

Παρατηρήσεις μετάδοσης δασικών πυρκαϊών με καύτρες στην Ελλάδα

Αθανασίου Μιλτιάδης¹, Ξανθόπουλος Γαβριήλ²

¹ Γραφείο Περιβαλλοντικών Μελετών – “Μ. Αθανασίου”
Θωμά Παλαιολόγου 8, 13673 Αχαρνές, e-mail: info@m-athanasiou.gr

² Ελληνικός Γεωργικός Οργανισμός «ΔΗΜΗΤΡΑ»
Ινστιτούτο Μεσογειακών Δασικών Οικοσυστημάτων
και Τεχνολογίας Δασικών Προϊόντων
Τέρμα Αλκμάνος, Ιλίσια, 115 28 Αθήνα, e-mail: gxnrct@fria.gr

Περίληψη

Κατά τη διάρκεια των έξι τελευταίων αντιπυρικών περιόδων στην Ελλάδα, από το 2007 έως και το 2012, έγιναν παρατηρήσεις και μετρήσεις μετάδοσης δασικών πυρκαϊών με καύτρες (κηλίδωσης), στο πεδίο. Η απουσία ή η εμφάνιση του φαινομένου τεκμηριώθηκε σε 75 περιπτώσεις και δημιουργήθηκε σχετική ποιοτική διατάξιμη μεταβλητή (K_x) για την οποία ορίστηκαν τέσσερις (4) κατηγορίες: α) απουσία του φαινομένου, β) συμπτωματική (σπάνια) εμφάνιση καυτρών, γ) περιορισμένη εμφάνιση καυτρών και δ) έντονη εμφάνιση του φαινομένου. Παράλληλα με την τεκμηρίωση της εμφάνισης κηλίδωσης έγιναν και παρατηρήσεις για το περιβάλλον και τα χαρακτηριστικά των πυρκαϊών αυτών.

Από το σύνολο των παραμέτρων που μετρήθηκαν, σχετικά με την βλάστηση, την τοπογραφία, τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες και τη συμπεριφορά των πυρκαϊών, αξιοποιήθηκαν και παρουσιάζονται οι τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα (RH %) σε συνδυασμό με την κλιμάκωση της έντασης του φαινομένου και τους τρεις (3) τύπους των δασικών καυσίμων στα οποία κατέληξαν (προσγειώθηκαν) οι καύτρες (μακία βλάστηση, φρύγανα και χόρτα). Συγκεκριμένα, για κάθε κατηγορία της μεταβλητής K_x και τύπο βλάστησης, υπολογίστηκαν α) η μέση τιμή, β) η διάμεσος, γ) η κορυφή (επικρατούσα τιμή), δ) η τυπική απόκλιση, ε) η ελάχιστη τιμή και στ) η μέγιστη τιμή της σχετικής υγρασίας του αέρα (RH %) και παρουσιάζονται τιμές κατωφλίων και διαστήματα τιμών της RH %, σχετικά με την εμφάνιση, την απουσία και την ένταση του φαινομένου της κηλίδωσης, για τους τρεις τύπους βλάστησης. Η πρωτόλεια αυτή μορφή των αποτελεσμάτων της παρούσας εργασίας συνιστά την πρώτη σειρά παρόμοιων δεδομένων για την Ελλάδα.

Εισαγωγή

Οι δασικές πυρκαϊές, εκτός από τους δύο βασικούς μηχανισμούς μετάδοσής τους (μέσω της μετάδοσης της θερμότητας με την επαγωγή θερμών αερίων και την ακτινοβολία), μεταδίδονται και με αναμμένα τεμάχια καύσιμης ύλης τα οποία καλούνται καύτρες, μεταφέρονται από τον άνεμο και προσγειώνονται μακριά από την περίμετρό τους (Ξανθόπουλος, 1996). Εκτός από το γεγονός ότι η μετάδοση των δασικών πυρκαϊών με καύτρες δυσχεραίνει ή και πολλές φορές ακυρώνει το δασοπυροσβεστικό έργο, επιπλέον αυξάνει τον κίνδυνο εγκλωβισμού δασοπυροσβεστών και πολιτών, με πιο πρόσφατο το τραγικό δυστύχημα της 24^{ης}

Αυγούστου 2007 στην Αρτέμιδα όπου εγκλωβίστηκαν 23 πολίτες και πυροσβέστες (Xanthopoulos et al. 2009).

Η κατά το δυνατόν πιο αποτελεσματική και ασφαλής αντιμετώπιση του φαινομένου προϋποθέτει κατανόηση του μηχανισμού του και συνίσταται στην πρόβλεψη των πιθανοτήτων εμφάνισής του και στην εκτίμηση και διαστασιολόγηση της έντασης και έκτασής του, ανάλογα με τις εκάστοτε επικρατούσες συνθήκες.

Σύμφωνα με το Rothermel (1983) η μετάδοση με καύτρες εξαρτάται από τις ακόλουθες, τρεις κατηγορίες παραγόντων: α) από την ύπαρξη βλάστησης, τα χαρακτηριστικά της οποίας επιτρέπουν τη δημιουργία κατάλληλων φλεγόμενων τεμαχιδίων (καυτρών), β) από την ύπαρξη των δυνάμεων εκείνων οι οποίες θα μεταφέρουν τις καύτρες καθώς και από την απόσταση την οποία οι καύτρες θα διανύσουν και γ) από την πιθανότητα δημιουργίας νέων εστιών φωτιάς στη βλάστηση όπου οι καύτρες θα προσγειωθούν.

Οι μεγα-πυρκαϊές της αντιπυρικής περιόδου του 2007, η μεγάλη πυρκαϊά της βορειοανατολικής Αττικής του 2009 - αλλά και μικρότερες σε ένταση και έκταση πυρκαϊές των αντυπυρικών περιόδων των ετών 2007 έως και 2012, αποτέλεσαν ευκαιρίες παρατήρησης και καταγραφής της συμπεριφοράς τους στο πεδίο, στα πλαίσια της διδακτορικής διατριβής του πρώτου συγγραφέα (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Οι 19 πυρκαϊές κατά την εξάπλωση των οποίων έγιναν οι 75 παρατηρήσεις απουσίας ή εμφάνισης του φαινομένου της κηλίδωσης (μετάδοσης δασικών πυρκαϊών με καύτρες).

Table 1. The 19 wildfires during which 75 cases of spotting occurrence or absence, were documented

Έτος	Πυρκαϊά	Αριθμός Παρατηρήσεων
2007	Κουταλάδων Υμηττού Αττικής	1
2007	Αρχαίας Κορίνθου	3
2007	Χίλιομοδίου Κορινθίας	1
2007	Αγιαλείας Αχαΐας	1
2007	Παλαιοχωρίου Ηλείας	12
2007	Σέκουλα Ηλείας	21
2008	Αδαμών – Κρυονερίου Αττικής	1
2009	Άνω Λιοσίων Αττικής	2
2009	Υμηττού (Γλυφάδα) Αττικής	3
2009	Ισθμίων Κορινθίας	2
2009	ΒΑ Αττικής	11
2010	Λαυρίου (Πούντα Σέζα) Αττικής	2
2010	Καλάμου Αττικής	1
2011	Αγίας Παρασκευής (Τιθορέα) Φθιώτιδας	1
2011	Κοιλωμένου Ζακύνθου	1
2011	Τσόπακα Λακωνίας	9
2011	Μαλεσιάδας Αιτωλοακαρνανίας	1
2012	Σολομού Κορινθίας	1
2012	Αφιδνών Αττικής	1

Το γεγονός ότι οι μετρήσεις έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια πραγματικών πυρκαϊών οι οποίες είχαν καθοριστικά διαφορετικά ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους, επιτρέπει την μελλοντική τους χρήση για τη βαθμονόμηση ή την ανάπτυξη σχετικών μοντέλων καθώς και για έρευνα σχετική με τις τιμές κατωφλίων των RH% και FMC% (περιεχόμενη επί τοις εκατό υγρασία των δασικών καύσιμων) πάνω από τις οποίες δεν αναμένεται η εμφάνιση κηλίδωσης και κάτω από τις οποίες η δημιουργία νέων εστιών από καύτρες είναι άφθονη (κατά δεκάδες). Η παρούσα εργασία είχε σαν στόχο την παρουσίαση παρατηρήσεων μετάδοσης πυρκαϊών με καύτρες και τη συσχέτιση της έντασης του φαινομένου με τις επικρατούσες τιμές της RH% σε συνδυασμό με τους τύπους της βλάστησης όπου προσγειώθηκαν οι καύτρες. Η RH% επιλέχθηκε καθώς οι τιμές της επηρεάζουν άμεσα τις τιμές της FMC% (ιδιαίτερα των ξηρών λεπτών καυσίμων) η οποία αποτελεί, με τη σειρά της, βασικό παράγοντα που επηρεάζει την πιθανότητα ανάφλεξης, τον ρυθμό εξάπλωσης και την ένταση της φωτιάς καθώς και λόγω του ότι αποτελεί ένα, δυνητικά, απλό εργαλείο για την ποιοτική εκτίμηση της πιθανότητας εμφάνισης του φαινομένου από τους δασοπροσβέστες.

Μηχανισμός του φαινομένου

Οι παράγοντες που καθορίζουν αν το τεμαχίδιο της καύσιμης ύλης θα ταξιδέψει και θα προσγειωθεί αναμμένο στο έδαφος, είναι: α) η ευκολία αποκόλλησης, ανύψωσής του, ο βαθμός ευφλεκτικότητας του, το μέγεθος, τα αεροδυναμικά του χαρακτηριστικά, η χημική του σύσταση, η θέση του στο χώρο σε σχέση με την υπόλοιπη βλάστηση, το ειδικό του βάρος, η ύπαρξη επαγωγικής στήλης, οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου και η ύπαρξη ανωρόφου. Ο ανώροφος αποτελεί συχνά φυσικό εμπόδιο για τις καύτρες και εμποδίζει τη δημιουργία ισχυρής επαγωγικής στήλης. (Andrews and Chase 1989). Όταν, όμως, η επαγωγική στήλη δημιουργείται, 'αρπάζει' τις καύτρες και τις ανυψώνει στο κατάλληλο ύψος απ' όπου μεταφέρονται από τον άνεμο σε μεγάλη απόσταση. Υψηλές τιμές ταχύτητας του ανέμου σε συνδυασμό με χαμηλές τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης κηλίδωσης (Koo et al. 2010).

Η μέγιστη απόσταση την οποία διανύουν οι καύτρες εξαρτάται από τη διάρκεια καύσης τους (Tarifa et al. 1965a; Albini, 1979) η οποία εξαρτάται: α) από το μέγεθός τους, β) από την ύπαρξη επαγωγικής στήλης και των ανοδικών ρευμάτων της πυρκαϊάς που θα τις ανυψώσουν κατακόρυφα (Tarifa et al. 1965a; Lee and Hellman 1969; Muraszew 1974; Muraszew et al. 1975; Muraszew and Fedele 1977; Albini 1979; Woycheese 1996; Koo et al. 2007) καθώς και γ) από την ένταση, τη φορά και τα χαρακτηριστικά του πεδίου του ανέμου ο οποίος θα ορίσει την τελική τροχιά τους (η οποία εξαρτάται και από την γεωμορφολογία της περιοχής) όταν οι καύτρες 'απελευθερωθούν' από τα ανοδικά ρεύματα της επαγωγικής στήλης που τις ανύψωσε.

Σύμφωνα με τους Hadden and Scott (2011), η πιθανότητα ανάφλεξης είναι συνάρτηση του μεγέθους της καύτρας και της θερμοκρασίας της η οποία θα πρέπει να αυξάνεται όσο το μέγεθος της καύτρας μειώνεται, έτσι ώστε να μπορεί να μεταδώσει τη φωτιά. Σύμφωνα με τους Ganteaume et al. 2011 οι καύτρες μεγαλύτερου βάρους καίγονται για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα και τα τμήματα ή τα λείπια του κουκουναριού του *Pinus halepensis* έχουν αυτή την ιδιότητα η οποία αυξάνει την

πιθανότητα ανάφλεξης της βλάστησης στην οποία θα προσγειωθούν. Πειράματα σε βελόνες *Pinus elliotii* σε εργαστηριακές συνθήκες (Blackmarr, 1972) έχουν δείξει ότι η πιθανότητα ανάφλεξης του βελονοτάπητα στον οποίο θα προσγειωθούν οι καύτρες επηρεάζεται από την περιεχόμενη υγρασία του (FMC %). Σε κάποια συγκεκριμένα επίπεδα FMC % έχει βρεθεί ότι η πιθανότητα ανάφλεξης επηρεάζεται και από το μέγεθος της καύτρας. Το κρίσιμο εύρος (critical range) των τιμών της FMC% εντός του οποίου υπάρχει πιθανότητα ανάφλεξης φάνηκε ότι εξαρτάται από το μέγεθος της καύτρας. Συγκεκριμένα, το κρίσιμο εύρος φάνηκε να μεγαλώνει και ταυτόχρονα οι ακραίες τιμές του να αυξάνονται καθώς αυξάνεται το μέγεθος της καύτρας. Δηλαδή φάνηκε να μετακινείται προς υψηλότερες τιμές και να διευρύνεται το διάστημα των τιμών της RH% εντός του οποίου υπάρχουν μικρή ή μεγάλη πιθανότητα ανάφλεξης. Οι Satoh et al. (2003) οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι όταν οι τιμές της περιεχόμενης υγρασίας στα φύλλα της λιγότερο εύφλεκτης φυλλοβόλου Ιαπωνικής βελανιδιάς *Quercus acutissima* κυμαίνονται από 10 έως 15 %, επηρεάζουν σε μικρό βαθμό την πιθανότητα ανάφλεξης η οποία επηρεάζεται πολύ περισσότερο από τις ξαφνικές ριπές του ανέμου. Παρόμοια πειράματα από τους Kim et al. (2010) σε φύλλα *Pinus densiflora* και *Quercus variabilis*, έδειξαν ότι η πιθανότητα ανάφλεξης εξαρτάται, από τη σχετική διάταξη (Blackmarr, 1972) και την πυκνότητα των καυσίμων και αυξάνεται όταν εμποδίζεται η απώλεια θερμότητας αλλά ταυτόχρονα επιτρέπεται στο οξυγόνο να συμβάλλει στην καύση. Η 'προσγειώση' της καύτρας εντός της φυλλοστρωμνής αυξάνει την πιθανότητα ανάφλεξης.

Στην Ελλάδα η μετάδοση καυτρών μεγάλης εμβέλειας είναι συνηθισμένο φαινόμενο στις πυρκαϊές δασών χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*) ιδιαίτερα όταν υπάρχει πυκνός υπόροφος αειφύλων πλατυφύλλων που η ανάφλεξη του προκαλεί ανάφλεξη και της κόμης των πεύκων ενώ παράλληλα δίνει την ενέργεια για τη δημιουργία ισχυρής επαγωγικής στήλης (Ξανθόπουλος, 1996).

Υλικά και μέθοδοι

Η τεκμηρίωση των πυρκαϊών έλαβε χώρα για έξι συνεχείς αντιπυρικές περιόδους (2007 έως και 2012), με βάση προσχεδιασμένο πρωτόκολλο, μεριμνώντας διαρκώς για την αυτοπροστασία του παρατηρητή. Έχουν καταγραφεί και μετρηθεί ποσοτικά χαρακτηριστικά, όπως ο ρυθμός εξάπλωσης και το μήκος φλόγας και έχουν επισημανθεί κρίσιμα ποιοτικά χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς των πυρκαϊών όπως ο τύπος τους, η μετάδοσή τους με καύτρες, η εκδήλωση εκρηκτικής συμπεριφοράς, η εξέλιξη σε στενή κοιλάδα ή φαράγγι, κ.α. Ταυτόχρονα, μετρήθηκαν και καταγράφηκαν οι μετεωρολογικές συνθήκες που επικρατούσαν και καταγράφηκαν οι δασικοί τύποι βλάστησης και το γεωμορφολογικό ανάγλυφο των περιοχών όπου οι δασικές πυρκαϊές εξαπλώνονταν (Athanasίου and Xanthopoulos 2010). Η χρονική διάρκεια των παρατηρήσεων για την τεκμηρίωση της εμφάνισης ή της απουσίας του φαινομένου της κηλίδωσης διακυμάνθηκε από μερικά λεπτά έως μισή ώρα, περίπου.



Εικόνα 1: Παρατήρηση μετάδοσης δασικής πυρκαϊάς με καύτρες σε φρύγανα και καταγραφή του αριθμού τους ($K_k = 2$)

Figure 1: Spotting ($K_k = 2$) in small xeric shrubs (phrygana) and recording the number of the spot fires

Το σύνολο των στοιχείων έχουν εισαχθεί σε μία βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε και θα χρησιμοποιηθούν για μελλοντική ανάλυση. Οι ακόλουθες μεταβλητές που είναι υποσύνολο των μεταβλητών οι οποίες μετρήθηκαν και καταγράφηκαν στο πεδίο, αξιοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία: α) η απουσία ή η εμφάνιση του φαινομένου μετάδοσης της πυρκαϊάς με καύτρες, β) ο αριθμός των καυτρών N_k , γ) η σχετική υγρασία του αέρα (RH%) και δ) ο τύπος της βλάστησης (τα δασικά καύσιμα) στην οποία 'προσγειώθηκαν' οι καύτρες. Η σχετική υγρασία αέρα μετρήθηκε με τη χρήση του ηλεκτρονικού μετεωρολογικού οργάνου Thermo – Anemometer Hygrometer Model No. AM4205 (με σφάλμα έως 0.1 % για τιμές RH από 10 έως 95%) ενώ σε λίγες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε η τιμή του εγγύτερου μετεωρολογικού σταθμού. Το σύνολο των μετρήσεων και των πληροφοριών αποθηκεύονταν με αφήγηση, σε πραγματικό χρόνο, σε ψηφιακό καταγραφέα φωνής καθώς ήταν διαρκής η ανάγκη μετακίνησης και επιλογής νέων θέσεων.



Εικόνα 2: Παρατήρηση μετάδοσης δασικής πυρκαϊάς με καύτρες σε μακία βλάστηση και καταγραφή του αριθμού τους ($K_k = 2$)

Figure 2: Spotting ($K_k = 2$) in evergreen sclerophyllus shrubs (maquis) and recording the number of the spot fires

Η απουσία ή η εμφάνιση του φαινομένου, της μετάδοσης της πυρκαϊάς με καύτρες, τεκμηριώθηκε σε 75 περιπτώσεις. Για τις 28 από αυτές, η πυρκαϊά δεν μεταδόθηκε με καύτρες ενώ κατά τις υπόλοιπες 47 παρατηρήσεις καταγράφηκε η εμφάνιση του φαινομένου. Ακολούθως δημιουργήθηκε η ποιοτική διατάξιμη μεταβλητή K_k για την οποία ορίστηκαν τέσσερεις (4) κατηγορίες (κλάσεις) και οι αντίστοιχες τιμές τους, οι οποίες περιγράφουν την κλιμάκωση της έντασης του φαινομένου της κηλίδωσης, με κριτήριο τον αριθμό των καυτρών, ως εξής: α) απουσία του φαινομένου ($K_k = 0$ και $N_k = 0$), β) συμπτωματική (σπάνια) εμφάνιση μίας ή δύο καυτρών ($K_k = 1$ και $N_k < 3$), γ) περιορισμένη εμφάνιση έως και εννέα καυτρών ($K_k = 2$ και $3 \leq N_k \leq 9$) και δ) έντονη εμφάνιση του φαινομένου με δέκα ή και περισσότερες καύτρες ($K_k = 3$ και $N_k \geq 10$) (Πίνακας 2).

Οι τύποι των δασικών καυσίμων στα οποία 'προσγειώθηκαν' οι καύτρες ήταν: α) μακία βλάστηση [π.χ. σχίνος (*Pistacia lentiscus*), φιλλύκι (*Phyllirea latifolia*), κουμαριά (*Arbutus unedo*), κ.α.], β) φρύγανα (*Sarcopoterium spinosum* και *Phlomis fruticosa*) και γ) χόρτα και παρουσιάζονται στον Πίνακα 4 σε σχέση με τις τιμές της K_k .

Αποτελέσματα

Σύμφωνα με τον Πίνακα 2, η τιμή $RH = 40,3\%$ είναι το γενικό ανώτατο όριο εμφάνισης έστω και μίας καύτρας, δηλαδή παρατηρήθηκε απουσία του φαινομένου για τιμές $RH > 40,3\%$, σε όλους τους τύπους βλάστησης.

Πίνακας 2. Εύρος τιμών RH για κλάσεις κηλίδωσης (K_k) οριζόμενες με κριτήριο τον αριθμό των καυτρών N_k , και αριθμός παρατηρήσεων ανά κλάση.

Table 2. Range of RH values for classes of spot (K_k) defined using the number of spots N_k as criterion, and number of observations per class.

Διάστημα τιμών RH (%)	Μετάδοση με καύτρες	Αριθμός καυτρών N_k	K_k	Παρατηρήσεις
29,4 – 48,9	Απουσία του φαινομένου	$N_k = 0$	0	28
24 – 40,3	Συμπτωματική (σπάνια) εμφάνιση καυτρών	$N_k < 3$	1	11
15 – 34,5	Περιορισμένη εμφάνιση καυτρών	$3 \leq N_k \leq 9$	2	23
13 – 17	Έντονη εμφάνιση του φαινομένου	$N_k \geq 10$	3	13
Σύνολο:				75

Οι 28 περιπτώσεις της κλάσης $K_k = 0$ του Πίνακα 2 (δηλαδή οι παρατηρήσεις εκείνες κατά τις οποίες δεν εμφανίστηκε το φαινόμενο της κηλίδωσης και η πυρκαϊά μεταδόθηκε χωρίς ούτε μία καύτρα, $N_k = 0$) αφορούν σε: α) 5 παρατηρήσεις μακίας βλάστησης, β) 8 περιπτώσεις φρυγάνων *Sarcopoterium spinosum*, γ) 2 περιπτώσεις φρυγάνων *Phlomis fruticosa* και δ) 13 περιπτώσεις χόρτων.

Στη συνέχεια, υπολογίστηκαν: α) η μέση τιμή, β) η διάμεσος, γ) η κορυφή, δ) η τυπική απόκλιση, ε) η ελάχιστη τιμή και στ) η μέγιστη τιμή της σχετικής υγρασίας του αέρα (RH %), για κάθε τιμή (κλάση) της μεταβλητής K_k (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Βασικά περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των τιμών RH% ανά κλάση κηλίδωσης με κριτήριο τις κλάσεις της (K_k)

Table 3. Descriptive statistics summary of RH% values for the spot fires' number classes (K_k)

	$K_k = 0$	$K_k = 1$	$K_k = 2$	$K_k = 3$
	<i>29,4 < RH < 48,9</i>	<i>24 < RH < 40,3</i>	<i>15 < RH < 34,5</i>	<i>13 < RH < 17</i>
Μέση τιμή	34,87	30,65	25,56	15,46
Τυπική απόκλιση μέσου	0,97	2,11	1,27	0,49
Διάμεσος	33,9	29	22	16
Κορυφή	30	40,3	22	17
Τυπική απόκλιση	5,14	6,99	6,12	1,76
Ελάχιστη τιμή	29,4	24	15	13
Μέγιστη τιμή	48,9	40,3	34,5	17

Πίνακας 4. Δασικά καύσιμα στα οποία καταγράφηκε μετάδοση με καύτρες
Table 4. Forest fuel types on which spotting occurred

		Παρατηρήσεις				
		Τύποι δασικών καυσίμων				
RH(%)	K _κ	Σύνολο	Μακία βλάστηση	Φρύγανα (<i>Phlomis fruticosa</i>)	Φρύγανα (<i>Sarcopoterium spinosum</i>)	Χόρτα
24-40,3	1	11	3		5	3
15-34,5	2	23	10	2	8	3
13-17,0	3	13	5	----	----	8
Σύνολο:		47	18	2	13	14

Στον Πίνακα 4, μεταξύ άλλων, παρουσιάζονται και οι παρατηρήσεις μετάδοσης της πυρκαϊάς με καύτρες, ανά τύπο βλάστησης. Ακολουθώντας, γνωρίζοντας και τις αντίστοιχες περιπτώσεις μη εμφάνισης του φαινομένου, υπολογίστηκε ο συνολικός αριθμός των παρατηρήσεων για κάθε τύπο βλάστησης με σκοπό τον υπολογισμό του επί τοις εκατό ποσοστού εμφάνισης του φαινομένου της κηλίδωσης ανά τύπο βλάστησης (Πίνακας 5).

Πίνακας 5..Ποσοστό επί τοις εκατό (%) εμφάνισης του φαινομένου της κηλίδωσης ανά τύπο δασικού καυσίμου

Table 5. Spotting percentage (%) per forest fuel type

	Εμφάνιση του φαινομένου (K _κ ≠ 0)	Απουσία του φαινομένου K _κ = 0	Σύνολο παρατηρήσεων ανά δασικό τύπο	Ποσοστό (%) εμφάνισης του φαινομένου
	16 ≤ RH% ≤ 29,3	29,4 ≤ RH% ≤ 40,6		
Μακία βλάστηση	18	5	23	78 %
	15 ≤ RH% ≤ 40,3	30 ≤ RH% ≤ 48,9		
Φρύγανα (<i>Sarcopoterium spinosum</i>)	13	8	21	62 %
Φρύγανα (<i>Phlomis fruticosa</i>)	2	2	4	50 %
Φρύγανα (σύνολο)	15	10		
	13 ≤ RH% ≤ 29	29,4 ≤ RH% ≤ 43		
Χόρτα	14	13	27	52 %

Οι τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα (RH %) που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια των 75 παρατηρήσεων, κυμάνθηκαν από 13 έως 48,9 %, δηλαδή τα επί τοις εκατό ποσοστά εμφάνισης του φαινομένου που υπολογίστηκαν και παρουσιάζονται στον Πίνακα 5, αναφέρονται σε αυτό το φάσμα συνθηκών, ως προς τις τιμές της RH %.

Συζήτηση – Συμπεράσματα

Η κλάση $K_k = 1$ του Πίνακα 2, αφορά σε περιπτώσεις κατά τις οποίες οι σπάνια εμφανιζόμενες, μία ή δύο καύτρες ($N_k < 3$) δεν επηρεάζουν, επί το πλείστον, τον ρυθμό εξάπλωσης και την ένταση της πυρκαϊάς.

Οι κλάσεις 2 και 3 αφορούν σε περιπτώσεις κατά τις οποίες οι καύτρες επηρεάζουν καθοριστικά τη συμπεριφορά της φωτιάς καθώς το βεληνεκές της τροχιάς τους, οδηγεί πολλές από αυτές, αρκετά μακριά από την περίμετρο της κύριας πυρκαϊάς η οποία τις δημιουργεί. Σε αυτές τις δύο περιπτώσεις ($K_k = 2$ και $K_k = 3$), ο αριθμός των καυτρών που παράγονται είναι αξιοσημείωτος. Οι εστίες που δημιουργούν οι περισσότερες από τις καύτρες αυτές, εξελίσσονται ως νέες πυρκαϊές και ενώνονται μεταξύ τους ή και με την κύρια πυρκαϊά, αυξάνοντας τον ρυθμό εξάπλωσης και την έντασή της.

Με βάση το δείγμα των 75 παρατηρήσεων, η τιμή $RH = 35\%$ φάνηκε ως το ανώτατο όριο πιθανής εμφάνισης αξιοσημείωτου αριθμού, (έως και εννέα) καυτρών. Για τιμές $RH < 25\%$ το φαινόμενο τείνει να εμφανίζεται έντονο (με αρκετές έως και δεκάδες καύτρες) και, τέλος, για τιμές $RH < 15\%$ το φαινόμενο είναι έντονο και παίζει καθοριστικό ρόλο στην εξάπλωση της πυρκαϊάς καθώς αναμένεται η εμφάνιση δεκάδων καυτρών, γεγονός που μπορεί να συμβάλλει στην εμφάνιση ακραίας και εκρηκτικής συμπεριφοράς της φωτιάς.

Η τιμή $RH = 40,3\%$ ήταν το όριο κάτω από το οποίο εμφανίστηκε το φαινόμενο. Η παρατήρηση αυτή έγινε στα φρύγανα που εμφάνισαν μεγαλύτερη ευκολία έναυσης με καύτρες σε σχέση με τους άλλους δύο τύπους βλάστησης. Για τα φρύγανα τα πεδία τιμών RH με και χωρίς εμφάνιση κηλίδωσης παρουσίασαν αλληλοεπικάλυψη: $15 \leq RH\% \leq 40,3$ με κηλίδωση, $30 \leq RH\% \leq 48,9$ χωρίς κηλίδωση. Αντίθετα, στη μακία βλάστηση και στα χόρτα η τιμή $RH = 29\%$ αναδείχθηκε ως το σαφές όριο μεταξύ εμφάνισης και απουσίας του φαινομένου της κηλίδωσης (Πίνακας 5).

Τα ευρήματα της παρούσας εργασίας προέκυψαν από την αξιοποίηση δείγματος 75 περιπτώσεων, που καταγράφηκαν στο πεδίο, από παρατηρήσεις πραγματικών δασικών πυρκαϊών κατά την εξέλιξή τους και αποτελούν την πρώτη προσπάθεια επεξεργασίας και παρουσίασης παρόμοιων δεδομένων στην Ελλάδα.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν, αφορούν στην εμφάνιση ή την απουσία καθώς και στην κλιμάκωση της έντασης του φαινομένου της κηλίδωσης, σε σχέση με τις τιμές της σχετικής υγρασίας του αέρα (RH%) και τον τύπο της βλάστησης όπου προσγειώνονται οι καύτρες. Αν και ο αριθμός των παρατηρήσεων είναι σχετικά περιορισμένος τα αποτελέσματα συμφωνούν σε γενικές γραμμές με τη γενική εμπειρική αντίληψη για το φαινόμενο.

Η επισήμανση γενικών αλλά και ειδικότερων (ανά τύπο δασικού καυσίμου) τιμών κατωφλίων ή διαστημάτων τιμών της RH %, είναι εξ' ίσου σημαντική και αναγκαία καθώς μας επιτρέπει αφ' ενός την απόκτηση σφαιρικής αντίληψης του φαινομένου, αφ' ετέρου τη βαθύτερη γνώση η οποία μπορεί να απαιτηθεί για τη διαχείριση μιας ειδικής περίπτωσης. Επίσης, η γνώση σχετικά με την κλιμάκωση του

φαινομένου είναι αναγκαία και καθοριστική αλλά μας δίνει μόνο ένα τμήμα της πληροφορίας που χρειαζόμαστε καθώς ο κρίσιμος παράγοντας δεν είναι πάντοτε ο αριθμός των καυτρών. Η απόσταση μετάδοσης από την περίμετρο σε συνδυασμό με την θέση προσγείωσης, το ανάγλυφο, την ανομοιογένεια της βλάστησης και την ένταση του ανέμου μπορεί να ‘επιτρέψουν’ σε μία και μόνο καύτρα να αλλάξει άρδην τις συνθήκες της καταστολής ή και της ασφάλειας των δασοφυλάκων.

Οι κρίσιμες τιμές ή τα κρίσιμα διαστήματα των τιμών της RH % εκατέρωθεν των οποίων υπάρχει η βεβαιότητα ότι η συμπεριφορά της δασικής πυρκαϊάς αλλάζει καθοριστικά (λόγω της εμφάνισης ή της απουσίας καυτρών ή λόγω της μείωσης ή της αύξησης του αριθμού τους) είναι ζητούμενα για όλους τους τύπους των δασικών καυσίμων, συνιστούν ένα ευρύ πεδίο έρευνας και θα αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικών εργασιών.

Observations on spotting in forest fires in Greece

Miltiadis Athanasiou¹, Gavriil Xanthopoulos²

¹“Environmental Impact Assessment Studies”

8 Thoma Paleologou st., 13673 Acharnes, Greece

Phone: +30 210 2447366, E-mail: info@m-athanasiou.gr

²Hellenic Agricultural Organization “DEMETER”

Inst. of Mediterranean Forest Ecosystems & Forest Products Technology

Terma Alkmanos, 11528, Athens, Greece

Phone: +30 210 7793142, Fax: +30 210 7784602, E-mail: gxnrta@fria.gr

Abstract

This paper concerns on site observations and measurements of spotting in wildland fires during the last six fire seasons in Greece (2007 until 2012). For a total of 75 observations, spotting ignition or absence of the phenomenon were documented and an ordinal variable named K_k was created in order to represent the following four empirical classes: a) no spotting, b) rare spotting, c) limited spotting and d) massive spotting.

Relative humidity (RH%) values were recorded in the field and were correlated with the K_k classes. Descriptive statistics were used to describe the RH% dataset, for the K_k classes: a) mean, b) median, c) mode, d) standard deviation, e) minimum and f) maximum. Preliminary conclusions on RH% thresholds for spotting occurrence are presented for the three forest fuel types on which the firebrands were landed (maquis, small xeric shrubs (phrygana) and grass).

The data series and the results of this paper represent the first approach of this type to the spotting phenomenon in Greece.

Βιβλιογραφία

- Albini F.A., 1979. Spot fire distance from burning trees: a predictive model. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Technical Report INT-56. (Ogden, UT)
- Andrews, P.L., Chase C.H., 1989. BEHAVE: Fire behavior and prediction modeling System—Burn subsystem, Part II. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-260.
- Athanasίου, Μ., Xanthopoulos, G., 2010. Fire behaviour of the large fires of 2007 in Greece. In proceedings of the 6th International Conference on Forest Fire Research, 15-18 November 2010, Coimbra, Portugal. D.G. Viegas, Editor. ADAI/CEIF, University of Coimbra, Portugal. Abstract p. 336, full text on CD.
- Blackmarr, W.H., 1972. Moisture content influences ignitability of slash pine litter. USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, Research Note SE-173. (Asheville, NC)
- Ganteaume, A., Guijarro, M., Jappiot M., Hernando, C., Lampin-Maillet, C., Pérez-Gorostiaga, P., Vega, J.A., 2011. Laboratory characterization of firebrands involved in spot fires. *Annals of Forest Science* 68:531–541.
- Hadden, R., Scott, S., 2011. Ignition of Combustible Fuel Beds by Hot Particles: An Experimental and Theoretical Study. *Fire Technology* 47:341–355.
- Kim, D.H., Lee, M.B., Viegas, D.X., 2010. In proceedings of the 6th International Conference on Forest Fire Research, 15-18 November 2010, Coimbra, Portugal. D.G. Viegas, Editor. ADAI/CEIF, University of Coimbra, Portugal. Abstract p. 64, full text on CD
- Koo, E., Pagni, P.J., Linn R.R., 2007. Using FIRETEC to describe firebrand behavior in wildfires. In ‘The Tenth International Symposium of Fire and Materials’, 29–31 January 2007, San Francisco, CA. Interscience Communications, London, UK.
- Koo, E., Pagni, P.J., Weise, D.R., Woycheese, J.P., 2010. Firebrands and spotting ignition in large-scale fires. *International Journal of Wildland Fire* 19:818–843.
- Lee, S.L., Hellman, J.M., 1969. Study of firebrand trajectories in a turbulent swirling natural convection plume. *Combustion and Flame* 13:645–655.
- Muraszew, A., 1974. Firebrand Phenomena. The Aerospace Corporation, Report no. ATR-74(8165–01)-1, El Segundo, CA.
- Muraszew, A., Fedele, J.B., Kuby, W.C., 1975. Firebrand Investigation. The Aerospace Corp., No. ATR-75(7470)-1, El Segundo, CA
- Muraszew, A., Fedele, J.B., 1977. Trajectory of firebrands in and out of fire whirls. *Combustion and Flame* 30:321–324.
- Rothermel, R.C., 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. Gen. Tech. Rep. INT-143. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 161 p.
- Satoh, K., Zhong, Y.L., Yang, K.T., 2003. Study of forest fire initiation due to lighted cigarette – Measurement and observation of flaming probability of dried leaves. The 6th ASME-JSME Thermal Engineering Joint Conference. March 16-20, 2003.
- Tarifa, C.S., del Notario, P.P., Moreno F.G., 1965 On flight paths and lifetimes of burning particles of wood. In ‘Tenth Symposium on Combustion’, 17–21 August 1964, Cambridge, UK. The Combustion Institute, Pittsburgh, PA, pp. 1021–1037,

- Woycheese, J.P., 1996. Brand lofting in large scale fires. MS thesis, University of California – Berkeley.
- Xanthopoulos, G., Viegas, D.X., Caballero, D., 2009. The fatal fire entrapment of Artemida (Greece) 2007. In “Recent Forest Fire Related Accidents in Europe”. Domingos Xavier Viegas (Editor). European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. EUR 24121 EN. pp. 65-75.
- Ξανθόπουλος, Γ., 1996. Μετάδοση των δασικών πυρκαγιών με καύτρες. Πρακτικά του 7ου Πανελληνίου Συνεδρίου της Ελληνικής Δασολογικής Εταιρείας, με θέμα "Αξιοποίηση Δασικών Πόρων ", 11-13 Οκτωβρίου 1995, Καρδίτσα. Σελ. 568-577.