

ΠΡΟΒΛΕΠΟΝΤΑΣ ΤΟΝ ΡΥΘΜΟ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ ΠΥΡΚΑΓΙΩΝ ΣΕ ΧΟΡΤΟΛΙΒΑΔΑ ΜΕ ΕΝΑ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ ΧΕΙΡΟΣ

ΤΟΥ ΔΡ. ΜΙΛΤΙΑΔΗ ΑΘΑΝΑΣΙΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΛΟΓΟΣ, MSc ΣΤΗΝ ΠΡΟΛΗΨΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ
ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ
ΕΙΔΙΚΟΣ ΣΤΙΣ ΔΑΣΙΚΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ
e-mail: info@m-athanasiou.gr - www.m-athanasiou.gr

Η αυξημένη ταχύτητα του ανέμου στα χορτολίβαδα, λόγω της απουσίας ανωρόφου και η συχνή δημιουργία σημειακών πυρκαγιών από την προσγείωση καυτών εκεί, ενίοτε οδηγούν στη γρήγορη εξάπλωση της φωτιάς και την εντυπωσιακή αύξηση της περιμέτρου δασικών πυρκαγιών, δυσχεραίνοντας την καταστολή τους. Μια πυρκαγιά που εξαπλώνεται με σχετικά χαμηλό ρυθμό σε θαμνώδη βλάστηση, ή σε μια δασοσυστάδα, μπορεί να διαδοθεί πολύ πιο γρήγορα σ' ένα παρακείμενο χορτολίβαδο. Επιπλέον, οι αλλαγές στη συμπεριφορά των πυρκαγιών που εξαπλώνονται σε Μεσογειακά χορτολίβαδα είναι συχνά ξαφνικές και ενίοτε απειλητικές για τη ζωή των δασοπυροσβεστών, διότι η συμπεριφορά της φωτιάς στα χόρτα που είναι λεπτά και συνήθως νεκρά καύσιμα, ακολουθεί άμεσα τις αλλαγές που συμβαίνουν στην ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου.

Προτάσεις που προέρχονται από την επιστήμη των δασικών πυρκαγιών, για την αξιόπιστη πρόβλεψη του ρυθμού εξάπλωσης των πυρκαγιών επιφανείας (ROSsurface) σε χορτολίβαδα, μπορούν να συμβάλλουν στην ασφαλή και αποτελεσματική δασοπυρόσβεση, καθώς και να υποστηρίξουν σημαντικά, ενδεχόμενη χρήση της φωτιάς με ποικίλους διαχειριστικούς στόχους.

Στο παρόν άρθρο παρουσιάζονται, για ένα μεγάλο εύρος τιμών της ταχύτητας του ανέμου:

- προβλέψεις του ρυθμού εξάπλωσης πυρκαγιών επιφανείας σε Μεσογειακά χορτολίβαδα, από εμπειρικό μοντέλο ROSsurface, (m/min), το οποίο δημιουργήθηκε στην Ελλάδα, αξιοποιώντας μετρήσεις πραγματικής συμπεριφοράς πυρκαγιών που έλαβαν χώρα στο πεδίο,
- οι αντίστοιχες προσαρμοσμένες προβλέψεις του συστήματος BehavePlus για Μεσογειακά χορτολίβαδα, μετά την εφαρμογή σχετικής εξίσωσης (ROSadj) η οποία έχει δημιουργηθεί για αυτόν τον δασικό τύπο.

Στο εν λόγω εμπειρικό μοντέλο, ο ROSsurface (m/min) περιγράφεται ως το γινόμενο του αριθμού 3,8128 με την ταχύτητα του ανέμου που μετρείται «στο ύψος του ματιού», από ένα ανεμόμετρο χειρός (Vανεμόμετρο, km/h), υψωμένη στη δύναμη του 1,199 [σχέση (1)].

$$\text{ROSsurface (m/min)} = 3,8128 \cdot \text{Vανεμόμετρο}^{1,199} \text{ (km/h)}^{(1)}$$

Η δημιουργία του εμπειρικού μοντέλου

Η τεκμηρίωση της πραγματικής συμπεριφοράς πυρκαγιών επιφανείας σε Μεσογειακά χορτολίβαδα στην Ελλάδα (Εικόνα 1), επέτρεψε τη δημιουργία εμπειρικού μοντέλου (σχέση 1) για την πρόβλεψη του ROSsurface (m/min) σε χόρτα και μόνον, αν είναι γνωστή η ταχύτητα του ανέμου που μετρείται από ένα ανεμόμετρο χειρός (Vανεμόμετρο, km/h). Αναμένεται να λειτουργεί ικανοποιητικά και να προβλέπει αξιόπιστα τον ρυθμό εξάπλωσης πυρκαγιών (ROSsurface) σε σχετικά



Εικόνα 1: Η πυρκαγιά καθοδηγείται από ισχυρό άνεμο (Vaneμόμετρο = 22 km/h) και εξαπλώνεται με ROSsurface = 144 m/min. Σε αυτήν την περίπτωση, η περιεχόμενη υγρασία στα λεπτά νεκρά καύσιμα (FDFMC), εκτιμήθηκε ότι ήταν ίση με 5%. Το κίτρινο βέλος δείχνει τη διεύθυνση εξάπλωσης της φωτιάς και το μπλε βέλος τη διεύθυνση του ανέμου

επίπεδες περιοχές (Εικόνες 1 & 2) που καλύπτονται από χόρτα ύψους έως 0,5 m καθώς και σε περιπτώσεις εξάπλωσης πυρκαγιών προς τα κατόντη (προς τα κάτω) (Εικόνα 3).

Δεν μπορεί να προβλέψει τον ROSsurface πυρκαγιών που εξαπλώνονται προς τα ανάντη (προς τα πάνω) σε πλαγιές με σημαντική μορφολογική κλίση (Εικόνα 3), (με ή χωρίς την ταυτόχρονη επίδραση, ή καθοδήγηση του ανέμου), διότι σε εκείνες τις περιπτώσεις, ο ROSsurface είναι το αποτέλεσμα της περίπλοκης αλληλεπίδρασης του ανέμου και της μορφολογικής κλίσης στη διάδοση της φωτιάς. Επίσης, δεν μπορεί να προβλέψει τον ROSsurface πυρκαγιών που εξαπλώνονται



Εικόνα 2: Τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά αυτής της περιοχής επιτρέπουν τη χρήση του εμπειρικού μοντέλου για την πρόβλεψη του ROSsurface. Παρόλο που δεν είναι όλα τα χόρτα ξερά, μπορεί να επιχειρηθεί η αξιοποίησή του μοντέλου, με ταυτόχρονο έλεγχο της ακρίβειας των προβλέψεων

σε ρεματιές και κλειστά φαράγγια, όπου συνήθως η φωτιά εκδηλώνει εκρηκτική συμπεριφορά και εμφανίζεται το «φαινόμενο της καμινάδας».

Κατά τις προσπάθειες μοντελοποίησης του ROSsurface στα χόρτα, ως συνάρτηση της Vaneμόμετρο, αντιμετωπίστηκαν προβλήματα που σχετίζονται και με τη δυσκολία προσδιορισμού της πραγματικής ταχύτητας του ανέμου που καθοδηγεί τη φλόγα, λόγω της εφήμερης φύσης του. Για παράδειγμα, κάποιες από τις ξαφνικές ριπές του ανέμου που επηρεάζουν άμεσα και καθοριστικά τον ROSsurface, είναι πιθανό να μη καταγραφούν στο σύνολό τους από ένα φορητό ανεμόμετρο χειρός, κατά τη διενέργεια μετρήσεων πραγματικής συμπεριφοράς δασικών πυρκαγιών στο πεδίο. Έτσι, ζεύγη τιμών ROSsurface-Vaneμόμετρο που έχουν αποκτηθεί από παρατηρήσεις, μετρήσεις και καταγραφές στο πεδίο και πρόκειται να αναλυθούν με σκοπό τη δημιουργία εμπειρικών μοντέλων πρόβλεψης του ROSsurface, είναι πιθανό να περιέχουν, εν σπέρματι, κάποια σφάλματα.

Ο όρος Vaneμόμετρο δεν είναι προσδιορισμένος με ακρίβεια, διότι δεν έχουν όλοι οι δυνητικοί χρήστες το ίδιο ύψος, άρα δεν κρατούν το ανεμόμετρο στο ίδιο ύψος από το έδαφος, κατά τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου με αυτόν τον τρόπο. Η Vaneμόμετρο μπορεί να θεωρηθεί ως η μέση ταχύτητα του ανέμου που επηρεάζει την εξάπλωση της πυρκαγιάς επιφανείας και αναφέρεται μόνο σε αυτόν τον τύπο πυρκαγιάς (επιφανείας) και όχι στην πυρκαγιά κόμης. Ο όρος Vaneμόμετρο εισάγεται ώστε να διακρίνεται η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος των 10 m (V10m) ή των 6,1 m (V6,1m) πάνω από το έδαφος (ή σε κάποιες περιπτώσεις πάνω από τη βλάστηση), από τον μειωμένης



Εικόνα 3: Το εμπειρικό μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη του ROSsurface πυρκαγιάς, η οποία εξαπλώνεται στα χόρτα αυτής της πλαγιής προς τα κατόντη (προς τα κάτω), αλλά δεν μπορεί να προβλέψει αξιόπιστα τον ROSsurface πυρκαγιάς που εξαπλώνεται προς τα ανάντη (προς τα πάνω)

ταχύτητας άνεμο που καθοδηγεί τη πυρκαγιά επιφανείας και γι' αυτό χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη του ρυθμού εξάπλωσής της.

Αν ο χρήστης θέλει να εκτιμήσει τις τιμές της Vaneμόμετρο όταν αυτές δεν μετρούνται απευθείας από ένα φορητό ανεμόμετρο χειρός στο πεδίο, χρειάζεται αρχικά να μειώσει κατά 15% τις μετρούμενες ή προβλεπόμενες τιμές της V10m, ώστε να εκτιμήσει αρχικά τις τιμές της V6,1m τις οποίες στη συνέχεια θα πρέπει να πολλαπλασιάσει με τον εκάστοτε κατάλληλο «παράγοντα προσαρμογής του ανέμου» (Wind Adjustment Factor: WAF), ο οποίος μπορεί να προκύψει συνδυάζοντας τους πίνακες των Albin and Baughman (1979), Baughman and Albin (1980) και Rothermel (1983).

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η κατακόρυφη διαφορά της ταχύτητας του ανέμου είναι της τάξης του 90% και πλέον οπότε η Vaneμόμετρο είναι μόλις το 10% ή ακόμη και το 8% της V6,1m. (WAF=0,10 ή 0,08, αντίστοιχα). Οι τιμές του WAF εμφανίζουν σημαντική διακύμανση λόγω της ποικιλομορφίας της κλίσης των επιφανειακών καυσίμων, των χαρακτηριστικών των δασοοσυστάδων, καθώς και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής. Σε μικρά ξέφωτα ή διάκενα μεταξύ πυκνών δασοοσυστάδων, η τιμή του WAF μπορεί να κυμανθεί από 0,25 έως και κάτω από 0,10. Στον πίνακα 1, η εκτίμηση των τιμών της Vaneμόμετρο έχει γίνει θεωρώντας ότι WAF=0,36, που είναι η κατάλληλη τιμή για σχετικά επίπεδες και προσήνεμες περιοχές με χόρτα, χωρίς σημαντικά μορφολογικά εμπόδια.

Η εκτίμηση της χωρικής διακύμανσης του WAF κατά την εξάπλωση της πυρκαγιάς είναι δύσκολη, καθώς το πεδίο του ανέμου επηρεάζεται από τον συνδυασμό των χαρακτηριστικών της βλάστησης και της τοπογραφίας που μεταβάλλονται στον χώρο. Ενίοτε, η αρχική τιμή του WAF είναι χαμηλή σε έναν δασικό τύπο, αλλά

αυξάνεται σταδιακά καθώς ο άνεμος πνέει με μεγαλύτερη ταχύτητα σε μια μεγάλη περιοχή που καίγεται, επειδή η αντίσταση στην κίνησή του εκεί σταδιακά μειώνεται, οπότε και η διεισδυτικότητά του στα δασικά καύσιμα αυξάνεται.

Βεβαίως, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να προχωρήσει στην εκτίμηση των τιμών της Vaneμόμετρο (που στη διεθνή βιβλιογραφία περιγράφεται από τον όρο «midflame wind speed»), ακολουθώντας διαφορετικές προσεγγίσεις και μεθοδολογίες, που συνιστούν ένα ενδιαφέρον αντικείμενο, το οποίο όμως δεν εξετάζεται περαιτέρω σε αυτό το άρθρο. Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι το ύψος στο οποίο αναφέρεται η εκάστοτε μέτρηση ή πρόβλεψη της ταχύτητας του ανέμου, πρέπει να είναι γνωστό, έτσι ώστε να είναι σωστές οι τυχόν απαραίτητες αναγωγές. Το πρότυπο του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (World Meteorological Organization) που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και στην Αυστραλία για μετεωρολογικές προβλέψεις και μετρήσεις, αναφέρεται στην V10m η οποία θεωρείται πως είναι αυξημένη κατά 15% περι-



Εικόνα 4: Πολύ αργή εξάπλωση πυρκαγιάς προς τα κατόντη, σε περιοχή με ξερολιθιές και αναβαθμίδες

που, σε σχέση με την V6,1m. Στο ύψος των 6,1 m (20 ft: πόδια), πάνω από το γυμνό έδαφος, ή πάνω από τη βλάστηση, αναφέρονται συνήθως οι προβλέψεις της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας των Η.Π.Α. (U.S. National Weather Service: NWS) για εφαρμογές πυρο-μετεωρολογίας. Οι φορητοί αυτόματοι τηλεμετρικοί μετεωρολογικοί σταθμοί (portable Remote Automated Weather Stations: RAWS), συνήθως αναφέρονται στο ύψος του 1,8 m (6 ft), δηλαδή λίγο πιο ψηλά από το «ύψος του ματιού», όπου και λαμβάνονται οι μετρήσεις με τα ανεμόμετρα χειρός. Ουσιαστικά, οι δύο τελευταίοι τρόποι μέτρησης αναφέρονται στο ίδιο ύψος.

Beaufort	Ταχύτητα ανέμου			Σχέση (1)	
	V10m (km/h)	V6.1m (km/h)	Νανεμόμετρο (km/h)	ROSSurface (m/min)	ROSadj (m/min)
0	1	0,9	0,3	0,9	1,2
1	5	4,3	1,5	6,4	2,7
2	10	8,5	3,1	15	6
3	15	12,8	4,6	24	11
4	20	17	6,1	33,5	16,5
4	25	21,3	7,7	44	24
5	30	25,5	9,2	54	32
5	35	29,8	10,7	65,5	41
6	40	34	12,2	77	50
6	45	38,3	13,8	88,5	62
7	50	42,5	15,3	100	73
7	55	46,8	16,8	112,5	85
7	60	51	18,4	125	99
8	65	55,3	19,9	137,5	113
8	70	59,5	21,4	150	128
9	75	63,8	23	163	144
9	80	68	24,5	176	160
9	85	72,3	26	190	177
10	90	76,5	27,5	203	194

Πίνακας 1: Σύγκριση των προβλέψεων του ROSSurface από το εμπειρικό μοντέλο [σχέση (1)], με τις τιμές του Radj. Η εκτίμηση των τιμών της Νανεμόμετρο έχει γίνει για WAF=0,36, που είναι η κατάλληλη τιμή για σχετικά επίπεδες και προσήνεμες περιοχές με χόρτα, χωρίς σημαντικά μορφολογικά εμπόδια.

Ερευνητικά ευρήματα σε διεθνές επίπεδο

Η σχέση ROSSurface-Νανεμόμετρο έχει βρεθεί να είναι ανάλογη και εκθετική, ή να έχει την μορφή δύναμης της ταχύτητας του ανέμου. Ο ROSSurface στην κεφαλή της πυρκαγιάς (στο μέτωπό της), έχει περιγραφεί από πολλούς ερευνητές (π.χ. Fons (1946), Cheney et al. (2012), κ.α.), ως δύναμη της ταχύτητας του ανέμου ή ως εκθετική συνάρτησή της. Η τελική τιμή του ROSSurface στα χόρτα επηρεάζεται και από το μήκος (πλάτος) της κεφαλής της πυρκαγιάς, από την περιεχόμενη υγρασία στα λεπτά νεκρά δασικά καύσιμα (FDFMC, %) και από την πυκνότητα της κλίνης των λεπτών αυτών καυσίμων. Οι McArthur (1962), Cheney (1981) και άλλοι ερευνητές, θεωρούν την τιμή του ROSSurface πυρκαγιάς που εξαπλώνεται σε επίπεδη περιοχή, ίση με την τιμή του ROSSurface πυρκαγιάς που εξαπλώνεται προς τα κατόντη, όταν η τιμή της μορφολογικής κλίσης δεν ξεπερνά τις 20° (μοίρες), ενώ ο Rothermel (1983) δέχεται την παραπάνω ισότητα χωρίς να θέτει όριο στην τιμή της κλίσης.

Ο Wagner (1988) έχει υποστηρίξει ότι η τιμή του ROSSurface μειώνεται σταδιακά κατά την εξάπλωση της πυρκαγιάς προς τα κατόντη, όσο η τιμή της κλίσης αυξάνεται έως και τις 22°, με τον ROSSurface να προσεγγίζει τότε το 64% του ROSSurface πυρκαγιάς που διαδίδεται σε επίπεδη περιοχή. Όμως, για τιμές μορφολογικής κλίσης μεγαλύτερες των 22°, η τιμή του ROSSurface αυξάνεται πάλι, αντί να μειώνεται, προσεγγίζοντας την τιμή του ROSSurface της διάδοσης σε

επίπεδη περιοχή, όταν η τιμή της μορφολογικής κλίσης προσεγγίσει τις 45°. Για τιμές μορφολογικής κλίσης μεγαλύτερες των 45°, τα τεμάχια καύσιμης ύλης που συνήθως κατακυλούν, αυξάνουν την προς τα κατόντη εξάπλωση, αλλά και δημιουργούν συνθήκες κατά τις οποίες η πυρκαγιά θα εξαπλωθεί γρήγορα προς τα ανάντη, όπως και στις περιπτώσεις προσγείωσης καυτρών που δημιουργούν σημειακές πυρκαγιές στα κατόντη, κυρίως σε υπήνεμες πλαγιές, όπου οι στροβιλισμοί του ανέμου είναι αξιοσημείωτοι. Οι τιμές του ROSSurface των πυρκαγιών που εξαπλώνονται είτε προς τα κατόντη χωρίς τη βοήθεια του ανέμου, είτε αντίρροπα προς τον άνεμο, συχνά θεωρούνται από πολλούς ερευνητές ως ίσες.

Η επίδραση της μορφολογικής κλίσης στο ROS έχει εκφραστεί μέσω «καμπυλόγραμμης» συνάρτησης (Curry and Fons 1938, FCFDG 1992 και άλλου). Το σύνολο των ερευνητικών ευρημάτων και σχέσεων διεθνώς, σχετικά με την επίδραση του ανέμου και της κλίσης στο ROS, έχουν προκύψει από τη μελέτη των δυο μεγεθών ξεχωριστά. Εξαιρέση αποτελούν μεμονωμένες μελέτες, (Murphy 1963, Viegas 2004) οι οποίες όμως δεν μπόρεσαν να καταλήξουν σε πρακτικά αξιοποιήσιμα συμπεράσματα, σχετικά με την αλληλεπίδραση των δύο μεγεθών. Σύμφωνα με τον Dumont (2009), καθώς και άλλους ερευνητές, το διανυσματικό άθροισμα του ανέμου και της κλίσης, φαίνεται να είναι η πλέον δόκιμη προσέγγιση για την περιγραφή της περίπλοκης αλληλεπίδρασής τους.

Αποτελέσματα

Στον πίνακα 1 παρουσιάζονται οι προβλέψεις του ROSSurface από το εμπειρικό μοντέλο [σχέση (1)], για διάφορες πιθανές τιμές της Νανεμόμετρο. Για κάθε περίπτωση, επιπλέον δίδονται οι τιμές των V10m και V6.1m που βοηθούν στην περιγραφή του εκτιμώμενου κατακόρυφου προφίλ του ανέμου. Παράλληλα δίδονται και οι αντίστοιχες προσαρμοσμένες προβλέψεις του BehavePlus (Andrews et al. 2005) μετά την εφαρμογή σχετικής εξίσωσης για τα Μεσογειακά χορτολίβαδα (ROSadj). Σχεδόν για όλες τις περιπτώσεις, οι προβλέψεις του εμπειρικού μοντέλου (δηλαδή οι τιμές του ROSSurface) είναι αρκετά μεγαλύτερες από τις τιμές του ROSadj. Για τον υπολογισμό των τιμών του ROSadj χρησιμοποιήθηκαν το Μοντέλο Καύσιμης Ύλης (M.K.Y.) VI «Μεσογειακά χορτολίβαδα» των Δημητρακόπουλος κ.α. (2001) και η σχετική εξίσωση των Athanasiou and Xanthopoulos (2014).

Χρήσιμες σημειώσεις για τη συμπεριφορά της φωτιάς
Οι περισσότερες τιμές των ROSSurface και ROSadj του πίνακα 1, έχουν στρογγυλοποιηθεί προς τον πλησιέ-



Εικόνα 6: Τμήμα της πλευράς πυρκαγιάς εξαπλώνεται σε επίπεδη περιοχή η οποία καλύπτεται κυρίως από χόρτα. Υπάρχουν επίσης διάσπαρτοι θάμνοι και μεμονωμένα δένδρα. Με βάση τη διεύθυνση του ανέμου, η εξάπλωση της φωτιάς προς τον παρατηρητή είναι η πλευρική εξάπλωση αυτού του δακτύλου πυρκαγιάς

στερο ακέραιο αριθμό, για τη διευκόλυνση της μεταξύ τους σύγκρισης. Ο χρήστης, εάν το επιθυμεί, μπορεί να προχωρήσει στη στρογγυλοποίηση όλων των τιμών του πίνακα 1, για την περαιτέρω απλοποίησή του. Εάν βρίσκεται στο πεδίο με το ανεμόμετρό του και μετρά τιμές της Νανεμόμετρο οι οποίες είναι διαφορετικές από εκείνες του πίνακα 1 (π.χ. Νανεμόμετρο=11 km/h), μπορεί σχετικά εύκολα, να υπολογίσει τον ROSSurface γι' αυτές, χρησιμοποιώντας τη σχέση (1) και κάνοντας τους απαιτούμενους υπολογισμούς με την αριθμομηχανή του κινητού του τηλεφώνου (για Νανεμόμετρο=11 km/h, θα βρει ROSSurface= 67,6 m/min).

Επισημαίνεται ότι αν η Νανεμόμετρο δεν μετρείται σε km/h αλλά σε διαφορετικές μονάδες (π.χ. σε m/sec: μέτρα ανά δευτερόλεπτο ή knots: κόμβους), τότε χρειάζεται να γίνεται η κατά περίπτωση κατάλληλη μετατροπή μονάδων, πριν η τιμή της Νανεμόμετρο αξιοποιηθεί ως δεδομένο εισόδου στη σχέση (1) για τον υπολογισμό του ROSSurface. Εάν ο χρήστης θέλει να αξιοποιήσει τον πίνακα 1 αλλά δεν έχει ανεμόμετρο, μπορεί να παρατηρήσει τα αποτελέσματα του ανέμου σε δένδρα, θάμνους και άλλα στοιχεία του περιβάλλοντος, να εκτιμήσει τα Beaufort, στη συνέχεια να καθορίσει κατά προσέγγιση την ταχύτητα του ανέμου

«στο ύψος του ματιού» σε km/h και να υπολογίσει τον ROSSurface, γνωρίζοντας όμως ότι η εκτίμησή του αυτή, δεν αναμένεται να είναι ιδιαίτερα ακριβής. Αξίζει να σημειωθεί ότι σε περιοχές όπου η παρουσία των ξερολιθιών είναι έντονη, οι τιμές της Νανεμόμετρο αναμένεται να είναι σημαντικά μειωμένες. Οι ξερολιθιές αποτελούν «διαπερατά μεν, εμπόδια δε», που μειώνουν σημαντικά την ταχύτητα του ανέμου. Είναι ημιδιαπερατοί στον αέρα πέτρινοι φράκτες και επιπλέον, ιδιαίτερα σε επίπεδες περιοχές, διασπούν την οριζόντια συνέχεια των επιφανειακών, λεπτών κυρίως καυσίμων (χόρτων ή φρύγανων), καθώς έχουν ύψος μεγαλύτερο από αυτά, οπότε η εξάπλωση πυρκαγιών επιφανείας σε αυτά, εμποδίζεται έτι περαιτέρω. Τα εμπόδια στην εξάπλωση της φωτιάς είναι φυσικά πολύ περισσότερα, στις περιοχές που εκτός από ξερολιθιές υπάρχουν διμορφωμένες αναβαθμιδές (πεζούλες) (Εικόνα 4). Οι ξερολιθιές αποτελούν σημαντικό εμπόδιο, κυρίως όταν η πυρκαγιά διαδίδεται σε χόρτα, αλλά δεν αποτελούν τόσο σημαντικό εμπόδιο, αν κοντά σε αυτές υπάρχουν αειφύλλοι σκληρόφυλλοι θάμνοι (μακί) ικανού ύψους, ώστε να «επιτρέπουν στη φωτιά να τις ξεπεράσει πιο εύκολα» (Εικόνα 5). Επιπλέον, στα χορτολίβαδα που υπάρχουν έστω και λίγοι διάσπαρτοι θάμνοι (Εικόνα 6),



Εικόνα 5: Πρόχειρο σκαρίφημα επίπεδης περιοχής η οποία καλύπτεται κυρίως από χόρτα. Οι άσπρες γραμμές αναπαριστούν τις ξερολιθιές και τα πράσινα πολύγωνα αναπαριστούν τα μακί που έχουν ύψος μεγαλύτερο από εκείνο των ξερολιθιών, «διευκολύνοντας τη φωτιά να τις ξεπεράσει»

η ένταση της πυρκαγιάς αναμένεται να αυξηθεί καθώς αυτοί θα λαμπαδιάζουν. Αυξημένη επίσης αναμένεται να είναι και η πιθανότητα δημιουργίας σημειακών πυρκαγιών από καύτρες που θα παραχθούν από αυτούς, αυξάνοντας έτσι και το ρυθμό εξάπλωσης της πυρκαγιάς, συνολικά.

Για την πρόβλεψη του ROSsurface της πτέρνας της πυρκαγιάς σε ξηρά χόρτα, μπορεί να θεωρηθεί ότι ο ROSsurface είναι μικρότερος του 1 m/min και είναι σημαντικό να ληφθεί επιπλέον υπόψη ότι κατά την οπισθοδρομούσα εξάπλωση, ο άνεμος μειώνει την επίδραση της ακτινοβολίας και της επαγωγής στα δασικά καύσιμα, οπότε η τιμή του ROSsurface μπορεί να είναι πολύ κοντά στο μηδέν. Σχετικά με πιθανές προσπάθειες πρόβλεψης του ROSsurface της πλευράς μιας πυρκαγιάς, ο χρήστης πρέπει να προσπαθήσει να εκτιμήσει την μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου που επηρεάζει τη διάδοση της φωτιάς, καθώς κατά την πλευρική της εξάπλωση, αυτή δεν καθοδηγείται συνεχώς από τον άνεμο, αλλά μια σχετικά μικρή και ακαθόριστη συνιστώσα του διανύσματος του ανέμου, επηρεάζει επεισοδιακά τη διάδοση της (Εικόνα 6).

Συζήτηση - Συμπεράσματα

Η δυνατότητα του εμπειρικού μοντέλου να προβλέπει με ικανοποιητική ακρίβεια τον ROSsurface σε χορτολίβαδα, όταν η περιεχόμενη υγρασία στα λεπτά νεκρά καύσιμα (FDFMC) είναι μεγαλύτερη του 9%, δεν είναι γνωστή. Το ανεξήγητο σφάλμα της εξίσωσης (1) δεν είναι πολύ υψηλό (περίπου 12%), αλλά δεν μπορεί να αγνοηθεί για αυτά τα λεπτά ξηρά καύσιμα όπου η συμπεριφορά της πυρκαγιάς ακολουθεί άμεσα τις αλλαγές στην ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου. Ένα μέρος του μπορεί να αποδοθεί σε πιθανά σφάλματα στην μέτρηση των τιμών της Νανεμόμετρο που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ή/και σε κάποιες αξιολογούμενες χωρικές διακυμάνσεις των τιμών της πυκνότητας της κλίνης των χόρτων.

Αν για την αξιοποίηση της σχέσης (1), πρόκειται να χρησιμοποιηθούν τιμές της V10m οι οποίες προέρχονται από κάποιον μετεωρολογικό σταθμό και αποκλίνουν κατά πολύ από τις πραγματικές τιμές της V10m στην περιοχή της πυρκαγιάς, και επιπλέον γίνουν λάθη κατά την επιλογή των WAF, είναι βέβαιο πως οι τιμές της Νανεμόμετρο που θα χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη του ROSsurface θα αποκλίνουν κατά πολύ από

τις πραγματικές τιμές που θα μετρούσε ο χρήστης με ένα ανεμόμετρο χειρός, αν βρισκόταν στην περιοχή ενδιαφέροντος.

Αν οι τιμές της V10m είναι αντιπροσωπευτικές, εφαρμόσει η κατά 15% αρχική τους μείωση που προτείνεται στην ενότητα 2 και επιπλέον χρησιμοποιούνται οι κατάλληλοι WAF, τα σφάλματα μετριάζονται μεν σε ικανοποιητικό βαθμό, αλλά και πάλι κάποιες αβεβαιότητες παραμένουν, διότι τα σχετικά με τον WAF μοντέλα, εμπεριέχουν πολλές αδυναμίες και περιορισμούς (Andrews 2012).

Στις περιπτώσεις απευθείας μέτρησης της Νανεμόμετρο στο πεδίο, η επιλογή της σωστής τιμής για χρήση ως δεδομένο εισόδου στο εμπειρικό μοντέλο, ίσως εμποδιστεί σε κάποιον βαθμό από τις αλλαγές στην ένταση και τη διεύθυνσή του ανέμου που συχνά εκδηλώνονται λόγω και των αλληλεπιδράσεων του με τη φωτιά, ιδιαίτερα όταν η μέτρηση διενεργείται κοντά σε πυρκαγιά μεγάλης έντασης.

Η τεκμηρίωση όσων παρουσιάζονται στο παρόν άρθρο για την πρόβλεψη του ROSsurface σε χορτολίβαδα και οι διατυπώσεις που χρησιμοποιούνται, έχουν στόχο την υποστήριξη των διαδικασιών λήψης αποφάσεων σε στρατηγικό, επιχειρησιακό και τακτικό επίπεδο και την μείωση της έκθεσης των δασοπροσβεστών σε κινδύνους. Γι' αυτό εκτός από τα πιθανά οφέλη, συζητούνται και οι αδυναμίες του μοντέλου, μαζί με πιθανούς περιορισμούς κατά τη χρήση του και επισημαίνεται επιπλέον, η ανάγκη ελέγχου της αξιοπιστίας των προβλέψεων οι οποίες παρουσιάζονται στον πίνακα 1.

Το δείγμα που αξιοποιήθηκε για τη δημιουργία του εμπειρικού μοντέλου, τα στατιστικά του στοιχεία, μαζί

μ' ένα μεγάλο μέρος της σχετικής μεθοδολογίας και βιβλιογραφικής επισκόπησης, δεν περιλαμβάνονται στο παρόν άρθρο για λόγους οικονομίας, οπότε όσοι από τους αναγνώστες θελήσουν να μελετήσουν περισσότερο, θα χρειαστεί να ανατρέξουν στη σχετική βιβλιογραφία που παρατίθεται. Παρόλα αυτά, ένα μεγάλο μέρος του «απαραίτητου προβληματισμού» που αναπτύχθηκε, περιλαμβάνεται στο παρόν άρθρο έτσι ώστε να υπενθυμίζει στον αναγνώστη, την πολυπλοκότητα του φαινομένου και τη δυσκολία του εγχειρήματος, διασφαλίζοντας κατά κάποιον τρόπο, την αποφυγή παρανοήσεων και υπεραπλουστεύσεων.

Εν κατακλείδι, υπογραμμίζεται ότι είναι ευθύνη του χρήστη της σχέσης (1), είτε βρίσκεται στο πεδίο και θέλει να εκτιμήσει τιμές του ρυθμού εξάπλωσης της πυρκαγιάς, να υπολογίσει αντίστοιχους χρόνους για να προβεί σε επιλογή και προσαρμογές τακτικών ή σχεδίων, είτε θέλει να αξιοποιήσει το εμπειρικό μοντέλο στα πλαίσια εκπόνησης επιχειρησιακού σχεδίου ή χάραξης στρατηγικής οποιουδήποτε επιπέδου ή/και λήψης αποφάσεων σε μια περιοχή, να γνωρίζει ότι όπως όλα τα μοντέλα και συστήματα πρόβλεψης, έτσι και το εν λόγω μοντέλο υπόκειται σε περιορισμούς και έχει εγγενείς αδυναμίες που δεν πρέπει να αγνοούνται.

Ως εμπειρικό, το μοντέλο αναμένεται να λειτουργεί ικανοποιητικά σε συνθήκες παρόμοιες με εκείνες από τις οποίες προέκυψε. Τα πιθανά οφέλη από τη χρήση του και οι εγγενείς αδυναμίες του, έχουν αναφερθεί με σαφήνεια και δίδεται για χρήση και αξιολόγηση μαζί με τον σχετικό πίνακα ώστε να διευκολυνθεί πιθανά, η περαιτέρω βελτίωση και ανάπτυξή του.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Albin, F.A. and R.G. Baughman. 1979. Estimating windspeeds for predicting wildland fire behavior. Res. Pap. INT-221. Ogden, UT: USDA, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, 12 p.
- Andrews, P.L. 2012. Modeling wind adjustment factor and midflame wind speed for Rothermel's surface fire spread model. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-266. Fort Collins, CO: USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 39 p.
- Andrews P.L., Bevins C.D. and R.C. Seli. 2005. BehavePlus fire modeling system, Version 4.0: User's Guide. General Technical Report RMRS-GTR-106WWW revised. Ogden, UT: USDA, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 132 p.
- Αθανασίου Μ., 2015. Συμβολή στην επιλογή της καλύτερης μεθόδου πρόβλεψης της συμπεριφοράς δασικών πυρκαγιών για την Ελλάδα. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Εθνικό &

Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, σελ. 408.

- Αθανασίου Μ. 2021. Αξιοποίηση εμπειρικού και ημι-εμπειρικού μοντέλου για την πρόβλεψη του ρυθμού εξάπλωσης πυρκαγιών επιφανείας σε Μεσογειακά χορτολίβαδα. Σελ. Στο πρακτικά του 10ου Πανελληνίου Λιβαδοπονικού Συνεδρίου. Ελληνική Λιβαδοπονική Εταιρεία. σελ. (Πρακτικά υπό έκδοση)
- Athanasiou M. and G. Xanthopoulos. 2014. Wildfires in Mediterranean shrubs and grasslands, in Greece: In situ fire behaviour observations versus predictions. In proceedings of the 7th International Conference on Forest Fire Research: Advances in Forest Fire Research, 17-20 November 2014, Coimbra, Portugal. D. G. Viegas, Editor. ADAI/CEIF, University of Coimbra, Portugal. Abstract p. 488, full text on CD.
- Baughman R.G. and F.A. Albin. 1980. Estimating midflame windspeeds. In Proceedings of the 6th Conference on Fire and Forest Meteorology. Seattle, Washington. Martin R.E., editor. Society of American Foresters. p.88-92.