

Συμπεριφορά και Επιπτώσεις της Πυρκαγιάς του Αγίου Όρους τον Αύγουστο του 2012

Κώστας Καλαμποκίδης¹, Παλαιολόγος Παλαιολόγος¹ και
Βασίλειος Τουλίκας²

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, πολλά προστατευόμενα οικοσυστήματα έχουν αντιμετωπίσει μεγάλα περιστατικά πυρκαγιών, τόσο στην ενδοχώρα όσο και στα νησιωτικά συμπλέγματα της Ελλάδας. Η έρευνα αυτή επικεντρώνεται στην ανάλυση των επιπτώσεων και της συμπεριφοράς της μεγάλης πυρκαγιάς του Αγίου Όρους του 2012 με τη χρήση γεωπληροφορικής, σε συνδυασμό με μετρήσεις πεδίου που πραγματοποιήθηκαν τρεις μήνες μετά την πυρκαγιά. Η πυρκαγιά ξεκίνησε στις 8 Αυγούστου 2012 και κατασβέστηκε στις 12 Αυγούστου 2012, έχοντας κάψει έκταση περίπου 5.000 ha με μέτρια έως υψηλή σφοδρότητα και ένταση. Οι πιο κοινοί τύποι βλάστησης εντός της πυρικής περιμέτρου περιλαμβάνουν δάση κωνοφόρων, θαμνώνες και χορτολιβαδικές εκτάσεις σε ανάμιξη με γεωργικές καλλιέργειες. Με χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat, υπολογίστηκε ο δείκτης Differenced Normalized Burn Ratio (ΔNBR) και χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση της σφοδρότητας καύσης σε πέντε τάξεις σφοδρότητας. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με τη χρήση δεδομένων πεδίου που μετρήθηκαν εφαρμόζοντας το πρωτόκολλο δειγματοληψιών FIREMON. Για τις 30 θέσεις εμβαδού 900 m² έκαστη, βρέθηκε στατιστικά σημαντική θετική συσχέτιση ($r=0,725$ και $p<0,01$). Το λογισμικό προσομοίωσης συμπεριφοράς πυρκαγιών FARSITE χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των απαραίτητων χωροχρονικών προσομοιώσεων της πυρκαγιάς, τα αποτελέσματα του οποίου χρησίμευσαν στην καλύτερη κατανόηση της εξάπλωσης και έντασης της φωτιάς. Στατιστικές αναλύσεις διεξήχθησαν για την εκτίμηση της σχέσης μεταξύ του ΔNBR και άλλων μεταβλητών της βλάστησης και της πυρκαγιάς που μετρήθηκαν στο πεδίο.

Εισαγωγή

Η μελέτη αυτή στοχεύει στη διερεύνηση των επιπτώσεων της μεγαλύτερης πυρκαγιάς που ξέσπασε εντός της διοικητικής επικράτειας του Αγίου Όρους τα τελευταία 40 έτη, καίγοντας περίπου 5.000 ha δασικών και αγροτικών εκτάσεων. Για την επίτευξη αυτού του στόχου έγινε αρχικά γεωφυσική απεικόνιση της περιοχής δράσης της πυρκαγιάς, ενώ στη συνέχεια με τη χρήση εργαλείων της γεωπληροφορικής κατέστη δυνατή η χαρτογράφηση της σφοδρότητας καύσης και η οριοθέτηση της τελικής περιμέτρου, ενώ διεξήχθη προσομοίωση της εξέλιξης της πυρκαγιάς. Τα αποτελέσματα αυτά συνδυάστηκαν με μετρήσεις πεδίου που έλαβαν

¹ Εργαστήριο Γεωγραφίας Φυσικών Καταστροφών, Τμήμα Γεωγραφίας, Πανεπιστήμιο Αιγαίου, 81100 Μυτιλήνη. τηλ.: 22510-36436 -- fax: 22510-36439 -- email: kalabokidis@aegean.gr

² Αντιστράτηγος Πυροσβεστικού Σώματος ε.α. Επίτιμος Γενικός Επιθεωρητής Π.Υ. Βορείου Ελλάδος -- Νομικός

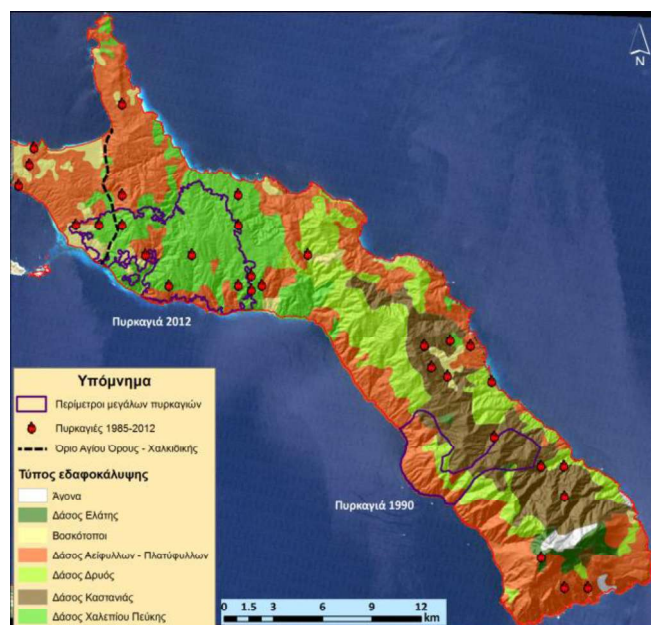
χώρα περίπου τρεις μήνες μετά το περιστατικό, με παράλληλη καταμέτρηση της αναγέννησης κωνοφόρων και αείφυλλων-πλατύφυλλων που ήταν ήδη ευδιάκριτη και μετρήσιμη εκείνη την περίοδο.

Η χλωρίδα του Αγίου Όρους είναι ιδιαίτερος πλούσιος, περιλαμβάνοντας 1.453 είδη και υποείδη που αντιπροσωπεύουν στην περιοχή 539 γένη φυτών και 109 οικογένειες, από τα οποία τα 26 ανήκουν στα περιδόφυτα, 12 στα γυμνόσπερμα και 1.415 στα αγγειόσπερμα, ενώ έχουν καταγραφεί 14 τοπικά ενδημικά, 43 ελληνικά ενδημικά και 70 βαλκανικά ενδημικά είδη (Μπαμπαλώρας κ.ά., 1998). Η βλάστηση περιλαμβάνει όλες σχεδόν τις ζώνες βλάστησης που απαντούν στην Ελλάδα (Εικόνα 1). Το ιδιαίτερο και σημαντικότερο γνώρισμα της βλάστησης είναι τα δάση αείφυλλων-πλατύφυλλων, κυρίως αυτών όπου κυριαρχεί η αριά (*Quercus ilex*), τα οποία παρά τη μετατροπή τους τα τελευταία 100 περίπου έτη σε πρεμνοφυή αποτελούν τα καλύτερα διατηρημένα δάση του τύπου αυτού στη Μεσόγειο.

Μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα όλη η χερσόνησος του Αγίου Όρους καλύπτονταν από μεγαλειώδη υψηλά δάση με μεγάλη πληρότητα και ποικιλία ειδών, όπως τα περιγράφει ο Γερμανός φυτογεωγράφος Griesbach το 1837. Τα άλλοτε υψηλά δάση των αείφυλλων-πλατύφυλλων έχουν μετατραπεί σε θαμνώνες και χαμηλά δάση και μόνο ορισμένα λείψανά τους διατηρούνται ανέπαφα (δάσος αριάς της Αγίας Άννης).

Την ίδια τύχη είχαν και τα δάση των φυλλοβόλων πλατύφυλλων καστανιάς (*Castanea sativa*) και δρυός (*Quercus spp.*) και αριάς, τα οποία με εξαίρεση εκείνα της οξιάς (*Fagus spp.*) έχουν μετατραπεί επίσης σε χαμηλά πρεμνοφυή δάση. Τα μόνα υψηλά δάση του Αγίου Όρους είναι εκείνα των ορεινών μεσογειακών κωνοφόρων μαύρης πεύκης (*Pinus nigra*) και ελάτης (*Abies borisii-regis*), καθώς και τα δάση χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*) και ορισμένα μικρής έκτασης λείψανα μικτών δασών όπως στην Πλαγιάρα της Ιεράς Μονής (Ι.Μ.) Γρηγορίου, στην Ι.Μ. Σίμωνος Πέτρας, στον Μέγα Βελά της Ι.Μ. Μεγίστης Λαύρας κ.ά. (Κακούρος και Ντάφης, 2004). Οι περισσότεροι άγονες και γυμνές εκτάσεις βρίσκονται στο νοτιοανατολικό τμήμα στην κορυφή του Όρους Άθω. Τα δάση των αείφυλλων-πλατύφυλλων, τα οποία περιέβαλλαν τις περισσότερες Ιερές Μονές κάλυπταν ανέκαθεν τις ενεργειακές ανάγκες των μοναχών. Αυτός είναι ο λόγος που τα περισσότερα υποβαθμισμένα δάση αείφυλλων-πλατύφυλλων εμφανίζονται γύρω από τις Ιερές Μονές ή κοντά σε αυτές.

Σύμφωνα με τα στοιχεία για τις δασικές πυρκαγιές στο Άγιο Όρος, που αναφέρουν οι Καϊλίδης και Μαρκάλας (1992) και Στάμου (2001), ο μέσος όρος επεισοδίων κατά την περίοδο 1987-1996 (εξαιρούμενης της μεγάλης πυρκαγιάς του 1990) ήταν ένα επεισόδιο ανά έτος, με μέση καιγόμενη έκταση περίπου τα 60 ha.



Εικόνα 1: Τύποι βλάστησης και περιστατικά πυρκαγιών στην περιοχή του Αγίου Όρους. Vegetation types and wildfire events in Mount Athos.

Για την περίοδο 1969-1996 παρατηρείται ότι οι Ιερές Μονές που υπέφεραν περισσότερο ήταν η Ι.Μ. Παντελεήμονος (οκτώ επεισόδια), η Ι.Μ. Χιλανδαρίου (έξι επεισόδια) και η Ι.Μ. Μεγίστης Λαύρας (τέσσερα επεισόδια), ενώ το 90% των δασών που κάηκαν ήταν αείφυλλα-πλατύφυλλα στα οποία εκτιμάται ότι συμπεριλαμβάνονται και δάση αριάς. Το 1990 ήταν ένα ιδιαιτέρως δυσμενές έτος αφού συνολικά ξέσπασαν επτά πυρκαγιές οι οποίες αποτέφρωσαν 2.655 ha. Η μεγαλύτερη δασική πυρκαγιά πριν το 2012 ήταν αυτή της 14-28/8/1990 στην οποία κάηκαν 2.230 ha (1.080 ha καστανιάς, 274 ha δρυός και 875 ha αείφυλλων-πλατύφυλλων) (Καϊλίδης, 1990).

Στην περιοχή δράσης της φωτιάς του 2012, η βλάστηση κατατάσσεται στην παραλιακή ζώνη βλάστησης και στην ευμεσογειακή ζώνη των αείφυλλων-πλατύφυλλων και των μεσογειακών κωνοφόρων (χαλέπιος πεύκη). Ο κυριότερος τύπος βλάστησης ο οποίος επλήγει περισσότερο από την επίδραση της φωτιάς είναι τα δάση χαλεπίου πεύκης (Εικόνα 2), προερχόμενα κυρίως από αναδασώσεις της δεκαετίας του 1980, στον υπόροφο των οποίων φύτευται η κουμαριά (*Arbutus unedo*), η δάφνη (*Laurus nobilis*), το δενδρώδες ρέικι (*Erica arborea*), η κοκορετσιά (*Pistacia terebinthus*) και το φιλύκι (*Phillyrea latifolia*) ενώ πολύ συχνή παρουσία έχουν και νεαρά δενδρύλλια (saplings) πεύκης και η φτέρη (*Pteridium aquilinum*) σε περιοχές υψηλής υγρασίας (βόρειες εκθέσεις).

Τα δάση κωνοφόρων σε αυτή την περιοχή είναι αραιά και τα κενά μεταξύ των συστάδων καλύπτονται από θαμνώνες αείφυλλων-πλατύφυλλων με συχνή παρουσία ειδών όπως ρέικια (*Erica manipuliflora*), λαδανιές (*Cistus spp.*) και κουμαριές, και σπανιότερη παρουσία των ειδών πουρνάρι (*Quercus coccifera*) και ασπάραγος (*Asparagus aculeatus*). Τα αείφυλλα-πλατύφυλλα στον υπόροφο πολύ συχνά ξεπερνούν σε ύψος τα 2 m, ενώ δεν είναι σπάνια η παρουσία αναρριχώμενων φυτών όπως του κισσού (*Hedera helix*), της αναρριχώμενης τριανταφυλλιάς (*Rosa sempervirens*) και άλλων. Στα πιο υποβαθμισμένα εδάφη εμφανίζεται ρέικι με λαδανιές. Σπανιότερα, εμφανίζονται άτομα κουκουναριάς (*Pinus pinea*), γκορτσιάς (*Pyrus amygdaliformis*) και χνοώδους δρυός (*Quercus pubescens*).



Εικόνα 2: Εικόνες από χαρακτηριστικά άκαυτα τμήματα του δάσους χαλεπίου πεύκης του δυτικού Αγίου Όρους. Pictures from representative unburned parts of *Pinus halepensis* forests in west Mount Athos.

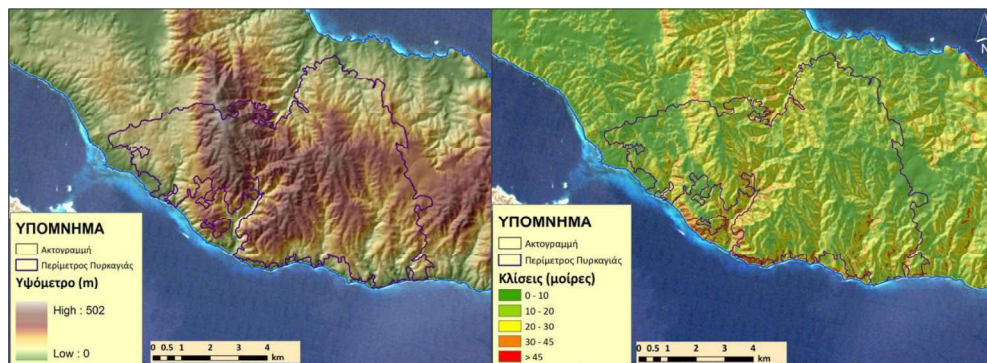
Το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής εξέλιξης της πυρκαγιάς του 2012 αποτελείται από Απλιτικό γρανοδιορίτη (τύπου Χιλανδαρίου) στο ανατολικό τμήμα της πυρκαγιάς, ενώ το δυτικό τμήμα κυριαρχείται από Παρείσακτες κοίτες, φλέβες και αποφύσεις του γρανοδιορίτη (τύπου Σιθωνίας) που διεισδύουν στα μεταίζηματα (Εικόνα 3). Στις κοίτες των ρεμάτων επικρατούν οι Αλλουβιακές αποθέσεις, ενώ κατά τόπους απαντώνται Πλειστοκαινικές αποθέσεις, αδιαίρετες. Η δράση της πυρκαγιάς εκδηλώθηκε σε οκτώ μεγάλες λεκάνες απορροής και σε έξι μικρότερες, με χαρακτηριστικότερες αυτές των ρεμάτων Αγιοπαυλίτικο και Καμάρες στα ΝΑ, Σταυρόλακος στα ΝΔ και Καλιντερή Λάκκος και Αλεποφωλιά στα Β (Εικόνα 3). Τα εδάφη χαρακτηρίζονται ως αμμοαργιλώδη ενώ κατά θέσεις εμφανίζονται και αμμοπηλώδη. Είναι κατά κανόνα αυτόχθονα με εξαίρεση μικροθέσεις σε χαμηλότερα υψόμετρα, όπου έχουν υπάρξει μικρομετακινήσεις, και στις εκβολές των χειμάρρων. Στις περιοχές όπου επικρατεί η δρυς απαντούν κυρίως ορφνά καστανόχρωα εδάφη με έντονα ερυθρό ή ορφνέρυθρο ορίζοντα εμπλουτισμού ο οποίος φέρει σημάδια έκπλυσης αλάτων και διαπήλωση κολλοειδών.



Εικόνα 3: Γεωλογικό υπόβαθρο (αριστερά) και υδρογραφικό δίκτυο με λεκάνες απορροής (δεξιά) της περιοχής μελέτης. Geological types and stream network with basins of the study area.

Η τοπογραφία της περιοχής χαρακτηρίζεται από μεγάλα υψόμετρα στα κεντρικά και δυτικά της καμένης έκτασης του 2012 (Ξηρόβρυση, Κορφούλες, Κουτσουπιά και Μύτη), ενώ στα δυτικά προς τη μεριά της Ουρανούπολης το πεδίο είναι πιο πεδινό

και ομαλό (Εικόνα 4). Μεγάλες κλίσεις υπάρχουν στη νότια πλευρά προς τη θάλασσα ($>30^\circ$), ενώ βαθιές χαράδρες με έντονη κλίση σχηματίζονται στις θέσεις Λεμόνια και Άγιος Βασίλειος της Χουρμίτσας και στο ρέμα Αγιοπαυλίτικο.



Εικόνα 4: Ανάγλυφο (αριστερά) και κλίσεις (δεξιά) της περιοχής μελέτης.
Digital elevation model (left) and slopes (right) of the study area.

Χρονικό Εξέλιξης Πυρκαγιάς

Την Τετάρτη 8 Αυγούστου 2012 στις 15:00 ξέσπασε η μεγάλη πυρκαγιά εντός της διοικητικής περιοχής του Αγίου Όρους στην περιοχή Μονοξυλίτη κοντά στην Ι.Μ. Χιλανδαρίου. Για την κατάσβεση της φωτιάς έσπευσαν άμεσα από αέρος δύο αεροσκάφη και ένα ελικόπτερο, ενώ στο σημείο επιχείρησαν τέσσερα οχήματα από το κλιμάκιο της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας (ΠΥ) στις Καρυές και άλλα τέσσερα πυροσβεστικά οχήματα από διάφορες περιοχές της Χαλκιδικής, με δύο πεζοπόρα τμήματα. Σύντομα η πυρκαγιά βγήκε εκτός ελέγχου, ενώ ισχυρές πυροσβεστικές δυνάμεις προωθήθηκαν με καράβια εντός του Αγίου Όρους. Το πύρινο μέτωπο αρχικά κινήθηκε βόρεια και στη συνέχεια δυτικά προς την Ουρανούπολη. Την Πέμπτη 9 Αυγούστου, οι άνεμοι ήταν ιδιαίτερα ενισχυμένοι από τις 03:00, εντάσεως 6-7 μποφόρ (BF) και τα μέτωπα της φωτιάς μαίνονταν περιμετρικά της Ουρανούπολης. Εκείνο το πρωινό φάνηκε ότι η φωτιά θα απειλούσε την Ουρανούπολη καθώς και παρακείμενες ξενοδοχειακές μονάδες λόγω της διεύθυνσης και της έντασης των ανέμων, οδηγώντας σε προληπτική εκκένωση των ξενοδοχείων. Στην περιοχή της Ουρανούπολης επιχειρούσαν 25 οχήματα με 60 άνδρες, επτά εναέρια μέσα και πεζοπόρα τμήματα, και μέχρι τις 12:00 είχε βελτιωθεί η κατάσταση με ύφεση του μετώπου. Στις 11:00 υπήρχε ένα μεγάλο μέτωπο στα όρια της Χουρμίτσας, περιοχή με έντονη αμπελουργία και γεωργική δραστηριότητα, ενώ δόθηκε μάχη για να προστατευτεί η αρχαιολογική περιοχή της Μονής Ζυγού. Μέχρι το μεσημέρι η φωτιά πλησίασε την Ι.Μ. Χιλανδαρίου.

Την Παρασκευή 10 Αυγούστου 2012 υπήρχαν πύρινα μέτωπα στον Μονοξυλίτη, εκεί δηλαδή που ξεκίνησε η φωτιά, με κατεύθυνση προς τις Ιερές Μονές Εσφιγμένου και Ζωγράφου. Το Γ' Σώμα Στρατού ήταν σε επιφυλακή, ενώ τμήματα των δυνάμεων του βρίσκονταν και επιχειρούσαν ήδη στην περιοχή με τη συνδρομή δύο ελικοπτέρων τύπου Chinook συμβάλλοντας στη δημιουργία αντιπυρικών ζωνών και στην κατάσβεση. Εκείνη την ημέρα επιχείρησαν 55 πυροσβεστικά οχήματα με 138 πυροσβέστες, 40 άτομα πεζοπόρο τμήμα, τέσσερα ελικόπτερα και έξι αεροσκάφη. Ενισχύσεις στάλθηκαν από την κυβέρνηση της Σερβίας, με 49 Σέρβους πυροσβέστες, δύο λεωφορεία, δύο βοηθητικά οχήματα και τέσσερις υδροφόρες, ενώ η κυβέρνηση της Βουλγαρίας έστειλε τέσσερα οχήματα τα οποία δεν επιχείρησαν αλλά χρησιμοποιήθηκαν αποκλειστικά για την πυροπροστασία της Ι.Μ. Ζωγράφου. Τα μέτωπα της Ουρανούπολης και της Χουρμίτσας είχαν κατασβεστεί πλήρως μέχρι το μεσημέρι. Τα μεσάνυχτα οι άνεμοι ενισχύθηκαν στα 5 BF με αποτέλεσμα η πυρκαγιά

ΠΕΔΙΟ 1: ΔΑΣΙΚΗ ΒΟΤΑΝΙΚΗ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

να γυρίσει πίσω και να κατευθυνθεί πάλι προς το Άγιο Όρος. Μέχρι το βράδυ το ένα από τα μέτωπα βρίσκονταν δυτικά των Ιερών Μονών Χιλανδαρίου και Ζωγράφου. Το Σάββατο 11 Αυγούστου 2012 μέχρι τις 13:00, η πυρκαγιά εντοπίζεται μεταξύ των θέσεων Γιοβάνιτσα και Πρώτο Νερό, κινούμενη προς την Ι.Μ. Χιλανδαρίου, χωρίς όμως να την απειλεί. Από τη θέση Πρώτο Νερό, η Ι.Μ. Χιλανδαρίου απέχει σε ευθεία γραμμή 1,5 km. Εκείνη την ημέρα στην περιοχή επιχειρούσε η μεγαλύτερη συγκέντρωση δυνάμεων, όμως η πυρκαγιά ήταν σε έξαρση με πολλές αναζωπυρώσεις. Γύρω στις 20:00, η φωτιά πέρασε τον δρόμο προς την Ι.Μ. Χιλανδαρίου και λίγο πριν πέσει η νύχτα και σταματήσουν οι ρίχνεις νερού, πρόλαβαν τα αεροπλάνα και την έσβησαν, ενώ εκείνη την ώρα (23:00) άρχισαν ισχυρές βροχοπτώσεις στην περιοχή οι οποίες διήρκεσαν μέχρι τα ξημερώματα της επόμενης ημέρας (Κυριακή 12 Αυγούστου).

Συνολικά, στην περιοχή αναπτύχθηκαν από την ΠΥ 64 πυροσβεστικά οχήματα, 175 πυροσβέστες, 58 άτομα πεζοπόρα, 15 αεροσκάφη και πέντε ελικόπτερα, ενώ η Γενική Γραμματεία Πολιτικής Προστασίας κινητοποίησε 27 ειδικά οχήματα και υδροφόρες καθώς και εθελοντικές ομάδες πυρόσβεσης στις οποίες συμμετείχαν 128 άτομα με 12 οχήματα. Η φωτιά αντιμετωπίζονταν κυρίως με έμμεσους τρόπους προσβολής, με τέσσερα χωματουργικά οχήματα να ανοίγουν αντιπυρικές ζώνες οι οποίες έπαιξαν καθοριστικό ρόλο, κυρίως η γραμμή από Ν προς Β (Γιοβάνιτσα έως Πρώτο Νερό). Στη μάχη της κατάσβεσης συμμετείχαν από την πρώτη στιγμή τα τέσσερα πυροσβεστικά οχήματα των Ιερών Μονών, τα οποία είχαν παραχωρηθεί από το Πυροσβεστικό Σώμα ένα έτος πριν, ενώ η Ιερά Επιστοασία του Αγίου Όρους συνέβαλε καθοριστικά στη διοικητική μέριμνα των επιχειρήσεων. Ακόμα, δεν καταγράφηκε καμία καταστροφή οικιών, επιχειρηματικών εγκαταστάσεων και Ιερών Μονών. Οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Με την πυρκαγιά σε ύφεση λόγω των βροχοπτώσεων επετεύχθη ο πλήρης έλεγχος της και η κατάσβεση όλων των μετώπων, όμως για πολλές ημέρες παρέμειναν δυνάμεις ώστε να καθαριστεί η περιοχή και να σβήσουν μικροεστίες οι οποίες έκαιγαν εντός της καμένης περιμέτρου. Η τελική οριοθετημένη περίμετρος της πυρκαγιάς έχει έκταση 4.800 ha (δύο διαστάσεις) με μήκος περιμέτρου 77 km, ενώ εάν συμπεριληφθεί και η τοπογραφία (τρεις διαστάσεις), η καμένη έκταση ανέρχεται σε 5.000 ha.

Περιοχή: Ιερά Μονή Βατοπεδίου, Υψόμετρο: 25 m, ΓΠ: 40° 18' 05" N, ΓΜ: 24° 12' 42" E								
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C), ΣΧΕΤΙΚΗ ΥΓΡΑΣΙΑ (%), ΒΡΟΧΗ (mm), ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ (km/h)								

Ημέρα	Μέση Θερμοκρασία	Μέση Σχετική Υγρασία	Ωρα	Βροχή	Μέση Ταχύτητα Ανέμου	Μέγιστη Ταχύτητα Ριπών Ανέμου	Ωρα	Κυρίαρχη Διεύθυνση Ανέμου
8-Αυγ	31,4	40	16:10	0,0	5,1 (2 BF)	22,5 (4 BF)	14:40	N
9-Αυγ	29,3	60	15:20	0,0	5,3 (2 BF)	24,1 (4 BF)	09:50	A
10-Αυγ	28,4	61	15:10	0,0	7,8 (2 BF)	35,4 (5 BF)	06:00	BBΔ
11-Αυγ	27,1	61	16:20	5,4	10,1 (3 BF)	51,5 (7 BF)	00:30	BBΔ
12-Αυγ	24,0	77	16:50	10,2	6,9 (2 BF)	27,4 (4 BF)	10:40	N

Πίνακας 1: Μετεωρολογικές συνθήκες κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς (8-12/8/2012). Weather conditions during the wildfire event (8-12/8/2012). (Πηγή: Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών - www.meteo.gr)

Μεθοδολογία

Μετά την πυρκαγιά έγινε επίσκεψη στην περιοχή δράσης της ώστε να διαπιστωθεί και να μετρηθεί το μέγεθος της καταστροφής με παράλληλη εκτίμηση της σφοδρότητας και των συνεπειών της. Οι δειγματοληψίες διεξήχθησαν από 22-25/11/2012. Κύριος στόχος των δειγματοληψιών ήταν να μετρηθεί το εύρος της διαβάθμισης και της ποικιλομορφίας που εμφανίζεται μέσα στις καμένες περιοχές, καλύπτοντας όσο το δυνατόν περισσότερες επιπτώσεις της πυρκαγιάς και περισσότερους βιοφυσικούς παράγοντες. Το βασικό εργαλείο καθοδήγησης των δειγματοληψιών, από όπου και προέκυψε το κύριο αποτέλεσμα τους, ήταν ο Σύνθετος Δείκτης Καύσης (Composite Burn Index – CBI) (Key and Benson, 2006). Το εμβαδόν της κάθε δειγματοληπτικής περιοχής ήταν 900 m² και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν βάσει των προδιαγραφών του πρωτοκόλλου δειγματοληψιών FIREMON για τη μέτρηση του δείκτη CBI. Παράλληλα εφαρμόστηκε και η μέθοδος των Ryan and Noste (1985) για την οπτική εκτίμηση της επιφανειακής σφοδρότητας καύσης με χρήση ενός πλαισίου 50x50 cm σε πέντε διαφορετικά σημεία κάθε δειγματοληπτικής περιοχής, με μεταξύ τους απόσταση 3 m στο διάνυσμα βορρά-νότου (Εικόνα 5). Τέλος, ακολούθησε η καταγραφή του αριθμού των ατόμων του κάθε είδους δέντρου ή θάμνου, ενώ μετρήθηκαν τα εξής χαρακτηριστικά για οκτώ δέντρα κωνοφόρων κάθε θέσης: στηθαία διάμετρος (dbh), είδος, ποσοστό ζωντανής κόμης, ύψος καναλίσματος κόμης, ύψος δέντρου και ύψος φλόγας. Οι περιοχές μέτρησης επιλέχθηκαν με τυχαία στρωματοποιημένη δειγματοληψία εντός της καμένης περιμέτρου και ο συνολικός αριθμός τους έφτασε τις 30, με εννέα σημεία σε άκαντη, χαμηλή ή μέση-χαμηλή σφοδρότητα, 11 σημεία στη μέση-υψηλή και 10 σημεία στην υψηλή σφοδρότητα (Εικόνα 6).

Με τον δείκτη ΔNBR (Differenced Normalized Burn Ratio) υπολογίζεται η διαφορά μεταξύ δυο δορυφορικών εικόνων, μιας πριν και μιας μετά από ένα περιστατικό πυρκαγιάς, και το αποτέλεσμα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κατανόηση της χωρικής διαφοροποίησης της σφοδρότητας καύσης. Οι τιμές του CBI που προέκυψαν από τις δειγματοληψίες συσχετιστήκαν με τις τιμές του δείκτη ΔNBR. Χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες Landsat 5 TM (22/8/2011 για pre-fire NBR) και Landsat 7 ETM (26/9/2012 για post-fire NBR). Στις διορθωμένες εικόνες εφαρμόστηκε η παρακάτω εξίσωση του NBR για να υπολογιστούν οι δύο δείκτες (pre-fire NBR και post-fire NBR): $NBR = (Band\ 4 - Band\ 7) / (Band\ 4 + Band\ 7)$. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο ΔNBR με την εξίσωση $\Delta NBR = pre-fire\ NBR - post-fire\ NBR$. Το αποτέλεσμα που προέκυψε πολλαπλασιάστηκε επί 1.000 για να ταξινομηθεί στις επτά τάξεις σφοδρότητας καύσης βάσει της κατηγοριοποίησης των Key and Benson (2006).

Η χωροχρονική προσομοίωση της εξέλιξης της πυρκαγιάς διεξήχθη με τη χρήση του λογισμικού FARSITE. Για τη διεξαγωγή των προσομοιώσεων έπρεπε να δημιουργηθούν οι απαραίτητες χωρικές και μετεωρολογικές εισροές του λογισμικού. Συγκεκριμένα, απαιτούνταν η εισαγωγή χωρικών δεδομένων υψομέτρου, κλίσεων και έκθεσης (προσανατολισμός), μοντέλα καύσιμης ύλης (MKY), κάλυψη κόμης, ύψος συστάδας, ύψος έναρξης κόμης και πυκνότητα κόμης. Η δημιουργία των δεδομένων επετεύχθη με τη χρήση του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής, μιας δορυφορικής εικόνας Landsat 5 TM (15/8/2011) και στοιχείων που μετρήθηκαν στο πεδίο σε συνδυασμό με βιβλιογραφική τεκμηρίωση. Τα MKY που χρησιμοποιήθηκαν αποδόθηκαν βάσει της κατηγοριοποίησης των Scott and Burgan (2005), με κύριο τύπο την κατηγορία Shrub, μιας και τα δάση της περιοχής αποτελούντο από ανάμικτα πεύκα με αείφυλλα στον υπόροφο. Χαρακτηριστικά, σε περιοχές με πυκνό δάσος κωνοφόρων αποδόθηκαν τα MKY SH5 και TU5, για αραιό δάσος κωνοφόρων το MKY SH7 και για χαμηλή βλάστηση τα MKY SH1 και GS2. Τα μετεωρολογικά δεδομένα προέκυψαν από τον αυτόματο μετεωρολογικό σταθμό της Ι.Μ. Βατοπεδίου (ιδιοκτησίας Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών). Λόγω του ό,τι

ο σταθμός βρίσκεται εντός της μονής και όχι σε ύψος 10 m όπως απαιτούν τα λογισμικά, οι μετρήσεις της εντάσεως του ανέμου ήταν κατά πολύ υποεκτιμημένες σε σχέση με αυτές που επικρατούσαν στην περιοχή της πυρκαγιάς και για αυτό τον λόγο χρησιμοποιήθηκαν οι καταγεγραμμένες τιμές των ριπών του ανέμου. Η έναρξη της προσομοίωσης με το FARSITE ορίστηκε στις 8/8/2012 στις 15:00 και το τέλος την 12/8/2012 στις 23:30, ενώ δεν προσομοιώθηκαν καθόλου οι προσπάθειες καταστολής της πυρκαγιάς. Ως παράμετροι ορίστηκαν χρονικό βήμα 30 min, ανάλυση περιμέτρου και απόστασης 59 m, μέθοδος εκτίμησης πυρκαγιών κόμης των Scott and Reinhardt (2001) και πιθανότητα ανάφλεξης από καύτρες 2%.

Για τη στατιστική ανάλυση, αρχικά διερευνήθηκαν οι συσχετίσεις των μεταβλητών ΔNBR και CBI με τις μεταβλητές που μετρήθηκαν στο πεδίο. Στη συνέχεια, για όσες μεταβλητές είχαν στατιστικά σημαντική συσχέτιση με τη μεταβλητή ΔNBR, διενεργήθηκε ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης (ύψος καψαλίσματος, αριθμός ζωντανών ατόμων κωνοφόρων και κάλυψη κόμης).

Αποτελέσματα

Από τις μετρήσεις πεδίου καταγράφηκε χαμηλή σφοδρότητα καύσης εντός του εδάφους, παρά την υψηλή σφοδρότητα της πυρκαγιάς στον ανώροφο και στην επιφανειακή καύσιμη ύλη. Συγκεκριμένα, η πλειονότητα των μετρήσεων έδειξε ότι η πυρκαγιά έκαψε με χαμηλή ή και μέση σφοδρότητα σύμφωνα με το σύστημα ταξινόμησης των Ryan and Noste (1985), με εμφανή υπολείμματα μικρών κλαδιών (1-hr) και πευκοβελόνων, ενώ ακόμα και οι πολύ μικρές ρίζες μέσα στο έδαφος (1 cm) δεν επηρεάστηκαν καθόλου στο σύνολο των περιοχών (Εικόνα 5). Κλαδιά μεγαλύτερων διαμέτρων (10-hr και 100-hr) κάηκαν μόνο μερικώς, κάτι που αποδεικνύει ότι οι φλόγες δεν έκαψαν για μεγάλο χρονικό διάστημα στο ίδιο σημείο (post-frontal combustion) αλλά κινούνταν ταχύτατα, ενώ η συσσώρευση νεκρής καύσιμης ύλης ήταν μέτρια έως μικρή (χούμος και μεγαλύτερα κλαδιά).

Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται ο χάρτης σφοδρότητας καύσης με τα σημεία δειγματοληψίας. Είναι εμφανές ότι το μεγαλύτερο τμήμα της περιοχής κάηκε με μέση-υψηλή και υψηλή σφοδρότητα καύσης. Η συσχέτιση των μετρήσεων πεδίου με τις τιμές του ΔNBR παρουσιάζουν σημαντικά ισχυρή στατιστική συσχέτιση ($r=0,725$ -- $p<0,01$ -- $R^2=0,5518$), γεγονός που δείχνει ότι η χάρτης έχει αυξημένη ακρίβεια.

Η προσομοίωση έδειξε ότι κατά την πρώτη ημέρα (8/8) η πυρκαγιά κινήθηκε ταχύτατα προς τον βορρά, ενώ την επόμενη ημέρα (9/8) υπό την επίδραση ισχυρών ανατολικών ανέμων έστριψε και κινήθηκε προς τα δυτικά προσεγγίζοντας την περιοχή της Χουρμίτσας στις 11:00 μέσω κηλίδωσης. Κηλιδώσεις προσομοιώθηκαν και στις 13:00 όταν και η φωτιά έφτασε στα όρια της Ουρανούπολης, και στις 16:00 όταν είχε φτάσει στα δυτικά πραγματικά όρια εξάπλωσής της (Εικόνα 7). Την ίδια ημέρα (9/8), η φωτιά προσομοιώθηκε με αργότερους ρυθμούς εξάπλωσης προς τα Β και Α, ξεπερνώντας την Ξηρόβρυση και τους Αγίους Αναργύρους στις 11:00, ενώ μέχρι τις 21:00 έφτασε στα όρια του Μεγάλου Ζυγού στα Β, της Αχλαδούλας στα Α και του Αγιοπαυλίτικου στα Ν, απέχοντας 1,5 km από την περιοχή Πρώτο Νερό και 3,5 km από την Ι.Μ. Χιλανδαρίου. Αυτές τις πρώτες δύο ημέρες είχαμε ταύτιση της προσομοίωσης με τις πραγματικές συνθήκες, όμως τις επόμενες δύο ημέρες προσομοιώθηκε εξάπλωση του μετώπου προς τα Δ και ΒΔ, κάτι που δεν συνέβη στην πραγματικότητα λόγω της καταστολής της πυρκαγιάς από τις πυροσβεστικές δυνάμεις. Υποεκτίμηση σε σχέση με την πραγματική εξάπλωση που παρατηρήθηκε τη 10/8 και 11/8 καταγράφηκε στα ΒΑ και Α, η οποία κυμαίνονταν μεταξύ 500 έως και 900 m από την τελική πραγματική περίμετρο.

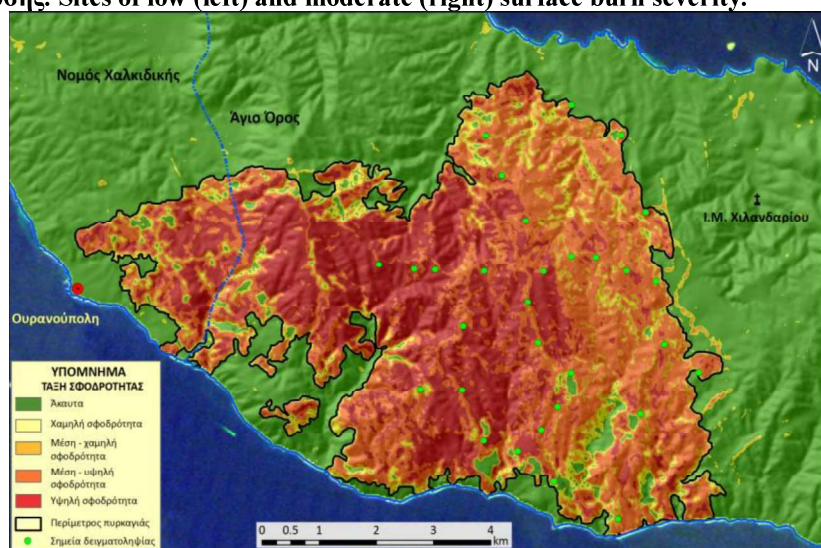
Έντονη αναγέννηση παρατηρήθηκε τόσο για τα κωνοφόρα όσο και για τα αείφυλλα-πλατύφυλλα (Εικόνα 8). Συγκεκριμένα, σε 11 θέσεις καταγράφηκε παρουσία αρτίφυτων κωνοφόρων μέχρι και δύο ατόμων ανά m^2 , σε επτά θέσεις άνω των δύο

ΠΕΔΙΟ 1: ΔΑΣΙΚΗ ΒΟΤΑΝΙΚΗ, ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

έως και 10 ατόμων, και σε 12 θέσεις άνω των 10 ατόμων, με τέσσερις εξ αυτών να έχουν παρουσία άνω των 20 ατόμων. Στα αείφυλλα-πλατύφυλλα καταγράφηκε παρουσία αναγεννημένων ατόμων μέσω πρεμνοβλάστησης σε όλες τις θέσεις, με την κουμαριά να κυριαρχεί. Συγκεκριμένα, σε έξι θέσεις μετρήθηκαν μέχρι και 400 άτομα ανά ha, σε οκτώ θέσεις από 400 έως και 600 άτομα ανά ha, σε έξι θέσεις από 600 έως 850 άτομα ανά ha και σε οκτώ θέσεις άνω των 850 ανά ha, με μέγιστο αριθμό τα 1.288 άτομα ανά ha.



Εικόνα 5: Θέσεις χαμηλής (αριστερά) και μέσης (δεξιά) εδαφικής σφοδρότητας καύσης. Sites of low (left) and moderate (right) surface burn severity.



Εικόνα 6: Χάρτης σημείων δειγματοληψίας και σφοδρότητας καύσης. Burn severity map with field measurements sites.



Εικόνα 7: Αποτελέσματα προσομοίωσης της πυρκαγιάς με το λογισμικό FARSITE ανά ημέρα καύσης. Fire behavior results by FARSITE per day of the wildfire.

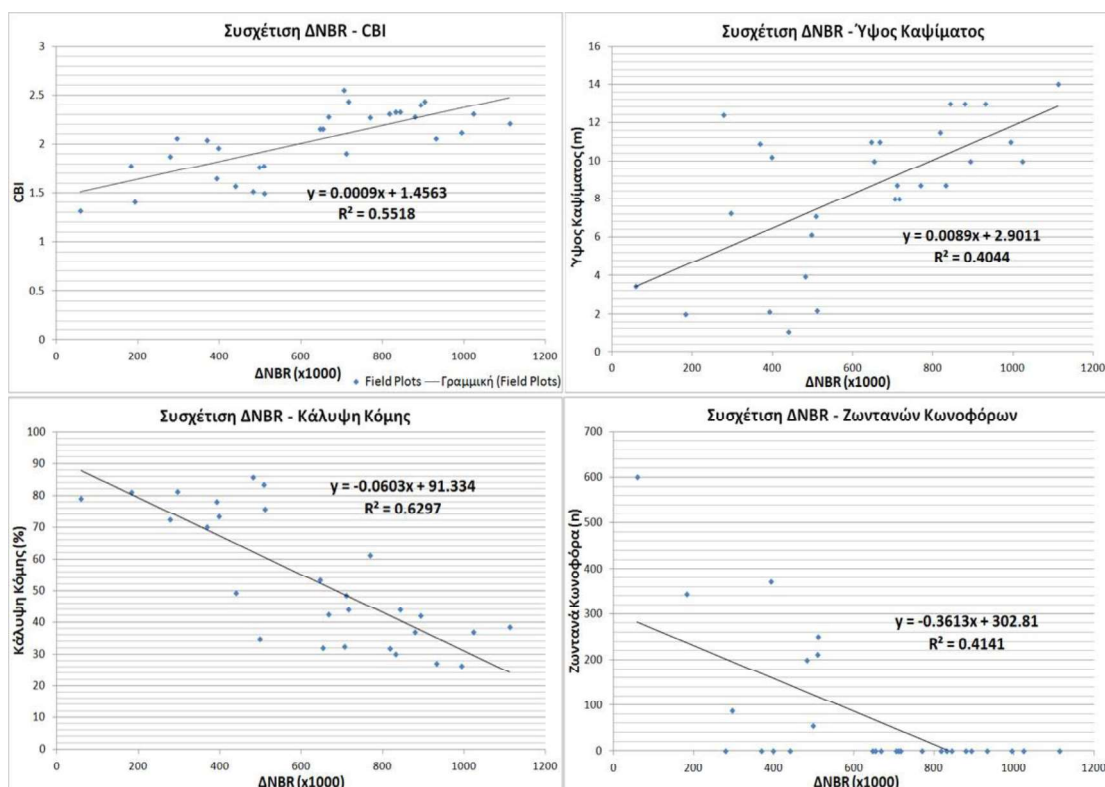


Εικόνα 8: Παρουσία αρτίφυτων κωνοφόρων (αριστερά) και πρεμνοβλάστησης θαμνώνων (δεξιά). Presence of pine seedlings (left) and shrub resprouting (right).

Ο Πίνακας 2 απεικονίζει τη συσχέτιση των μεταβλητών ΔNBR και CBI με μεταβλητές μετρημένες στο πεδίο. Τέλος, από τα διαγράμματα παλινδρόμησης της Εικόνας 9 συμπεραίνουμε ότι η ισχυρότερη γραμμική παλινδρόμηση παρατηρείται μεταξύ των μεταβλητών ΔNBR – Κάλυψη Κόμης ($R^2=0,6297$) και ΔNBR – Ζωντανών Κωνοφόρων ($R^2=0,4141$).

	ΔNBR	CBI	Υψόμετρο	Κλίση	Εδαφική Σφαιρότητα	Μέσο Ύψος Κωνοφόρων	Ύψος Καψίματος	DBH	Κωνοφόρων Αναγέννηση	Ζωντανά Άτομα Κωνοφόρων	Ζωντανά Άτομα Θάμνων	Νεκρά Άτομα Κωνοφόρων	Νεκρά Άτομα Δενδρυλίων	Κάλυψη Κόμης
ΔNBR	1	0,7 25 (**)	0,2 2	0,40	0,12 5	- 0,08 6	0,63 6 (**)	0,08 3	- 0,22 2	- 0,68 4 (**)	0,37 2	- 0,10 2	- 0,08 0	- 0,76 9 (**)
CBI	0,7 25 (**)	1	0,2 1	0,43 5	0,29 4	- 0,37 5 (*)	0,71 3 (**)	- 0,28 4 (*)	- 0,40 8 (*)	(**)	0,00 0	0,07 6	0,05 9	(**)

Πίνακας 2: Συσχετίσεις μεταξύ των μεταβλητών (** = $p<0,01$ - * = $p<0,05$). Correlations among variables.



Εικόνα 9: Παλινδρόμηση μεταξύ του ΔNBR και άλλων μεταβλητών. Regression results between ΔNBR and other field-measured variables.

Συζήτηση – Συμπεράσματα

Από την ανάλυση προέκυψε ότι η πυρκαγιά έκαψε κυρίως στις περιοχές όπου είχαν πραγματοποιηθεί αναδασώσεις κωνοφόρων πριν από 30 έτη, θυμίζοντας την κατάσταση που επικρατούσε σε παρόμοιας σύστασης περιοχές αναδασώσεων που κάηκαν από την πυρκαγιά του 2011 στην Λευκίμμη Έβρου (Καλαμποκίδης κ.α., 2012). Τα δάση χαλεπίου πεύκης ήταν ως επί το πλείστον αραιά (κάλυψη κόμης <50% στις 15 θέσεις) και αποτελούντο συνήθως από άτομα μέσου ύψους 11,5 m και μέσης στηθιαίας διαμέτρου 25 cm. Παρατηρήθηκε έντονη αναγέννηση κωνοφόρων στην πλειονηφία των θέσεων και μεγάλες πυκνότητες αρτίφυτων κωνοφόρων, ενώ η κουμαριά επέδειξε υψηλές δυνατότητες πρεμνοβλάστησης και ήταν κυρίαρχη στο σύνολο της καμένης περιοχής. Από τη δράση της φωτιάς, τα κωνοφόρα νεκρώθηκαν σε ποσοστό άνω του 80% για το σύνολο των δειγματοληψιών και κάηκαν (μαύρα) μέχρι το μέσο ύψος των 8,5 m, ενώ η πλήρης καύση των θαμνώνων με σημαντικές απώλειες μικρών κλαδιών υπερέβαινε το 90% των ατόμων που καταγράφηκαν. Μόνο σε οκτώ θέσεις καταγράφηκαν ζωντανά άτομα κωνοφόρων τα οποία αναμένεται να νεκρωθούν σε μεγάλο ποσοστό (>70%) σύμφωνα με τα στοιχεία των δειγματοληψιών. Κατά τόπους παρατηρήθηκαν φαινόμενα παράσυρσης των εδαφών, κυρίως σε περιοχές με έντονη κλίση, δίχως όμως εκτεταμένες εξάρσεις του φαινομένου. Η παρουσία πάρα πολλών ατόμων κουμαριάς στον υπόροφο αυτών των δασών (μέσος όρος αναγεννημένων ατόμων 700 άτομα/ha) εγγυάται τη σύντομη επανασύσταση της βλάστησης και τη συγκράτηση των εδαφών, αν δεν υπάρξουν άλλες διαταραχές. Η πλειονότητα των αγροτικών περιοχών διασώθηκε από τη δράση της φωτιάς χάρη στη δράση του Πυροσβεστικού Σώματος.

Από τη στατιστική ανάλυση φάνηκε ισχυρή αρνητική γραμμική σχέση μεταξύ του ΔNBR και της κάλυψης κόμης, γεγονός που δείχνει ότι πιο αραιές περιοχές κήκαν με υψηλότερη σφοδρότητα, ενώ η σχέση του ΔNBR και του ύψους καψαλίσματος έδειξε ότι όσο αυξάνεται η τιμή του ΔNBR, τόσο μεγαλώνει το ύψος καψαλίσματος. Μελετώντας τον χάρτη σφοδρότητας είναι εμφανές ότι στις περιοχές όπου κήκαν τις δύο πρώτες μέρες με ευνοϊκό άνεμο (στα ΝΔ και Δ), η σφοδρότητα καύσης είναι από μέτρια-υψηλή έως υψηλή. Στο Β, Ν και Α τμήμα της πυρκαγιάς (λεκάνες Αλεποφωλιάς και Αγιοπαυλίτικο), η σφοδρότητα καύσης είναι από μέτρια-χαμηλή έως χαμηλή με παρουσία άκαυτων θυλάκων, γεγονός που οφείλεται στο ό,τι η φωτιά έκαψε εκεί με πολύ χαμηλότερες ταχύτητες διάδοσης και για πολλές ώρες με αντίθετο άνεμο. Εξετάζοντας τον χάρτη συμπεριφοράς της φωτιάς, διαπιστώνουμε ότι η πυρκαγιά αν δεν αναχαιτιζόταν στο μέτωπο της Ουρανούπολης θα μπορούσε να είχε περάσει περαιτέρω εντός της Χαλκιδικής και θα κινδύνευε σοβαρά τόσο ο οικισμός όσο και οι εξοχικές κατοικίες και ξενοδοχειακές εγκαταστάσεις της περιοχής, μιας και προσομοιώθηκε εξάπλωση στα Δ και Β κατά την τρίτη και τέταρτη μέρα. Παράλληλα, εξετάστηκαν και διάφορα σενάρια για το τι θα μπορούσε να συμβεί αν δεν έβρεχε τελικά και διαπιστώθηκε ότι με τους ανέμους που επικράτησαν τελικά η φωτιά θα επεκτεινόταν μέχρι και τις Ιερές Μονές Χιλανδαρίου, Εσφιγμένου και Ζωγράφου ενδεχομένως κατά την περίοδο 13/8 έως και 14/8, δίχως όμως ευνοϊκό άνεμο και με χαμηλές ταχύτητες διάδοσης.

Η έντονη αναγέννηση και επανασύσταση της βλάστησης εντός της καμένης έκτασης αποτελεί εγγύηση για την επιτυχή αναγέννηση του δάσους, όμως η πυκνότητα τόσο των κωνοφόρων όσο και των θαμνώνων θα πρέπει να ελεγχθεί διαχειριστικά στο άμεσο μέλλον ώστε η μορφή που θα πάρει το φυσικό δάσος που θα προκύψει να μην δημιουργήσει καταστάσεις αυξημένης επικινδυνότητας για νέα εμφάνιση πυρκαγιάς. Τέλος, ενώ η απόληψη των νεκρών κορμών μπορεί να γίνει σχετικά εύκολα λόγω του ομαλού ανάγλυφου, προτείνεται η αποφυγή εκτεταμένων και βιομηχανικού τύπου απολήψεων μιας και είναι πολύ πιθανό να διαταραχτεί η φυσική αναγέννηση και να προκληθεί αποσάθρωση και χαλάρωση των εδαφών, αντιπροτείνοντας λελογισμένες και μελετημένες υλοτομίες για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των Ιερών Μονών.

Ευχαριστίες

Η εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του έργου με τίτλο (1862) «Πληροφοριακό Σύστημα Πρόληψης και Διαχείρισης Δασικών Πυρκαγιών», AEGIS, που υλοποιείται στο πλαίσιο της Πράξης "ΑΡΙΣΤΕΙΑ" του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» με Δικαιούχο τη Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο-EKT) και από εθνικούς πόρους.

Fire Behavior and Effects of the 2012 Mount Athos Wildfire

Kostas Kalabokidis, Palaiologos Palaiologou and Vasileios Toulikas

Department of Geography, University of the Aegean, Greece

Abstract

Over the last years, several protected forest ecosystems of Greece have had large fire conflagrations from north to south of the mainland and into the islands. This research focuses on analyzing the effects and behavior of the large 2012 Mount Athos wildfire, by using geo-informatics techniques aided by field measurements conducted three months after the fire. The forest fire of Mount Athos started on the 8th of August 2012 and was extinguished by the 12th of August 2012, after burning an area

of almost 5.000 ha with moderate to high intensities and severities. The most common cover types inside the fire perimeter included pine forests, chaparral woodlands and grasslands mixed with agricultural areas. The Differenced Normalized Burn Ratio (Δ NBR) Landsat-based index was used to map fire severity in five severity classes across the area. Results were evaluated by using field measurements, based on the FIREMON sampling protocol, from 30 field plots (900 m² each) with a statistical significant positive correlation coefficient ($r=0.725$ and $p<0.01$). The FARSITE fire behavior model was utilized to run the necessary spatiotemporal fire simulations to achieve a better understanding of the fire growth and intensity parameters. Statistical analysis was conducted to estimate the relationship between Δ NBR and other field-measured forest and fire related variables.

Βιβλιογραφία

- Καϊλίδης, Δ., 1990. Η δασική πυρκαγιά του Αγίου Όρους (14-28 Αυγούστου 1990). Θεσσαλονίκη.
- Καϊλίδης, Δ., και Μαρκάλας, Σ., 1992. Προστασία της Ιεράς Μονής Σίμωνος Πέτρας του Αγίου Όρους. Στο: Ντάφης, Σ., Δ. Καϊλίδης, Π. Σμύρης, Στ. Μαρκάλας, Θ. Ζιάγκας, Φ. Σιαμίδης και Κ. Ποϊραζίδης, 1992. Οικολογική διαχείριση περιοχής Ι. Μ. Σίμωνος Πέτρας Αγίου Όρους. Ιερά Μονή Σίμωνος Πέτρας.
- Κακούρος Π. και Ντάφης Σ., 2004. Τεχνική μελέτη για την ανόρθωση των δασών με *Quercus ilex* και των δασών με *Quercus frainetto* του Αγίου Όρους. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων – Υγροτόπων. Θερμή. 59 σελ.
- Key, C.H., and Benson, N.C., 2006. Landscape assessment: Sampling and analysis methods. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. (Fort Collins, CO).
- Μπαμπαλώνας, Δ., Κωνσταντίνου, Μ., και Χαραλαμπίδης, Σ., 1998. Η χλωρίδα του Αγίου Όρους. Οργανισμός Πολιτιστικής Πρωτεύουσας της Ευρώπης Θεσσαλονίκη 1997. Εκδόσεις ΟΠΠΕΘ 97.
- Ryan, K., and Noste, N., 1985. Evaluating prescribed fires, In: Proceedings - Symposium and Workshop on Wilderness Fire. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-182, pp. 230-238. (Ogden, 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. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-153. (Fort Collins, CO).
- Scott, J.H., and Reinhardt, E.D., 2001. Assessing crown fire potential by linking models of surface and crown fire behavior. USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station. (Fort Collins, CO).
- Καλαμποκίδης, Κ., Τουλίκας, Β., και Παλαιοιόγλου, Π., 2012. Μελέτη και εκτίμηση επιπτώσεων και συμπεριφοράς της πυρκαγιάς Λευκίμμης Έβρου 2011. Πυροσβεστική Επιθεώρηση 155:4-13.
- Στάμου, Ν., 2001. Δάση και δασοπονία του Αγίου Όρους. Στο: Ντάφης, Σ., Δ. Μπαμπαλώνας και Σ. Διαμαντής (επιστ. επιμ.). Αγιον Όρος Φύση και Φυσικό Περιβάλλον, Πρακτικά διημερίδας 29-30/9/1997. Θεσσαλονίκη. Ιερά Κοινότητα Αγίου Όρους Άθω και ΟΠΠΕΘ 97. Σελ. 97-109.