

## **FOMFIS: ΣΥΣΤΗΜΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΛΗΨΗΣ ΤΩΝ ΔΑΣΙΚΩΝ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ**

*Καλλιδρομιτου Δεσποινά<sup>1\*</sup>, Δρ. Παπαχρηστού Πέτρος<sup>1</sup>,  
Δρ. Μποναζούντας Μάρκος<sup>1</sup>, Caballero David<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *EPSILON International S.A (Athens-Greece), <sup>2</sup> IBERINSA S.A. (Madrid-Spain)*

<http://www.epsilon.gr>

### **Λεξεις κλειδια:**

Integral Risk: Ολική Επικινδυνότητα

Fuel: καυσίμη υλη

Forest Resources Management: Διαχείριση Μέσων Δασοπυροσβεσης

Spatial Anaysis: Χωρική Ανάλυση

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Το έργο FOMFIS - Σύστημα Διαχείρισης και Πρόληψης των Δασικών Πυρκαγιών χρηματοδοτήθηκε μέσα στο πλαίσιο του Κοινοτικού Προγράμματος ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ & ΚΛΙΜΑ της δωδεκατης Δ/σης της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το FOMFIS είναι ένα υπολογιστικό σύστημα βασισμένο σε τεχνολογίες Arc/Info GIS, που στοχεύει στη πρόβλεψη και αντιμετώπιση των δασικών πυρκαγιών. Περιλαμβάνει διάφορα επιμέρους τμήματα: καυσίμοτητα, αναφλεξη, χαρτογραφηση κινδυνου, πιθανότητα πυρκαγιας και συμπεριφορα και κατανομη διαθεσιμου δυναμικου για την αντιμετωπιση πυρκαγιων. Το σύστημα FOMFIS είναι δομημένο πάνω στο Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών ARC-VIEW. Το FOMFIS αξιοποιεί ολη τη λειτουργικότητα του ARC-VIEW και έχει τον ίδιο τρόπο επικοινωνίας με το χρήστη, με εικόνες, αξιοποιώντας έτσι την ήδη υπάρχουσα γνώση αυτού και εμπειρία. Παράλληλα, για τις ειδικές λειτουργίες του FOMFIS έχουν σχεδιασθεί πέντε επιπλέον βασικές επιλογές και έχει δημιουργηθεί ένας αριθμός εικονιδίων απαραίτητος για την υποστήριξη και αυτοματοποίηση διάφορων λειτουργιών. Όλες οι απαιτήσεις του συστήματος για τη διαχείριση και επεξεργασία των μη χωρικών δεδομένων του, καλύπτονται από το λογισμικό διαχείρισης βάσεων δεδομένων SQL-Server της Microsoft. Όλα τα παραπάνω χρησιμοποιούν την υπολογιστική πλατφόρμα Pentium της Intel και το λειτουργικό σύστημα Windows NT Server της Microsoft. Οι πέντε επιπλέον βασικές επιλογές του FOMFIS είναι η εισαγωγή χαρτών καυσίμης υλης (fuel), η διαχείριση των χαρτών και των δεδομένων (administration), η δημιουργία σεναρίων (scenarios), ο καθορισμός του σχεδιασμού (planning) και η ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων (reports). Οι δυνατότητες που προσφέρει το FOMFIS, σαν ένα βασικό εργαλείο σχεδιασμού, είναι πολύ σημαντικές για τον διαχειριστή της πράξης. Αλλά και σαν εργαλείο εκπαίδευσης το FOMFIS είναι πολύτιμο. Η βασική και πρωτοτυπή ιδέα στην οποία βασίζεται, αυτή της στοχαστικής προσομοίωσης με πολλές επαναλήψεις, επιτρέπει μια σε βάθος συνολική ανάλυση που δεν προσφέρεται από τα

μεχρι σημερα υπαρχοντα μοντελα - συστηματα προσομοιωσης της εξαπλωσης της φωτιας. Το συστημα δοκιμαζεται σε τρεις περιοχες της Περιφερειας Galicia στην Ισπανια και στο Δασαρχιο Λιμνης στην Ευβοια με εισαγωγη πραγματικων δεδομενων.

## **ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΣΚΟΠΟΣ**

Οι δασικες πυρκαγιες αποτελουν ενα σημαντικο προβλημα για ολες τις Μεσογειακες χωρες της Ευρωπης. Γι αυτο το λογο η Ευρωπαϊκη Ενωση (Ε.Ε.) εχει, κυριως κατα την τελευταια δεκαετια, υποστηριξει τις προσπαθειες για την προληψη και καταστολη τους, τοσο σε οργανωτικο επιπεδο σε καθε χωρα-μελος, οσον και με χρηματοδοτηση ερευνητικων προγραμματον στο αντικειμενο αυτο.

Στοχος του προγραμματος ειναι η δημιουργια ενος ολοκληρωμενου συστηματος Η/Υ, βασισμενου στην τεχνολογια των Γεωγραφικων Συστη-ματων Πληροφοριων (ΓΣΠ), που υποστηριζει τη ληψη αποφασεων για την ορθολογικότερη και αποτελεσματικότερη οργανωση για την προληψη και αντιμε-τωπιση των δασικων πυρκαγιων.

## **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

Για τη δημιουργια του συστηματος FOMFIS αξιοποιηθηκαν πολλα στοιχεια, μοντελα και αντιληψεις που ειχαν στο παρελθον δοκιμαστει και αφορουσαν την προβλεψη της εξαπλωσης των δασικων πυρκαγιων και την συγχρονη αντιμετωπιση τους. Επιπλεον, το FOMFIS ενσωματωνει τα αποτελεσματα πρωτογενους ερευνας που εγινε. Τα σημαντικότερα στοιχεια της ερευνας ειναι:

- Ημιαυτοματη φωτοερμηνεια δορυφορικων εικονων για τη δημιουργια χαρτων καυσιμης υλης, απαραιτητο στοιχειο για τη λειτουργια του συστηματος. Στοχος της τεχνικης ειναι η ευκολη δημιουργια και ανανεωση των χαρτων, διαδικασια επιπτονη και χρονοβορα με τις κλασσικες μεθοδους παραγωγης.
- Δημιουργια μοντελων για την εκδηλωση πυρκαγιων βασισμενων στην αναλυση κοινωνικοοικονομικων και κλιματικων δεδομενων, που αφορουν συγκεκριμενες περιοχες μελετης (Δασαρχιο Λιμνης Ευβοιας, Galicia). Με τα μοντελα αυτα, γινεται δυνατη η προβλεψη της κατανομης των σημειων εκδηλωσης πυρκαγιων στο χωρο και το χρονο για τις περιοχες αυτες.
- Δημιουργια μεθοδολογιας για τον υπολογισμο του ρυθμου προκλησης καταστροφων κατα την εξαπλωση πυρκαγιων. Υπολογισμος απαραιτητος για την οικονομικη αναλυση των αποτελεσματον των διαφορων μετρων αντιμετωπισης των πυρκαγιων.
- Δημιουργια μεθοδολογιας προσομοιωσης αντιμετωπισης πυρκαγιας απο διαφορα πυροσβεστικα μεσα και δυναμεις.
- Δημιουργια μεθοδολογιας για τη συνολικη αναλυση του σχεδιασμου της οργανωσης για την αντιμετωπιση των πυρκαγιων, που στηριζεται στη δημιουργια και αξιολογηση σεναριων βασισμενων σε πιθανοτητες. Με την αυτοματη δημιουργια και αναλυση μεγαλου αριθμου σεναριων εξεταζονται, τοσον οι μεσες οσον και οι ακραιες περιπτωσεις δυσκολιων και καταστρο-φων και αξιολογεται η απολεσματικότητα διαφορων επιλογων οργανωσης (π.χ. κατανομη και θεσεις

των αντιπυρικών λωρίδων, νέα σημεία οδικής πρόσβασης, διάσπορα σημείων υδροληψίας, αριθμός και θέσεις πυροφυλακίων, κ.α.)

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΥ ΡΙΣΚΟΥ

Ο προσδιορισμός της δυναμικής μιας δασικής πυρκαϊάς είναι δύσκολος καθώς οι περιβαλλοντικές παραμετροί αλλάζουν σε σχέση με τον χρόνο και είναι πολύ δύσκολη η προβλεψή τους με ακρίβεια. Παρόλα αυτά είναι δυνατή η εκτίμηση με αρκετή ακρίβεια γενικών στοιχείων που χαρακτηρίζουν κάποια σενάρια εμφάνισης δασικών πυρκαϊών και ανάπτυξης αυτών.

Αναφορικά με τα παραπάνω η πρόγνωση στοιχείων ανέμου και καιρού μπορεί να βοηθήσει στον καθορισμό εκείνων των συνθηκών που μια δασική πυρκαϊά μπορεί να ερημώσει μια δασική έκταση ολόσχερα. Αυτοί οι συνδυασμοί ανέμου και καιρού καθώς και η πρόγνωση της μεταβολής τους σε σχέση με τον χρόνο μπορεί να δώσει αξιολογές εκτιμήσεις σχετικά με το μέγεθος της καταστροφής εγκαίρως, έτσι ώστε να δώσει την δυνατότητα στους λήπτες αποφάσεων να λάβουν προληπτικά μέτρα.

Χάρτες επικινδυνότητας δημιουργούνται με βάση τους χάρτες κατανομής καυσίμων υλης και τα στοιχεία ανέμου και καιρού. Για την εκτίμηση της επικινδυνότητας λαμβάνονται υπόψη στοιχεία δυναμικής της πυρκαϊάς που οφείλονται κυρίως στην καυσίμη υλη καθώς και στοιχεία του αναγλυφού της περιοχής που λαμβάνει χώρα η πυρκαϊά.

Στο σύστημα FOMFIS (1998) επιτυγχάνεται ο γεωγραφικός καθορισμός της επικινδυνότητας με τη μεθοδολογία αποθήκευσης σε επίπεδα με μορφή μητρώου (raster) των στοιχείων της περιοχής. Έχει γίνει η παραδοχή ότι σε κάθε κελί (pixel) του raster χάρτη επικρατούν ομοιομορφα χαρακτηριστικά (καυσίμος υλης, κλίση περιοχής, στοιχεία ανέμου και καιρού), γεγονός που επιτρέπει την εκτίμηση των τοπικών συνθηκών για την μετάδοση της πυρκαϊάς και κατ'έπεκταση τον χαρακτηρισμό του μεγέθους της καταστροφής.

Για την εκτίμηση μιας αξιοπιστής μέτρησης γίνονται οι παραδοχές ότι ο χρόνος  $t_{eq}$  που χρειάζεται για να καεί μια περιοχή αντιστοιχεί σε ένα raster κελί και ότι η εξαπλώση της πυρκαϊάς ακολουθεί μια ελλειπτική καμπύλη. Έτσι ο χρόνος  $t_{eq}$  θα αντιστοιχεί στο χρόνο που η ελλειπτική περιοχή γίνει ίση με την περιοχή ενός κελιού του raster χάρτη. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για κάθε κελί.

Το παραπάνω επιτρέπει τον καθορισμό μιας στιγμιαίας τιμής καταστροφής σε μονάδες επιφανείας ανά χρόνο, για κάθε κελί. Η τιμή αυτή σε συνδυασμό με την τιμή γης ανά μονάδα επιφανείας, η οποία έχει εκτιμηθεί από οικονομικά, κοινωνικά και οικολογικά στοιχεία, είναι δυνατόν να δώσει ένα οικονομικό μέγεθος απώλειας σε χρηματικές μονάδες ανά μονάδα χρόνου. Τέλος λαμβανοντας υπόψη τη προβλεψή του αριθμού των πυρκαϊών που αναμένονται σε κάθε κελί του χάρτη, και με την προϋπόθεση ότι όλες οι εκκινήσεις θα μεταδοθούν με τον ίδιο τρόπο μέσα στο ίδιο raster κελί είναι δυνατή η εκτίμηση συνολικής τιμής απώλειας που προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της μοναδιαίας τιμής απώλειας επί τον αριθμό των αναμενόμενων πυρκαϊών.

Οι παραπάνω δείκτες επικινδυνότητας υπολογίζονται για κάθε κελί του raster χάρτη ο οποίος πλέον απεικονίζει την δυναμική καταστροφής καθώς και την τιμή απώλειας για όλη την έκταση. Οι χάρτες που προκύπτουν από τον παραπάνω συνθετικό χάρτη είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι στους λήπτες αποφάσεων σχετικά με την προσοχή που πρέπει να επιδείξουν στη πιθανότητα μιας πυρκαϊάς.

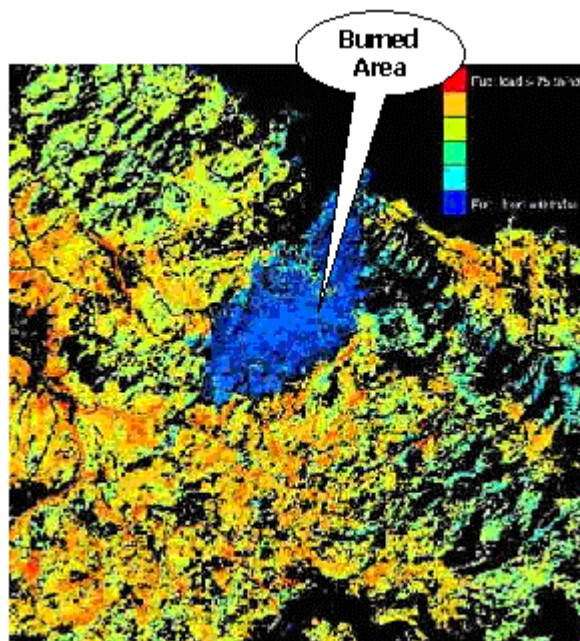
## ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΚΑΥΣΙΜΗΣ ΥΛΗΣ

Για την αποδοση γεωγραφικών κατανομών των μοντέλων εκτίμησης καυσιμής υλης απαιτείται η συσχέτιση μεταξύ των κατηγοριών βλάστησης και των διαφορών μοντέλων καυσιμής υλης μέσω ενός πίνακα συσχέτισης. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση **οπτικών κλειδίων** (φασματικών χαρακτηριστικών) που συσχετίζουν αυτού του είδους τα μοντέλα (USFFS) με τις βλασθητικές κοινότητες.

Για την δημιουργία των χαρτών καυσιμής υλης χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες LANDSAT και SPOT. Η επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων έγινε με στόχο τον προσδιορισμό των βλασθητικών μοναδών οι οποίες ταξινομήθηκαν σε ομάδες.

Για τον προσδιορισμό αυτό εφαρμόστηκε μια μεθοδολογία αποκλίσης με μια συνεχή διορθωση των αρχικά «χονδρικά» εκτιμηθέντων βλασθητικών μοναδών που αναγνωρίστηκαν ευκολά από τις δορυφορικές εικόνες, σε πιο διακριτές και συγκεκριμένες μονάδες, χρησιμοποιώντας ορισμένες επιπλέον παραμέτρους, όπως το μέσο ύψος βλάστησης. Αυτό οδήγησε στη δημιουργία ακριβών ισοδυναμικών πινάκων μεταξύ των μοντέλων και των βλασθητικών μοναδών.

Η καυσιμή υλη αποτελεί μια κρίσιμη παράμετρο στην διαχείριση των δασών, στην εξαπλώση και ένταση της πυρκαϊάς, και συνδέεται άμεσα με τους τύπους βλάστησης (είδη και φυτοκοινωνίες), την κατάσταση τους και την ηλικία τους. Είναι φανερό ότι η εκτίμηση της από την επεξεργασία δορυφορικών εικόνων είναι δύσκολη. Μια αρχική προσέγγιση σε πειραματικό στάδιο είναι η μελέτη συσχέτισης μεταξύ των δεικτών βλάστησης (NDVI από AVHRR) και της καυσιμής υλης. Τα αποτελέσματα ήταν απογοητευτικά κυρίως λόγω του χαμηλού βαθμού συσχέτισης που παρατηρήθηκε για αυτό τον λόγο προστέθηκαν και άλλες παράμετροι όπως πυκνότητα βλάστησης και μέσο ύψος αυτής.



Σχήμα 1: Εκτίμηση καυσιμής υλης στην περιοχή της Ευβοίας

Μια πολλαπλή ανάλυση παλινδρομής των ελληνικών δορυφορικών δεδομένων (Landsat TM NDVI και SPOT high-pass texture band) σε συνδυασμό με στοιχεία πεδίου

(πραγματικό φορτίο) οδήγησαν σε μια εμπειρική σχέση μεταξύ του πραγματικού φορτίου καυσίμης υλης (AL) και των παρατηρούμενων από δορυφορική επεξεργασία δείκτη βλάστησης (NDVI) και υψους (TX):

$$AL = 0.4 \cdot NDVI - 0.22 \cdot TX + 9.8$$

## ΠΡΟΓΝΩΣΗ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ-ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΡΙΣΚΟΥ

Είναι γνωστή η σχέση μεταξύ κοινωνικο-οικονομικών παραμετρών και του αριθμού και της τυπολογίας των δασικών πυρκαγιών. Το μεγαλύτερο τμήμα των μεσογειακών περιοχών εμφανίζει την ύπαρξη αυτής της συσχέτισης.

Το γεγονός αυτό οδήγησε στην δημιουργία και εφαρμογή ενός κοινωνικο-οικονομικού μοντέλου ρίσκου (SER) το οποίο εκτιμά τον αναμενόμενο αριθμό πυρκαγιών ανά μονάδα έκτασης. Το παραπάνω μοντέλο αντικατέστησε το παραδοσιακό μοντέλο της «πιο πιθανής αιτίας» που αποδίδει τις δασικές πυρκαγιές σε εμπρησμούς καθότι βασίζεται σε υποκειμενική εκτίμηση του ρίσκου. Για την εφαρμογή του καθορίστηκαν κατάλληλοι συντελεστές ρίσκου.

Η μεθοδολογία αυτή δεν έχει παρουσιαστεί ευρέως στην έρευνα των δασικών πυρκαγιών και στις στρατηγικές αντιμετώπισης τους. Για την δημιουργία ενός τεκμηριωμένου θεωρητικού πλαισίου ακολουθήθηκαν δύο διαφορετικοί τρόποι αντιμετώπισης.

Η πρώτη αντιμετώπιση αφορούσε στην εφαρμογή μιας μικρο-ανάλυσης σε τέσσερα δασαρχεία. Η δεύτερη αφορούσε στη στατιστική επεξεργασία διαφόρων ποσοτικών δεδομένων. Το αποτέλεσμα ήταν ο προσδιορισμός πέντε κυρίων παραμετρών που εισηχθήκαν στο κοινωνικο-οικονομικό μοντέλο (SER).

Στο κοινωνικο-οικονομικό μοντέλο χρησιμοποιούνται πρωτογενή στοιχεία όπως πρωτογενή κοινωνικο-οικονομικά δεδομένα από διάφορες πηγές, διάφορες μεταβλητές και δείκτες.

Οι μεταβλητές θεωρούνται ποσοτικά στοιχεία (αδιάστατα) και χαρακτηρίζουν τον κοινωνικο-οικονομικό χαρακτήρα της περιοχής που περιβάλλει το δάσος σε μια συγκεκριμένη γεωγραφική και χρονική μονάδα. Αρχικά επιλεχθήκε ένα σέτ από 156 μεταβλητές που θεωρήθηκε ότι επηρεάζουν την αύξηση του ρίσκου εμφάνισης πυρκαγιάς. Οι 156 μεταβλητές ταξινομήθηκαν σε 10 ομάδες (δάσονομία, κτηνοτροφία, γεωργία, χρήση γης, δημογραφία κλπ) και 48 υποομάδες σύμφωνα με την περιοχή μελέτης ή σύμφωνα με το αντικείμενο που ανήκουν.

Οι δείκτες είναι συναρτήσεις που ποσοτικοποιούν τις μεταβλητές από τα διαθέσιμα πρωτογενή δεδομένα. Κάθε μεταβλητή μπορεί να ποσοτικοποιηθεί από περισσότερους του ενός δείκτες αρκεί αυτοί να ανήκουν μεταξύ των διαθέσιμων δεικτών. Σας διαθέσιμοι δείκτες επιλεχθήκαν αυτοί που προσφέρουν την μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία στην απεικόνιση μιας μεταβλητής.

Κοινωνικο-οικονομικοί συντελεστές είναι τα κύρια στοιχεία που αποτελείται το δασικό περιβάλλον και συμμετέχουν στο μεγαλύτερο ποσοστό της αιτίας εμφάνισης πυρκαγιάς καθώς και στην ένταση και διακυμανση της.

Για το κοινωνικο-οικονομικό μοντέλο προσδιορίστηκαν πέντε συντελεστές:

- Κέρδος από την δασοπονία

- Δημογραφική πίεση (βαθμός ανθρωπίνης παρουσίας και εξέλιξη δασικών περιοχών)
- Κοινωνικές τάσεις
- Επίπεδο νοοτροπίας σχετικά με τα δάση/ δημοσία γνώμη, και λογική οργάνωσης (μοντέλο αμυνας και παρεμπόδισης)

Οι παραπάνω πέντε συντελεστές θεωρούνται αρκετοί για τον προσδιορισμό αύξησης ή μείωσης του ρίσκου.

Για την εκτίμηση του κοινωνικο-οικονομικού ρίσκου σχεδιάστηκαν τρία διαφορετικά μοντέλα

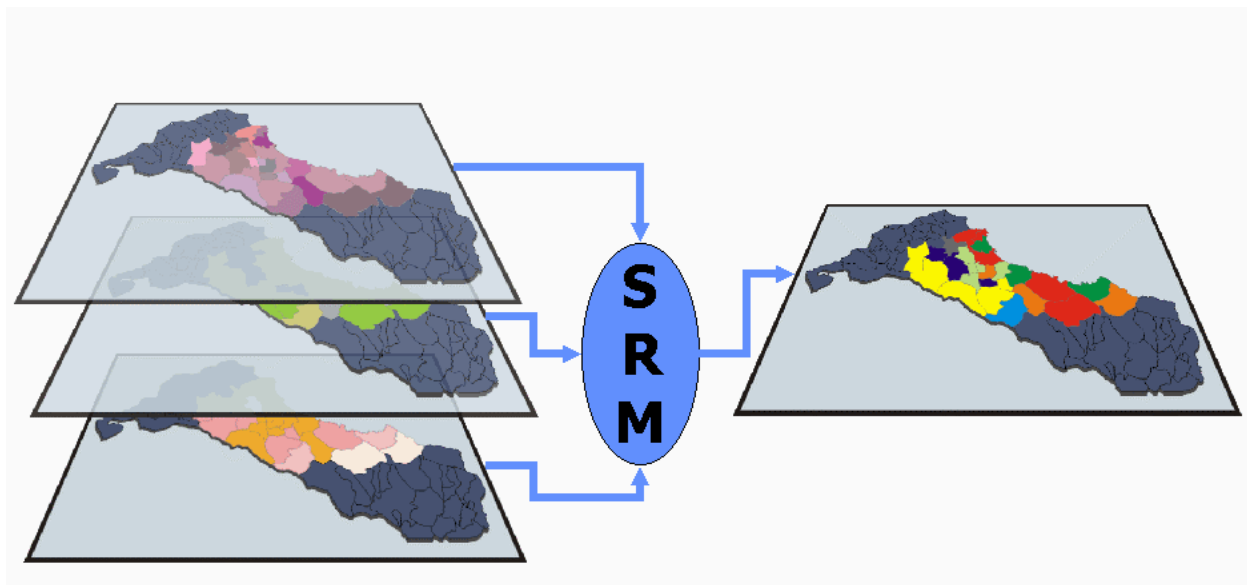
### **GALICIAN ΧΩΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ**

Το μοντέλο αυτό αποτελείται από ένα μακρο-μοντέλο που εφαρμόζεται σε μεσαιου μεγέθους εκτασίες όπως δήμοι, και κοινότητες με μια μέση έκταση 100 τετρ. χιλιομέτρων. Το μοντέλο ακολουθεί μια χωρική ανάλυση παλινδρόμησης των δεδομένων δασικών πυρκαγιών και κοινωνικο-οικονομικών παραμετρών για την χρονική περίοδο 1991 – 1996. Η εξαρτημένη μεταβλητή είναι ο αναμενόμενος αριθμός δασικών πυρκαγιών μέσα σε ένα χρόνο ανά 100 km<sup>2</sup> δασικής περιοχής για κλιματικές συνθήκες αυτές που ισχύουν την χρονική περίοδο 1991 – 1996.

Η συναρτηση εμπεριέχει επτά μεταβλητές με υψηλό βαθμό ανεξαρτησίας μεταξύ τους. Όλες έχουν μια θετική επίδραση στην αύξηση της εξαρτημένης μεταβλητής. Οι παραπάνω μεταβλητές απαριθμούνται παρακάτω με τους συντελεστές επιπτώσεων της καθέμιας (Standardised beta coefficients) υπό την μορφή βαρών: πυκνότητα αγροτικών ιδιοκτησιών (+0.41); πυκνότητα συνολικού πληθυσμού (+0.29); Αγροτική περιοχή με τμήμα δασικής έκτασης (+0.21); ποσοστό θαμνωδούς έκτασης (+0.18); ποσοστό αρρενών ανεργών (+0.15); πυκνότητα νοικοκυριών (+0.15); πυκνότητα προβατών και αιγών (+0.14). Τα παραπάνω προέκυψαν από μια παλινδρόμηση 311 δήμων με ένα συντελεστή  $R^2 = 0.54$  και ένα μέγιστο σχετικό λάθος 60% μέχρι 70% σε ορισμένες περιπτώσεις.

### **ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ**

Το παραπάνω μοντέλο ακολουθεί μια χωρική ανάλυση παλινδρόμησης των δεδομένων δασικών πυρκαγιών και κοινωνικο-οικονομικών παραμετρών για την χρονική περίοδο 1983 – 1993. Η ζητούμενη μεταβλητή είναι ο αναμενόμενος αριθμός των δασικών πυρκαγιών μέσα σε ένα χρόνο ανά 100 km<sup>2</sup> δασικής περιοχής για κλιματικές συνθήκες αυτές που ισχύουν την χρονική περίοδο 1983 – 1993. Οι εξαρτημένες μεταβλητές είναι δύο: η πυκνότητα του Δήμου και μια συνθετή μεταβλητή σχετιζόμενη με την κτηνοτροφία που συνδυάζει δύο σημαντικές παραμέτρους την πυκνότητα των αιγών και τον μέσο όρο περιοχής βοσκής ανά στάνη. Η πυκνότητα του Δήμου είναι ισχυρά συνδεδεμένη με τον λόγο της αστικής περιοχής προς αριθμό νοικοκυριών και αποτελεί ένα σημαντικό στοιχείο στην εκτίμηση του ρίσκου. A3GO είναι μια συνθετή μεταβλητή Το παραπάνω μοντέλο εφαρμόστηκε για 51 περιοχές με ένα συντελεστή  $R^2 = 0,73$ , και ένα μέγιστο σχετικό λάθος 28% μέχρι 70% σε ορισμένες περιπτώσεις.



Σχημα 2: Κοινωνικο-οικονομικο μοντελο: Εκτιμηση κοινωνικο-οικονομικου ρισκου

### **GALICIAN ΧΡΟΝΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ**

Το μοντελο αυτο ειναι ενα μακρο-μοντελο που εφαρμoζεται σε μεγαλες γεωγραφικες περιοχες οπως Νομοι. Το μοντελο βασιζεται σε μια χρονικη αναλυση παλινδρομησης των δεδομενων δασικων πυρκαγιων και κοινωνικο-οικονομικων παραμετρων καθορισμενων ανα ετος για χρονικη περιοδο 29 ετων ητοι απο το 1968 μεχρι το1996 για ολη την περιοχη της Galicia. Ειναι ενα μοντελο χρονικο που δινει την διακυμανση του ρισκου απο ετος σε ετος.

### **ΑΛΛΑ ΜΟΝΤΕΛΑ**

Συγχρονως με τα παραπανω μοντελα, αναπτυχθηκαν απο την Περιφερεια της Noia (Galicia) και το Δασαρχειο της Λιμνης στην Ευβοια δυο προγνωστικα μικρης κλιμακας μοντελα τα οποια δινουν τον αναμενομενο αριθμο των δασικων πυρκαγιων ανα 100 km<sup>2</sup>. Αυτα τα μικρης κλιμακας μοντελα δινουν περισσοτερο ακριβη αποτελεσματα απο τα παραπανω αναφερθεντα μεγαλης κλιμακας μοντελα.

### **ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ ΠΥΡΚΑΪΑΣ**

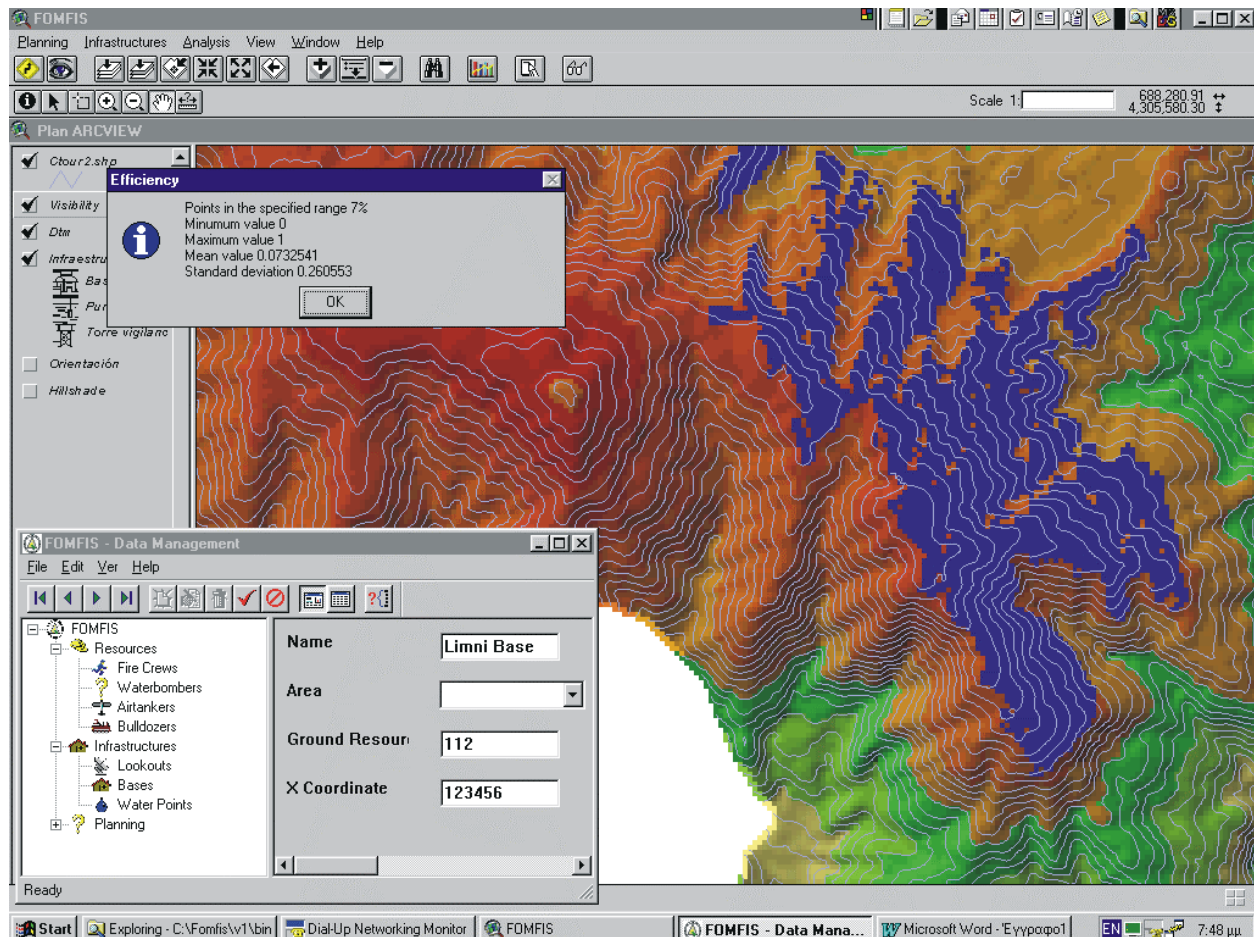
Η αποτελεσματικοτητα της αμυνας εναντι μιας δασικης πυρκαγιας μπορει ευκολα να απλοποιηθει με την ελαχιστοποιηση του χρονου που απαιτουν οι διαφορες διαδικασιες για την αντιμετωπιση της. Τετοιες μπορει να ειναι ο χρονος που απαιτειται για την ενημερωση του συμβαντος, η επικοινωνια με την βαση επεμβασης, η προετοιμασια του πληρωματος και η εκκινηση, η δια ξηρας η/και δια αερος μεταβαση, η κατα μετωπον τοποθετηση των απαιτουμενων πορων για την αντιμετωπιση της και τελος ο χρονος που απαιτειται για την κατασβεση και τον ελεγχο της. Για τον προσδιορισμο του ορου του χρονου εφαρμoστηκαν τεχνικες χωρικης αναλυσης στους υπαρχοντες πορους της περιοχης. Ετσι οι ληπτες αποφασης επρεπε να εφαρμoσουν διαφορετικα σεναρια κατανομης των πορων οπως οι βασεις εκκινησης, οι υδροληψιες, τα παρατηρητηρια, οι

δρομοι προσβασης και να επιλεξουν τους βελτιστους συνδυασμους.

Ο υπολογισμος του χρονου προσπελασιμοτητας των επιγειων οχηματων εγινε με βαση το οδικο δικτυο και τη κλιση. Για τον σκοπο αυτο χρησιμοποιηθηκαν χαρτες σε μορφη μητρωου (raster maps) και εγινε εφαρμογη της χωρικης αναλυσης. Έτσι το οδικο δικτυο μετατραπηκε σε μορφη μητρωου οπου σε καθε κελι αποθηκευεται η δυσκολια προσπέλασης αναλογα με τον τυπο του δρομου και την κλιση. Η δυσκολια προσπέλασης μετατραπηκε στον μέσο χρονο προσπέλασης του καθε κελιου απο ένα πυροσβεστικο οχημα. Η διασχιση των κελιων που δεν αντιστοιχουν σε δρομους εκτιμήθηκε βαση του τυπου και της πυκνοτητας της βλαστησης αλλα και της κλισης του εδαφους.

Απο τον χαρτη χρονου προσπελασης του καθε κελιου ('Impedance Map') προκυπτει για καθε κελι ο ελαχιστος χρονος που χρειαζεται για την προσεγγιση της πυρκαϊας απο καθε βαση. Ο οποιος υπολογιζεται ως ο συνολικος χρονος προσέγγισης ενος κελιου του μητρωου απο την κοντινότερη βαση.

Η βελτιστη προσβαση δι'αερος εκτιμαται υπολογιζοντας την αποσταση της πυρκαϊας απο τις αεροπορικες βασεις και την μεση ταχυτητα των αεροσκαφων. Η δι'αερος σε συνδυασμο με την επιγεια προσβαση οδηγουν σε ενα συνθετικο χαρτη οπου αποτυπωνονται οι διαθεσιμοι ποροι γαι την καταπολεμηση της πυρκαϊας. Ο παραπανω χαρτης σε συνδυασμο με τον χαρτη προσπελασιμοτητας στην περιοχη της πυρκαϊας χρησιμοποιουονται για τον υπολογισμο των βελτιστων χρονων ανεφοδιασμου των πυροσβεστικων οχηματων απο τις κοντινότερες υδροληψιες.



### Σχημα 3: Υπολογισμος ορατοτητας απο τα Παρατηρητηρια

Η αποδοση των παρατηρητηριων ειναι συναρτηση του αριθμου τους και των θεσεων τους στο αναγλυφο της περιοχης ετσι ωστε να συναρτουν ενα δικτυο πληρους ορατοτητας και παρακολουθησης της περιοχης. Θεωρηθηκε λοιπον οτι υπαρχει σημαντικη σχεση μεταξυ του βαθμου καλυψης της περιοχης και του χρονου εντοπισης της πυρκαϊας. Ετσι απο το ψηφιακο μοντελο εδαφους της περιοχης εγινε μια αναλυση των διαφορων σημειων με την καλυτερη ορατοτητα των μελετουμενων περιοχων.

Η εκτιμηση της βελτιστης αμυνας ειναι περισσοτερο συνθετη, καθοτι απαιτει καλη γνωση των δασοπυροσβεστων και αποδοση των οχηματων.

Η προσπελασιμοτητα στην περιοχη που δεν υπαρχει προσβαση απο δρομο εξαρταται αμεσα απο την βλαστηση και την κλιση του εδαφους.

Η δια αερος προσβαση μπορει επισης να δυσκολευει εξαιτιας πολλων παραμετρων οπως η ταχυτητα του αερος, η πυκνοτητα του καπνου, η τοπογραφια της περιοχης καθως και το φως της ημερας. Ολες αυτες οι παραμετροι εληφθησαν υποψη στην προσομοιωση των βελτιστων διαδικασιων για την καταπολεμηση της πυρκαϊας και μειωθηκε το σετ των παραμετρων στις εξης διαδικασιες:

- απευθειας αμυνα μεσα στις φλογες,
- μη απευθειας αμυνα και εκροη νερου απο τα αεροπλανα,

Ολες οι εκτιμησεις (χρονων και αποτελεσματικοτητας του μέσου) βασιζονται σε πραγματικα δεδομενα και παρατηρησεις και δινουν μια μεση τιμη της βελτιστης καταπολεμησης της πυρκαϊας.

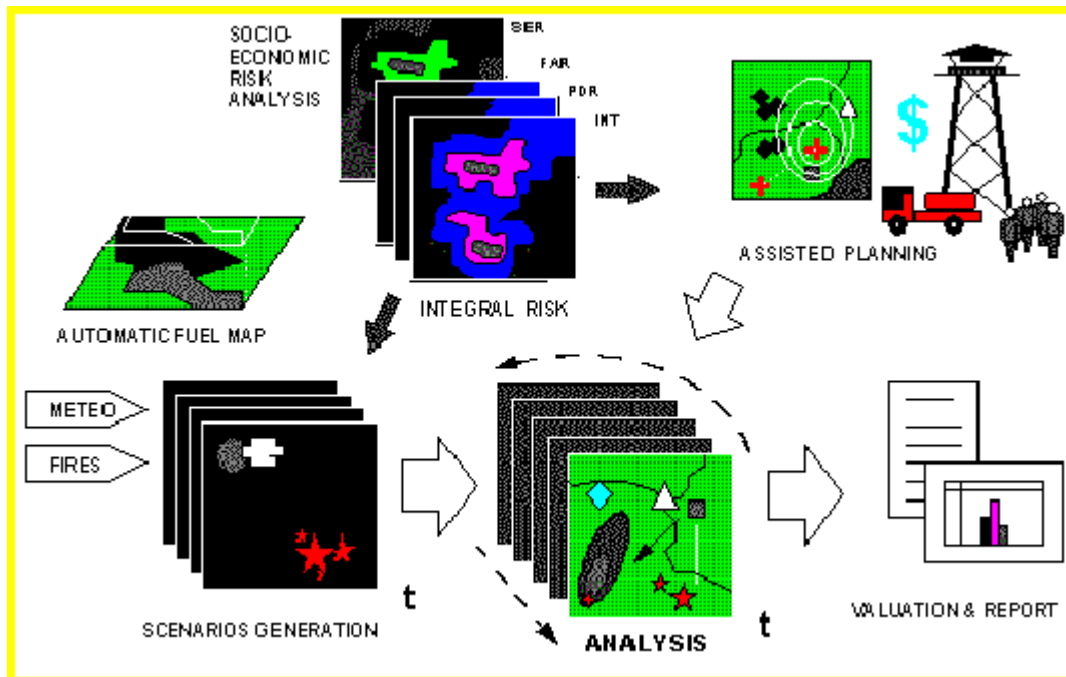
Ενα διαχειριστικο σχεδιο με καταλληλες υποδομες, παρατηρητηρια, βελτιωση της αμυνας για την καταπολεμηση της πυρκαϊας εχει ενα σημαντικό κοστος. Για την βελτιστοποιηση του κοστους αυτου επροταθη να γινει ενας σχεδιασμος συμφωνα με το προβλεπομενο ρισκο εμφανισης πυρκαϊας. Η δυνατοτητα συνδυασμου του προβλεπομενου ρισκου και της βελτιστης αποδοσης και κοστους αποτελεί μια πραγματικα σημαντικη προστιθεμενη αξια σε ενα συστημα ληψης αποφασης για την βελτιστη καταπολεμηση μιας δασικης πυρκαϊας.

### **ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ**

Οταν επιτευχθει η εκτιμηση των διαφορων σεναριων εξελιξης της πυρκαϊας, η βελτιστη διαχειριση των πορων καθως και ο σχεδιασμος μιας απαιρητης υποδομης τοτε το μοντελο προχωρα σε μια εκτιμηση του κοστους των απωλειων οφειλομενων στην καταστροφη του περιβαλλοντος. Οι προσομοιωσεις αυτες βασιζονται σε ενα ισχυρο εργαλειο εκτιμησης εξαπλωσης της φωτιας οπου υπολογιζεται η μεταδοση της και τα χαρακτηριστικα της σε καθε κελι. Επισης εκτιμωνται το μηκος της φλογας, η θερμοτητα ανα επιφανεια και η ενταση της φωτιας παραμετροι σημαντικοι στην εκτιμηση των απαιτουμενων δυναμεων που χρειαζονται για την αποτελεσματικη καταπολεμηση και κατασβεση της.

Επισης γινεται υπολογισμος ενος δεικτη που καθοριζει την απουδαιοτητα μιας δασικης πυρκαϊας για καθε πυρκαϊα στην περιοχη. Αυτη η τιμη εξελισσεται με τον χρονο σαν τις αλλαγες που συμβαινουν στο μεγεθος της περιμετρου της πυρκαϊας, την τοποθεσια και

την ένταση της. Ο δείκτης αυτός βοηθά στην στιγμιαία την προσαρμογή των διατιθέμενων πόρων και την βελτιστή κατανομή της. Επίσης άλλα κριτήρια λαμβάνονται υπόψη όπως η διοίκηση της περιοχής ή η διαθεσιμότητα των ομάδων καταπολέμησης.



Σχήμα 4: Αρχιτεκτονική συνολικού συστήματος

Οι μονάδες καταπολέμησης της πυρκαϊάς κατανομούνται και αποστέλλονται σύμφωνα με την σπουδαιότητα κάθε πυρκαϊάς. Συχνά υπάρχουν περιορισμένοι πόροι σε σχέση με αυτούς που απαιτούνται εξαιτίας είτε της έλλειψης διαθέσιμων μονάδων είτε της υπερβολικής ζήτησης σε ημέρες αιχμής. Στις περιπτώσεις αυτές η καταπολέμηση της φωτιάς δεν είναι 100% επιτυχής με αποτέλεσμα τη διαφυγή της. Το σύστημα τότε εκτιμά το μέγεθος της φωτιάς που πρέπει να εμφανιστεί έτσι ώστε να απορροφήσει όλους τους διαθέσιμους πόρους για την ασφαλή και επιτυχή κατασβεση της.

Προηγούμενα μοντέλα εκτίμησης κατανομής πόρων [Χανθοπούλος] λαμβάνουν υπόψη τους την αύξηση της περιμέτρου της φωτιάς και εκτιμούν τις απαιτούμενες μονάδες καταπολέμησης της και κατασβεσης της. Για την βελτίωση αυτής της μεθοδολογίας θεωρήθηκαν 4 διαφορετικές τάξεις της περιμέτρου τη φωτιάς σύμφωνα με της ένταση της και την μεταβολή της σε σχέση με τον χρόνο. Για κάθε μια από αυτές τις τάξεις θεωρήθηκαν διαφορετικές τιμές αύξησης και κατά συνέπεια η ολική απαιτούμενη δύναμη κατανομείται σύμφωνα με τις ανάγκες κάθε τάξης.

## ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΦΟΡΑ

Το σύστημα προσομοιώνει τον κίνδυνο εμφάνισης πυρκαϊάς σε μια ορισμένη περίοδο προσομοίωσης. Αυτό το χρονικό διάστημα μεταβαλλεται από μια μέρα μέχρι μερικούς μήνες. Στοιχεία όπως το κλίμα και ο άνεμος που εκτιμώνται από πιθανολογικούς υπολογισμούς μπορεί να διαφέρουν από τα πραγματικά σε κάποια προσομοίωση. Έτσι το μοντέλο προσομοίωσης εφαρμόστηκε για την ίδια προσομοίωση αρκετές φορές και κάθε φορά επροστίθετο μια πολύ μικρή στοχαστική μεταβολή.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης παρουσιάζονται σε μορφή πινάκων και γραφικών. Σε αυτά περιλαμβάνονται στοιχεία εξελίξης καιρού και ανέμου, κατανομή εμφανίσεων πυρκαγιών, μέσες τιμές ανάπτυξης των σπασών το μέγεθος, οι γραμμές έντασης, η σπουδαιότητα κάθε πυρκαγιάς κ.α. Επιπλέον λαμβάνονται αναφορές σχετικά με την χρήση των πόρων και την βέλτιστη κατανομή τους.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δίνουν:

- το συνολικό οικονομικό κόστος
- τους διαθέσιμους πόρους που χρησιμοποιήθηκαν για την αντιμετώπιση και καταπολέμηση
- το κόστος των πόρων που χρησιμοποιήθηκαν
- το κόστος των ζημιών (περιβαλλοντικής υποβαθμίσης, καμένες εκτάσεις, ιδιοκτησίες, κλπ)
- το κόστος συντήρησης της επιλεγείσας υποδομής

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

EFTICHIDIS, G.; VATISTAS, A.; ANDREAKOS, P.; KILAKOS, S. (1990). *Expert support system for forest fire prediction and management*. Proceedings of the 1st International Conference on Forest Fire Research. Coimbra, Portugal, pg. B.15-1.

CABALLERO, D.; MARTINEZ-MILLAN, J.; MARTOS, J.; VIGNOTE, S. (1994). *CARDIN 3.0, a model for forest fire spread and fire fighting simulation*. Proceedings of the 2nd International Conference on Forest Fire Research. Coimbra, Portugal, Vol.1: 501.

CABALLERO, D. (1998). *FOMFIS: A computer based system for forest fire prevention planning*. Pp. 2643-2652. In proceedings of the 3<sup>rd</sup> Conf. On Forest Fire Research, November 16-20, Luso-Coimbra, Portugal. Domingos Xavier Viegas, editor. Published by ADAI, Coimbra, Portugal. 2718 p.

IBERSAT (1998) Informe sobre el desarrollo metodológico de la cartografía de combustibles forestales en Galicia. Ibersat, S.A. Madrid

LYRINTZIS, G., G. XANTHOPOULOS, AND P. GAGARI. (1998). *FOMFIS: a system for forest fire management and prevention*. Agricultural Research and Technology: (Agrotiki Ereuna kai Technologia, in Greek)

VEGA, J.A. (1997). Notas sobre la adecuación de los modelos de combustibles del sistema BEHAVE al caso de Galicia. Comunicación personal 10/7/1997.

XANTHOPOULOS, G. (1994). *Development of a decision support system for water bomber dispatching in Greece*. Proceedings of the 2nd International Conference on Forest Fire Research. Coimbra, Portugal, pg. 139-149.

XANTHOPOULOS, G. (1997) Active Fuel Load as a function of brush height and brush cover. Personal Communication.