Αξιοποίηση εμπειρικού και ημι-εμπειρικού μοντέλου για την πρόβλεψη του ρυθμού εξάπλωσης πυρκαγιών επιφανείας σε Μεσογειακά χορτολίβαδα

Μ. Αθανασίου
Wildfire Management Consulting and Training, Θωμά Παλαιολόγου 8, Αχαρνές, 13673
Email: info@m-athanasiou.gr

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζονται, για μεγάλο εύρος τιμών της ταχύτητας του ανέμου: α) προβλέψεις του ρυθμού εξάπλωσης πυρκαγιών επιφανείας σε Μεσογειακά χορτολίβαδα, από εμπειρικό μοντέλο ($ROS_{surface}$) που δημιουργήθηκε στην Ελλάδα, αξιοποιώντας δείγμα είκοσι μετρήσεων πραγματικής συμπεριφοράς πυρκαγιών (N=20), β) οι αντίστοιχες προβλέψεις του ίδιου ποσοτικού χαρακτηριστικού από το σύστημα BehavePlus (ROS_{BP}) για ελληνικό Μοντέλο Καύσιμης Ύλης (Μ.Κ.Υ.) που περιγράφει τα Μεσογειακά χορτολίβαδα και γ) η προσαρμογή των προβλέψεων του BehavePlus, της αναμενόμενες πραγματικές τιμές (ROS_{adj}), από εξίσωση η οποία έχει δημιουργηθεί για τα Μεσογειακά χορτολίβαδα, στο παρελθόν. Από το εμπειρικό μοντέλο, ο $ROS_{surface}$ περιγράφεται ως δύναμη της ταχύτητας του ανέμου στο ύψος του μέσου της φλόγας της πυρκαγιάς επιφανείας ($V_{midflame}$), με εκθέτη τον αριθμό 1,199. Παρουσιάζονται περιγραφικά στατιστικά στοιχεία του δείγματος (N=20) που αξιοποιήθηκε για τη δημιουργία του εμπειρικού μοντέλου, συζητούνται πιθανοί περιορισμοί κατά τη χρήση του και επισημαίνεται η ανάγκη ελέγχου της αξιοπιστίας του συνόλου των προβλέψεων.

Λέξεις κλειδιά: συμπεριφορά δασικών πυρκαγιών, χορτολίβαδα, ταχύτητα ανέμου

Εισαγωγή

Η δυνατότητα αξιόπιστης πρόβλεψης του ρυθμού εξάπλωσης (ROS) των δασικών πυρκαγιών, μπορεί να συμβάλλει στην αποτελεσματικότητα της δασοπυρόσβεσης και να υποστηρίξει την εφαρμογή του προδιαγεγραμμένου πυρός, πετυχαίνοντας ποικίλους διαχειριστικούς στόχους. Η αυξημένη ταχύτητα του ανέμου λόγω της απουσίας ανωρόφου στα χορτολίβαδα (Cheney and Sullivan 2008) και η δημιουργία σημειακών πυρκαγιών από την προσγείωση καυτρών εκεί, ενίοτε οδηγούν στη γρήγορη εξάπλωση της φωτιάς και την εντυπωσιακή αύξηση της περιμέτρου της πυρκαγιάς. Οι προσπάθειες μοντελοποίησης του ROS της πυρκαγιάς επιφανείας ($ROS_{surface}$, m/min) στα χόρτα ως συνάρτηση της ταχύτητας (έντασης) του ανέμου στο ύψος του μέσου της φλόγας της πυρκαγιάς επιφανείας ($V_{midflame}$, km/h), συναντά προβλήματα που σχετίζονται και με τη δυσκολία προσδιορισμού της πραγματικής ταχύτητας του ανέμου που καθοδηγεί τη φλόγα, λόγω της εφήμερης φύσης του.

Ο όρος $V_{midflame}$ δεν είναι προσδιορισμένος με ακρίβεια. Πρακτικά, είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου που επηρεάζει την εξάπλωση της πυρκαγιάς επιφανείας και θεωρείται ως εκείνη που μετριέται "στο ύψος του ματιού" (Rothermel 1983) από ένα ανεμόμετρο χειρός. Αναφέρεται, δε, μόνο στην πυρκαγιά επιφανείας και όχι στην πυρκαγιά κόμης. Ο όρος $V_{midflame}$ εισήχθη ώστε να διακρίνεται η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος των 6,1 m ($V_{6,1m}$) ή των 10 m (V_{10m}) πάνω από το έδαφος (ή πάνω από τη βλάστηση), από τον μειωμένης ταχύτητας άνεμο που καθοδηγεί τη πυρκαγιά επιφανείας και γι' αυτό χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη του ROS της. Το πρότυπο του Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού (World Meteorological Organization) που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα και την Αυστραλία για μετεωρολογικές

προβλέψεις και μετρήσεις, αναφέρεται στην V_{10m} η οποία είναι αυξημένη κατά 15% περίπου, σε σχέση με την $V_{6,1m}$ (Turner and Lawson 1978, Lawson and Armitage 2008). Συνεπώς, για την εκτίμηση των τιμών της $V_{midflame}$ όταν αυτές δεν μετρούνται απευθείας από ένα φορητό ανεμόμετρο χειρός, οι μετρούμενες ή προβλεπόμενες τιμές της V_{10m}, χρειάζεται αρχικά να μειώνονται κατά 15% για την εκτίμηση των τιμών της $V_{6,1m}$ (Fischer and Hardy 1972), που στη συνέχεια πρέπει να πολλαπλασιάζονται με κάποιον "παράγοντα προσαρμογής της ταχύτητας του ανέμου" (WAF). Υπάρχουν περιπτώσεις όπου η κατακόρυφη διαφορά της ταχύτητας του ανέμου είναι της τάξης του 90% και πλέον οπότε η $V_{midflame}$ είναι μόλις το 10% ή ακόμη και το 8% της $V_{6,1m}$. (WAF=0,10 ή 0,08, αντίστοιχα). Οι τιμές του WAF εμφανίζουν σημαντική διακύμανση λόγω της ποικιλομορφίας των επιφανειακών καυσίμων, των δασοσυστάδων καθώς και των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής. Ο $ROS_{surface}$ στην κεφαλή της πυρκαγιάς, έχει περιγραφεί ως δύναμη της ταχύτητας του ανέμου ή ως εκθετική συνάρτησή της (Fons 1946, Anderson and Rothermel 1965, Byram et al. 1966, Rothermel and Anderson 1966, McArthur 1966,1967, Rothermel 1972, Pagni and Peterson 1973, Nelson and Adkins 1988, Forestry Canada Fire Danger Group (FCFDG) 1992, Cheney et al. 2012). Ο $ROS_{surface}$ στα χόρτα επηρεάζεται και από το μήκος (πλάτος) της κεφαλής της πυρκαγιάς (Cheney et al. 1998, Sullivan 2010), από την περιεχόμενη υγρασία στα λεπτά νεκρά (1h) δασικά καύσιμα (FDFMC, %) και από την πυκνότητα της κλίνης τους. Οι McArthur (1962, 1967), Luke and McArthur (1978) και Cheney (1981), θεωρούν ότι ο $ROS_{surface}$ πυρκαγιάς που εξαπλώνεται σε επίπεδη περιοχή, είναι ίσος με τον $ROS_{surface}$ πυρκαγιάς που εξαπλώνεται προς τα κατάντη, όταν η μορφολογική κλίση δεν ξεπερνά τις 20^o, ενώ ο Rothermel (1983) δέχεται την παραπάνω ισότητα χωρίς να θέτει όριο στην τιμή της κλίσης. Ο Wagner (1988) έχει υποστηρίξει ότι ο $ROS_{surface}$ μειώνεται σταδιακά κατά την εξάπλωση της πυρκαγιάς προς τα κατάντη, όσο η κλίση αυξάνεται έως και τις 22^o, με τον $ROS_{surface}$ να προσεγγίζει τότε το 64% του $ROS_{surface}$ πυρκαγιάς που διαδίδεται σε επίπεδη περιοχή. Όμως όταν η κλίση είναι μεγαλύτερη από 22^o, ο $ROS_{surface}$ αυξάνεται πάλι, προσεγγίζοντας τον $ROS_{surface}$ της διάδοσης σε επίπεδη περιοχή, όταν η κλίση προσεγγίσει τις 45^o. Όταν η κλίση είναι μεγαλύτερη από 45^o, τεμάχια καύσιμης ύλης που κατρακυλούν και καύτρες, αυξάνουν την εξάπλωση προς τα κατάντη, δημιουργώντας συνθήκες γρήγορης εξάπλωσης της πυρκαγιάς προς τα ανάντη (Van Wagner 1988). Ο ROS πυρκαγιών που εξαπλώνονται προς τα κατάντη χωρίς τη βοήθεια του ανέμου ή αντίρροπα προς τον άνεμο, θεωρείται ίσος (Beaufait 1965, Byram 1959, Byram et al. 1966, McArthur 1967, Prahl and T'ien 1973, Kashiwagi and Newman 1976, Rothermel 1983, Van Wagner 1988, Weber and de Mestre 1990). Η τεκμηρίωση της πραγματικής συμπεριφοράς πυρκαγιών επιφανείας σε Μεσογειακά χορτολίβαδα στην Ελλάδα, επέτρεψε τη δημιουργία εμπειρικής σχέσης για την πρόβλεψη του $ROS_{surface}$ (Αθανασίου 2015, 2019). Αναμένεται να λειτουργεί ικανοποιητικά σε συνθήκες παρόμοιες με εκείνες από τις οποίες προέκυψε, όμως υπόκειται σε περιορισμούς οπότε ο έλεγχος της αξιοπιστίας της είναι αναγκαίος. Η παράθεση των προβλέψεών της ($ROS_{surface}$), των αντίστοιχων προβλέψεων από το ημι-εμπειρικό μοντέλο του Rothermel (1972) μέσω του συστήματος BehavePlus (ROS_{BP}) (Andrews et al. 2005) καθώς και των σχετικών προσαρμογών των τελευταίων (ROS_{adj}) με βάση ευρήματα των Athanasiou and Xanthopoulos (2014), είναι το αρχικό στάδιο αυτής της αξιολόγησης.

Υλικά και Μέθοδοι

Αξιοποιήθηκε δείγμα 20 μετρήσεων (N=20) πραγματικής συμπεριφοράς πυρκαγιών επιφανείας σε χαμηλά χόρτα (ύψος ≤ 0,5 m), για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ του $ROS_{surface}$ και της $V_{midflame}$, εφαρμόζοντας τη μεθοδολογία και τις παραδοχές που περιγράφονται αναλυτικά στη διδακτορική διατριβή του συγγραφέα (Αθανασίου 2015). Στις 17 περιπτώσεις η πυρκαγιά είχε εξαπλωθεί σε επίπεδα χορτολίβαδα και στις υπόλοιπες 3 είχε διαδοθεί προς τα κατάντη (σε κλίσεις 5%, 17% και 62%). Για τις 11 περιπτώσεις εξάπλωσης της πτέρνας ή της πλευράς της πυρκαγιάς, η $V_{midflame}$ ορίστηκε ίση με τη μονάδα ώστε να είναι

δυνατή η λογαρίθμησή της. Στις υπόλοιπες 9 περιπτώσεις, η $V_{midflame}$ κυμάνθηκε από 4,4 έως και 25 km/h. Για κάθε μία από τις 20 εγγραφές του δείγματος, εκτιμήθηκε η FDFMC με βάση την μεθοδολογία του Rothermel (1983).

Αποτελέσματα

Υπολογίστηκαν βασικά περιγραφικά στατιστικά στοιχεία των $ROS_{surface}$, $V_{midflame}$ και FDFMC, των 20 μετρήσεων (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Επιλεγμένα στατιστικά στοιχεία του δείγματος

	$ROS_{surface}$ (m/min)	$V_{midflame}$ (km/h)	FDFMC (%)
Μέση τιμή	37	7,1	6
Κορυφή	-	1	6
Τυπική Απόκλιση	54	8,6	2
Ελάχιστη τιμή	0,7	1	4
Μέγιστη τιμή	183,8	25	9

Εφαρμόστηκε γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ των $\ln ROS_{surface}$ και $\ln V_{midflame}$ και προέκυψε η στατιστικά σημαντική (p-value<0,001) σχέση: $\boldsymbol{ln(ROSsurface) = -1,784 + 1,199 \cdot (ln(Vmidflame))}$ (1). Υπολογίστηκε ο συντελεστής διόρθωσης (CF) (Sprugel 1983) $\boldsymbol{CF = e^{\{\frac{s.e.e.}{2}\}} = 1,362}$ (Πίνακας 2). Η εξίσωση (1) μετατράπηκε σε: $\boldsymbol{ROSsurface = e^{\{-1,784 + 1,199 \cdot (\ln(Vmidflame))\}}}$, πολλαπλασιάστηκε με το CF (Baskerville 1972, Sprugel 1983) ($\boldsymbol{ROSsurface} = 1,362 \cdot 0,1679649 \cdot \text{Vmidflame}^{1,199}$) οπότε προέκυψε η σχέση: $\boldsymbol{ROSsurface\ (^{m}/_{min}) = 3,8128 \cdot Vmidflame^{1,199}}$ (2), με βάση την οποία υπολογίστηκαν πιθανές τιμές του $ROS_{surface}$ που παρουσιάζονται στον πίνακα 3, μαζί με τις αντίστοιχες τιμές των ROS_{BP} και ROS_{adj}. Για τον υπολογισμό των τιμών του ROS_{BP} χρησιμοποιήθηκε το ελληνικό Μοντέλο Καύσιμης Ύλης (M.K.Y.) VI "Μεσογειακά χορτολίβαδα" των Δημητρακόπουλος κ.α. (2001) και για τον υπολογισμό του ROS_{adj} χρησιμοποιήθηκε η εξίσωση (4) των Athanasiou and Xanthopoulos (2014). Η τιμή 6% που χρησιμοποιήθηκε για τη FDFMC κατά τον υπολογισμό των τιμών του ROS_{BP}, ήταν η μέση τιμή και κορυφή του δείγματος (Πίνακας 1).

Πίνακας 2. Εξίσωση της μορφής $\boldsymbol{ln}(ROSsurface) = \boldsymbol{lna + b \cdot (lnVmidflame)}$ και ο συντελεστής διόρθωσης (CF) (Sprugel 1983), από την ανάλυση των 20 μετρήσεων.

a (s.e.)	b (s.e.)	n	$R^2_{adjusted}$	s.e.e.	CF
-1,784 (0,177) (p-value<0,001)	1,199 (0,103) (p-value<0,001)	20	0,877	0,6185	1,362

Συζήτηση – Συμπεράσματα

Οι προβλέψεις του ROS από το BehavePlus (ROS_{BP}) για το M.K.Y. VI, είναι γνωστό πως είναι σημαντικά και συστηματικά υποεκτιμημένες (Athanasiou and Xanthopoulos 2014) αλλά περιλαμβάνονται στον πίνακα 3 για τη διευκόλυνση της σύγκρισης με τις τιμές ROS_{adj} καθώς και με τις προβλέψεις του $ROS_{surface}$ από την εμπειρική σχέση (2). Η σχέση (2) εξηγεί περίπου το 88% της διακύμανσης των τιμών του $ROS_{surface}$ ο οποίος περιγράφεται ως δύναμη του $V_{midflame}$ με εκθέτη τον αριθμό 1,199 που βρίσκεται εντός του κλειστού διαστήματος [1,2] μαζί με τις τιμές των εκθετών των περισσοτέρων αντίστοιχων υφιστάμενων εμπειρικών μοντέλων, διεθνώς (Weise and Biging 1997). Το ανεξήγητο σφάλμα της εξίσωσης (2) δεν είναι πολύ υψηλό (περίπου 12%) αλλά δεν μπορεί να αγνοηθεί για αυτά τα λεπτά ξηρά καύσιμα όπου η συμπεριφορά της φωτιάς ακολουθεί άμεσα τις αλλαγές στην ταχύτητα και διεύθυνση του ανέμου. Ένα μέρος του μπορεί να αποδοθεί σε πιθανά σφάλματα στην μέτρηση των τιμών της

$V_{midflame}$ που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση ή/και σε κάποιες αξιοσημείωτες χωρικές διακυμάνσεις της πυκνότητας της κλίνης των χόρτων. Επίσης, 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 (Andrews 2012) και της τοπογραφίας, που μεταβάλλονται στο χώρο.

Πίνακας 3. Σύγκριση των προβλέψεων του $ROS_{surface}$ από την εμπειρική σχέση (2) για επίπεδα χορτολίβαδα, με τις προβλέψεις R_{BP} και με τις τιμές R_{adj}. Η εκτίμηση των τιμών της $V_{midflame}$ έχει γίνει για WAF=0,36, που ορίστηκε συνδυάζοντας τους πίνακες των Albini and Baughman (1979), Baughman and Albini (1980) και Rothermel (1983), για σχετικά επίπεδες και προσήνεμες περιοχές με χόρτα, χωρίς σημαντικά μορφολογικά εμπόδια.

Ταχύτητα ανέμου				Σχέση (2)	BehavePlus	
Beaufort	V_{10m} (km/h)	$V_{6.1m}$ (km/h)	$V_{midflame}$ (km/h)	ROS_{surfac} (m/min)	ROS_{BP} (m/min)	ROS_{adj} (m/min)
0	1	0,9	0,3	0,9	1	1,2
1	5	4,3	1,5	6,4	1,9	2,7
3	15	12,8	4,6	23,7	7,1	10,7
4	25	21,3	7,7	43,7	15,5	23,8
5	35	29,8	10,7	65,5	26,3	40,7
6	45	38,3	13,8	88,5	39,8	61,8
7	60	51	18,4	124,9	63,8	99,3
8	70	59,5	21,4	150,3	82	127,7
9	85	72,3	26	189,7	113,3	176,7

Ενίοτε, η αρχική τιμή του WAF είναι χαμηλή σε ένα 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 (Norum 1983) οπότε και η διεισδυτικότητά του στα δασικά καύσιμα αυξάνεται.

Ευχαριστίες

Τμήμα της παρούσας ερευνητικής εργασίας προέρχεται από τη διδακτορική διατριβή του συγγραφέα η οποία χρηματοδοτήθηκε σε ένα μέρος της, από τη Διεθνή Ένωση για τις Δασικές Πυρκαγιές (IAWF) διαμέσου της υποτροφίας για υποψήφιους διδάκτορες (Doctoral Student Scholarship Award) για το έτος 2014.

Βιβλιογραφία

Albini 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.

Anderson H.E. and R.C. Rothermel. 1965. Influence of moisture and wind upon the characteristics of free-burning fires, p. 1009-1019. In 10th Int. Symp. on combustion. The Combustion Institute.

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. 2019. Πρόβλεψη του ρυθμού εξάπλωσης πυρκαγιών επιφανείας σε χορτολίβαδα στην Ελλάδα: Μια εμπειρική προσέγγιση. Στο Βιβλίο Περιλήψεων του 16ου Συνεδρίου της Ελληνικής Βοτανικής Εταιρείας, σελ. 14, 10-13/10/2019, Αθήνα, 118 σελ.

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. Albini. 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.

Beaufait W.R. 1965. Characteristics of backfires and headfires in a pine needle fuel bed. USDA, Forest Service, Res. Note INT-39. 7 p.

Byram G.M. 1959. Combustion of forest fuels; Forest fire behavior. in Davis, K.P., ed. Forest fire: Control and use. New York: McGraw-Hill: 61-89, 90-123.

Byram G.M., Clements H.B., Bishop M.E., R.M. Nelson, JR. 1966. Final report-PROJECT FIRE MODEL: An exploratory study of model fires. Office of Civil Defense Contract OCD-PS-65-40, USDA, Forest Service, Southeast. Forest Experiment Station 46 p.

Cheney N.P. 1981. Fire behavior. In Fire and the Australian biota. Edited by A.M. Gill, R.H. Groves, and I.R. Noble. Australian Academy of Science, Canberra. pp. 151-175.

Cheney N.P., Gould J.S. and W.R. Catchpole. 1998. Prediction of fire spread in grasslands, International Journal of Wildland Fire 8(1): 1-13.

Cheney P. and A. Sullivan. 2008. Grassfires: Fuel, Weather and Fire Behaviour.

Cheney N.P., Gould, J.S. McCaw, W.L. Anderson, W.R., 2012. Predicting fire behaviour in dry eucalypt forest in southern Australia. Forest Ecology and Management. 280, 120-131.

Δημητρακόπουλος, Α.Π., V. Mateeva, και Γ. Ξανθόπουλος. 2001. Μοντέλα καύσιμης ύλης Μεσογειακών Τύπων βλάστησης της Ελλάδος. Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα ΓΕΩΤΕΕ. Σειρά VI, Τόμος 12(3): 192-206.

Fischer W.C. and C.E. Hardy. 1972. Fire-weather observers' handbook. Ogden, Utah: Intermountain Forest and Range Experiment Station, 1972. 152 p.

Fons W.L. 1946. Analysis of fire spread in light forest fuels. Journal of Agricultural Research. 72: 93-121.

Kashiwagi T. and D.L. Newman. 1976. Flame spread over an inclined thin fuel surface. Combust. Flame 26:163-177.

Lawson B.D. and O.B. Armitage. 2008. Weather guide for the Canadian Forest Fire Danger Rating System. Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, AB. 73 p.

Luke R.H. and A.G. McArthur. 1978. Bushfires in Australia. Aust. Gov. Publ. Serv., Canberra. 359 p.

McArthur A.G. 1962. Control burning in eucalyptus forests. Commonw. Aust., For. Timber Bureau, Canberra, ACT. Leafl. 80. 31 p.

McArthur A.G. 1966. Weather and grassland fire behaviour. Dep. of Nat. Dev., For. and Timber Bur. Leafl. No. 100. Canberra, Australia. 23 p.

McArthur A.G. 1967. Fire behaviour in eucalypt forests. Dep. of Nat. Dev., For. and Timber Bur. Leafl. No. 107. Canberra, Australia. 36 p.

Nelson R.M. and C.W. Adkins. 1988. A dimensionless correlation for the spread of the wind driven fires. Canadian Journal of Forest Research 18: 391-397.

Norum R. A. 1983. Wind adjustment factors for predicting fire behavior in three fuel types in Alaska. Res. Pap. PNW-309. Portland, OR: USDA, Forest Service, Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station; 1983. 5 p.
Pagni P.J. and T.G. Peterson. 1973. Flame spread through porous fuels. In 'Proceedings of the 14th Int. Symposium on Combustion', 20–25 August 1972, University Park, PA. pp. 1099–1107. (The Combustion Institute: Pittsburgh, PA).
Prahl J.M. and J.S. T'ien. 1973. Preliminary investigations of forced convection on flame propagation along paper and matchstick arrays. Combust. Sci. Tech. 7:271-282.
Rothermel R.C. 1972. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. Res. Pap. INT-115. Ogden, UT: USDA, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 40 p.
Rothermel R.C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. Gen. Tech. Rep. INT-143. Ogden, UT: USDA, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 161 p.
Rothermel R.C. and H.E. Anderson. 1966. Fire spread characteristics determined in the laboratory. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Research Paper RP-INT-30. (Ogden, UT).
Sullivan A. L. 2010. Grassland fire management in future climate. Adv. Agr., 106: 173-208.
Turner J.A. and B.D. Lawson. 1978. Weather in the Canadian Forest Fire Danger Rating System: a user guide to national standards and practices. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre, Information Report BC-X-177. (Victoria, BC).
Van Wagner C.E. 1988. Effect of slope on fires spreading downhill. Can.J.For.Res.18:818-820.
Weber R.O. and N.J. de Mestre. 1990. Flame spread measurements on single ponderosa pine needles: Effect of sample orientation and concurrent external flow. Combust. Sci. Tech. 70: 17-32.
Weise D.R. and G.S. Biging. 1997 A qualitative comparison of fire spread models incorporating wind and slope effects. Forest Science 43 (2), p. 170-180.

Empirical and semi-empirical based models for predicting the fire rate of spread in Mediterranean grasslands

M. Athanasiou
Wildfire Management Consulting and Training
8 Thoma Paleologou st., Acharnes, 13673, Athens, Greece
Email: info@m-athanasiou.gr

Abstract

Predictions of surface fire rate of spread (ROS) in Mediterranean grasslands, were obtained for a wide range of wind speed values, from: (a) an empirical model that was developed in Greece ($ROS_{surface}$) based on a dataset of twenty field observations of grassfire behaviour (N=20), (b) BehavePlus system (ROS_{BP}), for a Greek fuel model that describes "Mediterranean grasslands" and (c) a statistically significant equation that has been developed for adjusting the BehavePlus predictions for grasslands, to match "real world" fire behaviour (ROS_{adj}).

Regarding the empirical model, $ROS_{surface}$ was modeled as a power function of midflame wind speed ($V_{midflame}$) and its exponent (1.199) is in the 1 to 2 range hence it is in general agreement with the results of other similar published modeling efforts. The descriptive statistics of the dataset (N=20) were presented, the potential benefits of using the empirical model were assessed and its weaknesses were addressed. Further reliability testing of the empirical model (a) and the equation (c) is needed, prior to any broad operational use.

Keywords: grassfire behaviour prediction, wind speed, empirical equation