

ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΔΑΣΙΚΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΠΥΡΟ-ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΗΣ ΣΕ ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΟΠΙΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Ηλιόπουλος Νικόλαος^{1,*}, Καλαμποκίδης Κώστας², Κάλλος Γεώργιος³, Φείδας Χαράλαμπος⁴, Μαλούνης Αλέξανδρος⁵ και Μαυροματίδης Ηλίας⁶

¹ Υποψήφιος Διδάκτορας Πανεπιστημίου Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας-Αξιωματικός Πυροσβεστικού Σώματος στο Συντονιστικό Επιχειρησιακό Κέντρο Υπηρεσιών Πυροσβεστικού Σώματος, Μικράς Ασίας και Ριζαρείου 1, 15233, Χαλάνδρι, Αθήνα. Τηλ.6974093413, Email: hlnic@rocketmail.com

² Αναπληρωτής Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Τμήμα Γεωγραφίας, Λόφος Πανεπιστημίου 81100 Μυτιλήνη. Τηλ. 22510 36436, Email: kalabokidis@aegean.gr

³ Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστημιούπολη, Κτίριο ΦΥΣΙΚΗΣ V, Αθήνα 15784, Τηλ.210 7276835, Email: kallos@mg.uoa.gr

⁴ Επίκουρος Καθηγητής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστημιούπολη, 541 24 Θεσσαλονίκη, Τηλ.2310 998899, Email: hfeidas@geo.auth.gr

⁵ Αξιωματικός Πυροσβεστικού Σώματος στο Συντονιστικό Επιχειρησιακό Κέντρο Υπηρεσιών Πυροσβεστικού Σώματος, Μικράς Ασίας και Ριζαρείου 1, 15233, Χαλάνδρι, Αθήνα, Τηλ. 210 8773205, Email: malounis@gmail.com

⁶ Μεταδιδακτορικός ερευνητής στο Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Ελευθ. Βενιζέλου 70, Καλλιθέα - Αθήνα 17671, Τηλ. 210 9549167, Email: iliasmavr@hua.gr

Περίληψη

Η γνώση της κατάστασης που επικρατεί όσον αφορά τις καιρικές συνθήκες ανέμου, θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας αέρα είναι κρίσιμη για να περιγραφεί η μετεωρολογία της δασικής πυρκαγιάς (Πυρο-μετεωρολογία). Σε αυτή την εργασία, ένα μέσης κλίμακας αριθμητικό μετεωρολογικό μοντέλο, το RAMS χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της ροής του αέρα σε μια πραγματική κατάσταση δύο πυρκαγιών στην περιοχή της Αττικής τον Ιούλιο του 2005. Σε αυτήν τη μελέτη χρησιμοποιούμε ένα από τα πιο γνωστά μοντέλα πυρκαγιάς, το FARSITE (Fire Area Simulator) για την περιγραφή της συμπεριφοράς της δασικής πυρκαγιάς, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της καύσιμης ύλης, του εδάφους και των καιρικών συνθηκών. Η χρήση του FARSITE σε περιοχές διαφορετικές από εκείνες στις οποίες αναπτύχθηκε το μοντέλο αρχικά απαιτεί μια τοπική βαθμονόμηση για να παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα μεσογειακά οικοσυστήματα, όπου οι κοινότητες των φυτών χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια και πολυπλοκότητα. Για να βαθμονομηθεί το FARSITE είναι αναγκαίο το κατάλληλο μοντέλο καυσίμων για τη συγκεκριμένη περιοχή. Προσομοιώθηκαν με το FARSITE δύο πυρκαγιές σε μεσογειακά οικοσυστήματα της Ανατολικής Αττικής, που αντιστοιχούν σε διαφορετικά μοντέλα καυσίμου και μετεωρολογικών συνθηκών. Στο τέλος αξιολογήθηκε η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Τα αποτελέσματά μας επιβεβαιώνουν ότι η χρήση σωστών μετεωρολογικών δεδομένων και κατάλληλα προσαρμοσμένων μοντέλων καυσίμων είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη αξιόπιστων προσομοιώσεων για τις καταστροφικές πυρκαγιές που συμβαίνουν στη βλάστηση της Μεσογείου κατά τη ξηρο-θερμική περίοδο.

FOREST FIRE MODELING AND THE EFFECT OF FIRE-WEATHER IN LANDSCAPE FIRE BEHAVIOR FOR THE REGION OF ATTICA, GREECE

Iliopoulos Nikolaos^{1,*}, Kalabokidis Kostas², Kallos Georgios³, Feidas Haralambos⁴, Malounis Alexandros⁵ and Mavromatidis Ilias⁶

¹PhD candidate, University of the Aegean, Department of Geography. Officer in the Coordinative Operational Centre of Fire Brigade Services, Mikras Asias and Rizareiou 1, 15233, Chalandri, Athens. Tel. +30 6974093413, Email: hlnic@rocketmail.com

²Associate Professor, University of the Aegean, Department of Geography, 81100 Mytilene. Tel. +30 22510 36436, Email: kalabokidis@aegean.gr

³Professor, Athens University, Department of Physics, Campus, Physics Building V, Athens 15784, Tel.+30 210 7276835, Email: kallos@mg.uoa.gr

⁴Assistant Professor, Aristotetle University of Thessalonici, Department of Geology, 54124 Thessalonici, Tel +30 2310 998899, Email: hfeidas@geo.auth.gr

⁵Officer in the Coordinative Operational Centre of Fire Brigade Services, Mikras Asias and Rizareiou 1, 15233, Chalandri, Athens. Tel. +30 6974093413, Email: malounis@gmail.com

⁶Post doc researcher of Harokopion University, 70 El. Venizelou, Kallithea - Athens 17671, Tel.+30 210 9549167, Email: iliasmavr@hua.gr

Abstract

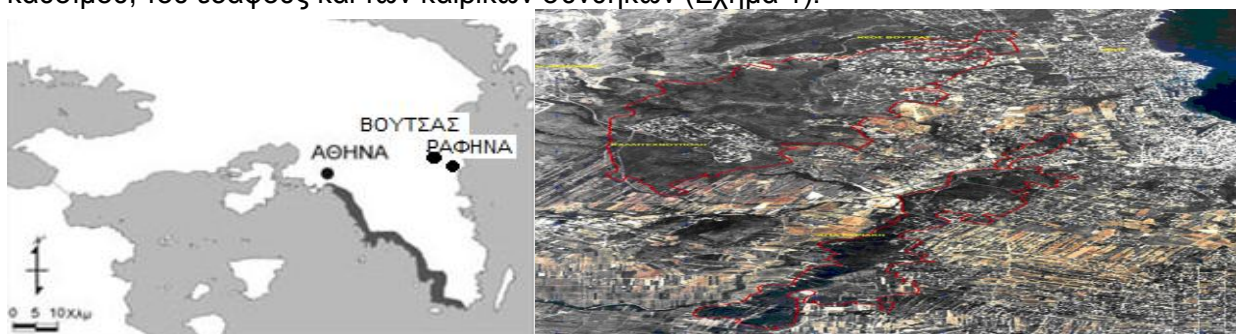
The knowledge of conditions that prevail in regards to meteorological condition of wind, temperature and relative humidity are critical to describe fire meteorology and behavior of forest fire. In this paper, the mesoscale numerical meteorological model RAMS has been used for the simulation of air flow in two fire events in the region of Attica in Greece in July 2005. In this study, we utilized the FARSITE (Fire Area Simulator) fire model, for the description of forest fire behavior, taking into consideration the influence of fuels, topography and weather conditions. The use of FARSITE on areas different from those where the simulator was originally developed requires a local calibration to produce reliable results. This is particularly true for Mediterranean ecosystems, where plant communities are characterised by high specific and structural heterogeneity and complexity. To perform the FARSITE calibration a suitable fuel model for the specific region is necessary. Two fires in Mediterranean ecosystems of Eastern Attica, Greece were simulated with the use of different fuel models and meteorological conditions. The accuracy of the results was evaluated and confirmed that the use of correct meteorological data and suitable fuel models is very important for the reception of reliable simulations for the devastating fires that occur in the vegetation types of the Mediterranean during the summer fire season.

Λέξεις Κλειδιά: Πυρο-μετεωρολογία, Μοντέλο Πυρκαγιάς Farsite
Key Words: Fire-meteorology, Farsite Fire Model

1. Εισαγωγή

Για χρόνια, οι δασικές πυρκαγιές είναι ένα πολύ κοινό φαινόμενο στα μεσογειακά κλίματα. Οι αλλαγές χρήσης γης έχουν αυξήσει την συχνότητα των καταστροφικών πυρκαγιών. Στην Ελλάδα, η περιοχή της Αττικής (Σχήμα 1) είναι μια από τις περιοχές που επηρεάζονται από αυτήν την αύξηση στη συχνότητα των πυρκαγιών. Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στη μελέτη του σχηματισμού και της διάδοσης των δασικών πυρκαγιών είναι ο άνεμος. Όπως είναι γνωστό, η

διάδοση της πυρκαγιάς εξουσιάζεται προ πάντων από τη ταχύτητα του ανέμου. Για τη σωστή πρόληψη και τον έλεγχο των πυρκαγιών, μια πολύ καλή γνώση του τρισδιάστατου ανέμου και η χρονική εξέλιξή της είναι θεμελιώδης. Τα αριθμητικά μετεωρολογικά μοντέλα όπως το RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*) μπορούν να παρέχουν τέτοιες πληροφορίες. Είναι δυνατό να προσομοιωθούν ο παράγοντας του ανέμου, η επιφανειακή θερμοκρασία, η σχετική υγρασία του αέρα δηλαδή η μετεωρολογία της δασικής πυρκαγιάς (Πυρο-μετεωρολογία) καθώς και η χρονική εξέλιξή τους, χρησιμοποιώντας το RAMS και τις διαθέσιμες παρατηρήσεις (Miranda και Borrego, 1996). Τα μετεωρολογικά στοιχεία που προκύπτουν μπορούν να εισαχθούν σε ένα μοντέλο πυρκαγιάς όπως το FARSITE (Fire Area Simulator) για την περιγραφή της συμπεριφοράς της δασικής πυρκαγιάς. Συγκεκριμένα, προσομοιώνονται με το FARSITE δύο δασικές πυρκαγιές στην περιοχή της Ραφήνας και του Βουτσά στην ανατολική Αττική στις 28^η Ιουλίου 2005 λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της καύσιμης ύλης, χρησιμοποιώντας διαφορετικά μοντέλα καυσίμου, του εδάφους και των καιρικών συνθηκών (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Περιοχή της Αττικής-Οριογραμμή καμμένων περιοχών των πυρκαγιών στο Βουτσά και στη Ραφήνα στις 28 Ιουλίου του 2005.

2. Δεδομένα – Μεθοδολογία

2.1 Κλιματικές Συνθήκες-Βλάστηση

Η Ραφήνα και ο Βουτσάς, οι τοποθεσίες που ξέσπασαν μεγάλες δασικές πυρκαγιές στις 28 Ιουλίου του 2005, έχουν απόσταση 2.8 χλμ και βρίσκονται στην ανατολική Αττική, στην Ελλάδα (B: 38° 01', A: 24° 00') σε υψόμετρο 100 μέτρων πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Η ανατολική Αττική χαρακτηρίζεται από το τυπικό ξηρό μεσογειακό κλίμα. Τον περισσότερο χρόνο δεν βρέχει εκτός από τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες, με συνολικό ετήσιο ύψος βροχής τα 397mm, μέση ετήσια θερμοκρασία τους 17.3 °C, αλλά την καλοκαιρινή περίοδο η μέση μέγιστη θερμοκρασία φτάνει τους 30.9 °C σύμφωνα με κλιματικά στοιχεία περιόδου 1986-1997, που συλλέχτηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό του Μαραθώνα που βρίσκεται περίπου 9 χιλιόμετρα βόρεια από τις περιοχές των πυρκαγιών. Οι μέσες ταχύτητες των ανέμων είναι υψηλές χειμώνα-καλοκαίρι με κατά το πλείστον Β-ΒΑ ανέμους. Η τοπογραφία και η αύρα σε πολλές περιπτώσεις είναι δυνατόν να διαφοροποιούν την κατεύθυνση των ανέμων. Η καμένη έκταση (περίπου 9000 στρέμματα) καλυπτόταν από την τυπική μεσογειακή βλάστηση με κυρίαρχα είδη τα: Χαλέπιος πεύκη (*Pinus halepensis*), πουρνάρι (*Quercus coccifera*), φιλλύκη (*Phillyrea latifolia*), σχίνος (*Pistacia lentiscus*), και αφάνα (*Genista acanthoclada*).

2.2 Μετεωρολογικό Μοντέλο RAMS

Το Αριθμητικό Ατμοσφαιρικό μοντέλο RAMS (*Regional Atmospheric Modeling System*) είναι ένα αριθμητικό μοντέλο πολλαπλών εφαρμογών, που αναπτύχθηκε στο Colorado State University σε συνεργασία με την ASTER Division of Mission Research Corporation για προσομοίωση και πρόγνωση μετεωρολογικών φαινομένων και για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων (Pielke *et al.* 1992). Το μοντέλο επιτρέπει προσομοιώσεις των ατμοσφαιρικών φαινομένων σε κλίμακες από μερικές εκατοντάδες μέτρα μέχρι και μερικές χιλιάδες μέτρα. Το RAMS εφαρμόζεται πολύ συχνά σαν μοντέλο περιορισμένης περιοχής.

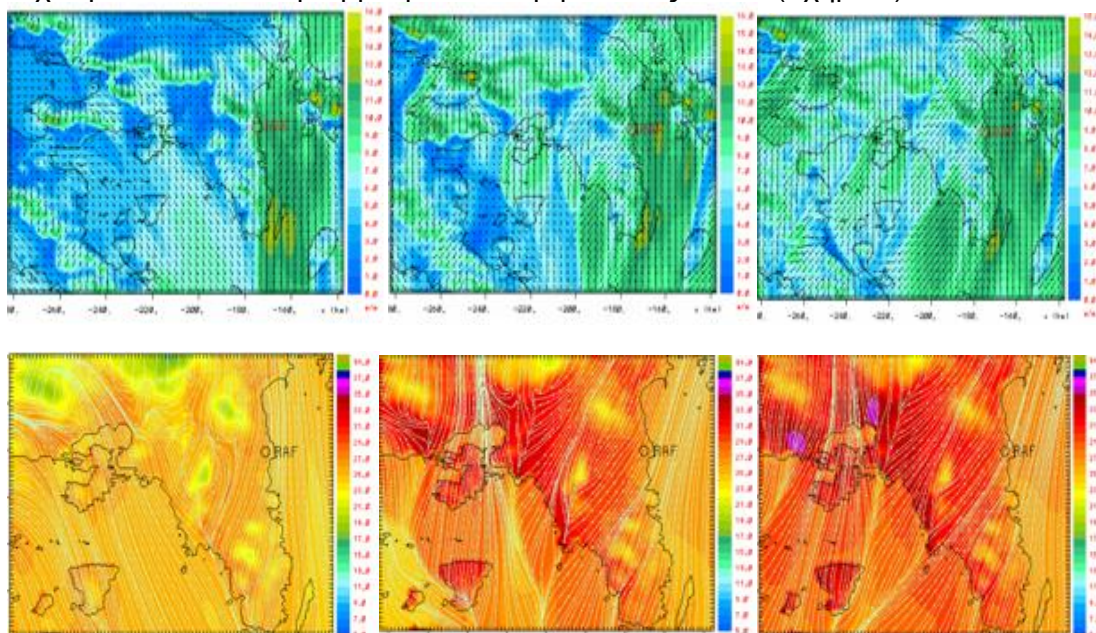
2.3 Μοντέλο Πυρκαγιάς FARSITE

Το FARSITE (Fire Area Simulator) είναι ένα από τα κύρια συστήματα προσομοίωσης της πυρκαγιάς που αναπτύχθηκε την τελευταία δεκαετία για να περιγράψει τη εξάπλωση και τη συμπεριφορά των δασικών πυρκαγιών στο χώρο. Το μοντέλο εξάπλωσης πυρκαγιάς FARSITE υπολογίζει ένταση πυρκαγιάς και ταχύτητα εξάπλωσης για πολυάριθμα σημεία κατά μήκος του τοπίου χρησιμοποιώντας το μοντέλο συμπεριφοράς πυρκαγιάς του Rothermel (1972). Απαιτούμενα δεδομένα για την προσομοίωση πυρκαγιάς στο χωροχρονικό μοντέλο FARSITE είναι οι παράγοντες που συγκροτούν το τρίγωνο της φωτιάς (τοπογραφία, χαρακτηριστικά καύσιμης ύλης και καιρικές συνθήκες). Τα χωρικά δεδομένα τύπου κανάβου (raster) που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο FARSITE είναι το υψόμετρο (elevation), η κλίση (slope), ο προσανατολισμός - έκθεση (aspect), η καύσιμη ύλη (fuels), η κάλυψη κόμης (canopy cover), το ύψος κόμης (canopy height), το ύψος έναρξης της ζωντανής κόμης (crown base height) και η πυκνότητα όγκου κόμης (crown bulk density).

3. Αποτελέσματα

3.1 Προσομοίωση RAMS

Το RAMS προσομοίωσε τις ατμοσφαιρικές συνθήκες στην περιοχή της Ραφήνας και του Βουτσά στην ανατολική Αττική από τις 25 Ιουλίου 15:00 UTC έως τις 30 Ιουλίου 15:00 UTC με μέγεθος πλέγματος 1 χλμ και ανάλυσης 80x72. Για την κατακόρυφη ανάλυση χρησιμοποιούνται 35 επίπεδα μέχρι το ύψος 18 χλμ. Το χρονικό βήμα για την προσομοίωση είναι 60 s. Το Rams προσομοίωσε τον άνεμο και την θερμοκρασία για την περίοδο των δύο πυρκαγιών. Στις 28 Ιουλίου του 2005 και ώρα 10:00 τοπική, ο άνεμος ήταν ΒΑ με ταχύτητα 12m/s και η θερμοκρασία στους 26 °C. Στις 13:00 τοπική ώρα ο άνεμος εξακολουθούσε να είναι ΒΑ με ταχύτητα 12 m/s ενώ η θερμοκρασία είχε αυξηθεί στους 29 °C. Στις 15:00 ο άνεμος εξακολουθούσε να είναι ΒΑ με ταχύτητα 12 m/s ενώ η θερμοκρασία ανέβηκε στους 30 °C (Σχήμα 2).



Σχήμα 2. Προσομοίωση από το μοντέλο Rams του ανέμου και των ρευματογραμμών-θερμοκρασίας για την περιοχή της Ραφήνας στις 28-07-2005 και για τις Ω/ 10:00, 13:00 και 15:00.

3.2 Προσομοίωση FARSITE

Χρησιμοποιήθηκε ένα ψηφιακό μοντέλο εδάφους με οριζόντια ανάλυση 25 x 25 m για την περιοχή ενδιαφέροντος. Από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους πέρα από την υψομετρική πληροφορία λήφθηκε η απαραίτητη πληροφορία για την κλίση και την έκθεση προς τον ορίζοντα. Τα

μετεωρολογικά δεδομένα (ταχύτητας του ανέμου, της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, της νεφοκάλυψης, και της σχετικής υγρασίας του αέρα) εισέρχονται στο Farsite από τα αποτελέσματα του μοντέλου Rams και τις ενδείξεις των πλησιέστερων μετεωρολογικών σταθμών του Μαραθώνα και του αεροδρομίου «Ελευθέριος Βενιζέλος». Για την δημιουργία των μοντέλων καύσιμης ύλης έγινε φωτοερμηνεία της περιοχής μελέτης με χρήση εικόνας Quickbird η οποία μεταφορτώθηκε στο Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών από τους διαδικτυακούς διακομιστές εικόνων της Google (επίπεδο εικόνας αντίστοιχου της κλίμακας 1: 5.000). Κατά την φωτοερμηνεία έγινε επίσης και χρήση του δείκτη NDVI, που προέκυψε από σκηνή λήψης ASTER του 2004 για όλη την Αττική, για όσο το δυνατόν καλύτερη εκτίμηση του ποσοστού κάλυψης των περιοχών από την αναλογούσα βλάστηση (Canopy cover). Για την συγκεκριμένη περιοχή το ύψος κόμης (canopy height) εκτιμήθηκε βιβλιογραφικά στα 10.0 m, το ύψος έναρξης της ζωντανής κόμης (crown base height) εκτιμήθηκε στα 4.8 m και η πυκνότητα όγκου κόμης (crown bulk density) εκτιμήθηκε στα 0.16 kg/m³ (Mitsopoulos and Dimitrakopoulos, 2006). Στη συνέχεια εισάγονται στο FARSITE οι περιεχόμενες υγρασίες ζωντανής και νεκρής καύσιμης ύλης ανά Μοντέλο Καύσιμης Ύλης (Μέτρηση από τον κ. Ξανθόπουλο - Ινστιτούτο Δασικών Ερευνών). Περιεχόμενη υγρασία νεκρής καύσιμης ύλης: 1-hr TL : 5%, 10-hr TL: 6% και 100-hr TL: 10%. Περιεχόμενη υγρασία Ζωντανής καύσιμης ύλης χορτολιβαδικής: 100% και ξυλώδους: 100%. Επόμενο βήμα αποτελεί ο καθορισμός των παραμέτρων του μοντέλου που ρυθμίζουν τη χωρική και χρονική ανάλυση της προσομοίωσης (χρονικό βήμα, οπτικό βήμα, ανάλυση περιμέτρου και απόστασης εξάπλωσης). Χρονικό βήμα (time step) είναι η μέγιστο χρονικό διάστημα που οι συνθήκες σε ένα ορισμένο σημείο θεωρούνται ως σταθερές έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η προβολή του μετώπου πυρκαγιάς. Στην περίπτωση της πυρκαγιάς που μελετάμε, ορίστηκε ως χρονικό βήμα τα 30min, οπτικό βήμα η 1hr, ανάλυση της περιμέτρου τα 60m και ανάλυση απόστασης εξάπλωσης τα 30 m.

Τέλος, για τις προσομοιώσεις των πυρκαγιών καθορίστηκαν οι διάρκειές τους, για την Ραφήνα (από 28/7/2005 στις 10:45 έως 28/7/2005 στις 18:00) και για τον Βουτσά (από 28/7/2005 στις 13:25 έως 28/7/2005 στις 20:00) καθώς και τα σημεία ανάφλεξης. Εκτιμήθηκε κατά προσέγγιση ότι οι πυρκαγιές εκδηλώθηκαν στην περιοχή με συντεταγμένες B: 38° 01', A: 24° 00'.

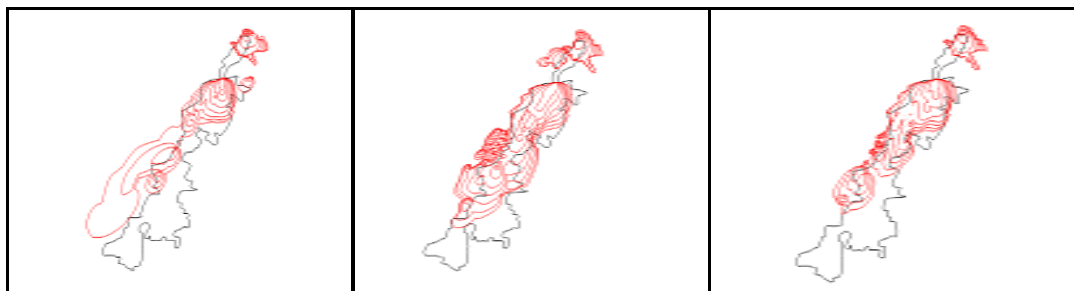
Η χρήση του FARSITE σε περιοχές διαφορετικές από εκείνες στις οποίες αναπτύχθηκε το μοντέλο αρχικά απαιτεί μια τοπική βαθμονόμηση για να παράγει αξιόπιστα αποτελέσματα. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα μεσογειακά οικοσυστήματα, όπου οι κοινότητες των φυτών χαρακτηρίζονται από μεγάλη ανομοιογένεια και πολυπλοκότητα. Για να βαθμονομηθεί το FARSITE είναι αναγκαίο το κατάλληλο μοντέλο καυσίμων για την συγκεκριμένη περιοχή. Σε αυτή τη μελέτη προσομοιώθηκαν με το FARSITE δύο πυρκαγιές στην περιοχή της Μεσογείου και συγκεκριμένα στην Ελλάδα στην ανατολική Αττική, που χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα καυσίμου και μετεωρολογικών συνθηκών.

Η πυρκαγιά την Ραφήνα ξεκίνησε στις 10:45 τοπική ώρα την 28-07-05 και ελέγχτηκε στις 18:00 τοπική ώρα την ίδια ημέρα. Η πυρκαγιά άρχισε από θάμνους και στην συνέχεια προχώρησε καίγοντας χαλέπιο πεύκη. Η πυρκαγιά στον Βουτσά ξεκίνησε στις 13:25 τοπική ώρα στις 28-07-05 και τέθηκε σε έλεγχο στις 20:00 τοπική ώρα την ίδια ημέρα. Οι μετεωρολογικές συνθήκες που έχουν εισαχθεί προέρχονται από τα αποτελέσματα του Rams και των πλησιέστερων μετεωρολογικών σταθμών. Το Farsite προσομοίωσε τις πυρκαγιές στην Ραφήνα και τον Βουτσά χρησιμοποιώντας τα εξής μοντέλα καύσιμης ύλης: 2, 7, 8 και 10 (Andrews, 1986). – δοκιμή 1 στην συνέχεια τα μοντέλα καύσιμης ύλης: 8, 122 και 164 (Scott & Burgan, 2005) – δοκιμή 2 και στο τέλος τα μοντέλα καύσιμης ύλης: 7 και 10 (Corine) – δοκιμή 3. Το Farsite προσομοίωσε την καμένη περιοχή στην πυρκαγιά της Ραφήνας στο 34.14% της πραγματικής για τη δοκιμή 1, στο 62.93% για τη δοκιμή 2 και στο 53.77% για τη δοκιμή 3 (Σχήμα 3). Το Farsite προσομοίωσε την καμένη περιοχή στην πυρκαγιά του Βουτσά στο 96.22% της πραγματικής καμένης για τη δοκιμή 1, στο 35.6% για τη δοκιμή 2 και στο 29.49% για τη δοκιμή 3 (Σχήμα 4).

Για τον έλεγχο της ακρίβειας των προσομοιώσεων χρησιμοποιήθηκε ο μη συμμετρικός στατιστικός δείκτης Sørensen (SC), ο οποίος μετράει τη συσχέτιση μεταξύ της πραγματικής και προσομοιωμένης καμένης έκτασης (Bachisio Arca et al., 2007).

$$SC = \frac{2a}{2a + b + c} \quad (1)$$

όπου α είναι ο αριθμός των κελιών τα οποία έχουν χαρακτηριστεί καμένα και στην πραγματική και στην προσομοιωμένη πυρκαγιά, το b είναι ο αριθμός των κελιών που έχουν χαρακτηριστεί καμένα στην προσομοιωμένη αλλά είναι μη καμένα στην πραγματική πυρκαγιά και c είναι ο αριθμός των κελιών που έχουν χαρακτηριστεί ως μη καμένα στην προσομοιωμένη αλλά είναι καμένα στην πραγματική πυρκαγιά. Τέλος υπολογίστηκε το χ^2 τεστ για να εξετάσει τη μηδενική υπόθεση για την ανεξαρτησία της προσομοιωμένης και της πραγματικής καμένης έκτασης. (Ludwig and Reynolds 1988). Για την πυρκαγιά της Ραφήνας υπολογίστηκε ο SC ως εξής: 0.35, 0.58 και 0.58 για τις δοκιμές 1, 2 και 3 αντίστοιχα. Για την πυρκαγιά του Βουτσά ο SC υπολογίστηκε ομοίως ως εξής: 0.75, 0.46 και 0.45 για τις δοκιμές 1, 2 και 3 αντίστοιχα με το χ^2 τεστ να δείχνει μια σημαντική συσχέτιση της προσομοιωμένης και της πραγματικής καμένης έκτασης με στάθμη σημαντικότητας $\alpha=0.01$.



Σχήμα 3. Προσομοίωση του Farsite για την πυρκαγιά της Ραφήνας στις 28-07-05 για τις δοκιμές μοντέλων καύσιμης ύλης 1,2 και 3. Η μαύρη οριογραμμή είναι η πραγματική καμένη έκταση ενώ η κόκκινη γραμμή δείχνει την ανά ώρα πυρκαγιάς προσομοιωμένη καμένη έκταση.



Σχήμα 4. Προσομοίωση του Farsite για την πυρκαγιά του Βουτσά στις 28-07-05 για τις δοκιμές μοντέλων καύσιμης ύλης 1,2 και 3. Η μαύρη οριογραμμή είναι η πραγματική καμένη έκταση ενώ η κόκκινη γραμμή δείχνει την ανά ώρα πυρκαγιάς προσομοιωμένη καμένη έκταση.

4. Συμπεράσματα

Χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα μοντέλα καύσιμης ύλης προσομοιώθηκε με το Farsite η καμένη έκταση της πυρκαγιάς στην Ραφήνα με 62.93% ακρίβεια για τη δοκιμή 2, ενώ για την πυρκαγιά στον Βουτσά κατά 96.22% της πραγματικής καμένης έκτασης για τη δοκιμή 1, με το συντελεστή SC να λαμβάνει τις τιμές 0.58 και 0.75 αντίστοιχα. Εκτιμήθηκε ότι οι τιμές του SC θα ήταν μεγαλύτερες (παίρνει τιμές από το 0.00 - 1.00) αν δεν επηρέαζαν την πραγματική καμένη έκταση οι δυνάμεις δασοπυρόσβεσης. Η καμένη έκταση στον Βουτσά προσομοιώθηκε καλύτερα από αυτή στην Ραφήνα λόγω της πιο πολύπλοκης τοπογραφίας και της μεγαλύτερης ανομοιογένειας της καύσιμης ύλης στην πυρκαγιά της Ραφήνας. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η χρήση σωστών μετεωρολογικών δεδομένων και κατάλληλα προσαρμοσμένων μοντέλων καυσίμων είναι ζωτικής σημασίας για τη λήψη αξιόπιστων προσομοιώσεων για τις καταστροφικές πυρκαγιές που συμβαίνουν στη βλάστηση της Μεσογείου κατά την περίοδο ξηρασίας.

Βιβλιογραφία

- Andrews P.L., 1986: BEHAVE, fire behavior prediction and fuel modeling system-BURN subsystem, Part 1. USDA Forest Service, Intermountain Research Station General Technical Report INT-194. (Odgen, UT).
- Bachisio Arca, P. DuceA, M. Laconi, G. Pellizzaro, M. Salis and D. Spano, 2007: Evaluation of FARSITE simulator in Mediterranean maquis, *International Journal of Wildland Fire*, 2007, 16, 563–572.
- Ludwig J.A., Reynolds J.F., 1988: 'Statistical Ecology: a primer on methods and computing.' (Wiley: NewYork).
- Miranda Al. and Borrego C., 1996: A prognostic meteorological model applied to the study of a forest fire. *International Journal of Wildland Fire* 6 (4), 157-163.
- Mitsopoulos I.D. and Dimitrakopoulos A.P., 2006: Canopy fuel characteristics and potential crown fire behavior in Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) forests.
- Pielke R.A., Cotton W.R., Walko R.L, Tremback C.J., Lyons W.A., Grasso L.D., Nicholls M.E., Moran M.D., Wesley D.A., Lee T.J., Copeland J.H., 1992: A comprehensive meteorological modeling system rams. *Meteorology and Atmospheric Physics* 49, 69-91.
- Rothermel R.C., 1972: A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service Research Paper INT-115. *International Journal of Wildland Fire* (Odgen, UT).
- Scott J.H. and Burgan R.E., 2005: Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153. (Fort Collins, CO).