με το οποίο, όταν δύο ρέματα διασταυρώνονται, οι τάξεις τους προστίθενται και το άθροισμα αποδίδεται ως τάξη στο νέο ρέμα που δημιουργείται. Για την ανάλυση των στοιχείων επιλέχθηκε μόνο το δίκτυο με τάξη ίση ή μεγαλύτερη από 3. Η μέθοδος αυτή έχει ως πλεονέκτημα την ακρίβεια και την κατηγοριοποίηση του δικτύου καθώς και τη συμβατότητά του με το ΨΜΕ, ενώ τα δύο κύρια μειονεκτήματά της είναι: α) η δημιουργία δυνητικού και όχι πραγματικού υδρογραφικού δικτύου, και β) η αδυναμία δημιουργίας δικτύου σε επίπεδες επιφάνειες.

Πίνακας 3.
Κατηγορικές μεταβλητές

Περιγραφή μεταβλητής	Πηγή	Τιμή μεταβλητής	Υπόμνημα
Απόσταση από οδικό δίκτυο	Τοπογραφικός χάρτης ΓΥΣ (κλίμακα 1:50000, έκδ. 1969) & επικαιροποίηση	1	0 - 300 m
		0	> 300 m
Απόσταση από οικισμούς	Τοπογραφικός χάρτης ΓΥΣ (κλίμακα 1:50000, έκδ. 1969) & επικαιροποίηση	1	0 - 300 m
		0	> 300 m
Απόσταση από στάβλους*	Επιτόπιες επισκέψεις & αεροφωτογραφίες	1	0 - 300 m
		0	> 300 m
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	Εφαρμογή υδρολογικού μοντέλου στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους	1	0 - 300 m
		0	> 300 m
Τοπογραφική κλίση	Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους	1	0 - 30 %
		0	> 30 %
Γεωλογία	Γεωλογικοί χάρτες ΙΓΜΕ (κλίμακα 1:50000, έκδ. 1978)	1	Ιζηματογενή πετρώματα
		2	Μετα-ιζηματογενή πετρώματα
		3	Εκρηξιγενή πετρώματα
Κάλυψη/ Χρήσεις γης	Δασικός χάρτης εδαφοκάλυψης Δασικής Υπηρεσίας (κλίμακα 1:200000, έκδ. 1991 & επικαιροποίηση)	1	Δάση ελάτης
		3	Δάση μαύρης πεύκης
		4	Δάση χαλεπίου πεύκης
		5	Δάση δρυός & μικτά (με οξιδιά-μαύρη πεύκη-καστανιά)
		6	Δάση καστανιάς & μικτά (με οξιδιά-ελάτη)
		8	Θαμνώνες αείφυλλων πλατύφυλλων
		9	Βοσκότοποι
		10	Γεωργικές καλλιέργειες
		11	Άγονα εδάφη
Φωτιά	Χαρτογράφηση ιστορικών δεδομένων πυρκαγιών από Δασαρχεία Πολυγύρου & Αρναίας (περίοδος 1985-1997)	1	Καμένες εκτάσεις
		0	Άκαυτες εκτάσεις

* Η πληροφορία αυτή λαμβάνεται μόνο για τη Σιθωνία, όπου υπάρχει εκτεταμένη βόσκηση.

Με βάση τα αρχεία των σχετικών βιβλίων συμβάντων των Δασαρχείων Πολυγύρου και Αρναίας (για την περίοδο 1985 έως 1997) υπολογίστηκε, από την καμένη έκταση κάθε πυρκαγιάς, αντίστοιχη ακτίνα κύκλου που να αναλογεί στην παραπάνω έκταση, και χαρτογραφήθηκε κυκλική ζώνη εξάπλωσης και επίδρασης της φωτιάς γύρω από τις καταγεγραμμένες συντεταγμένες του σημείου έναρξης.

4. Αποτελέσματα

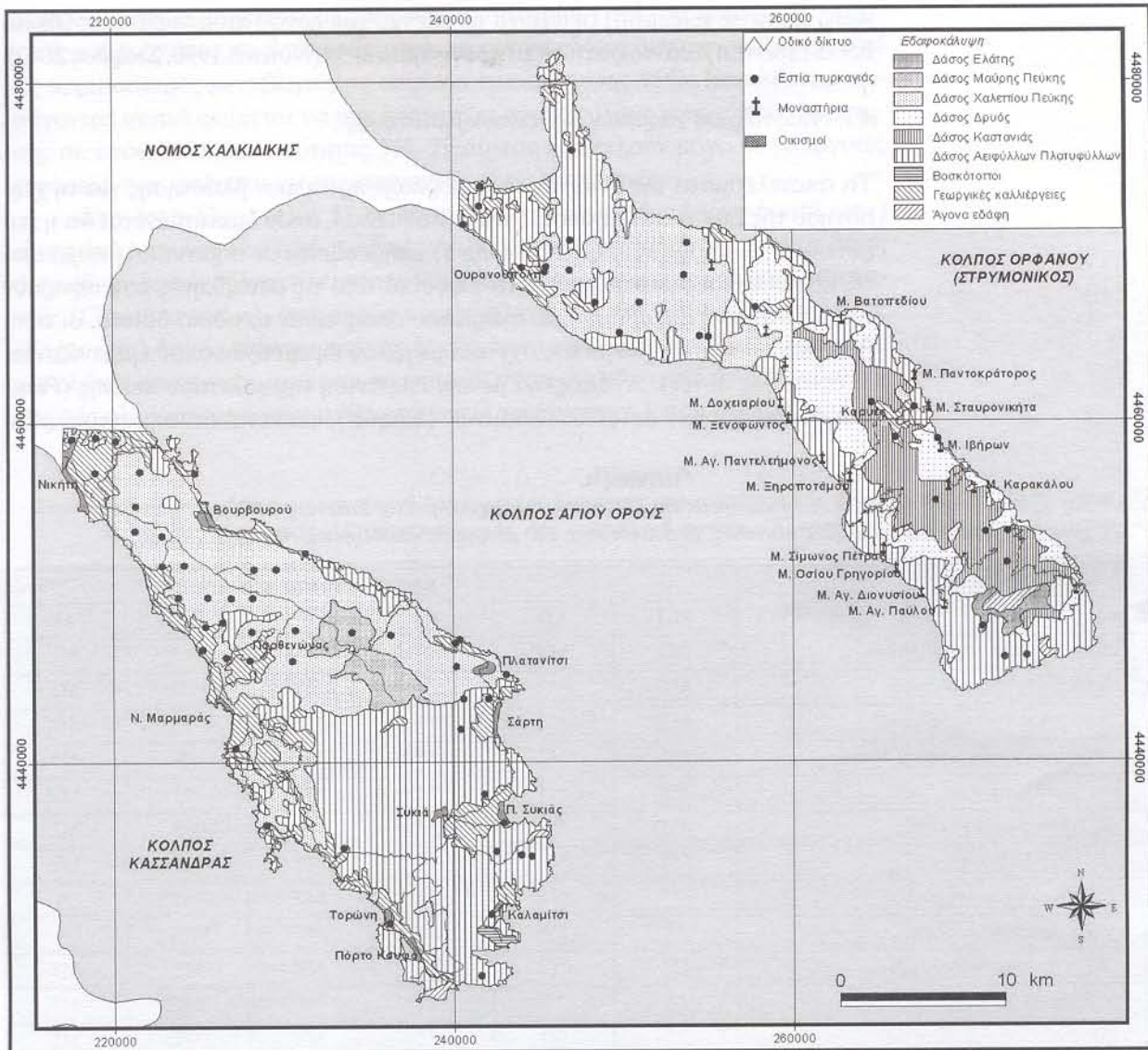
Οι παραπάνω μεταβλητές (27 επίπεδα πληροφοριών) που συνιστούν τη βάση δεδομένων και βρίσκονται χαρτογραφημένες σε μορφή πολυγώνων συνδυάστηκαν χωρικά για τη δημιουργία ενός και μόνου επιπέδου. Μετά τις τελικές κατηγοριοποιήσεις, τα επίπεδα αυτά συνδυάζονται σε μία χωρικά δομημένη βάση γεωγραφικών δεδομένων από όπου εξάγεται δείγμα για περαιτέρω στατιστική ανάλυση σύμφωνα με το Σχ. 2.

Με τον τρόπο αυτόν έχουμε τη δυνατότητα να προβούμε σε μελέτη και στατιστική ανάλυση των σημαντικών συσχετίσεων μεταξύ των σημείων έναρξης και εξάπλωσης της φωτιάς και των περιβαλλοντικών και ανθρωπογενών μεταβλητών (Σχ. 3). Στην ανάπτυξη ενός λογιστικού μοντέλου ερμηνείας της χωρικής εμφάνισης πυρκαγιών λαμβάνουμε ως εξαρτημένη μεταβλητή τις καμένες εκτάσεις. Κάθε γεωγραφική μονάδα δημιουργήθηκε από χωρικό συνδυασμό (τοπολογική επίθεση) μέσω του λογισμικού ARC/INFO, αντιστοιχεί σε περιοχή που κάηκε τουλάχιστον μία φορά τη χρονική περίοδο 1985-1997 και κωδικοποιήθηκε με την τιμή 1, ενώ αυτές που αντιστοιχούν σε μη καμένες εκτάσεις με την τιμή 0 (δηλαδή καμένο και μη καμένο). Οι πυρκαγιές που χαρτογραφήθηκαν κατά την παραπάνω περίοδο στο Άγιο Όρος και τη Σιθωνία είναι 28 και 46, αντίστοιχα.

Επιπλέον, προκειμένου να καθοριστούν οι παράγοντες που συνέβαλαν στη σύνθεση της βλάστησης, αναπτύχθηκε για κάθε τύπο βλάστησης διαφορετικό βλαστητικό πρότυπο και η παρουσία κάθε τύπου βλάστησης κωδικοποιήθηκε με την τιμή 1, ενώ η υπόλοιπη περιοχή (όπου απουσιάζει η συγκεκριμένη βλάστηση) με την τιμή 0.

Η στατιστική ανάλυση σε κλίμακα τοπίου των βλαστητικών ψηφιακών δεδομένων με ορισμένους από τους βασικότερους παράγοντες που τα διαμόρφωσαν συμβάλλει στον υπολογισμό του βαθμού και του μεγέθους επίδρασης των παραγόντων αυτών στη βλάστηση των περιοχών μελέτης. Έτσι, αναπτύχθηκαν έξι (6) διαφορετικά στατιστικά μοντέλα επίδρασης για τη Σιθωνία και επτά (7) στατιστικά μοντέλα επίδρασης για τον Άθωνα, προκειμένου να διευκρινιστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν την ύπαρξη ή την απουσία των συγκεκριμένων τύπων βλάστησης. Η μέθοδος αυτή βασίστηκε στην υπόθεση ότι η κατανομή των δασικών τύπων βλάστησης στην περιοχή μελέτης (σε συγκρίσιμες χρονικές περιόδους διερεύνησης των φαινομένων) είναι αντιπροσωπευτική της αλληλεπίδρασης της βλάστησης με τους περιβαλλοντικούς και ανθρώπινους παράγοντες που εξετάζονται στη συγκεκριμένη έρευνα (Felicitissimo et al. 2002).

Για την ανάλυση της εμφάνισης των πυρκαγιών δημιουργήθηκαν επτά (7) μοντέλα, διαφορετικά για κάθε χερσόνησο. Το μοντέλο 1 δημιουργήθηκε για να μελετήσει το βαθμό που επιδρά ο ανθρώπινος παράγοντας στην εμφάνιση της πυρκαγιάς, λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες που σχετίζονται με τη γειτ-



νίαση στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Η γεωμορφολογία περιγράφεται στο μοντέλο 2, ενώ στο μοντέλο 3 περιλαμβάνονται μόνο τα μετεωρολογικά στοιχεία. Το μοντέλο 4 αποτελούν μόνο οι ψευδο-μεταβλητές που αναπαράχθηκαν από τους υπάρχοντες τύπους βλάστησης με κωδικοποίηση απόκλισης (deviation coding scheme) στο στατιστικό πρόγραμμα SPSS (Norusis 1990). Η συγκεκριμένη κωδικοποίηση βοηθά σημαντικά στο να καθοριστεί ο βαθμός στον οποίο κάθε δασικός τύπος επιδρά στην εμφάνιση πυρκαγιάς, σε σύγκριση με την παραδοχή της μέσης επίδρασης όλων των δασικών τύπων.

Στο μοντέλο 5 περιλαμβάνονται όλες οι μεταβλητές, ενώ το μοντέλο 6 αποτελείται από 12 επιλεγμένες μεταβλητές για τη Σιθωνία και 11 επιλεγμένες μεταβλητές για το Άγιο Όρος. Η επιλογή των μεταβλητών αυτών έγινε υποκειμενικά, με βάση την επίδραση εκείνων των περιβαλλοντικών και ανθρωπογενών παραγόντων που συμβάλλουν στην εμφάνιση πυρκαγιάς και στις δύο χερσονήσους. Για τα μοντέλα 1 έως 6, όλες οι ανεξάρτητες μεταβλητές εισήχθησαν ταυτόχρονα ως δέσμη στην εξίσωση παλινδρόμησης σε ένα στάδιο, ενώ στο μοντέλο 7 πραγματοποιήθηκε προοδευτική κατά στάδια επιλογή των μεταβλητών (for-

Σχήμα 3.

Χάρτης εμφάνισης δασικών πυρκαγιών στις χερσονήσους της Σιθωνίας και του Αγίου Όρους στη Χαλκιδική, σε σχέση με φυσικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά

ward stepwise selection) σύμφωνα με έλεγχο του λόγου πιθανοφάνειας (likelihood-ratio test) από το στατιστικό πρόγραμμα SPSS (Norusis 1990, Σιάρδος 2000).

4.1. Αναγνώριση χωρικών προτύπων βλάστησης

Τα αποτελέσματα της αναγνώρισης χωρικών προτύπων βλάστησης για τη χερσόνησο της Σιθωνίας παρουσιάζονται στον Πίν. 4, όπου διαπιστώνεται ότι η παρουσία της μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*) επηρεάζεται σε σημαντικό βαθμό από τις περισσότερες μεταβλητές, εκτός φυσικά από τις μεταβλητές που αφορούν την υφιστάμενη επέμβαση του ανθρώπου όπως είναι το οδικό δίκτυο, οι οικισμοί και οι στάβλοι (λόγω του σχετικά μεγάλου υψομέτρου όπου εμφανίζονται οι συστάδες αυτές). Αναφορικά με την εμφάνιση της χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*) και των αειφύλλων θάμνων (maquis), φαίνεται ότι σημαντικό ρόλο

Πίνακας 4.

Στατιστική σημαντικότητα για την πιθανή κατανομή της βλάστησης στη χερσόνησο της Σιθωνίας (ΜΠ: μαύρη πεύκη, ΧΠ: χαλέπιος πεύκη, ΑΘ: αειφύλλοι θαμνώνες, Β: βοσκότοποι, ΓΚ: γεωργικές καλλιέργειες, ΑΕ: άγονα εδάφη)

Μεταβλητές	Τύποι βλάστησης					
	ΜΠ	ΧΠ	ΑΘ	Β	ΓΚ	ΑΕ
Απόσταση από οδικό δίκτυο	ΜΣ	ΜΣ	***	*	***	ΜΣ
Απόσταση από οικισμούς	ΜΣ	***	***	ΜΣ	***	ΜΣ
Απόσταση από στάβλους	ΜΣ	***	***	ΜΣ	***	ΜΣ
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	***	***	***	ΜΣ	*	***
Υψόμετρο	***	***	***	ΜΣ	***	ΜΣ
Τοπογραφική κλίση	***	***	***	*	***	ΜΣ
Έκθεση	***	***	*	ΜΣ	***	ΜΣ
Σχ. υγρασία καλοκαιριού	***	***	***	ΜΣ	ΜΣ	*
Σχ. υγρασία Ιουλίου	**	***	ΜΣ	***	ΜΣ	*
Σχ. υγρασία Αυγούστου	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ετήσια σχ. υγρασία	**	**	ΜΣ	**	ΜΣ	***
Βροχόπτωση καλοκαιριού	**	***	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Βροχόπτωση Ιουλίου	***	ΜΣ	***	ΜΣ	***	ΜΣ
Βροχόπτωση Αυγούστου	***	***	***	ΜΣ	***	ΜΣ
Ετήσια βροχόπτωση	***	***	***	***	***	***
Θερμοκρασία καλοκαιριού	***	***	***	**	ΜΣ	***
Θερμοκρασία Ιουλίου	***	***	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Θερμοκρασία Αυγούστου	***	***	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Ετήσια θερμοκρασία	***	***	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Μέγιστη θερμοκρασία καλοκαιριού	***	***	***	**	ΜΣ	ΜΣ
Μέγιστη θερμοκρασία Ιουλίου	***	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	*
Μέγιστη θερμοκρασία Αυγούστου	***	***	ΜΣ	ΜΣ	***	ΜΣ
Μέγιστη ετήσια θερμοκρασία	***	*	***	ΜΣ	***	ΜΣ
Ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία	ΜΣ	***	***	***	***	***
Γεωλογία	***	***	***	ΜΣ	***	***
Φωτιά	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	***	ΜΣ
Ακρίβεια ταξινόμησης (%)	94,3	75,5	80,0	95,2	80,0	95,7

*, 0,01 < p ≤ 0,05, **, 0,001 < p ≤ 0,01, ***, 0,000 ≤ p ≤ 0,001, ΜΣ: p > 0,05 (μη σημαντική)

διαδραματίζει το μεγαλύτερο μέρος των μεταβλητών, εκτός της φωτιάς. Οι γεωργικές καλλιέργειες, τα βοσκοτόπια και τα άγρονα εδάφη δεν επηρεάζονται από τις περισσότερες μεταβλητές, σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Επιπλέον, ο παράγοντας φωτιά φαίνεται να μην επηρεάζει σχεδόν όλους τους τύπους βλάστησης σε επίπεδο σημαντικότητας 5%. Εξαίρεση αποτελούν μόνο οι γεωργικές εκτάσεις, που φαίνεται να επεκτείνονται με τις πυρκαγιές.

Στο Άγιο Όρος (Πίν. 5), οι δασικές εκτάσεις ελάτης (*Abies borisii regis*) εξαρτώνται σημαντικά από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες, ενώ τα δάση θερμοβίων δρυών (*Quercus conferta* και *Quercus pubescens*) και τα δάση καστανιάς (*Castanea sativa*), στα οποία περιλαμβάνονται και τα μικτά δάση οξιάς (*Fagus spp.*)-δρυός, μαύρης πεύκης-δρυός, καστανιάς-δρυός, οξυάς-καστανιάς και ελάτης-καστανιάς, φαίνεται να επηρεάζονται όχι μόνο από τους περιβαλλοντικούς αλλά και από τους ανθρωπογενείς παράγοντες. Επιπρόσθετα, από τις

Πίνακας 5.

Στατιστική σημαντικότητα για την πιθανή κατανομή της βλάστησης στη χερσόνησο του Αγίου Όρους (ΔΕ: δάση ελάτης, ΧΠ: χαλέπιος πεύκη, ΔΔ: δάση δρυός, ΔΚ: δάση καστανιάς, ΑΘ: αείφυλλοι θαμνώνες, ΓΚ: γεωργικές καλλιέργειες, ΑΕ: άγρονα εδάφη)

Μεταβλητές	Τύποι βλάστησης						
	ΔΕ	ΧΠ	ΔΔ	ΔΚ	ΑΘ	ΓΚ	ΑΕ
Απόσταση από οδικό δίκτυο	ΜΣ	***	ΜΣ	***	***	***	ΜΣ
Απόσταση από οικισμούς	ΜΣ	***	***	***	*	*	ΜΣ
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	ΜΣ	***	***	***	***	**	ΜΣ
Υψόμετρο	**	***	***	**	***	***	ΜΣ
Τοπογραφική κλίση	**	***	***	***	***	***	ΜΣ
Έκθεση	ΜΣ	***	***	***	***	ΜΣ	***
Σχ. υγρασία καλοκαιριού	ΜΣ	***	***	***	***	**	ΜΣ
Σχ. υγρασία Ιουλίου	ΜΣ	ΜΣ	***	***	***	ΜΣ	ΜΣ
Σχ. υγρασία Αυγούστου	*	***	***	***	***	ΜΣ	***
Ετήσια σχ. υγρασία	**	***	ΜΣ	*	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
Βροχόπτωση καλοκαιριού	ΜΣ	***	ΜΣ	***	***	***	ΜΣ
Βροχόπτωση Ιουλίου	ΜΣ	ΜΣ	***	***	***	**	*
Βροχόπτωση Αυγούστου	ΜΣ	***	***	*	***	***	***
Ετήσια βροχόπτωση	***	***	***	***	***	*	***
Θερμοκρασία καλοκαιριού	*	***	***	***	***	*	ΜΣ
Θερμοκρασία Ιουλίου	ΜΣ	***	***	***	*	ΜΣ	ΜΣ
Θερμοκρασία Αυγούστου	ΜΣ	*	ΜΣ	***	**	ΜΣ	***
Ετήσια θερμοκρασία	ΜΣ	ΜΣ	***	ΜΣ	***	***	ΜΣ
Μέγιστη θερμοκρασία καλοκαιριού	*	*	***	***	***	ΜΣ	*
Μέγιστη θερμοκρασία Ιουλίου	ΜΣ	***	***	***	**	ΜΣ	ΜΣ
Μέγιστη θερμοκρασία Αυγούστου	*	ΜΣ	***	***	***	ΜΣ	ΜΣ
Μέγιστη ετήσια θερμοκρασία	***	***	***	***	***	**	***
Ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία	***	***	***	***	***	ΜΣ	***
Γεωλογία	***	***	***	***	***	***	***
Φωτιά	*	***	***	***	***	***	ΜΣ
Ακρίβεια ταξινόμησης (%)	96,6	85,3	66,4	79,4	67,3	77,6	89,3

*: 0,01 < p ≤ 0,05, **: 0,001 < p ≤ 0,01, ***: 0,000 ≤ p ≤ 0,001, ΜΣ: p > 0,05 (μη σημαντική)

περισσότερες μεταβλητές φαίνεται να επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό η χαλέπιος πεύκη και οι αείφυλλοι θάμνοι. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι γεωργικές καλλιέργειες επηρεάζονται από τους ανθρώπους και τις διάφορες δραστηριότητές τους. Ας σημειωθεί ότι η εμφάνιση πυρκαγιάς στην περιοχή του Αγίου Όρους επιφέρει έντονες επιδράσεις τόσο στην ύπαρξη όσο και στο βαθμό εξάπλωσης όλων των βλαστητικών τύπων της περιοχής.

Τα ποσοστά ακρίβειας όλων των λογιστικών αλγορίθμων βλάστησης, που κυμαίνονται από 75,5% έως 95,7% για τη Σιθωνία (Πίν. 4) και από 66,4% μέχρι 96,6% για το Άγιο Όρος (Πίν. 5), δείχνουν ότι τα μοντέλα παρουσίασαν ικανοποιητική απόδοση στην εκτίμηση της εξαρτημένης μεταβλητής, δηλαδή έχουν γίνει κατά πλειοψηφία ορθές ταξινομήσεις της υπάρχουσας βλάστησης.

4.2. Χωρικά πρότυπα εμφάνισης πυρκαγιάς

Η εγγύτητα προς το οδικό δίκτυο συμβάλλει σημαντικά στην εμφάνιση πυρκαγιάς και στις δύο χερσονήσους της Χαλκιδικής, όπως φαίνεται στο Μοντέλο 1 του Πίν. 6. Η γειτνίαση με οικισμούς και στάβλους, δύο ακόμη μεταβλητές ανθρώπινης παρέμβασης, φαίνεται να μην έχει σημαντική επιρροή στην εμφάνιση των πυρκαγιών. Με βάση το Μοντέλο 2 του Πίν. 6, η γεωμορφολογία επηρεάζει σημαντικά την εμφάνιση της φωτιάς στο ανάγλυφο έδαφος που εμφανίζει η Χαλκιδική, καθώς υψόμετρο, τοπογραφική κλίση, έκθεση και υδρογραφικό δίκτυο αποτελούν κρίσιμες μεταβλητές σε επίπεδο σημαντικότητας 5%.

Η σχέση της πυρκαγιάς με τους κλιματολογικούς παράγοντες είναι μεγάλη, και ιδιαίτερα με τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία και τη βροχόπτωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Όλοι οι μέσοι όροι και τα μέγιστα-ελάχιστα των μετεωρολογικών δεδομένων διαπιστώνεται ότι επιδρούν σημαντικά στην εμφάνιση της πυρκαγιάς τόσο στη Σιθωνία όσο και στο Άγιο Όρος (Πίν. 6, Μοντέλο 3).

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων του Μοντέλου 4 (Πίν. 6) επιβεβαιώνει ότι η επίδραση όλων των τύπων βλάστησης είναι πολύ σημαντική στην εμφάνιση πυρκαγιάς, με κάθε κατηγορία βλάστησης (όπως ελάτη, δρυ, καστανιά, θαμνώνες, χαλέπιο πεύκη και μαύρη πεύκη) να είναι σημαντική σε στατιστικό επίπεδο 5%, σε σύγκριση με τη μέση επίδραση όλων των υπολοίπων και στις δύο υπό μελέτη χερσονήσους. Μόνο στις γεωργικές και χορτολιβαδικές εκτάσεις της Σιθωνίας δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά σε επίπεδο 95% ανάμεσα σε καμένες και μη καμένες εκτάσεις. Επιπλέον, και τα τέσσερα μοντέλα του Πίν. 6 παρουσιάζουν μέτρια ακρίβεια ταξινόμησης, καθώς τα συνολικά ποσοστά τους κυμαίνονται από 51,8% έως 69,8%.

Στο Μοντέλο 5 (Πίν. 7), όπου λαμβάνονται υπόψη όλες οι μεταβλητές, παρουσιάζεται μία πλήρης εικόνα των βιοφυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων που δυνητικά επηρεάζουν την εμφάνιση των πυρκαγιών και στις δύο χερσονήσους της Χαλκιδικής. Η παρουσία του ανθρώπου και οι δραστηριότητες που σχετίζονται με αυτόν είναι στατιστικά σημαντικοί παράγοντες μόνο για τη χερσόνησο του Αγίου Όρους. Η γεωμορφολογία επιδρά στατιστικά σημαντικά και στις δύο περιοχές μελέτης, ενώ υπάρχουν ορισμένες διαφορές στις μετεωρολογικές παραμέτρους. Πιο συγκεκριμένα, η σχετική υγρασία το καλοκαίρι δεν έχει έντονη σχέση με την εμφάνιση δασικής πυρκαγιάς σε καμία από τις δύο χερσονήσους. Από την άλλη, είναι έντονη η σχέση της βροχόπτωσης με την εμφάνιση ή μη της πυρκαγιάς στη χερσόνησο του Αγίου Όρους αλλά και στη Σιθωνία (κυρίως το ετήσιο ύψος βροχής), και χαλαρότερη παρουσιάζεται

η σχέση των πυρκαγιών με τη βροχόπτωση καλοκαιριού και Αυγούστου στη χερσόνησο της Σιθωνίας.

Μεταξύ των δύο χερσονήσων παρατηρείται κάποια μεταβλητότητα σχετικά με την επίδραση της θερμοκρασίας στην εμφάνιση πυρκαγιάς, καθώς η κάθε χερσόνησος επηρεάζεται από διαφορετικές μεταβλητές θερμοκρασίας. Πά-

Πίνακας 6.

Στατιστική σημαντικότητα από τα μοντέλα εμφάνισης πυρκαγιών 1 έως 4 στις χερσονήσους της Σιθωνίας και του Αγίου Όρους στη Χαλκιδική

Μεταβλητές	Άνθρωπος (Μοντέλο 1)		Γεωμορφολογία (Μοντέλο 2)		Κλίμα (Μοντέλο 3)		Βλάστηση (Μοντέλο 4)	
	Σιθωνία	Άθως	Σιθωνία	Άθως	Σιθωνία	Άθως	Σιθωνία	Άθως
Απόσταση από οδικό δίκτυο	***	***						
Απόσταση από οικισμούς	ΜΣ	***						
Απόσταση από στάβλους	ΜΣ							
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο			***	***				
Υψόμετρο			***	***				
Τοπογραφική κλίση			**	***				
Έκθεση			***	***				
Σχ. υγρασία καλοκαιριού					*	**		
Σχ. υγρασία Ιουλίου					**	***		
Σχ. υγρασία Αυγούστου					***	***		
Ετήσια σχ. υγρασία					***	**		
Βροχόπτωση καλοκαιριού					***	***		
Βροχόπτωση Ιουλίου					ΜΣ	***		
Βροχόπτωση Αυγούστου					***	***		
Ετήσια βροχόπτωση					***	***		
Θερμοκρασία καλοκαιριού					***	**		
Θερμοκρασία Ιουλίου					***	ΜΣ		
Θερμοκρασία Αυγούστου					***	ΜΣ		
Ετήσια θερμοκρασία					***	ΜΣ		
Μέγιστη θερμοκρασία καλοκαιριού					ΜΣ	***		
Μέγιστη θερμοκρασία Ιουλίου					***	ΜΣ		
Μέγιστη θερμοκρασία Αυγούστου					ΜΣ	***		
Μέγιστη ετήσια θερμοκρασία					ΜΣ	ΜΣ		
Ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία					***	***		
Κάλυψη γης							***	***
Ελάτη								***
Μαύρη πεύκη							***	
Χαλέπιος πεύκη							*	***
Δρυς								*
Καστανιά								***
Αείφυλλοι θάμνοι							**	***
Βοσκότοποι							ΜΣ	
Γεωργικές καλλιέργειες							ΜΣ	***
Ακρίβεια ταξινόμησης (%)	51,8	52,9	69,8	56,4	69,3	57,9	61,1	67,4

*: $0,01 < p \leq 0,05$, **: $0,001 < p \leq 0,01$, ***: $0,000 \leq p \leq 0,001$, ΜΣ: μη σημαντική: $p > 0,05$

ντως στη χερσόνησο της Σιθωνίας η εμφάνιση της πυρκαγιάς φαίνεται να εξαρτάται σε μεγαλύτερο βαθμό από τη θερμοκρασία από ό,τι στον Άθωνα. Επιπλέον, η μεταβλητή των τύπων κάλυψης / χρήσεων γης είναι σημαντική και για τις δύο περιοχές μελέτης, σε συνδυασμό φυσικά με τη συνεπίδραση της ανθρώπινης παρέμβασης, της γεωμορφολογίας και των κλιματικών συνθηκών.

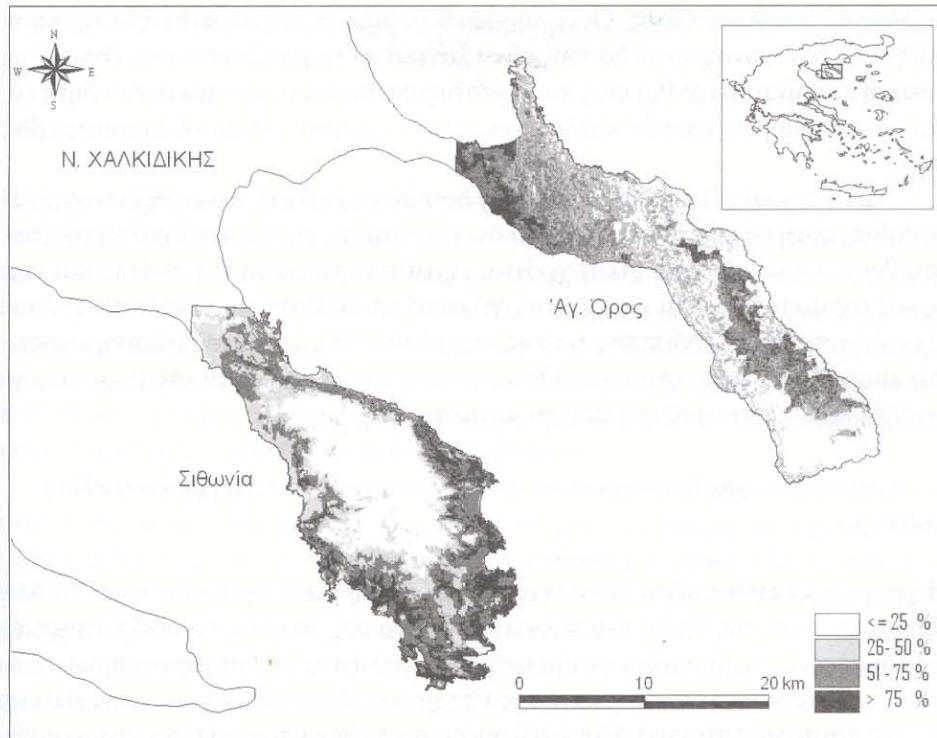
Με βάση το Μοντέλο 5, που παρουσίασε την υψηλότερη ποσοστιαία ορθή ταξινόμηση και για τις δύο χερσονήσους (72,7% για τη Σιθωνία και 75,9% για τον Άθωνα), δημιουργήθηκε ένας χάρτης στον οποίο έχει χαρτογραφηθεί η πιθανότητα εμφάνισης πυρκαγιάς που κυμαίνεται από 0 έως 100% (Σχ. 4). Το διάστημα αυτό των πιθανοτήτων εμφάνισης πυρκαγιών έχει χωριστεί σε τέσσερα ίσα μέρη, στα οποία μπορεί να αποδοθεί μια ονομαστική κατηγορία κινδύνου: πι-

Πίνακας 7.

Στατιστική σημαντικότητα από τα μοντέλα εμφάνισης πυρκαγιών 5 έως 7 στις χερσονήσους της Σιθωνίας και του Αγίου Όρους στη Χαλκιδική

Μεταβλητές	Όλες οι υπάρχουσες μεταβλητές (Μοντέλο 5)		Προεπιλεγμένες μεταβλητές (Μοντέλο 6)		Αυτόματη επιλογή μεταβλητών (Μοντέλο 7)	
	Σιθωνία	Άθως	Σιθωνία	Άθως	Σιθωνία	Άθως
Απόσταση από οδικό δίκτυο	ΜΣ	***	ΜΣ	***		
Απόσταση από οικισμούς	ΜΣ	***	*	***		
Απόσταση από στάβλους	***		***			
Απόσταση από υδρογραφικό δίκτυο	***	***			***	
Υψόμετρο	***	***	***	***	***	
Τοπογραφική κλίση	***	***	***	***	***	
Έκθεση	ΜΣ	***	ΜΣ	***		
Σχ. υγρασία καλοκαιριού	ΜΣ	*	***	***		
Σχ. υγρασία Ιουλίου	*	***				
Σχ. υγρασία Αυγούστου	***	***				***
Ετήσια σχ. υγρασία	***	***				
Βροχόπτωση καλοκαιριού	**	***	***	***		
Βροχόπτωση Ιουλίου	***	***				
Βροχόπτωση Αυγούστου	ΜΣ	***				
Ετήσια βροχόπτωση	***	***	***	***	***	***
Θερμοκρασία καλοκαιριού	*	***	**	***		
Θερμοκρασία Ιουλίου	ΜΣ	ΜΣ				
Θερμοκρασία Αυγούστου	***	ΜΣ				
Ετήσια θερμοκρασία	***	ΜΣ			***	
Μέγιστη θερμοκρασία καλοκαιριού	*	***	**	***		
Μέγιστη θερμοκρασία Ιουλίου	***	ΜΣ				
Μέγιστη θερμοκρασία Αυγούστου	ΜΣ	***				
Μέγιστη ετήσια θερμοκρασία	ΜΣ	***				
Ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία	***	ΜΣ			***	
Κάλυψη γης	***	***	***	***	***	***
Ακρίβεια ταξινόμησης (%)	72,7	75,9	69,8	74,6	72,0 (στάδιο 7)	76,0 (στάδιο 3)

*, 0,01 < p ≤ 0,05, **, 0,001 < p ≤ 0,01, ***, 0,000 ≤ p ≤ 0,001, ΜΣ: μη σημαντική; p > 0,05



Σχήμα 4.

Χάρτης πιθανότητας ή κινδύνου εμφάνισης δασικών πυρκαγιών στις χερσονήσους της Σιθωνίας και του Αγίου Όρους στη Χαλκιδική, σύμφωνα με το Μοντέλο 5, που περιλαμβάνει όλες τις βιοφυσικές και ανθρωπογενείς μεταβλητές

θανότητα εμφάνισης πυρκαγιών $< 25\%$ (χαμηλός κίνδυνος), πιθανότητα εμφάνισης $26-50\%$ (μέτριος κίνδυνος), πιθανότητα εμφάνισης $51-75\%$ (υψηλός κίνδυνος) και πιθανότητα εμφάνισης $> 75\%$ (ακραίος κίνδυνος). Στο Σχ. 4 απεικονίζεται με τη μορφή θεματικού χάρτη η συνάρτηση της πιθανότητας εμφάνισης πυρκαγιάς, δηλαδή η χωρική κατανομή του κινδύνου (danger) εμφάνισης δασικών πυρκαγιών στις περιοχές μελέτης, στηριζόμενη σε κριτήρια που εμπεριέχουν τη φυσική επικινδυνότητα (hazard) και την ανθρωπογενή διακινδύνευση (risk).

Στον Πίν. 7 παρουσιάζονται ακόμη δύο μοντέλα που επιλέχθηκαν (όπως προαναφέρθηκε) με βάση την «ανθρώπινη επιστημονική γνώση» (Μοντέλο 6) και τη «στατιστική επαγωγή του υπολογιστή» (Μοντέλο 7), και εμφανίζουν υψηλά ποσοστά ακρίβειας. Το Μοντέλο 7 έχει τα υψηλότερα ποσοστά ακριβούς ταξινόμησης με το λιγότερο αριθμό μεταβλητών, επτά για τη Σιθωνία και μόνο τρεις μεταβλητές για τον Άθωνα (Πίν. 7). Στη Σιθωνία αποδεικνύεται για άλλη μια φορά ότι ο καιρός, η βλάστηση και το ανάγλυφο επιδρούν στην εμφάνιση και την εξάπλωση της πυρκαγιάς (Μοντέλο 7), ενώ στο Άγιο Όρος η υγρασία εμφανίζεται να είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας για την εξήγηση της δυναμικής των πυρκαγιών και της βλάστησης κατά μήκος της χερσονήσου (Μοντέλο 7).

5. Συμπεράσματα

5.1. Ανθρώπινες δραστηριότητες (οδικό δίκτυο - οικισμοί - στάβλοι)

Το οδικό δίκτυο, οι οικισμοί και οι στάβλοι ζώων αποτελούν την κύρια έκφραση της ανθρώπινης δραστηριότητας που επηρεάζει σημαντικά την εμφάνιση των αείφυλλων σκληρόφυλλων θάμνων και των γεωργικών καλλιεργειών και στις δύο χερσονήσους, ενώ, επιπρόσθετα, επηρεάζουν και την εμφάνιση της

καστανιάς στο Άγιο Όρος. Οι σκληρόφυλλοι θάμνοι, ως αποτέλεσμα της υποβάθμισης των κωνοφόρων δασών, είναι λογικό να εμφανίζονται εκεί όπου έχει εύκολη πρόσβαση ο άνθρωπος και δραστηριοποιείται οικονομικά. Ευνόητη είναι και η σχέση αγροτικών καλλιεργειών και οικισμών, οδικού δικτύου και βοσκής.

Σε ό,τι αφορά την ισχυρή σχέση δασών καστανιάς και ανθρώπινης παρουσίας, αυτή οφείλεται κυρίως στο ότι η καστανιά ουσιαστικά καλλιεργείται στο Άγιο Όρος εδώ και χίλια χρόνια. Αντίθετα, τα δάση της ελάτης και της δρυός αντιμετωπίζονται ως ξιζάνια, γι' αυτό επιβιώνουν κυρίως εκτός ζωνών προσέγγισης. Για τα δάση της πεύκης, συσχετίσή τους με την ανθρώπινη παρουσία εμφανίζεται μόνο στο Άγιο Όρος, όπου και περιορίζονται στο βόρειο τμήμα της χερσονήσου, μακριά από τα μοναστήρια.

5.2. Γεωμορφολογία (υδρογραφικό δίκτυο - υψόμετρο - τοπογραφική κλίση - έκθεση)

Η γεωμορφολογία επιδρά πολύ έντονα στη διαμόρφωση της βλάστησης. Τα δάση των πεύκων, της δρυός και των αείφυλλων σκληρόφυλλων θάμνων επηρεάζονται περισσότερο από το υψόμετρο, ακολουθώντας τη διαμόρφωση των ζωνών της βλάστησης της υπόλοιπης ορεινής χώρας. Αντίθετα, τα δάση της ελάτης και της καστανιάς παρουσιάζουν χαλαρότερη σχέση με το υψόμετρο στη χερσόνησο του Αγίου Όρους. Τα δάση της καστανιάς ξεκινούν στην ανατολική πλευρά από το ύψος της θάλασσας, εκμεταλλευόμενα την ανθρώπινη υποστήριξη και τις καλύτερες εδαφικές συνθήκες λόγω των μικρών κλίσεων. Στη δυτική πλευρά, η ελάτη κατεβαίνει χαμηλότερα από τη φυσική της εξάπλωση, εξαιτίας των χαμηλότερων τοπικών θερμοκρασιών που οφείλονται στο ψυχρό ανοδικό θαλάσσιο ρεύμα του κόλπου του Αγίου Όρους. Η ελάτη παρουσιάζεται επίσης, σύμφωνα με τις αναλύσεις, ανεξάρτητη από το υδρογραφικό δίκτυο και την έκθεση. Στη Σιθωνία οι βοσκοτόποι εμφανίζουν μικρή σχέση με όλους σχεδόν τους παράγοντες της γεωμορφολογίας.

5.3. Κλίμα (θερμοκρασία - σχετική υγρασία - βροχόπτωση)

Η ελάτη δείχνει τη μικρότερη εξάρτηση από τους κλιματικούς παράγοντες (εκτός από την ετήσια βροχόπτωση). Τα δάση της δρυός και της καστανιάς φαίνεται ότι εξαρτώνται περισσότερο από τη θερινή σχετική υγρασία και όχι από την ετήσια. Οι αείφυλλοι θάμνοι εξαρτώνται και στις δύο χερσονήσους από όλους τους κλιματικούς παράγοντες, εκτός από τις θερινές θερμοκρασίες. Αντίθετα, οι γεωργικές καλλιέργειες και οι άγονες περιοχές δείχνουν πολύ μικρότερη εξάρτηση από τις κλιματικές συνθήκες όλες τις εποχές του χρόνου.

5.4. Γεωλογία

Εκτός των βοσκοτόπων και κάπως της μαύρης πεύκης της Σιθωνίας και της ελάτης του Αγίου Όρους, όλα τα δασικά οικοσυστήματα των δύο χερσονήσων δείχνουν μια ισχυρή εξάρτηση από το γεωλογικό υπόστρωμα. Στους όξινους γρανодиόριτες εμφανίζονται τα δάση των πεύκων (χαλεπίου και μαύρης) και των αείφυλλων θάμνων. Στα ασβεστολιθικά εδάφη, όπου η ανάπτυξη της καστανιάς είναι αδύνατη, αναπτύσσονται τα δάση της ελάτης. Τέλος, στα υπόλοιπα εδάφη

κυριαρχούν τα δάση της δρυός (αμιγλή ή σε μίξη με μαύρη πεύκη και/ή άλλα πλατύφυλλα).

5.5. Φωτιά

Η επίδραση της φωτιάς στις δύο χερσονήσους δείχνει μια σημαντική διαφοροποίηση. Στη Σιθωνία η μεσογειακή βλάστηση παρουσιάζεται σχεδόν ανεξάρτητη από τη συχνότητα και την έκταση των πυρκαγιών, δεικνύοντας ότι τα είδη αυτά είναι πλήρως προσαρμοσμένα στις τοπικές πυρικές συνθήκες και στην καύση αιώνων. Αντίθετα, στη χερσόνησο του Αγίου Όρους η μη προσαρμοσμένη στη φωτιά βλάστηση φαίνεται ότι επηρεάζεται καθοριστικά από αυτήν, γιατί οι πυρκαγιές εκεί, έχοντας χαμηλή συχνότητα εμφάνισης, εξαπλώνονται με υψηλές θερμικές εντάσεις και άρα επιβλαβείς συνέπειες.

Η συμπεριφορά και η οικολογία της φωτιάς φαίνεται στατιστικά ότι επηρεάζονται κυρίως από την τοπογραφία, τις καιρικές συνθήκες και την καύσιμη ύλη σε επίπεδο τοπίου. Κατά μήκος της χερσονήσου του Αγίου Όρους ο παράγοντας που καθορίζει σε μεγάλο βαθμό τη δυναμική τόσο της βλάστησης όσο και των πυρκαγιών είναι οι κλιματολογικές συνθήκες (υγρασία και θερμοκρασία), συμβάλλοντας σημαντικά στη διατήρηση αυτού του ανεκτίμητου παγκόσμιου θησαυρού και πνευματικού αποθέματος, όπου συνυπάρχουν σε απόλυτη αρμονία η θρησκεία, η ιστορία, η κουλτούρα και η φύση.

5.6. Γεωπληροφορική

Ανάμεσα στα κύρια αποτελέσματα της έρευνας αυτής ήταν η ανάδειξη της χρησιμότητας των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, τα οποία με τη βοήθεια κατάλληλων στατιστικών εργαλείων μπορούν να συνεισφέρουν στην καλύτερη κατανόηση πολυσύνθετων φυσικών φαινομένων (σε πολλές περιπτώσεις χαοτικής συμπεριφοράς), συμπεριλαμβανομένων και ανθρωπογενών επιδράσεων. Η χρήση σύγχρονων μεθόδων γεωπληροφορικής και πολυμεταβλητών αναλυτικών διεργασιών συνέβαλε σε μερική επεξήγηση της δυναμικής της βλάστησης και των πυρκαγιών του τοπίου. Επιπρόσθετα, η μελέτη αυτή ανέδειξε την αξία της λογιστικής παλινδρόμησης στην ερμηνεία και μοντελοποίηση φαινομένων τα οποία μπορούν να εκφραστούν με ένα δυαδικό τρόπο, δηλαδή την παρουσία σε σύγκριση με την απουσία ενός γεγονότος.

Ευχαριστίες

Η παρούσα έρευνα διεξήχθη στα πλαίσια του προγράμματος «ΑΘΩΣ», το οποίο χρηματοδοτήθηκε από το Εθνικό Ίδρυμα Αγροτικής Έρευνας (ΕΘΙΑΓΕ). Οι συγγραφείς επιθυμούν να ευχαριστήσουν το προσωπικό των εργαστηρίων τους για τη συλλογή των στοιχείων, και τους Δασάρχες Πολυγύρου Βασίλειο Καλφούπολο και Αρναίως Αναστάσιο Οικονόμου καθώς και τον Δασολόγο του Δασαρχείου Πολυγύρου Σταύρο Παπαδόπουλο για τη διάθεση των ιστορικών στοιχείων πυρκαγιών από τα βιβλία καταγραφής συμβάντων, όπως και για την εν γένει υποστήριξή τους. Επίσης, οι δύο ανώνυμοι κριτές του περιοδικού συνέβαλαν με εποικοδομητικά σχόλια και προτάσεις στη βελτίωση της εργασίας αυτής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bachmann, A., Allgower, B. (1998), «Framework for Wildfire Risk Analysis», 3rd International Conference on Forest Fire Research & 14th Conference on Fire and Forest Meteorology, Coimbra, Portugal, 2177-2190.
- Γκανιάτσας, Κ. (1963), *Η βλάστηση και η χλωρίδα της χερσονήσου του Αγίου Όρους*, Θεσσαλονίκη: Αθωνική Πολιτεία.
- Chou, Y. H. (1992), «Management of Wildfires with a Geographical Information System», *International Journal of Geographical Information Systems*, 6: 123-140.
- Chuvieco, E., Congalton, R. G. (1989), «Application of Remote Sensing and Geographic Information Systems to Forest Fire Hazard Mapping», *Remote Sensing of Environment*, 29: 147-159.
- Dean, D. J. (1994), Personal communication on raster-based climatic modeling with Prof. Denis J. Dean, Geospatial Science, College of Natural Resources, Colorado State University, Fort Collins, USA.
- ESRI (1997), *Understanding GIS: The ARC/INFO Method*, USA: Environmental Systems Research Institute, Inc.
- ΕΣΥΕ (2002), *Στοιχεία απογραφής πληθυσμού 2001*, Αθήνα: Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδος.
- Felcísimo, A. M., Frances, E., Fernandez, J. M., Gonzalez-Diez, A., Varas, J. (2002), «Modeling the Potential Distribution of Forests with GIS», *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68: 455-461.
- Hosmer, D., Lemeshow, S. (1989), *Applied Logistic Regression: A Much-Cited Recent Treatment Utilized in SPSS Routines*, New York: John Wiley & Sons.
- Καλαμποκίδης, Κ., Κούτσιος, Ν. (2000), «Γεωγραφική πολυμεταβλητή ανάλυση της χωρικής εμφάνισης των δασικών πυρκαγιών», *Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα*, 11: 37-47.
- Καρτέρης, Μ., Κρητικός, Γ., Κωνσταντινίδης, Π. (1991), «Οπτική ταξινόμηση της βλάστησης του Αγίου Όρους με τη χρήση δορυφορικών εικόνων», *Πρακτικά συνεδρίου «Δασοπονία και Περιβάλλον του Αγίου Όρους*», Θεσσαλονίκη: ΓΕΩΤΕΕ, σ. 57-74.
- Koppen, W. (1936), «Das geographische System der Klimate», στο Koppen, W., Geiger, R. (επιμ.), *Handbuch der Klimatologie*, τόμ. Α', μέρος Γ', Berlin.
- Κωνσταντινίδης, Π. (1990), *Εξέταση και διερεύνηση σχέσεων μεταξύ φυσιογραφικών μονάδων δασών χαλεπίου πεύκης Σιθωνίας Χαλκιδικής και των εμφανιζομένων σε αυτές φυτοκοινωνιολογικών μονάδων*, διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.
- Loesch T. (2000), «Watershed Modeling Using ArcView», Minnesota GIS/LIS Consortium, 10th Annual Conference and Workshops on Geographic Information Systems (GIS) and Land Information Systems (LIS), St. Cloud, MN, USA.
- Mendenhall, W., Sincich, T. (1996), *A Second Course in Statistics: Regression Analysis*, New Jersey: Prentice-Hall.
- Μουντράκης, Δ. (1985), *Γεωλογία της Ελλάδας*, Θεσσαλονίκη: University Studio Press.
- Norusis, M. J. (1990), *SPSS/PC+ Advanced Statistics(tm) 4.0 for the IBM PC/XT/AT and PS/2*, Chicago: SPSS Inc.
- Παυλίδης, Γ. (1976), *Η χλωρίδα και η βλάστηση της χερσονήσου της Σιθωνίας*, διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ.
- Σιάρδος, Γ. Κ. (2000), *Μέθοδοι πολυμεταβλητής στατιστικής ανάλυσης*, Μέρος Β', Θεσσαλονίκη: ΑΠΘ, Τμήμα Γεωπονίας.
- Salas, J., Chuvieco, E. (1994), «Geographic Information Systems for Wildland Fire Risk Mapping», *Wildfire*, 3: 7-13.
- Salas, F. J., Viegas, M. T., Kyun, I. A., Chuvieco, E., Viegas, D. X. (1994), «A Local Risk Map for the Council of Póvoa, Central Portugal: Comparison of GIS and Field Work Methods», 2nd International Conference on Forest Fire Research, Coimbra, Portugal, 691-702.
- Schoning, R., Bachmann, A., Allgower, B. (1997), *GIS-Based Framework for Wildfire Risk Assessment*, Final Report MINERVE 2, University of Zurich, Department of Geography, Spatial Data Handling Division.
- Sharma, S. (1996), *Applied Multivariate Techniques*, New York: John Wiley & Sons.
- Shreve, R. L. (1967), «Infinite Topologically Random Channel Networks», *Journal of Geology*, 77: 397-414.
- Vasconcelos, M. J. P., Silva, S., Tome, M., Alvim, M., Pereira, J. M. C. (2001), «Spatial Prediction of Fire Ignition Probabilities: Comparing Logistic Regression and Natural Networks», *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67: 73-81.